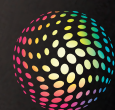


BELEUCHTUNGS PRAXIS



TRILUX
SIMPLIFY YOUR LIGHT.

Impressum

© TRILUX GmbH & Co. KG
Heidestraße · D-59759 Arnsberg

TRILUX Akademie der TRILUX Vertrieb GmbH
Heidestraße · D-59759 Arnsberg

Alle Rechte vorbehalten.
Printed in Germany.

Alle Angaben sind sorgfältig erstellt.
Irrtum vorbehalten. Für Hinweise
auf eventuelle Fehler sind wir stets dankbar.
Farbabweichungen sind drucktechnisch bedingt.

DIN-, EN- und ISO-Normen sowie
Harmonisierungsdokumente und Normen
anderer CEN-Länder sind erhältlich bei der
Beuth Verlag GmbH
Am DIN-Platz · Burggrafenstraße 6
10787 Berlin





VORWORT



75

TRILUX
celestite

Komplexe technische Informationen aufzubereiten und aktiv in den Markt zu tragen, hat bei TRILUX Tradition. Bereits 1956 erschien der TRILUX LICHTRATGEBER mit Grundlagen über Licht- und Beleuchtungstechnik. Mit der „BELEUCHTUNGS-PLANUNG – Lichttechnik · Elektrotechnik“ hat TRILUX im Jahre 1997 eine umfangreiche Planungshilfe zur Licht- und Beleuchtungstechnik veröffentlicht, die auch angrenzende Gebiete der Elektrotechnik abdeckt. Die seit 2007 herausgegebene „BELEUCHTUNGSPRAXIS“ hat sich zum Standardwerk für gestandene und angehende Lichtfachleute etabliert.

Jetzt – nach 15 Jahren – machen neue physiologische, arbeitsmedizinische und ergonomische Erkenntnisse, erweiterte Anforderungen an den Gesundheits- und Arbeitsschutz, sowie umwälzende technologische Innovationen eine grundlegende Aktualisierung erforderlich.

Zahlreiche Neuerungen finden sich in den lichttechnischen Kapiteln „Licht und nicht-visuelle Wirkungen“, „Licht und Wirtschaftlichkeit“, „Licht und Umwelt“, sowie „Gebäudezertifizierung“. Besonders hilfreich für die tägliche Arbeit ist der Abschnitt „Anforderungen an die Beleuchtung“. Er zeigt die lichttechnischen Anforderungen, die die neue EN 12464 mit sich bringt, für jeden Praxisfall auf, inklusive anwendungstechnischer Hinweise.

Neben lichttechnischen Themen informiert die „BELEUCHTUNGSPRAXIS“ auch umfassend zu Leuchtentechnik, Lichtmanagement und Lichtquellen – allen voran die LED. Ebenfalls enthalten sind praxisrelevante Informationen rund um Qualität und Sicherheit, beispielsweise die normbasierten Hinweise zur korrekten Errichtung einer Beleuchtungsanlage. Für das fachkompetente Prüfen, Redigieren und Aktualisieren dieses Abschnitts danken wir an dieser Stelle unserem Kooperationspartner, dem Bundestechnologiezentrum für Elektro- und Informationstechnik (BFE) in Oldenburg.

Seit über 10 Jahren vermittelt die TRILUX Akademie mit ihrem breiten Weiterbildungsprogramm international Fachwissen, damit das richtige Planen, Errichten und Betreiben von Beleuchtung noch einfacher wird. Mit der neuesten „BELEUCHTUNGSPRAXIS“ möchten wir allen, die sich professionell mit Beleuchtung beschäftigen, jetzt zusätzlich ein hochaktuelles Informations- und Nachschlagewerk an die Hand geben – für Lichtlösungen, die mit noch mehr Qualität, Beleuchtungskomfort, Effizienz und Nachhaltigkeit begeistern.

TRILUX Akademie
Arnsberg, im September 2022

Wiedergabe der Norm DIN EN 12464-1:2021-11

„Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1:
Arbeitsstätten in Innenräumen; deutsche Fassung EN 12464-1:2021“

Wiedergegeben mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
Maßgebend für das Anwenden der DIN-Normen ist deren Fassung
mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin,
erhältlich ist.

INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis	6
1.0 Einleitung	18
1.1 Wandel durch technische Innovation	18
1.2 Auswirkungen im Umfeld.....	18
1.3 Energieeffizienz obligatorisch.....	20
1.4 Neue Machbarkeit: Human Centric Lighting	21
1.5 Ausblick	21
2.0 Lichttechnische Kriterien der Beleuchtung	
2.1 Regelwerke.....	24
2.1.1 Europäische und nationale Normen	25
2.1.2 Europäische Norm EN 12464-1.....	25
2.1.3 Europäische Harmonisierung	26
2.1.4 Internationale Norm.....	27
2.1.5 Weitere Regelwerke	27
2.2 Bereiche der Sehaufgabe.....	28
2.3 Umgebungsbereich	32
2.4 Beleuchtungsstärke	32
2.4.1 Beleuchtungsstärke \bar{E}_m im Bereich der Sehaufgabe	33
2.4.2 Stufen der Beleuchtungsstärke	33
2.4.3 Beispiele für besondere Sehbedingungen	35
2.4.4 Beleuchtungsstärke im unmittelbaren Umgebungsbereich	36
2.4.5 Hintergrundbeleuchtung	37
2.5 Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke	37
2.6 Leuchtdichteverteilung	38
2.7 Begrenzung der Blendung	42
2.7.1 Direktblendung.....	42
2.7.2 UGR-Tabellenmethode.....	43
2.7.3 Anwendung der UGR-Tabellen.....	47
2.7.4 R_{UGL} -Referenzwerte 4H, 8H	48
2.7.5 Abschirmwinkel.....	48
2.7.6 Reflexblendung auf horizontalen Sehaufgaben.....	50
2.7.7 Reflexblendung am Bildschirm.....	51
2.8 Räumliche Beleuchtung, Lichtrichtung, Modelling.....	52
2.9 Lichtfarbe	54
2.10 Farbwiedergabe.....	55
2.11 Flimmern und stroboskopische Effekte.....	56
2.11.1 Flickerfaktor und Flickerindex.....	57
2.11.2 Short-Term-Light-Modulation und Stroboscopic Visibility Measure (SVM)	58
2.12 Tageslicht.....	58
3.0 Weitere Kriterien der Beleuchtung	62
3.1 Wartungsfaktor (Erhalt des Beleuchtungsniveaus).....	62
3.1.1 Wartungsfaktor aufgrund von Referenzwerten von Leuchtmitteln, Leuchten und Raum	64
3.1.2 Der Lampenwartungsfaktor einer LED-Leuchte.....	64
3.1.3 Leuchtenwartungsfaktor.....	78

3.1.4	Raumwartungsfaktor	79
3.1.5	Wartungsfaktoren in Beispielanwendungen.....	81
3.2	Licht und Arbeitsschutz.....	84
3.2.1	EU-Richtlinien	84
3.2.2	EN 12464-1	85
3.2.3	Anforderungen an den Arbeitsschutz in Deutschland.....	86
3.2.4	Beleuchtung 2019, mit Ergänzungen.....	88
3.3	Licht und nicht-visuelle Wirkungen.....	90
3.3.1	Human Centric Lighting (HCL).....	90
3.3.2	Melanopische Wirksamkeit des Lichts	91
3.3.3	Der circadiane Rhythmus und die innere Uhr	96
3.3.4	Licht und Leistung.....	98
3.3.5	Licht und Wohlbefinden.....	99
3.3.6	Human Centric Lighting und Lichtplanung.....	100
3.3.7	Melatonin.....	104
3.3.8	Tageslicht.....	105
3.3.9	Optische Strahlung.....	106
3.3.10	Strahlungswirkungen.....	106
3.4	Licht und Wirtschaftlichkeit	110
3.4.1	Kosten der Beleuchtung.....	111
3.4.2	Wirtschaftlichkeit	111
3.4.3	Sanierungsbeispiele.....	113
3.4.4	TRILUX-Online-Effizienzrechner.....	119
3.5	Licht und Umwelt	122
3.5.1	Lampen ohne Quecksilber (neue RoHS-Bestimmungen)	123
3.5.2	Effiziente Beleuchtungssysteme.....	126
3.5.3	Effiziente Leuchtmittel.....	127
3.5.4	Effiziente Leuchten und Raumeigenschaften.....	127
3.5.5	Ökodesign-Anforderungen an Lichtquellen.....	129
3.5.6	Energieeffizienzkennzeichnung von Leuchtmitteln.....	131
3.5.7	CO ₂ -Fußabdruck von Leuchten in der Anwendung.....	131
3.5.8	Anwesenheitserfassung	134
3.5.9	Nutzung des Tageslichts	134
3.5.10	Energieeffizienz von Gebäuden (EPBD)	137
3.5.11	Gebäudeenergiegesetz (GEG, ehemalg Energieeinsparverordnung EnEV)	138
3.5.12	Deutsche Vornorm DIN V 18599	141
3.5.13	Beispiele: Energiebedarf für die Beleuchtung gemäß DIN V 18599-4	148
3.5.14	Umweltverträgliche Entsorgung.....	152
3.6	Gebäudezertifizierung.....	156
3.6.1	Zertifizierungsgrad in Europa	157
3.6.2	DGNB-Zertifizierung	157
3.6.3	MINERGIE®	158
3.6.4	BREEAM®	159
3.6.5	LEED®	160
3.6.6	WELL Building Standard®	161
3.6.7	HQE®	162
3.6.8	CASBEE-Zertifizierung.....	163
3.7	Beleuchtungsplanung	164

3.7.1	Voraussetzungen	165
3.7.2	Technische Katalogdaten	165
3.7.3	Planungsverfahren	166
3.7.4	Überschlägige Planung mit dem Wirkungsgradverfahren.....	168
3.7.5	DIALux und Relux, Software für die lichttechnische Planung.....	169
3.7.6	Realitätsnahe Ansichten	171
3.7.7	Leuchtendaten in 2D- bzw. 3D-Formaten.....	172
3.7.8	BIM (Building Information Modeling).....	173
3.7.9	Wirtschaftlichkeit	177
3.8	Messung der Beleuchtung	177
3.8.1	Messvoraussetzungen.....	178
3.8.2	Messraster.....	180
3.8.3	Messebenen.....	181
3.8.4	Beleuchtungsstärke	181
3.8.5	Leuchtdichte	182
3.8.6	Reflexionsgrad.....	183
3.8.7	R_{UGL} -Grenzwerte (Direktblendung)	183
3.8.8	CRF-Werte (Kontrastwiedergabe).....	183
3.8.9	Lichtfarbe und Farbwiedergabe	184
3.8.10	Leuchtdichte von Leuchten	184
3.8.11	Notbeleuchtung.....	184
3.8.12	Rettungszeichenleuchten.....	184
3.8.13	Auswertung und Protokoll	184
3.8.14	Instandsetzung	185
3.8.15	Bestandsschutz von Altanlagen	185
3.9	Notbeleuchtung.....	186
3.9.1	Regelwerke.....	186
3.9.2	Arten der Notbeleuchtung.....	187
3.9.3	Ersatzbeleuchtung	188
3.9.4	Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege	188
3.9.5	Antipanikbeleuchtung	189
3.9.6	Sicherheitsbeleuchtung in Sportstätten	189
3.9.7	Sicherheitsbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung.....	190
3.9.8	Sicherheitszeichen	190
3.9.9	Planung.....	191
3.9.10	Planungsbeispiel.....	192
4.0	Anforderungen an die Beleuchtung	196
4.1	Beleuchtung von Verkehrszonen und allgemeinen Bereichen in Gebäuden	196
4.1.1	Verkehrszonen.....	196
4.1.2	Pausen-, Sanitär- und Erste-Hilfe-Räume.....	197
4.1.3	Kontrollräume	198
4.1.4	Lager- und Kühlräume.....	198
4.1.5	Lichttechnische Anforderungen.....	199
4.2	Beleuchtung industrieller und handwerklicher Arbeitsstätten	202
4.2.1	Bereich der Sehaufgabe.....	203
4.2.2	Unmittelbarer Umgebungsbereich	205
4.2.3	Beispiele für Bereiche der Sehaufgabe	205

4.2.4	Bereich des Arbeitsplatzes und Umgebung	209
4.2.5	Beleuchtungsstärke	209
4.2.6	Leuchtdichteverteilung	209
4.2.7	Farbwiedergabe.....	210
4.2.8	Wartungsfaktor.....	210
4.2.9	Beleuchtung einzelner Bildschirmarbeitsplätze.....	211
4.2.10	Nahrungs- und Genussmittelindustrie.....	212
4.2.11	Lichttechnische Anforderungen.....	213
4.3	Beleuchtung von Büros und Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen.....	224
4.3.1	Büro im Wandel.....	224
4.3.2	Co-Working und New Work.....	225
4.3.3	Homeoffice.....	226
4.3.4	Beleuchtung von CAD-Räumen	228
4.3.5	Einzelne Bildschirmarbeitsplätze.....	230
4.3.6	Büroraumarten.....	231
4.3.7	Tageslicht im Büro.....	232
4.3.8	Beleuchtungskonzepte.....	233
4.3.9	Beleuchtungsarten.....	235
4.3.10	Grundlegende Kriterien der Beleuchtungsplanung	236
4.3.11	Ergonomische Anforderungen	237
4.3.12	Begriffe	238
4.3.13	Sehaufgaben und Arbeitsbereich.....	240
4.3.14	Beleuchtungsstärke	241
4.3.15	Wartungsfaktor.....	241
4.3.16	Begrenzung der Blendung	242
4.3.17	Anordnung der Arbeitsplätze und Arbeitsmittel.....	243
4.3.18	Leuchtdichtegrenzwerte	244
4.3.19	Leuchtdichteverteilung	244
4.3.20	Planungswerte	246
4.3.21	Lichttechnische Anforderungen.....	247
4.4	Beleuchtung von Sportstätten.....	249
4.4.1	Sportstätten.....	250
4.4.2	Anforderungen an die Beleuchtung	250
4.4.3	Beleuchtungsklassen	250
4.4.4	Beleuchtungsstärke	251
4.4.5	Blendungsbegrenzung	251
4.4.6	Farben und Reflexionseigenschaften.....	252
4.4.7	Bewertungsflächen	253
4.4.8	Wartung	253
4.4.9	Notbeleuchtung.....	254
4.4.10	Beleuchtung für Fernseh- und Filmaufnahmen.....	255
4.4.11	Beleuchtung von Sporthallen.....	257
4.4.12	Beleuchtung von Tennishallen.....	260
4.4.13	Beleuchtung von Squashhallen.....	261
4.4.14	Beleuchtung von Badmintonhallen.....	261
4.4.15	Beleuchtung von Schwimmhallen.....	262
4.4.16	Beleuchtung für Tischtennis (große Halle mit Zuschauern)	264
4.4.17	Beleuchtung von Boxringen (Große Halle mit Zuschauern).....	265

4.4.18	Beleuchtung einer Eissporthalle (große Halle mit Zuschauern).....	266
4.4.19	Beleuchtung eines Snooker-Courts (große Halle mit Zuschauern).....	266
4.4.20	Planung der Beleuchtung	267
4.4.21	Beleuchtung von Schießständen.....	268
4.4.22	Lichttechnische Anforderungen an die Beleuchtung gemäß internationaler Sportverbände.....	268
4.5	Beleuchtung von Räumen des Gesundheitswesens.....	275
4.5.1	Regelwerke der Beleuchtung.....	275
4.5.2	Grundsätze der Beleuchtung, Gesundheitswesen	276
4.5.3	Bereich der Sehaufgabe.....	277
4.5.4	Bettzimmer, Wöchnerinnenzimmer	278
4.5.5	Untersuchungsräume	281
4.5.6	Räume der Intensivmedizin	284
4.5.7	Operationsräume.....	285
4.5.8	Operationsfeldbeleuchtung.....	286
4.5.9	Mikroinvasive Chirurgie.....	287
4.5.10	Laser im OP	288
4.5.11	Vorbereitungs- und Aufwchräume (Operationsnebenräume)	289
4.5.12	Arztpraxen	289
4.5.13	Zahntechnische Laboratorien	290
4.5.14	Laboratorien und Apotheken	291
4.5.15	Obduktionsräume.....	291
4.5.16	Empfangsbereiche.....	291
4.5.17	Flure, Treppen, Patientenbereiche.....	291
4.5.18	Personalräume (Diensträume, Aufenthaltsräume).....	292
4.5.19	Sonstige Räume des Gesundheitswesens	292
4.5.20	Elektromagnetische Verträglichkeit	293
4.5.21	Hygiene im Krankenhaus	293
4.5.22	Wirtschaftlichkeit der Beleuchtung	295
4.5.23	Planung.....	295
4.5.24	Lichttechnische Anforderungen.....	296
4.6	Beleuchtung von Alten- und Pflegeheimen	302
4.6.1	Sehen im Alter.....	303
4.6.2	Beleuchtungsniveau	305
4.6.3	Blendung	306
4.6.4	Farben.....	307
4.6.5	Blauer Lichtanteil.....	307
4.6.6	Helligkeitsunterschiede	310
4.6.7	Lichttechnische Anforderungen.....	311
4.7	Beleuchtung von öffentlichen Bereichen	312
4.7.1	Flure, Eingangshallen, Garderoben	312
4.7.2	Warteräume, Kassen, Schalter und Beratungsbereiche	313
4.7.3	Restaurants und Hotels.....	313
4.7.4	Museen	314
4.7.5	Büchereien	314
4.7.6	Lichttechnische Anforderungen.....	315
4.8	Beleuchtung von Verkaufsräumen.....	318
4.8.1	Beleuchtungskonzept.....	318

4.8.2	Supermärkte und Discounter.....	319
4.8.3	Shops und Fachgeschäfte	320
4.8.4	Beleuchtungsplanung	321
4.8.5	Energieeffizienz	322
4.8.6	Lichttechnische Anforderungen.....	323
4.9	Beleuchtung von Ausbildungsstätten	324
4.9.1	Bereich der Sehaufgabe.....	325
4.9.2	Allgemeinbeleuchtung	325
4.9.3	Wartungsfaktor.....	326
4.9.4	Zusatzbeleuchtung	327
4.9.5	Hörsäle	327
4.9.6	Computerarbeit	328
4.9.7	Kindergärten, Vorschulen	328
4.9.8	Erwachsenenbildung.....	329
4.9.9	Sonderschulen.....	329
4.9.10	Wirtschaftlichkeit	329
4.9.11	Sanierungsbeispiel.....	330
4.9.12	Lichttechnische Anforderungen.....	333
4.10	Beleuchtung von Verkehrsbereichen.....	335
4.10.1	Flughäfen.....	335
4.10.2	Bahnanlagen	336
4.10.3	Lichttechnische Anforderungen.....	337
4.11	Beleuchtung von Parkbauten.....	339
4.11.1	Ein- und Ausfahrtzonen	340
4.11.2	Fahrwege und Bewegungsflächen.....	340
4.11.3	Park- und Abstellflächen und Randzonen	341
4.11.4	Planung.....	341
4.11.5	Lichttechnische Anforderungen.....	342
4.12	Beleuchtung weiterer Innenräume	343
4.12.1	Landwirtschaft.....	343
4.12.2	Weinwirtschaft.....	343
4.12.3	Gewächshäuser	344
4.12.4	Feuerwehrrhäuser	345
4.12.5	Stimmungsbetonte Räume	345
4.12.6	Wohnbereiche.....	345
4.12.7	Lichttechnische Anforderungen.....	346
5.0	Leuchten.....	350
5.1	Der erweiterte Qualitätsbegriff.....	352
5.1.1	Dienstleistung vor dem Verkauf.....	352
5.1.2	Produktqualität.....	353
5.1.3	Dienstleistung nach dem Verkauf	356
5.1.4	Qualitätsmanagement.....	357
5.2	Lichttechnische Klassifizierung.....	358
5.2.1	Einteilung von Leuchten.....	358
5.2.2	Lichtstärkeverteilung und lichttechnische Wirkung	359
5.2.3	Lichtstärkeverteilungskurven	360
5.2.4	Leuchtenbetriebswirkungsgrad.....	362

5.2.5	Lichtverteilungsklassifizierung von Leuchten und Wirkungsgradverfahren	364
5.2.6	Leuchtenkennzeichnung nach EN 13032-2 und CIE 040-1978.....	366
5.2.7	Leuchtdichteverteilung	369
5.2.8	Lichtspektrum einer Leuchte.....	370
5.3	Lichttechnische Eigenschaften	370
5.3.1	Lichtverteilung durch Transmission	371
5.3.2	Lichttechnische Abdeckungen	371
5.3.3	Lichtlenkung durch Reflexion	374
5.3.4	Optikentwicklung.....	376
5.3.5	Messung lichttechnischer Eigenschaften.....	377
5.4	Photobiologische Sicherheit	378
5.5	Konstruktive Eigenschaften, Montage und Anschluss	382
5.5.1	Montage von Leuchten	384
5.5.2	Beleuchtungswärme	385
5.5.3	Elektrischer Anschluss von Leuchten	386
5.5.4	Leitungen für Notlicht und Infrastruktur.....	388
5.5.5	Leitungsquerschnitte Durchgangsverdrahtung.....	389
5.6	Kennzeichnung von Leuchten	391
5.6.1	Typenschild.....	391
5.6.2	Sicherheitszeichen für Leuchten	392
5.6.3	Rechtliche Bedeutung von VDE- bzw. ENEC-Zeichen	392
5.6.4	GS-Zeichen	393
5.6.5	CE-Zeichen für Leuchten	394
5.7	Betrieb von Leuchten	395
5.7.1	Netzspannung	395
5.7.2	Betriebsbedingungen.....	396
5.7.3	Überspannungsschutz bei Prüfungen der Elektroanlage	397
5.7.4	Leistungsfaktor	400
5.8	Betriebseigenschaften von LED-Leuchten	401
5.8.1	Thermomanagement.....	402
5.8.2	Bemessungsleistung.....	403
5.8.3	Betriebsgeräte für LED-Leuchten	403
5.8.4	Einschaltstrom	404
5.8.5	Dimmung durch Betriebsstromregulierung und Pulsweitenmodulation	407
5.9	Betrieb von Bestandsleuchten für Entladungslampen	408
5.9.1	Vorschaltgeräte	409
5.9.2	Blindleistungskompensation	410
5.10	Elektrische Sicherheit.....	412
5.10.1	Niederspannungsrichtlinie	412
5.10.2	Schutzklassen	413
5.10.3	Schutz gegen Feuchte und Fremdkörper	414
5.11	Brandschutz	416
5.11.1	Baustoffklassen.....	416
5.11.2	Brandschutzkennzeichnung.....	416
5.11.3	Möbelleuchten.....	417
5.11.4	Brandschutzeigenschaften	418
5.11.5	Brandschutzhauben für Feuerwiderstandsklassen	418
5.11.6	Glühdrahtfestigkeit.....	419

5.12	Elektromagnetische Sicherheit.....	420
5.12.1	EU-Richtlinien	421
5.12.2	EN 55015.....	421
5.12.3	EN 61000-3-2.....	423
5.12.4	EN 61000-3-3.....	423
5.12.5	EN 61547.....	423
5.12.6	Elektromagnetische Felder – Wirkung auf den menschlichen Körper.....	424
5.12.7	Niederfrequente EMF.....	425
5.12.8	Hochfrequente EMF.....	427
5.12.9	Zusammenfassung.....	428
5.13	Mechanische Sicherheit.....	429
5.13.1	Schlagfestigkeit.....	429
5.13.2	Ballwurfsicherheit.....	430
5.14	Chemische und sonstige Einflüsse.....	431
5.14.1	Besondere Umgebungsbedingungen.....	431
5.14.2	Leuchtenbefestigung, Korrosionsschutz.....	432
5.15	Akustische Eigenschaften.....	434
5.15.1	Abluftleuchten.....	435
5.15.2	Akustische Messungen.....	435
6.0	Anforderungen an Leuchten.....	440
6.1	Feuergefährdete Betriebsstätten.....	440
6.1.1	Brandschutz.....	440
6.1.2	Explosionsschutz.....	441
6.2	Räume mit Badewannen und Duschen.....	442
6.3	Schwimmbäder.....	445
6.4	Anlagen im Freien.....	445
6.5	Landwirtschaftliche und gartenbauliche Betriebsstätten.....	446
6.6	Lebensmittelindustrie.....	447
6.7	Reinräume.....	448
6.8	Anforderungen an medizinisch genutzte Räume.....	449
6.8.1	Potentialausgleich.....	450
6.8.2	Schutz gegen elektromagnetische Störungen.....	451
6.8.3	Sicherheitsbeleuchtung.....	451
6.9	Notbeleuchtungsanlagen.....	452
6.9.1	Regelwerke.....	452
6.9.2	Begriffe.....	453
6.9.3	Anforderungen.....	454
6.9.4	Ersatzstromquellen.....	456
6.9.5	Schaltungsarten.....	456
6.9.6	Prüfung.....	457
7.0	Leuchtauswahltabelle.....	460
8.0	Lichtmanagement.....	476
8.1	Anwendung und Funktion von Lichtmanagement.....	476
8.1.1	Erhöhung des Beleuchtungskomforts.....	477
8.1.2	Individualisierung der Beleuchtung.....	477

8.1.3	Anpassung des Lichtes an wechselnde Beleuchtungsaufgaben	478
8.1.4	Gesundheitsförderung.....	479
8.1.5	Energieeinsparung	479
8.1.6	Erhöhung der Wirtschaftlichkeit.....	480
8.1.7	Geltende Vorschriften und Regeln	481
8.1.8	Lichtmanagementsysteme.....	481
8.2	Anwesenheitserfassung	482
8.2.1	Automatische Wiedereinschaltung	482
8.2.2	Sensorik.....	483
8.3	Tageslichtabhängige Regelung	486
8.3.1	Steuerung und Regelung	486
8.3.2	Lichtniveau und Bereich der Sehaufgabe	488
8.4	Schnittstellen.....	492
8.4.1	Phasenanschnitt und Phasenabschnitt	493
8.4.2	1...10 V-Schnittstelle	493
8.4.3	Push-Dim.....	494
8.4.4	DMX.....	495
8.5	Die DALI-Schnittstelle.....	496
8.5.1	Broadcast-Betrieb.....	497
8.5.2	Adressierter Betrieb.....	498
8.5.3	DALI-Szenensteuerung	500
8.5.4	DALI-Farbsteuerung	500
8.5.5	DALI-Installation	501
8.5.6	DALI-System-Erweiterung.....	502
8.5.7	DALI-Parameter und Initialisierung	502
8.5.8	Manuelle Parametrierung und Monitoring.....	504
8.6	Funkschnittstellen.....	506
8.7	Energy Monitoring und Light Monitoring	508
8.8	Gebäudemanagement, KNX und andere Bussysteme.....	508
8.8.1	Aktoren	509
8.8.2	Gateways.....	509
8.8.3	Integrierbare Lichtmanagementsysteme	510
9.0	Leuchtmittel	514
9.1	Leuchtmittelarten	514
9.1.1	LED (Light-Emitting Diodes)	515
9.2	Leuchtmittleigenschaften	518
9.2.1	Lichtausbeute	519
9.2.2	Lichtfarbe	520
9.2.3	Farbwiedergabe.....	521
9.2.4	Lebensdauer von LED-Leuchten	523
10.0	Anhang	532
	Glossar	532
	Normen	550
	Vorschriften und Empfehlungen	555
	Europäische Richtlinien und Verordnungen	556
	Weitere Publikationen.....	560

Lichttechnische Gesellschaften.....	562
Normungsinstitute.....	562
Stichwortverzeichnis.....	564



EINLEITUNG

Inhalt

1.0	Einleitung	18
1.1	Wandel durch technische Innovation	18
1.2	Auswirkungen im Umfeld	18
1.3	Energieeffizienz obligatorisch	20
1.4	Neue Machbarkeit: Human Centric Lighting	21
1.5	Ausblick	21

1.0 EINLEITUNG

1.1 Wandel durch technische Innovation

Noch nie in der Geschichte der künstlichen Beleuchtung haben technische Innovationen zu so weitreichenden Änderungen in einem so kurzen Zeitraum geführt wie bei der Entwicklung der LED-Technik. Die letzten beiden großen Umbrüche unterscheiden sich davon erheblich.

- Die Verbreitung der Glühlampe war seinerzeit maßgeblich mit dem Aufbau des elektrischen Versorgungsnetzes verknüpft. Das Privileg der Elektrifizierung ist erst im Laufe von Jahrzehnten zum Allgemeingut geworden.
- Mit der Einführung der Entladungslampen sind Lichtstrompakete verfügbar geworden, die seitdem eine neue Qualität der Sehbedingungen im öffentlichen Raum schaffen. Sie ermöglichen die weiträumige Orientierung im Außenbereich und flächendeckend ausreichendes Arbeitslicht in Innenräumen. Im privaten Sektor spielen sie jedoch nur eine untergeordnete Rolle.

Die LED hat hingegen in nur wenigen Jahren ihren Platz als Lichtquelle in allen Anwendungsbereichen erobert.

Die Vielfalt ihrer Bauformen ist von Anfang an eine wichtige Grundlage, flexibel in unterschiedlichsten Leuchtenkonstruktionen ihren Platz zu finden. Dabei stand sie zunächst für die Lösung außergewöhnlicher Konstruktionen im Vordergrund. Die rasante Optimierung ihrer technischen Merkmale machte sie jedoch schon bald auch für Standard-Anwendungen einsetzbar.

Insbesondere die gesteigerte Effizienz und die erhöhten Stückzahlen wirkten sich in der Folge auf den am Lichtstrom bemessenen Preis (Lumen / €) und den Stückpreis aus. So wurde die LED als Lichtquelle auch in wirtschaftlicher Hinsicht immer interessanter.

Nach dem schrittweisen Verbot der Glühlampen in den Jahren ab 2009 konnte die LED als

Lichtquelle in E27- und E14-Retrofits die traditionellen Lampen bald aus den privaten Haushalten verdrängen. Der anfangs höhere Preis der LED-Lampen ist längst Geschichte. Hohe Anforderungen an die Lichtqualität lassen sich mit hochwertigen LED-Retrofits heute ebenfalls erfüllen. Darin steht die LED-Lampe der Glühlampe und der Halogen-Glühlampe um nichts mehr nach.

Bei TRILUX betrug bereits im Jahr 2020 der Anteil der LED-Leuchten weit über 90 % am Gesamtumsatz. Leuchten für Leuchtstofflampen sind längst nur noch eine Randerscheinung. Die europäische Gesetzgebung beschloss daher die schrittweise Aufhebung der Sonderregelungen zur Verwendung von Quecksilber in Entladungslampen in der Neuauflage der RoHS-Richtlinie [139]. Infolgedessen werden in Kürze praktisch alle bisher marktüblichen Entladungslampen nicht mehr verfügbar sein (siehe auch Kapitel [3.5.2](#) „Energiesparende Beleuchtungssysteme“).

1.2 Auswirkungen im Umfeld

Dennoch sollte die so schnell erfolgte Ablösung konventioneller Leuchtmittel durch LED-Lichtquellen nicht über die langfristigen Potentiale und Entwicklungen hinwegtäuschen. Die LED als solche hat zwar einen gewissen Sättigungspunkt ihrer Entwicklung erreicht, jedoch ist der Gesamtprozess noch lange nicht als abgeschlossen anzunehmen.



Wichtig hierbei ist, dass viele Veränderungen im Umfeld – bezüglich bestehender Gebäude, bestehender Anforderungen und auch bestehender Gewohnheiten der Nutzer – sich nur in kleinen, aufeinander folgenden Schritten umsetzen werden.

Ein interessantes Beispiel hierfür ist das Verhältnis von Leuchten mit Fassungen für Lampen (austauschbare Leuchtmittel) zu solchen mit fest verbauten LEDs (nicht austauschbaren Leuchtmitteln). Denn insbesondere ist hier zu beobachten, dass sich dieses Verhältnis in den Bereichen der privaten und öffentlichen Beleuchtung sehr unterschiedlich zeigt.

Im **privaten Sektor** sind Leuchten mit Schraubfassungen E27 und E14 weit verbreitet.

- Sie sind mit relativ kleinen Lichtstromwerten bestückt und werden in der Regel als Einzel-leuchten in relativ kleinen Räumen betrieben.
- Häufig dienen diese Leuchten nicht nur durch ihr Licht, sondern auch durch ihr dekoratives Aussehen einem gestalterischen Aspekt des Raumes.
- Ein Austausch der Leuchten erfolgt in der Regel nur bei einer grundsätzlichen Umgestaltung des Raumes.
- Es werden in bestehende Leuchten auswechselbare Retrofit-Lampen eingesetzt.

Im **öffentlichen und gewerblichen Sektor** sind überwiegend Leuchten für stabförmige Leuchtstofflampen und in geringerem Maße Leuchten für Kompaktleuchtstofflampen und Hochdruck-Entladungslampen verbreitet.

- Sie sind mit relativ großen Lichtstromwerten bestückt und werden in der Regel zu mehreren in einer Beleuchtungsanlage betrieben.
- In der Regel dienen diese Leuchten vornehmlich dazu, Licht für die vorgegebene Beleuchtungsaufgabe in geeigneter Weise zu verteilen. Dabei können gestalterische Aspekte oder Aspekte der Arbeitssicherheit im Vordergrund stehen.

- Bezüglich raumgestalterischer Aspekte steht die Lichtwirkung tendenziell im Vordergrund, die Leuchten selbst stehen eher im Hintergrund.
- Ein Austausch der Leuchten ist in der Regel durch technische Gründe, wie z. B. auch ihre Energieeffizienz, veranlasst.
- Bei der Erneuerung der Beleuchtung stehen Aspekte der Lichtqualität und Wirtschaftlichkeit im Vordergrund.
- Ein Austausch von Leuchtmitteln gegen Retrofit-Leuchtmittel ist aus technischen und wirtschaftlichen Gründen eher die Ausnahme (siehe auch Kapitel [9.1.1](#) „LED [Light Emitting Diodes]“).

Es wird sich demnach langfristig entscheiden, ob sich z. B. bei der Neuinstallation der Beleuchtung im Wohnraumbereich solche Leuchtenformen zunehmend durchsetzen, die unabhängig von einer auswechselbaren Lampe gestaltet sind. Ein solcher Trend scheint derzeit bereits erkennbar zu sein.

Ebenso ändern sich derzeit die Geometrien der Deckensysteme für Zweckbauten. Die traditionellen quadratischen und rechteckigen Formen (z. B. 625 mm · 625 mm) sind für die technische Integration der Beleuchtung nicht mehr relevant, da die Einschränkung durch die Leuchtstofflampen-Längen entfällt. Denkbar ist, dass sich zukünftig Leuchten neuer Bauformen etablieren können, die sich an völlig anderen technischen Randbedingungen orientieren. Das jedoch wird ein Prozess sein, der sich Schritt für Schritt in der Wechselbeziehung von Architektur, Bautechnik und Leuchtenentwicklung vollziehen muss.

Aber auch neu zu erschließende lichttechnische Funktionen werden die Entwicklung der Beleuchtung in der nahen und fernerer Zukunft weiterhin maßgeblich prägen. Ein aktuelles Beispiel solch einer Entwicklung ist die TRILUX-Leuchtenbaureihe „Bicult“ (siehe auch Kapitel [4.3.2](#) „Co-Working und New Work“).

1.3 Energieeffizienz obligatorisch

Der mit großer Sicherheit wichtigste Aspekt für die schnelle Entwicklung und Verbreitung der LED ist ihre enorme Energieeffizienz.

- Schon sehr früh wurde erkannt, dass Lichtausbeuten von mehr als 100 lm/W schnell erreicht sein würden.
- Lichtausbeuten heutiger LED-Leuchten liegen bei bis zu 180 lm/W.
- Ihre maximal erreichbare Lichtausbeute liegt nahe bei 200 lm/W (siehe auch Kapitel [9.1.1](#) „LED [Light Emitting Diodes]“).

Ein relatives Einsparpotential um den Faktor 10 gegenüber matten Allgebrauchs-Glühlampen (<10 lm/W) und immerhin um mindestens den Faktor 3 gegenüber Halogen-Glühlampen (bis zu 30 lm/W) legte ein schrittweises Verbot dieser konventionellen Lichtquellen nahe. Das absolute Einsparpotential ist jedoch begrenzt, da z.B. Allgebrauchs-Glühlampen fast ausschließlich in Privathaushalten verwendet wurden und dort verhältnismäßig wenig künstliches Licht benötigt wird. Halogen-Glühlampen wurden auch in Verkaufsräumen, dort jedoch meistens in eng begrenzten Bereichen, eingesetzt.

Das in absoluten Zahlen größere Einsparpotential befand und befindet sich immer noch in der technischen Beleuchtung, also der Beleuchtung von Arbeitsstätten, Bildungseinrichtungen, Gesundheitseinrichtungen, Verkaufsräumen und weiteren öffentlichen Einrichtungen sowie den dazu gehörigen Außenbereichen.

Hohe Lichtbedarfe und lange Betriebszeiten bewirken hohe Energiebedarfe für die Beleuchtung, die sich durch den gezielten Einsatz effizienter Leuchten und deren bedarfsgerechter Steuerung mittels elektronischen Lichtmanagements drastisch reduzieren lassen. Ein offizielles Berechnungsverfahren für die sich ergebenden Energiebedarfe steht in der Bundesrepublik mit der DIN V 18599 zur Verfügung (siehe auch Kapitel [3.5.12](#) „Deutsche Vornorm DIN V 18599“).

Die Praxis zeigt, dass sich mit einer guten LED-Beleuchtungsanlage der Energiebedarf gegenüber Leuchtstofflampen in der Regel um einen Faktor 3 reduzieren lässt, mit zusätzlichem Lichtmanagement nicht selten um den Faktor 5, also auf 20% oder weniger (siehe Kapitel [3.4.3](#) „Sanierungsbeispiele“). Es ist also nicht verwunderlich, dass bei einer Neuinstallation die Entscheidung aus wirtschaftlichen Gründen heute nur zugunsten einer LED-Lösung ausfallen kann. Im nächsten Schritt ist dann über das passende Lichtmanagement zu entscheiden. Sofern die betreffende Baumaßnahme einen Energieausweis auf Basis der EnEV erfordert, sind hier gewisse Vorgaben zu berücksichtigen (siehe Kapitel [3.5.11](#) „Gebäude-Energie-Gesetz (GEG)“).

Häufig lässt sich jedoch, völlig unabhängig von äußeren Erfordernissen, allein mit den einzusparenden Energiekosten der Austausch der Beleuchtungsanlage rechtfertigen. Dies kann in der Praxis dann häufig zu einer rein durch Energiekosteneinsparungen motivierten Sanierung führen. Hinweise und Tools zu diesem Themenkreis sind in den weiteren Kapiteln des vorliegenden Buches enthalten (siehe z.B. Kapitel [3.4](#) „Licht und Wirtschaftlichkeit“).



1.4 Neue Machbarkeit: Human Centric Lighting

Technologischer Fortschritt soll dem Menschen dienen. Dieses Ziel verfolgen viele Anstrengungen, die in der jüngsten Vergangenheit von Forschern führender Hochschulen und Entwicklern der Beleuchtungsindustrie gemeinsam unternommen wurden.

Ausgangspunkt dazu ist die noch nicht einmal 20 Jahre alte wissenschaftliche Erkenntnis, durch welche Mechanismen das natürliche Licht unsere innere Uhr beeinflusst (siehe Kapitel [3.3.2](#) „Melanopische Wirksamkeit des Lichtes“). Diese führte zu der weiteren Erkenntnis, dass durch einen Mangel an Tageslicht sowie durch eine fehlgesteuerte Gabe künstlichen Lichtes der elementare Taktgeber unserer inneren Uhr beeinträchtigt werden kann. Die Frage, die sich stellt, ist folglich die, wie mit der künstlichen Beleuchtung die positive Wirkung des Tageslichtes unterstützt, einem Mangel ggf. entgegengewirkt und ein störender Einfluss minimiert werden kann.

Tatsächlich geht es darum, die Einflüsse der künstlichen Beleuchtung auf die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen zu optimieren. Ein gesamtheitlicher Planungsansatz dazu wird heute häufig mit dem Begriff „Human Centric Lighting“ identifiziert (siehe Kapitel [3.3.1](#) „Human Centric Lighting [HCL]“). Ein wichtiger Aspekt dieses Ansatzes ist die tageszeitliche Variation der künstlichen Beleuchtung, insbesondere hinsichtlich seiner spektralen Zusammensetzung.

Die Umsetzung solcher komplexen Anforderungen ist heute – dank des oben erwähnten technologischen Fortschritts – bei Verwendung spezifischer Leuchten und verfügbaren elektronischen Steuerungssystemen mit vertretbarem Aufwand möglich (siehe Kapitel [3.3.6](#) „Human Centric Lighting und Lichtplanung“).

1.5 Ausblick

Sowohl die Wechselwirkungen lichttechnischer Innovationen mit ihrem Anwendungsumfeld als auch deren Rückwirkungen auf die Gewohnheiten und berechtigten Ansprüche der Nutzer werden das Gefüge, in dem sich die Beleuchtungsbranche bewegt, weiter nachhaltig verändern.

Ein Beispiel aus der Vergangenheit zeigt diesen Zusammenhang. Der Farbwiedergabe-Index der Beleuchtung Ra wurde im Jahr 2011 im Rahmen der Überarbeitung der EN 12464-1 für viele industrielle Arbeitsstätten von 60 auf 80 angehoben. Dies basiert sicherlich auf aktuellen Erkenntnissen über die Erfordernisse der Farbwiedergabe am Arbeitsplatz und der Akzeptanz von qualitativer Beleuchtung. Aber auch die Vertretbarkeit des erforderlichen Aufwandes für eine entsprechende Lichtlösung spielt bei solchen Festlegungen immer eine Rolle. Moderne LED-Leuchten bieten hervorragende Farbwiedergabeeigenschaften und damit Lösungen für alle Anwendungsbereiche.

Heute werden bereits umsetzbare Verfahren genutzt, den integrativen Planungsansatz des „Human Centric Lighting“ in die Bewertung der Gebäudequalität aufzunehmen (siehe Kapitel [3.6](#) „Gebäudezertifizierung“). Auch in Gremien der Normung und der Arbeitssicherheitsbestimmungen haben Überlegungen über moderne, steuerbare Beleuchtungslösungen, z. B. auch unter Berücksichtigung des HCL-Ansatzes, längst Eingang gefunden und wurden zum Teil schon umgesetzt (siehe z. B. Kapitel [2.1.2](#) „Europäische Norm EN 12464-1“ oder [4.3.8](#) „Beleuchtungskonzepte“).

Insofern können wir optimistisch sein, dass dieses Wissen und die nützlichen Fortschritte technischer Beleuchtung weiter Einzug in unsere Arbeitsstätten erhalten und uns Menschen positiv im Alltag unterstützen.



LICHTTECHNISCHE KRITERIEN DER BELEUCHTUNG

Inhalt

2.0	Lichttechnische Kriterien der Beleuchtung	24
2.1	Regelwerke	24
2.2	Bereiche der Sehaufgabe	28
2.3	Umgebungsbereich	32
2.4	Beleuchtungsstärke	32
2.5	Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke	37
2.6	Leuchtdichteverteilung	38
2.7	Begrenzung der Blendung	42
2.8	Räumliche Beleuchtung, Lichtrichtung, Modelling	52
2.9	Lichtfarbe	54
2.10	Farbwiedergabe	55
2.11	Flimmern und stroboskopische Effekte	56
2.12	Tageslicht	58

2.0

LICHTTECHNISCHE KRITERIEN DER BELEUCHTUNG

2.1

Regelwerke

Licht ist – unter anderem – Voraussetzung für das Sehen, den dominierenden Teil menschlicher Wahrnehmung. Schon deshalb ist die Antwort auf die Frage, was gutes Licht sei, so vielfältig wie die individuelle Wahrnehmung und Erfahrung.

Will man die Qualität des Lichtes jedoch in Bezug auf bestimmte Aspekte der Wahrnehmung – z. B. die Erfüllung einer Sehaufgabe – beurteilen, kann man die Kriterien der Bewertung eingrenzen.

Diese können als quantitative und qualitative Qualitätskriterien der Beleuchtung in Regelwerke eingehen, um z. B. Grenzwerte zur Wahrung einer erforderlichen Mindestqualität der Beleuchtung festzulegen.

Solche Regelwerke liegen auf internationaler, europäischer und nationaler Ebene in Form von technischen Informationsschriften, Normen und Gesetzestexten vor.

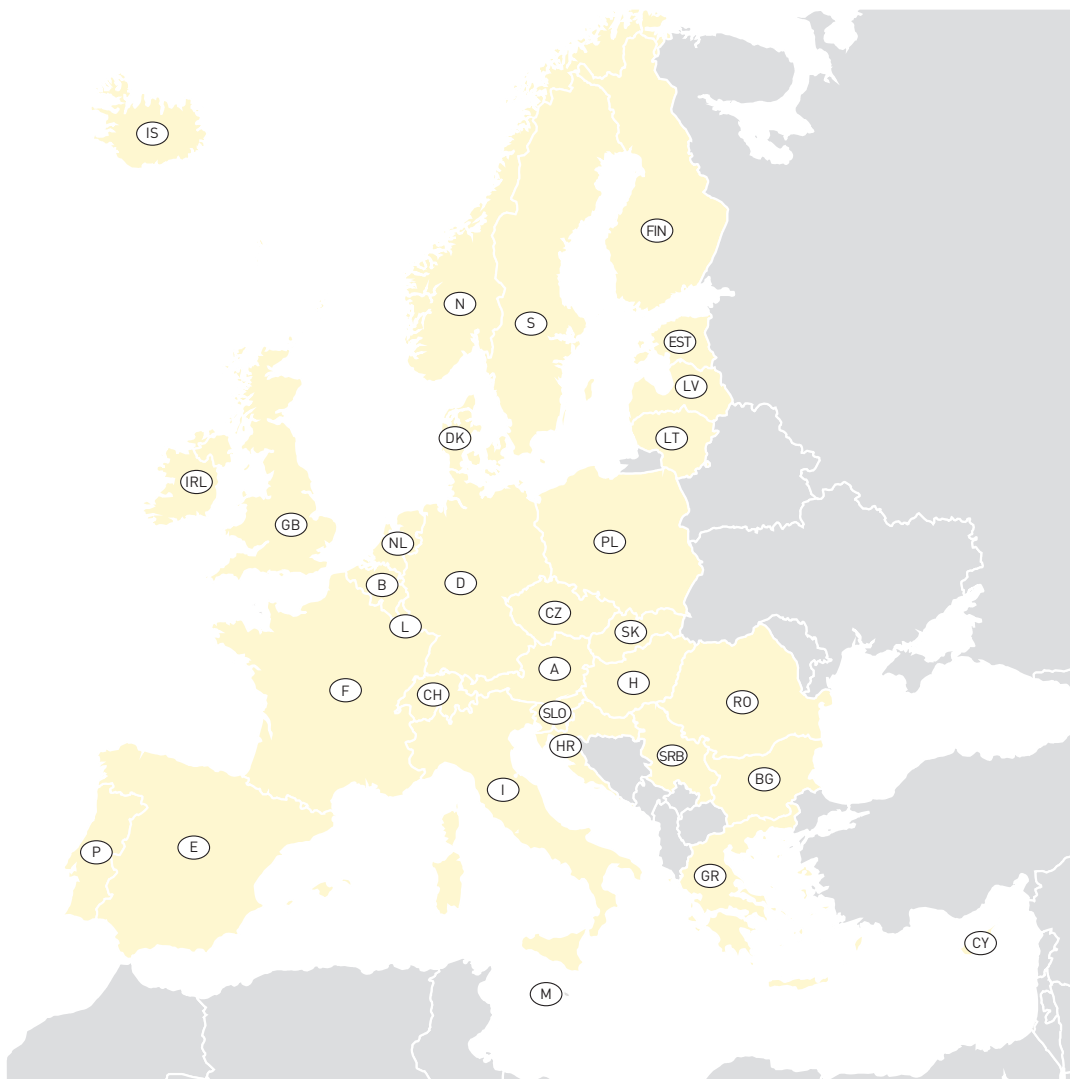


Abbildung 2.1: Die CEN-Staaten in Europa¹

¹CEN steht für Comité Européen de Normalisation (europäisches Normenkomitee). CEN-Mitglieder sind gegenwärtig die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Nordmazedonien, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Serbien, Schweden, der Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich von Großbritannien und von Zypern.

2.1.1 Europäische und nationale Normen

Europäische Normen definieren die relevanten Grundbegriffe, Messvorschriften und darauf basierende Qualitätsmerkmale der Beleuchtung.

Wesentliche Bereiche der künstlichen Beleuchtung sind erfasst, wie z. B. durch die Normen

- zu grundlegenden Begriffen und Kriterien für die Beleuchtung EN 12665 (Ausgabe von 2018 [53]),
- zur Messung und Darstellung photometrischer Daten von Lampen und Leuchten EN 13032 (Teile 1 bis 3 [54][55][56]),
- zur Messung und Darstellung von elektrischen, photometrischen und farbmetrischen Größen von LED-Lampen, -Modulen, -Light-Engines und -Leuchten beim Betrieb mit Wechsel- oder Gleichspannung EN 13032-4 (Ausgabe von 2019),
- zur Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen EN 12464-1 (überarbeitete Ausgabe von 2021 [51]),
- zur Beleuchtung von Arbeitsplätzen im Freien EN 12464-2 (überarbeitete Ausgabe von 2014 [52]),
- zur Sportstättenbeleuchtung EN 12193 (überarbeitete Ausgabe von 2019 [50]),
- zur Notbeleuchtung EN 1838 (Ausgabe von 2019 [58]).

Mindestanforderungen werden für unterschiedlichste Sehaufgaben festgelegt und gelten in Europa einheitlich.

Dennoch werden diese Normen, z. B. die Norm EN 12464-1 „Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen“ [51]

- in Deutschland unter DIN EN 12464-1,
- in Österreich unter ÖNORM EN 12464-1,
- in Großbritannien unter BS EN 12464-1,
- in Frankreich unter NF EN 12464-1,
- in Spanien unter UNE-EN 12464-1,
- in der Schweiz unter SN EN 12464-1 und
- in den Niederlanden als NEN EN 12464-1 als nationale Normen veröffentlicht.

Wegen der für die CEN-Staaten geltenden Übernahmeverpflichtung ist im Folgenden nur von EN-Normen und nicht von deren nationalen Umsetzungen die Rede (siehe auch die Normen im Kapitel 10 „Anhang“). Weitere nationale Normen können im Einzelfall zusätzlich zu berücksichtigen sein. Sie dürfen geltenden europäischen Normen jedoch in keinem Punkt widersprechen, sondern diese nur ergänzen.

Alle Aussagen über die Beleuchtung für Sehaufgaben in Arbeitsstätten und Sportstätten beziehen sich in diesem Buch vornehmlich auf die oben genannten europäischen Normen. In den anwendungsspezifischen Kapiteln wird ggf. auf die wichtigsten zusätzlichen Bestimmungen, wie z. B. die DIN 5035-3 [10] im Bereich des Gesundheitswesens, hingewiesen.

2.1.2 Europäische Norm EN 12464-1

Die Norm EN 12464-1 [51] repräsentiert den aktuellen Stand der Entwicklung im Bereich der Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen. Die hier festgelegten quantitativen und qualitativen Kriterien der Beleuchtungsqualität sind auf das Bedürfnis der Menschen

- nach Sehkomfort, der das Wohlbefinden und die Leistungsbereitschaft fördert,
- nach Sehleistung, die auch unter schweren Bedingungen die Ausführung der Sehaufgabe erlaubt, und
- nach Sicherheit und Unversehrtheit ausgerichtet.

Die in diesem Zusammenhang wichtigsten Kriterien sind:

- Leuchtdichteverteilung
- Beleuchtungsstärke
- Direkt- und Reflexblendung
- Lichtrichtung, räumliche Beleuchtung
- Lichtfarbe und Farbwiedergabe
- Flimmern
- Variabilität des Lichtes in Niveau und Farbe

Die Norm enthält detaillierte Angaben zu den in spezifischen Anwendungen erforderlichen Beleuchtungsanforderungen. Konkrete, in Zahlen ausgedrückte Anforderungen schaffen dabei hohe Planungssicherheit.

Die Einhaltung der Mindestwerte ist Voraussetzung für die Erfüllung der Sehaufgabe. Nur bei Beachtung aller Kriterien kann eine Beleuchtungsanlage den gestellten Anforderungen genügen. Je nach Art und Schwierigkeit der Sehaufgabe bzw. je nach Raumart kann dem einen oder anderen Kriterium eine höhere Priorität zugebilligt werden.

Für die Wartungswerte der Beleuchtungsstärke \bar{E}_m ist in der aktuellen Ausgabe der EN 12464-1 [51] für viele Anwendungen neben einem Mindestwert erstmals auch ein modifizierter Wert angegeben. Dieser um bis zu zwei Stufen der Beleuchtungsstärke erhöhte Wert berücksichtigt sogenannte Kontextmodifikatoren und wird für die Planung und Installation der Beleuchtungsanlage empfohlen. So wird gewährleistet, dass bei Bedarf z.B. den erhöhten Anforderungen veränderter Sehaufgaben oder der verringerten Sehleistung eines Nutzers höheren Alters entgegen gewirkt werden kann (siehe auch Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“).



Abbildung 2.2

In dem Zusammenhang wird eine Anpassung der Beleuchtung empfohlen bzw. ein Lichtmanagement, mit dem das erhöhte Lichtniveau bei Bedarf aufgerufen werden und des Weiteren ein energiesparender Betrieb sichergestellt werden kann.

Im informativen Anhang B gibt die EN 12464-1 allgemeine Hinweise zur Berücksichtigung der nicht-visuellen Wirkungen des Lichtes. Konkretisiert werden diese in der deutschen DIN/TS 5031-100 [47] und DIN SPEC 67600 [48] (siehe auch Kapitel 3.3 „Licht und nicht-visuelle Wirkungen“). Die oben genannte Dimmbarkeit der Beleuchtung ist auch in diesem Zusammenhang, oft als „Human Centric Lighting“ bezeichnet, empfehlenswert (siehe auch Kapitel 3.3.6 „Human Centric Lighting und Lichtplanung“).

2.1.3 Europäische Harmonisierung

Normung

Nationale Normen abzubauen und eine umfassende europäische Normung aufzubauen, ist das Ziel der europäischen Harmonisierung der Normung, die für die Beleuchtung weitgehend umgesetzt ist.

Einheitliche Anforderungen bestehen in Europa z.B. für die Beleuchtung von

- Büros (siehe Kapitel 4.3),
- Unterrichtsstätten (siehe Kapitel 4.9),
- industriellen und handwerklichen Arbeitsplätzen (siehe Kapitel 4.2),
- Krankenhäusern (siehe Kapitel 4.5),
- Verkehrsbereichen (siehe Kapitel 4.1.1).

Die erste Ausgabe der EN 12464-1 [51] ist im Jahr 2003 erschienen. Bis heute erschienen zwei Aktualisierungen in den Jahren 2011 und 2021 (siehe oben).

Arbeitsschutz

Neben den Normen, die den allgemein anerkannten Stand der Technik repräsentieren, mussten

Abbildung 2.2: Die grundlegenden Kriterien der Beleuchtungsqualität in Arbeitsstätten nach EN 12464-1 [51]

in Europa auch die Richtlinien 89/654/EWG [148] und 92/58/EWG [150] über Mindestvorschriften über den Sicherheits- und Gesundheitsschutz in Arbeitsstätten bzw. am Arbeitsplatz in nationales Recht umgesetzt werden. In Deutschland erfolgte dies durch die Arbeitsstättenverordnung – (ArbStättV vom 24.8.2004, Einzelheiten siehe Kapitel 3.2 „Licht und Arbeitsschutz“). Ein wesentliches Hilfsmittel für die praktische Umsetzung der ArbStättV [149] sind die „Technischen Regeln für Arbeitsstätten ASR (früher als Arbeitsstätten-Richtlinien ASR bezeichnet). Für die Beleuchtung sind im April 2011 die Technischen Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.4 „Beleuchtung“ [110] und im Juni 2011 die ASR A3.4/3 „Sicherheitsbeleuchtung, optische Sicherheitsleitsysteme“ [111] erschienen, welche die bis dahin gültigen Arbeitsstätten-Richtlinien ablösen.

Im Verhältnis zu den Beleuchtungsnormen, die sich auf die Erfüllung der Sehauflage beziehen, definieren die „Technischen Regeln für Arbeitsstätten“ die Erfordernisse der Arbeitssicherheit und des Gesundheitsschutzes. In vielen Fällen sind die gefundenen Mindestanforderungen identisch, in Einzelfällen unterscheiden sie sich jedoch. Auf etwaige Abweichungen bzgl. der Festlegungen der Beleuchtungsanforderungen wird im Folgenden hingewiesen. Die sich ergebenden praktischen Anforderungen werden in den anwendungsspezifischen Kapiteln behandelt.

2.1.4 Internationale Norm

Die internationale Norm ISO 8995-1 „Beleuchtung von Arbeitsplätzen – Teil 1: Innenräumen“ (Ausgabe von 2002 [105]) behandelt ebenfalls die Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen. Sie ist von der Internationalen Beleuchtungskommission (CIE) als CIE-Standard S 008/E [162] in englischer Sprache erarbeitet und der International Organisation for Standardisation (ISO) als Entwurf für einen ISO Standard zur Verfügung gestellt und dort veröffentlicht worden.

Im Vergleich zur europäischen Norm EN 12464-1 [51] enthält sie jedoch weit weniger detaillierte Angaben zu den in spezifischen Anwendungen erforderlichen Qualitätskriterien der Beleuchtung. Konkrete Zahlenwerte für lichttechnische Anforderungen werden nicht gegeben.

Die ISO 8995-1 wird derzeit durch einen Gemeinschaftsausschuss von ISO/TC 274 und CIE (JWG 5) überarbeitet und um die neuen Erkenntnisse im Bereich Licht ergänzt.

Eine internationale Norm zur Berücksichtigung der nicht-visuellen Wirkung des Lichts (siehe 2.1.2 „Europäische Norm EN 12464-1“) wird derzeit im Normenausschuss ISO/TC 274/CIE (JWG 4) erarbeitet.

Es besteht keine Übernahmeverpflichtung der genannten ISO-Normen als nationale Normen.

2.1.5 Weitere Regelwerke

Neben den in europäischen und nationalen Normen und Regelwerken, den EU-Richtlinien bzw. deren national umgesetzten Rechtsvorschriften enthalten auch die Empfehlungen der Lichttechnischen Gesellschaften der Länder (siehe auch Kapitel 10, „Anhang“) Hinweise für die Planung der Beleuchtung, so z. B.

- in Deutschland von der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft e. V. (LiTG),
- in Frankreich von der Association Française de l'Eclairage (AFE),
- in Großbritannien der Code for Lighting von der Society of Light and Lighting (SLL), einem Teil von The Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE),
- in Österreich von der Lichttechnischen Gesellschaft Österreichs (LTG),
- in der Schweiz von der Schweizerischen Lichtgesellschaft (SLG),
- in den Niederlanden von der Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde (NSvV) und
- in Italien von der Associazione Italiana di Illuminazione (AIDI).

2.2 Bereiche der Sehaufgabe

Die europäischen Beleuchtungsnormen beschreiben die Erfordernisse zur Erfüllung spezifischer Sehaufgaben. Die räumlichen Bereiche, in denen diese zu verrichten sind, werden als „Bereiche der Sehaufgaben“ bezeichnet.

Der Bereich der Sehaufgabe ist gemäß EN 12464-1 [51] der Teil des Arbeitsplatzes bzw. der räumliche Bereich im Arbeitssystem, in dem sich die Sehaufgabe befindet. Dabei kann er sich über einen gesamten Raum oder über Teile eines Raumes erstrecken. Grundsätzlich sind alle Bereiche eines Raumes zu berücksichtigen, in denen die Sehaufgabe auftreten kann. Insofern sind nach EN 12464-1 alle Raumflächen, auf denen Arbeitsplätze grundsätzlich angeordnet werden können, als Bereich der Sehaufgabe zu beleuchten.

In vielen Fällen wird eine adäquate Beleuchtung der Bereiche der Sehaufgaben sehr zufriedenstellend durch eine Allgemeinbeleuchtung im Raum sichergestellt. Das trifft z. B. in industriellen und handwerklichen Arbeitsstätten auf den überwiegenden Teil des Arbeitsraumes zu.

Ein wesentlicher Vorteil gegenüber einer zonalen, auf separate Bereiche der Sehaufgabe bezogenen Beleuchtung (siehe unten) ist die zusätzliche Freizügigkeit in der Raumnutzung und der ohne Veränderung der Beleuchtungsanlage veränderbaren Anordnung der Arbeitsplätze. Dazu wird der gesamte Raum, in der Regel abzüglich eines Randbereiches von 0,5 m Breite, als ein zusammenhängender Bereich der Sehaufgabe angenommen (siehe auch Kapitel 2.5 „Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke“).

Für die Beleuchtung separater Bereiche der Sehaufgabe müssen vom Planer Größe und Lage der Sehaufgabe (die horizontal, vertikal oder auch geneigt sein kann) und die örtliche Positionierung der verbindlich festgelegten Arbeitsplätze und der dort vorgesehenen Arbeitsaufgaben ermittelt werden, um die Sehleistung und den Sehkomfort am Arbeitsplatz zu gewährleisten. In der

Praxis ist dies häufig schwierig, weil zum Zeitpunkt der Beleuchtungsplanung die genaue Anordnung der Arbeitsplätze noch nicht festgelegt ist. Andererseits ergeben sich durch Konzentration der Beleuchtung auf begrenzte Bereiche der Sehaufgabe Möglichkeiten der Einsparung von Energie- und Investitionskosten.

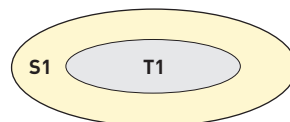
Die Bestimmung der räumlichen Ausdehnung des Bereiches der Sehaufgabe innerhalb des Arbeitsplatzes wird durch die folgende Interpretation erleichtert.

Der Arbeitsplatz ist der räumliche Bereich, in dem die Arbeitsaufgabe verrichtet wird. Er setzt sich zusammen aus

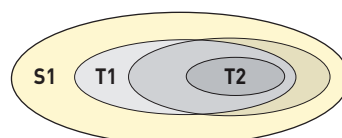
- den Arbeitsflächen, die horizontal, vertikal oder geneigt sein können,
- den Flächen, auf denen die dem unmittelbaren Fortgang der Arbeit dienenden Arbeitsmittel angeordnet sind,
- den Flächen, die bei der funktions- und sachgerechten Ausübung der jeweiligen Tätigkeit für den Benutzer zusätzlich erforderlich sind, und
- dem unmittelbaren Fortgang der Arbeit dienenden Lagerflächen.

Der Arbeitsplatz kann aus einem oder mehreren Bereichen der Sehaufgabe mit sogar unterschiedlichen visuellen und beleuchtungstechnischen Anforderungen bestehen, und zwar aus

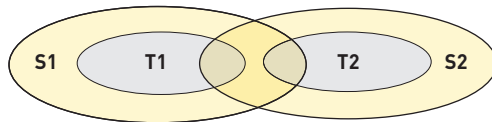
- nur einem Bereich der Sehaufgabe,



- ineinander verschachtelten Bereichen der Sehaufgabe T1 und T2 oder



- benachbarten Bereichen der Sehaufgabe T1 und T2.



Jedem Bereich der Sehaufgabe (T engl. task area) ist ein entsprechender (unmittelbarer) Umgebungsbereich (S engl. surrounding area) mit geringeren Anforderungen an die Beleuchtung zugeordnet. Die Abbildungen [2.3](#) bis [2.7](#) sollen dies erläutern.

Insbesondere ist zu beachten, dass der Bereich der Sehaufgabe und der angrenzende geringer beleuchtete Umgebungsbereich räumlich nicht zu eng angesetzt werden und damit eine hinreichend ausgewogene Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld gewährleistet ist (siehe Kapitel [2.4.5](#) „Hintergrundbeleuchtung“).

Abweichend von der Norm EN 12464-1 [\[51\]](#) definiert die Technische Regel für Arbeitsstätten ASR A3.4 „Beleuchtung“ [\[110\]](#) einen „Bereich des Arbeitsplatzes“, der sich aus den Arbeitsflächen und den Bewegungsflächen zusammensetzt,

wobei Bewegungsflächen zusammenhängende unverstellte Bodenflächen sind, die „mindestens erforderlich sind, um den Beschäftigten bei ihrer Tätigkeit wechselnde Arbeitshaltungen sowie Ausgleichsbewegungen zu ermöglichen“.

Weitere Konkretisierungen werden in den anwendungsspezifischen Kapiteln gegeben.



Abbildung 2.3: Arbeitsplatz mit einem Bereich der Sehaufgabe, z. B. ein Kassensystem, in dem horizontale Sehaufgaben beim Erkennen der Ware und des Geldes und Sehaufgaben am Bildschirm der Kasse vorliegen. Der Umgebungsbereich umgibt den Kassensystemarbeitsplatz.



Abbildung 2.4: Büroarbeitsplatz am Empfang mit horizontalen Sehaufgaben auf der Tischfläche und vertikalen Sehaufgaben an den Bildschirmen. Zusätzlich ist ein weiträumig ausgewogenes Verhältnis der horizontalen zur vertikalen Beleuchtungsstärke (Modelling) im Kommunikationsbereich vor und hinter dem Empfangstisch erforderlich.

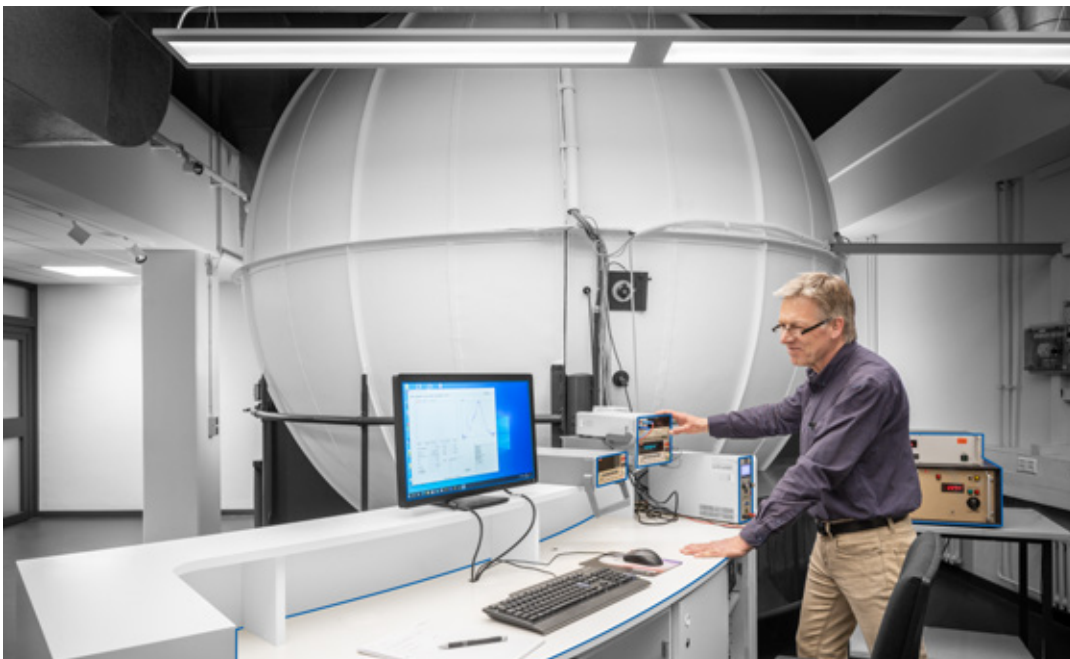


Abbildung 2.5: Seh- bzw. Arbeitsaufgaben an einem Arbeitsplatz im lichttechnischen Labor.

Abbildung 2.6: Arbeitsplatz mit Bildschirmen und benachbarten Bereichen der Sehaufgabe, die unterschiedliche Beleuchtungsniveaus erfordern, und überlappenden Umgebungsbereichen. Für feine Montagearbeiten ist eine Zusatzbeleuchtung installiert, die manuell dem individuellen Bedarf angepasst werden kann.



Abbildung 2.7: Bereiche der Sehaufgabe im Büro: Bildschirmarbeit und Lesetätigkeit auf der Tischfläche und an Schrank- und Regalflächen, sowie ein Besprechungsbereich. Der Umgebungsbereich erfasst den gesamten Raum bis 0,5 m vor die Wände.



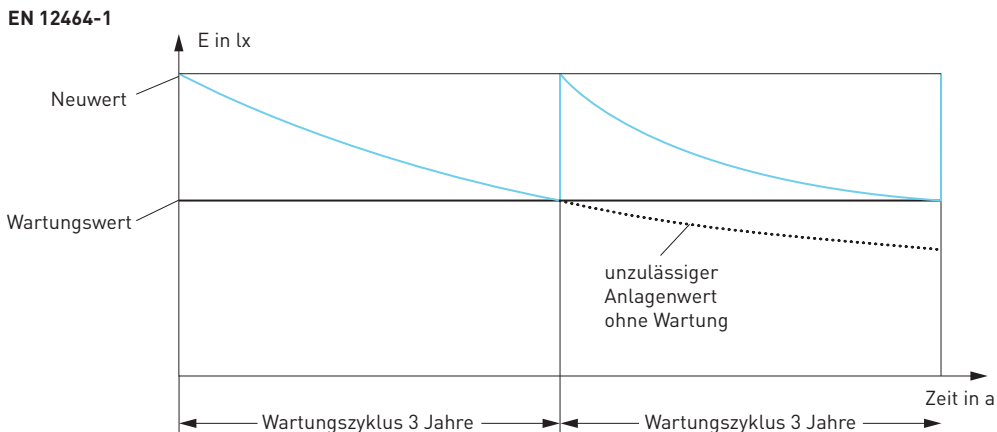


Abbildung 2.8: Abnahme der mittleren Beleuchtungsstärke im Laufe der Betriebszeit der Anlage am Beispiel eines dreijährigen Wartungszyklus.

2.3 Umgebungsbereich

Auch für die Bereiche außerhalb der Sehaufgabe legen die Regelwerke der Beleuchtung Gütewerte fest. Dies ist wesentlich damit begründet, dass die Leuchtdichteverteilung im gesamten Gesichtsfeld den Adaptationszustand und damit die Sehleistung bestimmt.

In der EN 12464-1 [51] wird angrenzend an den Bereich der Sehaufgabe dessen unmittelbarer Umgebungsbereich definiert. Er umfasst im Gesichtsfeld befindliche Flächen um den Bereich der Sehaufgabe von mindestens 0,5 m Breite. Dann folgt der Hintergrund, für den EN 12464-1 ebenfalls lichttechnische Festlegungen enthält (siehe Kapitel 2.4.5 „Hintergrundbeleuchtung“).

Der unmittelbare Umgebungsbereich darf um eine Stufe der Beleuchtungsstärke geringer beleuchtet werden als der Bereich der Sehaufgabe. Dazu und zu der über den unmittelbaren Umgebungsbereich hinausgehenden Beleuchtung im Raum siehe Kapitel 2.6 „Leuchtdichteverteilung“ und 2.4.4 „Beleuchtungsstärke des unmittelbaren Umgebungsbereiches“.

Die Technische Regel für Arbeitsstätten ASR A3.4 [110] unterscheidet abweichend von der EN 12464-1 [51] nicht zwischen unmittelbarer Umgebung und Hintergrund. Die Umgebung erstreckt sich aus Sicht dieses Regelwerkes bis zum angren-

zenden Verkehrsweg oder der Wand (siehe auch Kapitel 3.2.3 „Anforderungen an den Arbeitsschutz in Deutschland“ und 4.3.13 „Schaufgaben und Arbeitsbereich“).

2.4 Beleuchtungsstärke

Das Beleuchtungsniveau an einem Ort wird für die Innenbeleuchtung im Allgemeinen durch die Beleuchtungsstärke beschrieben. Durch die Reflexion bewirkt sie Leuchtdichten auf Oberflächen und damit einen Helligkeitseindruck, der die visuelle Leistung bestimmt. Sie ist in diesem Zusammenhang der wichtigste beleuchtungstechnische Planungswert. Die Höhe der benötigten Beleuchtungsstärke bestimmt maßgeblich Art und Anzahl der einzusetzenden Leuchten und damit den Energieaufwand für die Beleuchtung.

Infolge der Alterung der Leuchtmittel sowie der Verschmutzung von Leuchten und Raum verringert sich die Beleuchtungsstärke mit zunehmender Betriebszeit (siehe Abbildung 3.1). In der Planung wird diese Abnahme mit dem Wartungsfaktor erfasst.

Um sicherzustellen, dass die geforderten Mindestwerte der Beleuchtungsstärke auch unter Betriebsbedingungen der Beleuchtungsanlage nicht unterschritten werden, sind die in der europäischen Norm EN 12464-1 [51] empfohlenen

Beleuchtungsstärkewerte als Wartungswerte \bar{E}_m definiert (die Abkürzung \bar{E} kennzeichnet mit dem Querstrich den örtlichen Mittelwert, der Index m – aus dem englischen Wort maintained abgeleitet – den Wartungswert der Beleuchtungsstärke).

Zu dem Zeitpunkt, an welchem der Wartungswert der Beleuchtungsstärke erreicht wird, muss eine Wartung und ggf. auch eine Instandsetzung der Anlage erfolgen. Um die gegebene Abnahme kompensieren zu können, muss eine Neuanlage zunächst einen erhöhten Wert der Beleuchtungsstärke aufweisen (Neuwert).

Der einer Planung zugrunde zu legende Neuwert der Beleuchtungsstärke ergibt sich aus dem Wartungswert und dem Wartungsfaktor:

Neuwert = Wartungswert/Wartungsfaktor

Die Bezeichnung „Mindestwert der Beleuchtungsstärke“ in der Technischen Regel für Arbeitsstätten ASR A3.4 [110] mit der Darstellung \bar{E}_m entspricht dem Wartungswert der Norm EN 12464-1 [51].

2.4.1 Beleuchtungsstärke \bar{E}_m im Bereich der Sehaufgabe

Die in der europäischen Norm EN 12464-1 [51] festgelegten Wartungswerte der Beleuchtungsstärke beziehen sich grundsätzlich auf die Bewertungsfläche im Bereich der Sehaufgabe, die horizontal, vertikal oder geneigt sein kann. Unabhängig vom Alter und Zustand der Beleuchtungsanlage darf die mittlere Beleuchtungsstärke für die jeweilige Sehaufgabe nicht unter den Wartungswert sinken.

Gemäß der Technischen Regel für Arbeitsstätten ASR A3.4 [110] ist als Bewertungsfläche der Bereich des Arbeitsplatzes zu verstehen (siehe Kapitel 3.2.3 „Anforderungen an den Arbeitsschutz in Deutschland“). Die Zahlenwerte der geforderten Beleuchtungsstärken der ASR A3.4 stimmen mit den Mindestanforderungen in

DIN EN 12464-1 – mit wenigen Ausnahmen – weitgehend überein.

Neben dem Mindestwert gibt die Norm DIN EN 12464-1 [51] jedoch auch einen modifizierten, höheren Wert der Beleuchtungsstärke an. Dieser beruht auf der Berücksichtigung von anwendungsspezifischen Kontextmodifikatoren. Damit sind Abweichungen zu üblichen Sehbedingungen gemeint, deren Auftreten typischerweise an einem gegebenen Arbeitsplatz zu erwarten sind. Dazu gehört z. B. die – ggf. zeitweise – Besetzung des Arbeitsplatzes durch einen älteren Mitarbeiter mit verringerter Sehleistung oder auch das Auftreten von Arbeiten mit erhöhter Detailgenauigkeit. Das Ermittlungsverfahren wird im folgenden Abschnitt erläutert.

Die modifizierten Werte werden jeweils in der Spalte b) der Tätigkeitstabellen der DIN EN 12464-1 (siehe Kapitel 4 „Anforderungen an die Beleuchtung“) angegeben und für die Planung empfohlen. Um flexibel auf wechselnde Lichtbedarfe reagieren zu können und gleichzeitig den Energiebedarf zu reduzieren, wird die Einrichtung eines Lichtmanagements empfohlen (siehe Kapitel 8 „Lichtmanagement“).

2.4.2 Stufen der Beleuchtungsstärke

Unter üblichen Beleuchtungsbedingungen sind ungefähr 20 lx notwendig, um ansatzweise Gesichtszüge erkennen zu können. Dies ist daher der niedrigste Wert der für Arbeitsstätten gültigen Beleuchtungsstärken-Skala.

Ein Faktor von ungefähr 1,5 stellt den kleinsten signifikanten Unterschied dar für eine gerade wahrnehmbare und hinsichtlich der visuellen Leistung wirksame Beleuchtungsstärken-Änderung.

Daraus leitet sich die empfohlene Beleuchtungsstärken-Skala mit folgenden Stufen (in lx) ab: 20 · 30 · 50 · 75 · 100 · 150 · 200 · 300 · 500 · 750 · 1.000 · 1.500 · 2.000 · 3.000 · 5.000.

Die in der Norm für alle Sehaufgaben festgelegten Wartungswerte orientieren sich an diesen Stufen. Sie sind Mindestwerte und als Kompromiss aus dem physiologisch, psychologisch und ergonomisch Notwendigen und dem wirtschaftlich Vertretbaren zu verstehen.

- In Räumen oder Raumzonen, die dem ständigen Aufenthalt von Personen dienen, ist ein Wartungswert der Beleuchtungsstärke von mindestens 100 lx erforderlich.
- An ständig besetzten Arbeitsplätzen in Gebäuden ist grundsätzlich ein Wartungswert der Beleuchtungsstärke von mindestens 200 lx vorzusehen.²

Die Mindestwerte der Beleuchtungsstärke berücksichtigen dabei folgende Faktoren für übliche Sehbedingungen

- psychologische und physiologische Aspekte wie Sehkomfort und Wohlbefinden
- Anforderungen der Sehaufgabe
- visuelle Ergonomie
- praktische Erfahrung
- Sicherheit
- Wirtschaftlichkeit

Der Wartungswert der Beleuchtungsstärke sollte jedoch höher geplant werden, wenn

- die Sehaufgabe für den Arbeitsablauf kritisch ist,
- die Behebung von Fehlern zu erhöhten Kosten führt,
- Genauigkeit oder höhere Produktivität von großer Bedeutung sind,
- die Sehaufgabe besonders kleine Details oder besonders niedrige Kontraste aufweist,
- die Sehaufgabe für eine besonders lange Zeit ausgeführt werden muss,
- der Bereich der Sehaufgabe oder Tätigkeit über wenig Tageslicht verfügt,
- das Sehvermögen der arbeitenden Person unter dem Durchschnitt liegt.

Der Wartungswert der Beleuchtungsstärke darf gemäß EN 12464-1 [51] dann niedriger gewählt werden, wenn

- die Sehaufgabe besonders große Details oder besonders hohe Kontraste aufweist,

- die Sehaufgabe nur besonders kurzzeitig ausgeführt wird.

Abbildung 2.9 enthält ein Schema zur Bestimmung des Wartungswertes der Beleuchtungsstärke aufgrund von JA/NEIN-Entscheidungen bezüglich der in EN 12464-1 [51] aufgeführten Kriterien, der sogenannten Kontextmodifikatoren, für erschwerte bzw. erleichterte Sehbedingungen.

- Man **beginnt im oberen Schema** mit der für den Bereich der Sehaufgabe festgelegten Mindestwert für den Wartungswert der Beleuchtungsstärke \bar{E}_m .
- Sind **keine** von den üblichen Bedingungen **abweichenden** Sehbedingungen an dem betreffenden Arbeitsplatz zu erwarten, kann der Wert von \bar{E}_m beibehalten werden.
- Sind **eine oder zwei** von den üblichen Bedingungen **abweichende** Sehbedingungen an dem betreffenden Arbeitsplatz zu erwarten, ist der Wert von \bar{E}_m um **eine Stufe zu erhöhen**.
- Sind **mehr als zwei** von den üblichen Bedingungen **abweichende** Sehbedingungen an dem betreffenden Arbeitsplatz zu erwarten, ist der Wert von \bar{E}_m um **zwei Stufen zu erhöhen**.
- Man übernimmt den so ermittelten Wert, um die Bewertung im **unteren Schema fortzusetzen**.
- Sind **keine** der genannten **abweichenden** Sehbedingungen an dem betreffenden Arbeitsplatz zu erwarten, kann der Wert von \bar{E}_m beibehalten werden.
- Sind **eine oder zwei** der genannten **abweichenden** Sehbedingungen an dem betreffenden Arbeitsplatz zu erwarten, ist der Wert von \bar{E}_m um **eine Stufe zu reduzieren**.

Werden an ortsfesten Arbeitsplätzen im Freien Tätigkeiten verrichtet, die den Tätigkeiten in Innenräumen entsprechen, z.B. Arbeiten an Holzbearbeitungsmaschinen, ist dort eine für diese Tätigkeit in Innenräumen in EN 12464-1 [51] vorgegebene Beleuchtungsstärke vorzusehen.

² Es sei denn, dass betriebliche oder physiologisch-optische Gründe eine Abweichung erfordern, z. B. in den Dunkelkammern von Fotolaboratorien.

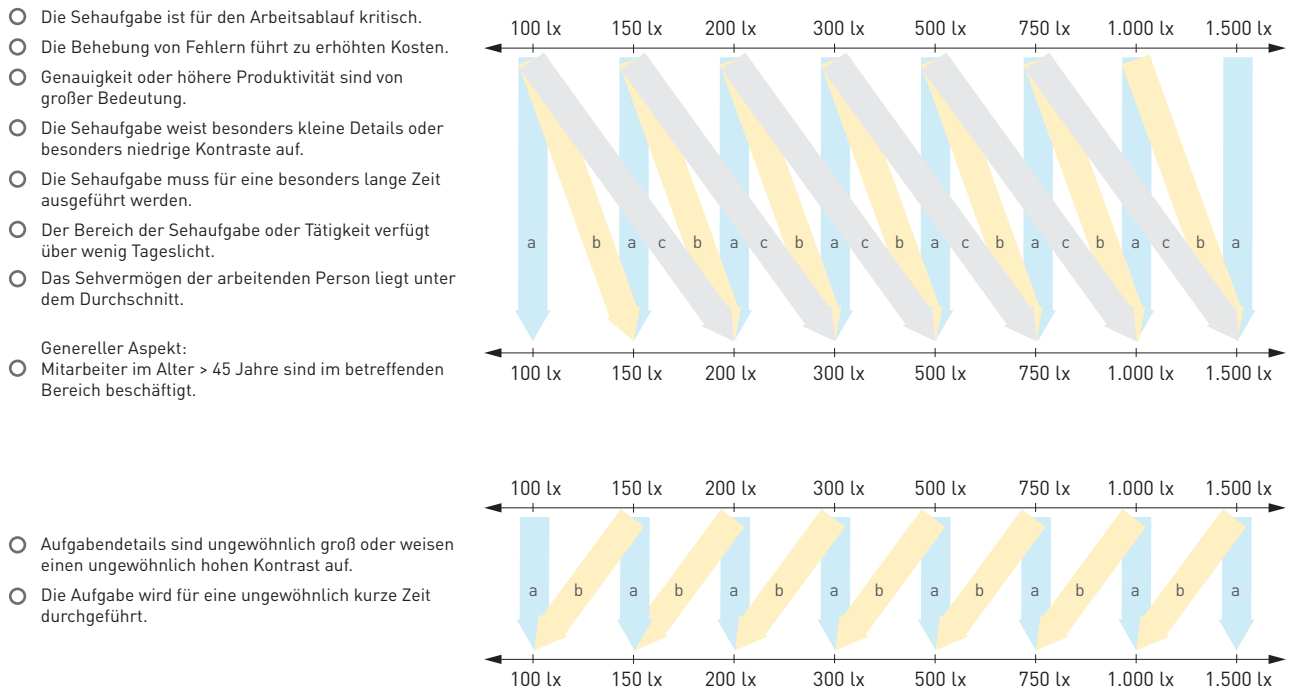


Abbildung 2.9: Schema zur Bestimmung des Wartungswertes der Beleuchtungsstärke \bar{E}_m aufgrund von Kontextmodifikatoren.

• **Oberes Schema:**

- a keine Erhöhung, wenn kein Kontextmodifikator zutrifft
- b Erhöhung um eine Stufe, wenn bis zu zwei Kontextmodifikatoren zutreffen
- c Erhöhung um zwei Stufen, wenn mehr als zwei Kontextmodifikatoren zutreffen

• **Unteres Schema:**

- a keine Absenkung, wenn kein Kontextmodifikator zutrifft
- b Absenkung um eine Stufe, wenn bis zu zwei Kontextmodifikatoren zutreffen

Das Schema ist grundsätzlich auch auf niedrigere und höhere Mindestwerte von \bar{E}_m anzuwenden.

2.4.3 Beispiele für besondere Sehbedingungen (Erläuterungen zum Schema in Abbildung 2.9):

- Für den Arbeitsablauf besonders kritisch, also von besonderer Bedeutung, sind Arbeiten in toxikologischen Laboratorien oder ähnlichen Arbeitsstätten, in denen mit gefährlichen Stoffen umgegangen wird oder die besondere Bedingungen hinsichtlich Gesundheitsschutz der Mitarbeiter oder besonders hohe Anforderungen an Reinheit und Sorgfältigkeit, z.B. auch hinsichtlich der verarbeiteten Stoffe, aufweisen. Auch zeitlich getaktete Tätigkeiten können für den Arbeitsablauf kritisch sein, wenn sie nicht zuverlässig ausgeführt und damit Folgeprozesse behindert werden. Sehfehler wirken sich mit hohen Konsequenzen auf die Menschen, auf die Produktion und auf das Unternehmen aus.
- Je nach Einfluss von Seh- und damit Arbeitsfehlern können erhebliche zusätzliche betriebliche Kosten entstehen. Zum Beispiel wenn Materialfehler beim Zuschneiden von Leder trotz vorheriger Kontrolle übersehen wer-

den, sehbedingte Fehler in fabrikatorischen Vorstufen hohe Kosten in den Weiterbearbeitungsprozessen auslösen. Auch Fehler beim Lesen von Zahlen verursachen unter Umständen hohe Kosten, wenn diese falsch erkannten Zahlen z. B. in ein EDV-System eingegeben und mit erheblichen Konsequenzen weiterverarbeitet werden.

- Besseres Sehen und bessere visuelle Konzentration haben bessere Leistungsmerkmale zur Folge. Ist eine höhere Produktivität durch höhere visuelle Genauigkeit wichtig, sind die Beleuchtungsstärke und auch andere Kriterien der Beleuchtung zu verbessern.
- Sehdetails, deren Größe merklich unter der üblichen Sehaufgabe liegen oder besonders schlechte Kontraste aufweisen, erfordern höhere Beleuchtungsstärken. Schlechtere als der üblichen Sehaufgabe zuzuordnende Kontraste liegen z.B. beim Lesen schwer erkennbarer Vorlagen vor, beim Sehen durch Sicherheits-scheiben, wie z.B. beim Arbeiten mit den Händen in Durchgreiföffnungen spezieller Absaugkabinen in Laboratorien, beim Arbeiten in Räumen mit Dunst oder Dämpfen oder auch beim Arbeiten mit Sicherheitsbrille.

- Arbeiten, die regelmäßig über die normale (Schicht-)Arbeitszeit hinaus geleistet werden müssen, erfordern höhere Beleuchtungsstärken.
- Eine geringe Tageslichtversorgung ist gegeben, wenn ein Tageslichtquotient von $< 4\%$ vorliegt (siehe auch Kapitel 3.5.10 „Nutzung des Tageslichtes“). In Gebäuden mit guter Tageslichtversorgung der fensternahen Arbeitsbereiche ist ab einer Raumtiefe, die dem zweieinhalbfachen Wert der Höhe der Fensteroberkante entspricht, die Tageslichtversorgung als nicht mehr ausreichend anzusehen. In solchen Räumen ist für die Homogenität der Beleuchtung eine regelbare Beleuchtung zu empfehlen, die, wenn am Tage die fensternahen Bereiche durch das natürliche Licht erhellt sind, die künstliche Beleuchtung in der Raumtiefe auf einen erhöhten Sollwert der Beleuchtungsstärke einstellt. Eine circadiane Steuerung der Farbtemperatur der Beleuchtung kann den Ausgleich der Lichtversorgung zwischen den Bereichen unterstützen.
- Ältere Menschen haben einen höheren Lichtbedarf. So benötigt ein 50-Jähriger für die gleiche Sehaufgabe ein 1,5-fach höheres Beleuchtungsniveau als ein 20-Jähriger, was etwa einer Beleuchtungsstärken-Stufe entspricht (siehe auch Abbildung 2.10). Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes liegt im Jahr 2020 das Durchschnittsalter der Deutschen bei 45 Jahren, was die Empfehlungen der Norm EN 12464-1 [51] hinsichtlich eines erhöht verfügbaren Beleuchtungsniveaus zusätzlich nahelegt.
- Besonders große Details oder sehr hohe Kontraste der Sehaufgabe lassen andererseits auch geringere Beleuchtungsstärken zu.

- Dies gilt auch für Sehaufgaben, die nur vorübergehend und kurzzeitig geleistet werden müssen, z.B. das gelegentliche Entnehmen von Waren aus einem Lager im Gegensatz zur ständigen Lagerarbeit. Für Räume, die bestimmungsgemäß nur kurzzeitig genutzt werden, ist dieses Merkmal bereits bei den genormten Werten der Beleuchtungsstärke berücksichtigt, z. B. für Toilettenräume.

2.4.4 Beleuchtungsstärke im unmittelbaren Umgebungsbereich

Starke örtliche Wechsel der Beleuchtungsstärke in der Umgebung des Arbeitsbereiches können zu visueller Überlastung und Unbehagen führen. Die im unmittelbaren Umgebungsbereich geforderte Beleuchtungsstärke hängt deshalb von der Beleuchtungsstärke im Bereich der Sehaufgabe ab, um eine ausgewogene Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld zu gewährleisten. Die Anforderung ist niedriger als im Bereich der Sehaufgabe, darf aber die in Tabelle 2.2 angegebenen Werte nicht unterschreiten.

Grundsätzlich kann die Beleuchtungsstärke im unmittelbaren Umgebungsbereich im Vergleich zum Bereich der Sehaufgabe um eine Stufe verringert werden. Für alle Werte ab 750 lx beträgt dieser Wert einheitlich 500 lx, für alle Werte von 200 lx und weniger ist der unmittelbare Umgebungsbereich mit der gleichen Beleuchtungsstärke zu beleuchten wie der Bereich der Sehaufgabe selbst.

Die Beleuchtungsstärke des unmittelbaren Umgebungsbereiches trägt wesentlich zur ausgewogenen Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld bei. Die mindestens zu berücksichtigende Breite des unmittelbaren Umgebungsbereiches nach EN 12464-1 [51] von 0,5 m ist für kleine Bereiche der Sehaufgabe, z. B. für einen Uhrmacherarbeitsplatz, angemessen. Für ausgedehnte Bereiche der Sehaufgabe folgt daraus, dass sie ggf. nicht ausreichend ist, um eine visuelle

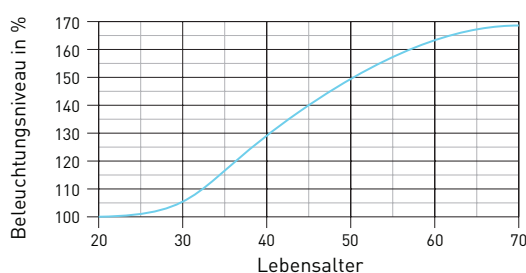


Abbildung 2.10

Abbildung 2.10:
Bedarf an Beleuchtungsniveau in
Abhängigkeit vom
Lebensalter

Tabelle 2.2:
Zusammenhang
zwischen der
Beleuchtungsstärke
des unmittelbaren
Umgebungsbereiches
zur Beleuchtungs-
stärke im Bereich der
Schaufgabe sowie
zugehörige Werte der
Gleichmäßigkeit der
Beleuchtungsstärke
nach EN 12464-1 [51]

Beleuchtungsstärke \bar{E}_m des Bereiches der Schaufgabe	Beleuchtungsstärke \bar{E}_m des unmittelbaren Umgebungsbereiches
≥ 750 lx	500 lx
500 lx	300 lx
300 lx	200 lx
≤ 200 lx	\bar{E}_m der Schaufgabe
Gleichmäßigkeit U_0 : abhängig vom Bereich der Schaufgabe gemäß den Tabellen „Lichttechnische Anforderungen ...“	Gleichmäßigkeit $U_0 \geq 0,40$

Überlastung und Unbehagen ausreichend zu vermeiden. Als sinnvoll hat sich eine Breite des unmittelbaren Umgebungsbereiches entsprechend der Tiefe des Bereiches der Schaufgabe erwiesen (siehe Abbildung 2.11).

Bei Anwendung der Technischen Regel für Arbeitsstätten ASR A3.4 [110] sind die identischen Zahlenwerte anzuwenden, jedoch auf den dort definierten, weiteren Umgebungsbereich (siehe Kapitel 2.3 „Umgebungsbereich“).

2.4.5 Hintergrundbeleuchtung

Zusätzlich zur Beleuchtungsstärke im Bereich der Schaufgabe und seiner unmittelbaren Umgebung muss die Beleuchtung des Raumes auch eine angemessene Verteilung der Adaptationsleuchtdichte erzeugen. Die in den Tätigkeitstabellen der Norm EN 12464-1 geforderten Werte der Beleuchtungsstärken an der Decke und den Wänden tragen einerseits dazu bei. Aber auch die direkt an den unmittelbaren Umgebungsbereich anschließenden Bereiche des Raumes müssen angemessen beleuchtet werden. Diese Hintergrundbereiche sind nach EN 12464-1 [51] auf einer Breite von mindestens 3,0 m mit 1/3 des Wertes der Beleuchtungsstärke des unmittelbaren Umgebungsbereiches (siehe Tabelle 2.2) und einer Gleichmäßigkeit U_0 von mindestens 0,10 zu beleuchten.

2.5 Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke

Die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke U_0 ist als der Quotient \bar{E}_{\min}/\bar{E} aus der minimalen und der mittleren Beleuchtungsstärke definiert.

Die Mindestanforderungen an die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke im Bereich der Schaufgabe sind in den Anforderungstabellen der Norm EN 12464-1 [51] den dort aufgeführten Tätigkeiten zugeordnet (siehe z.B. Tabelle 4.28).

Dabei ist zu beachten, dass dieser Mindestwert zu keiner Zeit unterschritten werden darf. Sollte die durch Alterung bzw. durch vorzeitigen Ausfall einzelner Lampen bedingte Abnahme der minimalen Beleuchtungsstärke stärker fortschreiten als die Abnahme der mittleren Beleuchtungsstärke, muss die Wartung bzw. Reinigung der Anlage bereits bei Erreichen des Mindestwertes der Gleichmäßigkeit erfolgen.

Die Bestimmung der Gleichmäßigkeit setzt eine hinreichend dichte Folge der berechneten bzw. gemessenen Punktbeleuchtungsstärken voraus, um auch den Minimalwert der Beleuchtungsstärke ermitteln zu können (siehe Kapitel 3.8 „Messung der Beleuchtung“).

Für die Betrachtung einer raumbezogenen Allgemeinbeleuchtung kann dabei ein Randbereich entlang der Wände ausgeschlossen bleiben, um Mess- oder Berechnungswerte in irrelevanten Dunkelzonen nicht unnötig zu berücksichtigen. Der Rand ist im Allgemeinen mit einer Breite von

0,5 m anzusetzen. Für sehr schmale Räume mit einer Raumbreite (\leq Raumlänge) von weniger als 3 m verringert sich die Breite des Randstreifens und ist dann mit einer Breite von 15% der Raumbreite anzusetzen.³ Sofern sich jedoch ein konkreter Bereich der Sehaufgabe im Randbereich befindet, muss dieser in jedem Fall berücksichtigt werden. Er kann dort arbeitszonal betrachtet werden.

Bei arbeitszonaler Betrachtung soll die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke U_0 für den unmittelbaren Umgebungsbereich mindestens 0,40 betragen. Für die Hintergrundbeleuchtung sowie die Raumbegrenzungsflächen (Decke und Wände) genügt eine Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke U_0 von 0,10.

Die Technische Regel für Arbeitsstätten ASR A3.4 [110] konkretisiert Forderungen bzgl. der Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke nur für den Bereich des Arbeitsplatzes (siehe Kapi-

tel 3.2.3 „Anforderungen an den Arbeitsschutz in Deutschland“ und 4.3.13 „Sehaufgaben und Arbeitsbereich“).

2.6 Leuchtdichteverteilung

Für gute Sehbedingungen sowie aus psychophysischen Gründen ist ein ausgewogenes Verhältnis der Leuchtdichten im Gesichtsfeld erforderlich.

Die Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld bestimmt den Adaptationszustand, der wiederum die Sehleistung beeinflusst. Eine ausgewogene Adaptationsleuchtdichte wird benötigt zur Erhöhung der

- Sehschärfe,
- Kontrastempfindlichkeit (Differenzierung von kleinen Leuchtdichteunterschieden des Sehdetails),

³ $3 \text{ m} \cdot 0,15 = 0,45 \text{ m}$ wird aufgerundet zu 0,5 m.

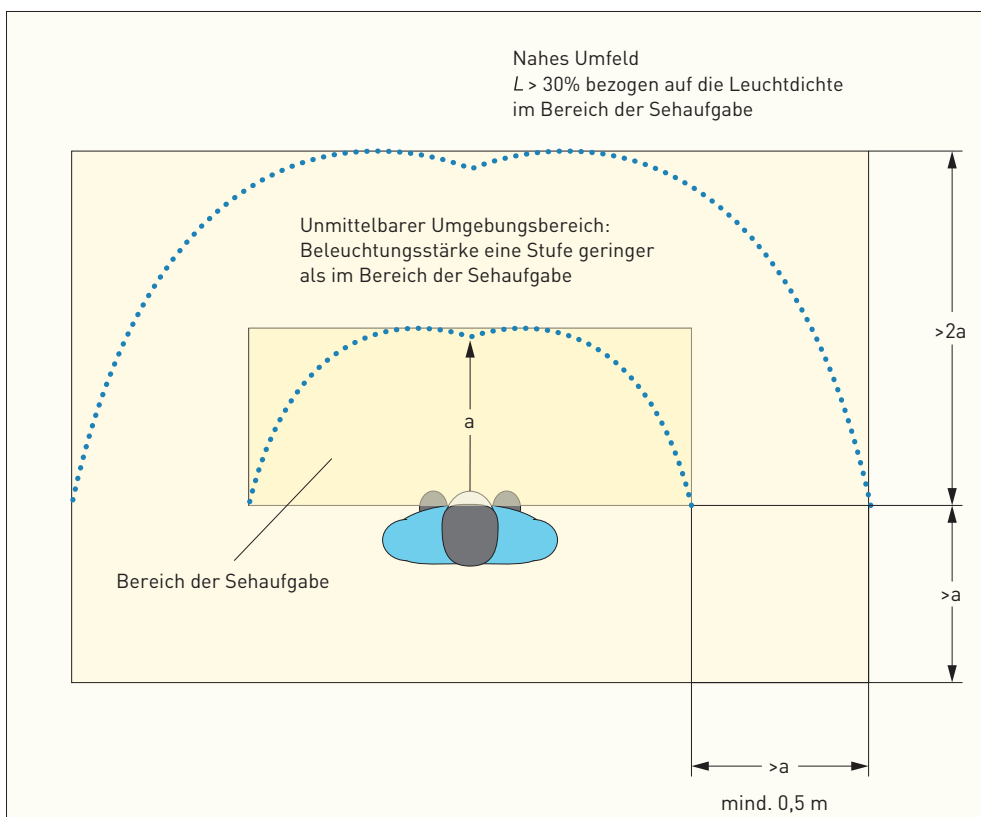


Abbildung 2.11:
Beispiel für Mindestmaße des unmittelbaren Umgebungsbereiches um den Bereich der Sehaufgabe.

- Leistungsfähigkeit der Augenfunktionen (wie Akkommodation, Konvergenz, Pupillenveränderung, Augenbewegungen usw.).

Die Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld beeinflusst auch den Sehkomfort.

Daher sollte Folgendes vermieden werden:

- zu hohe Leuchtdichten, die Blendung verursachen können,
- zu hohe Leuchtdichteunterschiede, die durch ständige Umadaptation Ermüdung verursachen können, und
- zu niedrige Leuchtdichten bzw. zu niedrige Leuchtdichteunterschiede, die eine unattraktive, eher langweilige und daher wenig anregende Arbeitsumgebung schaffen.

Eine ausgewogene, also in bestimmten Grenzen gehaltene Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld trägt ganz wesentlich zur Sehleistung und zum Sehkomfort bei. Extreme Leuchtdichteunterschiede im Gesichtsfeld bedeuten beim Blick in die Umgebung zusätzliche Adaptationsarbeit, die zu frühzeitiger Ermüdung und zu Konzentrationsschwächen und damit zu Sehfehlern führen kann. Bei großen Helligkeitsunterschieden können drohende Gefahren aus der Umgebung, z.B. in Industriehallen durch Annäherung von Fahrzeugen, Laufkränen mit Lasten usw., nicht rechtzeitig erkannt und daher nicht rechtzeitig darauf reagiert werden. Eine ausgewogene Helligkeitsverteilung im Gesichtsfeld unterstützt außerdem die Kommunikation mit der Arbeitsumgebung und den Menschen.

Die Leuchtdichte einer Oberfläche hängt vom Reflexionsgrad der Oberflächen und der Beleuchtungsstärke auf dieser Oberfläche ab. EN 12464-1 [51] gibt dafür Intervalle für die Reflexionsgrade der Hauptflächen eines Arbeitsraumes an, die insbesondere für ausgedehnte industrielle und handwerkliche Arbeitsräume berücksichtigt werden müssen. Gerade in diesen und ähnlichen Fällen ist die ausgewogene Helligkeits- und Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld besonders wichtig für die visuelle Leistungsfähigkeit.

- Decken: 0,7 bis 0,9
- Wände: 0,5 bis 0,8
- Boden: 0,2 bis 0,6

Der Reflexionsgrad von Oberflächen größerer Objekte, wie z.B. von Möbeln und Maschinen, sollte im Bereich von 0,2 bis 0,7 liegen.

Die Leuchtdichte L von Raumboberflächen lässt sich für vollkommen gestreut reflektierende (matte) Oberflächen berechnen, nach der Formel:

$$L = \frac{\rho \cdot E}{\pi} \quad \text{in cd/m}^2$$

Dabei ist E die senkrecht auf die Oberfläche auftreffende Beleuchtungsstärke in lx und ρ der Reflexionsgrad der entsprechenden Oberfläche.

Dazu sind folgende Punkte zu beachten (Abbildung 2.12):

- Die Reflexionsgrade der näheren Umgebung des Arbeitsgutes sollen so gewählt werden, dass sich zwischen Arbeitsfeld (Innfeld) und Umfeld keine größeren Leuchtdichteverhältnisse als etwa 3:1 ergeben. Die Aufmerksamkeit wird auf die Sehaufgabe konzentriert, wenn diese heller als die Umgebung ist.
- Beleuchtungsart, Reflexionsgrade und Farbe ausgedehnter Flächen im Gesichtsfeld (im Wesentlichen Decke und Wände) sind so zu wählen, dass eine angenehme Leuchtdichteverteilung im Raum entsteht. Zu geringe Leuchtdichte- und Farbunterschiede bewirken einen monotonen Raumeindruck. Andererseits sollten größere Leuchtdichteverhältnisse als etwa 10 : 1 zwischen Arbeitsfläche und weiter entfernten ausgedehnten Flächen im Gesichtsfeld vermieden werden.

Ein Leuchtdichteverhältnis zwischen dem Bereich der Sehaufgabe (Innfeld) und dem (nahen) Umfeld von 10 : 3 (siehe auch Abbildung 4.4) sind bei den in EN 12464-1 [51] festgelegten Beleuchtungsstärkewerten und nicht zu extremen Unterschieden in den Reflexionsgraden im Allgemeinen realisierbar.

Leuchtdichteunterschiede zwischen dem Bereich der Sehaufgabe (Innfeld) und weiter entfernten, ausgedehnten Flächen im Gesichtsfeld von nicht mehr als 10 : 1 sind nur bei sorgfältiger Planung der Beleuchtung des gesamten Raumes, also auch der Bereiche außerhalb des unmittelbaren Umgebungsbereiches – eventuell aber auch nur mit zusätzlichen Beleuchtungseinrichtungen zu erreichen.

Helle Raum- und Oberflächen tragen zu einem positiveren Raumempfinden und Wohlbefinden bei. Diese Raumgestaltung ermöglicht dadurch komfortablere Lichtlösungen, z. B. mit Wandaufhellung und indirekter Beleuchtung, geeignet auch für HCL Konzepte. Gleichfalls reflektieren diese hellen Flächen das Licht der Beleuchtung besser und sorgen damit auch für eine hohe Energieeffizienz.

In EN 12464-1 [51] werden für die Hauptoberflächen, und zwar

- für die Wände mindestens 50 lx mit einer Gleichmäßigkeit U_0 von mindestens 0,10 und
- für die Decke mindestens 30 lx mit einer Gleichmäßigkeit U_0 von mindestens 0,10 allgemein empfohlen.

Für die meisten Tätigkeiten in Arbeitsstätten werden konkrete, oft höhere Werte in Kombination mit einem Wert der zylindrischen Beleuchtungsstärke in den Anforderungstabellen der Norm spezifiziert (siehe z. B. Tabelle 4.28). Unter Berücksichtigung der oben geforderten Reflexionsgrade sind diese Spezifikationen geeignet, einen adäquaten Helligkeitseindruck des Raumes zu gewährleisten.

In einigen Bereichen, wie Lagerräumen mit Regalen, Stahlwerken, Bahnhöfen usw., kann wegen der Komplexität des Raumes von den allgemeinen Festlegungen angemessen abgewichen werden. Dort wurde auf entsprechende Einträge in den Anforderungstabellen der Norm verzichtet (siehe z. B. Tabelle 4.21).

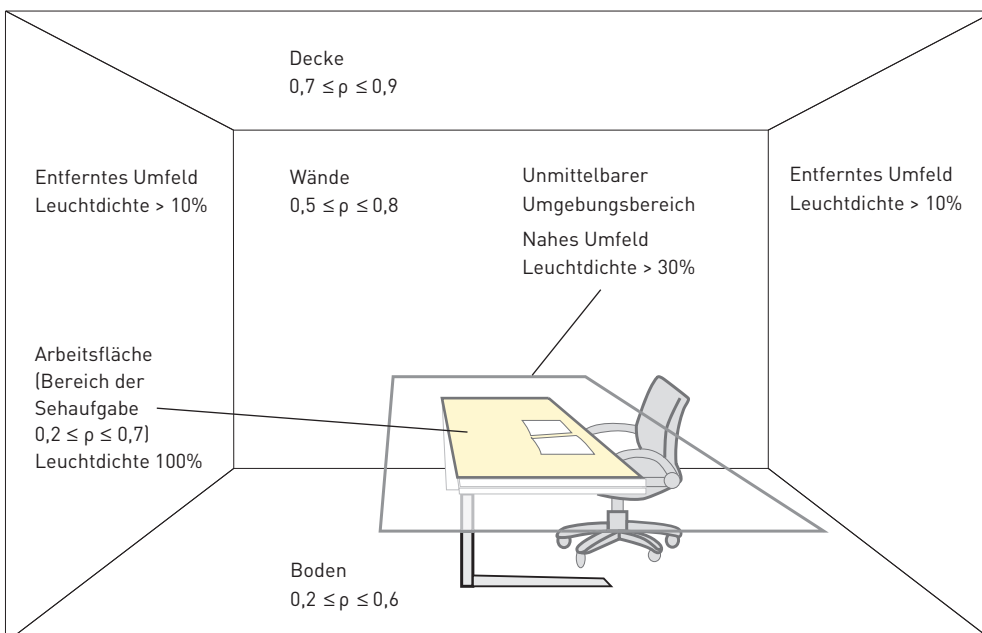


Abbildung 2.12: Reflexionsgrade nach EN 12464-1 [51] und erforderliche Leuchtdichteverhältnisse in Arbeitsstätten.

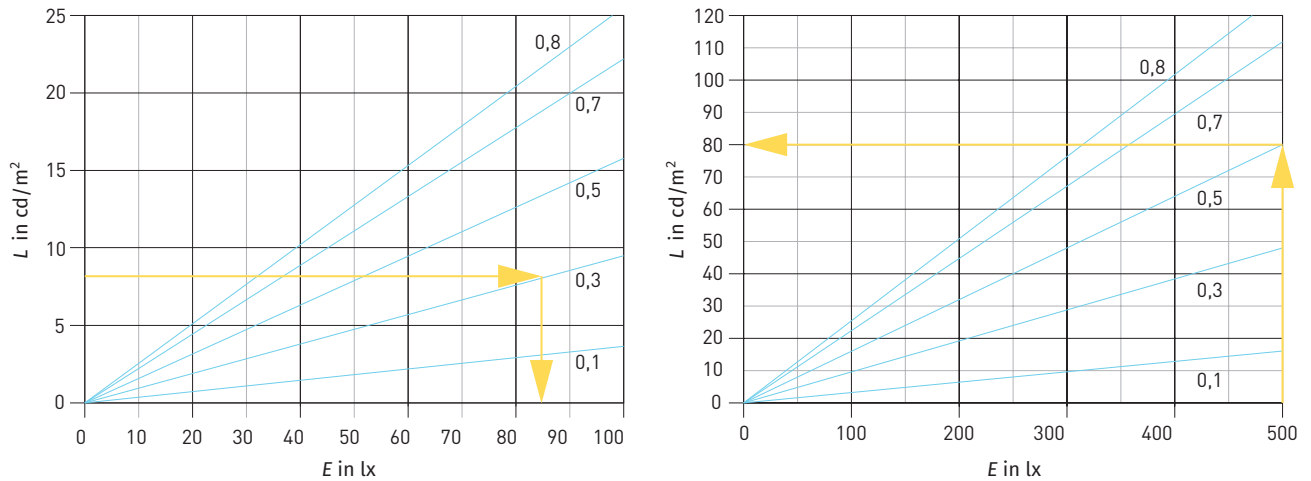


Abbildung 2.13: Grafiken zur überschlägigen Umrechnung von Beleuchtungsstärken E in Leuchtdichten L und umgekehrt bei Reflexionsgraden von 0,8 bis 0,1 von matt reflektierenden Oberflächen.

Werte für E und L im Bereich der Sehaufgabe (Innfeld)

Resultierende Mindestwerte für L und E ausgedehnter, weiter entfernter, vertikaler Flächen im Gesichtsfeld (um ein Verhältnis der Leuchtdichten von 10 : 1 zu gewährleisten)

E in lx	Reflexionsgrad der Sehaufgabe	L in cd/m ²	L in cd/m ²	Beleuchtungsstärke E in lx bei einem Reflexionsgrad der vertikalen Fläche von		
				0,7	0,5	0,3
300	0,8	76,4	7,6	34,3	48,0	80,0
	0,5	47,7	4,8	21,4	30,0	50,0
	0,3	28,6	2,9	12,9	18,0	30,0
500	0,8	127,3	12,7	57,1	80,0	133,3
	0,5	79,6	8,0	35,7	50,0	83,3
	0,3	47,7	4,8	21,4	30,0	50,0

Tabelle 2.3: Beispiele für die Beleuchtungsstärke E bzw. Leuchtdichte L im Bereich der Sehaufgabe (Innfeld) und ausgedehnter, weiter entfernter Flächen im Gesichtsfeld. Das in der Tabelle markierte Beispiel ist in Abbildung 2.13 mit Pfeilen hervorgehoben.

Beispiel

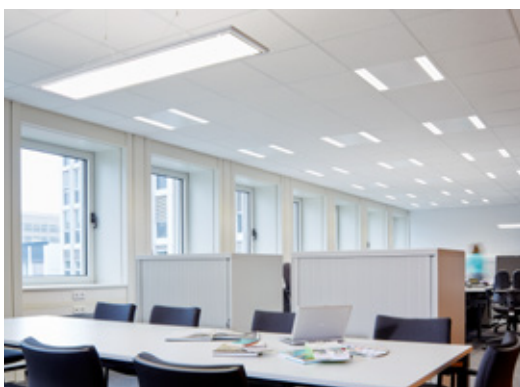
In einer Werkshalle ist der Montagearbeitsplatz mit einem Reflexionsgrad der Sehaufgabe von 0,5 mit 500 lx beleuchtet. Die entfernten vertikalen Flächen, z. B. Regalfächen, mit einem Reflexionsgrad von etwa 0,3 müssen mindestens mit 83 lx beleuchtet werden, um eine ausgewogene Leuchtdichteverteilung zwischen dem Bereich der Sehaufgabe und dem entfernten Umfeld zu gewährleisten. In EN 12464-1 [51] werden solche detaillierten Betrachtungen hinsichtlich der Leuchtdichteunterschiede nicht vorgenommen. Es wird unabhängig vom Reflexionsgrad der vertikalen Flächen im vorliegenden Fall eine vertikale Beleuchtungsstärke von mindestens 50 lx empfohlen.

2.7 Begrenzung der Blendung

Blendung wird durch helle Flächen im Gesichtsfeld hervorgerufen. Man unterscheidet:

- physiologische Blendung: Blendung, die zu einer Herabsetzung des Sehvermögens, z. B. der Unterschiedsempfindlichkeit (Wahrnehmung von Kontrasten) oder der Formenerkennbarkeit (Wahrnehmung von Sehdetails) führt;
- psychologische Blendung: Blendung, die nur unter dem Kriterium der Störfähigkeit bewertet wird. Psychologische Blendung führt bei längerem Aufenthalt im Raum zu vorzeitiger Ermüdung und zur Herabsetzung von Leistung, Aktivierung und Wohlbefinden;
- Direktblendung: Blendung, die unmittelbar durch Leuchten oder leuchtende Decken hervorgerufen wird;
- Reflexblendung: Blendung, die durch Reflexe auf spiegelnden Oberflächen verursacht wird. Sie ist auch bekannt als Schleierreflexion.

Blendung darf weder durch Lampen oder Leuchten (Direktblendung) noch durch Spiegelung hoher Leuchtdichten auf glänzenden Flächen (Reflexblendung) hervorgerufen werden. In besonderen Fällen, z. B. bei der Beleuchtung von Eingangshallen und festlichen Räumen, können höhere und stimulierende Leuchtdichten und Kontraste zur Umgebung wünschenswert sein, sofern die Lichtquellen vornehmlich als dekorative Elemente dienen.



Um Fehler, Ermüdung und Unfälle zu vermeiden, ist es wichtig, Blendung zu begrenzen. Bei Arbeitsplätzen im Innenraum kann psychologische Blendung unmittelbar von hellen Leuchten oder Fenstern herrühren. Wenn die Grenzen der psychologischen Blendung eingehalten werden, tritt in der Regel auch keine nennenswerte physiologische Blendung auf.

2.7.1 Direktblendung

Der Grad der psychologischen Direktblendung durch Leuchten einer Beleuchtungsanlage im Innenraum kann nach einer Formel bestimmt werden:

$$R_{UG} = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{\bar{L}_b} \sum \frac{\bar{L}^2 \cdot \Omega}{\rho^2} \right)$$

Dabei ist

- R_{UG} der Blendwert nach dem international vereinheitlichten UGR-Verfahren zur Beschreibung der psychologischen (Direkt-)Blendung,
- \bar{L}_b die Hintergrundleuchtdichte in cd/m^2 , berechnet als E_{ind}/π mit E_{ind} als vertikale Indirektbeleuchtungsstärke am Beobachterauge,
- \bar{L} die mittlere Leuchtdichte in cd/m^2 der Lichtaustrittsfläche jeder Leuchte in Richtung des Beobachterauges,
- Ω der Raumwinkel in Steradian (sr) der Lichtaustrittsfläche jeder Leuchte, bezogen auf das Beobachterauge,
- ρ der Positionsindex nach Guth für jede einzelne Leuchte, abhängig von deren räumlicher Abweichung von der Hauptblickrichtung.

Das vereinheitlichte UGR-Verfahren (Unified Glare Rating) beruht auf einer Vielzahl von ähnlichen Blendungsbewertungsmethoden. Diesen wiederum liegen Untersuchungen zugrunde, bei denen systematisch lichttechnische Größen von

Blendlichtquellen und deren Umfeld verändert und deren Auswirkungen auf das Blendurteil von Beobachtern in einer Blendskala dokumentiert wurden. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in dieser Blendformel zusammengefasst, die zu einem R_{UG} -Wert führt. Das Verfahren ist ausführlich im Technical Report CIE 117 (1995) „Discomfort Glare in Interior Lighting“ [156] beschrieben.

Die Blendskala besteht aus sieben Blendungsgraden:

- 0 keine Blendung
- 1 Blendung zwischen nicht vorhanden und merkbar
- 2 Blendung merkbar
- 3 Blendung zwischen merkbar und störend
- 4 Blendung störend
- 5 Blendung zwischen störend und unerträglich
- 6 Blendung unerträglich, unzumutbar

Das UGR-Verfahren ist für die meisten Blendlichtquellen (insbesondere auf Leuchten) anwendbar. Eine UGR-Bewertung ist nicht möglich bei

- indirekt strahlenden Leuchten,
- Einzelplatzleuchten und
- Strahlern der Akzentbeleuchtung.

Bei asymmetrisch strahlenden Leuchten muss darauf geachtet werden, dass die Lichtstärken in Beobachterrichtung bewertet werden. Eine Leuchtenkennzeichnung mit R_{UG} -Referenzwerten ist daher für solche Leuchten nicht sinnvoll.

Psychologische Blendung kann nicht durch genaue Zahlenwerte (etwa mit einigen Stellen hinter dem Komma) beschrieben werden, sondern nur in einem Zahlenbereich (Stufen), der das statistisch gesicherte Blendempfinden einer Vielzahl von Beobachtern widerspiegelt. Daher sind die Grenzwerte der psychologischen Blendung R_{UGL} in Stufen mit den genormten Werten 13, 16, 19, 22, 25 und 28 unterteilt, deren Einhaltung in spezifischen Anwendungen, je nach Anspruch der Sehaufgabe, gefordert ist.

Der R_{UGL} -Grenzwert 19 z.B. entspricht einem Blendungsgrad von 1,5, also einem Beobachterurteil zwischen dem Blendungsgrad 1 (Blendung zwischen nicht vorhanden und merkbar) und dem Blendungsgrad 2 (Blendung merkbar). $R_{UGL} = 19$ bedeutet auch, dass sich etwa 65% der Beobachter durch Blendung „gerade nicht gestört“ fühlen.

Die psychologische Blendung durch Fenster und andere Tageslichtöffnungen kann durch die Tageslichtblendungswahrscheinlichkeit (DGP, en: Daylight Glare Probability) gemäß der Norm EN 17037 beschrieben werden, die auch Werte für den Blendschutz empfiehlt.

2.7.2 UGR-Tabellenmethode

Die UGR-Formel kann für realistische Beobachtungsbedingungen und anlagenspezifische Annahmen, z.B. Leuchteigenschaften (siehe Kapitel 5.2.7 „Leuchtdichteverteilung“), Leuchtenanordnung, Reflexionsgrade der Raumbegrenzungsflächen usw. ausgewertet werden. Dafür stehen entsprechende Computerprogramme zur Verfügung.

Die in EN 12464-1 [51] für die verschiedenen Sehaufgaben festgelegten R_{UGL} -Grenzwerte dürfen von der Beleuchtungsanlage im Neuzustand nicht überschritten werden und gelten für Anlagenwerte, die nach der UGR-Tabellenmethode ermittelt wurden.

Der Tabellenmethode liegt auch die UGR-Formel zugrunde, jedoch mit standardisierten Rahmenbedingungen. Diese Rahmenbedingungen sind:

- standardisierte Beobachterbedingungen:
Der sitzende (stehende) Beobachter betrachtet die Leuchtenanordnung von der Wand des Raumes aus mit der Augenhöhe 1,2 m (1,7 m) über dem Boden (Abb. 2.14);
- standardisierte Raumgrößen x und y , die als Vielfaches der „Leuchtenhöhe H über dem Beobachteraue“ angegeben sind;

- standardisierte Leuchtenanordnungen:
Die Leuchten sind regelmäßig längs oder quer an der Decke angeordnet (Abb. 2.17);
- standardisierte Reflexionsgrade von Decke, Wänden und Boden;
- lichttechnische Eigenschaften (mittlere Leuchtdichte der Lichtaustrittsfläche) der betreffenden Leuchten.⁴

UGR-Tabellen werden vom Leuchtenhersteller zur Verfügung gestellt. Der Planer ordnet die zu bewertende Beleuchtungsanlage in diese Standardvorgaben ein und entnimmt den Tabellen den R_{UGL} -Wert für die Blickrichtung des Beobachters „parallel zu den Leuchten“ bzw. „quer zu den Leuchten“, (siehe auch Kapitel 2.7.3 „Anwendung der UGR-Tabellen“ auf den folgenden Seiten). In den meisten Fällen ist es ausreichend, den R_{UGL} -Wert für die Hauptblickrichtung zu bestimmen.

Alle bei der Ermittlung des R_{UGL} -Wertes getroffenen Annahmen müssen in der Planungsdocumentation aufgeführt werden. Die Änderung des R_{UGL} -Wertes für unterschiedliche Beobachterpositionen in einem Raum kann mit Hilfe der Formel (oder einer erweiterten UGR-Tabelle) ermittelt werden. Wenn der größte R_{UGL} -Wert in einem Raum den genormten R_{UGL} -Grenzwert überschreitet, sollten Angaben über die geeignete Anordnung der Arbeitsplätze gemacht werden, um diese in blendfreien Bereichen anzuordnen.

Als standardisierte Leuchtenanordnung wurde eine eher selten anzutreffende, sehr enge Leuchtenanordnung gewählt, um den R_{UGL} -Wert der Anlage möglichst unabhängig von der Beobachterposition zu ermitteln. Wie Abbildung 2.15 zeigt, tragen bei einer engen Leuchtenanordnung auch mehr Leuchten zur Blendwirkung und damit zum berechneten R_{UGL} -Wert bei als bei großen Leuchtenabständen, bei denen allerdings der R_{UGL} -Wert stärker von der Position des Beobachters abhängt. Um die Variation des R_{UGL} -Wertes in Abhängigkeit von der Beobachterposition möglichst klein zu halten, ist den UGR-Tabellen eine theoretische, für längere Leuchten eher unrealistische Leuchtenanordnung mit kleinen Leuchtenabständen von $s = 0,25 \cdot H$ in den Richtungen



x und y zugrunde gelegt. Zum Beispiel bei $H = 1,8$ m ist der Leuchtenabstand $s = 0,45$ m, d. h. kürzer und schmaler als z. B. eine Deckenleuchte für 600 mm bzw. 625 mm Achsmaß. Damit wird mit der Tabellenmethode die Blendung eher für den kritischen Fall bewertet.

Die Anwendung der vom Leuchtenhersteller für die betreffende Leuchte geltenden UGR-Tabellen ist relativ einfach (siehe markiertes Beispiel unter „Anwendung der UGR-Tabellen“). Eventuell müssen die Tabellenwerte aufgrund abweichender Leuchteigenschaften noch korrigiert werden. Das ist z. B. der Fall,

- wenn ein anderer Lampenlichtstrom ϕ als der den Tabellen zugrunde gelegte Lichtstrom ϕ_0 verwendet wird, wobei die Neuwerte der Lichtströme gelten;

$$R_{UGL}(\phi) = R_{UGL}(\phi_0) + 8 \lg(\phi/\phi_0)$$

- wenn sich bei sonst gleichen (relativen) lichttechnischen Eigenschaften der Leuchte die leuchtende Fläche A gegenüber der Fläche A_0 der Basisleuchte ändert, z. B. bei Leuchten für stabförmige Leuchtstofflampen aufgrund unterschiedlicher Lampenlängen;

$$R_{UGL}(A) = R_{UGL}(A_0) - 8 \lg(A/A_0)$$

- wenn sich der Leuchtenwirkungsgrad η gegenüber dem Wert η_0 der Basisleuchte ändert.

$$R_{UGL}(\eta) = R_{UGL}(\eta_0) + 8 \lg(\eta/\eta_0)$$

⁴Die Bewertung der psychologischen Blendung, die von Leuchten mit ungleichmäßiger Leuchtdichte der Leuchtquelle verursacht wird, ist in der CIE-Publikation CIE 232:2019 [159] beschrieben.

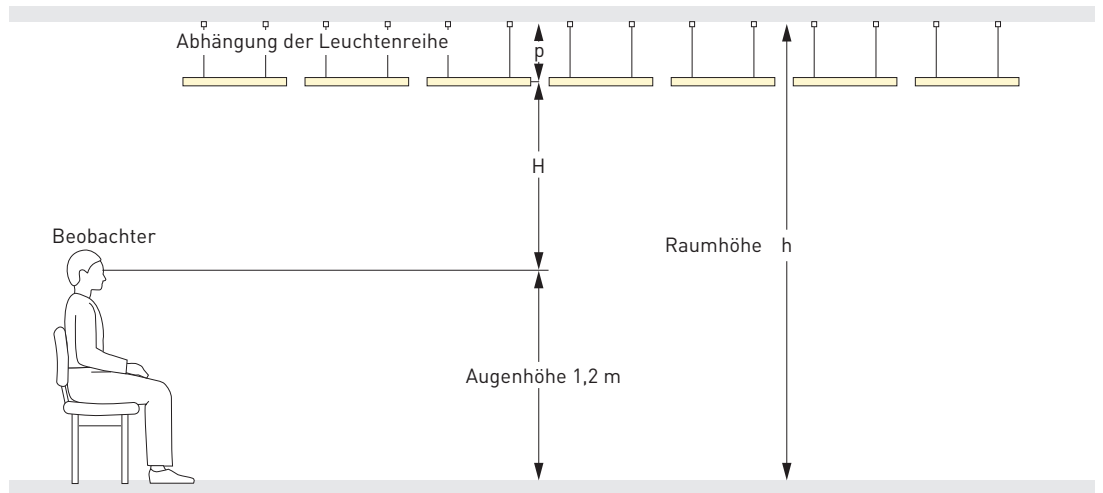


Abbildung 2.14: Standardisierte Anordnung von Beobachter und der horizontalen Leuchtenebene, die sich für sitzende Beobachter in $H = h - p - 1,2$ (Werte in m) über dem Beobachterauge befindet, wobei p die Länge der Abhängung der Leuchtenreihe ist.

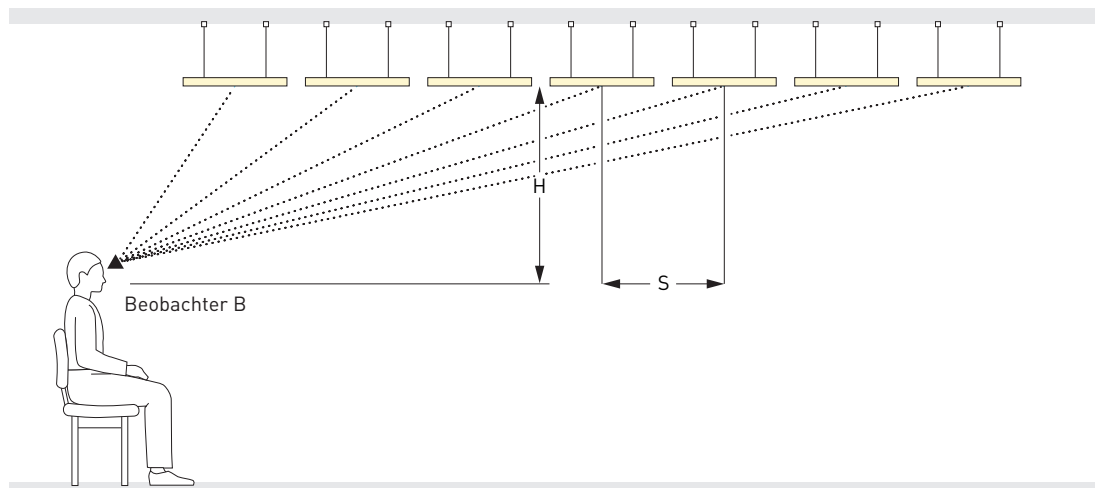


Abbildung 2.15: Bei einer engen Leuchtenanordnung mit $s = 0,25 \cdot H$ ist der R_{UGL} -Wert nahezu unabhängig vom Beobachterstandort.

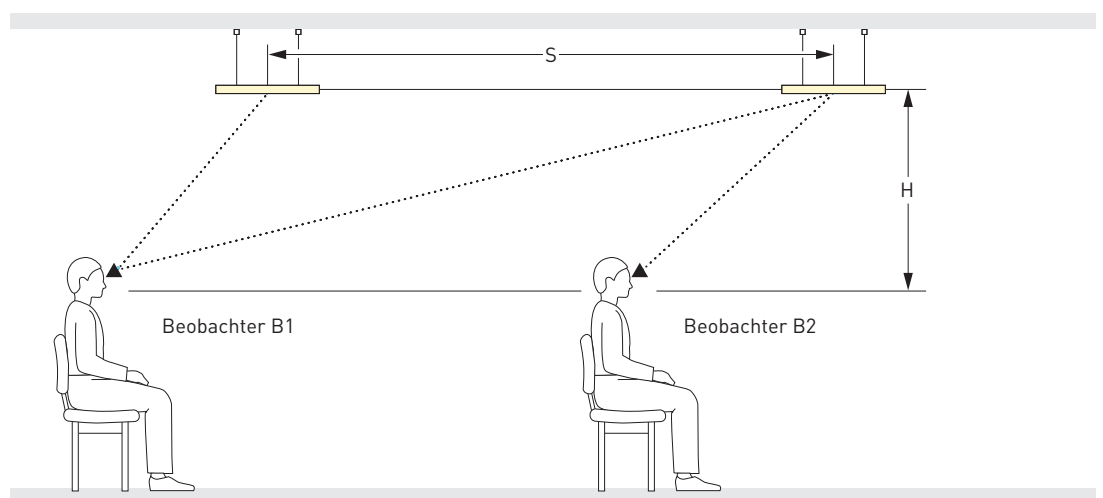


Abbildung 2.16: Bei einer weiten Leuchtenanordnung ergibt sich für Beobachter B1 ein geringer R_{UGL} -Wert, für Beobachter B2 ein höherer R_{UGL} -Wert, beide Werte liegen im Allgemeinen jedoch unter dem R_{UGL} -Wert der engen Leuchtenanordnung.



Nach EN 12464-1 [51] kann den UGR-Tabellen grundsätzlich auch ein größerer Leuchtenabstand als $s = 0,25 \cdot H$ zugrunde gelegt werden. Im Vergleich der R_{UGL} -Werte verschiedener Herstellerangaben ist – insbesondere im internationalen Vergleich – auf die Dokumentation des für die Tabellenwerte angenommenen Leuchtenabstandes s zu achten. Zum Beispiel wird in Großbritannien ein Leuchtenabstand $s = 1,0 \cdot H$ bevorzugt, was im Allgemeinen zu geringen R_{UGL} -Werten führt. Die Folge ist, dass die Lampen in den Leuchten weniger stark abgeschirmt werden müssen, um die R_{UGL} -Grenzwerte einzuhalten. Damit steigen auch der Leuchtenwirkungsgrad und die energetische Effizienz der Beleuchtung. Jedoch muss in dem Fall der Planer die Varianz der R_{UGL} -Werte bei veränderter Beobachterposition untersuchen, um den Bereich mit den höchsten R_{UGL} -Werten zu ermitteln und die Arbeitsplätze danach positionieren. Bei einem Leuchtenabstand von $s = 0,25 \cdot H$ entfällt dieser zusätzliche Planungsaufwand.

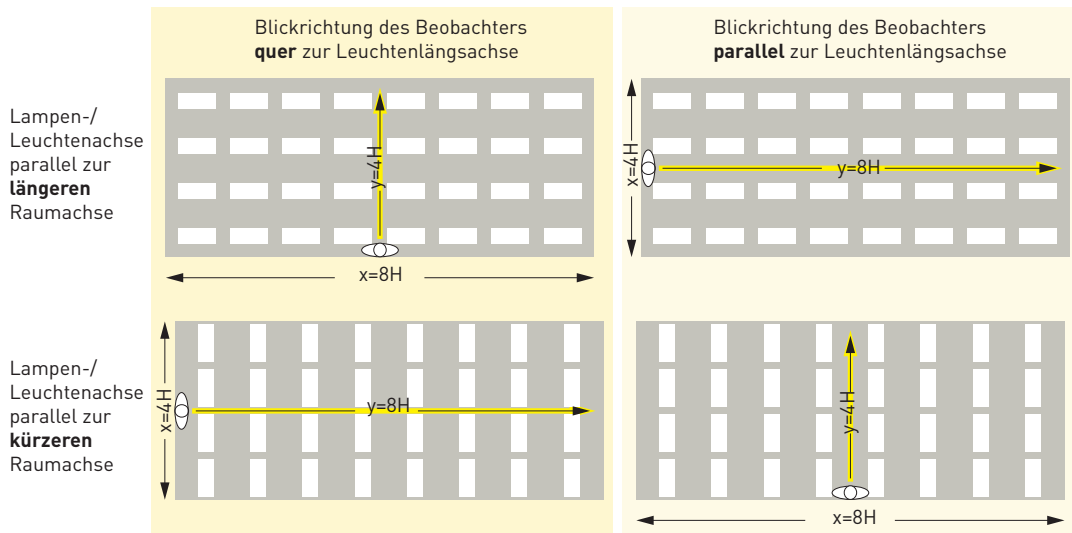


Abbildung 2.17: Standardisierte, gleichmäßige Leuchtenanordnungen für das UGR-Tabellenverfahren. Blickrichtung des Beobachters quer (links) und parallel (rechts) zur Leuchtenlängsachse, die parallel zur längeren (oben) oder kürzeren (unten) Raumseite orientiert sein kann. Die Koordinate x liegt quer, die Koordinate y liegt parallel zur Blickrichtung. Die Werte für x und y sind Beispielwerte, die blau und schwarz gekennzeichnet in der Tabelle 2.4 wieder aufgenommen werden.

Anmerkung:

Für das UGR-Verfahren wurde ein beobachterbezogenes und nicht ein raumbezogenes Koordinatensystem gewählt. Der Beobachter blickt immer in y -Richtung, unabhängig davon, ob diese Koordinate parallel zur längeren oder zur kürzeren Raumseite verläuft. Wechselt der Beobachter seine Blickrichtung, wechseln damit auch seine Koordinaten bezüglich des Raumes. Für rotationssymmetrische bzw. quasi rotationssymmetrische Leuchten, wie z. B. Downlights, entfällt diese Unterscheidung.

Tabelle der korrigierten vereinheitlichten Blendbewertungen (UGR)

Leuchtenabstand/Aufhängehöhe über Beobachteraue: $s/H = 0,25$

Raumabmessungen		Korrigierte Blendbewertungen – Lichtstrom 3.300 lm										
X	Y	Blickrichtung quer					Blickrichtung längs					
2H	2H	19,8	21,4	20,3	21,9	22,5	16,6	18,2	17,1	18,7	19,3	
	3H	22,3	23,8	22,8	24,4	25,0	17,8	19,3	18,4	19,9	20,5	
	4H	23,7	25,1	24,2	25,7	26,3	18,2	19,7	18,8	20,2	20,9	
	6H	25,2	26,5	25,7	27,1	27,7	18,5	19,8	19,1	20,4	21,1	
	8H	25,9	27,2	26,5	27,8	28,4	18,6	19,8	19,1	20,4	21,1	
	12H	26,6	27,9	27,2	28,5	29,1	18,6	19,8	19,2	20,4	21,1	
4H	2H	20,2	21,7	20,8	22,2	22,9	17,9	19,3	18,4	19,9	20,5	
	3H	23,0	24,3	23,6	24,9	25,5	19,4	20,7	20,0	21,2	21,9	
	4H	24,6	25,7	25,2	26,3	27,0	20,0	21,1	20,6	21,7	22,4	
	6H	26,2	27,3	26,8	27,9	28,6	20,4	21,4	21,0	22,0	22,7	
	8H	27,1	28,0	27,7	28,7	29,4	20,5	21,5	21,1	22,1	22,8	
	12H	27,9	28,8	28,6	29,5	30,2	20,6	21,4	21,2	22,1	22,8	
8H	4H	24,8	25,8	25,4	26,4	27,1	20,9	21,9	21,6	22,5	23,3	
	6H	26,7	27,5	27,3	28,2	28,9	21,7	22,5	22,3	23,2	23,9	
	8H	27,7	28,4	28,4	29,1	29,8	22,0	22,7	22,6	23,4	24,1	
	12H	28,7	29,4	29,4	30,0	30,8	22,1	22,8	22,8	23,5	24,3	
	12H	4H	24,8	25,7	25,4	26,3	27,1	21,2	22,1	21,8	22,7	23,5
		6H	26,8	27,5	27,4	28,2	28,9	22,1	22,9	22,8	23,5	24,3
8H		27,8	28,5	28,5	29,1	29,9	22,5	23,2	23,2	23,9	24,6	

Tabelle 2.4: Beispiel für eine auf einen bestimmten Lampenlichtstrom korrigierte UGR-Tabelle einer bestimmten Leuchte für standardisierte Raumabmessungen x und y als Vielfaches der Leuchtenhöhe H über dem Beobachteraue (Definition siehe Abb. 2.14), mit standardisierten Reflexionsgraden und für die Blickrichtungen quer und längs zu den Leuchten. Die markierten Werte sind die Referenzwerte $4H$, $8H$ für die betreffende Leuchte. Lage der Koordinaten x und y bezüglich des Beobachters, des Raumes und der Leuchten-/Leuchtenachse siehe Abb. 2.17.

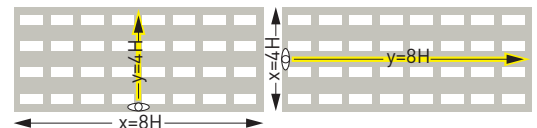
2.7.3 Anwendung der UGR-Tabellen

- Bestimmung der Leuchtenhöhe über dem Beobachterauge $H = h-p-1,2$ m für sitzende bzw. $H = h-p-1,7$ m für stehende Personen. Beispiel: Raumhöhe $h = 3,0$ m, Leuchten in Deckenmontage ($p = 0$ m), für sitzende Personen ist $H = 1,8$ m.
- Aus den Raumabmessungen (Beispiel: Raumlänge $L = 14,0$ m, Raumbreite $B = 7,5$ m) wird das Vielfache der Leuchtenhöhe über dem Beobachterauge H ermittelt:
 $L/H = 14\text{ m}/1,8\text{ m} = 7,8 \rightarrow L = 7,8H$ und
 $B/H = 7,5\text{ m}/1,8\text{ m} = 4,2 \rightarrow B = 4,2H$.
- Die Leuchten sind parallel zur längeren Raumseite montiert (siehe Skizze 1). Aus der leuchtenspezifischen UGR-Tabelle sind für die zutreffenden Reflexionsgrade von Decke, Wänden und Boden (im Beispiel 0,7, 0,5, 0,2) die R_{UGL} -Werte nach folgender Ableseregeln 1 zu entnehmen (siehe auch Abb. 2.4), wobei ggf. Zwischenwerte zu interpolieren sind:

Ableseregeln 1	Lampen-/Leuchtenachse parallel zur Raumlänge	
	Blickrichtung quer zur Lampenachse	Blickrichtung parallel zur Lampenachse
R_{UGL} -Wert	$X = 8H$	$X = 4H$
näherungsweise aus Tabelle 2.4	$Y = 4H$	$Y = 8H$

Die Werte sind in Tabelle 2.4 mit [...] markiert.

- Eventuell müssen die R_{UGL} -Werte noch hinsichtlich des Lampenlichtstroms oder anderer Leuchtendaten korrigiert werden.

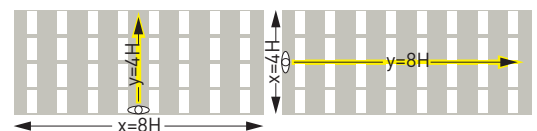


Skizze 1

Würde die Lampen-/Leuchtenachse parallel zur kürzeren Raumseite orientiert sein, müssten die R_{UGL} -Werte aus der leuchtenspezifischen UGR-Tabelle nach folgender Ableseregeln 2 entnommen werden:

Ableseregeln 2	Lampen-/Leuchtenachse parallel zur Raumbreite	
	Blickrichtung quer zur Lampenachse	Blickrichtung parallel zur Lampenachse
R_{UGL} -Wert	$X = 4H$	$X = 8H$
näherungsweise aus Tabelle 2.4	$Y = 8H$	$Y = 4H$

Die Werte sind in Tabelle 2.4 mit [...] markiert.



Skizze 2

2.7.4

R_{UGL} -Referenzwerte $4H$, $8H$

Sind die Raumabmessungen und Reflexionsgrade zum Zeitpunkt der Planung nicht bekannt, können R_{UGL} -Referenzwerte für den Referenzraum mit den Abmessungen $4H$ und $8H$, für die Reflexionsgrade für die Decke von 0,7, für die Wände von 0,5 und für den Boden von 0,2 und für die Blickrichtung quer und längs zu den Leuchten zur Beurteilung der Blendung herangezogen werden. Diese R_{UGL} -Referenzwerte werden auch zur Leuchtenkennzeichnung verwendet. Die Leuchtenanordnungen und Beobachterstandorte sind in Abb. 2.17 blau markiert, die Referenzwerte sind in Tabelle 2.4 grau hinterlegt.

Beispiel:

Bei einer Raumhöhe von $h = 3,0$ m und Leuchten in Deckenmontage (Pendellänge $p = 0,0$ m) ist $H = h - p = 1,2$ m und der Referenzraum hat die realen Abmessungen $4H = 7,2$ m und $8H = 14,4$ m.

2.7.5

Abschirmwinkel

Die Bewertung der Blendung einer Beleuchtungsanlage nach dem UGR-Verfahren basiert auf der mittleren Leuchtdichte der Leuchten in Richtung des Beobachterauges und nicht auf der meist viel höheren Leuchtdichte der Lampen bzw. Leuchtmittel. Bei Leuchten, bei denen aus dem für die Direktblendung kritischen Blickwinkelbereich Leuchtmittel oder Teile davon direkt gesehen werden können, kann daher trotz positiver Bewertung der Blendungsbegrenzung dennoch Blendung und damit eine Herabsetzung der Sehleistung auftreten. Um diese durch hohe Einzel-Leuchtdichten der Leuchtmittel verursachte Blendung ebenfalls zu begrenzen, müssen die Leuchtmittel durch geeignete Maßnahmen abgeschirmt werden. Der Grad der Abschirmung wird durch den Abschirmwinkel gekennzeichnet, der, je nach Leuchtdichte der Leuchtmittel verschiedene Mindestwerte (Tabelle 2.5), einhalten muss.

Nach EN 12464-1 [51] ist der Abschirmwinkel der Winkel zwischen der horizontalen Ebene und der Blickrichtung, unter der die leuchtenden Teile der Leuchtmittel in der Leuchte gerade sichtbar sind. Für die in Tabelle 2.5 angegebenen Leucht-

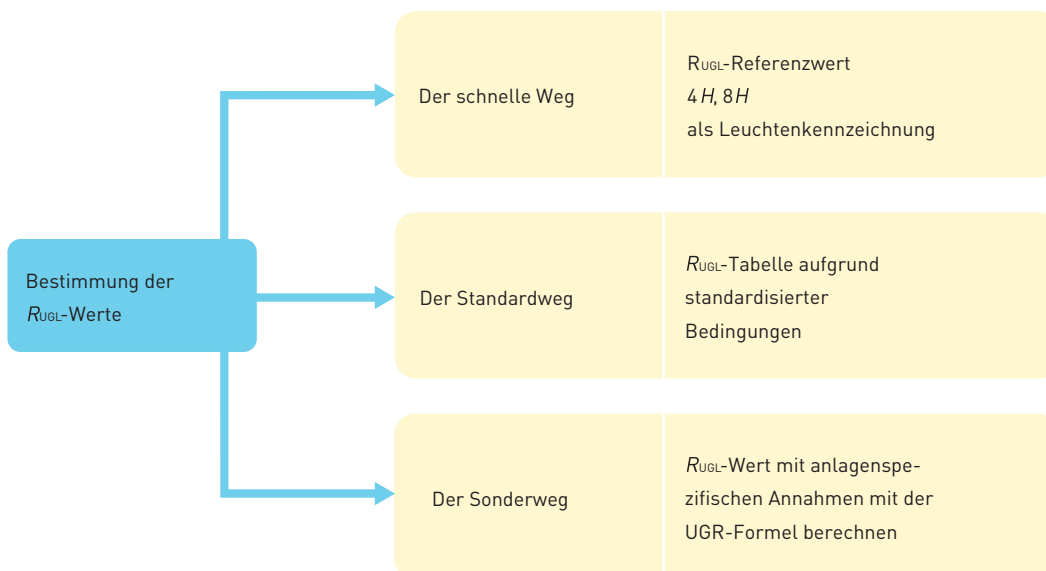


Abbildung 2.18: Die Bestimmung der R_{UGL} -Werte ist nach einer der drei Methoden möglich.

mittel-Leuchtdichten muss der zugehörige Mindestabschirmwinkel gemäß Definition nach EN 12464-1 [51], also nur für die leuchtenden Teile der Leuchtmittel, eingehalten werden. Die Werte gelten nicht für Leuchten mit ausschließlichem Lichtaustritt in den oberen Halbraum bzw. für Leuchten, die unter der Augenhöhe montiert sind.

Für LED-Leuchten hängt die Höhe der direkt einsehbaren Einzel-Leuchtdichten vom Aufbau der eingesetzten LED-Module bzw. der Leuchte ab. Der Leuchtenhersteller muss dafür sorgen, dass die sichtbaren leuchtenden Flächen den Anforderungen der EN 12464-1 [51] (siehe Tabelle 2.5) genügen. Er kann dazu z. B. einen Diffusor oder eine Linse zur Aufweitung der LED-Leuchtdichte einsetzen (siehe auch Abbildung 2.20). Dann ist entsprechend die in der EN 12464-1 [51] geforderte maximale mittlere Leuchtdichte eines leuchtenden Elements eines optischen Systems einer Leuchte in Abhängigkeit vom Ausstrahlungswinkel γ einzuhalten (siehe Tabelle 2.6 und Abbildung 2.19 b).

Weiterhin sind die Anforderungen der Geräternorm für den Leuchtenbau EN 60598-1 [69] bezüglich der photobiologischen Sicherheit zu erfüllen (siehe Kapitel 5.4 „Photobiologische Sicherheit“). Offene Einzel-LEDs werden nur in Leuchten für hohe Montagehöhen eingesetzt.

Abbildung 2.19: Definitionen des Abschirmwinkels und Ausstrahlungswinkels nach EN 12464-1 [51]

(a) Definition des Abschirmwinkels für leuchtende Teile der Leuchtmittel nach EN 12464-1 [51], bezogen auf die Horizontale.

(b) Definition des Ausstrahlungswinkels für leuchtende Teile von optischen Systemen, bezogen auf die Vertikale.

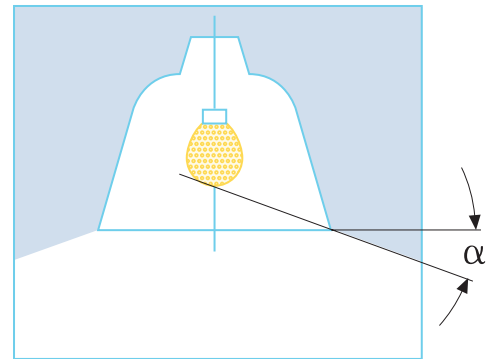


Abbildung 2.19 (a)

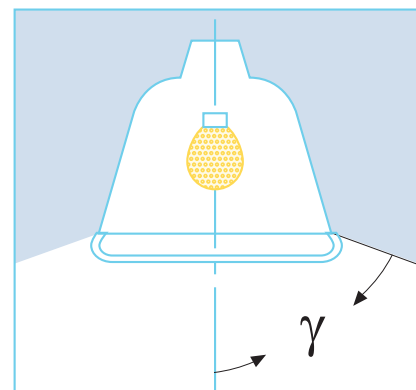


Abbildung 2.19 (b)

Lampen-Leuchtdichte kcd/m ²	Mindestabschirmwinkel
20 bis < 50	15°
50 bis < 500	20°
≥ 500	30°

Tabelle 2.5



Abbildung 2.20

Tabelle 2.6: Zulässige Leuchtdichten optischer Systeme von Leuchten und Ausstrahlungswinkeln γ

Ausstrahlungswinkel γ	Maximale mittlere Leuchtdichte eines leuchtenden optischen Elements kcd/m ²
$75^\circ \leq \gamma < 90^\circ$	≤ 20
$70^\circ \leq \gamma < 75^\circ$	≤ 50
$60^\circ \leq \gamma < 70^\circ$	≤ 500

Tabelle 2.6

Abbildung 2.20: Durch vorgesetzte Linsen wird die Leuchtdichte der Einzel-LEDs aufgeweitet und die Lichtstärkeverteilung beeinflusst.

2.7.6 Reflexblendung auf horizontalen Sehaufgaben

Reflexionen hoher Leuchtdichten auf der Sehaufgabe können die Erkennbarkeit der Sehaufgabe verringern. Reflexionen zu hoher Leuchtdichten auf glänzenden Oberflächen, z. B. auf Glanzpapier, auf Bildschirmen oder Messinstrumenten in Laboratorien und Leitständen, führen zu ähnlichen Störungen wie bei der Direktblendung. Diese als Reflexblendung bzw. Schleierreflexion bezeichneten Vorgänge beeinträchtigen die Kontraste, die zum störungsfreien Sehen notwendig sind. Reflexbilder führen ferner zu Fusionsreizen. Diese entstehen dadurch, dass das Auge auf die visuelle Information

- im Nahbereich, z. B. auf das Sehdetail auf dem Hochglanzpapier oder auf dem Bildschirm, und
- im Fernbereich, nämlich auf die Kontur der Quelle des Spiegelbildes, z. B. Leuchten,

akkommodieren (scharf einstellen) möchte und dabei permanente Akkommodationsarbeit leistet. Die Folge sind Ermüdungen und asthenopische Beschwerden, die sich z. B. als Augenbrennen, trockene oder tränende Augen, erhöhte Licht- und Flimmerempfindlichkeit, Schleiersehen, Kopfschmerzen sowie als Schwindelgefühl äußern können.

Zur Beschreibung der Störung durch Reflexblendung auf horizontalen Sehaufgaben wird der Kontrastwiedergabefaktor CRF (Contrast Rendering Factor) verwendet. CRF ist das Verhältnis des Kontrastes einer definierten und repräsentativen Sehaufgabe bei der realen, also zu beurteilenden Beleuchtung und des Kontrastes

der gleichen Sehaufgabe, jedoch bei einer vollkommen diffusen Referenzbeleuchtung.

Literatur dazu siehe z. B.

- CLE-Publikation Nr. 19.2 (TC-3.1) 1981 „An analytic model for describing the influence of lighting parameters upon visual performance“ [158] und
- LiTG-Publikation Nr. 13:1991 „Der Kontrastwiedergabefaktor – ein Gütemerkmal der Innenraumbeleuchtung“ [168], herausgegeben von den Lichttechnischen Gesellschaften Deutschlands (LiTG), Österreichs (LTAG) und der Schweiz (SLG).

Eine Beleuchtung mit hohen Kontrastwiedergabefaktoren CRF vermeidet Sehstörungen auf glänzenden, horizontalen Lesevorlagen. Je nach Anforderungen an die Güte der Beleuchtung werden die in Tabelle 2.7 enthaltenen Stufen für die CRF-Werte empfohlen.

CRF-Werte können mit Computersystemen vorausbestimmt und mit Spezialmessgeräten gemessen werden (siehe auch Kapitel 3.8.8 „CRF-Werte, (Kontrastwiedergabe“). Entsprechende Computergrafiken stellen die Planungsergebnisse anschaulich dar und enthalten z. B. Kurven gleicher CRF-Werte. Danach können die Arbeitsplätze mit hohen Anforderungen an die Kontrastwiedergabe räumlich platziert werden. Reflexblendung kann durch folgende Maßnahmen vermieden bzw. verringert werden:

- Anordnung von Leuchten und Arbeitsplätzen: Durch geeignete Anordnung sind Leuchten und Arbeitsplätze einander so zuzuordnen, dass aus der überwiegenden Blickrichtung möglichst keine störenden Lichtreflexe auf dem Sehobjekt entstehen können. Für ebene,

Stufen	CRF-Mittelwert	CRF-Minimalwert	Anwendungsbereich
1	über 1,0	0,95	Arbeiten mit vorwiegend glänzendem Material, z. B. in grafischen Betrieben
2	0,85 bis 1,0	0,70	Arbeiten, bei denen glänzendes Material nur selten vorkommt, z. B. in Büros und Schulen
3	0,70 bis 0,85	0,50	Arbeiten mit vorwiegend mattem Material

Tabelle 2.7: Stufen des Kontrastwiedergabefaktors CRF für verschiedene Sehaufgaben

waagrecht liegende Sehobjekte ist dies bei seitlicher Lichteinfallrichtung gegeben. Zu starke Schattenbildung ist jedoch zu vermeiden.

- Gestaltung der Oberflächen: Oberflächen, in denen sich Leuchten spiegeln können, sollen matt oder entspiegelt gestaltet sein. Dies gilt im Besonderen für Oberflächen von Arbeitsplätzen, Papier, Schreibmaterialien wie Tinte, Tusche usw., Tasten von Schreibmaschinen, EDV-Terminals usw., insbesondere für Bildschirmgeräte.
- Leuchtdichtebegrenzung der Leuchten: Leuchten, die störende Lichtreflexe auf dem Sehobjekt erzeugen können, sollen für die kritischen Ausstrahlungsrichtungen niedrige Leuchtdichten haben. Für vor dem sitzenden Beobachter quer zur Blickrichtung befindliche Leuchten und ebene, waagrecht liegende Sehobjekte ist dies im Besonderen der Ausstrahlungswinkelbereich $20^\circ \leq \gamma \leq 40^\circ$ (siehe Abb. 2.21).

- Helle Decken und helle Wände: Hohe Decken-Leuchtdichten können erzielt werden durch hohe Reflexionsgrade der Decke, der Wände, des Fußbodens und der Einrichtungsgegenstände, bevorzugt in Verbindung mit einem Indirektanteil der Beleuchtung. Dadurch werden störende Reflexe gemindert.

2.7.7 Reflexblendung am Bildschirm

Die Vermeidung störender Reflexe auf Bildschirmen oder anderen geeigneten Sehaufgaben kann mit den gleichen Maßnahmen erfolgen wie zuvor beschrieben. Für die Begrenzung der Leuchtdichte von Leuchten gelten besondere Anforderungen.

Je besser die Entspiegelung der Bildschirmoberfläche ist, desto höhere Leuchtdichten von Leuchten und Flächen, die sich auf dem Bildschirm spiegeln können, sind zulässig. Bildschirme heutiger Technologie lassen höhere Leuchtdichten zu als frühere Geräte. Für Darstellungen mit positiver Polarität (dunkle Zeichen auf hellem Hintergrund) und bei üblichen Anforderungen im Hinblick auf Farbe und Details der dargestellten Information, wie sie z. B. in Büros, in Unterrichtsstätten usw. bestehen, sind für Leuchten, die sich im Bildschirm spiegeln können, in EN 12464-1 [51] höhere Grenzleuchtdichten festgelegt als für Bildschirm-Darstellungen mit negativer Polarität (dunkler Hintergrund) oder schwierigen Details.

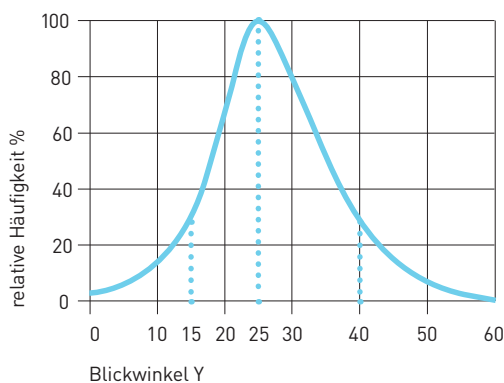


Abbildung 2.21:
Reflexion und Kontrastwiedergabe

(a) Relative Häufigkeit der Blickwinkel (oben) bei einer typischen Sitzposition am Arbeitsplatz (unten)

(b) Lesevorlage mit hoher (links) und geringer Reflexblendung (rechts)

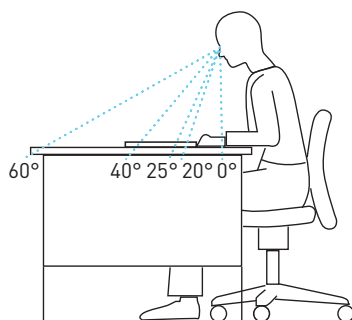


Abbildung 2.21: (a)



Abbildung 2.21: (b)



Für Bildschirme mit hoher Hintergrund-Leuchtdichte ($> 200 \text{ cd/m}^2$) darf die mittlere Leuchtdichte der Leuchten 3.000 cd/m^2 nicht überschreiten. Bei Bildschirmen mit mittlerer Leuchtdichte ($< 200 \text{ cd/m}^2$) gilt der Maximalwert von 1.500 cd/m^2 . Wie Praxismessungen ergeben haben, werden in Büros überwiegend Hintergrundleuchtdichten von $< 200 \text{ cd/m}^2$ eingestellt, bei Laptops sogar $< 100 \text{ cd/m}^2$, so dass dafür der Grenzwert 1.500 cd/m^2 gilt. Einzelheiten siehe Kapitel [4.3](#) „Beleuchtung von Büros und Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen“.

Die Grenzwerte gelten für Bildschirme, die bis zu 15° geneigt sind, und für einen Ausstrahlungswinkel ab 65° und für alle Blickwinkel rund um die Leuchte.

Leuchtdichte-Grenzwerte für Bildschirme mit negativer Polarität, wie sie z. B. in CAD-Konstruktionsbüros verwendet werden, sowie weitere Einzelheiten dazu siehe Kapitel [4.3](#) „Beleuchtung von und Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen“.

2.8 Räumliche Beleuchtung, Lichtrichtung, Modelling

Gute Erkennbarkeit beleuchteter Körper und Oberflächenstrukturen hängt wesentlich von einer ausreichenden Schattenwirkung der Beleuchtung ab.

Modelling bezeichnet die Ausgewogenheit zwischen diffuser und gerichteter Beleuchtung und ist ein wichtiges Merkmal der Beleuchtungsqualität für praktisch alle Innenräume. Das allgemeine Erscheinungsbild eines Innenraumes verbessert sich, wenn die baulichen Merkmale sowie die Personen und Gegenstände darin so beleuchtet werden, dass Form und Oberflächenstrukturen deutlich und auf angenehme Weise erkennbar sind. Dies wird erreicht, wenn das Licht merkbar eine Vorzugsrichtung besitzt; es entstehen so die für ein gutes Modelling wichtigen eindeutigen Schatten. Zu diffuse Beleuchtung ergibt eine subjektiv als unangenehm

empfundene Schattenarmut, ein langweiliges Arbeitsumfeld und ein unattraktives Lichtklima.

Die Beleuchtung sollte aber auch nicht zu stark gerichtet sein, weil sich sonst zu harte Schatten mit harten Schattenrändern bilden. Die Beleuchtung aus einer bestimmten Richtung kann in Sonderfällen, z. B. im Werkzeugbau, beim Anreißer oder bei Kontrollen von Oberflächen, Feinheiten einer Sehaufgabe herausheben, ihre Sichtbarkeit verbessern und die Durchführung der Aufgabe erleichtern. Dabei auftretende Schleierreflexionen und Reflexblendung sollten besonders beachtet und vermieden werden (siehe Kapitel 2.7.6, „Reflexblendung auf horizontalen Sehaufgaben“).

Die Qualität der Beleuchtung hängt in starkem Maße von der Erkennbarkeit räumlicher Objekte sowie von der Helligkeit vertikaler Flächen ab. Eine angenehme visuelle Kommunikation ist abhängig von der Erkennbarkeit der Gesichtszüge der anwesenden Personen. Eine zu deren Beschreibung geeignete photometrische Größe ist die zylindrische Beleuchtungsstärke E_z , genauer jedoch die halbzyklindrische Beleuchtungsstärke E_{sz} (siehe Abb. 2.22).

Für eine gute Erkennbarkeit von Gesichtern werden Gesicht-Leuchtdichten im Bereich von etwa 15 cd/m^2 bis 20 cd/m^2 als ausreichend angesehen. Diesen Leuchtdichten entspricht ein Bereich der zylindrischen Beleuchtungsstärke von 150 lx bis 200 lx . EN 12464-1 [\[51\]](#) fordert für alle Innenräume bei sitzender Tätigkeit in $1,2 \text{ m}$ und bei stehender Tätigkeit in $1,6 \text{ m}$ über dem Boden eine mittlere zylindrische Beleuchtungsstärke von 50 lx mit einer Gleichmäßigkeit U_0 von mindestens $0,10$. In Bereichen, wo gute visuelle Kommunikation besonders wichtig ist, wie z. B. in Büros, Besprechungs- und Unterrichtsräumen soll der Wert der zylindrischen Beleuchtungsstärke in $1,2 \text{ m}$ bzw. $1,6 \text{ m}$ Höhe über dem Boden mindestens 150 lx mit U_0 von mindestens $0,10$ betragen.

Die zylindrische Beleuchtungsstärke E_z ist der an einem Punkt vorhandene arithmetische Mittel-

wert der vertikalen Beleuchtungsstärken E_v . Die zylindrische Beleuchtungsstärke ist nach EN 12665 [53] der gesamte Lichtstrom, der auf eine gekrümmte Fläche eines sehr kleinen Zylinders fällt, geteilt durch die gekrümmte Oberfläche dieses Zylinders. Die Achse des Zylinders ist vertikal, wenn nicht anders angegeben.

Fußgänger, z. B. in Parkbauten und Passagen, möchten ihnen begegnende Personen frühzeitig erkennen, um das eigene Verhalten rechtzeitig auf diese einstellen zu können. Für die Erkennbarkeit von Gesichtern wird auch die halbzyllindrische Beleuchtungsstärke E_{sz} herangezogen. Sie ist definiert als der an einem Punkt vorhandene arithmetische Mittelwert der vertikalen Beleuchtungsstärke $E_v(\gamma)$ innerhalb eines Winkelbereiches des Azimutwinkels von $-\pi/2 \leq \gamma \leq \pi/2$ (siehe Abb. 2.22).

$$E_{sz} = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} E_v(\gamma) d\gamma$$

Die Schattigkeit kann durch das Verhältnis von zylindrischer Beleuchtungsstärke E_z zu horizontaler Beleuchtungsstärke E_h bewertet werden. Eine gute Schattenwirkung wird erreicht, wenn in einer Höhe von 1,20 m über dem Boden das Verhältnis von E_z/E_h im Bereich von 0,3 und 0,6 liegt. Zu tiefe Schatten lassen sich durch geeignete Anordnung mehrerer Leuchten mit nicht zu eng strahlender Lichtstärkeverteilung sowie durch

Verwendung von hellen Wänden und Möblierungen vermeiden.

Die zylindrische Beleuchtungsstärke E_z und die halbzyllindrische Beleuchtungsstärke E_{sz} sowie die Schattigkeit E_z/E_h können mit entsprechender Software berechnet und grafisch dokumentiert werden. Zur Bestimmung von E_z/E_h müssen die Rasterpunkte für die horizontale und die zylindrische Beleuchtungsstärke übereinstimmen.

Abbildung 2.22: Halbzyllindrische und zylindrische Beleuchtungsstärke.

(a) Zur Erläuterung der halbzyllindrischen Beleuchtungsstärke als lichttechnisches Kriterium zur Erkennbarkeit von dreidimensionalen Sehauflagen wie Gesichtern.

(b) Der Mittelwert der vertikalen Beleuchtungsstärken auf einer Zylinderoberfläche ergibt die zylindrische Beleuchtungsstärke. Das Verhältnis der zylindrischen und der horizontalen Beleuchtungsstärke definiert die Schattigkeit E_z/E_h an diesem Punkt.

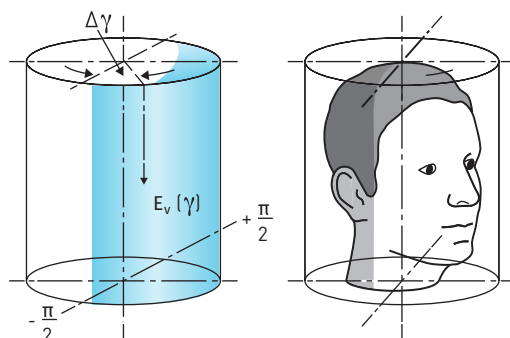


Abbildung 2.22: (a)

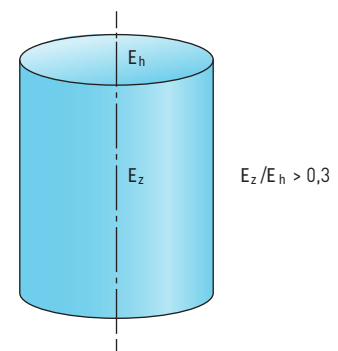


Abbildung 2.22: (b)

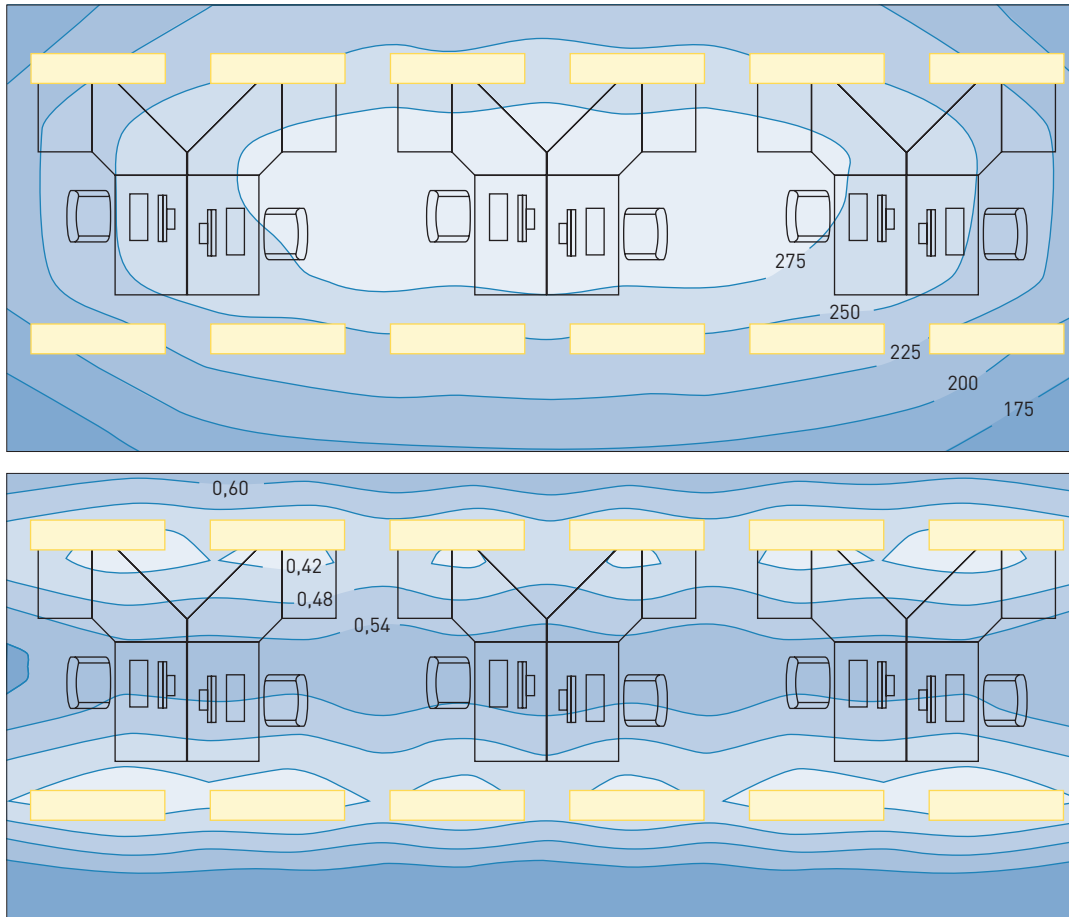


Abbildung 2.23: Beispiel für die Dokumentation der zylindrischen Beleuchtungsstärke E_z (oben) und der Schattigkeit E_z/E_h (unten) in einem Büro, Bewertungsebene 1,2 m über dem Boden.

2.9 Lichtfarbe

Die Farbqualität einer Lampe bzw. eines Leuchtmittels mit annähernd weißem Licht wird durch zwei Eigenschaften gekennzeichnet:

- Lichtfarbe des Leuchtmittels
- Farbwiedergabe – gekennzeichnet durch den Farbwiedergabe-Index Ra , welche das farbige Aussehen von Gegenständen und Personen beeinflusst, die von dieser Lichtquelle beleuchtet werden

Die Lichtfarbe einer Lichtquelle wird durch die ähnlichste Farbtemperatur T_{cp} (température de couleur proximale) gekennzeichnet. Die ähnlichste Farbtemperatur ist diejenige Temperatur, die erhitztes Platin annimmt, um in gleicher

Farbe zu erscheinen wie die Lichtquelle (siehe Abb. 2.24).

Niedrige Farbtemperaturen beschreiben warme, gelb-rot-weiß erscheinende Lichtfarben, wie z. B. Kerzen, Halogenleuchtampen und andere Temperaturstrahler. Hohe Farbtemperaturen beschreiben kalte, also mehr weiß-blaue Lichtfarben (siehe Tabelle 2.8), wie z. B. das Tageslicht mit etwa 6.500 K (bedeckter Himmel).

In EN 12464-1 [51] (siehe Kapitel 2.1.2 „Europäische Norm EN 12464-1“) werden keine Empfehlungen zur Lichtfarbe der zu verwendenden Leuchtmittel gegeben, weil deren Auswahl stark von der Psychologie, der Ästhetik und dem, was in den unterschiedlichen Regionen Europas als natürlich angesehen wird, abhängt. Die Wahl der geeigneten Lichtfarbe der Leuchtmittel

Abbildung 2.24: Auszug aus der Normfarbtafel nach CIE mit dem planckschen Kurvenzug, der die Lichtfarbe des erhitzten Platins repräsentiert. Eingezeichnet sind ähnlichste Farbtemperaturen in Kelvin (K) sowie Etwa-Farborte von Lichtfarben, z. B. von Leuchtstofflampen. E ist der Unbuntpunkt oder Weißpunkt.

hängt auch vom Beleuchtungsstärkeniveau, den Farben des Raumes und der Möbel, vom Klima der Umgebung und dem Anwendungsfall ab. In warmen Klimazonen wird allgemein eine höhere Farbtemperatur, z. B. tageslichtweiß, bevorzugt, in kaltem Klima eher eine niedrigere Farbtemperatur wie warmweiße Lichtfarben. Für die meisten Sehauaufgaben werden die in Mitteleuropa bevorzugten Lichtfarben warmweiß und neutralweiß empfohlen.

2.10 Farbwiedergabe

Für die Sehleistung, die Behaglichkeit und das Wohlbefinden ist es wichtig, dass die Farben der Umgebung, der Objekte und der menschlichen Haut natürlich und wirklichkeitsgetreu wiedergegeben werden. Dies lässt Menschen attraktiv und gesund aussehen. Je nach Einsatzort und Sehauaufgaben sollten künstliche Lichtquellen ebenso eine möglichst korrekte Farbwahrnehmung gewährleisten wie das natürliche Tageslicht.

Trotz gleicher Lichtfarbe können die Leuchtmittel aufgrund unterschiedlicher spektraler Zusammensetzung ihrer Strahlung unterschiedliche Farbwiedergabe-Eigenschaften haben. Zur objektiven Kennzeichnung der Farbwiedergabe-Eigenschaften einer Lichtquelle wurde der allgemeine Farbwiedergabe-Index R_a eingeführt. Der Farbwiedergabe-Index bezeichnet das Maß der Übereinstimmung der gesehenen Körperfarbe mit ihrem Aussehen unter der jeweiligen Bezugslichtquelle. Zur Bestimmung des R_a -Wertes werden die Farbverschiebungen von acht genormten Testfarben bestimmt, die sich ergeben, wenn die Testfarben mit der zu prüfenden Lichtquelle bzw. mit der Bezugsquelle beleuchtet werden. Je geringer die Abweichung ist, desto besser ist die Farbwiedergabe-Eigenschaft der geprüften Lichtquelle. Eine Lichtquelle mit $R_a = 100$ gibt alle Farben wie unter der Bezugslichtquelle optimal wieder. Je niedriger der R_a -Wert ist, umso weniger gut werden die Farben wiedergegeben. Zum Beispiel ist die Bezugslichtquelle für tageslichtweiße Lichtquellen das natürliche

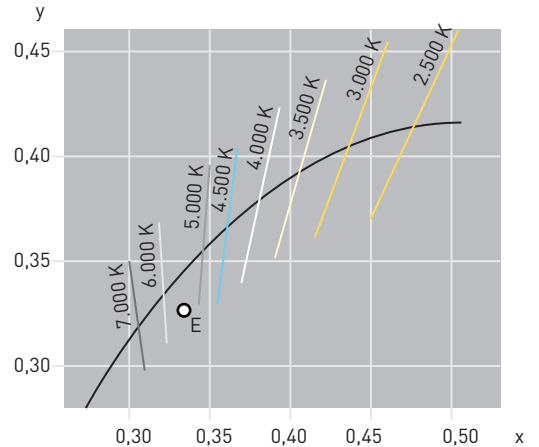


Abbildung 2.24

Lichtfarbe	Ähnlichste Farbtemperatur T_{cp}
Warmweiß	unter 3.300 K
Neutralweiß	von 3.300 K bis 5.300 K
Tageslichtweiß	über 5.300 K

Tabelle 2.8

Tageslicht mit einer Farbtemperatur von 6.500 K, was einem bedeckten Himmel ohne Sonnenlicht entspricht. Für Lichtquellen mit einer Farbtemperatur < 5.000 K ist die Bezugslichtart der plancksche Strahler.

Leuchtmittel mit einem Farbwiedergabe-Index kleiner als 80 sollten nach EN 12464-1 [51] in Innenräumen, in denen Menschen für längere Zeit (mehr als zwei Stunden) arbeiten oder sich aufhalten, nicht verwendet werden. Ausnahmen lässt die Norm für besondere Beleuchtungsaufgaben zu. Jedoch sind in diesen Fällen geeignete Maßnahmen zu ergreifen, damit an festen und ständig besetzten Arbeitsplätzen und dort, wo Sicherheitsfarben fehlerfrei erkannt werden müssen, eine höhere Farbwiedergabe sichergestellt ist (siehe auch ISO 3864 „Grafische Symbole – Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen – Teil 1: Sicherheitszeichen an Arbeitsstätten und in öffentlichen Bereichen – Gestaltungsgrundsätze“ [24]).

In der Praxis kann diese Problematik auf Grund der vorangeschrittenen Entwicklung effizienter LED-Leuchten heute schon als überholt angesehen

Tabelle 2.8: Lichtfarbe und ähnlichste Farbtemperatur von Lampen nach EN 12464-1 [51]



Abbildung 2.25:
Gute Farbwiedergabe
und ungenügende
Farbwiedergabe.

hen werden. Bei hoher Lichtausbeute $\geq 130 \text{ lm/W}$ und gleichzeitig guter Farbwiedergabe ($R_a \geq 80$) können mit LED-Leuchten zu vertretbaren Kosten auch in industriellen Fertigungsstätten wirtschaftliche Beleuchtungslösungen umgesetzt werden.

In Räumen mit geringer Tageslichtversorgung ist eine Beleuchtung mit einer circadianen Dynamik der Farbtemperatur empfohlen (siehe Kapitel [3.3.1](#) „Human Centric Lighting“).

Um die Lichtfarbe und Farbwiedergabe von Leuchtmitteln zu kennzeichnen, ist international eine herstellernerneutrale Farbbezeichnung eingeführt worden, die aus drei Ziffern besteht (siehe Tabelle 2.10). Zum Beispiel deklariert die Bezeichnung 840 einen Farbwiedergabe-Index von 80 bis 89 und die Farbtemperatur von 4.000 K, was der Lichtfarbe Neutralweiß entspricht. Für LED-Leuchten hat sich dieses Bezeichnungssystem weitgehend durchgesetzt.

Anders als bei den in der Vergangenheit üblichen Entladungslampen können hochwertige LED-Leuchten mit guter oder sehr guter Farbwiedergabe bei nur geringen Einbußen der Lichtausbeute bereitgestellt werden.

2.11 Flimmern und stroboskopische Effekte

Unter Flimmern versteht man im Allgemeinen eine periodische Schwankung der Intensität des Lichtes.

Starke Intensitätsschwankungen bei niedrigen Frequenzen ($< 60 \text{ Hz}$) sind mit bloßem Auge sichtbar. Ein solches Flimmern wird in der Regel als unangenehm empfunden und kann unter Umständen zu erheblichen Störungen des Wohlbefindens führen. Bis zu einer Frequenz von 100 Hz ist Flimmern im peripheren Gesichtsfeld wahrnehmbar. In welchem Maße das Flimmern als störend oder akzeptierbar empfunden wird, hängt in hohem Maße von den Umgebungsbedingungen vor Ort und der zu verrichtenden Sehaufgabe ab.

Außerdem können Flimmern und Intensitätsschwankungen höherer Frequenzen zu Stroboskopeffekten führen. Zum Beispiel überlagert sich die periodische Lichtschwankung mit der periodischen Bewegung rotierender oder sich hin- und herbewegender Maschinenteile und verändert dadurch die Wahrnehmung des Bewegungsverlaufs. Dies kann zu gefährlichen Fehleinschätzungen führen.

Die 1. Ziffer kennzeichnet die Farbwiedergabe

1. Ziffer	R_a -Bereich
9	90–100
8	80–89
7	70–79
6	60–69
5	50–59
4	40–49

Die 2. und 3. Ziffer kennzeichnen die Lichtfarbe

2. und 3. Ziffer	Farbtemperatur
27	2.700 K
30	3.000 K
40	4.000 K
50	5.000 K
60	6.000 K
65	6.500 K

Tabelle 2.9:
Internationale,
herstellernerneutrale
Farbbezeichnung
von Leuchtmitteln

Aber auch ohne sichtbare Wahrnehmung kann Flimmern bis zu Frequenzen von ca. 400 Hz bei empfindlich veranlagten Personen mit dem Auge erfasst werden und zu direkten physiologischen Auswirkungen führen.

Beleuchtungssysteme sollten deshalb grundsätzlich so ausgelegt werden, dass störendes Flimmern und Stroboskopeffekte weitestgehend vermieden werden. Um dennoch auftretendes Flimmern bezüglich der unterschiedlichen Aspekte seiner Auswirkungen zu bewerten, haben sich unterschiedliche Bewertungsschemata als sinnvoll erwiesen, die weiter unten beschrieben werden.

Häufige Ursache eines Flimmerns ist die 50-Hz-Netzspannung, mit der das Leuchtmittel bzw. das Betriebsgerät des Leuchtmittels versorgt wird. Beim Null-Durchgang der Spannung ist die Aufrechterhaltung des Lichtstroms nicht gewährleistet, was in der Regel zu einem 100-Hz-Flimmern führt.

Bei Einsatz von LED-Leuchten ist zu beachten, dass die LEDs in der Regel zwar mit stabilisierter Gleichspannung betrieben werden, ein gedimmter Betrieb jedoch häufig mittels einer Pulsweitenmodulation (PWM, siehe auch Kapitel 5.8.5, „Dimmung durch Betriebsstromregulierung und Pulsweitenmodulation“) realisiert wird. Die Frequenz der PWM sollte bei hochwertigen LED-Leuchten über 400 Hz betragen, womit die oben erwähnten

negativen physiologischen Effekte sicher vermieden sind. In industriellen Betrieben muss eine Gefährdung durch stroboskopische Effekte ggf. gesondert betrachtet werden.

Bei LED-Retrofit-Lampen wird häufig auf eine aufwendige Gleichstromerzeugung zur Versorgung der LEDs verzichtet. Ein deutliches 100-Hz-Flimmern ist dabei die Folge, die zu den oben erwähnten Beeinträchtigungen führen kann (siehe auch Abbildung 5.51 im Kapitel 5.9.1 „Induktive Vorschaltgeräte“).

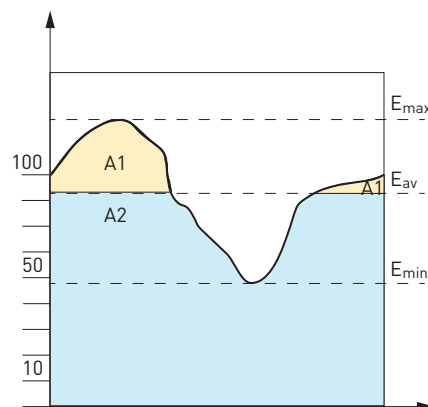
Flimmern und stroboskopische Effekte sind beim Betrieb von Entladungslampen durch die Verwendung von elektronischen Vorschaltgerät (EVG) mit deutlich höheren Frequenzen im Allgemeinen vermeidbar.

2.11.1 Flickerfaktor und Flickerindex

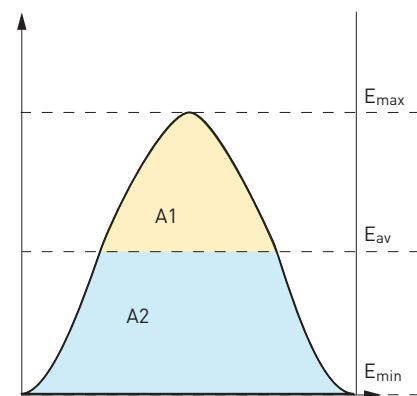
In technischen Zusammenhängen wird zur Beschreibung eines periodischen Flimmerns häufig der englische Begriff „Flicker“ verwendet. Zur Bemessung des Flickers werden in der Praxis zwei unterschiedliche Größen herangezogen:

- der Flickerfaktor und
- der Flickerindex.

Abbildung 2.26:
Die Werte E_{\max} und E_{\min} dienen zur Berechnung der Modulationstiefe bzw. des Flickerfaktors. A_1 und A_2 dienen zur Bestimmung des Flickerindex, der auch den zeitlichen Verlauf der Beleuchtungsstärke berücksichtigt.



(a) Flickerfaktor $F_{\text{Flicker}} = 35\%$



(b) Flickerfaktor $F_{\text{Flicker}} = 100\%$

Der Flickerfaktor charakterisiert die Modulationstiefe der zeitlichen Änderung der Beleuchtungsstärke an einem Ort. Er ergibt sich aus dem Minimum und dem Maximum der Beleuchtungsstärke innerhalb einer Periode zu:

$$F_{\text{Flicker}} = \frac{E_{\text{max}} - E_{\text{min}}}{E_{\text{max}} + E_{\text{min}}} \cdot 100\%$$

Dabei kann die Beleuchtungsstärke am betreffenden Ort durch eine oder mehrere Lichtquellen erzeugt worden sein. Bei mehreren Quellen ist ggf. der Lichteinfall aus unterschiedlichen Richtungen einzeln zu berücksichtigen. In der Praxis wird der Flickerfaktor z. B. herangezogen, um die Eignung einer Lichtquelle für Sportereignisse zu bewerten, wenn Film- oder Fernsehaufnahmen in Zeitlupen-Qualität aufgenommen werden sollen (siehe Kapitel 4.4.10 „Beleuchtung für Fernseh- und Filmaufnahmen“).

Der Flickerindex berücksichtigt neben der Modulationstiefe auch den zeitlichen Verlauf der Beleuchtungsstärke, d. h. die Kurvenform, mittels der Flächen A_1 und A_2 gemäß der Abbildung 2.26 mit der Formel

$$I_{\text{Flicker}} = \frac{A_1}{A_1 + A_2}$$

2.11.2 Short-Term-Light-Modulation ($P_{\text{st}}^{\text{LM}}$) und Stroboscopic Visibility Measure (SVM)

Flickerfaktor und Flickerindex beschreiben die Form der Intensitätsschwankungen des Lichtes, unabhängig von seiner Frequenz. In technischen Zusammenhängen hat sich dies als sinnvoll erwiesen. Denn der Einfluss der Frequenz auf den Effekt des Flickers ist abhängig von ihrem Verhältnis zu der sich überlagernden Frequenz des betreffenden technischen Systems selbst, wie z. B. der Drehfrequenz einer Maschine oder der Bildfrequenz einer Kamera.

Die Frequenzabhängigkeit der Wahrnehmung eines Flimmerns kann hingegen als eindeutig

vorgegeben angenommen werden. Zwei in jüngster Vergangenheit entwickelte Verfahren stehen zur Verfügung, um diese zu beschreiben:

- Das $P_{\text{st}}^{\text{LM}}$ -Verfahren (Short-Term-Light-Modulation) beschreibt die direkte Wahrnehmung im Frequenzbereich von 0,3 Hz bis 80 Hz. Das Flimmern dieser niedrigen Frequenzen kann bei ruhendem Blick in einer ruhenden Umgebung wahrgenommen werden.
- Das SVM-Verfahren (Stroboscopic Visibility Measure) beschreibt die Wahrnehmung von stroboskopischen Effekten im Frequenzbereich oberhalb von 80 Hz bis 2.000 Hz. Zur Wahrnehmung des Flimmerns dieser erhöhten Frequenzen ist eine Bewegung erforderlich. Es kann sich sowohl der betrachtete Gegenstand für eine Ortsveränderung als auch das Auge für eine Änderung der Blickrichtung bewegen. In beiden Fällen ist ein Flimmern auf Grund des nicht kontinuierlich beleuchteten Bewegungsablaufes wahrnehmbar.

Beide Bewertungsverfahren befinden sich im Stadium der Standardisierung. Sie berücksichtigen die Frequenzabhängigkeit der menschlichen Wahrnehmung und definieren Messverfahren, die in Flicker-Messgeräten umgesetzt werden. Die Details der $P_{\text{st}}^{\text{LM}}$ -Bewertung sind in der IEC-Publikation IEC/TR 61547-1 [19] und der Norm EN 61000-4-15 [76] definiert. Das SVM-Verfahren ist in dem technischen Fachbericht DIN SPEC 43197:2019-06 [25] beschrieben.

2.12 Tageslicht

Zur lichttechnischen Gestaltung von Räumen gehört nicht nur die künstliche Beleuchtung, sondern auch eine Kombination von Tageslicht und künstlichem Licht. Tageslicht ist dabei die in Arbeitsstätten bevorzugt einzusetzende Lichtquelle. In der ASR A3.4. [110], die die gesetzlichen Anforderungen an Sicherheit und Gesundheitsschutz der Beschäftigten bei der Arbeit regelt, heißt es dazu: „Die Arbeitsstätten müssen möglichst ausreichend Tageslicht erhalten. Eine

Beleuchtung mit Tageslicht ist der Beleuchtung mit ausschließlich künstlichem Licht vorzuziehen.“

Tageslicht ändert im Laufe des Tages sowohl seine Intensität als auch seine spektrale Zusammensetzung und sorgt somit im Innenraum für Variabilität und Dynamik, wie der Mensch sie in seiner natürlichen Umgebung her gewohnt ist (siehe auch Kapitel [3.3.1](#) „Human Centric Lighting“). Tageslicht ist der bedeutendste Taktgeber für den circadianen Rhythmus.

Fenster können zusätzlich eine Sichtverbindung nach außen herstellen, wie sie grundsätzlich auch in europäischen Richtlinien gefordert wird (siehe auch EG-Richtlinien 89/654/EWG [\[148\]](#) und 92/58/EWG [\[150\]](#), in Deutschland durch die Arbeitsstättenverordnung [\[148\]](#) umgesetzt). Für die Beschäftigten ist dies von besonderer Bedeutung, da ein Blick nach außen im Allgemeinen als positive zeitliche Orientierungshilfe im Tagesverlauf empfunden wird. Dabei sind die Arbeitsplätze so anzuordnen und auszurichten, dass hohe Leuchtdichten an Fenstern und vom Tageslicht beschienenen Flächen möglichst geringe Störungen bzgl. der im Raum zu verrichtenden Sehauaufgaben bewirken.

In Räumen mit seitlichen Fenstern nimmt das Niveau des Tageslichtes mit der Entfernung vom Fenster stark ab. Bei nicht ausreichendem Tageslicht in der Raumtiefe ist – wie auch im gesamten Raum in den Morgen- und Abendstunden – die Beleuchtung der Sehauaufgaben mit künstlichem Licht zu ergänzen. Dazu werden LED-Lichtquellen mit veränderlicher Farbtemperatur, in der Regel zwischen 2.700 K und 6.500 K, verwendet. Mit Hilfe eines geeigneten Lichtsteuersystems ist dann ein automatisierter Ablauf für ein gutes circadianes Zusammenwirken von künstlicher und natürlicher Beleuchtung leicht einzurichten (siehe Kapitel [3.3.6](#) „Human Centric Lighting und Lichtplanung“).

Aufgrund des nahezu horizontalen Lichteinfalls durch seitliche Fenster kann das Tageslicht ein spezifisches Modelling und eine besondere Leuchtdichteverteilung im Raum erzeugen. Um Blendung durch Fenster zu vermeiden, sollte, wo es zweckmäßig ist, eine Abschirmung vorgesehen werden. Dies gilt z. B. für Räume mit Bildschirmarbeitsplätzen (siehe Kapitel [4.3](#) „Beleuchtung von Büros und Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen“).

Der Einfluss der Tageslichtnutzung auf die Energieeffizienz der Beleuchtung ist ausführlich im Kapitel [3.5](#) „Licht und Umwelt“ beschrieben.

B₄
BEHANDLUNG



WEITERE KRITERIEN DER BELEUCHTUNG

Inhalt

3.0	Weitere Kriterien der Beleuchtung	62
3.1	Wartungsfaktor (Erhalt des Beleuchtungsniveaus)	62
3.2	Licht und Arbeitsschutz	84
3.3	Licht und nicht-visuelle Wirkungen	90
3.4	Licht und Wirtschaftlichkeit	110
3.5	Licht und Umwelt	122
3.6	Gebäudezertifizierung	156
3.7	Beleuchtungsplanung	164
3.8	Messung der Beleuchtung	177
3.9	Notbeleuchtung	186

3.0

WEITERE KRITERIEN DER BELEUCHTUNG

3.1

Wartungsfaktor (Erhalt des Beleuchtungsniveaus)

Die Beleuchtungsstärken bzw. Leuchtdichten in künstlichen Beleuchtungsanlagen sind über die Betriebsdauer nicht konstant. Sie nehmen im Laufe der Betriebszeit aufgrund von Alterung und Ausfall von Leuchtmitteln, durch Verschmutzung der Lampen und Leuchten und in der Innenraumbeleuchtung auch durch Verringerung des Reflexionsgrades der Raumbegrenzungsflächen (Raumverschmutzung) ab (siehe Abschnitt 2.4 „Beleuchtungsstärke“).

Die in EN 12464-1 [51] empfohlenen Beleuchtungsstärkewerte dürfen zu keinem Zeitpunkt unterschritten werden. Sie werden daher auch als Wartungswert der Beleuchtungsstärke bezeichnet. Um die Abnahme der Beleuchtungsstärke bzw. Leuchtdichte aufgrund der Betriebsbedingungen zu kompensieren, muss die Neuanlage eine entsprechend höhere Beleuchtungsstärke aufweisen (Neuwert). Bei der Planung wird die Abnahme durch den Wartungsfaktor erfasst. Sein Zahlenwert liegt zwischen 0 und 1 und gibt an, welcher Anteil des Neuwertes der Beleuchtungsstärke bzw. der Leuchtdichte zu dem Zeitpunkt noch zur Verfügung stehen soll, an dem die nächste Wartung oder Instandsetzung der Beleuchtungsanlage zu erfolgen hat. Der einer Planung zugrunde zu legende Neuwert der Beleuchtungsstärke ergibt sich daher aus dem Wartungswert und dem Wartungsfaktor bzw. dessen Kehrwert, dem Neuwertfaktor.

Neuwert = Wartungswert / Wartungsfaktor

Neuwert = Wartungswert · Neuwertfaktor

Der Wartungsfaktor **MF** (maintenance factor) hängt von der Art der Leuchtmittel und Leuchten und der Staub- und Verschmutzungsgefahr des Raumes sowie von der Wartungsmethode und dem Wartungsintervall ab. Theoretisch setzt sich der **MF** zusammen aus

- dem Lampenlichtstromwartungsfaktor **LLMF** (beschreibt die Abnahme des Lampenlichtstroms der Leuchtmittel im Laufe der Nutzungsdauer),
- dem Lampenüberlebensfaktor **LSF** (beschreibt den Ausfall von Leuchtmitteln im Laufe der Nutzungsdauer),
- dem Leuchtenwartungsfaktor **LMF** (beschreibt den Einfluss der Verschmutzung des optischen Systems der Leuchten zwischen zwei Reinigungen) und
- dem Raumwartungsfaktor **RMF** (beschreibt die Verschlechterung des Beleuchtungswirkungsgrades aufgrund von Verschlechterung der Reflexionsgrade der Raumbegrenzungsflächen).

$$MF = LLMF \cdot LSF \cdot LMF \cdot RMF$$

Das Produkt aus dem Lampenlichtstromwartungsfaktor **LLMF** und dem Lampenüberlebensfaktor **LSF** wird auch Lampenwartungsfaktor **LaMF** bezeichnet:

$$MF = LaMF \cdot LMF \cdot RMF$$

EN 12464-1

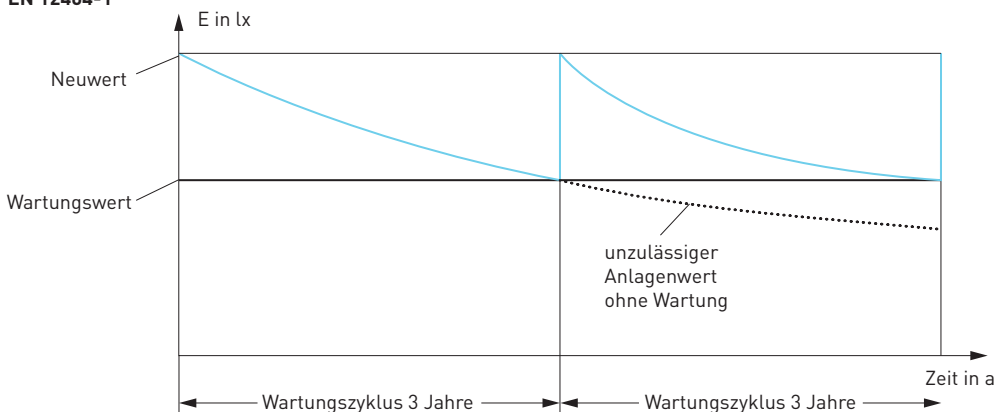


Abbildung 3.1: Abnahme der mittleren Beleuchtungsstärke im Laufe der Betriebszeit der Anlage am Beispiel eines dreijährigen Wartungszyklus

Meist sind zum Zeitpunkt der Planung der Beleuchtung die späteren betriebsbedingten Einflüsse auf die Abnahme der Beleuchtungsstärke nicht ausreichend bekannt, sodass der Wartungsfaktor – wie es die Norm EN 12464-1 [51] empfiehlt – nicht ermittelt werden kann, sondern vom Planer in Eigenverantwortung festgelegt werden muss.

Der in einer Beleuchtungsanlage zu installierende Anlagenlichtstrom ϕ wird einerseits – im Idealfall – als Produkt aus dem Wert der Beleuchtungsstärke \bar{E}_m und der Größe der zu beleuchtenden Fläche A bestimmt. Andererseits sind die realen Rahmenbedingungen der Beleuchtung mit den Faktoren des Beleuchtungswirkungsgrades und des Wartungsfaktors zu berücksichtigen.

$$\phi = \frac{\bar{E}_m \cdot A}{\eta_B \cdot MF}$$

- ϕ Anlagenlichtstrom
- \bar{E}_m Wert der Beleuchtungsstärke
- η_B Beleuchtungswirkungsgrad
- A beleuchtete Fläche
- MF Wartungsfaktor

¹ Der TRILUX LIFETIME RECHNER ermöglicht die Ermittlung des LLMF und LSF von LED-Leuchten in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer und der Umgebungstemperatur sowie die Umrechnung zwischen unterschiedlichen Lebensdauerspezifikationen (z. B. von L_{80} nach L_{70} , siehe auch Kapitel 9.2.5 „Lebensdauer von LED-Leuchten“). Der Wartungsfaktor (MF) kann ermittelt werden, wenn der LMF und der RMF der Anwendung bekannt sind.

Die Formel zeigt, dass ein niedriger Wartungsfaktor einen erhöhten erforderlichen Neuwert des Anlagenlichtstroms bedingt und damit ggf. zu einer erhöhten Anzahl von Leuchten und zu erhöhten Investitionskosten führt.

Insofern ist bei der Planung einer Beleuchtungsanlage auf die realistische Einschätzung der realen Rahmenbedingungen zu achten. Ein skeptisch-niedriger Wert des Wartungsfaktors führt

- zu erhöhter Sicherheit hinsichtlich der Einhaltung z. B. von Arbeits- und Gesundheitsschutzanforderungen,
- ggf. zu erhöhten Investitionskosten und
- ggf. zu erhöhten jährlichen Betriebskosten der Anlage, dem jedoch durch eine Konstantlichtregelung entgegen gewirkt werden kann (siehe Beispiel der Metall-/Reparaturwerkstatt im

Kapitel 3.5.13 „Beispiele: Energiebedarf für Licht gemäß DIN V 18599-4“).

Ein optimistisch-hoher Wert des Wartungsfaktors führt

- zu scheinbar niedrigen Investitions- und Betriebskosten und
- zu unübersehbaren Folgen hinsichtlich der Einhaltung z. B. von Arbeits- und Gesundheitsschutzanforderungen.

Insofern kommt bei der Vergleichbarkeit der Planungen von Beleuchtungsanlagen der realistischen Berücksichtigung der zeitlichen Abnahme der Anlagenwerte – also dem Wartungsfaktor – eine wichtige technische, aber auch kommerzielle Bedeutung zu.

Grundsätzlich bestehen zwei Möglichkeiten, den Wartungsfaktor zu bestimmen:

- Verwendung empfohlener Referenzwartungsfaktoren
- Bestimmung aufgrund der Referenzwerte von Leuchtmitteln, Leuchten und Raum.

Für LED-Leuchten steht Nutzern des TRILUX-Portals ein Berechnungswerkzeug (TRILUX LIFETIME RECHNER¹) für die Ermittlung von LLMF und LSF zur Verfügung.

In den folgenden Abschnitten wird die Ermittlung der Referenzwartungsfaktoren erläutert.

3.1.1 Wartungsfaktor aufgrund von Referenzwerten von Leuchtmitteln, Leuchten und Raum

Im Allgemeinen kann der Wartungsfaktor nach der folgenden Formel aus den betreffenden Angaben der Lampen- und Leuchtenhersteller bzw. aus Referenzkurven ermittelt werden:

$$MF = LLMF \cdot LSF \cdot LMF \cdot RMF$$

Dieses Verfahren wird ausführlich in der Publikation CIE 97.2:2005 [161] mit dem Titel „Guide on the maintenance of indoor electric lighting systems“ beschrieben. Nach DIN EN 12665 [53] sind die hier verwendeten Begriffe wie folgt definiert:

Wartungsfaktor MF (maintenance factor) ist das Verhältnis der mittleren Beleuchtungsstärke auf der Nutzebene am Ende der Nutzungsdauer einer Beleuchtungsanlage zu der mittleren Beleuchtungsstärke, die man unter denselben Bedingungen bei einer neuen Anlage erhält.

Lampenlichtstromwartungsfaktor LLMF (lamp lumen maintenance factor) ist das Verhältnis des Lichtstroms des Leuchtmittels am Ende der Nutzungsdauer zu seinem anfänglichen Wert.

Lampenüberlebensfaktor LSF (lamp survival factor) ist der Anteil der Gesamtzahl der Lampen, die am Ende der Nutzungsdauer unter festgelegten Bedingungen und einer bestimmten Schaltfrequenz weiterhin betriebsbereit sind. Bei LED-Leuchten wird dieser im Allgemeinen durch den Totalausfall der LED-Leuchte bestimmt (siehe Kapitel 9.2.4).

Leuchtenwartungsfaktor LMF (luminaire maintenance factor) ist das Verhältnis des Betriebswirkungsgrades einer Leuchte am Ende der Nutzungsdauer zum Betriebswirkungsgrad der neuen Leuchte (Leuchtenbetriebswirkungsgrad). Für LED-Leuchten ist der Leuchtenbetriebswirkungsgrad im Neuzustand $\eta_{LB} = 1$.

Raumoberflächenwartungsfaktor RSMF (room surface maintenance factor) ist das Verhältnis der Raumoberflächenreflexionswerte am Ende der Nutzungsdauer zu den Anfangsreflexionswerten. Der Raumoberflächenwartungsfaktor nach EN 12665 [53] beschreibt nur die Änderung des Reflexionsgrades der Raumoberflächen. Diese bewirkt keine zu ihr proportionale Änderung (Abnahme) der Beleuchtungsstärke auf der Nutzebene, da sowohl Direktanteil des Lichtes als auch Mehrfachreflexionen auftreten.

Raumwartungsfaktor RMF (room maintenance factor) erfasst die Änderung des Raumwirkungsgrades η_R während der Betriebszeit. Der Raumwirkungsgrad beschreibt dabei die Abhängigkeit der Beleuchtungsstärke auf der Nutzebene aufgrund der Verschlechterung der Oberflächenreflexion unter Berücksichtigung des Direktanteils des Lichtes und der auftretenden Mehrfachreflexionen.

$$RMF = \frac{\eta_R(\text{am Ende der Nutzungsdauer})}{\eta_R(\text{Neuanlage})}$$

3.1.2 Der Lampenwartungsfaktor einer LED-Leuchte

Im Rahmen einer lichttechnischen Planung mit LED-Leuchten und LED-Lampen ist der im vorangegangenen Kapitel eingeführte Wartungsfaktor in der genannten Form

$$MF = LLMF \cdot LSF \cdot LMF \cdot RMF$$

zu berücksichtigen. Dabei beschreiben die Faktoren **LLMF** und **LSF** den Anteil des Leuchtmittels zu dem Wartungsfaktor.

Der **Lampenlichtstromwartungsfaktor LLMF** berücksichtigt den durchschnittlichen Lichtstromrückgang des LED-Leuchtmittels. Er entspricht dabei dem Restlichtstrom, der am Ende der für die Planung veranschlagten Nutzungszeit aufgrund der Degradation des LED-Leuchtmittels

noch zur Verfügung steht. Stimmt die geplante Gesamtbetriebszeit der Beleuchtungsanlage (in der Nutzungsdauer bis zur Außerbetriebnahme) mit der vom Hersteller genannten Bemessungslebensdauer L_x überein, so gilt:

$$LLMF = \frac{x}{100} \text{ (zum Zeitpunkt } L_x \text{)}$$

Der Index „x“ gibt per Definition den $LLMF$ am Ende der mittleren Bemessungslebensdauer L_x in Prozent an (siehe auch Kapitel 9.2.4).

Bei Abweichungen der geplanten Nutzungszeit von der Bemessungslebensdauer kann der Lampenlichtstromwartungsfaktor $LLMF$ – in gewissen Grenzen – errechnet werden (siehe Kapitel 9.2.4 „Lebensdauer von LED-Produkten“). Werte des Lampenlichtstromwartungsfaktors $LLMF$ können für im Markt gebräuchliche Angaben der Bemessungsklassen L_x den Tabellen auf den folgenden Seiten entnommen oder mit dem [TRILUX LIFETIME RECHNER](#) bestimmt werden (siehe Fußnote in Kapitel 9.2.4 Lebensdauer von LED-Leuchten).

Der zweite Einflussfaktor des Leuchtmittels, der **Lampenüberlebenswartungsfaktor LSF** , wird für LED-Leuchtmittel durch die Ausfallrate z (siehe Kapitel 9.2.4 „Lebensdauer von LED-Leuchten“) am Ende der veranschlagten Nutzungszeit C_z (z. B.: $C_z = L_x$) bestimmt. Dieser ist in der Regel nur von Bedeutung, wenn eine hohe Degradation, also ein niedriger x -Wert der zu berücksichtigenden Bemessungslebensdauer L_x , erreicht wird.

Der Index „z“ von C_z gibt die zu einem vorgegebenen Zeitpunkt zu erwartende Ausfallrate in Pro-

zent an. Die Ausfallrate steht mit dem Lampenüberlebensfaktor LSF in der Beziehung:

$$LSF = 1 - \frac{z}{100}$$

Auch die Werte des Lampenüberlebenswartungsfaktors LSF können den folgenden Tabellen entnommen oder mit dem [TRILUX LIFETIME RECHNER](#) bestimmt werden.

In den Tabellen ist ferner in der jeweils dritten Zeile ein Wert $LaMF_{\text{kombiniert}}$ angegeben. Dieser ist das Produkt von $LLMF$ und LSF und damit der in der Planung zu berücksichtigende Lampenwartungsfaktor $LaMF$, sofern ausgefallene Leuchtmittel nicht sofort ersetzt werden, also eine **Gruppenauswechslung** stattfinden soll:

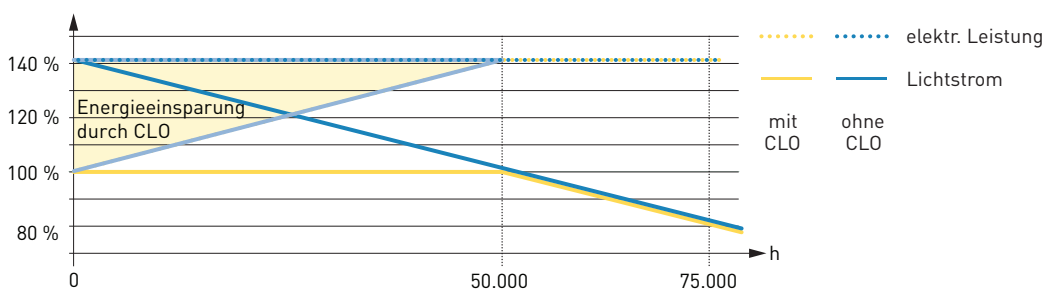
$$LaMF = LLMF \cdot LSF = LaMF_{\text{kombiniert}}$$

Bei der **Einzelauswechslung** ausgefallener Leuchtmittel kann der Lampenwartungsfaktor $LaMF$ mit dem Lampenlichtstromwartungsfaktor $LLMF$ gleichgesetzt werden:

$$LaMF = LLMF$$

Weitere Tabellen berücksichtigen die Möglichkeit, die Degradation der LED-Leuchtmittel durch eine elektronisch geregelte Erhöhung der Leistungsaufnahme des Leuchtmittels, die sogenannte **Konstantlichtstrom-Regelung (CLO, constant light output)**, zu kompensieren. Im Rahmen der angegebenen Bemessungslebensdauer können diese Leuchten bzw. Leuchtmittel mit einem Lampenlichtstromwartungsfaktor $LLMF = 1$ geplant werden. Für den Energie-

Abbildung 3.2: Darstellungen des Lichtstroms, der Leistungsaufnahme und der Energieeinsparung mit CLO; beispielhafte Gegenüberstellung mit technisch identischer Leuchte $L_{70}=50.000$ h ohne CLO



verbrauch ist in der Planung jedoch der zeitabhängige Anstieg der Leistungsaufnahme zu berücksichtigen. Dieser wird in den Tabellen durch den Wert des Leistungslebensdauerfaktors PLF (power lifetime factor) gekennzeichnet. Für den Energieverbrauch einer solchen Leuchte von ihrem Neuzustand bis zu einem Zeitpunkt t innerhalb ihrer Bemessungslebensdauer gilt:

$$W_{\text{neu}}(t) = P_{\text{neu}} \cdot \frac{1 + \text{PLF}(t)}{2} \cdot t, \text{ für } t \leq L_x.$$

(Siehe Abbildung 3.2 und Kapitel [9.2.4](#), Abschnitt „Bemessungslebensdauer bei Konstantlichtstrom-Regelung“.)

Wird die Bemessungslebensdauer überschritten, kann – in gewissen Grenzen – für die anschließende Zeit eine Lichtstromdegradation bei fester maximaler Leistungsaufnahme angenommen werden (siehe Kapitel [9.2.4](#), Abschnitt „Bemessungslebensdauer bei Konstantlichtstrom-Regelung“). Entsprechend muss dann der sich ergebende $LLMF < 1$ berücksichtigt werden.

Hinweis: Die folgenden Tabellen gelten für Leuchten mit gesichertem Thermomanagement unter Einhaltung der Umgebungstemperatur t_q und unter Berücksichtigung der Montageanleitung (siehe Kapitel [5.7.2](#) „Betriebsbedingungen“ und [5.8](#), Abschnitt „Thermomanagement“).

Bemessungs- Lebensdauer	Kennwerte für L ₉₀	Betriebsdauer in 1.000 h																																							
		1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100																			
30.000 h	LLMF	1,00	0,98	0,97	0,95	0,93	0,92	0,90	0,88	0,87	0,85																														
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,95																														
	L ₉₀ MF _{kombiniert}	1,00	0,98	0,97	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,85	0,81																														
40.000 h	LLMF	1,00	0,99	0,98	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,90	0,89	0,88	0,86	0,85																											
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,95	0,92																												
	L ₉₀ MF _{kombiniert}	1,00	0,99	0,98	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,90	0,88	0,85	0,82	0,78																											
50.000 h	LLMF	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85																								
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	0,94	0,92																										
	L ₉₀ MF _{kombiniert}	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,88	0,86	0,84	0,81	0,78																								
60.000 h	LLMF	1,00	0,99	0,98	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,88	0,87	0,86	0,85																					
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	0,94	0,92	0,89																						
	L ₉₀ MF _{kombiniert}	1,00	0,99	0,98	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91	0,90	0,88	0,86	0,84	0,81	0,79	0,76																					
70.000 h	LLMF	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92	0,91	0,91	0,90	0,89	0,89	0,88	0,87	0,86	0,86																			
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	0,94	0,92	0,89																				
	L ₉₀ MF _{kombiniert}	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92	0,91	0,91	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	0,79	0,76																			
80.000 h	LLMF	1,00	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92	0,91	0,91	0,90	0,89	0,89	0,88	0,88	0,88																			
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	0,94	0,92	0,89																			
	L ₉₀ MF _{kombiniert}	1,00	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92	0,91	0,91	0,90	0,89	0,89	0,87	0,85	0,82																			
90.000 h	LLMF	1,00	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92	0,91	0,91	0,90	0,89	0,89	0,89	0,89																			
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	0,94	0,92																			
	L ₉₀ MF _{kombiniert}	1,00	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92	0,91	0,91	0,90	0,89	0,89	0,89	0,87																			
100.000 h	LLMF	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,93	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90																			
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00																			
	L ₉₀ MF _{kombiniert}	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,93	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90																			

Tabelle 3.1: Der Wert „L₉₀“ bezeichnet eine Lichtstromdegradation einer LED-Einheit auf 90 % des Anfangswertes bis zum Ende der „Bemessungslebensdauer“. Daraus ergibt sich für den zeitabhängigen Lampenlichtstromwartungsfaktor zu diesem Zeitpunkt ein Wert von 0,9. Dieser ist gleichzeitig der **Lampenwartungsfaktor bei Einzelauswechslung (LLMF)**. Er ist mit dem Lampen-überlebensfaktor (LSF) zu multiplizieren, um den kombinierten **Lampenwartungsfaktor der Gruppenauswechslung (L₉₀MF_{kombiniert} = LLMF · LSF)** zu erhalten.

Bemessungs- lebensdauer	Kennwerte für L_{85}	Betriebsdauer in 1.000 h																					
		1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
30.000 h	LLMF	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88	0,85	0,83	0,80	0,78												
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,94												
	L_{90} MF kombiniert	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88	0,85	0,82	0,78	0,73												
40.000 h	LLMF	1,00	0,98	0,96	0,94	0,93	0,91	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81	0,79	0,78									
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,94	0,91										
	L_{90} MF kombiniert	1,00	0,98	0,96	0,94	0,93	0,91	0,89	0,87	0,85	0,82	0,79	0,74	0,71									
50.000 h	LLMF	1,00	0,99	0,97	0,96	0,94	0,93	0,91	0,90	0,88	0,87	0,85	0,84	0,82	0,81	0,79	0,78						
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,95	0,93	0,91								
	L_{90} MF kombiniert	1,00	0,99	0,97	0,96	0,94	0,93	0,91	0,90	0,88	0,87	0,85	0,83	0,80	0,77	0,73	0,71						
60.000 h	LLMF	1,00	0,99	0,98	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,90	0,89	0,88	0,86	0,85	0,84	0,83	0,81	0,80	0,79	0,78			
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,95	0,93	0,91	0,88					
	L_{90} MF kombiniert	1,00	0,99	0,98	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,90	0,89	0,88	0,86	0,85	0,83	0,81	0,77	0,74	0,72	0,69			
70.000 h	LLMF	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,81	0,80	0,79	0,78	
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,95	0,93	0,91	0,88			
	L_{90} MF kombiniert	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,83	0,81	0,78	0,75	0,73	0,70	
80.000 h	LLMF	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81	0,80	0,79	
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,95	0,93	0,91	0,88		
	L_{90} MF kombiniert	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,83	0,81	0,78	0,75	0,73	0,70	
90.000 h	LLMF	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81	
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,95	0,93		
	L_{90} MF kombiniert	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,83	0,81	0,78	0,75	
100.000 h	LLMF	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
	L_{90} MF kombiniert	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,83	0,81	
100.000 h	LLMF	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
	L_{90} MF kombiniert	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,83	0,81	

Tabelle 3.2:

Der Wert „ L_{85} “ bezeichnet eine Lichtstromdegradation einer LED-Einheit auf 85 % des Anfangswertes bis zum Ende der „Bemessungslebensdauer“. Daraus ergibt sich für den zeitabhängigen Lampenlichtstromwartungsfaktor zu diesem Zeitpunkt ein Wert von 0,85. Dieser ist gleichzeitig der **Lampenwartungsfaktor bei Einzelauswechslung (LLMF)**. Er ist mit dem Lampenüberlebensfaktor (LSF) zu multiplizieren, um den kombinierten **Lampenwartungsfaktor der Gruppenauswechslung (L_{90} MF kombiniert = LLMF · LSF)** zu erhalten.

Bemessungs- Lebensdauer	Kennwerte für L ₈₀	Betriebsdauer in 1.000 h																																							
		1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100																			
30.000 h	LLMF	0,99	0,97	0,93	0,90	0,87	0,83	0,80	0,77	0,73	0,70																														
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,94																															
	L ₉ MF kombiniert	0,99	0,97	0,93	0,90	0,87	0,83	0,80	0,76	0,71	0,66																														
40.000 h	LLMF	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88	0,85	0,83	0,80	0,78	0,75	0,73	0,70																											
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,94	0,91																												
	L ₉ MF kombiniert	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88	0,85	0,83	0,80	0,77	0,73	0,69	0,64																											
50.000 h	LLMF	1,00	0,98	0,96	0,94	0,92	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70																								
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,95	0,93	0,91																										
	L ₉ MF kombiniert	1,00	0,98	0,96	0,94	0,92	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	0,77	0,74	0,70	0,67	0,64																								
60.000 h	LLMF	1,00	0,98	0,97	0,95	0,93	0,92	0,90	0,88	0,87	0,85	0,83	0,82	0,80	0,78	0,77	0,75	0,73	0,72	0,70																					
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,95	0,93	0,91	0,88																						
	L ₉ MF kombiniert	1,00	0,98	0,97	0,95	0,93	0,92	0,90	0,88	0,87	0,85	0,83	0,82	0,80	0,77	0,75	0,71	0,68	0,66	0,62																					
70.000 h	LLMF	1,00	0,99	0,97	0,96	0,94	0,93	0,91	0,90	0,89	0,87	0,86	0,84	0,83	0,81	0,80	0,79	0,77	0,76	0,74	0,73	0,71																			
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,95	0,93	0,91	0,88																				
	L ₉ MF kombiniert	1,00	0,99	0,97	0,96	0,94	0,93	0,91	0,90	0,89	0,87	0,86	0,84	0,83	0,81	0,80	0,78	0,75	0,72	0,69	0,66	0,62																			
80.000 h	LLMF	1,00	0,99	0,98	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,90	0,89	0,88	0,86	0,85	0,84	0,83	0,81	0,80	0,79	0,78	0,76	0,75																			
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,95	0,93																				
	L ₉ MF kombiniert	1,00	0,99	0,98	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,90	0,89	0,88	0,86	0,85	0,84	0,83	0,81	0,80	0,78	0,76	0,72	0,70																			
90.000 h	LLMF	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,84	0,83	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78																			
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98																			
	L ₉ MF kombiniert	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,84	0,83	0,82	0,81	0,80	0,78	0,76																			
100.000 h	LLMF	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81	0,80																			
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00																			
	L ₉ MF kombiniert	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81	0,80																			

Tabelle 3.3: Der Wert „L₈₀“ bezeichnet eine Lichtstromdegradation einer LED-Einheit auf 80 % des Anfangswertes bis zum Ende der „Bemessungslebensdauer“. Daraus ergibt sich für den zeitabhängigen Lampenlichtstromwartungsfaktor zu diesem Zeitpunkt ein Wert von 0,80. Dieser ist gleichzeitig der **Lampenwartungsfaktor bei Einzelauswechslung (LLMF)**. Er ist mit dem Lampen-überlebensfaktor (LSF) zu multiplizieren, um den kombinierten **Lampenwartungsfaktor der Gruppenauswechslung (L₉MF_{kombiniert} = LLMF · LSF)** zu erhalten.

Bemessungs- lebensdauer	Kennwerte für L_{75}	Betriebsdauer in 1.000 h																																						
		1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100																		
30.000 h	LLMF	0,99	0,96	0,92	0,88	0,83	0,79	0,75	0,71	0,67	0,63																													
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,92																													
	L_{90} MF _{kombiniert}	0,99	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78	0,74	0,69	0,64	0,58																													
40.000 h	LLMF	0,99	0,97	0,94	0,91	0,88	0,84	0,81	0,78	0,75	0,72	0,69	0,66	0,63																										
	LSF	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,92	0,89																											
	L_{90} MF _{kombiniert}	0,98	0,97	0,94	0,91	0,88	0,84	0,81	0,77	0,74	0,70	0,66	0,61	0,56																										
50.000 h	LLMF	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88	0,85	0,83	0,80	0,78	0,75	0,73	0,70	0,68	0,65	0,63																							
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,92	0,89	0,86																								
	L_{90} MF _{kombiniert}	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88	0,85	0,83	0,80	0,77	0,74	0,71	0,67	0,63	0,58	0,54																							
60.000 h	LLMF	1,00	0,98	0,96	0,94	0,92	0,90	0,88	0,85	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63																				
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,92	0,89	0,86	0,82																					
	L_{90} MF _{kombiniert}	1,00	0,98	0,96	0,94	0,92	0,90	0,88	0,85	0,83	0,81	0,79	0,76	0,74	0,71	0,67	0,63	0,60	0,56	0,52																				
70.000 h	LLMF	1,00	0,98	0,96	0,95	0,93	0,91	0,89	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,70	0,68	0,66	0,64																		
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,92	0,89	0,86	0,82																		
	L_{90} MF _{kombiniert}	1,00	0,98	0,96	0,95	0,93	0,91	0,89	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	0,79	0,76	0,74	0,71	0,67	0,64	0,61	0,57	0,52																		
80.000 h	LLMF	1,00	0,98	0,97	0,95	0,94	0,92	0,91	0,89	0,88	0,86	0,84	0,83	0,81	0,80	0,78	0,77	0,75	0,73	0,72	0,70	0,69																		
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,92	0,89																		
	L_{90} MF _{kombiniert}	1,00	0,98	0,97	0,95	0,94	0,92	0,91	0,89	0,88	0,86	0,84	0,83	0,81	0,80	0,78	0,76	0,74	0,71	0,68	0,64	0,61																		
90.000 h	LLMF	1,00	0,99	0,97	0,96	0,94	0,93	0,92	0,90	0,89	0,88	0,86	0,85	0,83	0,82	0,81	0,79	0,78	0,76	0,75	0,74	0,72																		
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95																		
	L_{90} MF _{kombiniert}	1,00	0,99	0,97	0,96	0,94	0,93	0,92	0,90	0,89	0,88	0,86	0,85	0,83	0,82	0,81	0,79	0,78	0,75	0,74	0,72	0,68																		
100.000 h	LLMF	1,00	0,99	0,98	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,90	0,89	0,88	0,86	0,85	0,84	0,83	0,81	0,80	0,79	0,78	0,76	0,75																		
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98																		
	L_{90} MF _{kombiniert}	1,00	0,99	0,98	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,90	0,89	0,88	0,86	0,85	0,84	0,83	0,81	0,80	0,79	0,78	0,75	0,74																		

Tabelle 3.4:

Der Wert „ L_{75} “ bezeichnet eine Lichtstromdegradation einer LED-Einheit auf 75 % des Anfangswertes bis zum Ende der „Bemessungslebensdauer“. Daraus ergibt sich für den zeitabhängigen Lampenlichtstromwartungsfaktor zu diesem Zeitpunkt ein Wert von 0,75. Dieser ist gleichzeitig der **Lampenwartungsfaktor bei Einzelauswechslung (LLMF)**. Er ist mit dem Lampenüberlebensfaktor (LSF) zu multiplizieren, um den kombinierten **Lampenwartungsfaktor der Gruppenauswechslung** (L_{90} MF_{kombiniert} = LLMF · LSF) zu erhalten.

Bemessungs- Lebensdauer	Kennwerte für L ₇₀	Betriebsdauer in 1.000 h																																							
		1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100																			
30.000 h	LLMF	0,99	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55																														
	LSF	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,90																														
	L ₉₀ MF _{kombiniert}	0,99	0,95	0,90	0,84	0,78	0,73	0,67	0,62	0,56	0,50																														
40.000 h	LLMF	0,99	0,96	0,93	0,89	0,85	0,81	0,78	0,74	0,70	0,66	0,63	0,59	0,55																											
	LSF	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,90	0,87																											
	L ₉₀ MF _{kombiniert}	0,98	0,96	0,93	0,89	0,85	0,80	0,76	0,72	0,67	0,63	0,59	0,53	0,48																											
50.000 h	LLMF	0,99	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85	0,82	0,79	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,61	0,58	0,55																								
	LSF	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,90	0,87	0,84																									
	L ₉₀ MF _{kombiniert}	0,98	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85	0,82	0,78	0,74	0,71	0,67	0,64	0,60	0,55	0,50	0,46																								
60.000 h	LLMF	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88	0,85	0,83	0,80	0,78	0,75	0,73	0,70	0,68	0,65	0,63	0,60	0,58	0,55																					
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,90	0,87	0,84	0,81																							
	L ₉₀ MF _{kombiniert}	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88	0,85	0,83	0,80	0,77	0,74	0,71	0,67	0,65	0,60	0,57	0,52	0,49	0,45																					
70.000 h	LLMF	1,00	0,98	0,96	0,94	0,91	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81	0,79	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,61	0,59	0,57																			
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,90	0,87	0,84	0,81																			
	L ₉₀ MF _{kombiniert}	1,00	0,98	0,96	0,94	0,91	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81	0,79	0,75	0,73	0,70	0,67	0,65	0,61	0,58	0,53	0,50	0,46																			
80.000 h	LLMF	1,00	0,98	0,96	0,94	0,93	0,91	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81	0,79	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,63																			
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,90	0,87																			
	L ₉₀ MF _{kombiniert}	1,00	0,98	0,96	0,94	0,93	0,91	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81	0,79	0,78	0,75	0,73	0,70	0,67	0,65	0,61	0,58	0,55																			
90.000 h	LLMF	1,00	0,98	0,97	0,95	0,93	0,92	0,90	0,88	0,87	0,85	0,83	0,82	0,80	0,78	0,77	0,75	0,73	0,72	0,70	0,68	0,67																			
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93																			
	L ₉₀ MF _{kombiniert}	1,00	0,98	0,97	0,95	0,93	0,92	0,90	0,88	0,87	0,85	0,83	0,82	0,80	0,78	0,77	0,74	0,72	0,70	0,67	0,65	0,62																			
100.000 h	LLMF	1,00	0,99	0,97	0,96	0,94	0,93	0,91	0,90	0,88	0,87	0,85	0,84	0,82	0,81	0,79	0,78	0,76	0,75	0,73	0,72	0,70																			
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96																			
	L ₉₀ MF _{kombiniert}	1,00	0,99	0,97	0,96	0,94	0,93	0,91	0,90	0,88	0,87	0,85	0,84	0,82	0,81	0,79	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,67																			

Tabelle 3.5: Der Wert „L₇₀“ bezeichnet eine Lichtstromdegradation einer LED-Einheit auf 70 % des Anfangswertes bis zum Ende der „Bemessungslebensdauer“. Daraus ergibt sich für den zeitabhängigen Lampenlichtstromwartungsfaktor zu diesem Zeitpunkt ein Wert von 0,70. Dieser ist gleichzeitig der **Lampenwartungsfaktor bei Einzelauswechslung (LLMF)**. Er ist mit dem Lampen-überlebensfaktor (LSF) zu multiplizieren, um den kombinierten **Lampenwartungsfaktor der Gruppenauswechslung** ($L_{90}MF_{\text{kombiniert}} = LLMF \cdot LSF$) zu erhalten.

Bemessungs- lebensdauer	Kennwerte für L_{50}	Betriebsdauer in 1.000 h																							
		1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100			
10.000 h	LLMF	0,95	0,75	0,50	0,25																				
	LSF	0,98	0,85	0,70	0,55																				
	L_{50} MF kombiniert	0,93	0,64	0,35	0,14																				
20.000 h	LLMF	0,98	0,88	0,75	0,63	0,50	0,38	0,25																	
	LSF	0,98	0,95	0,90	0,79	0,68	0,55	0,40																	
	L_{50} MF kombiniert	0,96	0,84	0,68	0,50	0,34	0,21	0,10																	
30.000 h	LLMF	0,98	0,92	0,83	0,75	0,67	0,58	0,50	0,42	0,33	0,25														
	LSF	1,00	0,99	0,97	0,96	0,94	0,90	0,86	0,79	0,67	0,50														
	L_{50} MF kombiniert	0,98	0,91	0,81	0,72	0,63	0,52	0,43	0,33	0,22	0,13														
40.000 h	LLMF	0,99	0,94	0,88	0,81	0,75	0,69	0,63	0,56	0,50	0,44	0,38	0,31	0,25											
	LSF	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	0,94	0,91	0,87	0,81	0,72	0,62	0,50											
	L_{50} MF kombiniert	0,99	0,94	0,88	0,80	0,74	0,66	0,59	0,51	0,44	0,36	0,27	0,19	0,13											
50.000 h	LLMF	0,99	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30									
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	0,94	0,91	0,88	0,84	0,76	0,70	0,61	0,52								
	L_{50} MF kombiniert	0,99	0,95	0,90	0,85	0,80	0,74	0,69	0,62	0,56	0,50	0,44	0,38	0,30	0,25	0,18	0,52								

Tabelle 3.6:

Der Wert „ L_{50} “ bezeichnet eine Lichtstromdegradation einer LED-Einheit auf 50 % des Anfangswertes bis zum Ende der „Bemessungslebensdauer“. Daraus ergibt sich für den zeitabhängigen Lampenlichtstromwartungsfaktor zu diesem Zeitpunkt ein Wert von 0,50. Dieser ist gleichzeitig der **Lampenwartungsfaktor bei Einzelauswechslung (LLMF)**. Er ist mit dem Lampenüberlebensfaktor (LSF) zu multiplizieren, um den kombinierten **Lampenwartungsfaktor der Gruppenauswechslung** [L_{50} MF_{kombiniert} = LLMF · LSF] zu erhalten.

Bemessungs- lebensdauer	Kennwerte für L ₉₀	Betriebsdauer in 1.000 h																					
		1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
30.000 h	PLF	1,00	1,02	1,03	1,05	1,07	1,09	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	
	LLMF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,96	0,94												
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97												
	L ₉₀ MF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,96	0,92												
40.000 h	PLF	1,00	1,01	1,03	1,04	1,05	1,07	1,08	1,10	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	
	LLMF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,96	0,94									
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,93										
	L ₉₀ MF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,96	0,93	0,88									
50.000 h	PLF	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,08	1,09	1,10	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	
	LLMF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94						
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93						
	L ₉₀ MF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,96	0,94	0,90	0,88						
70.000 h	PLF	1,00	1,01	1,01	1,02	1,03	1,04	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,09	1,09	1,10	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	
	LLMF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,95	
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,94	0,92	0,89	
	L ₉₀ MF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,94	0,91	0,88	0,84	
100.000 h	PLF	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,08	1,09	1,10	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	
	LLMF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,94	0,90	
	L ₉₀ MF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	

Tabelle 3.7: Systemlebensdauerfaktoren PLF (power lifetime factor) für LED-Beleuchtungsanlagen mit Konstantlichtstromregelung

Hinweis: Die Konstantlichtstromtechnologie ist auf die angegebene Bemessungslebensdauer ausgelegt. Mit ihr soll der energetische Aufwand für den technologisch bedingten Lichtstromrückgang von LED-Leuchten verringert werden, indem der maximal mögliche Lichtstrom einer Leuchte bzw. der typischerweise für eine identische Leuchte ohne Konstantlichtstromtechnologie in Datenblättern angegebene Bemessungslichtstrom herunteregelt wird, sodass zu Beginn des Betriebes der Beleuchtungsanlage auch eine entsprechend geringere elektrische Leistung benötigt wird. Um den Lichtstrom über die genannte Bemessungslebensdauer konstant zu halten, muss während der Zeit bis zur Bemessungslebensdauer die elektrische Leistung kontinuierlich erhöht werden. Diese Erhöhung in Abhängigkeit der Betriebsdauer ist in der hier aufgeführten Tabelle dargestellt. Die Qualitätskriterien von Beleuchtungsanlagen, z.B. Beleuchtungsstärken oder Leuchtdichten, müssen mindestens mit dem konstant gehaltenen Lichtstrom erreicht werden. Mit der Konstantlichtstromtechnologie bleibt die Leistung nach Erreichen der Bemessungslebensdauer konstant und der Lichtstrom der Leuchten bzw. der Beleuchtungsanlage nimmt ab. Die Abnahme des Lichtstroms nach der Bemessungslebensdauer ist in den vorangegangenen Tabellen dokumentiert.

Vorgehensweise: Die im Neuzustand direkt nach der Installation von Leuchten mit Konstantlichtstromregelung vorhandene Leistung der Leuchte ist mit den in den Tabellen aufgeführten Faktoren PLF zu multiplizieren, um für den jeweils betrachteten Betriebszeitpunkt einen entsprechenden Wert für die Leistungsaufnahme der Leuchte zu erhalten.

Bis zum Erreichen der Bemessungslebensdauer ist die mittlere Leistungsaufnahme:

$$P_{\text{mittel}} = P_{\text{neu}} \cdot \left(1 + \frac{PLF - 1}{2}\right)$$

Bemessungs- lebensdauer	Kennwerte für L_{85}	Betriebsdauer in 1.000 h																				
		1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
30.000 h	PLF	1,01	1,03	1,05	1,08	1,11	1,14	1,18	1,18	1,18	1,18											
	LLMF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97	0,94	0,91											
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,96											
	L_{90} MF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97	0,92	0,87											
40.000 h	PLF	1,00	1,02	1,04	1,06	1,08	1,10	1,13	1,15	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18								
	LLMF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,96	0,93	0,91								
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,96	0,92									
	L_{90} MF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97	0,94	0,89	0,84								
50.000 h	PLF	1,00	1,02	1,03	1,05	1,06	1,08	1,10	1,12	1,14	1,16	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18					
	LLMF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,96	0,95	0,93	0,91					
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,96	0,94	0,92						
	L_{90} MF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,95	0,91	0,87	0,84					
70.000 h	PLF	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,06	1,07	1,08	1,09	1,11	1,12	1,13	1,15	1,16	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
	LLMF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,96	0,95	0,94	0,92
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,97	0,93	0,91	0,88
	L_{90} MF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,97	0,93	0,88	0,85	0,81
100.000 h	PLF	1,00	1,01	1,02	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,06	1,07	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18
	LLMF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	L_{90} MF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Tabelle 3.8:

Systemleistungsfaktoren PLF (power lifetime factor) für LED-Beleuchtungsanlagen mit Konstantlichtstromregelung

Hinweis: Die Konstantlichtstromtechnologie ist auf die angegebene Bemessungslebensdauer ausgelegt. Mit ihr soll der energetische Aufwand für den technologisch bedingten Lichtstromrückgang von LED-Leuchten verringert werden, indem der maximal mögliche Lichtstrom einer Leuchte bzw. der typischerweise für eine identische Leuchte ohne Konstantlichtstromtechnologie in Datenblättern angegebene Bemessungslichtstrom herunterregelt wird, sodass zu Beginn des Betriebes der Beleuchtungsanlage auch eine entsprechend geringere elektrische Leistung benötigt wird. Um den Lichtstrom über die genannte Bemessungslebensdauer konstant zu halten, muss während der Zeit bis zur Bemessungslebensdauer die elektrische Leistung kontinuierlich erhöht werden. Diese Erhöhung in Abhängigkeit der Betriebsdauer ist in der hier aufgeführten Tabelle dargestellt. Die Qualitätskriterien von Beleuchtungsanlagen, z. B. Beleuchtungsstärken oder Leuchtdichten, müssen mindestens mit dem konstant gehaltenen Lichtstrom erreicht werden. Mit der Konstantlichtstromtechnologie bleibt die Leistung nach Erreichen der Bemessungslebensdauer konstant und der Lichtstrom der Leuchten bzw. der Beleuchtungsanlage nimmt ab. Die Abnahme des Lichtstroms nach der Bemessungslebensdauer ist in den vorangegangenen Tabellen dokumentiert.

Vorgehensweise: Die im Neuzustand direkt nach der Installation von Leuchten mit Konstantlichtstromregelung vorhandene Leistung der Leuchte ist mit den in den Tabellen aufgeführten Faktoren PLF zu multiplizieren, um für den jeweils betrachteten Betriebszeitpunkt einen entsprechenden Wert für die Leistungsaufnahme der Leuchte zu erhalten.

Bis zum Erreichen der Bemessungslebensdauer ist die mittlere Leistungsaufnahme:

$$P_{\text{mittel}} = P_{\text{neu}} \cdot \left(1 + \frac{PLF - 1}{2}\right)$$

Bemessungs- lebensdauer	Kennwerte für L ₈₀	Betriebsdauer in 1.000 h																				
		1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
30.000 h	PLF	1,01	1,03	1,07	1,11	1,15	1,20	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
	LLMF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,96	0,92	0,88											
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,94											
	L ₉₀ MF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,95	0,89	0,83											
40.000 h	PLF	1,01	1,03	1,05	1,08	1,11	1,14	1,18	1,21	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
	LLMF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88								
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,95	0,91								
	L ₉₀ MF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,96	0,91	0,86	0,80								
50.000 h	PLF	1,00	1,02	1,04	1,06	1,09	1,11	1,14	1,16	1,19	1,22	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
	LLMF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88					
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	0,93	0,91					
	L ₉₀ MF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,96	0,93	0,88	0,84	0,80					
70.000 h	PLF	1,00	1,01	1,03	1,04	1,06	1,08	1,09	1,11	1,13	1,15	1,17	1,19	1,21	1,23	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
	LLMF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,96	0,95	0,93	0,91	0,89
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	0,94	0,91	0,88
	L ₉₀ MF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97	0,94	0,91	0,87	0,83	0,78
100.000 h	PLF	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12	1,14	1,15	1,16	1,18	1,19	1,20	1,22	1,23	1,25
	LLMF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	L ₉₀ MF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Tabelle 3.9: Systemlebensdauerfaktoren PLF (power lifetime factor) für LED-Beleuchtungsanlagen mit Konstantlichtstromregelung

Hinweis: Die Konstantlichtstromtechnologie ist auf die angegebene Bemessungslebensdauer ausgelegt. Mit ihr soll der energetische Aufwand für den technologisch bedingten Lichtstromrückgang von LED-Leuchten verringert werden, indem der maximal mögliche Lichtstrom einer Leuchte bzw. der typischerweise für eine identische Leuchte ohne Konstantlichtstromtechnologie in Datenblättern angegebene Bemessungslichtstrom herunterregelt wird, sodass zu Beginn des Betriebes der Beleuchtungsanlage auch eine entsprechend geringere elektrische Leistung benötigt wird. Um den Lichtstrom über die genannte Bemessungslebensdauer konstant zu halten, muss während der Zeit bis zur Bemessungslebensdauer die elektrische Leistung kontinuierlich erhöht werden. Diese Erhöhung in Abhängigkeit der Betriebsdauer ist in der hier aufgeführten Tabelle dargestellt. Die Qualitätskriterien von Beleuchtungsanlagen, z.B. Beleuchtungsstärken oder Leuchtdichten, müssen mindestens mit dem konstant gehaltenen Lichtstrom erreicht werden. Mit der Konstantlichtstromtechnologie bleibt die Leistung nach Erreichen der Bemessungslebensdauer konstant und der Lichtstrom der Leuchten bzw. der Beleuchtungsanlage nimmt ab. Die Abnahme des Lichtstroms nach der Bemessungslebensdauer ist in den vorangegangenen Tabellen dokumentiert.

Vorgehensweise: Die im Neuzustand direkt nach der Installation von Leuchten mit Konstantlichtstromregelung vorhandene Leistung der Leuchte ist mit den in den Tabellen aufgeführten Faktoren PLF zu multiplizieren, um für den jeweils betrachteten Betriebszeitpunkt einen entsprechenden Wert für die Leistungsaufnahme der Leuchte zu erhalten.

Bis zum Erreichen der Bemessungslebensdauer ist die mittlere Leistungsaufnahme:

$$P_{\text{mittel}} = P_{\text{neu}} \cdot \left(1 + \frac{PLF - 1}{2}\right)$$

Bemessungs- lebensdauer	Kennwerte für L_{75}	Betriebsdauer in 1.000 h																				
		1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
30.000 h	PLF	1,01	1,04	1,09	1,14	1,20	1,26	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33
	LLMF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,94	0,89	0,83											
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	0,93											
	L_{90} MF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,92	0,85	0,78											
40.000 h	PLF	1,01	1,03	1,07	1,10	1,14	1,19	1,23	1,28	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33
	LLMF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83								
	LSF	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,91								
	L_{90} MF	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,94	0,89	0,83	0,76								
50.000 h	PLF	1,01	1,03	1,05	1,08	1,11	1,14	1,18	1,21	1,25	1,29	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33
	LLMF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97	0,93	0,90	0,87	0,83					
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,96	0,94	0,91	0,88					
	L_{90} MF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,94	0,90	0,85	0,79	0,73					
70.000 h	PLF	1,00	1,02	1,04	1,06	1,08	1,10	1,12	1,14	1,17	1,19	1,22	1,24	1,27	1,30	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33
	LLMF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88	0,86
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,91	0,88	0,85
	L_{90} MF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,95	0,92	0,88	0,83	0,78	0,73
100.000 h	PLF	1,00	1,01	1,03	1,04	1,05	1,07	1,08	1,10	1,11	1,13	1,14	1,16	1,18	1,19	1,21	1,23	1,25	1,27	1,29	1,31	1,33
	LLMF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99
	L_{90} MF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99

Tabelle 3.10: Systemleistungsfaktoren PLF (power lifetime factor) für LED-Beleuchtungsanlagen mit Konstantlichtstromregelung

Hinweis: Die Konstantlichtstromtechnologie ist auf die angegebene Bemessungslebensdauer ausgelegt. Mit ihr soll der energetische Aufwand für den technologisch bedingten Lichtstromrückgang von LED-Leuchten verringert werden, indem der maximal mögliche Lichtstrom einer Leuchte bzw. der typischerweise für eine identische Leuchte ohne Konstantlichtstromtechnologie in Datenblättern angegebene Bemessungslichtstrom herunterregelt wird, sodass zu Beginn des Betriebes der Beleuchtungsanlage auch eine entsprechend geringere elektrische Leistung benötigt wird. Um den Lichtstrom über die genannte Bemessungslebensdauer konstant zu halten, muss während der Zeit bis zur Bemessungslebensdauer die elektrische Leistung kontinuierlich erhöht werden. Diese Erhöhung in Abhängigkeit der Betriebsdauer ist in der hier aufgeführten Tabelle dargestellt. Die Qualitätskriterien von Beleuchtungsanlagen, z. B. Beleuchtungsstärken oder Leuchtdichten, müssen mindestens mit dem konstant gehaltenen Lichtstrom erreicht werden. Mit der Konstantlichtstromtechnologie bleibt die Leistung nach Erreichen der Bemessungslebensdauer konstant und der Lichtstrom der Leuchten bzw. der Beleuchtungsanlage nimmt ab. Die Abnahme des Lichtstroms nach der Bemessungslebensdauer ist in den vorangegangenen Tabellen dokumentiert.

Vorgehensweise: Die im Neuzustand direkt nach der Installation von Leuchten mit Konstantlichtstromregelung vorhandene Leistung der Leuchte ist mit den in den Tabellen aufgeführten Faktoren PLF zu multiplizieren, um für den jeweils betrachteten Betriebszeitpunkt einen entsprechenden Wert für die Leistungsaufnahme der Leuchte zu erhalten.

Bis zum Erreichen der Bemessungslebensdauer ist die mittlere Leistungsaufnahme:

$$P_{\text{mittel}} = P_{\text{neu}} \cdot \left(1 + \frac{PLF - 1}{2}\right)$$

Bemessungs- lebensdauer	Kennwerte für L ₇₀	Betriebsdauer in 1.000 h																					
		1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
30.000 h	PLF	1,01	1,05	1,11	1,18	1,25	1,33	1,43	1,43	1,43	1,43												
	LLMF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,93	0,86	0,79												
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,98	0,97	0,96	0,94	0,93												
	L ₉₀ MF	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,98	0,97	0,89	0,81	0,73												
40.000 h	PLF	1,01	1,04	1,08	1,13	1,18	1,23	1,29	1,36	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43									
	LLMF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,95	0,89	0,84	0,79									
	LSF	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,96	0,95	0,94	0,92	0,89									
	L ₉₀ MF	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,96	0,90	0,84	0,77	0,70									
50.000 h	PLF	1,01	1,03	1,06	1,10	1,14	1,18	1,22	1,27	1,32	1,37	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43						
	LLMF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,96	0,91	0,87	0,83	0,79						
	LSF	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,92	0,89	0,86						
	L ₉₀ MF	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,92	0,86	0,81	0,74	0,68						
70.000 h	PLF	1,00	1,02	1,04	1,07	1,09	1,12	1,15	1,18	1,21	1,24	1,27	1,31	1,35	1,39	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43
	LLMF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85	0,82	0,82
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,97	0,96	0,95	0,93	0,90	0,87	0,84	0,84
	L ₉₀ MF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,97	0,93	0,89	0,84	0,79	0,73	0,68	0,68
100.000 h	PLF	1,00	1,02	1,03	1,05	1,06	1,08	1,10	1,12	1,14	1,16	1,18	1,20	1,22	1,24	1,27	1,29	1,32	1,34	1,37	1,40	1,43	
	LLMF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	
	L ₉₀ MF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	

Tabelle 3.11: Systemleistungsfaktoren PLF (power lifetime factor) für LED-Beleuchtungsanlagen mit Konstantlichtstromregelung

Hinweis: Die Konstantlichtstromtechnologie ist auf die angegebene Bemessungslebensdauer ausgelegt. Mit ihr soll der energetische Aufwand für den technologisch bedingten Lichtstromrückgang von LED-Leuchten verringert werden, indem der maximal mögliche Lichtstrom einer Leuchte bzw. der typischerweise für eine identische Leuchte ohne Konstantlichtstromtechnologie in Datenblättern angegebene Bemessungslichtstrom herunteregelt wird, sodass zu Beginn des Betriebes der Beleuchtungsanlage auch eine entsprechend geringere elektrische Leistung benötigt wird. Um den Lichtstrom über die genannte Bemessungslebensdauer konstant zu halten, muss während der Zeit bis zur Bemessungslebensdauer die elektrische Leistung kontinuierlich erhöht werden. Diese Erhöhung in Abhängigkeit der Betriebsdauer ist in der hier aufgeführten Tabelle dargestellt. Die Qualitätskriterien von Beleuchtungsanlagen, z.B. Beleuchtungsstärken oder Leuchtdichten, müssen mindestens mit dem konstant gehaltenen Lichtstrom erreicht werden. Mit der Konstantlichtstromtechnologie bleibt die Leistung nach Erreichen der Bemessungslebensdauer konstant und der Lichtstrom der Leuchten bzw. der Beleuchtungsanlage nimmt ab. Die Abnahme des Lichtstroms nach der Bemessungslebensdauer ist in den vorangegangenen Tabellen dokumentiert.

Vorgehensweise: Die im Neuzustand direkt nach der Installation von Leuchten mit Konstantlichtstromregelung vorhandene Leistung der Leuchte ist mit den in den Tabellen aufgeführten Faktoren PLF zu multiplizieren, um für den jeweils betrachteten Betriebszeitpunkt einen entsprechenden Wert für die Leistungsaufnahme der Leuchte zu erhalten.

Bis zum Erreichen der Bemessungslebensdauer ist die mittlere Leistungsaufnahme:

$$P_{\text{mittel}} = P_{\text{neu}} \cdot \left(1 + \frac{PLF - 1}{2}\right)$$

3.1.3 Leuchtenwartungsfaktor

Der Leuchtenhersteller verfügt im Allgemeinen über ausreichende Erfahrungen hinsichtlich des Betriebsverhaltens der eigenen Produkte, zumal diese auch unter dem Aspekt langer Gebrauchstüchtigkeit und geringen Wartungsaufwandes entwickelt werden. In Anlehnung an die Leuchtenwartungsfaktoren nach der CIE-Publikation 97.2 [161] und unter Berücksichtigung realer Messungen an aus Anlagen entnommenen Leuchten sowie aufgrund von Erfahrungen sind für charakteristische Leuchtenbauformen (Leuchtengruppen 1 bis 4) die in den Tabellen 3.12 bis 3.15 enthaltenen Leuchtenwartungsfaktoren für ein- bis sechsjährige Betriebszeiten und für sehr saubere, saubere, normale und schmutzige Räume ermittelt worden.

Leuchtengruppe 1 (Tabelle 3.12)

Verschmutzungsgrad der Anlage	Wartungsintervall					
	1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre
sehr sauber	0,96	0,94	0,92	0,90	0,88	0,87
sauber	0,93	0,89	0,85	0,82	0,79	0,77
normal	0,89	0,84	0,79	0,75	0,70	0,67
schmutzig	0,83	0,78	0,73	0,69	0,65	0,62

Leuchtengruppe 2 (Tabelle 3.13)

Verschmutzungsgrad der Anlage	Wartungsintervall					
	1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre
sehr sauber	0,95	0,92	0,89	0,86	0,84	0,82
sauber	0,90	0,84	0,79	0,74	0,70	0,67
normal	0,86	0,80	0,74	0,69	0,64	0,60
schmutzig	0,83	0,75	0,68	0,62	0,57	0,53

Leuchtengruppe 3 (Tabelle 3.14)

Verschmutzungsgrad der Anlage	Wartungsintervall					
	1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre
sehr sauber	0,94	0,91	0,89	0,87	0,86	0,85
sauber	0,88	0,83	0,79	0,75	0,72	0,70
normal	0,82	0,77	0,73	0,69	0,65	0,62
schmutzig	0,77	0,71	0,66	0,61	0,57	0,53

Leuchtengruppe 4 (Tabelle 3.15)

Verschmutzungsgrad der Anlage	Wartungsintervall					
	1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre
sehr sauber	0,93	0,88	0,85	0,82	0,79	0,77
sauber	0,86	0,77	0,70	0,64	0,59	0,55
normal	0,81	0,66	0,55	0,48	0,43	0,40
schmutzig	0,74	0,57	0,45	0,38	0,33	0,30

Seit Ende 2005 liegt eine aktualisierte CIE-Publikation 97:2005 „Guide on the maintenance of indoor electric lighting systems“ [161] vor. Die darin enthaltenen Leuchtenwartungsfaktoren bestätigen die Werte der Leuchtenwartungsfaktoren für die Leuchtengruppen 1, 2, 3 und 4 gemäß den Tabellen 3.12 bis 3.15. Diese entsprechen den in der aktualisierten CIE-Publikation 97 definierten Leuchtentypen A, B, D und F. Ferner wird darin ausdrücklich auf die Leuchtenwartungsfaktoren gemäß Angaben des jeweiligen Herstellers der Leuchten hingewiesen.

Die zu Grunde liegenden Erhebungen sind mit Leuchten für stabförmige Leuchtstofflampen durchgeführt worden. Heutige LED-Leuchten üblicher Bauformen lassen sich in der Regel der Leuchtengruppe 3 (Tabelle 3.14) zuordnen.

Tabelle 3.12:

Freistrahkende Leuchten, ferner direkt strahlende und direkt-indirekt strahlende Spiegelrasterleuchten ohne obere Abdeckung, mit besonders verschmutzungsunempfindlicher, oberflächenverdichteter Raster- bzw. Reflektoroberfläche

Tabelle 3.13:

Direkt-indirekt strahlende Spiegelrasterleuchten ohne obere Abdeckung, ferner geschlossene Leuchten mit zusätzlichen, innen liegenden Spiegelreflektoren

Tabelle 3.14:

Geschlossene Leuchten, z. B. Wanneneuchten, ferner Leuchten mit nach unten offenem und nach oben abgedecktem optischem System, z. B. direkt bzw. überwiegend direkt strahlende Spiegelrasterleuchten

Tabelle 3.15:

Leuchten mit mehr als 80 % Indirektanteil und mit nach unten weitgehend geschlossenem optischem System, ferner rein indirekt strahlende Leuchten

3.1.4 Raumwartungsfaktor

Den vergleichsweise geringsten Einfluss auf den Wartungsfaktor hat der Raumwartungsfaktor, der die Verringerung der Reflexionsgrade von Decke, Wände und Boden und damit die Verringerung des Raumwirkungsgrades beschreibt. Der Raumwirkungsgrad ist ein Faktor zur Bestimmung des Beleuchtungswirkungsgrades (siehe auch Kapitel 5.2.4 „Leuchtenbetriebswirkungsgrad“ und 5.2.5 „Lichtstromklassifizierung von Leuchten und Wirkungsgradverfahren“):

$$\eta_B = \eta_R \cdot \eta_{LB}$$

η_B = Beleuchtungswirkungsgrad
 η_R = Raumwirkungsgrad
 η_{LB} = Leuchtenbetriebswirkungsgrad.

Nach drei Jahren verringert sich die Abnahme der Reflexionsgrade merklich und die Reflexionsgrade sehr sauberer und sauberer Räume gehen zunehmend in einen Konstantwert über. Für mittel und stark verschmutzte Räume gilt dies im Allgemeinen nicht. Der Raumwartungsfaktor ist von der Lichtstärkeverteilung der Leuchte (direkt, direkt-indirekt bzw. vollständig indirekt strahlend) und geringfügig von der Raumgröße abhängig. Die nachfolgenden Tabellen 3.16 a bis i enthalten die Raumwartungsfaktoren nach CIE 97 [161], die durch Werte für sehr saubere Räume aufgrund eigener Erfahrungen und Messwerte ergänzt und für Wartungsintervalle bis sechs Jahre extrapoliert sind.

(a) Direkt strahlende Leuchten, kleiner Raum, Raumindex k ≤ 0,8

Verschmutzungsgrad der Anlage	Wartungsintervall					
	1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre
sehr sauber	0,98	0,97	0,96	0,95	0,95	0,95
sauber	0,97	0,95	0,94	0,93	0,92	0,92
normal	0,94	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91
schmutzig	0,93	0,90	0,88	0,87	0,87	0,86

(b) Direkt-indirekt strahlende Leuchten, kleiner Raum, Raumindex k ≤ 0,8

Verschmutzungsgrad der Anlage	Wartungsintervall					
	1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre
sehr sauber	0,95	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90
sauber	0,90	0,87	0,84	0,82	0,81	0,80
normal	0,86	0,82	0,79	0,77	0,76	0,75
schmutzig	0,82	0,78	0,74	0,72	0,71	0,70

(c) Indirekt strahlende Leuchten, kleiner Raum, Raumindex k ≤ 0,8

Verschmutzungsgrad der Anlage	Wartungsintervall					
	1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre
sehr sauber	0,92	0,89	0,87	0,85	0,84	0,83
sauber	0,85	0,81	0,75	0,71	0,69	0,68
normal	0,78	0,73	0,68	0,64	0,61	0,59
schmutzig	0,73	0,66	0,59	0,56	0,52	0,50

(d) Direkt strahlende Leuchten, mittelgroßer Raum, Raumindex k = 1,5

Verschmutzungsgrad der Anlage	Wartungsintervall					
	1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre
sehr sauber	0,99	0,98	0,97	0,96	0,96	0,96
sauber	0,98	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93
normal	0,95	0,94	0,94	0,93	0,93	0,92
schmutzig	0,94	0,92	0,91	0,90	0,90	0,89

Tabelle 3.16:
Raumwartungs-
faktoren nach
CIE 97 [161]

(e) Direkt-indirekt strahlende Leuchten, mittelgroßer Raum, Raumindex k = 1,5

Verschmutzungsgrad der Anlage	Wartungsintervall					
	1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre
sehr sauber	0,96	0,94	0,93	0,92	0,91	0,91
sauber	0,91	0,88	0,85	0,83	0,82	0,81
normal	0,87	0,84	0,81	0,79	0,78	0,77
schmutzig	0,84	0,80	0,76	0,74	0,73	0,72

(f) Indirekt strahlende Leuchten, mittelgroßer Raum, Raumindex k = 1,5

Verschmutzungsgrad der Anlage	Wartungsintervall					
	1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre
sehr sauber	0,93	0,90	0,87	0,85	0,84	0,83
sauber	0,87	0,83	0,77	0,73	0,71	0,70
normal	0,80	0,75	0,70	0,66	0,63	0,61
schmutzig	0,75	0,68	0,62	0,59	0,55	0,53

(g) Direkt strahlende Leuchten, großer Raum, Raumindex k ≥ 2,5

Verschmutzungsgrad der Anlage	Wartungsintervall					
	1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre
sehr sauber	0,99	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96
sauber	0,98	0,96	0,96	0,95	0,95	0,94
normal	0,96	0,95	0,95	0,94	0,94	0,93
schmutzig	0,95	0,94	0,94	0,93	0,93	0,92

(h) Direkt-indirekt strahlende Leuchten, großer Raum, Raumindex k ≥ 2,5

Verschmutzungsgrad der Anlage	Wartungsintervall					
	1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre
sehr sauber	0,96	0,94	0,93	0,92	0,91	0,91
sauber	0,92	0,89	0,86	0,84	0,83	0,82
normal	0,88	0,85	0,82	0,80	0,79	0,78
schmutzig	0,85	0,81	0,78	0,76	0,75	0,74

(i) Indirekt strahlende Leuchten, großer Raum, Raumindex k ≥ 2,5

Verschmutzungsgrad der Anlage	Wartungsintervall					
	1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre
sehr sauber	0,94	0,90	0,86	0,85	0,84	0,83
sauber	0,88	0,84	0,78	0,74	0,72	0,71
normal	0,82	0,77	0,72	0,68	0,65	0,63
schmutzig	0,77	0,70	0,65	0,62	0,57	0,55

Tabelle 3.17:
Raumwartungs-
faktoren nach
CIE 97 [161]

3.1.5 Wartungsfaktoren in Beispielanwendungen

Der zu installierende Neuwert der Beleuchtungsstärke \bar{E}_i (Index „i“ vom englischen „initial“) ist so festzulegen, dass die Beleuchtungsstärke zu keinem Zeitpunkt den Wartungswert unterschreitet. Der Rückgang der Beleuchtungsstärke wird durch den Wartungsfaktor angegeben. Wie in den vorangegangenen Absätzen dargestellt, ist der Rückgang des in der Nutzebene verfügbaren Lichtstroms abhängig von der Degradation des Leuchtmittels, der Verschmutzung der Leuchte und der Verschmutzung des Raumes. Dementsprechend setzt sich der Wartungsfaktor MF zusammen aus dem Lampenwartungsfaktor L_aMF , dem Leuchtenwartungsfaktor LMF und dem Raumwartungsfaktor RMF .

Für die Bestimmung des LMF und RMF sind folgende Parameter zu berücksichtigen:

- Raumart: zur Bestimmung des Verschmutzungsgrades, relevant für den Raumwartungsfaktor
- Leuchtenart: zur Bestimmung des Leuchtenwartungsfaktors
- n : Nutzungszeitraum in Jahren, d.h. Betrachtungszeitraum für die Nutzung der Beleuchtungsanlage bis zu ihrer Außerbetriebnahme
- t_m : Wartungsintervall für Leuchten und Raum zur Ermittlung des Leuchten- bzw. Raumwartungsfaktors

Für die Bestimmung des L_aMF sind zusätzlich die beabsichtigte Nutzung des Raumes sowie weitere Rahmenbedingungen zu berücksichtigen:

- L_x : Bemessungslebensdauer der Leuchte (siehe Kapitel 9.2.4 „Lebensdauer von LED-Leuchten“) zur Bestimmung des Lichtstromrückgangs durch Degradation der LED
- t_a : jährliche Raumnutzungsdauer. Wenn nicht für den Einzelfall bekannt, können Nutzerprofile der DIN V 18599 [26] (siehe Tabelle 3.30 in Kapitel 3.5.13) herangezogen werden.
- $F_{Prä}$: Teilbetriebsfaktor für die Anwesenheitserkennung auf Basis der Norm DIN V 18599 [26] (siehe Kapitel 3.5.13)
- $F_{KL, TL; Deg}$: Teilbetriebsfaktor für die Konstantlichtregelung und Tageslichtregelung in Bezug auf die LED-Degradation. Dieser Wert ist zu unterscheiden von dem Teilbetriebsfaktor bzgl. des Energiebedarfs auf Basis der Norm DIN V 18599 [26] (siehe Kapitel 3.5.13).²

Unter Berücksichtigung der Teilbetriebsfaktoren kann eine jährliche effektive Betriebszeit $t_{eff; Deg}$ bestimmt werden. Aus den über den Nutzungszeitraum auftretenden effektiven Betriebszeiten ergibt sich eine effektive Gesamtbetriebszeit t_{eol} („eol“ vom englischen „end of life“):

$$t_{eol} = n \cdot t_{eff; Deg} = n \cdot t_a \cdot F_{Prä} \cdot F_{KL, TL; Deg}$$

Zur Bestimmung des Lampenwartungsfaktors L_aMF ist die zu erwartende Degradation zum Zeitpunkt t_{eol} mithilfe der Tabelle der Bemessungslebensdauer L_x (Tabellen 3.1 bis 3.11) zu ermitteln. Dabei darf t_{eol} maximal das 1,5-fache der Bemessungslebensdauer L_x betragen (siehe auch Kapitel 9.2.4).

In den folgenden Absätzen werden beispielhafte Anwendungen betrachtet.³

Beispiel 1: 2-Personen-Büro

Als Beispiel soll ein 2-Personen-Büro in einem modernen Verwaltungsgebäude betrachtet werden, wie es im Kapitel 3.5.13 „Beispiele: Energiebedarf für Licht gemäß DIN V 18599-4“ beschrieben ist. Eine mindestens mittlere Tages-

² Eine Reduzierung der Leistungsaufnahme wirkt sich positiv auf die Degradation der LED aus. Anhaltspunkte dazu gibt das Beispiel einer Fallstudie (siehe Kapitel 9.2.4).

³ Die AMEV-Schrift „Beleuchtung 2019“ [112] und der „Leitfaden Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung“ [167] des ZVEI geben ebenfalls Hinweise zur Bestimmung des Wartungsfaktors in unterschiedlichen Beispielanwendungen.



lichtversorgung an allen Arbeitsplätzen kann für die Planung angenommen werden und führt zu einer mittleren Lichtstromreduzierung um mehr als 50 % im Dimmbetrieb (siehe Kapitel [3.5.13](#)).

Zwei unterschiedliche Ausstattungen der Beleuchtung werden bzgl. ihres Wartungsfaktors betrachtet.

Raum:	sehr sauberes Nichtraucher-Gruppenbüro
Leuchtenart:	a: geschlossene Anbauleuchte (z. B. Belviso D...) b: abgehängte Leuchte (z. B. Lunexo H)
L_x	$L_{80} = 70.000$ h (siehe Kapitel 9.2.4 „Lebensdauer von LED-Leuchten“)
\bar{E}_m	500 lx
t_a	2.750 h/a
$F_{Prä}$	0,715
$F_{KL, TL; Deg}$	0,60 bei einer Energieeinsparung > 50 % durch Dimmen ⁴
$t_{eff, Deg}$	$2.750 \text{ h/a} \cdot 0,715 \cdot 0,60 = 1.180 \text{ h/a}$
n	20 Jahre
t_{eol}	$1.180 \text{ h/a} \cdot 20 = 23.600 \text{ h}$
t_m	3 Jahre

Die Teilwartungsfaktoren ergeben sich wie folgt:

• **Lampenwartungsfaktor, a und b: $LaMF = 0,93$**

Begründung: Der Lampenwartungsfaktor ist für LEDs innerhalb ihrer Bemessungslebensdauer mit ihrem Lampenlichtstromrückgang gleichzusetzen, da ein Totalausfall vernachlässigbar unwahrscheinlich ist. Für LED-Leuchten kann außerdem davon ausgegangen werden, dass die effektive Betriebszeit um die Ausschaltzeiten durch Abwesenheitserkennung reduziert werden kann. Das Dimmen der Beleuchtung, das sich abschwächend auf den Lichtstromrückgang des Leuchtmittels auswirkt, führt zu einer weiteren Reduzierung der effektiven Betriebszeit um ca. 40 %.⁴ Der sich ergebende $LaMF$ kann in der Tabelle 3.3 abgelesen werden (siehe markierter Wert). Der $LaMF$ kann auch mit dem TRILUX LIFETIME RECHNER (Kapitel [9.2.4](#) Fußnote) ermittelt werden.

• **Leuchtenwartungsfaktor**

$$LMF = 0,89 \left(= \frac{\eta_{L,eol}}{\eta_{L,i}} \right)$$

Begründung: siehe Tabelle 3.14 (Leuchten-gruppe 3) für sehr sauberes Nichtraucherbüro, Wannenleuchte

• **Raumwartungsfaktor**

a: $RMF = 0,97$

b: $RMF = 0,93$

Begründung: siehe Tabelle 3.16 (d) für das mittelgroße, sehr saubere Nichtraucherbüro mit häufiger, intensiver Reinigung des Raumes, für direkt strahlende Leuchten bzw. direkt-indirekt strahlende Leuchten.

Daraus errechnet sich ein Wartungsfaktor für die Beleuchtung:

$$\text{Wartungsfaktor } MF = L_a MF \cdot LMF \cdot RMF$$

a: $MF = 0,93 \cdot 0,89 \cdot 0,97 = 0,80$

b: $MF = 0,93 \cdot 0,89 \cdot 0,93 = 0,77$

Für eine gute Tageslichtversorgung ergibt sich:

$$\text{Wartungsfaktor } MF = L_a MF \cdot LMF \cdot RMF$$

a: $MF = 0,95 \cdot 0,89 \cdot 0,97 = 0,82$

b: $MF = 0,95 \cdot 0,89 \cdot 0,93 = 0,79$

Bei dreijähriger Wartung der Anlage kann den Planungen ein Wartungsfaktor von 0,8 zugrunde gelegt werden.

Daraus ergibt sich der zu installierende **Neuwert** der Beleuchtungsstärke zu:

$$\bar{E}_i = 500 \text{ lx} / 0,80 = 625 \text{ lx} \text{ (Pos. 1 in Abb. 3.3).}$$

Der zeitliche **Verlauf der Beleuchtungsstärke** ergibt sich wie folgt:

Nach drei Jahren, dem Zeitpunkt m_1 der ersten Wartung, ist die Beleuchtungsstärke auf den Wert von 534 lx gesunken (Pos. 2 in Abb. 3.3). Die Leuchten werden gereinigt, der Leuchtenwirkungsgrad steigt wieder auf seinen Anfangswert, der Raumwirkungsgrad bleibt unverändert.

⁴ Exemplarisch in Anlehnung an das Fallbeispiel in Kapitel [9.2.5](#)

Die Beleuchtungsstärke nach der Reinigung der Leuchten beträgt

$$\begin{aligned} \bar{E}_{m1} &= 0,99 \cdot 1,00 \cdot 0,97 \cdot E_i \\ &= 0,95 \cdot \bar{E}_i \end{aligned}$$

und steigt auf auf den Wert

$$\bar{E}_{m1} = 625 \text{ lx} \cdot 0,96 = 600 \text{ lx (Pos. 3 in Abb. 3.3).}$$

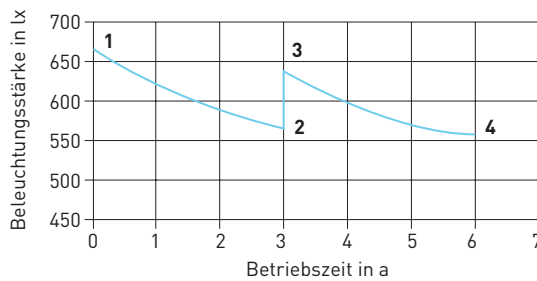


Abbildung 3.3:
Verlauf der mittleren Beleuchtungsstärke in der Beispielanlage

Nach weiteren drei Jahren (insgesamt nach sechs Jahren, m2) ändert sich die Beleuchtungsstärke wie folgt: Aufgrund von ca. 10.000 h Betriebsdauer ergibt sich ein relativer Lampenwirkungsgrad von 0,97. Die Leuchten haben vor der Reinigung einen um den Faktor 0,89 reduzierten Wirkungsgrad aufgrund von dreijähriger Verschmutzung (siehe Tabelle 3.14). Der relative Raumwirkungsgrad ist nahezu konstant und geht von 0,97 auf 0,96 zurück (siehe Tabelle 3.16), falls die Wartung des Raumes in einem Zyklus ausgelassen worden ist.

Nach sechs Jahren (vor der Reinigung der Leuchten) beträgt der Wert der Beleuchtungsstärke

$$\begin{aligned} \bar{E}_{m2} &= 0,97 \cdot 0,89 \cdot 0,96 \cdot \bar{E}_i \\ &= 0,83 \cdot \bar{E}_i \end{aligned}$$

Für das Büro ergibt sich:

$$\bar{E} = 625 \text{ lx} \cdot 0,83 = 519 \text{ lx (Pos. 4 in Abb. 3.3).}$$

Die Leuchten und der Raum haben nach intensiver Reinigung bzw. Wartung wieder den Wirkungsgrad des Neuzustands.

Zum Zeitpunkt der Planung ist anzunehmen, dass nach sechsjähriger Betriebszeit der Wartungswert der Beleuchtungsstärke von 500 lx weiterhin nicht unterschritten wird. Erst nach ca. 20 Jahren (25.000 Betriebsstunden), also nach ca. sieben Wartungsintervallen, ist der Lampenlichtstromrückgang (Degradation) so weit fortgeschritten, dass die Wartungsbeleuchtungsstärke am Ende der Wartungsperiode nicht mehr erreicht wird.

Beispiel 2: Großraumbüro

Als weiteres Beispiel kann ein Großraumbüro betrachtet werden, wie es ebenfalls im Kapitel 3.5.14 „Beispiele: Energiebedarf für Licht gemäß DIN V 18599-4“ beschrieben ist.

Der Teilbetriebsfaktor für die Anwesenheits- erfassung $F_{Prä}$ ist hier auf den Wert 1 zu setzen, da keine relative Abwesenheit besteht. Alle weiteren Parameter bleiben gleich wie im Beispiel 1. Die Wartungsfaktoren ergeben sich zu

$$\begin{aligned} t_{\text{eff, Deg}} &= 2.750 \text{ h/a} \cdot 0,60 = 1.650 \text{ h/a} \\ t_{\text{eol}} &= 1.650 \text{ h/a} \cdot 20 \text{ a} = 33.000 \text{ h} \end{aligned}$$

Wartungsfaktor $MF = L_a MF \cdot LMF \cdot RMF$

$$\begin{aligned} \mathbf{a:} \quad MF &= 0,90 \cdot 0,89 \cdot 0,97 = 0,79 \\ \mathbf{b:} \quad MF &= 0,90 \cdot 0,89 \cdot 0,93 = 0,74 \end{aligned}$$

Für eine gute Tageslichtversorgung ergibt sich:

Wartungsfaktor $MF = L_a MF \cdot LMF \cdot RMF$

$$\begin{aligned} \mathbf{a:} \quad MF &= 0,93 \cdot 0,89 \cdot 0,97 = 0,80 \\ \mathbf{b:} \quad MF &= 0,93 \cdot 0,89 \cdot 0,93 = 0,77 \end{aligned}$$



Bei dreijähriger Wartung der Anlage kann den Planungen also, wie in der Beleuchtung 2019 [112] empfohlen, im Allgemeinen ein Wartungsfaktor von mindestens **0,75** zugrunde gelegt werden.

Wird das Großraumbüro arbeitszonal beleuchtet, so können die Arbeitsplätze mit einer Anwesenheitserfassung betrieben werden. Bei Abwesenheit sollte die Beleuchtung in ein Grundlichtniveau von ca. 20 % des Wartungswertes der Beleuchtungsstärke versetzt werden (siehe auch Kapitel 2.6 und 8.1.2), um eine ausgewogenes Leuchtdichte-verhältnis im Raum zu bewahren.

Beispiel: Industriehalle



Als drittes Beispiel wird eine Industriehalle mit Ein-Schicht-Betrieb betrachtet, wie ebenfalls im Kapitel 3.5.14 „Beispiele: Energiebedarf für Licht gemäß DIN V 18599-4“ beschrieben.

Der Teilbetriebsfaktor für die Anwesenheitserfassung $F_{Prä}$ ist hier wieder auf den Wert 1 zu setzen, da keine relative Abwesenheit besteht.

Der $LaMF = 0,90$ ist annähernd identisch zum Großraumbüro:

$$t_{\text{eff, Deg}}: 2.750 \text{ h/a} \cdot 0,60 = 1.650 \text{ h/a}$$

$$t_{\text{eol}}: 1.650 \text{ h/a} \cdot 20 \text{ a} = 33.000 \text{ h}$$

LMF und RMF sind für einen großen Raum mit normaler Verschmutzung neu zu bestimmen.

Wartungsfaktor $MF = L_a MF \cdot LMF \cdot RMF$

$$MF = 0,90 \cdot 0,73 \cdot 0,95 = \mathbf{0,62}$$

Für eine gute Tageslichtversorgung ergibt sich:
 $MF = 0,93 \cdot 0,73 \cdot 0,95 = \mathbf{0,65}$

Die ZVEI-Schrift „Leitfaden Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung“ [167] kalkuliert für einen Industriebetrieb im Zwei-Schicht-Betrieb eine Reduzierung durch Lichtmanagement von 4.000 h/a auf ($t_{\text{eff, Deg}} =$) 2.400 h/a und eine Nutzungsdauer von 25 Jahren mit einer Gesamtbetriebszeit der Leuchten von ($t_{\text{eol}} =$) 60.000 h.

3.2 Licht und Arbeitsschutz

Eine den Arbeitsbedingungen angepasste Beleuchtung ist eine Grundvoraussetzung für die Verhütung von Unfällen. Arbeitsschutz im weiteren Sinne bedeutet auch Gesundheitsschutz. Dabei geht man bei dem Begriff Gesundheit von der Definition der Weltgesundheitsorganisation aus, wonach Gesundheit nicht nur das Freisein von klinischen Krankheiten ist, sondern auch die geistige und seelische Unversehrtheit und das allgemeine Wohlbefinden einschließt. Vor diesem Hintergrund ist Arbeitsschutz mehr als nur Unfallverhütung.

3.2.1 EU-Richtlinien

Die europäische Gesetzgebung und die sich darauf beziehenden europäischen Richtlinien erfolgen auf der Grundlage des EU-Vertrags, der zuletzt am 01.12.2009 auf Grundlage des Vertrag



von Lissabon von 2007 geändert wurde (<http://www.aeuv.de/>).

Dabei sind unterschiedliche Ziele berücksichtigt:

- Die Artikel 114 (vormals Artikel 95) und 115 (vormals Artikel 94) des EU-Vertrages befassen sich mit der Harmonisierung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften zur Vermeidung von Handelshemmnissen im europäischen Binnenmarkt. Diesen Zwecken dienen die Arbeiten des europäischen Normenkomitees CEN – für die Angewandte Lichttechnik ist dies das Technische Komitee CEN TC 169.
- Die Artikel 153 (vormals Artikel 137, zuvor Artikel 118) und Artikel 154 (vormals Artikel 138, zuvor Artikel 118 a) betreffen die Verbesserungen der Lebens- und Arbeitsbedingungen, die Arbeitsumwelt und den Schutz der Gesundheit und der Sicherheit der Arbeitnehmer. Diese Artikel des EU-Vertrages sind die Grundlage des europäischen Arbeitsschutzes.

In Ergänzung zu Artikel 153 und Artikel 154 ist 1989 die Arbeitsschutz-Rahmenrichtlinie 89/391/EWG „Richtlinie des Rates zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit“ [147] verabschiedet worden. Zu deren Konkretisierung ist eine Reihe von Einzelrichtlinien zum europäischen Arbeitsschutz erschienen, z.B.

- für Arbeitsstätten (89/654/EWG) [148],
- für Arbeitsmittel (2009/104/EG) [137] und
- für die Arbeit an Bildschirmgeräten (90/270/EWG) [149], Einzelheiten dazu siehe Kapitel 4.3 „Beleuchtung von Büros und Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen“.

Nach der EU-Einzelrichtlinie für Arbeitsstätten (89/654/EWG) [148]

- müssen die Arbeitsstätten möglichst ausreichend Tageslicht erhalten und mit Einrichtungen für eine der Sicherheit und dem Gesundheitsschutz der Arbeitnehmer angemessenen künstlichen Beleuchtung ausgestattet sein,
- muss die Beleuchtung der Arbeitsräume und Verbindungswege so angebracht sein, dass aus der Art der Beleuchtung keine Unfallgefahr für die Arbeitnehmer entsteht, und

- müssen Arbeitsstätten, in denen die Arbeitnehmer bei Ausfall der künstlichen Beleuchtung in besonderem Maße Gefahren ausgesetzt sind, eine ausreichende Sicherheitsbeleuchtung haben.

Die Richtlinie gibt nur Mindestleitlinien für die Beleuchtung von Arbeitsstätten vor, die grundsätzlich in allen EU-Ländern gelten.

Die praktische Umsetzung dieser verbalen Mindestanforderungen an den Arbeitsschutz ist jedoch grundsätzlich den europäischen Nationalstaaten vorbehalten. Entsprechende Gesetze und weiterführende Verordnungen werden also länderspezifisch und nicht auf europäischer Ebene erlassen. Bedingung ist jedoch, dass dadurch keine Handelshemmnisse entstehen, die nach Artikel 114 und 115 der EU-Verträge untersagt sind. Mit der Möglichkeit einzelstaatlicher Regelungen soll das hohe Niveau des Arbeitsschutzes einiger EU-Länder nicht zu Lasten einer Nivellierung durch Harmonisierung von Regelwerken mit arbeitsschutzrechtlichen Inhalten verändert werden.

3.2.2 EN 12464-1

Aus den zuvor dargelegten Argumenten folgt auch, dass es im Bereich des Arbeits- und Gesundheitsschutzes keine europäischen Normen geben darf, weil diese wieder in allen EU-Staaten gelten würden. Dies ist auch der Grund, warum in der Präambel der Norm EN 12464-1 [51] der Arbeitsschutz ausgeklammert wird. In der deutschen Fassung DIN EN 12464-1 z. B. wie folgt:

„Grundsätzliche Anforderungen an die Beleuchtung hinsichtlich der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit werden in Deutschland nicht in dieser Norm, sondern in der Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) geregelt. In den Anwendungsbereich der ArbStättV fallen alle Arbeitsstätten. Die allgemeinen Anforderungen der ArbStättV hinsichtlich Beleuchtung werden in der Arbeitsstättenregel ASR A3.4 ‚Beleuchtung‘ weiter konkretisiert.“

Die Anforderungen an eine gute Beleuchtung in Arbeitsstätten nach EN 12464-1 [51] leiten sich aus der erforderlichen Sehleistung und dem gewünschten Sehkomfort – jedoch auch aus wirtschaftlichen Überlegungen – ab. Die lichttechnischen Anforderungen an die Beleuchtung nach EN 12464-1 [51] liegen im Allgemeinen über den Anforderungen, die für Sicherheit und Arbeitsschutz erforderlich sind. Sehleistung und Sehkomfort sind eher mit Begriffen wie Arbeitsleistung, Produktivität, Fehlerfreiheit der visuellen Arbeit und einem allgemeinen Wohlbefinden verknüpft. Die Normwerte sind Mindestwerte. Für die Beleuchtungsstärke im Bereich der Sehaufgabe werden zusätzlich modifizierte Werte angegeben, die häufig höher liegen und unter bestimmten Umständen empfohlen werden (siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“). In den meisten Fällen kann eine Erhöhung der qualitativen und quantitativen Daten der Beleuchtungsanlage messbare Verbesserungen im Sinne eines erweiterten Begriffs des Arbeitsschutzes erreichen, nämlich mehr Produktivität und mehr visuelles Wohlbefinden.

3.2.3 Anforderungen an den Arbeitsschutz in Deutschland

Die Umsetzung der EU-Einzelrichtlinie für Arbeitsstätten (89/654/EWG) [148] erfolgte in Deutschland durch die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) in der aktuellen Fassung vom 22.12.2020 [148]. Die dazugehörige Technische Regel für Arbeitsstätten ist bzgl. der Beleuchtung die im Jahr 2011 erschienene ASR A3.4 „Beleuchtung“ [110], die mit der Aufhebung der ASR A3.4/7 im März 2022 um Anforderungen an das „Einrichten und Betreiben der Sicherheitsbeleuchtung“ erweitert wurde.

Im Unterschied zu der europäischen Norm EN 12464 (Teil 1 und 2) [51] [52] bezieht sich die ASR A3.4 [110] nicht auf die Erfordernisse der Erledigung der Sehaufgabe. Vielmehr gilt: „Die Technischen Regeln für Arbeitsstätten (ASR) ge-

ben den Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Hygiene sowie sonstige gesicherte wissenschaftliche Erkenntnisse für das Einrichten und Betreiben von Arbeitsstätten wieder.“

In der Formulierung ihrer **Zielsetzung** ist der folgende Hinweis gegeben:

„Die Anforderungen dieser ASR weichen in Einzelfällen von Normen, insbesondere von DIN EN 12464-1:2003 Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen sowie DIN EN 12464-2:2007 – Teil 2: Beleuchtung im Freien ab. Die DIN EN 12464 Teil 1 und 2 legen Planungsgrundlagen für Beleuchtungsanlagen fest, berücksichtigen aber nicht die Anforderungen, die an Sicherheit und Gesundheitsschutz der Beschäftigten bei der Arbeit zu stellen sind.“ [110]

Dennoch zeigt die im Jahr 2011 erschienene **ASR A3.4 weitreichende Übereinstimmungen mit der aligen Fassung der EN 12464**. Dies gilt sowohl für die tabellarische Einteilung der Arbeitsstätten nach Tätigkeiten wie auch für die Definition der lichttechnischen Einflussgrößen und für die geforderten Mindestwerte der Beleuchtungsstärke und der Farbwiedergabe. Änderungen in aktuelleren Versionen der Norm sind dabei nicht berücksichtigt. Insbesondere bezieht sich die ASR weiterhin auf Mindestwerte der Beleuchtungsstärke ohne die Berücksichtigung von Kontextmodifikatoren (siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“). Dabei nimmt die ASR A3.4 keinen direkten Bezug auf die, orientiert sich aber begrifflich an der europäischen Norm, was die parallele Berücksichtigung beider Regelwerke erleichtert.

Bzgl. der Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen verweist die ASR A3.4 auf die Informationsschrift der Berufsgenossenschaften, konkret auf DGUV Information 215-442 „Beleuchtung im Büro – Hilfen für die Planung der künstlichen Beleuchtung in Büroräumen“ [116]. Insbesondere gelten die Forderungen der Arbeitsstättenverordnung, Abschnitt 6, „Maßnahmen zur Gestaltung von Bildschirmarbeitsplätzen“ [149], störende Reflexionen auf Bildschirmen zu vermeiden

(siehe Kapitel 4.3, „Büros und Räume mit Bildschirmarbeitsplätzen“). Ein „allgemein anerkannter Stand der Technik“ zur Erfüllung dieser Forderung liegt derzeit in Form der EN 12464-1 [51] vor.

Eine begriffliche Abweichung der ASR [110] von der EN 12464-1 [51] besteht in dem dort definierten „**Mindestwert der Beleuchtungsstärke**“, der inhaltlich jedoch vollständig dem „Wartungswert der Beleuchtungsstärke“ der EN 12464-1 entspricht und ebenfalls mit dem Index m versehen und als E_m dargestellt wird.

Eine deutlichere – auch inhaltlich relevante – begriffliche Abweichung besteht in der Definition des „Bereiches des Arbeitsplatzes“ im Vergleich zum „Bereich der Sehaufgabe“.

Der **Bereich des Arbeitsplatzes** gemäß ASR A3.4 [110] setzt sich zusammen aus

- den Arbeitsflächen,
- den Bewegungsflächen und
- allen dem unmittelbaren Fortgang der Arbeit dienenden Stellflächen.

Die Definition des Bereiches der Sehaufgabe gemäß EN 12464-1 [51] lässt es hingegen zu, dass dieser z. B. nur die Arbeitsflächen umfasst.

Im Kapitel 4 „Anforderungen an die Beleuchtung“ ist diese erweiterte Betrachtungsweise insbesondere für Büroarbeitsplätze [Kapitel 4.3] verdeutlicht und berücksichtigt. Für Industrie-

arbeitsplätze [Kapitel 4.2] kann bis zu einer Beleuchtungsstärke von 500 lx von der Installation einer Allgemeinbeleuchtung ausgegangen werden. Erst bei höheren Beleuchtungsstärken sieht die ASR A3.4 eine auf Teilflächen bezogene Erhöhung der Beleuchtungsstärke vor (siehe Abbildung 3.4). Als zusammenhängende Teilfläche sollte in industriellen Arbeitsstätten der Greifraum identifiziert werden, der gemäß EN 12464-1 [51] einem Bereich der Sehaufgabe entspricht (siehe Abbildung 4.1 in Kapitel 4.2).

Bzgl. der Umgebungen der Bereiche der Arbeitsplätze unterscheidet die ASR A3.4 nicht in unmittelbare Umgebung und Hintergrund wie in der EN 12464-1. Die ASR A3.4 definiert sie als bis zum nächsten Bereich eines Arbeitsplatzes, bis zu einem Verkehrsweg oder bis zur Wand reichend.

Abgesehen von einer erhöhten Beleuchtungsstärkeanforderung im Pausenraum (Mindestwert in der EN 12464: 100 lx; ASR A3.4: 200 lx, siehe Tabelle 4.2) ergeben sich beim derzeitigen Stand der vorliegenden Regelwerke keine erhöhten Anforderungen durch die ASR A3.4 [110], die bei Einhaltung der EN 12464-1 [51] nicht erfüllt wären. Der genannte Mindestwert der vertikalen Beleuchtungsstärke \bar{E}_v von 175 lx für diverse kommunikativ geprägte Arbeitsplätze in der Tabelle im Anhang der ASR A3.4 unterscheidet sich nur geringfügig von den 150 lx der zylindrischen Beleuchtungsstärke $\bar{E}_{m,z}$, die als Mindestwert in den Tabellen entsprechender Sehaufgaben der EN 12464-1 angegeben sind und sich aus den Anforderungen an das Modelling (siehe Kapitel 2.8) ergeben. In den Ausführungen und Tabellen des Kapitels 4 wird daher, mit Ausnahme der o. g. Büros, an keiner Stelle explizit auf die ASR verwiesen.

Nach dem Arbeitsschutzrecht muss der Arbeitgeber bei Maßnahmen des Arbeitsschutzes, also auch bei der künstlichen Beleuchtung in seiner Arbeitsstätte, vom aktuell anerkannten Stand der Technik und Arbeitsmedizin ausgehen. Daraus folgt, dass dazu die Festlegungen der derzeit gültigen ASR anzuwenden sind.

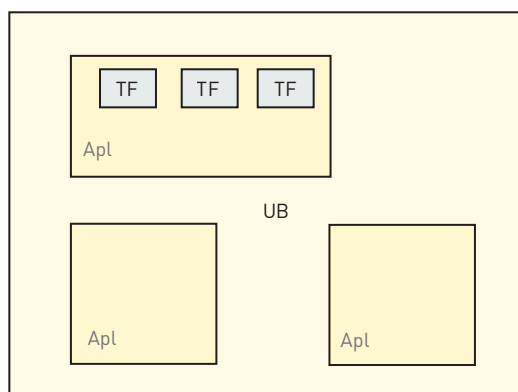


Abbildung 3.4: Prinzipskizze zur Aufteilung einer Arbeitsstätte in zu beleuchtende Bereiche (Apl = Bereich des Arbeitsplatzes, TF = Teilfläche, UB = Umgebungsbereich)

In dem Zusammenhang stellt sich die Frage nach dem **Bestandsschutz** von Altanlagen, die nach früheren Normen und Regeln errichtet wurden. Der Arbeitsschutz vertritt in dieser Situation die Auffassung, dass eine Nachrüstpflicht dann besteht, wenn der Raum einer anderen Nutzung (Änderung der Arbeits- und Sehaufgaben) zugeführt wurde. Darüber hinaus muss auch die Beleuchtungsanlage auf den jeweils gültigen Stand der Technik gebracht werden, sobald die Elektroanlage grundsätzlich verändert wird.

In anderen Fällen räumt der Arbeitsschutz einen Bestandsschutz der Anlagen für einen überschaubaren Zeitraum ein, immer vorausgesetzt, der Ist-Zustand erfüllt die Werte der Norm, die zum Zeitpunkt der Errichtung der Anlage dem Stand der Technik entsprochen haben. Werden auch diese nicht erreicht, muss die Anlage mindestens auf den Stand der seinerzeit gültigen Anforderungen gebracht werden. In Zweifelsfällen ist durch den Betreiber eine Gefährdungsanalyse zu veranlassen, um zu entscheiden, ob die Beleuchtung verbessert werden muss.

Zur **Instandhaltung** sagt die ASR explizit: „Beleuchtungsanlagen sind regelmäßig dahingehend zu überprüfen, ob sie noch den Anforderungen dieser Arbeitsstättenregel entsprechen“ [110]. Dazu ist ggf. eine orientierende Messung durchzuführen, wobei **Messgeräte** zu verwenden sind, „die mindestens der Klasse C gemäß DIN 5035 Teil 6, Ausgabe 2006-11 entsprechen“ (siehe Kapitel 3.8 „Messung der Beleuchtung“ und DIN 5035-6 [11]).

3.2.4 Beleuchtung 2019, mit Ergänzungen

Die europäische Rahmenrichtlinie 89/391/EWG [147] sowie diverse Einzelrichtlinien, die in Deutschland durch das Arbeitsschutzgesetz [147] und die Bildschirmarbeitsverordnung umgesetzt wurden, gelten auch für Arbeitsstätten des öffentlichen Dienstes. In der Folge gelten hier auch die Technischen Regeln des Arbeits-

schutzes, wie z. B. die ASR A3.4 [110]. Auf Grundlage dieser arbeitsschutzrechtlichen Vorgaben empfiehlt der Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und Kommunalverwaltungen (AMEV) mit der Schrift „Beleuchtung 2019, Hinweise für die Beleuchtung öffentlicher Gebäude“ [112] für die Beleuchtung in der öffentlichen Verwaltung funktionale, zweckmäßige und wirtschaftliche Kriterien. Sie übernimmt die wesentlichen Festlegungen von EN 12464-1 [51], für die Sportstättenbeleuchtung von EN 12193 [50] und für die Notbeleuchtung von EN 1838 [58]. Die Schrift ist zum Download unter <http://amev-online.de/AMEVInhalt/Planen/Elektrotechnik/Beleuchtung%202019/frei> verfügbar.

Ebenfalls unter dem oben genannten Link verfügbar ist die PDF-Datei der „2. Ergänzung zur Beleuchtung 2019 – Neue DIN EN 12464-1:2021-11; Konsequenzen für die Planung von Beleuchtungsanlagen“. Diese verweist insbesondere auf

- die Empfehlung zur Berücksichtigung der Kontextmodifikatoren zur Ermittlung der modifizierten Beleuchtungsstärke im Bereich der Sehaufgabe,
- die Beleuchtungsstärke auf Oberflächen (Wände und Decken),
- die Anforderungen an die zylindrische Beleuchtungsstärke im Tätigkeitsraum und
- weitere Änderungen der Beleuchtungsanforderungen in Bezug auf die Vorgängerversion der DIN EN 12464-1.

Im Vergleich zu ihrer Version aus dem Jahre 2011 werden seit 2016 aus wirtschaftlichen Gründen LED-Leuchten für annähernd alle Anwendungen empfohlen. Diese können als An- bzw. Einbauleuchten oder als abgehängte Leuchten ausgeführt sein. Für Letztere sollte der Indirektanteil am gesamten Leuchtenlichtstrom im Allgemeinen nicht mehr als 30 % betragen, um eine verringerte Effizienz der Beleuchtung durch Reflexionsverluste zu vermeiden.

Für die Beleuchtung von Innenräumen wird heute aufgrund der Verwendung von LED-Leuchten eine individuelle Festlegung des Wartungs-

faktors empfohlen. Es ist der Lampenlichtstrom-Wartungsfaktor *LLMF* mithilfe der spezifischen Leuchtendaten des Herstellers (Leuchten-Datenblatt) je Leuchte individuell zu bestimmen. Zu berücksichtigen ist dabei auch der Umstand, dass neben der Länge der Bemessungslebensdauer die im Markt angegebenen Werte für den in dieser Zeit zu erwartenden Lichtstromrückgang nicht einheitlich sind (siehe Kapitel [3.1.2](#) „Der Lampenwartungsfaktor einer LED-Leuchte“). Es wird darauf aufmerksam gemacht, dass sich im Einzelfall ein geringer Wert des Lampenlichtstrom-Wartungsfaktors *LLMF* negativ auf den Energieverbrauch und die Wirtschaftlichkeit der Beleuchtungsanlage auswirken kann.

Für Leuchten mit indirektem Lichtstromanteil wird empfohlen, dass der Indirektanteil am gesamten Leuchtenlichtstrom im Allgemeinen nicht mehr als 30 % betragen sollte, um eine verringerte Effizienz der Beleuchtung durch Reflexionsverluste zu vermeiden.

Die „Beleuchtung 2019“ [\[112\]](#) gibt für den Fall eines normalgroßen Büros den Hinweis, dass hier unter üblichen Umständen ein Wartungsfaktor von 0,75 angesetzt werden kann.

„Beleuchtung 2019“ enthält Planungsbeispiele für die Beleuchtung von

- 1-, 2- und 3-Personenbüros, Großraumbüros,
- Normal- und Fachklassen, Klassenräumen mit gerichteter Sitzanordnung, EDV-Schulungsräumen,
- Turn- und Sporthallen,
- Fluren,
- Sanitärräumen und
- Datenverteilteräumen.

In den Büros und Klassenräumen ist zur direkten Beleuchtung jeweils auch eine Alternativlösung mit direkt/indirekter Lichtverteilung aufgezeigt. Es wird der Hinweis gegeben, dass sich für diese Lösung der Energieverbrauch nur unwesentlich erhöht, während der positive Einfluss auf die Beleuchtungsqualität, z. B. die Entblendung, hervorgehoben wird.

Für moderne Bildschirme ist gemäß der vorliegenden Schrift bei einer maximalen Bildschirmleuchtdichte $> 200 \text{ cd/m}^2$ eine Begrenzung der Leuchtdichte von Leuchten auf 3.000 cd/m^2 ausreichend, wie auch in der ASR A3.4 und EN 12464-1 gefordert.

Wegen der unabhängigen Prüf- und Zertifizierungsregeln, denen Leuchten mit VDE- bzw. ENEC-Zeichen unterliegen, werden ausschließlich so gekennzeichnete Leuchten empfohlen (siehe auch Kapitel [5.6.2](#) „Sicherheitszeichen für Leuchten“). Das CE-Zeichen ist dem gegenüber kein Sicherheitszeichen, sondern nur ein Verwaltungszeichen, das zwar die Konformität mit den einschlägigen EU-Richtlinien bescheinigt, jedoch keine Qualitätskontrolle bestätigt (siehe auch Kapitel [5.6.5](#) „CE-Zeichen für Leuchten“).

3.3 Licht und nicht-visuelle Wirkungen

3.3.1 Human Centric Lighting (HCL)

Unter der Bezeichnung „Human Centric Lighting“ versteht man heute solche Anwendungen der Beleuchtung, bei denen in besonderer Weise der Mensch und sein Wohlbefinden in den Mittelpunkt der Lichtlösungen gestellt werden. Das Bewusstsein um den Einfluss der Beleuchtung auf Gesundheit und Wohlbefinden des Menschen entwickelt sich in den vergangenen Jahren zunehmend unter dem Eindruck weitreichender, neuer Erkenntnisse aus intensiver Forschungstätigkeit. Diese Erkenntnisse führen heute dazu, gutes Licht neu zu definieren. Neben der Schaffung qualitativer Sehbedingungen und der räumlichen Wirkung des Lichtes ist in der Planung sowie der Ausführung vieler Anwendungen auch die spektrale Zusammensetzung der Lichtdynamik über den Tagesverlauf zu berücksichtigen.

Tatsächlich hat sich der Mensch in seiner mehrere Millionen Jahre zurückliegenden Entwicklungsgeschichte zu einem Tageslichtwesen entwickelt. Er hat sich in seiner Evolution an das Tageslicht und seine sehr unterschiedlichen Wirkungen ebenso gewöhnt wie an den natürlichen Tag-Nacht-Rhythmus.

In den vergangenen ca. 100 Jahren hat sich der Mensch nun – entgegen dem natürlichen Tag-Nacht-Turnus – eine globale 24-Stunden-Gesellschaft geschaffen, in der er nach dem Motto „Licht macht die Nacht zum Tage“ scheinbar unabhängig vom Tagesrhythmus ist. Diese scheinbare Unabhängigkeit ist, wie wir heute wissen, äußerst kritisch zu bewerten. Licht sollte, aus Gründen der Gesundheit und des Wohlbefindens, stets am natürlichen Licht orientiert sein und gezielt in den Tagesverlauf integriert werden.

Der wesentliche Aspekt ist dabei der Einfluss des Lichts auf unsere innere Uhr. Aber auch die emo-

tionale, psychologische Wirkung von Beleuchtung spielt in der Lichtplanung eine bedeutende Rolle.

Erst im Jahr 2000 wurde ein zusätzlicher Empfänger im Auge entdeckt, welcher bei dieser biologischen, nicht-visuellen Lichtwirkung eine wichtige Rolle spielt. Der „neue“ Rezeptor, eine intrinsisch photosensitive Ganglienzelle (ipRGC) reagiert besonders auf Lichtwellenlängen im kurzwelligen, „blauen“ Bereich des Spektrums von ca. 490 nm (siehe Abschnitt [3.3.9](#) „Optische Strahlung“). Seit seiner Entdeckung beschäftigen sich Wissenschaft und Industrie mit dem Verständnis der nicht-visuellen Wirkung auf den Menschen und haben so einen Kenntnisstand generiert, der sich nach und nach auch in der Lichanwendung widerspiegelt. Insbesondere hat die Entdeckung des Proteins Melanopsin, welches als Photopigment die neu entdeckten Ganglienzellen lichtempfindlich macht, den Begriff der „melanopischen Wirksamkeit“ des Lichts geprägt.

Klar ist: Zusammensetzung und Intensität des von verschiedenen Lichtquellen emittierten Spektrums haben verschiedene Auswirkungen auf den Menschen. So kann durch eine integrale Lichtplanung das Wohlbefinden gesteigert und die Stimmung positiv beeinflusst werden. Auch Aktivierung oder Entspannung können durch Licht unterstützt werden.



Dabei kann die melanopische Wirkung des Lichts vor allem gesundheitliche Aspekte wie Aktivierung, Erholung und allgemeines Wohlbefinden verbessern (biologische, nicht-visuelle Wirkung), während die visuelle Wirkung Emotionen hervorrufen und unterstützen kann. Die Kombination aus nicht-visueller, visueller und emotionaler Unterstützung des Menschen definiert den Begriff „Human Centric Lighting“.

In der Anwendung kann zwischen vier grundsätzlichen Einsatzmöglichkeiten unterschieden werden:

- **Melanopisch wirksames Licht zur Unterstützung der Gesundheit**

Der menschliche Tag-Nacht-Rhythmus kann durch Licht unterstützt werden. Wie das Tageslicht kann gezielte Beleuchtung durch zeitliche Änderung der Lichtfarbe und Intensität Gesundheit und Leistungsfähigkeit unterstützen und fördern.

- **Melanopisch wirksames Licht zur Aktivierung**

Beleuchtung unterstützt die Aufmerksamkeit und Konzentrationsfähigkeit. Durch die aktivierende Wirkung insbesondere von kälteren Lichtfarben kann auch die kognitive Leistungsfähigkeit gesteigert werden.

- **Melanopisch wirksames Licht zur Erholung**

Licht wirkt aktivierend, trägt aber auch aktiv zur Erholung und Entspannung bei. Das Wohlbefinden kann durch Anpassung der Beleuchtung an individuelle Bedürfnisse, beispielsweise durch Änderung zu wärmeren Lichtfarben, gesteigert werden.

- **Licht, das Emotionen weckt**

Beleuchtung inszeniert, akzentuiert und erschafft Räume. Durch das Schaffen unterschiedlicher Lichtatmosphären können Emotionen der Begeisterung oder Gemütlichkeit ausgelöst werden, die das Wohlbefinden und die Akzeptanz erhöhen.

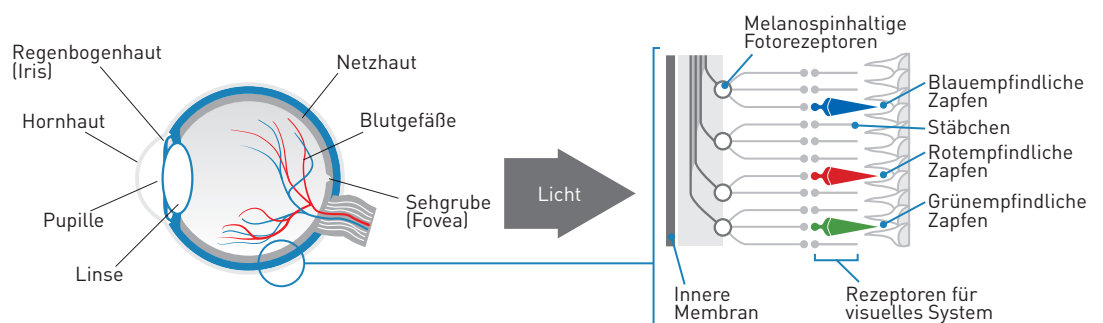
Der Begriff „**melanopisch wirksames Licht**“ beschreibt dabei nicht eine Lichtsituation, gekennzeichnet durch absolute Angaben physikalischer und lichttechnischer Kennwerte. Er beschreibt vielmehr die zeitliche, relative Variation derselben, die geeignet ist, die Physiologie des menschlichen, circadianen Rhythmus zu unterstützen (siehe Abschnitt [3.3.3](#)).

Human Centric Lighting grenzt sich also überall dort von der rein technischen Beleuchtung ab, wo Licht eine psychologische, physiologische oder psychobiologische Wirkung auf den Menschen haben soll.

3.3.2 Melanopische Wirksamkeit des Lichts

Die melanopische Wirkung des Lichts ist tief in der Entwicklung des Menschen verankert. In der frühen Entwicklungsgeschichte wurde das gesamte Leben des zu diesem Zeitpunkt noch nicht sesshaften Menschen vom verfügbaren Tageslicht bestimmt. Dieses Licht bestimmte maßgeblich Schlaf- und Wachphasen, Zeiten der Nahrungsbeschaffung und Zeiten des Rückzuges.

Abbildung 3.5: Die für den blauen (kurzwelligigen) Lichtanteil besonders sensitiven Ganglienzellen befinden sich im unteren Bereich der Retina. Sie sind am Sehvorgang nicht beteiligt, sind aber als Signalgeber für unsere „innere Uhr“ mitverantwortlich.



Schon der frühe Mensch nahm einen großen Teil seiner Umweltinformation über das Auge auf. Daraus ergab sich zu Tagzeiten ein Vorteil gegenüber anderen Tierarten, während nachts im Dunklen fast unsichtbare Gefahren lauern konnten.

Erst mit der Beherrschung des Feuers konnte der Mensch auch bei Dunkelheit behagliche Orte schaffen, die für Wärme und Schutz sorgten. Erste Lampen und Feuerstellen entwickelten sich stetig weiter. Während vor allem im 19. Jahrhundert verwendete Öllampen eher in Herrschaftshäusern genutzt wurden, entwickelten sich aus dem sich stärker verbreitenden Gaslicht zunächst erste großflächige Straßenbeleuchtungen in den Metropolen. Erst die Erfindung des elektrischen Lichts machte die Beleuchtung zuhause einer breiteren Masse zugänglich. Durch die neue günstige Lichtquelle konnte der Tag künstlich verlängert werden, bis hin zur vollständigen Erhellung der nächtlichen Dunkelheit. Vor allem im Zuge der Industrialisierung konnten so Arbeitsprozesse vom natürlichen Tageslicht entkoppelt werden, Fabriken konnten rund um die Uhr arbeiten. Die dadurch mögliche zeitliche Selbstbestimmung spiegelte sich auch in der Gesellschaft wieder, die – insbesondere in den Städten – nicht mehr nach dem von der Natur vorgegebenen Rhythmus lebte, sondern ihren eigenen Tageszyklus bestimmte.

Diese rasanten gesellschaftlichen und technischen Veränderungen fanden im Wesentlichen innerhalb eines einzigen Jahrhunderts statt – im Maßstab der Evolution ein zu kurzer Zeitraum, um den menschlichen Körper an die neuen Gegebenheiten anzupassen. Die über die Jahrtausende entwickelte Verbundenheit mit dem Tageslicht und dem damit vorgegebenen Rhythmus war und ist immer noch ein bestimmender Faktor im Leben des Menschen.

Dass Tageslicht einen positiven Einfluss auf den Menschen hat, zeigt sich bereits in über Jahrtausende alten Sonnenkulten. Aber auch am Anfang des 20. Jahrhunderts wurde dieses Wissen beispielsweise bei der Architektur von Sanatorien

und in der Lichttherapie mit Höhensonne angewendet.

Etwa seit Mitte des 20. Jahrhunderts wird dieser Einfluss gezielt wissenschaftlich untersucht. Die bekanntesten Wissenschaftler sind hier vermutlich Colin Pittendrigh, der „Vater der biologischen Uhr“, und Jürgen Aschoff, die gemeinhin als Mitbegründer der Chronobiologie gelten. Erste Beobachtungen an Pflanzen, Insekten und Nagetieren führten schließlich auch zum Nachweis circadianer Rhythmen beim Menschen.

Wissenschaftliche Erkenntnisse zur inneren Uhr und zu circadianen Rhythmen wurden im Oktober 2017 sogar mit dem Nobelpreis für Medizin ausgezeichnet. Damit wird dem Licht in Bezug auf den biologischen Tagesrhythmus ein ganz bedeutender Stellenwert zuteil.

Da parallel auch gute Erfolge mit der Lichttherapie von Winterdepression (Seasonal affective disorder, SAD) und anderen Mangelerscheinungen erzielt wurden, entwickelte sich ein interdisziplinäres Forschungsfeld, in dem Verhaltensforscher, Biologen und Mediziner die Wirkung von Licht auf den Menschen untersuchten. Im Jahr 1991 wurde ein zusätzlicher, nicht am eigentlichen Sehvorgang beteiligter Photorezeptor von Russel G. Foster und Kollegen in Mäuseaugen nachgewiesen, der eine wesentliche Rolle für den circadianen Rhythmus, also den 24-Stunden-Rhythmus der biologischen inneren Uhr, spielt.

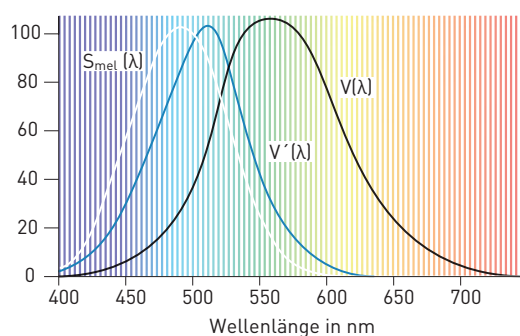


Abbildung 3.6: Visuell wirksamer Hellempfindlichkeitsgrad $V(\lambda)$ für das helladaptierte Auge (Tagsehen) und $V'(\lambda)$ für das dunkeladaptierte Auge (Nachtsehen) sowie melanosopische Wirkungsfunktion S_{mel} für die circadianen Rhythmen

Im Jahr 2001 konnten solche lichtempfindlichen Ganglienzellen auch auf der menschlichen Netzhaut entdeckt werden und so die Wirkungsweise von Licht auf den menschlichen Tag-Nacht-Rhythmus weiter erklärt werden. Die Forschung in diesem Bereich wurde in der Folge intensiviert, 2007 konnte Melanopsin als Wirkstoff in den Ganglienzellen bestimmt werden. Die Wirkung von Licht auf den circadianen Rhythmus des Menschen wird seitdem mithilfe eines Wirkungsspektrums beschrieben (siehe Abbildung 3.6), welches in Abhängigkeit der Wellenlänge des Lichts unterschiedlich starken Einfluss auf die innere Uhr hat. Aber auch die Richtung und räumliche Verteilung des Lichts spielt dabei eine Rolle. Weitreichende interdisziplinäre Forschung auf dem Gebiet führte zu einem heute guten Kenntnisstand über menschliche Bedürfnisse und Gefährdungen, die durch Licht induziert werden können.

Forschungsergebnisse und Praxiserfahrungen im Bereich der Lichtplanung wurden auch in der lichttechnischen Normung abgebildet.

Normung

In DIN/TS 5031-100:2021-11 „Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik – Teil 100: Über das Auge vermittelte, melanopische Wirkung des Lichts auf den Menschen – Größen, Symbole und Wirkungsspektren“ [47] werden zunächst Begrifflichkeiten, die für die Betrachtung von nicht-visueller Lichtwirkung auf den Menschen wichtig sind, beschrieben. Sie steht in weitgehender Übereinstimmung mit der internationalen Norm CIE S 026:2018 „CIE-System für die Metrologie optischer Strahlung für ipRGC-beeinflusste Antworten auf Licht“ [163]. Beides sind Regelwerke, die einheitliche Begriffe und Definitionen für eine gesundheitsfördernde Innenraumbeleuchtung in Europa etablieren sollen. Sie stellen darüber hinaus die Beziehung zwischen visuellen und nicht-visuellen Wirkungen des Lichts her und sind daher entscheidend für die nachhaltige Entwicklung der Innenraumbeleuchtung.

Zu diesem Zweck werden die melanopische Lichtwirkung und ein entsprechender Wirkungsfaktor $a_{mel,v}$ definiert. Letzterer ist ein Maß für den Einfluss einer Lichtquelle auf die nicht-visuelle Wirkung des Lichts und damit auch auf die Unterstützung des circadianen Rhythmus.

Vergleichbar mit der Bewertung einer Strahlungsquelle mit der visuellen Empfindlichkeit des Auges $v(\lambda)$ kann diese ebenfalls melanopisch durch spektrale Multiplikation mit dem melanopischen Wirkungsspektrum $s_{mel}(\lambda)$ vorgenommen werden (siehe Abbildung 3.6).

Mit dem Spektrum einer LED ergeben sich grafisch folgende Bilder:

Abbildung 1:
Spektrum einer LED-Lichtquelle mit 4.000 K (orange)

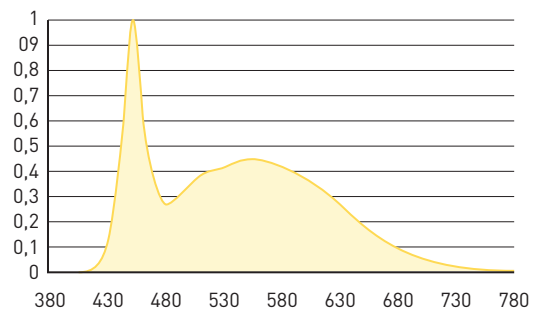


Abbildung 1

Abbildung 2:
Ermittlung der visuellen Strahlungsgröße mit $v(\lambda)$

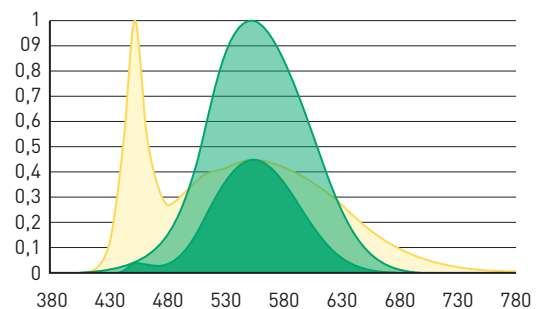


Abbildung 2

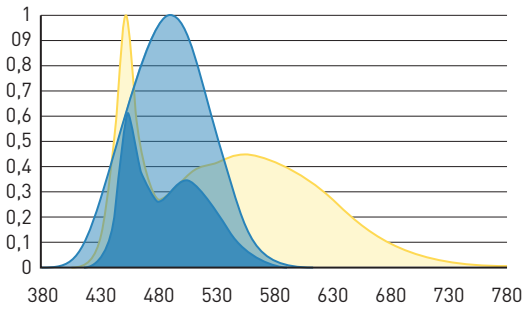
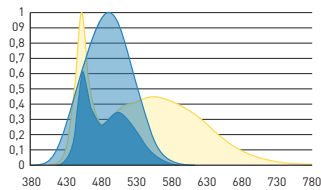


Abbildung 3: Ermittlung der melanopischen Strahlungsgröße mittels $s_{mel}(\lambda)$ (hellblau)

Der melanopische Wirkfaktor $a_{mel,v}$ berechnet sich nun als Quotient aus der mit der melanopischen ($s_{mel}(\lambda)$) und der visuellen ($v_{\lambda}(\lambda)$) Empfindlichkeit bewerteten Strahlungsquelle.



$$a_{mel,v} = \frac{\int_{380\text{ nm}}^{780\text{ nm}} X_{\lambda}(\lambda) \cdot s_{mel}(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{380\text{ nm}}^{780\text{ nm}} X_{\lambda}(\lambda) \cdot v_{\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda}$$

Abbildung 4: Berechnung von $a_{mel,v}$

$$a_{mel,v} = \frac{\int_{380\text{ nm}}^{780\text{ nm}} X_{\lambda}(\lambda) \cdot s_{mel}(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{380\text{ nm}}^{780\text{ nm}} X_{\lambda}(\lambda) \cdot v_{\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda}$$

So ist z. B. für eine typische, warmweiße LED mit einer Farbtemperatur von 3.075 K ein melanopischer Wirkfaktor von 0,387 ermittelt worden. Für eine tageslichtweiße LED mit 6.535 K betrug der ermittelte Wirkfaktor 0,725. Diese Werte sind in der oben genannten Norm dokumentiert (vgl. Beispiel der Abbildung 3.8).

Weiterhin kann die melanopisch äquivalente Tageslicht-Beleuchtungsstärke (melanopic equivalent daylight illuminance – MEDI) mittels des melanopischen Tageslicht-Effizienzfaktors

(melanopic daylight efficacy ratio – MDER) berechnet werden.⁵

Zunächst wird dazu der melanopischen Tageslicht-Effizienzfaktor (MDER) ermittelt. Dieser ergibt sich aus der Multiplikation des melanopischen Wirkfaktors $a_{mel,v}$ mit dem Verhältnis des melanopischen Tageslichtäquivalents für Normlicht D65 $K_{mel,D65}$ zum Maximalwert des fotometrischen Strahlungsäquivalents für Tagsehen K_{cd} .

$$K_{mel,D65} = 753,86 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$$

$$K_{cd} = 683 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$$

$$\frac{K_{mel,D65}}{K_{cd}} = 1,10375$$

$$\text{MDER} = 1,10375 \cdot a_{mel,v}$$

Mit dem melanopischen Tageslicht-Effizienzfaktor (MDER) kann nun die melanopisch äquivalente Tageslicht-Beleuchtungsstärke (MEDI) berechnet werden. Dabei ist die vertikale Beleuchtungsstärke maßgeblich, da im Wesentlichen das unter flachen Winkeln in das Auge eintretende Licht melanopisch wirksam ist (siehe Abbildung 3.7).

Die gemessene vertikale, fotopische Beleuchtungsstärke E_v wird mit MDER multipliziert:

$$\text{MEDI} = E_v \cdot \text{MDER}$$

Mit zunehmendem Alter verringert sich der Transmissionsgrad der verschiedenen optischen Medien im Auge. Weitere vom Alter (A) abhängige Faktoren sind zu berücksichtigen.

Faktoren für diese altersabhängige Trübung der Augenmedien $k_{mel,trans}(A)$ sind in DIN/TS 5031-100 [47] enthalten (siehe Tabelle 3.18).⁶ Des Weiteren werden Anpassungsfaktoren $k_{Pupille}(A)$ für die altersabhängige Verkleinerung der Pupille gegeben. Diese betragen z. B. $k_{Pupille}=1$ für Personen im Alter von 32 und $k_{Pupille}=0,54$ für 75-Jährige.

⁵ In der Dokumentation des „WELL Building Institute“ wird alternativ zur MEDI auch das EML (equivalent melanopic lux) verwendet, mit dem Umrechnungsfaktor 0,91 · EML = MEDI. Die melanopische Beleuchtungsstärke unterscheidet sich im Zahlenwert von der hier definierten melanopisch äquivalenten Tageslicht-Beleuchtungsstärke um den Faktor $1/a_{mel,v,D65} = 1/0,906$. Hinweis: Diese Beschreibung und die Einheiten „melanopic lux“ oder „melanopic equivalent lux“ sind mit dem SI-System nicht vereinbar.

⁶ Die altersbedingte Verringerung des Transmissionsgrades der optischen Medien im Auge ist von der Wellenlänge abhängig. Die vereinfachte Tabelle der Korrekturfaktoren ist für die Bewertung von weißem Licht geeignet, nicht jedoch, wenn die Lichtquelle eine spektral stark strukturierte Charakteristik mit Spektrallinien oder farbig gefiltertem Licht aufweist. Abweichungen des altersbedingten Transmissionsgrades aufgrund der spektralen Zusammensetzung weißen Lichts mit unterschiedlichen Farbtemperaturen werden in dieser Näherung nicht berücksichtigt.

Das Produkt dieser beiden Faktoren beschreibt die altersabhängige Korrektur der melanopisch äquivalenten Tageslicht-Beleuchtungsstärke $MEDI(A)$:

$$MEDI(A) = MEDI \cdot k_{mel}(A)$$

mit $k_{mel}(A) = k_{mel,trans}(A) \cdot k_{Pupille}(A)$
(siehe Tabelle 3.18).

Der Lichtbedarf älterer Menschen steigt also nicht nur für das Sehen (siehe Abbildung 3.11), sondern auch für die Funktion der circadianen Synchronisation.

Eine weitere für die nicht-visuelle Lichtwirkung relevante Norm, die DIN/TS 67600:2022 „Ergänzende Kriterien für die Lichtplanung und Lichtanwendung in Hinblick auf nicht-visuelle Wirkungen von Licht“ [48], enthält Planungsempfehlungen für Arbeits- und Nichtarbeitsstätten als Ergänzung zu anderen planungsrelevanten Normen wie der DIN EN 12464-1 [51] oder der ASR A3.4

[110]. Es sind hier nicht-visuelle Kriterien der Beleuchtung enthalten, die über die Größen Beleuchtungsstärke, Spektrum, Lichtverteilung und zeitlicher Verlauf der Beleuchtung definiert werden.

Eine große Rolle spielt dabei die Lichtverteilung, da melanopische Wirkung nur zu erzielen ist, wenn das Licht vornehmlich flächig, diffus aus dem oberen Halbraum unser Auge erreicht (siehe Abbildung 3.7). Auch hier wird der ursächliche Zusammenhang zum natürlichen Vorkommen des wirksamen Lichts, dem Taghimmel, erkennbar. In der Norm werden sowohl Tageslicht als auch Kunstlicht und Mischungen aus beiden betrachtet. So werden beispielsweise die Relevanz für die Planung melanopisch wirksamen Lichts für verschiedene Nutzungsarten sowie grobe Maßnahmen zur Berücksichtigung in konkreten Lichtplanungen beschrieben. Zielgrößen sind hier vor allem die Stabilisierung und Stärkung der inneren Uhr und des damit verbundenen



Abbildung 3.7: Die melanopische Wirksamkeit des Lichts ist abhängig vom Einfallswinkel des Lichts, der Position und Größe der Lichtquelle, aber auch von den Raumflächen (Materialien), welche das Spektrum und die Beleuchtungsstärke reduzierend beeinflussen.

Tabelle 3.18: Der wellenlängenabhängige Transmissionsgrad des Auges in Abhängigkeit vom Lebensalter

Alter	10	25	32	50	75	90
$k_{mel,trans}(A)$	1,13	1,05	1,00	0,84	0,59	0,46
$k_{Pupille}(A)$	1,29	1,09	1,00	0,79	0,54	0,42
$k_{mel}(A)$	1,4577	1,1445	1,00	0,6636	0,3186	0,1932

$$MEDI(A) = MEDI \cdot k_{mel}(A)$$

Schlaf-Wach-Rhythmus sowie Förderung von Konzentration, Regeneration, Stimmung und Leistungsbereitschaft durch Beleuchtung.

Als Schwellwert für die melanopisch äquivalente Tageslicht-Beleuchtungsstärke ist gemäß DIN/TS 67600:2022 [48] ein Wert von $MEDI(A) = 250 \text{ lx}$ für eine 32 jährige Person anzustreben (siehe auch Vergleich in Abbildung 3.13).

Auch wenn es sich um eine Norm handelt, sind alle beschriebenen Maßnahmen freiwillig. Auch werden keine Verschiebungen des circadianen Rhythmus beabsichtigt, sondern lediglich allgemeine Planungshinweise für verschiedene Arbeitsplätze gegeben.

3.3.3 Der circadiane Rhythmus und die innere Uhr

Unter dem Begriff „circadianer Rhythmus“ versteht man per Definition einen biologischen Rhythmus mit einer Dauer von etwa 24 Stunden (circa=ungefähr, dies=Tag). Ein typischer circadianer Rhythmus ist also der Schlaf-Wach-Rhythmus des Menschen.

Schon in den 1950er Jahren erforschten Gustav Kramer und Jürgen Aschoff das Schlafverhalten von Personen, die sich unter Isolationsbedingungen ohne Kontakt zum Tagesablauf und zum Tageslichtrhythmus mehrere Wochen in künstlich beleuchteten Räumen aufhielten. Ihr Schlafverhalten wurde verglichen mit dem von weiteren Testpersonen, die sich unter normalen, vom Tageslicht beeinflussten Bedingungen befanden. Während Letztere regelmäßig zwischen 21:00 Uhr und 7:00 Uhr schliefen, veränderte sich das Schlafverhalten (also das Schlafbedürfnis) un-

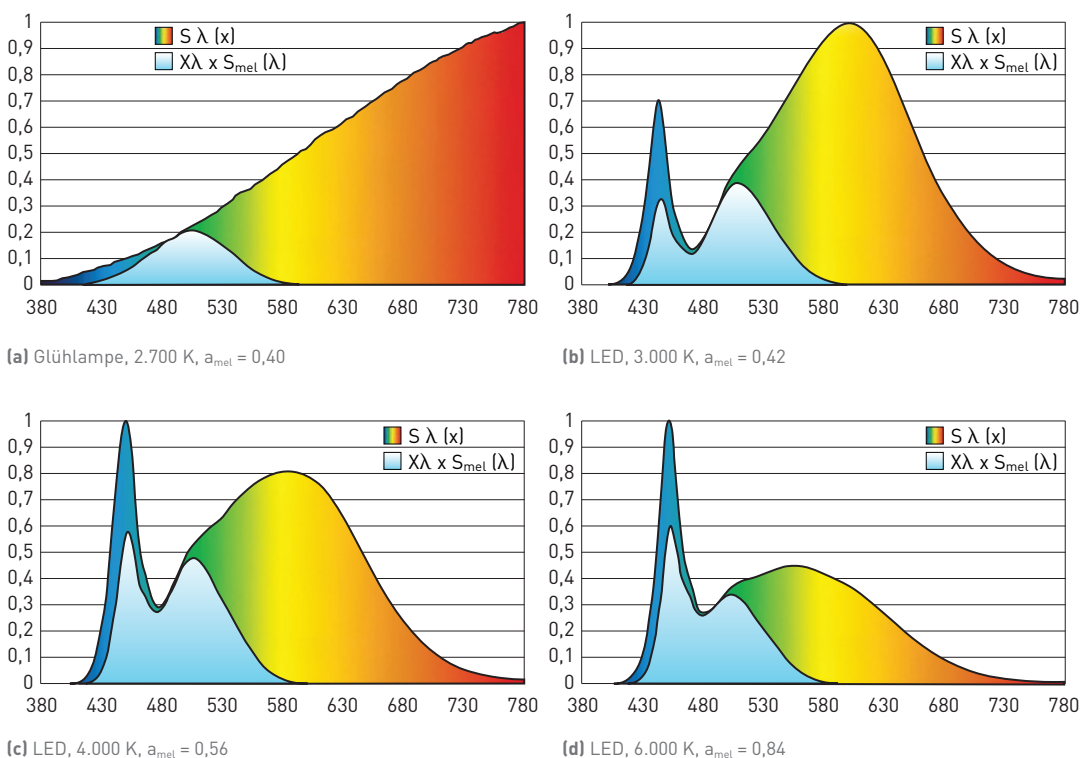


Abbildung 3.8: Radiometrisches Spektrum und melanopisches Wirkspektrum einer LED-Leuchte bei unterschiedlichen Farbtemperaturen und der sich ergebende melanopische Wirkfaktor a_{mel} . Zum Vergleich sind das radiometrische Spektrum und das melanopische Wirkspektrum einer Glühlampe (2.700 K) dargestellt.

ter Isolationsbedingungen nach wenigen Tagen völlig. Die Einschlaf- und Aufwachphase hatte sich täglich verschoben (siehe Abbildung 3.10). Nach etwa 21 Tagen schliefen die Testpersonen in der Zeit von 16:00 Uhr bis etwa 1:00 Uhr nachts. Schon nach wenigen Tagen hatte sich also eine wesentlichen Zeitverschiebung des Schlafrhythmus eingestellt.

Damit diese zeitliche Verschiebungen in Bezug zur Tageszeit korrigiert wird, muss die innere Uhr mit der Tageszeit synchronisiert werden. Licht ist hierfür der stärkste Zeitgeber. Über die bereits beschriebenen Ganglienzellen wird das Umgebungslicht zur Synchronisation der inneren Uhr genutzt. Die Effekte dieser Synchronisation können oft durch den Verlauf des natürlichen

Tageslichts erklärt werden, welches evolutionär gesehen den einzigen Lichtzeitgeber darstellt. Geeignetes Licht am Morgen ist am wirksamsten zur Unterstützung bei der Synchronisierung der inneren Uhr. So kann aber auch besonders helles Licht in den Mittagsstunden einer Nachmittagsmüdigkeit vorbeugen. Eine Korrespondenz findet sich in der höheren Tageslichteinstrahlung in der Mittagszeit (siehe Abschnitt 2.12). Weißes Licht mit erhöhtem Blauanteil oder Licht mit hoher Farbtemperatur, wie es dem Streulicht eines blauen Taghimmels entspricht, kann zu höherer Wachheit und Aufmerksamkeit führen. Auch in den Abendstunden kann dieser Effekt genutzt werden, um trotz fortgeschrittener Zeit beim Menschen eine erhöhte Wachheit zu erreichen.

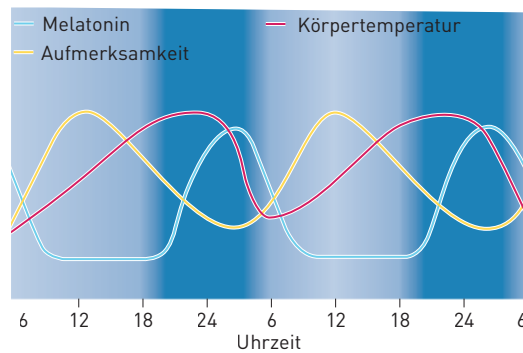
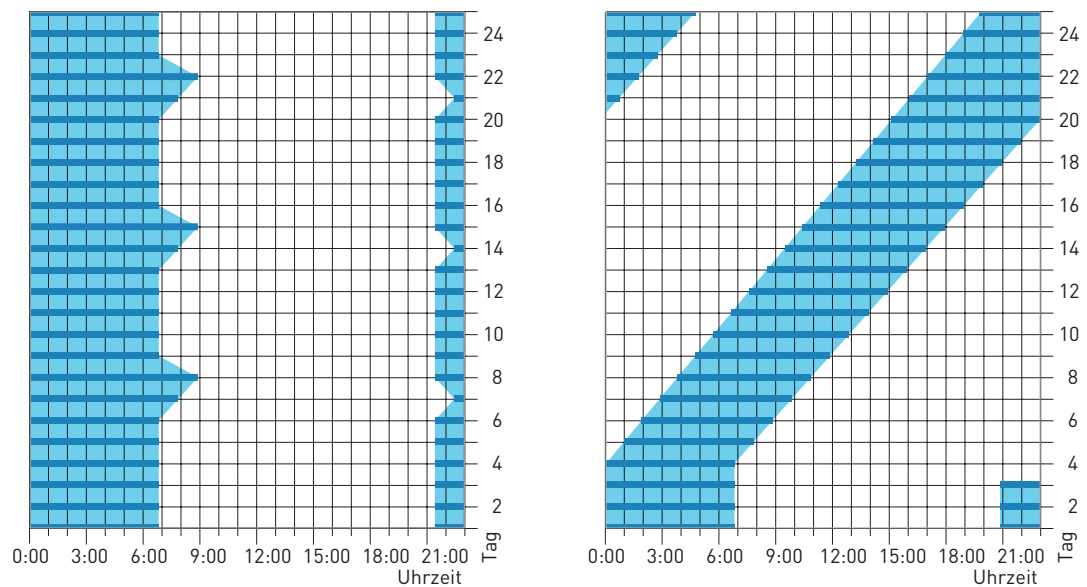


Abbildung 3.9: Verlauf verschiedener circadianer Rhythmen innerhalb von 24 Stunden

Am Arbeitsplatz kann Licht mit einem höheren Blauanteil Schläfrigkeit am Tage vorbeugen und gleichzeitig einen erholsameren Nachtschlaf unterstützen, wenn dieser abends durch entspannendes, gedämpftes Licht und Dunkelheit am Abend eingeleitet wird. Auf der anderen Seite können auch ungewünschte Wachphasen durch Licht induziert werden, wenn zum Beispiel nachts eine Badezimmerleuchte mit hohem Blauanteil eingeschaltet wird, die zu kurzzeitiger Schlaflosigkeit führen kann.

Abbildung 3.10: Schlafverhalten unter Normalbedingungen (links): Geschlafen wurde zwischen 21.00 Uhr und etwa 7:00 Uhr. Unter Isolationsbedingungen (rechts) schliefen die Testpersonen z. B. nach 21 Tagen in der Zeit von etwa 16:00 Uhr bis 1:00 Uhr nachts.



Biologisch funktionieren diese Prozesse durch die Ausschüttung oder Unterdrückung bestimmter Hormone (Melatonin, Serotonin usw., siehe Abschnitt 3.3.7 „Melatonin“), die für Müdigkeit oder Leistungsfähigkeit mitverantwortlich sind. Die Hormonabgabe verschiedener Drüsen im Gehirn wird maßgeblich über die photosensitiven Ganglienzellen getriggert, sodass der Einfluss von Licht auf den Hormonhaushalt direkt über im Blut vorhandene Hormonkonzentrationen nachgewiesen werden kann.

Circadiane Rhythmen sind beispielhaft in Abbildung 3.9.3 dargestellt für

- den Melatoninspiegel, der in der Nacht bzw. der Dunkelzeit stark ansteigt und am Tag stark reduziert ist, weshalb Melatonin auch als Schlafhormon bezeichnet wird und als Maß für die Phasenlage des circadianen Rhythmus betrachtet werden kann,
- die Aufmerksamkeit des Menschen als Folge des Cortisolspiegels und
- die Körpertemperatur als Folge der Aktivität des Organismus.

Der Verlauf des Melatoninspiegels im Blut teilt den 24-Stunden-Tag in einen biologischen Tag (Arbeitstag, die ergotrope Phase) und eine biologische Nacht (Ruhetag, die trophotrope Phase) ein (siehe auch Abschnitt 3.3.7). Der Melatoninspiegel ist bei jungen Menschen deutlich höher als bei älteren.

Schlafprobleme bis hin zu Krankheiten können auftreten, wenn die innere Uhr künstlich und für längere Zeit aus dem Tritt gebracht wird.

Ein Beispiel hierfür ist ständig wechselnde Schichtarbeit, die durch nächtliche Arbeitsplatzbeleuchtung und tagsüber künstlich hergestellte Dunkelheit einen permanenten Jetlag verursachen und so zu Gesundheitsproblemen führen kann. Eine solche Verschiebung kann durch den richtig eingestellten Verlauf des Lichts wieder synchronisiert werden.

Der Begriff „**melanopisch wirksames Licht**“ beschreibt insofern die zeitliche, relative Variation

physikalischer und lichttechnischer Kennwerte. Insbesondere soll die zeitliche Variation von Intensität und spektraler Zusammensetzung melanopisch wirksamen Lichts die „innere Uhr“ synchronisieren. Störungen, die die „innere Uhr“ aus dem Takt bringen und damit die Synchronisation unwirksam machen, sind nach Möglichkeit zu vermeiden.

3.3.4 Licht und Leistung

Die Leistungsbereitschaft des Menschen mit normal synchronisierter innerer Uhr ist in der Zeit zwischen ca. 10:00 Uhr und 12:00 Uhr am größten, fällt über die Nachmittagszeit leicht ab und steigt dann wieder an, bevor sie nachts ein Minimum durchläuft. Je nach Chronotyp („Eulen“ und „Lerchen“) kann dieser Rhythmus leicht in beiden Richtungen verschoben sein. Analog zum Schlaf-Wach-Rhythmus kann auch der Tagesverlauf der Leistungsfähigkeit durch Licht unterstützt werden.

Hohe Farbtemperaturen haben Auswirkungen auf die kognitive Leistungsfähigkeit, Aufmerksamkeit und Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung. Auch die Bearbeitung kreativer Aufgaben kann durch Licht mit höherem Blauanteil unterstützt werden. Neben dem Lichtspektrum ist auch die Intensität und Dauer der Lichtexposition von großer Bedeutung. Während im Freien je nach Bewölkung oft Beleuchtungsstärken von mehreren 10.000 lx herrschen, sind die Beleuchtungsstärken im Innenraum meist deutlich geringer. Eine Erhöhung der Intensität über einen längeren Zeitraum kann Aufmerksamkeit,

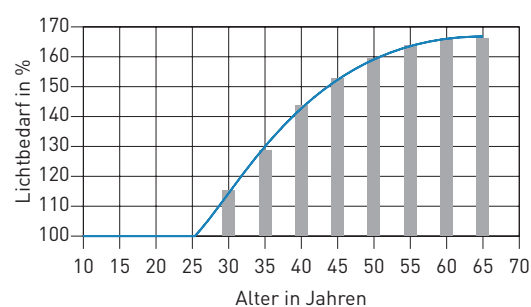


Abbildung 3.11:
Lichtbedarf und
Lebensalter

Konzentration, körperliche und kognitive Leistungsfähigkeit und sogar das Arbeitsgedächtnis positiv beeinflussen. Hier gilt: Gezieltes, zeitlich begrenztes Einwirken auf die allgemeine Leistungsfähigkeit durch Licht kann zu höherer Produktivität am Arbeitsplatz führen. Nicht zielführend ist hingegen eine Dauerexposition mit hellem Licht mit hohem Blauanteil, ohne entsprechende Erholungsphasen zu bieten.

Eines der effektivsten Einsatzgebiete ist die Bürobeleuchtung (siehe Kapitel [4.3.10](#) „Grundlegende Kriterien der Beleuchtungsplanung (Büro)“). Unterschiedliche Beleuchtungsphasen steigern die Konzentration, Kreativität und Leistungsfähigkeit. Wirksam ist dabei nicht nur aktivierendes, sondern auch beruhigendes Licht, welches Raum für Entspannung lässt. Gleiches gilt für die Beleuchtung in Bildungseinrichtungen, wo durch die Unterstützung des circadianen Rhythmus Aufmerksamkeit und konzentriertes Arbeiten verbessert werden und gleichzeitig die Fehlerrate reduziert wird (siehe Kapitel [4.9.2](#) „Allgemeinbeleuchtung (Ausbildungsstätten)“).

3.3.5 Licht und Wohlbefinden

Schlafqualität, Leistungsfähigkeit und Wohlbefinden sind eng miteinander verknüpft. Auswirkungen der Beleuchtung auf den circadianen Rhythmus beeinflussen also neben den bereits genannten Faktoren auch das allgemeine Wohlbefinden.

Wichtig ist, dass neben der aktivierenden Wirkung der Beleuchtung auch Regenerations- und Entspannungsphasen einbezogen werden.

Als natürliches Beispiel soll hier der Einfluss der Jahreszeiten auf die Stimmung angeführt werden. Stimmung und allgemeines Wohlbefinden sind in den Sommermonaten deutlich besser als zum Ende der Wintermonate. In extremeren Fällen können in den Wintermonaten Stimmungsverschlechterungen bis hin zu Depressionen (Seasonal Affective Disorder, SAD) auftreten. Eine

bevorzugte Behandlungsmethode für SAD ist die Lichttherapie, bei der beim Patienten durch intensive künstliche Beleuchtung die Serotonin- und Melatoninausschüttung angeregt wird. Auch für Menschen, die nicht von SAD betroffen sind, kann eine gezielte zusätzliche Lichtexposition die Stimmung aufhellen.

Insbesondere alte Menschen benötigen viel melanopisch wirksames Licht. Diesem Bedürfnis kann durch häufigen Aufenthalt im Freien entsprochen werden. Meist ist dies bei älteren Menschen jedoch aus gesundheitlichen Gründen nicht in dem Maße möglich wie nötig. Bei sich ständig im Hause aufhaltenden Menschen werden die melanopischen Rezeptoren nur ungenügend stimuliert und das innere, circadiane System wird nicht mit dem Tagesverlauf synchronisiert. Die Folge sind Befindlichkeits- und Schlafstörungen, gesteigerte motorische Unruhe und depressive Verstimmungen.

Bei Bewohnern von Senioren-, Alten- und Pflegeheimen hat man durch zeitweilig hohe Zusatzbeleuchtung am Tage, z. B. durch Einschalten einer hellen Lichtdecke in Aufenthaltsräumen, das Schlafhormon der Bewohner unterdrückt und damit die Tagesmüdigkeit auf die natürlichen Nachtzeiten verschieben können. Anstelle von allgemeiner Müdigkeit und Unausgeschlafenheit am Tag sowie Schlaflosigkeit und Unruhe in der Nacht zeigten diese älteren Menschen durch zeitlich begrenzte, hohe Lichtdosen wieder einen Wachzustand am Tag und entsprechende Müdigkeit in der Nacht.

Auch das emotionale Wohlbefinden kann durch Licht positiv beeinflusst werden. Im Gegensatz zur rein melanopischen Lichtwirkung spielt hier die psychologische Komponente der Lichtwahrnehmung eine wichtige Rolle. So können mit Licht einladende, attraktive Räume geschaffen werden, die über die emotionale Wirkung das Wohlbefinden verbessern können. Licht kann Dramaturgie schaffen und Aufmerksamkeit erregen (z. B. im Schaufensterbereich eines Shops). Licht kann beruhigend und entspannend wirken (z. B. in Hotelzimmern oder Pausenräumen).

Licht kann aber auch ästhetisch das Büro oder den Besprechungsraum in Szene setzen und so zu höherem Wohlbefinden bis hin zu größerer Identifikation und Zufriedenheit mit dem Arbeitsplatz führen.

3.3.6 Human Centric Lighting und Lichtplanung

Von der Natur vorgegeben und daher gesundheitlich unbedenklich ist ein Nachahmen des natürlichen Tageslichtverlaufs über den Tag mittels künstlicher Beleuchtung. Räume für die Bildschirmarbeit gegenüber dem Tageslicht zu verdunkeln, sollte vermieden werden. Gut entblendete Bildschirme sowie eine günstige Position und Ausrichtung der Bildschirmarbeitsplätze machen dies in aller Regel möglich (siehe Kapitel 4.3, „Beleuchtung von Büros und Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen“).

In vielen Fällen ist der Tageslichteintrag in den Gebäuden, in denen wir uns aufhalten, jedoch gering oder nicht vorhanden. Eine abgestimmte künstliche Beleuchtung, die wechselnde Farbtemperatur und Intensität des Tageslichts berücksichtigt, kann hier helfen, die innere Uhr richtig zu synchronisieren. Auch die Richtung, aus der das Licht auf unser Auge trifft, und die Flächigkeit der Lichtquelle sind hier maßgebliche Faktoren (siehe Abbildung 3.7). Wichtig für den Einsatz melanopisch wirksamer Beleuchtung ist immer, dass das richtige Licht zur richtigen Zeit eingesetzt wird. So kann zwar die Wachsamkeit durch Licht mit erhöhtem Blauanteil gesteigert werden, eine dauerhafte Beleuchtung mit solchem Licht führt aber letztendlich nicht zum gewünschten Effekt. Vielmehr soll die künstliche Beleuchtung zum richtigen Zeitpunkt unterstützend eingreifen, jedoch immer genügend Entspannungsphasen zulassen.

Durch sorgfältige Planung kann die positive Wirkung des Lichts auf den Menschen optimal zur Wirkung gebracht werden. Dabei kann eine künstliche Beleuchtung die Eigenschaften des

Tageslichts nie vollständig kopieren, sondern sie dient dazu, wichtige Impulse zu geben.

Auch für die Bewertung und Zertifizierung von Gebäuden erlangen die Aspekte des Human Centric Lighting und weitere Funktionen des Lichtmanagements zunehmend an Bedeutung und sie werden im Punkteschema einiger Zertifizierungssysteme berücksichtigt (siehe Kapitel 3.6 „Gebäudezertifizierung“).

Anforderungen an die Lichtsteuerung

Essentiell ist auch die Einplanung geeigneter Lichtsteuerungssysteme, die circadiane Lichtabläufe realisieren können. Als in vielen Fällen ausreichende Mindestanforderung muss ein geeignetes Steuergerät hierfür die zeitliche Variation des Lichts, der Farbtemperatur und ggf. der Helligkeit in Anlehnung an das Tageslicht ermöglichen.

Abhängig von der Anwendung können jedoch auch weitere Funktionen des Steuergeräts und der Bedienoberfläche gefordert sein (siehe auch Kapitel 8 „Lichtmanagement“). Häufig gefordert sind:

- Die Möglichkeit zur individuellen Anpassung des circadianen Verlaufs durch den Nutzer
- Die Möglichkeit, mehrere circadiane Verläufe zur Auswahl zu hinterlegen
- Die stufenlose manuelle Einstellung der Helligkeit
- Die stufenlose manuelle Einstellung der Lichtfarbe
- Der Aufruf voreingestellter Lichtszenen
- Die Möglichkeit zur individuellen Anpassung der Lichtszenen.

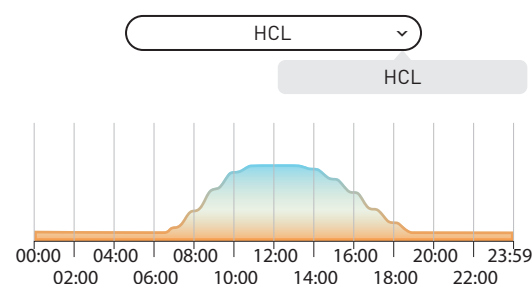


Abbildung 3.12: Beispiel eines melanopisch wirksamen Tagesverlaufs mit einer Dynamik in der Beleuchtungsstärke und der Lichtfarbe (mit dem Lichtmanagementsystem TRILUX LiveLink WiFi)

Ein Beispiel für einen circadianen Verlauf zeigt die Abbildung 3.12. Der gezeigte Verlauf orientiert sich am natürlichen Tageslicht und ist z. B. dazu geeignet, in räumlichen Bereichen ohne oder mit wenig Tageslicht eingesetzt zu werden. Der Verlauf der Farbtemperatur wirkt auf die innere Uhr sich dort dauerhaft aufhaltender Personen synchronisierend und kann ihren circadianen Rhythmus unterstützen.

In Räumen mit guter oder bereichsweise guter Tageslichtversorgung empfiehlt es sich dazu häufig, die melanopische Wirksamkeit mit einem energiesparenden Betrieb der Beleuchtung zu kombinieren. In der Norm DIN/TS 67600:2022 [48] heißt es dazu: „Nichtvisuell wirksame Beleuchtung und Energieeffizienz stehen nicht im Widerspruch. Eine sinnvoll geplante Lichtsteuerung stellt eine hohe Effizienz des Gesamtsystems sicher.“ Das Lichtmanagement sollte dann neben der Variation der Farbtemperatur auch eine tageslichtabhängige Regelung ermöglichen.

Ein Bezug der Farbtemperatur des Kunstlichts auf die gemessene Farbtemperatur des einfallenden Tageslichts ist hier eine weitere sinnvolle Option.

Anforderungen an Leuchten

Ebenso ergeben sich für die einzusetzenden Leuchten spezifische Anforderungen. Damit Licht melanopisch wirksam sein kann, muss die spektrale Verteilung dem Tageslicht ähnlich sein. Um den Tagesverlauf nachbilden zu können, muss die Lichtfarbe der Leuchte stufenlos einstellbar – durchstimmbare – sein und den gesamten benötigten Farbtemperaturbereich abdecken. Moderne Zweckleuchten aller Bauformen stehen heute dank der verwendeten LED-Technologie mit nur geringem Mehraufwand mit fein abstimmbaren Farbtemperaturen und Spektren zur Verfügung. Im TRILUX-Produktportfolio werden solche Leuchten als „Active“-Leuchten bezeichnet und sind durch den Namenszusatz „Act“ in der Leuchtenbezeichnung zu erkennen.

Da sich der melanopisch sensitive Bereich überwiegend im unteren Halbraum des Auges befindet

(siehe Abbildung 3.7), ist neben dem Spektrum und der Intensität auch der Einfall des Lichts von großer Bedeutung. Eine großflächige, diffuse Abstrahlung im oberen Halbraum begünstigt die melanopische Wirksamkeit. Flächenleuchten, aber auch Hängeleuchten mit hohem Indirektanteil, sind also besonders geeignet.

Der Vergleich in Abbildung 3.13 zeigt:

Im Fall a) mit tiefstrahlenden Downlights:

- Eine ausreichende aktivierende Wirkung durch die künstlichen Beleuchtung kann, auch bei einer erhöhten Beleuchtungsstärke von 703 lx, selbst für 32-jährige Nutzer nicht erreicht werden.

Im Fall b) mit flächigen Einlegeleuchten:

- Eine ausreichende aktivierende Wirkung durch die künstlichen Beleuchtung kann für 32-jährige Nutzer bei einer erhöhten Beleuchtungsstärke von 900 lx knapp erreicht werden.
- Bei gedimmtem Betrieb auf die minimale normgerechte Beleuchtungsstärke von 500 lx wird sie bei Weitem nicht erreicht.

Im Fall c) mit direkt-indirekt strahlenden Hängeleuchten bei einer Farbtemperatur von 4.000 K:

- Bei einer Beleuchtungsstärke gemäß der Anwendung der in der Norm DIN EN 12464-1 [51] eingeführten Kontextmodifikatoren auf 1.000 lx kann eine ausreichende aktivierende Wirkung auch für 50-jährige Nutzer vollständig erreicht werden.
- Bei gedimmtem Betrieb auf die minimale normgerechte Beleuchtungsstärke von 500 lx wird eine ausreichende aktivierende Wirkung für 32-jährige Nutzer weiterhin erreicht. Für 50-jährige Nutzer kann sie bei 500 lx nicht mehr erreicht werden.

Im Fall d) mit direkt-indirekt strahlenden Hängeleuchten bei variabler Farbtemperatur bis zu 6.000 K:

- Eine ausreichende aktivierende Wirkung durch die künstlichen Beleuchtung kann bei einer normgerechten minimalen Beleuchtungsstärke von 500 lx für 32-jährige Nutzer sehr gut erreicht und selbst für 50-jährige Nutzer knapp erreicht werden.
- Bei einer Erhöhung der Beleuchtungsstärke gemäß der Anwendung der in der Norm DIN EN 12464-1 [51] eingeführten Kontextmodifikatoren auf 1.000 lx kann eine ausreichen-

de aktivierende Wirkung für 50-jährige Nutzer sehr gut erreicht werden.

Eine Beleuchtungsanlage wie in Abbildung 3.13 d kann zusätzlich um direktstrahlende Komponenten (ggf. mit fester Farbtemperatur) ergänzt werden. Es muss dabei natürlich sichergestellt werden, dass auch die Unterstützung der Sehaufgabe am jeweiligen Arbeitsplatz sowie alle weiteren visuellen Kriterien der Beleuchtung jederzeit eingehalten werden.



(a) Büroraum mit Downlights, bei 4.000 K
 \bar{E}_h im Arbeitsbereich: 703 lx
 E_v am Arbeitsplatz: 324 lx
 $a_{meL,v}$ am Arbeitsplatz: 0,56
 $MEDI(32)$ am Arbeitsplatz: $324 \text{ lx} \cdot 0,56 \cdot 1,104 \cdot 1 = 200 \text{ lx}_{MEDI}$
 $MEDI(50)$ am Arbeitsplatz: $324 \text{ lx} \cdot 0,56 \cdot 1,104 \cdot 0,66 = 132 \text{ lx}_{MEDI}$



(b) Büroraum mit flächigen Einlegeleuchten, bei 4.000 K
 \bar{E}_h im Arbeitsbereich: 909 lx
 E_v am Arbeitsplatz: 380 lx
 $a_{meL,v}$ am Arbeitsplatz: 0,56
 $MEDI(32)$ am Arbeitsplatz: $380 \text{ lx} \cdot 0,56 \cdot 1,104 \cdot 1 = 235 \text{ lx}_{MEDI}$
 $MEDI(50)$ am Arbeitsplatz: $380 \text{ lx} \cdot 0,56 \cdot 1,104 \cdot 0,66 = 155 \text{ lx}_{MEDI}$



(c) Büroraum mit arbeitszonal angeordneten Hängeleuchten, direkt-indirekt strahlend, bei 4.000 K
 \bar{E}_h im Arbeitsbereich: 1.258 lx
 E_v am Arbeitsplatz: 1.013 lx
 $a_{meL,v}$ am Arbeitsplatz: 0,56
 $MEDI(32)$ am Arbeitsplatz: $1.013 \text{ lx} \cdot 0,56 \cdot 1,104 \cdot 1 = 626 \text{ lx}_{MEDI}$
 $MEDI(50)$ am Arbeitsplatz: $1.013 \text{ lx} \cdot 0,56 \cdot 1,104 \cdot 0,66 = 413 \text{ lx}_{MEDI}$



(d) Büroraum mit arbeitszonal angeordneten Hängeleuchten, direkt-indirekt strahlend, bei 6.000 K
 \bar{E}_h im Arbeitsbereich: 1.258 lx
 E_v am Arbeitsplatz: 1.013 lx
 $a_{meL,v}$ am Arbeitsplatz: 0,84
 $MEDI(32)$ am Arbeitsplatz: $449 \text{ lx} \cdot 0,56 \cdot 1,104 \cdot 1 = 939 \text{ lx}_{MEDI}$
 $MEDI(50)$ am Arbeitsplatz: $1.013 \text{ lx} \cdot 0,84 \cdot 1,104 \cdot 0,66 = 620 \text{ lx}_{MEDI}$

Abbildung 3.13: Vergleich unterschiedlicher Beleuchtungskonzepte in einem Büroraum bzgl. ihrer melanopischen Wirksamkeit ($MEDI(A) = E_v \cdot MDER \cdot k_{mel}(A)$) siehe Kapitel 3.3.2, Werte für $a_{meL,v}$ siehe Abbildung 3.8)

Anforderungen an den Raum

Human Centric Lighting basiert auf einer interdisziplinären und integralen Planungsweise. Idealerweise in guter Abstimmung mit sämtlichen Fachplanern. Einen Ansatz hierzu beschreibt der Lighting-System-Design-Prozess, welcher in der DIN CEN/TS 17165 [15] „Licht und Beleuchtung – Planungsprozess für Beleuchtungssysteme“ veröffentlicht ist. Insofern ist es für ein gutes Planungsergebnis, mit Blick auf die Wirkung durch die Lichtlösung, essentiell notwendig, dass sich die Raumarchitektur mit der Lichtplanung im Detail abstimmt. Anders als für die Erfüllung der meisten Sehaufgaben sind für die melanopische Lichtwirkung die vertikale Beleuchtungsstärke E_v und die Beleuchtungsstärke am Auge des Nutzers ausschlaggebend. Farbgebung und Reflexionsgrade im Raum sollten diese Verteilung unterstützen (siehe Beispiel in der Abbildung 3.8).

Aufgaben des Planers

Um eine zielgerichtete, langfristige Wirkung auf den Menschen, seine Gesundheit, sein Wohlbefinden und seine Leistungsfähigkeit zu erzielen, muss die nicht-visuelle Wirkung von Licht so früh wie möglich in den Planungsprozess mit einbezogen werden. Für den Planer bedeutet das, im Vorfeld die nicht-visuellen Rahmenbedingungen für den zukünftigen Nutzer der Beleuchtungsanlage zu berücksichtigen, danach zu planen und abschließend zu dokumentieren (siehe Abbildung 3.14).

Für den Entscheidungsprozess benötigt der Planer Informationen über:

- Nutzer
- Sehaufgabe
- Nutzungszeit
- Räumlichkeiten.

Die folgenden Fragen geben einen Themenrahmen und sollte der verantwortungsvolle Planer für eine melanopische Beleuchtungsplanung beantworten können:

- Welcher Nutzergruppe dient die fertige Anlage?
 - Handelt es sich um:
 - ein privates Umfeld?
 - eine Schule mit unterschiedlichen Ansprüchen für Lehrer und Schüler?
 - Arbeitnehmer in Büroumgebung oder Produktion?
 - Patienten in Krankenhäusern, Bewohner in Pflegeheimen oder Pflegepersonal?
 - Leitwarten und sicherheitsrelevante Tätigkeiten?
 - Wie Alt sind die Nutzer im Durchschnitt?
 - In welcher Altersspanne?
- Welche Sehaufgabe muss erfüllt werden?
 - Vgl. ASR A3.4 und DIN EN 12464-1
 - Wie ist die Hauptblickrichtung des Nutzers?
 - Im Wesentlichen nach unten geneigt
 - Im Wesentlichen horizontal
 - Mit wechselnden Blickrichtungen
 - Welche sicherheitsrelevanten Aspekte sind zu berücksichtigen?
 - Vgl. Gefährdungsbeurteilung
 - Besteht erhöhtes Unfallrisiko?

<p>Nutzer</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">Festlegung der Nutzergruppe</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">Alter der Gruppe</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">Altersspanne der Gruppe</div>	<p>Sehaufgabe</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">Festlegen der Sehaufgabe</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">Hauptblickrichtung</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">Sicherheitsrelevanz</div>
<p>Nutzungszeit</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">Dauer des Aufenthalts</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">Zeitraum</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">Schichtarbeit</div>	<p>Raum</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">Tageslichtversorgung und Verfügbarkeit</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">Nutzungsart</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">Raumoberfläche</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">Objekte und deren Oberflächen</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">Raumabmessungen</div>

Abbildung 3.14: Für die Planung nach DIN/TS 67600 relevant

- Wie ist die Nutzungszeit der Beleuchtungsanlage?
 - Dauer des Aufenthalts:
 - Bis 30 Minuten
 - Bis 4 Stunden
 - Über 4 Stunden
 - Für welchen Zeitraum?
 - Morgens
 - Mittags
 - Abends
 - Nachts
 - In Verbindung mit Schichtarbeit?
 - ggf. Gefährdungsbeurteilung
- Wie ist der Raum beschaffen?
 - Ist Tageslicht vorhanden?
 - Einfluss von Fenstern berücksichtigen
 - Größe der Tageslichtöffnung
 - Spektrale Transmission der Verglasung
 - Ausrichtung des Gebäudes
 - Verbauung
 - Sonnen- und Blendschutz
 - Wie wird der Raum genutzt?
 - Wohnraum, Büro, Produktion, Schulraum, usw.
 - Wie sind die Raumbooberflächen beschaffen?
 - Wirken sich die Reflexionseigenschaften auf den MEDI aus?
 - Wirkt sich die Einrichtung auf den MEDI aus?
 - Welche Abmessungen hat der Raum?
- durchschnittliches Alter und Altersverteilung der Nutzer, soweit diese für die Ermittlung von Planungswerten herangezogen wurden
- Farben reflektierender Raumflächen und Einrichtungen
- melanopische Reflektions- und Transmissionsgrade
- die Lage, Anzahl und Art der Fenster und Dachoberlichter
- Transmissionsgrad und Farbwirkung der Verglasung
- Angaben zu Sonnenschutzvorrichtungen (Wärme- und Blendschutz)
- gegebenenfalls Angaben zur tageslichtabhängigen Steuerung.

Eine Checkliste sowie Anwendungsbeispiele finden sich in der DIN/TS 67600 [48].

3.3.7 Melatonin

Das Regulativ vieler organischer Vorgänge im Menschen ist die Änderung der Melatoninkonzentration im Blutserum. Melatonin ist ein Hormon, das in der Zirbeldrüse (Epiphyse) im Zentralgehirn produziert wird. Der Melatoninspiegel wird als signifikanter Indikator für die Aktionsfähigkeit des Menschen, als Indikator für das Schlafbedürfnis und für die biologische Uhr angesehen.

Die Höhe des Melatoninspiegels wird direkt von der auf die Netzhaut auftreffenden Lichtenergie gesteuert. Wenig Licht bedeutet eine hohe Melatoninausschüttung und damit hohes Schlafbedürfnis. Die Körpertemperatur sinkt. Umgekehrt wird durch Licht die Melatoninproduktion unterdrückt und die Vitalität und Wachsamkeit gesteigert.

Untersuchungen mit Schichtarbeitern führten zu der Erkenntnis, dass durch das Angebot hoher Beleuchtungsstärken und neutralweißer bzw. kaltweißer Lichtfarbe der Melatoninspiegel gesenkt und das Schlafbedürfnis und damit Müdigkeit, Konzentrationsmängel und Arbeitsfehler in

Bestandteil einer vollständigen Planung ist eine ausführliche Dokumentation. Diese macht die Planung auch nach Jahren nachvollziehbar und bildet die Grundlage für die Installation und Wartung.

Die Dokumentation der Planung beinhaltet neben den allgemeinen Planungsparametern und Berechnungen folgende Angaben zur Berücksichtigung der nicht-visuellen Wirkung:

- bzgl. der Beleuchtungsstärken, Lichtfarben, MEDI und a_{mel} -Werte der verwendeten Lichtquellen:
 - den zeitlichen Verlauf für alle einstellbaren Parameter
 - die Werte der festen Vorgaben

der Nachtschicht signifikant verringert werden können.

Allerdings sei hier darauf hingewiesen, dass im Sinne der Gesundheitsförderung, insbesondere im Schichtbetrieb, eine Unterstützung des circadianen Rhythmus angestrebt werden sollte (siehe Kapitel 3.3.1 „Human Centric Lighting“). Arbeitsfehler und Unfallgefahr können hier z.B. auch durch eine Erleichterung der Sehaufgabe mittels erhöhter Beleuchtungsstärken im warmweißen Spektralbereich erreicht werden. Auf melanopisch wirksame Blauanteile im Licht kann verzichtet werden. Die innere Uhr des Schichtarbeiters kann auf diesem Wege in möglichst geringem Maße „aus dem Takt“ gebracht werden.

3.3.8 Tageslicht

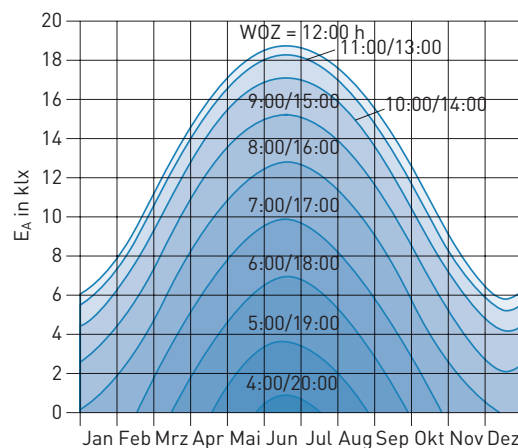
Die mittlere horizontale Beleuchtungsstärke E_h des Tageslichts schwankt in weiten Bereichen. Bei bedecktem Himmel um 12:00 Uhr – je nach Jahreszeit, geographischer Ortslage und Wolken- bzw. Dunstanteil – beträgt die Beleuchtungsstärke zwischen 6.000 lx und 20.000 lx (siehe Abbildung 3.15). Bei Sonnenschein und klarem Himmel sind es sogar über 100.000 lx. Bei Mondschein messen wir etwa 0,1 lx. Diese Dynamik des Lichtangebotes wird als normal und natürlich empfunden und vermittelt dem Menschen Wohlempfinden.

In Arbeitsstätten und Aufenthaltsräumen dagegen sind Beleuchtungsstärken installiert, die zur Bewältigung der Sehauflagen notwendig sind und in der Regel nicht höher als 500 lx liegen – ohne wesentliche Dynamik im Beleuchtungsniveau, bei Bedarf rund um die Uhr (siehe Kapitel 2.12 „Lichttechnische Kriterien der Beleuchtung, Tageslicht“). Die Lichtfarbe des Tageslichts schwankt ebenfalls in weiten Grenzen. Am frühen Morgen wird das Tageslicht mehr durch die „warmen“, d. h. langwelligen Teile des Spektrums der aufgehenden Sonne bestimmt. Wir sprechen vom Morgenrot. Bald danach wird das Tageslicht bis zur Mittagszeit mehr und mehr durch blaue, kältere Farbtöne beeinflusst, die bei blauem Himmel besonders stark ausgeprägt sind. Am Abend sind es wieder die warmen langwelligen Strahlungsanteile der untergehenden Sonne, die das Abendrot ausmachen.

Die Ursache von Morgen- und Abendrot ist die stärkere Brechung der blauen Strahlungsanteile und deren Wegreflexion in den Weltenraum auf dem verlängerten Lichtweg von der Sonne zur Erde. Die aus blauem Himmel und dem Sonnenlicht gemischte Farbtemperatur des Tageslichts durchläuft einen Bereich von etwa 10.000 Kelvin (K) am Mittag bis 3.000 K beim Abendrot. Der blaue Himmel selbst hat eine Farbtemperatur von etwa 20.000 K, die Sonne nur von etwa 5.000 K. Der Mond hat eine Farbtemperatur von etwa 4.200 K.

Für die lichttechnische Fachplanung im Sinne von HCL wird das Tageslicht als die Referenzqualität angesehen. Hierbei gibt es keine statische Lichtstimmung, sondern eine fortwährende Dynamik. Als ein markantes Merkmal lässt sich z. B. herausstellen, dass Tageslicht u. a. in Form einer Komposition aus einer flächigen, tageslichtweißen Lichtkomponente (Himmel) und einer akzentuierenden, warmweißen Lichtkomponente (Sonne) orchestriert ist.

Abbildung 3.15: Jahres- und tageszeitlicher Verlauf der mittleren horizontalen Beleuchtungsstärke im Freien bei gleichmäßig bedecktem Himmel für Orte 51° nördlicher Breite. Die Parameter der Kurven geben die wahre Ortszeit WOZ an.



3.3.9 Optische Strahlung

Als optische Strahlung wird jede elektromagnetische Strahlung im Wellenlängenbereich von 100 nm (Nanometer) bis 1 mm (Millimeter) bezeichnet. Die optische Strahlung wird gemäß Tabelle 3.19 in weitere Bereiche unterteilt. Die positiven wie auch negativen Wirkungen der Strahlungen auf den Menschen sind stark von der Wellenlänge und der Bestrahlung, d. h. dem Produkt aus Bestrahlungsstärke und der Einwirkungsdauer, abhängig. Im Falle schädigender Wirkungen wird der Grad der schädigenden Wirkung durch Expositionsgrenzwerte gekennzeichnet, die Bestandteil des Arbeitsschutzes sind.

Die „Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung“ vom 27. Juli 2010 betrifft den Schutz von Arbeitnehmern vor Schädigungen von Augen und Haut durch die Exposition von künstlicher, optischer Strahlung, einschließlich der Laser-Strahlung (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – Lichtverstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung). Sie gilt nicht für die natürliche Strahlung. Sie definiert die Spektralbereiche der künstlichen Strahlung, verweist auf mögliche schädigende Wirkungen (s. auch Tabelle 3.19) und legt den Expositionsgrenzwert hinsichtlich des Arbeitsschutzes fest. Die Verordnung beruht auf einer Europäischen Richtlinie (EG-Arbeitsschutzrichtlinie 2006/25/EG [136]) und ist in allen EU-Ländern in nationale Vorschriften umgesetzt worden.

Eine spezielle potentielle Gefährdung, die sich bei Einsatz von LED-Leuchtmitteln ergeben kann, ist die sogenannte „Blaulichtgefahr von Lichtquellen und Leuchten“, deren Beurteilung in der Norm DIN IEC/TR 62778:2014-03; DIN SPEC 42778:2014-03 [23] beschrieben ist. Mit Anwendung dieser Norm erfolgt eine Einteilung von Lichtquellen in Risikogruppen RG0 bis RG3. Für Leuchten sind gemäß EN 60598-1:2015-10; VDE 0711-1:2015-10 [72] die Risikogruppen RG0 bis RG2 zulässig und ggf. ist ein warnendes Bild-

zeichen an oder in der Leuchte anzubringen (siehe auch Kapitel 5.4 „Fotobiologische Sicherheit“).

Die schädigenden Wirkungen des Tages- und Sonnenlichts sind nicht Inhalt dieser Ausführungen. Sie beschäftigen Dermatologen und Klimaforscher, die zunehmend Sorgen in Bezug auf die Veränderung der spektralen Zusammensetzung der auf die Erde auftreffenden Sonnenstrahlung äußern. Ebenso hinterfragen die Verhaltensforscher Gewohnheiten, Neigungen und Bedürfnisse der Menschen und warnen – wie auch die Dermatologen – davor, Sonnenlicht aus kosmetischen und modischen Gründen unkontrolliert zu genießen, anstatt es dosiert zu nutzen.

3.3.10 Strahlungswirkungen

Schon vor vielen Jahrtausenden wurde die Sonne als Quelle des Lebens und deren gesundheitsfördernde Wirkung erkannt. In der Antike (vor ca. 3.000 Jahren) war die Lichtbehandlung Teil der Sonnenkulturen. Erst ab 1770 n. Chr. wurde die heilende Wirkung von Sonnenbädern wieder erkannt und im 19. Jh. zur Behandlung von Rachitis, von Gelenkerkrankungen und von inneren Leiden angewandt. Der Nutzen der Heliotherapie stützte sich auf Beobachtungen und Erfahrungen. Erst seit wenigen Jahrzehnten wird die therapeutische Wirkung natürlicher und künstlicher Strahlung systematisch untersucht und die wissenschaftlichen Erkenntnisse zur Prophylaxe, Therapie und Rehabilitation eingesetzt. Künstliche Lichtquellen mit entsprechenden Spektren sind daraufhin entwickelt worden. Solarien sind mehr als nur kosmetisch wirkende Modeerscheinungen.

Das Spektrum der elektromagnetischen Strahlung (siehe Abbildung 3.16) enthält nur einen sehr geringen Teil, der vom Auge als visuelle Strahlung, als Licht, wahrgenommen werden kann. Die angrenzenden Spektralbereiche haben sehr unterschiedliche Wirkungen auf den Menschen (s. a. Kapitel 5.12 „Elektromagnetische Sicherheit“).

Lichtschutz ist eine der wichtigsten Funktionen der Haut für den Aufbau eigener Schutzmechanismen. Pigmentneubildung, Pigmentdunkelung und Lichtschwiele (Verdickung der Hornschicht der Haut als Schutz gegen Eindringen von Strahlung) werden z. B. durch Solarienbesonnung aktiviert – eine gute Möglichkeit, rechtzeitig vor dem Urlaub damit zu beginnen.

Vitamin-D3-Photosynthese: Die Aufnahme von UV-B-Strahlung durch die Haut fördert die Bildung von Vitamin D3. Dieses Hormon ist die Voraussetzung für die Einlagerung von Kalzium in die Knochen. Damit kann Osteoporose (Knochenschwund) und Osteomalazie (Knochen-erweichung) vorgebeugt werden. Wissenschaftler gehen heute davon aus, dass weitaus mehr Funktionen in unserem Körper von diesem wichtigen Vitamin beeinflusst und gesteuert werden. Defizite in den sonnenarmen Wintermonaten können mit entsprechender Bestrahlung (Solarium) ausgeglichen werden.

Erhöhung der Leistungsparameter: Bestrahlung mit UV-„Licht“ kann generell zu einer Verbesserung der Blutfließeigenschaften und damit zu einer besseren Sauerstoffausnutzung führen. Es kommt dann zu einer Normalisierung der Kreislaufgrößen, wie Pulsfrequenz, Blutdruck

und Atmung. Eine spürbare Steigerung der Leistungsfähigkeit ist die Folge.

Erhöhung der Widerstandskraft: In einer maßvollen Dosierung (weit weniger als zur kosmetischen Bräunung erforderlich) kann UV-B-Strahlung zu einem allgemeinen subjektiven Wohlbefinden, zur Vorbeugung von Krankheiten und zur Stärkung des Organismus beitragen. Besondere immunorientierte Effekte steuern die körpereigene Infektabwehr, erhöhen so z.B. die Widerstandskraft gegen Erkältungskrankheiten.

Naturkosmetikum für die Haut: UV-„Licht“ von Sonne und Solarium verleiht der Haut nicht nur einen angenehm leicht gebräunten Teint, sondern kann auch zur Verbesserung des allgemeinen Hauterscheinungsbildes beitragen.

UV-Strahlung in der Therapie: Die PUVA-Photochemotherapie, eine Kombination von lichtsensibilisierenden Medikamenten (Psoralenen) mit UV-A-Bestrahlung, wird zur Behandlung der Schuppenflechte (Psoriasis) und von mehr als 20 weiteren Indikationen eingesetzt. Es sind weitere Therapieverfahren hinzugekommen, wie z. B. die SUP (selektive UV-Phototherapie), eine Bestrahlung mit speziellen UV-B-Leuchtstofflampen, jedoch ohne Sensibilisatoren (Medikamente), ferner auch die Balneo-Phototherapie, mit der das Klima des Toten Meeres zusammen mit dem Sonnen-UV simuliert wird und zu guten Therapieerfolgen – insbesondere bei Psoriasis und Neurodermitis-Effekten – geführt hat. Es werden „Totes Meer“-Badewannen mit Bestrahlungseinheiten in ambulanten Therapiezentren und auch in der Heimtherapie angewendet. Die Atopische Dermatitis (Neurodermitis) bei Kleinkindern und zunehmend auch bei Erwachsenen zu diagnostizieren und zu behandeln, erfordert viel Fachkenntnis des Dermatologen, insbesondere im Umgang mit optischer Strahlung. Auf die Phototherapie sprechen die Patienten meist recht gut an. Beginnend durch Behandlung mit dem UV-A-Spektrum künstlicher Lichtquellen kann durch Adaptation der Patienten später das positive Wirkungsspektrum sogar bis in den UV-B-Bereich erweitert werden.

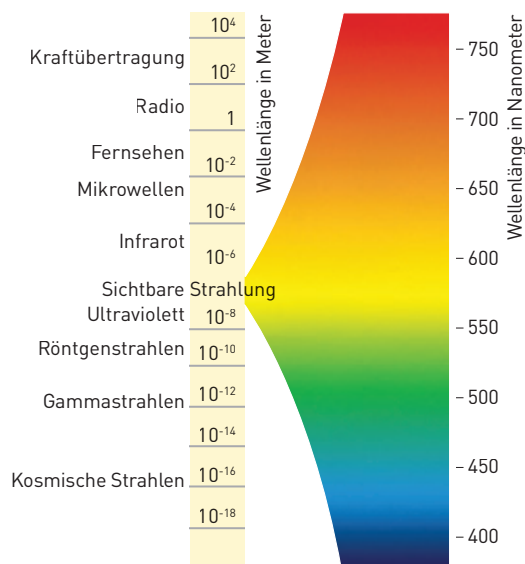


Abbildung 3.16: Das Spektrum elektromagnetischer Strahlung

Saisonal abhängige Depression (SAD): War bei den bisher beschriebenen Anwendungen der Ultraviolettbereich der Strahlung die Wirkungskomponente, ist bei der SAD (Seasonal Affective Disorder) der sichtbare Bereich, also das Licht, wirksam. Unter SAD – einer Depressionsart, die auf Lichtmangel zurückzuführen ist – leiden in unseren Breiten in der dunklen Jahreszeit viele Menschen. Ein größerer Prozentsatz davon muss therapiert werden. Hohe Beleuchtungsstärken (mindestens 2.500 lx über etwa 2 Stunden) auf der Netzhaut und flimmerfreies weißes Licht sind u. a. erforderlich. Lampen und Leuchten müssen möglichst frei von ultravioletter und infraroter (Wärme-)Strahlung sein. Die Therapieerfolge sind nachweisbar, obwohl die Wirkungsmechanismen noch nicht völlig geklärt sind. Ein wesentlicher Faktor ist aber sicher der Einfluss des Lichteinfalls in das Auge auf die innere Uhr, der im Abschnitt 3.3.3 beschrieben ist.

Blaulichtbestrahlung: Entscheidend für die Photoisometrie von Bilirubin (Gallenfarbstoff, Abbauprodukt des Hämoglobins z. B. in der Leber) ist das blaue Spektrum zwischen 425 nm und 460 nm, das von Spezialstrahlern erzeugt werden kann. Neugeborene leiden gelegentlich unter einer Störung des Bilirubinspiegels, insbesondere an Ikterus (Gelbsucht), die mit dieser Spezialstrahlung erfolgreich behandelt werden kann.

Farblichttherapie: Psychologische Wirkungen durch farbiges Licht sprechen das Gefühlsleben der Menschen an, aber auch physiologische Fakten. Die Berücksichtigung dieser Aspekte ist neben der melanopischen Wirkung des Lichts ebenfalls Bestandteil des „Human Centric Lighting“ (siehe Abschnitt 3.3.1). So dringt z. B. sichtbare Strahlung tiefer in den Körper ein als UV-Strahlung und zielt daher eher auf das Gefäßsystem in der Haut. Zwar sind viele dieser menschlichen Wahrnehmungen bislang noch unerforscht, positive Erfahrungen liegen jedoch im Bereich der Seniorenbehandlung vor.

Photodynamische Therapie: Wie bei der PUVA-Therapie ist auch hier ein Photosensibilisator als Energieüberträger die wichtige Komponente. Er absorbiert im roten Bereich der sichtbaren Strahlung. Therapieerfolge sind bei der Behandlung des Blasenkarzinoms erzielt worden. Ebenso scheint Hautkrebs auf diese Weise therapierbar zu sein.

Infrarot-Behandlung: Mit der Wärmestrahlung, die sich unmittelbar an die sichtbare Strahlung anschließt (dem IR-A) lassen sich viele körperliche Beschwerden lindern oder beseitigen, denn diese Strahlungsart dringt am tiefsten in den Körper ein. In der IR-Sauna wird dieses Erkenntnis genutzt.

Hyperthermie: Bei der Hyperthermie nach dem Ardenne-Verfahren wird die Kerntemperatur des Körpers erhöht, ohne die Hautoberfläche zu temperieren. Sie wird durch gefilterte IR-A-Strahlung von Quarzrohrhellstrahlern ausgelöst. Hierdurch sind Behandlungserfolge bei der Krebstherapie möglich. Die Chemotherapie kann vielfach unterstützt oder gar ganz ersetzt werden.

Fazit: Ziel beim Einsatz von künstlicher Strahlung in der Medizin sind einerseits die Vermeidung negativer Wirkungen und andererseits das Finden neuer Anwendungen. Mögliche Risiken müssen erkannt und erforscht und somit minimiert bzw. besser noch vermieden werden. Der Vorteil der dem natürlichen Tageslicht nachgebildeten künstlichen optischen Strahlung ist die stetige Verfügbarkeit und die Möglichkeit, das Strahlungsspektrum im Hinblick auf größte Wirksamkeit und Dosierung zu optimieren. Grundsätzlich erfordert jede Art der Nutzung von Strahlung zur Therapie die Fachkenntnis des Arztes.

Bereiche der optischen Strahlung		Wellenlänge	Wirkung auf den Menschen
Ultraviolette Strahlung (UV)	UV-C, im Tageslicht nicht enthalten	100 nm bis 280 nm	Haut: Verdickung der Hornschicht, Lichtschwielen und Hautverbrennungen (Elastose), Hautentzündungen (Erythem), Hautkrebs (Melanom); Auge: Hornhautentzündungen (Konjunktivitis), Hornhautverbrennungen (Photokeratitis); Keimtötung (z. B. für die Raumluftsterilisation)
	UV-B	280 nm bis 315 nm	Nahes UV-B fördert die Vitamin-D-Bildung; Haut: Behandlung der Schuppenflechte (Psoriasis) und der Neurodermitis (Ekzem), Hautrötung (Erythem), Melanom (schwarzer Hautkrebs); Auge: Bindehautentzündung (Konjunktivitis), Katarakt (Linsentrübung, grauer Star)
	UV-A	315 nm bis 400 nm	Diverse phototherapeutische Wirkungen, siehe nachfolgender Abschnitt; Haut: oberhalb der Schwellenbestrahlungsstärke tritt Pigmentierung (Bräunung) ein, Altersflecken; Auge: Schädigung der Linse (Katarakt, Linsentrübung), Netzhautentzündung (Retinitis)
Sichtbare Strahlung		380 nm bis 780 nm	Visuelle Wahrnehmung; biologische, circadiane Wirkungen; Behandlung der Hyperbilirubinämie (Neugeborenenengelbsucht, Ikterus); Vermeidung der Winterdepression (SAD) und des Jetlag-Syndroms
Infrarote Strahlung (IR)	IR-A	780 nm bis 1.400 nm	Positive Wärmewirkung; Gefäßerweiterungen, Netzhautverbrennungen, Linsenschädigungen
	IR-B	1.400 nm bis 3.000 nm	Haut: Verbrennung; Auge: Netzhautverbrennungen, Linsenschädigungen
	IR-C	3.000 nm bis 1 mm	
Laser	UV	180 nm bis 400 nm	Photochemische und thermische Schäden des Auges, Erythem der Haut
	sichtbar	400 nm bis 700 nm	Netzhaut- und photochemische Schäden des Auges, thermische Schäden der Haut
	IR-A, IR-B, IR-C	700 nm bis 1 mm	Thermische Schäden von Auge und Haut

Tabelle 3.19: Bereiche der optischen und der Laser-Strahlung und deren Wirkungen

3.4 Licht und Wirtschaftlichkeit

Vom gesamten Stromverbrauch unserer Gesellschaft benötigt die künstliche Beleuchtung z. B. in Deutschland weniger als 10 %. In Verwaltungsgebäuden kann die Beleuchtung allerdings bis zu 40 % der gesamten Energiekosten ausmachen. Energiesparende Beleuchtung ist also nicht allein ein ökologisches, sondern auch ein ökonomisches Thema.

Schon die Zuordnung der quantitativen Anforderungen an die Beleuchtung zu bestimmten Tätigkeiten (siehe EN 12464-1 [51]) berücksichtigt auch wirtschaftliche Gesichtspunkte. So waren unter Einschränkung des physiologisch Notwendigen z. B. für Arbeiten an Drehbänken, Pressen und Stanzen im Jahr 1935 nur 75 lx genormt, die mit Glühlampen erzeugt werden mussten. 1972 konnte man dank der mehr als fünffachen

Lichtausbeute der Leuchtstofflampen den Wert auf 200 lx anheben. Seit der ersten Ausgabe der EN 12464-1 im Jahr 2003 werden für diese Sehaufgaben 500 lx empfohlen, die mit modernen Lichtsystemen erzeugt werden können. Seit der Überarbeitung der europäischen Norm von 2011 wird darüber hinaus z. B. in vielen industriellen Arbeitsstätten eine bessere Farbwiedergabe gefordert als zuvor, die mit dem Aufkommen effizienter LED-Lichtquellen mit vertretbarem Aufwand möglich wurde (siehe auch Kapitel 2.10).

Ein höheres Beleuchtungsniveau und verbesserte Lichtqualität bewirken zwar höhere Gesamtkosten, die jedoch durch steigende Produktivität sowie geringere Unfallhäufigkeit, insbesondere von Bagatellunfällen, mehr als aufgewogen werden können. Auch die gesellschaftlichen Anforderungen an den Arbeitsschutz im Allgemeinen und die körperliche Unversehrtheit im Besonderen haben sich in dieser Zeit erheblich weiterentwickelt.



Daher gilt: Bei allen Energie- und Kostenbetrachtungen – z. B. für Neu- bzw. Sanierungsbaumaßnahmen – haben die Kriterien für gute Beleuchtung (siehe Kapitel 1.1 „Einleitung“) oberste Priorität. Dieser Grundsatz ist in EN 12464-1 [51] mit dem Satz genormt: „Die Beleuchtung sollte so gestaltet sein, dass sie die Beleuchtungsanforderungen einer bestimmten Aufgabe, Tätigkeit oder eines Raumes auf energieeffiziente Weise erfüllt. Es ist wichtig, die visuellen Aspekte einer Beleuchtungsanlage nicht zu beeinträchtigen, nur um den Energieverbrauch zu senken.“

3.4.1 Kosten der Beleuchtung

Die jährlichen Gesamtkosten einer Beleuchtungsanlage setzen sich zusammen aus:

- den Anlagekosten für Anschaffung und Montage (Abschreibung und Verzinsung) und
- den Betriebskosten, bestehend aus
 - Energiekosten,
 - Lampenkosten und
 - Instandhaltungskosten.

Leichte und schnelle Montage, gute Zugänglichkeit und leichte Instandhaltung einer Beleuchtungsanlage sind deshalb schon bei der Wahl der Leuchten und bei der Planung der Beleuchtungsanlage zu berücksichtigen.



Diese Betrachtung kann für Software-Anwendungen für Wirtschaftlichkeitsvergleiche von Beleuchtungsanlagen herangezogen werden. Ein Beispiel dafür ist der TRILUX-Effizienzrechner (siehe Abschnitt 3.4.4 dieses Kapitels).

3.4.2 Wirtschaftlichkeit

Wirtschaftliche Betrachtungen spielen bei der Projektierung von Beleuchtungsanlagen eine entscheidende Rolle. Zwar ist gesamtwirtschaftlich gesehen das Energieeinsparpotential durch Verringerung des Energieverbrauches bei der Beleuchtung relativ überschaubar, in Bürogebäuden und Arbeitsstätten mit langen Betriebszeiten der künstlichen Beleuchtung, insbesondere bei Schichtbetrieb, ist der anteilige Strombedarf für die Beleuchtung jedoch beträchtlich, sodass sich Mehrinvestitionen in energieeffiziente Beleuchtungsanlagen schnell rechnen.

Der alleinige Vergleich der Anlagekosten (Anschaffungskosten) zeichnet also in der Regel ein unrealistisches Bild. Die jährlichen Kosten für den Kapaldienst und die Energie sowie für Wartung und Reinigung der Anlage sind für eine sachgerechte Beurteilung ebenso wichtig.

Wirtschaftlichkeitsvergleiche von Anlagen allein aufgrund der Kosten sind sinnvoll, wenn diese in Bezug auf Produktqualität, Lebensdauer, Gebrauchstüchtigkeit, gesicherte Ersatzteilversorgung, Wartungsvorteile der Leuchten und insbesondere die Erfüllung der lichttechnischen Kriterien der Beleuchtung gleichwertig sind.

Ziel solcher Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen ist, die Kosten bzw. den finanziellen Nutzen alternativer Möglichkeiten miteinander zu vergleichen. Ein finanzieller Nutzen in diesem Sinne entsteht, wenn zusätzlich eingesetztes Kapital zuzüglich der anfallenden Kapitalkosten (Zinsen) innerhalb der veranschlagten Nutzungsdauer durch erzielte Einsparungen kompensiert werden kann, also eine Amortisation erfolgt. Ab dem Zeitpunkt der Amortisation erwirtschaftet

die wirtschaftlichere Beleuchtungsanlage einen Gewinn. Die Höhe des Gewinns wird als „Total Profit of Ownership“ (TPO) bezeichnet.

Der TPO ist abhängig von der Höhe der jährlichen Einsparungen und dem ab der Amortisation bis zum Ende der Nutzungsdauer verbleibenden Zeitraum, in dem der Gewinn erzielt werden kann. Die Dauer bis zum Zeitpunkt der Amortisation ist dabei vor allem insofern von Bedeutung, als dass sie den Zeitraum der Gewinnerwirtschaftung verkürzt. Eine höhere Investition kann aufgrund ihres höheren Einsparpotentials also auch bei längerer Amortisationsdauer die wirtschaftlichere Lösung sein. Entsprechende Betrachtungen sind mit dem TRILUX Effizienzrechner durchführbar (siehe Kapitel 3.4.4, Abbildungen 3.16 bis 3.20).

Die Höhe der Betriebskosten ergibt sich aus den Wartungskosten und den Energiekosten. Erstere fallen nur in Ausnahmefällen stark ins Gewicht, Letztere sind – neben dem Arbeitspreis für die elektrische Energie – stark von den Nutzungsdaten in der Anwendung abhängig. Auch diese können – wie die Anlagenkosten – individuell sehr unterschiedlich ausfallen. Allerdings geben statistische Werte, die der Norm DIN V 18599-10 [26] (siehe Kapitel 3.5.12) zu entnehmen sind, einen guten Hinweis auf die Nutzungszeiten in Bereichen typischer „Nutzerprofile“. Beispiele auf dieser Basis erhalten insofern eine gewisse Allgemeingültigkeit. Die in den nachfolgenden Abschnitten aufgeführten Beispiele weisen daher Energiekosteneinsparungen auf dieser Grundlage aus, wobei ein Arbeitspreis von 30 ct/kWh veranschlagt wird.

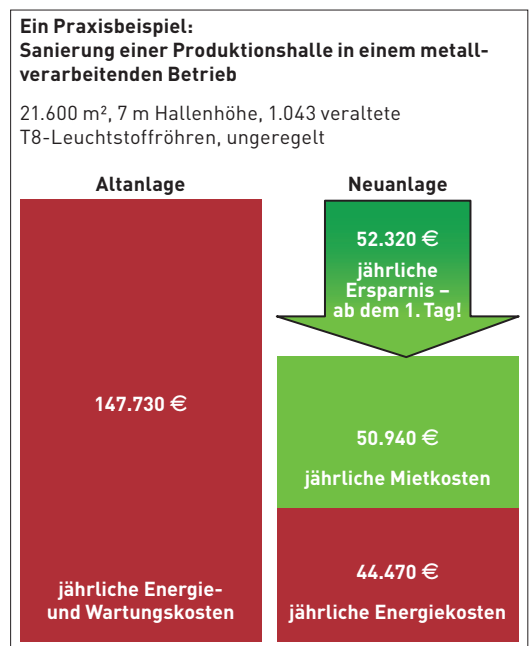
Mit modernen Beleuchtungsanlagen können die Energiekosten für den Betrieb eines Gebäudes spürbar gering gehalten werden. Eine wichtige Rolle spielt dabei neben der Lichtausbeute auch eine für die Beleuchtungsaufgabe optimierte Lichtverteilung der eingesetzten Leuchten (siehe Kapitel 3.5.4 „Effiziente Leuchten und Raumeigenschaften“). Beleuchtungsanlagen mit modernen LED-Leuchten zeichnen sich zusätzlich

durch ihren geringen Wartungsaufwand und eine hohe Nutzlebensdauer aus.

Die Gesamtzusammensetzung der Kosten ist ggf. auch bei Inanspruchnahme einer Finanzierung zu berücksichtigen. Insbesondere bei sogenannten Contracting-Finanzierungen, wie auch bei Miete oder Leasing einer Beleuchtungsanlage, werden Errichtungskosten und Betriebskosten über den Zeitraum der Vertragslaufzeit optimiert. TRILUX bietet in dem Rahmen einen Service „pay per use“ an.

In der Abwägung der zu erreichenden Qualität der Beleuchtung und der dafür erforderlichen Kosten liegt der wesentliche Wert qualifizierter Beleuchtungsplanung. So betragen die Investitionskosten für die Beleuchtung etwa nur 1% bis 2% der Entstehungskosten eines Büroarbeitsplatzes, den man neben der Beleuchtung ebenso mit zeitgemäßen Gestaltungselementen ausstattet, um Motivation und Produktivität zu fördern.

Die positiven Wirkungen einer verbesserten Beleuchtung in Bezug auf gesteigerte Motivation, erhöhte Produktivität, verringerte Erkrankungsrate usw. können hingegen nicht exakt quantitativ



erfasst werden. Im Einzelfall können sie jedoch geschätzt und vergleichend herangezogen werden, um das Qualitätsniveau der zu planenden Beleuchtungslösungen zu definieren. In diesem Sinne können sie als ein erweiterter finanzieller Nutzen betrachtet werden (siehe [3.4.3](#) Beispiel 1).

3.4.3 Sanierungsbeispiele

Die nachfolgenden Beispiele zeigen Planungsergebnisse für die Sanierung von Beleuchtungsanlagen mit dem Ziel, bei zeitgemäßen lichttechnischen Eigenschaften der Beleuchtungsanlage eine Minimierung des Energiebedarfs und der Energiekosten zu erreichen.

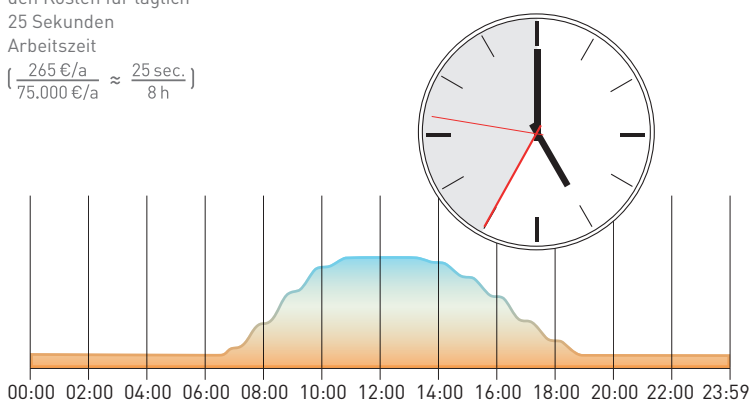
Drei Varianten werden verglichen:

- eine lichttechnisch den Mindestanforderungen der Norm EN 12464-1 entsprechende Beleuchtungsanlage mit modernen LED-Leuchten
- eine entsprechende Beleuchtungsanlage mit erhöhtem Lichtstrom und Lichtmanagement zur Berücksichtigung der Kontextmodifikatoren
- eine zur zweiten Lösung identische Beleuchtungsanlage mit circadian wirksamer Farbtemperatursteuerung.

Abbildung 3.15:
 Büro mit vier Arbeitsplätzen, 75.000 €/a je Arbeitsplatz, 265 €/a Mehrkosten für HCL entsprechen den Kosten für täglich 25 Sekunden Arbeitszeit

$$\left(\frac{265 \text{ €/a}}{75.000 \text{ €/a}} \approx \frac{25 \text{ sec.}}{8 \text{ h}} \right)$$

Dabei handelt es sich um exemplarische Beispiele unter Berücksichtigung oben genannter Kriterien.



Die Ergebnisse des Vergleichs werden jeweils in einer Tabelle gegenübergestellt. Ihnen liegt ein angenommener Strompreis von 0,30 €/kWh zugrunde. Die angegebenen Betriebszeiten entsprechen den Nutzungszeiten, die in der Norm DIN V 18599-10 (siehe auch Kapitel [3.5.12](#) „Licht und Umwelt“) den der jeweils vorliegenden Anwendung entsprechenden Nutzerprofilen zugeordnet sind.

Die Grafiken mit dem Raumgrundriss, dem Arbeitsbereich und der Leuchtenanordnung sind der entsprechenden Planung entnommen. Die Isoluxkurven (Kurven gleicher Wartungswerte der Beleuchtungsstärke) gelten für die Neuanlage der ersten Tabellenspalte. Grundsätzlich wurde in den folgenden Beispielen eine raumbezogene Allgemeinbeleuchtung betrachtet. Daher beziehen sich die Beleuchtungsstärken auf einen Arbeitsbereich, der gleich der Raumgrundfläche abzüglich eines schmalen Randstreifens an den Wänden ist. Der den Berechnungen zugrunde liegende Wartungsfaktor ist in der Tabellenunterschrift angegeben.

Zum Vergleich werden in der letzten Spalte der Tabelle die jährlichen Werte für Energiebedarf und Energiekosten einer Altanlage mit T8-Leuchtstofflampen mit VVG angegeben, wie sie im Bestand für die gegebene Sehaufgabe typischerweise vorzufinden ist. Die Angaben der relativen Einsparungen beziehen sich jeweils auf den Vergleich zu dieser Altanlage.

Ziel der Gegenüberstellung ist die exemplarische Betrachtung nicht gleichwertiger Lösungen der Beleuchtungsaufgabe. In den hier aufgeführten Beispielen erfolgt dies auf Basis eines identischen Beleuchtungskonzeptes. Die erzielte Beleuchtungsqualität ist mit den resultierenden Anlagen- und Betriebskosten ins Verhältnis zu setzen.

Beispiel 1, Büro (siehe Tabelle 3.20)

Planungsziel ist die Erneuerung der Beleuchtung eines sehr sauberen Nichtraucherbüros mit zwei abgewinkelten Schreibtischkombinationen. Bisher waren acht einlampige Deckenanbauleuchten mit hochglänzendem Bildschirmraster

installiert. Mit der Neuanlage soll neben der Erfüllung der aktuellen normativen Anforderungen gemäß EN 12464-1 eine **Verbesserung der Sehbedingungen** und der Beleuchtungsatmosphäre insbesondere hinsichtlich der Leuchtdichteverteilung und der Vermeidung störender Reflexe auf horizontalen Arbeitsflächen erreicht werden. Aus diesem Grund wird von einem 1:1-Tausch der Bestandsleuchten gegen direkt strahlende LED-Anbauleuchten abgesehen (siehe auch Kapitel [3.7.3](#) „Planungsverfahren“).

Diese drei Optionen werden betrachtet:

- Neuinstallation mit direkt-indirekt strahlenden, abgehängten LED-Deckenleuchten mit mikroprismatischer Abdeckung
- entsprechende Installation mit erhöhter Anzahl von Leuchten mit erhöhtem Leuchtenlichtstrom sowie einem integrierten Lichtmanagementsystem mit Anwesenheitserfassung und tageslichtabhängiger Regelung
- Die dritte Option unterscheidet sich zusätzlich durch den Einsatz von Leuchten mit variabler Farbtemperatur. Das identische Lichtmanagementsystem erfüllt die circadiane Steuerung.

Die Modernisierung mit abgependelten Leuchten weist eine wesentliche Verbesserung der Beleuchtungsqualität gegenüber der Altanlage auf.

- Für alle betrachteten Optionen reduzieren sich der elektrische Anschlusswert und die Energiekosten der Neuanlage gegenüber der Altanlage erheblich.
- Weitere erhebliche Einsparungen werden mit der zweiten und dritten Option durch das Lichtmanagement mit Anwesenheitserfassung und tageslichtabhängiger Regelung erzielt.
 - In der Tabellenspalte der zweiten Option ist der ermittelte Energiebedarf auf den Mindestwert der Beleuchtungsstärke (500 lx) bezogen. Die zeitweise mögliche Erhöhung des Lichtniveaus wird hier nicht berücksichtigt.
 - In der Tabellenspalte der dritten Option ist der ermittelte Energiebedarf auf den modifizierten Wert der Beleuchtungsstärke (1.000 lx) bezogen. Ein dauerhaft erhöhtes Lichtniveau

im Sinne des Human Centric Lighting wird hier berücksichtigt.

- Ein Lichtmanagement mit tageslichtabhängiger Regelung ist für das Büro im Gebäudeenergiegesetz (GEG [\[140\]](#)) als Referenztechnologie definiert (siehe auch Kapitel [3.5](#)).

Um das **Wohlbefinden der Mitarbeiter** zu steigern, kann eine circadian wirksame Beleuchtung (siehe Kapitel [3.3.1](#) „Human Centric Lighting“) eingerichtet werden. Ein resultierender Mehrwert der circadianen Beleuchtung, z.B. in Form einer erhöhten Produktivität, lässt sich nicht beziffern. Wenn man jedoch davon ausgeht, dass ein solcher Mehrwert besteht, kann man ihn dem ermittelten Mehraufwand vergleichend gegenüberstellen. Im Fall des vorliegenden Beispiels würde dies Folgendes bedeuten:

- Für eine HCL-Beleuchtung ist die Active-Ausführung der hier geplanten Leuchten erforderlich.
- Für die geplante Beleuchtungsanlage ergibt sich gemäß TRILUX Preisliste ein Aufpreis von 3.200 €.
- Das eingesetzte Lichtmanagementsystem
 - ist bereits vollständig für die circadiane Steuerung ausgelegt und
 - steuert die Farbtemperatur dem Tagesverlauf entsprechend.
- Diese Umsetzung ist im Vergleich zu einer Beleuchtung mit statischer Farbtemperatur weitgehend energieverbrauchsneutral.
- Daher sind in 18 Jahren angenommener Nutzungsdauer lediglich die 3.200 € Mehrkosten der Active-Leuchten, also 178 € pro Jahr, und 87 € Energiekosten pro Jahr für die erhöhte Beleuchtungsstärke als Mehrkosten zu berücksichtigen.

Im Verhältnis zu den vier Arbeitsplätzen im Büro belaufen sich die Mehrkosten also um weniger als 0,9 ‰, wenn man von 75.000 € je Arbeitsplatz pro Jahr (Lohn, Nebenkosten, Raumkosten, Arbeitsmittel usw.) ausgeht. Wenn sich der Mitarbeiter also aufgrund der besseren Beleuchtung an einem 8-Stunden-Arbeitstag für 25 Sekunden zusätzlich auf seine Arbeit voll konzentrieren und kreativ sein kann, ist die Investition bereits kompensiert.

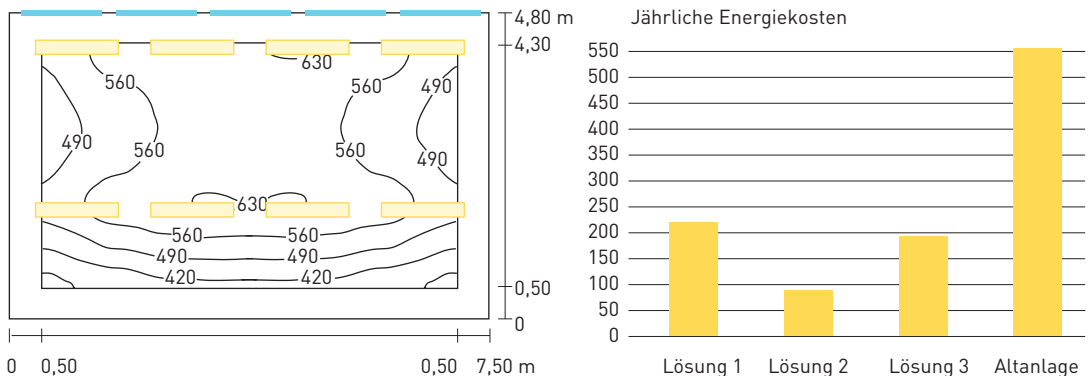


Gruppenbüro mit abgehängter Leuchte mit Mikroprismatik
direkt-indirekt strahlend
für eine ausgewogene Lichtatmosphäre

Raumabmessungen Länge/Breite/Höhe:
7,50 m/4,80 m/2,75 m (Grundfläche: 36 m²)
Reflexionsgrade Decke/Wände/Boden:
0,8/0,5/0,2

	Lösung 1	Lösung 2	Lösung 3	Bestand
Lichtstrom	4.000 lm	6.500 lm	6.500 lm 2.700–6.500 K	T8-Leuchte 1x58 W
Lichtmanagement	-	mit Präsenzerfassung und tageslicht-abhängiger Regelung	zusätzlich HCL (siehe Kap. 3 „Human Centric Lighting“)	
Anzahl Leuchten im Raum	8 Stk.	12 Stk.	12 Stk.	8 Stk.
Systemleistung je Leuchte	26 W	41 W	44 W	66 W
Systemleistung gesamt	208 W	492 W	528 W	528 W
Einsparpotential durch Lichtmanagement	-	60 %	60 %	-
Energieverbrauch p. a.	572 kWh/a	238 kWh/a (500 lx*)	528 kWh/a (1.000 lx*)	1.452 kWh/a
Energiekosten Ø p. a.	171 €/a	71 €/a	158 €/a	436 €/a
Relativer Energiebedarf	100 %	42 %	92 %	254 % (aktuell)
Energiekosten-reduzierung Ø p. a. (vs. aktuell)	265 €/a	365 €/a	278 €/a	

* Sollwert der Beleuchtungsstärke, auf den das Lichtmanagement regelt



Anzahl der Betriebsstunden:	2.750 h/a, gemäß DIN V 18599-10 [26]
Lichtmanagement:	Anwesenheitserfassung und tageslichtabhängige Regelung
Strompreis:	0,30 €/kWh
Wartungsfaktor:	0,80

Tabelle 3.20:
Beispiel 1: Sanierung eines Gruppenbüros

* Die Neuanlage 2 erreicht im 100%-Betrieb eine berechnete Beleuchtungsstärke von 1.000 lx. Ihre Anschlussleistung beträgt 492 W. Diese wird in der vergleichenden Betrachtung mit dem für die geforderte Beleuchtungsstärke bereitzustellenden Anteil des im 100%-Betrieb verfügbaren Leuchtenlichtstroms gewichtet.

Beispiel 2, Fertigungshalle (siehe Tabelle 3.21)

Die Fertigungshalle mit einer Grundfläche von 1.000 m² ist mit 102 Freistrahlerleuchten, 2 x 58 W, VVG, beleuchtet. Die Blendungsbegrenzung der freistrahrenden Leuchten entspricht nicht den Normen und den Arbeitsschutzbestimmungen und führt zu Klagen. Deckenverschmutzungen wirken sich stark auf die Verringerung der Beleuchtungsstärke aus, weil die Freistrahlerleuchten einen zu hohen Lichtanteil an die Hallendecke strahlen und die freistrahrenden Lampen selbst erhöhter Verschmutzung unterliegen. Der Energieverbrauch soll verringert werden.

LED-Lichtbandleuchten mit breitstrahlender Linsenoptik und 4.000 lm erweisen sich als mögliche 1-zu-1-Austauschlösung. Die Beleuchtungsstärke erfüllt in beiden Fällen die Mindestanforderungen nach EN 12464-1 [51] für Arbeiten z. B. an Stanzautomaten (300 lx). Die Begrenzung der Blendung der Neuanlagen ist normgerecht (siehe Tabelle 4.17, Seite 158).

Der elektrische Anschlusswert und die Energiekosten der Neuanlage reduzieren sich um zwei Drittel im Vergleich zum Bestand. Weitere erhebliche Einsparungen werden durch das Lichtmanagement mit tageslichtabhängiger Regelung erzielt. Die Energiekosten werden dadurch bei vergleichbarer Beleuchtungsstärke um 75 % gegenüber der Altanlage verringert.

In den Diagrammen der Analyse der jährlichen Energiekosten sind neben den dort angegebenen Randbedingungen für die Leuchten die TRILUX-Brutto-Listenpreise veranschlagt worden (siehe Diagramm in Tabelle 3.20).

Um das **Wohlbefinden der Mitarbeiter** zu steigern, kann eine circadian wirksame Beleuchtung (siehe Kapitel 3.3.1 „Human Centric Lighting“) eingerichtet werden. Bezüglich des Mehrwerts der circadianen Beleuchtung können ähnliche Betrachtungen wie im vorangegangenen Sanierungsbeispiel 1 erfolgen. Durch den erweiterten Arbeitszeitrahmen im Zweischichtbetrieb (i. d. R. 6 Uhr bis 22 Uhr) ist in industriellen Betrieben

eine circadiane Beleuchtung jedoch von erhöhtem Nutzen.

Beispiel 3, Flur (siehe Tabelle 3.22)

Flure in Verwaltungsgebäuden und vielen Industrie- bzw. Handwerksbetrieben werden oft trotz langer Zeiten ohne Anwesenheit von Personen ganztägig beleuchtet, ob notwendig oder nicht. Hier liegt ein besonders nutzbares Sanierungspotential vor. Bei diesem Beispiel wird ein 23 m langer Abschnitt eines langen Flures untersucht. Vorgeschlagen wurde, die alten Downlights mit je zwei Kompaktleuchtstofflampen TC 18W und VVG durch LED-Downlights mit diffuser Lichtaustrittsfläche zu ersetzen.

Die Beleuchtungsstärken entsprechen in beiden Fällen den Anforderungen nach EN 12464-1 [51]. Die Energiekosten unterscheiden sich jedoch beachtlich: Die Neuanlage 2, mit Anwesenheits- erfassung, spart 91 % der benötigten Energie ein. Dies ist insbesondere auch auf die Unempfindlichkeit der LED-Leuchten gegen kurze Schaltzyklen zurückzuführen. In dem Beispiel wird angenommen, dass die gemäß DIN V 18599-10 [26] auftretende relative Personen-Abwesenheit von 80 % nahezu vollständig zur Energieeinsparung genutzt werden kann.

Bei 2.750 Stunden Betriebszeit im Jahr werden für diesen verhältnismäßig kurzen Flurabschnitt von 23 m Länge jährlich bereits mehr als 270 € Energiekosten eingespart. In Verwaltungsgebäuden beträgt die gesamte Flurlänge im Allgemeinen ein Vielfaches davon, demzufolge ist auch mit einem Vielfachen der Energiekosteneinsparung zu rechnen.

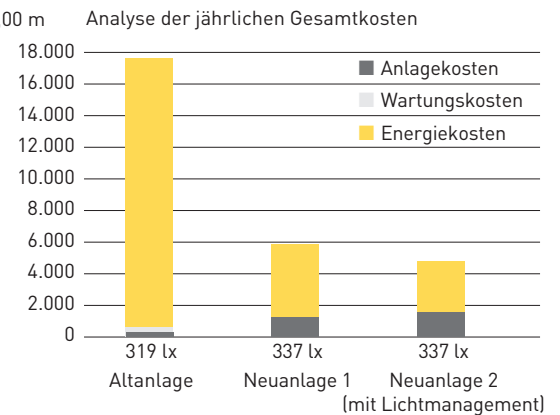
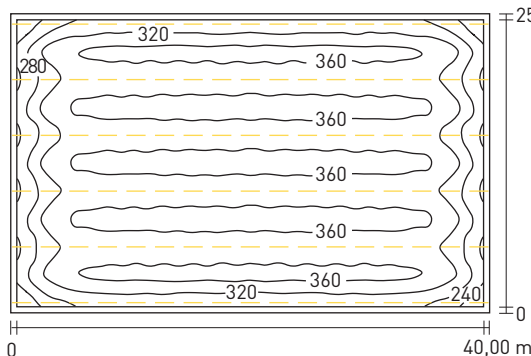


Fertigungshalle mit Lichtbandleuchten mit breitstrahlender Linsenoptik

Raumabmessungen Länge/Breite/Höhe:
40 m/4,80 m/25 m (Grundfläche: 1.000 m²)
Reflexionsgrade Decke/Wände/Boden:
0,5/0,3/0,2

	Lösung 1	Lösung 2	Lösung 3	Bestand
Lichtstrom	4.000 lm	8.000 lm	8.000 lm	T8-Leuchte 1x58 W
Lichtmanagement	-	mit tageslicht-abhängiger Regelung	zusätzlich HCL (siehe Kap. 3 „Human Centric Lighting“)	
Anzahl Leuchten im Raum	102 Stk.	102 Stk.	102 Stk.	102 Stk.
Systemleistung je Leuchte	22 W	47 W	53 W	66 W
Systemleistung gesamt	2.244 W	4.794 W	5.406 W	6.732 W
Einsparpotential durch Lichtmanagement	-	30 %	30 %	-
Energieverbrauch p. a.	8.976 kWh/a	6.855 kWh/a (300 lx*)	14.280 kWh/a (600 lx*)	26.928 kWh/a
Energiekosten Ø p. a.	2.693 €/a	2.056 €/a	4.284 €/a	8.078 €/a
Relativer Energiebedarf	100 %	42 %	92 %	254 % (aktuell)
Energiekosten-reduzierung Ø p. a. (vs. aktuell)	5.385 €/a	6.022 €/a	3.794 €/a	

* Sollwert der Beleuchtungsstärke, auf den das Lichtmanagement regelt



Anzahl der Betriebsstunden:	4.000 h/a
Lichtmanagement:	tageslichtabhängige Regelung
Strompreis:	0,30 €/kWh
Wartungsfaktor:	0,80

Tabelle 3.21:
Beispiel 2, Sanierung einer Fertigungshalle

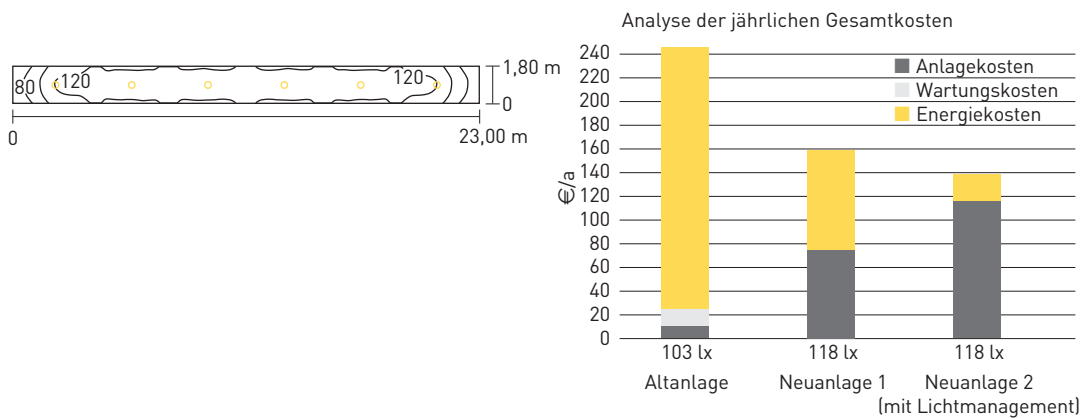
* Die Neuanlage 2 erreicht im 100%-Betrieb eine berechnete Beleuchtungsstärke von 640 lx. Ihre Anschlussleistung beträgt 4.794 W. Diese wird in der vergleichenden Betrachtung mit dem für die geforderte Beleuchtungsstärke bereitzustellenden Anteil des im 100%-Betrieb verfügbaren Leuchtenlichtstroms gewichtet.



Flur mit Downlights mit transluzenter Abdeckung

Raumabmessungen Länge/Breite/Höhe:
23 m/1,80 m/2,75 m [Grundfläche: 100 m²]
Reflexionsgrade Decke/Wände/Boden:
0,8/0,5/0,3

	Lösung 1	Lösung 2	Bestand
Lichtstrom	4.000 lm	8.000 lm	Downlight mit 2 x TC 18W
Lichtmanagement	-	mit Anwesenheitserfassung	
Anzahl Leuchten im Raum	6 Stk.	6 Stk.	6 Stk.
Systemleistung je Leuchte	16 W	16 W	42 W
Systemleistung gesamt	96 W	96 W	252 W
Einsparpotential durch Lichtmanagement	-	76 %	-
Energieverbrauch p. a.	264 kWh/a	96 kWh/a	693 kWh/a
Energiekosten Ø p. a.	79 €/a	19 €/a	291 €/a
Relativer Energiebedarf	100 %	24 %	368 % (aktuell)
Energiekostenreduzierung Ø p. a. [vs. aktuell]	212 €/a	272 €/a	



Anzahl der Betriebsstunden:	2.750 h/a, gemäß DIN V 18599-10 [26]
Lichtmanagement:	Anwesenheitserfassung
Strompreis:	0,30 €/kWh
Wartungsfaktor:	0,80

Tabelle 3.22:
Beispiel 3, Sanierung eines Flurs

3.4.4 TRILUX-Online-Effizienzrechner

Unter <https://www.trilux.com/de/service/effizienzrechner/> steht ein Online-Tool zum Vergleich der Wirtschaftlichkeit von Beleuchtungsanlagen zu Verfügung. Damit können bis zu fünf Beleuchtungsanlagen hinsichtlich ihres Energieverbrauchs und ihres CO₂-Ausstoßes sowie der Anlagen-, Lampen-, Energie- und jährlichen Gesamtkosten verglichen werden.

Der Umfang der zu berücksichtigenden Parameter kann dabei in drei Stufen – „schnell“, „standard“ und „erweitert“ – gewählt werden. Es können kurze Überslagsberechnungen ebenso durchgeführt werden wie detaillierte Betrachtungen unter Berücksichtigung von mehrkomponentigen Beleuchtungssystemen, Einsparungen durch Lichtmanagement, Montagekosten, Instandsetzungskosten, Lampen- und Wartungskosten, CO₂-Ausstoß bis hin zu Teuerungsraten und Tag- und Nachtтарifen für den elektrischen Strom.

Die Eingabe der Daten erfolgt online in der Eingabemaske „Kalkulation“ (siehe Abbildung 3.17). Eine weitere Maske „Projekt konfigurieren“ er-

möglicht die Eingabe der persönlichen Daten des Bearbeiters, einer Projektbeschreibung sowie der projektspezifischen Voreinstellung der Berechnung.

Folgende weitere Funktionen erhöhen den Nutzen des Effizienzrechners und unterstützen ein rationelles Arbeiten mit diesem Werkzeug:

- automatisiertes Zusammenfassen der Ergebnisse in eine PDF-Datei, die gespeichert und bei Bedarf z.B. bequem per E-Mail verschickt werden kann (siehe Abbildung 3.18)
- tabellarische und grafische Darstellung der Ergebnisse (siehe Abbildungen 3.18, 3.19 und 3.20)
- umfangreiche Beispiele online
- lokales Abspeichern eigener Berechnungen auf dem Anwender-Computer die Ausgangspunkt späterer Kalkulationen jederzeit wieder hochgeladen werden können
- Datenbank-Unterstützung bei der Eingabe technischer Werte⁵ (siehe Abbildung 3.17)
- umfangreiche Lampenliste mit Angaben zur Lampen- und Systemleistung
- zusammenführen von bis zu zehn Bereichen in einem Projekt⁶ (siehe Abbildung 3.16)
- Kopierfunktionen (siehe Abbildung 3.17).

⁵ Suchfunktion im TRILUX-Online-Katalog mit Import technischer Parameter wie der Produktbilder, der Leuchtmitteldaten und der Schaltungsart sowie der elektrischen Anschlussleistung. Manuelles Überschreiben der voreingestellten oder automatisch ermittelten Parameter ist möglich und wird optisch hervorgehoben.

⁶ Bereiche können Räume unterschiedlicher Nutzung sein. Es können auch Räume gleicher Ausstattung und Nutzung zu Bereichen zusammengefasst werden. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung kann für jeden Bereich einzeln oder für das gesamte Projekt ausgeführt werden.

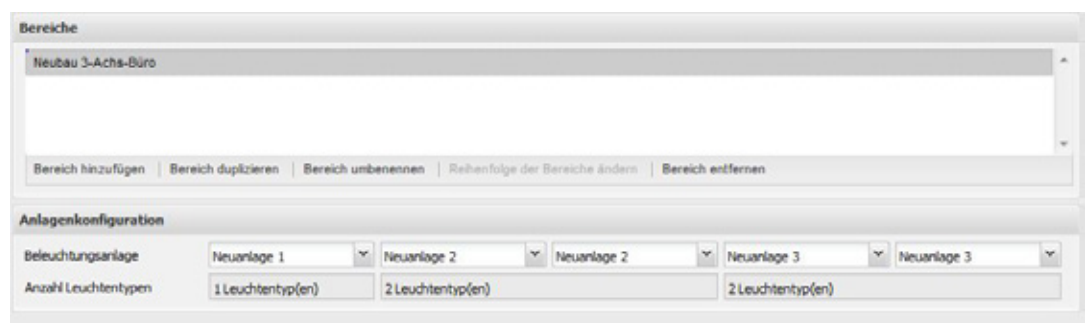


Abbildung 3.16: Konfiguration im Effizienzrechner:
 • Bereiche anlegen
 • Anlagenkonfiguration festlegen
 • Vergleich Alt- zu Neuanlagen (Sanierung)

Vergleich ein- und zweikomponentiger Neuanlagen (Neubau)

Die Auswertung erlaubt eine Bewertung der Wirtschaftlichkeit aufgrund der Gegenüberstellung der anfallenden Kosten und Einsparpotentiale. Insbesondere werden die aus unterschiedlichen Investitionen resultierenden Ertragsmöglichkeiten (TPO, siehe Abbildung 3.20) in Bezug

auf den zu betrachtenden Nutzungszeitraum ermittelt und gegenübergestellt.

Der Effizienzrechner steht in 14 Sprachen mit 12 Währungsbezeichnungen zur Verfügung.

The screenshot shows the 'Kalkulation' (Calculation) tab of the 'Effizienzrechner' software. The interface is titled 'Leuchtauswahl' (Lighting Selection) and is set for a 'Drei-Personen-Büro' (Three-person office). It compares four lighting scenarios: 'Altanlage' (Existing installation), 'Neuanlage 1' (New installation 1), 'Neuanlage 2' (New installation 2), and a fourth unnamed scenario. The 'Leuchtenbezeichnung' (Light fixture name) for each scenario is: 'alte Rasterleuchte', 'LuceoS Act D/H1-L', 'LateralP Act H2 BL', and 'Inplana C07 OTA25'.

Anlagen- und Nutzungsdaten

Anzahl der Leuchten nach lichttechnischer Berechnung	Stck.	6	4	1	2
Anzahl der Lampen je Leuchte	Stck.	1	1	1	1
Anzahl der Betriebsstunden (jährlich)	Std./a	2.750	2.750	2.750	1.000
Voraussichtliche Anlagennutzungsdauer	Jahre	15	15		15

Anlagenkosten

Preis einer Leuchte	€	0,00	661,20	2.260,70	304,40
Preis für Lichtmanagement	€	0,00	0,00		438,10
Gesamtinvestition	€	0,00	2.644,80		3.307,60
Σ Jährliche Anlagenkosten (Nutzungsdauer)	€/a	0,00	176,32		220,51

Energiekosten

Systemleistung einer Lampe	W	70,0	27,0	72,0	16,0
Systemleistung einer Leuchte	W	70,0	27,0	72,0	16,0
Erwartete Energie-Einsparung durch Lichtmanagement	%	0,00	0,00	55,00	55,00
Jährlicher Energieverbrauch, gesamt	kWh/a	1.155	297		104
Arbeitspreis je kWh	€	0,30	0,30		0,30
Σ Mittlere Energiekosten jährlich	€/a	346,50	89,10		31,05

Gesamtkosten jährlich

Gesamtkosten jährlich	€/a	346,50	265,42		251,56
	%	100%	77%		73%

Abbildung 3.17: Kalkulation im Effizienzrechner:
 • Umfang der Berechnung in drei Stufen einstellbar (hier abgebildet: „schnell“)
 • Online-Eingabe aller relevanten Parameter
 • Import technischer Daten von TRILUX-Leuchten (z. B. „Systemleistung einer Lampe“) aus dem Online-Katalog
 • automatisch ermittelte Werte überschreibbar (in blau)
 • „copy and paste“-Funktionen für das schnelle Übertragen ganzer Wertespalten

Abbildung 3.18:

- PDF-Report des Effizienzrechners:
- Ausgabe eines Reports in Form einer PDF-Datei
 - Titelseite mit austauschbarem (eigenem) Logo
 - mit Projektbeschreibung und Angaben zum Bearbeiter
 - Dokumentation aller berücksichtigten Parameter der Kalkulation
 - Ausgabe der Ergebnisse in tabellarischer Form und in grafischer Form
 - separate Auswertung für bis zu zehn unterschiedliche Bereiche (Beleuchtungsanlagen)
 - Gesamtauswertung für das Projekt (Gesamtgebäude)

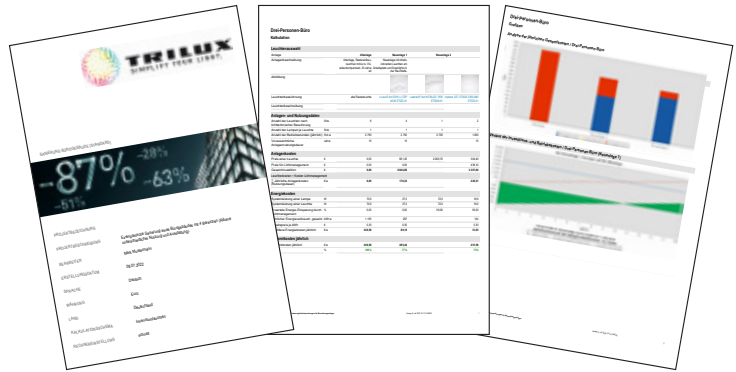


Abbildung 3.19:

Gegenüberstellung der Gesamtkosten aller zu vergleichenden Beleuchtungsanlagen.

Jährliche Gesamtkosten, bestehend aus:

- jährliche Anlagenkosten (blau⁷)
- jährliche Lampen- und Wartungskosten (gelb⁸)
- jährliche Energiekosten (rot)

⁴ Die „jährlichen Anlagenkosten“ ergeben sich aus Investitionen und Kapitalkosten bezogen auf den Nutzungszeitraum.

⁸ Lampen- und Wartungskosten werden nur in den Stufen „standard“ und „erweitert“ berücksichtigt, nicht aber in der Stufe „schnell“.

Analyse der jährlichen Gesamtkosten

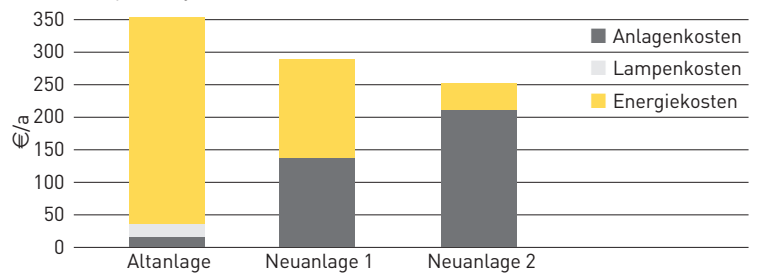
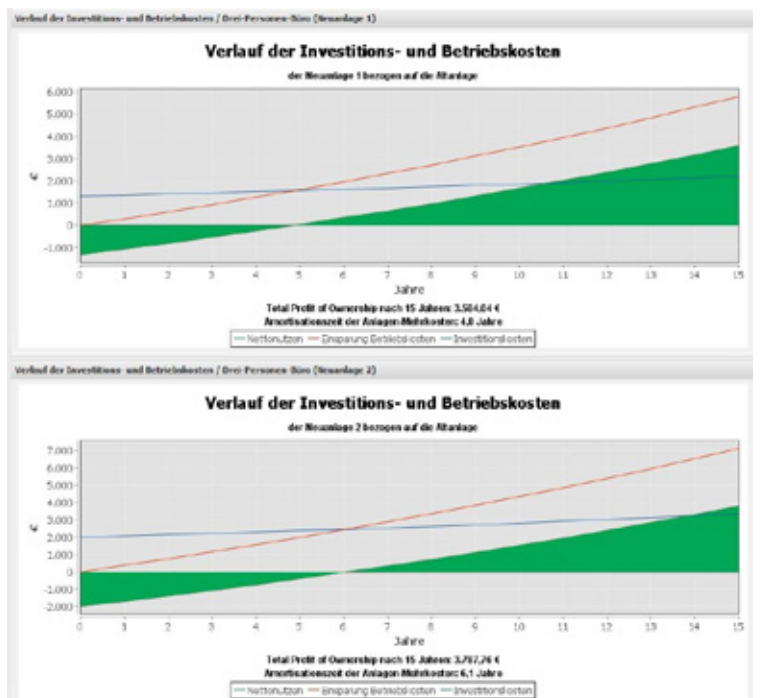


Abbildung 3.20:

Darstellung des Ertrags der Kosteneinsparungen im Effizienzrechner:

- Gegenüberstellung zweier Beleuchtungsanlagen
- anfängliche Investition als Negativbetrag
- die Einsparung der Betriebskosten summiert sich zeitlich auf
- Kompensation der Investitionskosten im Nulldurchgang (Amortisation)
- Total Profit of Ownership (TPO) bis zum Ende der Nutzungsdauer



3.5 Licht und Umwelt

Umweltbelastungen sind zu einem bedeutenden Problem unserer Zivilisation geworden. Der nachhaltige Schutz der Umwelt gehört zu den großen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts, denen sich mit besonderer Verantwortung die Industrieländer stellen müssen. Im Fokus stehen dabei Maßnahmen zur Vermeidung aktueller und zukünftiger Umweltgefährdungen. Der Einsatz zeitgemäßer und gewissenhaft geplanter Beleuchtungsanlagen kann ein erheblicher Beitrag dazu sein.

Neben der Energie- und Ressourceneinsparung ist die Gefahrstoffvermeidung aktuell ein zentrales Thema zur Vermeidung von Umweltbelastungen. In Europa sind zu beiden Themenbereichen eine Reihe von konkretisierenden Richtlinien und Verordnungen erlassen worden, von denen einige auch die Beleuchtung betreffen (siehe Tabelle 3.23).

Auf den folgenden Seiten sind die wesentlichen Aspekte dieser Bestimmungen sowie weiterer aktueller Entwicklungen, die für die Gefahrstoffvermeidung, Ressourcenschonung und Energieeinsparung im Zusammenhang mit der Beleuchtungstechnik und ihren Anwendungen relevant sind, zusammengefasst.





3.5.1 Lampen ohne Quecksilber (neue RoHS-Bestimmungen)

Quecksilber begleitet die Menschheit seit dem Altertum. Das bei Raumtemperatur flüssige Schwermetall fasziniert schon allein dadurch, dass es in reiner Form ohne äußere Einflüsse Tröpfchen bildet, die an keiner Oberfläche haften und sich deshalb scheinbar schwebend fortbewegen (quick silver, lebendiges Silber). Berühmt war es in der Alchemie des Mittelalters. Aber tatsächlich ist es aufgrund seiner einzigartigen chemischen Eigenschaften in vielen modernen Anwendungen zum Einsatz gekommen, wie z. B. bei der Zahnfüllung aus Amalgam und zahlreichen chemischen und industriellen Prozessen.

Heute ist das Quecksilber eher berüchtigt für die toxischen Wirkungen des Quecksilberdampfes und seiner organischen Verbindungen. Spätestens seit den 70er Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts ist man sich in Europa dessen bewusst. Generell verboten wurde die Verwendung und Emission des Schadstoffs jedoch erst mit der zweiten Auflage der RoHS-Richtlinie im Jahr 2011. Da es in vielen Anwendungen sehr schwer zu ersetzen ist, gewährt die Richtlinie bis heute einige Ausnahmen für konkrete Fälle mit genau spezifizierten Stoffmengen.

Solche Ausnahmen betreffen auch die Herstellung und das Inverkehrbringen von quecksilberhaltigen Entladungslampen, die im Anhang der RoHS-Richtlinie [\[141\]](#) geregelt sind.

Seit den 1940er Jahren sind diese Quecksilberdampf-Entladungslampen (Hoch- und Niederdruck) Standardprodukte für die Beleuchtung von Arbeitsstätten. Seit den 1980er Jahren haben sie als „Energiesparlampen“ zunehmend auch in Haushalten Einzug gefunden. Sie verfügen über eine bis zu 10-fach höhere Lichtausbeute im Vergleich zu Glühlampen, die über viele Jahrzehnte durch kein anderes verfügbares Leuchtmittel bereitgestellt wurde.

Mit der Marktreife weißer LED-Lichtquellen – ca. seit dem Jahr 2013 – hat sich dies grundlegend geändert. Heute stehen für nahezu alle Beleuchtungsaufgaben technisch ausgereifte und wirtschaftliche LED-Lösungen bereit. Deshalb haben die europäischen Gesetzgeber beschlossen, die Sondergenehmigung für den Gebrauch von Quecksilber in Entladungslampen durch jüngst verabschiedete, ergänzende Richtlinien zur RoHS-Richtlinie schrittweise aufzuheben (siehe Tabelle 3.23). Der zeitliche Rahmen dafür ist der Tabelle 3.24 zu entnehmen. Nach und nach dürfen die angegebenen Bauformen von Entladungslampen in Europa nicht mehr in Verkehr gebracht, also für die Weitergabe produziert oder importiert werden.

Dies hat zur Folge, dass nach Abschluss des Inverkehrbringens und einer Phase des anschließenden Abverkaufs von den Lagern diese Lampen nicht mehr am Markt verfügbar sein werden. Wann genau dies der Fall sein wird, ist abhängig von den angelegten Beständen und der Nachfrage ab dem Auslauftermin. Danach wird ein Ersatz der bisher verwendeten Leuchtmittel durch identische Technologie nicht mehr möglich sein. Der Nutzer bzw. Betreiber einer Beleuchtungsanlage muss sich also spätestens dann Gedanken über möglichen Ersatz machen. In vielen Fällen ist es jedoch sinnvoll, sich diese Gedanken schon früher zu machen und ggf. auch den Technologiewechsel vorzuziehen.

Weitgehend unproblematisch ist der Technologiewechsel in vielen privaten Wohnräumen. Hier werden häufig Lichtquellen mit E14- und E27-Schraubsockel und geringen Lichtstrom-

werten ungedimmt betrieben. Etwaige Betriebsmittel, wie z. B. bei „Energiesparlampen“, müssen keinen hohen technischen Ansprüchen entsprechen und sind in der Regel im Sockel der Lampe enthalten. Ein einfacher Tausch des Leuchtmittels inklusive Betriebsgerät ist in diesen Fällen unkritisch.

Weitaus schwieriger kann sich die Situation beim Betrieb von Beleuchtungsanlagen in Arbeitsstätten darstellen. Sowohl die geltenden Arbeitsschutzanforderungen als auch die elektrotechnischen Rahmenbedingungen sind hier zu berücksichtigen.

In Arbeitsstätten werden in der Regel Leuchtmittel mit relativ großen Lichtströmen an externen Betriebsgeräten betrieben, die Bestandteil einer Leuchte sind. Garantie und Produkthaftung des Leuchtenherstellers erlöschen für den Betrieb jeglicher nicht durch ihn geprüfter und zugelassener Leuchtmittel (siehe auch Kapitel [5.6.1](#) „Typenschild“).

Die in den Leuchten verwendeten Betriebsgeräte können dabei technisch sehr unterschiedlich ausgeführt sein, um die Gasentladung der zugelassenen Lampe zu betreiben. Wenn nun ein völlig anders geartetes Leuchtmittel eingesetzt werden soll, das im Zusammenwirken mit einem vorgegebenen Betriebsgerät einer Entladungslampe zufriedenstellend funktionieren muss, so kann dies zunächst einmal nicht für die Kombination mit weiteren möglichen Betriebsgeräten vorausgesetzt werden. Dies gilt insbesondere für den grundsätzlich unterschiedlichen Betrieb

mit magnetischen (50-Hz-) oder elektronischen (Hochfrequenz-)Betriebsgeräten, aber auch innerhalb der Produktgruppe elektronischer Betriebsgeräte, da diese sich in Aufbau und Funktion untereinander erheblich unterscheiden können. Es muss also im Einzelfall geprüft werden, welches Leuchtmittel für den Betrieb mit welchem Betriebsgerät geeignet ist. Die Hersteller von Retrofit-Ersatzlampen geben dazu Hinweise in sogenannten Kompatibilitätslisten, deren Verbindlichkeit jedoch eingeschränkt sein kann. In den Kompatibilitätslisten angegebene Einschränkungen sollten ggf. berücksichtigt werden.

Aber auch die Identifikation des in einer Leuchte verwendeten EVG ist oft nicht eindeutig, da in der Regel Alternativgeräte (Second Source) in Leuchten identischer Bauform verwendet sind.

Die Leuchten ihrerseits werden darüber hinaus in der Regel in Gruppen betrieben und bilden eine Beleuchtungsanlage, an die weit höhere technische Anforderungen gestellt werden müssen als an Einzelleuchten (siehe z. B. Kapitel [5.12](#) „Elektromagnetische Sicherheit“).

Bzüglich der Arbeitssicherheit ist zu beachten, dass der Betrieb der Beleuchtung die Anforderungen an Beleuchtungsstärke, Lichtverteilung und Blendungsbegrenzung weiterhin erfüllen muss. Dazu werden am Markt LED-Ersatzleuchtmittel mit sehr unterschiedlichen Lichtstromwerten und Lichtverteilungen angeboten, deren Wirkung in Kombination mit dem lichttechnischen System der vorhandenen Leuchten zu bewerten wäre (siehe auch Anmerkung zu Tabelle 3.28).

Anstelle eines unsicheren Erhalts der Beleuchtungsqualität auf dem Niveau überholter Standards ist es in vielen Fällen möglich, unabhängig von einer baulichen oder elektrotechnischen Sanierung – eine Modernisierung und Anpassung der Beleuchtung durchzuführen. Dazu stehen zeitgemäße Leuchtensysteme mit innovativer Licht- und Steuerungstechnik zur Verfügung, die sowohl einen direkten Tausch der Leuchten als auch eine Neukonzeption der Leuchtenanordnung ermöglichen (siehe z. B. Kapitel [4.9.11](#)



Schadstoffvermeidung/Gesundheitsschutz

„Richtlinie 2012/19/EU [142] des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2012 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (Neufassung)“ (WEEE – Waste Electrical and Electronic Equipment)

„Richtlinie 2011/65/EU [141] des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Juni 2011 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten (Neufassung)“ (RoHS – Restriction of Hazardous Substances)

„Delegierte Richtlinie (EU) 2022/274 [179] der Kommission vom 13. Dezember 2021 zur Änderung – zwecks Anpassung an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt – des Anhangs III der Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich einer Ausnahme für die Verwendung von Quecksilber in CCFL- (cold cathode fluorescent lamps) und EEFL-Lampen (external electrode fluorescent lamps) für besondere Verwendungszwecke (Text von Bedeutung für den EWR). EUR-Lex, 2022.

„Delegierte Richtlinie (EU) 2022/275 [180] der Kommission vom 13. Dezember 2021 zur Änderung – zwecks Anpassung an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt – des Anhangs III der Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich einer Ausnahme für die Verwendung von Quecksilber in anderen Hochdrucknatrium(dampf)lampen für allgemeine Beleuchtungszwecke (Text von Bedeutung für den EWR). EUR-Lex, 2022.

„Delegierte Richtlinie (EU) 2022/276 [181] der Kommission vom 13. Dezember 2021 zur Änderung – zwecks Anpassung an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt – des Anhangs III der Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich einer Ausnahme für die Verwendung von Quecksilber in einseitig gesockelten (Kompakt-)Leuchtstofflampen für allgemeine Beleuchtungszwecke (Text von Bedeutung für den EWR). EUR-Lex, 2022.

„Delegierte Richtlinie (EU) 2022/277 [182] der Kommission vom 13. Dezember 2021 zur Änderung – zwecks Anpassung an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt – des Anhangs III der Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich einer Ausnahme für die Verwendung von Quecksilber in einseitig gesockelten (Kompakt-) Leuchtstofflampen für allgemeine Beleuchtungszwecke < 30 W mit einer Lebensdauer von 20.000 Stunden oder mehr (Text von Bedeutung für den EWR). EUR-Lex, 2022.

„Delegierte Richtlinie (EU) 2022/278 [183] der Kommission vom 13. Dezember 2021 zur Änderung – zwecks Anpassung an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt – des Anhangs III der Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich einer Ausnahme für die Verwendung von Quecksilber in Metallhalidlampen (Text von Bedeutung für den EWR). EUR-Lex, 2022.

„Delegierte Richtlinie (EU) 2022/279 [184] der Kommission vom 13. Dezember 2021 zur Änderung – zwecks Anpassung an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt – des Anhangs III der Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich einer Ausnahme für die Verwendung von Quecksilber in anderen Entladungslampen für besondere Verwendungszwecke (Text von Bedeutung für den EWR). EUR-Lex, 2022.

„Delegierte Richtlinie (EU) 2022/280 [185] der Kommission vom 13. Dezember 2021 zur Änderung – zwecks Anpassung an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt – des Anhangs III der Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich einer Ausnahme für die Verwendung von Quecksilber in anderen Niederdruckentladungslampen (Text von Bedeutung für den EWR). EUR-Lex, 2022.

„Delegierte Richtlinie (EU) 2022/281 [186] der Kommission vom 13. Dezember 2021 zur Änderung – zwecks Anpassung an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt – des Anhangs III der Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich einer Ausnahme für die Verwendung von Quecksilber in einseitig gesockelten (Kompakt-) Leuchtstofflampen für besondere Verwendungszwecke (Text von Bedeutung für den EWR). EUR-Lex, 2022.

„Delegierte Richtlinie (EU) 2022/282 [187] der Kommission vom 13. Dezember 2021 zur Änderung – zwecks Anpassung an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt – des Anhangs III der Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich einer Ausnahme für die Verwendung von Quecksilber in nichtlinearen Tri-Phosphor-Lampen (Text von Bedeutung für den EWR). EUR-Lex, 2022.

„Delegierte Richtlinie (EU) 2022/283 [188] der Kommission vom 13. Dezember 2021 zur Änderung – zwecks Anpassung an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt – des Anhangs III der Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich einer Ausnahme für die Verwendung von Quecksilber in Hochdrucknatrium(dampf)lampen mit verbessertem Farbwiedergabeindex für allgemeine Beleuchtungszwecke (Text von Bedeutung für den EWR). EUR-Lex, 2022.

„Delegierte Richtlinie (EU) 2022/284 [189] der Kommission vom 16. Dezember 2021 zur Änderung – zwecks Anpassung an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt – des Anhangs III der Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich einer Ausnahme für die Verwendung von Quecksilber in beidseitig gesockelten linearen Leuchtstofflampen für allgemeine Beleuchtungszwecke (Text von Bedeutung für den EWR). EUR-Lex, 2022.

Energieeffizienz/Klimaschutz

EU-„Richtlinie 2009/125/EG [138] des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte“ (ErP-Richtlinie)

EU-Richtlinie (2010/30/EU) [139], „Richtlinie über die Angabe des Verbrauchs an Energie und anderen Ressourcen durch energieverbrauchsrelevante Produkte mittels einheitlicher Etiketten und Produktinformationen“

EU-„Richtlinie 2010/31/EU [140] des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung)“

„VERORDNUNG (EU) 2019/2020 [191] DER KOMMISSION vom 1. Oktober 2019 zur Festlegung von Ökodesign-Anforderungen an Lichtquellen und separate Betriebsgeräte gemäß der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 244/2009, (EG) Nr. 245/2009 und (EU) Nr. 1194/2012 der Kommission. EUR-Lex, 2019.

„DELEGIERTE VERORDNUNG (EU) 2019/2015 [190] DER KOMMISSION vom 11. März 2019 zur Ergänzung der Verordnung (EU) 2017/1369 des Europäischen Parlaments und des Rates in Bezug auf die Energieverbrauchskennzeichnung von Lichtquellen und zur Aufhebung der Delegierten Verordnung (EU) Nr. 874/2012 der Kommission. EUR-Lex, 2019.

Tabelle 3.23:

EU-Richtlinien zur Verbesserung des Umweltschutzes (siehe auch Kapitel 10 „Anhang“)

„Sanierungsbeispiel“). Im Falle bautechnischer Einschränkungen bei der Installation von Ersatzleuchten – wie z.B. Brandschutzdecken, die nicht geöffnet werden dürfen – können häufig auch spezifizierte LED-Einsätze für bestehende Leuchten durch den Leuchtenhersteller angeboten werden. Die Produkthaftung bleibt in diesem Fall erhalten.

Für die Umsetzung des Lichtmanagements können raumbezogene Systeme angeboten werden, deren Komponenten in Leuchten integriert sind und per Funk oder Steuerleitungen im Lichtband oder der abgehängten Decke verbunden werden (siehe Kapitel 8.4 „Schnittstellen“).

3.5.2 Effiziente Beleuchtungssysteme

Die Beleuchtung benötigt in Deutschland etwa 3% des Primärenergiebedarfs (Energiedaten des Gesamtausgabe BMWi [165]). Sie nimmt jedoch in einigen Gebäuden einen wesentlichen Anteil an den jährlichen Betriebskosten ein. Nach Angaben der Europäischen Kommission beträgt der Anteil der Beleuchtung am Strombedarf in der Industrie ca. 9%, in Wohnungen bzw. Wohnhäusern ca. 10% und in Gewerbe, Handel und Dienstleistung ca. 28%

(„Optionen und Potenziale für Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen – Kurzfassung“, Wuppertal-Institut [172]).

Andere Erhebungen nennen für die Beleuchtung in Gewerbe, Handel und Dienstleistung sogar 40% des Stromverbrauchs (Energieeffizienzdaten für den Klimaschutz [166]).

Große Einsparpotentiale sind dort nutzbar, wo veraltete Technologie das erforderliche Licht ineffizient erzeugt, verteilt und steuert. Dabei gibt es jedoch keine Patentlösung. Eine optimierte Lösung bezieht sich stets auf die individuelle Anwendungssituation, wobei die heutigen Anforderungen und technischen Möglichkeiten berücksichtigt werden sollten, die sich deutlich von denen zum Zeitpunkt der Installation der Bestandsanlage unterscheiden können. Die Beleuchtung ist daher sorgfältig zu planen in Bezug auf

- die Sehaufgabe,
- die Nutzungsbedingungen,
- die baulichen Voraussetzungen,
- die räumliche Umgebung und
- die Möglichkeiten der Tageslichtnutzung.

Die zu installierende Beleuchtungsanlage ist insofern immer weit mehr als die Summe ihrer Komponenten, da erst deren sinnvolles Zusammenwirken die gestellte Aufgabe lösen kann.

Auslauftermin	ILCOS-Code	Beschreibung
September 2021* [138]	FL-T12/T38	38 mm – Leuchtstofflampe
	FL-T2/T7	7 mm – Leuchtstofflampe
	CFL-i	Kompaktleuchtstofflampe, integriertes VG
25. Februar 2023 [181, 188, 189]	CFL-ni	Kompaktleuchtstofflampe, auch nichtintegrierte VG
	Longlife LFL	Leuchtstofflampe > 25.000 h
	FL – R T5/T16 mm	16 mm – ringförmige Leuchtstofflampe
	HS... CRI > 60 (<80, ≤ 105 W)	Natriumhochdrucklampe mit verbessertem Farbwiedergabeindex, 16 mg Hg
25. August 2023 [189]	FL-T5/T16	16 mm – Leuchtstofflampe
	FL-T8/T26	26 mm – Leuchtstofflampe
25. Februar 2025 [187]	FL – R T9/ 29 mm	29 mm – ringförmige Leuchtstofflampe, 10 mg Hg; bis 24.2.23 – 15 mg
25. Februar 2027 [183]	HI...	Halogenmetaldampf-Hochdrucklampe
	HS... ≤ 105 W, CRI > 80	Natriumdampf-Hochdrucklampe verbessertem Farbwiedergabeindex
25. Februar 2027 [180]	HS... inkl. HSE	Natriumdampf-Hochdrucklampen

* Aus Effizienzgründen schon im September 2021 vom Markt genommen worden (siehe Kapitel 3.5.2)

Tabelle 3.24: Enddatum für das Inverkehrbringen von Entladungslampen aufgrund des Auslaufs der RoHS-Sondergenehmigungen und der Ökodesignanforderungen in Europa

Bei allen energetischen Betrachtungen der Beleuchtung darf jedoch nicht übersehen werden, dass – wie EN 12464-1 [51] ausdrücklich hervorhebt – die lichttechnischen Kriterien der Beleuchtung in ihrer Wichtigkeit vor die zweifellos ebenfalls wichtige Frage der Minimierung des Energieeinsatzes gestellt werden müssen.

Das Ergebnis der Planung ist im Idealfall also eine Beleuchtungsanlage, welche die lichttechnischen Anforderungen der Beleuchtung bei minimalem Energieaufwand optimal erfüllt. Nur diese kann nicht nur als sparsam, sondern auch als effizient bezeichnet werden.

3.5.3 Effiziente Leuchtmittel

Die Basiskomponenten einer Beleuchtungsanlage sind ihre Lichtquellen, denn sie liefern den Lichtstrom, der im weiteren Prozess verteilt und gesteuert werden soll.

Für die effiziente **Erzeugung des Lichts** ist zu beachten:

- Hohe Lichtausbeuten geben an, wie viel Licht (Lumen) bezogen auf die aufgewendete elektrische Leistung (Watt) zur Verfügung steht. (Dieser Wert wird für den Neuzustand einer LED-Leuchte als „Bemessungslichtausbeute der Leuchte“ angegeben.)
- Zusätzlich ist das Degradationsverhalten des Leuchtmittels (Lichtstromrückgang im Laufe der Lebensdauer) zu berücksichtigen, das den Wartungsfaktor für die Planung der Leuchten bestimmt (siehe Kapitel 3.1.5 „Beispiel für die Bestimmung des Wartungsfaktors aufgrund technischer Daten von LED-Leuchten und Raum“).
- Die anwendungsspezifischen Anforderungen an die Lichtfarbe und den Farbwiedergabeindex sind zu berücksichtigen.

3.5.4 Effiziente Leuchten und Raumeigenschaften

Im Zuge der Designfreiheit mit LED-Komponenten haben sich hochentwickelte Formen von Leuchten etabliert, in denen LED-Lichtquellen bereits fest integriert sind. Dies ermöglicht die Optimierung des elektrischen, thermischen und optischen Zusammenwirkens aller Leuchtenkomponenten für höchste Effizienz und Zuverlässigkeit (siehe auch Kapitel 3.5.7 „CO₂-Fußabdruck“).

Mit dem optischen System der Leuchten wird der Lichtstrom der Leuchtmittel so verteilt, dass die gestellte Beleuchtungsaufgabe bestmöglich erfüllt wird. Für Energiebetrachtungen sind die Lichtausbeute und die Lichtstromverteilung bzw. die Lichtstärkeverteilung wichtige Kenngrößen von Leuchten.

Sämtliche photometrischen Informationen sind quantitativ in einem geeigneten und kalibrierten Messsystem zu ermitteln und für die weitere Planung in notwendigen Datenformaten bereitzustellen.

Die **Lichtausbeute der Leuchte** wird für LED-Leuchten mit fest integriertem Leuchtmittel als Bemessungslichtausbeute angegeben (siehe auch Kapitel 9.2.1, Abschnitt „Lichtausbeute von LED-Leuchten“). Für Leuchten mit austauschbaren Leuchtmitteln wird sie als Produkt der Lampenlichtausbeute mit dem Leuchtenbetriebswirkungsgrad verstanden. Formal wird für LED-Leuchten mit fest integriertem LEDs der Lampenlichtstrom mit dem Bemessungslichtstrom der Leuchte gleichgesetzt. Der Leuchtenbetriebswirkungsgrad wird damit für solche Leuchten per Definition auf den Wert 1 festgelegt (siehe auch Kapitel 5.2.4).

Der **Leuchtenbetriebswirkungsgrad** η_{LB} gibt für solche Leuchten, in denen auswechselbare Leuchtmittel (Lampen) betrieben werden, an, welcher Anteil des Lampenlichtstroms die Leuchte verlässt. Optische Verluste und ther-

mische Bedingungen innerhalb der Leuchte bestimmen den Leuchtenbetriebswirkungsgrad. Die Angabe des Lampenlichtstroms erfolgt durch den Lampenhersteller. Der Leuchtenbetriebswirkungsgrad wird somit für LED-Leuchten mit fest integriertem Leuchtmittel per Definition auf den Wert 1 festgelegt (siehe auch Kapitel 5.2.4).

Die **Lichtstromverteilung** einer Leuchte bestimmt deren beleuchtungstechnische Wirkung im Raum. Der gesamte Leuchtenlichtstrom besteht aus den Teillichtströmen in den oberen und den unteren Halbraum. Der Teillichtstrom in den oberen Halbraum wird an der Decke bzw. an Teilen der Wände reflektiert und trägt zur Indirektbeleuchtung bei. Der Teillichtstrom in den unteren Halbraum erzeugt die direkte Beleuchtungsstärke auf der Nutzebene und erhöht zusätzlich mittels Reflexion an Boden und Wänden den Indirektanteil der Beleuchtungsstärke. Direkt strahlende Leuchten konzentrieren den Leuchtenlichtstrom bevorzugt auf die zu beleuchtende Fläche und führen dort zu hohen Beleuchtungsstärken.

Der **Beleuchtungswirkungsgrad** η_B ist definiert als das Verhältnis des auf die Nutzfläche gelangenden Lichtstroms zur Summe der Lichtströme aller installierten Leuchtmittel. Er beeinflusst die Höhe des Energiebedarfs zur Erreichung der in der Nutzebene erforderlichen Beleuchtungsstärke. Er ist von den Raumeigenschaften (siehe unten) und – wie oben beschrieben – wesentlich von der räumlichen Verteilung des Lichtstroms

der Leuchten abhängig. Für Leuchten mit austauschbaren Leuchtmitteln ist der Beleuchtungswirkungsgrad zusätzlich vom Leuchtenbetriebswirkungsgrad abhängig. Die Form und Gestaltung des Raumes haben durch das Reflexionsvermögen von Wänden, Fußboden, Decke und Einrichtungsgegenständen einen entscheidenden Einfluss auf die Ausbreitung des Lichtes und damit auch auf die Effizienz der Beleuchtung. Daraus ergibt sich, dass Leuchten hinsichtlich ihrer Effizienz in der Anwendung ausgesucht werden sollten.

Direkt strahlende Leuchten werden daher bevorzugt in Industrie, Handel und Handwerk mit meist schlechten Reflexionsgraden von Decken und Wänden eingesetzt und entsprechend EN 12464-1 [51] den Arbeitsbereichen zugeordnet.

Direkt-indirekt strahlende Systeme erfordern hohe Reflexionsgrade der Decke sowie eine begrenzte Raumhöhe, die eine Nutzung des reflektierten Lichtanteils ermöglicht. Direkt-indirekt strahlende Leuchten mit speziellen Optiken für den Direktanteil sind besonders in Büroarbeitsbereichen erwünscht. Hohe Anforderungen an die Begrenzung der Direkt- und Reflexblendung sind dafür ebenso Gründe wie die hohen Behaglichkeitswerte, die Beleuchtungssysteme mit hohen Deckenaufhellungen in Analogie zur natürlichen Beleuchtung durch den Himmel erreichen. Bei direkter Zuordnung der Leuchten zum Arbeitsbereich erreicht diese Beleuchtungsart häufig bessere Energiebedarfs-

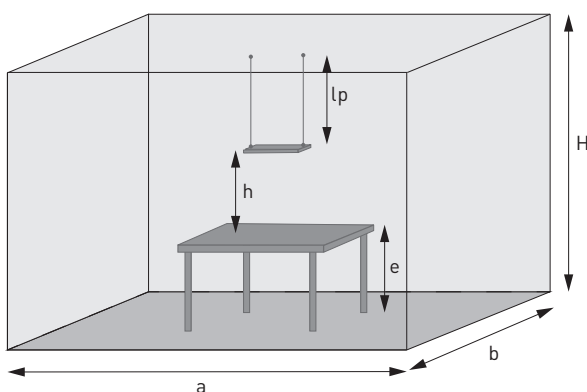


Abbildung 3.20:

Berechnungsparameter für den Raumindex k :

- a Raumlänge in m
- b Raumbreite in m
- $h = H - l_p - e$, Lichtpunkthöhe in m
- H Raumhöhe in m
- l_p Pendellänge bzw. Abhängung der Leuchte von der Decke in m
- e Höhe der Bewertungsebene über dem Boden, z. B. im Büro 0,75 m

werte als eine Allgemeinbeleuchtung des ganzen Raumes mit direkt strahlenden Leuchten (siehe auch Kapitel 4.3.8 „Beleuchtungskonzepte“).

Indirekt, also ausschließlich an die Decke strahlende Systeme benötigen auch bei einem hohen Deckenreflexionsgrad mehr Energie als vergleichsweise direkt strahlende Systeme. Sie sollten nur solchen Fällen vorbehalten sein, bei denen es auf eine starke Deckenaufhellung in Ergänzung zu einer zonalen direkten Beleuchtung ankommt. Beispiele für den Einsatz vollständig indirekter Beleuchtung sind repräsentative Räume wie Empfangs- und Schalterhallen, sowie Museen, in denen wenig Schatten und Reflexe auf den Exponaten gewünscht sind. Auch können Flure und Aufenthaltszonen, insbesondere in Räumen des Gesundheitswesens, mit indirekt strahlenden Wandleuchten besonders akzeptabel und blendfrei beleuchtet werden.

Helle Flächen mit **hohem Reflexionsgrad** erhöhen grundsätzlich den Beleuchtungswirkungsgrad. Dies gilt auch für die Fenster, die nur einen Reflexionsgrad von etwa 10 % haben. Helle Vorhänge können diesen auf 50 % erhöhen. Aber auch dunkle Decken, Wände und Möbel absorbieren viel Licht und erfordern daher für die gleiche Beleuchtungsstärke höhere Lichtströme.

Dies gilt insbesondere in kompakten Räumen und engen Korridoren. Hier muss selbst das Licht rein direkt strahlender Leuchten zu einem großen Anteil – teilweise mehrfach – reflektiert werden, bis es die Nutzfläche erreicht.

Den Proportionen des Raumes wird in der lichttechnischen Planung durch den Raumindex k Rechnung getragen, der die geometrischen Verhältnisse des Raumes in der folgenden Form beschreibt (siehe auch Kapitel 3.7 „Beleuchtungsplanung“ und Kapitel 5.2.5 „Lichtstromklassifizierung von Leuchten und Wirkungsgradverfahren“).

$$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}, \text{ siehe Abb. 3.20}$$

Bei Geometrien mit kleinem Raumindex beeinflussen die Reflexionsgrade der Begrenzungsflächen den Energieverbrauch für die Beleuchtung also in besonderem Maße. Das bedeutet mehr Lampen, Leuchten und mehr Energie. Die Energieeffizienz der Beleuchtung ist damit von der Lichtausbeute der Leuchte und ihrem Beleuchtungswirkungsgrad abhängig. Da sich der Beleuchtungswirkungsgrad seinerseits aus dem Zusammenwirken der Raumgeometrie, den Oberflächeneigenschaften und der Lichtverteilung der Leuchte ergibt, kann die Effizienz einer Leuchte nur in Abhängigkeit ihrer Anwendung sinnvoll bewertet werden. Unabhängig davon ist die Energieeffizienz als Produkteigenschaft nicht definierbar.

3.5.5 Ökodesign-Anforderungen an Lichtquellen

Die Verordnung zur Festlegung von Ökodesign-Anforderungen an Lichtquellen und separate Betriebsgeräte (EU) 2019/2020 [191] regelt, welche Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Lichtquellen, Betriebsgeräten und umgebenden Produkten erfüllt sein müssen, um sie in Europa in Verkehr bringen zu dürfen. Wie schon in der Vorgängerversion werden für Leuchten mit integrierten Leuchtmitteln in der Neuauflage der Ökodesign-Verordnung in der Regel die eingesetzten Leuchtmittel und nicht die Leuchten selbst als Lichtquellen im Sinne der Verordnung betrachtet. Die Leuchte wird hier als umgebendes Produkt betrachtet. Dies gilt für alle Leuchten, aus denen die eingesetzten Leuchtmittel – ungeachtet einer möglichen Zerstörung der Leuchte – durch die Marktaufsichtsbehörden betriebsfähig zu ihrer Überprüfung demontiert werden können. Ist dies nicht möglich, gilt die jeweilige Leuchte als Leuchtmittel.

Einerseits werden Mindestanforderungen an die Lichtausbeute für die marktüblichen Lichtquellen je spezifizierter Lichtquellenart festgelegt. Andererseits werden weitere Kriterien der Nachhaltigkeit des Produktdesigns definiert und bewertet und ihre Dokumentation geregelt.

Die Mindestanforderungen an die Lichtausbeute führen dabei zu einer maximal zulässigen Anschlussleistung in Abhängigkeit vom Nutzlichtstrom:

$$P_{\text{onmax}} = C \cdot (L + \Phi_{\text{use}}/F \cdot \eta) \cdot R.$$

Für die in der Formel verwendeten Faktoren sind in der Verordnung Zahlenwerte für unterschiedliche Lichtquellen hinterlegt:

- C : Korrekturfaktor nach Merkmalen des Aufbaus und Betriebs der Lichtquelle
- L : Endverlustfaktor nach Art der Lichtquelle
- Φ_{use} : Nutzlichtstrom
- F : Lichtausbeutefaktor zur Berücksichtigung von gebündeltem oder ungebündeltem Licht
- η : Schwellenlichtausbeute als Mindestanforderung nach Art der Lichtquelle
- R : CRI-Faktor, $\frac{R_a + 80}{160}$ für $R_a > 25$, sonst 0,65.

Die in den technischen Daten einer Lichtquelle dokumentierte Anschlussleistung darf den Wert von P_{onmax} nicht überschreiten. Anderenfalls darf das Leuchtmittel nicht weiterhin in Verkehr gebracht werden. Die Faktoren sind für marktübliche Leuchtmittel in der Verordnung festgelegt. In Bezug auf wechselbare Leuchtmittel ergibt sich in der Praxis nur für wenige Entladungslampen ein früherer Termin für das Ende des Inverkehrbringens, als er auf der Grundlage der RoHS-Verordnung festgelegt ist (siehe Kapitel 3.5.1). Konkrete Angaben zu Terminen können der Tabelle 3.24 entnommen werden.

In LED-Leuchten dürfen nur Leuchtmittel fest verbaut sein, die den Anforderungen entsprechen. Die Einhaltung der Effizienzkriterien der Ökodesign-Anforderungen ist durch den Leuchtmittelhersteller bzw. Betriebsgerätehersteller zu gewährleisten. Das in der Leuchte eingesetzte Leuchtmittel wird, gemeinsam mit weiteren technischen Daten der jeweiligen Leuchte, in einer zentral eingerichteten Datenbank benannt (siehe Kapitel 3.5.6 „Energieeffizienzkennezeichnung von Leuchtmitteln“).

Als weiteres Kriterium der Nachhaltigkeit fordert die Ökodesign-Verordnung, dass Leuchtmittel und Betriebsgeräte in Leuchten möglichst austauschbar sein sollen. Damit ist jedoch nicht die Verwendung von durch den Nutzer wechselbaren Lampen gemeint, sondern ein möglicher Austausch des für die jeweilige Leuchte spezifischen Leuchtmittels durch Fachpersonal. Sollte eine Austauschbarkeit nicht gegeben sein, ist in der Dokumentation der Leuchte anzugeben und zu begründen, „warum ein Austausch der Lichtquellen und separaten Betriebsgeräte nicht sinnvoll wäre“ [191].

Eine Anleitung für den Ausbau von Leuchtmitteln und Betriebsgeräten muss ggf. für jede Leuchte auf einer frei zugänglichen Website zur Verfügung stehen. TRILUX stellt diese Daten unter www.trilux.com/ecodesign zur Verfügung.

Mit Blick auf ein weiteres in der Verordnung (EU) 2019/2020 [191] genanntes Ziel, „... dass der Ökodesign-Rahmen zur Unterstützung des Übergangs zu einer ressourceneffizienteren Kreislaufwirtschaft genutzt werden sollte“, stellt TRILUX auf Anfrage auch zusätzliche Daten wie z.B. Detailangaben zur stofflichen Zusammensetzung der Leuchten zur Verfügung, die ggf. für die Erstellung eines Gebäudematerialpasses genutzt werden können. Damit leistet TRILUX einen nachvollziehbaren Beitrag über den Verbleib von Produkten im Bestand.

3.5.6 Energieeffizienzkenzeichnung von Leuchtmitteln

In der der Verordnung (EU) 2019/2015 [190] des Europäischen Parlaments und des Rates zur Energieverbrauchskennzeichnung von Lichtquellen sind Anforderungen an die Kennzeichnung von Lichtquellen sowie an die Bereitstellung zusätzlicher Produktinformationen zu diesen Lichtquellen festgelegt.

Für Leuchten erscheint eine solche Kennzeichnung nicht sinnvoll, da ihre Energieeffizienz immer von den in der Anwendung gegebenen Beleuchtungsaufgabe und den örtlichen Rahmenbedingungen abhängt (siehe Kapitel 3.5.4 „Effiziente Leuchten und Raumeigenschaften“). Dies ist dadurch berücksichtigt, dass – wie in der Verordnung (EU) 2019/2020 [191] zu den Öko-design-Anforderungen – auch in der Verordnung (EU) 2019/2015 [190] zur Energieverbrauchskennzeichnung Leuchten mit integrierten Leuchtmitteln als umgebende Produkte betrachtet werden, sofern das Leuchtmittel zur Überprüfung durch die Marktüberwachungsbehörde betriebsfähig entnommen werden kann (siehe oben). Eine Energieverbrauchskennzeichnung von Leuchten ist demzufolge nicht erforderlich.

Die Bewertung des Energieverbrauchs eines Leuchtmittels bezieht sich auf die „Gesamt-Netzspannungslichtausbeute“ η_{TM} . Diese ist als Produkt eines Faktors F_{TM} mit dem Verhältnis des verfügbaren Lichtstroms Φ_{use} P_{on} zur Systemleistungsaufnahme aus der Netzversorgung P_{on} definiert. Der Faktor F_{TM} dient zur Berücksichtigung der Bündelung des Lichts und eines integrierten oder externen Betriebsgerätes:

$$\eta_{TM} = (\Phi_{use}/P_{on}) \cdot F_{TM}$$

Für separate Leuchtmittel, die eigenständig in einer Verpackung angeboten werden, muss ein Label zur Energieverbrauchskennzeichnung gemäß den Gestaltungsvorgaben der vorliegenden Verordnung auf der Verpackung und auf jeder visuell wahrnehmbaren Werbung abgebildet

sein. Zusätzlich sind die Energieeffizienzklasse und weitere Produktparameter wie z.B. Abmessungen, ählichste Farbtemperatur, Farbwiedergabeindex usw. in einer öffentlich zugänglichen Datenbank zu hinterlegen nämlich in der EPREL-Datenbank.

In dieser Datenbank sind auch die Daten der in Leuchten integrierten Leuchtmittel hinterlegt.

Energieeffizienzklasse	Gesamt-Netzspannungslichtausbeute η_{TM} (= $\frac{\Phi_{use}}{P_{on}} \cdot F_{TM}$)	
A	≥ 210 lm/W	
B	185 lm/W bis 210 lm/W	
C	160 lm/W bis 184 lm/W	
D	135 lm/W bis 159 lm/W	
E	110 lm/W bis 134 lm/W	
F	85 lm/W bis 109 lm/W	
G	≤ 85 lm/W	

Faktor F_{TM}	Lichtquellentyp
1,000	ungebündeltes Licht (NDLS, non-directional light source), direkt an die Netzspannung angeschlossen (MLS, mains light source)
0,926	ungebündeltes Licht (NDLS), nicht direkt an die Netzspannung angeschlossen (NMLS, nonmains light source)
1,176	gebündeltes Licht (DLS, directional light source), direkt an die Netzspannung angeschlossen (MLS)
1,089	gebündeltes Licht (DLS), nicht direkt an die Netzspannung angeschlossen (NMLS)

3.5.7 CO₂-Fußabdruck von Leuchten in der Anwendung

Weitere Aspekte zur Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit können mit der Betrachtung des CO₂-Fußabdrucks von Leuchten berücksichtigt werden. Zusätzlich zum Energieverbrauch im Betrieb eines Produktes beinhaltet sein CO₂-Fußabdruck auch das für die Bereitstellung des Produkts erforderliche CO₂-Aufkommen. Es wird also der gesamte Lebenszyklus des Produktes zur Ermittlung des CO₂-Äquivalents (CO₂e) erfasst.

Einerseits kann so das vollständige CO₂-Aufkommen alternativ verwendbarer Produkte mit vergleichbaren Lebensdauern direkt gegenübergestellt werden, andererseits können aber auch die Aufwände für Bereitstellung und Betrieb ins Verhältnis gesetzt werden.

Insbesondere um eine Betrachtungsweise unter letzterem Gesichtspunkt zu ermöglichen, lässt TRILUX für exemplarische Vertreter unterschiedlicher Leuchtenbauformen ihren jeweiligen CO₂-Fußabdruck von einem autorisierten Zertifizierungsinstitut dokumentieren.⁹

Vier Beispiele sollen hier herangezogen werden:

- eine Einbauleuchte der Baureihe Arimo Fit für z. B. die Bürobeleuchtung (Abb. 3.21)
- ein Hallentiefstrahler Mirona Fit mit einem hohen Lichtstrom von 26.000 lm für z. B. die Beleuchtung von hohen Industriehallen (Abb. 3.22)
- eine Feuchtraumleuchte der Baureihe Nextrema mit Aluminium-Druckgusskörper für die Beleuchtung bei rauen Umgebungsbedingungen oder erhöhten Umgebungstemperaturen (Abb. 3.23)
- ein Lichtband-Leuchteneinsatz der Baureihe E-Line z. B. die Beleuchtung von Lager- und Produktionsstätten in Innenräumen (Abb. 3.24).

Die Kenndaten zur Abbildung 3.21 zeigen, dass bei Verwendung einer typischen Standardleuchte für Büroanwendungen mit Stahlblechgehäuse und PMMA-Abdeckung der Betrieb fast 95 % des CO₂-Ausstoßes bedingt. Der Anteil von insgesamt 6 % des CO₂-Ausstoßes, der durch die Bereitstel-

lung bis hin zur Entsorgung der Leuchte verursacht wird, spielt also eine untergeordnete Rolle.

Die Kenndaten zur Abbildung 3.22 zeigen hingegen, dass für diese Leuchte der relative Anteil des CO₂-Ausstoßes für die Bereitstellung und Entsorgung vergleichbar bleibt. Sich für die Nachhaltigkeit günstig auswirkende Skalierungseffekte bleiben in diesem Fall aus. Technischer Aufwand und Materialbedarf steigen für ein großes Lichtstrompaket, dass bei hohen Temperaturen betrieben werden kann, gleichmäßig mit an. Auch auf die Austauschbarkeit des Leuchtmittels (siehe Kapitel 3.5.5 „Ökodesign-Anforderungen an Lichtquellen“) wurde hier verzichtet.

Die Kenndaten zur Abbildung 3.23 machen deutlich, dass die Bereitstellung von Leuchten hoher Schlagfestigkeit und Erschütterungsfestigkeit für extreme Betriebsbedingungen, wie z. B. in diesem Fall, durchaus eine Verdoppelung des relativen Aufwandes bedeuten kann. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass bei Abstrichen auf Kosten der Lichtausbeute oder Lebensdauer der Mehraufwand für den Betrieb oder die Wiederbeschaffung erheblich höher ausfallen würde.

Das letzte Beispiel in Abbildung 3.24 zeigt den Vorteil modularer Systeme. Insbesondere in Industriebetrieben mit langen Nutzungszeiten, z. B. im Dreischichtbetrieb, kann ein Tragschiensystem mehrere LED-Lebenszyklen überdauern. Wenn davon auszugehen ist, dass der Anbieter des Systems dazu bereit und in der Lage ist, spart ein Austausch von Geräteträgern Zeit,

⁹ Die verwendeten Dokumente beziehen sich auf Messungen und den Stand der Technik in den Jahren 2019 und 2020.

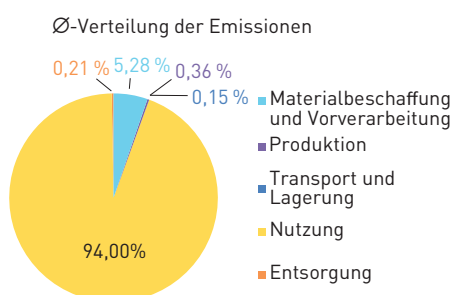


Abbildung 3.21:
 Arimo Fit
 Kenndaten:
 Lichtstrom: 4.200 lm
 Lebensdauer: min. 50.000 h
 Umgebungstemperatur: 25° C
 Schutzart: IP40
 Anschlussleistung: 31 Watt
 Gesamtgewicht: 4,67 kg
 713,935 kg CO₂e

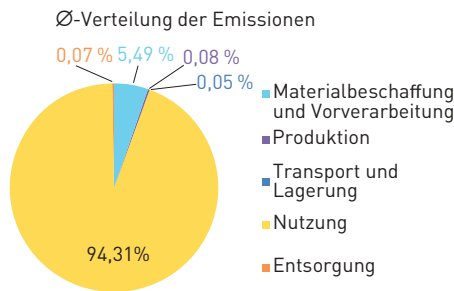


Abbildung 3.22:
Mirona Fit
Kenndaten:
Lichtstrom: 26.000 lm
Lebensdauer: min. 50 .000 h
Umgebungstemperatur: 50 °C
Schutzart: IP65
Anschlussleistung: 188 Watt
Gesamtgewicht: 7,2 kg
3.344,412 kg CO₂e

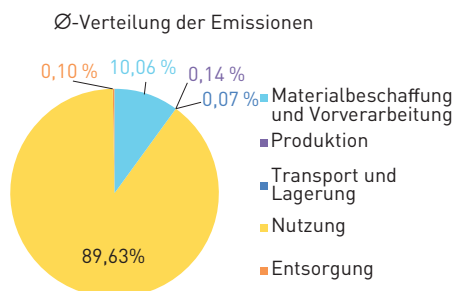


Abbildung 3.23:
Nextrema
Kenndaten:
Lichtstrom: 4.500 lm
Lebensdauer: min. 85 .000 h
Umgebungstemperatur: 50 °C
Anschlussleistung: 30 Watt
Gesamtgewicht: 2,9 kg
954,658 kg CO₂e

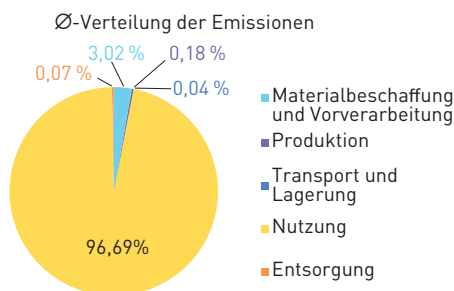


Abbildung 3.24:
ArimoFit
Kenndaten:
Lichtstrom: 8.400 lm
Lebensdauer: min. 70.000 h
Umgebungstemperatur: 45 °C
Schutzart: IP20
Anschlussleistung: 47 Watt
Gesamtgewicht: 3,24 kg
1.489,706 kg CO₂e

Kosten, CO₂ und weitere Ressourcen. Dies jedoch unter der Voraussetzung, dass die Umgebungsbedingungen in dem betreffenden Industriebetrieb eine solche Lösung begünstigen.

Die angeführten Beispiele machen deutlich, dass für typische lichttechnische Anwendungen der CO₂-Ausstoß zu 90 % und mehr dem Betrieb der Beleuchtung zuzuschreiben ist. Die qualitativ hochwertige Ausführung von Leuchtenkörpern und lichttechnischen Komponenten, auch bei

an erschwerende Umgebungsbedingungen angepasst aufwendigerem Materialeinsatz, ist deswegen im Sinne eines zu minimierenden CO₂-Fußabdrucks sinnvoll einzusetzen.

Ein mindestens ebenso hohes Potential liegt darüber hinaus in der sachgerechten Planung bzgl. der vorliegenden lichttechnischen Aufgabe unter Berücksichtigung der räumlichen Rahmenbedingungen (siehe Kapitel [3.5.4](#) „Effiziente Leuchten und Raumeigenschaften“). Insbesondere der Ein-

satz spezifischer, für die jeweilige Anwendung geeigneter Lichttechniken, die mit der Variantenvielfalt moderner LED-Leuchtenbaureihen verfügbar sind, bildet eine gute Basis für Effizienz und Nachhaltigkeit.

3.5.8 Anwesenheitserfassung

Wesentlichen Einfluss auf den Energiebedarf haben weitere installationstechnische Maßnahmen:

- das Reduzieren bzw. Ausschalten der künstlichen Beleuchtung im gesamten Raum oder in Teilen davon bei ausreichendem Tageslichtangebot und
- die Reduzierung bzw. das Ausschalten der künstlichen Beleuchtung im Raum oder in Teilen davon bei Abwesenheit der Personen durch den Einsatz von Präsenz- bzw. Bewegungsmeldern.

Ein großes Einsparpotential elektronischer Lichtmanagementsysteme eröffnet sich demnach durch das Erkennen von Abwesenheitszeiten, zu denen das künstliche Licht nicht – oder nur als Hintergrundbeleuchtung – benötigt wird. Entsprechend kann das Licht zu diesen Zeiten ausgeschaltet oder das Beleuchtungsniveau reduziert werden (siehe auch Kapitel 8.2 „Anwesenheitserfassung“ im Hauptkapitel „Lichtmanagement“).

Die erfassbaren Abwesenheitszeiten sind jedoch sehr stark abhängig von der jeweiligen Nutzung des zu beleuchtenden Raumes. Es ist also im Einzelfall zu entscheiden, ob die Einrichtung einer Anwesenheitserfassung sinnvoll ist und welches Einsparpotential zu erwarten ist. Hinweise zu anwendungsspezifischen relativen Abwesenheiten gibt z.B. die Norm DIN V 18599-10 [26] (siehe Tabelle 3.30).

Bei ausschaltenden Systemen kann darüber hinaus auch noch bzgl. ihres Wiedereinschaltverhaltens unterschieden werden, und zwar zwischen

- **vollautomatischer Schaltfunktion**, die bei Abwesenheit ausschaltet und bei erneuter Anwesenheit wieder einschaltet, und
- **halbautomatischer Schaltfunktion**, die bei Abwesenheit ausschaltet, bei erneuter Anwesenheit jedoch ein manuelles Einschalten erfordert.

DIN V 18599-4 [26] schreibt der halbautomatischen Schaltfunktion ein um 10% höheres Einsparpotential zu.

Das anwesenheitsabhängige Wiedereinschaltverhalten bezieht sich im Allgemeinen auch auf das vorangegangene tageslichtabhängige Ausschalten der Beleuchtung, auch wenn permanent Personen anwesend waren. Ein tageslichtabhängiges Wiedereinschalten, das ohne Anwesenheitserfassung erfolgt, käme hingegen einem Dämmerungsschalter gleich, der vergleichsweise weniger zur Energieeinsparung geeignet ist.

3.5.9 Nutzung des Tageslichts

Das reale Niveau und der örtliche Verlauf des Tageslichts in einem Raum hängen von einer Fülle von Einflussfaktoren ab, wie z.B. von der Größe und Lage der Fenster, ihrer Orientierung bzgl. der Himmelsrichtung sowie von der Art und dem Umfang der Abschattung des Tageslichts durch gegenüber den Fenstern befindliche Gebäude und deren Reflexionsgrad (Verbauung).

Ein vereinfachtes Modell der Tageslichtversorgung eines Innenraumes führt zur Ermittlung seines Tageslichtquotienten. Dabei wird das Tageslicht außerhalb des zu betrachtenden Raumes als rein diffus angenommen. Weiterhin wird angenommen, dass keine Verbauung den Eintritt des Tageslichts beeinflusst. Unter diesen Annahmen ist die Tageslichtversorgung im Innenraum nur noch von der Geometrie des Raumes, den Reflexionseigenschaften der Oberflächen im Raum und der Größe und Lage der Fenster-

flächen abhängig. Dieses Modell hat sich als Werkzeug zur Ermittlung der relativen Verteilung des Tageslichtes im Raum weit etabliert. Der Tageslichtquotient beziffert dabei für jeden Punkt im Raum das Verhältnis der dort resultierenden Beleuchtungsstärke zur sie verursachenden Beleuchtungsstärke im Freien:

$$D_p = \frac{E_p}{E_{\text{außen}}}$$

mit:

D_p Tageslichtquotient am Punkt p im Innenraum

E_p horizontale Beleuchtungsstärke am Punkt p im Innenraum

$E_{\text{außen}}$ horizontale Beleuchtungsstärke außen.

Die Beleuchtungsstärke $E_{\text{außen}}$ ist abhängig von der Tageszeit und der Jahreszeit. Diese Abhängigkeit ist in der Abbildung 3.25 dargestellt. Mit diesen Angaben kann für jeden Zeitpunkt die Beleuchtungsstärke E_p für jeden Punkt ermittelt werden. Die sich in diesem Modell ergebende örtliche Verteilung der Beleuchtungsstärke in einem Innenraum kann dann z. B. in Form von Isoluxlinien mit marktüblicher Lichtplanungs-Software (DIALux, Relux, siehe auch Kapitel 3.7.5) ermittelt und dargestellt werden (siehe Abb. 3.28).

Für eine detailliertere Ermittlung des Niveaus der Tageslichtversorgung werden im Allgemeinen zusätzlich die Verbauung, die Himmelsrichtung der Fenster und weitere äußere Parameter berücksichtigt. Insbesondere bei der Anwendung der Norm DIN V 18599 [26] zur Ermittlung

des Gesamtenergiebedarfs eines Gebäudes (siehe auch Kapitel 3.5.12) werden viele äußere Faktoren mit berücksichtigt, die zur Ermittlung des Energiebedarfs anderer Gewerke, z. B. der Heizung, ebenfalls herangezogen werden.

Lichtregelung

Zur Energieeinsparung kann das Tageslicht genutzt und der Anteil der künstlichen Beleuchtung an der Gesamtbeleuchtung mittels eines automatischen Regelsystems reduziert und ggf. ausgeschaltet werden. Der Tageslichtquotient $D = 0$ beschreibt dabei den fensterlosen Raum (bzw. auch den Innenbereich eines Großraumbüros oder einer Fertigungshalle), der keine Energieeinsparung durch Tageslichtnutzung ermöglicht. Als Tageslichtzonen im Innenraum werden Flächen bezeichnet, deren Tageslicht-

Abbildung 3.25: Horizontale Beleuchtungsstärke E_A bei bedecktem Himmel für 51° nördliche Breite (für Deutschland repräsentativ) in Abhängigkeit von der Jahres- und Tageszeit nach DIN 5034-2 [9] (WOZ – wahre Ortszeit)

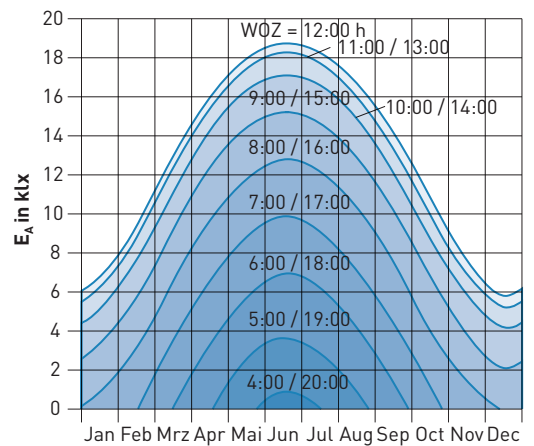
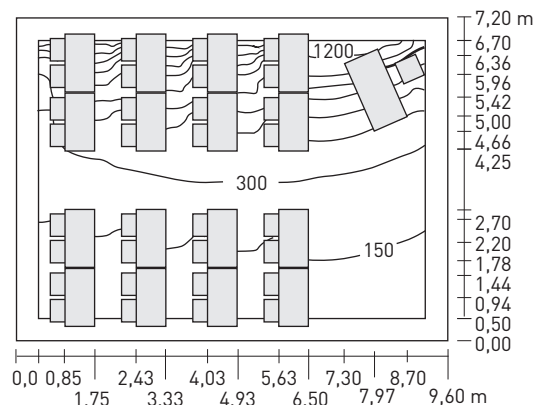


Abbildung 3.25:

Abbildung 3.26: Verteilung der horizontalen Beleuchtungsstärke E_p in einem Klassenraum



quotient in der Nutzebene mindestens 3% beträgt. Der nutzbare Tageslichtanteil in einem Raum ergibt sich aus

- dem mittleren Tageslichtquotienten D im Bereich, in dem sich die Arbeitsplätze befinden,
- der Betriebs-, Nutzungs- bzw. Arbeitszeit und
- dem Wertungswert der Beleuchtungsstärke.

Abbildung 3.29 zeigt ein Standarddiagramm für den nutzbaren Tageslichtanteil für einen Arbeitsraum mit einer täglichen Arbeitszeit (Nutzungszeit) von 7:00 Uhr bis 18:00 Uhr bei tageslichtgesteuerter, künstlicher Beleuchtung für Tageslichtquotienten $D = 0$ bis $D = 20$.

Das Diagramm gilt für 51° nördlicher Breite und ist für Deutschland repräsentativ.

Abbildung 3.27 zeigt ein Büro mit einem fensternahen Arbeitsplatz. Die Beleuchtungsstärke wird am Ort des Arbeitsbereiches gemessen und nötigenfalls durch Ergänzung des Tageslichts mit Kunstlicht konstant gehalten. Das resultierende Licht reicht in der Raumtiefe in jeder Situation aus, um den dort befindlichen Verkehrsbereich adäquat zu beleuchten.

Abbildung 3.28 zeigt anhand eines Klassenraumes, dass Arbeitsplätzen in einer Raumtiefe von 5 m auch bei großen Fensteröffnungen weniger als 30% des Tageslichtangebotes fensternaher Arbeitsplätze zur Verfügung steht. Es muss jedoch sichergestellt sein, dass in allen Arbeitsbereichen die in der lichttechnischen Norm EN 12464-1 [51] aufgeführten Anforderungen an die Beleuchtung erfüllt sind. Entsprechend muss auch in der Raumtiefe jederzeit eine genügende aus Tageslicht und künstlicher Beleuchtung resultierende Beleuchtungsstärke vorliegen, wenn sich dort Arbeitsplätze befinden. Dies ist bei der Auslegung des tageslichtabhängigen Regelsystems zu berücksichtigen (siehe Abbildung 3.28, siehe auch Kapitel 8).

Beispiel für die Nutzung des Tageslichts

In einem **Büro** ist für eine mittlere Beleuchtungsstärke von 500 lx ein spezifischer, elektrischer Anschlusswert von 9 W/m² ermittelt worden. Die Regelarbeitszeit ist von 7:00 Uhr bis 18:00 Uhr, also 11 Stunden am Tag. Die Arbeitsplätze sind im Fensterbereich angeordnet. Der Tageslichtquotient D bezieht sich auf diesen Bereich. Der Energiebedarf ohne Nutzung des Tageslichts

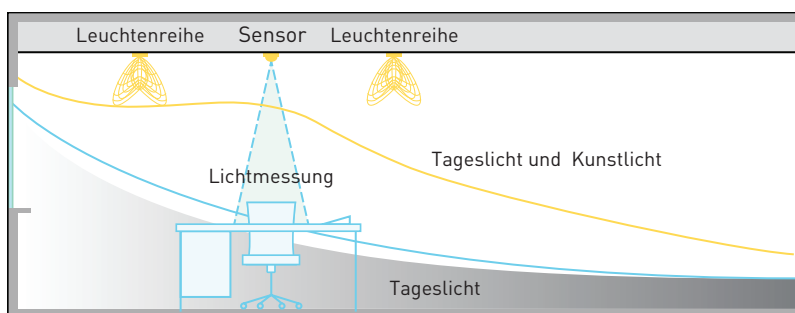


Abbildung 3.27: Schematischer Verlauf der Beleuchtungsstärke des Tageslichts in einem einseitig befensterten Büroraum

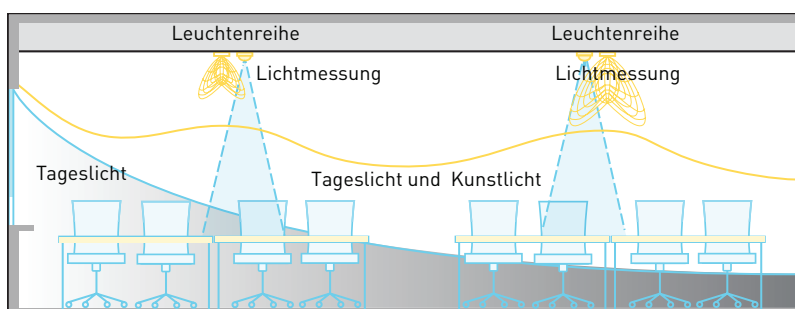


Abbildung 3.28: Schematischer Verlauf der Beleuchtungsstärke des Tageslichts in einem einseitig befensterten Klassenraum

($D = 0\%$) beträgt im Jahresdurchschnitt mit 11 Stunden je Tag und z. B. 250 Arbeitstagen im Jahr $24,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Setzt man den Wert auf 100% , reduziert sich der Energiebedarf für die künstliche Beleuchtung bei tageslichtabhängiger Regelung der künstlichen Beleuchtung je nach Tageslichtquotient D wie in Tabelle 3.25 dargestellt.

Das Beispiel zeigt die durch eine tageslichtabhängige Regelung der künstlichen Beleuchtung nutzbaren Energieeinsparungspotentiale, die bis zu 70% betragen können (die entsprechenden Werte sind in Abbildung 3.29 markiert).

In der Praxis hat es sich bewährt, die möglichen Einsparpotentiale in der oben angedeuteten Reihenfolge zu betrachten:

- Zuerst wird durch eine sinnvolle Auswahl und Anordnung effizienter Leuchten eine Beleuchtungsanlage konzipiert, die mit geringem Energieaufwand eine hohe Beleuchtungsqualität unter optimaler Erreichung der lichttechnischen Anforderungen ermöglicht.
- Dann wird eine elektronische Anwesenheits- erfassung in Erwägung gezogen, da diese in vielen Anwendungsfällen mit relativ geringem Mehraufwand hohe Einsparpotentiale erschließen kann. Insbesondere sind bei ausschaltenden Lösungen keine dimmbaren Leuchten erforderlich. Es ist ggf. darauf zu achten, dass die einzusetzenden Leuchten unempfindlich gegen häufiges Schalten sind. Im Allgemeinen sind hier LED-Leuchten zu bevorzugen.

Tabelle 3.25: Energiebedarf der Beleuchtung eines Büros mit der elektrischen Anschlussleistung gemäß den Mindestanforderungen des GEG (siehe Kapitel 3.5.11) unter Berücksichtigung der Tageslichtnutzung gemäß Abbildung 3.29

Tageslichtquotient	Tageslichtanteil gemäß Abb. 3.29	Energiebedarf %	Energiebedarf $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
0%	0,0	100	24,8
3%	0,35	65	16,1
5%	0,58	42	10,4
7%	0,69	31	7,7

Tabelle 3.25

Abbildung 3.29: Abhängigkeit des Tageslichtanteils der Beleuchtung vom Tageslichtquotienten D bei verschiedenen tageslichtabhängig geregelten Beleuchtungsstärke-Niveaus und einer täglichen Betriebszeit von 7:00 bis 18:00 Uhr

- Zuletzt ist zu entscheiden, ob eine tageslichtabhängige Regelung sinnvoll ist. Dabei ist zu beachten, dass dies im Allgemeinen einen größeren Mehraufwand erfordert, da neben der Sensorik auch dimmbare Leuchten erforderlich sind. Dieser Mehraufwand ist nur dann zu rechtfertigen, wenn nach der Reduzierung der Betriebszeit durch die Anwesenheits- erfassung noch genügend Einsparpotential besteht.

3.5.10 Energieeffizienz von Gebäuden (EPBD)

Mit der Neufassung der EU-Richtlinie 2010/31/EU [140] des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD – Energy Performance of Buildings Directive) ist die im Jahre 2002 erlassene Vorschrift zur Verringerung des Energieverbrauchs und damit des CO_2 -Ausstoßes von Gebäuden überarbeitet worden. Die Richtlinie betrifft die Erfassung der Energiemenge, „die benötigt wird, um den Energiebedarf im Rahmen der üblichen Nutzung des Gebäudes (u. a. Heizung, Kühlung, Lüftung, Warmwasser und Beleuchtung) zu decken“ [140]. Für Nichtwohngebäude ist die zur Erfüllung der Sehaufgabe erforderliche Beleuchtung zu berücksichtigen. Die natürliche Beleuchtung ist möglichst mit einzubeziehen.

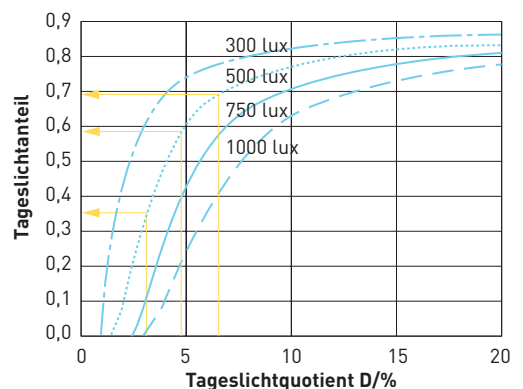


Abbildung 3.29

Die Richtlinie gibt den Rahmen vor, in dem die europäischen Staaten gesetzliche Regelungen zu erlassen haben, um Mindestanforderungen an die Gesamteffizienz von Gebäuden festzulegen und deren Einhaltung zu dokumentieren und zu prüfen. Die Konkretisierung der Anforderungen und der detaillierten Berechnung erfolgt in den Ländern unter Berücksichtigung der unterschiedlichen baulichen und klimatischen Gegebenheiten vor Ort.

Anzuwenden sind die Regelungen für neue Wohn- und Dienstleistungsgebäude sowie für bestehende Wohn- und Dienstleistungsgebäude, wenn größere Renovierungen mit Gesamtkosten von mehr als 25% des Gebäudewerts durchgeführt werden. Einige Ausnahmen zuzulassen, z. B. für kleine Gebäude unter 50 m² und religiös genutzte Gebäude, ist den Ländern freigestellt.

Die Intention der EU-Richtlinie ist darüber hinaus, die energetische Qualität von Gebäuden über einen Gebäudeenergiepass (siehe Abbildung 3.30) zu kennzeichnen, ähnlich der Energiekennzeichnung für Haushaltskühlgeräte oder für Lampen.

In Deutschland sind die Anforderungen an das Gebäude sowie deren Dokumentation und Prüfung im Gebäudeenergiegesetz (GEG) [140] formuliert. Für die Berechnung des Energie-

bedarfs von Nichtwohngebäuden ist die Anwendung der Norm DIN V 18599 [26] durch das GEG verbindlich vorgeschrieben.

In anderen europäischen Ländern existieren entsprechende gesetzliche Regelungen zur Energiebilanzierung in Gebäuden.

3.5.11 Gebäudeenergiegesetz (GEG, ehemalig Energieeinsparverordnung EnEV)

Die Umsetzung der EU-Richtlinie 2010/31/EU [140] in deutsches Recht schreibt in Deutschland seit 2007 die Erstellung eines Energienachweises zur Erteilung einer Baugenehmigung verbindlich vor. Dieser dokumentiert die Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen an die Energieeffizienz des zu errichtenden Gebäudes. Auf seiner Grundlage wird nach der Fertigstellung des Gebäudes ein Energieausweis angefertigt.

Diesen Prozess regelt heute das am 01.11.2020 in Kraft getretene Gebäudeenergiegesetz (GEG) [140]. Dort sind das ehemalige Energieeinsparungsgesetz (EnEG), die zuletzt im Jahr 2014 aktualisierte Energieeinsparverordnung (EnEV 2014) und das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) zu einem Gesetz zusammen-

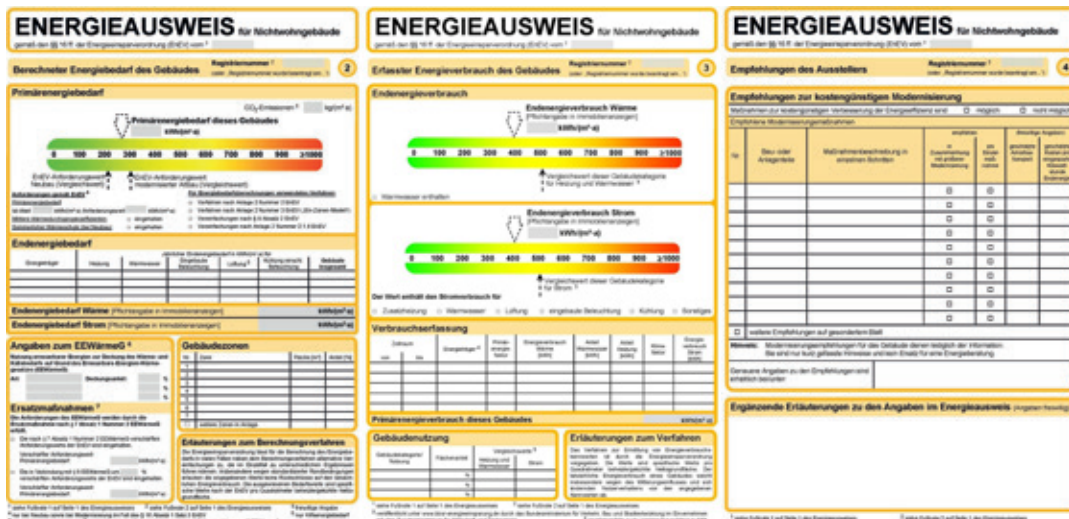


Abbildung 3.30: Beispiel für den Energieausweis eines Gebäudes

Liegen zum Zeitpunkt der Erstellung des Energienachweises nicht alle detaillierten Informationen vor, so kann der Aussteller für betreffende Gewerke den 0,75-fachen Energiebedarf der Referenztechnologie voraussetzen. Dies ist in Bezug auf die Beleuchtung zumeist der Fall, da die Entscheidung für ein konkretes Beleuchtungssystem erst im Rahmen der Elektroplanung fällt, die in der Regel nach der Baugenehmigung erstellt wird.

Die Aufgabe des Lichtplaners

Mit dem vorgestellten Verfahren sind die Mindestanforderungen an die Energieeffizienz der Beleuchtung, die später in der Ausführung eingehalten werden sollten, im Allgemeinen also bereits vor der Elektroplanung festgelegt.

Die **Referenztechnologie der Beleuchtung** ist (unverändert zur EnEV 2014)

- die stabförmige Leuchtstofflampe am EVG,
- der Wartungsfaktor von 0,8 (0,6 für Nutzerprofile 14, 15 und 22),
- die Beleuchtungsart „direkt/indirekt“, außer für die Nutzerprofile 6 und 7 (siehe Tabelle 3.30) und
- die elektronische Anwesenheitserfassung, Konstantlichtregelung und tageslichtabhängige Steuerung, wie in den letzten drei Spalten der Tabelle 3.30 mit den fett gedruckten Kennzeichnungen angegeben.

Dabei ist zu beachten, dass der mit dieser Technologie berechnete Wert noch zusätzlich mit dem Faktor 0,75 zu multiplizieren ist, um den

anteiligen Wert der Beleuchtung am zulässigen Gesamtenergiebedarf des Gebäudes zu bestimmen. Insofern ist die Ausführung eines Gebäudes in Referenztechnologie mit der Einführung des GEG nicht mehr zulässig.

Für Nutzungszonen ohne eingebaute Beleuchtung wird der Energiebedarf einer direkt-indirekten Beleuchtung mit T5-Leuchtstofflampen am EVG angesetzt.

Die Verantwortung bzgl. der Einhaltung der geforderten Energieeffizienz liegt für die Beleuchtung beim Lichtplaner. Alle dazu erforderlichen Kenntnisse, insbesondere die Kenntnis der Verrechnung der zur Baugenehmigung unterstellten Referenztechnologie, werden vorausgesetzt. Die Nichteinhaltung der in einer erteilten Baugenehmigung gestellten Effizienzanforderungen ist eine Ordnungswidrigkeit.

Es steht dem Planer frei, die energetischen Mindestanforderungen mit jeglicher von ihm bevorzugten Technologie zu erfüllen, sofern er die Erfüllung belegen kann (siehe Kapitel 3.5.13 „Beispiele: Energiebedarf für Licht gemäß DIN V 18599-4“).

Mit der Einführung des GEG ist im Vergleich zu den früheren Regelungen der Bezug auf die Vornorm DIN V 18599 [26] von der Fassung aus dem Jahr 2011 auf die Fassung von 2018 aktualisiert worden (siehe Kapitel 3.5.12 „Deutsche Norm DIN V 18599“). Die zwischenzeitlichen Errungenschaften der LED-Technik und ihrer Anwendung

Teil 1:	Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger
Teil 2:	Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen
Teil 3:	Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung
Teil 4:	Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung
Teil 5:	Endenergiebedarf von Heizsystemen
Teil 6:	Endenergiebedarf von Wohnungslüftungsanlagen und Luftheizanlagen für den Wohnungsbau
Teil 7:	Endenergiebedarf von Raumlufttechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau
Teil 8:	Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungssystemen
Teil 9:	End- und Primärenergiebedarf von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen
Teil 10:	Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten
Teil 11:	Gebäudeautomation
Teil 12:	Tabellenverfahren für Wohngebäude

Tabelle 3.26:
Gliederung der Normenreihen DIN V 18599 [26]

sind hier eingeflossen und werden nun – in Bezug auf heutige Maßstäbe – realistischer berücksichtigt.

Das GEG ist unter <https://www.gesetze-im-internet.de/geg/GEG.pdf> als PDF-Dokument zum freien Download verfügbar.

3.5.12 Deutsche Vornorm DIN V 18599

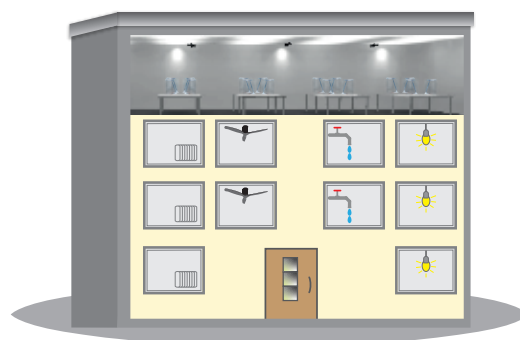
In Deutschland existiert eine Normenreihe (als Vornorm) DIN V 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Beheizung, Kühlung, Belüftung, Warmwasser und Beleuchtung“ [26], die heute in der Fassung vom September 2018 aus 12 Teilen besteht (siehe Tabelle 3.26). Sie ist unter der Federführung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik (IBP) in Stuttgart unter Einbeziehung von Experten aller betroffenen Gewerke aus Industrie, Verwaltung und Wissenschaft erarbeitet worden. Diese Vornorm ist die Grundlage für die Energiebilanzierung im Rahmen der Anwendung des Gebäudeenergiegesetz [140] (GEG, siehe Kapitel 3.5.11).

Vornormen werden i. A. ohne Normentwurf sofort veröffentlicht, um so schnell umgesetzt werden zu können. Der Gesetzgeber kann die Anwendung von Vornormen vorschreiben. Im Fall des aktuellen GEG ist die Anwendung der DIN V 18599 in der Fassung vom September 2018 verbindlich vorgeschrieben.

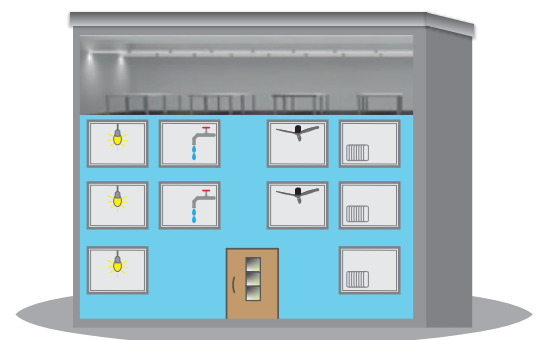
Für die Beurteilung des Energiebedarfs der Beleuchtung sind die Teile 1, 4 und 10 der Norm DIN V 18599 [26] von Bedeutung.

- In Teil 1 werden die allgemeinen, die Gewerke übergreifenden Begriffe und Methoden behandelt.
- DIN V 18599-4 erfasst alle technischen Einflüsse auf den Energiebedarf der Beleuchtung wie die installierte Anschlussleistung des Beleuchtungssystems, die Tageslichtversorgung und die Beleuchtungssteuerung. Die Werte der vielfältigen technischen Einflussgrößen sind hier detailliert in Tabellen hinterlegt.
- In Teil 10 werden die anwendungsspezifischen Größen behandelt. Ihnen liegen umfangreiche Recherchen und statistische Erhebungen zugrunde. Tabellarisch werden diese zu 41 Nutzerprofilen zusammengefasst (siehe Tabelle 3.30).

Abbildung 3.32: Das Referenzwertverfahren des GEG [140] sieht vor, dass das geplante Gebäude zu Vergleichszwecken dupliziert wird und das Duplikat bzgl. der Gebäudehülle und aller haustechnischen Einbauten mit Referenztechnologie ausgestattet wird. Die Referenztechnologie stellt einen Bezug zum energetischen Mindeststandard her. Das 0,75-Fache des für das Referenzgebäude ermittelten Energiebedarfs darf von dem geplanten Gebäude nicht überschritten werden.



(a) Geplantes Haus: Berechnung basierend auf der tatsächlich geplanten Ausstattung



(b) Referenzgebäude: identisch zum geplanten Haus, Berechnung jedoch komplett basierend auf Referenztechnologie (Mindeststandard)

Der Geltungsbereich der Norm in Bezug auf die Beleuchtung umfasst ausschließlich die Beleuchtung zur Erfüllung der Sehaufgabe in Nichtwohngebäuden; dekorative Beleuchtung wird durch diese Norm nicht berücksichtigt. Bei ihrer Anwendung im Rahmen des aktuellen GEG dürfen für Schalterhallen und Verkaufsräume die Werte der mit der gegebenen Installation erzielten Beleuchtungsstärke angesetzt werden, die ggf. höher als in den zugehörigen Nutzerprofilen in Teil 10 der Norm DIN V 18599 angegeben sind (siehe Tabelle 3.30). In Schalterhallen ist der Wert auf maximal 1.550 lx begrenzt, in Verkaufsräumen auf 1.000 lx.

Der Energiebedarf für Beleuchtungszwecke wird in jedem zu betrachtenden Bereich (Raum oder Raumzone) als Produkt aus elektrischer Anschlussleistung (elektrische Bewertungsleistung) und effektiver Betriebszeit der Kunstlichtanlage ermittelt. Die effektiven Betriebszeiten berücksichtigen, ausgehend von der Gesamtbetriebszeit der Beleuchtungsanlage gemäß den in Teil 10 der Norm aufgeführten Nutzerprofilen (siehe Tabelle 3.30), das energetische Einsparpotential aufgrund der Tageslichtnutzung und einer eventuellen Abwesenheit der Nutzer in den jeweils betrachteten Bereichen (siehe Tabelle 3.30 am Ende des Kapitels).

Energiebedarfsfaktor Anschlussleistung

Um die zu installierende elektrische Leistung für die künstliche Beleuchtung eines Raumes zu ermitteln, sind drei Verfahren möglich:

- das Tabellenverfahren
- das vereinfachte Wirkungsgradverfahren
- die detaillierte Fachplanung.

Mit dem **Tabellenverfahren** wird die elektrische Leistung der Beleuchtung (Bewertungsleistung) nach folgender Formel berechnet:

$$p_j = p_{j,lx} \cdot \bar{E}_m \cdot k_{WF} \cdot k_A \cdot k_L \cdot k_{VB}$$

mit

p_j der auf die Raumfläche bezogenen elektrischen Bewertungsleistung für die künstliche Beleuchtung des Berechnungsbereiches j [in W/m^2],

$p_{j,lx}$ der spezifischen Bewertungsleistung [in $W/m^2 \cdot lx$] bezogen auf die Grundfläche und den Wartungswert der Beleuchtungsstärke auf der Nutzebene, für Leuchten mit Referenztechnologie (stabförmigen Leuchtstofflampen und elektronischen Vorschaltgeräten, EVG), in Abhängigkeit des Raumindex und der Beleuchtungsart (direkt, direkt-indirekt oder indirekt, siehe Tabelle 3.27),

\bar{E}_m dem Wartungswert der Beleuchtungsstärke nach EN 12464-1 [51] [in lx],

k_{WF} ($= \frac{0,67}{\text{Wartungsfaktor}}$) dem Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung des Wartungsfaktors,

k_A dem Minderungsfaktor für den Bereich der Sehaufgabe [dimensionslos] (siehe Tabelle 3.30),

k_L dem Anpassungsfaktor Lampe für nicht stabförmige Leuchtstofflampen (= 1 für stabförmige Leuchtstofflampen) [dimensionslos] (siehe Tabelle 3.28) und

k_{VB} dem Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung der Beleuchtung vertikaler Flächen nach DIN V 18599-10.

Der Anpassungsfaktor k_{VB} ist anzuwenden, wenn Regalgänge in einem Raum angeordnet sind, wie z.B. in einer Bibliothek, und sich dadurch der Licht- bzw. Energiebedarf erhöht. Er ergibt sich zu

$$k_{VB} = 1 + a_f \quad \text{mit} \quad a_f = \frac{A_R}{A}$$

als dem Anteil der horizontalen Fläche mit Regalgängen A_R an der gesamten Grundfläche des Raumes A . Die weiteren aufgeführten Faktoren können den in der Norm DIN V 18599 enthaltenen Tabellen entnommen bzw. mit ihnen berechnet werden (siehe Tabellen 3.30 bis 3.28).

Diese verallgemeinerte Betrachtung berücksichtigt keine konkreten Produktdaten der einzusetzenden Leuchten, sondern lediglich deren prinzipielle Form der Lichtverteilung (Lichtstärkeverteilungskurve) und die Art der Lampe und ggf. des eingesetzten Vorschaltgerätes.

Für einen Vergleich mit den Einträgen der Tabelle 3.28 kann k_L jedoch für einzelne Leuchten direkt ermittelt werden:

$$k_L = \frac{64 \frac{\text{lm}}{\text{W}}}{\eta_{\text{Leuchte}}} = \frac{64 \frac{\text{lm}}{\text{W}}}{\eta_s \cdot \eta_{LB}}$$

Dabei ist

- η_s die Systemlichtausbeute des eingesetzten Leuchtmittels mit Betriebsgerät (Herstellerangabe),
- η_{LB} der Betriebswirkungsgrad der eingesetzten Leuchte (Herstellerangabe) und
- η_{Leuchte} die Leuchtenlichtausbeute (z.B. Bemessungslichtausbeute einer LED-Leuchte).

Das Tabellenverfahren ist in den Software-Programmen zur Erstellung des Energieausweises gemäß GEG implementiert (siehe Kapitel 3.5.11).

Das **vereinfachte Wirkungsgradverfahren** bietet eine weitere Möglichkeit zur überschlägigen Ermittlung des Energiebedarfs unter Berücksichtigung der Systemlichtausbeute der Leuchte. Es hat in der Praxis aber nur eine geringe Bedeutung. Mit ihm wird die elektrische Leistung der Beleuchtung (Bewertungsleistung) nach folgender Formel berechnet:

$$p_j = \frac{k_A \cdot \bar{E}_m}{MF \cdot \eta_s \cdot \eta_{LB} \cdot \eta_R}$$

mit

- p_j der auf die Raumfläche bezogenen elektrischen Bewertungsleistung für die künstliche Beleuchtung des Berechnungsbereiches j [in W/m^2],
- k_A dem Minderungsfaktor für den Bereich der Sehaufgabe [dimensionslos],

\bar{E}_m dem Wartungswert der Beleuchtungsstärke nach EN 12464-1 [51] [in lx],

MF dem Wartungsfaktor (Maintenance Factor) [dimensionslos],

η_s der Systemlichtausbeute von Lampe und Vorschaltgerät [in lm/W],

η_{LB} dem Leuchtenbetriebswirkungsgrad [dimensionslos] und

η_R dem Raumwirkungsgrad [dimensionslos].

Für Leuchten mit integrierten LEDs tritt die Bemessungslichtausbeute an die Stelle der Lampenlichtausbeute und des Leuchtenbetriebswirkungsgrades (siehe oben). Der Raumwirkungsgrad η_R kann nach dem Wirkungsgradverfahren ermittelt werden und ist abhängig von der Lichtverteilung der Leuchte, ihrer Position im Raum, der Geometrie des Raumes und den Reflexionseigenschaften der Raumbegrenzungsflächen (siehe auch Kapitel 3.5.4 und Kapitel 5.2.5 „Lichtverteilungsklassifizierung von Leuchten und Wirkungsgradverfahren“). Die Norm DIN V 18599-4 vereinfacht dieses Verfahren, indem nur zwischen drei Lichtverteilungen unterschieden wird, die bezogen auf zehn Raumgeometrien (Raumindizes) zu einer Auswahl von 30 Werten des Raumwirkungsgrades führen, die der Tabelle 3.29 entnommen werden können.

Heute werden Leuchtdaten von den Leuchtenherstellern im Allgemeinen in den Datenformaten der marktüblichen Lichtplanungs-Software-Programme veröffentlicht. Diese Programme nutzen intern weiterhin das Wirkungsgradverfahren zur schnellen Ermittlung der ungefähr benötigten Anzahl der Leuchten. Dieser Ermittlung kann dann auch die spezifische Anschlussleistung entnommen werden, ohne Tabellenwerte manuell bearbeiten zu müssen (siehe auch Kapitel 3.7.4 „Überschlägige Planung mit dem Wirkungsgradverfahren“).

Die **Fachplanung** ist die Grundlage der tatsächlich auszuführenden Installation der Beleuchtungsanlage und bietet somit u.a. die präzise Ermittlung ihrer spezifischen Anschlussleistung. Diese kann dann zur Erstellung des Energieausweises verwendet werden (siehe Kapitel 3.5.11).

Spezifische elektrische Bewertungsleistung $p_{j,lx}$ in $W/(m^2 \cdot lx)$

Beleuchtungsart	Raumindex k											
	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,25	1,5	2	2,5	3	4	5
direkt	0,045	0,041	0,037	0,035	0,033	0,029	0,027	0,025	0,024	0,023	0,022	0,021
direkt/indirekt	0,067	0,059	0,053	0,049	0,045	0,039	0,036	0,032	0,029	0,028	0,026	0,025
indirekt	0,122	0,105	0,090	0,080	0,071	0,058	0,050	0,044	0,039	0,037	0,035	0,033

Anmerkung: Zwischenwerte für den Raumindex können interpoliert werden.

Tabelle 3.27: Spezifische elektrische Bewertungsleistung $p_{j,lx}$, bezogen auf die Grundfläche und den Wartungswert der Beleuchtungsstärke auf der Nutzebene, für Leuchten mit Referenztechnologie (stabförmigen Leuchtstofflampen und elektronischen Vorschaltgeräten, EVG), in Abhängigkeit des Raumindex k

Lampenart	Faktor k_L Vorschaltgerät			
	-	EVG	VVG	KVG
Glühlampen	6	-	-	-
Halogenleuchtstofflampen	5	-	-	-
Leuchtstofflampen stabförmig	-	1,0	1,14	1,24
Leuchtstofflampen stabförmig T5, EVG, effiziente Reflektoren ($\eta_{lb} \geq 0,9$)	-	0,8	-	-
Leuchtstofflampen kompakt, externes Vorschaltgerät	-	1,2	1,4	1,5
Leuchtstofflampen kompakt, integriertes Vorschaltgerät	-	1,6	-	-
Metallhalogenlampen-Hochdruck	-	0,86	-	1
Natriumdampf-Hochdruck	-	-	-	0,8
Quecksilberdampf-Hochdruck	-	-	-	1,7
LED-Ersatzlampen (Ersatz für Glühlampen, auch Retrofit-Produkte genannt)	-	0,9	-	-
LED-Ersatzlampen (Ersatz für Leuchtstofflampen, auch Retrofit-Produkte genannt)	-	0,65	-	-
LEDs in LED-Leuchten als Lichtbänder	-	0,49	-	-
LEDs in LED-Leuchten - Sonstiges	-	0,58	-	-

^a Leuchten speziell für das Leuchtmittel LED konstruiert

Anmerkung aus der Norm: „Aufgrund der Konstruktionsweise von LED-Ersatzlampen haben diese eine zum Teil erheblich abweichende Lichtstärkeverteilung von den Lampen, die sie ersetzen. Sie sind daher nicht ideal auf die Leuchtenreflektoren oder andere optische Systeme abgestimmt, in die sie eingesetzt werden. Hierdurch können sich erhebliche Abweichungen der Lichtstärkeverteilungen der mit Substitutionsprodukten betriebenen Leuchten gegenüber der ursprünglichen Planung und Auslegung ergeben. Durch die thermischen Betriebsbedingungen in der Leuchte können die technischen Werte von LED-Ersatzlampen bezüglich Lichtstrom und Lebensdauer erheblich von ihren Datenblattangaben abweichen. Damit könnten die Anforderungen an die Beleuchtung (z. B. Arbeitsstättenregel, DIN EN 12464-1) nicht (mehr) erfüllt werden.“

Tabelle 3.28: Anpassungsfaktor k_L für unterschiedliche Lampentypen gemäß DIN V 18599-4 [26] in der Fassung von 2018

Beleuchtungsart	φ_U	Raumwirkungsgrad η_R Raumindex k									
		0,6	0,8	1	1,25	1,5	2	2,5	3	5	5
direkt	$\geq 0,7$	0,50	0,61	0,69	0,78	0,84	0,90	0,95	0,99	1,03	1,05
direkt/indirekt	$0,1 \leq \varphi_U < 0,7$	0,29	0,37	0,43	0,50	0,55	0,62	0,67	0,71	0,76	0,79
indirekt	$< 0,1$	0,17	0,23	0,29	0,36	0,41	0,48	0,53	0,57	0,62	0,65

φ_U : Relativer unterer halbräumlicher Lichtstrom der Leuchte

Anmerkung: Zwischenwerte für den Raumindex können interpoliert werden.

Tabelle 3.29: Raumwirkungsgrad η_R für das vereinfachte Wirkungsgradverfahren gemäß DIN V 18599-4 [26]

Energiebedarfsfaktor Abwesenheitserfassung

Das Einsparpotential bzgl. der aufzuwendenden Beleuchtungsenergie durch Nutzung von Abwesenheitszeiten ist abhängig von

- der **jährlichen Gebäudenutzungsdauer**,
- der **relativen Abwesenheit** von Personen, angegeben in % der Gebäudenutzungsdauer, und
- der Art des installierten Anwesenheitserfassungssystems bzw. dessen **Effizienz der Erfassung** der Abwesenheitszeiten.

Die ersten beiden Faktoren sind im Rahmen der Erhebungen zur Erarbeitung der Norm DIN V 18599 [26] statistisch ermittelt und in Teil 10 der Norm in den Nutzerprofilen notiert worden (siehe Tabelle 3.30). Für den letzten Faktor, die Effizienz einer elektronischen Erfassung der Abwesenheitszeiten, wird in Teil 4 der Norm der Wert von 0,95 angegeben.

Dies bedeutet, dass z.B. in einem Einzelbüro bei einer jährlichen Nutzungsdauer von 2.750 h die 30%-ige Abwesenheit zu 95 % erfasst wird, woraus sich für die automatische Ausschaltfunktion

$$2.750 \text{ h} \cdot 0,3 \cdot 0,95 = 784 \text{ h ergibt,}$$

also eine jährliche Betriebszeit der Beleuchtung von 1.966 h übrig bleibt.

Energiebedarfsfaktor Tageslichtnutzung

Das Einsparpotential bzgl. der aufzuwendenden Beleuchtungsenergie durch Nutzung des Tageslichts ist abhängig von

- der jährlichen **Gebäudenutzungsdauer**,
- der etwaigen **Reduzierung der Betriebszeiten** der Beleuchtung aufgrund von Anwesenheitserfassung,
- der **Tageslichtversorgung** in den zu betrachtenden Nutzungszonen,
- dem zu erreichenden Wartungswert der **Beleuchtungsstärke** und
- der Art des installierten Lichtregelsystems bzw. dessen **Effizienz der Regelung**.

Die ersten beiden Faktoren sind aus dem vorangegangenen Kapitel bereits bekannt.

Der an dritter Stelle aufgeführte Faktor, die **Tageslichtversorgung der Nutzungszonen**, ist hingegen stark von baulichen Gegebenheiten (wie z.B. Größe, Position und Ausrichtung der Fenster, Transmissionsgrad der Fensterscheiben, Aufbau der Fassade, Verbauung) abhängig. Die Ermittlung der Tageslichtversorgung erfolgt im Rahmen der DIN V 18599 sehr detailliert und ist vollständig in Teil 4 beschrieben. Neben der Berechnungsformel sind auch Tabellen zur Berücksichtigung der genannten relevanten Faktoren dort zu finden. Für die lichttechnische Planung sind diese Faktoren nicht von Bedeutung und daher in der Regel nicht bekannt. Bei der Erstellung des Energieausweises hingegen sind alle diese Parameter bekannt, da sie für den Gesamtenergiebedarf des Gebäudes bedeutsam sind (siehe Kapitel [3.5.11](#)).

Der letzte Faktor, die Effizienz der Regelung, liegt in Teil 4 der Norm DIN V 18599 in Tabellenform, jeweils den unterschiedlichen Lichtregelfunktionen zugeordnet, vor.

Konstantlichtregelung

Ein weiterer Faktor ist in der DIN V 18599-4 [26] die Konstantlichtregelung. Diese ist nicht zu verwechseln mit der tageslichtabhängigen Regelung. Sie ist grundsätzlich von dieser unabhängig, wird aber in der Regel nur mit ihr gemeinsam realisiert.

Mit der Konstantlichtregelung ist das Herunterregeln der aufgrund des Wartungsfaktors auftretenden, lebensdauerabhängigen anfänglichen Überbeleuchtung gemeint.

Bei einem Wartungsfaktor von 0,8 ist es zum Zeitpunkt der Neuinstallation prinzipiell möglich, die Beleuchtungsstärke unabhängig von der tageslichtabhängigen Regelung – um 20 % auf ihren Wartungswert zu reduzieren. Zum Wartungszeitpunkt steht bei Volllast gerade noch genügend Lichtstrom zur Verfügung. Im zeitlichen Mittel ergibt sich daraus ein Einsparpotential von 10 %.

Energiebedarf für die Beleuchtung in einer Nutzungszone

Eine Nutzungszone ist ein Zusammenschluss aus Bereichen eines Gebäudes, die sich aufgrund der Ähnlichkeit ihrer baulichen Gegebenheiten (z.B. mehrere identische Räume mit gleicher Himmelsausrichtung, jedoch auf unterschiedlichen Ebenen des Gebäudes) und ihrer identischen Nutzung (z.B. Gruppenbüros) zusammenfassen lassen.

Für eine solche Nutzungszone j ergibt sich der **Energiebedarf** $Q_{i,b,n,j}$ [in kWh/a] zu:

$$Q_{i,b,n,j} = p_j \cdot [A_{TL,j} \cdot (t_{\text{eff,Tag,TL},j} + t_{\text{eff,Nacht},j}) + A_{KTL,j} \cdot (t_{\text{eff,Tag,KTL},j} + t_{\text{eff,Nacht},j})]$$

Aus der **Fachplanung** (bzw. der Ermittlung mit dem Tabellenverfahren) ergibt sich [in W/m²]

p_j als die spezifische elektrische Bewertungsleistung der Beleuchtung des Bereiches j .

Die bzgl. der tageslichtabhängigen Regelung zu unterscheidenden **Teilflächen** sind [in m²]

$A_{KTL,j}$ die Teilfläche des Bereiches j , die nicht mit Tageslicht versorgt ist, also vollständig künstlich beleuchtet werden muss, und

$A_{TL,j}$ die Teilfläche des Bereiches j , die mit Tageslicht versorgt wird (siehe oben).

Die **effektiven Zeiten** sind [in h]

$t_{\text{eff,Nacht},j}$ die effektive Betriebszeit während der Nacht im gesamten Bereich j (reduziert durch Anwesenheitserfassung und ggf. Konstantlichtregelung),

$t_{\text{eff,Tag,KTL},j}$ die effektive Betriebszeit am Tage im Teilbereich $A_{KTL,j}$ von j , der kein Tageslicht erhält und daher künstlich beleuchtet wird (reduziert durch Anwesenheitserfassung und ggf. Konstantlichtregelung),

$t_{\text{eff,Tag,TL},j}$ die effektive Betriebszeit am Tage im Teilbereich $A_{TL,j}$ von j , der vom Tageslicht (anteilig) versorgt wird (reduziert durch Anwesenheitserfassung, ggf. Konstantlichtregelung und Nutzung des Tageslichts).

Dabei wird zur Bestimmung des Einsparpotentials der tageslichtabhängigen Lichtregelung auch das Dimmen der Beleuchtung (Reduzierung der Leistungsaufnahme) formal der Reduzierung der effektiven Betriebszeit $t_{\text{eff,Tag,TL},j}$ zugerechnet.

Der Grad der Tageslichtversorgung in der Teilfläche $A_{TL,j}$ wie auch die Größe und Lage der Teilflächen $A_{TL,j}$ und $A_{KTL,j}$ ergeben sich aus den baulichen Gegebenheiten (siehe oben, Abschnitt „Energiebedarfsfaktor Tageslichtnutzung“).

Profil-Nr.	Nutzung	Bel.-Art	k _A	Nutzungszeit	rel. Abw.	empfohlenes Lichtmanagement		
						Ko	Pr	TL
				$\frac{h}{d} \cdot \frac{d}{a} = \frac{h}{a}$				
1	Einzelbüro	dir./indir.	0,84	11 · 250 = 2.750	0,3	x	x	x
2	Gruppenbüro	dir./indir.	0,92	11 · 250 = 2.750	0,3	x	x	x
3	Großraumbüro	dir./indir.	0,93	11 · 250 = 2.750	0	x	-	x
4	Besprechung, Sitzung, Seminar	dir./indir.	0,93	11 · 250 = 2.750	0,5	x	x	x
5	Schalterhalle	direkt	0,87	11 · 250 = 2.750	0	x	-	-
6	Einzelhandel/Kaufhaus (ohne Kühlprodukte)	-	0,93	12 · 300 = 3.600	0	-	-	-
7	Einzelhandel/Kaufhaus (mit Kühlprodukten)	-	0,93	12 · 300 = 3.600	0	-	-	-
8	Klassenzimmer	dir./indir.	0,97	7 · 200 = 1.400	0,25	x	x	x
9	Hörsaal, Auditorium	direkt	0,92	10 · 150 = 1.500	0,25	x	x	-
10	Bettzimmer	dir./indir.	1	24 · 365 = 8.760	0	x	x	-
11	Hotelzimmer	dir./indir.	1	11 · 365 = 4.015	0,25	-	x	-
12	Kantine	dir./indir.	0,97	7 · 250 = 1.750	0	x	-	x
13	Restaurant	-	1	14 · 300 = 4.200	0	-	-	-
14	Küchen	direkt	0,96	13 · 300 = 3.900	0	x	-	-
15	Küche – Vorbereitung, Lager	direkt	1	13 · 300 = 3.900	0,5	-	x	-
16	WC und Sanitärräume	direkt	1	11 · 250 = 2.750	0,9	-	x	-
17	Sonstige Aufenthaltsräume	dir./indir.	0,93	11 · 250 = 2.750	0,5	-	x	-
18	Nebenflächen (ohne Aufenthaltsräume)	direkt	1	11 · 250 = 2.750	0,9	-	-	-
19	Verkehrsflächen	direkt	1	11 · 250 = 2.750	0,8	-	x	-
20	Lager, Technik, Archiv	direkt	1	11 · 250 = 2.750	0,5	-	-	-
21	Serverraum, Rechenzentrum	direkt	0,96	24 · 365 = 8.760	0,98	-	x	-
22	Werkstatt, Montage, Fertigung	direkt	0,85	9 · 230 = 2.070	0,1	x	-	-
23	Zuschauerbereich (Theater und Veranstaltungsbauten)	-	0,97	4 · 250 = 1.000	0	-	-	-
24	Foyer (Theater und Veranstaltungsbauten)	-	1	4 · 250 = 1.000	0,5	-	-	-
25	Bühne (Theater und Veranstaltungsbauten)	-	0,90	10 · 250 = 2.500	0	-	-	-
26	Messe/Kongress	direkt	0,93	9 · 150 = 1.350	0,5	-	-	-
27	Ausstellungsräume und Museum mit konservatorischen Anforderungen	-	0,88	8 · 250 = 2.000	0,5	-	-	-
28	Bibliothek – Lesesaal	dir./indir.	0,88	12 · 300 = 3.600	0	x	-	x
29	Bibliothek – Freihandbereich	dir./indir.	1	12 · 300 = 3.600	0	x	-	-
30	Bibliothek – Magazin und Depot	direkt	1	12 · 300 = 3.600	0,9	-	-	-
31	Turnhalle (ohne Zuschauerbereich)	direkt	1	15 · 250 = 3.750	0,3	x	x	x
32	Parkhäuser (Büro- und Privatnutzung)	direkt	1	11 · 250 = 2.750	0,95	-	x	-
33	Parkhäuser (öffentliche Nutzung)	direkt	1	15 · 365 = 5.475	0,8	x	-	-
34	Saunabereich	direkt	1	12 · 365 = 4.380	0	-	-	-
35	Fitnessraum	direkt	1	15 · 365 = 5.475	0	x	-	-
36	Labor	dir./indir.	0,92	11 · 250 = 2.750	0,3	x	x	x
37	Untersuchungs- und Behandlungsräume	direkt	1	11 · 250 = 2.750	0	x	x	-
38	Spezialpflegebereiche	dir./indir.	1	24 · 365 = 8.760	0	x	-	-
39	Flure des allgemeinen Pflegebereichs	direkt	1	24 · 365 = 8.760	0,8	x	-	-
40	Arztpraxen und therapeutische Praxen	dir./indir.	1	10 · 250 = 2.500	0	x	x	-
41	Lagerhallen, Logistikhallen	direkt	1	24 · 365 = 8.760	0,6	-	-	-

Tabelle 3.30: Nutzungen und Nutzungszeiten gemäß den Nutzerprofilen der DIN V 18599-10 [26] sowie lichttechnische Ausstattung gemäß DIN V 18599-4, Anhang 5
rel. Abw.: relative Abwesenheit (aus DIN V 18599-10)
Ko: Konstantlichtregelung zum Ausgleich des erhöhten installierten Lichtniveaus aufgrund des Wartungsfaktors
Pr: elektronische Anwesenheitserfassung
TL: elektronisches System zur tageslichtabhängigen Konstantlichtregelung
x-Fettdruck, wenn die Empfehlung als Referenztechnologie in die EnEV 2014 [140] übernommen worden ist

3.5.13 Beispiele: Energiebedarf für die Beleuchtung gemäß DIN V 18599-4

2-Personen-Büro

Für ein 2-Personen-Büro mit einer Geometrie gemäß der AMEV-Schrift „Beleuchtung 2019“ [112] kann die nach dem Referenzwertverfahren der EnEV [140] zulässige Anschlussleistung mit dem Tabellenverfahren der DIN V 18599-4 [26] ermittelt werden.

Die Abmessungen des Büros sind:

$$L \cdot B \cdot H = 4,80 \text{ m} \cdot 3,60 \text{ m} \cdot 2,70 \text{ m}$$

Die Fläche des Raumes ist:

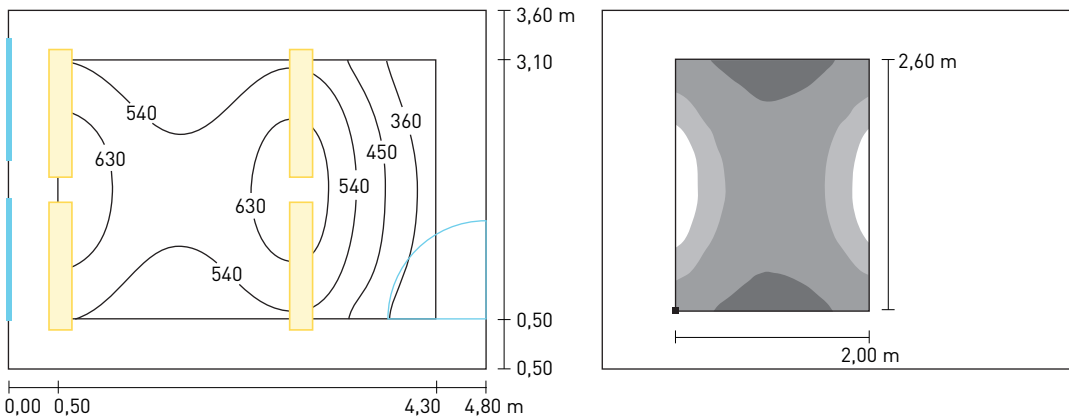
$$A = L \cdot B = 4,80 \text{ m} \cdot 3,60 \text{ m} = 17,28 \text{ m}^2$$

Für

- eine direkt-indirekte Beleuchtung mit spezifischer Bewertungsleistung

$$p_{j,lx} = 0,037 \frac{\text{W}}{\text{lx} \cdot \text{m}^2},$$

- einem Wertungswert der Beleuchtungsstärke $\bar{E}_m = 500 \text{ lx}$ (siehe Tabelle 3.30),
- einem Wartungsfaktor MF (bzw. WF) = 0,8 und dem daraus resultierenden Korrekturfaktor $k_{WF} = 0,8375$ (siehe Absatz „Referenztechnologie der Beleuchtung“ in Kapitel 3.5.11 und Absatz „Energiebedarfsfaktor Anschlussleistung“ in Kapitel 3.5.12),
- einem Anpassungsfaktor für den Bereich der Sehaufgabe $k_A = 0,92$ (siehe Tabelle 3.30),
- einem Anpassungsfaktor für die stabförmige Lampe $k_L = 1,00$ (bzw. 0,58 für die LED-Leuchte gemäß DIN V 18599-4, siehe Tabelle 3.28) und



Fläche	p [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	g_1
Workplane	/	537	281	0,523
Floor	30	387	204	0,528
Ceiling	80	477	83	0,174
Wände [4]	50	257	101	/

Fläche	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	g_1
Task Area	564	452	681	0,802

TRILUX Luceo H CDP LED400-840 03 ETDD (1.000)

Φ (Leuchte)	[lm]	P [W]
	4000	30,0
Gesamt	16000	120,0

Spezifischer Anschlußwert:
 $6,94 \text{ W/m}^2 = 1,29 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$

Raumhöhe: 2.700 m, Montagehöhe: 2.200 m,
 Wartungsfaktor: 0,80
 (Grundfläche: 17,28 m²)

Abbildung 3.33: Beispiel für die spezifische elektrische Anschlussleistung eines Büros unter Verwendung von LED-Leuchten, ermittelt anhand realer Leuchtendaten und auf Basis einer konkreten Beleuchtungsplanung.

- einem Korrekturfaktor für die Regalflächen $k_{VB} = 1,00$ (siehe Kapitel 3.5.12 „Energiebedarfsfaktor Anschlussleistung“)

ergibt sich die spezifische Anschlussleistung

$$p_j = p_{j,lx} \cdot \bar{E}_m \cdot k_{WF} \cdot k_A \cdot k_L \cdot k_{VB}$$

$$= 14,3 \frac{W}{m^2} \left(8,3 \frac{W}{m^2} \text{ für LED} \right)$$

und damit die Gesamtanschlussleistung

$$P_{\text{Raum}} = 246 W \left(143 \frac{W}{m^2} \text{ für LED} \right).$$

Im Vergleich dazu kann eine arbeitszonal orientierte Planung mit LED-Leuchten (siehe Abbildung 3.33) diese maximal zulässige Anschlussleistung deutlich unterschreiten.

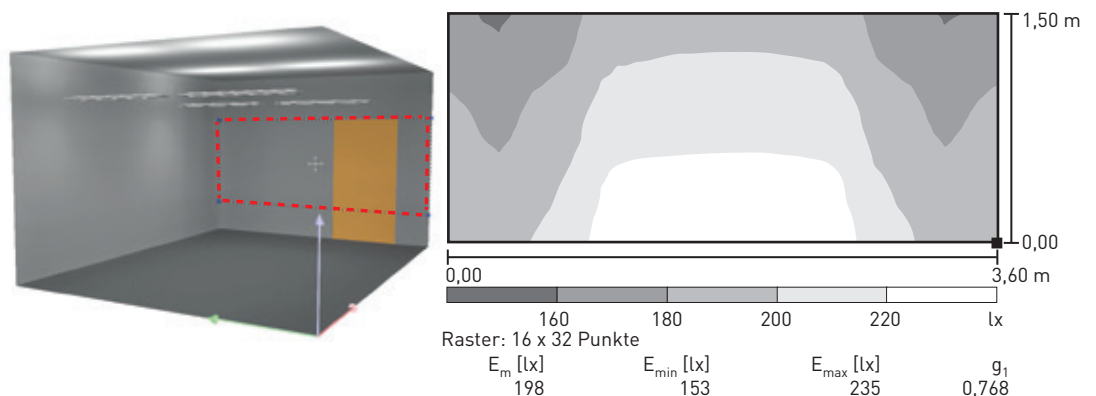
Abbildung 3.34 macht darüber hinaus deutlich, dass mithilfe des indirekten Lichtaustritts hohe vertikale Beleuchtungsstärken und damit ein gutes Modelling (\bar{E}_v/\bar{E}_h , siehe Kapitel 2.8) erreicht werden. Eine angenehme, die Kommunikation fördernde Beleuchtung steigert die Arbeitseffizienz und das Wohlbefinden in einem solchen Raum. Auch vertikale Sehaufgaben (siehe Kapitel 4.3.13) werden optimal unterstützt.

¹¹ Weitere Annahmen gemäß DIN V 18599 [26] Teil 4: Lichtmanagement ausschaltend und nicht wieder einschaltend, Wärmedämmglas, $T_{D65, SNA} = 74$, $T_{\text{eff}, SNA} = 40$, $C_{TL, \text{Vers}, SA} = 0,4$, $C_{TL, \text{Vers}, SNA} = 0,66$, $C_{TL, \text{kon}} = 0,78$

Für eine automatische Anwesenheitserfassung kann gegenüber nicht erfasster Abwesenheit unter Verwendung des Nutzerprofils „Gruppenbüro“ eine mögliche Energieeinsparung von 28,5 % angenommen werden (siehe auch Kapitel 3.5.12, Absatz „Energiebedarfsfaktor Abwesenheitserfassung“). Daraus ergibt sich ein Teilbetriebsfaktor für die Anwesenheitserkennung von $F_{\text{Prä}} = (1 - 0,285) = 0,715$.

Das Energieeinsparpotential der Tageslichtnutzung ist, wie oben beschrieben, in hohem Maße abhängig von der Tageslichtversorgung. Diese wird unter anderem durch die geografische Ausrichtung und die Verschattung der Fenster sowie weitere bauliche Gegebenheiten bestimmt. Unter Annahme einer Ost-/West-Ausrichtung und einer mittleren Tageslichtversorgung der gesamten Fläche des Büroraumes kann der automatischen Tageslichterfassung eine Reduzierung des Energiebedarfs von ca. 52% gegenüber einer Nichtnutzung des Tageslichtes zugeordnet werden.¹¹ Daraus ergibt sich ein Teilbetriebsfaktor für die Tageslichtregelung von $F_{TL} = (1 - 0,52) = 0,48$. Zusätzlich kann das Einsparpotential der Konstantlichtregelung zum Ausgleich der Überbeleuchtung aufgrund des Wartungsfaktors von 10 % genutzt werden (siehe oben, Absatz „Konstantlichtregelung“). Der Teilbetriebsfaktor für die Konstantlichtregelung beträgt $F_{KL} = 0,9$.

Abbildung 3.34: Beispiel für die vertikale Beleuchtungsstärke an der Rückwand eines Büros bei Verwendung abgehängter, direkt-indirekt strahlender LED-Leuchten.



Gegenüber einem Dauerbetrieb während der Arbeitszeit kann mit einem automatisches Lichtmanagement unter den oben gemachten Annahmen der Energiebedarf auf einen Anteil von

$$\begin{aligned} \frac{t_{\text{eff}}}{t_a} &= \frac{t_{\text{eff, Tag}}}{t_a} + \frac{t_{\text{eff, Nacht}}}{t_a} \\ &= \frac{t_{\text{Tag}}}{t_a} \cdot F_{\text{Prä}} \cdot F_{\text{KL}} \cdot F_{\text{TL}} + \frac{t_{\text{Nacht}}}{t_a} F_{\text{Prä}} \cdot F_{\text{KL}} \\ &= \frac{2543\text{h}}{2750\text{h}} \cdot 0,715 \cdot 0,90 \cdot 0,48 + \frac{207\text{h}}{2750\text{h}} \cdot 0,715 \cdot 0,90 \\ &= 0,33 = 33\% \end{aligned}$$

reduziert werden. Das Einsparpotential hat also die Höhe von 67 %.

Großraumbüro

Für das Großraumbüro macht sich im Vergleich zum Gruppenbüro der günstigere Raumindex mit einer deutlichen Reduzierung des Energiebedarfs für die Beleuchtung bemerkbar. Für z. B. die konkreten Abmessungen $L \cdot B \cdot H = 10\text{ m} \cdot 16\text{ m} \cdot 3,0\text{ m}$ ergibt sich ein Anpassungsfaktor für den Bereich der Sehaufgabe $k_A = 0,93$ und ein Korrekturfaktor für den Raumindex $p_{j,lx} = 0,028$. Daraus ergibt sich hier eine spezifische Anschlussleistung von

$$p_j = 10,9 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \left(6,3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \text{ für LED} \right).$$

Allerdings entfällt im Großraumbüro im Allgemeinen ein Einsparpotential durch Anwesenheitserfassung, da aufgrund der hohen Personenanzahl zu keinem Zeitpunkt mit deren

vollständiger Abwesenheit gerechnet werden kann. Es gibt keine „relative Abwesenheit“ (siehe Tabelle 3.30). Im Fall arbeitszonaler Beleuchtungssysteme mit individuellem Lichtmanagement kann jedoch für die Summe der einzelnen Arbeitsplätze eine relative Abwesenheit wie im Einzelbüro angenommen werden (siehe Kapitel 8.1.2 „Individualisierung der Beleuchtung“).

Darüber hinaus ist die mögliche Tageslichtnutzung im Großraumbüro vom Anteil der mit Tageslicht versorgten Fläche, also in hohem Maße vom Grundriss des Raumes, abhängig. Gemäß DIN V 18599-4 [26] ist die maximale Tiefe der Tageslichtversorgung gegeben durch

$$a_{\text{TL,max}} = 2,5 \cdot (h_{\text{St}} - h_{\text{Ne}})$$

mit

- $a_{\text{TL,max}}$ der maximalen Tiefe des Tageslichtbereichs in m,
- h_{St} der Sturzhöhe über dem Fußboden in m und
- h_{Ne} der Höhe der Nutzebene über dem Fußboden in m.

Bei typischen Raumhöhen europäischer Verwaltungsgebäude ergibt sich eine maximale Tiefe des Tageslichtbereichs von ca. $a_{\text{TL,max}} = 4,0\text{ m}$. Bis zu einer Raumtiefe von $1,25 \cdot a_{\text{TL,max}}$ kann ein Raum als vollständig tageslichtversorgt betrachtet werden.



Ein Großraumbüro mit ca. 5 m Raumtiefe und großer Breite entlang der Fensterfront verhält sich bzgl. der Tageslichtversorgung also identisch wie das oben gezeigte Gruppenbüro. Das Einsparpotential des Lichtmanagements ergibt sich unter identischen Randbedingungen (ohne „relative Abwesenheit“) durch

$$\begin{aligned} \frac{t_{\text{eff}}}{t_a} &= \frac{t_{\text{eff, Tag}}}{t_a} + \frac{t_{\text{eff, Nacht}}}{t_a} \\ &= \frac{t_{\text{Tag}}}{t_a} \cdot F_{\text{Prä}} \cdot F_{\text{KL}} \cdot F_{\text{TL}} + \frac{t_{\text{Nacht}}}{t_a} F_{\text{Prä}} \cdot F_{\text{KL}} \\ &= \frac{2543\text{h}}{2750\text{h}} \cdot 1 \cdot 0,90 \cdot 0,48 + \frac{207\text{h}}{2750\text{h}} \cdot 1 \cdot 0,90 \\ &= 0,47 = 47\% \end{aligned}$$

zu ca. 53%.

Bei größerer Raumtiefe kann der zusätzliche Bereich als nicht mit Tageslicht versorgt angenommen werden, wobei die Einsparung durch die Konstantlichtregelung auch hier berücksichtigt werden kann. Bei doppelter Raumtiefe mit nur einer Fensterseite ergibt sich also ein Einsparpotential durch

$$\begin{aligned} \frac{t_{\text{eff}}}{t_a} &= \frac{1}{2} \frac{t_{\text{eff, Tag, TL}} + t_{\text{eff, Nacht}}}{t_a} + \frac{1}{2} \frac{t_{\text{eff, Tag, KTL}} + t_{\text{eff, Nacht}}}{t_a} \\ &= \frac{1}{2} \left(\frac{t_{\text{Tag}}}{t_a} \cdot F_{\text{KL}} \cdot F_{\text{TL}} + \frac{t_{\text{Nacht}}}{t_a} F_{\text{KL}} \right) + \frac{1}{2} \frac{t_{\text{Tag}} + t_{\text{Nacht}}}{t_a} \\ &= \frac{1}{2} \left(\frac{2543\text{h}}{2750\text{h}} \cdot 0,90 \cdot 0,48 + \frac{207\text{h}}{2750\text{h}} \cdot 0,90 \right) + \frac{0,9}{2} \\ &= 0,65 = 65\% \end{aligned}$$

von ca. 35%.

Für die Bereiche ohne Tageslichtversorgung empfiehlt sich in besonderem Maße eine melano-pisch wirksame Beleuchtung (siehe Kapitel [3.3.1](#) „Human Centric Lighting“ ff.). Mit modernen, geeigneten LED-Leuchten und entsprechend spezi-fiziertem Lichtmanagement (siehe Kapitel [3.3.6](#), Absatz „Anforderungen an die Lichtsteuerung“) ist dies heute weitgehend energiebedarfsneutral realisierbar.



Industrie, Metall-/Reparaturwerkstatt

Für eine industrielle Produktionsstätte mit der Sehaufgabe Metall-/Reparaturwerkstatt sind die relevanten Parameter zur Bestimmung der spezifischen Anschlussleistung

- eine direkte Beleuchtung mit spezifischer Bewertungsleistung

$$p_{j,lx} = 0,021 \frac{W}{lx \cdot m^2} \quad (\text{siehe Tabelle 3.27}),$$

- ein Wertungswert der Beleuchtungsstärke $\bar{E}_m = 500 \text{ lx}$ (siehe Tabelle 3.30),
- ein Wartungsfaktor MF (bzw. WF) = 0,67 und der daraus resultierende Korrekturfaktor $k_{WF} = 1$ (siehe Absatz „Referenztechnologie der Beleuchtung“ in Kapitel [3.5.11](#) und Absatz „Energiebedarfsfaktor Anschlussleistung“ in Kapitel 3.5.12),
- ein Anpassungsfaktor für den Bereich der Sehaufgabe $k_A = 0,85$ (siehe Tabelle 3.30),
- ein Anpassungsfaktor für die stabförmige Lampe $k_L = 1,00$ (bzw. 0,58 für die LED-Leuchte gemäß DIN V 18599-4, siehe Tabelle 3.28) und
- bei großen Hallen ein Korrekturfaktor für den Raumindex $k_{VB} = 1,00$ (siehe in Kapitel [3.5.12](#) „Energiebedarfsfaktor Anschlussleistung“).

Es ergibt sich der Wert

$$\begin{aligned} p_j &= p_{j,lx} \cdot \bar{E}_m \cdot k_{WF} \cdot k_A \cdot k_L \cdot k_{VB} \\ &= 8,9 \frac{W}{m^2} \left(5,3 \frac{W}{m^2} \text{ für LED} \right). \end{aligned}$$

Bezüglich des Lichtmanagements ist im Fall der Industriehalle das relative Einsparpotential stark abhängig von der Verfügbarkeit des Tageslichts zu den gegebenen Arbeitszeiten, z. B. bei Mehrschichtbetrieb. Eine Anwesenheitserfassung für die Gesamthalle wird aufgrund der geringen „relativen Abwesenheit“ in der Regel nicht berücksichtigt. Bei der auf einzelne Arbeitsplätze bezogenen Anwesenheitserfassung ist insbesondere die Arbeitssicherheit zu berücksichtigen. Ein Grundniveau der Beleuchtungsstärke von 20% bei Abwesenheit sichert darüber hinaus das in der EN 12464-1 [51] geforderte Leuchtdichteverhältnis weiter entfernter Flächen im Gesichtsfeld zum Arbeitsbereich (siehe Kapitel 2.6).

In Produktionshallen mit Einschichtbetrieb am Tage und mittlerer Tageslichtversorgung durch Sheddächer kann also ein zum Großraumbüro annähernd vergleichbares Einsparpotential durch Tageslichtnutzung angenommen werden.

Ein relativ hohes, von der Tageslichtversorgung unabhängiges Einsparpotential ergibt hier jedoch in der Regel durch die Konstantlichtregelung. Der Ausgleich eines Wartungsfaktors von 0,67 kann schon ein Einsparpotential von 16,5 % bedeuten (siehe Kapitel 3.5.12, Absatz „Konstantlichtregelung“).

In vielen Fällen ist also auch hier ein relatives Einsparpotential durch Lichtmanagement in der Größenordnung von > 50 % zu erwarten.

3.5.14 Umweltverträgliche Entsorgung

In Europa gilt die Richtlinie 2012/19/EU [142] über Elektro- und Elektronik-Altgeräte. Diese Richtlinie ist in nationale Gesetze der EU-Staaten umgesetzt.

Eng mit der Richtlinie über die Altgeräte in Verbindung steht auch die RoHS-Richtlinie 2011/65/EU [141] zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronik-

geräten (RoHS – Restriction of Hazardous Substances). Danach dürfen in Verkehr gebrachte Elektro- und Elektronikgeräte nicht mehr als 0,1 Gewichtsprozent Blei, Quecksilber, Cadmium, sechswertiges Chrom, polybromiertes Biphenyl (PBB) bzw. polybromierten Diphenylether (PBDE) bzw. nicht mehr als 0,01 Gewichtsprozent Cadmium je homogenen Werkstoffs enthalten. Die Gewichtsprozent gelten für alle Leuchten und Lampen einschließlich der elektronischen Komponenten. Für Leuchtstofflampen und Kompakt-Leuchtstofflampen sind gewisse Ausnahmen hinsichtlich der Quecksilbermenge je Lampe zulässig.

In Deutschland sind beide Richtlinien durch das „Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz – ElektroG)“ [142] in seiner derzeitigen Fassung vom 20. Oktober 2015 umgesetzt.

Hauptziele dieser Gesetze sind:

- Vermeidung von Abfällen aus Elektro- und Elektronikgeräten
- Reduzierung der Abfallmenge durch Wiederverwendung, durch Vorgabe von Sammel-, Verwertungs- und Recyclingquoten (z. B. sollen mindestens 4 kg Altgeräte je Bewohner und Jahr gesammelt und einer entsprechenden Verwertung zugeführt werden)
- Verringerung des Schadstoffgehalts der Geräte.

Die Verpflichtung für die Entsorgung, d. h. für die Behandlung, Verwertung und Beseitigung der Geräte, Verantwortung zu übernehmen, veranlasst die Hersteller dazu, den gesamten Lebenszyklus ihrer Produkte in ihre Kalkulation einzubeziehen. Damit macht der Gesetzgeber die Hersteller der Geräte für deren Entsorgung verantwortlich. Der private Verbraucher hat das Recht, die Elektro- bzw. Elektronik-Altgeräte kostenlos an bestimmten Sammelstellen abzugeben. Für gewerblich genutzte Altgeräte sind Art und Ort sowie die Kosten der Rücknahme der Altgeräte zwischen dem Hersteller oder seiner Verbände und den Endnutzern frei vereinbar.

Von der Richtlinie sind betroffen:

- Leuchten für Leuchtstofflampen, s. u.
- stabförmige Leuchtstofflampen
- Kompakt-Leuchtstofflampen
- Entladungslampen, einschließlich Natriumdampf-Hochdrucklampen und Metaldampflampen
- Natriumdampf-Niederdrucklampen
- sonstige Beleuchtungskörper oder Geräte für die Ausbreitung oder Steuerung von Licht.

Ausgenommen sind Glühlampen und alle Leuchten in Haushaltungen.

Alle nach dem 13.8.2005 in den Verkehr gebrachten Elektro- bzw. Elektronikgeräte, wozu auch die in der Richtlinie genannten lichttechnischen Produkte gehören, müssen hinsichtlich der Rücknahmegarantie durch den Hersteller gekennzeichnet sein (siehe Abbildung 3.35).

Durch das Verbot der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe bei der Produktion von Neugeräten sollen Belastungen für Umwelt und Gesundheit von vornherein begrenzt werden und Entsorgungsprobleme gar nicht erst entstehen.

Nach dem in Deutschland gültigen Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW/AbfG) vom 24. Februar 2012 gehören PCB-haltige Kondensatoren und Entladungslampen zu den besonders überwachungsbedürftigen Abfällen, weil sie Schadstoffe, bei Entladungslampen insbesondere Quecksilber, enthalten. Lampen sind verwertbar und müssen deshalb unzerstört zum Entsorger bzw. zur Schadstoffsammelstelle gelangen. Entsorgungspflichtig ist der Abfallerzeuger.

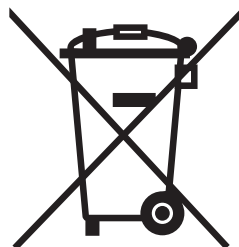


Abbildung 3.35:
Symbol zur
Kennzeichnung
von Elektro- und
Elektronikgeräten mit
Rücknahmegarantie

Entsorgung von Lampen

Für die Lampenindustrie gilt der Grundsatz: Trennen, Sammeln, Entsorgen, Recyceln, Verwerten.

Seit Gründung der Arbeitsgemeinschaft Lampen-Verwertung (AGLV) ist in Deutschland ein flächendeckendes System von Lampenentsorgungsunternehmen aufgebaut worden, zu dem spezielle Lampenverwerter und auch Lampenhersteller mit entsprechenden Entsorgungseinrichtungen gehören. Diese Unternehmen sind qualifiziert, zertifiziert und allgemein anerkannt. Sie werden kontinuierlich und unabhängig überwacht. Die Arbeitsgemeinschaft Lampen-Verwertung (AGLV) wurde Ende 1995 unter dem Dach des Fachverbandes Elektrische Lampen im Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie (ZVEI) e.V. gegründet. Die in der AGLV mitwirkenden Lampenverwerter unterwerfen sich strengen Zertifizierungskriterien und dokumentieren, dass die Lampenverwertung mit effektiven Verfahren besonders umweltverträglich erfolgt. Bei stabförmigen Leuchtstofflampen ist seit vielen Jahren aufgrund ausgereifter Verfahren ein Verwertungsgrad von fast 100 % erreicht. Nähere Informationen zur Entsorgung von Lampen sind in Form einer Broschüre des ZVEI unter <http://www.zvei.org/Publikationen/Sammlung%20und%20Recycling%20Entladungslampen%202008%20D.pdf> als PDF-Datei im Download frei erhältlich.

Glühlampen gehören nicht zum Geltungsbereich des Elektro- und Elektronikgerätegesetzes (ElektroG), sie sind Hausmüll.

Am 15.12.2005 wurde von führenden Lampenherstellern ein Gesellschaftsvertrag bezüglich der Entsorgung von Gasentladungslampen in Deutschland abgeschlossen und das Gemeinschaftsunternehmen „Lightcycle Retourlogistik und Service GmbH“ gegründet. Dieses Unternehmen organisiert treuhänderisch für die Lampenhersteller die bundesweite Behältergestaltung für Entladungslampen an den kommunalen Sammelstellen und deren Abholung sowie die gesamte Entsorgungslogistik. Die anschließenden

de Verwertung der Altlampen erfolgt durch im Wettbewerb stehende Unternehmen. Dieses kollektive Entsorgungssystem stellt sicher, dass seit dem 24.03.2006 die schadstoffhaltigen, entsorgungspflichtigen Gasentladungslampen kostenlos durch den Hersteller bzw. dessen Beauftragten zurückgenommen werden. Daneben können auch gewerbliche Sammelstellen, z. B. des Handels und der Entsorgungswirtschaft, eingerichtet werden. Diese Unternehmen müssen sich dazu registrieren lassen.

Entsorgung von Leuchten

Die Richtlinie 2012/19/EU [142] über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (WEEE) ist in Deutschland durch das „Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz – ElektroG)“ [142] umgesetzt. Danach müssen Elektroleuchten vom Hersteller bzw. dessen Beauftragten zurückgenommen werden. Die Kosten für die Rücknahme und Verwertung soll nach dem Gesetz der Hersteller bzw. Inverkehrbringer übernehmen. Die notwendigen Einzelheiten, insbesondere über die Arbeit der im Gesetz vorgesehenen „gemeinsamen Stelle“, die die Abholung, Rücknahme und stoffliche Wiederverwertung und weitere Pflichten der Hersteller der Elektrogeräte durchführt und gegenüber den staatlichen Aufsichtsstellen verantwortet, sind in Deutschland wie folgt geregelt:

- Alle Leuchten aus privaten Haushalten (auch Leuchten für Leuchtstofflampen) sind vom Gesetz ausgenommen. Die Entsorgung obliegt dem Besitzer.
- Alle Leuchten – technische Leuchten und auch Schmuckleuchten – als Investitionsgüter im gewerblichen Bereich, z. B. auch in Hotels, in der Gastronomie usw., unterliegen dem Gesetz. Wurden diese vor dem 13.08.2005 in Verkehr gebracht, entsorgt diese der Letztbesitzer.
- Leuchten aus Gewerbe, Industrie, Verwaltung und sonstigen Bereichen, die aufgrund ihrer Beschaffenheit und Menge (geringe haushaltsübliche Mengen) mit denen aus privaten Haus-

halten vergleichbar sind, unterliegen nicht dem Anwendungsbereich des Gesetzes und können als Haushaltsmüll betrachtet werden. Das gilt z. B. für alle Leuchten in Arztpraxen, Rechtsanwaltskanzleien, Kleinunternehmen usw.

- Leuchten, die zwar aufgrund ihrer Beschaffenheit mit denen aus privaten Haushalten vergleichbar sind, jedoch in großen Mengen eingesetzt werden, unterliegen ebenfalls dem Gesetz.
- Alle entsorgungspflichtigen Produkte, wie technische Leuchten (Investitionsgüter) und Wohnraumleuchten (Schmuckleuchten), müssen entsprechend gekennzeichnet werden (siehe Abbildung 3.35) und werden aufgrund einer bilateralen Vereinbarung zwischen Nutzer und Hersteller entsorgt.
- Für die Entsorgung ist auch ein Entsorgungspool möglich. Dabei übernimmt ein Entsorgungsunternehmen alle entsorgungspflichtigen Leuchten und verwertet diese gemäß den gesetzlichen Bestimmungen.
- Der Hersteller bzw. Inverkehrbringer (Vertreiber) muss sich beim Elektro-Altgeräte-Register (EAR) registrieren lassen und erhält eine Registriernummer, die im schriftlichen Geschäftsverkehr zu führen ist.
- Die Produkte müssen entweder mit genauen Angaben über Hersteller, Registriernummer usw. oder durch das Symbol (siehe Abbildung 3.35) gekennzeichnet sein.

Leuchten, die dem Gesetz unterliegen, sind den Sammelstellen zuzuführen. Leuchten, die nicht dem Gesetz unterliegen, sind Hausmüll.

Bei TRILUX sind die gesetzlichen Bestimmungen wie folgt umgesetzt worden:

Registrierung

Hersteller und Importeure, die rücknahmepflichtige Produkte in einem EU-Land in Verkehr bringen, müssen sich bei einer zuständigen staatlichen Stelle in dem jeweiligen Land registrieren lassen. In Deutschland ist TRILUX im EAR-Register verzeichnet und hat eine WEEE-Reg.-Nr. erhalten, die in den betreffenden Geschäftspapieren aufgeführt wird.

TRILUX-Auslandsgesellschaften lassen sich in den betreffenden Länder registrieren.

Kennzeichnung

Technische Leuchten und medizinische Versorgungseinrichtungen mit Beleuchtungseinrichtungen, die der Kennzeichnungspflicht unterliegen, werden mit dem Symbol gemäß Abbildung 3.35 (durchgestrichene Mülltonne) gekennzeichnet, und zwar überwiegend auf dem Typenschild.

Rücknahme

Hinsichtlich der Rücknahmeverpflichtung hat TRILUX mit der Firma ISD Interseroh-Dienstleistungs GmbH in Köln einen Vertrag (Entsorgungspool) abgeschlossen, wonach diese Firma die Rücknahme und Entsorgung von TRILUX-Leuchten in Deutschland übernimmt. Unter www.interseroh.de kann die nächstgelegene Annahmestelle ermittelt werden. In anderen Ländern der EU sind ähnliche Branchenlösungen realisiert bzw. werden angestrebt.

Entsorgung von Kondensatoren

Leuchten mit induktiven Vorschaltgeräten benötigen zur Kompensation der Blindleistung Kompensationskondensatoren.

Seit etwa 1930 wurden in vielen Industrieländern bei der Produktion von Starkstrom-Kondensatoren polychlorierte Biphenyle (PCB) als flüssiges Dielektrikum verwendet. Sie zeichnen sich durch hohe elektrische Stabilität und schwere Entflammbarkeit aus. Ende der 60er Jahre wurde erkannt, dass polychlorierte Biphenyle hochgradig toxisch, biologisch schwer abbaubar und ökologisch bedenklich sind. Die Verwendung von PCB wurde 1978 in der Bundesrepublik Deutschland auf bestimmte Anwendungsgebiete (sog. „geschlossene Systeme“), zu denen auch Kondensatoren gehören, beschränkt. Ende der 70er Jahre wurde deutlich, dass sich PCB bei hohen Temperaturen, wie sie z. B. bei Umgebungsbränden auftreten können, zersetzt. Bei bestimmten Temperaturen können Polychlordibenzodioxine (PCDD) und Polychlordibenzofurane (PCDF) freigesetzt werden, von denen toxische Gefahren ausgehen. Diese Erkenntnisse haben dazu

geführt, dass die Produktion von PCB in der Bundesrepublik Deutschland 1982 eingestellt wurde. Gleichzeitig haben auch die Hersteller von Starkstrom-Kondensatoren – ohne dass ein behördliches Verwendungsverbot vorlag – auf den Einsatz polychlorierter Biphenyle verzichtet, weil Ersatzstoffe mit annähernd gleichen dielektrischen Eigenschaften auf den Markt kamen.

Nach der PCB-Abfallverordnung [\[152\]](#), die in Deutschland seit dem 30.06.2000 in Kraft ist, ist grundsätzlich die Verwendung von Erzeugnissen mit einem PCB-Gehalt von mehr als 50 mg/kg verboten.

Nach dem Kreislaufwirtschafts-/Abfallgesetz mit den entsprechenden Rechtsverordnungen muss der Besitzer bzw. der Betreiber von PCB-haltigen Materialien bzw. Geräten die ordnungsgemäße Entsorgung veranlassen. PCB-kontaminierte Feststoffe werden in einer Untertage-Deponie endgelagert, PCB-haltige Flüssigkeiten werden in Hochtemperaturöfen verbrannt. Für die Vorbehandlung, Verpackung und den Transport sind grundsätzlich konzessionierte Abfallvorbehandlungs-, Transport- und Entsorgungsunternehmen einzuschalten.

Entsorgung von Verpackungen

Die Entsorgung der Verpackung von Leuchten wird in Deutschland aufgrund der Verpackungsverordnung [\[151\]](#) seit 1996 einheitlich von der Firma INTERSEROH AG aus Köln, einem überregionalen Unternehmen mit regionalen Entsorgern, übernommen. Die Vertragsnummer 80041 wird auf allen Lieferscheinen genannt.

Nach Übergang der Verordnung in das Verpackungsgesetz (2019) [\[151\]](#), heute in der Fassung von 2022, sind wir zusätzlich im Verpackungsregister registriert. Die Registrierungsnummer lautet: DE4915627624347.

3.6 Gebäudezertifizierung

Nachhaltigkeit ist ein Aspekt, der bei der Erstellung und Sanierung von Gebäuden seit den frühen 1990er Jahren zunehmend einen hohen Stellenwert genießt. Gründe dafür liegen in der intensiven Nutzung von Gebäuden – der Mensch verbringt im Allgemeinen einen Großteil seines Arbeitstages in Nichtwohngebäuden und mehrere Stunden im Innenraum daheim – sowie der langen Zeitspanne von ihrer Erstellung bis zur Sanierung oder Außerbetriebnahme. Die Eigenschaften eines heute geplanten Gebäudes werden demnach über einen langen Zeitraum erhalten bleiben und unser Leben beeinflussen.

Um Nachhaltigkeit zu bewerten, werden weltweit Zertifizierungen von Dienstleistern angeboten, die sich auf unterschiedliche Zertifizierungssysteme stützen. Beispiele dafür sind:

- DGNB (Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V., BRD)
- MINERGIE® (Schweiz)
- BREEAM® (Building Research Establishment Environmental Assessment Method, Großbritannien)
- LEED® (Leadership in Energy and Environmental Design, USA)
- WELL Building Standard® (International WELL Building Institute (IWBI), USA)
- HQE® (Haute Qualité Environnementale, Frankreich)
- CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency, Japan)
- Green Star (Neuseeland).

Alle genannten Zertifizierungssysteme betrachten Kriterien, die weit über die reine Forderung der Energieeffizienz hinausgehen. Dabei liegen die Schwerpunkte etwas unterschiedlich. Dies ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass sie unter Berücksichtigung spezifischer Gegebenheiten in unterschiedlichen Ländern bzw. Kontinenten entwickelt wurden.

Zunehmend bedeutsame Aspekte sind die Gesundheitsförderung und der Komfort. WELL unterscheidet sich dabei von den anderen Systemen, insofern als dass Energieeffizienz in der hier getroffenen Definition von Nachhaltigkeit (siehe Kapitel [3.6.6](#)) nur noch eine untergeordnete Rolle spielt.

Trotz des regionalen Bezugs ihrer Entstehung weisen einige der Systeme aus unterschiedlichen Gründen auch eine gewisse interkontinentale Verbreitung auf.

Alle genannten Zertifizierungssysteme dienen zur Bewertung der Gebäudefunktionen, bei denen der Beleuchtung mehr oder weniger Bedeutung zukommt. Es wird in jedem Fall die Umsetzung der gewünschten Funktionen durch die Gesamtlösung bzw. die Gesamtplanung bewertet. Eine direkte Zertifizierung von im Gebäude verwendeten Produkten, wie z. B. Beleuchtungskomponenten, ist daher nicht vorgesehen. Dennoch kann eine Auswahl geeigneter Leuchten erfolgen, da Anforderungen an die Beleuchtung zur Erreichung entsprechender Bewertungspunkte (sogenannte Credits) innerhalb einer systemischen Gebäudebewertung formuliert werden, die mittels geeigneter Produktperformance und Produkteigenschaften zu erlangen sind.

Alle Zertifizierungssysteme sind von Experten der Gebäudeplanung in Zusammenarbeit mit politischen Institutionen entwickelt worden, worin sich die globale, gesamtgesellschaftliche Bedeutung dieses Themas widerspiegelt.

3.6.1 Zertifizierungsgrad in Europa

Der Anteil der zertifizierten Gebäude am Gesamtbestand bzw. dem aktuell in der Erstellung befindlichen Bauvolumen ist in Europa sehr unterschiedlich. Abhängig ist dies in hohem Maße u. a. von der Bekanntheit und Akzeptanz der Zertifizierungssysteme, insbesondere im Vergleich zu alternativen Bewertungskriterien, und von der Möglichkeit staatlicher Förderungen auf Grundlage der erteilten Zertifizierung.

In der Schweiz, wo eine Förderung auf Grundlage des MINERGIE-Standards (siehe unten) möglich ist, ist der Grad der Zertifizierung relativ hoch. In Frankreich ist insbesondere der Grad der HQE-Zertifizierung von Wohngebäuden relativ hoch. In Großbritannien ist die BREEAM-Zertifizierung gut etabliert.

In Deutschland bestehen für den Neubau und die Sanierung von Gebäuden umfangreiche Regelungen, die sich weitgehend auf deutsche DIN-Normen oder europäische EN-Normen beziehen. Viele dieser Normen sind für den Neubau aufgrund von staatlichen Gesetzen und Verordnungen zwingend anzuwenden. Staatliche Förderungen als Sanierungsanreiz werden häufig für Einzelmaßnahmen, wie z. B. für behindertengerechte Barrierefreiheit oder den Einbruchschutz, auf Grundlage einer erweiterten Anwendung dieser Normen definiert.

Eine besondere Rolle spielt dabei immer noch die Energieeffizienz. Insbesondere bzgl. des Energiebedarfs von Nichtwohngebäuden liegt mit der DIN V 18599 [26] (siehe Kapitel 3.5.12) ein detailliertes Berechnungsverfahren vor, das standardmäßig von Energieberatern eingesetzt wird. Es findet nicht nur in der durch das GEG

[140] geforderten Energieausweiserstellung seine Anwendung. Es dient auch in hohem Maße als Grundlage für Fördermöglichkeiten durch die KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau), die sich auf den Aspekt der Energieeffizienz beziehen.

LEED-, BREEAM- und andere internationale Zertifizierungen (siehe unten) gibt es in Deutschland vor allem aufgrund interner Standards internationaler Konzerne.

Unabhängig von Verpflichtungen und Fördermöglichkeiten ist jedoch der Aspekt einer umfassenden Gesamtbeurteilung der Qualität des Gebäudes ein starkes Argument für eine Zertifizierung, die somit einen klaren Gebäudemehrwert darstellt. Vor diesem Hintergrund lässt sich in der jüngeren Vergangenheit ein ansteigender Trend zur Zertifizierung erkennen, der vor allem im Bereich der Investorengebäude – in Teilmärkten im zweistelligen Prozentbereich – klar zu verzeichnen ist.

3.6.2 DGNB-Zertifizierung

Die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen DGNB e.V. ist eine Non-Profit- und Nichtregierungsorganisation, die es sich zur Aufgabe gemacht hat, nachhaltiges Planen, Bauen und Nutzen von Bauwerken zu fördern. Im Zentrum steht dabei ein Zertifizierungssystem mit den berücksichtigten Themenfeldern

- ökologische Qualität,
- ökonomische Qualität,
- sozio-kulturelle Qualität,
- technische Qualität,
- Prozessqualität und
- Standortqualität.

Das DGNB-Zertifikat wird, je nach Gesamterfüllungsgrad der genannten Anforderungen, in vier Stufen vergeben:

- Bronze (ab 35 %, nur für Bestandsgebäude)
- Silber (ab 50 %)
- Gold (ab 65 %)
- Platin (ab 80 %).

Die DGNB wurde im Jahr 2007 gegründet. Das Zertifizierungssystem ist in 2015 grundlegend überarbeitet und in 2017 aktualisiert worden. Anpassungen und Erweiterungen erfolgen kontinuierlich.

Der Bewertung liegen Nutzungsprofile zugrunde. Je Nutzungsprofil sind die zu erfüllenden Kriterien sowie deren Gewichtung bzgl. der Bewertung definiert. Auch die Nutzungsprofile werden kontinuierlich ergänzt und weiterentwickelt.

Partnerorganisationen im europäischen Ausland adaptieren das DGNB-Zertifizierungssystem. Sie übernehmen das Konzept und passen dies in Zusammenarbeit mit der DGNB an örtliche gesetzliche Vorgaben und Normen an. Auf dieser Grundlage erfährt das DGNB-Zertifikat internationale Verbreitung in nationalen Varianten.

Ebenso kann eine internationale Version des Zertifikats, basierend auf europäischen Normen, vergeben werden. Auf dieser erfolgt international zunehmend eine direkte Zertifizierung, ohne die Notwendigkeit einer vorherigen Adaptation durch eine Partnerorganisation.

Eine Besonderheit des DGNB-Systems ist die Unterscheidung zwischen der Ausstellung eines „Zertifikats“ und eines „Vorzertifikats“. Letzteres basiert auf der Grundlage der Planungsdaten. Dies ermöglicht dem Ersteller des Gebäudes die Nutzung der erteilten Bewertung bereits in der Vermarktungsphase vor Fertigstellung des Gebäudes. Das „Zertifikat“ kann nach Fertigstellung optional zusätzlich vergeben werden.

Die für die Beleuchtung relevanten Kriterien sind in dem DGNB-Verfahren vor allem unter dem Aspekt der „sozio-kulturellen Qualität“ zu finden [164]. Die Erfüllung der europäischen Beleuchtungsnorm EN 12464-1 [51] wird hier als Mindeststandard vorausgesetzt. Zusatzpunkte können bei Übererfüllung erworben werden, wie z. B.:

- Farbwiedergabe $R_s \geq 90$
- Beleuchtungsstärke auf den Wänden $E_{\text{wand}} \geq 150 \text{ lx}$

- automatische oder individuelle Anpassung der Beleuchtungsstärke ($> 800 \text{ lx}$)
- automatische oder individuelle Anpassung der Lichtfarbe im Bereich warmweiß (3000 K) bis tageslichtweiß (6500 K).

Anforderungen an die Art der Anpassung der Lichtfarbe werden im DGNB-System nicht explizit genannt. Hinweise dazu sollten aktuellen Veröffentlichungen (siehe Kapitel 3.3.1 „Human Centric Lighting“) entnommen werden.

3.6.3 MINERGIE®

MINERGIE® ist ein Zertifizierungsverfahren, das in der Schweiz seinen Ursprung hat und in der Praxis weit verbreitet angewendet wird. Seit seiner Einführung im Jahr 1994, ursprünglich in privater Trägerschaft und seit 1998 im „Verein Minergie“/„Association Minergie“(AMI) organisiert, sind über 40.000 Gebäude nach diesem Verfahren zertifiziert worden. In der Schweiz und darüber hinaus in Liechtenstein, Deutschland und Japan ist die Marke MINERGIE® als registrierte Marke geschützt.

MINERGIE® unterscheidet zwischen der dreistufigen Zertifizierung bzgl. des Energiebedarfs eines Gebäudes und einer davon unabhängigen, zusätzlichen Zertifizierung weiterer Nachhaltigkeitskriterien. Die möglichen Zertifizierungen sind (siehe Tabelle 3.31)

- MINERGIE®,
- MINERGIE-P®,
- MINERGIE-A® und
- MINERGIE-ECO®.

Auch der MINERGIE®-Zertifizierungsprozess unterliegt einer permanenten Weiterentwicklung, angepasst an die technischen Innovationen, die zur Verfügung stehen. So ist z. B. der Standard MINERGIE-A® (siehe Tabelle 3.31) im Jahr 2011 eingeführt worden.

Die zusätzlich mögliche Zertifizierung nach dem ECO-Standard wird auf der Internetseite des

Tabelle 3.31:
Zertifizierung nach
MINERGIE® bzgl.
des Energiebedarfs

MINERGIE®, MINERGIE-P® und MINERGIE-A® im Vergleich

	MINERGIE®	MINERGIE-P®	MINERGIE-A®
	Basisstandard von MINERGIE®	Niedrigenergiebauweise	Nullenergiebauten
	normales Haus	gut gedämmtes Haus	Haus mit solaren Gewinnflächen
Primäranforderung an den Heizwärmebedarf, also an die Qualität der Bauhülle	90 % der gesetzlichen Anforderungen	60 % der gesetzlichen Anforderungen	90 % der gesetzlichen Anforderungen
Dichtigkeit der Gebäudehülle	keine Anforderung	Luftwechsel unter 0,6/h	
Außenluftzufuhr	kontrollierbar		
MINERGIE®-Kennzahl Wärme für Raumheizung und Wassererwärmung	38 kWh/m ² a (3,8 Liter Heizöl pro Quadratmeter)	30 kWh/m ² a (3 Liter Heizöl pro Quadratmeter)	0 kWh/m ² a
Haushaltstrom	keine Anforderung	Bestgeräte, Bürobauten: Beleuchtung nach SIA*	Bestgeräte, Bestbeleuchtung
Graue Energie	keine Anforderung	unter 50 kWh/m ² a	
Kombinationsmöglichkeiten	mit ECO kombinierbar		mit MINERGIE-P® kombinierbar
Mehrkosten	höchstens 10 %	höchstens 15 %	keine Anforderung

* Schweizer Norm SIA 380/4:2006 „Elektrische Energie im Hochbau“

¹⁴ Hinweis des Herausgebers: Mit „Grauer Energie“ wird die Energie bezeichnet, die für die Bereitstellung eines Produktes von der Rohstoffgewinnung über die Produktion bis zu seiner Entsorgung – exklusive der für den Betrieb benötigten Energie – benötigt wird. Diese ist für den sogenannten „CO₂-Fußabdruck“ mit zu berücksichtigen.

Vereins wie folgt charakterisiert: „Minergie-ECO ordnet die Anforderungen in sechs Themen. Dabei werden gesundheitliche Aspekte in den Themen ‚Tageslicht‘, ‚Schallschutz‘ und ‚Innenraumklima‘ berücksichtigt. Die Themen ‚nachhaltiges Gebäudekonzept‘, ‚Materialisierung und Prozesse‘ sowie ‚Graue Energie‘¹⁴ beinhalten bauökologische Anforderungen. Der ECO-Katalog umfasst insgesamt 80 Kriterien für Neubauten sowie 78 für Modernisierungen, wovon jeweils 12 Kriterien als Ausschlusskriterien gelten“ (<https://www.minergie.ch/de/zertifizieren/eco/l>).

Die MINERGIE®-Zertifizierung erfolgt nach Fertigstellung des Gebäudes auf der Grundlage von Planungsdaten und von Stichprobenkontrollen. Zusätzliche Dienstleistungen in der Bau- und Betriebsphase des Gebäudes werden von MINERGIE angeboten.

3.6.4 BREEAM®

Das 1990 in Großbritannien vom Building Research Establishment (BRE) entwickelte BREEAM ist das älteste Zertifizierungssystem für die Nachhaltigkeit des Bauens und wurde 2008 umfassend novelliert. Es umfasst heute die 10 Beurteilungskategorien

- Energie,
- Gesundheit und Wohlbefinden,
- Innovation,
- Landverbrauch und Ökologie,
- Material,
- Management,
- Umweltverschmutzung,
- Transport,
- Abfall und
- Wasser

und betrachtet den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes.

In jeder Kategorie wird eine Mindestpunktzahl gefordert. Die gewichtete Summe der Punkte

aller Kategorien führt zu einer Gesamtbewertung. Zertifikate werden in den vier Abstufungen

- „Passed“,
 - „Good“,
 - „Very Good“ und
 - „Excellent“
- erteilt.

BREEAM® ist das weltweit wohl meist angewendete Zertifizierungssystem. Nach eigenen Angaben auf der BREEAM-Internetseite <http://www.breeam.com/> sind derzeit weltweit in 76 Ländern 2.266.900 Gebäude für eine Bewertung nach BREEAM registriert und mehr als 571.000 Gebäude zertifiziert (Stand Januar 2020). Zertifizierungsgesellschaften, die BREEAM-Zertifizierungen durchführen, gibt es in Europa in den folgenden Ländern:

- Niederlande
- Spanien
- Norwegen
- Schweden
- Deutschland
- Österreich.

3.6.5 LEED®

Das vom U.S. Green Building Council (USGBC) im Jahr 1998 eingeführte LEED-Zertifizierungssystem ist international verbreitet. Auch dieses System wird permanent an neue Entwicklungen angepasst. Die neueste Version ist LEED v4, die im Oktober 2013 veröffentlicht wurde und ist seit Oktober 2016 verbindlich anzuwenden ist. Eine nachfolgende Version LEED v4.1 befindet sich als Beta-Version in der Erprobung. Etwa 60 % der LEED-zertifizierten Gebäude befinden sich in den USA.

Auch in Europa wird durch zahlreiche Zertifizierungsstellen die LEED-Zertifizierung angeboten. Die häufigste Anwendung findet sie bei Gebäuden internationaler Konzerne, für deren Immobilien eine LEED-Zertifizierung ggf. obligatorisch ist.

LEED berücksichtigt die folgenden Hauptkriterien:

- nachhaltiger Standort
- Wasserwirksamkeit
- Energie und Atmosphäre
- Materialien und Ressourcen

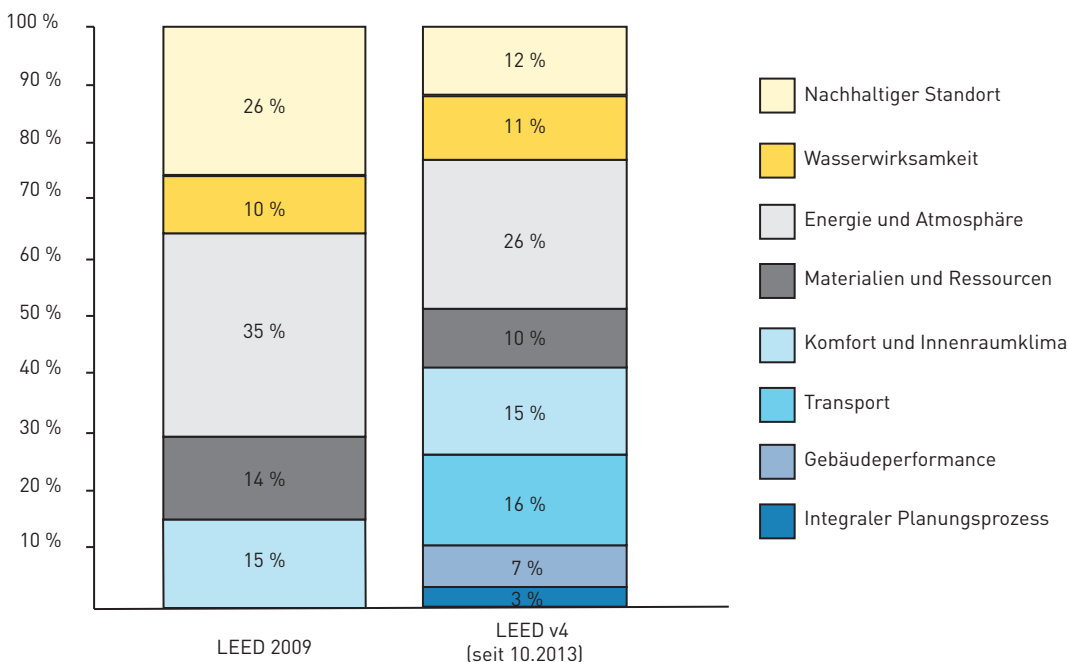


Abbildung 3.40: LEED, Gewichtung der Kriterien

- Komfort und Innenraumklima
- Transport
- Gebäudeperformance und
- integraler Planungsprozess.

Es werden 110 Punkte vergeben. Das LEED-Zertifikat wird je nach erreichter Punktzahl in vier Stufen ausgestellt:

- „LEED Certified“ (40 bis 49 Punkte)
- „LEED Silver“ (50 bis 59 Punkte)
- „LEED Gold“ (60 bis 79 Punkte)
- „LEED Platinum“ (80 bis 110 Punkte).

Die Gewichtung der Kriterien ändert sich mit der fortschreitenden Entwicklung des Verfahrens. Die Beleuchtung spielt insbesondere bei den Kriterien Energie, Komfort und Gebäudeperformance eine Rolle. Im Bereich des Komforts ist die Individualität im LEED-System ein wichtiger Aspekt, der mit geeigneten Steuerungssystemen der Beleuchtung unterstützt werden kann (siehe auch Kapitel [8.1.2](#)). Die Berücksichtigung guter Beleuchtungssysteme bei der Zertifizierung kann entscheidende Punkte einbringen, um die nächsthöhere Stufe zu erklimmen. Auch hier kann eine Auswahl von Leuchten erfolgen, die zur Erfüllung der Anforderungen besonders geeignet sind.

Eine Besonderheit des LEED-Systems ist derzeit, dass es den Nutzen integraler Planungsprozesse bereits berücksichtigt. Auch für die Anwendung z.B. eines BIM-Verfahrens (siehe Kapitel [3.7.8](#)), das während der Planung bereits verlässliche Rückschlüsse auf den späteren Betrieb des Gebäudes zulässt, können Punkte für die Zertifizierung erlangt werden.

3.6.6 WELL Building Standard®

Das Zertifizierungsverfahren nach dem „WELL Building Standard“ ist im Jahre 2013 in den USA entwickelt worden und stellt damit das jüngste Zertifizierungsverfahren dar, das sich derzeit auf dem Markt befindet.

Im Gegensatz zu den anderen hier aufgeführten Zertifizierungen, die ihren Ursprung in ökologischen Anforderungen haben und im Rahmen der Weiterentwicklung des jeweiligen Verfahrens um weitere Aspekte der Nachhaltigkeit ergänzt wurden, bezieht sich das WELL Building System primär auf die Nutzungsqualität des betrachteten Gebäudes. Dabei ist es die Gesundheitsförderung, bzw. die gesundheitliche Verträglichkeit, die die hier getroffene Definition der Nachhaltigkeit dominiert. Die Energieeinsparung spielt eine eher untergeordnete Rolle.

Wie viele andere Zertifizierungssysteme beruht auch WELL auf einem Punktesystem, das eine Klassifizierung bis zum Prädikat „Platin“ ermöglicht. Die zu berücksichtigenden Kriterien sind hier:

- Air (Raumluft)
- Water (Wasser)
- Nourishment (Ernährung)
- Light (Licht)
- Fitness
- Comfort (Behaglichkeit)
- Mind (Psychisches Wohlbefinden).

Auffällig ist, dass die Verbesserung des **subjektiven** Befindens des einzelnen Nutzers im Fokus steht. Dazu werden objektivierbare Kriterien herangezogen, von denen einige in Europa bereits aufgrund geltender gesetzlicher Bestimmungen des Arbeits- und Gesundheitsschutzes gefordert sind. Darüber hinaus betreffen die Forderungen aber nicht nur die immobile Gebäudeausstattung, sondern im Falle des Punktes „Nourishment“ sogar Verbrauchsgüter. So dürfen gemäß den Anforderungen des WELL-Standards z.B. Getränke maximal 30g Zucker pro Flasche oder Dose enthalten, um in den betreffenden

Gebäuden zum Konsum angeboten werden zu dürfen.

In Bezug auf das Licht gehen auch hier die verwendeten Komponenten – also z. B. die Leuchten – mittelbar in die Bewertung ein, indem sie durch ihre spezifischen Eigenschaften die geforderte Wirkung der geplanten Beleuchtungssituation ermöglichen bzw. fördern. Dem entsprechend kann es, wie auch beim LEED- oder DGNB-Zertifizierungssystem, keine zertifizierten Produkte geben, sondern nur Konzepte, welche mit geeigneten Komponenten umgesetzt sind und die Bewertungskriterien des WELL-Standards unterstützen.

Wichtige Aspekte der Beleuchtung sind

- die Vermeidung von Blendung,
- eine ausgewogene Umfeldbeleuchtung,
- eine geeignete Automatisierung der Beleuchtung,
- die Unterstützung des circadianes Rhythmus und
- weitere Anforderungen an die spektralen Eigenschaften der Beleuchtung (siehe Kapitel [9.2.3](#) „Farbwiedergabe“).

Die Anforderungen an Blendungsbegrenzung und Umfeldbeleuchtung sind mit der Einhaltung der Norm EN 12464-1 erfüllt.

Zur Unterstützung des circadianen Rhythmus werden in Abhängigkeit von der im Raum zu verrichtenden Tätigkeit unterschiedlich hohe vertikale, melanopisch wirksame Beleuchtungsstärken im Gesichtsfeld gefordert (siehe Tabelle 3.32).

Eine Dynamik der Beleuchtung, z. B. durch einen automatisierten tageszeitlichen Verlauf, wird im WELL-Standard nicht definiert. Ihre Umsetzung ist jedoch naheliegend (siehe Kapitel 3.3.6), insbesondere in Bereichen, in denen ein Lichtmanagement zum Zweck der Energieeinsparung ohnehin gefordert ist.

3.6.7 HQE®

Das HQE®-Zertifikat ist im Jahr 2005 von der 1996 in Paris gegründeten „Association pour la Haute Qualité Environnementale“ (ASSOHQE) eingeführt worden. Es zielte zunächst auf den Neubau und die Sanierung bestehender Büro- und Schulgebäude, ist später jedoch auch für die Bewertung von Wohngebäuden weiterentwickelt worden. Heute ist seine Anwendung schwerpunktmäßig im französischen Wohnungsbau zu sehen. Ein internationale Ausrichtung wird jedoch angestrebt. Die Anzahl der zertifizierten Projekte beträgt weltweit ca. 380.000 (<http://www.behqe.com/fr/hqe-dans-le-monde/cartographie-des-projets>). Zur Qualitätssicherung findet bei dem HQE®-Verfahren nach jeder Phase – Beauftragung, Entwurf und Fertigstellung – eine Bewertung statt, die als Basis für die Zertifizierung dient.

Es können drei Stufen des Zertifikats erreicht werden:

- Grundniveau
- Leistungsniveau
- Hochleistungsniveau.

Anwendung	äquiv. melanopische Lux (EML)
Arbeitsstätten	200 EML durch Tageslicht und elektrische Beleuchtung für 75% aller Arbeitsplätze von 9:00 Uhr bis 13:00 Uhr 150 EML an jedem Arbeitsplatz, allein durch elektrische Beleuchtung
Wohnbereich	200 EML in 1,2 m Höhe, durch elektrische Beleuchtung, ggf. tageslichtabhängig gedimmt 50 EML in 76 cm Höhe
Pausenräume	250 EML in 1,2 m Höhe
Bildung	125 EML in 1,2 m Höhe für mind. 4 Stunden für Schüler unter 25 Jahren höhere EML-Werte für ältere Schüler gemäß Tabelle IES-ANSI RP-3-13

Tabelle 3.32: Geforderte melanopisch wirksame Beleuchtungsstärken (EML: Equivalent Melanopoic Lux) siehe Kapitel [3.3.2](#) „Melanopische Wirksamkeit des Lichts“ gemäß WELL Building Standard

Dazu dienen 14 Bewertungskriterien, die in 4 Klassen eingeteilt sind:

ÖKOLOGISCHES BAUEN

- Bezug der Gebäude zu ihrer unmittelbaren Umgebung
- integrierte Auswahl der Bauverfahren und -produkte
- geringe Umweltbelastung durch die Baustelle

ÖKOLOGISCHES MANAGEMENT

- Energiemanagement
- Wassermanagement
- Abfallmanagement für die zum Projekt anfallenden Abfälle
- Wartungs- und Instandhaltungsmanagement

KOMFORT

- hygrothermischer Komfort
- akustischer Komfort
- visueller Komfort
- Geruchskomfort

GESUNDHEIT

- gesundheitliche Qualität der Räume
- gesundheitliche Qualität der Luft
- gesundheitliche Qualität des Wassers.

3.6.8 CASBEE-Zertifizierung

CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency) ist ein Zertifizierungssystem, das speziell für den japanischen und darüber hinaus für den asiatischen Markt entwickelt wurde. Es wurde im Jahr 2001 eingeführt und seitdem regelmäßig weiterentwickelt und aktualisiert. Bis heute sind über 500 Zertifikate vergeben (<http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/certificationE.htm>). CASBEE berücksichtigt insbesondere die Eignung von Gebäuden bzgl. der örtlichen Umweltbedingungen in Japan, wie z. B. Erdbebensicherheit.

Eine Besonderheit des Systems ist, dass die Punkte in der Bewertung für die Qualität des Gebäudes und den dafür erforderlichen Aufwand getrennt aufsummiert werden, um im Anschluss den Quotienten daraus zu bilden:

$$\text{Masszahl} = \frac{\sum \text{Punkte}_{\text{Qualität}}}{\sum \text{Punkte}_{\text{Aufwand}}}$$

Somit repräsentiert die **Masszahl** formal-mathematisch tatsächlich die Effizienz, also das Verhältnis des erreichten Ergebnisses zum dafür erforderlichen Aufwand, der Maßnahme.

3.7 Beleuchtungsplanung

Die Planung der Innenbeleuchtung ist meist eine komplexe Aufgabe, die jedoch durch Kooperation zwischen

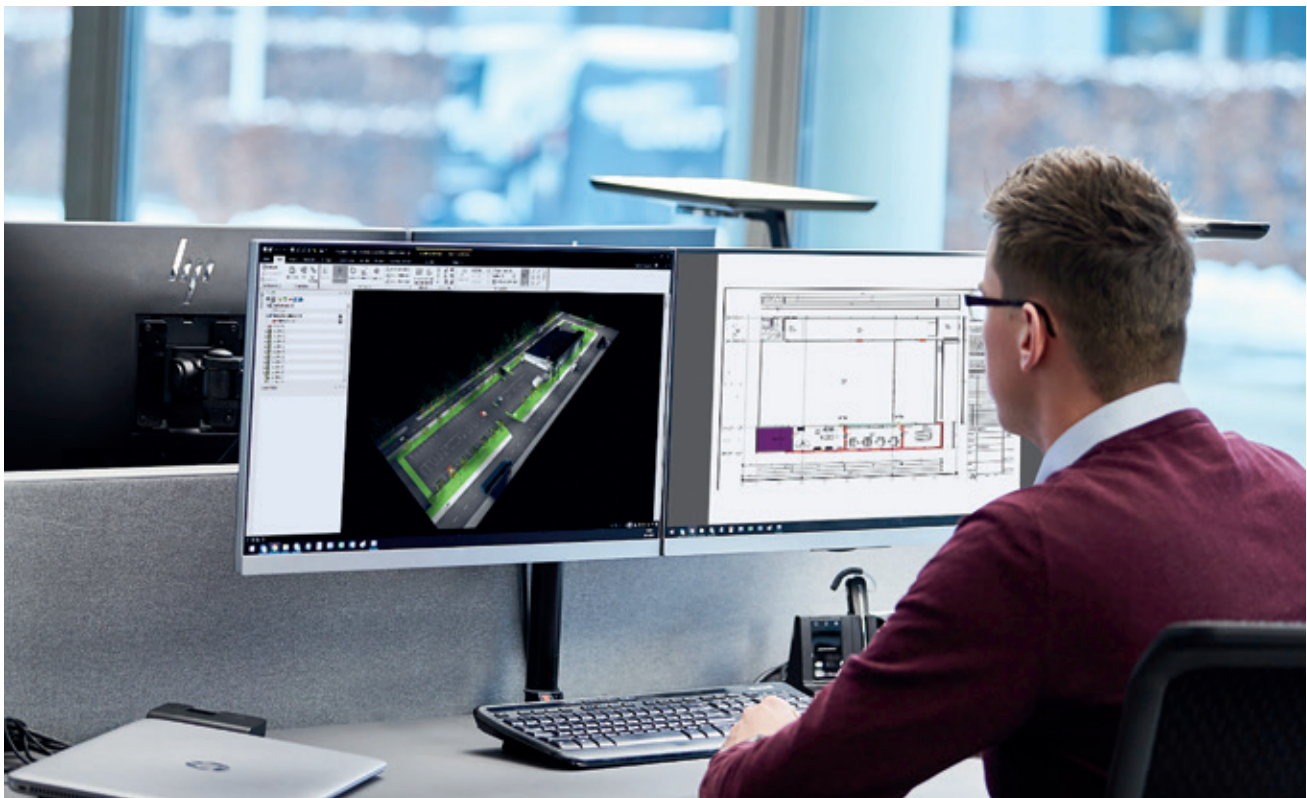
- dem Bauherren,
 - den Architekten,
 - den Lichtplanern,
 - den Fachingenieuren der Haustechniken wie der Elektroinstallation, Heizungs- und Klimatechnik und Akustik sowie
 - den Innenarchitekten
- erfolgreich gelöst werden kann.

Insbesondere müssen die Anforderungen an die Sehaufgabe, die Lichtqualität, die raumgestalterische Wirkung des Lichts, die ästhetische und funktionale Arbeitsplatzgestaltung, die Ergonomie, die Arbeitsablauforganisation, die Wirtschaftlichkeit und in dem Zusammenhang auch die laufenden Kosten für den Betrieb der Beleuchtungsanlage und deren Energieverbrauch

in der interdisziplinären Planung berücksichtigt werden.

Planung der Beleuchtung ist daher mehr als nur Berechnung der Beleuchtung: Um den erweiterten Kriterien guter Beleuchtung gerecht zu werden (siehe Kapitel 1 „Gute Beleuchtung“), entscheiden gelungene Synergien zwischen Innenarchitektur und Beleuchtung über den Erfolg der Planung.

Der Lichttechniker steuert zu dieser Teamarbeit sein Fachwissen über die visuellen Anforderungen an die Beleuchtung aufgrund der Seh- und Arbeitsaufgabe, der architektonischen Gestaltung und der Nutzung der Räume bei. Er setzt Normen und Richtlinien der künstlichen Beleuchtung, Methoden der Beleuchtungsberechnung und seine Erfahrungen bei der praktischen Umsetzung umfassender lichttechnischer Güteanforderungen ein. Daneben berücksichtigt er auch relevante Sicherheitsbelange. In Zusammenarbeit mit dem Innenarchitekten wird das



Lichtkonzept zur Akzentuierung des Raumes und zur Stimulierung seiner Nutzer bereits in der Planung berücksichtigt und damit um die emotionalen und darüber hinaus auch um die biologischen Wirkungen erweitert.

Insbesondere mit Blick auf ihre Nachhaltigkeit können qualitative Aspekte der Beleuchtung auch im Rahmen einer Gebäudezertifizierung berücksichtigt werden (siehe auch Kapitel 3.6).

3.7.1 Voraussetzungen

Voraussetzungen für die Berechnung der Beleuchtung sind Angaben über

- die Raumabmessungen und die Reflexionseigenschaften von Decke, Wänden und Boden bzw. des Mobiliars (siehe Kapitel 3.5.4 „Effiziente Leuchten und Raumeigenschaften“),
- die Art der Tätigkeit bzw. der Sehaufgabe,
- den oder die (räumlichen) Bereiche der Sehaufgaben, die horizontal, vertikal oder auch geneigt sein können,
- die Möblierung,
- bauliche und installationstechnische Einschränkungen bei der Positionierung von Leuchten und
- ggf. besondere Anforderungen an die Auswahl der Leuchten und deren Anordnung.

Mit diesen Angaben kann der Lichtplaner unter Zuhilfenahme der für sein Planungsverfahren erforderlichen technischen Leuchtendaten die Lichtberechnung durchführen.


3.7.2 Technische Katalogdaten

Die relevanten technischen Daten der Leuchten werden heute von vielen namhaften Herstellern online bereitgestellt. Insbesondere können solche Daten, die aufgrund der schnellen Entwicklung der LED-Technik permanenter Innovation unterliegen, aktuell gehalten werden.





Sowohl die technischen Zahlenwerte, z.B. der Anschlussleistung, der Lichtausbeute, der Lichtfarbe usw., werden hier gepflegt (siehe Abbildung 3.41) als auch die Datensätze für die Gebäudeplanung und die lichttechnischen Planungsprogramme (siehe Abbildung 3.42a). Weit verbreitete Datenformate und ihre Dateinamenendungen sind:

- IES ein international genormtes Datenformat für Leuchten-LVK (siehe Kapitel 5.2.3 „Lichtstärkeverteilungskurven“)
- LDT Eulumdat, ein europäisches Datenformat für Leuchten-LVK, T14
- TM14 ein britisches Datenformat für Leuchten-LVK

LUNEXO H1 CDP-I 6500 830 ETDD 01, 6825351			
TOC	6825351	Lichtfarbe	warmweiß
EAN	4018242362257	Schutzart	IP20
Lichtausbeute	101 lm/W	Farbe	weiß
Leuchtenlichtstrom	6400 lm	Gewicht	9,0 kg
Bemessungsleistung	63,00 W	Monitoring ready	Auf Anfrage
Farbtemperatur	3000 K	Preis*	€ 984,00



Design Awards

DESIGN PLUS
powered by building

Abbildung 3.41: Technische Kennzahlen einer Leuchte im Online-Katalog

- ROLF Leuchten-Datenformat für Relux (siehe Kapitel [3.7.5](#) „Lichttechnische Planungs-Software DIALux und Relux“)
- ULD Leuchten-Datenformat für DIALux (siehe Kapitel [3.7.5](#))
- RFA Revit-Datenformat für BIM-Modelle, in dem für Leuchten u.a. auch die lichttechnischen Daten hinterlegt werden können (siehe Kapitel [3.7.8](#) „BIM (Building Information Modeling)“)
- 3DS geometrische 3D-Daten für die Software 3ds Max (früher auch 3D Studio MAX)
- DWG geometrische Daten für die Software AutoCAD
- GLDF Global Lighting Data Format, zukünftiges Leuchten-Datenformat für DIALux und Relux mit lichttechnischen, geometrischen und weiteren technischen Werten für die Weiterverarbeitung in BIM-Anwendungen (derzeit in der Entwicklung, siehe Kapitel [3.7.5](#) „Lichttechnische Planungs-Software DIALux und Relux“).

Diese Formate werden genutzt, um Leuchten auf allen international verbreiteten Planungsplattformen elektronisch verarbeiten zu können.

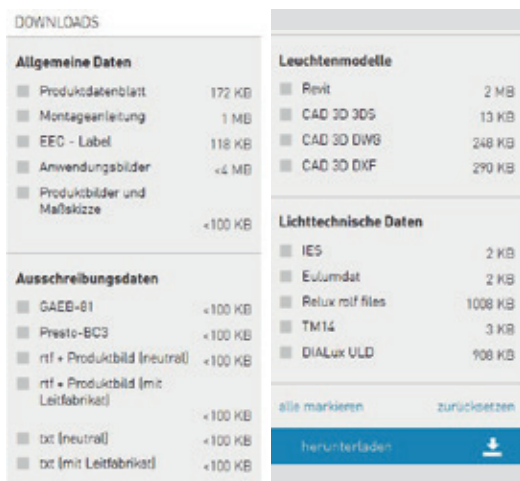
Aber auch qualitative lichttechnische Eigenschaften wie die Form der Lichtstärkeverteilung (LVK), grafisch dargestellt in einem Polarkoordinatendiagramm (siehe Abbildung 3.42 b), geben dem erfahrenen Lichtplaner einen Hinweis auf die lichttechnische Wirkung einer Leuchte.

Zusammen mit der Produktbeschreibung können die technischen Kenndaten als Datenblatt im PDF-Format abgerufen werden. Weiterführende Produktdaten und Produkteigenschaften können im Einzelfall beim technischen Support der Leuchtenhersteller erfragt werden.

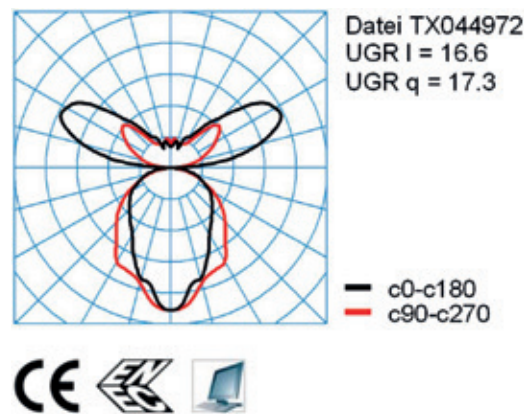
3.7.3 Planungsverfahren

Zur Erfüllung der lichttechnischen Anforderungen an die Beleuchtung für Arbeitsstätten, z.B. gemäß der Norm EN 12464-1 [\[51\]](#) sowie den Gesetzen, Verordnungen und Regelungen des Arbeitsschutzes, kann eine adäquate Beleuchtungsanlage auf unterschiedliche Weise ermittelt werden.

Eine erste Möglichkeit ist die Betrachtung einer einfachen, symmetrischen Anordnung in einer Standardgeometrie. So werden z.B. für eine raumbezogene Allgemeinbeleuchtung in vielen Räumen quadratische Einlegeleuchten in Systemdecken mit dem Achsmaß von 600 mm oder 625 mm eingesetzt. Die einzusetzenden

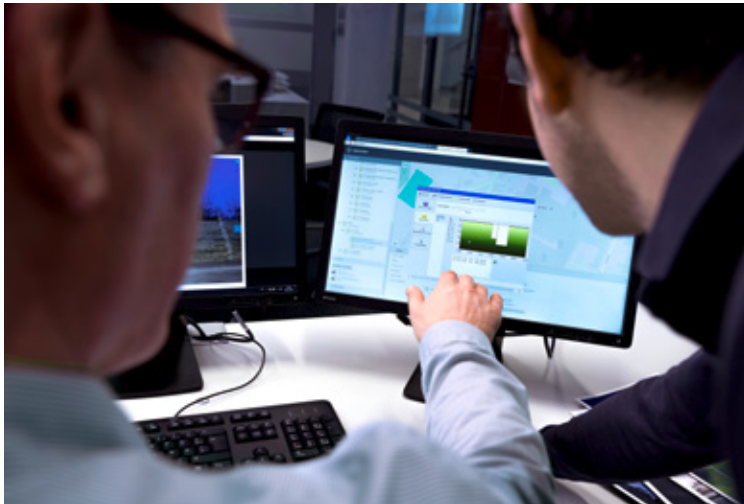


(a) Leuchtdaten zum Download, in Datenformaten für unterschiedliche Anwendungen



(b) Lichtstärkeverteilung und weitere Angaben des Datenblatts

Abbildung 3.42: Technische Katalogdaten



Leuchten sind bzgl. ihrer Lichtverteilung und des Lichtstromes so auszuwählen, dass die geforderten lichttechnischen Qualitätskriterien der Beleuchtungsanlage erreicht werden. Hierzu werden Erfahrungswerte bzw. eigens für die vorliegenden Standardgeometrien konzipierte Leuchten herangezogen.

Häufig werden jedoch bei einer so einfachen Konzeption der Verteilung der Leuchten die Potentiale einer sorgfältig geplanten Beleuchtung nicht genutzt. Folgende Fehleinschätzungen treten auf:

- Die neuen Leuchten sind tiefstrahlender als erforderlich. Es tritt eine erhöhte Ungleichmäßigkeit der Beleuchtung auf.
- Die Leuchten weisen einen zu geringen Lichtstrom auf. Die geforderte Beleuchtungsstärke wird nicht erreicht.
- Die Leuchten weisen einen unnötig hohen Lichtstrom auf. Es folgt ein unnötig hoher Energieverbrauch, der mit einer detaillierteren Analyse der Planungsaufgabe hätte drastisch reduziert werden können.
- Die Möglichkeiten eines modernen Lichtmanagements werden nicht genutzt. Dies wird in der aktuellen Ausgabe der Beleuchtungsnorm EN 12464-1 empfohlen (siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“).
- Die Leuchten hätten arbeitszonal angeordnet werden können. Ein verringerter Energieverbrauch, eine verbesserte Entblendung, ein

verbessertes visuelles Ambiente und die Einsparung von Leuchten- und Installationskosten wären möglich gewesen.

- Weitere Aspekte moderner Beleuchtung, wie das „Human Centric Lighting“, sind unberücksichtigt geblieben (siehe Kapitel 3.3.1).

Insofern lohnt es sich häufig, eine genauere Betrachtung vorzunehmen. Hierzu stehen zur Verfügung:

- das in der Norm EN 13032-2 [55] beschriebene Wirkungsgradverfahren (siehe auch Kapitel 5.2.5 „Lichtstromklassifizierung von Leuchten und Wirkungsgradverfahren“)
- Schnellrechnungsprogramme zur übersichtlichen Ermittlung der erforderlichen Leuchtenanzahl – und damit auch der erforderlichen Anschlussleistung –, wie z.B. der Lichtrechner im TRILUX-Online-Katalog
- lichttechnische Planungsprogramme wie DIALux und Relux zur exakten Planung der Beleuchtung. Auch diese weisen die spezifische Anschlussleistung und damit den Energieaufwand aus, der zur Erreichung der angestrebten Beleuchtungslösung erforderlich ist.
- Programme zur vergleichenden Betrachtung der Wirtschaftlichkeit von Beleuchtungsanlagen, wie z.B. der TRILUX-Effizienzrechner unter https://products.trilux.com/trilux_calculator/calculator/Start?&standalone=true&locale=de_DE. Hier können auch Einsparpotentiale des Lichtmanagements für die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit mit einbezogen werden.
- lichttechnische Simulationsprogramme (3D-Rendering), wie sie in DIALux, DIALux-evo oder in Relux integriert sind, die einen Eindruck der räumlichen Wirkung und des visuellen Ambientes einer Beleuchtungslösung vermitteln
- das Revit-Programm von AutoDesk und weitere für die BIM-Planungsmethode entwickelte Software-Programme.

Qualitativ sehr hochwertige Berechnungen sowohl der technischen Planungsergebnisse wie auch des 3D-Renderings können im Einzelfall durch Experten, ggf. mit Unterstützung der Leuchtenhersteller, erzielt werden.

3.7.4 Überschlägige Planung mit dem Wirkungsgradverfahren

Bis in die frühen 2000er Jahre gaben die Leuchtenhersteller in den technischen Dokumentationen ihrer Produkte die Lichtstromklassifizierungen gemäß den unterschiedlichen, anwendbaren Wirkungsgradverfahren an (siehe auch Kapitel 5.2.5). Diese Angaben reichten aus, damit eine Planung einer Allgemeinbeleuchtung in der Nutzebene unter Anwendung des in der betreffenden Norm beschriebenen Berechnungsverfahrens möglich war.

Zusätzlich zur Klassifizierung veröffentlichten die Hersteller in der Regel leuchtenspezifische Zwischenergebnisse des Berechnungsverfahrens in Tabellenform oder Diagrammen. Insbesondere dienten diese zur schnelleren Ermittlung der benötigten Anzahl von Leuchten einer Bauform zur Erreichung einer geforderten Beleuchtungsstärke und Gleichmäßigkeit der Beleuchtung in Abhängigkeit von den vorliegenden Raumeigenschaften.

Die unterschiedlichen Klassifizierungssysteme und Berechnungsverfahren führten dabei zu leicht unterschiedlichen Berechnungsergebnissen. So konnte es sein, dass auch bei Anwendung

der einheitlichen europäischen Beleuchtungsnorm EN 12464 unterschiedliche Leuchtenanordnungen in den europäischen Ländern empfohlen wurden.

Im Jahr 2004 erschien die EN 13032 [54]. Diese beschreibt ein vereinheitlichtes europäisches Wirkungsgradverfahren. Die zugehörige Klassifizierung der Leuchten berücksichtigt den genauen prozentualen Lichtstromanteil jedes Raumwinkelbereichs sowie die Interflexion an den Raumbegrenzungsflächen. Das Berechnungsverfahren ist im Anhang A der oben genannten Norm beschrieben (siehe Kapitel 5.2.6 „Leuchtenkennzeichnung nach EN 13032-2 und CIE 040-1978“).

Alle Wirkungsgradverfahren unterliegen gewissen Einschränkungen in ihrer Genauigkeit gegenüber der sogenannten photometrischen Planung (mit Relux, DIALux oder anderer Software). Sie werden heute hauptsächlich für die Ermittlung von Leuchtenanzahlen für kaufmännische Angebote genutzt, so auch für die überschlägige Schnellermittlung der Anzahl der Leuchten im Raum innerhalb des DIALux- bzw. Relux-Programms. Häufig ist für den erfahrenen Lichtplaner absehbar, dass die nach dem Wirkungsgradverfahren ermittelte Leuchtenanzahl höher ist als die mit einer optimierten, photometrischen Planung er-

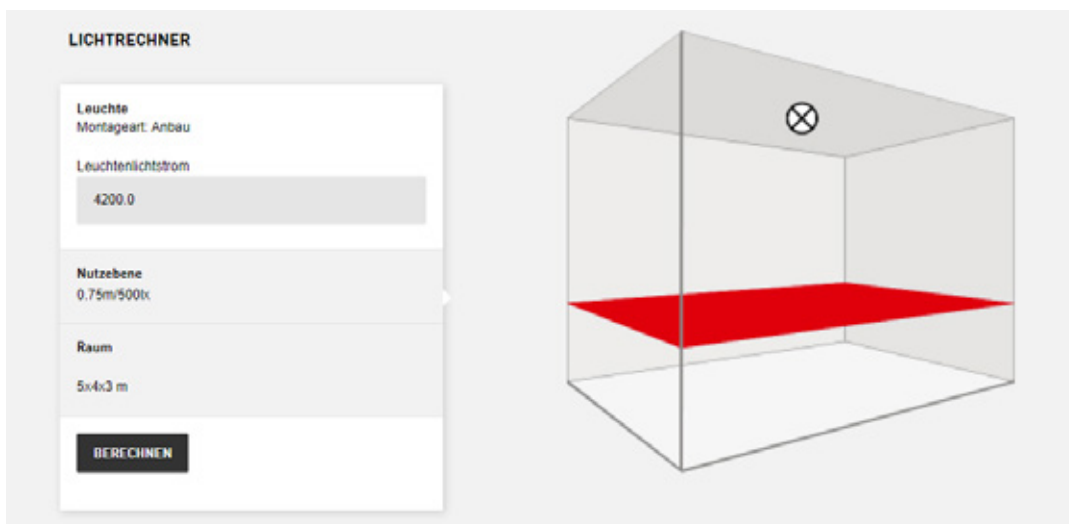


Abbildung 3.43:
Lichtrechner zur
überschlägigen
Ermittlung der
Leuchtenanzahl
im Raum

mittelte (siehe nächster Abschnitt), sodass angenommen werden kann, dass der überschlägig mit dem Wirkungsgradverfahren gesteckte Investitionsrahmen eingehalten wird.

Das europäische Wirkungsgradverfahren hat auch bei TRILUX im Lichtrechner des Online-Produktkatalogs Anwendung gefunden (siehe Abbildung 3.43). Auch dieser dient nur zur Bestimmung der Leuchtenanzahl. Weitere Aspekte der lichttechnischen Wirkung der Leuchten, wie z. B. die Entblendung und die geforderte Gleichmäßigkeit der Beleuchtung, können im Lichtrechner nicht berücksichtigt werden. Die Bewertung der Eignung der betrachteten Leuchten für die angestrebte Beleuchtungsaufgabe obliegt demnach dem erfahrenen Anwender des Lichtrechners.

3.7.5 DIALux und Relux, Software für die lichttechnische Planung

DIALux und Relux sind die beiden in Europa am häufigsten genutzten Software-Pakete für professionelle Lichtplaner. Beide Programme stehen dem Anwender zum freien Download zur Verfügung unter <https://www.dial.de/de/dialux/> und <https://relux.com/de/relux-desktop.html>.

Beide Programme verfügen über ein spezifisches Datenformat (siehe oben). Mit dem GLDF-Format wird in Zukunft ein für beide Programme gemeinsames Datenformat für Leuchten und Sensoren der Beleuchtungssteuerung mit mehr als 350 Attributen gemäß der Norm DIN CEN/TS 17623 [16] angelegt sein. Hier werden die Leuchtenhersteller ihre für die Verarbeitung in den Lichtplanungsprogrammen benötigten Produktdaten bereitstellen können.

Dazu soll es eine Schnittstelle zu dem BIM-Prozess der Gewerke übergreifenden Gebäudeplanung geben (siehe Kapitel 3.7.8 „BIM (Building Information Modeling)“).

DIALux und Relux ermöglichen die Installation von Daten-Plug-ins dieses Formats vieler Leuchtenhersteller. Auf diesem Wege ist das zum Zeitpunkt des Downloads im Plug-in enthaltene Produktprogramm des betreffenden Herstellers jederzeit offline auf dem Rechner verfügbar. In der Praxis zunehmend bewährt hat sich jedoch das Verfahren, den benötigten Datensatz einzeln aus dem Online-Katalog in die Planungssoftware zu importieren (siehe Abbildung 3.44). Insbesondere die kurzen Innovationszyklen moderner LED-Leuchten lassen Daten-Plug-ins heute schnell veralten.

Neben der Planung mit dem spezifischen Datenformat ermöglichen beide Programme auch den Import von IES- und Eulumdat-Daten.

Aber schon die Bezeichnung ihrer Anwendung ist umstritten. So werden die Programme als „Lichtplanungs-Software“ oder als „Lichtberechnungs-Software“ bezeichnet. Wie auch immer – beides sind Werkzeuge, welche den kreativen Planungsprozess lediglich unterstützen können. Die weit verbreitete Annahme, dass die Beherrschung der Software allein ihren Anwender zur Lichtplanung befähigt, ist irrig.



Abbildung 3.44:
Übernahme aktueller
lichttechnischer
Daten in ein Planungs-
programm

Leistungsumfang

Tatsächlich liegt die Stärke dieser Programme in der sehr exakt reproduzierbaren Ermittlung aller für die Bewertung einer Beleuchtungsanlage erforderlichen lichttechnischen Kenngrößen. Im Unterschied zum Wirkungsgradverfahren, mit dem nur eine durchschnittliche Beleuchtungsstärke in der Nutzebene ermittelt werden kann, wird für jeden definierten Messpunkt im Raum die Beleuchtungsstärke durch Summation der verschiedenen Einflüsse auf diesen Punkt berechnet. Der betrachtete Raum kann in Zonen, z. B. Arbeits- und Umgebungsbereiche, eingeteilt und deren Beleuchtungsstärken kann separat bewertet werden. Zusätzlich können auch vertikale und schräge Flächen betrachtet werden. In jeder definierten Fläche kann die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke ermittelt werden.

Das Verfahren funktioniert so, dass für jeden Punkt der definierten Messebenen die Einflüsse aller Lichtquellen berücksichtigt werden. Das heißt, ein Teil der Beleuchtung kommt direkt von der nächstgelegenen Leuchte auf den Mess-

punkt, zusätzliche Anteile von den entfernteren Leuchten und weitere Anteile durch Reflexion an den Wänden und der Decke.

Bei Verwendung der lichttechnischen Daten im ULD-Format oder ROLF-Format (siehe Abschnitt [3.7.2](#)) kann darüber hinaus die Wirkung ausgedehnter oder unterteilter bzw. zusammengesetzter Lichtaustrittsflächen der Leuchten berücksichtigt werden. Die ebenfalls verwendbaren LVK-Datenformate (IES, LDT, T14) berücksichtigen hingegen nur jeweils eine punktförmige Lichtquelle als Ursprung der Lichtstärkeverteilung. Weiterhin können auch spektrale Informationen (CCT, ähnlichste Lichtfarbe) im Datensatz enthalten sein, die bei der Berechnung für die Darstellung des Lichtfahrscheinungs berücksichtigt werden.

Neben der Verteilung der Beleuchtungsstärke können bei der photometrischen Planung auch die im Raum und an den Leuchten auftretenden Leuchtdichten und die damit verbundenen Blendwirkungen ermittelt werden. In der ge-



Abbildung 3.45:
Visualisierung mit
DIALux evo

Abbildung 3.46:
Visualisierung
eines Besprechungs-
raumes



schickten Anordnung geeigneter Leuchten liegt ein wesentliches Optimierungspotential.

Die Anzeige der Berechnungsergebnisse erfolgt wahlweise in Tabellen, Diagrammen, sowie in 2- oder 3-dimensionalen Falschfarbendarstellungen. Darüber hinaus ermöglichen die Programme die Visualisierung (z. B. mittels Raytracing, siehe Abbildung 3.45) der Beleuchtungssituation, um bereits in der Planungsphase einen Eindruck ihrer visuellen Wirkung zu erhalten (siehe nächster Abschnitt).

Die Bewertung der Ergebnisse, auch der dargestellten Visualisierung, erfordert jedoch in jedem Fall ein hohes Maß an Erfahrung. Die Aufgabe des Planers ist, eine sinnvolle Anordnung geeigneter Leuchten zu kreieren, die eine optimale Beleuchtungssituation hervorbringt.

Die diversen Lichtberechnungsprogramme unterscheiden sich im Wesentlichen in ihrer Handhabung. Bezüglich der generierten Berechnungsergebnisse weichen sie sich kaum voneinander ab. Diese sind sehr gut reproduzierbar. Abweichungen zu nachträglich aufgenommenen Messungen in der ausgeführten Installation betragen jedoch nicht selten 10% und manchmal auch mehr. Neben den möglichen Toleranzen der

technischen Werte der Lichtquellen sind vielfach auch Abweichungen der Reflexionseigenschaften der realen Raumbegrenzungsflächen von denen der Planung sowie Abschattungseffekte durch diverse Objekte im Raum eine maßgebliche Ursache. Insbesondere bei überwiegend indirekt wirkender Beleuchtung ist daher große Sorgfalt bei der Planung geboten.

Die Programme entwickeln sich stetig weiter und passen sich den aktuellen Normen und Marktanforderungen an.

3.7.6 Realitätsnahe Ansichten

Die europäische Beleuchtungsnorm EN 12464-1 [51] legt Mindestanforderungen an die Beleuchtung von Arbeitsstätten in Europa fest. Diese Mindestanforderungen werden durch technische Werte repräsentiert, deren Einhaltung die Erfüllung der wesentlichen Qualitätskriterien der Beleuchtung gewährleisten soll. Das Verfahren hat sich sehr bewährt. Die funktionalen Aspekte der Beleuchtung sind umfassend berücksichtigt. Eine normgerechte Beleuchtung ermöglicht eine uneingeschränkte Erfüllung der Sehaufgabe.

In vielen Fällen ist jedoch neben dem funktionalen auch der gestalterische Aspekt der Beleuchtung von gleichwertiger Bedeutung, der mithilfe technischer Zahlenwerte jedoch kaum abgebildet werden kann. Hilfreich sind in diesem Fall sogenannte „Raytracer“. Sie ermöglichen ein 3-dimensionales Rendering, insbesondere unter Berücksichtigung der auf den Oberflächen des betrachteten Raumes, d. h. der Raumbegrenzungsflächen und der im Raum enthaltenen Objekte, auftretenden Leuchtdichten. Es ist möglich, den gerenderten Raum virtuell zu betreten und sich dort „umzusehen“. Ein Blick auf die „reale“ Wirkung der geplanten Installation ermöglicht dem erfahrenen Lichtexperten dann zusätzlich eine visuelle Bewertung der angestrebten Qualitätskriterien.

Für die visuell-gestalterische Planung kann solch ein Programm dem Lichtplaner also ein hilfreiches Werkzeug sein. Dennoch ist eine Bewertung des angezeigten Berechnungsergebnisses auf der Grundlage der Erfahrung auch im Umgang mit diesem technischen Hilfsmittel unverzichtbar, da Voreinstellungen der Software oder auch des Anzeigebildschirms das Erscheinungsbild der Simulation erheblich beeinflussen bzw. verfälschen können.

Wenn sichergestellt ist, dass eine verlässlich realitätsnahe Darstellung der zukünftigen Beleuchtungssituation erreicht worden ist, kann ein „virtueller Spaziergang“ auch dem nicht fachkundigen Bauherren bei der Entscheidungsfindung behilflich sein.

3.7.7 Leuchtdaten in 2D- bzw. 3D-Formaten

Schon in den Zeiten, als Gebäudepläne noch manuell gezeichnet wurden, hat TRILUX maßstäbliche Schablonen herausgegeben, die es dem technischen Zeichner erleichterten, Leuchtenkörper in den Gebäudeplan einzutragen.

Im Gegensatz zu der lichttechnischen Planung und der Visualisierung spielt hier der eigentliche Zweck der Leuchte, ihre lichttechnische Wirkung, keine Rolle. Es geht allein um die räumliche Installation der Leuchte und des notwendigen elektrischen Anschlusses und dabei insbesondere um die Vermeidung von Kollisionen mit Elementen anderer Gewerke.

Heute stehen zahlreiche Software-Programme für die Gebäudeplanung zur Verfügung, von denen



Abbildung 3.47:
3D-Leuchtdaten können für die Planung in hoher Qualität zur Verfügung gestellt werden.

AutoCAD mit seinem DWG-Datenformat das in der professionellen Anwendung am meisten verbreitete ist. Es ermöglicht zweidimensionale und dreidimensionale Ansichten des geometrischen Aufbaus des geplanten Gebäudes. Gemäß der gestellten Planungsaufgabe enthalten die Leuchtdaten im DWG-Format neben den äußeren Abmessungen alle für die technische Installation wichtigen geometrischen Daten der Leuchte, wie z. B. Befestigungspunkte und Öffnungen für den elektrischen Anschluss, jedoch keine Information zur Lichttechnik.

Ein herstellerunabhängiges Datenformat der geometrisch-konstruktiven Struktur ist das DXF-Format. TRILUX stellt auch dieses Format im Online-Katalog zur Verfügung. Bei Bedarf muss der Anwender eine Konvertierung aus dem DWG-Format nicht selbst durchführen.

Das 3DS-Format, das auf die Software 3ds Max zurückzuführen ist, ist ein Format, das eher in Rendering-Programmen Anwendung findet. Die geometrische Information beschränkt sich hier im Wesentlichen auf die Form und Oberfläche des Leuchtenkörpers.

Das in der Abbildung 3.42 der im TRILUX-Online-Katalog verfügbaren Daten ebenfalls angezeigte RFA-Format für das Revit-Programm weist den größten Datenumfang auf. Es führt die lichttechnischen und geometrischen Daten der Leuchte zusammen und ist ein Beispiel für die Erfordernisse der zukunftsweisenden Planungsmethode BIM, die im nächsten Abschnitt dieses Kapitels näher erläutert wird.

Zukünftig wird das in einer gemeinschaftlichen Entwicklung für DIALux und Relux konzipierte GLDF-Datenformat für die lichttechnische Planung in den beiden Software-Programmen mit vollständiger Übernahme in einen BIM-Prozess zur Verfügung stehen.

3.7.8 BIM (Building Information Modeling)

Die Buchstabenfolge BIM sind eine Abkürzung für das als „Building Information Modeling“ bezeichnete Gebäudeplanungsverfahren. Langfristiges Ziel ist es, möglichst weitreichende Informationen über relevante technische Eigenschaften aller Gebäudekomponenten zu erfassen, um damit nicht nur den Aufbau des Gebäudes, sondern auch seinen Betrieb und – im Idealfall – sein Alterungsverhalten und damit seinen gesamten Lebenszyklus simulieren zu können. Dies soll zu einer erhöhten Planungssicherheit, geringeren Kollisionen bei der Bauausführung sowie einer besseren Termintreue und Wirtschaftlichkeit – vor allem für große und komplexe Bauvorhaben – führen.

Um gemeinsam, unter Einbeziehung der Planer aller Gewerke, ein alle Eigenschaften des Gebäudes beschreibendes Funktionsmodell erstellen zu können, ist es notwendig, Datenformate und Berechnungsverfahren zu etablieren, auf deren Grundlage die Teilmodelle der einzelnen Gewerke zu einem gemeinsamen Koordinationsmodell zusammengeführt werden können. Dies bedeutet einerseits die Notwendigkeit zur Weiterentwicklung der Datenformate und Berechnungsprogramme selbst, andererseits aber auch die stetige Anpassung der Planungsprozesse an diese Entwicklung. Insbesondere die interdisziplinäre Zusammenarbeit unter den Gewerken muss auf ein gemeinsames Verfahren synchronisiert werden.

Ein im Markt weit verbreitetes Programm für die Planung im BIM-Verfahren ist das Programm Revit des Anbieters AutoDesk, der auch AutoCAD vertreibt. In diesem Programm ist eine weitreichende, viele Gewerke übergreifende Modellierung eines Gebäudes möglich. Die benötigten Daten können dazu von den Herstellern der bautechnischen Komponenten im RFA-Format, einem spezifischen Datenformat von Revit, bereitgestellt werden.

Aber auch weitere Anbieter stellen Software-Programme für die BIM-Planung zur Verfügung und entwickeln dazu Datenformate, welche die erforderlichen Informationen für ihre jeweiligen Verarbeitungsprozesse und Darstellungsoptionen bereitstellen. Bei der Bearbeitung von Gewerken mit unterschiedlichen Programmen kann es daher zu Schnittstellenproblemen bei der Übertragung der Planungsdaten kommen.

Um solche Barrieren abzubauen, ist es erforderlich, dass herstellerübergreifende Datenformate definiert werden, die als gemeinsame Datenbasis oder als Transferdatenformate genutzt werden können. Um diese Aktivitäten zu koordinieren, ist ein internationaler Interessenverband aus Unternehmen, Behörden, Lehrinrichtungen, Kammern, Verbänden und Privatpersonen aus allen Bereichen des Bauwesens unter der Bezeichnung „buildingSMART“ mit dem Motto „Home of openBIM“ gegründet worden. Seit Oktober 1995 besteht buildingSMART Deutschland e.V. in Berlin als Teil der internationalen Organisation. Eine zentrale Rolle spielt dabei die Definition des IFC-Standards, der in der deutschen Fassung der internationalen Norm DIN EN ISO 16739-1 [103] „Industry Foundation Classes (IFC) für den Datenaustausch in der Bauwirtschaft und im Anlagenmanagement“ veröffentlicht ist.

In einigen Ländern ist die Planung von Gebäuden mit einem BIM-Verfahren seit einigen Jahren zur Bedingung für die Teilnahme an Ausschreibungen der öffentlichen Hand geworden:

- 2006 Dänemark: BIM-Richtlinie, IFC-Abgabepflicht für öffentliche Projekte > 5 Mio. €
- 2007 Finnland: Senaatti, BIM- und IFC-Abgabepflicht für alle neuen Projekte
- 2008 USA: General Service Administration & Army, BIM-Richtlinie und -Abgabepflicht
- 2010 Norwegen: Staatsbygg, IFC- und BIM-Abgabepflicht für alle Projekte
- 2012 Südkorea: öffentliche Ausschreibungen als openBIM-/IFC-Projekte
- 2013 Niederlande: Ankündigung BIM-Richtlinie
- 2013 Singapur: BIM-Pflicht für Baueingaben

- 2014/15 Hongkong: BIM-Pflicht für neue Projekte
- 2016 UK: BIM verpflichtend für öffentliche Projekte > 5 Mio. €.

Sehr unterschiedlich kann dabei die Detailtiefe und der Leistungsumfang (LoD und Lol) der zu erstellenden BIM-Modelle ausfallen. Level of Detail (loD) beschreibt den Informationsgehalt von digitalen Bauwerksmodellen in Bezug auf die Geometrie. Level of Information (Lol) beschreibt den Informationsgehalt von digitalen Bauwerksmodellen in Bezug auf die Alpha-numerik. Wichtig ist es deshalb, beide Aspekte klar zu definieren.

Ein wichtiger Schritt in dieser Entwicklung ist das Erscheinen der internationalen Norm ISO 19650, die in Deutschland im August 2019 als DIN EN ISO 19650 [22] unter dem Titel „Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) – Informationsmanagement mit BIM“ erschienen ist. Sie besteht aus den folgenden fünf Teilen:

- Teil 1: Begriffe und Grundsätze (ISO 19650-1:2018); deutsche Fassung EN ISO 19650-1:2018
- Teil 2: Planungs-, Bau- und Inbetriebnahmephase (ISO 19650- 2:2018); deutsche Fassung EN ISO 19650-2:2018
- Teil 3: Betriebsphase der Assets (ISO 19650-3:2020); deutsche Fassung EN ISO 19650-3:2020
- Teil 4: Informationsaustausch (ISO/DIS 19650-4:2021); deutsche und englische Fassung prEN ISO 19650-4:2021 (Entwurf)
- Teil 5: Spezifikation für Sicherheitsbelange von BIM, der digitalisierten Bauwerke und des smarten Assetmanagements (ISO 19650- 5: 2020); deutsche Fassung EN ISO 19650-5:2020.

In der Bundesrepublik besteht seit 2015 ein „Stufenplan Digitales Planen und Bauen“ [173] (siehe oben) des BMVI. Darauf folgend ist ein „Masterplan BIM für Bundesbauten“ erstellt worden, in dessen Erläuterungen im Septem-

ber 2021 [171] die stufenweise Einführung des BIM-Verfahrens für die Errichtung von Bauvorhaben des Bundes aufgezeichnet wird. Dieser bezieht sich auf die Norm DIN EN ISO 19650 [DIN EN ISO 19650], in der unter anderem auch die benötigte Detailtiefe LOIN (Level of Information Need) der zu verarbeitenden geometrischen und alphanumerischen Informationen definiert wird.

Der Stufenplan sieht vor, dass ab Ende 2022 eine BIM-Planung der Stufe I verbindlich für alle neu zu planenden Bundesbauvorhaben anzuwenden sein wird und dass die weiteren Stufen II und III bis zum Jahr 2027 umzusetzen sind (siehe Abbildung 3.49). Auch in der privaten Bauwirtschaft etablieren sich BIM-Prozesse zunehmend.

Wie eingangs in diesem Kapitel erwähnt, ist es notwendig, dass parallel zu den einzuführenden Prozessen die erforderliche Datengrundlage entwickelt wird. Benötigt werden also multidimensionale Informationsmodelle mit parametrisierten Geometrien und weiteren Informationsebenen, die als BIM-Modelle in definierten Datenformaten von den Herstellern der bautechnischen Komponenten bereitgestellt werden.

Einzelnen Bauteilen sind dabei parametrische Eigenschaften wie beispielsweise Höhe, Länge, Breite, Position usw. zugeordnet. Bei Änderungen einer Komponente des Modells passen sich die dazu in Relation stehenden Teile automatisch mit an. Auch Zeichnung, Stücklisten oder andere Dokumente, die aus dem Modell abgeleitet werden, passen sich automatisch an.

Für die Beleuchtung sind im RFA-Format für das Revit-Programm bereits umfangreiche lichttechnische, energetische oder auch materialrelevante Leuchteigenschaften integriert, die auch im weiteren BIM-Prozess berücksichtigt werden können. Wenn die RFA-Datei über eine lichttechnische Information (LVK, entsprechend dem IES-Format) verfügt, lässt sich dies auch im Rahmen der Revit-Berechnungsmöglichkeiten nutzen (siehe Abbildung 3.48). TRILUX stellt seit 2013 Leuchtdaten in diesem Format im Online-Produktkatalog unter trilux.de zur Verfügung.

Das GLDF-Format (siehe Kapitel 3.7.5 „DIALux und Relux, Software für die lichttechnische Planung“) beinhaltet Merkmale von Leuchten und Sensoren. Es wird sich in Relux und DIALux

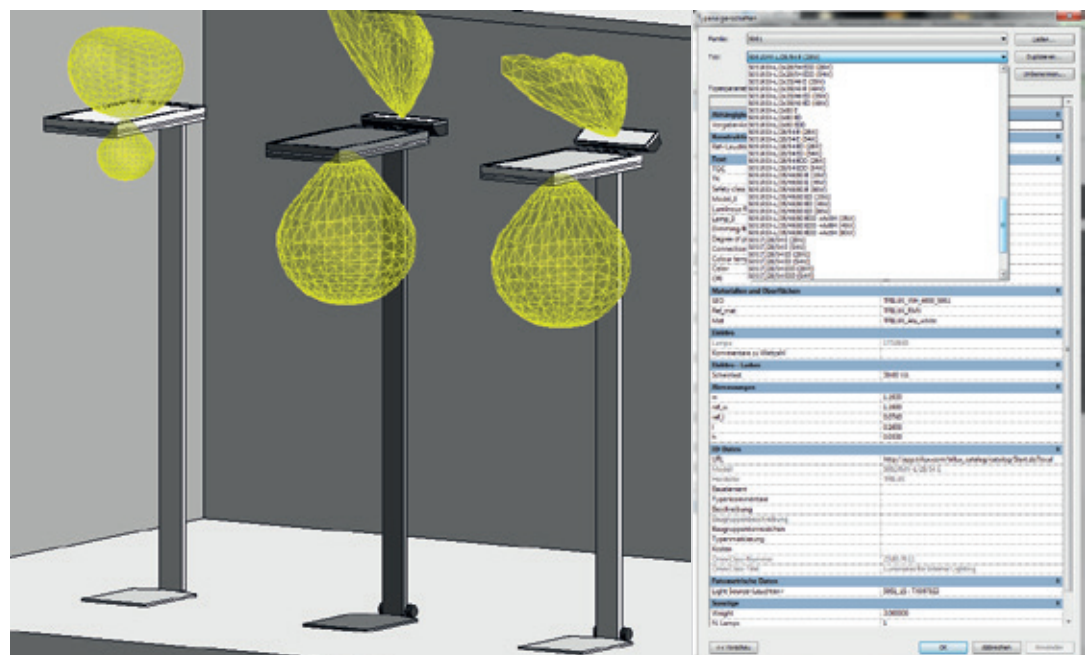


Abbildung 3.48: Revit-Modell einer Stehleuchte mit Attributen

verwenden lassen und soll die Datenbasis für den Übergang in den integralen BIM-Planungsprozess bilden.

Zukünftige Entwicklungen werden zeigen, in welcher Form sich die Integration der Lichtplanung in den BIM-Planungsprozess eines Gebäudes etablieren wird. Die relevanten Gebäudedaten können dazu aus der BIM-Planung in die Lichtplanungsprogramme importiert und das Ergebnis der Lichtplanung dann von hier

aus in den BIM-Prozess übertragen werden. Der Transfer der Daten kann dabei in für die verwendete BIM-Software spezifischen Datenformaten, z.B. dem RFA-Format, oder mithilfe des IFC-Formats erfolgen. Eine weitere Möglichkeit ist der Aufruf eines Lichtplanungsprogramms als Teilprozess innerhalb der Bearbeitung des Gebäudes in einem übergeordneten Gebäudeplanungsprogramm.

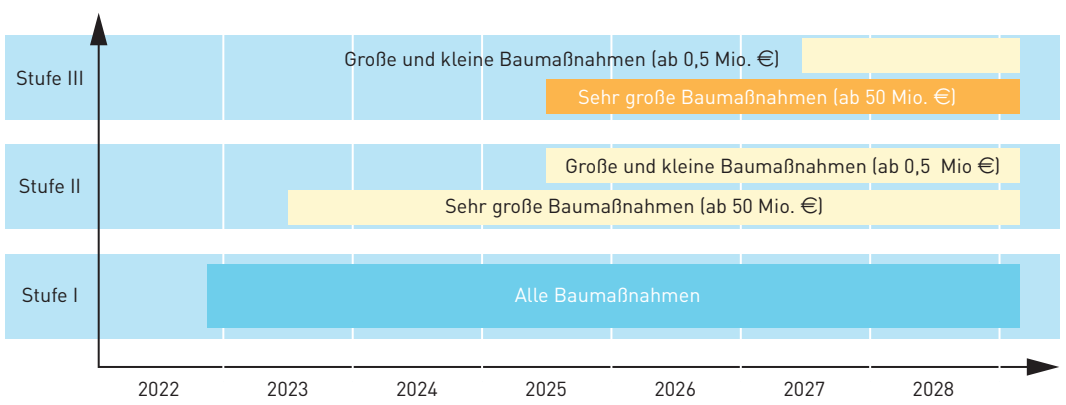
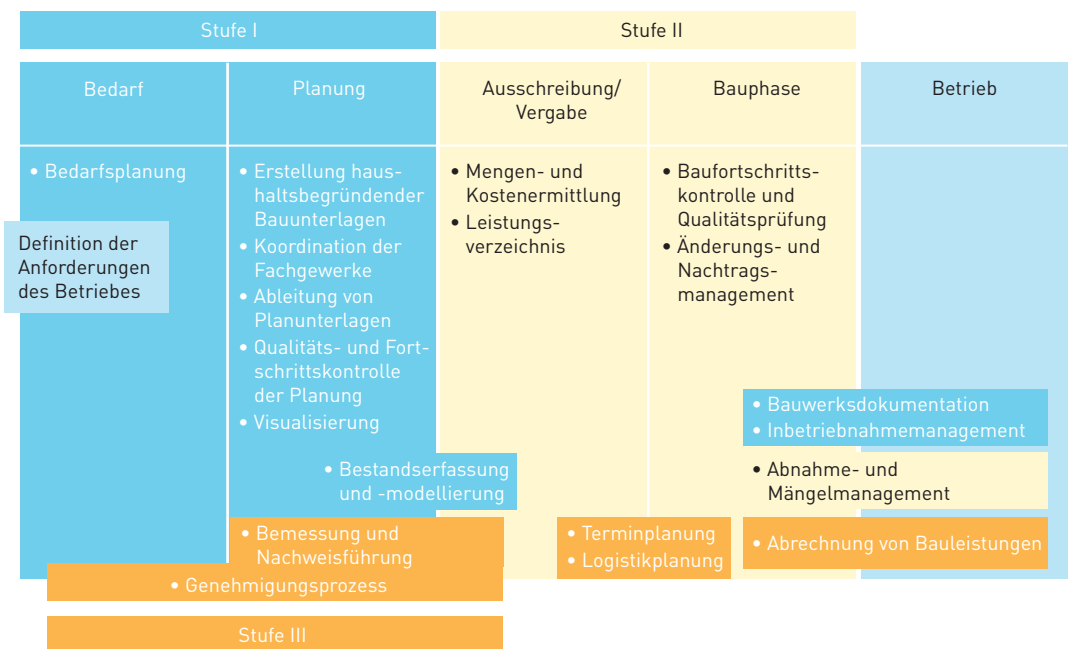


Abbildung 3.49: Darstellung des Stufenplans des BMVI und Zuordnung der BIM-Anwendungsfälle zu Stufe I bis III zur Einführung des BIM-Prozesses

3.7.9 Wirtschaftlichkeit

Die Frage nach der Wirtschaftlichkeit einer Beleuchtungsanlage kann in zwei Aspekte der Betrachtung unterteilt werden:

- Das vorrangige Kriterium ist sicher das Verhältnis der erzielten Leistung zum entstehenden Kostenaufwand. Da die Erwartung an die Leistung, also die lichttechnische, visuelle und nicht-visuelle Qualität der Beleuchtung, jedoch grundsätzlich individuell zu bewerten ist, kann es diesbezüglich keinen allgemeinen Maßstab für die Wirtschaftlichkeit geben.
- Darüber hinaus kann das Verhältnis der einmaligen Investition zu den langfristigen Folgekosten herangezogen werden, wenn qualitativ gleichwertige Lösungen verglichen werden. Auch hier ist die individuelle Bewertung entscheidend von der Ausgangssituation und der Zielsetzung des Investors abhängig. Insbesondere ist zu unterscheiden, ob der Ertrag in direkter Relation zur Höhe der Investition, also als ROI (Return On Investment), oder als Absolutbetrag des Total Profit of Ownership (TPO, siehe Kapitel 3.4.2 „Wirtschaftlichkeit“) betrachtet werden soll.

In jedem Fall wird die Energieeffizienz der Beleuchtung zu berücksichtigen sein. Hinweise zum Energieverbrauch der Beleuchtung und den Einsparpotentialen durch Lichtmanagement werden im Kapitel 3.5.12 „Deutsche Norm DIN V 18599“ [26] gegeben. Die Einflüsse des Lichtmanagements auf die Lichtqualität werden im Kapitel 2.4 und im Kapitel 8 behandelt. Eine vergleichende Kostenkalkulation, bei der auch die Einsparpotentiale des Lichtmanagements berücksichtigt werden können, wird im Kapitel 3.4 vorgestellt.

Weitere Aspekte der Beleuchtung im Kontext nachhaltigen Bauens werden im Kapitel 3.6 „Gebäudezertifizierung“ behandelt.

3.8 Messung der Beleuchtung

Gute Beleuchtung ist bei der menschengerechten Gestaltung von Arbeitsplätzen und Arbeitsräumen sowie für den Arbeits- und Gesundheitsschutz unverzichtbar. Deshalb wird trotz gewissenhafter Planung die Messung der Beleuchtung in der ausgeführten Anlage größere Sicherheit darüber geben, ob diese Mindestwerte auch eingehalten werden.



Auch ist die Messung der Beleuchtung während der laufenden Betriebszeit notwendig, um aus Gründen des Arbeits- und Gesundheitsschutzes die Einhaltung der Mindestwerte der Beleuchtung sicherzustellen. Insbesondere die Beleuchtungsstärke verringert sich durch Alterung und Verschmutzung der Lampen und Leuchten, der Raumbegrenzungsflächen und der Oberflächen der Einrichtung. Deshalb sind die Beleuchtungsstärken an den Arbeitsplätzen regelmäßig zu überprüfen. Vorausschauende Wartungsverfahren erfassen diese Werte an den Arbeitsplätzen regelmäßig.

Eine messtechnische Überprüfung von Beleuchtungsanlagen kann also aus verschiedenen Gründen notwendig sein:

- Untersuchung des Ist-Zustandes einer Beleuchtungsanlage zum Zweck der Überprüfung der Einhaltung von Richtlinien, Vorschriften und Normen, um ggf. eine Wartung, Instandsetzung oder Änderung der Anlage zu veranlassen
- Einhaltung von Sicherheitsanforderungen bezüglich des Arbeitsschutzes
- Vergleich verschiedener Beleuchtungsanlagen, z.B. in Musteranlagen, zum Zweck der Auswahl lichttechnisch und wirtschaftlich zweckmäßiger Lösungen
- Nachprüfung von Projektierungen. So stellt z. B. EN 12193 „Sportstättenbeleuchtung“ [50] fest, dass unter Berücksichtigung von Fertigungstoleranzen von Lampen und Leuchten, Messtoleranzen und Toleranzen für Anordnung und Ausrichtung der Leuchten, aber auch durch Temperatur- und Spannungsschwankungen, merkliche Abweichungen zwischen Planung und Messung auftreten können. Unter Ausschluss dieser Einflüsse dürfen die berechneten und die gemessenen Mittelwerte jedoch nicht mehr als 10% voneinander abweichen.

3.8.1 Messvoraussetzungen

Bei der Messung der Beleuchtung ist zu beachten, dass folgende Bedingungen die Ergebnisse beeinflussen:

- Bewertungsraster der lichttechnischen Größen für Planung und Messung
- Anordnung der Leuchten und Lage des Bewertungsrasters für Planung und Messung
- Lichtstrom der Lampen: bei Gasentladungslampen unter Berücksichtigung der eingesetzten Vorschaltgeräte, bei Niedervolt-Halogenleuchtungen unter Berücksichtigung der eingesetzten Transformatoren
- Umgebungstemperatur: bei Leuchten mit Lampen, deren Lichtstrom von der Temperatur abhängt
- weitere Bedingungen, wie z. B. Möblierung, Reflexionsgrad.

Daher sind einheitliche Mess- und Bewertungsvorschriften notwendig. Das anzuwendende Messraster, also die Anordnung der Messpunkte im gegebenen Raum, ist für die Beleuchtung von Arbeitsstätten (in der Norm EN 12464-1 [51]), für die Sportstättenbeleuchtung [EN 12193 „Licht und Beleuchtung – Sportstättenbeleuchtung“ [50]] und für die Operationsfeldbeleuchtung [EN 60601-2-41 „Besondere Festlegungen für die Sicherheit von Operationsleuchten und Untersuchungsleuchten“ [73]] auf europäischer Ebene festgelegt. In Deutschland existiert jedoch zusätzlich eine spezielle Norm DIN 5035-6 „Beleuchtung mit künstlichem Licht, Teil 6: Messung und Bewertung“ [11], in der auch die Wahl der einzusetzenden Messgeräte und weitere Rahmenbedingungen der Messung und Protokollierung definiert sind.

Für die Messung der künstlichen Beleuchtung sollten u. a. folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- Fremdlicht durch Tageslicht oder andere Lichtquellen muss vermieden werden.
- Bei Neuanlagen sind saubere, gegebenenfalls gereinigte Leuchten zu verwenden.

- Ein stationärer Betriebszustand der Beleuchtungsanlage muss gewährleistet sein. Bei Entladungslampen muss die Anlage mindestens 30 Minuten vor der Messung eingeschaltet werden.

Das Ausschalten von Fremdlichtquellen – wie z.B. Tageslicht – ist in manchen Fällen nicht ohne weitere Probleme möglich. Für orientierende Messungen können auch Differenzmessungen durchgeführt werden. Dabei wird im 1. Schritt die Summe von Tageslicht und künstlicher Beleuchtung und im 2. Schritt nach Ausschalten der künstlichen Beleuchtung nur der Tageslichtanteil gemessen und von dem ersten Wert abgezogen. Man muss sich jedoch darüber im Klaren sein, dass sich der Tageslichtanteil schnell und merklich ändern und dass dies das Messergebnis wesentlich beeinflussen kann.

Weiterhin sind vor der Messung Angaben zum Raum und zur Beleuchtungsanlage zu protokollieren:

- geometrische Maße des Raumes
- Einrichtung und Ausstattung (z. B. Möbel, Reflexionsgrade) des Raumes
- Art der Nutzung des Raumes
- Anordnung der Arbeitsplätze
- Wartungszustand (z. B. Verschmutzungsgrad) des Raumes und der Beleuchtungsanlage

- Leuchtenanordnung
- Leuchten- und ggf. Lampentyp
- Hersteller der Leuchten
- besondere Eigenschaft der Leuchten, z. B. Art des Vorschaltgerätes
- Regelungszustand der Leuchten (die Messung wird im Allgemeinen bei 100% Lichtstrom durchgeführt)
- Netzspannung und Umgebungstemperatur
- Zustand ggf. vorhandener Klima- bzw. Lüftungsanlagen
- Lage der Messpunkte
- Zeitpunkt der Messung
- Alter der Beleuchtungsanlage.

Die Messung der Beleuchtung sollte mit Beleuchtungsstärke- bzw. Leuchtdichtemessgeräten mindestens der Klasse B gemäß Tabelle 3.33 durchgeführt werden. Es wird empfohlen, die Messgeräte mindestens alle zwei Jahre zu kalibrieren.

Angaben über Messgeräte sind in der CIE-Publikation 69/1987 „Methods of characterizing illuminance meters and luminance meters; performance, characteristics and specification“ enthalten. Diese sind auch in die deutsche Norm DIN 5032-7 [8] „Lichtmessung; Klasseneinteilung von Beleuchtungsstärke- und Leuchtdichtemessgeräten“ übernommen worden.

Zur Beurteilung der Einhaltung der normativ geforderten Kriterien der Beleuchtung am Arbeitsplatz reicht im Allgemeinen eine orientierende Messung mit einem Photometer der Klasse C gemäß der o. g. Norm (siehe auch Kapitel 3.2.3 „Anforderungen an den Arbeitsschutz in Deutschland“). Diese sind erheblich preiswerter als die technisch sehr aufwendigen Präzisionsmessgeräte der Klassen A und B.

Dennoch genügen auch diese **Messgeräte hohen Anforderungen:**

- Der Gesamtmessfehler darf 20%, bezogen auf den angezeigten Messwert, im gesamten Messbereich nicht überschreiten.
- Die Messwerte der Beleuchtungsstärke (oder Leuchtdichte) ergeben sich aus der aufge-

Abbildung 3.50:
Das Spektrum der Dreibandlampen mit drei ausgeprägten Spektralbereichen Blau, Grün und Rot sowie der Hellempfindlichkeitsgrad des Auges $V(\lambda)$

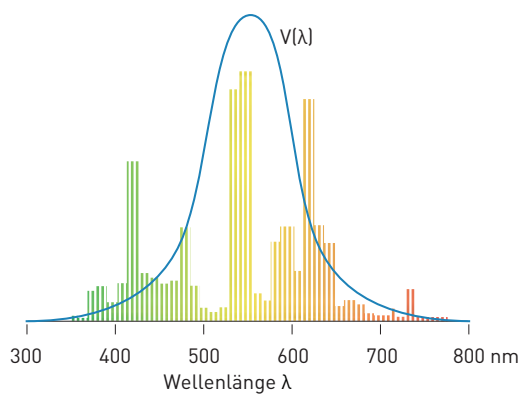


Tabelle 3.33:
Photometerklassen gemäß CIE-Publikation 69/1987 [154] bzw. DIN 5032-7 [8]

Klasse	Güte	Anwendung
A	hoch	Präzisionsmessungen
B	mittel	Betriebsmessungen
C	gering	orientierende Messungen

nommenen radiometrischen Strahlungsstärke (oder radiometrischen Strahlungsdichte) und ihrer Gewichtung mit der spektralen Empfindlichkeit des Auges für das photopische Sehen (Tagsehen) gemäß der $V(\lambda)$ -Kurve (siehe Abbildung 3.50).

- Der Fehler der $V(\lambda)$ -Anpassung darf für keine Wellenlänge der auftreffenden Strahlung einen Wert von 10 % übersteigen.

Damit ist insbesondere gewährleistet, dass der maximal auftretende **Messfehler aufgrund der spektralen Zusammensetzung** des Lichtes immer klein ist, im Vergleich zum zulässigen Gesamtfehler. Das Messergebnis ist damit unabhängig von der Lichtquelle (wie z.B. Tageslicht, Glühlampenlicht, Leuchtstofflampenlicht, LED-Licht usw.).

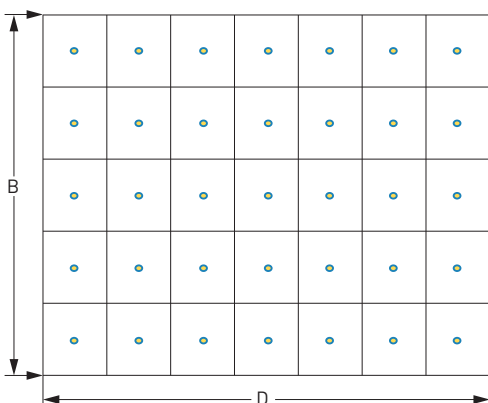
Einfache „Messgeräte“, wie z. B. der Lichtsensor eines Smartphones, genügen dieser Anforderung in der Regel nicht. Eine falsche Gewichtung der sichtbaren – und teilweise auch der nicht sichtbaren – Strahlungsanteile haben falsche Anzeigewerte der Beleuchtungsstärke zur Folge, sodass die Höhe des ermittelten Wertes oft nicht mit dem Helligkeitsempfinden korrespondiert.

3.8.2 Messraster

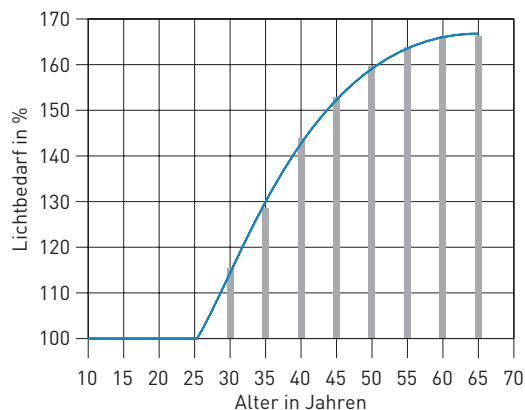
Zur Messung der Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte auf der jeweils relevanten Bewertungsfläche wird diese in rechteckige, gleich große, möglichst quadratische Messfelder nach Abbildung 3.51 eingeteilt, deren Maße sich nach der Größe der gesamten Bewertungsfläche, der Lichtpunkthöhe, der Lichtverteilung der Leuchten und deren Anordnung sowie der angestrebten Genauigkeit der Auswertung richten. Das Seitenverhältnis eines Messfeldes darf 2:1 nicht überschreiten. Die Messung erfolgt im Mittelpunkt der Messfelder (Rasterpunkte in Abbildung 3.51). Das Rastermaß der Messfelder darf dabei nicht mit dem Rastermaß der Leuchtenanordnung in Längs- und Querrichtung übereinstimmen. In diesem Falle ist die Anzahl der Messfelder zu vergrößern.

Der Abstand P der Berechnungspunkte bzw. die Anzahl der Berechnungspunkte M ist von der Länge D (in m) der längsten Seite der Bewertungsfläche abhängig und kann für den Fall, dass das Seitenverhältnis des Bewertungsfeldes D/B (siehe Abbildung 3.51) kleiner als 2:1 ist, nach folgender Formel berechnet werden:

$$P = 0,2 \cdot 5^{\lg D}$$



(a) Beispiel für ein Messraster mit Rasterpunkten



(b) Mindestanzahl der Berechnungs- bzw. Messpunkte M bzw. Punktabstand P in Abhängigkeit von der Länge D der längeren Seite der Bewertungsfläche

Abbildung 3.51: Ermittlung des Messrasters

Für den Fall D/B größer als 2:1 steht in der Formel anstelle von D die Länge der kürzeren Seite des Bewertungsfeldes B . Die Formel ist in Abbildung 3.51 (b) graphisch dargestellt (sie ist auch in EN 12193 „Licht und Beleuchtung – Sportstättenbeleuchtung“ [50] enthalten).

Die entsprechende Mindestanzahl M der Messpunkte in Richtung der längeren Seite der Bewertungsfläche ist durch die nächstgrößere ungerade ganze Zahl des Verhältnisses $M = D/P$ gegeben.

Die Mindestanzahl N der Messpunkte in Richtung der kürzeren Seite der Bewertungsfläche ergibt sich aus der nächstgrößeren ungeraden ganzen Zahl $N = M \cdot B/D$, wobei B die Länge der kürzeren Seite der Bewertungsfläche ist.

In EN 12193 [50] sind besondere Messraster für Sportstätten angegeben, z. B. für eine Laufbahn. Ebenso sind für verschiedene Sportarten Referenzflächen und die Anzahl der Rasterpunkte in beide Richtungen der Referenzfläche angegeben.

Beispiel: Das zu betrachtende Messfeld habe die Abmessungen 20 m x 30 m:

- Aus Abbildung 3.51 ergibt sich für $D = 30$ m ein Punktabstand $P = 2,16$ m und damit die Anzahl der Punkte in Längsrichtung $M \geq D/P = 14$. Die nächstgrößere ungerade Zahl ist 15.
- Die Anzahl der Punkte in Querrichtung N berechnet sich zu $N \geq M \cdot B/D = 15 \cdot 20/30 = 10$. Die nächstgrößere ungerade Zahl ist 11.
- Die Abstände der Messpunkte sind $D/M = 30 \text{ m}/15 = 2$ m in Richtung der längeren Seite des Bewertungsfeldes und
- $B/N = 20 \text{ m}/11 = 1,8$ m in die andere Richtung.

3.8.3 Messebenen

Grundsätzlich erfolgt die Messung in der Ebene, in der sich die Sehaufgabe befindet. Diese Ebene kann horizontal, vertikal oder geneigt sein. Die Messebene für die horizontale Beleuchtungsstärke befindet sich z. B.

- in Büros 0,75 m über dem Boden,
- in Sportstätten nach EN 12193 [50] auf der Referenzfläche, die in dieser Norm festgelegt ist,
- auf Rettungswegen max. 0,2 m über dem Boden und
- auf Verkehrswegen, Treppen und in Parkbauten bis 0,2 m über dem Boden.

Für die Bewertung der Schattigkeit sind die zylindrische Beleuchtungsstärke E_z und die horizontale Beleuchtungsstärke E_h in 1,2 m Höhe über dem Fußboden zu messen.

3.8.4 Beleuchtungsstärke

Die Beleuchtungsstärke ist die wichtigste und häufigste Messgröße in Beleuchtungsanlagen. Sie wird im Mittelpunkt des Messrasters, das den gesamten Raum, den Arbeitsbereich oder nur den Arbeitsplatz erfasst, mit Luxmetern gemessen. Luxmeter bestehen aus einem Photoelement (photoelektrischer Empfänger) und einem meist digitalen Anzeigegerät, das direkt in Lux kalibriert ist. Wichtig bei der Messung ist, dass weder Personen noch Gegenstände, die nicht zur Standardeinrichtung gehören, den Lichtempfänger abschatten. Im Sinne des Arbeitsschutzes kann es jedoch sinnvoll sein, die Beleuchtungsstärke bei normaler Körperhaltung der Person am Arbeitsplatz zu messen. Aus den gemessenen Punktbeleuchtungsstärken werden die mittlere Beleuchtungsstärke und deren Gleichmäßigkeit berechnet (s. Abschnitt zur Auswertung).



Abbildung 3.52:

Abbildung 3.52:
Messung der
Beleuchtungsstärke

3.8.5 Leuchtdichte

Wichtige lichttechnische Kenngrößen im Innenraum hängen unmittelbar mit der Leuchtdichte von Objekten und deren Umgebung zusammen, wie etwa Kontraste oder Blendung. Die Leuchtdichte von hellen Flächen ist meist stark abhängig von der Beobachtungsrichtung und dem Beobachtungswinkel. Daher sind Leuchtdichtemessungen als Punktmessungen und daraus ermittelte Mittelwerte meist nur mit teuren Messinstrumenten und präzisen Stativen mit Winkelmesseinrichtungen durchführbar. Sie sind zeitaufwändig und erfordern viel fachliches Können.

Bildauflösende Leuchtdichtemessgeräte realisieren eine Abbildung des Objektraumes in der Bildebene eines einer Digitalkamera ähnlichen Messgerätes (CCD-Kamera). Damit wird auch die Beobachtungsrichtung erfasst. Mit bildauflösenden Leuchtdichtekameras können mit einer Messung eine Vielzahl von Punktleuchtdichten und somit Leuchtdichteverteilungen bzw. Leuchtdichtebilder und geometrische Parameter gemessen werden. Die mittlere Leuchtdichte wird aus den Punktleuchtdichten für relevante Flächen bestimmt. Die Auswertung des digitalen Bildes erfolgt durch entsprechend komplexe

Software. Die Ergebnisse werden auf Bildschirmen oder Ausdrucken dokumentiert.

Die Messwerte können als kalibrierte Grau- oder Falschfarbendarstellung (Pseudocolorierung) anschaulich dargestellt werden, insbesondere mit „gespreizter“ Skala bei geringen Änderungen (Gradienten) der Leuchtdichtewerte. Auch sind Grafiken der Messwerte als Isoflächen oder Isolinien möglich.

Die schnelle Erfassung einer Vielzahl von Messpunkten schafft die Voraussetzungen für effiziente Leuchtdichtemessungen z. B. im Tunnel. Insbesondere kann dadurch die Zeit für Messung und Auswertung stark reduziert werden.



Abbildung 3.53: Leuchtdichtemesskamera

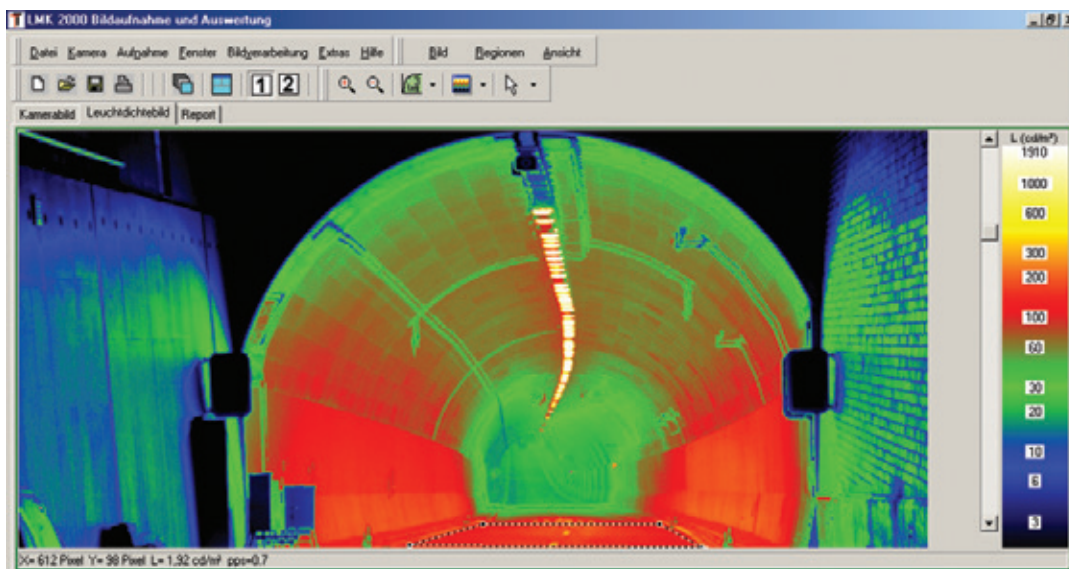


Abbildung 3.54: Leuchtdichtemessung in einem Tunnel, Darstellung der Leuchtdichtebereiche durch Falschfarben

3.8.6 Reflexionsgrad

Reflexionsgrade, z. B. von Raumbegrenzungsflächen, können mit geeigneten Reflektometern gemessen werden. Näherungsweise lassen sich die Reflexionsgrade auch mittels Reflexionsgradtafeln oder, bei diffusen Flächen, über eine Leuchtdichte- und eine Beleuchtungsstärkemessung nach folgender Formel ermitteln:

$$\rho = L \cdot \pi / E$$

3.8.7 R_{UGL} -Grenzwerte (Direktblendung)

Für eine Überprüfung der R_{UGL} -Werte ist der Vergleich der vorhandenen Anlagendaten mit den vom Hersteller der Leuchten dokumentierten R_{UGL} -Tabellen anzustellen, wobei alle den Tabellenwerten zugrunde gelegten Annahmen mit den Gegebenheiten der Anlage selbst zu vergleichen sind. Insbesondere sind dies die Reflexionsgrade der Raumbegrenzungsflächen, die Leuchtdichteverteilung der Leuchten, die Leuchtenanordnung und das Abstands-/Höhenverhältnis der Leuchtenanordnung, die Blickrichtung und – falls erforderlich – Korrekturen der Tabellenwerte aufgrund abweichender Lampen- bzw. Leuchten-siehe Kapitel 2.7.1 „Direktblendung“). Für eine messtechnische Überprüfung der R_{UGL} -Werte in einer ausgeführten Anlage müssen aus der Beobachterposition

- die Hintergrundleuchtdichte,
- die mittlere Leuchtdichte der Leuchten,
- die Raumwinkel als Maß der Größe der Blendlichtquellen (Leuchten) und
- die Position der Leuchten bezüglich der Beobachterposition und Blickrichtung ermittelt werden.

Diese Größen lassen sich mit bildauflösenden Leuchtdichtemessgeräten und entsprechenden Winkelmesseinrichtungen ermitteln und daraus lassen sich mit entsprechender Software die R_{UGL} -Werte berechnen.

Die Messung von Blendsituationen und die Berechnung von R_{UGL} -Werten wird mit der bildauflösenden Leuchtdichtemesstechnik überhaupt erst ermöglicht.

3.8.8 CRF-Werte (Kontrastwiedergabe)

Zur Kennzeichnung der Reflexblendung auf horizontalen glänzenden Flächen wird der Kontrastwiedergabefaktor CRF verwendet (s.a. Kapitel 2.7.6, Abschnitt „Reflexblendung auf horizontalen Sehaufgaben“).

Die Messung kann mit einem Spezialmessgerät oder auch mit bildauflösenden Geräten erfolgen. Das Messfeld entspricht der speziellen Position und der üblichen Blickrichtung des Betrachters zu dieser Fläche (siehe Abbildung 3.55).

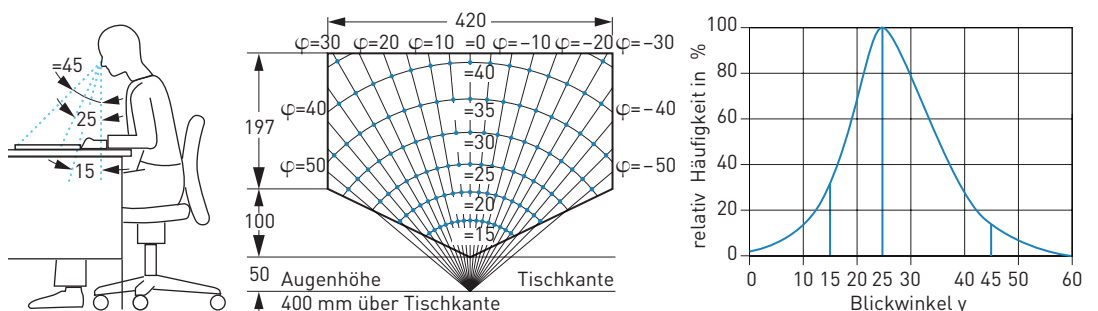


Abbildung 3.55: Blickwinkel und Bewertungsfeld für die CRF-Messung

3.8.9 Lichtfarbe und Farbwiedergabe

Die Überprüfung der Lichtfarbe und Farbwiedergabeeigenschaften der Leuchtmittel ist aufgrund der marktüblichen Kennzeichnung möglich, wobei die speziellen Kenndaten, z. B. zur Farbwiedergabe, in den Dokumentationen der Leuchtenhersteller allgemeinverständlich angegeben werden (siehe Kapitel 2.9 „Farbaspekte“).

3.8.10 Leuchtdichte von Leuchten

Die mittlere Leuchtdichte der Leuchten ist im Zusammenhang mit der Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen von Bedeutung (s. a. Kapitel 4.3 „Büro“). Die mittlere Leuchtdichte der Lichtaustrittsflächen der Leuchte muss gemäß EN 12464-1 [51] in den C-Ebenen in Intervallen von 15°, beginnend bei 0°, und für die Ausstrahlungswinkel $\gamma = 65^\circ$, 75° und 85° gemessen und/oder berechnet werden. Üblicherweise werden diese Angaben durch den Hersteller der Leuchten zur Verfügung gestellt.

In der europäischen Norm EN 13032-1 „Angewandte Lichttechnik – Messung und Darstellung photometrischer Daten von Lampen und Leuchten – Teil 1: Messung“ [54] ist die Messvorschrift zur Bestimmung der mittleren Leuchtdichtewerte enthalten.

Eine Messung des Ist-Zustandes der mittleren Leuchtdichten der Leuchten vor Ort ist nur unter entsprechendem messtechnischen Aufwand möglich, z. B. mit bildauflösenden Leuchtdichtemessgeräten (CCD-Kamera).

3.8.11 Notbeleuchtung

Für die Notbeleuchtung gelten folgende zusätzliche Messbedingungen:

- Messung bei batteriebetriebenen Anlagen am Ende der Nennbetriebsdauer

- Messung in Anlagen mit Ersatzstromaggregaten oder besonders gesicherten Netzen bei der niedrigsten Versorgungsspannung
- Die in EN 1838 [58] genormten Beleuchtungsstärken der Notbeleuchtung sind ausschließlich Direktwerte, ohne Reflexionsanteil.

Die Messung der Beleuchtungsstärke ohne Reflexionsanteile kann näherungsweise durch einen vor dem Empfänger gesetzten Tubus erfolgen. Das Verhältnis des Tubusdurchmessers und der Tubuslänge ist so zu wählen, dass das Licht von jeder Stelle der Leuchten auf jede Stelle des Empfängers gelangt. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die mittlere Leuchtdichte der Leuchten mit einem bildauflösenden Messgerät zu messen und daraus die Beleuchtungsstärke zu ermitteln.

3.8.12 Rettungszeichenleuchten

Die speziellen Messgrößen an Rettungszeichen für den Notbetrieb nach EN 1838 sind für hinterleuchtete Sicherheitszeichen (Rettungszeichenleuchten):

- Leuchtdichten des hinterleuchteten Sicherheitszeichens im Not- und Netzbetrieb
- minimale, mittlere und maximale Leuchtdichte der Fläche mit der grünen Sicherheitsfarbe
- minimale, mittlere und maximale Leuchtdichte der Fläche mit der weißen Kontrastfarbe
- mittlere Leuchtdichte des gesamten Sicherheitszeichens.

Für beleuchtete Sicherheitszeichen (Rettungszeichen) ist die minimale Beleuchtungsstärke auf der Oberfläche der beleuchteten Sicherheitszeichen zu messen.

3.8.13 Auswertung und Protokoll

Sämtliche Angaben zur Beleuchtungsanlage (siehe Abschnitt „Messvoraussetzungen“) sind durch Zeichnungen, Fotos und Beschreibungen

gen zu protokollieren, ebenso die Messgeräte und die Messdurchführung. Die Messwerte werden tabellarisch, graphisch, durch Fotos oder digitale Speicherung und Bildschirmanzeigen dokumentiert.

Aus den gemessenen Beleuchtungsstärken lassen sich neben der minimalen und der maximalen Beleuchtungsstärke E_{\min} und E_{\max} die mittlere Beleuchtungsstärke \bar{E} sowie die Gleichmäßigkeiten der Beleuchtungsstärken U_o und U_d bestimmen, n ist die Anzahl der Messwerte und E_i der jeweilige Einzelmesswert:

$$\bar{E} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n E_i$$

$$U_o = E_{\min} / \bar{E}$$

$$U_d = E_{\min} / E_{\max}$$

3.8.14 Instandsetzung

Beleuchtungsanlagen in Arbeitsstätten müssen spätestens dann gewartet und erforderlichenfalls instand gesetzt werden, wenn der Wartungswert nach EN 12464-1 [51] auf der betreffenden Bewertungsfläche unterschritten wird. Deshalb sind die Beleuchtungsstärken an den Arbeitsplätzen regelmäßig zu überprüfen. Vorausschauende Wartungsverfahren erfassen diese Werte an den Arbeitsplätzen regelmäßig.

Die Instandhaltung der Beleuchtungsanlage wird erleichtert, wenn die Leuchten gut und gefahrlos zugänglich sind. Gemäß dem bei der Planung erstellten Wartungsplan ist regelmäßig eine Reinigung der Leuchten durchzuführen. Beim Ersatz von Leuchten ist darauf zu achten, dass deren Lichtstrom und Lichtverteilung sowie die Lichtfarbe und die Farbwiedergabeeigenschaften die Mindestanforderungen an die lichttechnischen Kriterien erfüllen.

3.8.15 Bestandsschutz von Altanlagen

Oft stellt sich die Frage, ob eine Beleuchtungsanlage erneuert oder erweitert werden muss, weil die gemessenen Werte der Ist-Anlage nicht mit den gegenwärtig z.B. in EN 12464-1 [51] genormten Werten übereinstimmen.

Der Arbeitsschutz vertritt in dieser Situation die Auffassung, dass eine Nachrüstpflicht dann besteht, wenn der Raum einer anderen Nutzung (Änderung der Arbeits- und Sehaufgaben) unterliegt. Wenn die Elektroanlage grundsätzlich verändert wird, muss auch die Beleuchtungsanlage auf den jeweils gültigen Stand der Technik gebracht werden.

In anderen Fällen räumt der Arbeitsschutz einen Bestandsschutz der Anlagen in einem überschaubaren Zeitraum ein, immer vorausgesetzt, der Ist-Zustand erfüllt die Werte der Norm, die zum Zeitpunkt der Errichtung der Anlage den Stand der Technik definiert haben. Werden auch diese (z.B. die früher geringeren Beleuchtungsstärkewerte) nicht erreicht, muss die Anlage mindestens auf den Stand der seinerzeit gültigen Normwerte gebracht werden.

Solche Fälle können z.B. durch die unterschiedliche Definition der Beleuchtungsstärke entstehen: In früheren Normen wurden Nennbeleuchtungsstärken genormt, z.B. für eine bestimmte Sehaufgabe mit 300 lx, die bis auf einen Wartungswert von $300 \text{ lx} \cdot 0,8 = 240 \text{ lx}$ sinken durften. Obwohl nach EN 12464-1 [51] für eine Neuanlage mit gleichen Sehaufgaben ein nicht zu unterschreitender Wartungswert von 300 lx festgelegt ist, entspricht die Altanlage mit 240 lx immer noch den Anforderungen des Arbeitsschutzes.

3.9 Notbeleuchtung

Der Ausfall der elektrischen Stromversorgung ist auch in den hochindustriellen Ländern keine Seltenheit mehr.

Bei Ausfall der allgemeinen Stromversorgung entstehen in unserer vollelektrifizierten und engmaschig vernetzten Industriegesellschaft nicht nur hohe wirtschaftliche Schäden, sondern dies führt auch zu Unfallgefahren für Menschen. Daher hat der Gesetzgeber für diesen Fall mit der europäischen Arbeitsstätten-Richtlinie 89/654/EWG „Mindestvorschriften über Sicherheit und Gesundheit in Arbeitsstätten“ [148] für Arbeitsstätten eine Notbeleuchtung vorgeschrieben.

In Deutschland ist diese Richtlinie mit der Arbeitsstättenverordnung [148] in nationales Recht übernommen worden. Ähnliches gilt auch für die übrigen EU-Länder.

Gleiches gilt für die EU-Richtlinie 92/58/EWG [150] über Mindestvorschriften für die Sicherheits- und/oder Gesundheitsschutz-Kennzeichnung am Arbeitsplatz, die die Gestaltung von Sicherheitskennzeichen, z.B. zur Rettungswegkennzeichnung regelt, die ebenfalls bei Netzausfall durch eine Notstromversorgung funktionsgerecht sein müssen.

3.9.1 Regelwerke

Ob eine Notbeleuchtung erforderlich bzw. vorgeschrieben ist oder nicht, fällt in den Bereich gesetzlicher und weiterer Vorschriften des Unfallverhütungsrechtes, des Arbeitsschutzrechtes und des Baurechts, die in nahezu allen europäischen Ländern existieren.

Wenn eine Notbeleuchtung erforderlich bzw. vorgeschrieben ist, gelten



- für die lichttechnischen Anforderungen an die Notbeleuchtung die europäische Norm EN 1838 [58],
- für die Sicherheit bei Stromausfall in Sportstätten zusätzlich EN 12193 [50],
- für die elektrotechnischen Anforderungen die europäische Norm EN 50172 „Sicherheitsbeleuchtungsanlagen“, in Deutschland als DIN EN 50172 [59], Ausgabe 2005 – 01 (früher VDE 108, Teil 100) und in der Schweiz als SN EN 50172, Ausgabe 2004-08, veröffentlicht,
- für die Leuchten EN 60598-2-22 „Leuchten – besondere Anforderungen – Leuchten für Notbeleuchtung“ [70] und
- für die Kennzeichnung der Rettungswege die internationale Norm ISO 3864 „Graphische Symbole – Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen“, die in Deutschland als DIN ISO 3864 [24] veröffentlicht ist.
- In Deutschland gelten außerdem DIN 4844 „Graphische Symbole – Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen“ [7] und die Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A1.3 „Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung“ [109].

Die im Anhang von EN 1838 [58] aufgeführten sogenannten A-Abweichungen zeigen, dass in einigen Ländern aufgrund gesetzlicher Bestimmungen abweichende Beleuchtungsniveaus vorgeschrieben sind. Es sind also zusätzlich zu den aufgeführten Normen noch länderspezifische Gesetze und Regelungen zur Notbeleuchtung zu berücksichtigen.

Den nachfolgenden Mindestanforderungen an die Notbeleuchtung liegen die Festlegungen von EN 1838 [58] zugrunde, die jedoch nur für Räume gelten, in denen keine zusätzlichen Sichtbehinderungen etwa durch Rauch, Dunst oder Verqualmung vorliegen. Ein durch Brand ausgelöster Ausfall der allgemeinen Stromversorgung kann die Fluchtbedingungen wesentlich dadurch beeinträchtigen, dass die Personen wegen stark eingeschränkter Sichtweite die Orientierung verlieren und die Rettungswegkennzeichnung, die sich nach EN 1838 [58] mindestens 2 m über dem Boden befinden muss, nicht erkennen. Rauch steigt schnell in die oberen Raumschichten und bildet bis etwa 0,5 m über dem Boden eine „raucharme“ Zone. In diesem Bereich sollen Sicherheitsleitsysteme angeordnet werden, die zu den Fluchtwegen führen.

Elektrotechnische Anforderungen an Notbeleuchtungsanlagen siehe Kapitel 6.9.

3.9.2 Arten der Notbeleuchtung

Notbeleuchtung ist eine Beleuchtung, die bei Störung der allgemeinen Stromversorgung der künstlichen Beleuchtung rechtzeitig wirksam wird. Sie ist der Oberbegriff von Ersatzbeleuchtung und Sicherheitsbeleuchtung.

Die Ersatzbeleuchtung dient dem Weiterführen der laufenden Tätigkeit, die (z. B. bei Operationen im Krankenhaus) nicht unterbrochen werden kann.

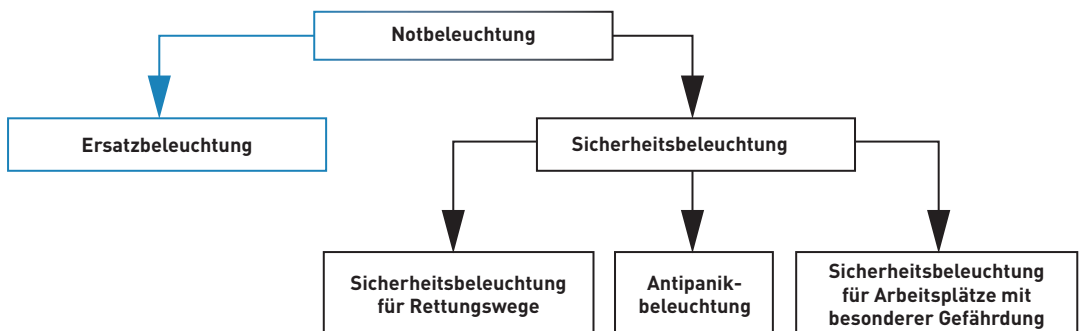


Abbildung 3.56: Arten der Notbeleuchtung

Die Sicherheitsbeleuchtung gliedert sich in

- die Sicherheitsbeleuchtung von Rettungswegen (für das sichere Erkennen der Rettungswege und das gefahrlose Verlassen der Räume),
- die Antipanikbeleuchtung (soll das Risiko von Panik bei großen Menschenansammlungen wie Open-Air-Konzerten, nächtlichen Großveranstaltungen, im Zuschauerbereich bei Hallensportveranstaltungen usw. sowie z.B. in Kaufhäusern verringern und ausreichende Sehbedingungen zur Orientierung und zum sicheren Gehen zu den Rettungswegen schaffen) und
- die Sicherheitsbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung (für das gefahrlose Beenden von Tätigkeiten und Verlassen des Raumes).

3.9.3 Ersatzbeleuchtung

Die Ersatzbeleuchtung soll die ungestörte Fortführung der Arbeit – gegebenenfalls auch nur für einen begrenzten Zeitraum – ermöglichen. Sofern die Tätigkeit auch nach Ausfall der allgemeinen Stromversorgung durchgeführt werden soll, ergeben sich die lichttechnischen Anforderungen an die Ersatzbeleuchtung aus der Art der Tätigkeit und der davon abgeleiteten Sehleistung während der Zeit der normalen Stromversorgung. Soll die Arbeit jedoch in einer angemessenen Zeit heruntergefahren (beendet) werden, können auch geringere Anforderungen an die Beleuchtung akzeptiert werden. Zwar werden in EN 1838

[58] dazu keine genauen Angaben gemacht, mindestens ist jedoch 1/10 des für den Normalfall vorgeschriebenen Wertes der Beleuchtungsstärke erforderlich. Die Umschaltung erfolgt meist unterbrechungsfrei innerhalb von 0,5 Sekunden.

3.9.4 Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege

Rettungswegen müssen gemäß gesetzlicher Bestimmungen beleuchtet und gekennzeichnet werden, um die erforderlichen Evakuierungsmaßnahmen nach Ausfall der allgemeinen Stromversorgung durchführen zu können.

Rettungszeichenleuchten alleine sind allerdings kein Ersatz für die Sicherheitsbeleuchtung des Rettungsweges. Dazu sind spezielle Sicherheitsleuchten (Notleuchten), gegebenenfalls mit eigener Energiequelle, oder entsprechende Bausätze innerhalb der Leuchten der Allgemeinbeleuchtung notwendig.

Die Leuchten für die Sicherheitsbeleuchtung sollen mindestens 2 m über dem Boden angeordnet sein.

Die minimale Beleuchtungsstärke der Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege von 1 lx (siehe Tabelle 3.36) gilt für Rettungswege bis 2 m Breite für die Mittellinie des Rettungsweges, direkt auf dem Boden. Der Mittelbereich des Rettungsweges mit mindestens der halben Weg-

Lichtpunkthöhe h über dem Boden	Maximale Lichtstärke I_{max} der Leuchten für Sicherheitsbeleuchtung von Rettungswegen und für die Antipanikbeleuchtung	Maximale Lichtstärke I_{max} der Leuchten für Sicherheitsbeleuchtung von Arbeitsplätzen mit besonderer Gefährdung
m	cd	cd
$h < 2,5$	500	1.000
$2,5 \leq h < 3,0$	900	1.800
$3,0 \leq h < 3,5$	1.600	3.200
$3,5 \leq h < 4,0$	2.500	5.000
$4,0 \leq h < 4,5$	3.500	7.000
$h \geq 4,5$	5.000	10.000

Tabelle 3.34: Maximale Lichtstärken von Notleuchten zu Begrenzung der physiologischen Blendung nach EN 1838 [58]

breite (bis 1 m) darf an keiner Stelle schlechter als mit 0,5 lx beleuchtet sein. Rettungswege mit mehr als 2 m Breite sind wie benachbarte Rettungswege zu betrachten bzw. mit einer Antipanikbeleuchtung zu beleuchten.

Der Minimalwert der Beleuchtungsstärke von 1 lx, der zu keiner Zeit unterschritten werden darf (Wartungswert), gilt für batteriebetriebene Leuchten bis zur Nennbetriebsdauer von 1 Stunde.

Nach EN 50172 [59] sollen die Bereiche unmittelbar außerhalb des Endausganges ebenfalls wie die Rettungswege innerhalb des Gebäudes beleuchtet sein, um den Weg zu einer „sicheren Stelle“ (Platz, an dem für Personen keine Gefahren bestehen) zu finden.

Nach der gleichen Norm sollten Aufzugskabinen bei Ausfall der allgemeinen Stromversorgung eine Antipanikbeleuchtung aufweisen, um Panik unter Menschen im kleinen Raum zu vermeiden.

Notausgänge und die Wege dazu müssen mit in ISO 3864 [24] bzw. in Deutschland auch in DIN 4844 [7] genormten Sicherheitszeichen gekennzeichnet sein. Diese Zeichen müssen von einer externen Lichtquelle beleuchtet oder von einer internen Lichtquelle hinterleuchtet sein und entlang des gesamten Rettungsweges bis zu sicheren Bereichen gut sichtbar angebracht sein.

Hohe Kontraste zwischen den hellen Notleuchten und dem Hintergrund können zu erheblichen Sehstörungen führen. Daher ist die Begrenzung der physiologischen Blendung von besonderer Bedeutung. Als Kriterium dafür wird die maxi-

male Lichtstärke I_{\max} in cd der Leuchten herangezogen (Tabelle 3.34).

Diese Werte gelten

- bei horizontal verlaufenden Rettungswegen für den Ausstrahlungsbereich von 60° bis 90° zur Senkrechten und für alle Azimutwinkel (Winkel in der Horizontebene, also rundum) und
- bei allen anders verlaufenden Rettungswegen, z. B. Treppen, Rampen usw., für alle Ausstrahlungswinkel der Leuchten.

3.9.5 Antipanikbeleuchtung

Die Antipanikbeleuchtung soll bei größeren Menschenansammlungen bei Ausfall der allgemeinen Stromversorgung das Auftreten von Panik vermeiden und es den Personen ermöglichen, bei einer gewissen Helligkeit (0,5 lx, entspricht etwa einer klaren Vollmondnacht) Stellen zu erreichen, von denen eindeutig gekennzeichnete Rettungswege ausgehen.

Die lichttechnischen Anforderungen (Tabelle 3.36) gelten für die gesamte Bodenfläche, ausgenommen Randbereiche von max. 0,5 m Breite.

3.9.6 Sicherheitsbeleuchtung in Sportstätten

Um die Sicherheit der Teilnehmer von Sportveranstaltungen zu gewährleisten, ist über die Festlegungen von EN 1838 [58] hinaus auch EN 12193 [50] zu berücksichtigen. Danach ist zur geordneten Beendigung einer Sportveranstaltung bei Lichtausfall ein bestimmter Prozentanteil der Beleuchtungsstärke der betreffenden Beleuchtungsklasse (siehe Kapitel 4.4 „Beleuchtung von Sportstätten“) erforderlich. Diese Prozentwerte sind für die in Tabelle 3.35 enthaltenen Sportarten anzuwenden.

Die Sicherheitsbeleuchtung muss sofort einsetzen, wenn die Allgemeinbeleuchtung ausfällt,

Abbildung 3.57: Beispiel für ein in ISO 3864 [24] und in DIN 4844-2 [7] genormtes Zeichen für die Rettungswegkennzeichnung



Innen-Sportart	Prozentsatz der Beleuchtungsstärke	Mindestdauer der Sicherheitsbeleuchtung
Schwimmen	5 %	30 s
Turnen, Innenanlagen	5 %	30 s
Reiten, innen und außen	5 %	120 s
Eisschnelllauf	5 %	30 s
Bob- und Rennschlitten	10 %	120 s
Skispringen, Ab- u. Aufsprungzone	10 %	30 s
Skiabfahrt	10 %	30 s
Radsport	10 %	60 s

Tabelle 3.35: Sicherheitsbeleuchtung in Sportanlagen; Beleuchtungsstärke in % der für die betreffenden Sportarten und Beleuchtungs-kategorie nach EN 12193 [50] festgelegten Werte

und muss für die in Tabelle 3.35 angegebene Zeit zur Verfügung stehen. Danach wirkt die Notbeleuchtung nach EN 1838.

Für das Fortsetzen einer Sportveranstaltung bei Lichtausfall muss das Beleuchtungsniveau mindestens der Klasse III der betreffenden Sportart entsprechen.

3.9.7 Sicherheitsbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung

Sicherheitsbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung ist dort einzurichten, wo bei Ausfall der Allgemeinbeleuchtung eine unmittelbare Unfallgefahr besteht oder besondere Gefahren für andere Arbeitnehmer entstehen können.

Beispiele: nicht genügend gesicherte heiße Bäder, Schmelzen, Tauchbecken, Gruben, Flurförderer und Hebezeuge mit heißen Massen, bei explosionsgefährlichen, giftigen, stark ätzenden Stoffen, bei schnell laufenden Maschinen, bei denen ungeschützte, bewegte Massen nachlaufen können (z.B. Walzen, Rotationsdruckmaschinen, Drahtseilmaschinen usw.), auf Bühnen, Szenenflächen, Rennbahnen und Manegen. Die üblichen Holzbearbeitungsmaschinen (z.B. Kreissägen, Hobelmaschinen) sowie Bohr- und Drehmaschinen gehören dann nicht dazu, wenn diese bei Ausfall der allgemeinen Stromversorgung durch besondere

Maßnahmen sofort stillgesetzt werden. Besondere Gefahren für Dritte können entstehen z. B. an Schaltwarten für Hochöfen, Schmelzöfen, Walzenstraßen, Durchlaufglühöfen, in Kraftwerken und chemischen Betrieben, an Bedienplätzen in elektrischen Betriebsräumen, an Druckluftherzeugern, in Hydraulikanlagen, an Kühlwasserpumpen sowie an Arbeitsplätzen mit Absperr- und Regeleinrichtungen, die bestimmungsgemäß zur Vermeidung von Gefahren bedient werden müssen.

Der Wartungswert der Beleuchtungsstärke der Sicherheitsbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung sollte mindestens 10% der für Normalbetrieb genormten Werte betragen, mindestens jedoch 15 lx. Der Wert muss maximal 0,5 Sekunden nach Ausfall der allgemeinen Stromversorgung erreicht sein.

3.9.8 Sicherheitszeichen

Rettungswege müssen bis zu sicheren Bereichen, insbesondere bis zu Ausgängen ins Freie, gekennzeichnet werden, und zwar sowohl bei allgemeiner Stromversorgung als auch bei deren Ausfall. Sie müssen in jeder Situation gut erkennbar sein und bei Stromausfall durch eine Notbeleuchtung sichtbar gemacht werden.

In der EU-Richtlinie 92/58/EWG [150] über Mindestvorschriften für die Sicherheits- und/oder Gesundheitsschutzkennzeichnung am Arbeitsplatz sind die Formate von Schildern für die

Sicherheitskennzeichnung, z.B. zur Rettungswegkennzeichnung und zur Kennzeichnung von Stellen für die Erste Hilfe, festgelegt.

Die Zeichen selbst sind in ISO 3864 [24] und in Deutschland zusätzlich in DIN 4844-2 [7] sowie in den Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A1.3 [109] detailliert genormt (siehe Bild 3.57). Sicherheitszeichen bzw. beleuchtete oder hinterleuchtete Rettungszeichenleuchten müssen innerhalb von 5 Sekunden 50 % und nach 60 Sekunden 100 % der geforderten Leuchtdichte aufweisen. Die Farben sind in ISO 3864 [24] festgelegt. Für die Rettungswegkennzeichnung gilt die Sicherheitsfarbe Grün. Grüne Flächen des Zeichens müssen an jeder Stelle eine Leuchtdichte von mindestens 2 cd/m² und eine Gleichmäßigkeit von L_{min}/L_{max} von 1:10 aufweisen. Falls Rauch auftreten kann, muss diese Leuchtdichte mindestens 10 cd/m² betragen.

Durch eine Gefährdungsanalyse ist das mögliche Entstehen von Rauch zuvor zu ermitteln. Die mittlere Leuchtdichte weißer Flächen muss das 5- bis 15-Fache der (mittleren) Leuchtdichte der grünen Fläche betragen.

Hinterleuchtete Zeichen führen zu einer doppelten Erkennungsweite im Vergleich zu gleich

großen beleuchteten Zeichen. Die Erkennungsweite d ergibt sich aus der Höhe des gesamten Zeichens p und einer Konstanten s :

$$d = s \cdot p$$

$s = 200$ für hinterleuchtete Zeichen
 $s = 100$ für beleuchtete Zeichen.

3.9.9 Planung

Tabelle 3.36 enthält die Anforderungen an die Notbeleuchtung nach EN 1838 [58]. Diese Werte weichen zum Teil von denen nach DIN VDE 0108 ab. Deren Nachfolgenorm EN 50172 [59] enthält keine konkreten Zahlenwerte hinsichtlich der Einschaltverzögerung (s. a. Kapitel 6.9 „Notbeleuchtungsanlagen“). Die Planung der Notbeleuchtung erfolgt mit den für die Leuchte gültigen Isoluxkurven. Sie geben die horizontale Beleuchtungsstärke in maximal 0,2 m Höhe über dem Boden einer Leuchte an, gelten für die angegebenen Lichtpunkthöhen und gemäß EN 1838 [58] ohne Lichtreflexionen an Decke und Wänden. Der Wartungsfaktor von 0,80 ist bereits berücksichtigt.

Anforderung	Art der Notbeleuchtung			Ersatzbeleuchtung
	Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege	Sicherheitsbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung	Antipanikbeleuchtung	
Wartungswert der Beleuchtungsstärke				
- Minimalwert E_{min}	1 lx	-	-	
- Mittelwert \bar{E}_m				
Gleichmäßigkeit E_{min}/E_{max}	1:40	1:10	1:40	wenn die Arbeit störungsfrei fortgesetzt werden soll, Werte wie bei Netzbetrieb
Blendungsbegrenzung	s. Tabelle 3.34	s. Tabelle 3.34	s. Tabelle 3.34	
Farbwiedergabe R_a	≥ 40	≥ 40	≥ 40	
Nennbetriebsdauer	1 h	solange die Gefährdung anhält	für Rettungswege 1 h	
Einschaltverzögerung				
- bis 50 % von E_m bzw. E_{min}	5 s	-	5 s	
- bis 100 % von E_m bzw. E_{min}	60 s	0,5 s	60 s	

Tabelle 3.36: Maximale Lichtstärken von Notleuchten zur Begrenzung der physiologischen Blendung nach EN 1838 [58]

Die Überlagerung der Isoluxkurven (Addition der Kurvenparameter) entsprechend dem Leuchtenabstand erlaubt eine einfache Prüfung, ob die Minimalbeleuchtungsstärke von 1 lx erreicht wird. Die Überprüfung der minimalen Beleuch-

tungsstärke von 0,5 lx auf dem Mittelteil des Rettungsweges mit einer Breite von 1 m ist meist nur mit einer punktweisen Berechnung der Beleuchtungsstärke möglich.

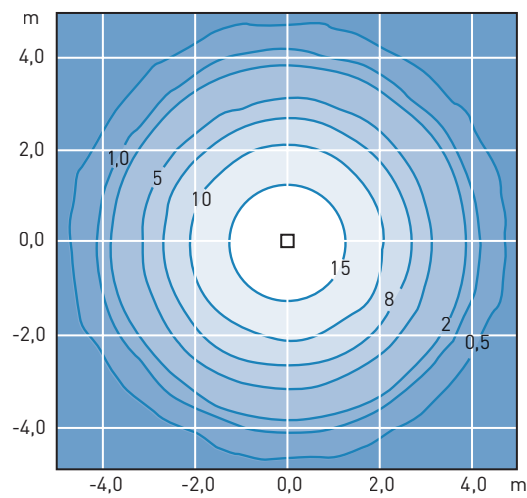


Abbildung 3.58: Isoluxkurve einer Notleuchte

3.9.10 Planungsbeispiel

	Netzbetrieb	Ersatzstrombetrieb
Raum Länge/Breite/Höhe	18,5 m/2 m/3,5 m	18,5 m/2 m/3,5 m
Reflexionsgrade Decke/Wände/Boden	0,7/0,5/0,2	0/0/0
Wartungsfaktor	0,80	0,80
Nutzebene über dem Boden	0,2 m	0,2 m
Bewertungsfläche Länge x Breite	18,5 m x 1 m	18,5 m x 1 m
Leuchtenart	LED-Einbau-Downlights (mit Einzelversorgungsgerät, Betriebsdauer 3 h)	
Anzahl Leuchten x Leuchtenlichtstrom	5 x 1800 lm	3 x 340 lm
gesamte Anschlussleistung	80 W	9,1 W
mittlere horizontale Beleuchtungsstärke	121 lx	10 lx
minimale Beleuchtungsstärke	96 lx	1,0 lx
Gleichmäßigkeit E_{min}/E_m	0,79	0,10
Gleichmäßigkeit E_{min}/E_{max}	0,73	0,05

Tabelle 3.37: Planungsbeispiel



ANFORDERUNGEN AN DIE BELEUCHTUNG

Inhalt

4.0	Anforderungen an die Beleuchtung	196
4.1	Beleuchtung von Verkehrszonen und allgemeinen Bereichen in Gebäuden	196
4.2	Beleuchtung industrieller und handwerklicher Arbeitsstätten	202
4.3	Beleuchtung von Büros und Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen	224
4.4	Beleuchtung von Sportstätten	249
4.5	Beleuchtung von Räumen des Gesundheitswesens	275
4.6	Beleuchtung von Alten- und Pflegeheimen	302
4.7	Beleuchtung von öffentlichen Bereichen	312
4.8	Beleuchtung von Verkaufsräumen	318
4.9	Beleuchtung von Ausbildungsstätten	324
4.10	Beleuchtung von Verkehrsbereichen	335
4.11	Beleuchtung von Parkbauten	339
4.12	Beleuchtung weiterer Innenräume	343

4.0 ANFORDERUNGEN AN DIE BELEUCHTUNG

4.1 Beleuchtung von Verkehrszonen und allgemeinen Bereichen in Gebäuden

Verkehrszonen und allgemeine Bereiche kommen in nahezu allen Gebäuden vor. Daher werden die Anforderungen an die Beleuchtung in diesem Kapitel zusammengefasst. Dennoch ist jeweils zu prüfen, ob diese Beleuchtungsaufgaben nicht in anderen Anwendungsfällen, z. B. im Kapitel 4.5 „Beleuchtung von Räumen des Gesundheitswesens“ oder im Kapitel 4.9 „Beleuchtung von Ausbildungsstätten“ beschrieben sind. Das gilt insbesondere für Flure und Treppen sowie Sanitärräume.

4.1.1 Verkehrszonen

Die Beleuchtung von Verkehrszonen wie Fluren, Treppen und anderen Verkehrsbereichen muss

im Zusammenhang mit der Beleuchtung der angrenzenden Räume betrachtet werden. Hohe Beleuchtungsunterschiede stellen wegen unterschiedlicher Adaptationsniveaus eher ein Sicherheitsrisiko dar. Das gilt sowohl für an Verkehrszonen angrenzende, künstlich beleuchtete Räume als auch für Verkehrszonen, die ins Freie führen. Daher muss zwischen Tages- und Nachtstunden mit ihren unterschiedlichen Beleuchtungsniveaus unterschieden werden. Benachbarte Bereiche sollten keine größeren Leuchtdichteunterschiede als 1:10 aufweisen, anderenfalls sind entsprechend beleuchtete Übergangszonen zu schaffen. Dabei ist die mittlere (Adaptations-) Leuchtdichte als Produkt der mittleren Beleuchtungsstärke auf der Verkehrsfläche und dem Reflexionsgrad dieser Fläche zu ermitteln. Grafiken zur Umrechnung von Leuchtdichte in Beleuchtungsstärke und umgekehrt siehe Abb. 2.13 in Kapitel 2.6 „Leuchtdichteverteilung“.

Zu Räumen mit sehr hohen Beleuchtungsstärken, z. B. Elektronikwerkstätten mit 1.500 lx, sind Übergangsbereiche zum Flur zu schaffen, um



Adaptationsstörungen zu vermeiden. Oft können diese Übergangsbereiche aus räumlichen Gründen nur auf dem Flur liegen, so dass Teile davon höher beleuchtet werden müssen.

Verkehrsflächen und Fahrwege, die z. B. Lager- und Fertigungshallen über außen liegende Flächen miteinander verbinden, sollten im Außenbereich ebenso wie im Innenraum beleuchtet werden, um gerade in diesen Übergangsbereichen die Verkehrssicherheit zu gewährleisten – ggf. sind darüber hinaus die Anforderungen nach EN 12464-2 [52] (siehe auch Kapitel 2.1.5, „Regelwerke“) für die Beleuchtung von Arbeitsstätten im Freien heranzuziehen.

Für die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke auf Verkehrswegen $E_{\min}/\bar{E} \geq 0,40$ ist nach EN 12464-1 [51] der gesamte Verkehrsweg, also die horizontale Fläche des Verkehrsweges auf dem Boden bzw. in maximal 0,2 m über dem Boden, als Bewertungsfläche zu berücksichtigen. Gegebenenfalls kann davon – etwa bei sehr breiten Verkehrswegen (> 3,3 m Breite) – ein wandnaher Randstreifen (z. B. mit einer Breite von 0,5 m) abgezogen werden, wenn dieser nicht dem Verkehrsfluss dient und daher nicht als „Bereich der Sehaufgabe“ (siehe auch Kapitel 2.2) betrachtet werden muss.

Verkehrswege mit Fahrzeugverkehr bedeuten wegen der Kollisionsgefahr mit den Fahrzeugen ein erhöhtes Sicherheitsrisiko für die Fußgänger. Daher sieht EN 12464-1 [51] für solche Flure auch ein höheres Beleuchtungsniveau vor.

Bei Halleneinfahrten ist die Anpassung des Beleuchtungsniveaus angrenzender Verkehrsbereiche besonders wichtig. Hier ist zwischen Tages- und Nachtbetrieb zu unterscheiden.

Bei Tagbetrieb soll die Übergangszone im Innenbereich mit $2 \times \bar{E}_m$ (Werte für \bar{E}_m siehe Tabelle 4.1) beleuchtet werden, mindestens jedoch mit 400 lx. Bei Nachtbetrieb liegt der Übergangsbereich außerhalb der Halleneinfahrt und soll mit $0,5 \cdot \bar{E}_m$ bis $0,2 \cdot \bar{E}_m$ beleuchtet werden, wobei \bar{E}_m in beiden Fällen die Beleuchtungsstärke des

Innenbereiches ist, der nicht immer eine Verkehrsfläche sein muss, sondern auch ein Arbeitsbereich mit höheren Sehaufgaben sein kann.

Beispiel: Der Innenbereich einer Montagehalle für mittelfeine Montagearbeiten ist mit 300 lx beleuchtet und hat eine Hallenausfahrt (einen Hallenausgang) ins Freie. Bei Tage sollte der Bereich nahe der Hallenausfahrt innerhalb der Halle mit 600 lx beleuchtet sein. Bei Nacht genügen 60 lx bis 150 lx im Außenbereich der Hallenausfahrt, um ausreichende Verkehrssicherheit zu gewährleisten.

In Arbeitsstätten mit Publikumsverkehr, wie z. B. in Behörden, Banken und Versicherungen, in Verkaufsräumen, Restaurants, Theatern, Konzerthäusern, in Kinos, in Messen- und Ausstellungshallen, in Museen und in Büchereien sollten sowohl aus Sicherheitsgründen als auch mit Rücksicht auf ortsunkundige Besucher, auf ältere und ggf. gehbehinderte Menschen, aber auch aus werblichen Gründen höhere Beleuchtungsstärken vorgesehen werden, als in Tabelle 4.1 enthalten sind.

In Ausbildungsstätten, wie Schulen, Volkshochschulen, Kindergärten sowie in Räumen des Gesundheitswesens sind höhere Beleuchtungsstärken ein zusätzlicher Beitrag zu Sicherheit und Sauberkeit auf den Verkehrswegen (siehe Kapitel 4.9 „Beleuchtung von Ausbildungsstätten“ und Kapitel 4.5 „Beleuchtung von Räumen des Gesundheitswesens“).

4.1.2 Pausen-, Sanitär- und Erste-Hilfe-Räume

Die in Tabelle 4.2 enthaltenen Anforderungen an die Beleuchtung von Pausen-, Sanitär- und Erste-Hilfe-Räumen sind Mindestwerte, die je nach den räumlichen Bedingungen, den Wünschen der Nutzer und den Sehaufgaben überschritten werden müssen. Dies kann z. B. für Waschräume und Toiletten in Kindergärten, in öffentlichen Bereichen, in Ausstellungshallen und in Selbst-

bedienungs-Restaurants, z. B. zur Vermeidung von Übergriffen auf Menschen und Sachen, aber auch bei höheren hygienischen Anforderungen notwendig sein. Die Beleuchtungsanlage kann durch Akzentsetzung wesentlich zur Raumgestaltung und zur Akzeptanz, aber auch zur pfleglichen Nutzung der Räume beitragen.

4.1.3 Kontrollräume

Kontrollräume gibt es in industriellen und handwerklichen Arbeitsstätten in sehr unterschiedlicher Ausstattung. Von einfachsten Kontrollarbeitsplätzen bis zu den Schaltwarten in Kraftwerken werden dabei sehr unterschiedliche Sehaufgaben gestellt. Die in Tabelle 4.3 aufgeführten Positionen können daher nur als Anhaltswerte gelten.

Schaltwarten kommen in verschiedensten Industriezweigen vor. Sie werden stellvertretend im Kapitel 4.2 „Beleuchtung industrieller und handwerklicher Arbeitsstätten“ behandelt. In den meisten Fällen wird eine Helligkeitsgesteuerte Beleuchtung empfohlen.

Ferner sind für die richtige Beleuchtung von Kontrollplätzen zusätzliche Anforderungen zu berücksichtigen. Dazu gehören z. B.

- der richtige Lichteinfall, der Schatten von Zeigern auf Instrumentenskalen vermeidet, oder
- ein Lichteinfall, durch den bewusst Reflexionen auf einer zu kontrollierenden hochglänzenden Lackfläche erzeugt werden, oder
- ein Lichteinfall, der gerade diese Reflexe vermeidet, wie z. B. auf analogen oder digitalen Skalen, auf Schaugläsern usw.

4.1.4 Lager- und Kühlräume

Wenn Lagerräume ständig besetzte Arbeitsplätze enthalten, müssen diese Bereiche gemäß EN 12464-1 [51] mit mindestens 200 lx beleuchtet werden. Wenn in Lagerräumen Bildschirme genutzt werden, gelten für diese Bereiche die Festlegungen für einzelne Bildschirmarbeitsplätze (siehe Kapitel 4.2 „Beleuchtung von industriellen und handwerklichen Arbeitsstätten“ und Kapitel 4.3 „Beleuchtung von Büros und Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen“), insbesondere die Beleuchtungsstärke von 500 lx.

Bei der Auswahl von Lampen und Leuchten ist ggf. auf besondere Klimate (Temperatur, Feuchte) in Lagerräumen zu achten. In Kühlhäusern kann der Lichtstrom von Leuchtstofflampen stark absinken, was bei der Planung berücksichtigt werden muss. LED-Leuchten sind hier in der Regel besser geeignet. Die technischen Spezifikationen sind zu beachten.

Auch wenn Lagerräume keine ständig besetzten Arbeitsplätze aufweisen, kann es trotzdem notwendig sein, bestimmte Bereiche der Sehaufgabe in Lagerräumen mit 200 lx zu beleuchten. Dies gilt z. B. für Lager, in denen zeitlich begrenzt Regale mit Ware manuell beschickt oder Teile entnommen werden und Lesen, z. B. von Beschriftungen, mühelos möglich sein soll. In Lagerbereichen mit Leseaufgaben, z. B. von Liefer- oder Lagerpapieren, kann es erforderlich sein, sogar bereichsweise eine Beleuchtungsstärke von 300 lx zu installieren.

In engen Lagergängen sind entsprechende tiefstrahlende, bei Lese- oder Suchaufgaben an vertikalen Flächen breit- oder schrägstrahlende Leuchten zu verwenden.

In großen Lagerbereichen kann es sinnvoll sein, die Beleuchtungsanlage als Infrastruktur für weitere elektronische Komponenten zu nutzen (siehe Kapitel 5.5.4 „Leitungen für Notlicht und Infrastruktur“).

4.1.5 Lichttechnische Anforderungen

Verkehrszonen (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtenauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a) lx	b) lx				mit $U_o \geq 0, 10$ lx lx lx			
1.1	Korridore und Verkehrsflächen	100	150	0,40	40	28	50	50	30	<ul style="list-style-type: none"> • Beleuchtungsstärke auf dem Boden. • ASR A3.4 [110]: In Hotels ist während der Nacht ein geringeres Niveau nach einer Gefährdungsbeurteilung zulässig (siehe auch Tabelle 4.69). • R_a und R_{UGL} ähnlich den angrenzenden Bereichen. • 150 lx, wenn auch Fahrzeuge die Verkehrsfläche benutzen. • Die Beleuchtung der Aus- und Eingänge soll eine Übergangszone schaffen, um einen plötzlichen Wechsel der Beleuchtungsstärke zwischen innen und außen während des Tages oder der Nacht zu vermeiden. Bei Halleneinfahrten soll gemäß ASR A3.4 [110] die Übergangszone bei Tagesbetrieb im Innenbereich mit mindestens 400 lx beleuchtet werden. Bei Nachtbetrieb liegt der Übergangsbereich außerhalb der Halleneinfahrt und soll mit mindestens 50 lx beleuchtet werden. • Es ist darauf zu achten, dass Autofahrer und Fußgänger nicht geblendet werden.
1.2	Treppen, Rolltreppen, Laufbänder	100	150	0,40	40	25	50	50	30	Beleuchtungsstärke auf Bodenhöhe. Leuchten so anordnen, dass Schlagschatten vermieden werden und höhere Kontraste auf den Stufen erreicht werden.
1.3	Aufzüge, Fahrstühle	100	150	0,40	40	25	50	50	30	Beleuchtungsstärke auf Bodenhöhe. Licht vor dem Aufzug, siehe Ref.-Nr. 1.4
1.4	Bereich vor dem Lift, Aufzug, der Rolltreppe	200	300	0,40	40	25	75	75	50	Bereich bis zu 1 m vor Lift, Aufzug, Rolltreppen. Beleuchtungsstärke auf Bodenhöhe.
1.5	Laderampen/-buchten	150	200	0,40	40	25	50	50	–	Laderampen: Leuchten ggf. so anordnen, dass auch Teile der Ladefläche von Fahrzeugen beleuchtet werden, ggf. Blendung aus der Sicht tiefer stehender Beobachter begrenzen.
1.6	Gebäudeeingang mit Vordach	30	50	0,40	–	–	–	–	–	
1.7	Durchgänge: bemannt	150	200	0,40	60	25	–	50	30	Beleuchtungsstärke auf Bodenhöhe. Für Regallagerfläche siehe Tabelle 4.5 Logistik und Lager.

Tabelle 4.1:
Lichttechnische Anforderungen gemäß DIN EN 12464-1 [51] an Verkehrszonen

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Pausen-, Sanitär- und Erste-Hilfe-Räume (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtenauswahltabelle“)

Ref.-Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a) lx	b) lx				mit $U_o \geq 0, 10$ lx lx lx			
2.1	Kantinen und Pausenbereiche	200	500	0,40	80	22	75	75	50	Stimmungsbetonte und akzentuierte Beleuchtung vorteilhaft, z.B. durch Lampen mit besserer Farbwiedergabe und Leuchten mit entsprechend formaler Gestaltung.
2.2	Pausenräume	100	200	0,40	80	22	50	50	30	Hygiene und Sicherheit können auch höhere Beleuchtungsstärkewerte erfordern. Zusatzbeleuchtung an Spiegeln. Die Arbeitsstättenregel ASR A3.4 fordert 200 lx (siehe auch Kapitel 3.2.3 „Anforderungen an den Arbeitsschutz in Deutschland“). Stimmungsbetonte Beleuchtung siehe oben unter 2.1. In Niveau und Lichtfarbe dynamisch gesteuerte Beleuchtung, siehe auch Kapitel 3.3 „Licht und nicht-visuelle Wirkungen“.
2.3	Räume für sportliche Aktivitäten	300	500	0,40	80	22	100	100	75	
2.4	Garderobe (Bereich), Waschräume, Bäder, Ankleide-, Schließfach-, Dusch-, Wasch- und Toilettenbereiche	200	300	0,40	80	25	75	75	50	In jeder einzelnen Toilette, wenn diese vollständig geschlossen sind. Zusatzbeleuchtung an Spiegeln siehe Ref.-Nr. 2.5.
2.5	Gesichtsbeleuchtung vor Spiegeln	200	300	0,40	80	-	-	-	-	Vertikale Beleuchtungsstärke, 0,5 m vor dem Spiegel in Kopfhöhe.
2.6	Krankenstation	500	750	0,60	80	19	150	150	100	Ggf. Zusatzbeleuchtung am Untersuchungsort, siehe Kapitel 4.5 „Beleuchtung von Räumen des Gesundheitswesens“.
2.7	Räume für ärztliche Behandlung	500	1000	0,60	90	19	150	150	100	Lichtfarbe neutralweiß, Farbtemperatur 4.000 K $\leq T_{CP} \leq 5.000$ K
2.8	Allgemeine Reinigung	100	150	0,40	-	-	50	50	30	Anwendbar, wo regelmäßige Reinigung notwendig ist.

a) erforderlicher Mindestwert,
 b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)
 * Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.2:
 Lichttechnische Anforderungen gemäß DIN EN 12464-1 [51] an Pausen-, Sanitär- und Erste-Hilfe-Räume

Kontrollräume (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtenauswahltabelle“)

Ref.-Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a) lx	b) lx				mit $U_o \geq 0, 10$ lx lx lx			
3.1	Betriebsräume, Schalträume	200	300	0,40	80	25	50	50	30	
3.2	Nachsortierung, Schaltanlage	500	750	0,60	80	19	150	150	100	ASR A3.4 [110]: Bei Sehaufgaben außerhalb der Warte muss die Beleuchtungsstärke in der Warte ggf. anpassbar sein. Schaltwarten in Kraftwerken siehe Ref.-Nr. 20.5 in Tabelle 4.19 in Kapitel 4.2. Einzelne Bildschirmarbeitsplätze siehe Kapitel 4.2 und 4.3, Tabelle 4.29
3.3	Überwachungsraum	300	500	0,60	80	19	100	100	75	Bedienfelder sind oft vertikal. Die Beleuchtung sollte dimmbar sein. Einzelne Bildschirmarbeitsplätze siehe Kapitel 4.2 und 4.3, Tabelle 4.29

a) erforderlicher Mindestwert,
 b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)
 * Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.3:
 Lichttechnische Anforderungen gemäß DIN EN 12464-1 [51] an Kontrollräume

Lagerräume, Kühlräume (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtenauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a)	b)				mit $U_o \geq 0,10$			
		lx	lx				lx	lx	lx	
4.1	Lagerräume	100	150	0,40	80	25	50	50	30	200 lx, wenn dauernd besetzt. In Kühlhäusern Lichtstärke-Temperaturverhalten der Lampen beachten.
4.2	Pack- und Auslieferungsbereiche	300	500	0,60	80	25	100	50	50	Anforderungen an die Beleuchtung von einzelnen Bildschirmarbeitsplätzen beachten, siehe Kapitel 4.2 und 4.3, Tabelle 4.29.
4.3	Vorratskammer	200	300	0,40	80	25	-	-	-	Ausreichende vertikale Beleuchtungsstärken müssen an Regalen angebracht werden.

Tabelle 4.4:
Lichttechnische Anforderungen gemäß DIN EN 12464-1 [51] an Lagerräume und Kühlhäuser

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Logistik und Hochregallager (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtenauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a)	b)				mit $U_o \geq 0,10$			
		lx	lx				lx	lx	lx	
5.1	Entlade-/Ladebereich	200	300	0,40	80	25	50	50	30	
5.2	Verpackungs-/ Gruppierungsbereich	300	500	0,50	80	25	100	100	30	
5.3	Konfigurations- und Auslieferungsbereiche	750	1000	0,60	80	22	150	150	30	Reflexblendung am Bildschirm vermeiden, ggf. von geringeren bis auch zu höheren Beleuchtungsstärkewerten individuell dimmbar.
5.4	Offene Warenlager	200	300	0,40	80	25	50	50	30	
5.5	Regallager – Boden	150	200	0,50	80	25	-	-	30	Beleuchtungsstärke auf dem Boden, R_{UGL} nur in Blickrichtung zur Leuchte.
5.6	Regallagerung – Regalfläche	75	100	0,40	80	-	-	-	-	Im Gang der Regalfläche. Ein Band (Randbereich) von 1,0 m darf von der betrachteten Fläche ausgeschlossen werden (siehe Kapitel 2.5 „Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke“).
5.7	Zentraler Korridor der Logistik (starker Verkehr)	300	500	0,60	80	25	100	100	30	Beleuchtungsstärke auf dem Boden, tief strahlende Leuchten vorteilhaft.
5.8	Automatisierte Zonen (unbemannt)	75	100	0,40	80	25	-	-	-	

Tabelle 4.5:
Lichttechnische Anforderungen gemäß DIN EN 12464-1 [51] an Lagerregale

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

4.2 Beleuchtung industrieller und handwerklicher Arbeitsstätten

Seit etwa vier Jahrzehnten dominiert die Digitalisierung die Veränderungen in unserer Arbeitswelt. Dies betrifft in der jüngeren Vergangenheit insbesondere die zeitliche und räumliche Organisation der Arbeit. Menschen, die auf der anderen Seite der Erde gerade den Arbeitstag beginnen, arbeiten an den gleichen Projekten wie ihre Kollegen des gleichen Unternehmens, die dann gerade die Nacht erleben. Auch in den klassischen industriellen Bereichen, den Produktionsprozessen, ist diese Entwicklung nun angekommen. Räumlich getrennte Teilprozesse verschmelzen zu einem optimierten Gesamtprozess.

Vor diesem Hintergrund nimmt die menschengerechte Gestaltung der Arbeitsumgebung eine vorrangige Stellung ein. Qualitative und bedarfsgerechte Beleuchtung ist dabei ein unverzichtbarer Faktor. Licht und Gesundheit sind neben dem mehr auf die visuelle Wahrnehmung ausgerichteten Arbeitsschutz zu einem wichtigen Thema geworden (siehe auch Kapitel [3.3](#), „Licht und nicht-visuelle Wirkungen“).

Aber auch weitere Aspekte der Digitalisierung eröffnen der Nutzung von Beleuchtungsanlagen heute ganz neue Perspektiven. So können Betriebsdaten anhand der DALI-Parameter abgefragt und in einer Cloud gespeichert werden, um den Energieverbrauch und Betrieb der Beleuchtungsanlage zu protokollieren und zu optimieren (siehe Kapitel [8.6](#) „Energy Monitoring



und Light Monitoring“). Die flächendeckende Präsenz im Raum prädestiniert die Beleuchtungsanlage andererseits als idealen Träger für digitale Infrastrukturen aller Art. Ob zur Spannungsversorgung der Repeater der DECT-Telefonanlage oder des WLAN-Netzwerks oder zur räumlichen Anordnung der Empfänger für ein Positionerkennungssystem – Lichtbandsysteme die in der Regel freie Bereiche der Tragschienen aufweisen, in denen keine Leuchteneinsätze installiert sind, können diese Komponenten aufnehmen und mit Energie versorgen (siehe Kapitel 5.5.4 „Leitungen für Notlicht und Infrastruktur“).

4.2.1 Bereich der Sehaufgabe

Die Ermittlung des Bereiches der Sehaufgabe, für den die Anforderungen an die Beleuchtung gestellt sind, dürfte in Räumen mit industriellen und handwerklichen Tätigkeiten wohl zu den schwierigen Aufgaben bei der Planung der Beleuchtung gehören. Hinweise dazu sind in Kapitel 2 „Lichttechnische Kriterien der Beleuchtung“, Abschnitt 2.2 „Bereich der Sehaufgabe“, gegeben, wobei auch auf Kriterien der Arbeitsplatzgestaltung zurückgegriffen wurde.

Abbildung 4.1: Der maximale Greifraum bei Männern (links) und Frauen (rechts), Maße in cm.

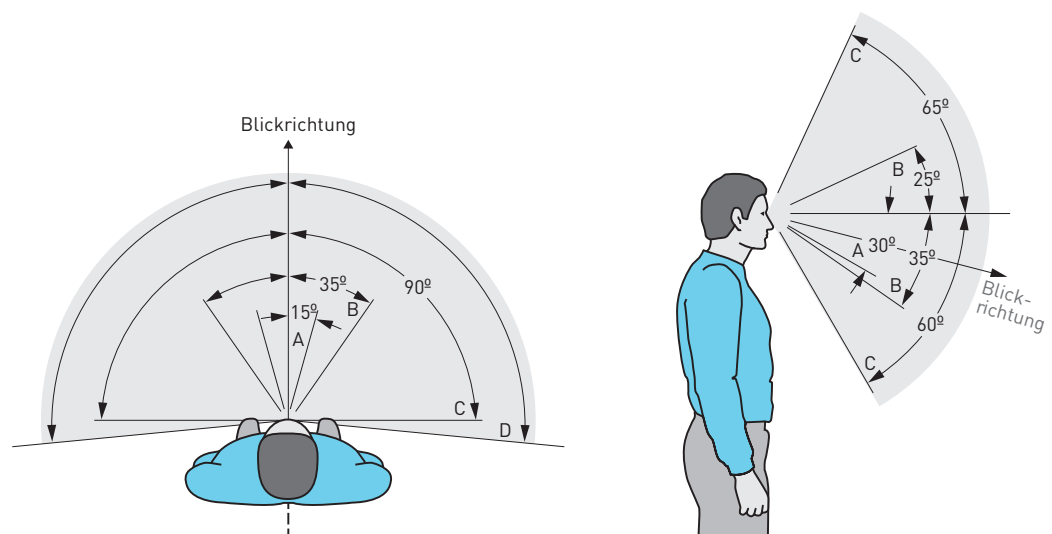
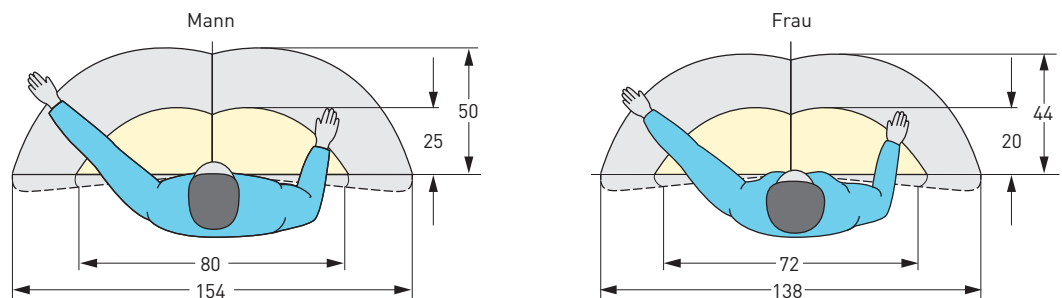


Abbildung 4.2: Horizontaler Sehbereich bei stehender Arbeit (links) und vertikaler Sehbereich (rechts)

- Der Bereich A erfasst Sehaufgaben im optimalen Blickfeld ohne Augen- und Kopfbewegungen: horizontal $\pm 15^\circ$ zur Blickrichtung und vertikal bis -30° zur horizontalen Bezugslinie.
- Der Bereich B erfasst Sehaufgaben im maximalen Blickfeld ohne Augen- und Kopfbewegungen: horizontal $\pm 35^\circ$ zur Blickrichtung und vertikal von $+25^\circ$ bis -35° zur horizontalen Bezugslinie.
- Der Bereich C erfasst Sehaufgaben, die ohne Kopfbewegungen erfüllt werden können (maximaler Sehbereich): horizontal $\pm 90^\circ$ zur Blickrichtung und vertikal von $+65^\circ$ bis -60° zur horizontalen Bezugslinie.
- Der Bereich D kann nur durch zusätzliche Kopfbewegungen eingesehen werden.

Für die Bestimmung des Bereiches der Sehaufgabe bei manuellen Tätigkeiten in Industrie und Handwerk kann man sich auch nach den ergonomischen Regeln richten. Meist kann der Sehbereich durch den Greifraum beschrieben werden (Abb. 4.1). Der Greifraum nimmt etwa eine Fläche von $0,60\text{ m} \cdot 1,60\text{ m}$ ein. Der ergonomisch definierte Blickwinkelbereich gibt weitere Hinweise zur Bestimmung des Bereiches der Sehaufgabe (Abb. 4.2 und 4.3).

Die genaue Ermittlung des Bereiches der Sehaufgabe wird vor allem für anspruchsvollere Sehaufgaben relevant (siehe unten, Abschnitt 4.2.3). Für einfachere Sehaufgaben mit Beleuchtungsstärken bis zu 300 lx ist in der Regel eine Allgemeinbeleuchtung im gesamten räumlichen Bereich aller Arbeitsplätze vorzusehen. Ggf. sind Kontextmodifikatoren einzubeziehen und eine steuerbare Beleuchtungsanlage vorzusehen (siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“).

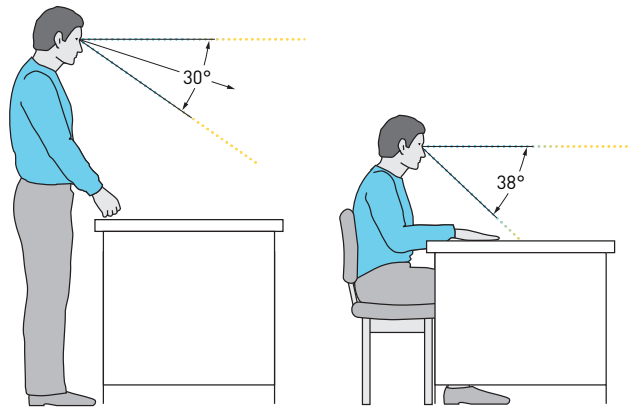


Abbildung 4.3: Bei stehender Tätigkeit beträgt die natürliche und entspannte Kopfnäigung und damit die Neigung der Blickrichtung gegen die Horizontale bis -30° , optimal sind jedoch -15° , bei sitzender Tätigkeit beträgt dieser Winkel bis -38° , für viele Sehaufgaben (z. B. Schreibarbeiten) beträgt er sogar bis -65° .

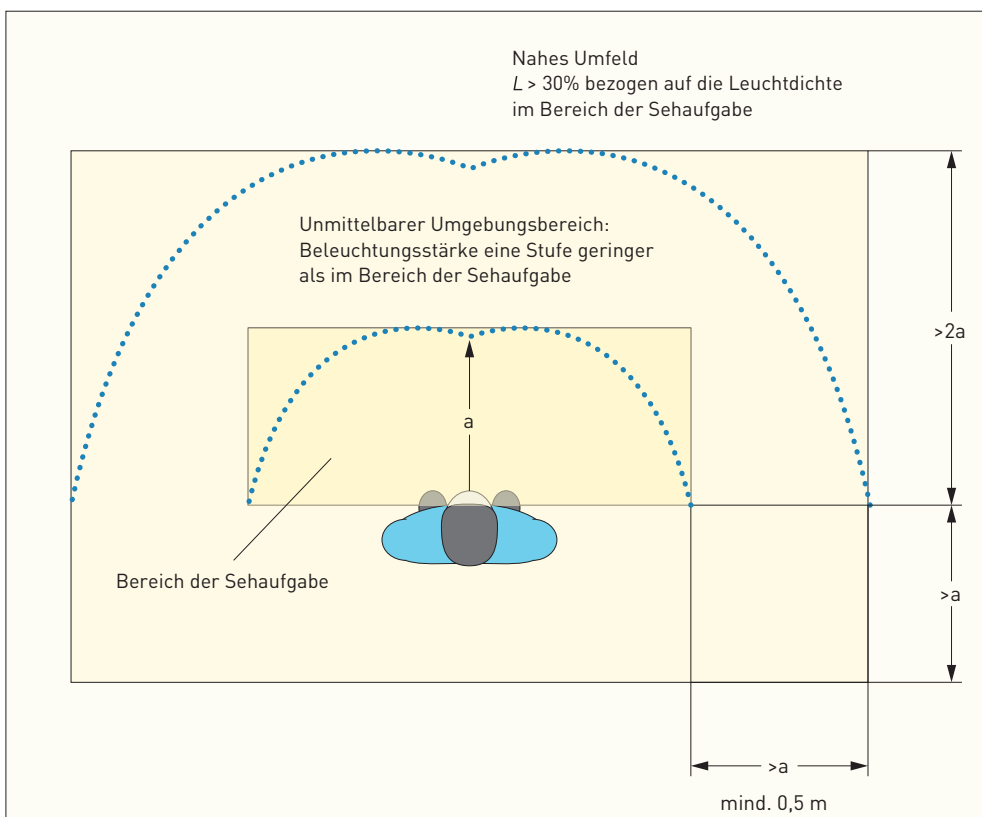


Abbildung 4.4: Beispiel für Mindestmaße des unmittelbaren Umgebungsbereiches um den Bereich der Sehaufgabe sowie für maximale Leuchtdichteverhältnisse (vgl. Abbildung 4.1).

4.2.2 Unmittelbarer Umgebungsbereich

Aus der Geometrie des Bereiches der Sehaufgabe ergibt sich weiterhin die Ausdehnung des unmittelbaren Umgebungsbereiches. Unter der Annahme, dass der Bereich der Sehaufgabe mit der Tiefe a (siehe auch Abb. 4.4) dem ergonomisch entsprechenden Greifraum ähnlich ist (siehe auch Abb. 4.1), sollte aus visuellen Gründen der unmittelbare Umgebungsbereich allseitig mindestens um das Maß a größer sein als der Bereich der Sehaufgabe. Um rechtwinklige Koordinaten für die Berechnung der Beleuchtungsstärke und der Gleichmäßigkeit anwenden zu können, ist es zweckmäßig, beide Bereiche durch tangierende Rechtecke zu ersetzen (Abb. 4.4, vgl. Kapitel 2.3).

4.2.3 Beispiele für Bereiche der Sehaufgabe

Die Abbildungen 4.5 bis 4.10 zeigen Beispiele industrieller Arbeitsplätze. Die Bereiche der Sehaufgabe sind als farbige Teilflächen gekennzeichnet.

Industrielle Arbeitsplätze können auf Grund des Auftretens verschiedener Bereiche der Sehaufgabe am gleichen Arbeitsplatz sehr komplex sein. Das Beispiel eines Montage-Arbeitsplatzes in Abbildung 4.5 zeigt dies exemplarisch. Hier liegen Bereiche der Sehaufgabe mit unterschiedlicher Lage (Neigung) und Sehleistung, d. h. mit unterschiedlichen lichttechnischen Anforderungen, vor. Eine Anforderung an moderne Industrie-Arbeitsplätze ist dabei in der Regel die Sehaufgabe am Bildschirm (siehe Kapitel 4.2.9).

Je nach der in Abbildung 4.5 aufgeführten Seh- bzw. Arbeitsaufgabe müssen die betreffende Beleuchtungsstärke und deren Gleichmäßigkeit auf den Teilflächen T1 bis T5 nach Tabelle 4.17 vorhanden sein. Die Orientierung der Teilflächen ist nicht nur horizontal, sondern z. B. für die Bildschirme vertikal und im Ablagebereich T4

geneigt. Sowohl eine ausreichende horizontale Beleuchtungsstärke E_h als auch eine entsprechende vertikale Komponente E_v sind hier bereitzustellen. Im Falle einer nicht arbeitszonalen Allgemeinbeleuchtung sollten deshalb zu sehr tiefstrahlende Leuchten vermieden werden. Ein ausgewogenes Verhältnis zwischen horizontaler und vertikaler Beleuchtungsstärke fördert zudem ein gutes räumliches Sehen im gesamten Raum (siehe Kapitel 2.8 „Modelling“).

Gegebenenfalls kann für feinteiligere Sehaufgaben eine am Arbeitsplatz befindliche Zusatzbeleuchtung erforderlich sein (siehe Abbildung 4.5, Bereich T5 und 4.8, Bereich T4). Insbesondere in Bereichen mit Beleuchtungsstärken über 500 lx kann dies aus energetischen Gründen vorteilhaft sein.

Wo möglich, sollte ein großflächiger Tageslichteinfall genutzt werden (siehe Abbildung 4.6). Eine intensive Tageslichtnutzung ist unter ökonomischen, ökologischen und auch physiologischen Gesichtspunkten (siehe Kapitel 3.3.1 „Human Centric Lighting“) vorteilhaft. Mit geeignet ausgelegten Beleuchtungsanlagen kann die künstliche Beleuchtung mit circadianer Wirksamkeit durch variierende Farbtemperatur bereitgestellt werden (siehe Kapitel 3.4.3 „Sanierungsbeispiele“).



Abbildung 4.5:
Bereiche der Sehaufgabe an einem Montage-Arbeitsplatz.



Abbildung 4.6:
Arbeitsplatz mit unterschiedlichen Sehaufgaben: Einlegen und Entnehmen von extrudierten PMMA-Platten am Strahlungssofen (T1), Tiefziehen der Werkstücke (T2), Nachbearbeitung und Qualitätskontrolle (T3).



Abbildung 4.7: Qualitätskontrolle von Blech-Werkstücken mit dem Laserscanner: Ausrichten des Werkstückes (horizontale Sehaufgabe, T1) und Überprüfung der Maßhaltigkeit am Bildschirm (T2).



Abbildung 4.8: Konfiguration (T1) und Bedienung (T2) einer automatischen Fertigungsanlage und nachträgliches Prägen (T3) und Abkanten (T4) der Teile.



Abbildung 4.9: Arbeitsplatz mit unterschiedlichen Seh-aufgaben: Einsetzen von Werkstücken in eine Fräsmaschine (T1), Steuerung der Maschine (T2), Messen und Nachbearbeitung am Werkstück und Ablage der Werkzeuge (T3).

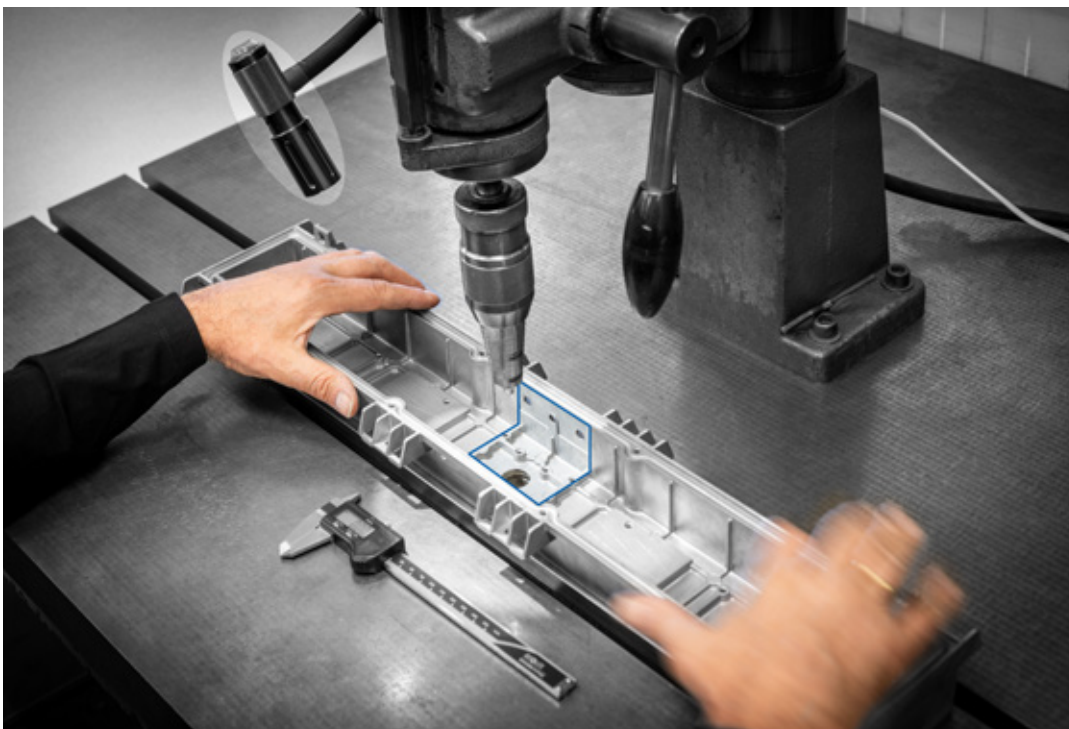


Abbildung 4.10: Arbeitsplatz im Musterbau mit Zusatzbeleuchtung für den Bereich der Sehaufgabe

4.2.4 Bereich des Arbeitsplatzes und Umgebung

Bezüglich der Forderungen der Technischen Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.4 [111] an die Beleuchtung des Bereiches des Arbeitsplatzes ist der Bereich der Sehaufgabe um den Bewegungsbereich zu ergänzen. (siehe Kapitel 3.2.3 „Anforderungen an den Arbeitsschutz in Deutschland“). Der unmittelbare Umgebungsbereich gemäß der Norm EN 12464-1 [51] ist nun bis zum nächstgelegenen Verkehrsweg, zum angrenzenden Arbeitsbereich oder zur Wand zu erweitern.

In einem Industriebetrieb mit typischer Anordnung der Arbeitsplätze ist deshalb insbesondere für arbeitszonale Beleuchtungskonzepte die Erfüllung aller Forderungen der Arbeitsschutzvorschriften im Einzelfall sorgfältig zu prüfen.

4.2.5 Beleuchtungsstärke

Bei hohen Beleuchtungsstärken, z. B. bei Anreißarbeiten und Kontrollen in der Metallbearbeitung mit 750 lx (modifiziert 1.000 lx), bei Farbprüfungen mit 1.000 lx (modifiziert 1.500 lx) oder bei Montagearbeiten von Messinstrumenten mit 1.000 lx (modifiziert 1.500 lx), kann – je nach der räumlichen Ausdehnung des Bereiches der Sehaufgabe – eine arbeitsplatzorientierte Allgemeinbeleuchtung oder eine Einzelplatzbeleuchtung zusätzlich zur Allgemeinbeleuchtung sinnvoll sein. Bei besonderen Anforderungen zur Erkennung von kleinsten Strukturen auf Oberflächen eignet sich ggf. eine flache und seitliche Lichteinstrahlung, um über die Schattenbildung zur Erkennung beizutragen.

In diesen Fällen ist ein genügend großer Umgebungsbereich mit der dazugehörigen Beleuchtungsstärke vorzusehen. Empfohlen wird, diesen Umgebungsbereich möglichst groß zu wählen und mit mindestens 500 lx zu beleuchten, um Adaptationsstörungen beim Blickwechsel in den

Raum zu vermeiden (zur Größe des Umgebungsbereiches siehe Abb. 4.4). Die übrigen Flächen im Raum – vornehmlich die vertikalen Flächen des Gesichtsfeldes – müssen mit Beleuchtungsniveaus ausgestattet sein, die eine ausgewogene Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld gewährleisten.

4.2.6 Leuchtdichteverteilung

In großen Arbeitsräumen, wie sie insbesondere in industriellen und handwerklichen Arbeitsstätten vorkommen, muss auf die ausgewogene Helligkeitsverteilung im Gesichtsfeld besonders geachtet werden.

Maßgebliche Gründe dafür sind folgende:

- Beim ständigen Blickwechsel zwischen der Sehaufgabe und einem zu dunklen Arbeitsraum wird Adaptationsarbeit geleistet, die eine visuelle Belastung darstellt und Unbehagen auslöst. Die Folgen sind Konzentrationsmängel, Seh- und Arbeitsfehler und eine frühzeitige Ermüdung.
- Bei großen Helligkeitsunterschieden können drohende Gefahren aus der Umgebung, z. B. in Industriehallen durch Annäherung von Fahrzeugen, Laufkränen mit Lasten usw., nicht rechtzeitig erkannt und es kann daher darauf nicht rechtzeitig reagiert werden. Ein heller, gesamter Arbeitsraum trägt wesentlich zur Arbeitssicherheit bei.
- Helle Arbeitsräume verbessern die Kommunikation mit dem Arbeitsteam und dem Arbeitsumfeld und fördern somit Wohlbefinden, Motivation und Produktivität.

Zwischen dem hellen Bereich der Sehaufgabe und dem nahen Umfeld sollen deshalb keine größeren Leuchtdichteunterschiede als 3 : 1 vorliegen. Zwischen dem Bereich der Sehaufgabe und entfernten, ausgedehnten Flächen soll der Unterschied nicht größer als 10 : 1 sein.

Die sich auf diesen Flächen ergebenden Leuchtdichteanforderungen können mit Hilfe der Abbil-

dung 2.13 in Beleuchtungsstärken umgerechnet werden (siehe Kapitel [2.6](#) „Leuchtdichteverteilung“). Die so ermittelten Beleuchtungsstärken sind bei der Planung der Beleuchtung durch ein geeignetes Beleuchtungskonzept und die entsprechende Anordnung der Leuchten umzusetzen.

Bezüglich der Beleuchtung der entfernteren Umgebung siehe auch Kapitel [2.4.5](#) „Hintergrundbeleuchtung“.

4.2.7 Farbwiedergabe

In hohen Hallen ist in der Regel ein relativ hoher Lichtbedarf zu erwarten. Der große Abstand der Leuchten von der Nutzebene führt zu einem geringen Beleuchtungswirkungsgrad.

Um den Energiebedarf für den großen Lichtstrom der eingesetzten tiefstrahlenden Leuchten zu begrenzen, sind für diese Bereiche in der Vergangenheit z. B. Natriumdampf-Hochdrucklampen zugelassen gewesen. Diese weisen nur eingeschränkte Farbwiedergabeeigenschaften auf (Farbwiedergabe-Index 40 bis 60), zeichneten sich aber durch ihre hohe Lichtausbeute aus (siehe auch Kapitel [9.2.1](#), „Lichtausbeute“).

Beim Einsatz von LED-Leuchten lässt sich dieses Problem heute weitestgehend umgehen. Diese sind mit guter Farbwiedergabe bei gleichzeitig sehr hoher Lichtausbeute verfügbar. Die hohe Effizienz sowie der geringe Wartungsaufwand machen sie auch wirtschaftlich attraktiv. Bei besonderen Betriebsbedingungen ist jedoch auf die Eignung der Leuchten zu achten.

In einigen Ausnahmefällen lässt EN 12464-1 [\[51\]](#) niedrige Farbwiedergabewerte weiterhin zu, unter der Bedingung, dass an ständig besetzten Arbeitsplätzen und an Stellen mit Sicherheitshinweisen mit einer Zusatzbeleuchtung für eine höhere Farbwiedergabe gemäß den Anforderungstabellen 4.6 bis 4.24 gesorgt wird.

4.2.8 Wartungsfaktor

In industriellen und handwerklichen Arbeitsstätten ist der zeitliche Rückgang des Lichtstroms einer Beleuchtungsanlage in besonderem Maße von den örtlichen Verschmutzungsbedingungen abhängig.

Der zu erwartende Verschmutzungsgrad muss bei der Planung der Beleuchtung durch die Wahl eines geeigneten Wartungsfaktors bzw. ausreichenden Neuwertes der Beleuchtungsstärke berücksichtigt werden.

Bei starker Verschmutzung könnte einem geringen Wartungsfaktor, der einen hohen installierten Lichtstrom erfordert und damit hohe Energiekosten verursacht, nun grundsätzlich mit verkürzten Wartungsintervallen (Reinigungsintervallen) entgegengewirkt werden. In vielen industriellen Anwendungen muss jedoch das Wartungsintervall seinerseits im Hinblick auf hohe Kosten der Wartung betrachtet werden. Den Neuwert von Beleuchtungsanlagen in schwer zugänglichen Bereichen, z. B. über Kranbahnen oder in großer Hallenhöhe, wird man deshalb eher höher ansetzen, um ein längeres Wartungsintervall und damit verringerte Wartungskosten zu erreichen.

Mit dem Einsatz eines Lichtmanagementsystems mit Konstantlichtregelung kann die Leistungsaufnahme der Beleuchtungsanlage im Neuzustand um den Wartungsfaktor reduziert werden. Erst im Verlauf des Wartungsintervalls wird zum Ausgleich der Verschmutzung auf die volle Leistungsaufnahme hoch geregelt. So ergeben sich unter Umständen hohe Energie-Einsparpotentiale, die zusätzlich zur Einsparung durch die Tageslichtnutzung erzielt werden können (siehe auch Kapitel [3.5.12](#) „Deutsche Norm DIN V 18599“ auf Seite 105).

In der Nahrungs- und Genussmittelindustrie werden meist sehr hohe Anforderungen an die Raumhygiene gestellt, so dass in diesen Fällen die Kriterien „sehr saubere Räume“ zur Bestimmung des Wartungsfaktors gelten und somit bei

Einhaltung weiterer Kriterien wie der Nutzung modernster Lampen- und Leuchtentechnologie, der Verwendung von Leuchten hoher Schutzart usw. der Wartungsfaktor von 0,8 zutreffend sein kann (siehe auch Kapitel 3.1.5, „Wartungsfaktoren in Beispiel-Anwendungen“).

Sind zum Zeitpunkt der Planung die betrieblichen Bedingungen sowie die Art und die Methode der Wartung nicht hinreichend bekannt, ist eine spezifische Bestimmung des Wartungsfaktors nicht möglich. In diesen Fällen sind für die Planung der Beleuchtung die Referenz-Wartungsfaktoren 0,67 für saubere, 0,57 für normale und 0,50 für schmutzige Räume zu verwenden (siehe auch Kapitel 3.1, „Erhalt des Beleuchtungsniveaus [Wartungsfaktor]“).

4.2.9 Beleuchtung einzelner Bildschirmarbeitsplätze

Bildschirme sind aus industriellen und handwerklichen Arbeitsstätten nicht mehr wegzudenken und Standard. In Arbeitsräumen, die primär nicht für Bildschirmarbeit ausgelegt sind, z. B. in Schalterhallen, im Fertigungs- und Lagerbereich sowie in ähnlichen Arbeitsstätten, kann es also neben den für Industrie und Handwerk typischen Arbeitsplätzen auch einzelne Bildschirmarbeitsplätze geben.

Es ist jedoch – auch aus wirtschaftlichen Gründen – nicht zweckmäßig, den gesamten Arbeitsraum – etwa eine Produktionshalle – nur wegen einiger Kontroll- oder Steuerungsmonitore mit einer bildschirmgerechten Beleuchtung (siehe Kapitel 4.3 „Beleuchtung von Büros und Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen“) auszurüsten. In diesen Fällen kann die Beleuchtung des Arbeitsraumes bzw. des Bereiches der Sehaufgabe für einzelne Bildschirmarbeitsplätze entsprechend ergänzt werden. In Bezug auf die Begrenzung von Direkt- und Reflexblendung, die von der Raumbeleuchtung verursacht wird, sind zusätzliche

arbeitsplatzbezogene Maßnahmen zweckmäßig, wie

- Abschirmung blendender Lichtquellen, z. B. der Raumbeleuchtung,
- Stellwände am einzelnen Bildschirmarbeitsplatz,
- Deckenelemente und Lichtsegel zur Abschirmung und
- Orientierung der Arbeitsplätze nach den vorgegebenen Beleuchtungsverhältnissen.

Bei der Auswahl dieser Maßnahmen ist darauf zu achten, dass die maximal zulässigen Leuchtdichtewerte in Bezug auf die Vermeidung von Reflexen auf dem Bildschirm nicht überschritten werden (siehe Kapitel 4.3 „Beleuchtung von Büros und Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen“). Die Spiegelung leuchtender Flächen mit sehr hoher Leuchtdichte am Bildschirm – wie sie z. B. bei der Beleuchtung durch Hallenleuchten mit hohen Lichtstromwerten auftreten können – ist besonders störend und muss daher vermieden werden, z. B. durch die oben angegebenen arbeitsplatzbezogenen Maßnahmen. Es ist darauf zu achten, dass auch die übrigen Kriterien der Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen, wie die Beleuchtungsstärke, erfüllt werden. Ggf. können an einzelnen Bildschirmarbeitsplätzen geeignete Arbeitsplatzleuchten ergänzend zur übrigen Beleuchtung eingesetzt werden. Für Planungswerte siehe auch Tabelle 4.29 „Arbeitsplatzbezogene Beleuchtung“ im Kapitel 4.3 „Beleuchtung von Büros und Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen“.

4.2.10 Nahrungs- und Genussmittelindustrie

Die Beleuchtung von Räumen der Nahrungs- und Genussmittelindustrie bzw. des einschlägigen Handwerks stellt besondere lichttechnische, hygienische und elektrotechnische Anforderungen. Die Empfehlung der EU-Kommission 89/214/EWG [133] über die Regeln, die bei Besichtigungen (durch tierärztliche Sachverständige) in den für den innergemeinschaftlichen Handel zugelassenen Fleischlieferbetrieben zu beachten sind, verlangt „eine ausreichende, die natürlichen oder künstlichen Farben nicht verändernde Beleuchtung“.

In Großbritannien ist die staatliche Food Standards Agency (FSA, siehe www.food.gov.uk) u. a. auch verantwortlich für die Fleischbeschau und die Kontrollen entsprechender Räume. Sie kontrolliert die Fleischindustrie im Hinblick auf Gesundheit der Bevölkerung und die artgerechte Haltung der Tiere bei der Schlachtung. Nach dem Meat Industrial Guide (MIG – Part Two) müssen die Räume angemessen natürlich oder künstlich beleuchtet sein. Zum Beispiel sind 540 lx in Kontrollbereichen, 220 lx in Arbeitsbereichen und 110 lx in allen anderen Bereichen gefordert.

Die Beleuchtung darf keine Farbveränderungen herbeiführen.

Neben der realistischen Farbwahrnehmung ist die Vermeidung schädigender Wirkungen der Strahlung künstlicher Lichtquellen auf Lebensmittel ein vorrangiges Kriterium der Beleuchtung.

Mit LED-Leuchten werden schädigende Belastungen der Waren durch die Beleuchtung heute wirksam vermieden, weil deren Strahlung frei von Infrarot- und Ultraviolett-Strahlungsanteilen ist (siehe Kapitel 9, „Leuchtmittel“).

Für Verkaufstheken für Fleisch- und Wurstwaren im Einzelhandel werden häufig Leuchten eingesetzt, die im Spektrum einen höheren Rotanteil aufweisen. Sie sind nur für die Warenpräsentation (Fleischverkaufsvitrinen) optimiert und daher nicht für die Beleuchtung des Raumes geeignet.

Grundsätzlich werden in Räumen der Lebensmittelindustrie geschlossene Leuchten empfohlen. Auf Grund der hohen Hygieneanforderungen wird in der Lebensmittelindustrie vom Lieferanten der Leuchten die Einführung eines HACCP-Systems (Hazard Analysis Critical Control Point) erwartet (siehe auch Kapitel 6.6, „Lebensmittelindustrie“).

4.2.11 Lichttechnische Anforderungen

Bäckereien (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a)	b)				mit $U_o \geq 0, 10$			
		lx	lx				lx	lx	lx	
7.1	Vorbereitungs- und Backräume	300	500	0,60	80	22	100	100	50	Lichtstromrückgang der Leuchtmittel bei höheren Umgebungstemperaturen beachten.
7.2	Endbearbeitung, Glasieren, Dekorieren	500	750	0,70	80	22	150	150	75	

Tabelle 4.6: Lichttechnische Anforderungen an Bäckereien gemäß DIN EN 12464-1 [51]

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Zement, Zementwaren, Beton, Ziegel (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a)	b)				mit $U_o \geq 0, 10$			
		lx	lx				lx	lx	lx	
8.1	Trocknung	50	-	0,40	20	28	-	-	-	Sicherheitsfarben müssen erkennbar sein, z. B. durch entsprechende Zusatzbeleuchtung.
8.2	Vorbereitung der Materialien; Arbeit an Öfen und Mischern	200	300	0,40	40	28	50	50	-	
8.3	Allgemeine Arbeit an Maschinen	300	500	0,60	80	25	100	100	-	
8.4	Rohformen	300	500	0,60	80	25	100	100	-	

Tabelle 4.7: Lichttechnische Anforderungen an Fertigungsstätten für Zement, Zementwaren, Beton, Ziegel gemäß DIN EN 12464-1 [51]

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Keramik, Fliesen, Glas, Glaswaren (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a)	b)				mit $U_o \geq 0, 10$			
		lx	lx				lx	lx	lx	
9.1	Trocknung	50	-	0,40	20	28	-	-	-	Sicherheitsfarben müssen erkennbar sein.
9.2	Vorbereitung, allgemeine Arbeit an Maschinen	300	500	0,60	80	25	100	100	-	
9.3	Emaillieren, Walzen, Pressen, Formung einfacher Teile, Glasieren, Glasblasen	300	500	0,60	80	25	100	100	-	
9.4	Schleifen, Gravieren, Glaspolieren, Formung von Präzisionsteilen, Herstellung von Glasinstrumenten	750	1000	0,70	80	19	150	150	100	Störende Reflexe auf glänzenden Oberflächen durch richtige Anordnung der Leuchten zum Bereich der Sehauflage vermeiden.
9.5	Schleifen von optischem Glas, Kristall, Handschleifen und Gravieren	750	1000	0,70	80	16	150	150	100	
9.6	Feine Arbeiten, z. B. Schleifen von Verzierungen (Dekorati- onsschleifen), Handmalerei	1000	1500	0,70	90	16	150	150	100	Farbtemperatur T_{cp} zwischen 4.000 K und 6.500 K
9.7	Herstellung von synthetischen Edelsteinen	1500	2000	0,70	90	16	150	150	100	Farbtemperatur T_{cp} zwischen 4.000 K und 6.500 K

Tabelle 4.8: Lichttechnische Anforderungen an Fertigungsstätten für Keramik, Fliesen, Glas, Glaswaren gemäß DIN EN 12464-1 [51]

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Chemische Industrie, Kunststoff- und Gummiindustrie (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a) lx	b) lx				mit $U_o \geq 0, 10$ lx lx lx			
10.1	Ferngesteuerte Verarbeitungsanlagen	50	-	0,40	20	-	-	-	-	Sicherheitsfarben müssen erkennbar sein.
10.2	Verarbeitungsanlagen mit eingeschränkter manueller Bedienung	150	200	0,40	40	28	50	50	30	
10.3	Ständig besetzte Arbeitsplätze in Verarbeitungsanlagen	300	500	0,60	80	25	100	100	50	
10.4	Präzisionsmessräume, Laboratorien	500	750	0,60	80	19	150	150	75	
10.5	Pharmazeutische Produktion	500	750	0,60	80	22	150	150	75	
10.6	Reifenproduktion	500	750	0,60	80	22	150	150	75	
10.7	Farbinspektion	1000	1500	0,70	90	19	150	150	100	Farbtemperatur T_{CP} zwischen 4.000 K und 6.500 K, Einzelplatzbeleuchtung zweckmäßig. Um Farbverfälschun- gen zu vermeiden, ggf. den Bereich der Sehaufgabe gegen andere Licht- quellen und farbige Wände und Möbel abschirmen.
10.8	Schneiden, Veredeln, Prüfen	750	1000	0,70	80	19	150	150	100	

a) erforderlicher Mindestwert,
b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)
* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.9: Lichttech-
nische Anforderungen
an Fertigungsstätten
der chemischen
Industrie, Kunststoff-
und Gummiindustrie
gemäß
DIN EN 12464-1 [51]

Elektroindustrie (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a) lx	b) lx				mit $U_o \geq 0, 10$ lx lx lx			
11.1	Kabel- und Drahtherstellung	300	500	0,60	80	25	100	100	50	
11.2	Wickeln									
	• große Spulen	300	500	0,60	80	25	100	100	50	
	• mittlere Spulen	500	750	0,60	80	22	150	150	75	
	• feine Spulen	750	1000	0,70	80	19	150	150	100	
11.3	Imprägnieren von Spulen	300	500	0,60	80	25	100	100	50	
11.4	Galvanisieren	300	500	0,60	80	25	100	100	50	
11.5	Montagearbeiten									
	• grobe, z. B. große Transformatoren	300	500	0,60	80	25	100	100	50	Bei Montagearbeiten auf richtigen Lichteinfall achten.
	• mittelfeine, z. B. Schalttafeln	500	750	0,60	80	22	150	150	100	
	• sehr feine, z. B. Telefone, Funkgeräte, IT-Geräte (Computer)	750	1000	0,70	80	19	150	150	100	Auf richtigen Lichteinfall achten.
	• Präzision, z. B. Messgeräte, Leiterplatten	1000	1500	0,70	80	16	150	150	100	Auf richtigen Lichteinfall achten.
11.6	Elektrowerkstatt, testen, einstellen	1500	2000	0,70	80	16	150	150	100	

a) erforderlicher Mindestwert,
b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)
* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.10:
Lichttechnische
Anforderungen an
Fertigungsstätten
der Elektroindustrie
gemäß
DIN EN 12464-1 [51]

Nahrungs- und Genussmittelindustrie (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtenauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a) lx	b) lx				mit $U_o \geq 0,10$ lx lx lx			
12.1	Arbeitsplätze und Bereiche • in Brauereien, Mälzerei, • zum Waschen, Fassfüllen, Reinigen, Sieben, Schälen, • zum Kochen in Konserven- und Schokoladenfabriken, • in Zuckerfabriken, • zum Trocknen und Gären von Rohtabak, Gärkeller	200	300	0,40	80	25	50	50	30	
12.2	Sortieren und Waschen von Produkten, Mahlen, Mischen, Verpacken	300	500	0,60	80	25	100	100	50	
12.3	Arbeitsplätze und wichtige Bereiche in Schlachthöfen, Metzgereien, Molkereien, Filterböden in Zucker- raffinerien	500	750	0,60	80	25	150	150	75	
12.4	Schneiden und Aussortieren von Obst und Gemüse	300	500	0,60	80	25	100	100	50	
12.5	Herstellung von Feinkost, Küchenarbeit, Herstellung von Zigarren und Zigaretten	500	750	0,60	80	22	150	150	75	
12.6	Inspektion von Gläsern und Flaschen, Produktkontrolle, Trimmen, Sortieren, Deko- rieren	500	750	0,60	80	22	150	150	100	
12.7	Laboratorien	500	750	0,60	80	19	150	150	100	
12.8	Farbinspektion	1000	1500	0,70	90	19	150	150	100	Farbtemperatur T_{cp} zwischen 4.000 K und 6.500 K. Lichtfarbe neutralweiß oder tageslichtweiß.

Tabelle 4.11:
Lichttechnische
Anforderungen an
Fertigungsstätten
der Nahrungs- und
Genussmittelindustrie
gemäß
DIN EN 12464-1 [51]

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Gießerei und Metallguss (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtenauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a) lx	b) lx				mit $U_o \geq 0,10$ lx lx lx			
13.1	Mannshohe Unterflurtunnel, Keller, usw.	50	-	0,40	20	-	-	-	-	Sicherheitsfarben müssen erkennbar sein.
13.2	Plattformen	100	-	0,40	40	25	50	50	30	
13.3	Sandaufbereitung	200	300	0,40	80	25	50	50	30	
13.4	Verband	200	300	0,40	80	25	50	50	30	
13.5	Arbeitsplätze an Kuppel und Mischer	200	300	0,40	80	25	50	50	30	
13.6	Gießhalle	200	300	0,40	80	25	50	50	30	
13.7	Ausschüttel-Bereiche	200	300	0,40	80	25	50	50	30	
13.8	Maschinenformguss	200	300	0,40	80	25	50	50	30	
13.9	Hand- und Kernformguss	300	500	0,60	80	25	100	100	50	
13.10	Druckguss	300	500	0,60	80	25	100	100	50	
13.11	Modellbau	500	750	0,60	80	22	150	150	75	

Tabelle 4.12:
Lichttechnische
Anforderungen an
Gießereien gemäß
DIN EN 12464-1 [51]

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Friseure/Coiffeure (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltable“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, oder Tätigkeit	\bar{E}_m	U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$	...Wand ...Decke	Bemerkungen*
	a) b)							mit $U_o \geq 0, 10$
	lx lx					lx lx lx		

14.1	Frisieren	500	750	0,60	90	19	150 150 100	
------	-----------	-----	-----	------	----	----	-------------	--

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.13: Lichttechnische Anforderungen an Friseursalons gemäß DIN EN 12464-1 [51]

Schmuckherstellung (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltable“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, oder Tätigkeit	\bar{E}_m	U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$	...Wand ...Decke	Bemerkungen*
	a) b)							mit $U_o \geq 0, 10$
	lx lx					lx lx lx		

15.1	Arbeit mit Edelsteinen	1500	2000	0,70	90	16	150 150 100	Farbtemperatur T_{cp} zwischen 4.000 K und 6.500 K.
------	------------------------	------	------	------	----	----	-------------	---

15.2	Herstellung von Schmuck	1000	1500	0,70	90	16	150 150 100	
------	-------------------------	------	------	------	----	----	-------------	--

15.3	Uhrherstellung (manuell)	1500	2000	0,70	80	16	150 150 100	
------	--------------------------	------	------	------	----	----	-------------	--

15.4	Uhrherstellung (automatisch)	500	750	0,60	80	19	150 150 100	
------	------------------------------	-----	-----	------	----	----	-------------	--

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.14: Lichttechnische Anforderungen an die Schmuckherstellung gemäß DIN EN 12464-1 [51]

Wäschereien und chemische Reinigung (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltable“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, oder Tätigkeit	\bar{E}_m	U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$	...Wand ...Decke	Bemerkungen*
	a) b)							mit $U_o \geq 0, 10$
	lx lx					lx lx lx		

16.1	Wareneingang, Markierung und Sortierung	300	500	0,60	80	25	100 100 50	
------	---	-----	-----	------	----	----	------------	--

16.2	Waschen und Trockenreinigung	300	500	0,60	80	25	100 100 50	
------	------------------------------	-----	-----	------	----	----	------------	--

16.3	Bügeln, Pressen	300	500	0,60	80	25	100 100 50	
------	-----------------	-----	-----	------	----	----	------------	--

16.4	Inspektion und Reparaturen	750	1000	0,70	80	19	150 150 100	
------	----------------------------	-----	------	------	----	----	-------------	--

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.15: Lichttechnische Anforderungen an Wäschereien gemäß DIN EN 12464-1 [51]

Leder und Lederwaren (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtenauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a) lx	b) lx				mit $U_o \geq 0, 10$ lx lx lx			
17.1	Arbeiten an Bottichen, Fässern, Gruben	200	300	0,40	80	25	75	75	30	An Fässern auf vertikale Sehaufgaben achten, Reflexe an Schaugläsern vermeiden.
17.2	Entfleischen, Schälen, Reiben, Trommeln der Häute	300	500	0,40	80	25	100	100	50	
17.3	Sattlarbeiten, Schuhherstellung: Nähen, Polieren, Formen, Schneiden, Lochen	500	750	0,60	80	22	150	150	100	Bei dunklem Material auf 1.000 lx erhöhen, ggf. durch zusätzliche Einzelplatzbeleuchtung.
17.4	Aussortieren	500	750	0,60	90	22	150	150	100	Farbtemperatur T_{cp} zwischen 4.000 K und 6.500 K.
17.5	Lederfärben (Maschine)	500	750	0,60	80	22	150	150	100	
17.6	Qualitätskontrolle	1000	1500	0,70	80	19	150	150	100	Für Oberflächenkontrolle auf schrägen Lichteinfall achten, ggf. durch Zusatzbeleuchtung.
17.7	Farbinspektion	1000	1500	0,70	90	19	150	150	100	Farbtemperatur T_{cp} zwischen 4.000 K und 6.500 K. Um Farbverfälschungen zu vermeiden, ggf. den Bereich der Sehaufgabe gegen andere Lichtquellen und farbige Wände und Möbel abschirmen.
17.8	Schuhherstellung	500	750	0,60	80	22	150	150	100	
17.9	Herstellung von Handschuhen	500	750	0,60	80	22	150	150	100	

a) erforderlicher Mindestwert,
b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)
* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.16: Lichttechnische Anforderungen an die Lederverarbeitung gemäß DIN EN 12464-1 [51]

Metallbe- und -verarbeitung (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a)	b)				mit $U_o \geq 0, 10$			
		lx	lx				lx	lx	lx	
18.1	Freiformschmieden	200	300	0,60	80	25	50	50	30	
18.2	Schmieden	300	500	0,60	80	25	75	75	30	
18.3	Schweißen	300	500	0,60	80	25	75	75	30	
18.4	Grobe und mittlere Maschinenarbeiten: Toleranzen $\geq 0,1$ mm	300	500	0,60	80	22	75	75	30	
18.5	Präzisionsbearbeitung Schleifen: $< 0,1$ mm	500	750	0,70	80	19	150	150	75	
18.6	Reißen; Inspektion	750	1000	0,70	80	19	150	150	100	Beim Anreißen können schräg einfallendes Licht und Spiegelung das Erkennen fördern, ggf. dazu Einzelplatzbeleuchtung vorsehen.
18.7	Draht- und Rohrziehereien; Kaltumformung	300	500	0,60	80	25	75	75	30	
18.8	Blechbearbeitung: Dicke ≥ 5 mm	200	300	0,60	80	25	50	50	30	
18.9	Blecharbeiten: Dicke < 5 mm	300	500	0,60	80	22	75	75	30	
18.10	Werkzeugherstellung; Herstellung von Schneidgeräten	750	1000	0,70	80	19	150	150	75	
18.11	Aufbau:									
	• roh	200	300	0,60	80	25	50	50	30	
	• mittel	300	500	0,60	80	25	75	75	30	
	• fein	500	750	0,60	80	22	150	150	75	
	• Präzision	750	1000	0,70	80	19	150	150	100	
18.12	Galvanisieren	300	500	0,60	80	25	75	75	30	
18.13	Oberflächenbearbeitung und Lackierung	750	1000	0,70	80	25	150	150	100	Leuchten so anordnen, dass störende Spiegelungen vermieden werden.
18.14	Werkzeug-, Schablonen- und Vorrichtungsbau, Fein- mechanik, Mikromechanik	1000	1500	0,70	80	19	150	150	100	

a) erforderlicher Mindestwert,
b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)
* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.17: Licht-technische Anforderungen an Metallverarbeitung gemäß DIN EN 12464-1 [51]

Papier und Papierwaren (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a)	b)				mit $U_o \geq 0, 10$			
		lx	lx				lx	lx	lx	
19.1	Randläufer, Zellstofffabriken	200	300	0,40	80	25	50	50	30	
19.2	Papierherstellung und -verarbeitung, Papier- und Wellpappenmaschinen, Kartonherstellung	300	500	0,60	80	25	75	75	50	
19.3	Buchbinderarbeiten, z.B. Falten, Sortieren, Kleben, Schneiden, Prägen, Nähen	500	750	0,60	80	22	150	150	100	

a) erforderlicher Mindestwert,
b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)
* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.18: Licht-technische Anforderungen an die Papierverarbeitung gemäß DIN EN 12464-1 [51]

Kraftwerke (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtenauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$			Bemerkungen*
		a)	b)				mit $U_o \geq 0, 10$			
		lx	lx				lx	lx	lx	
20.1	Kraftstoff- Versorgungsanlagen	50	-	0,40	20	-	-	-	-	Sicherheitsfarben müssen erkennbar sein.
20.2	Kesselhäuser	100	150	0,40	40	28	50	50	30	
20.3	Maschinenhallen	200	300	0,40	80	25	50	50	30	
20.4	Nebenräume, z. B. Pumpen- räume, Kondensatorräume usw., Schaltanlagen (in Gebäuden)	200	300	0,40	80	25	50	50	30	
20.5	Kontrollräume	500	1000	0,70	80	19	150	150	100	Schalttafeln sind oft vertikal angeordnet. Helligkeitssteuerung kann erforderlich sein. Bildschirm- arbeit siehe Kapitel 4.3 „Beleuch- tung von Büros und Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen“.

Tabelle 4.19:
Lichttechnische
Anforderungen an
Kraftwerke gemäß
DIN EN 12464-1 [51]

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Druckereien (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtenauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$			Bemerkungen*
		a)	b)				mit $U_o \geq 0, 10$			
		lx	lx				lx	lx	lx	
21.1	Schneiden, Vergolden, Prägen, Blockgravieren, Bearbeiten von Steinen und Platten, Druckmaschinen, Matrizen- herstellung	500	750	0,60	80	19	150	150	75	
21.2	Papiersortierung und Handdruck	500	750	0,60	80	19	150	150	75	
21.3	Texteinstellung, Retusche, Lithographie	1000	1500	0,70	80	19	150	150	100	Reflexblendung durch geeigneten Lichteinfall vermeiden.
21.4	Farbprüfung im mehrfarbigem Druck	1500	2000	0,70	90	16	150	150	100	Farbtemperatur T_{CP} zwischen 4.000 K und 6.500 K.
21.5	Stahl- und Kupferstich	2000	3000	0,70	80	16	150	150	100	Stark gerichtetes Licht kann die Sichtbarkeit verbessern.

Tabelle 4.20:
Lichttechnische
Anforderungen an
Druckereien gemäß
DIN EN 12464-1 [51]

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Walz-, Hütten- und Stahlwerke (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtenauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a) lx	b) lx				mit $U_o \geq 0, 10$ lx lx lx			
22.1	Produktionsanlagen ohne manuelle Bedienung	50	-	0,40	20	-	-	-	-	Sicherheitsfarben müssen erkennbar sein.
22.2	Produktionsanlagen mit gelegentlicher manueller Bedienung	150	200	0,40	40	28	50	50	30	
22.3	Produktionsanlagen mit ständiger manueller Bedienung	200	300	0,60	80	25	50	50	30	
22.4	Lager	50	-	0,40	20	-	-	-	-	Sicherheitsfarben müssen erkennbar sein.
22.5	Öfen	200	300	0,40	20	25	50	50	30	Sicherheitsfarben müssen erkennbar sein.
22.6	Walzstraße, Haspelanlage, Scherenlinie	300	500	0,60	40	25	75	75	30	
22.7	Steuerungsplattformen; Bedienfelder	300	500	0,60	80	22	75	75	30	
22.8	Test, Messung und Inspektion	500	750	0,60	80	22	150	150	100	
22.9	Mannshöhe Unterflurtunnel; Förderbänder, Keller, usw.	50	-	0,40	20	-	-	-	-	Sicherheitsfarben müssen erkennbar sein.

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.21:
Lichttechnische
Anforderungen an
Walzwerke gemäß
DIN EN 12464-1 [51]

Textilherstellung und -verarbeitung (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltable“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a) lx	b) lx				mit $U_o \geq 0, 10$ lx lx lx			
23.1	Arbeitsplätze und -bereiche in Bädern, Ballenöffnungen	200	300	0,60	60	25	50	50	30	
23.2	Kardieren, Waschen, Bügeln, Entwickeln von Maschinenarbeiten, Zeichnen, Kämmen, Größenbestimmung, Schneiden von Kartons, Vorspinnen, Jute- und Hanfspinnen	300	500	0,60	40	22	100	100	50	
23.3	Spinnen, Zwirnen, Spulen, Wickeln	500	750	0,60	40	22	150	150	75	Stroboskopische Effekte vermeiden.
23.4	Schären, Weben, Flechten, Stricken	500	750	0,60	60	22	150	150	75	Stroboskopische Effekte vermeiden.
23.5	Nähen, Stricken (feine Maschen), Maschen aufnehmen	750	1500	0,70	80	22	150	150	100	
23.6	Manuelle Gestaltung, Zeichnen von Mustern	750	1500	0,70	90	22	150	150	100	Farbtemperatur T_{CP} zwischen 4.000 K und 6.500 K.
23.7	Ausarbeiten, Färben	500	1000	0,60	80	22	150	150	100	
23.8	Trockenraum	100	-	0,40	60	28	50	50	30	
23.9	Automatischer Stoffdruck	500	-	0,60	90	25	100	100	50	
23.10	Noppen, Rupfen, Trimmen	1000	1500	0,70	80	19	150	150	100	
23.11	Farbinspektion; Gewebekontrolle	1000	1500	0,70	90	19	150	150	100	Farbtemperatur T_{CP} zwischen 4.000 K und 6.500 K. Um Farbverfälschungen zu vermeiden, ggf. den Bereich der Sehaufgabe gegen andere Lichtquellen und farbige Wände und Möbel abschirmen.
23.12	Kunststopfen	1500	2000	0,70	90	19	150	150	100	Farbtemperatur T_{CP} zwischen 4.000 K und 6.500 K.
23.13	Hutherstellung	500	750	0,60	80	22	150	150	75	

a) erforderlicher Mindestwert,
b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)
* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.22:
Lichttechnische
Anforderungen an
die Textilherstellung
gemäß
DIN EN 12464-1 [51]

Automobilbau (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtenauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$			Bemerkungen*
		a) lx	b) lx				mit $U_o \geq 0, 10$ lx lx lx			
24.1	Formwerkstatt – große Teile	300	500	0,60	80	25	100	50	30	Siehe Anmerkung unten.
24.2	Formwerkstatt – Sichtprüfung	500	750	0,60	80	22	150	50	30	
24.3	Karosseriebau und Montage – automatisch	300	500	0,60	80	25	100	50	30	
24.4	Karosseriebau und Montage – manuelles Schweißen	500	750	0,60	80	22	150	50	30	
24.5	Lackieren, Sprühkammer, Polierkammer	750	1000	0,70	80	22	150	150	30	
24.6	Lackieren, Prüfen, Ausbessern und Polieren	1000	1500	0,70	90	19	150	150	30	Siehe Anmerkung unten, Farbtemperatur T_{CP} zwischen 4.000 K und 6.500 K.
24.7	Polsterherstellung (manuell)	1000	1500	0,70	80	19	150	50	30	
24.8	Feinarbeiten: • Montage von Unterteilen (Türen, Armaturenbrett, Polsterung) • Montage unter dem Fahrgestell • Motor und mechanische Montage • Endmontage-Förderlinie	750	1000	0,70	80	22	150	50	30	
24.9	Feinarbeiten: • Arbeit mit Elektrik	750	1000	0,60	90	22	150	50	30	Farbtemperatur T_{CP} zwischen 4.000 K und 6.500 K zur Farberkennung.
24.10	Schlussprüfung	1000	1500	0,70	90	19	150	150	30	Siehe Anmerkung unten.
24.11	Allgemeine Dienstleistungen, Reparatur und Prüfung	500	750	0,60	80	22	100	50	30	Siehe Anmerkung unten. Einzel- platzbeleuchtung ist zu berücksich- tigen.

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Anmerkung: Werden an Montage-, Lackier- und Inspektionsarbeitsplätzen schräggestellte Leuchten beidseitig und parallel zur Fertigungslinie als arbeitsplatzbezogene Beleuchtung angebracht, muss aus betrieblichen Gründen auf die Begrenzung der Blendung durch diese Leuchten verzichtet werden.

Tabelle 4.23:
Lichttechnische
Anforderungen an den
Automobilbau gemäß
DIN EN 12464-1 [51]

Holzbe- und -verarbeitung (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtenauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a) lx	b) lx				mit $U_o \geq 0, 10$ lx lx lx			
25.1	Automatische Verarbeitung, z. B. Trocknung, Sperrholz- herstellung	50	-	0,40	40	28	-	-	-	Sicherheitsfarben müssen erkennbar sein.
25.2	Dampfgruben	150	200	0,40	40	28	50	50	30	
25.3	Sägerahmen	300	500	0,60	60	25	100	100	50	Stroboskopische Effekte vermeiden.
25.4	Arbeiten an der Tischlerbank, Kleben, Montieren	300	500	0,60	80	25	100	100	50	
25.5	Polieren, Lackieren, Tischle- reiarbeiten zur Verzierung	750	1000	0,70	80	22	150	150	100	
25.6	Arbeiten an Holzbearbeitungs- maschinen, z. B. Drehen, Rillen, Abrichten, Falzen, Nuten, Schneiden, Sägen, Sinken	500	750	0,60	80	19	150	150	75	Stroboskopische Effekte vermeiden.
25.7	Auswahl von Furnierhölzern	750	1000	0,70	90	22	150	150	100	Farbtemperatur T_{cp} zwischen 4.000 K und 6.500 K.
25.8	Marketerie und Einlagearbeiten	750	1000	0,70	90	22	150	150	100	
25.9	Qualitätskontrolle, Inspektion	1000	1500	0,70	90	19	150	150	100	

a) erforderlicher Mindestwert,
b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)
* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.24:
Lichttechnische
Anforderungen an
die Holzverarbeitung
gemäß
DIN EN 12464-1 [51]

4.3 Beleuchtung von Büros und Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen

4.3.1 Büro im Wandel

Digitalisierung und Globalisierung beeinflussen zunehmend unsere Arbeitswelt in allen Anwendungsbereichen. Mobile Endgeräte versetzen uns in die Lage, jederzeit an jedem Ort – mit immer weniger werdenden Ausnahmen – auf alle Informationen zuzugreifen, die wir in eigenen Netzwerken hinterlegt haben oder in öffentlichen Netzwerken zugänglich sind. Die Mobilität der Daten macht uns weitgehend unabhängig von räumlichen und zeitlichen Einschränkungen, unsere Arbeit zu verrichten.

Dennoch ist der Ort, an dem wir arbeiten, ein wichtiger Faktor, der unsere Motivation, unsere Leistungsfähigkeit und unser Wohlbefinden nachhaltig beeinflusst. Die Wirkung des Raumes mit allen seinen Aspekten, den Voraussetzungen und Folgen unterstützt oder beeinträchtigt uns als Nutzer in unserer Ruhe, Wachheit, Entspannung, Konzentrationsfähigkeit und Kreativität. Wenn die Lichtlösung dazu beiträgt, das wir gerne an diesem Ort arbeiten, hat der Lichtplaner alles richtig gemacht.

Die passende Wahl der Büroform (siehe Kapitel 4.3.6 „Büroraumarten“) und der Ausstattung hängt im Idealfall von der Person des Nutzers und seinen Aufgaben ab. Die Realität hingegen sieht heute häufig anders aus. Der dynamische Wandel vieler Arbeitsabläufe und organisatorischer Strukturen – vielfach resultierend aus technischen Innovationen der Arbeitsmittel –



lässt eine Optimierung der Arbeitsplätze auf spezifische Personen und Aufgaben oftmals nicht zu. Als Reaktion darauf ist bzgl. der Nutzung eine weitgehende Flexibilisierung und Multifunktionalität der Büroausstattung gefordert, die anstelle der Individualität heute die Individualisierbarkeit stellt.

Daraus ergeben sich wesentliche Herausforderungen an Architekten, Bauherren, Ergonomen, Bürogestalter, Fachleute der Haustechnik und auch an die Lichttechniker. Insbesondere die Ergonomie des Arbeitsplatzes sowie die Gestaltung des Arbeitsraumes, für die die Beleuchtung eine zunehmend zentrale Rolle spielt, müssen die oben genannte Dynamik aufnehmen und eine breite Akzeptanz finden. Mit dem in der Technischen Regel DIN CEN/TS 17165 [15] definierten Lighting System Design Process steht ein Lichtplanungsprozess zur Verfügung, dieses Ziel adäquat anzugehen.

Hilfreich dabei sind auch medizinische und wissenschaftliche Erkenntnisse sowie die technischen Innovationen der jüngeren Vergangenheit, die es ermöglichen, Lichtqualität unter erweiterten Gesichtspunkten neu zu definieren und ökonomisch sinnvoll umzusetzen. So ist es heute z.B. möglich, mit verfügbaren Systemen aus geeigneten Steuerungskomponenten und modernen LED-Leuchten den Tagesverlauf des natürlichen Lichtes nachzubilden. Dies ist ein wichtiger Aspekt des sogenannten „Human Centric Lighting“ (siehe auch Kapitel [3.3.1](#) „Human Centric Lighting“), das auch im sich wandelnden Büro zunehmend Einsatz findet. Ein Beispiel dazu ist im Kapitel [3.4](#) „Licht und Wirtschaftlichkeit“ im Unterkapitel [3.4.3](#) „Sanierungsbeispiele“ zu finden.

Viele der im Folgenden beschriebenen Aspekte für den Büroraum lassen sich weitgehend, wie im vorangegangenen Kapitel schon mit Beispielen belegt, auf mit Bildschirmen ausgestattete Arbeitsbereiche in beliebigen Arbeitsstätten übertragen.



4.3.2 Co-Working und New Work

Die steigende Komplexität der Arbeitswelt führt dazu, dass immer mehr Experten in den Bereichen Beratung, Training, Service und Support ihre Dienstleistungen vor Ort beim Anwender erbringen, wenn Maschinen, Software, Hardware oder sonstige technische Systeme zu betreuen sind. Sind dies Ausnahmesituationen, so können kleine, dringliche Aufgaben heute vielfach unterwegs im Auto, im Zug oder in einem Café erledigt werden. Für größere Aufgaben mit längeren Bearbeitungsphasen reicht es jedoch nicht aus, die mobilen Arbeitsmittel bei sich zu haben. Die Leistungsfähigkeit, die an einem adäquat ausgestatteten Arbeitsplatz über den Tag gegeben ist, kann unter den Bedingungen unterwegs immer nur kurzfristig und eingeschränkt erreicht werden.

Abhilfe schaffen heute vielfach sogenannte „Co-Working Spaces“. Größere Unternehmen unterhalten sie in den Räumen ihrer Geschäftsstellen, um Gästen und aus anderen Regionen angereisten Kollegen einen temporären Arbeitsplatz mit dazugehöriger Infrastruktur anbieten zu können. In größeren Städten werden Co-Working Spaces häufig in Büro-Etagen oder Büro-Gebäuden in der Nähe von Verkehrsknotenpunkten (Flughafen, Bahnhof) von kommerziellen Anbietern zur Miete angeboten. Auch Start-ups und Projektgruppen, denen kein eigenes Büro zur Verfügung steht, nutzen die bereitgestellte Infrastruktur.

Standen anfangs noch Treffpunkte für kreative Meetings im Vordergrund des Co-Working-Trends, so haben die angebotenen Räumlichkeiten heute immer deutlicher den Charakter temporär mietbarer Arbeitsstätten angenommen, an die entsprechende Anforderungen gestellt werden. Insbesondere die Regelungen des Arbeitsschut-

zes sind zu beachten, die für die Beleuchtung im Wesentlichen in der Regel für Arbeitsstätten ASR A3.4 [110] formuliert sind.

Prädestiniert für die Nutzung als Co-Working Spaces ist die Form des Kombibüros (siehe Kapitel 4.3.6 „Büroraumarten“). Dort kann der für den aktuellen Termin geeignetste Bereich reserviert bzw. gemietet werden. Darüber hinaus zeichnen sich hochwertige Co-Working-Arbeitsplätze dadurch aus, dass sie sich an die individuellen Bedürfnisse der Nutzer anpassen lassen. Arbeitszonale Beleuchtungssysteme mit modernen Steuerungssystemen können einen wichtigen Beitrag dazu leisten (siehe auch Kapitel 4.3.8 „Beleuchtungskonzepte“).

4.3.3 Homeoffice

Die Möglichkeiten der mobilen Arbeit (siehe Kapitel 4.3.2 „Co-Working und New Work“) sind grundsätzlich überall gegeben, wo ein genügend guter Datenverkehr über das Internet sicher bereitgestellt werden kann. Auch das Homeoffice kann daher in jüngster Zeit eine immer stärker werdende Rolle in unserer Arbeitswelt einnehmen.

Sei es zur Vermeidung von Gesundheitsgefährdungen, wie in der COVID-19-Pandemie, aus witterungs- und verkehrstechnischen Gründen oder aus Gründen der Arbeitsorganisation und des persönlichen Komforts – eine angemessene Beleuchtung des Arbeitsplatzes ist auch hier unerlässlich, wenn der Heimarbeitsplatz häufig oder regelmäßig für einen erheblichen Teil des Arbeitstages genutzt wird. Gemäß der Arbeitsstättenverordnung [ArbStättV] [148] ist das Homeoffice ein Telearbeitsplatz und somit ein vom Arbeitgeber fest eingerichteter Bildschirmarbeitsplatz im Privatbereich des Mitarbeiters. Der Arbeitgeber ist somit verpflichtet, die Voraussetzungen des Arbeits- und Gesundheitsschutzes zu gewährleisten. Bestehende Normen, wie z. B. die DIN EN 12464-1 [51], sind gleichermaßen auf diese Arbeitsstätten in Innenräumen anwendbar.

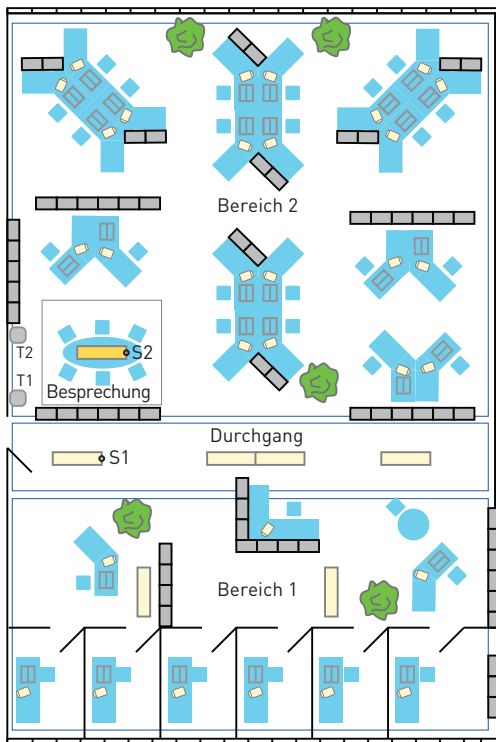


Abbildung 4.11:

New Work Office – Allgemeinbeleuchtung und arbeitszonale Beleuchtung mit zweikomponentiger Tischleuchte Bicult:

Im New Work Office stehen Einzel- und Gruppenarbeitsplätze sowie Kabinen zur Verfügung, die je nach aktueller Aufgabe für Einzelarbeit, ein Arbeitsmeeting oder für Telefon- oder Online-Konferenzen gebucht werden können. Insgesamt sind hier 31 Arbeitsplätze mit je einer Tischleuchte ausgestattet.

- Der indirekte Lichtaustritt der Leuchten stellt die Allgemeinbeleuchtung für den Raum bereit und ist für alle Leuchten mit synchronem Farbtemperaturverlauf in zwei Gruppen mit vollautomatischer Anwesenheitserfassung gesteuert.
- Der tageszeitliche Verlauf der Lichtfarbe unterstützt durch seine circadiane Wirksamkeit den natürlichen Biorhythmus.
- Die Allgemeinbeleuchtung ist je Leuchte tageslichtabhängig geregelt.
- Der Direktanteil ist mit Bedientastern am Fuß der Leuchte einstellbar.
- Die zur Leuchte gehörige Smartphone-App ermöglicht die „Mitnahme“ individueller Beleuchtungseinstellungen an jeden beliebigen Arbeitsplatz.

Im Durchgangsbereich und im Besprechungsbereich wird die Allgemeinbeleuchtung durch ebenfalls circadian gesteuerte Hängeleuchten ergänzt.

Mit Systemen der Wohnraumbeleuchtung sind die erforderlichen Beleuchtungsverhältnisse im Allgemeinen schwer zu erreichen. Sie sind einerseits in Bezug auf den verfügbaren Lichtstrom und die Lichtverteilung nicht für das empfohlene Beleuchtungsniveau von bis zu 1.000 lx in einem ausgedehnten Arbeitsbereich konzipiert. Andererseits sind auch die weiteren in der DIN EN 12464-1 beschriebenen Kriterien der Beleuchtung – z. B. die Gleichmäßigkeit, Leuchtdichteverteilung, Blendungsbegrenzung – nicht im Fokus ihrer bestimmungsgemäßen Anwendung. Deshalb sollte die Verwendung von Leuchten für die Arbeitsstättenbeleuchtung in Betracht gezogen werden. Verfügbare lichttechnische Datensätze und Berechnungsprogramme (siehe Kapitel 3.7 „Beleuchtungsplanung“) ermöglichen vor der Installation die Verifizierung der geforderten Kriterien der Beleuchtung.

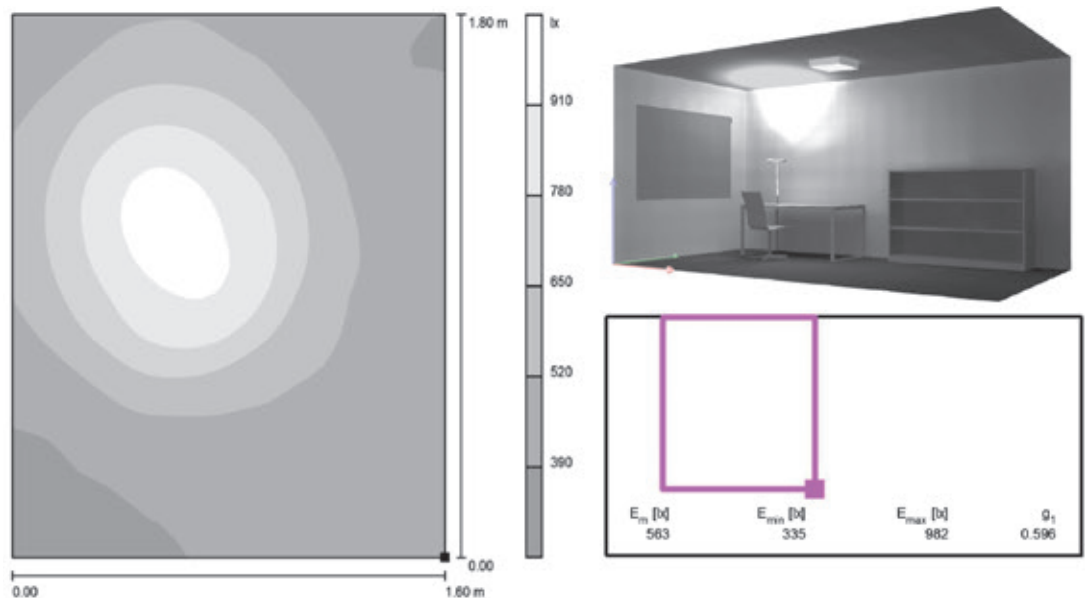
Im Homeoffice sind dabei insbesondere die räumlichen Verhältnisse zu beachten. Unter Umständen ist der gegebene Raum verhältnismäßig klein, der Arbeitsplatz in einer Nische eines überwiegend anders genutzten Raumes platziert oder die Deckenhöhe gering. Anstelle einer raumbezogenen Leuchtenanordnung (siehe Kapitel 4.3.8 „Beleuchtungskonzepte“) bietet sich hier in der Regel der Einsatz einer arbeitszonalen Einzel-



leuchte an, die bei moderater Höhe über dem Schreibtisch platziert oder als Tischleuchte auf dem Schreibtisch aufgestellt werden kann.

Insbesondere bei Arbeitsbereichen mit geringer Tageslichtversorgung sollte eine direkt-indirekte Beleuchtung bevorzugt zum Einsatz kommen. Eine circadiane Steuerung der Farbtemperatur unterstützt die innere Uhr und erhält in den Morgen- und Abendstunden den wohnlichen Charakter der Arbeitsstätte im eigenen Zuhause. Die dafür erforderlichen Funktionen sind vielfach mittels einer in die Leuchte integrierten Steuerung optional verfügbar und einfach – ggf. mit einer Smartphone-App – zu bedienen.

Abbildung 4.12: Auszug aus dem DIALux-Berechnungsergebnis für einen Homeoffice-Arbeitsplatz. Die im Raum befindliche und für die Wohnraumbeleuchtung übliche Deckenleuchte wird ergänzt durch eine für Arbeitsstätten konzipierte, arbeitszonale Tischleuchte. Das geforderte Beleuchtungsniveau wird mit hinreichender Gleichmäßigkeit erreicht. Hohe Beleuchtungsstärken stehen im Hauptarbeitsbereich zur Verfügung.





4.3.4 Beleuchtung von CAD-Räumen

Das Erstellen von technischen Plänen, Zeichnungen und Simulationen nimmt schon lange einen erheblichen Teil der vorbereitenden Arbeiten in der Entwicklung von Produkten wie auch der Errichtung von Bauwerken ein. Das Konstruieren am Bildschirm ist dabei eine der visuell anspruchsvollsten Tätigkeiten. Haarfeine Linien, Buchstaben und Symbole sowie Flächen mit unterschiedlichen Farben und Kontrasten müssen sicher erkannt werden und erfordern daher eine hohe Konzentration.

Neben den Sehaufgaben am Bildschirm (geneigter Bereich der Sehaufgabe) befinden sich im Arbeitsbereich Zeichnungsvorlagen, Skizzen, Tabellenbücher und weitere konventionelle Bürounterlagen mit horizontal orientierten Sehaufgaben.

Der CAD-Bildschirmarbeitsplatz sollte mit nicht zu hohen Beleuchtungsstärken beleuchtet werden, nach EN 12464-1 [51] mit 500 lx (siehe

Tabelle 4.28). Reflexe von hellen Flächen wie von Fenstern und Wänden auf der Bildschirmoberfläche sind zu vermeiden, ebenso Reflexionen von Leuchten, die meist stärker abgeschirmt werden müssen als in Räumen mit normalen Bildschirmarbeitsplätzen.

Die Tabellen 4.26 und 4.25 enthalten die maximal zulässigen Leuchtdichten von Leuchten und Raumflächen (z. B. von Wänden, Einrichtungsgegenständen, Stellwänden, Fenstern, Oberlichtern), die sich aus der Sicht des Nutzers auf dem Bildschirm spiegeln können.

Mit dimmbaren und direkt-indirekt strahlenden Leuchten kann sowohl das individuelle Beleuchtungsniveau eingestellt als auch die mittlere Leuchtdichte der Leuchten und der Decke reduziert werden. So können Reflexe auf dem Bildschirm bis zur Unmerklichkeit verringert werden.

Das Tageslicht mit seinen starken Helligkeitswechseln muss ggf. stark abgeschirmt werden. An den Fenstern sind geeignet verstellbare Lichtschutzvorrichtungen vorzusehen (siehe auch Kapitel 4.3.7 „Berücksichtigung von Tageslicht“). Sollen in dem gegebenen CAD-Büro auch Arbeiten an konventionellen Zeichenbrettern durchgeführt werden, so sind diese Arbeitsbereiche und ihre lichttechnischen Rückwirkungen auf die CAD-Arbeitsplätze gesondert zu betrachten.

Das Beispiel in der Abbildung 4.13 zeigt eine Lösung für die Beleuchtung eines CAD-Büros mit der klassischen Anordnung der Bereiche der Sehaufgabe. Die Schreibtische stehen am Fenster und die CAD-Arbeitsplätze in der Raumtiefe, also vom Fenster und dem Tageslicht entfernt. Die Blickrichtung auf den Bildschirm ist parallel zur Fensterfront. Seitlich zu den CAD-Plätzen können zusätzlich Zeichnungshalter angeordnet sein, mit denen sich auch gleichzeitig zu viel Tageslicht oder bei hellkeitsgeregelter Beleuchtung zu viel Licht vom benachbarten CAD-Arbeitsplatz abschirmen lässt. Die überwiegend indirekt strahlenden Arbeitsplatzleuchten mit spezieller Optik (Abbildung 4.14) für hohe Kontrastwiedergabe und geringe Reflexblendung

sind besonders für die Beleuchtung des Arbeitsbereiches „Bildschirmarbeit“ geeignet. Sie sind quer zur Blickrichtung orientiert. Die jedem Arbeitsplatz zugeordneten Leuchten sind individuell dimmbar.

Planungswerte

Die lichttechnischen Anforderungen an die Beleuchtung von Konstruktionsräumen und CAD-Arbeitsplätzen nach EN 12464-1 sind in Tabelle 4.28 und 4.29 zusammengefasst. Grundsätzlich gelten für die Lichtfarbe warmweiß oder neutralweiß, für den Farbwiedergabe-Index $R_a \geq 80$ und für die Blendungsbegrenzung der Grenzwert $R_{UGL} \leq 19$, ggf. ist eine individuelle Berechnung des UGR-Wertes für jeden Nutzer erforderlich. Die horizontalen $E_{h,m}$, zylindrischen $E_{z,m}$ und vertikalen Beleuchtungsstärkewerte $E_{v,m}$ sind Wartungswerte, die zu keiner Zeit unterschritten werden dürfen. Die mittlere zylindrische Beleuchtungsstärke $E_{z,m}$ sollte in der Bewertungsebene bei sitzenden Personen in 1,2 m und bei stehenden Personen in 1,6 m über dem Boden nach EN 12464-1 mindestens 150 lx (Gleichmäßigkeit mindestens 0,10) sein.

Beispiel

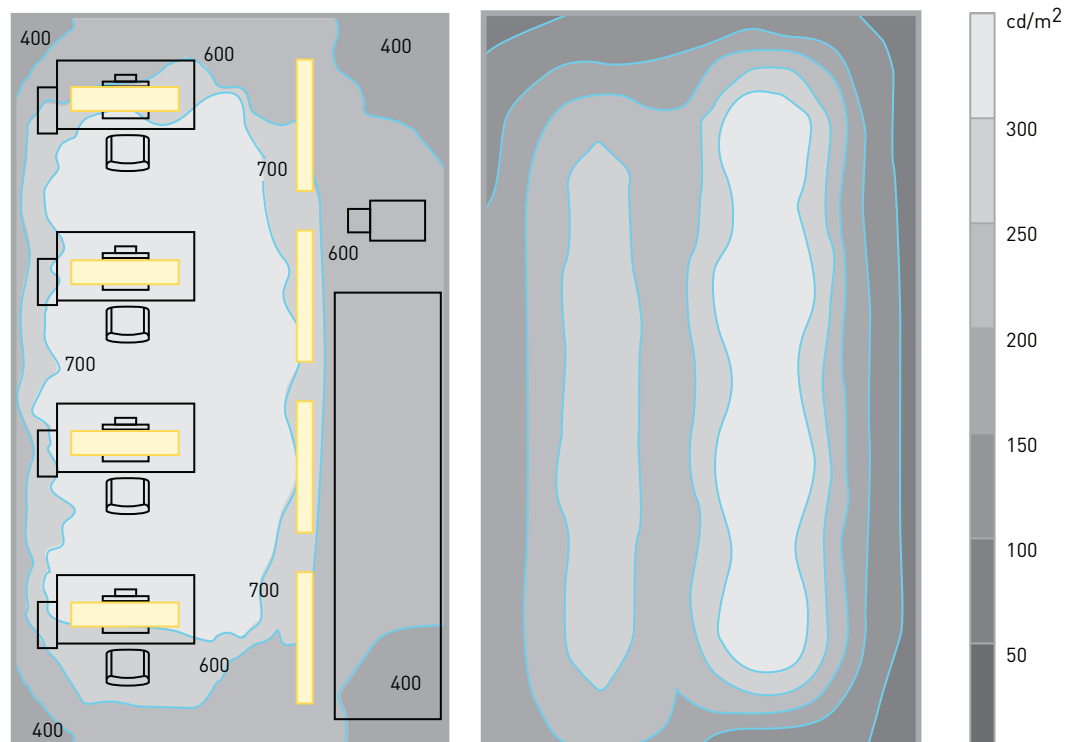
In dem CAD-Büro ist über jedem CAD-Arbeitsplatz eine abgependelte, direkt-indirekt strahlende, dimmbare LED-Arbeitszonenleuchte mit Spezialoptik und großflächiger Lichtaustrittsfläche angeordnet. Dadurch können an jedem CAD-Arbeitsplatz – unabhängig von anderen Arbeitsplätzen – das gewünschte Beleuchtungsniveau und damit die individuell empfundenen, besten Sehbedingungen eingestellt werden. Damit wird auch gleichzeitig die mittlere Leuchtdichte der Lichtaustrittsfläche und der Decke verringert und deren Reflexbilder auf dem Bildschirm werden reduziert. Im Fensterbereich befinden sich die Arbeitstische für die konstruktionsbegleitenden Arbeiten (siehe Abbildung 4.13 und 4.14).

In Arbeitsbereichen mit konventionellen Zeichenbrettern ist eine auf den Arbeitsbereich bezogene Zusatzbeleuchtung zur Erreichung der spezifischen Anforderungen zu empfehlen (siehe Tabelle 4.28). Störende Rückwirkungen, insbesondere Reflexionen auf den Bildschirmen der CAD-Arbeitsplätze, sind zu umgehen.

Abbildung 4.13:
Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte in einem CAD-Büro

links: Die Beleuchtungsstärkeverteilung in 0,75 m über dem Boden bei 100 % Lichtstrom, dargestellt als Isoluxlinien (Werte in lx).

rechts: Verteilung der Deckenleuchtdichte (Kurven gleicher Leuchtdichte, Wert in cd/m^2). Bei Maximaleinstellung des Lichtstroms ist die Leuchtdichte über den CAD-Arbeitsplätzen an keiner Stelle der Decke höher als $400 cd/m^2$, der Mittelwert ist $\leq 160 cd/m^2$. Je nach Regelzustand der Leuchten kann die Leuchtdichte zusätzlich noch weiter verringert werden.



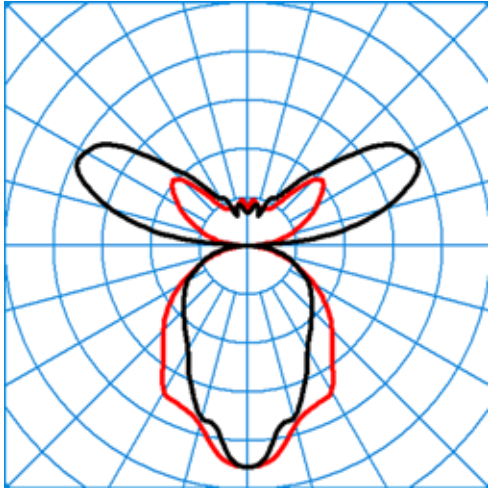


Abbildung 4.14:
Lichttechnik einer
arbeitszonalen Leuchte
mit großflächiger
Lichtaustrittsfläche

4.3.5 Einzelne Bildschirmarbeitsplätze

In Arbeitsräumen, die primär nicht für Bildschirmarbeit ausgelegt sind, z. B. im Fertigungs- und Lagerbereich, in Schalterhallen, auf Steuerbühnen, in Messständen und Warten usw., kann es vereinzelte Bildschirmarbeitsplätze geben. In solchen Arbeitsstätten ist es oft nicht vertretbar, die Beleuchtung des gesamten Raumes auf die lichttechnischen Anforderungen für Bildschirmarbeitsplätze ausulegen. In Bezug auf die Begrenzung von Direkt- und Reflexblendung werden zweckmäßigerweise arbeitsplatzbezogene Maßnahmen gewählt wie

- Abschirmungen,
- Stellwände,
- Deckenelemente,
- Lichtsegel.

Bei der Auswahl dieser Maßnahmen ist darauf zu achten, dass die zulässigen Leuchtdichtewerte nach Tabelle 4.25 nicht überschritten werden.

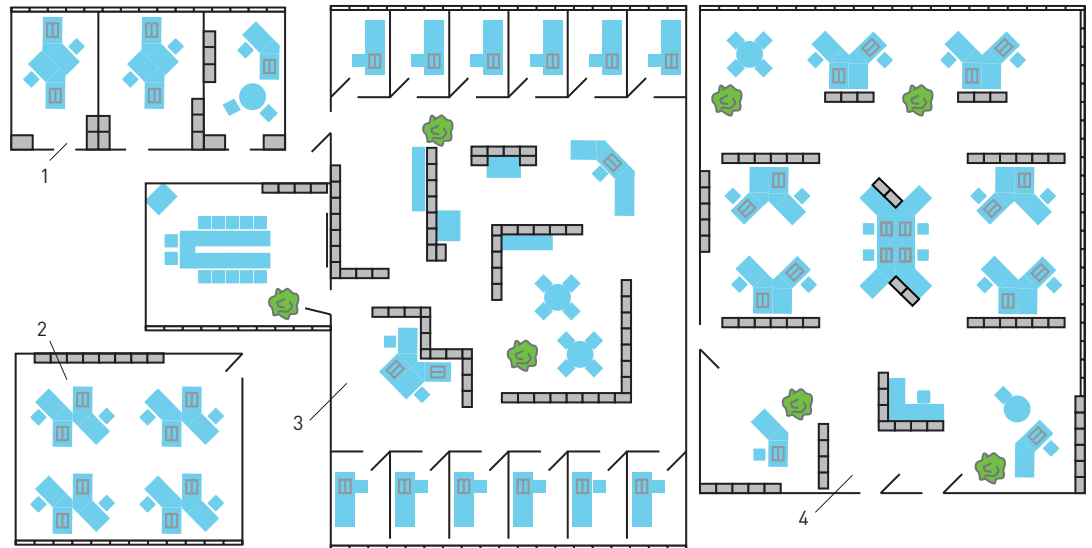
Die Spiegelung leuchtender Flächen mit sehr hoher Leuchtdichte am Bildschirm – wie sie z. B. bei Leuchten mit großem Lichtstrom bzw. kleiner Lichtaustrittsfläche auftreten kann – ist besonders störend und sollte vermieden werden, z. B. durch die oben angegebenen Maßnahmen.

Bei den arbeitsplatzbezogenen Maßnahmen ist jedoch zu beachten, dass die übrigen Beleuchtungsanforderungen am Bildschirmarbeitsplatz, z. B. die Beleuchtungsstärke, nicht negativ beeinflusst werden.

Diese Anforderungen an die Beleuchtung einzelner Bildschirmarbeitsplätze, insbesondere bezüglich der Vermeidung von Störungen durch Reflexe auf dem Bildschirm, sind auch auf einzelne Bildschirmarbeitsplätze im Gesundheitswesen, in der Fertigung und im Lagerbereich anzuwenden.



Abbildung 4.15:
Büroraumarten
1 – Zellenbüro
2 – Gruppenbüro
3 – Kombibüro
4 – Großraumbüro



4.3.6 Büroraumarten

Grundsätzlich lassen sich die Büroraumarten in vier Grundtypen unterscheiden:

Das **Zellenbüro** hat eine Grundfläche von etwa 10 m² bis 50 m² und eine Raumtiefe bis zu 5,5 m. Es ist für eine bis ca. fünf Personen vorgesehen. Die Arbeitsbereiche und Bereiche der Sehaufgabe sind innerhalb von Verwaltungsgebäuden in der Regel nahe am Fenster angeordnet und ausreichend mit Tageslicht und zeitweiser künstlicher Beleuchtung versorgt. Klassisch ist eine Anordnung von zwei Leuchtenreihen parallel zur Fensterfront. In Produktionsstätten sind solche Bürobereiche häufig durch Stellwände von den allgemeinen Produktionsbereichen getrennt und ggf. nach oben mit einer Zwischendecke geschlossen. Einzelne Bildschirmarbeitsplätze befinden sich auch in der Halle.

Das **Gruppenbüro**¹ hat eine Grundfläche von bis zu 300 m², in dem bis zu 25 Personen Platz finden. Die Raumtiefe kann mehr als 15 m betragen, weswegen die Räume dann nur in den fensternahen Zonen natürlich belichtet sind. Die Innenzonen sind bei einseitig angeordneten Fenstern ständig künstlich beleuchtet. Die raumbezogene künstliche Beleuchtung muss eine

flexible Anordnung der Arbeitsbereiche (Schreibtischgruppen) im Raum ermöglichen. Flexible und individualisierbare Beleuchtungssysteme – eventuell zusätzlich zu einer raumorientierten Grundbeleuchtung – sind insbesondere hier von Vorteil (siehe auch Kapitel 4.3.8 „Beleuchtungskonzepte“). Gruppenbüros mit geringer Raumtiefe können hinsichtlich Beleuchtung wie aneinander gereihete Zellenbüros betrachtet werden.

Das **Kombibüro** besteht aus den durch raumhohe Wände abgetrennten Ein-Personen-Büroräumen an der Fensterfront und dem meist innen liegenden Gemeinschaftsraum, in dem durch Stellwände und Möbel abgetrennte Besprechungs- und Aufenthaltszonen sowie Bürogeräte und Aktenarchive angeordnet sind. Die Einzelbüros haben eine Grundfläche von bis zu 12 m², eine Raumtiefe bis 5 m und eine Raumbreite bis 3 m. Sie sind meist natürlich belichtet, zeitweise mit künstlicher Beleuchtung versehen. Der Gruppenraum ist in der Regel ständig künstlich beleuchtet – je nach Bereich auch mit unterschiedlichem Beleuchtungsniveau. Die Installationen für die Elektro- und Kommunikationstechnik der Einzelbüros befindet sich in Fensterkanälen, die des Gruppenraumes häufig in Unterbodenkanälen.

Auch das **Großraumbüro**¹ – in den 1960er Jahren als moderne Bürolandschaft entwickelt – ist

¹ Die Definition des Gruppenbüros und des Großraumbüros bezieht sich auf die charakteristische Raumgeometrie. Davon abweichend orientiert sich die Definition in der Norm DIN V 18599 an der Anzahl der Arbeitsplätze und der daraus resultierenden Belegung bzw. der relativen Abwesenheit.

heute noch anzutreffen. Zwar fehlt ihm die Privatheit der Arbeitsbereiche des Kombibüros, aber die Flexibilität wie die eines Gruppenbüros und die Vorteile des Gemeinschaftsraumes des Typs Kombibüro werden geschätzt. Mittelhohe Stellwände und Schränke verwandeln die Grundfläche von bis zu 1.200 m² in flexible Arbeitsbereiche für bis zu 100 Personen. Vollklimatisierung und dauernde künstliche Beleuchtung der Innenbereiche sowie Installationskanäle im Unterboden bzw. in der abgehängten Decke sind weitere typische Merkmale des Großraumbüros. Die künstliche Beleuchtung ist meist raumbezogen. Aber auch eine bereichsbezogene Beleuchtung ist in Großraumbüros anzutreffen, die ggf. durch Einzelplatzleuchten ergänzt werden kann (siehe auch Kapitel [4.3.8](#) „Beleuchtungskonzepte“). Damit wird die nötige Flexibilität der Anordnung der Arbeitsbereiche sichergestellt.

In Bereichen in der Raumtiefe von Gruppen- und Großraumbüros, die am Tage nicht mit ausreichend natürlichem Tageslicht versorgt sind, ist es sinnvoll, den Tagesrhythmus der inneren Uhr durch eine circadian wirksame Beleuchtung zu unterstützen (siehe Kapitel [4.3.8](#) „Beleuchtungskonzepte“). Unabhängig von den Kontextmodifikatoren (siehe Kapitel [2.4](#) „Beleuchtungsstärke“) ist es hier sinnvoll, eine um zwei Stufen erhöhte Beleuchtungsstärke einzuplanen. Im Tagesverlauf kann ein geeignetes Lichtmanagement die tageslichtabhängige Regelung mit einem dynamischen Sollwert variieren (siehe auch Kapitel [3.3.6](#) „Human Centric Lighting und Lichtplanung“). Die Arbeitsplätze in der Raumtiefe werden dadurch aufgewertet, Wohlbefinden und Akzeptanz steigen, und ein angemessenes Leuchtdichteverhältnis über den gesamten Raum wird mit einem nur geringen Energie-Mehraufwand erreicht, welcher sich durch nachweislich positive Effekte und Ergebnisse auszahlt.

4.3.7 Tageslicht im Büro

Büros sind wie Arbeitsstätten im Allgemeinen, soweit dies möglich ist, bevorzugt mit Tageslicht

zu beleuchten (siehe auch Kapitel [2.12](#) „Tageslicht“). Grundsätzlich sind dafür die Arbeitsplätze so anzuordnen und auszurichten, dass hohe Leuchtdichten an Fenstern und vom Tageslicht beschienenen Flächen möglichst geringe Störungen bzgl. der im Raum zu verrichtenden Sehaufgaben bewirken.

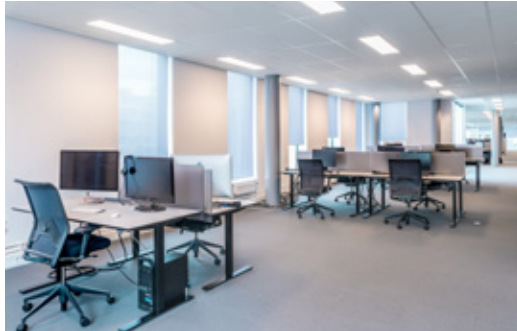
Dies gilt insbesondere auch für die Arbeit am Bildschirm, um Beeinträchtigungen der Sichtbarkeit der Bildschirminformation zu vermeiden („Richtlinie des Rates vom 29. Mai 1990 über die Mindestvorschriften bezüglich der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes bei der Arbeit an Bildschirmgeräten 90/270/EWG“ [\[149\]](#))¹.

Insbesondere bei direktem Lichteinfall bei flachem Sonnenstand sind Lichtschutzvorrichtungen erforderlich. Im Allgemeinen erfüllen verstellbare Jalousien, die abschirmen, aber auch den Durchblick erlauben, diese Anforderung in zufriedenstellendem Maße. Vielfach sind solche Einrichtungen zur Vermeidung des Wärmeeintrages durch Sonnenlicht in Form von Außenjalousien gegeben. In Kombination damit ist ein Lichtmanagement mit tageslichtabhängiger Konstantlichtregelung hilfreich, um das Tageslicht bei Bedarf effizient mit der künstlichen Beleuchtung zu ergänzen.

In Büroräumen mit großer Raumtiefe ist zum Ausgleich fehlenden Tageslichtes eine circadian wirksame Beleuchtung zu empfehlen. Bei gleichzeitig guter Tageslichtversorgung der fenster-nahen Arbeitsbereiche empfiehlt sich eine Steuerung mit tageszeitlich angepassten Sollwerten der Beleuchtungsstärke (siehe Kapitel [4.3.6](#) „Bürraumarten“).

Für eine weiterführend aufeinander abgestimmte Nutzung natürlichen und künstlichen Lichtes verfolgt das Wellumic-Konzept einen integralen Ansatz. In Kooperation der Unternehmen WAREMA und TRILUX werden für die örtlichen Gegebenheiten optimierte Lösungen entwickelt und angeboten (siehe auch www.wellumic.com).

¹ Die Richtlinie ist in den europäischen Ländern in nationale Verordnungen umgesetzt, z. B. in Deutschland in die Arbeitsstättenverordnung, Abschnitt 6 „Maßnahmen zur Gestaltung von Bildschirmarbeitsplätzen“ [\[149\]](#). Dort heißt es: „Durch die Gestaltung des Bildschirmarbeitsplatzes sowie der Auslegung und der Anordnung der Beleuchtung sind störende Blendungen, Reflexionen oder Spiegelungen auf dem Bildschirm und den sonstigen Arbeitsmitteln zu vermeiden.“



(a) Raumbezogene Beleuchtung



(b) Arbeitsbereichsbezogene Beleuchtung mit stationärem Leuchtensystem



(c) Arbeitsbereichsbezogene Beleuchtung mit Standleuchten



(d) Individualisierte Beleuchtung mit Tischleuchten

Abbildung 4.16:
Beleuchtungskonzepte
für das Büro

4.3.8 Beleuchtungskonzepte

In Büroräumen können – abhängig von der Größe, den spezifischen Sehauflagen und weiteren Aspekten – unterschiedliche Beleuchtungskonzepte umgesetzt werden. Diese sind in der ASR A3.4 [110] näher beschrieben und in den Abbildungen 4.16 beispielhaft dargestellt.

Die **raumbezogene Beleuchtung** (Abbildung 4.16 a) ist eine gleichmäßige (Allgemein-)Beleuchtung des Raumes. Sie ist anzuwenden, wenn an allen Stellen etwa gleich gute Sehbedingungen vorliegen sollen, wenn die Arbeitsbereiche und ihre räumliche Ausdehnung zum Zeitpunkt der Planung nicht bekannt sind und wenn eine flexible Anordnung der Bildschirmarbeitsplätze erwünscht ist. Je nach Geometrie bzw. Art des Büroraumes (siehe Kapitel 4.3.6 „Büroraumarten“) ist eine um ein bis zwei Stufen erhöhte geplante Beleuchtungsstärke in Kombination mit

einem geeigneten Lichtmanagement-System zu empfehlen.

Die **arbeitsbereichsbezogene Beleuchtung** ist die Beleuchtung einzelner oder räumlich zusammenhängender Arbeitsplätze und deren unmittelbare Umgebung (siehe auch Kapitel 2.3 „Umgebungsbereich“). Die Planung einer solchen Beleuchtung mit stationären Leuchten erfordert die Kenntnis über die genaue Position der Arbeitsplätze bzw. der Arbeitsbereiche (Abbildung 4.16 b). Alternativ kann die Verwendung mobiler Beleuchtungssysteme erfolgen (Abbildung 4.16 c). Die arbeitsbereichsbezogene Beleuchtung empfiehlt sich insbesondere in Räumen mit Arbeitsplätzen unterschiedlicher Seh- und Beleuchtungsanforderungen. Sie ist ebenfalls geeignet, um durch unterschiedliche Helligkeitsniveaus „Arbeitsinseln“ zu schaffen und dadurch die visuelle Atmosphäre des Raumes positiv zu beeinflussen. Insbesondere in Büros, die als Co-Working Spaces betrieben werden (siehe Ka-

pitel [4.3.2](#) „Co-Working und New Work“), unterstützt sie eine räumliche Struktur voneinander abgesetzter Nutzungsbereiche. Moderne Lichtsteuerungssysteme, z. B. mit intuitiver Bedienung per Smartphone-App, erhöhen zusätzlich die Individualität und damit die Akzeptanz durch den Nutzer (Abbildung 4.16 d). Sie gewährleisten zusätzlich maximale Effizienz, auch unter Berücksichtigung erhöhender Kontextmodifikatoren für das geplante Beleuchtungsniveau.

Die **teilflächenbezogene Beleuchtung** ist eine Beleuchtung, mit der ein einzelner Bereich der Sehaufgabe gesondert beleuchtet werden kann und die damit lokal die Erfüllung erhöhter Anforderungen ermöglicht. Es wird hierzu eine Teilfläche zusätzlich zur allgemeinen Beleuchtung, die arbeitsbereichsbezogen oder raumbezogen sein kann, z. B. durch eine Arbeitsplatzleuchte, beleuchtet, die Lesen und Schreiben auf horizontalen Sehaufgaben mit erhöhter Beleuchtungsstärke ermöglichen soll. Die teilflächenbezogene Beleuchtung kann angewendet werden, wenn die Beleuchtung einzelner Bereiche an unterschiedliche Tätigkeiten und Arbeitsmittel, an besonders schwierige Sehaufgaben oder an das individuelle Sehvermögen des Nutzers (z. B. eines älteren Menschen) bzw. an individuelle, unterschiedliche Beleuchtungsbedingungen angepasst werden soll. Bei mobilen Beleuchtungssystemen kann dieses Beleuchtungskonzept auch angewendet werden, wenn die Anordnung der Arbeitsbereiche zum Zeitpunkt der Planung nicht bekannt ist.

Eine **circadian wirksame Beleuchtung** sollte unabhängig von der Anordnung der Leuchten in Erwägung gezogen werden. Sie ist ein wichtiger Bestandteil der Planung im Sinne des „Human Centric Lighting“. Im Zuge der immer flexibleren und dynamischer werdenden Arbeitswelt zwischen Homeoffice und Arbeitsplatz müssen Lichttechnologien diesen Weg mitgehen, um das HCL-Lichtkonzept bestmöglich zu unterstützen. Die Rolle und die Position der Lichtplaner in der Baubranche entwickeln sich dahingehend weiter und die Lichtindustrie muss mit innovativen Konzepten die richtigen Lösungen ermöglichen. Das Ziel dabei ist eine ganzheitliche Berücksichtigung der Wirkung der künstlichen Beleuchtung. Die Betrachtung reicht insbesondere über die lichttechnische Erfüllung der Sehaufgabe hinaus. Die Unterstützung der inneren Uhr durch einen programmierten Tagesverlauf des Lichtspektrums (siehe Abbildung 4.17) ist ein zentraler Aspekt dieses Konzeptes (siehe auch Kapitel [3.3.2](#) „Melanopische Wirksamkeit des Lichtes“). Geeignete Lichtmanagementsysteme verfügen über die kombinierten Funktionen des Energiesparens und der dynamischen Farbtemperatursteuerung. Die Verfügbarkeit geeigneter „Active“-Leuchten ist dank voranschreitender LED-Technik über das gesamte TRILUX-Portfolio gegeben (siehe Kapitel [3.3.6](#) „Human Centric Lighting und Lichtplanung“).

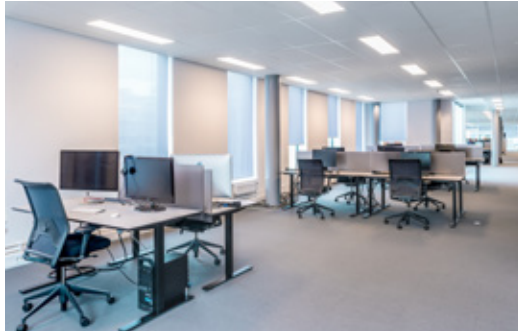


(a) Am frühen Morgen und ab dem späten Nachmittag



(b) Am Tage um die Mittagszeit

Abbildung 4.17:
An das Tageslicht angepasster Verlauf der Farbtemperatur der künstlichen Beleuchtung in einem Großraumbüro



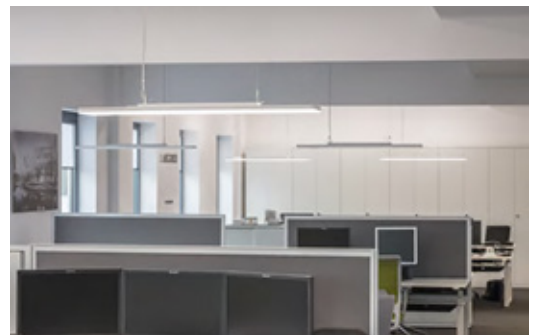
(a) Direkte Beleuchtung



(b) Indirekte Beleuchtung



(c) Direkt-indirekte Beleuchtung



(d) Direkt-indirekte, arbeitszonale Beleuchtung mit LED-Leuchten mit großer Lichtaustrittsfläche und erhöhtem Lichtstrompaket (z. B. 8.800 lm)

Abbildung 4.18:
Beleuchtungsarten
für das Büro

4.3.9 Beleuchtungsarten

Direktbeleuchtung (siehe Abbildung 4.18 a). Der Lichtstrom der Leuchten wird direkt auf die Sehaufgabe gelenkt und damit eine hohe Wirtschaftlichkeit erreicht. Reflexblendung kann vermieden werden, wenn die Leuchten seitlich über den Arbeitsplätzen und bei langgestreckten Leuchten parallel zur Blickrichtung angeordnet werden. Die Helligkeit der Raumdecke wird durch Rückreflexion der Raumbegrenzungsflächen und des Mobiliars bestimmt. Bei reiner Direktbeleuchtung empfiehlt es sich, die Raumbegrenzungsflächen hell zu gestalten, damit die Raumwahrnehmung möglichst positiv unterstützt wird.

Indirektbeleuchtung (siehe Abbildung 4.18 b). Der Lichtstrom der Leuchten wird über die Reflexion an Decke und Wänden in den Raum und auf die Sehaufgabe gelenkt. Die Wirksamkeit wird wesentlich von den Reflexionseigenschaften dieser Flächen beeinflusst. Zu hohe Leuchtdichten

an Decke und Wänden sind zu vermeiden, ebenso eine zu diffuse, schattenarme und monotone Beleuchtung.

Direkt-/Indirektbeleuchtung Der Lichtstrom der Leuchten wird sowohl direkt als auch indirekt über Reflexionen auf die Sehaufgabe gelenkt. In Räumen mit guter Deckenreflexion bewirkt diese Beleuchtungsart ein gleichmäßiges Verhältnis von gerichtetem und diffusem Licht. Die angenehme Schattigkeit (siehe Kapitel 2.8 „Räumliche Beleuchtung, Lichtrichtung, Modelling“) unterstützt die Kommunikativität und führt zu einer verbesserten Akzeptanz durch den Nutzer. Die ausgewogene Leuchtdichteverteilung führt außerdem zu verringerter Blendung (siehe Abbildung 4.18 c). Moderne LED-Leuchten zeichnen sich dabei häufig durch einen großflächigen, gleichmäßigen Austritt des Direktlichtanteils aus. Die so reduzierte Reflexblendung erlaubt dann eine größere Flexibilität der räumlichen Anordnung der Arbeitsplätze, als dies bei einer Direkt-

beleuchtung möglich wäre. Einschränkungen der Kontrastwiedergabe werden wirksam vermieden (siehe auch Kapitel [4.3.8](#) „Beleuchtungskonzepte“ und [2.7.6](#) „Reflexblendung auf horizontalen Sehaufgaben“), so dass viele der betreffenden Leuchtenbaureihen auch Varianten mit großen Lichtstromwerten für die arbeitszonale Beleuchtung beinhalten (siehe Abbildung 4.18 d).

Die Direkt-/Indirektbeleuchtung ist außerdem prädestiniert für dynamisches Licht. Insbesondere wird auf Grund der Größe und Lage der Reflexionsfläche (Decke und Wände) eine relativ hohe melanopische Wirksamkeit erreicht. Die am Tagesverlauf orientierte Steuerung eines indirekten Lichtanteils hoher Farbtemperatur kann demnach die innere Uhr effektiv unterstützen (siehe Kapitel [4.3.8](#) „Beleuchtungskonzepte“). Idealerweise lassen sich der direkte und indirekte Lichtanteil der Leuchten unabhängig voneinander steuern.

4.3.10 Grundlegende Kriterien der Beleuchtungsplanung

Die Beleuchtung von Büros ist in EN 12464-1 [\[51\]](#) geregelt (siehe Kapitel [2.1.1](#), „Europäische und nationale Normen“). Die Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen muss für alle Aufgaben geeignet sein, die am Arbeitsplatz anfallen, z.B. Lesen vom Bildschirm, Lesen von gedruckten Texten, Schreiben auf Papier, Arbeiten mit der Tastatur. Für diese Bereiche müssen die Beleuchtungskriterien und das Beleuchtungssystem entsprechend der Art der Tätigkeit, der Art der Sehaufgabe und der Art des Raumes gemäß dieser Norm ausgewählt werden. In einigen Ländern gelten zusätzliche Anforderungen.

Das Arbeiten an einem Bildschirm oder unter bestimmten Umständen an der Tastatur kann durch Reflexionen beeinträchtigt werden, die physiologische und psychologische Blendung hervorrufen. Es ist deshalb notwendig, Leuchten so auszuwählen, einzusetzen und anzuordnen, dass Reflexionen hoher Leuchtdichten vermie-

den werden (siehe Abb. 4.19). Der Planer muss den Bereich für die Leuchtenmontage ermitteln, der zu Störungen führen kann, und die Art und Anordnung der Leuchten so auswählen, dass keine störenden Reflexionen entstehen.

Die Anforderungen an die Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen leiten sich aus einer Reihe grundlegender Kriterien ab, die insbesondere den Bildschirm, den Nutzer, das Tageslicht und die Arbeitsorganisation betreffen.

- Bildschirmbezogene Kriterien betreffen die Erkennbarkeit der Bildschirminformation, die von der Umgebung des Arbeitsplatzes abhängig ist: Helle Flächen, die sich aus Sicht des Nutzers auf der Bildschirmoberfläche spiegeln (siehe Tabelle 4.25), können zu einer Beeinträchtigung der Informationsaufnahme führen. Zu helle Flächen, die um den Bildschirm angeordnet sind, können Adaptationsstörungen verursachen. Die Erkennbarkeit der Bildschirminformation ist auch abhängig von der auf den Bildschirmoberflächen vorhandenen Beleuchtungsstärke. Hohe Beleuchtungsstärken auf der Bildschirmoberfläche können die Erkennbarkeit von Sehdetails vermindern.
- Nutzerbezogene Kriterien: Gute Beleuchtung vermeidet visuelle Fehlbeanspruchungen des Nutzers und berücksichtigt auch dessen unterschiedliche Lichtbedürfnisse. Die Beleuchtung kann jedoch nicht ungenügend korrigierte Fehlsichtigkeit kompensieren. Die Blickrichtung ist meist horizontal oder bis zu 15° zur



Senkrechten geneigt, seltener über die Horizontale hinausgehend. Sitz- bzw. Stehposition und deren Wechsel ändern die Augenpositionen und Blickrichtungen des Nutzers. Eine ergonomische und ästhetische Gestaltung der Arbeits- und Umgebungsbereiche erhöht die Akzeptanz und das Wohlbefinden. Erkennbarkeit von Gesichtern, Mimik und Gestik ist ein wesentliches Kriterium für die visuelle Kommunikation.

- Tageslichtbezogene Kriterien: Das sind Sichtverbindungen nach außen, die eine positive psychische Wirkung auf den Menschen ausüben. Tageslicht kann aber auch zu Direkt- und Reflexblendung sowie zur Kontrastminderung der Bildschirmanzeige führen. Sehr hohe Beleuchtungsstärken, z.B. bei zu nahe am Fenster aufgestellten Bildschirmgeräten, können die Sichtbarkeit der Information beeinträchtigen. Zusätzlich zu den Forderungen der EN 12464-1 sollte in Bereichen mit geringer Tageslichtversorgung eine circadian gesteuerte, melanopisch wirksame Beleuchtung zur Unterstützung der inneren Uhr in Betracht gezogen werden (siehe auch Kapitel 3.3.3 „Der circadiane Rhythmus und die innere Uhr“).
- Organisatorische Kriterien betreffen Veränderungen der Raumsituation und ggf. eine Neuordnung der Arbeitsplätze. Bestimmte Arbeitsformen können dazu führen, dass Arbeitsplätze von unterschiedlichen Personen mit unterschiedlichen Bedürfnissen genutzt werden (z. B. Schichtbetrieb oder Desk Sharing, siehe auch Kapitel 4.3.2 „Co-Working und New Work“).

4.3.11 Ergonomische Anforderungen

Bei der Gestaltung des Bildschirmarbeitsplatzes sind die gesicherten ergonomischen und arbeitswissenschaftlichen Erkenntnisse im Sinne des Arbeitsschutzes und der Vermeidung gesundheitlicher Risiken unerlässliche Kriterien, die zu berücksichtigen sind. Das hat der Gesetzgeber mit der EU-Richtlinie 89/270/EWG [149] über die



Mindestvorschriften bezüglich der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes bei der Arbeit an Bildschirmgeräten (Fünfte Einzelrichtlinie im Sinne von Artikel 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG „Sicherheit und Gesundheitsschutz der Arbeitnehmer bei der Arbeit“ [147]) vorgeschrieben. Für die Beleuchtung ist darin festgelegt:

- Die allgemeine Beleuchtung und/oder die spezielle Beleuchtung („Arbeitslampen ...“) sind so zu dimensionieren und anzuordnen, dass zufriedenstellende Lichtverhältnisse und ein ausreichender Kontrast zwischen Bildschirm und Umgebung im Hinblick auf die Art der Tätigkeit und die sehkraftbedingten Bedürfnisse des Benutzers gewährleistet sind.
- Störende Blendung und Reflexe oder Spiegelungen auf dem Bildschirm und anderen Ausrüstungsgegenständen sind durch Abstimmung der Einrichtung von Arbeitsraum und Arbeitsplatz auf die Anordnung und die technischen Eigenschaften künstlicher Lichtquellen zu vermeiden.
- Bildschirmarbeitsplätze sind so einzurichten, dass Lichtquellen wie Fenster und sonstige Öffnungen, durchsichtige oder durchscheinende Trennwände sowie helle Einrichtungsgegenstände und Wände keine Direktblendung und möglichst keine Reflexion auf dem Bildschirm verursachen.
- Die Fenster müssen mit einer geeigneten verstellbaren Lichtschutzvorrichtung ausgestattet sein, durch die sich die Stärke des Tageslichteinfalls auf den Arbeitsplatz vermindern lässt.

Eine entspannte Körperhaltung, insbesondere eine richtige Kopfhaltung, ist notwendige Voraussetzung für ermüdungsfreies Arbeiten. Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmen sind in der Normenreihe EN ISO 9241 „Ergonomie der Mensch-System-Interaktion“ [99, 100, 101, 102, 103] festgelegt, die auch als nationale Norm in vielen europäischen Ländern übernommen wurde.

Wegen der visuellen Beanspruchung während der Bildschirmtätigkeit unterliegen Bildschirmarbeitsplätze in ergonomischer und beleuchtungstechnischer Hinsicht erhöhten Anforderungen. Als günstig hat sich ein leicht nach vorne geneigter Kopf mit einer um etwa 15° zur Waagerechten abgesenkten Blickrichtung herausgestellt. Der Bildschirm ist dabei bis zu 15° gegen die Senkrechte geneigt.

Auf dieser Geometrie beruhen die in EN 12464-1 [51] festgelegten Abschirmbedingungen (Abschirmwinkel) für Flächen hoher Leuchtdichte, um störende Reflexe im Sinne der EU-Richtlinie zu vermeiden. Nach EN 12464-1 muss die Leuchtdichte von Leuchten ab dem Grenzausstrahlungswinkel von 65° auf bestimmte Werte begrenzt werden (siehe Kapitel 4.3.18 „Leuchtdichtegrenzwerte“). Bei einer Bildschirmneigung von bis zu 15° werden störende Reflexe auf dem

Bildschirm vermindert. Wegen der freien Zuordnung von Bildschirmarbeitsplätzen und Leuchten gelten die maximalen Leuchtdichten für alle Ausstrahlungsbereiche oberhalb eines Ausstrahlungskegels mit dem Öffnungswinkel von $\pm 65^\circ$, also rund um die Leuchte (siehe Abb. 4.19).

4.3.12 Begriffe

Der **Bildschirmarbeitsplatz** besteht aus einem Arbeitsplatz mit mindestens einem Bildschirmgerät und weiteren möglichen Arbeitsmitteln (z.B. Geräte zur Datenausgabe, externe Speichergeräte, Telefon, Faxgerät und sonstige Arbeitsmittel, wie Belege, Arbeitstisch, Arbeitsfläche, Arbeitsstuhl, Manuskriphalter) sowie der um den Arbeitsplatz befindlichen unmittelbaren Arbeitsumgebung (Umgebungsbereich).

Ein **einzelner Bildschirmarbeitsplatz** ist ein Bildschirmarbeitsplatz, der sich in einem Arbeitsraum befindet und der primär nicht für Bildschirmarbeit ausgelegt ist, z.B. zur Dateneingabe oder Datenabfrage in Schalterhallen, im Fertigungs- oder Lagerbereich.

Der **Bereich der Sehaufgabe** ist der Teilbereich des Arbeitsplatzes bzw. des Arbeitsbereiches,

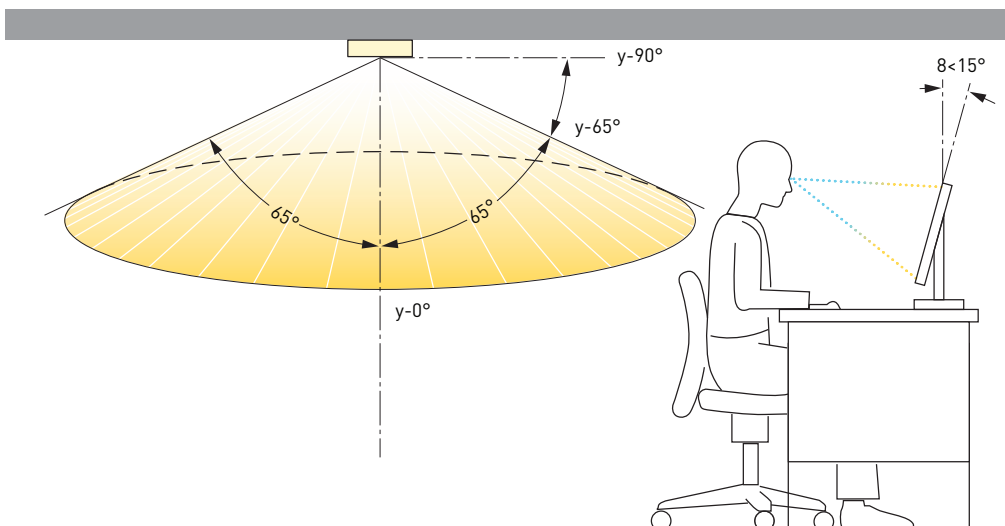


Abbildung 4.19: Geometrie am Bildschirmarbeitsplatz zur Vermeidung von Spiegelungen hoher Leuchtdichten der Lichtaustrittsflächen von Leuchten auf dem Display, welche sich störend auswirken können.

in dem sich die Sehaufgabe befindet. Für den Bereich der Sehaufgabe gelten die lichttechnischen Anforderungen an die Beleuchtung nach EN 12464-1 [51]. Dieser ist jedoch hinsichtlich seiner Größe nicht festgelegt.

Der **Arbeitsbereich** in Büroräumen ist der räumliche Bereich, in dem an verschiedenen Stellen die Sehaufgaben verrichtet werden. In Räumen mit einem oder mehreren Bildschirmarbeitsplätzen sind im Allgemeinen mehrere unterschiedliche Arbeitsbereiche (siehe Abbildung 4.20) vorhanden.

Arbeitsbereich Bildschirmarbeit. Der Arbeitsbereich Bildschirmarbeit umfasst die Bereiche für folgende Sehaufgaben: Bildschirmarbeit, Informationsaufnahme vom Bildschirm, Bedienen der Eingabemittel, übliche Schreib- und Lesetätigkeit, visuelle Kommunikation, Informationsaufnahme und das Bedienen von weiteren Arbeitsmitteln, wie Telefon, Drucker etc. Der Arbeitsbereich Bildschirmarbeit setzt sich zusammen aus allen Flächen, auf denen Sehaufgaben durchgeführt werden. Diese Flächen können horizontal, geneigt oder vertikal angeordnet sein. Ferner aus Flächen, auf denen die dem unmittelbaren Fortgang der Arbeit dienenden Arbeitsmittel angeordnet sind (Arbeitsflächen) sowie Flächen, die bei der funktions- und sachgerechten Ausübung der Bildschirmarbeit erforderlich sind (Benutzerflächen).

Im Arbeitsbereich „Bildschirmarbeit“ können z. B. auf folgenden Flächen Sehaufgaben vorliegen:

- auf der Schreibtischfläche (Arbeitsfläche A) und den Möbelfunktionsflächen M, z. B. einschließlich der ausgezogenen Schubladen oder einer Hängeregistratur mit zusätzlichen Sehaufgaben (Abb. 4.22),
- nur auf der Schreibtischfläche (Arbeitsfläche) (Abb. 4.22) oder
- nur auf einem Teilbereich der Schreibtischfläche (Abb. 4.22).

Wo der Schwerpunkt der Sehaufgaben bei der jeweiligen Arbeitsaufgabe bzw. in dem betreffenden Arbeitsbereich liegt und welches Beleuch-

tungskonzept dafür am besten geeignet ist, muss zwischen Planer und Nutzer abgestimmt werden.

Arbeitsbereich Besprechung. Der Arbeitsbereich Besprechung umfasst z. B. die Bereiche für folgende Sehaufgaben: Besprechung, visuelle Kommunikation, Informationsaufnahme von Besprechungsunterlagen, übliche Schreib- und Lesetätigkeit, ggf. die Informationsaufnahme und Eingabe am Notebook oder an anderen Geräten. Der Arbeitsbereich Besprechung setzt sich daher im Bürobereich aus der Tischfläche (Arbeitsfläche) und der Benutzerfläche zusammen.

Arbeitsbereich Lesetätigkeit an Schrank- und Regalflächen. Der Arbeitsbereich Lesetätigkeit an Schrank und Regalflächen umfasst die Sehaufgaben: Erkennen von Beschriftungen und kurzzeitiges Lesen. Die Bereiche der Sehaufgabe an Schrank- und Regalflächen reichen von 0,5 m bis 2,0 m über dem Boden.

Arbeitsflächen sind am persönlich zugewiesenen Arbeitsplatz im Büro identisch mit der Tischfläche des Schreibtisches, bei Tischkombinationen einschließlich der Verkettungselemente und Beistellcontainer (siehe Abbildung 4.20).

Möbelfunktionsflächen sind Flächen, um Schrank oder Schubfächer ohne Probleme und Behinderung vollständig öffnen zu können.

Benutzerflächen sind Flächen, die bei der funktions- und sachgerechten Ausübung der Arbeit erforderlich sind und die die natürlichen Bewegungsabläufe des Menschen ermöglichen und für wechselnde Körperhaltung (Sitzen und Stehen) angemessen Platz bieten.

Umgebungsbereiche sind nach EN 12464-1 [51] die den Bereich der Sehaufgabe unmittelbar umgebenden Flächen von mindestens 0,5 m Breite. Für Büros sollte der Umgebungsbereich zweckmäßigerweise größer festgelegt werden. Er ist mindestens 0,5 m breit und wird ggf. auf den räumlichen Bereich erweitert, der sich direkt an einen oder mehrere Arbeitsbereiche anschließt und bis 0,5 m vor die Raumwände reicht. Der

Umgebungsbereich kann um eine Stufe der Beleuchtungsstärke geringer beleuchtet werden als der Arbeitsbereich, nach EN 12464-1 [51] für das Büro also mit 300 lx.

Die **horizontalen Bewertungsebenen** für die Beleuchtungsstärken, sowohl für den Bereich der Sehaufgabe als auch für den Umgebungsbereich, haben entsprechend der Lage der meisten Sehaufgaben einen Abstand von 0,75 m vom Boden. Dieses Maß ergibt sich aus der sehr häufig anzutreffenden Schreibtischhöhe von 0,72 m und der üblichen Höhe von Messgeräten von 0,03 m (siehe Kapitel 3.8, „Messung der Beleuchtung“).

4.3.13 Sehaufgaben und Arbeitsbereich

Im Büro liegen meist folgende Tätigkeiten vor:

- konventionelle Büroarbeit in Kombination mit Bildschirmarbeit. Die Sehaufgaben bei

der Bildschirmarbeit sind Aufnahmen der Bildschirminformation und Aufnahmen von Informationen von Vorlagen, Texten, Grafiken, Erkennen der Symbole der Tastatur usw.;

- Besprechung an einem Besprechungstisch;
- Lesetätigkeit an Schrank- und Regalwänden.

Ergonomen haben festgestellt, dass bei Bildschirmarbeitsplätzen an einem Tag mehr als 10.000 Blickwechsel zwischen Beleg, Tastatur und Bildschirm erfolgen – eine starke visuelle Belastung, die nur unter störungsfreien Sehbedingungen bewältigt werden kann. Entsprechend den unterschiedlichen Tätigkeiten werden im Büro für die Sehaufgaben entsprechende Arbeitsbereiche gemäß ASR A3.4 [110] definiert (siehe Abb. 4.20). Diese gliedern sich in Arbeitsflächen, Benutzerflächen und Möbelfunktionsflächen (siehe Abb. 4.21).

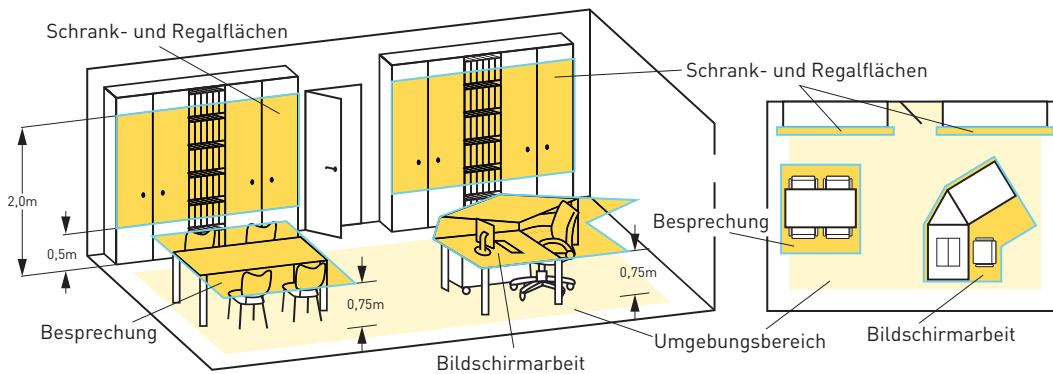


Abbildung 4.20: Arbeitsbereiche, in denen Sehaufgaben im Büro auftreten können, und zwar für die Bildschirmarbeit, für Besprechungen und für Lesen an vertikalen Schrank- und Regalflächen

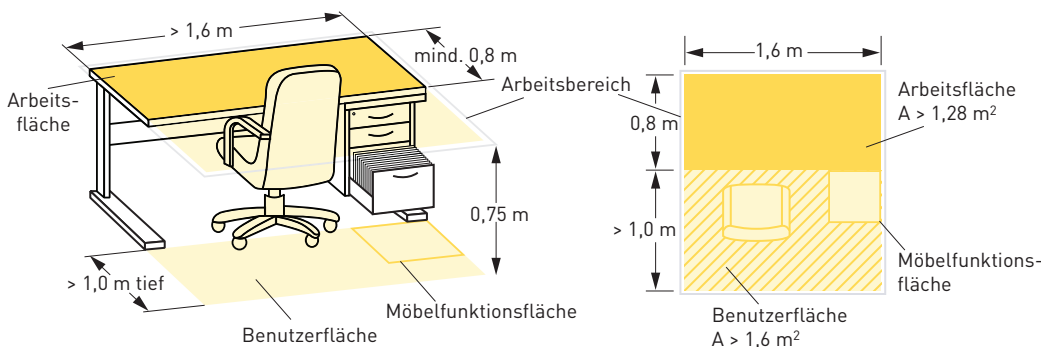
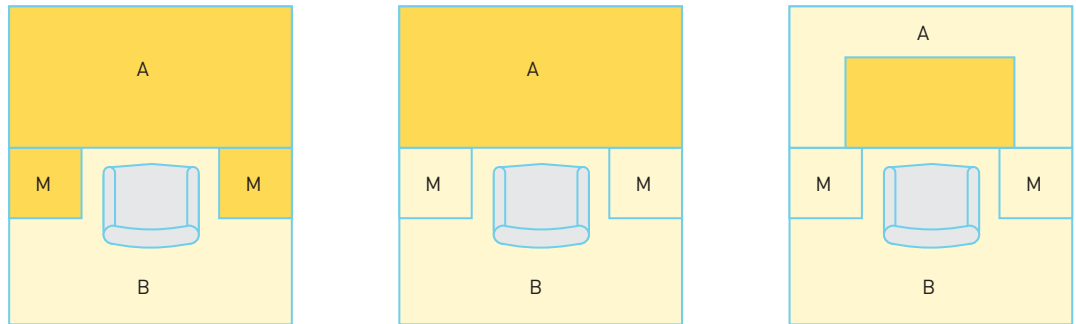


Abbildung 4.21: Mindestmaße und Teilbereiche eines Büroarbeitsplatzes mit Arbeitsfläche, Benutzerfläche und Möbelfunktionsfläche. Die Arbeitsfläche und die Benutzerfläche bilden den Arbeitsbereich, darin befinden sich die Sehaufgaben.

Abbildung 4.22:
Mögliche Flächen mit Sehaufgaben am Büroarbeitsplatz und empfohlene Beleuchtungskonzepte.
A – Arbeitsfläche,
M – Möbelfunktionsfläche,
B – Benutzerfläche



4.3.14 Beleuchtungsstärke

Die Bereiche der Sehaufgabe und der Umgebungsbereich sind mit einer ausreichenden horizontalen Beleuchtungsstärke E_h zu versorgen. Der Bereich der Sehaufgabe „Bildschirmarbeit“ ist mit 500 lx zu beleuchten. Unter Berücksichtigung von Kontextmodifikatoren sind bis zu 1.000 lx empfohlen (siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“). Dies gilt auch für einzelne Bildschirmarbeitsplätze, z.B. in einem Lager oder einer Schalter- bzw. Ausstellungshalle, deren Beleuchtungsstärkewert nach EN 12464-1 [51] durchaus niedriger liegen kann, z.B. für allgemeine Lagerarbeiten 200 lx.

Für eine gute visuelle Kommunikation mit dem Arbeitsraum und den anwesenden Personen ist eine räumliche Erkennbarkeit, insbesondere der Gesichtszüge, sehr wichtig (siehe Kapitel 2.8 „Räumliche Beleuchtung, Lichtrichtung, Modellierung“). Die photometrische Größe zur Beschreibung dieses Kriteriums der Beleuchtung ist die zylindrische Beleuchtungsstärke E_z bzw. die halbzyklindrische Beleuchtungsstärke E_{sz} (siehe

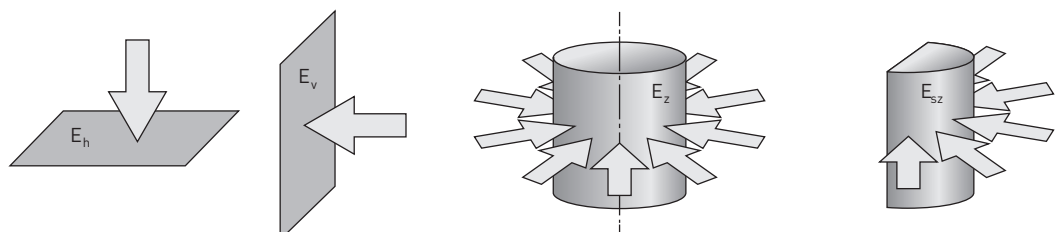
Abbildung 4.23). Das Verhältnis der zylindrischen zur horizontalen Beleuchtungsstärke E_z/E_h sollte in Büroräumen zwischen 0,3 und 0,6 liegen. Daraus ergibt sich ein Mindestwert der zylindrischen Beleuchtungsstärke E_z von 150 lx im Bereich der Sehaufgabe. Auf Schrank- und Regalflächen ist zur Lesbarkeit eine ausreichende, vertikale Beleuchtungsstärke E_v vorzusehen, z.B. 175 lx (siehe Abbildung 4.24).

Für Wandflächen (Hauptoberflächen) und die Decke sind Wartungswerte je Tätigkeit bzw. Raumart in den Anforderungstabellen der EN 12464-1 angegeben, grundsätzlich mit einer Gleichmäßigkeit von mindestens 0,10 (siehe Tabelle 4.28 auf Seite 173).

4.3.15 Wartungsfaktor

Nach EN 12464-1 [51] muss der Planer den Wartungsfaktor angeben, der der Planung zugrunde gelegt wurde, und alle Annahmen zu dessen Bestimmung dokumentieren, einschließlich des Wartungsplanes. Dies wird in der

Abbildung 4.23:
Zur Erläuterung der horizontalen E_h , der vertikalen E_v , der zylindrischen E_z und der halbzyklindrischen E_{sz} Beleuchtungsstärke



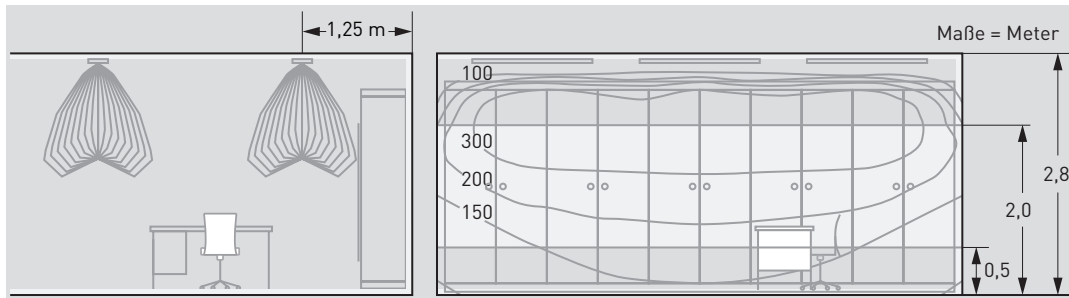


Abbildung 4.24: Beispiel für die Beleuchtung eines Büros mit $E_v \geq 175$ lx auf Schrank- und Regalflächen

Praxis nicht immer möglich sein, so dass Referenzwerte für den Wartungsfaktor verwendet und einschließlich der damit verbundenen Parameter dokumentiert werden müssen (siehe auch Kapitel 3.1 „Erhalt des Beleuchtungsniveaus [Wartungsfaktor]“).

Durch den Einsatz fortschrittlicher Lampen-, Betriebsgeräte- und Leuchtentechnologien sowie durch die Wahl zweckmäßiger Reflexionsgrade der Raumbegrenzungsflächen und der Möblierung kann der Planer die Beleuchtungsanlage hinsichtlich des Wartungsfaktors, der Wartungsintervalle und damit auch die Investitions- und Betriebskosten optimieren. Bei Fehlen von relevanten Daten oder für eine überschlägige Projektierung können folgende Referenzwerte für den Wartungsfaktor angesetzt werden.

Unter den Bedingungen

- sehr saubere Büros,
- Räume werden häufig und intensiv gereinigt sowie
- dreijährigem Wartungszyklus

oder in vergleichbaren Anwendungen kann im Allgemeinen ein Wartungsfaktor von 0,8 angesetzt werden, sofern LED-Leuchten mit geringem Lichtstromrückgang (siehe auch Kapitel 3.1.2 „Der Lampenwartungsfaktor einer LED-Leuchte“) eingesetzt werden. Die AMEV-Schrift Beleuchtung 2019 [112] empfiehlt in diesem Fall für Räume der öffentlichen Verwaltung einen Wartungsfaktor von 0,75.

Details zur Ermittlung des Wartungsfaktors siehe Kapitel 3.1 „Wartungsfaktor“. Im Sinne

einer eindeutigen und nachvollziehbaren Dokumentation der Planungsparameter wird empfohlen, die Wartungsfaktoren immer projektbezogen zu ermitteln.

4.3.16 Begrenzung der Blendung

Die Bewertung der Direktblendung durch Leuchten erfolgt durch das UGR-Verfahren, siehe Kapitel 2 „Lichttechnische Kriterien der Beleuchtung“, Abschnitt 2.7 „Begrenzung der Blendung“.

Die Maßnahmen zur Begrenzung störender Reflexe auf dem Bildschirm hängen ganz wesentlich von der Höhe der Bildschirmleuchtdichte und der Art der Entspiegelung des Bildschirms ab. Je höher die Bildschirmleuchtdichte ist, desto weniger stören Reflexionen auf der Bildschirmoberfläche. Dies gilt insbesondere für Bildschirme mit positiver Polarität, bei der schwarze Zeichen vor hellem Hintergrund dargestellt werden. Daher können bei hohen Bildschirmleuchtdichten und bei Positivdarstellung der Zeichen auch höhere Leuchtdichten von Störlichtquellen zugelassen werden. Die optischen Eigenschaften von Bildschirmen sind in EN ISO 9241-307 „Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 307: Analyse- und Konformitätsverfahren für elektronische optische Anzeigen“ [98] festgelegt. Darauf basierend sind die in EN 12464-1 [51] genormten Leuchtdichtegrenzwerte für Leuchten, die sich im Bildschirm spiegeln können (siehe Tabelle 4.25), festgelegt worden. Diese

Norm enthält Anforderungen an Prüf-, Zertifizierungs- und Konformitätsverfahren für Bildschirme verschiedener Technologien, und zwar für Kathodenstrahlröhren (CRT cathode ray tubes), für Flüssigkristall-Flachbildschirme (LCD Liquid Crystal Displays), für Plasmabildschirme (PDP Plasma Display Panels) und für tragbare Bildschirme (Laptops). Die Norm bezieht sich auf die Messverfahren nach ISO 9241-305 [97] und die allgemeinen Anforderungen an optische Anzeigen gemäß ISO 9241-303 [96].

4.3.17 Anordnung der Arbeitsplätze und Arbeitsmittel

Die grundlegenden Kriterien der Beleuchtung bilden die Basis für die Anordnung der Bildschirmarbeitsplätze im Raum und für die Oberflächengestaltung der Möbel und Arbeitsmittel. Die Begrenzung der Reflexblendung kann durch verschiedene Maßnahmen erfolgen. Ist es nicht möglich, Reflexblendung durch ausschließlich beleuchtungsbezogene Maßnahmen zu begrenzen, können eine geeignete Anordnung der

Arbeitsplätze und der Arbeitsmittel oder weitere Maßnahmen dazu beitragen, die Reflexblendung auf dem Bildschirm und auf sonstigen Arbeitsmitteln zu begrenzen.

Folgende Anordnung der Arbeitsplätze und Arbeitsmittel wird empfohlen:

- Bildschirme sollten so angeordnet sein, dass sich für den Nutzer eine im Wesentlichen parallele Blickrichtung zur Hauptfensterfront ergibt.
- Bildschirme sollten so angeordnet sein, dass sie nicht direkt unter Leuchten aufgestellt sind, die einen großen Anteil ihres Lichtstroms engbündelt nach unten lenken, wie z. B. bei tiefstrahlenden Leuchten.
- Innerhalb der Arbeitsbereiche „Bildschirmarbeit“ und „Besprechung“ sollte auf den meist horizontalen Flächen, auf denen sich die Sehaufgaben befinden (hier ist nicht die Sehaufgabe auf dem Bildschirm gemeint), keine Störung durch Reflexblendung auftreten. Leuchten, die in Richtung auf diese Fläche hohe Leuchtdichten aufweisen, z. B. tiefstrahlende Leuchten mit hohen Lichtstärken im Ausstrahlungsbereich von $-20^\circ \leq \gamma \leq +20^\circ$, sollten nicht direkt über den Arbeitsplätzen angeordnet sein.

4.3.18 Leuchtdichtegrenzwerte

Tabelle 4.25 enthält maximal zulässige Leuchtdichten, die sich aus der Sicht des Nutzers auf dem Bildschirm spiegeln können. Diese maximalen mittleren Leuchtdichtewerte sind in den betreffenden Regelwerken von unterschiedlichen Kriterien abhängig und Tabelle 4.25 zu entnehmen. Die Grenzwerte für die mittlere Leuchtdichte nach EN 12464-1 [51] gelten dem aktuellen Stand der Technik entsprechend für Flachbildschirme. Wie Messungen an realen Bildschirmen ergeben haben, werden diese überwiegend in Positivdarstellung und mit einer mittleren Hintergrundleuchtdichte von 140 cd/m^2 bis 180 cd/m^2 genutzt. Bei Laptops ist die Hintergrundleuchtdichte meist unter 100 cd/m^2 eingestellt. Entsprechend sind auch die Grenzleuchtdichten der Leuchten gemäß Tabelle 4.25 einzuhalten.

EN 12464-1 [51] weist unter Abschnitt „Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen“ ausdrücklich darauf hin, dass in einigen Ländern zusätzliche Anforderungen gelten.

In Großbritannien (UK) sind in dem Lighting Guide LG7 „Office Lighting“ [125] ebenfalls Grenzwerte der Leuchtdichte von Leuchten festgelegt. Diese Werte sind nach der in UK geltenden Health and Safety (Display Screen) Regulations anzuwenden. Die Werte sind ebenfalls in Tabelle 4.25 enthalten.

Die maximal zulässigen Leuchtdichten zur Vermeidung von störenden Reflexen auf dem Bildschirm sind auch von der Polarität der Bildschirmanzeige abhängig. Bei negativer Bildschirmanzeige (helle Zeichen auf dunklem Hintergrund) sind störende Reflexe stärker wahrzunehmen als bei positiver Bildschirmdarstellung (dunkle Zeichen auf hellem Hintergrund).

EN 12464-1 [51] und LG7 [125] legen Grenzleuchtdichten für Leuchten fest – nicht für andere leuchtende Flächen.

Nach EN 12464-1 [51] gelten die Leuchtdichtegrenzwerte nach Tabelle 4.25 ab einem Ausstrahlungswinkel von 65° zur Vertikalen, und zwar in den Ebenen C0, C15, C30 bis C345 in Schrittweiten von 15° . Die Anforderungen gelten für Bildschirme bis zu einer Neigung von 15° und einer Bildschirmdiagonalen von bis zu 48 cm (19").

Für Bildschirme mit größeren Bildschirmdiagonalen und stärkerer Neigung sowie bei Bildschirmen mit reflexempfindlicher Oberfläche sind besondere Maßnahmen vorzusehen, wie z. B.

- Verwendung von Leuchten mit geringeren Leuchtdichten in Richtung zur Arbeitsfläche,
- Verwendung von Leuchten, bei denen die in Tabelle 4.25 angegebenen Werte der mittleren Leuchtdichte bereits bei Ausstrahlungswinkeln unter 65° eingehalten werden, z. B. ab 55° ,
- besondere Zuordnung der Leuchten zum Bildschirm,
- Beleuchtungskonzept „teilflächenbezogene Beleuchtung“ (siehe auch Kapitel 4.3.8, „Beleuchtungskonzepte“).

4.3.19 Leuchtdichteverteilung

Hohe Reflexionsgrade, nicht glänzende Raumbooberflächen sowie eine farbige Gestaltung der Raumbooberflächen tragen zur ausgewogenen Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld bei. Für die heute überwiegend genutzte positive Polarität des Bildschirms mit dunklen Zeichen auf hellem Bildschirmhintergrund werden die in Tabelle 4.26 enthaltenen Leuchtdichtewerte empfohlen.

Tabelle 4.25:
Grenzwerte der Leuchtdichten von Leuchten, die sich auf dem Bildschirm spiegeln können, nach EN 12464-1 [51], sowie Grenzleuchtdichten von Leuchten nach LG7 [125] (Großbritannien)

EN 12464-1			
Maximale Leuchtdichte des weißen Teils des Bildschirms, wird vom Bildschirmhersteller angegeben	hohe Leuchtdichte $L > 200 \text{ cd/m}^2$		mittlere Leuchtdichte $L > 200 \text{ cd/m}^2$
Grenzwerte der mittleren Leuchtdichte			
Positive Polarität und übliche Anforderungen im Hinblick auf Farbe und Details der dargestellten Information, wie sie z. B. im Büro, in Unterrichtsräumen usw. bestehen	$\leq 3.000 \text{ cd/m}^2$		$\leq 1.500 \text{ cd/m}^2$
Negative Polarität und/oder höhere Anforderungen im Hinblick auf Farbe und Details der dargestellten Information, wie sie z. B. bei CAD, bei Farbprüfungen usw. bestehen	$\leq 1.500 \text{ cd/m}^2$		$\leq 1.000 \text{ cd/m}^2$
LG7			
Entspiegelungsmaßnahmen	gut	moderat	keine
Grenzwertdichte bei gelegentlicher negativer Polarität der Software	1.000 cd/m^2		200 cd/m^2
Grenzwertdichte bei ausschließlich positiver Polarität der Software	1.500 cd/m^2		500 cd/m^2

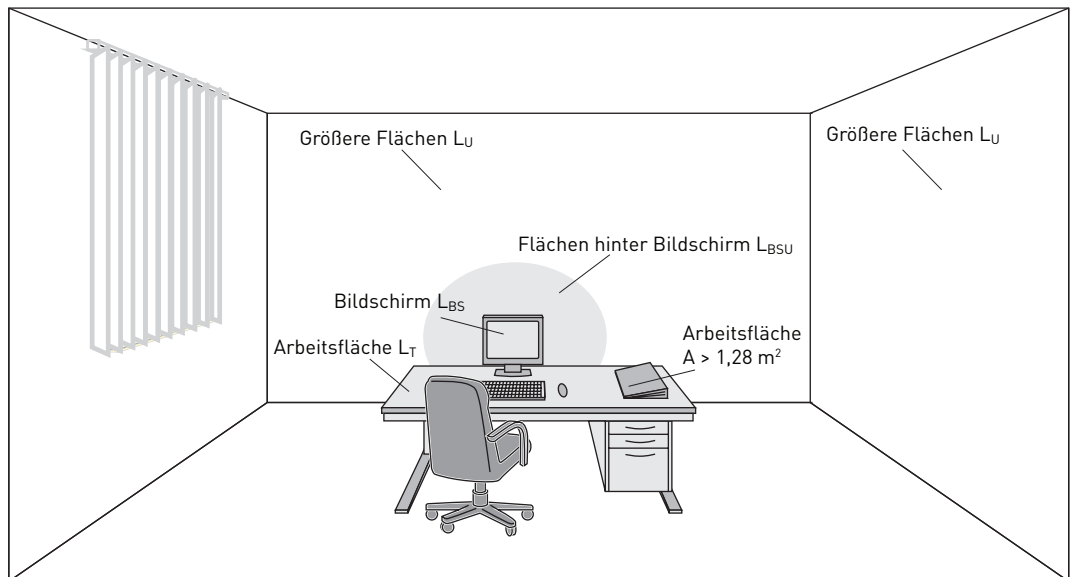


Tabelle 4.26:
Empfohlene Leuchtdichten in Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen bei einem Wartungswert der Beleuchtungsstärke von 500 lx bei positiver Bildschirm polarität

Arbeitsmittel, Einrichtungsgegenstände und Raumbegrenzungsflächen	Mittlere Leuchtdichte
Bildschirm, typische Werte	L_{BS} < 200 cd/m^2
Arbeitsmittel, z. B. Beleg, Papiervorlage	L_{AM} 100 cd/m^2
Schreib-/Arbeitsflächen	L_T < 80 cd/m^2
Größere Flächen* im Raum	L_U < 1000 cd/m^2
Größere Flächen*, die sich hinter dem Bildschirm befinden	L_{BSU} < 500 cd/m^2
Lichtschutzvorrichtungen	L_{LV} < 4.000 cd/m^2

* Unter größeren Flächen werden Flächen verstanden, die dem Nutzer unter einem räumlichen Öffnungswinkel von mehr als 20° erscheinen. Das entspricht Flächen mit einem Durchmesser von mehr als 1,4 m Durchmesser in einem Abstand von 4 m.

4.3.20 Planungswerte

In Tabelle 4.28 sind die Mindestanforderungen an die Beleuchtung von Büros nach EN 12464-1 [51] enthalten. Diese Werte gelten für den Bereich der Sehaufgabe, der meist nur einen Teil des Arbeitsplatzes (Arbeitsbereiches) einnimmt.

Tabelle 4.29 ist gegliedert nach dem Beleuchtungskonzept der

- raumbezogenen Beleuchtung,
- arbeitsbereichsbezogenen Beleuchtung und
- teilflächenbezogenen Beleuchtung.

Die lichttechnischen Planungsgrößen darin sind: $E_{h,m}$ ist der Wartungswert des räumlichen Mittelwertes der horizontalen Beleuchtungsstärke E_h im Bereich der Sehaufgabe, die meist in einer horizontalen Ebene und bei Tischen in 0,75 m über dem Boden liegt. Die Höhe der Bewertungsebene von 0,75 m über dem Boden ergibt sich aus der Schreibtischhöhe von 0,72 m und der sich darauf befindlichen Sehaufgabe bzw. der Höhe eines Beleuchtungsstärken-Messinstruments.

Die Höhe der Bewertungsebene im Umgebungsbereich stimmt mit der im Bereich der Sehaufgabe überein. Bei Verkehrswegen liegt diese Bewertungsebene maximal 0,2 m über dem Boden.

$E_{z,m}$ ist der Wartungswert des räumlichen Mittelwertes der zylindrischen Beleuchtungsstärke E_z

in der Höhe von 1,2 m über dem Boden (mittlere Augenhöhe sitzender Personen, bei stehenden Personen ist die Höhe 1,6 m). Die zylindrische Beleuchtungsstärke bestimmt die Erkennbarkeit von räumlichen, dreidimensionalen Objekten wie Formen, Gesichter usw. und ist vor allem für die visuelle Kommunikation wichtig. Der Wartungswert $\bar{E}_{z,m}$ soll für Büros und Besprechungsräume mindestens 150 lx (Gleichmäßigkeit 0,10) betragen.

$E_{v,m}$ ist der Wartungswert der mittleren vertikalen Beleuchtungsstärke E_v auf Schrank- und Regalflächen im Bereich von 0,5 m bis 2,0 m über dem Boden, um z.B. Akten- und Buchrücken ablesen zu können.

Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke $U_o = E_{min}/\bar{E}$. Die Definition für die Gleichmäßigkeit wird für horizontale, zylindrische und vertikale Beleuchtungsstärken angewendet. In der ASR A3.4 [110] wird festgelegt, dass die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke im Bereich des Arbeitsplatzes den Wert 0,6 nicht unterschreiten soll. Das Minimum soll dabei nicht in der Hauptsehaufgabe liegen (siehe Tabelle 4.27).

R_{UL6} ist der Grenzwert nach dem vereinheitlichten Blendungsbegrenzungs-system UGR. Er gilt für die Neuanlage.

R_a ist der allgemeine Farbwiedergabe-Index.

Bewertungsfläche	Mittelwert (Wartungswert) der Beleuchtungsstärke	Wartungswert der Beleuchtungsstärke am schlechtest beleuchteten Punkt der betreffenden Bewertungsfläche
	\bar{E}_m	E_{min}
Arbeitsbereich	500 lx	300 lx, jedoch nicht im Bereich der Hauptsehaufgabe

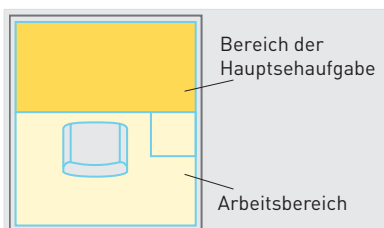


Tabelle 4.27: Minimale Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche und im Arbeitsbereich, Interpretation gemäß ASR A3.4

4.3.21 Lichttechnische Anforderungen

Büroräume (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtenauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a) lx	b) lx				mit $U_o \geq 0, 10$ lx lx lx			
26.1	Ablegen, Kopieren usw.	300	500	0,40	80	19	100	100	75	
26.2	Schreiben, Tippen, Lesen, Datenverarbeitung	500	1000	0,60	80	19	150	150	100	Leuchtdichtegrenzwerte siehe Tabelle 4.25. Raumhelligkeit, siehe Kapitel 2.6 „Leuchtdichte- verteilung“. Die Beleuchtung sollte steuerbar sein, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“. Bei kleineren Einzelbüros gilt die Anforderung an die Wand für die Vorderwand. Für andere Wände könnte eine geringere Anforderung von mindestens 75 lx akzeptabel sein.
26.3	Technisches Zeichnen	750	1500	0,70	80	16	150	150	100	Bei Bildschirmarbeit: Leuchtdichte- grenzwerte siehe Tabelle 4.25. Raumhelligkeit, siehe Kapitel 2.6 „Leuchtdichteverteilung“.
26.4	CAD-Arbeitsplätze	500	1000	0,60	80	19	150	150	100	Leuchtdichtegrenzwerte siehe Tabelle 4.25.
26.5.1	Konferenz- und Besprechungsräume	500	1000	0,60	80	19	150	150	100	Beleuchtung sollte regelbar sein.
26.5.2	Konferenztisch	500	1000	0,60	80	19	150	150	100	Beleuchtung sollte regelbar sein.
26.6	Empfangstheke	300	750	0,60	80	22	100	100	75	Wenn der Empfangstisch regel- mäßige Arbeitsplatzaufgaben beinhaltet, sollten diese Bereiche entsprechend beleuchtet werden.
26.7	Archivieren	200	300	0,40	80	25	75	75	50	

Tabelle 4.28:
Lichttechnische
Anforderungen
an Büros gemäß
DIN EN 12464-1 [51]

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Allgemeine Anforderungen

Lichtfarbe warmweiß oder neutralweiß

Farbwiedergabe-Index $R_a \geq 80$.

Leuchtdichtegrenzwerte siehe Tabelle 4.25

$\bar{E}_{z,m} \geq 0,33 \cdot \bar{E}_{h,m}$

Blendungsbegrenzung $R_{UGL} \leq 19$ für die Neuanlage, ggf. ist eine individuelle Berechnung des R_{UGL} -Wertes für den Nutzer erforderlich.

Bereich	$\bar{E}_{h,m}$ (g ₁)	$\bar{E}_{z,m}$ (g ₁)	$\bar{E}_{v,m}$ (g ₁)	Anmerkungen und Hinweise
Raumbezogene Beleuchtung				
Grundfläche des Raumes abzüglich eines Randstreifens von 0,5 m	500 (0,60)	175 (0,50)	–	Es sollen an jedem Bildschirmarbeitsplatz die Empfehlungen der arbeitsbereichsbezogenen Beleuchtung für den Bereich Bildschirmarbeit beachtet werden. Für CAD-Arbeitsplätze und DV-Schulungsräume kann eine individuelle Steuerung bis auf 200 lx zweckmäßig sein, die jedoch andere Arbeitsplätze nicht beeinflussen darf.
Lesetätigkeit an Schrank- und Regalflächen, von 0,5 m bis 2,0 m über dem Boden	–	–	175 (0,50)	UGR-Bewertung bei Blick in Richtung Schrank-/Regalflächen.
Arbeitsplatzbezogene Beleuchtung				
Bildschirmarbeit	500 $E_{min} \geq 300$ lx, jedoch nicht auf der Arbeitsfläche	175 (0,50)	–	Für CAD-Arbeitsplätze kann eine individuelle Steuerung bis auf 200 lx zweckmäßig sein, die jedoch andere Arbeitsplätze nicht beeinflussen darf. UGR: individuelle Berechnung für den Nutzer.
Besprechung	500 $E_{min} \geq 300$ lx, jedoch nicht auf der Arbeitsfläche	175 (0,50)	–	UGR: individuelle Berechnung für den Nutzer.
Lesetätigkeit an Schrank- und Regalflächen, von 0,5 m bis 2,0 m über dem Boden	–	–	175 (0,50)	UGR-Bewertung bei Blick in Richtung Schrank-/Regalflächen.
Umgebung	300 (0,50)	100 (0,50)	–	Flächen außerhalb der Bereiche der Sehaufgabe bis 0,5 m an die Wände.
Teilflächenbezogene Beleuchtung				
Teilfläche für bestimmte Sehaufgaben, mind. 600 mm · 600 mm	750 (0,70)	–	–	
Arbeitsbereich Bildschirmarbeit inkl. Teilfläche	– $E_{min} \geq 300$ lx, jedoch nicht auf der Arbeitsfläche	175 (0,50)	–	UGR: individuelle Berechnung für den Nutzer
Besprechung	500 $E_{min} \geq 300$ lx, jedoch nicht auf der Arbeitsfläche	175 (0,50)	–	UGR: individuelle Berechnung für den Nutzer
Lesetätigkeit an Schrank- und Regalflächen, von 0,5 m bis 2,0 m über dem Boden	–	–	175 (0,50)	UGR-Bewertung bei Blick in Richtung Schrank-/Regalflächen
Umgebung	300 (0,50)	100 (0,50)	–	Flächen außerhalb der Bereiche der Sehaufgabe bis 0,5 m an die Wände

Tabelle 4.29:
Anforderungen an die Beleuchtung von Büroräumen nach ASR A3.4 [110] unter Berücksichtigung des Beiblattes DIN EN 12464-1, Beiblatt 1 [17]

4.4 Beleuchtung von Sportstätten

Sport ist die am weitesten verbreitete Freizeitbeschäftigung. Für die einen ist es der aktive Sport, für die anderen der passive Sport als Zuschauer – entweder in der Sportanlage selbst oder als Fernsehzuschauer.

Knapp 50 Millionen Menschen in Deutschland treiben laut Aussage der offiziellen deutschen Sportverbände heute regelmäßig Sport – mehr als doppelt so viele wie 1990. Sie alle schätzen eine gute Beleuchtung, weil sie die Nutzungszeiten der Sport- und Freizeitanlagen verlängert und die Freude am Sport fördert. Von der Architektur attraktiv gestaltete und die Besucher mit Lichteffekten in Emotionen versetzende Ausstattung der Sportstätten locken mehr Menschen an und steigern den Freizeitwert, die Zuschauerzahlen und die Einschaltquoten.

Sport- und Freizeitanlagen in ihrer Vielfalt kommen ohne künstliche Beleuchtung nicht aus. Dabei ist die künstliche Beleuchtung nicht nur für sicheres Sehen und schnelles Reagieren

notwendig. Licht und Beleuchtung unterstützen die innenarchitektonische Gestaltung der Räume und fördern die Akzeptanz von Raum und Szene.

Sporthallen sind aufgrund ihrer baulichen Konzepte meist nur ungenügend mit Tageslicht versorgt. In der dunklen Jahreszeit und für die Abendnutzung ist künstliche Beleuchtung unerlässlich – sowohl für den Freizeitsport als auch bei internationalen Wettkämpfen. Besonders die Fernsehübertragung stellt hohe Anforderungen an die Beleuchtung.

Zunehmend gehören Videoaufzeichnungen zu Trainingszwecken und Fernsehübertragungen – auch von Sportereignissen mittlerer Bedeutung – zum Standard der Sportvereine und der Veranstalter. Daher werden auch Sportstätten mit nur regionaler Bedeutung zunehmend anspruchsvoll beleuchtet. Aufgrund der sehr guten Effizienz und der damit möglichen Energieeinsparungen werden für diese Beleuchtungsaufgabe insbesondere LED-Leuchten bevorzugt eingesetzt.

Investitionen in moderne Beleuchtungssysteme sind daher vornehmlich auch für den Betreiber eine gute Entscheidung.



4.4.1 Sportstätten

Die Beleuchtung von Sportstätten hat die Aufgabe, gute Sehbedingungen für Sportler, Athleten, Schiedsrichter, Zuschauer und Fernseh- und Filmaufnahmen zu ermöglichen. Die Europäische Norm EN 12193 „Licht und Beleuchtung – Sportstättenbeleuchtung“ [50] legt Anforderungen an die Beleuchtung von Sportstätten in Innen- und Außenanlagen für die in Europa am häufigsten ausgeübten Sportarten fest. Sie gibt Werte für Beleuchtungsstärken, Gleichmäßigkeiten, Blendungsbegrenzung und Farbwiedergabeeigenschaften (Farbwiedergabe-Index) der Lichtquellen an, um die Beleuchtung von Sportstätten zu planen und überprüfen zu können. Alle Anforderungen sind als Mindestwerte zu verstehen.

4.4.2 Anforderungen an die Beleuchtung

Die EN 12193 enthält 29 Tabellen mit für die Sportarten spezifischen Anforderungen an die Beleuchtung von Sportstätten im Innenraum und im Außenbereich. In diesem Kapitel sind in den Tabellen 4.47 bis 4.46 die lichttechnischen Planungswerte für Sportarten in Innenräumen nach EN 12193 [50] zusammengefasst (siehe auch Tabelle 4.35).

Alle Beleuchtungsstärkewerte der genannten Tabellen sind örtliche Mittelwerte (Symbol \bar{E}_m) und Wartungswerte (Index m), die zu keiner Zeit unterschritten werden dürfen. Sie gelten für die Hauptfläche (PA). Falls in den Tabellen auch die Gesamtfläche (TA) angegeben ist, muss die Beleuchtungsstärke der Gesamtfläche TA mindestens 75 % des Wertes der (meist kleineren) Hauptfläche (PA) der betrachteten Sportart betragen (Definition der Flächen TA und PA siehe Kapitel 4.4.7 „Bewertungsflächen“). Die Gleichmäßigkeit $U_o = E_{min}/\bar{E}$ ist ebenfalls in den Tabellen 4.47 bis 4.46 angegeben.

4.4.3 Beleuchtungsklassen

Die lichttechnischen Anforderungen an die Beleuchtung sind wesentlich vom Wettbewerbsniveau und von der Beobachtungsentfernung der Zuschauer abhängig. Insofern wurden für die unterschiedlichen Wettbewerbsniveaus Beleuchtungsklassen definiert. Je höher das Wettbewerbsniveau und je größer die Beobachtungsentfernung der Zuschauer ist, umso höher ist die Beleuchtungsklasse und das Beleuchtungsniveau.

Die folgenden Erläuterungen und Tabelle 4.30 unterstützen die Auswahl der Beleuchtungsklasse.

Beleuchtungsklasse I

Hochleistungswettkämpfe, wie internationale und nationale Wettbewerbe, die im Allgemeinen mit hohen Zuschauerzahlen und mit großen Sehentfernungen verbunden sind. Hochleistungstraining wird ebenfalls in diese Klasse einbezogen.

Beleuchtungsklasse II

Wettkämpfe auf mittlerem Niveau, wie regionale oder örtliche Wettbewerbe, die im Allgemeinen mit mittleren Zuschauerzahlen mit mittleren Sehentfernungen verbunden sind. Leistungstraining wird auch in diese Klasse einbezogen.

Beleuchtungsklasse III

Einfache Wettkämpfe, wie örtliche oder kleine Vereinswettkämpfe, im Allgemeinen ohne Zuschauerbeteiligung. Allgemeines Training, allgemeiner Schulsport und Freizeitsport fallen ebenso in diese Beleuchtungsklasse.

Wettbewerbsniveau	Beleuchtungsklasse		
	I	II	III
International/National	*		
Regional	*	*	
Lokal	*	*	*
Training		*	*
Schulsport/Freizeit			*

Tabelle 4.30

Tabelle 4.30: Auswahl der Beleuchtungsklasse

4.4.4 Beleuchtungsstärke

Die Anforderungen an das Beleuchtungsniveau und die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke (siehe Kapitel 2.5) sind stark von der Sportart und dem Wettbewerbsniveau (Beleuchtungsklassen) abhängig. Wartungswerte der horizontalen bzw. vertikalen Beleuchtungsstärke (E_h und E_v) und dazugehörige Gleichmäßigkeiten sind in den Tabellen 4.47 bis 4.46 enthalten. Diese Werte beziehen sich für E_h in der Regel auf den Boden und für E_v auf eine Höhe von 1,5 m und berücksichtigen in erster Linie die visuellen Bedürfnisse der Sportler. Ist für Sportarten keine vertikale Beleuchtungsstärke E_v vorgegeben, so ist sowohl aus Sicht der Sportler als auch vor allem aus Sicht der Zuschauer ein Mindestmaß an vertikaler Beleuchtungsstärke von 30 % des horizontalen Niveaus sicherzustellen (siehe auch Kapitel 2.8, „Räumliche Beleuchtung, Lichtrichtung, Modeling“).

Darüber hinaus sind die Anforderungen an die Beleuchtung, die von den nationalen bzw. internationalen Sportverbänden (siehe auch Tabelle 4.48), insbesondere für Spitzensportveranstaltungen, gestellt werden, zu berücksichtigen. Beispiele für solche abweichenden Anforderungen zu EN 12193 [50] sind ebenfalls in den Tabellen 4.47 bis 4.46 vermerkt.

Für den Schulsport ist zusätzlich die Norm DIN EN 12464-1 [51] zu berücksichtigen, die für Sportstätten in Bildungseinrichtungen grundsätzlich eine Mindestbeleuchtungsstärke von 300 lx vorsieht (siehe auch Tabelle 4.78 in Kapitel 4.9 „Beleuchtung von Ausbildungsstätten“).

Die in EN 12193 [50] angegebenen Beleuchtungsstärken sind grundsätzlich als Wartungswert zu verstehen, die zu keinem Zeitpunkt unterschritten werden.

4.4.5 Blendungsbegrenzung

Blendung muss begrenzt werden, um eine Herabsetzung der Sehleistung zu vermeiden. In der CIE-Publikation 117 „Psychologische Blendung in der Innenraumbeleuchtung“ [156] ist zur Bewertung der Blendung das UGR-Verfahren (siehe Kapitel 2.7.1, „Direktblendung“) festgelegt worden. Dieses Verfahren ist für Sportstätten dann anzuwenden, wenn sie auch zu anderen Zwecken genutzt werden, z.B. für Prüfungen oder Vorträge.

Das UGR-Verfahren zur Begrenzung der Blendung wurde für Arbeitssituationen mit vornehmlich horizontaler Blickrichtung und für regelmäßig an der Decke angeordnete Leuchten entwickelt. Bei vielen Sportarten liegt oft eine mehr nach oben gerichtete Blickrichtung vor. Daher kann es notwendig sein, zusätzlich zu der UGR-Bewertung ergänzende Maßnahmen zur Blendungsbegrenzung in Sporthallen vorzunehmen. Zum Beispiel kann das Risiko der Blendung aufgrund hoher Leuchtdichten der Lichtquellen im Blickfeld eines Spielers an einigen kritischen Stellen im Spielfeld durch entsprechende Anordnung und Abschirmung der Lichtquellen verringert werden.

Die Leuchten sollten bevorzugt in Blickrichtung, parallel zu den Längsseiten der Halle und möglichst nicht direkt über der Hallen-Mittellinie oder dem Spielfeld installiert sein, weil in diesem Bereich z. B. aufsteigende Bälle sicher und ohne Blendung, etwa durch Einblick in die Leuchten, erkannt werden müssen. Dies lässt sich zwar wegen der geforderten Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke nicht immer realisieren, ist jedoch bei Leuchten mit großen, möglichst homogenen Lichtaustrittsflächen auf Grund der im Vergleich zu Strahlern (mit LEDs oder Hochdrucklampen) geringeren Leuchtdichten weniger problematisch.

Es ist jedoch zu bedenken, dass sich die Beobachtungsrichtung der Sportler ständig ändert, während in Arbeitssituationen die „psycholo-

gische Blendung“ durch relativ feste Beobachterpositionen und Beobachtungsrichtungen gekennzeichnet ist.

Bei den Sportarten ähnlich denen der Arbeitssituationen nach EN 12464-1 [51] (siehe z. B. Kapitel 4.2 „Beleuchtung industrieller und handwerklicher Arbeitsstätten“ und 4.9 „Beleuchtung von Ausbildungsstätten“) kann Blendung durch Anwendung des UGR-Verfahrens bewertet werden. Die Grenzwerte müssen denen der Norm EN 12464-1 entsprechen.

Die Norm EN 12193 [50] gibt weiterhin den Hinweis, dass eine Blendungsbewertung für die Beleuchtung von Sportstätten im Innenraum ggf. auch nach dem Verfahren der Norm CIE 112 „Blendungsbewertungssystem für Außenbeleuchtungsanlagen und Beleuchtungsanlagen für Sport im Freien“ [155] vorgenommen werden kann. Dies ist jedoch nur in Sonderfällen anzuwenden, wenn bei Lichtpunkthöhen über 10 m Scheinwerfer mit hohen Leuchtdichten der Lichtaustrittsflächen eingesetzt werden. Die Grenzwerte sind in den Tabellen 4.47 bis 4.46 angegeben. Für die Beschreibung des Bewertungsverfahrens wird auf die Norm CIE 112 [155] verwiesen.

4.4.6 Farben und Reflexionseigenschaften

Die Farben der Oberflächen des Raumes bzw. von Trennflächen innerhalb des Raumes müssen so ausgewählt werden, dass die Farbe des Objektes (z. B. des Balles) und des Hintergrundes, gegen den dieser gesehen wird, die Erkennbarkeit der Sehaufgabe aufgrund schlechter Farbkontraste nicht behindert. Oberflächen sollten matt sein, um Blendung durch Reflexionen heller Lichtquellen zu vermeiden.

Mit Ausnahme von fernsehgerechter Beleuchtung werden in EN 12193 [50] keine Anforderungen an die Lichtfarbe gestellt. Auch die Anforderung an die Farbwiedergabe der verwendeten Lampen bzw. Leuchtmittel ist für den allgemeinen Sport eher moderat. Erst mit der Ausgabe der Norm von 2019 ist der Wert des Farbwiedergabe-Index von $R_a > 20$ auf $R_a > 60$ angehoben worden. Dennoch ist eine gute Farbwiedergabe für Sportler und Zuschauer sehr wichtig für das sportliche Erlebnis. Deshalb waren schon in der Vergangenheit sowohl Leuchtstofflampen als auch Hochdrucklampen mit einem Farbwiedergabe-Index von mindestens 80 in Sportanlagen allgemein üblich, insbesondere in Innensportanlagen, bei denen Licht und Farbe ganz wesentlich zu Motivation, Freude und Wohlbefinden beitragen.

In Mehrzweck-Hallen sind Leuchtmittel mit guter Farbwiedergabe schon deswegen erforderlich, um die Feldmarkierungen einwandfrei und schnell erkennen zu können.

Qualitativ hochwertige LED-Leuchten, wie sie heute in allen Sportstätten üblich sind, erweisen sich auch unter Berücksichtigung der Qualitätsmerkmale Farbwiedergabe und Farbtemperatur als besonders geeignet (siehe Kapitel 9.2 „Leuchtmittel-Eigenschaften“ und 5.1.2 „Produktqualität“).

4.4.7 Bewertungsflächen

Hauptfläche PA (Principal Area)

ist die relevante Spielfläche, die für die Ausführung einer Sportart benötigt wird. Dies ist üblicherweise die gekennzeichnete Fläche des Sportplatzes oder des Sportfeldes. In einigen Fällen umfasst diese Fläche einen zusätzlichen Spielbereich um die gekennzeichnete Fläche herum (z. B. bei Tennis, Volleyball, Tischtennis). In den Tabellen 4.47 bis 4.46 sind Flächen beispielhaft angegeben, die für die jeweilige Sportart am häufigsten verwendet werden. Die Flächenmaße gemäß den genannten Tabellen sollten bei der Beleuchtungsplanung hinsichtlich der Anwendbarkeit auf das geplante Objekt überprüft werden. Bei Abweichungen sind die amtlichen Maße des Spielfeldes der betreffenden Sportverbände heranzuziehen. Die lichttechnischen Anforderungen gelten – mit wenigen Ausnahmen – für die Hauptfläche PA.

Gesamtfläche TA (Total Area)

Grundsätzlich umfasst diese Fläche die Hauptfläche (PA) und einen zusätzlichen Sicherheitsbereich außerhalb dieser Hauptfläche.

Referenzfläche

Die Hauptfläche PA ist die Referenzfläche, für die die Beleuchtungsanforderungen gelten, einschließlich der Begrenzungslinien und aller Zusatzbereiche, die um die gekennzeichnete Fläche herum liegen. Ist auch eine Gesamtfläche TA angegeben, muss diese mit mindestens 75 % der Beleuchtungsstärke der PA beleuchtet sein. Die Abmessungen der Referenzfläche basieren auf denen der Hauptfläche (PA) der jeweiligen Sportart und dem jeweiligen Wettbewerbsniveau. Für die meisten Sportarten wird eine rechteckige Referenzfläche in der horizontalen Ebene auf Bodenniveau angenommen.

Die Abmessungen der Referenzflächen in den Tabellen 4.47 bis 4.46 gemäß EN 12193 [50] sind gerundet und wurden nur als Hilfe zur Bestimmung der Anzahl der Rasterpunkte angegeben (siehe unten). Für exakte Abmessungen sollten

die entsprechenden Sportverbände angesprochen werden. Für einige Sportarten gibt es unterschiedlich große Spielflächen, was sich auch auf die Anzahl der Rasterpunkte für die Berechnung und Messung der Beleuchtung auswirkt.

Rasterpunkte für Messung und Berechnung

In den Tabellen der Norm EN 12193 [50] sind zu jeder Sportart auch die Anzahl der für die Messung oder Berechnung der Beleuchtung erforderlichen Rasterpunkte innerhalb der Referenzfläche festgelegt, getrennt nach Länge und Breite. Damit soll eine genügend genaue Abtastung des Beleuchtungsprofils über der Referenzfläche sichergestellt werden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist die Anzahl der Rasterpunkte in den Tabellen 4.36 bis 4.47 nicht enthalten. Die Anzahl der Rasterpunkte bzw. das Raster kann jedoch auch mit einer in der Norm EN 12193 [50] vorgegebenen Rechenvorschrift ermittelt werden, die im Kapitel 3.8 „Messung der Beleuchtung“ detailliert beschrieben wird.

4.4.8 Wartung

Das Beleuchtungsniveau einer Beleuchtungsanlage nimmt während der Lebensdauer ab, und zwar infolge von

- Alterung der Lampen und Leuchten,
- Verschmutzung von Lampen und Leuchten,
- Alterung der Raumbooberflächen und
- Ausfallrate der Lampen.

Eine Planung der Wartungsintervalle ist notwendig, damit die Planungsvorgaben während der gesamten Nutzungsdauer der Beleuchtungsanlage eingehalten werden. Daher wird vorausgesetzt, dass Lampenwechsel und Reinigungsintervall einen Teil der Beleuchtungsplanung bilden.

Der Planung werden der Neuwert der Beleuchtungsstärke und der Wartungsfaktor zugrunde gelegt (siehe Kapitel 3.1 „Wartungsfaktor“). Der Wartungsfaktor und die Wartungsprogramme müssen zwischen Planer und Besitzer bzw.

Betreiber zu Beginn der Planung vereinbart werden. Falls kein Wartungsfaktor vereinbart wird, ist ein Wert von 0,8 heranzuziehen.

Um länger andauernde Unterbrechungen des Sportbetriebes durch Wartung bzw. Instandhaltung zu vermeiden, sollten die Leuchten in Bezug auf leichte Zugänglichkeit angeordnet werden.

Speziell beim Einsatz von LED-Leuchten ist deren Totalausfall zu vernachlässigen. Der Wartungs- und Instandhaltungsaufwand kann auf diesem Wege gering gehalten werden. Umso wichtiger ist es, hier die Lichtstromdegradation zu beachten. Diese kann, je nach Leuchte, nicht nur aus Gründen der verwendeten LED-Komponenten, sondern auch aus Gründen des konstruktiven Aufbaus der Leuchte sehr unterschiedlich ausfallen (siehe hierzu auch die Kapitel 3.1.2 „Der Lampenwartungsfaktor einer LED-Leuchte“ und 5.8 „Betrieb von LED-Leuchten“).

4.4.9 Notbeleuchtung

Grundsätzlich ist für die Planung und Errichtung der Notbeleuchtung EN 1838 „Angewandte Lichttechnik – Notbeleuchtung“ [58] heranzuziehen (siehe Kapitel 3.9 „Notbeleuchtung“). In EN 12193 [50] werden darüber hinaus weitere Angaben zur Beleuchtung in Notsituationen gemacht.

Sicherheitsbeleuchtung für Zuschauerbereiche
 Mehr für den Sehkomfort der Zuschauer als für die Sicherheit oder in Notsituationen muss das Beleuchtungsniveau bei allgemeiner Stromversorgung mindestens 10 lx betragen. Bei Ausfall der allgemeinen Stromversorgung ist eine Antipanikbeleuchtung nach EN 1838 vorzusehen (siehe Kapitel 3.9 „Notbeleuchtung“).

Sicherheitsbeleuchtung für die Teilnehmer
 Sportveranstaltungen müssen auch bei Ausfall der Beleuchtung geordnet beendet werden können. Das Beleuchtungsniveau für ein sicheres Abbrechen einer Sportveranstaltung wird in

EN 12193 [50] als Prozentsatz des Beleuchtungsniveaus der entsprechenden Beleuchtungsklasse angegeben. Für einige Sportarten sind in EN 12193 [50] bestimmte Prozentsätze festgelegt (siehe Tabelle 4.31).

Die Sicherheitsbeleuchtung muss sofort einsetzen, wenn die Allgemeinbeleuchtung ausfällt, und für die hier festgelegte Zeit mindestens zur Verfügung stehen. Danach ist eine Notbeleuchtung gemäß EN 1838 [58] vorzusehen.

Fortsetzen einer Sportveranstaltung

Für das Fortsetzen einer Sportveranstaltung muss das Beleuchtungsniveau mindestens Klasse III der entsprechenden Sportart entsprechen (siehe Tabelle 4.31).

Innensportart	Prozentsatz der Beleuchtungsstärke	Minstdauer der Sicherheitsbeleuchtung
Schwimmen	5 %	30 s
Turnen	5 %	30 s
Reiten	5 %	120 s
Eisschnelllauf	5 %	30 s
Eishockey und Eiskunstlauf	5 %	30 s
Radsport (Bahnrennen)	10 %	60 s

Tabelle 4.31: Sicherheitsbeleuchtung für die Teilnehmer einer Sportveranstaltung im Innenraum nach EN 12193

4.4.10 Beleuchtung für Fernseh- und Filmaufnahmen

Für Fernseh- und Filmaufnahmen sind folgende lichttechnische Kriterien der Beleuchtung wichtig:

- vertikale Beleuchtungsstärke und deren Gleichmäßigkeiten
- Verhältnis der horizontalen zur vertikalen Beleuchtungsstärke
- Gleichmäßigkeit der horizontalen Beleuchtungsstärke
- Farbtemperatur der Lampen
- Farbwiedergabe der Lampen
- Beleuchtungsniveau der Zuschauerbereiche
- Flimmerfreiheit des Lichtes

Da bei Fernsehen und Film im Sport heute in der Regel auch Zeitlupenwiedergaben vorgesehen sind, werden an die Flimmerfreiheit erhöhte Anforderungen gestellt.

Vertikale Beleuchtungsstärke

Ebenso wie für den Zuschauer vor Ort ist für Fernseh- und Filmaufnahmen beim Sport die Beleuchtung vertikaler Flächen besonders relevant. Dabei ist immer die Beleuchtungsstärke zu betrachten, mit der die Szenerie aus Richtung der aufnehmenden Kamera beleuchtet ist. Die Norm EN 12193 [50] gibt hierfür einen Mindestwert von

- $E_{v,\min} = 600 \text{ lx}$ (1.400 lx)
(örtlicher Mindestwert von E_v)
und die Gleichmäßigkeit in Form eines
- Gradienten von 6 % über 1 m (5 % über 1 m)

vor. Die in Klammern stehenden Werte sind Empfehlungen für Großveranstaltungen.

Die angegebenen Beleuchtungsstärken sind als Wartungswert zu verstehen, die zu keinem Zeitpunkt unterschritten werden. Die Gleichmäßigkeit wird in Form eines Gradienten angegeben. Zur Ermittlung der Beleuchtungsstärke und der Gleichmäßigkeit werden für jede Sportart die Werte an den vorgegebenen Rasterpunkten

(siehe Kapitel 4.4.7 „Bewertungsflächen“) in einer Höhe von 1,5 m über dem Boden herangezogen, wenn nicht anders angegeben.

Für Kameras mit feststehenden Kamerapositionen ist es möglich, die Anforderung bzgl. der Beleuchtungsstärken E_{cam} aus Richtung der jeweiligen Position der Kamera her zu erfüllen. Die Gleichmäßigkeit muss $E_{cam,\min}/\bar{E}_{cam} \geq 0,6$ betragen (siehe Abbildung 4.25).

Wenn die Hauptkamera eine nicht festgelegte Position auf der Längsseite der Sportfläche, z.B. eines Handballfeldes, hat, muss die Beleuchtung die Anforderungen bezüglich Beleuchtungsniveau und Gleichmäßigkeit entlang dieser Längsseite erfüllen.

Falls die Kameraposition, z.B. einer Handkamera, keiner Einschränkung unterliegt, müssen die vertikalen Beleuchtungsstärken von allen vier Seiten eines Feldes her erreicht werden. Auch die Gleichmäßigkeit muss bzgl. aller vier Richtungen längs den Seiten der Sportfläche berücksichtigt werden.

Einige Sport-Dachverbände haben ihre eigenen speziellen Empfehlungen für Fernsehbeleuchtungsniveaus festgelegt, die ggf. herangezogen werden sollten.

Verhältnis zwischen horizontaler und vertikaler Beleuchtungsstärke

Weil die beleuchtete horizontale Fläche ebenfalls einen Hauptanteil für das Beobachtungsfeld der Kamera darstellt, ist es wichtig, einen ausrei-

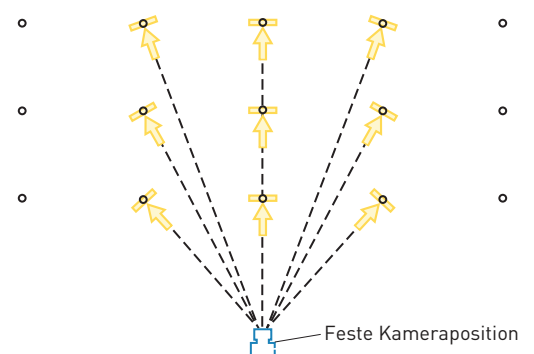


Abbildung 4.25

Abbildung 4.25:

Die aus Richtung der TV-Kamera auftretende Beleuchtungsstärke bestimmt die Qualität der Fernsehbilder. Daher wird üblicherweise die Beleuchtungsstärke an Referenzpunkten auf der (meist geneigten) Ebene bestimmt, die senkrecht zur optischen Achse der Aufnahmekamera liegt.

chenden Anteil horizontaler Beleuchtungsstärke zur Verfügung zu haben. Ein von der Norm EN 12193 [50] gefordertes Verhältnis zwischen horizontalen und vertikalen Beleuchtungsstärken wird erreicht, wenn die mittlere horizontale Beleuchtungsstärke \bar{E}_h zur mittleren Beleuchtungsstärke aus Richtung der Kamera \bar{E}_{cam} (bezogen auf jede Seite mit der Hauptkamera oder in Richtung der Hauptkameraposition) in folgendem Intervall liegt:

$$0,5 \leq \bar{E}_h / \bar{E}_{cam} \leq 2$$

Empfohlen wird ein Intervall von

$$0,5 \leq \bar{E}_h / \bar{E}_{cam} \leq 1,5$$

Gleichmäßigkeit der horizontalen Beleuchtungsstärke

Die Gleichmäßigkeit der horizontalen Beleuchtungsstärke in einer Sportfläche soll betragen:

$$E_{h,min} / \bar{E}_h \geq 0,7 \text{ und } E_{h,min} / E_{h,max} \geq 0,5$$

Für Großveranstaltungen wird empfohlen:

$$E_{h,min} / \bar{E}_h \geq 0,8 \text{ und } E_{h,min} / E_{h,max} \geq 0,6$$

Die Angaben sind informativ.

Auch ist es wichtig, dass nicht zu große Änderungen der horizontalen Beleuchtungsstärken über eine bestimmte Entfernung auftreten. Deshalb darf der Gradient der horizontalen Beleuchtungsstärke nicht mehr als 5 % pro m betragen.

Um ungewollte Reflexionen der Lichtquellen auf dem Spielfeld im Kamerabild zu vermeiden sind ggf. die geometrischen Verhältnisse der Leuchten- und Kamerapositionen zueinander in der Planung zu berücksichtigen. Dies tritt jedoch insbesondere bei der Nutzung von Flutlicht in Erscheinung und ist in Innenräumen mit einer gleichmäßigen Verteilung vieler Lichtquellen weniger kritisch.

Farbtemperatur der Beleuchtung

Bei Anlagen in Innenräumen mit einem deutlichen Tageslichtanteil muss die Farbtemperatur der künstlichen Beleuchtung zwischen 5.000 K und 6.000 K liegen, wenn die künstliche Be-

leuchtung bei Tageslicht oder in der Dämmerung eingeschaltet ist. Viele Fernsehanstalten fordern jedoch einen vollständigen Ausschluss des Tageslichtes und sehr geringe Abweichungen der Farbtemperaturen der verwendeten Lichtquellen.

Farbwiedergabe der Beleuchtung

Für die Farbwiedergabe wird anstelle eines Wertes des Farbwiedergabe-Index R_s der Beleuchtung auf einen TLCI-Wert verwiesen (Television Lighting Consistency Index). Die Bewertung von Lichtquellen nach dem TLCI-Verfahren stellt sicher, dass sowohl das Farbsehen des menschlichen Auges als auch die spezifische Empfindlichkeit moderner Kameras bezüglich der spektralen Zusammensetzung des Lichtes berücksichtigt werden. Als Mindestwert gibt die Norm einen $TLCI \geq 60$ und für Großveranstaltungen einen $TLCI \geq 80$ an, wobei die Angaben informativ sind.

TRILUX-Sporthallenleuchten sind nach dem TLCI-Verfahren bewertet.

Beleuchtungsniveau der Zuschauerbereiche

Zuschauerbereiche mit den Emotionen und Stimmungen der Sportfans bilden oft den Hintergrund für die Fernseh- und Filmaufnahmen. Daher ist es wünschenswert, dass auch die angrenzenden Zuschauerbereiche mit Blick auf das Spielfeld beleuchtet sind. Dabei sollte im Zuschauerbereich in den ersten zwölf Sitzreihen im Mittel eine vertikale Beleuchtungsstärke erreicht werden, die 10 % bis 25 % der mittleren vertikalen Beleuchtungsstärke der Sportfläche beträgt.

Flimmerfreiheit des Lichtes

Viele Lichtquellen weisen periodische Schwankungen des erzeugten Lichtstroms auf, z. B. auf Grund der periodischen Versorgungs-Wechselspannung. Die hohe Bildwechselfrequenz von über 150 Bildern pro Sekunde (150 fps) moderner Zeitlupe-Kameras bei der Aufnahme und deren extrem verlangsamte Wiedergabe – bis hin zu Einzelbildern – erfordern, dass die Beleuchtungsstärke auch bezogen auf Frequenzen weit oberhalb der Wahrnehmungsgrenze weitgehend konstant sein muss. Der technische Be-

griff zur Beschreibung dieser Anforderung ist der „Flicker“. Die hier maßgebliche Größe zur Erfassung des Flickers ist der „Flickerfaktor“, der die Modulationstiefe der Lichtstromschwankungen beschreibt (siehe Kapitel 2.11 „Flimmern und stroboskopische Effekte“).

Für Fernsehaufnahmen bei Großveranstaltungen fordert die Norm einen Flickerfaktor $F_{\text{Flicker}} < 1\%$. Es eignen sich hierzu z. B. am Markt verfügbare LED-Leuchten mit ausreichend ausgelegter Stabilisierung der LED-Stromversorgung. Für hochfrequente Modulationen mit Frequenzen $> 40 \text{ kHz}$ ist ein Flickerfaktor $F_{\text{Flicker}} < 5\%$ ausreichend.

TRILUX-Sporthallenleuchten erfüllen die normativen Anforderungen bzgl. des Flickers.

In Ausnahmefällen kann bei Bedarf eine Reduzierung des Flickers auch durch den Parallelbetrieb von drei gleichen Lichtquellen an den versetzten Phasen eines Drehstromnetzes erreicht werden. Dabei ist allerdings darauf zu achten, dass alle drei Lichtquellen im Vergleich zur Distanz zum Objekt räumlich nahe beieinander angeordnet sein müssen. Andernfalls würde das Flimmern unterscheidbarer Schatten des Objektes in der Wiedergabe störend wahrgenommen werden.

Weitere Regelwerke

Die vorstehenden Angaben zur Beleuchtung von Fernseh- und Filmaufnahmen basieren auf EN 12193 [50]. Gute Hinweise zu Fernsehaufnahmen sind auch der Publikation „LG4, Part B: Applications – Lighting for television (addendum)“ [124] zu entnehmen. Darüber hinaus sind auch Festlegungen der nationalen und internationalen Sportverbände (siehe Tabelle 4.48) sowie der für die Fernsehübertragung verantwortlichen Unternehmen zu berücksichtigen. Bei der Vielzahl von z. T. sogar streng einzuhaltenden Vorschriften ist die Planung der Beleuchtung für anspruchsvolle Fernseh- und Filmaufnahmen im Allgemeinen Spezialisten vorbehalten.

Abbildung 4.26:
Anordnungen von Sporthallenleuchten (siehe Tabellen 4.33 und 4.34)

oben:
(a) Anordnung der Lichtbandleuchten
unten:
(b) Anordnung der Einzelleuchten

4.4.11 Beleuchtung von Sporthallen

Für häufig vorkommende Sporthallen enthält die Tabelle 4.32 Beispiele für Abmessungen und Sportarten gemäß EN 12193 [50]. Die Bilder 4.26 erläutern die Anordnungsgeometrie der Leuchten. In Einzelfällen kann es notwendig sein, die Beleuchtung an den Stirnseiten der Halle durch zusätzliche Leuchten zu verbessern (sogen. Endverstärkung), um die Beleuchtungsstärke in diesem Bereich über den Minimalwert anzuheben.

In teilbaren Hallen ist die Beleuchtung so zu planen und auszuführen, dass die lichttechnischen Anforderungen sowohl für die gesamte Halle als auch für die Teilhallen gelten. Oft werden jedoch die Teilhallen nur für den Trainingsbetrieb genutzt, für den geringere Anforderungen gelten. Insbesondere muss bei teilbaren Hallen die Blendungsbegrenzung (siehe auch Kapitel 4.4.5 „Blendungsbegrenzung“) für beide Hauptblickrichtungen erfüllt sein.

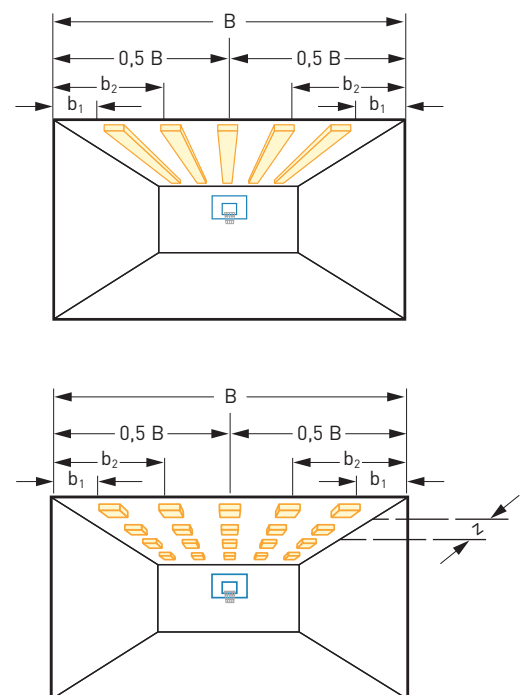


Abbildung 4.26

Leuchten müssen ballwurfsicher sein (siehe Kapitel [5.13.2](#) „Ballwurfsicherheit“).

Die nachfolgenden Tabellen 4.33 und 4.34 enthalten Beispiele für die Beleuchtung von Sporthallen. Denen liegen folgende **Annahmen** zugrunde:

- Nutzebene ist die Sportfläche, max. 0,2 m über dem Boden.
- Reflexionsgrade für Decke/Wände/Boden 0,5/0,5/0,3
- Wartungsfaktor 0,8
- **Leuchten für Leuchtstofflampen** sind Bestandsleuchten der bis 2009 hergestellten TRILUX-Baureihe 506.., T8 58 W bzw. T5 80 W. Neuere T5-Leuchten weisen höhere Lichtausbeuten auf.
- **LED-Leuchten**, aktuell verfügbarer Stand der Technik (in 2021, Baureihe Actison Fit..., 9.300 lm / 69 W bzw. 12.000 lm / 88 W, weitere Ausführungen bis 20.000 lm / 144 W, auch mit TlCI > 80, siehe Kapitel 4.4.10 „Beleuchtung für Fernseh- und Filmaufnahmen“).
- Die Beleuchtungsstärke und Gleichmäßigkeit gilt für die Hauptfläche PA nach EN 12193 [\[50\]](#).

Die Leuchten werden in Reihen parallel zur Hallenlängsseite angeordnet (Abbildung 4.26), und zwar im Abstand b_1 , b_2 (falls dafür ein Wert angegeben ist) und bei $B/2$, wobei B die Hallenbreite

ist. Ebenfalls ist der Abstand z der Mittelpunkte in Richtung der Leuchtenreihe angegeben.

Bei Mehrfachnutzung der Sporthallen, z.B. für Wettkämpfe mit höherem Wettbewerbsniveau und für Trainings- bzw. Schulsportarten mit geringerem Wettkampfniveau, wird empfohlen, die Anlage für das höchste benötigte Beleuchtungsniveau (Wettkampfniveau) auszulegen. Bei geringen Anforderungen an die Beleuchtung wurden in der Vergangenheit bei konventioneller Beleuchtung häufig zweilampige Leuchten in Serienschaltung nur einlampig betrieben. In manchen Fällen ist auch durch Ausschalten einiger Leuchten innerhalb der Leuchtenreihen das Beleuchtungsniveau reduziert worden.

Eine deutlich bessere und effizientere Variante stellt die Beleuchtung mit dimmbaren Leuchten mit DALI-Schnittstelle dar.

Anstatt einzelne Leuchten oder Lampen auszuschalten, sollte heute die gesamte Beleuchtungsanlage auf das gewünschte Niveau gedimmt werden. Dazu stehen Lichtmanagementsysteme und dimmbare Leuchten mit DALI-Schnittstelle zur Verfügung. Alle wichtigen Planungsparameter, wie die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung, werden so weiter beibehalten, während zu bestimmten Nutzungszeiten Energie eingespart

Sporthalle (Anm. 1)	Lichte Raummaße				Geeignet für Sportarten gemäß EN 12193 [50] aufgrund der Referenzfläche TA
	Länge	Breite	Höhe	Nutzbare Fläche	
Einzelhalle	27 m	15 m	5,5 m	405 m ²	Schulsport, Ringen
Halle für Spiele	44 m	22 m	7 m	968 m ²	Basketball, Fußball, Handball
Geräteturnhalle	27 m	15 m	7 m	405 m ²	Gymnastik, Geräteturnen
Geräteturnhalle (Anm. 2)	36 m	18 m	7 m	648 m ²	Geräteturnen
Geräteturnhalle (Anm. 3)	44 m	22 m	7 m	968 m ²	Basketball, Fußball, Handball
Geräteturnhalle (Anm. 4)	45 m	27 m	7 m	1.215 m ²	Fußball, Handball
Kampfsportraum	16 m	16 m	4 m	256 m ²	Gewichtheben, Judo

Anm. 1: Die Abmessungen sind in DIN 18032-1 [\[3\]](#) genormt.

Anm. 2: Einschließlich Bodenturnfläche und Anlaufbahn für Sprünge

Anm. 3: Möglich sind eine mittige Unterteilung je Teilhalle mit 22 m x 22 m oder außermittige Unterteilungen mit 22 m x 26 m und 22 m x 18 m bzw. 22 m x 14 m und 22 m x 30 m. Die Beleuchtung ist analog einer Dreifachhalle auszuführen.

Anm. 4: Teilbar in drei Teilhallen mit je 15 m x 27 m

Tabelle 4.32:
Abmessungen von
Sporthallen

Tabelle 4.33:
Beispiel für die
Beleuchtung von
Einzelsporthallen,
Grundfläche
27 m x 15 m,
Höhe 5,5 m

Leuchten		750 lx	500 lx	300 lx
Typ				
LED 9.300 lm	Anzahl		3 x 10 = 30	3 x 6 = 18
	P_{ges}^*	-	2.070 W	1.242 W
	\bar{E}_m^*		503 lx	303 lx
	Abst.**		$b_1 = 2,1 \text{ m } z = 2,7 \text{ m}$	$b_1 = 2,1 \text{ m } z = 4,5 \text{ m}$
12.000 lm	Anzahl	3 x 12 = 36	3 x 8 = 24	3 x 5 = 15
	P_{ges}^*	3.168 W	2.112 W	1.320 W
	\bar{E}_m^*	772 lx	519 lx	327 lx
	Abst.**	$b_1 = 2,1 \text{ m } z = 2,3 \text{ m}$	$b_1 = 2,1 \text{ m } z = 4,5 \text{ m}$	$b_1 = 2,1 \text{ m } z = 5,4 \text{ m}$
T8 VVG 2-58 W	Anzahl		3 x 15 = 45	3 x 9 = 27
	P_{ges}^*	-	5.940 W	3.564 W
	\bar{E}_m^*		517 lx	311 lx
	Abst.**		$b_1 = 2,2 \text{ m } z = 1,8 \text{ m}$	$b_1 = 2,2 \text{ m } z = 3,0 \text{ m}$
3-58 W	Anzahl	3 x 15 = 45	3 x 10 = 30	3 x 6 = 18
	P_{ges}^*	8.910 W	5.940 W	3.564 W
	\bar{E}_m^*	771 lx	515 lx	310 lx
	Abst.**	$b_1 = 2,1 \text{ m } z = 1,8 \text{ m}$	$b_1 = 2,1 \text{ m } z = 2,7 \text{ m}$	$b_1 = 2,1 \text{ m } z = 4,5 \text{ m}$
T5 EVG 2-80 W	Anzahl		3 x 12 = 36	3 x 8 = 24
	P_{ges}^*	-	6.336 W	4.224 W
	\bar{E}_m^*		504 lx	329 lx
	Abst.**		$b_1 = 2,2 \text{ m } z = 2,3 \text{ m}$	$b_1 = 2,2 \text{ m } z = 3,4 \text{ m}$
3-80 W	Anzahl	3 x 12 = 36	3 x 8 = 24	3 x 5 = 15
	P_{ges}^*	9.504 W	6.336 W	3.960 W
	\bar{E}_m^*	753 lx	503 lx	313 lx
	Abst.**	$b_1 = 2,1 \text{ m } z = 2,3 \text{ m}$	$b_1 = 2,1 \text{ m } z = 3,4 \text{ m}$	$b_1 = 2,1 \text{ m } z = 5,4 \text{ m}$

Tabelle 4.34:
Beispiel für die
Beleuchtung von
Dreifachsporthallen,
Grundfläche
45 m x 27 m,
Höhe 7 m

Leuchten		750 lx	500 lx	300 lx
Typ				
LED 9.300 lm	Anzahl		4 x 21 = 84	6 x 9 = 54
	P_{ges}^*	-	5.796 W	3.726 W
	\bar{E}_m^*		500 lx	321 lx
	Abst.**		$b_1 = 2,7 \text{ m } b_2 = 9,9 \text{ m } z = 2,15 \text{ m}$	$b_1 = 1,5 \text{ m } b_2 = 6,3 \text{ m } z = 5,0 \text{ m}$
12.000 lm	Anzahl	5 x 21 = 105	4 x 18 = 72	5 x 9 = 45
	P_{ges}^*	9.240 W	6.336 W	3.960 W
	\bar{E}_m^*	798 lx	549 lx	344 lx
	Abst.**	$b_1 = 2,1 \text{ m } b_2 = 7,8 \text{ m } z = 2,15 \text{ m}$	$b_1 = 2,7 \text{ m } b_2 = 9,9 \text{ m } z = 2,5 \text{ m}$	$b_1 = 2,1 \text{ m } b_2 = 7,8 \text{ m } z = 5,0 \text{ m}$
T8 VVG 2-58 W	Anzahl		5 x 24 = 120	4 x 21 = 84
	P_{ges}^*	-	15.840 W	11.088 W
	\bar{E}_m^*		510 lx	338 lx
	Abst.**		$b_1 = 2,3 \text{ m } b_2 = 7,9 \text{ m } z = 1,87 \text{ m}$	$b_1 = 2,3 \text{ m } b_2 = 9,5 \text{ m } z = 2,15 \text{ m}$
3-58 W	Anzahl	5 x 24 = 120	4 x 21 = 84	4 x 15 = 60
	P_{ges}^*	23.760 W	16.632 W	11.880 W
	\bar{E}_m^*	766 lx	508 lx	362 lx
	Abst.**	$b_1 = 2,3 \text{ m } b_2 = 7,9 \text{ m } z = 1,87 \text{ m}$	$b_1 = 2,3 \text{ m } b_2 = 9,5 \text{ m } z = 2,15 \text{ m}$	$b_1 = 2,3 \text{ m } b_2 = 9,5 \text{ m } z = 3,0 \text{ m}$
T5 EVG 2-80 W	Anzahl		4 x 27 = 10	4 x 15 = 60
	P_{ges}^*	-	19.008 W	10.560 W
	\bar{E}_m^*		524 lx	301 lx
	Abst.**		$b_1 = 2,3 \text{ m } b_2 = 9,5 \text{ m } z = 1,6 \text{ m}$	$b_1 = 2,3 \text{ m } b_2 = 9,5 \text{ m } z = 3,0 \text{ m}$
3-80 W	Anzahl	5 x 21 = 105	4 x 18 = 72	4 x 12 = 48
	P_{ges}^*	27.720 W	19.008 W	12.672 W
	\bar{E}_m^*	806 lx	528 lx	352 lx
	Abst.**	$b_1 = 2,3 \text{ m } b_2 = 7,9 \text{ m } z = 2,15 \text{ m}$	$b_1 = 2,3 \text{ m } b_2 = 9,5 \text{ m } z = 2,5 \text{ m}$	$b_1 = 2,3 \text{ m } b_2 = 9,5 \text{ m } z = 3,75 \text{ m}$

* Zugrunde liegende Annahmen siehe oben. ** Abstände siehe Abbildung 4.26.

werden kann. Zusätzlich kann die Beleuchtung an vorhandenes Tageslicht angepasst und bei Abwesenheit automatisch ausgeschaltet werden, wenn entsprechende Sensorik eingerichtet ist.

Für LED-Leuchten wirkt sich es darüber hinaus auch positiv auf die Lebensdauer der Leuchte aus, wenn sie während eines Großteils ihres Lebenszyklus im gedimmten Zustand betrieben werden (siehe auch Kapitel [9.2.4](#) „Lebensdauer von LED-Leuchten“).

4.4.12 Beleuchtung von Tennishallen

Aus den international festgelegten Abmessungen des Tennisspielfeldes (23,77 m x 10,97 m) und den ebenfalls festgelegten Sicherheitsabständen zu den Grund- und Seitenlinien ergibt sich die hindernisfreie Spielfläche von 36,0 m x 18,0 m pro Spielfeld. Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, die zu beleuchtende Sportfläche um den „Auslauf“, d. h. um 3 m über die Grundlinie hinaus, zu verlängern. Zusätzlich zur Ballwurfsicherheit der Leuchten nach DIN 18032-3 [4] (siehe Kapitel [5.13.2](#), „Ballwurfsicherheit“) müssen Leuchten für Tennishallen auch gegen Eindringen von Tennisbällen sicher sein, d. h., die Maschenweite der Leuchtenabdeckungen (Raster, Gitter) muss weniger als 60 mm betragen.

In der Praxis hat sich eine Anlagendimensionierung für 750 lx (Klasse I) mit der Möglichkeit des Herabsetzens auf 500 lx (Klasse II) bzw. 300 lx (Klasse III), ggf. in Verbindung mit Gebührenautomaten, als zweckmäßig erwiesen. Dabei sind die Beleuchtungsklassen nicht immer im Hinblick auf das Wettbewerbsniveau gefragt, sondern im Freizeitsport vor allem aus dem Wunsch des höheren Erlebnis- und Beleuchtungskomforts. Dazu werden in der Regel dimmbare Leuchten verwendet, die entsprechend diesen Stufen durch ein Lichtmanagementsystem eingestellt und ggf. geregelt werden. Die Leuchten werden parallel zu den Seitenlinien und außerhalb des Spielfeldes angeordnet und in Richtung Spielfeld gedreht (Drehwinkel $\epsilon = 30^\circ$), um den Beleuchtungswirkungsgrad zu erhöhen. Bei schräg ansteigenden Dächern sollten die Leuchtenreihen der Dachneigung folgen, um auch hoch geschlagene Bälle gut erkennen zu können. Um den „Auslauf“ ebenfalls gut zu beleuchten, werden jeweils zwei Leuchten 3,0 m hinter und parallel zur Grundlinie angeordnet.

Um wechselnde Adaptationen beim Blick in dunkle, unbespielte Nachbarfelder zu vermeiden und um die visuelle Kommunikation mit der gesamten Halle zu ermöglichen, sollte die Beleuchtung der benachbarten Spielfläche ebenfalls eingeschaltet sein.

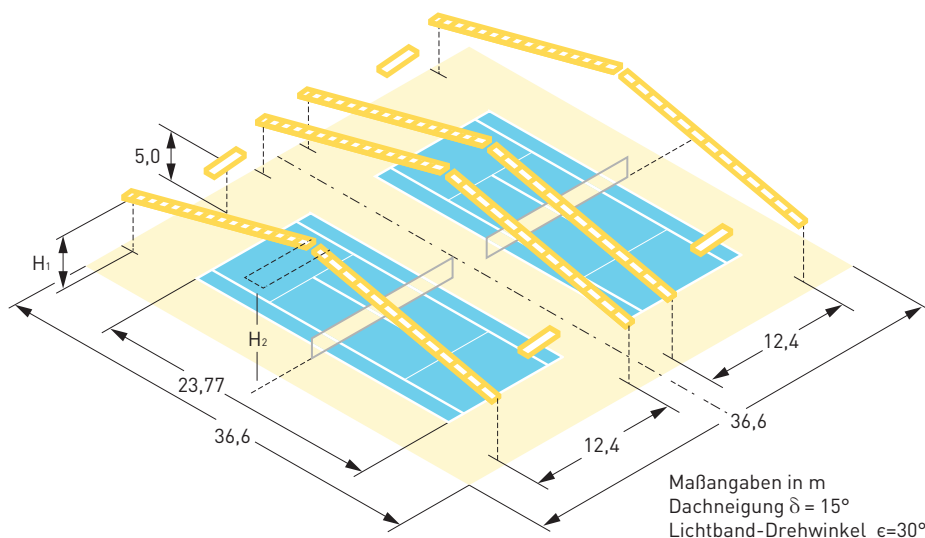


Abbildung 4.27:
Beispiele für die Anordnung der Beleuchtung einer Tennishalle: Lichtbänder für die Spielfeldbeleuchtung und Einzelleuchten für die Beleuchtung des Auslaufs.

4.4.13 Beleuchtung von Squashhallen

Squash ist ein schnelles und energiereiches Rückschlagspiel mit einem (meist farbigen) Ball aus Weichgummi (4 cm, 24 g). Die Ballgeschwindigkeit erreicht bis zu 200 km/h. Hohe Wahrnehmungsgeschwindigkeit sowie Blend- und Stroboskopfreiheit sind wichtige Anforderungen an die Beleuchtung. Die Abmessungen des Spielfeldes betragen 9,75 m x 6,40 m.

Abbildung 4.28: Beispiel für die Beleuchtung von Squashhallen nach EN 12193 mit geschlossenen LED-Sporthallenleuchten 16.000 lm (für Klasse I, $\bar{E}_m \geq 750$ lx) bzw. 9.300 lm (für Klasse II, $\bar{E}_m \geq 500$ lx), Wartungsfaktor 0,8

Besonders wichtig ist die Beleuchtung der vertikalen Aufschlagwand, deren mittlere, vertikale Beleuchtungsstärke E_v , etwa gleich der horizontalen Beleuchtungsstärke E_h sein soll. Als Lichtquellen werden Langfeldleuchten mit LED empfohlen, die auch die Anforderungen an eine gute Farbwiedergabe und an die Vermeidung stroboskopischer Effekte erfüllen. Die Leuchten müssen ballwurfsicher sein (siehe Kapitel 5.13.2 „Ballwurfsicherheit“). Bewährt haben sich Leuchtenabdeckungen mit schlagabsorbierenden, schwimmend gelagerten PLEXIGLAS-Prismen-Abdeckscheiben, die neben der Festigkeit auch eine Verringerung der mittleren Leuchtdichte der Leuchten und damit eine bessere Blendungsbegrenzung ergeben. Die Leuchten sollten mehr als 1,0 m von den Wänden angeordnet sein.

4.4.14 Beleuchtung von Badmintonhallen

Badminton war in Deutschland lange Zeit ein Breitensport und ist es in einigen Ländern immer noch. Badminton ist ein Rückschlagspiel mit einem ca. 5 Gramm schweren Federball, der von zwei oder vier Spielern abwechselnd über ein Netz geschlagen werden muss.

In Hallen, die ausschließlich für Badminton genutzt werden, ist nach Auffassung von Sportinstituten eine ballwurfsichere Ausstattung nicht erforderlich. In Hallen mit Mehrfachnutzung

Abbildung 4.29: Beispiel für die Beleuchtung einer Badmintonhalle (Raumhöhe 7 m, 6 Spielfelder), 92 LED-Lichtbandleuchten mit Prismenabdeckung, 9.300 lm, Wartungsfaktor 0,8, Beleuchtungsklasse II, $\bar{E}_m \geq 500$ lx

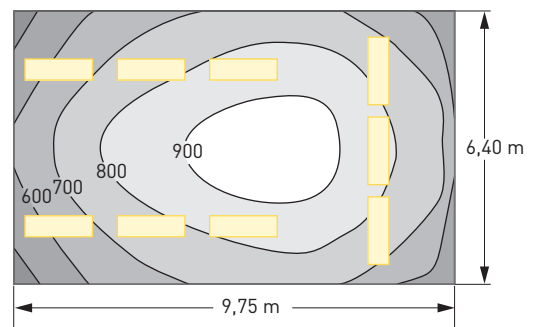
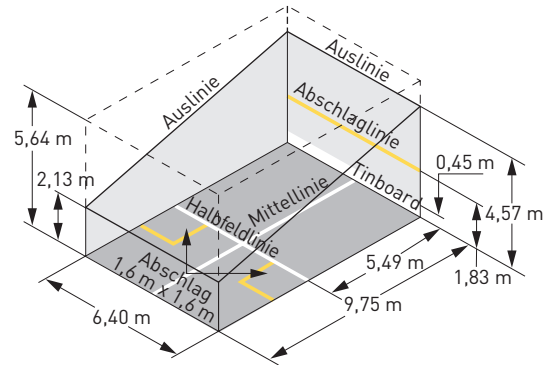


Abbildung 4.28

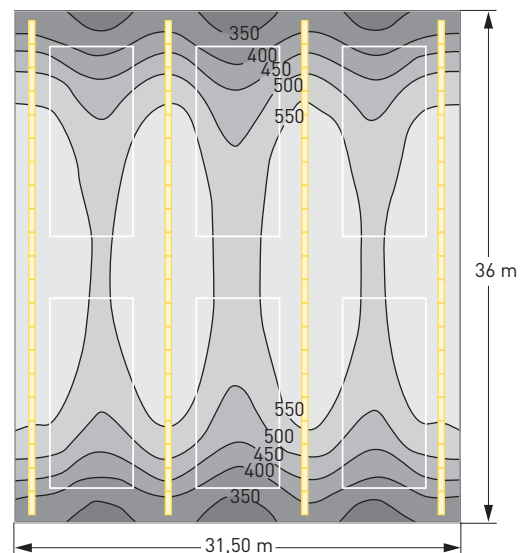


Abbildung 4.29

kann jedoch auf die Ballwurfsicherheit nicht verzichtet werden (siehe Kapitel [5.13.2](#) „Ballwurfsicherheit“). Die Abmessungen des Badminton-Spielfeldes betragen nach EN 12193 [\[50\]](#) und den Festlegungen nationaler Sportverbände, wie z.B. des Deutschen Badminton-Verbandes, 6,1 m x 13,4 m. Der hindernisfreie Auslauf hinter der Grundlinie sollte ca. 2,0 m betragen. Die hindernisfreie Raumhöhe beträgt bei regionalen und nationalen Veranstaltungen 7,0 m, bei internationalen Veranstaltungen 9,0 m und bei Weltmeisterschaften 12,0 m.

Wegen der hoch aufsteigenden Bälle ist besonders auf die Begrenzung der Blendung zu achten und daher sollten möglichst keine Leuchten direkt über dem Spielfeld angeordnet werden.

4.4.15 Beleuchtung von Schwimmhallen

Bäder dienen dem Schwimmen und Baden, dem Schul- oder Leistungssport und der Freizeitgestaltung. Künstliche Beleuchtung macht Bäder vom Tageslicht unabhängig und erhöht dadurch die Qualität und Dauer der Nutzung.

Dennoch sollte aufgrund entsprechender architektonischer Konzepte so viel Tageslicht wie möglich in die Schwimmhallen einfallen. Die künstliche Beleuchtung kann – je nach Tageslichtangebot – entsprechend durch ein Lichtmanagementsystem automatisch angepasst werden. Damit können Energie- und Wartungskosten eingespart werden. Wesentliche Faktoren für die Höhe der Kosteneinsparung sind bei LED-Leuchten die Leistungsaufnahme, die Länge der täglichen Einschaltzeiten und die Lebensdauer der Leuchte, wie in den Kapiteln [3.1.2](#) „Der Lampenwartungsfaktor einer LED-Leuchte“ und [3.1.5](#) „Wartungsfaktoren in Beispiel-Anwendungen“ beschrieben. Bezüglich der Lebensdauer bzw. der grundsätzlichen Eignung einer Leuchte sind ggf. die erhöhte Umgebungstemperatur und chemische Einflüsse der umgebenden Atmosphäre zu berücksichtigen.

Qualität und Quantität der Beleuchtung richten sich nach den Sehaufgaben, die wesentlich von der Art der sportlichen Disziplin und von der Entfernung, aus der diese betrachtet werden, abhängen. Schwimmlehrer, Trainer, Bademeister und Kampfrichter müssen Bewegungsabläufe, Körperbewegungen und Gesichtsausdrücke von Schwimmern, Spielern sowie Ballbewegungen schnell und sicher erkennen können. Zum Beispiel kann das Erkennen von Vorgängen unter Wasser für den Bademeister durch Reflexe auf der Wasseroberfläche infolge von Spiegelung der Allgemeinbeleuchtung erschwert werden. Unterwasserscheinwerfer können dieses Problem zwar in gewissen Grenzen verhindern, besser ist jedoch, die Leuchten außerhalb des Schwimmbeckens zu platzieren – auch aus Gründen vereinfachter Wartung.

Der Sportschwimmer muss das Ziel, den Beckenrand, Bahnmarkierungen, Mitschwimmer und Bälle erkennen können. Unterwasserscheinwerfer dürfen ihn nicht blenden und sollten während Wettbewerben ausgeschaltet sein.

Der Freizeitschwimmer ist an der Sicherung des eigenen Umfeldes im oder außerhalb des Wassers sowie an ein erlebnisorientiertes Ambiente des gesamten Raumangebots der Schwimmhalle interessiert.

Für den Zuschauer von Sportveranstaltungen kommt es auf eine störungsfreie Beobachtung des Sport- und Spielverlaufes an. Erfüllt die Be-



leuchtung die Anforderungen seitens der Aufsichtspersonen, sind meist auch die Sehbedingungen für Schwimmer und Zuschauer gut.

Zusätzlich sind jedoch die gestalterischen Aspekte für die zur Mehrzwecknutzung – nämlich für Sportereignisse und für das Freizeitvergnügen – eingerichteten Erlebnisbäder ganz wichtig für den wirtschaftlichen Erfolg. Akzentbeleuchtung in Sitz- und anderen Aufenthaltsbereichen, formschöne Leuchten, beste Farbwiedergabe der Leuchtmittel, Unterwasserbeleuchtung, Anstrahlung von Skulpturen, Kunstwerken an Wänden und Tragsäulen und langsam ablaufende Lichtwechsel mit gesteuertem Helligkeitsniveau und veränderten Lichtfarben machen triste Bäder zu Erlebnislandschaften.

Die Sanierung von älteren Hallenbädern hat vor dem Hintergrund hoher Betriebskosten eine große Aktualität gewonnen. Oft entsprechen bestehende Beleuchtungsanlagen in Bädern nicht den Mindestanforderungen an die lichttechnischen Qualitätskriterien der Beleuchtung und den Sicherheitsregeln oder dem Bedürfnis nach geringen Wartungs- und Energiekosten. Beleuchtungsanlagen, die älter als 15 Jahre sind, erfüllen diese Kriterien in der Regel nicht. Es wird empfohlen, unter Hinzuziehung eines Fachplaners moderne energiesparende und wartungsarme Beleuchtungssysteme einzusetzen, die den Sicherheitsbestimmungen und den Auflagen des Baurechtes voll entsprechen. Schaltungstechnische Konzepte, die mit Hilfe von Lichtmanagementsystemen das Tageslicht nutzen, bzw. bedarfsgerechte Gruppenschaltungen ermöglichen zusätzliche Energieeinsparungen. Insbesondere wird auf die einfache Zugänglichkeit der Leuchten für Wartungszwecke hingewiesen, was in vielen Altanlagen schon hinreichenden Anlass zur Erneuerung der Beleuchtung gibt.

Das lichttechnische Bewertungsfeld besteht aus der Wasserfläche (z. B. PA 25 m x 15 m oder 50 m x 22 m nach EN 12193 [50]) und der Umgangsfläche um das Wasserbecken. Es liegt 0,2 m über der Wasserfläche. Die Umgangsfläche soll nach den Empfehlungen einschlägiger Sportverbände

(Deutsche Gesellschaft für das Badewesen e. V., Deutsche Schwimmverbände, Deutscher Sportbund) gleich groß wie die Wasserfläche sein, so dass sich ihre mittlere Breite z des Umlaufs aus der Länge L und der Breite B der Wasserfläche berechnen lässt:

$$z = \frac{\sqrt{L^2 + 6L \cdot B + B^2} - (L + B)}{4}$$

$F = (L + 2z) \cdot (B + 2z)$ ist das lichttechnische Bewertungsfeld, für welches die Anforderungen an die Beleuchtung gestellt werden. Die obige Formel ist in Abbildung 4.30 für den Fall $B = L/2$ grafisch dargestellt.

Hohe Reflexionsgrade und matte Oberflächen der Raumbegrenzungen erhöhen die indirekte Komponente der Beleuchtung sowie die vertikale Beleuchtungsstärke E_v für bessere Erkennbarkeit und verringern Reflexionen auf der Wasseroberfläche. Empfohlen werden mindestens folgende Reflexionsgrade für

- die Decke 0,6,
- die Wände 0,4 bei breitstrahlenden bzw. 0,6 bei tiefstrahlenden Leuchten,
- Beckenwände und -boden 0,6 und
- die Umgangsflächen und sonstige Laufzonen 0,4.

Ausreichende vertikale Beleuchtungsstärke und Schattigkeit verbessern die Sehbedingungen für Bademeister, Trainer und Kampfrichter. Das Verhältnis der horizontalen zur vertikalen Beleuchtungsstärke sollte mindestens für die vier Hauptrichtungen des Raumes zwischen 3 : 1 und 2 : 1 liegen (siehe auch Kapitel 2.8 „Räumliche Beleuchtung, Lichtrichtung, Modelling“).

Zum Beispiel bei der Beleuchtungsklasse II mit $\bar{E}_m = 300 \text{ lx}$ sollte die vertikale Beleuchtungsstärke auf der Referenzfläche (Bewertungsfeld) 100 lx bis 150 lx betragen.

Im Eintauchbereich von Sprunganlagen beim Kunstspringen ist wegen der bevorzugt vertikal ausgerichteten Sehaufgabe je nach Beleuchtungsklasse ein Verhältnis \bar{E}_v/\bar{E}_h von 0,8 bzw. 0,5

erforderlich. Bei der Beleuchtungsklasse I mit $\bar{E}_h = 500 \text{ lx}$ soll die vertikale Beleuchtungsstärke \bar{E}_v danach mindestens 400 lx betragen. Dazu sind besondere Beleuchtungseinrichtungen notwendig.

Durch die richtige Auswahl und Anordnung der Leuchten können Lichtreflexionen auf der Wasseroberfläche, die Beobachtungen im und unter Wasser behindern, vermieden werden. Prismenleuchten mit geringer Leuchtdichte und Überprüfung der Strahlengänge an der als (vereinfacht) eben angenommenen Wasseroberfläche für eine am Beckenrand stehende Aufsichtsperson führen meist schon zu befriedigendem Erfolg. Eine helle, matte Raumdecke, die einen höheren Indirektanteil der Beleuchtung erzeugt, sowie Unterwasserbeleuchtung sind weitere Maßnahmen zur Vermeidung der Reflexblendung.

Tragende Elemente, wie abgehängte Decken und Leuchten, sind ausreichend gegen Korrosion zu schützen.

In vielen Fällen reichen „normaler“ nichtrostender Stahl (z. B. Stahl-Schlüssel- bzw. Werkstoff-Nr. 1.4301, 1.4401, 1.4541 und 1.4571) oder ausreichend feuerverzinkte Materialien aus (siehe Kapitel 5.14 „Chemische und sonstige Einflüsse“).

Die feuchte, warme und chlorhaltige Luft kann jedoch in ungenügend belüfteten Schwimmbädern säure- und salzhaltige Filme auf Befestigungsteilen bilden, die bei Reinigungen wegen schwerer Zugänglichkeit nicht immer ausreichend abgespritzt werden und sich daher immer

höher konzentrieren. Dadurch kann eine Langzeitkorrosion entstehen. Davon sind insbesondere Aufhängemittel mit geringen Querschnitten und solche, die unter dauernden mechanischen Spannungen stehen, betroffen. In diesen Fällen sind die Langzeitwirkungen der Korrosionen aufgrund der elektrochemischen Spannungsreihe (Elektrolytbildung) zwischen weniger verträglichen, leitfähigen Baustoffen besonders zu beachten. In extremen Umgebungsbedingungen sind u. U. höherwertige, metallische Materialien oder entsprechende Aufhängungen aus Kunststoff zu verwenden. Zum Beispiel werden in der Außenbeleuchtung, wo ähnliche Langzeitkorrosionen auftreten können, Seilaufhängungen von Überspannungsleuchten aus glasfaserverstärktem Polyester-Kunststoff verwendet, um diesen Problemen zu begegnen.

4.4.16 Beleuchtung für Tischtennis (große Halle mit Zuschauern)

Tischtennis in der Meisterklasse ist ein sehr schneller Sport. Beim Wettkampf-Tischtennis ist mit einem Wartungswert nach EN 12193 [50] von 750 lx (Klasse I) zu beleuchten. Die Internationale Tischtennisvereinigung (ITTF) verlangt im Allgemeinen nur 600 lx. Der freie Bewegungsraum der Spieler um die Tischplatte muss nach den Regeln des Verbandes eine Fläche von 14 m x 8 m einnehmen. In diesem darf ein Mindestwert von 400 lx nicht unterschritten werden. Blendung und Reflexionen auf der Tischfläche sind zu vermeiden. Hohe vertikale Beleuchtungsstärken über der

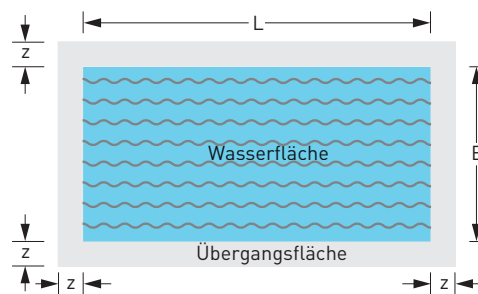
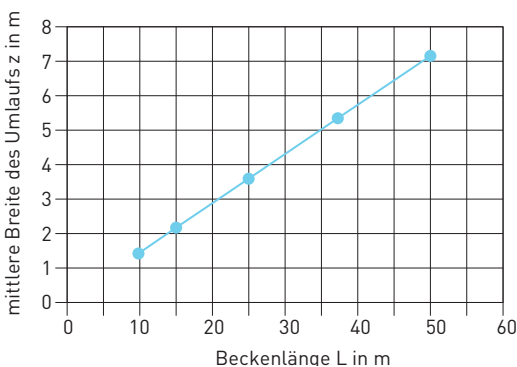


Abbildung 4.30: Umlauf im Hallenbad

links: Mittlere Breite des Umlaufs z in Abhängigkeit von der Länge des Schwimmbeckens L

rechts: Wasserfläche und Umgangsfläche im Hallenbad

Abbildung 4.31: Beispiel für die Beleuchtung eines Tischtennis-Wettkampflplatzes. Die Box (7 m x 14 m) ist mit vier zusätzlichen LEDPlanflächenstrahlern beleuchtet, um eine vertikale Beleuchtungsstärke von 600 lx für die Fernsehübertragung zu erreichen (oben). Die Tischfläche (unten, 0,76m über dem Boden) erreicht dabei 1.090 lx mit einer sehr hohen Gleichmäßigkeit von $E_{min}/\bar{E} = 0,98$, Wartungsfaktor 0,8.

Tischplatte sind anzustreben, um das räumliche Erkennen der schnellen Bälle zu erleichtern. Die Norm EN 12193 [50] fordert mindestens 30 % der horizontalen Beleuchtungsstärke.

In einer Sporthalle mit einer normgerecht auf 750 lx ausgelegten Beleuchtungsanlage sind diese Anforderungen grundsätzlich erfüllt. Um für Fernsehübertragungen die geforderte vertikale Beleuchtungsstärke $E_v \geq 600$ lx bereitzustellen, sind jedoch zusätzliche Scheinwerfer an den Ecken des Bewegungsraumes erforderlich. Diese müssen in einer Höhe von mindestens 5 m angebracht sein.

Erhöhte Anforderungen des Verbandes von mindestens 1.000 lx auf der Tischfläche und nicht unter 600 lx im Bewegungsbereich sind ausschließlich für Weltmeisterschafts- und olympische Wettkämpfe gefordert, bei denen in jedem Fall von einer Fernsehübertragung ausgegangen werden kann.

4.4.17 Beleuchtung von Boxringen (Große Halle mit Zuschauern)

Boxen bedeutet Schnelligkeit, höchste Konzentration, Aufmerksamkeit und Wucht der Bewegungen im Ring. Die horizontale Beleuchtungsstärke und ihre sehr gute Gleichmäßigkeit sind für die Sportler gedacht. Im nationalen bzw. internationalen Wettbewerb wird ein Wartungswert von 2.000 lx als Mindestwert vorgeschrieben. Die vertikale Beleuchtungsstärke – mindestens 50 % der horizontalen Werte – sind für den Schiedsrichter, die Betreuer und die Zuschauer vorgesehen. Das Fernsehen braucht bis zu 1.400 lx. Eine gute Farbwiedergabe ist neben dem Erlebnis des sportlichen Ereignisses auch für die Film- und Fernsehaufzeichnung wichtig (siehe Kapitel 4.4.10 „Beleuchtung für Fernseh- und Filmaufnahmen“).

Abbildung 4.32: Beispiel für die Beleuchtung eines Boxrings für hohes Wettbewerbsniveau mit 32 speziell ausgerichteten Scheinwerfern LED 230 W, 24.000 lm, $\bar{E} = 2.100$ lx

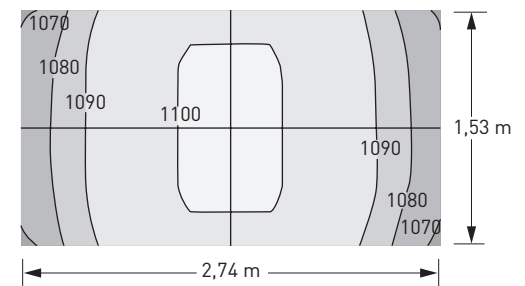
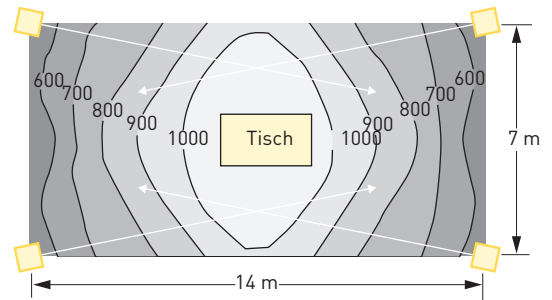


Abbildung 4.31

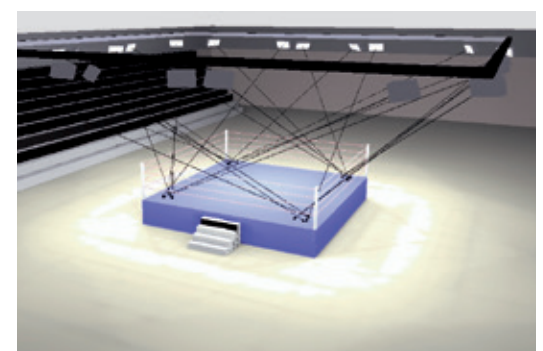
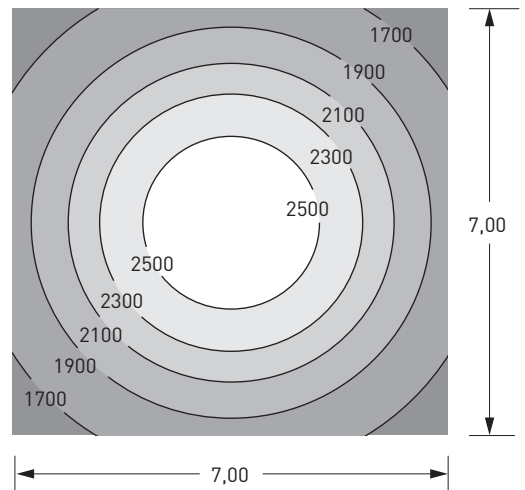


Abbildung 4.32

4.4.18 Beleuchtung einer Eissporthalle (große Halle mit Zuschauern)

Eissport ist eine sehr vielseitige Sportart. Von Eishockey über Eisschnelllauf, Eiskunstlauf bis hin zur Freizeitnutzung der Eisfläche sind sehr unterschiedliche Beleuchtungsanforderungen zu erfüllen. Die Beleuchtung wird daher nach den Sehanforderungen der anspruchsvollsten Eissportart ausulegen sein. In Hallen, die lange Nutzungszeiten im Rahmen des Freizeitsports aufweisen, sind LED-Strahler heute am besten geeignet, um eine wirtschaftliche Nutzung zu gewährleisten. Dies gilt auch für Training und Wettkampf in kleineren Hallen mit moderatem Beleuchtungsniveau.

Eishockey ist eine Sportart mit schnellen Bewegungen, ständig wechselnden Blickrichtungen und höchster Konzentration der Spieler. Die Zuschauer brauchen ebenfalls sehr gute Beleuchtungsbedingungen, um dem schnell geschlagenen, kleinen schwarzen Puck folgen zu können, zumal der sich oft im „Nebel“ des aufgeriebenen Eises „versteckt“. Eisschnelllauf und Eiskunstlauf erfordern etwa gleiche Beleuchtungsbedingungen.

In einigen Regionen ist Curling (Eisstockschießen) mehr als nur ein Volkssport. Torzonen müssen besser beleuchtet werden, so etwa beim Curling mit 300 lx (House) gegenüber

200 lx für die Spielfläche (Rink). Erreicht wird dies durch enge Leuchtenanordnung oder Einsatz lichtstromstärkerer Leuchten.

Die Wahl der Leuchtenanordnung und insbesondere die Beurteilung der Reflexblendung auf dem spiegelglatten Eis stellen ein zu beachtendes Problem dar. Licht und Schatten, z. B. durch die am Spielrand befindlichen, schutz bietenden Banden, ändern sich bald nach Spielbeginn, weil sich der Hochglanz durch Abrieb der Eisoberfläche deutlich verringert. Trotzdem sollte auf den Banden eine vertikale Beleuchtungsstärke in Höhe von etwa 30 % der horizontalen Beleuchtungsstärke der Eisoberfläche vorhanden sein. Oberhalb der Banden befinden sich als Schutz der Zuschauer gegen fliegende Pucks durchsichtige Kunststoffwände, deren Durchsicht nur möglich ist, wenn die Beleuchtung darauf keine Reflexe erzeugt.

4.4.19 Beleuchtung eines Snooker-Courts (große Halle mit Zuschauern)

Snooker oder – mit gewissen Unterschieden in der Spielfeldgröße und der Spielregeln – auch ähnliche Spiele sind ein seit vielen hundert Jahren beehrter Freizeitsport.

Die World Snooker Association ist eine weltumspannende Vereinigung mit vielen nationalen

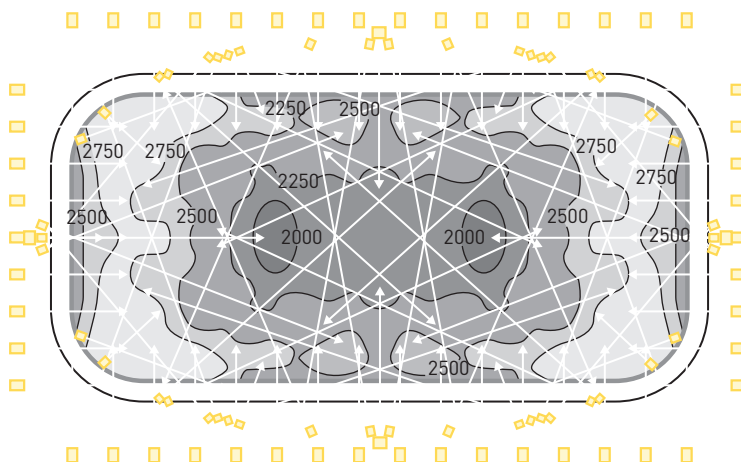
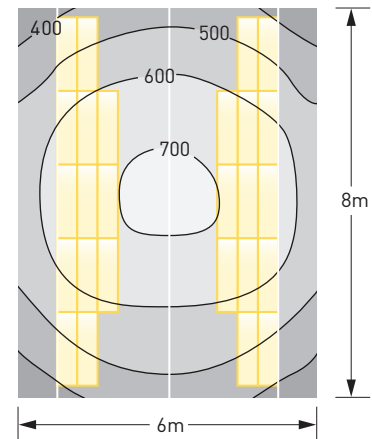


Abbildung 4.33:
Beispiel für die Beleuchtung einer Eissporthalle mit speziell ausgerichteten Scheinwerfern für TV-Übertragung. $E_{\text{H}} = 2.500 \text{ lx}$ auf der Eisfläche

Abbildung 4.34: Beispiel für die Beleuchtung eines Snooker-Spielbereiches für hohes Wettbewerbsniveau mit 750 lx auf der Referenzfläche, realisiert mit 26 opalen Wannenleuchten, LED, 4.500 lm



Unterorganisationen. Snooker ist ein Brettspiel, ähnlich wie Poolbillard. Jedoch ist der Tisch größer und die Taschen und die Kugeln sind kleiner. Snooker ist im Gegensatz zu Poolbillard ein sehr schwer zu erlernendes Spiel und verlangt eine ganz andere Spieltaktik. Snooker, entstanden in Indien, wird vorwiegend auf den britischen Inseln gespielt. Jedoch ist auch in den kontinentaleuropäischen Staaten ein großer Snookerboom zu bemerken.

Snooker- wie auch Billardspieler brauchen hohe Beleuchtungsstärken, absolute Blendfreiheit und eher ein dunkles Zuschauerumfeld. Meist ist eine fernsehgerechte Beleuchtung erforderlich – auch für Trainingszwecke.

4.4.20 Planung der Beleuchtung

Die lichttechnischen Anforderungen gemäß EN 12193 [50] an die Beleuchtung der meisten in Europa vorkommenden Sportarten sind in den Tabellen 4.36 bis 4.46 zusammengefasst. Zum schnellen Auffinden der jeweiligen Sportart enthält die zusätzliche Tabelle 4.35 dazu eine alphabetische Übersicht.

Die Tabellen für die Anforderungen an die Beleuchtung der Sportarten enthalten

- für die betreffende Sportart die Abmessungen der Referenzflächen PA bzw. TA,
- die Gruppe für die vertikale Beleuchtungsstärke für Fernseh- und Filmaufnahmen (TV), siehe Bild 4.25,
- die Wartungswerte der mittleren, horizontalen $\bar{E}_{h,m}$ bzw. vertikalen $\bar{E}_{v,m}$ Beleuchtungsstärke für die Beleuchtungsklassen I, II und III,
- die Gleichmäßigkeit als Quotient der minimalen zur mittleren Beleuchtungsstärke $U_o = E_{\min}/\bar{E}$,
- den Farbwiedergabe-Index R_s der Leuchten und
- weitere Zahlenwerte sowie Anmerkungen und Planungshinweise.

Beleuchtungsanlagen sollten auf die Beleuchtungsstärken für geringere Wettbewerbsbedingungen, insbesondere für den Trainingsbetrieb, eingestellt werden können. Dies gilt insbesondere für Sporthallen, die auch für die Nutzung im Rahmen regionaler und überregionaler Wettkämpfe ausgelegt sind und deren hohen Anforderungen entsprechen müssen. Während dazu in der Vergangenheit einzelne Lampen oder Leuchten abgeschaltet werden mussten, können moderne LED-Leuchten auch auf das gewünschte Beleuchtungsniveau gedimmt werden und so Beleuchtungsstärkegleichmäßigkeiten unverändert beibehalten.

In Verbindung mit Lichtmanagementsystemen mit Sensoren zur tageslichtabhängigen Steuerung und einem Abschalten bei Abwesenheit kann

Sportart	Tabelle	Sportart	Tabelle	Sportart	Tabelle
Aerobic/Tanzen	4.41	Fechten	4.38	Radsport, Go Kart	4.36
Badminton	4.38	Floorball	4.36	Reiten	4.41
Basketball	4.36	Fußball	4.36	Ringen	4.36
Billard	4.45	Gewichtheben	4.36	Rollschuhlauf/Inlineskating	4.41
Boccia	4.43	Handball	4.36	Schießen	4.40
Bogenschießen	4.40	Hockey	4.38	Schulsport	4.36
Boule	4.43	Judo	4.36	Schwimmen	4.42
Bowling	4.40	Kampfsport	4.36	Snooker	4.45
Bowls	4.44	Karate/Kendo	4.36	Squash	4.38
Boxen	4.39	Kegeln	4.40	Tanzen	4.41
Curling	4.46	Klettern	4.41	Sportgymnastik (rhythmische)	4.41
Darts	4.37	Kricket	4.38	Tennis	4.47
Eishockey/	4.38	Leichtathletik	4.41	Tischtennis	4.38
Eiskunstlauf		Netball	4.36	Turnen	4.41
Eisschnelllauf	4.41	Pétanque	4.43	Volleyball	4.36
Faustball	4.36	Racketball	4.38		

Tabelle 4.35:
Alphabetische Auflistung der in den folgenden Tabellen aufgeführten Sportarten und der dazugehörigen Anforderungen an die Beleuchtung

neben erheblich erhöhten Energieeinsparungen auch die LED-Lebensdauer verlängert werden.

Leuchten müssen ballwurfsicher nach DIN 18032-3 [4] und in Hallensportgeräteräumen stoßfest sein (siehe Kapitel 5.13.2, „Ballwurfsicherheit“).

4.4.21 Beleuchtung von Schießständen

Für die Beleuchtung von Schießständen ist neben der europäischen Norm EN 12193 [50] auch die Richtlinie für die Errichtung, die Abnahme und das Betreiben von Schießständen [BAnz] des Bundesministeriums des Innern zu berücksichtigen. Neben Mindestanforderungen verweist sie auch auf Anforderungen der ISSF (International Shooting Sport Federation) und des DSB (Deutscher Schützenbund).

- Die Schießstandrichtlinie stellt die Mindestanforderung für den Trainingsbetrieb in Vereinsanlagen von einer Beleuchtungsstärke von 150 lx, indirekt, auf der Schießbahn und 800 lx auf der Scheibe.
- Der DSB fordert für einen Abstand der Scheibe von 10 m eine Beleuchtungsstärke von 300 lx auf der Schießbahn und 1.000 lx auf der Scheibe.

- Die EN 12193 fordert für einen Abstand der Scheibe von 25 m eine Beleuchtungsstärke von 200 lx auf der Schießbahn und 1.000 lx auf der Scheibe (siehe Tabelle 4.40).
- Der ISSF fordert für internationale Wettkämpfe 300 lx im Schützenstand und 1.500 lx auf der Scheibe. Für die Distanz zur Scheibe von 25 m werden 2.500 lx und für die Distanz von 50 m werden 3.000 lx empfohlen.

Zur indirekten Beleuchtung sind die quer verlaufenden Lichtbänder blendfrei anzuordnen; sie können einzeln oder gruppenweise schaltbar sein. Es sollte die Lichtfarbe „neutralweiß“ gewählt werden.

4.4.22 Lichttechnische Anforderungen an die Beleuchtung gemäß internationaler Sportverbände

Für viele Sportarten haben die entsprechenden internationalen Sportverbände und Fernsehanstalten ebenfalls Anforderungen an die Beleuchtung von Sportstätten erarbeitet. Die Tabelle 4.48 enthält internationale Verbände, die ggf. hinsichtlich spezieller Anforderungen an die Beleuchtung von Sportstätten zu konsultieren sind.

Zum Beispiel schreibt die internationale Tischtennisvereinigung ITTF im Spielraum (Box) mit

den Abmessungen 4 m x 7 m für Weltmeister- und Olympiawettbewerbe auf der Spielfläche 1.000 lx und im übrigen Spielraum mindestens 500 lx vor. Für andere Wettbewerbe sind 600 lx und im Spielraum 400 lx zu realisieren (siehe Kapitel 4.4.16 „Beleuchtung für Tischtennis [Große Halle mit Zuschauern]“).

Die internationale Vereinigung F.I.B.A. verlangt für alle Basketball-Wettkämpfe der Niveaus 1 und 2 eine mittlere horizontale Beleuchtungsstärke von 1.500 lx in einer Höhe von 1,5 m über

dem Spielfeld. Die International Ice Hockey Federation I.I.H.F. fordert lediglich, dass das Spielfeld genügend beleuchtet sein muss, damit die Spieler, die Spiel-Offiziellen und die Zuschauer dem Spielgeschehen jederzeit bequem folgen können.

Die Federation Internationale de Volleyball F.I.V.B verlangt für Wettbewerbe eine horizontale Beleuchtungsstärke von 1.500 lx in einer Höhe von 1.0 m über dem Boden und für „Aufwärmplätze“ 500 lx.

Sportart	Referenzflächen		
	Länge PA/TA (m)	Breite PA/TA (m)	
Basketball	28/32	15/19	
Faustball	50/66	20/32	
Floorball	40/43	20/22	
Fußball (Kleinfeld-Hallenfußball)	30-40/44	18,5-20/24	
Gewichtheben	4/6	4/6	
Go Kart	-	-	
Handball	40/44	20/24	
Judo	10/17	10/17	
Kampfsport	Kendo	11/-	11/-
	Karate	8/11	8/11
Netball (Korfball, Korbball) (Anm.1)	30,5/37,5	15,3/22,5	
Radsport (Bahnrennen)	250 m	62,5/-	7/-
	[Anm. 2, 3] 333,3 m	83,33/-	7/-
Ringen	9/12	9/12	
Schulsport (Anm. 4)	-	-	
Tauziehen	-	-	
Volleyball (Anm. 5, 6)	24/-	15/-	
Beleuchtungsanforderungen			
Beleuchtungsklasse	\bar{E}_h	U_o	R_o
I	750	0,70	80
II	500	0,70	60
III	200	0,50	60

Anm. 1: Es sollten keine Leuchten in jenem Teil der Decke angebracht werden, der sich oberhalb eines Kreises mit einem Durchmesser von 4 m um den Korb herum befindet.

Anm. 2: Beleuchtungsstärke auf der Bahnoberfläche.

Anm. 3: Die vertikale Beleuchtungsstärke an der Ziellinie sollte für Fotoausrüstungen am Ziel und für Kampfrichter 1 000 lx betragen.

Anm. 4: Für den Schulsport sind ggf. die höheren Mindestanforderungen der EN 12464-1 an Ausbildungsstätten zu beachten (siehe Tabelle 4.78). Abmessungen hängen von der jeweiligen Sportart ab.

Anm. 5: Für Klasse I könnte bei einem internationalen Wettkampf auf Spitzenniveau eine Fläche von 34 m x 19 m als Hauptfläche (PA) gerechtfertigt sein. Die entsprechende Anzahl von Rasterpunkten beträgt dann 15 m x 9 m.

Anm. 6: Für Klasse I sollten keine Leuchten in dem Teil der Decke positioniert werden, der sich direkt oberhalb der beiden Angriffs- oder Seitenlinien befindet (Aufstellungsbereich: 3 m links und rechts vom Netz). Dies gilt nur für den Centre Court.

Nach den offiziellen Basketballregeln der FIBA (International Basketball Federation) aus dem Jahr 2.000 sind für die Wettbewerbsniveaus I und II über die Spielfläche mindestens 1.500 lx in 1,5 m Höhe über dem Boden erforderlich.

Die Fédération Internationale de Volleyball (FIVB) verlangt für die Beleuchtung des Spielfeldes unter Wettbewerbsbedingungen 1.500 lx in 1 m Höhe über dem Boden, bei Trainingsbedingungen 500 lx. Die gleichen Anforderungen werden auch vom Schweizerischen Volleyballverband gestellt.

Zusatzbeleuchtung für Fernsehaufnahmen erforderlich.

Tabelle 4.36

Sportart		Referenzflächen				
		Länge PA/TA (m)	Breite PA/TA (m)			
Darts	Ziel	–	–			
	Abwurflinie	3,70	2,00			
Beleuchtungsanforderungen						
Beleuchtungsklasse		\bar{E}_h auf der Wurflinie lx	U_o	\bar{E}_v Ziel lx	U_o	R_a
I		200	–	750	–	n.a.
II		100	–	500	–	n.a.
III		50	–	300	–	n.a.

Tabelle 4.37

Sportart		Referenzflächen				
		Länge PA/TA (m)	Breite PA/TA (m)			
Badminton (Anm. 1)		13,4/18	6,1/10,5			
Eishockey, Eiskunstlauf (Anm. 2)		60/–	30/–			
Fechten		14/18	2/5			
Hockey		40/44	20/24			
Kricket		32/–	20/–			
Kricket Netz		33/–	4/–			
Racketball (Anm. 3)		18,3/–	9,1/–			
Squash (Anm. 3)		9,7/–	6,4/–			
Tischtennis		9/–	4,5/–			
Beleuchtungsanforderungen						
Beleuchtungsklasse		\bar{E}_h lx	U_o	\bar{E}_v lx	U_o	R_a
I		750	0,7			80
II		500	0,7			60
III		300	0,7			60
Fechten	I			500	0,7	80
	II			300	0,7	60
	III			200	0,7	60
Kricket Netz	I	1.500	0,8			80
	II	1.000	0,8			60
	III	750	0,8			60

Anm. 1: In den Deckenteilen über der PA sollten keine Leuchten installiert sein.

Anm. 2: Für Lichtpunkthöhen unter 8 m: $E_{min}/E_{max} \geq 0,5$. Für Klasse III kann die Gleichmäßigkeit auf 0,5 gesenkt werden.

Anm. 3: Leuchtenabstand von der Wand mehr als 1 m.

Der Deutsche Tischtennisbund (DTTB) verlangt für Bundesligaspiele

- mindestens zwei Tischtennisplatten,
- jeder Tisch hat einen, durch eine 0,75 m hohe Umrandung abgegrenzten Spielraum (Box) von mind. 7 m x 14 m,
- mindestens 600 lx, besser 1.000 lx im gesamten Spielraum,
- Leuchten mindestens 4 m über dem Boden anordnen, blendendes Gegenlicht ist zu vermeiden,
- Zusatzbeleuchtung für Fernsehaufnahmen erforderlich.

Die ITTF (International Table Tennis Federation) verlangt

- bei Weltmeisterschaften und Olympiaspielen: 1.000 lx auf der Spielfläche, 500 lx im übrigen Spielraum,
- bei anderen Veranstaltungen mindestens 600 lx auf der Spielfläche bzw. 400 lx im übrigen Spielraum,
- alle Spieltische müssen gleich beleuchtet sein,
- Leuchten mindestens 5 m über dem Boden anordnen,
- Hintergrund muss dunkel sein, Fenster sind abzdunkeln,
- Zusatzbeleuchtung für Fernsehaufnahmen.

Tabelle 4.38

Sportart	Referenzflächen					
	Länge PA (m)	Breite PA (m)				
Boxen	7,1-11,1	7,1-11,1				
Beleuchtungsanforderungen						
Beleuchtungsklasse	\bar{E}_h	U_o	\bar{E}_h	U_o	\bar{E}_v	R_a
	lx		lx		lx	
	Ring		Trainingsbereich		Ring	
I	2.000	0,80	300	-	Anm.	80
II	1.000	0,80	300	-	-	80
III	500	0,50	300	-	-	60

Anm.: \bar{E}_v sollte auf einer Höhe von 1,5 m mindestens 50 % von \bar{E}_h betragen.

Tabelle 4.39

Sportart	Referenzflächen								
	Länge PA (m)	Breite PA (m)							
Bogenschießen	Schießstand Ziel	18-30 -							
Bowling	Anlauf und Laufflächen Bowling-Pins	18,3 -							
Schießen	Schießstand Ziel	25 -							
Beleuchtungsanforderungen									
Beleuchtungsklasse	\bar{E}_h	U_o	\bar{E}_v	U_o	\bar{E}_v	U_o	\bar{E}_v	U_o	R_a
	lx		lx		lx		lx		
	Schuss- u. Kegelbahnen		Kegel		Ziel 25 m		Ziel 50 m		
I	200	0,50	500	0,80	1.000	0,80	2.000	0,80	80
II	200	0,50	500	0,80	1.000	0,80	2.000	0,80	60
III	200	0,50	500	0,80	1.000	0,80	2.000	0,80	60

Tabelle 4.40

Sportart	Referenzflächen				
	Länge PA (m)	Breite PA (m)			
Aerobic	-	-			
Eisschnellauf	400 m Kurzstrecke	50 100			
Inlineskating	-	-			
Klettern (an der Kletterwand)	-	-			
Leichtathletik, alle Disziplinen	200-m-Bahn	50			
Anm. 1	Feld	85-93			
Reiten	Springen Dressur	60 70			
Rhythmische Sportgymnastik		14			
Rollschuhlauf		40			
Tanzen		-			
Turnen (Boden-/Geräteturnen)		32-50			
Beleuchtungsanforderungen					
Beleuchtungsklasse	U_o	\bar{E}_v	U_o	\bar{E}_v	R_a
	lx		lx		
I	500	0,70	500	0,70	80
II	300	0,60	300	0,60	60
III	200	0,50	200	0,50	60

Anm. 1: Blendungsbegrenzung kann nicht festgelegt werden. Die Blendung kann jedoch begrenzt werden durch eine sorgfältige Anordnung der Leuchten, z. B. nicht direkt über der Stabhochsprunganlage. Die vertikalen Beleuchtungsstärken beim Ziel sollten 1.000 lx für die Zielfotografie und die jeweiligen Kampfrichter betragen.

Tabelle 4.41

Sportart	Referenzflächen			
	Länge PA (m)	Breite PA (m)		
Schwimmen (Anm. 1)	Turmspringen	15	10,5	
	Wettschwimmen (Anm. 2)	25-50	15-22	
	Wasserball	20-30	15-20	
	Synchronschwimmen	25	15	
Beleuchtungsanforderungen				
Beleuchtungsklasse	\bar{E}_h lx	U_o	\bar{E}_v / \bar{E}_h nur bei Kunstspringen	R_a
I	500	0,70	0,80	80
II	300	0,70	0,50	60
III	200	0,50	0,50	60

Anm. 1: Die Anforderungen sind nur grundsätzlicher Art. Weitere Anforderungen können für einzelne Schwimmbecken notwendig sein.
 Anm. 2: Unterwasserbeleuchtung sollte nicht angewendet werden.
 Anm. 3: Das vertikale Raster beginnt 2 m oberhalb und vor dem Sprungbrett zum Wasserspiegel und ist 3 m breit. Das Raster ist entlang der Brettseite zu positionieren (siehe Kapitel 4.4.7 „Bewertungsflächen“).

Tabelle 4.42

Sportart	Referenzflächen		
	Länge PA (m)	Breite PA (m)	
Boccia	12,5	6	
Boule und Pétanque	17,5-28	2,5-4	
Beleuchtungsanforderungen			
Beleuchtungsklasse	\bar{E}_h lx	U_o	R_a
I	300	0,70	60
II	200	0,70	60
III	200	0,50	20

Tabelle 4.43

Sportart	Referenzflächen		
	Länge PA (m)	Breite PA (m)	
Bowls (Kurzbahn) (Anm. 1)	13,7-40	1,8-4,5	
Beleuchtungsanforderungen			
Beleuchtungsklasse	\bar{E}_h lx	U_o	R_a
I	500	0,80	80
II (Anm. 2)	500	0,80	60
III (Anm. 2)	300	0,50	60

Anm. 1: Durch die installierten Leuchten und die Spiegelreflexion kann ein störender Streifeneffekt auf der Bahn entstehen. Der Beleuchtungsstärkegradient sollte deshalb kleiner als 5 % je Meter sein.
 Anm. 2: In speziell für Bowls gebauten Hallen gelten die Werte der Klasse I auch für die Klassen II und III.

Tabelle 4.44

Sportart	Referenzflächen		
	Länge PA (m)	Breite PA (m)	
Billard	3/7	1,6/5	
Snooker	3,6/8	1,8/6	
Beleuchtungsanforderungen			
Beleuchtungsklasse	\bar{E}_h lx	U_o	R_a
I	750	0,8	80
II	500	0,8	80
III	500	0,8	80

Anm.: Das Verhältnis \bar{E}_h (TA) / \bar{E}_h (PA) kann mindestens 0,5 betragen.

Tabelle 4.45

Sportart		Referenzflächen			
		Länge PA/TA (m)	Breite PA/TA (m)		
Curling (Eisstockschießen)	House (Ziel)	5	4,3		
	Rink (Spielfläche)	38,5-46,5	4,3-4,75		
Beleuchtungsanforderungen					
Beleuchtungsklasse	\bar{E}_h	U_o	\bar{E}_v	U_o	R_a
	House lx		Rink lx		
I	300	0,70	200	0,70	80
II	300	0,70	200	0,70	60
III	300	0,70	200	0,70	60
Anm.: Es sollten keine Leuchten direkt über dem Spielfeld (PA) und bis 3 m hinter der Grundlinie angeordnet werden.					

Tabelle 4.47

Sportart		Referenzflächen	
		Länge PA (m)	Breite PA (m)
Tennis		30/36	15/18
Beleuchtungsanforderungen			
Beleuchtungsklasse	\bar{E}_h	U_o	R_a
	lx		
I	750	0,70	80
II	500	0,70	60
III	300	0,50	60
Anm. 1: Es sollten keine Leuchten direkt über dem Spielfeld (PA) und bis 3 m hinter der Grundlinie angeordnet werden.			

Tabelle 4.47

Internationaler Sportverband	Adresse
International Boxing Association	https://www.iba.sport/ (Schweiz, Lausanne)
Badminton World Federation	http://www.bwfbadminton.org/ (Malaysia, Kuala Lumpur)
Fédération Equestre Internationale (Reitsport)	http://www.fei.org/ (Schweiz, Lausanne)
International Federation of Basketball	https://www.fiba.basketball/ (Schweiz, Mies VD)
Fédération Internationale d'Escrime (Fechten)	http://fie.org (Schweiz, Lausanne)
Fédération Internationale de Football Association	http://www.fifa.com/ (Schweiz, Zürich)
Fédération Internationale de Gymnastique	http://www.fig-gymnastics.com/site/ (Schweiz, Lausanne)
International Hockey Federation	http://www.fih.ch/ (Schweiz, Lausanne)
World Lacrosse	https://worldlacrosse.sport/ (Kanada, Toronto)
Fédération Internationale Motocyclisme	http://www.fim-live.com/ (Schweiz, Mies)
Fédération Internationale des Quilleurs (Bowling)	https://bowling.sport/ (Schweiz, Lausanne)
World Skate	www.worldskate.org (Schweiz, Lausanne)
Fédération Internationale de Volleyball	http://www.fivb.com/ (Schweiz, Lausanne)
General Association of International Sport Federations European Broadcasting Union	http://www.sportaccord.com/ (Schweiz, Lausanne)
World Athletics	https://www.worldathletics.org/ (Monaco)
International Aikido Federation	http://www.aikido-international.org/ (Japan, Tokyo)
International Cricket Council	http://www.icc-cricket.com/ (U A E, Dubai)
International Federation of American Football	http://ifaf.org/ (Frankreich, La Courneuve)
International Federation of Bodybuilding & Fitness	http://www.ifbb.com/ (Spanien, Madrid)
World Netball	https://netball.sport/ (England, Manchester)
International Handball Federation	http://www.ihf.info/ (Schweiz, Basel)
International Ice Hockey Federation	http://www.iihf.com/ (Schweiz, Zürich)
International Judo Federation	https://www.ijf.org/ (Schweiz, Lausanne)
International Korfball Federation	korfbal.sport/ (Niederlande, Zeist)
Fédération Internationale de Tir Sportif (Sportschießen)	http://www.issf-sports.org/ (Deutschland, München)
International Skating Union	http://www.isu.org (Schweiz, Lausanne)
International Tennis Federation	http://www.itftennis.com (England, London)
International Table Tennis Federation	http://www.ittf.com/ (Schweiz, Lausanne)
International Weightlifting Federation (Gewichtheben)	https://iwf.sport/ (Ungarn, Budapest)
Union Cycliste Internationale	https://www.uci.org/ (Schweiz, Aigle)
Union Européen de Football Association	http://de.uefa.com/ (Schweiz, Nyon)
United World Wrestling	https://unitedworldwrestling.org/ (Schweiz, Corsier-sur-Vevey)
World Archery Federation (Bogenschießen)	https://worldarchery.sport/ (Schweiz, Lausanne)
World Baseball Softball Confederation	http://www.wbcs.org/ (Schweiz, Lausanne)
World Confederation of Billard Sports	https://www.wcbs.sport/ (Belgien, Sint-Martens-Latem)
World Curling Federation	http://www.worldcurling.org/ (Schottland, Perth)
World DanceSport Federation	http://www.worlddancesport.org/ (Schweiz, Lausanne)
World Karate Federation	http://www.wkf.net/ (Spanien, Madrid)
World Rugby	https://www.world.rugby/ (Irland, Dublin)
World Taekwondo Federation	http://www.worldtaekwondo.org (Südkorea, Seoul)

Tabelle 4.48:
Internationale
Sportverbände

4.5 Beleuchtung von Räumen des Gesundheitswesens

Ein Krankenhaus ist – beleuchtungstechnisch betrachtet – eine ganze Stadt im Kleinen mit ähnlich vielfältigen Beleuchtungsaufgaben. Es verfügt über sehr unterschiedliche Raumarten, Sehaufgaben und Tätigkeiten in den Bereichen

- Untersuchung und Behandlung,
- Pflege,
- Verwaltung,
- soziale Dienste,
- Ver- und Entsorgung,
- Forschung und Lehre,
- Sonstiges, wie Aufenthaltsbereiche, Rückzugsmöglichkeiten, welche für Patienten aber auch für das Personal und die Besucher für einen angenehmen Aufenthalt gestaltet sind.

Viele Beleuchtungsaufgaben sind typisch für ein Krankenhaus. Mit ihnen beschäftigt sich dieses Kapitel. Weitere Sehaufgaben entsprechen denen anderer Arbeitsstätten, wie z.B. in Büros, die unter den betreffenden Kapiteln behandelt sind.

Wie in allen Anwendungen ist auch im Krankenhaus die Wirtschaftlichkeit ein wichtiger Aspekt

der Beleuchtung. Beleuchtungsanlagen sollten daher hinsichtlich ihrer Gebrauchstüchtigkeit (Wartungsaufwand und Energieverbrauch) kritisch beurteilt werden. Die Sanierung der Beleuchtung mit Umstellung auf LED-Lichtquellen birgt dabei häufig hohe Einsparpotentiale.

Gleichzeitig kann die Beleuchtungsqualität signifikant verbessert werden. Aspekte des Human Centric Lighting (siehe Kapitel [3.3.1](#) „Human Centric Lighting [HCL]“) können in der Umsetzung mit geringem Mehraufwand berücksichtigt werden. Dies hat nachweislich eine positive Wirkung auf Gesundheit und Wohlbefinden. Aber auch das gestalterisch wirkende Licht ist gefragt und schafft eine attraktive Atmosphäre.

4.5.1 Regelwerke der Beleuchtung

In Europa (CEN-Staaten siehe Kapitel [2](#) „Lichttechnische Kriterien der Beleuchtung“) gilt die Norm EN 12464-1 [\[51\]](#). Sie enthält die wichtigsten plan- und berechenbaren Anforderungen an die Beleuchtung von Räumen des Gesundheitswesens, wie die Beleuchtungsstärke und deren Gleichmäßigkeit, den UGR-Wert der Blendung



und den geforderten Farbwiedergabe-Index der Lampen bzw. LED-Leuchten.

In Deutschland gilt zusätzlich die Norm DIN 5035-3 „Beleuchtung mit künstlichem Licht – Teil 3: Beleuchtung im Gesundheitswesen“ [10]. Sie gibt ergänzend zu EN 12464-1 [51] wichtige Hinweise für eine patientengerechte und eine den Bedürfnissen des pflegenden und behandelnden Personals entsprechende Beleuchtung. Soweit erforderlich, wird in diesem Kapitel auch auf diese Norm hingewiesen.

In Großbritannien ist zusätzlich zu EN 12464-1 [51] der Lighting Guide 2 (LG2) „Hospitals and health care buildings“ [123] der englischen Society of Light and Lighting (SLL) anzuwenden. LG2 basiert zwar auf BS EN 12464-1 aus dem Jahr 2002, enthält jedoch eine Fülle von zusätzlichen Raumarten und lichttechnischen Anforderungen an deren Beleuchtung sowie weiter gehende Informationen für den Planer und Gestalter der Beleuchtung von Räumen des Gesundheitswesens. Zum Beispiel werden darin auch Empfehlungen über die Notbeleuchtung, zur Außenbeleuchtung, über Lampen und Leuchten und aufgrund der in Großbritannien geltenden Building Regulation 2010 (Approved Document L2B [113]) zum Energiebedarf gegeben, der durch ein Lichtmanagementsystem gesteuert werden kann. Ferner enthält LG2 [123] auch konkrete Hinweise zu den Zeitabständen für Test und Wartung von Leuchteninstallationen und Notbeleuchtungsanlagen.

Für die Umsetzung des Human Centric Lighting auf Grundlage der Kenntnis der biologischen Wirkung des Lichtes auf den Menschen werden im Anhang der Norm EN 12464-1 ergänzende Empfehlungen formuliert. Weitere aktuelle Regelwerke, insbesondere die DIN/TS 67600 [48], vertiefen und konkretisieren diese Empfehlungen.

Die Ausführungen dieses Kapitels beziehen sich auf die genannten Normen, geben darüber hinaus aber auch weitere Hinweise.

4.5.2 Grundsätze der Beleuchtung, Gesundheitswesen

Die künstliche Beleuchtung von Räumen des Gesundheitswesens muss den besonderen Aufgaben und der Atmosphäre dieser Räume Rechnung tragen. Sowohl die künstliche Beleuchtung als auch die Raumgestaltung sowie ausreichendes Tageslicht dienen hier nicht nur dem mühelosen und fehlerfreien Bewältigen der arbeitsbedingten Sehaufgaben, sondern auch den vielfältigen Bedürfnissen der Patienten und der Besucher nach Annehmlichkeit und Wohlbefinden und zur Unterstützung der Therapie.

Andererseits wird dem therapeutischen Zweck des Lichtes selbst eine immer größer werdende Bedeutung zuteil. Bereiche für die „Licht-Behandlung dermatologischer Erkrankungen, saisonale Depressionen (SAD) oder auch zur Therapie stressbedingter Belastungsfolgen wie Burnout, Depression oder Angstzuständen lassen sich in enger Abstimmung mit den Medizinern gezielt für deren Therapien gestalten.

Die Gestaltung und Beleuchtung der Räume, die ausschließlich dem Aufenthalt des Patienten, nicht aber seiner Untersuchung oder Behandlung dienen (Tagesräume, Warteräume usw.), muss in erster Linie dem Empfinden des Patienten in physiologischer und psychologischer Hinsicht entsprechen. Deshalb spielen hier, neben einer geeigneten Beleuchtung, auch die Farbgebung der Räume und die Farbwiedergabe der Lichtquelle eine wesentliche Rolle. Erfahrung, Sorgfalt und Geschick sind bei der Planung einer optimalen Beleuchtung in hohem Maße erforderlich, wenn die Sehaufgaben des behandelnden Personals und die Bedürfnisse des empfindlichen kranken Menschen aufeinander abgestimmt werden wollen. Die Bedürfnisse von Ärzten und Personal nach guten Sehbedingungen dominieren z. B. im Operationstrakt. Aber auch in solchen Bereichen sollte, soweit möglich, das Empfinden des Patienten berücksichtigt werden. In Bettenräumen da-

gegenüberwiegen die Bedürfnisse des Patienten, sofern nicht die Dringlichkeiten der Behandlung oder Pflege zeitweilig dazu zwingen, die Anforderungen an die Beleuchtung für das behandelnde Personal in den Vordergrund zu stellen.

Die optimale Erfüllung solcher personenbezogener Ansprüche ist durch die Installation mehrerer Beleuchtungskomponenten mit einem geeigneten Lichtmanagementsystem möglich und sollte im Hinblick auf patientengerechte und wirtschaftliche Betriebsabläufe angestrebt werden.

Wegen der besonderen hygienischen Erfordernisse ist in allen Bereichen eine auch für Reinigungszwecke ausreichende Beleuchtung erforderlich.

Die Lichtfarbe der verwendeten Leuchtmittel bestimmt u. a. das Farbklima des Raumes und beeinflusst die Stimmung und das Wohlbefinden (siehe auch Kapitel 3.3.1 „Human Centric Lighting (HCL)“). Wechselnde, an den Tagesverlauf angepasste Lichtfarben werden als harmonisch mit der Außenwelt empfunden und unterstützen den circadianen Rhythmus der inneren Uhr (Circadianes System). Sollte eine solche circadiane Beleuchtung nicht verfügbar sein, so ist in bevorzugt auf Behaglichkeit ausgerichteten Bereichen warmweiß (Farbtemperatur < 3.300 K) zu bevorzugen und bei eher arbeitsorientierter Raumnutzung neutralweiß mit einer Farbtemperatur zwischen 3.300 K und 5.300 K. In Räumen mit höheren Anforderungen an die Farberkennung, wie z. B. in dermatologischen oder zahnärztlichen Untersuchungs- und Behandlungsräumen, kann auch eine tageslichtweiße Lichtfarbe (Farbtemperatur > 5.300 K) mit hohem Farbwiedergabe-Index $R_a > 90$ erforderlich sein.

Im Einklang mit dem Licht ist die farbliche Gestaltung des Raumes von großem Interesse. Die Wechselwirkung zwischen Mensch und Raum fördert das Wohlbefinden des Patienten im Pflegebereich sowie seine Ruhe und Zuversicht im Behandlungsbereich des Krankenhauses und damit den therapeutischen Erfolg. Vertraute und unauffällige Grundfarben, einfache und

farbintensivere Formen, eine harmonische statt einer destruktiven Formensprache und vertraute Materialien (Holz, Glas, Metall, Stein) sind dazu die erprobten Gestaltungselemente.

Besondere Aufmerksamkeit erfordert die Planung und Ausführung der Beleuchtung in der Altenpflege und ähnlichen Einrichtungen (siehe auch Kapitel 4.6 „Beleuchtung von Alten- und Pflegeheimen“). Das gilt insbesondere für Krankheitsbilder wie Demenz und Parkinson.

4.5.3 Bereich der Sehaufgabe

Die Bestimmung des Bereiches der Sehaufgabe in den sehr unterschiedlichen Räumen von Gesundheitseinrichtungen ist oft eine schwierige Planungsanforderung. Meist wird man sich entschließen, die Teile des Raumes, die aufgrund der Raumnutzung als Arbeitsbereich genutzt werden können, mit einer Allgemeinbeleuchtung zu versehen.

In Bettzimmern ist der Bereich der Sehaufgabe für die Lesebeleuchtung eindeutig definiert (siehe Abbildung 4.35). In vielen Fällen wird man z. B. den eigentlichen Untersuchungsort im Raum als besonderen Bereich der Sehaufgabe festlegen können. In speziellen Fällen erfordern die Festlegung des Bereiches der Sehaufgabe und die darauf abgestimmte Beleuchtung unbedingt die fachliche Beratung durch das behandelnde Personal. Dabei ist zu beachten, dass der Bereich der Sehaufgabe horizontal, vertikal oder geneigt sein kann.

4.5.4 Bettenzimmer, Wöchnerinnenzimmer

Die Beleuchtung der Bettenzimmer soll einerseits dem Wohlbefinden der Patienten dienen, andererseits soll sie auch Untersuchungen (z. B. bei der Visite) oder Behandlungen (z. B. Injektionen und Bestrahlung) ermöglichen. Diese Anforderungen können nur durch eine entsprechend differenzierte Beleuchtung erfüllt werden.

Die **Allgemeinbeleuchtung** soll eine wohnliche Atmosphäre schaffen und für einfache Tätigkeiten ausreichen. Die von dem im Bett befindlichen Patienten wahrgenommenen, leuchtenden Flächen einer Leuchte sind auf eine mittlere Leuchtdichte von 1.000 cd/m^2 zu begrenzen. Die Leuchtdichte der Raumdecke darf aus dieser Blickrichtung an keiner Stelle 500 cd/m^2 überschreiten. Die Allgemeinbeleuchtung wird aufgrund dieser Vorgaben als indirekte Beleuchtung ausgeführt, die in vielen Fällen Bestandteil der elektro- und medizintechnischen Versorgungseinheiten ist.

In Bettenzimmern für Säuglinge ist wegen der intensiven Pflege- und Überwachungsarbeit durch das Personal die doppelte Beleuchtungsstärke notwendig. Eine circadian wechselnde Lichtfarbe ist empfohlen. Bei nur konstanter Lichtfarbe ist ggf. warmweiß zu bevorzugen. Dienen die Bettenzimmer auch der Beobachtung der Säuglinge, wird eine neutralweiße Lichtfarbe empfohlen, um z. B. Hautverfärbungen aufgrund des gestörten Bilirubinspiegels zu erkennen (siehe Kapitel 3.3 „Licht und nicht-visuelle Wirkungen“).

Jeder Bettenplatz muss mit einer **Lesebeleuchtung** versehen sein. Als Lesefläche (Bereich der Sehaufgabe) wird in DIN 5035-3 [10] eine um 75° gegen die Horizontale geneigte Fläche, 900 mm breit und 300 mm hoch, angenommen. Der Mittelpunkt dieser Fläche liegt 1.100 mm über dem Boden und hat einen Abstand von 800 mm vom Kopfende des Bettes. Wenn der Abstand des Kopfendes von der Wand nicht bekannt ist, wird dieser Abstand mit 200 mm angenommen (siehe Abbildung 4.35).



Bei beweglichen Leseleuchten ist es ausreichend, wenn die Anforderung an die Lesebeleuchtung in jedem innerhalb der Lesefläche möglichen Lesefeld von 300 mm x 300 mm erfüllt werden kann. In LG2 [123] ist für die Lesebeleuchtung eine horizontale Fläche von 1,0 m² im oberen Bettbereich in 1,0 m über dem Boden festgelegt, auf der die Beleuchtungsstärke 300 lx betragen soll (siehe Abbildung 4.35).

Um die Blendung in Mehrbettenräumen zu vermeiden, darf nach DIN 5035-3 die mittlere Leuchtdichte der Leseleuchte im Umblickfeld von anderen Patienten 1.000 cd/m² nicht überschreiten. Als Umblickfeld gilt die Gesamtheit aller Punkte, die bei ruhendem Körper und auf dem Rücken in horizontaler Lage liegend mit bewegtem Kopf und bewegten Augen fixiert werden können.

In Großbritannien sind größere Räume und vor allem auch gegenüberliegende Betten in den Patientenzimmern weit verbreitet. Daher enthält LG2 strikte Bedingungen zur Vermeidung von Blendung durch Leuchten, die für die Allgemeinbeleuchtung als Deckenleuchten zwischen den gegenüberliegenden Bettenreihen angeordnet sein können. Für Deckenanbauleuchten ist aus der Sicht des im Bett liegenden Patienten eine mittlere Leuchtdichte von maximal 1.500 cd/m² für Einbauleuchten von maximal 1.000 cd/m², zulässig.

Für wandgebundene Beleuchtungssysteme sind die Abschirmbedingungen in Abbildung 4.36 dargestellt. Um Blendung durch Direktausstrahlung der Leuchtensysteme zu reduzieren, ist der Lichtstärkeanteil im Ausstrahlungsbereich von 75° bis 90° auf 5 % des unteren Leuchtenlichtstroms zu begrenzen. Ebenso ist der Lichtstromanteil im Ausstrahlungsbereich von 90° bis 120° auf 5 % des oberen Leuchtenlichtstroms zu reduzieren. Um Blendung auch durch zu helle Wandteile zu begrenzen, gelten gleiche Restriktionen für die Ausstrahlungsbereiche von 0° bis 5° und von 175° bis 180° (Abbildung 4.36a). Ebenso ist die mittlere Leuchtdichte wandgebundener Beleuchtungssysteme im Winkelbereich von α bis β (siehe

Abbildung 4.36b) auf 700 cd/m² zu begrenzen. Der Winkel α ergibt sich nach Abbildung 4.36b aus den Bauzeichnungen, der Winkel β beträgt 120° bei einer Montagehöhe des Beleuchtungssystems von $h_3 < 1,8$ m und 90° bei h_3 zwischen 1,8 m und 2,0 m. Bei $h_3 > 2,0$ m ist β nach Abbildung 4.36b zu bestimmen.

Für **allgemeine Untersuchungen** oder Behandlungen, die am Patientenbett durchgeführt werden, bezieht sich der Wartungswert der Beleuchtungsstärke von 300 lx nach DIN 5035-3 [10] auf die Längsachse der Untersuchungsebene in 0,85 m über dem Boden (gilt auch für variable Bettenhöhen, siehe Abbildung 4.35). Die Beleuchtungsstärke der Untersuchungsbeleuchtung kann sich aus allen Komponenten der Beleuchtung im Raum zusammensetzen. Die Gleichmäßigkeit E_{\min}/\bar{E} dieser Beleuchtung soll 1:2 nicht unterschreiten. Die Beleuchtung muss für das Behandlungspersonal, braucht aber wegen der kurzen Einwirkzeit nicht für Patienten blendfrei zu sein. Nach EN 12464-1 [51] gilt der Wartungswert der Beleuchtungsstärke von 300 lx für den Bereich der Sehaufgabe. Die Gleichmäßigkeit soll 0,60 betragen. Für Untersuchungen oder Behandlungen mit höheren Anforderungen an die Beleuchtung kann der Wartungswert der Beleuchtungsstärke auch durch zusätzliche ortsveränderliche Untersuchungsleuchten nach EN 60601-2-41 „Medizinische elektrische Geräte, Teil 2-41: Besondere Festlegungen für die Sicherheit einschließlich der wesentlichen Leistungsmerkmale von Operationsleuchten und Untersuchungsleuchten“ [73] erreicht werden. Nach LG2 [123] soll für Untersuchungen durch das Behandlungspersonal auf der Bettenfläche in 1,0 m über dem Boden eine mittlere Beleuchtungsstärke von 300 lx mit einer Gleichmäßigkeit von mindestens 0,5 vorhanden sein.

Die **Nacht-/Übersichtsbeleuchtung** soll es im Bedarfsfall dem Pflegepersonal während der Nachtstunden ermöglichen, sich im Patientenzimmer zu bewegen und die Patienten zu überwachen. Um Blendung der Patienten durch die Übersichtsbeleuchtung zu vermeiden, sind indirekt an die Decke bzw. die Wände strahlende

Leuchten zu verwenden. In Bettenräumen für Säuglinge wird eine höhere Beleuchtungsstärke empfohlen. Nach LG2 [123] besteht die Nachtbeleuchtung aus Deckenleuchten, für die zwei Werte festgelegt sind: Im Kopfkissenbereich maximal 0,5 lx und bei gegenüber stehenden Betten im Raummittel in 0,85 m über dem Boden 5 lx, Maximalwert 10 lx. Die Übersichtsbeleuchtung soll nach LG2 [123] nachts 1 lx bis 5 lx und bei Überwachungen 15 lx bis 20 lx im oberen Bettbereich betragen. Auch die melanopische Wirkung des Lichtes ist hier zu berücksichtigen. Ein maßgeblicher Faktor dafür ist die melanopisch äquivalente Tageslicht-Beleuchtungsstärke (MEDl) am Auge. Diese hat Einfluss auf die Aktivierung, ein geringer Wert vermeidet Aktivierung. Melanopisch äquivalente Tageslicht-Beleuchtungsstärke von 10 lx bis 2 lx am Auge zeigen praktisch keine nicht-visuellen Wirkun-

gen. Bei höheren Werten sind dagegen Wirkungen zu erwarten und Maßnahmen zur Vermeidung während der Schlafenszeit der Patienten zu ergreifen.

Die **Orientierungsbeleuchtung** soll ein Zurechtfinden im Raum während der Nachtstunden ermöglichen, ohne die schlafenden Patienten zu stören. Die Leuchten sollen unterhalb der Liegeebene und im Türbereich angebracht sein. Eine breitstrahlende Lichtverteilung in den unteren Halbraum der Leuchte ist anzustreben. Die Orientierungsbeleuchtung muss unabhängig von der übrigen Beleuchtung eingeschaltet werden können.

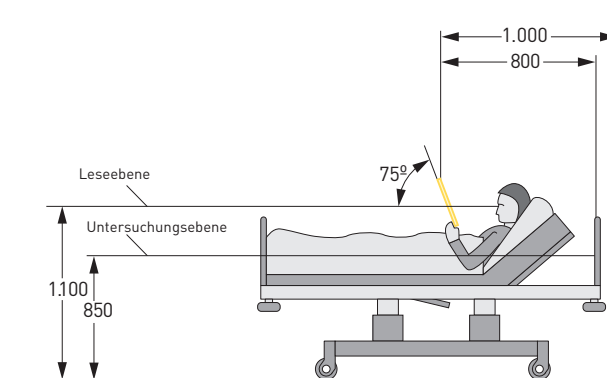
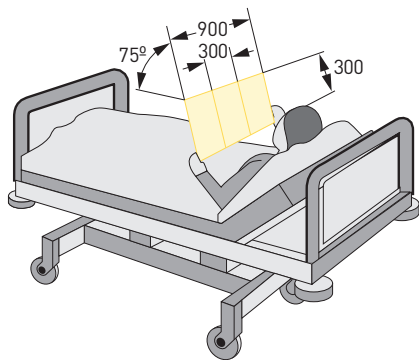


Abbildung 4.35: Bewertungsebenen (Bereich der Sehaufgaben) am Patientenbett nach DIN 5035-3 [10]

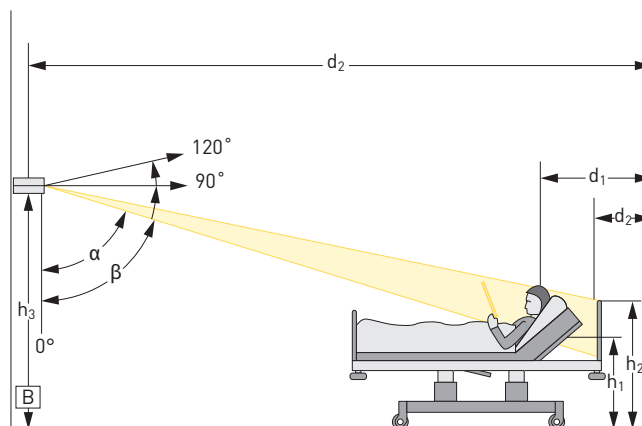
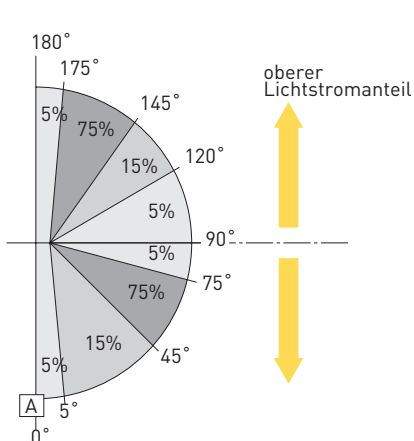


Abbildung 4.36: Begrenzung der Direktblendung wandgebundener Beleuchtungssysteme für das Bettzimmer nach LG2 [123].
A - Lichtstromverteilung in % des unteren bzw. oberen Leuchtenlichtstroms.
B - Begrenzung der mittleren Leuchtdichte auf 700 cd/m² im schraffierten Ausstrahlungsbereich.

4.5.5 Untersuchungsräume

Die Beleuchtung von allgemeinen Untersuchungs- und Behandlungsräumen sollte optimal für den Arzt, aber auch so angenehm wie möglich für den Patienten sein. Sie besteht aus einer Allgemeinbeleuchtung und einer zusätzlichen Beleuchtung des Untersuchungs- und Behandlungsbereiches. Die Lichtfarbe der Allgemeinbeleuchtung und der Untersuchungs- und Behandlungsleuchten sollte weitgehend übereinstimmen.

Für die lichttechnischen und elektrotechnischen Eigenschaften von ortsveränderlichen Untersuchungsleuchten gilt EN 60601-2-41 „Medizinische elektrische Geräte Teil 2-41: Besondere Festlegungen für die Sicherheit einschließlich der wesentlichen Leistungsmerkmale von Operationsleuchten und Untersuchungsleuchten“ [73]. Deren Farbwiedergabe sollte mindestens $R_a = 85$ und die Farbtemperatur zwischen 3.000 K und 6.700 K betragen.

Die Lichtfarbe der Allgemeinbeleuchtung von Untersuchungs- und Behandlungsräumen sollte neutralweiß mit einer Farbtemperatur zwischen

3.800 K und 5.300 K sein. Für die Arbeit an Bildschirmen, z.B. für die Eingabe von Patientendaten bzw. für die Betrachtung von Bildschirmen, z.B. bei der Ultraschalldiagnostik, gelten zusätzliche Anforderungen, siehe Kapitel 4.3 „Beleuchtung von Büros und Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen“.

Für spezielle Untersuchungs- und Behandlungsräume sowie für die Notfallversorgung sind, je nach der Art der durchzuführenden Untersuchung und Behandlung und dem dafür erforderlichen Adaptationsniveau, sehr unterschiedliche Anforderungen an die Beleuchtung zu stellen – und zwar hinsichtlich Beleuchtungsniveau und Lichtfarbe. Die Beleuchtungsstärken benachbarter Bereiche oder Räume dürfen nicht mehr als um den Faktor 10 voneinander abweichen. Andernfalls sind zusätzliche Adaptationsbereiche mit entsprechender Beleuchtungsstärke vorzusehen, um eine angemessene Adaptationszeit für die zwischen diesen Bereichen wechselnden Personen zu schaffen.

Dies gilt z.B. für augenärztliche Untersuchungs- und Behandlungsräume, in denen neben den allgemeinen augenärztlichen Untersuchungen, wie Untersuchungen des äußeren Auges oder



Abbildung 4.37:
Behandlungsraum

Sehtests, je nach Art der Untersuchung nur sehr geringe Beleuchtungsstärken zulässig sind. Beispiele dafür sind die Skiaskopie (Bestimmung des Fernpunktes), die Refraktometrie (Bestimmung des Brechungszustandes), die Ophthalmoskopie (Augeninnenuntersuchung), Ophthalmometrie (Druckmessung in den Netzhautgefäßen), Perimetrie (Bestimmung der Grenzen des Gesichtsfeldes) und die Adaptometrie (Messung der Sehschwelle). In allen Fällen, in denen das Niveau der Beleuchtung an die Sehaufgaben angepasst (regelbar) sein muss, kann dies durch Schalten, Steuern, Regeln oder durch Kombination davon erfolgen.

Für HNO- (hals-, nasen- und ohrenärztliche) Untersuchungsräume ist sowohl eine Allgemeinbeleuchtung als auch eine spezielle Beleuchtung am Untersuchungsort (auch für den Helmholtz'schen Augenspiegel) notwendig.

Bildgebende Verfahren stellen in Untersuchungs- und OP-Räumen zusätzliche Anforderungen an die Beleuchtung, insbesondere hinsichtlich des Beleuchtungsniveaus als auch der Blendungsbegrenzung. Beispiele für bildgebende Verfahren:

- Die Sonografie macht Gewebe ohne ionisierende Strahlung sichtbar.
- Die digitale Subtraktionsangiografie (DSA) macht Stenosen (Verengungen) der Blutgefäße deutlich sichtbar.
- Endoskopische Eingriffe (mikroinvasive Chirurgie) reduzieren das Operationsrisiko.
- Computertomografie und Kernspin-(Magnetresonanz-)Tomographie geben präzise Einblicke in das Körperinnere.

Bei der Beleuchtung von Räumen für bildgebende Diagnostik und Behandlung (z. B. Röntgen- oder Ultraschalldiagnostik) richtet sich die Höhe der Allgemeinbeleuchtung nach dem Untersuchungs- und Behandlungsverfahren. Werden ausschließlich Röntgenaufnahmen angefertigt, sind keine besonderen Anforderungen an die Beleuchtung zu stellen. Bei Arbeiten mit Bild Darstellung auf Sichtgeräten ist die Möglichkeit einer Herabsetzung der Beleuchtungsstärke der Allgemeinbeleuchtung auf geringere Werte vor-

zusehen. Reflexblendung auf den Bildschirmen muss vermieden werden. In Sonderfällen, wie bei der mikroinvasiven Chirurgie, werden auch besondere Lichtfarben angewendet (siehe Kapitel 4.42 „Mikroinvasive Chirurgie“). Das Niveau der Beleuchtung kann durch Schalten, Steuern, Regeln oder durch Kombination davon an die jeweiligen Sehaufgaben angepasst werden.

Generelle Hinweise zur bildschirmgerechten Beleuchtung siehe Kapitel 4.3 „Beleuchtung von Büros und Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen“.

Wegen einer möglichen längeren Verweildauer kann es notwendig sein, die Beleuchtungsstärke in Entbindungsräumen zeitweise auf ein als behaglich empfundenen Niveau zu verringern. Spezielle Untersuchungs- und Behandlungsleuchten ergänzen die Allgemeinbeleuchtung. Zusätzlich kann – insbesondere für längere Vorbereitungs- und Verweilzeiten – eine akzentuierte Beleuchtung des Raumes, etwa durch Anstrahlungen von Wänden, Bildern, oder andere Akzentsetzungen sehr hilfreich für die psychische Kondition der Gebärenden sein.

Die Beleuchtung von Dialyseräumen hat die Aufgabe, die medizinisch notwendigen Sehaufgaben bei der Ein- und Ausleitung (darunter wird das Ansetzen bzw. Absetzen der Kanülen für den extrakorporalen Blutkreislauf verstanden) der Dialysebehandlung (Blutwäsche) zu ermöglichen, wozu hohe Beleuchtungsstärken notwendig sind. Für Behandlungen mit darüber hinaus gehenden Sehanforderungen ist eine spezielle Untersuchungsbeleuchtung vorzusehen. Während der laufenden Dialysebehandlung ist der Raum wie in Bettenräumen mit einer behaglichen Allgemeinbeleuchtung und an jedem Behandlungsplatz mit einer Lesebeleuchtung zu versehen. Es wird die Lichtfarbe warmweiß empfohlen. Eine der wesentlichen Sehaufgaben in dermatologischen Untersuchungs- und Behandlungsräumen ist die genaue Diagnose von Veränderungen der Hautfarbe. Daher werden tageslichtweiße oder neutralweiße Lichtfarben mit sehr guter Farbwiedergabe ($R_a \geq 90$) empfohlen.

Zur Vorbereitung endoskopischer Untersuchungen sind höhere Werte der Beleuchtungsstärke erforderlich. Während der eigentlichen endoskopischen Untersuchung ist wegen der meist geringeren Leuchtdichte im optischen System des Endoskops eine Absenkung der Beleuchtungsstärke im Raum notwendig. Dies gilt sowohl für die direkte als auch die monitorgestützte Endoskopie. Das Niveau der Beleuchtung kann durch Schalten, Steuern, Regeln oder durch Kombination davon an die Sehaufgaben angepasst werden.

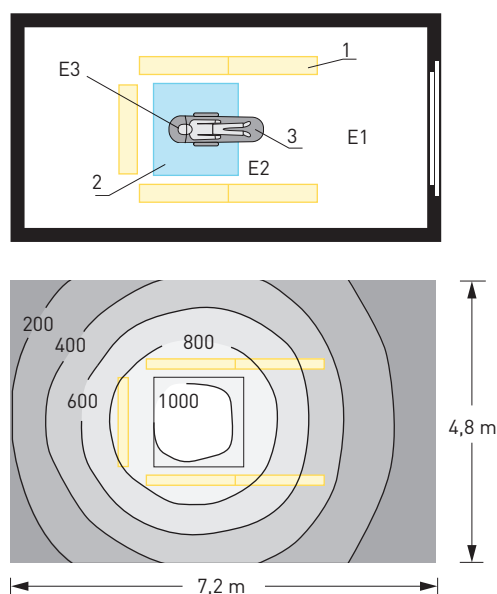
In Therapieräumen werden Patienten mit physikalischen, radiologischen oder elektromedizinischen Methoden behandelt. Dazu gehören auch Räume zur Krankengymnastik, Massage und für medizinische Packungen und Bäder. Zusätzlich zur Allgemeinbeleuchtung können eine akzentuierte Beleuchtung und die farbliche Gestaltung der Räume wesentlich zur Entspannung und zum Behandlungserfolg beitragen. Je nach Art der Therapie kann eine individuelle Anpassung des Beleuchtungsniveaus und der Lichtfarbe von Vorteil sein.

Die Allgemeinbeleuchtung zahnärztlicher Untersuchungs- und Behandlungsräume ist auf die optischen Anforderungen an die eingesetzte

Behandlungsleuchte nach EN ISO 9680 „Zahnkunde – Behandlungsleuchte“ [101] abzustimmen. Der Wartungswert der Beleuchtungsstärke für die Beleuchtung des Verkehrs- und Vorbereitungsbereiches des Behandlungsraumes E1 und für den Patientenbereich E2 (Abbildung 4.38) gilt für eine horizontale Bewertungsebene in 0,85 m über dem Boden. Die Bewertung der Beleuchtung des Patientenbereiches E2 erfolgt in einer horizontalen Ebene von 1,5 m x 1,5 m um das eigentliche Behandlungsfeld (E3 beschreibt den Mund des Patienten). Die Lichtfarbe der eingesetzten Leuchtmittel muss tageslichtweiß mit einem Farbwiedergabe-Index $R_a \geq 90$ entsprechen. Es wird empfohlen, die Leuchtdichte von Leuchten, die sich über dem Patientenbereich befinden, auf maximal 1.000 cd/m² zu begrenzen, um Direktblendung der meist liegenden Patienten zu reduzieren. Wenn das nicht möglich ist, sollten die Leuchten außerhalb des Patientenbereiches E2 angeordnet werden (Abbildung 4.38). Ein zusätzlicher Indirektanteil der Beleuchtung erhöht die Hintergrundleuchtdichte aus der Sicht des Patienten an der Decke und reduziert so die Direktblendung. Bei Einsatz bildgebender Verfahren kann eine individuelle Anpassung des Beleuchtungsniveaus notwendig sein.

Für die Allgemeinbeleuchtung der Zone E1 hat sich eine – wegen Verringerung der Blendung – außerhalb der Zone E2 an der Decke installierte U-förmige Leuchtenanordnung bewährt, die die höchste Beleuchtungsstärke im Kopfbereich des Patienten erreicht (Abbildung 4.38). Mehr Behaglichkeit für den Patienten bieten Lichtdecken, die Teile oder die gesamte Zone E2 ausfüllen. Während der Wartezeiten (z. B. während der Einwirkungszeit von schmerzstillenden Mitteln) können Lichtdecken beruhigend auf den Patienten wirken, wenn sie z. B. durch eine geeignete Steuerungsautomatik hinsichtlich der Leuchtdichte reduziert (gedimmt) oder langsam zu geringerer, warmweißer Lichtfarbe (z. B. bis unter 3.000 K) verändert werden. Während der Behandlung kann auf die maximal zulässige Leuchtdichte von 10.000 cd/m² sowie die erforderliche Lichtfarbe von ca. 6.500 K geregelt werden (siehe Abbildung 4.37 b).

Abbildung 4.38: Zonen E1, E2, E3 und Beispiel für die Anordnung der Leuchten in zahnärztlichen Untersuchungs- und Behandlungsräumen (oben), 1: Leuchten, 2: Patientenbereich, 3: Behandlungsstuhl. Isoluxkurven (Werte in lx) als Ergebnis einer lichttechnischen Planung (unten). Alternativ kann eine Lichtdecke eingesetzt werden (siehe Abbildung 4.37, rechts).
Anmerkung: Die lichttechnischen Daten der Lichtdecke können in weiten Grenzen eingestellt werden: Behaglichkeitsbeleuchtung: 300 lx, 2.700 K; Arbeitsbeleuchtung: 2.800 lx, 6.500 K, Leuchtdichte max. 4.000 cd/m²



4.5.6 Räume der Intensivmedizin

Intensive medizinische Behandlung erfolgt in unterschiedlichen Bereichen des Krankenhauses. Im Betten- und Pflegebereich werden einige Bettenzimmer mit höherer medizintechnischer Ausstattung eingerichtet, um im akuten Bedarfsfall und meist auch nur während begrenzter Zeit Patienten einer dauernden Vitalwertüberwachung (z.B. Blutdruck, Atmung, kardiologische Werte usw.) zu unterziehen. Dem Patienten wird damit die Umlagerung in die eigentliche Intensivstation erspart.

Ferner gibt es die eigentlichen Intensivstationen, die meist dem Operationstrakt des Krankenhauses zugeordnet und mit höchstentwickelten medizintechnischen Geräten ausgestattet sind.

Die Beleuchtung von Räumen der Intensivmedizin muss in erster Linie die Behandlung und ständige Überwachung schwerkranker Patienten ermöglichen.

Räume der Intensivmedizin werden mit mehreren Beleuchtungssystemen ausgestattet: Mit einer indirekten Allgemeinbeleuchtung als Behaglichkeitsbeleuchtung, wie im Bettenzimmer, und mit einer direkt strahlenden (Lese-)Beleuchtung zur Unterstützung einfacher Untersuchungen. Zusätzlich ist eine stationäre Untersuchungs- und Behandlungsbeleuchtung mit Beleuchtungsstärken bis 1.000 lx notwendig, um ggf. den sofortigen chirurgischen Eingriff vorzubereiten. In Intensivstationen werden die Patienten während der Nacht dauernd beobachtet. Dafür und zur Beobachtung von medizinischen Geräten am Patienten ist eine Übersichtsbeleuchtung vorzusehen. Im Patientenraum sind maximal 20 lx zulässig, um den Schlaf nicht zu behindern. Angrenzende Räume mit Beobachtungsfenstern müssen ein daran angepasstes Beleuchtungsniveau mit einer blendungsfreien Beleuchtung aufweisen. Diese Beleuchtung darf den Patienten nicht stören, muss also abgeschirmt sein und darf keine Reflexionen an den Durchblickfenstern erzeugen. Sie sollte daher Helligkeitsgerecht sein.



Abbildung 4.39:
Intensivpflege

Die heute als wesentlich anerkannte Anforderung für eine circadiane Wirksamkeit der Beleuchtung – die Variabilität des Lichtes in Niveau und Farbe (siehe Kapitel 3.3.2, „Melanopische Wirksamkeit des Lichtes“) – wird in Intensivstationen bereits seit einiger Zeit mit Erfolg umgesetzt. Die Anpassung der künstlichen Beleuchtung der Intensivpflegeräume an den natürlichen Verlauf des Tageslichtes vermittelt den Patienten in Räumen mit ungenügendem Tageslicht das Gefühl der Normalität, schafft Vertrauen in die medizinische Versorgung und wirkt sich positiv auf den Genesungsprozess aus. Studien haben weiterhin gezeigt, dass verringerte Delir-Raten und besserer Schlaf die positiven Folgen einer HCL-Lichtlösung sind.

Für besondere Erfordernisse und für Notfälle muss sofort eine normgerechte Untersuchungsbeleuchtung mit neutralweißer Lichtfarbe zugeschaltet werden können.

4.5.7 Operationsräume

Die Beleuchtung der Operationsräume muss stets im Zusammenhang mit der Operationsfeld-Beleuchtung geplant und ausgeführt werden. Dies erfordert drei unterschiedliche Beleuchtungsniveaus:

- die Operationsfeld-Beleuchtung,
- die Operations-Umfeldbeleuchtung
- und die Allgemeinbeleuchtung.

Um Adaptationsstörungen durch zu hohe Leuchtdichteunterschiede zwischen dem Operationsfeld (von 40.000 lx bis über 160.000 lx) und dem Operationsraum (1.000 lx) zu begrenzen, ist eine Operations-Umfeldbeleuchtung um das eigentliche Operationsfeld vorzusehen. Das Operationsumfeld ist eine zentral um den Operationstisch angeordnete Fläche mit den Maßen von etwa 3 m x 3 m, die genaue Größe ist vom Planer und Betreiber festzulegen. In diesem Bereich ist

eine Beleuchtungsstärke von 2.000 lx anzustreben. Die hohe Konzentration von medizinischen Versorgungs- und Überwachungsgeräten nahe des OP-Tisches und die bis zu reinraumtechnischen Kriterien gesteigerten Anforderungen an die Lufthygiene im Operationsumfeld können die für die Beleuchtung verfügbaren Deckenflächen merklich einengen. Unter Berücksichtigung von weiteren Versorgungseinrichtungen kann es notwendig sein, von dem Wert 2.000 lx abzuweichen, weil z.B. die dafür erforderliche Anzahl von Leuchten aus baulichen Gründen in diesem Deckenbereich nicht untergebracht werden kann.

Die Beleuchtungsstärke im Operationsumfeld soll in einer Höhe von 1 m über dem Boden an keinem Punkt und zu keiner Zeit 1.000 lx unterschreiten.

Die Lichtfarbe der Umfeld- und der Allgemeinbeleuchtung sollte der Lichtfarbe der Operationsleuchte (nach EN 60601-2-41 [73]) weitgehend entsprechen. Leuchtmittel müssen eine neutralweiße Lichtfarbe mit einer ähnlichsten Farbtemperatur von mindestens 3.800 K und einem Farbwiedergabe-Index $R_a \geq 90$ aufweisen.

Intensive Farben von Decken, Wänden oder Einrichtungsgegenständen sind zu vermeiden. Sie können die Farbwiedergabe der Gesamtbeleuchtung negativ beeinflussen.

Zur Unterstützung der Begrenzung von Blendung und zur ausgewogenen Helligkeitsverteilung im Gesichtsfeld sind für die gemäß DIN 5035-3 [10] folgende Werte empfohlen:

Decke	> 0,7
Wände	> 0,5
Boden	> 0,2
Abdecktücher, Kleidung und Handschuhe des Operationsteams	< 0,3

Alle Oberflächen, insbesondere die der Operationsinstrumente, sollen matt sein.



Abbildung 4.40:
Operationsraum

Die Allgemeinbeleuchtung des Operationsraumes und die Beleuchtung des OP-Umfeldes kann mit dem gleichen Beleuchtungssystem erfolgen. Dabei sollten die Leuchten außerhalb des Umfeldes (etwa 3 m x 3 m) an bzw. in der Decke montiert sein, um Abschattung durch das Operationsteam zu vermeiden sowie Blendung zu reduzieren. Ferner werden die in diesem Deckenbereich befindlichen Lüftungsaggregate nicht behindert.

Die Steuerung z.B. der Allgemeinbeleuchtung, der OP-Leuchten und ggf. der Kamerasysteme kann auch durch Touch-Panels der Telemedizinsysteme erfolgen.³

4.5.8 Operationsfeldbeleuchtung

Das Operationsfeld ist der Ort der eigentlichen Operation. Er ist meist mit blauen oder grünen Tüchern mit einem Reflexionsgrad ähnlich des eigentlichen Operationsortes umgeben, um die Leuchtdichte zwischen Operationsort und Umgebung aneinander anzupassen. Für Operationsleuchten gilt EN 60601-2-41 „Medizinische elektrische Geräte, Teil 2-41 Besondere Festlegungen für die Sicherheit einschließlich der wesentlichen Leistungsmerkmale von Operationsleuchten und Untersuchungsleuchten“ [73].

³ Bei dem Einsatz von Leuchten für Leuchtstofflampen mit elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) mussten etwaige Störungen von Infrarot(IR)-Steuerungen, wie z.B. der OP-Tische, vermieden werden. Bei Verwendung von LED-Leuchten tritt dieses Problem nicht auf, da weder Infrarotstrahlung noch Trägerfrequenzen des Lichtes in kritischen Frequenzbereichen auftreten.

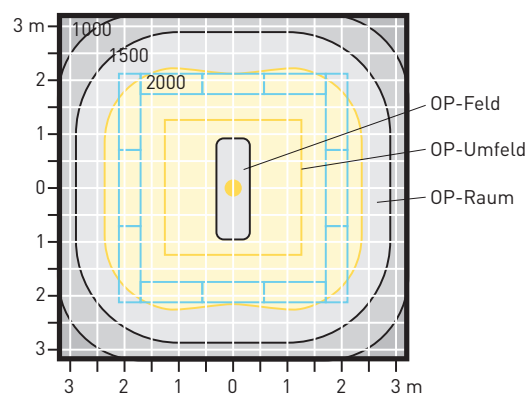


Abbildung 4.41:
Beispiel für die Umfeld- und Allgemeinbeleuchtung im OP mit Reinraumleuchten, Auszug aus einer Beleuchtungsplanung (Isoluxkurven, Werte in lx)

4.5.9 Mikroinvasive Chirurgie

Die mikroinvasive Chirurgie (MIC) ist ein operatives Verfahren mittels Techniken, die einen möglichst geringen Eingriff in den menschlichen Körper verursachen. Der Vorteil dieser Operationsmethode liegt in der kurzen Heilungsphase und der Verkürzung der Krankenhausverweildauer. Die mikroinvasive Chirurgie bietet daher besonders patientenschonende und kostengünstige Eingriffe, die jedoch einen erheblich höheren apparativen Aufwand erfordern. Sie ist auf vielen medizinischen Gebieten zur Standardmethode geworden und hat dort die konventionelle, offene Chirurgie abgelöst.

Mit einem endoskopähnlichen Gerät werden durch einen kleinen Schnitt (daher auch Schlüssellochchirurgie genannt) sowohl eine Beleuchtungs-, eine Beobachtungs- und eine Videoübertragungseinrichtung sowie auch Manipulationsgeräte, wie Skalpell, Schlingen, Absaug- und Spüleinrichtungen für Luft und Flüssigkeiten usw., zum Operationsort im Körperinneren eingeführt. Die operativen Vorgänge werden meist durch dreidimensionale Bilder am Monitor des Computers oder Kernspintomografen beobachtet und durchgeführt. Auch die traditionelle

endoskopische Beobachtung der Operation über einen direkten visuellen Kanal ist üblich.

Aus den visuellen Vorgaben resultieren die Aufgaben für den Beleuchtungstechniker. Die Leuchtdichte im Gesichtsfeld des Operators bei direkter, visueller Beobachtung durch das Operationsendoskop ist aufgrund schwacher Beleuchtung im Körperinneren erheblich verringert. Gleiches gilt für die Videoübertragung vom Operationsort im Körperinneren auf den Monitor. In beiden Fällen muss das Beleuchtungsniveau im Raum während der mikroinvasiven Chirurgie erheblich reduziert werden, wohingegen bei der Einleitung der Operation Beleuchtungsbedingungen vorliegen müssen, die normalen Operationen entsprechen.

Abbildung 4.42 zeigt einen Operationsraum für normale und mikroinvasive Chirurgie. Die hohe Beleuchtungsstärke von bis zu 2.000 lx im OP-Umfeld sowie die Allgemeinbeleuchtung des Raumes mit 1.000 lx werden durch Reinraumleuchten in der Decke erreicht. Von der Decke abgehängt ist eine Versorgungseinheit angebracht, die den Operationsplatz mit allen notwendigen Installationen der Elektrotechnik, des Patientenmonitorings und der Gas- und Beatmungstechnik versorgt.



Abbildung 4.42:
Der multifunktional
beleuchtete OP-Raum

In die Versorgungseinheit ist eine indirekte Allgemeinbeleuchtung integriert, die nach Wunsch des Operateurs bis auf geringe Beleuchtungsstärken, z. B. 5 lx, heruntergeregelt werden kann. Wie Untersuchungen in einer großen Klinik zeigten, werden von den Operateuren bei der mikroinvasiven Chirurgie Beleuchtungsstärken zwischen 3 lx und 12 lx gewünscht. Der Anästhesieplatz erfordert jedoch eine deutlich höhere Beleuchtungsstärke. Er ist meist vom eigentlichen Operationsort z. B. durch Tücher abgeschirmt, so dass sich diese Bereiche unterschiedlicher Beleuchtungsniveaus nicht nachteilig beeinflussen.

In einigen großen Kliniken wird für die MIC bevorzugt grünes Licht eingesetzt. Grund: Bei grünem Licht wird der Blick auf die vielen Monitore am wenigsten gestört. Daher hat die weltweit hoch angesehene und auf die MIC spezialisierte Hubertusklinik in Berlin alle einschlägigen OPs zusätzlich zur Normalbeleuchtung mit grünem Licht ausgestattet. Mit Beginn der eigentlichen MIC wird die Normalbeleuchtung mit hohem Beleuchtungsniveau ausgeschaltet. Andere MIC-Kliniken sind dieser Empfehlung gefolgt. Das grüne Licht ist in die Beleuchtungskörper der Allgemeinbeleuchtung integriert und separat schalt- und ggf. dimmbar.

In dem multifunktionalen OP (Abbildung 4.42) ist der Abstand zwischen Decke und Versorgungseinheit mit Glasscheiben abgeschlossen, um die turbulenzarme Verdrängungsströmung (Laminar Air Flow) etwa durch Querströmungen nicht zu stören. Dieses Lüftungssystem ist durch eine hohe Luftwechselzahl und durch physiologisch unbedenklich hohe Luftgeschwindigkeiten in der Aufenthaltszone gekennzeichnet. Damit werden höchste Reinheitsgrade der Raumluft erreicht. Alle Hindernisse innerhalb dieser Verdrängungsströmung (die daher auch Kolbenlüftung genannt wird, weil die Luft von oben nach unten, ähnlich einem Druckluftkolben, durch den Raum gedrückt wird) können Luftturbulenzen auslösen und damit die Wirkung dieses Lüftungssystems beeinträchtigen. Daher werden statt großflächiger OP-Leuchten mehrere kleine Satelliten-

leuchten für die eigentliche OP-Feldbeleuchtung verwendet, die zudem auch noch strömungstechnisch optimiert sind.

Die beleuchtungstechnischen Empfehlungen für Operationsräume für die mikroinvasive Chirurgie gelten sinngemäß auch für mikroskopgestützte Operationen, z. B. in der Neurochirurgie oder der Augenheilkunde.

4.5.10 Laser im OP

Laser werden in der Medizin seit mehr als 30 Jahren eingesetzt, z. B. in der Ophthalmologie zur Behandlung von Netzhauterkrankungen und in der Dermatologie zur Karzinombehandlung. Laserstrahlung wird auch über dünne und biegsame Quarzfasern in das Körperinnere geleitet und damit endoskopische Operationen durchgeführt.

Mit der in Teilbereichen der Medizin zum Standard gewordenen Laserchirurgie stellt sich auch die Frage nach der Sicherheit. Gefragt wird, ob Strahlirrläufer an hochglänzenden Baustoffen des OP, wie z. B. Leuchtenoberflächen, reflektiert werden und Menschen schädigen können. Insbesondere sind es Augenschäden, die irreparabel sein können. Dabei sind die Schäden sowohl von der Leistung als auch von der Wellenlänge der Laserstrahlung abhängig, auch davon, ob die Leistung gepulst oder kontinuierlich ausgestrahlt wird.

Aufgrund des Gefährdungspotentials werden die Laser in Klassen 1, 2, 3A, 3B und 4 unterschieden. Die direkte Strahlung der Laser der Klassen 1 und 2 ist ungefährlich, ebenso die der Klasse 3A. Diffuse Strahlung der Laser der Klasse 3B ist ebenfalls ungefährlich. Laser der Klasse 4 sind Hochleistungslaser und in jeder Weise gefährlich. Jegliche Exposition von Strahlung kann Augen und Haut schädigen. Die in der Ophthalmologie und Chirurgie eingesetzten Laser gehören dieser Klasse an. Nach dem Medizinproduktegesetz (nationale Umsetzung mehrerer EG-Richtlinien

über Medizinprodukte) sind diese Laser in die höchste Gefährdungsklasse mit den schärfsten Sicherheitsbestimmungen eingeordnet.

Die Laseroperation beginnt mit einem Justierlaser geringer Leistung und ohne Gefährdung des Umfeldes. Anschließend wird der Leistungslaser mit hoher Strahlenfokussierung auf die justierte Körperstelle gerichtet und z. B. das karzinogene Körpergewebe in kürzester Zeit abgetragen.

Die Sicherheit von Patient und behandelndem Personal wird u. a. durch folgende Maßnahmen erreicht:

- Es werden spezielle Operationsbestecke mit geringem Reflexionsgrad verwendet.
- Hinsichtlich der Vermeidung von Reflexionen von Laserleistung werden die Oberflächen der Operationsbestecke in rau, matt und absorbierend eingeteilt. Raue, unregelmäßig strukturierte Oberflächen sowie matte Oberflächen streuen die auftreffende Leistung und verringern dadurch die gestreute Leistungsdichte. Zu vermeiden sind konkave (fokussierende) und extrem ebene Flächen, die die gerichtete Reflexion von Irrstrahlung auch gerichtet umlenken. Das Reflexionsverhalten ist von der Wellenlänge des Lasers abhängig. Visuell als rau erscheinende Flächen können je nach Oberflächenstruktur für langwellige Laserstrahlung (z. B. CO₂-Laser mit einer Wellenlänge von 10,6 µm) durchaus als „Spiegel“ wirken.
- Das OP-Team trägt Laserschutzbrillen.
- Vorhänge um den OP-Tisch verhindern Strahlenirrläufer.
- Eine starke Strahlenfokussierung bedeutet sehr geringe Strahlendivergenz, so dass die Strahlungsleistung bereits in kürzestem Abstand vom Laserskalpell abgebaut ist.
- Spezielle Sicherheitsmaßnahmen werden von dem Laserschutzbeauftragten der Klinik, in der die Laserchirurgie durchgeführt wird, verantwortlich angewiesen und überwacht. In jedem Fall muss dessen Rat hinzugezogen werden.

4.5.11 Vorbereitungs- und Aufwchräume (Operationsnebenräume)

Die Beleuchtung der Operationsnebenräume muss hinsichtlich des Beleuchtungsniveaus auf die Beleuchtung des Operationsraumes abgestimmt sein. Es sind Leuchtmittel gleicher Lichtfarbe und Farbwiedergabe wie im Operationsraum einzusetzen.

Die Beleuchtung von Aufwächrräumen hat zwei Aufgaben zu erfüllen: Einerseits ist eine Allgemeinbeleuchtung vorzusehen, andererseits ist eine stark reduzierte Beleuchtung für die Aufwachphase des Patienten erforderlich, die blendarm für den liegenden Patienten sein muss. Eine indirekte Beleuchtung der Aufwachbereiche ist hierbei die beste Lösung. Durch eine Zusatzbeleuchtung sollte bei Bedarf eine Erhöhung der Beleuchtungsstärke am Bett möglich sein.

4.5.12 Arztpraxen

Arztpraxen sind Einzel- oder Gemeinschaftspraxen, Ambulanzzentren oder kleine Privatkliniken, auch solche mit ambulanter Chirurgie, bei denen die Beziehung von Arzt und Patienten eine wesentliche Rolle spielt. Das gilt insbesondere für das Wohlfühl-Umfeld und die Überwindung von Ängsten. Und das wird durch eine angenehme, beruhigende, helle und Vertrauen erweckende Raumausstattung mit ausgelöst.

Den ersten Eindruck beim Eintreten in die Praxis prägt die Rezeption. Ist der Empfang freundlich, hell und farbig gestaltet, weichen Berührungsängste. Der Empfang ist aber auch Arbeitsplatz für die Arzthelferinnen. Bildschirme und konventionelle Schreibebeiten benötigen eine Beleuchtung wie in Büros (siehe Kapitel 4.3 „Beleuchtung von Büros und Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen“).

Flure sollten nicht nur hell und freundlich, sondern mit ausreichenden Hinweisen zur Orientierung ausgestattet sein. z. B. mit LED bestückten Einbauleuchten. Flure sind meist innenliegende Räume ohne Sichtkontakt nach außen. Eine der Lichtfarbe des Tageslichtes angepasste Lichtsteuerung fördert die Gewöhnung an die neue Umgebung.

Aufenthalts- und Wartebereiche benötigen zum Lesen 300 lx. Der Normwert 200 lx reicht meist nicht aus. Langsam, behutsam und in nicht extremen Grenzwerten von Farbe und Helligkeit gesteuerte Deckenleuchten stimulieren, ermuntern und tragen dazu bei, Unsicherheiten zu verdrängen (siehe auch Kapitel 3.3 „Licht und nicht-visuelle Wirkungen“). In ungenügend mit Tageslicht versorgten Wartezimmern kann mit Lichtdecken oder indirekt strahlenden Beleuchtungssystemen das natürliche Tageslicht simuliert werden. Am Tage werden kältere Lichtfarben bis über 6.000 K und morgens und abends wärmere Lichtfarben (bis herunter zu 2.700 K) bevorzugt.

Untersuchungs- und Behandlungsräume werden aus lichttechnischer Sicht wie entsprechende Räume in Krankenhäusern betrachtet. Zusätzlich sollten sie mehr Ambiente ausstrahlen, denn sie werden nicht von stationär behandelten Patienten sondern von Menschen, die aus dem Alltag in die Praxis kommen, aufgesucht.

In allgemeinmedizinischen Behandlungsräumen steht die visuelle Kommunikation zwischen Arzt und Patient im Vordergrund. Hierzu ist eine gute vertikale Beleuchtungsstärke auf den Gesichtern wichtig (siehe auch Kapitel 2.8 „Räumliche Beleuchtung, Lichtrichtung, Modelling“). Schreib-

und Lesebeleuchtung allein reicht dafür nicht aus. Die Behandlungsliege muss zusätzlich beleuchtet werden – um Blendung zu vermeiden mit einer direkt-indirekt strahlenden Leuchte an Wand bzw. Decke. Bedarfsweise ist eine zuschaltbare Untersuchungsleuchte vorzusehen.

Spezielle Behandlungsräume der Augen-, Ohren- und HNO-Heilkunde, der Gynäkologie, Dermatologie, Röntgenologie und Endoskopie sowie der Zahnheilkunde erfordern zum Teil sehr differenzierte Beleuchtungssysteme, die in den betreffenden vorherigen Abschnitten behandelt sind.

Alle Räume in Arztpraxen benötigen eine den hygienischen Anforderungen entsprechende, ausreichende Beleuchtung für Reinigungszwecke.

4.5.13 Zahntechnische Laboratorien

Die in zahntechnischen Laboratorien auszuführenden Arbeiten stellen hohe Anforderungen an die Beleuchtung. Das zu verarbeitende Material glänzt und ist überwiegend farbig. Reflexblendung durch störende Lichtreflexe auf der Arbeitsfläche und dem Werkstück müssen vermieden werden. Dies kann durch geeignete Leuchten und eine geeignete geometrische Anordnung der Leuchten im Raum oder am Arbeitsplatz erreicht werden.

Bei allen Tätigkeiten, bei denen das Erkennen der Körperlichkeit eines Gegenstandes und seiner Oberflächenbeschaffenheit wesentlich ist, muss durch gerichtete Zusatzbeleuchtung für ausreichende Kontrastbildung gesorgt werden. Dabei sollten die Lichtfarben der Allgemein- und Zusatzbeleuchtung weitgehend übereinstimmen. Werden in unmittelbarer Nähe Tätigkeiten mit verschiedenen Anforderungen an die Farbwiedergabe (R_a) durchgeführt, ist die Beleuchtung für die höheren Anforderungen an die Farbwiedergabe auszulegen.

Bei sich bewegenden Handwerkszeugen kann es zum stroboskopischen Effekt kommen. Dies

kann zu Sehstörungen oder Täuschungen führen und erhöht somit die Unfallgefahr. Dimmbare LED-Leuchten sollten durch eine Betriebsstromregulierung gedimmt sein, um diesen Effekt zu vermeiden (siehe auch Kapitel 5.8.5 „Dimmung durch Betriebsstromregulierung und Pulsweitenmodulation“).

Die Mindestanforderungen für die Beleuchtung von zahntechnischen Laboratorien gelten auch für entsprechende Laboratorien der Hersteller von Materialien, die in der Zahnheilkunde verwendet werden.

4.5.14 Laboratorien und Apotheken

Zur Auswertung von Laborproben muss die Lichtfarbe der eingesetzten Leuchtmittel Tageslichtweiß mit einem Farbwiedergabe-Index $R_a \geq 90$ entsprechen. In Apotheken muss für das Einsortieren und für die Entnahme von Medikamenten eine ausreichende vertikale Beleuchtungsstärke an Regalen und/oder Schränken im Bereich von 0,5 m bis 2,0 m über dem Boden erreicht werden.

4.5.15 Obduktionsräume

In Bereichen mit Obduktions- und Seziertischen kann gerichtetes Licht sinnvoll sein. Dies kann z.B. durch ortsveränderliche Untersuchungsleuchten nach EN 60601-2-41 [73] erreicht werden. Die Allgemeinbeleuchtung sollte der Lichtfarbe der Behandlungsleuchte weitgehend entsprechen. Leuchtmittel müssen eine neutralweiße Lichtfarbe mit einer ähnlichsten Farbtemperatur von mindestens 3.800 K und einem Farbwiedergabe-Index $R_a \geq 90$ aufweisen.

4.5.16 Empfangsbereiche

In Empfangsbereichen soll die Beleuchtung eine beruhigende Atmosphäre erzeugen und eine Hilfe zur Orientierung im Gebäude sein. Dies kann insbesondere durch eine lichtplanerische Hervorhebung der Möblierung unterstützt werden. Nach EN 12464-1 [51] sollen die Wände (Hauptoberflächen) in Eingangshallen mit mindestens 75 lx und die Decke mit mindestens 50 lx (Gleichmäßigkeit für beide mindestens 0,10) beleuchtet sein. Ist der Empfangsbereich mit Bildschirmarbeitsplätzen ausgestattet, entsprechen die Anforderungen an die Allgemeinbeleuchtung denen einer üblichen Bürobeleuchtung (siehe auch Kapitel 4.3 „Beleuchtung von Büros und Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen“).

4.5.17 Flure, Treppen, Patientenbereiche

Flure im Gesundheitswesen sind häufig auch Arbeitsräume, in denen die Versorgung der Patienten und der Bettenräume erfolgt. Mahlzeiten werden bereitgestellt, um verteilt zu werden, ebenso Medikamente und Hygieneartikel. Daher gehen die Beleuchtungsanforderungen für Flure in Krankenhäusern (200 lx) über die üblichen Beleuchtungsanforderungen an Verkehrswege (100 lx) hinaus (siehe auch Kapitel 4.1.1 „Verkehrszonen“). Damit kommt man auch den Bedürfnissen alter, kranker und gebrechlicher Menschen nach mehr Sicherheit auf Fluren und Treppen durch bessere Beleuchtung nach.

Flure und Treppen müssen für sicheres Gehen so beleuchtet werden, dass sowohl am Tage als auch in der Nacht Leuchtdichteunterschiede beim Übergang zwischen unterschiedlich beleuchteten Räumen nicht zu hoch sind. Das Beleuchtungsniveau angrenzender Räume sollte nicht mehr als 1 : 10 betragen, besser nur 1 : 3. Für Flure im OP-Trakt wird daher und auch aus hygienischen Gründen ein höheres Beleuchtungsniveau (300 lx) empfohlen.

Die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke muss bei Fluren mit Mehrzwecknutzung in Höhe der Sehaufgabe 0,60 (z. B. wegen der Servicewagen), in allen übrigen Fluren am Tage und in der Nacht auf dem Boden nur 0,40 betragen. Nach EN 12464-1 [51] sollen die Wände (Hauptoberflächen) in Fluren und Treppenhäusern mit mindestens 75 lx und die Decke mit mindestens 50 lx (Gleichmäßigkeit für beide mindestens 0,10) beleuchtet sein.

Während der Nachtstunden kann – in den Bettenstationen muss – die Beleuchtungsstärke der Flure verringert werden; jedoch nur unter Beibehaltung der Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke von 0,4, die für die Sicherheit auf den Verkehrswegen wichtig ist.

In Fluren, in denen Patienten liegend transportiert werden, sollten die Lampen gegen Einblick möglichst abgeschirmt, mindestens jedoch die von diesen Patienten gesehenen Leuchtdichten reduziert sein, denn bei entsprechend vorbelasteten Patienten können rhythmische Leuchtdichteimpulse epileptische Anfälle auslösen. Gute Beleuchtungslösungen bestehen aus direkt-indirekt strahlenden Leuchten an der Decke bzw. an den Wänden oder aus direkt strahlenden Deckenleuchten am Rand der Flurdecke, welche dadurch vorzugsweise die Flurwände aufhellen.

In Aufenthaltsbereichen, die auch Treffpunkte von Patienten und Angehörigen sind, sollte die Beleuchtung neben guten Sehbedingungen auch eine harmonische Atmosphäre bieten. Werden Beleuchtungsniveau und Lichtfarbe circadian variiert, wird eine natürliche Lichtstimmung erzeugt und auch in nicht ausreichend mit Tageslicht versorgten Gebäudeteilen die innere Uhr unterstützt (weitere Informationen dazu siehe Kapitel 3.3 „Licht und nicht-visuelle Wirkungen“).

4.5.18 Personalräume (Diensträume, Aufenthaltsräume)

Die Anforderungen an die Allgemeinbeleuchtung von Arzt- und Schwesterndienstzimmern entsprechen denen einer üblichen Bürobeleuchtung nach EN 12464-1 [51] (siehe Kapitel 4.3 „Beleuchtung von Büros und Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen“). Für spezielle Tätigkeiten mit höheren Sehanforderungen ist die Beleuchtungsstärke entsprechend zu erhöhen. Werden in Arztzimmern Untersuchungen vorgenommen, gelten die gleichen Anforderungen an die Beleuchtung wie in allgemeinen oder den entsprechenden speziellen Untersuchungsräumen. Mit Rücksicht auf die Erholungspausen und Ruhezeiten des Pflegepersonals ist eine separate stimmungsbetonte Beleuchtung von Personalräumen sowie in Besprechungszonen zu empfehlen.

4.5.19 Sonstige Räume des Gesundheitswesens

Für die Beleuchtung weiterer Räume des Gesundheitswesens gelten die Anforderungen nach den Tabellen 4.49 bis 4.65. Sofern darin die betreffenden Sehaufgaben nicht aufgeführt sind, sind dafür vergleichbare Sehaufgaben bzw. Tätigkeiten und deren Anforderungen an die Beleuchtung – erforderlichenfalls aus weiteren Kapiteln dieser Schrift – heranzuziehen, z. B. aus Kapitel 4.9 „Beleuchtung von Räumen in Ausbildungsstätten“.

4.5.20 Elektromagnetische Verträglichkeit

Lebende Zellen erzeugen aufgrund ihrer Stoffwechselvorgänge elektrische Potentiale. Über deren Rhythmus- (Frequenz-) und Form-(Amplituden-)Analyse erhält der Arzt wichtige Informationen über die Tätigkeit des Gehirns (EEG – Elektroenzephalogramm), des Herzens (EKG – Elektrokardiogramm), der Muskeln (EMG – Elektromyogramm) und anderer Organe. In Räumen, in denen Körperaktionsspannungen aufgenommen werden, müssen Einkopplungen von Störspannungen durch elektrische bzw. magnetische Felder in die Messschaltung vermieden werden. Dies gilt insbesondere für

- EEG-, EKG- und EMG-Räume,
- Intensivuntersuchungs- bzw. Überwachungsräume,
- Herzkatheterräume und Operationsräume.

Elektrische Felder werden durch Abschirmung mit leitfähigen Tapeten, Gittern (Faradayscher Käfig) usw. so stark geschwächt, dass dadurch meist keine Störungen auftreten. Störungen durch netzfrequente magnetische Felder, wie sie z. B. durch Starkstromleitungen, Aufzugmotoren und magnetische Vorschaltgeräte von Leuchtstofflampen verursacht werden können, lassen sich wirksam durch Verringerung der magnetischen Felder der Störquellen und durch entsprechende Abstände zwischen Messschaltung und Quelle (z. B. Vorschaltgerät) erreichen.



Abbildung 4.43:
Elektrokardiograph mit Norm-Mess-Spule zur Messung der magnetischen Induktion einer Krankenzimmer-Installations-einheit

Mindestabstände sind

- bei induktiven Vorschaltgeräten etwa 75 cm,
- bei elektronischen Vorschaltgeräten etwa 30 cm.

Damit werden die in DIN VDE 0100-710 „Errichten von Niederspannungsanlagen – Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Teil 710: Medizinisch genutzte Bereiche“ [37] festgelegten maximalen Werte der Induktion

- für EKG $B_{SS} = 4 \cdot 10^{-7}$ Tesla = $0,4 \mu T$
 - für EEG $B_{SS} = 2 \cdot 10^{-7}$ Tesla = $0,2 \mu T$
 - für EMG $B_{SS} = 1 \cdot 10^{-7}$ Tesla = $0,1 \mu T$
- nicht überschritten.

Bild 4.43 zeigt eine Messmethode, mit der die magnetische Induktion vor Ort leicht gemessen werden kann. In EN ISO 11197 „Medizinische Versorgungseinheiten“ [90] ist ein Blockschaltbild für eine solche Messeinrichtung beschrieben (siehe Kapitel 6.8 „Medizinisch genutzte Räume“).

4.5.21 Hygiene im Krankenhaus

Hygiene ist im Krankenhaus oberstes Gebot. Die Verschleppung von Krankheitserregern, der Hospitalismus, ist eine permanente Gefahr für Patienten, deren Abwehrreaktion ohnehin geschwächt ist. Seitens der Hygiene wird daher oft die Frage gestellt, welchen Einfluss die Schutzart der Leuchten bezüglich Dichtigkeit z. B. gegen Staub auf die Aufrechterhaltung des hygienischen Standards in Räumen des Gesundheitswesens hat.

Grundsätzlich sind Leuchten keine Verunreiniger der Raumluft. Probleme können nur dann entstehen, wenn kontaminierende Keime in die Leuchten eindringen und dort wegen mangelnder Reinigungsmöglichkeiten für längere Zeit Brutplätze bilden können. Daher sind grundsätzlich entweder offene, leicht zu reinigende Leuchten (wie Rasterleuchten) oder Leuchten entsprechend höherer Schutzart erforderlich. Zum

Beispiel sind in Intensivstationen ohne Bedenken des Haushygienikers Rasterleuchten eingesetzt worden.

In Räumen mit höheren hygienischen Anforderungen werden Leuchten der Schutzarten IP54 oder IP65, vor allem deswegen eingesetzt, weil die höhere Schutzart aus Gründen der elektrischen Sicherheit bei den Desinfektionsmaßnahmen, z.B. Abspritzen von Wänden und Decke, erforderlich ist.

Ein viel akuterer Problem ist die Abschottung des hygienisch anspruchsvollen Raumes, z.B. des Operationsraumes und dessen Nebenräumen, gegen die Zwischendecke. In die abgehängte Decke eingebaute Leuchten können die unkontrollierte Verschleppung von Krankheitserregern aus dem Zwischendeckenraum in Richtung Reinraum fördern. Daraus folgt, dass Einbauleuchten durch ihren konstruktiven Aufbau zum Deckenzwischenraum hin dicht im hygienischen Sinne sein müssen, ebenso deren Einbau in die Zwischendecke. In den meisten Fällen jedoch wird die Zwischendecke unter einem geringen Unterdruck gehalten, so dass Luft nur aus dem Reinraum in den Zwischendeckenraum und nicht umgekehrt strömen kann. Ferner werden der

OP-Raum und dessen angrenzende Räume meist am gleichen Lüftungs- bzw. Filtersystem betrieben, so dass eine Verschleppung der Keime aus anderen Bereichen des Krankenhauses in diesen Cleanbereich wenig wahrscheinlich ist.

In Operationsräumen werden überwiegend Reinraumleuchten der Schutzart IP65 eingesetzt. Solche Leuchten sind aufgrund entsprechender Prüfeinrichtungen staub- und praktisch bakterien-dicht. Bei der Prüfung auf Staumdichtigkeit wird die Leuchte im betriebswarmen Zustand in eine Staubprüfkabine mit in Schwebelage gehaltenem Staub gebracht und nach einer Minute ausgeschaltet. Die Leuchte kühlt in drei Stunden ab und würde bei geringerer Schutzart als IP65 Staub durch die Dichtung einsaugen. Bei dem Prüfergebnis IP65 „staubdicht“ darf kein Staub eingedrungen sein.

Nach EN 60598-1 [72] muss der Prüfstaub mit einem Sieb mit einem Drahtdurchmesser von 50 µm und einer Maschenweite von 75 µm auf Feinheit getestet werden, um ihn gemäß der Basisnorm EN 60529 [68] für Staubprüfzwecke verwenden zu können.

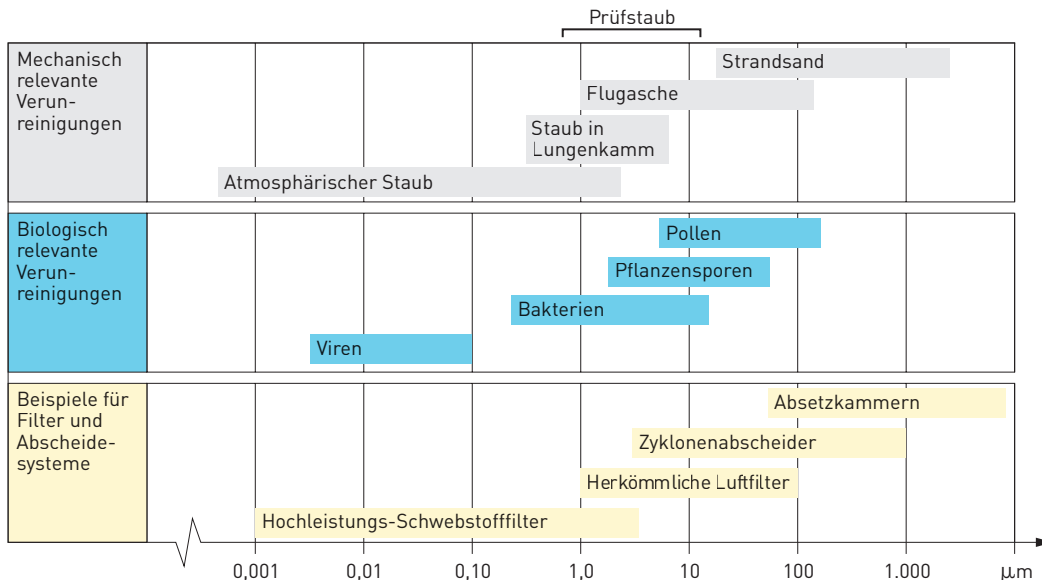


Abbildung 4.44: Teilchengrößen von Luftverunreinigungen und Eigenschaften von Lüftungsfiltersystemen

Der im TRILUX-Laboratorium verwendete Prüfstaub (Talkum) hat jedoch eine viel geringere Korngröße. Statistische Mittelwerte sind die folgenden:

- 95 % des Talkums hat eine Korngröße < 13,1 µm
- 75 % des Talkums hat eine Korngröße < 7,3 µm
- 50 % des Talkums hat eine Korngröße < 4,7 µm
- 25 % des Talkums hat eine Korngröße < 2,8 µm

Der Vergleich mit den Größenbereichen luftgetragener Verunreinigungen zeigt (siehe Abbildung 4.44): Der überwiegende Größenbereich von Bakterien liegt über der kleinsten Korngröße des Prüfstaubes und kann damit nicht in die IP65-Leuchte eindringen. Leuchten der Schutzart IP65 sind praktisch bakteriendicht. Ferner: Keime, Bakterien und Viren sind meist an Partikel (Materie) gebunden und können nur mit diesen in die Leuchte gelangen, wenn die hohe Schutzart diese nicht daran hindert.

Leuchten der Schutzart IP54 „staubgeschützt“ erfüllen in vielen Fällen ebenfalls die Hygieneanforderungen in Räumen des Gesundheitswesens.

4.5.22 Wirtschaftlichkeit der Beleuchtung

Einrichtungen des Gesundheitswesens, die sich als wirtschaftlich erfolgreiche Dienstleister in Sachen Gesundheit bewähren, müssen die Kosten – auch der haustechnischen Versorgungsanlagen – ständig im Auge halten. Die Kosten der Beleuchtung in dem 24-Stunden-Betrieb eines Krankenhauses sind dabei eine wesentliche Größe.

Der Einsatz von effizienten LED-Leuchten sowie die Nutzung des Tageslichtes und die Erkennung von Abwesenheit mit Hilfe eines Lichtmanagementsystems ermöglichen eine Beleuchtung mit hohem visuellem Komfort und geringen Betriebskosten (siehe Kapitel [3.4](#) „Licht und Wirtschaftlichkeit“ und [3.5](#) „Licht und Umwelt“).

In vielen Fällen kann eine Sanierung auf Grund langer täglicher Nutzungszeiten mit den Einsparungen der Betriebskosten weitgehend oder sogar vollständig finanziert werden.

4.5.23 Planung

Der Wartungsfaktor, der zur Bestimmung des Neuwertes der Beleuchtungsstärke notwendig ist und der das Betriebsverhalten der Anlage beschreibt, muss gemäß EN 12464-1 [\[51\]](#) zwischen Planer und Betreiber der Beleuchtungsanlage vereinbart werden. Falls dies nicht möglich ist, sind folgende Referenz-Wartungsfaktoren in die Planung einzusetzen:

- 0,8 bei geringer Nutzungsdauer oder bei in Bezug auf die Reinlichkeitsanforderungen in Räumen des Gesundheitswesens geringem Verschmutzungsgrad oder
- 0,67 bei normaler Nutzungsdauer oder bei in Bezug auf die Reinlichkeitsanforderungen in Räumen des Gesundheitswesens hohem Verschmutzungsgrad.

Diese Werte gehen davon aus, dass in Räumen des Gesundheitswesens ein höherer Grad an Sauberkeit und Vermeidung von Verschmutzung vorliegt, als in den meisten anderen Arbeitsstätten. Ausgenommen davon sind Räume z.B. der haustechnischen Versorgung, in denen ein höherer Verschmutzungsgrad vorliegen kann.

Die zahlenmäßigen Anforderungen an die Beleuchtung sind in den Tabellen 4.49 bis 4.64 zusammengefasst.

Nach EN 12464-1 [\[51\]](#) sind gemäß den Tabellen 4.49 bis 4.65 die Wandflächen (Hauptoberflächen) in Räumen des Gesundheitswesens mit einem Wartungswert der Beleuchtungsstärke von mindestens 50 lx bis 150 lx und die Decke mit einem Wartungswert von 30 lx bis 100 lx zu beleuchten (Gleichmäßigkeit für beide mindestens 0,10).

4.5.24 Lichttechnische Anforderungen

Räume zur allgemeinen Nutzung (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a) lx	b) lx				mit $U_o \geq 0, 10$ lx lx lx			
37.1	Warteräume	200	300	0,40	80	22	75	75	30	
37.2	Korridore: tagsüber	100	200	0,40	80	22	50	50	30	
37.3	Korridore: Reinigung	100	200	0,40	80	22	50	50	30	Beleuchtungsstärke auf Bodenhöhe.
37.4	Korridore: nachts	50	-	0,40	80	22	-	-	-	
37.5	Korridore mit Mehrzweck- nutzung (z. B. Voruntersuchung von Patienten)	200	300	0,60	80	22	75	75	50	Beleuchtungsstärke in Höhe der Sehaufgabe/Tätigkeit, z. B. wegen der Servicewagen.
37.6	Tagesraum	300	500	0,60	80	22	75	75	50	
37.7	Aufzüge, Fahrstühle für Personen und Besucher	100	200	0,60	80	22	50	50	30	Nach EN 12464-1 Pos. 1.3 (siehe auch Kapitel 4.1.1, „Beleuchtung von Verkehrszonen und allgemeinen Bereichen in Gebäuden“) soll der Wartungswert der Beleuchtungs- stärke auf dem Boden vor dem Aufzug mindestens 200 lx betragen.
37.8	Speiseaufzüge	200	300	0,60	80	22	75	75	50	Beleuchtungsstärke auf Bodenhöhe.

Zu hohe Leuchtdichten im Gesichtsfeld von Patienten müssen vermieden werden.

a) erforderlicher Mindestwert,
b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.49:
Lichttechnische
Anforderungen an
Mehrzweckräume
gemäß
DIN EN 12464-1 [51]

(siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a) lx	b) lx				mit $U_o \geq 0, 10$ lx lx lx			
38.1	Büro der Mitarbeiter	500	1000	0,60	80	19	150	150	100	Beleuchtung attraktiv gestalten und für den nächtlichen Bereitschafts- dienst regelbar.
38.2	Mitarbeiteräume	300	750	0,60	80	19	100	100	50	Beleuchtung für den nächtlichen Bereitschaftsdienst regelbar.

a) erforderlicher Mindestwert,
b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.50:
Lichttechnische
Anforderungen an
Personalräume
gemäß
DIN EN 12464-1 [51]

Bettzimmer, Wöchnerinnenzimmer (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltable“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a) lx	b) lx				mit $U_o \geq 0, 10$ lx lx lx			
39.1	Allgemeinbeleuchtung	100	200	0,40	80	19	50	50	30	Beleuchtungsstärke auf dem Boden. Die Beleuchtung der Wände sollte steuerbar sein. Raumhelligkeit, siehe 2.6. Nach DIN 5035-3 [10]: Beleuchtungsstärke in 0,85 m über dem Boden. Vom Patienten eingesehene Leuchtdichte von Leuchten max. 1.000 cd/m ² , von Decke und Wänden max. 500 cd/m ²
39.2	Leselicht	300	750	0,70	80	19	100	100	75	Die Beleuchtung sollte steuerbar, siehe Kapitel 2.4, und auf jedes Bett begrenzt sein. Bereich der Sehaufgabe siehe Abbildung 4.35.
39.3	Stationen – Einfache Untersuchungen	300	500	0,60	80	19	100	100	75	Für die normale Untersuchung und besondere Behandlung siehe auch Tabelle 4.52 – Gesundheitseinrichtungen – Untersuchungsräume (allgemein) und Tabelle 4.63 – Gesundheitseinrichtungen – Obduktionsräume und Leichenhallen. Bewertungsebene siehe Abbildung 4.35. Nach LG2 [123] soll für Untersuchungen durch das Behandlungspersonal auf der Bettenfläche in 1,0 m über dem Boden ein Wartungswert der Beleuchtungsstärke von 300 lx mit einer Gleichmäßigkeit von mindestens 0,5 vorhanden sein.
39.4	Untersuchung und Behandlung	1000	1500	0,70	90	19	150	150	100	Raumhelligkeit, siehe Kapitel 2.6, sollte berücksichtigt werden. Die Beleuchtung sollte steuerbar sein, siehe Kapitel 2.4.
39.5	Nachtbeleuchtung, Beobachtungsbeleuchtung	5	–	–	80	–	–	–	–	2.200 K $\leq T_{cp} \leq$ 3.000 K. Beleuchtungsstärke auf Bodenhöhe. Nach DIN 5035-3 [10]: Beleuchtungsstärke in 0,85 m über dem Boden.
–	Nachtbeleuchtung, Übersichtsbeleuchtung in Säuglingsstationen	20	–	–	80	–	–	–	–	Nach DIN 5035-3 [10]: Beleuchtungsstärke in 0,85 m über dem Boden.
–	Orientierungsbeleuchtung	–	–	–	80	–	–	–	–	In Bodennähe, getrennt schaltbar.
39.6	Badezimmer und Toiletten für Patienten	200	300	0,40	90	22	75	75	50	Eine niedrigere Farbtemperatur und niedrigere Beleuchtungsstärke für Nachtbeleuchtung sollte berücksichtigt werden.

Tabelle 4.51:
Lichttechnische
Anforderungen an
Bettzimmer gemäß
DIN EN 12464-1 [51]
und ergänzend gemäß
DIN 5035-3

Zu hohe Leuchtdichten im Gesichtsfeld von Patienten müssen vermieden werden.

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Untersuchungsräume (allgemein) (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtenauswahltable“)

Ref.-Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m	U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$	...Wand ...Decke	Bemerkungen*
	a) b)							
	lx lx							mit $U_o \geq 0, 10$
40.1	Allgemeinbeleuchtung	500 750	0,60	90	19	150 150	100	Farbtemperatur T_{CP} zwischen 4.000 K und 5.000 K.
40.2	Untersuchung und Behandlung	1000 1500	0,70	90	19	150 150	100	Farbtemperatur T_{CP} zwischen 4.000 K und 5.000 K.

Zu hohe Leuchtdichten im Gesichtsfeld von Patienten müssen vermieden werden.

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.52: Lichttechnische Anforderungen an Untersuchungsräume gemäß DIN EN 12464-1 [51]

Augenärztliche Untersuchungsräume (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtenauswahltable“)

Ref.-Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m	U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$	...Wand ...Decke	Bemerkungen*
	a) b)							
	lx lx							mit $U_o \geq 0, 10$
41.1	Allgemeinbeleuchtung	500 750	0,60	90	19	150 150	100	4.000 K $\leq T_{CP} \leq$ 5.000 K.
41.2	Untersuchung des Auges	1000 1500	-	90	-	150 150	100	4.000 K $\leq T_{CP} \leq$ 5.000 K. DIN 5035-3: örtliche Untersuchungsleuchte.
41.3	Lese- und Farbsichttests mit Sichtdiagrammen	500 750	0,70	90	16	150 150	100	4.000 K $\leq T_{CP} \leq$ 5.000 K.
-	Skioskopie, Refraktometrie, Ophthalmoskopie, Ophthalmometrie	50	0,40	90	19			DIN 5035-3: Beleuchtung regelbar.
-	Perimetrie, Adaptometrie	≤ 10	0,40	90	19			DIN 5035-3: Beleuchtung regelbar.

Zu hohe Leuchtdichten im Gesichtsfeld von Patienten müssen vermieden werden.

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.53: Lichttechnische Anforderungen an augenärztliche Untersuchungsräume gemäß DIN EN 12464-1 [51] und ergänzend gemäß DIN 5035-3 [10]

Ohrenärztliche Untersuchungsräume (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtenauswahltable“)

Ref.-Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m	U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$	...Wand ...Decke	Bemerkungen*
	a) b)							
	lx lx							mit $U_o \geq 0, 10$
42.1	Allgemeinbeleuchtung	500 750	0,60	90	19	150 150	100	T_{CP} zwischen 4.000 K und 5.000 K.
42.2	Untersuchung des Ohres	1000 1500	-	90	-	150 150	100	T_{CP} zwischen 4.000 K und 5.000 K.

Zu hohe Leuchtdichten im Gesichtsfeld von Patienten müssen vermieden werden.

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.54: Lichttechnische Anforderungen an ohrenärztliche Untersuchungsräume gemäß DIN EN 12464-1 [51]

Räume der bildgebenden Diagnostik (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtenauswahltable“)

Ref.-Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m	U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$	...Wand ...Decke	Bemerkungen*
	a) b)							
	lx lx							mit $U_o \geq 0, 10$
43.1	Allgemeinbeleuchtung	300 500	0,60	80	19	100 100	75	
43.2	Bildgebende Diagnostik mit Bildverstärkern und Fernsehsystemen	50	-	-	80	19		Bildschirmarbeit siehe Kapitel 4.3 „Beleuchtung von Büros und Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen“
-	Direkte Betrachtung an Sichtgeräten	30	-	-	80			DIN 5035-3: Beleuchtung ggf. bis auf 1 lx regelbar

Zu hohe Leuchtdichten im Gesichtsfeld von Patienten müssen vermieden werden.

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.55: Lichttechnische Anforderungen an Räume der bildgebenden Diagnostik gemäß DIN EN 12464-1 [51] und ergänzend gemäß DIN 5035-3 [10]

Entbindungsräume (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtenauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a)	b)				mit $U_o \geq 0, 10$			
		lx	lx				lx	lx	lx	
44.1	Allgemeinbeleuchtung	300	500	0,60	90	19	100	100	75	Die Beleuchtung sollte steuerbar sein, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“.
44.2	Untersuchung und Behandlung	1000	1500	0,70	90	19	150	150	100	Die Beleuchtung sollte steuerbar sein, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“.

Tabelle 4.56:

Lichttechnische Anforderungen an Entbindungsräume gemäß DIN EN 12464-1 [51]

Zu hohe Leuchtdichten im Gesichtsfeld von Patienten müssen vermieden werden.

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Behandlungsräume (allgemein) (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtenauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a)	b)				mit $U_o \geq 0, 10$			
		lx	lx				lx	lx	lx	
45.1	Dialyse	500	750	0,60	80	19	150	150	100	Die Beleuchtung sollte steuerbar sein, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“.
45.2	Dermatologie	500	750	0,60	90	19	150	150	100	DIN 5035-3: Lichtfarbe neutralweiß oder tageslichtweiß.
45.3	Endoskopierräume	300	500	0,60	80	19	100	100	75	
-	Endoskopische Untersuchungen	50		0,60	80	19				DIN 5035-3: Beleuchtung ggf. zu noch geringeren Beleuchtungsstärken regelbar.
45.4	Verbandsräume	500	750	0,60	80	19	150	150	100	
45.5	Medizinische Bäder	300	500	0,60	80	19	100	100	75	
45.6	Massage und Strahlentherapie	300	500	0,60	80	19	100	100	75	

Tabelle 4.57:

Lichttechnische Anforderungen an Behandlungsräume gemäß DIN EN 12464-1 [51] und ergänzend gemäß DIN 5035-3 [10]

Zu hohe Leuchtdichten im Gesichtsfeld von Patienten müssen vermieden werden.

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Operationsbereich (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtenauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a)	b)				mit $U_o \geq 0, 10$			
		lx	lx				lx	lx	lx	
46.1	Vorbereitungs- und Aufwachräume	500	750	0,60	90	19	150	150	100	
-	Aufwachphase	100	-	-	-					DIN 5035-3: Blendfrei für den liegenden Patienten
-	Zusatzbeleuchtung	1000	-	0,60	85	19				DIN 5035-3: Im Bedarfsfall
46.2	Umgebung Operationsfeld	1000	1500	0,60	90	19	150	150	100	Die Beleuchtungsstärke des Operationsbereiches sollte auf die unmittelbare Umgebung abgestimmt sein.
-	Operationsumfeld	2000	-	0,70	90	19				DIN 5035-3: \bar{E}_m : 2.000 lx sind anzustreben.
46.3	Operationssaal	1000	1500	0,60	90	19				
46.4	Operationsfeld				90					DIN 5035-3: Zentrale Beleuchtungsstärke E_c : 40.000 lx bis 160.000 lx. Spezifische Anforderungen sind in DIN EN 60601-2-41 [73] enthalten.

Tabelle 4.58:

Lichttechnische Anforderungen an Operationsbereich gemäß DIN EN 12464-1 [51] und ergänzend gemäß DIN 5035-3 [10]

Zu hohe Leuchtdichten im Gesichtsfeld von Patienten müssen vermieden werden.

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Intensivstation (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a)	b)				mit $U_o \geq 0, 10$			
		lx	lx				lx	lx	lx	
47.1	Allgemeinbeleuchtung	300	500	0,60	90	19	50	50	30	Beleuchtungsstärke auf dem Boden. Nach DIN 5035-3: Beleuchtungsstärke in 0,85 m über dem Boden. Vom Patienten eingesehene Leuchtdichte von Leuchten max. 1.000 cd/m ² , der Decke und der Wände max. 500 cd/m ² .
47.2	Einfache Untersuchungen	500	750	0,60	90	19	100	100	75	Beleuchtungsstärke auf dem Bett, siehe Abbildung 4.35.
47.3	Untersuchung und Behandlung	1000	1500	0,70	90	19	150	150	100	Beleuchtungsstärke auf dem Bett, siehe Abbildung 4.35.
47.4	Nachtwache	20	-	-	90	19	-	-	-	Farbtemperatur sollte berücksichtigt werden (< 3.000 K). Nach DIN 5035-3: Beleuchtungsstärke in 0,85 m über dem Boden.

Zu hohe Leuchtdichten im Gesichtsfeld von Patienten müssen vermieden werden.

- a) erforderlicher Mindestwert,
- b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)
- * Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.59:
Lichttechnische Anforderungen an Intensivstation gemäß DIN EN 12464-1 [51] und ergänzend gemäß DIN 5035-3 [10]

Zahnärztliche Behandlungsräume (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a)	b)				mit $U_o \geq 0, 10$			
		lx	lx				lx	lx	lx	
48.1	Allgemeinbeleuchtung	500	750	0,60	90	19	150	150	100	Zone E1: Beleuchtung sollte blendfrei für den Patienten sein. Lichtfarbe tageslichtweiß
48.2	Im Patientenbereich	1000	1500	0,70	90	-	150	150	100	Zone E2: Lichtfarbe tageslichtweiß, nach DIN 5035-3 [10] Beleuchtungsstärke in 0,85 m über den Boden.
48.3	Operationsfeld	-	-	-	-	-	-	-	-	Es werden die spezifischen
48.4	Anpassung weißer Zähne	-	-	-	-	-	-	-	-	Anforderungen in EN ISO 9680 [101] angewendet.

Zu hohe Leuchtdichten im Gesichtsfeld von Patienten müssen vermieden werden.

- a) erforderlicher Mindestwert,
- b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)
- * Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.60:
Lichttechnische Anforderungen an zahnärztliche Behandlungsräume gemäß DIN EN 12464-1 [51]

Laboratorien und Apotheken (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a)	b)				mit $U_o \geq 0, 10$			
		lx	lx				lx	lx	lx	
49.1	Allgemeinbeleuchtung	500	750	0,60	80	19	150	150	100	
49.2	Farbinspektion	1000	1500	0,70	90	19	150	150	100	Farbtemperatur T_{CP} von 4.000 K bis 6.500 K.

Zu hohe Leuchtdichten im Gesichtsfeld von Patienten müssen vermieden werden.

- a) erforderlicher Mindestwert,
- b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)
- * Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.61:
Lichttechnische Anforderungen an Laboratorien gemäß DIN EN 12464-1 [51]

Sterilräume (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtenauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a)	b)				mit $U_o \geq 0, 10$			
		lx	lx				lx	lx	lx	
50.1	Sterilisation	500	750	0,60	80	22	100	100	75	
50.2	Desinfektion	500	750	0,60	80	22	100	100	75	

Zu hohe Leuchtdichten im Gesichtsfeld von Patienten müssen vermieden werden.

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.62:
Lichttechnische
Anforderungen an
Sterilräume gemäß
DIN EN 12464-1 [51]

Obduktionsräume und Leichenhallen (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtenauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a)	b)				mit $U_o \geq 0, 10$			
		lx	lx				lx	lx	lx	
51.1	Allgemeinbeleuchtung	500	750	0,60	90	19	150	150	100	
51.2	Autopsietisch und Seziertisch	5000	7500	0,70	90	-	150	150	100	Werte > 5.000 lx können erforderlich sein.

Zu hohe Leuchtdichten im Gesichtsfeld von Patienten müssen vermieden werden.

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.63:
Lichttechnische
Anforderungen
an Obduktionsräume
gemäß
DIN EN 12464-1 [51]

Zahntechnische Laboratorien (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtenauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a)	b)				mit $U_o \geq 0, 10$			
		lx	lx				lx	lx	lx	
-	Anfangs- und Endkontrolle, Zahnauswahl, Keramik, Kunststoffverblenden									
	- Allgemeinbeleuchtung	1000	-	0,70	90	19				
	- Arbeitsplatzbeleuchtung	1500	-	0,70	90	19				Ggf. mit gerichteter Zusatzbeleuchtung
-	Planen und Vermessen, Modellherstellung, Modellieren, Ausarbeiten									
	- Allgemeinbeleuchtung	1000	-	0,70	80	19				
	- Arbeitsplatzbeleuchtung	1500	-	0,70	80	19				
	- Allgemeinbeleuchtung für Einbetten und Polieren	750	-	0,70	80	19				
	- Arbeitsplatzbeleuchtung für Polieren	1500	-	0,70	80	19				Ggf. mit gerichteter Zusatzbeleuchtung
	- Allgemeinbeleuchtung für Doublieren, Einbetten (Metall), Modellbeschleifen	500	-	0,60	80	19				
	- Arbeitsplatzbeleuchtung für Doublieren, Modell- beschleifen	1000	-	0,70	80	19				Ggf. mit gerichteter Zusatzbeleuchtung
	- Allgemeinbeleuchtung für Gießen und Löten	300	-	0,40	80	19				Regelbar

Zu hohe Leuchtdichten im Gesichtsfeld von Patienten müssen vermieden werden.

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.64:
Lichttechnische
Anforderungen
an zahntechnische
Laboratorien gemäß
DIN 5035-3 [10]

Arztpraxen (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtenauswahltabelle“)

Ref.-Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a) lx	b) lx				lx	lx	lx	
37.1	Warteräume	200	300	0,40	80	22	75	75	30	Beleuchtung kann die Raumgestaltung wesentlich unterstützen, z. B. durch blendfreie Akzentbeleuchtung, Anstrahlung von Bildern usw. Bildschirmarbeitsplatz, siehe Ref.-Nr. 26.2 in Tabelle 4.28. Bei speziellen Untersuchungen siehe Tabellen 4.53 bis 4.55.
-	Patientenaufnahme	500	1000	0,60	80	19	150	150	100	
-	Untersuchungsräume									
40.1	Allgemeinbeleuchtung	500	750	0,60	90	19	150	150	100	
40.2	Untersuchung und Behandlung	1000	1500	0,70	90	19	150	150	100	

Zu hohe Leuchtdichten im Gesichtsfeld von Patienten müssen vermieden werden.

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.65:
Lichttechnische Anforderungen an Räume und Bereiche in Arztpraxen gemäß DIN EN 12464-1 [51] (vgl. vorherige Tabellen)

4.6 Beleuchtung von Alten- und Pflegeheimen

Die Menschen werden immer älter, bleiben länger gesund – leben allerdings auch länger unter Pflegebedingungen. Während in Deutschland der Altersaufbau 1919 noch die typische Pyramidenform mit Kindern und Jugendlichen als stärkste Jahrgänge aufwies, bildeten um 2001 die 30- bis 45-jährigen die stärkste Altersgruppe. Hochrechnungen auf das Jahr 2050 zeigen einen wenig differenzierten Verlauf der Altersstruktur: Alte und Junge sind fast gleich häufig vertreten (siehe Abbildung 4.45). Und der Trend setzt sich prinzipiell in der gesamten EU etwa in gleicher Weise fort.

Nach Angaben des statistischen Jahrbuchs der Europäischen Union von 2010 (<http://ec.europa.eu/eurostat>) nimmt der Anteil (Altersquote) der 65-jährigen und älteren Bewohner in Prozent zur Anzahl der Bewohner zwischen 15 und 64 Jahren bis 2060 dramatisch zu. Abbildung 4.46 enthält für einige ausgewählte EU-Staaten (Mittelwert EU27) zum Vergleich diese Werte für die Jahre 2010 und 2060 (Prognose). In den meisten EU-Ländern

verdoppelt sich die Altersquote der 65-jährigen und älteren Bewohner bis 2060, in Polen – vermutlich durch die Abwanderung der Jüngeren – sogar um das Vierfache.

Aus dieser Entwicklung ergibt sich ein permanent zunehmender Bedarf an Alten- und Pflegeheimen, an Pflegewohngruppen, an Einrichtungen für gemeinschaftliches Wohnen, an speziellen Altenwohnungen und an Häusern für betreutes Wohnen.

Auch die Architektur der Wohnanlagen für Ältere und Pflegebedürftige hat sich geändert. In der Zeit bis 1960 wurden alte Menschen in Heimen „verwahrt“. Entsprechend einfach und farblos waren diese Anstalten auch ausgestattet. Anschließend – etwa bis in die 1980er Jahre – war das Krankenhaus mit seinen typischen Stationen zum Leitbild für Alten- und Pflegeheime geworden, in denen „behandelt“ wurde. Viele ältere Heime sehen heute noch so aus: einfache und schmucklose Mehrbettzimmer, die an langen Fluren angeordnet sind. Wenig Farbe, meist gerade mal ausreichende Beleuchtung. Ab etwa 1980 schuf man für alte Menschen Wohnheime,

deren Ausstattung mit teils eigenem Mobiliar, Licht und Farbe wohnliches Leben ermöglichen sollten. An die Stelle davon, alte Menschen zu „verwahren“ oder zu „behandeln“ trat nun alte Menschen zu „motivieren“ und zu „aktivieren“, um also am Leben aktiv teilzunehmen. Die architektonische Weiterentwicklung ab Anfang der 2000er Jahre ist die Hausgemeinschaft, in der die Familie zum Leitbild für Geborgenheit und die Normalität des Alterns verwirklicht wurde. Alte Menschen leben wie in einer Familie, versorgen sich teilweise selbst untereinander. Auch Mehrgenerationenhäuser wurden daraus entwickelt. Der Wandel im architektonischen Raumkonzept hatte auch Auswirkungen auf die Ausstattung durch Licht und Farbe solcher Wohnsysteme.

4.6.1 Sehen im Alter

Über 80 % unserer Sinneseindrücke sind visueller Art. Alte Menschen leiden jedoch aufgrund zunehmender Sehschwächen an eingeschränkter Wahrnehmung ihrer Umgebung, die sie in ihrer Kommunikation mit Mitmenschen einschränken.

Die visuelle Leistung – vor allem die Sehschärfe (Abbildung 4.48) – des menschlichen Auges nimmt mit zunehmendem Alter ab und infolge

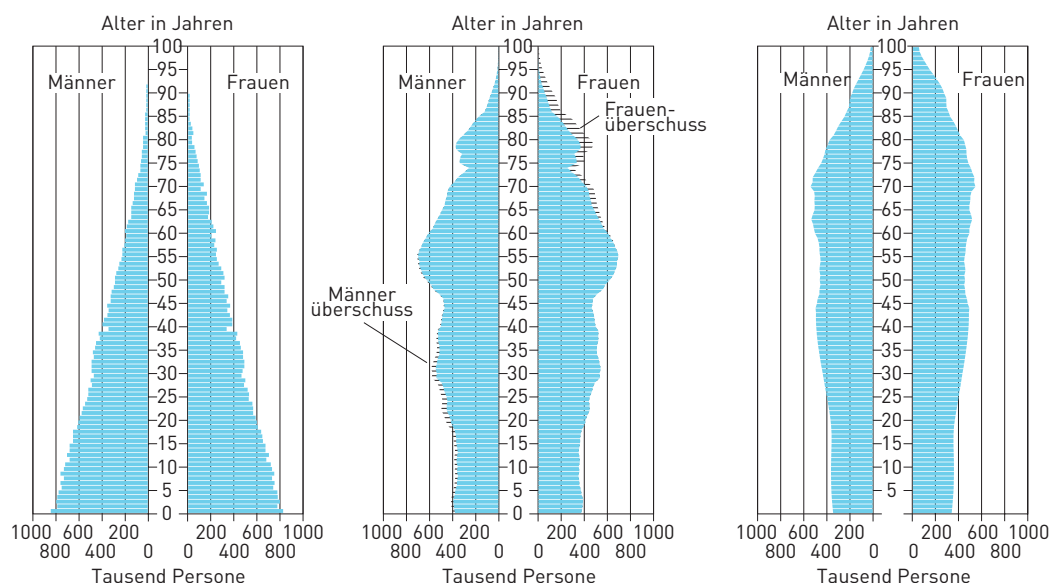
davon der Lichtbedarf zu. Dafür gibt es verschiedene Ursachen: Das junge und gesunde Auge kann sich für die Fernsicht bis zu 20 Dioptrien einstellen. Der Ziliarmuskel, der die Form der Augenlinse und damit deren Brechkraft verändert, ist bei Fernsicht im Ruhezustand. Die Augenlinse hat dann eine flache Form mit großem Krümmungsradius und unendlicher Brennweite. Bei Kontraktion des Ziliarmuskels ist das Auge auf Nahsehen eingestellt und die bikonvexe Augenlinse hat aufgrund ihrer Elastizität eine kugelige Form mit kleinem Krümmungsradius und geringer Brennweite.

Aufgrund der Verhärtung der Augenlinse kann der Ziliarmuskel die Augenlinse nicht mehr auf die erforderliche Brechkraft verändern. Die Akkommodationsfähigkeit (Scharfeinstellung) ist eingeschränkt (Alters- bzw. Weitsichtigkeit, Presbyopie). Alterssichtigkeit lässt sich durch optische Mittel (Brillen) korrigieren.

Auch verlängert sich die Akkommodationszeit mit dem Alter: Eine 40-jährige Person braucht etwa doppelt so lange (ca. 0,7 sec.), um von 50 cm auf unendlich einzustellen, wie eine 20-Jährige.

Der Transmissionsgrad der Augenlinse wird altersbedingt ebenfalls schlechter. Häufigste Ursache ist die langsam fortschreitende Linsen-

Abbildung 4.45: Altersaufbau der deutschen Bevölkerung 1919 (links), um 2019 (Mitte) und 2060 (rechts, Prognose)



trübung (grauer Star, Katarakt). Das dadurch entstehende Streulicht legt sich wie ein Schleier über die Netzhaut. Das Netzhautbild wird dadurch „verschwommen“, die Konturen und Kontraste werden unschärfer, die Sehschärfe nimmt ab und die Blendempfindlichkeit nimmt zu (Schleierleuchtdichte). Im fortgeschrittenen Zustand kann eine Ersatzlinse implantiert und die Sehleistung wiederhergestellt werden.

Ebenso verändert sich der spektrale Transmissionsgrad der Augenlinse. Aufgrund der Gelbeintrübung (Abbildung 4.52) werden vor allem die kurzen Wellenlängen (violett bis grün) absorbiert und gelangen geschwächt auf die Netzhaut (Abbildung 4.47). Die Folgen sind:

- Die Farbwahrnehmung verschiebt sich. Violette bis grüne Farbtöne werden schlechter als gelbe und rote wahrgenommen.
- Farbnuancen werden weniger deutlich erkannt.
- Eine 15-jährige Person hat z.B. bei 430 nm (blaues Licht) eine um den Faktor 10 höhere spektrale Empfindlichkeit als eine 75-Jährige (Abbildung 4.47). Dadurch ist der für die Tak-tung des circadianen, biologischen Rhythmus verantwortliche melanopische Wirkungsmech-anismus der blauen Strahlungsanteile beim älteren Menschen reduziert. Die Steuerung des Melatoninspiegels (Serum für das Schlafbe-dürfnis) im Blut und das Schlafverhalten Älterer verändert sich dadurch nachteilig. Mangelnde Aktivität am Tage und Schlafstörungen in der Nacht sind die Folge (siehe auch Kapitel 3.3 „Licht und nicht-visuelle Wirkungen“).

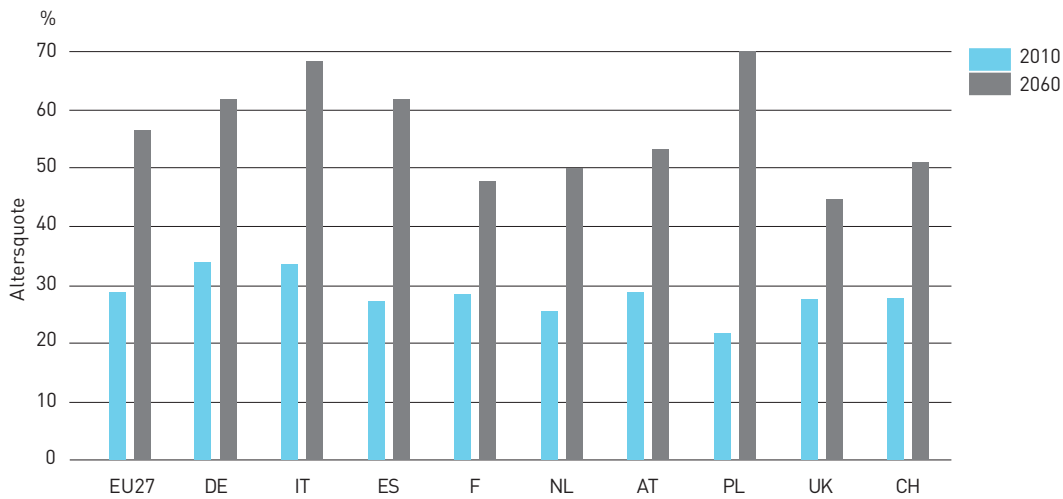
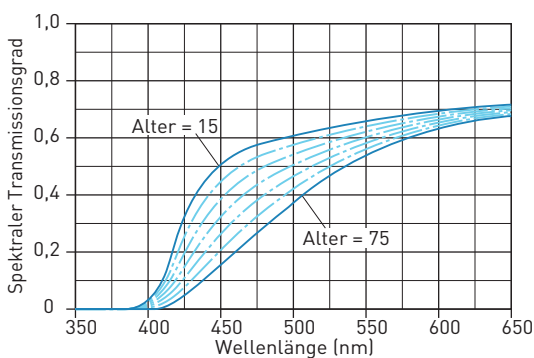
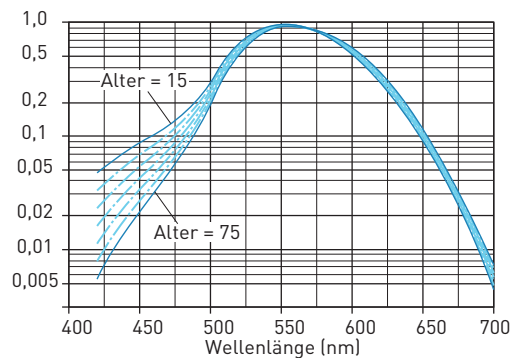


Abbildung 4.46: Altersquote in der EU: Mittelwert der 27 EU-Staaten (EU27) und in einigen EU-Staaten im Jahr 2010 und 2060



(a) Spektraler Transmissionsgrad des menschlichen Auges



(b) Hellempfindlichkeitsgrad des Menschen im Alter

Abbildung 4.47: Spektrale Transmission und Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges im Alter

Mit zunehmendem Alter verengt sich auch das Gesichtsfeld. Bei jüngeren Menschen beträgt die horizontale Ausdehnung bei gutem Kontrast des Sehdetails etwa $\pm 60^\circ$, bei älteren Personen nur etwa $\pm 40^\circ$. Die periphere Wahrnehmung ist dadurch eingeschränkt. Das muss z. B. bei der Anordnung von Hinweisschildern beachtet werden, die niedriger als sonst üblich angeordnet werden müssen, um den aus einem Unsicherheitsgefühl überwiegend nach unten sehenden behinderten Menschen und den Rollstuhlfahrern gerecht zu werden.

Zu den altersbedingten Sehschwächen kommen häufig noch krankheitsbedingte hinzu, die die Sehleistung stark verringern – meist jedoch ohne sichere Heilungschancen. Sehbehinderung liegt vor, wenn die Sehschärfe bei bestmöglicher Korrektur auf 0,1 gesunken ist.

- Etwa 50 % der Sehbehinderungen haben ihre Ursache in der altersbedingten Makuladegeneration (AMD), die ab dem 50. Lebensjahr auch die häufigste Erblindungsursache ist. Sie betrifft vornehmlich den Punkt des schärfsten Sehens (Fovea centralis, gelber Fleck).
- Weitere 18 % der Sehbehinderungen entfallen auf den grünen Star (Glaukom), einer Folge erhöhten Augeninnendrucks, durch den Ganglienzellen absterben, der Sehnerv beschädigt und das Gesichtsfeld kontinuierlich eingeengt wird.

- Mit 17 % ist die diabetische Retinopathie an Sehbehinderungen beteiligt, deren Ursache die Zuckerkrankheit (Überzuckerung des Blutes durch Insulinmangel) ist, die die Blutgefäße der Netzhaut und die Sehzellen beschädigt.
- 5 % der Sehbehinderungen entfallen auf den grauen Star (Linsentrübung, Katarakt). Die Zahl ist deswegen so gering, weil – wie oben beschrieben – durch Implantation einer neuen Linse die Sehleistung wiederhergestellt werden kann.

4.6.2 Beleuchtungsniveau

Aus den altersbedingten Sehbehinderungen folgen die Anforderungen an eine altengerechte Beleuchtung.

Diese betreffen insbesondere

- das Beleuchtungsniveau,
- die Begrenzung der Blendung (Direkt- und Reflexblendung),
- die Lichtfarbe,
- die Steuerung biologischer Funktionen durch Licht mit erhöhtem Blauanteil sowie
- die Begrenzung der Helligkeitsunterschiede.

Das Beleuchtungsniveau für Bewohner von Alten- und Pflegeheimen muss aufgrund der altersbedingten Sehschwächen deutlich höher sein, als es in den einschlägigen Normen, z. B. in EN 12464-1 [51], festgelegt ist. Abbildung 4.48 zeigt den Zusammenhang von Leuchtdichte und Sehschärfe von jüngeren im Vergleich zu älteren Menschen. Um die gleiche Sehschärfe in der Ferne zu erreichen, braucht eine 75-Jährige Person eine um etwa das 20-fache höhere Leuchtdichte auf dem Sehobjekt als eine etwa 40-Jährige. Das erforderliche Beleuchtungsniveau für ältere Menschen im Vergleich zu Jüngeren zeigt Abbildung 4.49. Wenn z. B. eine 30-jährige Person für müheloses Sehen 300 lx benötigt, braucht die 70-Jährige etwa 500 lx, d. h. einen um eine Stufe höheren Wert in der Skala der Beleuchtungsstärke.

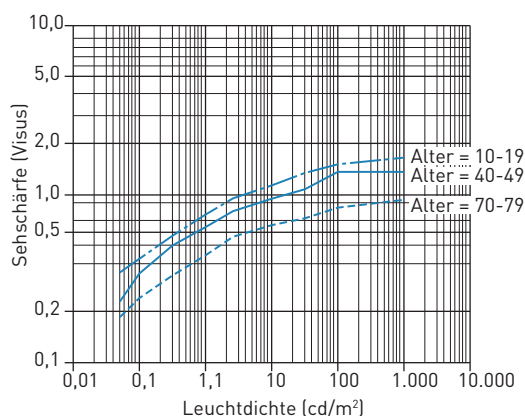


Abbildung 4.48: Sehschärfe und erforderliche Leuchtdichte im Alter. Anm.: Die Sehschärfe 1 (Visus 1) liegt vor, wenn ein Detail von 1,5 mm Größe in 5,0 m Entfernung erkannt wird.

Das Kuratorium Deutsche Altenhilfe (KDA) hat Mindestwerte der Beleuchtungsstärke für Altenheime erarbeiten lassen (Tabelle 4.67). Die Werte liegen in vielen Fällen um eine Stufe oder mehr höher als für vergleichbare Sehaufgaben nach EN 12464-1 [51] für jüngere Menschen. Mit diesen höheren Beleuchtungsstärken konnte insbesondere bei demenziell Erkrankten ein Abbau aggressiven Verhaltens und eine verbesserte Stimmungslage erreicht werden.

Grundsätzlich sollen alle Räume in Alten- und Pflegeheimen hohe Reflexionsgrade von Decke, Wänden und Boden aufweisen. Die Hauptflächen (Wände und Decke) sollten durch die Wahl und Anordnung der Leuchten ausreichend aufgehellert werden. Nach EN 12464-1 [51] sollten bei einer Beleuchtungsstärke von ≥ 500 lx die Wände mit mindestens 75 lx und die Decke mit mindestens 50 lx beleuchtet sein, Gleichmäßigkeit in beiden Fällen $\geq 0,10$. Doppelte Werte sind in diesen Anwendungsfällen anzustreben.

Die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung muss besser sein, als in EN 12464-1 [51] für Arbeitsstätten festgelegt ist. Dunkle Stellen und starke Schatten machen Älteren Angst, erhöhen die Unsicherheit und die Gefahr zu stürzen – nicht nur in Fluren und auf Treppen. Für die Kommunikation mit den Mitmenschen ist in 1,2 m über dem Boden (Augenhöhe sitzender Personen) eine zylindrische Beleuchtungsstärke E_z von mindestens 150 lx mit einer Gleichmäßigkeit von $\geq 0,10$ erforderlich.

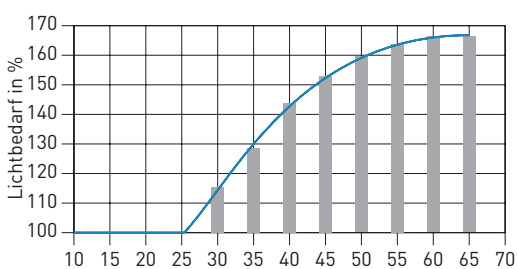


Abbildung 4.49

4.6.3 Blendung

Die Blendempfindlichkeit nimmt bei Senioren deutlich zu. Aufgrund der Lichtstreuung an der Hornhaut, der Linse und im Glaskörper legt sich ein Lichtschleier auf die Netzhaut, weswegen Ältere meist irritiert auf zu helle Flächen reagieren (Abbildung 4.50). Diesen Effekten kann durch Verringerung der Blendleuchtdichten und der berechenbaren und planbaren Blendziffer der Beleuchtung (UGR-Werte, siehe Kapitel 2.7.1 „Direktblendung“) entgegengewirkt werden. Empfohlen wird eine Verringerung der UGR-Blendziffer um eine Stufe, z. B. von $R_{UGL} = 22$ auf $R_{UGL} = 19$.

Störende Blendung entsteht z.B. in Fluren, an deren Ende sich taghelle Fenster oder Türen befinden, oder durch Leuchten, die direkt über der Flurmitte angeordnet sind. In beiden Fällen spiegelt sich die Leuchtdichte des Fensters oder der Leuchten auf dem meist hochglänzend polierten Bodenbelag und verursachen meist nicht nur für Ältere unerträgliche Blendung, die eine visuelle Wahrnehmung fast unmöglich macht (Abbildung 4.51). Abhilfe kann durch Vorhänge an den Fenstern und Anordnung von z. B. direkt-indirekt strahlenden Leuchten an der Decke oder den Wänden, durch ein höheres Beleuchtungsniveau im Flur und vor allem durch eine matte Oberfläche des Bodenbelages, der auch rutschfester ist, erreicht werden.

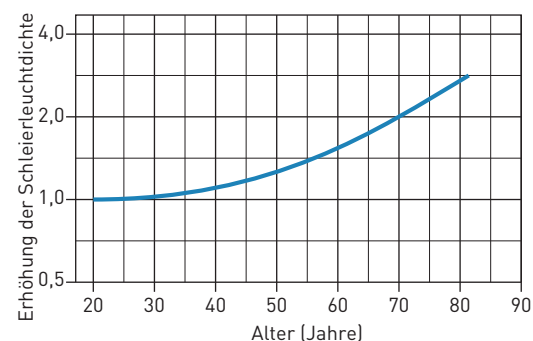


Abbildung 4.50

Abbildung 4.49: Erforderliches Beleuchtungsniveau und Alter

Abbildung 4.50: Erhöhung der Schleierleuchtdichte auf der Netzhaut aufgrund von Eintrittungen im Auge

Glänzende Flächen, auf denen sich störende Lichtreflexe bilden können, sind in Heimen überall anzutreffen: lackierte Tischflächen, hochglänzendes Geschirr, Bestecke und Gläser, Spiegel, Glastüren, verglaste Bilder usw. Insbesondere Demenzkranke werden durch solche Reflexe irritiert und reagieren spontan und unkontrolliert. Abhilfe ist durch geeignete Zuordnung von Lichtquellen und diesen spiegelnden Flächen aus der Hauptblickrichtung der Heimbewohner, durch matte Oberflächen und durch direkt-indirekte Beleuchtung zu erreichen.

Eine Beleuchtung über die Wandflächen durch sogenannte Wandfluter schafft eine gleichmäßige Aufhellung der vertikalen Fläche, gibt dem Flur eine klare Struktur und ist dabei blendfrei.



Abbildung 4.51:
Flurbeleuchtung:
links Beleuchtung
ohne Blendung,
rechts: Reflexionen
des Tageslichtes
am hochglänzenden
Bodenbelag und an
den Wänden führt
zu Blendung

4.6.4 Farben

Ältere Menschen empfinden Farben blasser. Pastellfarben sollten zu Gunsten gesättigter Farben vermieden werden. Kräftige Farben geben Orientierung, z.B. im Flur. Die Türen zu den privaten Wohnräumen sollten mit kräftigen Farben – möglichst mit auf die Bewohner bezogener Gestaltung – versehen sein, um sie wiederzuerkennen. Türen zu Räumen für das Personal sollten dagegen in der unauffälligen Wandfarbe angelegt sein und damit der Aufmerksamkeit der Bewohner entzogen werden.

Starke Farbkontraste können Ältere aber auch irritieren. Ältere Menschen – nicht nur Gehbehinderte – sehen aus Angst vor Stürzen vorwiegend nach unten. Starke Farbmuster (Farbkontraste) der Bodenbeläge, z.B. Mosaikmuster oder verschiedenfarbige Fliesen, können Hindernisse vortäuschen und verunsichern. Ähnliches gilt für stark gemaserte Holzflächen, die Verschmutzungen vortäuschen. Farbige Kontraste können dagegen z.B. an Treppen, Absätzen oder einzelnen Stufen die Aufmerksamkeit und die Sicherheit erhöhen. Hochglänzende Bodenbeläge sind wegen störender Reflexionen – insbesondere durch Fenster und Türen – und der Rutschgefahr zu vermeiden.

4.6.5 Blauer Lichtanteil

Große Probleme haben Ältere mit der eingeschränkten Blaulichtempfindung (Abbildung 4.52). Blaue Spektralanteile der Beleuchtung erreichen aufgrund der Gelbeinfärbung der Linse bei einer 75-jährigen Person im Vergleich zu einer 30-jährigen nur zu 20 % die Netzhautganglien, die den biologischen (circadianen) Rhythmus und damit den Melatoninhaushalt steuern (siehe auch Kapitel 3.3 „Licht und nicht-visuelle Wirkungen“). Die Folgen sind Verhaltensstörungen am Tage und Schlafstörungen in der Nacht. Aufgrund häufiger Gehunfähigkeit gehen diese Menschen auch nicht oder nur selten ans Tageslicht. Sie leben

überwiegend in Innenräumen und in der „biologischen Dunkelheit“ – also bei zu geringen Beleuchtungsstärken und zu geringen Farbtemperaturen der Beleuchtung. Dieser Zustand ist der Synchronisation an den circadianen Rhythmus nicht zuträglich.

Licht mit einem hohen Blauanteil, z. B. bei einer Farbtemperatur ≥ 6.500 K, das von der Decke bzw. von den oberen Wandpartien her in das Auge fällt, ist wegen der Verteilung der Blaurezeptoren vor allem im unteren Netzhautbereich um ein Vielfaches melanopisch (nicht visuell) wirksamer als punktuell und aus dem unteren Gesichtsfeldbereich ins Auge fallendes Licht (siehe Abbildung 4.53).

Abbildung 4.54 zeigt das Ergebnis einer Studie mit Alzheimerpatienten, die sich überwiegend in meist nur künstlich beleuchteten Innenräumen aufhielten. Die Ausgangssituation zeigt ein ungeordnetes Wach- und Schlafverhalten. Nachts waren die Patienten oft aktiv, am Tage schläfrig. Nach medikamentöser Melatoningabe hatte sich der Tag-Nacht-Rhythmus normalisiert. Nach Absetzen der Melatoningabe ist nach sechs Wochen wieder eine Störung des Schlaf-Wach-Rhythmus erkennbar. Daraus lässt sich ableiten, dass ein Behandlungserfolg auch durch körpereigene Produktion bzw. Unterdrückung des Melatonins erreicht werden muss. Versuche in Altenheimen

mit analog zum Tageslicht gesteuerten Lichtdecken haben dies bestätigt. Durch nur auf wenige Stunden pro Tag begrenzten Aufenthalt der Senioren unter einer Lichtdecke mit hohen Beleuchtungsstärke (ca. 1.500 lx) und einer Farbtemperatur von 6.500 K (Tageslicht) konnten solche typischen Tageslichtmängelsymptome kompensiert und Störungen des Tages- und Nachtrhythmus gelindert werden (siehe auch Kapitel 3.3.2 „Melanopische Wirksamkeit des Lichtes“).

Daraus ergibt sich für die Beleuchtung von Aufenthalts- bzw. Gemeinschaftsräumen in Alten- und Pflegeheimen die Empfehlung, bereichsweise eine spezielle Beleuchtungsanlage zu installieren. Zum Beispiel direkt-indirekt strahlende Leuchten oder eine Lichtdecke können das Beleuchtungsniveau und die Lichtfarbe – analog zum Tageslicht – dynamisch steuern und zur Synchronisierung des circadianen Rhythmus zeitlich begrenzt (z. B. zwei Stunden am Tage) eingesetzt werden. Diese Art der Behandlung hat einen Memoryeffekt. Unterbrechungen von bis zu zwei Wochen ändern den einmal intakt eingestellten Tag-Nacht-Rhythmus nur unwesentlich. Lichtdecken (Abbildung 4.55) lassen sich dazu in einem weiten Bereich einstellen. Von einer aktivierenden Beleuchtung mit bis zu 2.800 lx und 6.500 K zu Behaglichkeitsbeleuchtung z. B. 500 lx mit 2.700 K. Zwar erreichen solche Beleuchtungssysteme

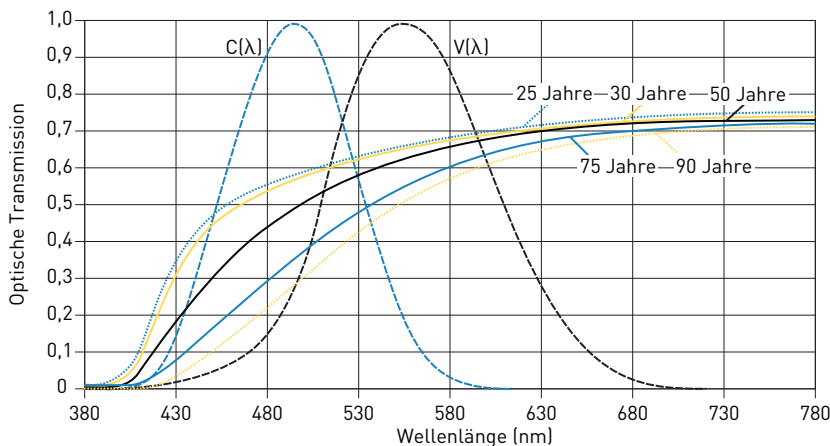


Abbildung 4.52: Altersabhängigkeit der Linsenentrübung im Vergleich zum Hellempfindlichkeitsgrad

keine exakte Nachbildung des natürlichen Tageslichtes, kommen mit ihren Eigenschaften jedoch in dessen Nähe. Solche Lichtlösungen haben sekundär auch den positiven Effekt, dass das Personal der Altenpflege während der Nacht einen geringeren Betreuungsaufwand hat.

leuchtungsstärke und der vertikalen Farbtemperatur des Tageslichtes gemessen (siehe Tabelle 4.66). Die Werte zeigen, dass Lichtdecken durchaus die positive biologische Wirkung des natürlichen Tageslichtes nachbilden können.

In einer süddeutschen Großstadt wurden am 1. Mai in Richtung Norden (also ohne direkte Sonneneinstrahlung) Werte der vertikalen Be-

leuchtung wieder ein normal eingestelltes Wach- und Schlafverhalten, ähnlich wie bei der

Abbildung 4.53: In das Auge gelangendes Licht mit erhöhtem Blauanteil ist im Bereich von 0° bis 45° melanopisch am wirksamsten

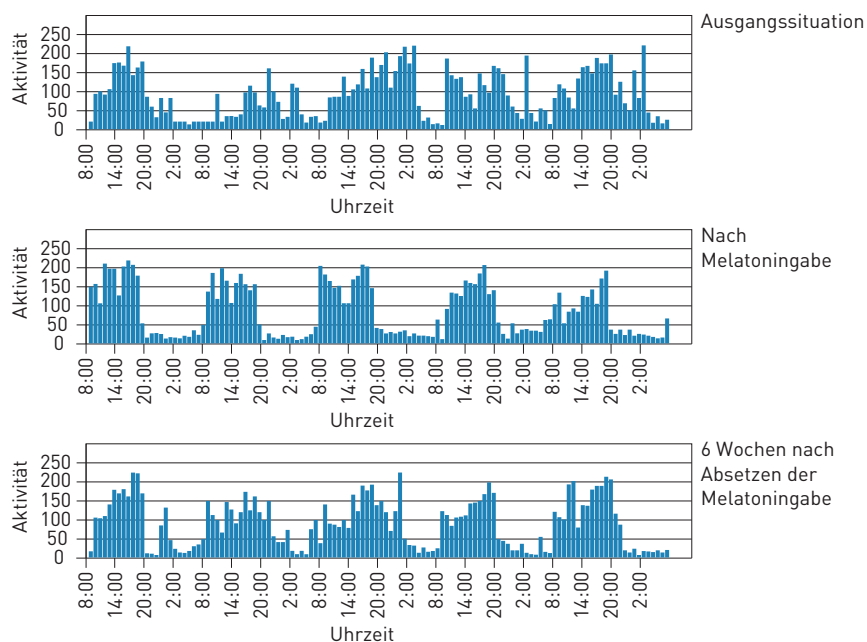
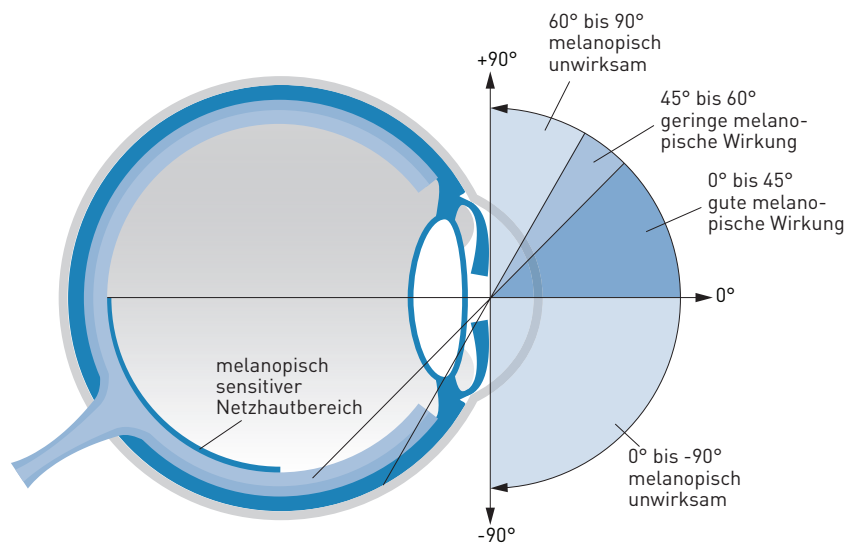


Abbildung 4.54: Erfolg der Melatoninbehandlung von Alzheimerpatienten in Bezug auf den Tag-Nacht-Rhythmus

Melatoninmedikamentierung (Abbildung 4.54), zeigte. Ferner konnten Depressionen verringert, Aggressionen reduziert und Demenzzustände abgeschwächt werden.

4.6.6 Helligkeitsunterschiede

Die Adaptationszeit der Älteren ist – wie auch die Akkommodationszeit – verzögert. Daraus folgen einige beleuchtungstechnische Notwendigkeiten.

Die Leuchtdichteverteilung in Räumen, in denen sich Ältere für längere Zeit aufhalten, sollte möglichst gleichmäßig, aber nicht monoton sein. Lichtakzente z. B. an den Wänden sind durchaus vorteilhaft, da sie die Attraktivität des Raumes steigern. Sie sollten jedoch nicht zu hohe Leuchtdichten aufweisen, maximal das Zehnfache der umgebenden Wandleuchtdichte.

Obwohl Licht und Schatten unerlässlich für eine sichere Orientierung im Raum sind, müssen „harte“ und „tiefe“ Schatten und damit starke Helligkeitskontraste, die durch stark gerichtetes Licht entstehen, in Alten- und Pflegeheimen vermieden werden. Das gilt insbesondere für die Beleuchtung von Bodenstufen und Treppen.

Benachbarte Räume dürfen keine großen Helligkeitsunterschiede aufweisen. Ein Unterschied im Beleuchtungsniveau von 1:3 sollte nicht über-

schritten werden. Diese Forderung gilt insbesondere für Räume mit direktem Zugang ins Freie, z. B. für Eingangshallen. Am Tage müssen die Innenbereiche nahe der Ausgangstüren deutlich heller sein – mindestens mit der doppelten Beleuchtungsstärke. Durch bauliche Maßnahmen außerhalb des Gebäudes, wie z. B. durch Vorräume, Eingangsschleusen, Vordächer o. Ä., können solche Adaptationswege zugunsten von Energieeinsparungen bei der künstlichen Beleuchtung im Innenraum realisiert werden. Nachts sollte möglichst außerhalb der Ausgangstüren ein abgestuftes Beleuchtungsniveau, in Stufen – abhängig vom Abstand zur Ausgangstür – von 50 % bis 20 % der Beleuchtungsstärke des Innenraumes, vorhanden sein, um die Orientierung für Ältere in beide Richtungen zu erleichtern.



Abbildung 4.55: Lichtdecke in einem Altenheim

Uhrzeit	Beleuchtungsstärke lx	Farbtemperatur K	Anmerkungen
6:00	<100	>10.000	
7:00	3.800	7.000	Aufgehende Sonne
8:00	7.000	7.500	
9:00-13:00	7.000-7.500	8.300	Nahezu konstanter Verlauf bei klarem Himmel
13:00-17:00	7.500-9.500	7.000-9.000	Starke Schwankungen durch Reflexion der Sonnenstrahlung am leicht bewölkten Himmel
17:00	7.500	8.000	
18:00	6.000	8.000	
19:00	4.000	7.000	
19:30	3.000	6.200	Untergehende Sonne
20:00	700	7.000	
21:00	< 100	> 10.000	

Tabelle 4.66: Vertikale Beleuchtungsstärke und Farbtemperatur des Tageslichtes in Richtung Norden (ohne direkte Sonnenstrahlung) am 1. Mai in einer süddeutschen Großstadt (gerundete Werte)

4.6.7 Lichttechnische Anforderungen

Pflege- und Seniorenheime Nach EN 12464-1 sollten die Wände mit einer Beleuchtungsstärke von mindestens 75 lx und die Decke von mindestens 50 lx beleuchtet sein, Gleichmäßigkeit für

beide $\geq 0,10$. Doppelte Werte sind anzustreben. Für die Kommunikation ist bei sitzenden Personen (stehenden Personen) in 1,2 m (1,6 m) über dem Boden eine zylindrische Beleuchtungsstärke E_z von mindestens 150 lx mit einer Gleichmäßigkeit von $\geq 0,10$ erforderlich (gilt bei einem Wartungswert der Beleuchtungsstärke von ≥ 500 lx).

Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m	R_{UGL}	U_o	R_a	Bemerkungen
					Beleuchtungsstärken in 0,85 m, bei Fluren und Treppen in 0,20 m über dem Boden. Lichtfarbe in allen Räumen warmweiß, Farbtemperatur < 3.300 K.
Wohn- und Bettenräume					
– Allgemeinbeleuchtung	500	19	0,60	80	Beleuchtung kann die Raumgestaltung wesentlich unterstützen, z. B. durch blendfreie Akzentbeleuchtung, Anstrahlung von Bildern usw.
– Lesebeleuchtung	500	19	0,70	80	Für den Lese-, Ess- und Arbeitsbereich ist –
– Ess- und Arbeitstisch	500	19	0,70	80	je nach Pflegegrad – eine Tisch- oder Standleuchte als Einzelplatzbeleuchtung vorzusehen.
Gemeinschaftsräume	500	19	0,60	80	Bei großen Gemeinschaftsräumen können auch Lichtinseln (Raumbereiche) mit unterschiedlichen Beleuchtungsanforderungen eingerichtet werden. Bei Mehrfachnutzung des Raumes muss die Beleuchtung regelbar sein. Zusätzlich: Dynamisch gesteuertes, melanopisch wirksames Licht (siehe Kapitel 3.3.1 „Human Centric Lighting [HCL]“)
– Fernsehen	300	19	0,60	80	Beleuchtung regelbar.
– Essen	500	19	0,60	80	Größere Kontraste zwischen dunklem Tisch (Tischdecke) und hellem Geschirr realisieren.
– Basteln, Spielen, Musizieren, Unterhalten	500	19	0,60	80	Helle, matte Tischoberflächen.
Eingangsbereiche	300	19		80	Adaptationsbeleuchtung beim Übergang ins Freie vorsehen.
Flure	300	19	0,60	80	
– Vor und in Aufzügen	500	19	0,60	80	
Treppenträume	500	19	0,60	80	Schlagschatten an Treppen und Bodenstufen vermeiden.
Bad, Dusche	500	19	0,60	80	
Toiletten	300	19	0,60	80	
Küchen	500	19	0,60	80	
Pflegearbeitsräume	300	19	0,60	80	Siehe auch Tabelle 4.51 und Kapitel 4.5 „Beleuchtung von Räumen des Gesundheitswesens“.
Untersuchungsräume	500	19	0,60	80	Siehe auch allgemeine bzw. spezielle Untersuchungsräume in Tabelle 4.52 und Kapitel 4.5 „Beleuchtung von Räumen des Gesundheitswesens“.
Haarpflege	500	19	0,60	90	Siehe auch Tabelle 4.13.
Kosmetik	750	19	0,60	90	

Tabelle 4.67:
Anforderungen an die Beleuchtung von Alten- und Pflegeheimen gemäß Empfehlungen des Kuratoriums Deutsche Altenhilfe (KDA) unter Berücksichtigung der DIN EN 12464-1 [51] und ergänzt durch eigene Erfahrungen.

4.7 Beleuchtung von öffentlichen Bereichen

Unter dem Begriff „Öffentliche Bereiche“ werden Arbeitsstätten verstanden, die sich in Gebäuden privater oder kommunaler Trägerschaften befinden und der Öffentlichkeit zugänglich sind, z. B. Rathäuser, Versicherungen, Banken sowie kulturelle Einrichtungen und Ausstellungen.

Eingangshallen, Empfangstheken, Wartebereiche, Kassen, Schalter und Garderoben sind oft die Visitenkarte eines Hauses mit hoher Imagewirkung, insbesondere für Banken, Versicherungen und Unternehmen. Die Beleuchtung dient hier neben der Verbesserung der Sicherheit beim Begehen der Flächen auch der Orientierung, insbesondere für Besucher. Licht und Farbe, Wegeleitsysteme und auffällig beleuchtete Hinweise schaffen Übersichtlichkeit und Vertrauen bei Besuchern und Beschäftigten.



4.7.1 Flure, Eingangshallen, Garderoben

Obwohl die Kriterien der Beleuchtung, insbesondere die Beleuchtungsstärke, für alle Verkehrsflächen und Flure in Gebäuden nach EN 12464-1 [51] mit 100 lx (siehe Kapitel 4.1.1, „Beleuchtung von Verkehrszonen und allgemeinen Bereichen in Gebäuden“) einheitlich festgelegt sind und damit auch für Verkehrsflächen und Eingangshallen in öffentlichen Bereichen gelten, besteht jedoch ein wesentlicher Unterschied in Bezug auf die visuellen Anforderungen.

In öffentlichen Bereichen sind es überwiegend Ortsunkundige, oft auch ältere und behinderte Menschen, die diese Verkehrsbereiche nutzen. Verkehrswege in Arbeitsstätten werden dagegen meist von den gleichen, an die Wegführung gewöhnten Menschen genutzt. Daraus folgt: In öffentlichen Bereichen wird empfohlen, Verkehrswege und Eingangshallen besser zu beleuchten als in EN 12464-1 [51] mindestens gefordert. Zusätzliche Markierungen, wie z. B. in den Boden eingebaute Lichtpunkte (ggf. auch mit farbigem Licht), helfen nicht nur älteren Menschen, eine bessere Orientierung im öffentlichen Gebäude zu erlangen.

Für die Allgemeinbeleuchtung in öffentlichen Bereichen sind direkt-indirekte Beleuchtungssysteme besonders geeignet. Sie erzeugen hier eine offene, kommunikative Beleuchtungsatmosphäre durch hohe vertikale Beleuchtungsstärken (siehe Kapitel 2.8 „Räumliche Beleuchtung, Lichtrichtung, Modelling“), um Ortsunkundigen mehr Sicherheit zu bieten. Die Anforderungen der Norm EN 12464-1 [51] an die Beleuchtungsstärken an Wänden und der Decke werden sicher erfüllt (siehe Tabellen 4.68 bis 4.73). Hohe Reflexionsgrade der Hauptoberflächen vermitteln den Eindruck einer guten Raumhelligkeit und tragen so zu einem positiven Raumklima bei.

In Eingangshallen und Eingangsbereichen mit wenig Tageslicht bewirkt eine statische Lichtfarbe der künstlichen Beleuchtung – z. B. neu-

tralweiß – häufig eine Barriere für den Eintritt in das Gebäude. Am Tage wirkt das Licht zu trist, am Abend ist es zu ungemütlich. Eine tageszeitlich angepasste Steuerung der Farbtemperatur – und ggf. auch der Beleuchtungsstärke – reduziert diese gefühlte Barriere und sorgt für einen harmonischen Übergang beim Eintritt und beim Verlassen des Innenraumes.

4.7.2 Warteräume, Kassen, Schalter und Beratungsbereiche

Werden in Warteräumen sowie Kassen- und Schalterbereichen Formulare ausgefüllt und anspruchsvolle Leseaufgaben, z.B. Lesen von Vertragstexten oder dem sogenannten Kleingedruckten, durchgeführt, sind diese Bereiche wie Büros mit mindestens 500 lx zu beleuchten. Das gilt insbesondere für speziell vorgesehene Schreib- und Leseplätze, wie sie z.B. in Postämtern und Wartebereichen in Behördengebäuden anzutreffen sind.

Kassen und Schalter, als dauernd besetzte Arbeitsplätze, sind ebenfalls wie Büroräume zu beleuchten. Man denke in diesem Zusammenhang an Kassenplätze in Banken, an denen Banknoten, Münzen und Belege schnell und sicher auf Echtheit erkannt werden müssen. Für den Nutzungsbereich der Kunden an Kassen und Schaltern können um eine Stufe geringere Beleuchtungs-

stärkewerte ausreichend sein, wenn die Sehaufgabe nur für kurze Zeit durchgeführt werden muss; anders jedoch bei den Bediensteten.

Auch für diese Bereiche sind erhöhte Beleuchtungsstärkewerte unter Berücksichtigung von Kontextmodifikatoren in den Tabellen der Norm EN 12464-1 [51] angegeben (siehe Tabelle 4.68). Insbesondere aufgrund wechselnden Publikums dürfen sie hier als dringend empfohlen angesehen werden. Dabei kann zonal, die Architektur unterstützend, beleuchtet werden. Helles und gestaltetes Licht – bevorzugt direkt-indirekt – grenzt die Arbeitsplätze von den normgerecht beleuchteten Verkehrszonen ab. Geeignetes Lichtmanagement sorgt für die Energie sparende Nutzung des Tageslichtes in fensternahen Bereichen und bei Bedarf für circadian wirksame Beleuchtung in Bereichen mit Tageslichtmangel (siehe Kapitel 3.3.1 „Human Centric Lighting [HCL]“).

4.7.3 Restaurants und Hotels

In Restaurants und Hotels sind gestalterische Beleuchtungskriterien vorrangig. Dennoch muss die Beleuchtung die wichtigsten Sehaufgaben zulassen, wie Speisekarten, Rechnungen usw. lesen.



Sehleistung, Sehkomfort und das visuelle Ambiente der Räume sind hier besonders auf die gewünschte visuell-optische Wirkung der Komposition von Raumausstattung und Beleuchtung abzustimmen.

Praxisgerechte Empfehlungen für die Gestaltung der Beleuchtung in diesen Raumgruppen enthält das Heft 11 der Schriftenreihe zur Lichtanwendung der Brancheninitiative „licht.de“, kostenloser Download unter www.licht.de.

4.7.4 Museen

Die Beleuchtung von Museen ist ein Spezialgebiet der Beleuchtungstechnik und ist im Allgemeinen Spezialisten vorbehalten. Neben der optischen und zuweilen sogar dramaturgischen Inszenierung von Ausstellungsgütern und der optimalen Wahrnehmbarkeit der Exponate durch die Betrachter sind die konservatorischen Aspekte der Beleuchtung von Museen und Galerien oberstes Gebot bei der Planung und Ausführung der Beleuchtung. Die Brancheninitiative „licht.de“ hat unter www.licht.de eine Schrift „Museumsbeleuchtung – Strahlung und ihr Schädigungspotential, konservatorische Maßnahmen“ und das Lichtwissen-Heft 18 „Gutes Licht für Museen, Galerien, Ausstellungen“ zum kostenlosen Download veröffentlicht.



Licht soll die Exponate präsentieren, nicht zerstören. Hierfür sind hinreichende Kenntnisse der Materialien und deren Anfälligkeit gegen Strahlung unterschiedlicher Spektren erforderlich.

Um die Schädigung der Exponate durch Wärmestrahlung von Glühlampen (Halogenleuchtampen) zu vermindern, empfiehlt das International Council of Museum (ICOM) die Beleuchtungsstärken auf dem Exponat zu begrenzen. Bezüglich der maximalen UV-Strahlungsleistung (ultraviolette Strahlung) werden $30 \mu\text{W}/\text{m}^2$ für den UV-A- und UV-B-Bereich genannt.

Gegenüber früheren Lampentechniken bieten heutige LED-Leuchten die Vorteile der vollständigen Vermeidung von UV-Anteilen in der Strahlung, sowie einen sehr geringen Anteil an IR-Strahlung (Infrarot bzw. Wärmestrahlung). Gleichzeitig sind Leuchten in großer Auswahl bzgl. Lichtfarbe, Farbwiedergabe, Lichtstrom und Lichtstärkeverteilung, bei Bedarf mit großem Dimmbereich, verfügbar.

4.7.5 Büchereien

Die Beleuchtung von Büchereien sollte im Allgemeinen hell und ausgewogen erfolgen. Für Bildschirmterminals ist die Vermeidung störender Reflexe zu beachten (siehe Kapitel [4.3](#), „Beleuch-



tung von Büros und Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen“). Die Beleuchtung der vertikalen Schrank- und Regalflächen erfordert besondere Beachtung, da sie im Gegensatz zu den entsprechenden Festlegungen im Büro meist höherwertige Sehaufgaben aufweisen (siehe Tabelle 4.73).

In Büchereien ist höchste Konzentration erforderlich. Jegliche Ablenkung stört – auch solche, die von der Belüftungs- bzw. Klimaanlage und eventuell auch von der Beleuchtungsanlage ausgeht. Leuchten mit Kunststoffabdeckungen zeigen gelegentlich beim Einschalten sogenanntes „Wannenknacken“, das auf der unterschiedlichen Wärmeausdehnung von Kunststoffen und Metallen beruht. Bald nach dem Einschalten solcher Leuchten – wenn thermische Stabilität der Leuchte erreicht ist – hören solche Knackgeräusche jedoch auf (siehe auch Kapitel 5.15 „Leuchten – akustische Eigenschaften“).



4.7.6 Lichttechnische Anforderungen

Allgemeine Bereiche (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltable“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_b	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a)	b)				mit $U_o \geq 0, 10$			
		lx	lx				lx	lx	lx	
28.1	Eingangshallen	100	200	0,40	80	22	50	50	30	R_{UGL} nur wenn anwendbar.
28.2	Garderoben	200	300	0,40	80	25	75	75	50	
28.3	Lounges	200	300	0,40	80	22	75	75	50	
28.4	Kassen	300	500	0,60	80	22	75	75	50	

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.68:
Lichttechnische
Anforderungen
an Allgemeine
Bereiche gemäß
DIN EN 12464-1 [51]

Restaurants und Hotels (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltable“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a)	b)				mit $U_o \geq 0, 10$			
		lx	lx				lx	lx	lx	
29.1	Rezeption/Kasse, Pförtner	300	500	0,60	80	22	100	100	75	
29.2	Küche	500	1000	0,60	80	22	100	100	75	Es sollte eine Übergangszone zwischen Küche und Restaurant vorhanden sein.
29.3	Restaurant, Speisesaal, Veranstaltungsraum	-	-	-	80					Die Beleuchtung sollte so gestaltet sein, dass eine angemessene Atmosphäre geschaffen wird. In Speiseräumen wird eine Grundbeleuchtung mit 200 lx empfohlen, Lichtfarbe nur warmweiß.
29.4	Selbstbedienungsrestaurant	200	300	0,40	80	22	75	75	50	
29.5	Buffet	300	500	0,60	80	22	75	75	50	
29.6	Konferenzräume	500	1000	0,60	80	19	150	150	100	Beleuchtung sollte regelbar sein. Raumhelligkeit, siehe Kapitel 2.6 „Leuchtdichteverteilung“.
29.7	Korridore	100	150	0,40	80	25	50	50	30	Während der Nacht ist ein geringeres Niveau zulässig. Beleuchtungsstärke auf Bodenhöhe.

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.69:
Lichttechnische Anforderungen an Restaurants gemäß DIN EN 12464-1 [51]

Theater, Konzerthallen, Kinos (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltable“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a)	b)				mit $U_o \geq 0, 10$			
		lx	lx				lx	lx	lx	
30.1	Proberäume	300	500	0,60	80	22	100	100	75	
30.2	Ankleideräume	300	500	0,60	90	22	100	100	75	Beleuchtung am Make-up-Spiegel muss frei von Blendung sein. Direktblendung sollte bei Make-up-Spiegeln vermieden werden.
30.3	Sitzbereiche – Wartung, Reinigung	200	500	0,50	80	22	50	50	30	Beleuchtungsstärke auf dem Boden
30.4	Lichtwerk des Bühnenbereichs	300	500	0,40	80	25	75	75	30	Beleuchtungsstärke auf dem Boden

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.70:
Lichttechnische Anforderungen an Theater gemäß DIN EN 12464-1 [51]

Messen und Ausstellungshallen (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltable“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a)	b)				mit $U_o \geq 0, 10$			
		lx	lx				lx	lx	lx	
31.1	Allgemeinbeleuchtung	300	500	0,40	80	22	50	50	30	

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.71:
Lichttechnische Anforderungen an Messen gemäß DIN EN 12464-1 [51]

Museen (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a) lx	b) lx				mit $U_o \geq 0, 10$ lx lx lx			
32.1	Exponate, lichtunempfindlich	-	-	-	80					Die Beleuchtung wird hauptsächlich von den Ausstellungsanforderungen bestimmt.
32.2	Exponate, lichtempfindlich	-	-	-	80					Die Beleuchtung wird hauptsächlich von den Ausstellungsanforderungen bestimmt. Schutz gegen Schädigung ist von höchster Wichtigkeit. Bei der Auswahl der Lichtquellen konservatorische Fragen hinsichtlich möglicher Schädigung der Exponate berücksichtigen.

Tabelle 4.72:
Lichttechnische
Anforderungen
an Museen gemäß
DIN EN 12464-1 [51]

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Büchereien (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a) lx	b) lx				mit $U_o \geq 0, 10$ lx lx lx			
33.1	Bücherregale	200	300	0,40	80	19	-	-	-	Vertikale Beleuchtungsstärke an Bücherregalen. Für die Beleuchtung von Bücherregalen gilt der R_{UGL} Wert nicht.
33.2	Lesebereiche	500	750	0,60	80	19	100	100	50	Es sollte für eine angenehme Atmosphäre gesorgt werden.
33.3	Theken	500	750	0,60	80	19	150	150	50	
33.4	Allgemeinbeleuchtung	300	500	0,40	80	22	75	75	50	

Tabelle 4.73:
Lichttechnische
Anforderungen
an Büchereien gemäß
DIN EN 12464-1 [51]

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

4.8 Beleuchtung von Verkaufsräumen

Die Beleuchtung von Verkaufsräumen wird stärker von der repräsentativen und verkaufsfördernden Gestaltung des Verkaufsräumens und der Warenpräsentation bestimmt als von den visuellen Anforderungen, die die darin arbeitenden Menschen an die Beleuchtung stellen.

Unbestritten müssen Mindestwerte der Beleuchtungsquantität und -qualität für das Verkaufspersonal in den wichtigsten Bereichen der Sehaufgabe eingehalten werden, so im Kassen-, Service- und Infobereich, denn Verkaufsräume sind auch Arbeitsstätten.

4.8.1 Beleuchtungskonzept

Corporate Identity und der Wiedererkennungswert eines Verkaufsräumens bestimmen dessen Ausstattung, wozu auch das Beleuchtungskonzept gehört. Licht dient zum Orientieren, Akzentuieren und Inszenieren.

Licht zum Sehen, die Sehleistung, steht in Handelsunternehmen mit Niedrigpreisniveau, wie z.B. in Baumärkten, Lebensmittel- und Schuh-Discountern im Vordergrund. Eine Großraumarchitektur mit der Warenpräsentation und meist auch integrierter Warenlagerung sowie einfache Beleuchtungssysteme bestimmen den Raum. Die Sehleistung wird durch das Be-



leuchtungs niveau (Beleuchtungsstärke) und die Blendungsbegrenzung gekennzeichnet.

Der Sehkomfort, also Licht zum Sehen und Ansehen, dominiert in Handelsunternehmen mit hohem Qualitätsniveau, wie in Kaufhäusern, Fachgeschäften und Apotheken mit Markenartikeln und eindeutig strukturiertem Warensortiment. Hochwertige Beleuchtungssysteme für Allgemein- und Akzentbeleuchtung bilden Lichtszenen. Eine harmonische Helligkeitsverteilung und gute Farbwiedergabe sind weitere Kriterien der Beleuchtung.

Das visuelle Ambiente wird durch Lichtfarbe, Lichtrichtung und Schattigkeit bestimmt. Hochwertige Beleuchtungssysteme mit effektorientierten Lichtszenarien liefern Licht zum Ansehen und Hinsehen. Handelsunternehmen und Shop-in-Shop-Bereiche mit ausgeprägter Erlebnisorientierung, wie Modehäuser und Lebensmittelspezialisten, kombinieren die Warenpräsentation als eine Produktbühne mit imageorientierter Ladenarchitektur.

Je nach den Prioritäten der Waren- und Verkaufsstrategie und damit des Beleuchtungskonzepts ergeben sich gerade in Verkaufsräumen unterschiedliche Anforderungen an die Beleuchtung.



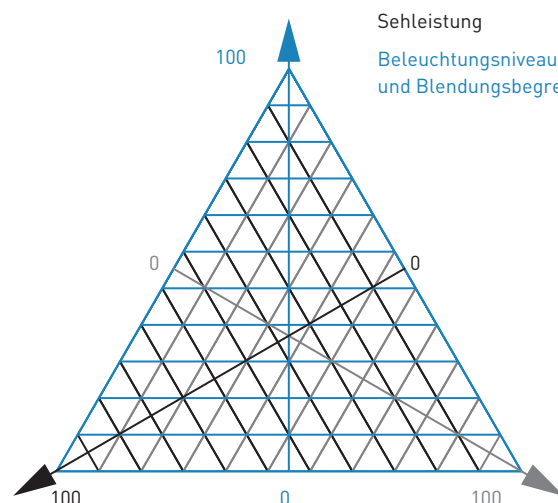
4.8.2 Supermärkte und Discounter

Im Mittelpunkt der Vertriebsstrategie eines Supermarktes steht die Effizienz des Verkaufs. Ware anbieten, den Kunden führen und informieren sowie für die Waren werben sind die zentralen Themen.

Die Beleuchtung von Supermärkten, wie z.B. für Lebensmittel, Baustoffe, Möbel usw., geht vornehmlich von folgenden Begriffen aus (siehe Abbildung 4.57):

Abbildung 4.56:
Je nach dem Konzept des Verkaufsraumes bestimmen die Sehleistung, der Sehkomfort oder das visuelle Ambiente die Kriterien für die Beleuchtung

Sehkomfort
Harmonische Helligkeitsverteilung und gute Farbwiedergabe



Visuelles Ambiente
Lichtfarbe, Lichtakzente und Schattigkeit

- Kunden zu den Warenstationen führen, – Ware deutlich erkennbar machen und anbieten, – den Bedarf der Kunden wecken und für die Ware werben,
- über die Waren informieren,
- schnelle und zielgerechte Kaufentscheidungen fördern.

Insofern werden Supermärkte mit einer eher zweckbestimmten Allgemeinbeleuchtung mit 300 lx im Verkaufsbereich und mit 500 lx im Kassenbereich bzw. an Packtischen versehen, die nur vereinzelt durch Lichtakzente im Bereich der Warenpräsentation aufgelockert wird. Diese Beleuchtung erfüllt die Sehaufgaben von Personal und Kunden.

Bei einfacher Ausstattung der Verkaufsräume wird oft übersehen, dass neben der ausreichenden Beleuchtungsstärke auch die Begrenzung der Direktblendung ein unverzichtbares Qualitätsmerkmal der Beleuchtung ist. Der für den Verkaufsbereich maximal zulässige Wert von $R_{UGL} = 22$ erfordert abgeschirmte Leuchten mit begrenzter Leuchtdichte. Von sehr breit strahlenden Leuchten mit hohem Lichtstrom wird dieser Wert oft überschritten.

Aus der Sicht des Personals im Kassenbereich und an Packtischen ist die Blendung auf $R_{UGL} \leq 19$ zu begrenzen. Dabei ist zu beachten, dass Blendung in diesen Bereichen auch wesentlich von den Leuchten der angrenzenden Verkaufsflächen ausgehen kann (siehe auch Kapitel 2.7 „Begrenzung der Blendung“).



(a) Strategie eines Discounters



(b) Strategie eines Shops bzw. Fachgeschäftes

Abbildung 4.57: Strategie eines Supermarktes und eines Shops bzw. Fachgeschäftes

4.8.3 Shops und Fachgeschäfte

Im Mittelpunkt der Vertriebsstrategie von Shops und Fachgeschäften steht das Prestige. Präsentieren, Inszenieren, Erleben und Inspirieren sind die Kerntemen.

In Shops und Fachgeschäften sowie in entsprechenden Fachabteilungen in Warenhäusern mit höherwertigem Warenangebot sind demzufolge die Vorgaben für die Raum- und Lichtgestaltung andere als in Discountern:

- Verkaufsraum inszenieren,
- Kunden inspirieren,



- Ware repräsentativ darstellen,
- den Verkaufsraum zur Erlebniswelt machen,
- das Prestige von Kunden und Anbieter heben.

Die Shopbeleuchtung besteht im Wesentlichen aus einer Grundbeleuchtung horizontaler und vertikaler Flächen in Verbindung mit vielfältiger Akzentbeleuchtung. Damit werden Szenen unterschiedlicher Produktpräsentation geschaffen. Bereichsweise sehr hohe Beleuchtungsstärken, gute bis sehr gute Farbwiedergabe der Lichtquellen, in Niveau und Lichtfarbe dynamisch sich änderndes punktuell oder auch flächiges Licht (LED-Licht mit sich langsam ändernden Farben), die richtige Mischung von Licht und Schatten, aber auch die Gefahr der Ausbleichung sind wichtige Kriterien für die Shopbeleuchtung.

Shopbeleuchtung ist meist eine inszenierende Beleuchtung, um Kunden in das Ladenlokal zu locken und ihnen den Aufenthalt so angenehm wie möglich zu gestalten und zum langen Verweilen zu veranlassen. „Licht lockt Leute“, „Licht hilft werben“, „Licht hilft verkaufen“ und „Die Füße gehen dahin, wo die Augen schon sind“ sind Slogans, die diese Lichtinszenierung bestimmen.

4.8.4 Beleuchtungsplanung

Grundsätzlich gilt: Um den Kunden in den Verkaufsraum optisch hineinzulocken, muss der Kunde schon vom Außenbereich her wahrnehmen, was ihn drinnen erwartet. Neben Aufstellern und Waren im Eingangsbereich, die nicht in jedem Fall platziert werden können, ist hier das Schaufenster von zentraler Bedeutung. Farbgestaltung und Lichtakzente hoher Leuchtdichte fangen den Blick des Passanten ein. Dies nicht nur in den Abendstunden, sondern auch an sonnigen Tagen zu erreichen, kann – je nach Struktur, geografischer Ausrichtung und Umgebung der Ladenfassade – eine Herausforderung für den Lichtplaner bedeuten. Ggf. ist auch die Umgebung mit einzubeziehen. Um auf Schaufenstern starke Sonnen- und Himmelsreflexionen sowie Spiegelungen des vorbeifließenden

Verkehrs oder gegenüberliegender Häuserzeilen zu vermeiden, können diese z. B. durch Markisen beschattet werden.

Bei günstigeren Umgebungslichtverhältnissen sollte ebenfalls der Hauptakzent der Beleuchtung auf dem Schaufenster liegen, gleich gefolgt vom Eingang in das Verkaufsgeschäft; und wenn durch das Schaufenster oder den Eingang direkt in den Verkaufsraum gesehen werden kann, auch die dort hell beleuchteten Warenpräsentationen.

Die Gestaltung der Beleuchtung von Verkaufsräumen steht also im Allgemeinen in direkter Abhängigkeit von der Außenhelligkeit. Ein dunkles Schaufenster am Tage wird nicht eingesehen. Ein dunkler Eingang wird nicht begangen und der direkte Blick in einen zur Außenhelligkeit vergleichsweise finsternen Verkaufsraum wird kaum Kunden anlocken. Auffällig wahrnehmbare Leuchtdichten auf Waren im Schaufenster und im Innenraum, z. B. auf den Lichtaustrittsflächen von außen sichtbarer Leuchten, signalisieren dem potentiellen Kunden, dass er willkommen ist.

Günstiger liegen die Verhältnisse in der Dunkelheit. Hier ist es wesentlich einfacher, durch ein deutlich höheres Beleuchtungsniveau des Ladenlokals im Vergleich zum Außenbereich, die erwünschte Aufmerksamkeit beim Kunden auszulösen. Häufig empfiehlt sich ein Lichtmanagement, um die künstliche „Tagesbeleuchtung“ herunterzuregulieren und die Lichtverteilung auf die geänderte Umgebung zu optimieren.

Aufgrund der Erfahrungen von akzeptierten Leuchtdichterelationen lassen sich Werte der Beleuchtungsstärken für Schaufenster, für Geschäftseingänge und die wichtigsten Flächen im Verkaufsraum ableiten: Ausgehend von einem extrem hellen Tag mit einer Beleuchtungsstärke außerhalb von Verkaufsräumen von 100.000 lx, die durch Markisen auf 30.000 lx reduziert wird, sollten die Exponate im Schaufenster mit einer vertikalen Beleuchtungsstärke E_v (je nach dem Reflexionsgrad der präsentierten Waren) von 1.000 lx bis 1.500 lx beleuchtet sein. Für den

Eingangsbereich wird am Tage eine horizontale Beleuchtungsstärke E_h von 1.500 lx bis 2.000 lx empfohlen, um eine angenehme Adaptation beim Eintritt zu ermöglichen.

Weitere Hinweise für die Planung und Gestaltung der Beleuchtung von Verkaufsräumen können dem Heft 6 der Schriftenreihe „licht.wissen“ der Brancheninitiative licht.de entnommen werden.

Auf eine farbverfälschende Wirkung durch ungeeignete Leuchtmittelspektren oder durch Reflexionen an farbigen Wänden, Mobiliar, Bedachungen, Markisen – insbesondere für Bereiche der Warenpräsentation – ist in Bezug auf eine irreführende Farbwahrnehmung zu achten. Zum Beispiel sind die Waren in Bekleidungsgeschäften bei der Lichtfarbe zu beurteilen, bei der diese Produkte überwiegend getragen werden: Abendgarderobe bei warmweißer Beleuchtung, Tagesgarderobe bei tageslichtweißer Lichtfarbe.

Bezüglich eventueller Beeinflussung des Aussehens von Fleisch und Fleischerzeugnissen siehe Kapitel 4.2, „Beleuchtung industrieller und handwerklicher Arbeitsstätte“, Abschnitt „Nahrungs- und Genussmittel“, und besondere Festlegungen für Lampen für die Beleuchtung von Fleisch und Fleischerzeugnissen. Sonderlampen für die Beleuchtung von Fleischverkaufsvitrinen weisen im Spektrum meist einen höheren Rotanteil auf, um das Fleisch frisch erscheinen zu lassen. Diese Speziallichtfarben sind nur für die Warenpräsentation, nicht jedoch für die Beleuchtung des Verkaufsraumes einzusetzen.

Neben der realistischen Farbwahrnehmung der Lebensmittel ist die schädigende Wirkung der Lichtstrahlung auf Lebensmittel ein vorrangiges Merkmal der Beleuchtung. Heutige LED-Lichtquellen führen dazu, dass Fleischwaren, Käse, Backwaren, Obst und Gemüse sowie nahezu alle Fischwaren in ihrer Haltbarkeit nur geringfügig beeinflusst werden, wenn sie mit moderaten Beleuchtungsstärken beleuchtet werden. Frühere Lampentechniken wiesen häufig schädigende Spektren auf oder erzeugten deutlich mehr Wärme, die sich nachhaltig auf die Lebensmittel

auswirken konnte. Die schädigenden Belastungen der Waren werden mit LED-Leuchten vermieden, weil deren Strahlung frei von Infrarot- und Ultraviolett-Strahlungsanteilen ist.

LED-Leuchten sind heute Standard im Lebensmittelbereich. Neben dem Einsatz in der Allgemeinbeleuchtung des Geschäftes befinden sie sich in Kühlmöbeln, beispielsweise für Molkereiprodukte bzw. abgepackte Fleisch- und Wurstwaren oder Käse. Sie sind ebenfalls prädestiniert für die appetitliche Inszenierung von Obst und Gemüse oder Backwaren.

Zum Beispiel werden für Obst und Gemüse mit ihren vielfältigen Eigenfarben warme Lichtfarben verlangt. Die Frische von roten Fischarten lässt sich mit warm tonigem und die von weißen Fischarten mit kühlem Licht betonen. Bei Fleisch und Wurst mit ihrem hohen Rotanteil muss das Weiß des Fettanteils sichtbar bleiben. Warme Lichtfarben eignen sich für gelblichen Käse, eher weiß erscheinende Sorten benötigen eine kühlere Lichtfarbe. Backwaren erfordern warme Lichtfarben, Sahnetorten benötigen weißes Licht.

Leuchten sind in Ausführungen mit geeigneten Lichtfarben und Lichttechniken für alle Anwendungen in Verkaufsbereichen bei den spezialisierten Herstellern verfügbar.

4.8.5 Energieeffizienz

Energieeffizienz bedeutet bestmögliche Beleuchtung bei minimiertem Energieeinsatz. Die Kosten für Elektroenergie werden steigen. Die Optimierung des Energiebedarfs durch energieeffiziente Beleuchtungssysteme ist ein Beitrag zu Ressourcen- und Klimaschutz sowie zur Verbesserung des Geschäftsergebnisses.

Die Energiekosten für die Beleuchtung von Verkaufsräumen machen einen wesentlichen Anteil an den Gesamtkosten eines Verkaufsgeschäftes aus. Sie betragen im Lebensmittelhandel etwa

nur 25 %. 55 % müssen dagegen für Klimatisierung der Räume und Kühlung der Waren aufgewendet werden. Im Handel vieler Nonfood-Waren ist die Beleuchtungsenergie im Mittel mit etwa 62 % an den gesamten Energiekosten beteiligt, in Einzelfällen, wie z. B. in Baumärkten, sogar mit 76 %.

Mit Hilfe eines Lichtmanagementsystems kann die Beleuchtung entsprechend der Außenhelligkeit reduziert werden, ohne Verlust an werblicher Wirkung, aber mit Gewinn für das Energiebudget. Auch können durch zeitlich wechselndes Dimmen oder durch sich verändernde Lichtschwerpunkte im Verkaufsraum die Dynamik der Beleuchtung verbessert, die Zonen größerer Aufmerksamkeit verschoben und Energie eingespart werden. Und schließlich kann außerhalb der Geschäftszeiten die Beleuchtung, ohne Verlust ihrer Außenwirkung, stark reduziert werden. Weitere Hinweise zur Energieeffizienz sind in den Kapiteln [3.4](#) „Licht und Wirtschaftlichkeit“ und [3.5](#) „Licht und Umwelt“ enthalten.

4.8.6 Lichttechnische Anforderungen

Verkaufsräume (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtenauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a)	b)				mit $U_o \geq 0, 10$			
		lx	lx				lx	lx	lx	
27.1	Allgemeine Verkaufsflächen	300	750	0,40	80	22	75	75	30	Eine ausreichende vertikale Beleuchtungsstärke in den Regalen ist sicherzustellen. Besondere Anforderungen an die Lichtfarbe der Lampen in Verkaufsbereichen von Fleischwaren, Fisch, Blumen sowie Obst und Gemüse beachten.
27.2	Kassenbereich	500	1000	0,60	80	19	100	75	30	
27.3	Verpackungsbereich	500	1000	0,60	80	22	100	-	50	
27.4	Lagerbereich	300	500	0,40	80	25	50	-	-	
27.5	Umkleide-/Anproberaum	300	500	0,40	90	-	-	-	-	Eine vertikale Beleuchtungsstärke und Modelling vor dem Spiegel berücksichtigen.

Tabelle 4.74:
Lichttechnische
Anforderungen an
Verkaufsräume gemäß
DIN EN 12464-1 [\[51\]](#)

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel [2.4](#) „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

4.9 Beleuchtung von Ausbildungsstätten

Lernen ist ein lebenslanger Prozess. In Kindergärten und den allgemeinbildenden Schulen, den Fach- und Hochschulen, der Berufsbildung und in den Abend- und Volkshochschulen der Erwachsenenbildung sind etwa 50 % der deutschen Bevölkerung auf dem Weg der Aus- und Weiterbildung – somit fast 40 Millionen Menschen, mit einer hohen Anzahl und Vielfalt der Ausbildungsstätten. Ihre Ausstattung bestimmt die Effektivität und damit die Qualität des Lernens. Nachhaltige Investitionen in Ausbildungseinrichtungen führen daher langfristig zu hohem Nutzen für den Einzelnen und die Gemeinschaft.

Vorschulischer Unterricht, Lernen, Studieren und Lehren ist anspruchsvolles Arbeiten mit hohen visuellen Ansprüchen. Unterschiedliche Tätigkeiten mit häufigem Blickwechsel zwischen horizontalen Arbeitsflächen und vertikalen Demonstrations- und Informationsflächen, unterschiedliche Arbeitsmittel mit wechselnden Kontrasten und Detailgrößen, unterschiedliche Blickrichtungen bei freier und gerichteter Sitzanordnung und wechselnde, optische Kommunikation zwischen Lernenden und Lehrenden bestimmen die visuelle Sehleistung in Unterrichtsräumen.

Gute Beleuchtung und die innenarchitektonische Gestaltung der Räume fördern die Konzentration, Motivation, den Lernwillen und die Aufmerksam-



keit. Schulische Erfolge hängen von der wahrgenommenen Atmosphäre im Unterrichtsraum ab, wozu unterschiedliche Kriterien der Beleuchtung einen entscheidenden Beitrag leisten.

4.9.1 Bereich der Sehaufgabe

Wegen der häufig vorkommenden freien Sitzanordnung kann in den meisten Fällen der gesamte Klassenraum als Bereich der Sehaufgabe angesehen werden, ggf. abzüglich eines Randstreifens von 0,5 m an den Wänden. In anderen Fällen ist der Bereich der Sehaufgabe durch den Bestuhlungsbereich definiert.

In einigen Räumen ist der Bereich der Sehaufgabe jedoch speziell zu ermitteln, wie etwa in Räumen für den Musikunterricht, für die handwerkliche Ausbildung und für die Lehrmittelsammlungen, in denen sowohl vertikale als auch horizontale Sehaufgaben in unterschiedlichen Bereichen vorliegen und entsprechend zu beleuchten sind. Für die Beleuchtung vertikaler Schrank- und Regalflächen sind hier die entsprechenden Anforderungen in Büros (siehe Kapitel 4.3 „Beleuchtung von Büros und Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen“) einzuhalten.

In Zeichen- und Malsälen und Räumen für technisches Zeichnen befindet sich der Bereich der Sehaufgabe meist auf geeigneten Flächen (Staffelei, Zeichenbrett), z. B. auf einer Ebene um 75° zur Horizontalen geneigt. Vergleiche hierzu auch Tabelle 4.28 und Kapitel 4.3.4 „Beleuchtung von CAD-Räumen“.

Für viele Sehaufgaben in Bildungseinrichtungen sind die lichttechnischen Anforderungen in der Tabelle 4.78 explizit aufgeführt und kommentiert.

4.9.2 Allgemeinbeleuchtung

Für Unterrichtsräume wird meist eine Allgemeinbeleuchtung vorgesehen. Die Unterrichtsform und ihre spezifische Sitzanordnung und Raumnutzung bestimmen Eigenschaften und Anordnung der Leuchten. Die freie Sitzanordnung für die Teamarbeit und die klassische, gerichtete Sitzanordnung mit Blick auf die Wandtafel können in kürzeren Zeitabständen wechseln. Häufig wird die klassische Schultafel durch Whiteboards, Beamerpräsentationsflächen und weitere Informationstafeln und Schaubilder ergänzt oder gar ersetzt. Dadurch ändert sich auch die Blickrichtung der Schüler und Lehrer im Laufe der Unterrichtszeiten. Die Beleuchtung muss davon unabhängig ausgelegt sein. Dazu sind insbesondere drei Kriterien der Beleuchtung im Zusammenhang zu betrachten:

- Mit der Neuauflage der europäischen Beleuchtungsnorm EN 12464-1 [51] wird für allgemeine Unterrichtsräume eine generelle Mindestbeleuchtungsstärke von 500 lx angegeben, die unter Berücksichtigung von Kontextmodifikatoren ggf. bis auf 1.000 lx anzuheben ist. Als Kontextmodifikatoren können insbesondere die zeitweise Nutzung der Räume für die Erwachsenenbildung oder für Unterricht mit höheren Sehanforderungen betrachtet werden.
- Außerdem ist ein gutes Modelling (siehe Kapitel 2.8) erforderlich, um eine ausreichende zylindrische Beleuchtungsstärke E_z von 150 lx in 1,6 m Höhe für eine gute Kommunikation mit dem Lehrer oder Referenten bereitzustellen.
- Eine Blendungsbegrenzung von $R_{UGL} = 19$ ist zu beachten.

Um die Beleuchtungsstärke gemäß dem jeweiligen Bedarf steuern zu können, wird in der Norm ein geeignetes Lichtmanagement empfohlen (siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“).

Um bei hohem Beleuchtungsniveau hohe Blendleuchtdichten zu vermeiden, können Leuchten mit großflächig-homogenem Lichtaustritt bevorzugt verwendet werden. Auch ein indirekter

Lichtanteil wirkt sich – bei geeigneten räumlichen Voraussetzungen – positiv auf Blendungsbegrenzung und Modelling aus.

Aber auch ein weiterer Aspekt, über die Sehleistung hinaus, kann mit einer guten Allgemeinbeleuchtung berücksichtigt werden, denn Licht beeinflusst auch die Stimmung, die Emotionen und die mentale Aufmerksamkeit von Menschen.

Schüler halten sich am liebsten draußen bei Tageslicht auf. Mit seinem natürlichen Verlauf gibt es uns den Rhythmus des Tages vor, der Leistungsfähigkeit und Ruhebedarf steuert. Auch künstliches Licht kann die circadianen Rhythmen (circadianes System) unterstützen und anpassen sowie den physischen und psychischen Zustand des Menschen beeinflussen (Einzelheiten siehe Kapitel 3.3, „Licht und nicht-visuelle Wirkungen“). Insbesondere in Schulen sind die Korrelation von Licht und Leistungsbereitschaft und die melanopische Wirkung von dynamischem Licht für den Lernerfolg wichtig. Eine dynamisch dem Tageslichtverlauf entsprechend gesteuerte Allgemeinbeleuchtung in Unterrichtsräumen passt bei nicht ausreichender Tageslichtversorgung die Raumbeleuchtung den natürlichen Lichtverhältnissen an. Dies kann mit einem neuen Kriterium der Beleuchtung beschrieben werden: Die Variabilität der Beleuchtung.

In einer durch eine deutsche Universität begleiteten Langzeitstudie [178] wurden Schüler und Lehrer bei einer Beleuchtung für „Aktivieren“ (650 lx, 12.000 K), für „Konzentriertes Arbeiten“ (1.000 lx, 6.000 K) und „Beruhigen“ (300 lx, 2.900 K) mit einer Personengruppe unter Normbedingungen (300 lx und 4.000 K) verglichen. Das Ergebnis über den Nutzen von dynamischer Beleuchtung in Schulen zeigt:

- Die Lesegeschwindigkeit steigt.
- Die Fehlerhäufigkeit bei Testaufgaben nimmt ab.
- Die Bewegungsunruhe der Schüler geht zurück.

Chronobiologen empfehlen dynamische Beleuchtung in Schulen. Am Morgen sollte mit ca. 3.000 K gestartet und die Farbtemperatur bis etwa 11 Uhr auf 6.000 K gesteigert werden. In Abendschulen und z.B. in Seminarräumen von Hochschulen sollte ab etwa 18 Uhr nur warmes Licht mit etwa 2.700 K und geringem Blauanteil den Raum beleuchten.

Um das dynamische Licht zu realisieren, sollten die eingesetzten Leuchten und das Lichtmanagementsystem dafür geeignet sein. Für das Lichtmanagement ist das in der Regel allein eine Frage der Software. Leuchten mit steuerbarer Farbtemperatur sind heute dank der LED-Technik in nahezu allen Bauformen verfügbar (siehe auch Kapitel 3.3.6 „Human Centric Lighting und Lichtplanung“). Bei TRILUX werden sie als Active-Leuchten bezeichnet und durch den Zusatz ...Act... in der Leuchtenbezeichnung gekennzeichnet (z. B. LuceoS Act D/H2-L CDP 6500 ETDD 01).

In älteren Beleuchtungsanlagen sind ggf. Leuchten mit Leuchtstofflampen unterschiedlicher Lichtfarbe eingesetzt, deren Anteil am Gesamtlichtstrom durch dimmen verändert wird (siehe Kapitel 3.3, „Licht und nicht-visuelle Wirkungen“).

4.9.3 Wartungsfaktor

Die Höhe des zu installierenden Neuwertes der Beleuchtungsstärke hängt von ihrer Degradation (Verringerung) ab, die aufgrund der Alterung der Leuchtmittel und der Verschmutzung von Leuchten und Raum auftritt. Diese wird mit Hilfe des Wartungsfaktors berücksichtigt (siehe Kapitel 3.1 „Wartungsfaktor“). In Ausbildungseinrichtungen, wie in allgemeinen Unterrichtsräumen und Lehrwerkstätten, müssen das tatsächlich zu erwartende Wartungsintervall und die Art der Wartung realistisch eingeschätzt und der Wartungsfaktor entsprechend gewählt werden. Unter den Bedingungen, wie sie in allgemeinbildenden Unterrichtsstätten anzutreffen sind,

ist überwiegend der Referenz-Wartungsfaktor von 0,80 anzusetzen. Bei individueller Bestimmung aufgrund objektspezifischer Daten können auch andere Wartungsfaktoren erreicht werden. In diesen Fällen sind die Voraussetzungen für deren Bestimmung zu dokumentieren.

Bei starker Verstaubung, z.B. in Werkräumen, oder bei der Planung langer Wartungsintervalle, z.B. bei extremen Wartungsbedingungen in hohen Räumen mit erschwerter Zugänglichkeit zu den Leuchten, sind geringere Wartungsfaktoren anzusetzen. In spezifischen Fällen kann sogar ein Wartungsfaktor von bis zu 0,5 erforderlich sein, um die zulässigen Mindestwerte der Beleuchtungsstärke (Wartungswerte) nicht zu unterschreiten. Eine Regelung der Beleuchtung auf einen Beleuchtungsstärken-Sollwert verringert den Energieaufwand, ggf. durch die Nutzung des Tageslichtes und zusätzlich durch den Ausgleich der anfänglichen Überbeleuchtung zu Beginn des Wartungsintervalls.

4.9.4 Zusatzbeleuchtung

Eine Zusatzbeleuchtung ist für die Wandtafel und weitere vertikale Demonstrations- und Informationsflächen ebenso erforderlich wie auch für Bereiche der Sehaufgaben in Sonderklassen-

räumen, an gesonderten Experimentierplätzen oder im Bereich des Podiums großer Hörsäle.

Für die Beleuchtung der Wandtafel ist in EN 12464-1 [51] ein Wert von 500 lx festgelegt. Die Bewertungsfläche (Bereich der Sehaufgabe) ist die gesamte Wandtafelgröße, ggf. einschließlich eventuell vorhandener Aufklappteile und des Bereiches an der Wand, in den die Tafel nach oben verschoben werden kann. Für diese Bewertungsfläche gilt auch die Gleichmäßigkeitsforderung von 0,7. Reflexe auf der Wandtafel sind zu vermeiden. Ein Beispiel für die Wandtafelbeleuchtung ist in Abbildung 4.58 dargestellt. Die Werte gelten bei eingeschalteter Raumbeleuchtung.

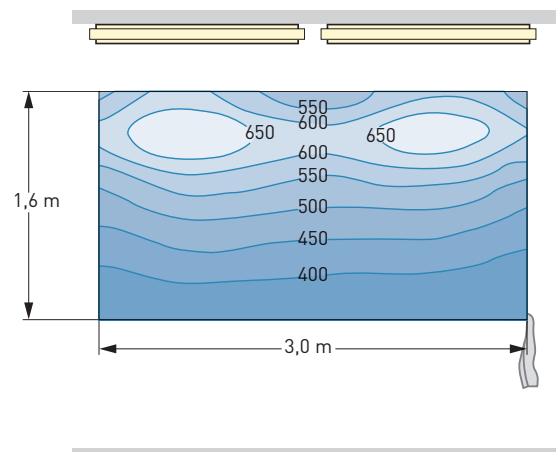
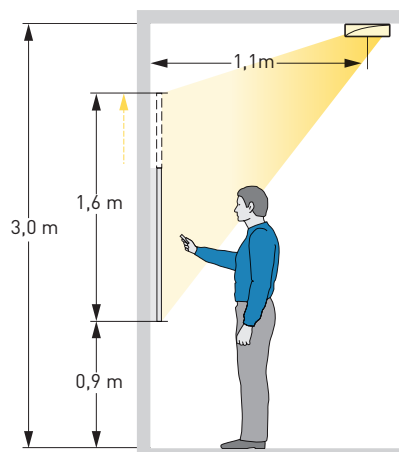
Die Zusatzbeleuchtung muss sich der Allgemeinbeleuchtung einzeln zuschalten lassen und sollte sich bei Abwesenheit gemeinsam mit ihr ausschalten.

4.9.5 Hörsäle

Die Beleuchtung von Hörsälen, insbesondere bei ansteigendem Gestühl, muss aus der Sicht der Zuhörer gut entblendet sein. Dies kann mit unterschiedlichen Strategien erreicht werden:

- Hohe Leuchtdichten der Lichtaustrittsflächen werden zum Auditorium hin abgeschirmt;

Abbildung 4.58: Beispiel für eine Wandtafelbeleuchtung in Unterrichtsräumen mit zwei Deckenbauleuchten 4.900 lm (LED) mit asymmetrischer Optik, $\bar{E} = 517$ lx, Gleichmäßigkeit 0,7, Wartungsfaktor 0,8 (rechts Isoluxkurven, Werte in lx)



- hohe Leuchtdichten werden durch einen großflächigen Lichtaustritt vermieden;
- hohe Leuchtdichtekontraste werden durch eine insgesamt helle Umgebung, insbesondere durch Deckenaufhellung, vermieden.

Die Entscheidung für eines der Konzepte hängt wesentlich von der angestrebten Nutzung des Raumes ab, bei der eine kommunikative Öffnung des Raumes oder eine Fokussierung auf den Vortrag im Vordergrund stehen kann.

Aus der Sicht des Vortragenden ist in jedem Fall die Blendung nur bedingt zu begrenzen. Im Gegenteil: Er steht ggf. sogar im Rampenlicht, sollte angestrahlt sein, damit sich das Auditorium auf ihn konzentriert.

Oft sind Hörsäle fensterlos, so dass der in EN 12464-1 [51] festgelegte Wert der Beleuchtungsstärke von 500 lx eher als zu gering angesehen werden muss, um z. B. an hellen Sommertagen das Gefühl des Eingeschlossenseins zu vermeiden.

4.9.6 Computerarbeit

Für die reine Computerarbeit, wie sie z. B. über längere Zeiträume in Unterrichtseinheiten der Informatik durchgeführt wird, empfiehlt die Norm EN 12464-1 [51] eine Beleuchtungsstärke von 300 lx. In der Regel ist es sinnvoll, hierfür ein geeignetes Lichtmanagement einzurichten (siehe auch Kapitel 8.1.3 „Anpassung des Lichtes an wechselnde Beleuchtungsaufgaben“). Zur Vermeidung störender Reflexionen auf den Bildschirmen ist eine geeignete geometrische Anordnung der Arbeitsplätze und der für Bildschirmarbeit geeigneten Leuchten gemäß Kapitel 4.3 zu berücksichtigen. In Räumen, in denen auch Büroanwendungen geschult werden, sind für entsprechende Arbeitsbereiche weitere Hinweise des genannten Kapitels zu berücksichtigen. Weitere Rahmenbedingungen der anfallenden Sehaufgaben, wie z. B. die Nutzung des Raumes für die Erwachsenenbildung, können

eine zusätzlich erhöhte maximale Lichtleistung der Beleuchtungsanlage erfordern, die bei der Planung und Ausführung der steuerbaren Beleuchtungslösung beachtet werden sollten.

4.9.7 Kindergärten, Vorschulen

Kindergärten müssen ausreichendes Tageslicht aufweisen. Tageslicht und der Blick nach draußen fördern die visuelle Erfahrung mit der Außenwelt, was für Kinder besonders wichtig ist. Sonnenschutz an den Fenstern ist hier weniger wichtig als in Arbeitsstätten, etwa mit Bildschirmgeräten. Im Gegenteil: Einfallende Sonnenstrahlen erzeugen eine kontrastreiche Dynamik mit hellen Lichtstreifen und scharfen Schattenkanten, wie sie auch im Freien erlebt werden.

Die künstliche Beleuchtung in Kindergärten, Kindertagesstätten und Vorschulen (Spielzimmer und Krippenräume) sollte im Wesentlichen zwei Funktionen übernehmen:

- Die Behaglichkeitsbeleuchtung soll in den Morgen- und Abendstunden, an dunklen Tagen oder in der dunklen Jahreszeit den Kindern den Wechsel vom heimischen Wohnumfeld in den vorschulischen Bereich erleichtern. Es sollte eine Beleuchtungsstärke von etwa 100 lx bei geringer Farbtemperatur erreicht werden.
- Die Funktionsbeleuchtung soll bei wetter-, tages- bzw. jahreszeitlich bedingtem unzureichendem oder gänzlich fehlendem Tageslicht mindestens die in EN 12464-1 [51] genormten Werte der Beleuchtungsstärke von 300 lx erreichen. Eine tageslichtabhängige Regelung hilft Energiekosten einzusparen.

Beide Funktionen sind optimal erfüllt, wenn eine circadiane Beleuchtung, orientiert am Verlauf des natürlichen Lichtes, eingerichtet ist. Auch im Hinblick auf die melanopische Wirkung des Tageslichtes auf den Menschen (siehe Kapitel 3.3 „Licht und nicht-visuelle Wirkungen“) gibt es in Kindertagesstätten gute Gründe, die künst-

liche Beleuchtung der Dynamik des Tageslichtes anzupassen. Denn bei einem Mangel an Licht mit genügendem Blauanteil in den Vormittagsstunden kann es zu einer Verschiebung des Rhythmus – quasi zu einem „Nachgehen“ – der inneren Uhr kommen. Mangelnde Müdigkeit am Abend und Unausgeschlafenheit am Morgen sind dann häufig die Folge.

Die Beleuchtung sollte nach Möglichkeit bereichsweise manuell dimmbar sein, um die Beleuchtungsstärke jederzeit an die aktuelle Beleuchtungsaufgabe anpassen zu können.

Lernräume in Vorschulen für die Vorbereitung auf die zukünftige schulische Erziehung sind beleuchtungstechnisch wie Unterrichtsräume mit freier Sitzanordnung zu beleuchten.

Um Gefahren für die Kinder zu vermeiden, sollten die Leuchten, die von Kindern erreicht werden können, eine geschlossene Bauform haben und kindersicher montiert sein.

In Mehrzweckräumen sind Leuchten höherer Schlagfestigkeit (mind. IK04, siehe Tabelle 5.19, ggf. ballwurfsichere Leuchten siehe Kapitel [5.13.2](#) „Ballwurfsicherheit“) vorzusehen.

4.9.8 Erwachsenenbildung

Für Unterrichtsräume für Erwachsenenunterricht, die sowohl am Tage als auch in den Abendstunden genutzt werden, sollten Kontextmodifikatoren für eine Erhöhung des Beleuchtungsniveaus über den Mindestwert von 500 lx berücksichtigt werden. Mit einem geeigneten Lichtmanagementsystem kann die jeweils benötigte Beleuchtungsstärke aufgerufen werden. Mit Rücksicht auf ältere Menschen ist ggf. auch ein höheres Niveau der Beleuchtung von Treppen und Fluren zu wählen (siehe Tabelle 4.78).

4.9.9 Sonderschulen

Unterrichts- und Aufenthaltsräume in Sonderschulen und Räume für die Behindertenausbildung sind mindestens wie reguläre Unterrichtsräume zu beleuchten, aber nicht nur zweckorientiert, sondern auch durch Form und Farbe der Leuchten sowie deren Anordnung motivationsfördernd. Je nach Art der Behinderungen können auch höhere Beleuchtungsanforderungen notwendig sein, um die Kommunikation unter den Auszubildenden und mit den Lehrenden zu fördern. Sicherheit gegen unbefugtes Berühren der Leuchten kann deren Auswahl und Anordnung einschränken.

4.9.10 Wirtschaftlichkeit

Geringe Energie- und Wartungskosten der Beleuchtung sind in Ausbildungsstätten von besonderer Wichtigkeit. Obwohl kommunale Träger von Ausbildungseinrichtungen meist erhöhte Anfangsinvestitionen aus Gründen knapper Haushaltsmittel nach Möglichkeit zu vermeiden suchen, ist eine Gesamtwirtschaftlichkeitsrechnung der Sanierung der alten Beleuchtungsanlagen der beste Beweis für sinnvollen Kapitaleinsatz, der sich aufgrund der Einsparung an Energie- und Wartungskosten in kurzer Zeit

amortisiert hat. Eine Gesamtkostenrechnung beweist das (siehe Kapitel 3.4, „Licht und Wirtschaftlichkeit“).

Hohe Lichtausbeuten von LED-Leuchten sowie eine helle, saubere Raumausstattung und eine leichte Bedienbarkeit der Anlage für die Wartung verringern den Kostenaufwand der Beleuchtung.

Eine sinnvolle Nutzung des Tageslichtes trägt ebenso dazu bei (siehe dazu Kapitel 3.5, „Licht und Umwelt“).

Energiesparende Beleuchtungssysteme neuester Technologie in Kombination mit einem Lichtmanagementsystem, das die Beleuchtung anwesenheits- und tageslichtabhängig steuert, kommen oft mit 80 % weniger Energie aus, als ältere Anlagen noch benötigen.

4.9.11 Sanierungsbeispiel

Gegenübergestellt werden 3 Sanierungslösungen für einen Klassenraum:

- Lösung mit schaltbaren, direkt strahlenden Anbauleuchten
- Lösung mit dimmbaren, direkt-indirekt strahlenden abgehängten Leuchten und Lichtmanagement für Anwesenheitserfassung und tageslichtabhängige Regelung

- Lösung mit dimmbaren, direkt-indirekt strahlenden abgehängten Leuchten mit veränderlicher Farbtemperatur und Lichtmanagement für Anwesenheitserfassung, tageslichtabhängige Regelung und circadiane Farbtemperatursteuerung

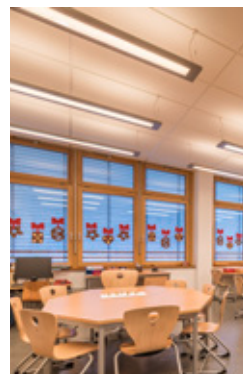
Die dargestellte Neuanlage 1 erreicht den Mindestwert des gemäß der Neuauflage der Norm EN 12464-1 [51] geforderten Wartungswertes der Beleuchtungsstärke von 500 lx. Die dargestellten Neuanlagen 2 und 3 erreichen einen Wartungswert der Beleuchtungsstärke von 750 lx, unter Berücksichtigung der Kontextmodifikatoren gemäß der genannten Norm.

Für die Anlage 2 wird – im Sinne einer Vergleichbarkeit – der Energiebedarf bei einem geregelten Betrieb mit einem Sollwert von 500 lx angenommen. Für die Anlage 3 wird der Mehraufwand für die Bereitstellung des erhöhten Beleuchtungsniveaus von 750 lx, das auch im Sinne des Human Centric Lighting eingesetzt werden kann, dargestellt (siehe Tabelle 4.75).

Den Berechnungen liegen 1.400 Betriebsstunden pro Jahr zu Grunde. Dies ist gemäß dem in der Norm DIN V 18599-10 [26] dokumentierten Nutzerprofil (siehe Kapitel 3.5.12, „Deutsche Norm DIN V 18599“, Tabelle 3.30) die Betriebszeit für eine Schule, sofern keine zusätzliche Nutzung der Räumlichkeiten für die Erwachsenenbildung oder ähnliches besteht, also z. B. für eine Grund-



(a) Beleuchtung mit Anbauleuchten mit konstanter Farbtemperatur (4.000 K)



(b) Beleuchtung am Morgen und Abend mit geringer Farbtemperatur (2.700 K) und am Tag mit hoher Farbtemperatur (6.000 K)

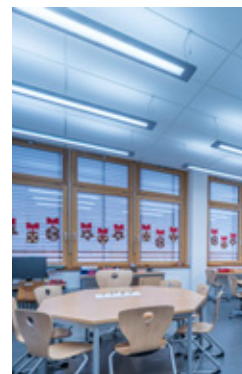


Abbildung 4.59: Klassenraum mit direkter Beleuchtung mit statischer Beleuchtung gegenüber einem Klassenraum mit direkt-indirekter Beleuchtung und circadian veränderlicher Farbtemperatur. Die am Verlauf des Tageslichtes orientierte Steuerung unterstützt die natürliche Funktion der inneren Uhr.

schule. Bei zusätzlicher Berücksichtigung der im Nutzerprofil genannten relativen Abwesenheit mittels einer elektronischen Anwesenheitserfassung (siehe Kapitel 8.2 „Anwesenheitserfassung“) wird die Beleuchtung im statistischen Mittel rechnerisch für 23,75 % der Betriebszeit ausgeschaltet sein (Neuanlage 2 und 3). Weitere Einsparungen durch eine tageslichtabhängige Regelung werden in der Norm ebenfalls wie eine Reduzierung der Betriebsstunden (Volllaststunden) behandelt (Neuanlage 2 und 3). Der zugrunde liegende Arbeitspreis für elektrische Energie beträgt 0,30 €/kWh. In der rechten Spalte der Tabelle 4.75 werden die Anschlussleistung, der Energiebedarf über die jährliche Nutzungsdauer gemäß oben genanntem Nutzerprofil, sowie die daraus resultierenden Energiekosten für den Vergleich dokumentiert.

Alle drei Neuanlagen erfüllen die Anforderungen bzgl. Blendungsbegrenzung und Modelling (siehe Kapitel 2.8 „Räumliche Beleuchtung, Lichtrichtung, Modelling“) uneingeschränkt. Bei dem hier betrachteten Raum mit 3 m Höhe und guten Re-

flexionseigenschaften erzielt die direkt-indirekte Beleuchtung den besten Helligkeitseindruck des Raumes bei gleicher Beleuchtungsstärke im Vergleich zur nur direkt strahlenden Beleuchtungslösung.

Für die HCL-Lösung (Neuanlage 3) ist in diesem Beispiel nur ein geringfügiger Mehraufwand bzgl. Energie und Kosten erforderlich.

Für baugenehmigungspflichtige Sanierungen wird ein Lichtmanagement mit Anwesenheitserfassung und tageslichtabhängiger Regelung bei der Kalkulation des Energiebedarfs der Beleuchtung verbindlich unterstellt (siehe Kapitel 3.5.11 „Gebäude-Energie-Gesetz [GEG, ehemals Energieeinsparverordnung EnEV]). Entsprechend wird bei öffentlicher Förderung der Sanierungsmaßnahme ein solches Lichtmanagement obligatorisch gefordert (siehe auch Punkt 2.9 unter https://www.klimaschutz.de/sites/default/files/BMU_Foerderung_Kommunalrichtlinie_14082020.pdf).

Sanierung eines Klassenraumes



Lösung 1: mit LED-Anbauleuchten mit Mikroprismatik für Allgemeinbeleuchtung und Tafelbeleuchtung

Lösungen 2 und 3: mit abgehängten Leuchten mit Mikroprismatik, direkt-indirekt strahlend, für eine ausgewogene Lichtatmosphäre, Tafelbeleuchtung mit Anbauleuchte der Baureihe, asymmetrisch direkt strahlend

Raumabmessungen Länge/Breite/Höhe: 78,40 m / 7,10 m / 3,00 m (Grundfläche: 59,6 m²)

Reflexionsgrade Decke/Wände/Boden: 0,8 / 0,6 / 0,3

	Lösung 1	Lösung2	Lösung 3	Bestand
Lichtstrom	4.700 / 5.200 lm	5.400 / 4.800 lm	5.300 / 4.800 lm 2.700 – 6.500 K	T8-Leuchte 2x58 W, opale Wanne
Lichtmanagement	-	mit Präsenzerfassung und tageslicht- abhängiger Regelung	zusätzlich HCL (siehe Kap. 3, Human Centric Lighting)	
Anzahl Leuchten im Raum	6 + 2 Stk.	9 + 2 Stk.	9 + 2 Stk.	8 Stk.
Systemleistung je Leuchte	37 / 35 W	41 / 37 W	44 / 37 W	132 W
Systemleistung gesamt	292 W	443 W	470 W	792 W
Einsparpotential durch Lichtmanagement	-	62 %	62 %	-
Energieverbrauch p. a.	336 kWh/a	160 kWh/a (500 lx*)	237 kWh/a (750 lx*)	1.109 kWh/a
Energiekosten Ø p. a.	101 €/a	48 €/a	71 €/a	333 €/a
Relativer Energiebedarf	100 %	42 %	92 %	254 (aktuell)%
Energiekosten- reduzierung Ø p. a. (vs. aktuell)	232 €/a	285 €/a	262 €/a	

* Sollwert der Beleuchtungsstärke, auf den das Lichtmanagement regelt. Diese wird in der vergleichenden Betrachtung mit dem für die angegebene Beleuchtungsstärke bereitzustellenden Anteil des im 100 %-Betrieb verfügbaren Leuchtenlichtstroms gewichtet. Der zugrunde liegende Arbeitspreis für elektrische Energie beträgt 0,30 €/kWh.

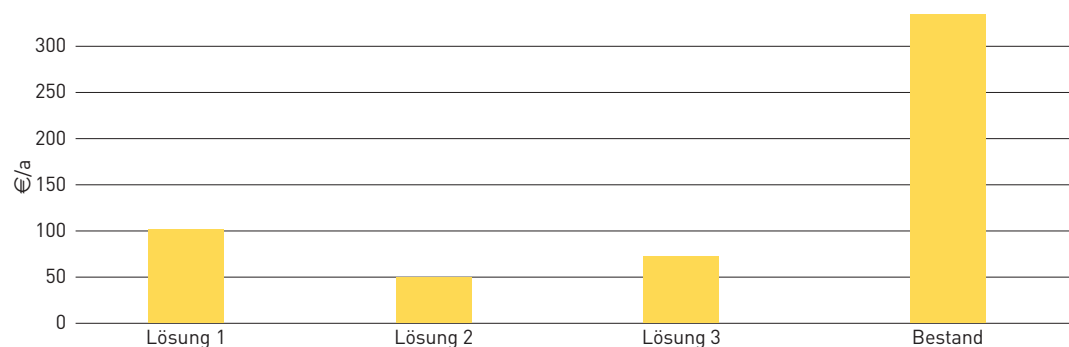


Tabelle 4.75: Beispiel für die energetischen Vorteile neuer LED-Beleuchtungsanlagen in Ausbildungsstätten gegenüber Anlagen älterer Technologie, Energiebedarf bezogen auf den in der Tabelle angegebenen Sollwert* der Beleuchtungsstärke bei Anwesenheits- erfassung und tageslichtabhängiger Konstantlichtregelung.

4.9.12 Lichttechnische Anforderungen

Kindergärten, Spielschulen (Vorschulen) (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltable“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a) lx	b) lx				mit $U_o \geq 0, 10$ lx lx lx			
35.1	Spielzimmer	300	500	0,40	80	22	100	100	75	Hohe Leuchtdichten sollten in Blickrichtung von unten durch die Verwendung diffuser Abdeckungen vermieden werden.
35.2	Kindergarten	300	500	0,40	80	22	100	100	75	Hohe Leuchtdichten sollten in Blickrichtung von unten durch die Verwendung diffuser Abdeckungen vermieden werden.
35.3	Bastelraum	300	500	0,60	80	19	100	100	75	

a) erforderlicher Mindestwert,
b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)
* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.76:
Lichttechnische Anforderungen an Kindergärten gemäß DIN EN 12464-1 (siehe auch Hinweise unter Tabelle 4.78)

Außenanlagen an Ausbildungsstätten (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltable“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a) lx	b) lx				mit $U_o \geq 0, 10$ lx lx lx			
-	Überdachte Pausenbereiche	50	-	-	-	-	-	-	-	
-	Überdachte Fahrradständer	50	-	-	-	-	-	-	-	

a) erforderlicher Mindestwert,
b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)
* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.77:
Lichttechnische Anforderungen an Außenanlagen in Ausbildungsstätten

Ausbildungsstätten (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a) lx	b) lx				mit $U_o \geq 0, 10$ lx lx lx			
36.1	Klassenzimmer – allgemeine Aktivitäten	500	1000	0,60	80	19	150	150	100	Beleuchtung sollte steuerbar sein für unterschiedliche Aktivitäten und Lichtszenarien (siehe auch Kapitel 8.1.3). Für Klassenräume, die von Kleinkindern genutzt werden, darf ein erforderlicher \bar{E}_m von 300 lx durch Dimmen genutzt werden. ^{2),3)}
36.2	Auditorium, Hörsäle	500	750	0,60	80	19	150	150	50	Beleuchtung sollte für verschiedene A/V-Anforderungen steuerbar sein. ³⁾
36.3	Teilnahme an Vorträgen in den Sitzbereichen der Hörsäle und Auditorien	200	300	0,60	80	19	75	75	50	Reduzierung durch Dimmen Bildschirmarbeit
36.4	Schwarze, grüne weiße Tafeln (Whiteboards)	500	750	0,70	80	19	-	-	-	Vertikale Beleuchtungsstärken. Reflexblendung vermeiden. Lehrer und Vortragende müssen mit einer angemessenen vertikalen Beleuch- tungsstärke E_v beleuchtet werden.
36.5	Schwarze, grüne, weiße Tafeln (Whiteboards) in Hörsälen und Auditorien	500	750	0,60	80	19	-	-	-	
36.6	Projektor- und Smartboard- Präsentation	-	-	-	-	-	-	-	-	¹⁾ Spiegelnde Reflexionen vermeiden. 200 lx vertikal in der Nähe des Bild- schirms. Direkte Beleuchtung bei der Anzeige von Inhalten auf dem Bildschirm muss vermieden werden.
36.7	Anzeigetafel	200	300	0,60	80	19	-	-	-	Vertikale Beleuchtungsstärken
36.8	Demonstrationstisch in Hörsälen und Auditorien	750	1000	0,70	80	19	-	-	-	
36.9	Licht auf Lehrer/Referent	-	-	-	80	-	150	-	-	Bei 1,6 m über dem Boden. Geeigne vertikale Beleuchtungsstärke.
36.10	Licht im Podiumsbereich	300	500	0,70	80	-	-	-	-	Die Beleuchtungsstärke sollte verti- kal zum Publikum ausgerichtet sein, die Beleuchtung sollte steuerbar sein, um verschiedenen A/V-Anfor- derungen gerecht zu werden, siehe Kapitel 8.1.3.
36.11	Reine Computerarbeiten	300	500	0,60	80	19	100	100	75	Bildschirmarbeit, siehe Kapitel 4.3 ^{1),3)}
36.12	Zeichensäle in Kunstschulen	750	1000	0,70	90	19	150	150	100	$4.000 K \leq T_{CP} \leq 6.500$. K ^{1),2),3)}
36.13	Räume für techn. Zeichnen	750	1000	0,60	80	19	150	150	100	^{1),2),3)}
36.14	Praxisräume und Laboratorien	500	750	0,60	80	19	150	150	100	^{1),2),3)}
36.15	Bastelräume	500	750	0,60	80	19	150	100	100	^{1),2),3)}
36.16	Lehrwerkstatt	500	750	0,60	80	19	150	150	100	^{1),2),3)}
36.17	Vorbereitungsräume und Werkstätten	500	750	0,60	80	22	150	150	100	^{1),2),3)}
36.18	Eingangshallen	200	300	0,40	80	22	75	75	50	
36.19	Verkehrsflächen, Korridore	100	150	0,40	80	25	50	50	30	Horizontale Beleuchtungsstärke auf Bodenhöhe
36.20	Treppen	150	200	0,40	80	25	50	50	30	
36.21	Gemeinschaftsräume für Schüler / Studenten und Versammlungsräume	200	300	0,40	80	22	75	75	50	
36.22	Lehrerzimmer	300	500	0,60	80	19	100	100	50	Für Büroarbeiten siehe Kapitel 4.3
36.23	Bibliothek: Bücherregale	200	300	0,60	80	19	-	-	-	Siehe Tabelle 4.73 – Öffentliche Bereiche – Bibliotheken
36.24	Bibliothek: Lesebereiche	500	750	0,60	80	19	100	100	50	
36.25	Lagerräume für Unterrichtsmaterialien	100	150	0,40	80	25	50	50	30	
36.26	Sporthallen, Turnhallen, Schwimbäder	300	500	0,60	80	22	100	75	30	Für besondere Nutzungen gilt EN 12193 [50], siehe Kapitel 4.4 „Sportstätten“)
36.27	Schulkantinen	200	300	0,40	80	22	75	75	50	
36.28	Küche	500	750	0,60	80	22	100	100	75	

1) Die Beleuchtung sollte steuerbar sein, siehe Kapitel 2.4

2) Umgebungslicht sollte berücksichtigt werden, siehe Kapitel 2.6

3) Raumhelligkeit, siehe Kapitel 2.6

a) erforderlicher Mindestwert

b) modifizierter Wert [berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“]

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen

Tabelle 4.78:Anforderungen an
die Beleuchtung von
Ausbildungsstätten
nach EN 12464-1 [51]

4.10 Beleuchtung von Verkehrsbereichen

Reisen über Landesgrenzen und Kontinente prägen unsere mobile und globalisierte Gesellschaft. Sie machen geografische, kulturelle und gesellschaftliche Grenzen überwindbar, fördern das Miteinander in Freizeit und Wirtschaft.

4.10.1 Flughäfen

Flughäfen sind das Tor zu dieser offenen Welt. Ebenso offen und transparent sind neue Flughafen terminals gestaltet. Raum und Licht harmonisieren in vollendeter Form. Tagsüber lassen große Fensterflächen viel Tageslicht ins Gebäude. Nachts ist die künstliche Beleuchtung mehr als nur Helligkeit für den eiligen Fluggast. Sie erschließt auch die Struktur der offen gestalteten Architektur. Die Architektur emotionalisiert die Menschen bei Tag und Nacht und stimmt sie ein in Wertigkeit und Weltoffenheit.

Flughäfen sind Umsteigeplätze für Millionen von Menschen. Eine geordnete und übersichtliche Verkehrslenkung der Passagiere von Terminals zu Countern ist für reibungslosen Check-in und Transfer unerlässlich.

Flughäfen sind auch Bereiche hoher Sicherheitsanforderungen. Beim Check-in, bei der Personen- und Gepäckkontrolle, von der Gepäcklogistik bis hin zu den Parkmöglichkeiten.

Flughäfen sind wichtige Infrastruktureinrichtungen für die Region und die globale Wirtschaftswelt. Menschen unterschiedlicher Herkunft und Kulturen frequentieren sie mit ihrer Anonymität, ihren Gewohnheiten und Modernität. Licht fördert Information und Orientierung. Es macht die hochfrequenten Bereiche eines Flughafens erkennbar und erlebbar. In hellen Räumen finden sich Passagiere besser zurecht und gelangen so schneller an das gewünschte Ziel.

Daraus folgt, dass die Anforderungen an die künstliche Beleuchtung von Flughafenbereichen nach EN 12464-1 [51] nur einen Einstieg in eine entsprechende Lichtplanung und -gestaltung darstellen.





4.10.2 Bahnanlagen

Die meisten Bahnhöfe wurden zu Beginn des Eisenbahnzeitalters gebaut. Lange waren sie das Prunkstück nicht nur von europäischen Metropolen. Mit Aufkommen des motorisierten Individualverkehrs haben sie oft ihren alten Charme verloren. Heute werden sie oft in altem Glanz restauriert – als Denkmäler und Zeitzeugen des vor ca. 200 Jahren beginnenden Mobilitätszeitalters.

Bahnanlagen – sowohl die überregionalen als auch die regionalen S-Bahnen, U-Bahnen und Unterstraßenbahnanlagen – sind nicht nur der Platz eiliger Reisender, sondern nach Modernisierung Treffpunkt, Einkaufs-, Gastronomie- und Vergnügungsstätten. Der Schienenverkehr als Massenverkehrsmittel steht in hartem Wettbewerb mit anderen Verkehrsmitteln. Also müssen deren Bahnhöfe und Haltestellen attraktiv – aber auch sicher – gestaltet sein. Beleuchtung spielt dabei eine wesentliche Rolle. Am Tage sollen Bahnhofshalle und Unterführungen trotz meist nicht ausreichenden Tageslichtes hell und freundlich sein. Nachts ist eine helle Bahnhofshalle mit einem z. B. mit LED-Lichtboden-

modulen realisiertem, ggf. sogar farblich unterschiedlichem Wegleitungssystem für schnelles Auffinden von Schaltern und Bahnsteigen sowie eine gute und sichere Beleuchtung von Treppen und Bahnsteigen wichtig für das schnelle Erkennen und die Sicherheit – auch gegenüber Übergriffen auf Personen und Sachen.

Licht- und Raumgestaltung machen aus tristen Bahnhöfen Erlebnisstätten. Die in EN 12464-1 [51] genormten Werte für die Beleuchtung sind daher nur als Mindestwerte und als Grundlage für eine anspruchsvolle Lichtplanung und -gestaltung zu interpretieren.

Zu den in EN 12464-1 [51] festgelegten Anforderungen an die Beleuchtung (siehe Tabelle 4.81) sind auch solche der Bahnbetreiber zu berücksichtigen. In Deutschland sind das Planen, Errichten und Instandhalten von Beleuchtungsanlagen in Personenverkehrsanlagen (PVA) der Deutschen Bahn AG in der Richtlinie „RiL 813.05 – Beleuchtung, Starkstromanlagen und Brandschutz in Personenbahnhöfen planen“ [129] geregelt. Die dort aufgestellten Anforderungen stimmen in weiten Teilen mit denen der europäischen Beleuchtungsnorm überein, mit Ergänzungen in einigen Details.

4.10.3 Lichttechnische Anforderungen

Flughäfen (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a) lx	b) lx				mit $U_o \geq 0, 10$ lx lx lx			
52.1	Ankunfts- und Abflughallen, Gepäckausgabe	200	300	0,40	80	22	75	75	30	
52.2	Anschließende Bereiche	150	200	0,40	80	22	50	50	30	
52.3	Informationsschalter, Check-in-Schalter	500	750	0,70	80	19	150	150	100	Bildschirmarbeit siehe Kapitel 4.3 „Beleuchtung von Büros und Räu- men mit Bildschirmarbeitsplätzen“.
52.4	Zoll- und Passkontrollschalter	500	750	0,70	80	19	150	150	100	Vertikale Beleuchtung ist wichtig um Gesichter zu erkennen (siehe auch Kapitel 2.8 „Räumliche Beleuchtung, Lichtrichtung, Modelling“).
52.5	Wartebereiche	200	300	0,40	80	22	50	50	30	
52.6	Räume für die Gepäckaufbewahrung	200	300	0,40	80	25	50	50	30	
52.7	Sicherheitskontrollbereiche	300	500	0,60	80	19	100	100	75	Bildschirmarbeit siehe Kapitel 4.3 „Beleuchtung von Büros und Räu- men mit Bildschirmarbeitsplätzen“.
52.8	Flugsicherungsturm	500	750	0,60	80	16	50	-	-	Beleuchtung sollte dimmbar sein. Bildschirmarbeit siehe Kapitel 4.3 „Beleuchtung von Büros und Räu- men mit Bildschirmarbeitsplätzen“. Blendung durch Tageslicht muss vermieden werden. Reflexionen in Fenstern müssen vermieden wer- den, insbesondere nachts.
52.9	Aufgaben in Flugzeughallen: • Test- und Reparaturbereiche • Motortestbereiche • Messbereiche	500	750	0,60	80	22	50	50	30	

a) erforderlicher Mindestwert,
b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

Tabelle 4.79:
Lichttechnische
Anforderungen an
Flughäfen gemäß
DIN EN 12464-1 [51]

Straßenbahnen (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltabelle“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a) lx	b) lx				mit $U_o \geq 0, 10$ lx lx lx			
-	Unterirdische Bahnsteige und Treppen	60 ¹	-	0,4	-	-	-	-	-	In Deutschland gültig für Nahver- kehrsanlagen gemäß „Technische Regeln für Straßenbahnen Elektri- sche Anlagen (TRStrab EA)“ [132].
-	Sonstige Zugangsbereiche zu den Bahnsteigen	60 ¹	-	0,25	-	-	-	-	-	

¹ Empfohlener Neuwert: 150 lx.

Tabelle 4.80:
Lichttechnische
Anforderungen an
Straßenbahnen

Bahnanlagen (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltable“)

Ref.- Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a) lx	b) lx				mit $U_o \geq 0, 10$ lx lx lx			
53.1.1	Vollständig umschlossene Bahnsteige mit geringem Personenaufkommen	50	-	0,30	80	-	-	-	-	1. Besondere Beachtung der Bahnsteigkante ¹
53.1.2	Vollständig umschlossene Bahnsteige mit mittlerem Personenaufkommen	100	-	0,40	80	-	-	-	-	2. Blendung von Fahrzeugführern ² und Fahrgästen ³ ist zu vermeiden
53.1.3	Vollständig umschlossene Bahnsteige mit hohem Personenaufkommen	200	-	0,50	80	-	-	-	-	3. Beleuchtungsstärke auf dem Boden in der Referenzfläche
53.2.1	Vollständig umschlossene Personenunterführungen mit geringem Personenaufkommen	50	-	0,30	80	-	-	-	-	1. Blendung für Passagiere vermeiden ³
53.2.2	Vollständig umschlossene Personenunterführungen mit mittlerem Personenaufkommen	100	-	0,40	80	-	-	-	-	2. Beleuchtungsstärke auf Bodenhöhe in der Referenzfläche
53.2.3	Vollständig umschlossene Personenunterführungen mit hohem Personenaufkommen	200	-	0,50	80	-	-	-	-	3. Bei stark reflektierenden Gehäusesoberflächen kann die durchschnittliche Beleuchtungsstärke um 50% reduziert werden
53.3.1	Treppen, Rolltreppen mit geringem Personenaufkommen	50	-	0,30	80	-	-	-	-	4. $E_v/E_h = 0, 2$ 1. Blendung für Passagiere vermeiden ³
53.3.2	Treppen, Rolltreppen mit mittlerem Personenaufkommen	100	-	0,40	80	-	-	-	-	2. Besonderes Augenmerk auf Treppenabsätze
53.3.3	Treppen, Rolltreppen mit hohem Personenaufkommen	200	-	0,50	80	-	-	-	-	
53.4	Schalterhallen und Bahnhofshallen	200	300	0,50	80	28	75	75	50	Beleuchtungsstärke auf Bodenhöhe in der Referenzfläche
53.5	Schalterbereiche für Fahrkarten und Gepäck	300	500	0,50	80	19	100	100	75	Beleuchtungsstärke im Bereich der Sehaufgabe
53.6	Warteräume	200	300	0,40	80	22	75	75	30	
53.7	Eingangshallen, Bahnhofshallen	200	300	0,40	80	-	75	75	30	
53.8	Stellwerke	200	300	0,50	80	28	50	50	30	Beleuchtungsstärke im Bereich der Sehaufgabe (horizontal, vertikal, geneigt), im Bereich der Sehaufgabe individuell dimmbar
53.8.1	Bahnleitstelle (Bereich des Fahrdienstleiters)	200	300	0,50	80	16	-	-	-	Beleuchtungsstärke im Bereich der Sehaufgabe (horizontal, vertikal, geneigt). 1. Die Beleuchtung sollte steuerbar sein, vorzugsweise durch Dimmen. 2. Bildschirmarbeit, siehe Kapitel 4.3. 3. Blendung durch Tageslicht sollte vermieden werden. 4. Reflexionen in Fenstern, insbesondere nachts, müssen vermieden werden. 5. Sicherheitsfarben müssen erkennbar sein. 6. Bedienpulte und Bedienwände benötigen eine konstante Beleuchtungsstärke über die gesamte Fläche.
53.9	Zugangsstollen	50	75	0,40	20	-	-	-	-	
53.10.1	Montagearbeiten in Wartungshallen – grob	200	-	0,40	80	-	-	-	-	Blendung der Mitarbeiter vermeiden ³
53.10.2	Montagearbeiten in Wartungshallen – mittel	300	-	0,50	80	-	-	-	-	Blendung der Mitarbeiter vermeiden ³
53.10.3	Montagearbeiten in Wartungshallen – fein	500	-	0,60	80	-	-	-	-	Blendung der Mitarbeiter vermeiden ³
53.10.4	Montagearbeiten in Wartungshallen – Präzision	750	-	0,70	80	-	-	-	-	Blendung der Mitarbeiter vermeiden ³
53.10.5	Verkehrsflächen in Wartungshallen für Schienenfahrzeuge (ohne zusätzlichen Fahrzeugverkehr)	100	150	0,25	80	-	-	-	-	
53.10.6	Verkehrsflächen in Wartungshallen für Schienenfahrzeuge (mit zusätzlichem Fahrzeugverkehr)	150	200	0,40	80	-	-	-	-	

¹ Die mittlere Beleuchtungsstärke in einem Streifen von 1 m Breite entlang der Bahnsteigkante muss mindestens 50 % der mittleren Beleuchtungsstärke des Bahnsteigs betragen.

² $T_l < 15\%$ für relevante Positionen und Blickrichtungen der Fahrzeugführer basierend auf der Adaption der Leuchtdichte von 10 % der mittleren Leuchtdichte des Bahnsteigs (siehe EN 13201-2 [57]).

³ Begrenzung der Lichtstromdichte der Leuchtflächen der Leuchte: 1.000 lm / 300 cm².

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

Tabelle 4.81:

Lichttechnische Anforderungen an Bahnanlagen gemäß DIN EN 12464-1 [51]. Zusätzlich sind die Regelungen in EN 12464-2 „Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 2: Arbeitsplätze im Freien“ [52] heranzuziehen.

4.11 Beleuchtung von Parkbauten

Parkbauten – der Sammelbegriff für Parkhäuser, Parkpaletten (nicht überdachte Parkflächen in bzw. auf Gebäuden) und Tiefgaragen (Parkgaragen) – gehören heute nicht nur in den Ballungszentren zum „Alltag“. Äußerlich haben sie sich schon längst in das architektonische Stadtbild eingegliedert. Im Inneren fehlt ihnen jedoch oft noch immer die Benutzerfreundlichkeit. Die lichttechnische Normung unterscheidet dabei in Innenräumen wie im Außenbereich grundsätzlich zwischen zwei Nutzungssituationen:

- Öffentliche Parkbauten werden überwiegend von nicht ortskundigem Publikum genutzt. Gute Beleuchtung ist hier der wohl wichtigste Faktor, neben der objektiven Sicherheit bei der Erfüllung der auftretenden Sehaufgaben auch das subjektive Sicherheitsempfinden in den unterschiedlichen Bereichen des Gebäudes zu gewährleisten. Normative Regelungen finden sich in der deutschen Norm DIN 67528 „Beleuchtung von öffentlichen Parkbauten und öffentlichen Parkplätzen“ [14]. Diese ist im Jahr 2018 umfassend überarbeitet worden. Die Beleuchtung von Parkplätzen und frei bewitterten Parkdecks erfolgt auf Grundlage der Normenreihe EN 13201 [57].
- In Parkbauten in Arbeitsstätten sowie auch in Arbeitsstätten (Arbeitsräumen) innerhalb von Parkbauten können Personen als ortskundig

betrachtet werden. Deswegen steht hier allein die Erfüllung der Sehaufgabe im Vordergrund. Regelungen für den Innenraum finden sich in der europäischen Norm EN 12464-1 „Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten - Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen“ [51], für Außenbereich in EN 12464-2 „Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten - Teil 2: Arbeitsplätze im Freien“ [52].

Die Fokussierung auf die berechtigten Bedürfnisse der Nutzer öffentlicher Parkbauten wurde mit der grundlegenden Überarbeitung der Norm DIN 67528 [14] im Jahr 2018 erreicht. Die vorangegangene Fassung aus dem Jahr 1993 war ebenfalls in Arbeitsstätten anzuwenden und stärker an objektiv erforderlichen Mindeststandards orientiert. Aber auch die technologische Entwicklung in der Beleuchtung trägt wesentlich dazu bei, heute erheblich verbesserte Beleuchtungssituationen zum „Stand der Technik“ erklären zu können. Insbesondere stehen heute geeignete LED-Leuchtsysteme mit optimierten lichttechnischen Eigenschaften zur Verfügung, die auch bei schwierigen Raumgeometrien von Parkbereichen in Innenräumen einen erhöhten Lichtkomfort ermöglichen. Daraus resultiert die Standard-Farbwiedergabestufe von $R_a > 80$ in allen Bereichen sowie die Forderung vertikaler bzw. zylindrischer Beleuchtungsstärken (E_v , E_z) anstelle horizontaler Beleuchtungsstärken (E_h). Beides zusammen gewährleistet gutes räumliches Sehen und Erkennen und eine erhöhte Kommunikativität bei gleichzeitig vertretbarem



Installations- und Energieaufwand. Hinweise zu Farben und anzustrebenden Reflexionsgraden der Oberflächen sowie zum sinnvollen Einsatz von Lichtsteuerungen runden die vorliegende Norm ab.

Die in der Norm EN 12464-1 [51] formulierten Anforderungen für Parkbauten beziehen sich primär auf horizontale Beleuchtungsstärken. Der planerische Ansatz einer Betrachtung von Flächen folgt dem der Planung von „Arbeitsstätten in Innenräumen“. Anforderungen an die zylindrische Beleuchtungsstärke werden, wie für alle anderen Raumarten, in der sechsten Spalte der Raumartentabelle angegeben (siehe Tabelle 4.82).

4.11.1 Ein- und Ausfahrtzonen

Hier dient die Beleuchtung dem schnellen und sicheren Erkennen von Fahrzeugen, Abfertigungssystemen, Begrenzungen und Hindernissen. Auch die Adaptation von hellen Außenbereichen an dunkle Innenbereiche der Parkbauten

und umgekehrt erfolgt hier. Daher müssen diese Zonen bei Tag und Nacht je nach den Adaptationsbedingungen unterschiedlich hell beleuchtet werden. Bauliche Maßnahmen wie transparente Überdachungen oder weite, vom Tageslicht weniger beeinflusste Ein- und Ausfahrtbereiche verbessern die Adaptation am Tage und verringern den Aufwand für die künstliche Beleuchtung dieser Zonen. Die lichttechnischen Anforderungen sind in Arbeitsstätten und öffentlichen Parkbauten annähernd identisch.

4.11.2 Fahrwege und Bewegungsflächen

Diese Flächen stellen wegen der Begegnung und der Kollisionsgefahr von Fußgängern und Fahrzeugen ein erhöhtes Sicherheitsrisiko dar. In der EN 12464-1 [51] werden hier 75 lx als eine ausreichende horizontale Beleuchtungsstärke E_h gefordert. Für öffentliche Parkbauten fordert die Norm DIN 67528 [14] eine genügend hohe zylindrische Beleuchtungsstärke E_z von 50 lx in einer Höhe von 1,2 m über dem Boden mit einer Gleichmäßigkeit von 0,4, um eine sichere und

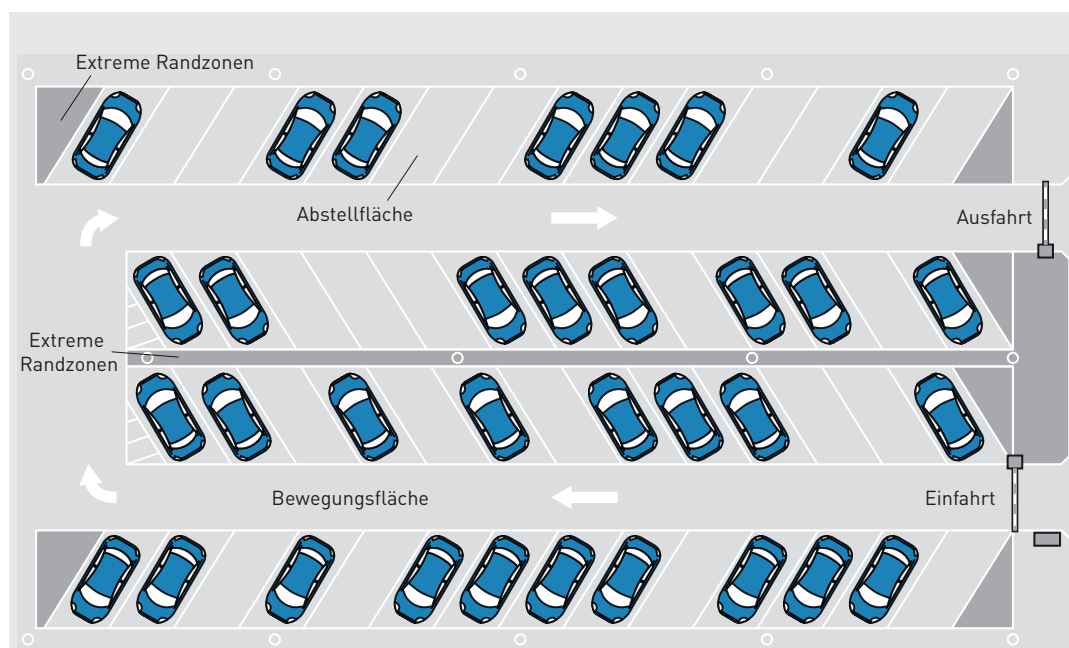


Abbildung 4.62:
Bewertungszonen
in Parkbauten

schnelle Wahrnehmung von Personen zu ermöglichen. Mit der Neuauflage ist auch in der Norm EN 12464-1 [51] eine relativ – zum Wert der horizontalen Beleuchtungsstärke – hohe zylindrische Beleuchtungsstärke E_z von 50 lx angegeben. Die Gleichmäßigkeit von 0,1 ist, wie für andere Bereiche der Sehaufgaben, in 1,2 m Höhe gefordert.

4.11.3 Park- und Abstellflächen und Randzonen

Diese Flächen sind ebenso Zonen erhöhten Risikos für Personen und Sachen. Gute Beleuchtung vermittelt das Gefühl von Sicherheit. Die DIN 67528 fordert hier eine mittlere vertikale Beleuchtungsstärke von 50 lx auf einer vertikalen Fläche in der Höhe von 0,8 m bis 1,6 m in 1,5 m Tiefe (vom Fahrbahnrand). Randzonen sind die dahinterliegenden Bereiche sowie begehbare Flächen, die meist aus baulichen Gründen keine ausreichende Stellfläche für Fahrzeuge bieten. Diese müssen gemäß DIN 67528 mit mindestens 1 lx, also auf Notlichtniveau, beleuchtet werden.

Die Norm EN 12464-1 betrachtet Park- und Abstellflächen als Bereiche der Sehaufgabe, die mit, bzgl. ihrer horizontalen Beleuchtungsstärke,

E_h mit einer Gleichmäßigkeit von 0,4 zu planen sind. Lediglich der Randstreifen von 0,5 m Breite bleibt dabei planerisch unberücksichtigt. Eine Beleuchtungsstärke für „sonstige Bereiche“ ist in dieser Norm nicht festgelegt.

4.11.4 Planung

Tageslichtdurchflutete Parkbauten sind grundsätzlich zu bevorzugen. Wenn sie jedoch im Inneren ungenügend künstlich beleuchtet sind und sich in den Hauptfahrtrichtungen nicht abgeschirmte Tageslichtöffnungen (Fenster) befinden, können diese zu unerträglicher Blendung und zu Orientierungsverlust führen und damit zu einem Sicherheitsrisiko werden. Hohe Reflexionsgrade und die zusätzliche Beleuchtung dieser Innenflächen verringern die Helligkeitskontraste und damit die Blendung. Besteht aus den Hauptbewegungsrichtungen Sichtkontakt zum Tageslicht nach außen, sind die Werte für die Beleuchtungsstärke (siehe Tabelle 4.82) in diesen Bereichen zu verdoppeln.

Der in Deutschland seit 1968 bestehende Bundesverband Parken e. V. (www.parken.de) repräsentiert die Betreiber von über 3.200 Parkhäusern, Tiefgaragen und sonstigen Großstellplätzen mit

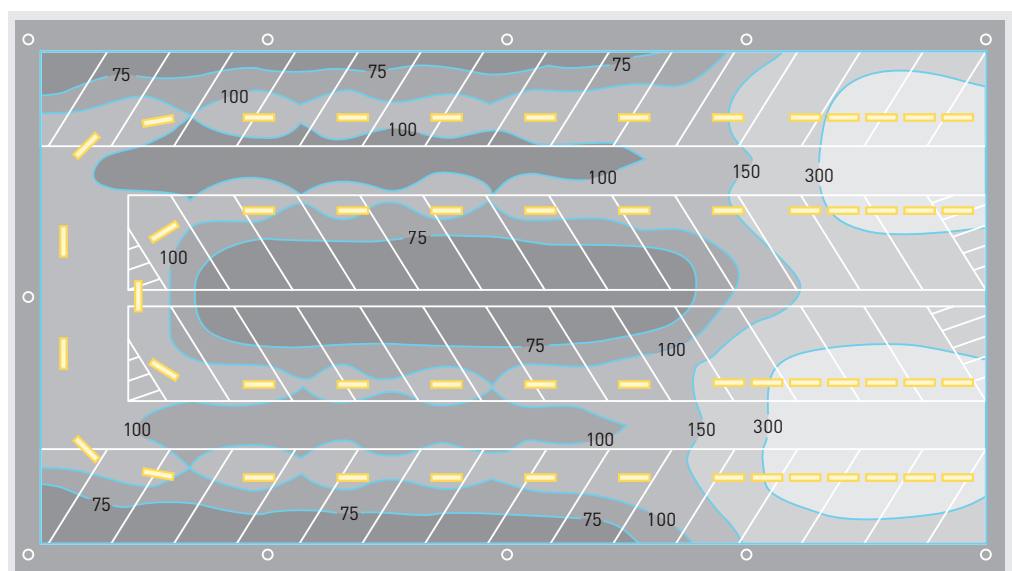


Abbildung 4.64:
Beispiel für die
Planung der
Beleuchtung in einer
Parkgarage nach
EN 12464-1 [51].
Verteilung der hori-
zontalen Beleuch-
tungsstärke (Isolux-
linien) in lx

ca. 1,2 Mio. Stellplätzen. Das sind etwa 80 % aller Parkhäuser in Deutschland. Der Verband vertritt die Auffassung eines benutzerfreundlichen, hellen Parkhauses und stellt die Wünsche der Nutzer in Bezug auf Sicherheit, Attraktivität, Übersichtlichkeit und Sauberkeit eines Parkhauses in den Vordergrund. Licht und Farbe, mit denen Orientierung und Sicherheit eng verknüpft sind, sind dafür vorrangige Gestaltungsgrundsätze. Die in der Norm DIN 67528 [14] enthaltenen Anforderungen an die Beleuchtung entsprechen nach Auffassung des Verbandes diesem Ziel.

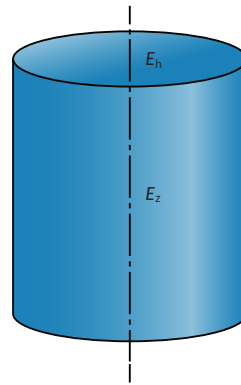


Abbildung 4.63:

Abbildung 4.63: Der Mittelwert der vertikalen Beleuchtungsstärken auf einer Zylinderoberfläche ergibt die zylindrische Beleuchtungsstärke. Das Verhältnis der zylindrischen und der horizontalen Beleuchtungsstärke definiert die Schattigkeit E_z/E_h an diesem Punkt.

4.11.5 Lichttechnische Anforderungen

Parkbauten (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltabelle“)

Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a) lx	b) lx				mit $U_o \geq 0, 10$ lx lx lx			
34.1	Ein- und Ausfahrtwege (während des Tages)	300	500	0,40	40	25	75	75	50	Beleuchtungsstärke am Boden. Sicherheitsfarben müssen erkennbar sein.
34.2	Ein- und Ausfahrtwege (während der Nacht)	75	100	0,40	40	25	50	50	30	Beleuchtungsstärke am Boden. Sicherheitsfarben müssen erkennbar sein.
34.3	Verkehrsspuren, interne Rampen und Fußgängerwege	75	100	0,40	40	25	50	50	30	Beleuchtungsstärke am Boden. Eine hohe vertikale Beleuchtungsstärke erhöht die Erkennbarkeit menschlicher Gesichter und somit das Gefühl der Sicherheit (siehe auch Kapitel 2.8 „Räumliche Beleuchtung, Lichtrichtung, Modelling“).
34.4	Park-/Abstellflächen – nicht öffentlich zugänglich	75	100	0,25	40	–	50	30	15	
34.5	Parkplätze – öffentlich zugänglich mit einer großen Anzahl von Nutzern, z. B. Einkaufszentren, Arenen	150	200	0,40	40	–	50	50	15	
34.6	Schalter	300	500	0,60	80	19	75	75	50	Reflexe an den Fenstern sind zu vermeiden. Blendung von außen ist zu vermeiden.

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Zone	\bar{E}_m	$\bar{E}_{m,z}$	$\bar{E}_{m,v}$
Ein- und Ausfahrtwege (während des Tages)	300	–	–
Ein- und Ausfahrtwege (während der Nacht)	50	–	–
Fahrwege	–	50	–
Park-/Abstellflächen	–	–	50
Treppenhäuser	100		
Kassenbereiche	100		
Sonstige Bereiche	> 1		

Tabelle 4.82: Lichttechnische Anforderungen an Parkbauten gemäß DIN EN 12464-1 [51] (obere Tabelle) bzw. DIN 67528 [14] (untere Tabelle)

4.12 Beleuchtung weiterer Innenräume

In diesem Kapitel werden Hinweise für die Beleuchtung verschiedener Innenräume gegeben. Nur in wenigen Fällen kann man dabei auf Normen zurückgreifen. In einigen Fällen haben entsprechende Berufsverbände Beleuchtungsempfehlungen erarbeitet.

4.12.1 Landwirtschaft

Landwirtschaftliche Betriebsstätten, die als Arbeitsstätten ebenfalls den Arbeits- und Gesundheitsschutzgesetzen unterliegen, müssen auch in Zeiten ohne ausreichendem Tageslicht gut beleuchtet sein, um einen reibungslosen und sicheren Arbeitsablauf zu ermöglichen. Gute Übersichtlichkeit im Gebäudeinneren und ausreichende Beleuchtung an den Arbeitsplätzen, im Hofbereich und auf den Verkehrsflächen hilft Unfälle zu verhüten und fördert die Reinlichkeit.

Grundsätzlich müssen alle Räume und Verkehrsflächen (innen und außen) eine ausreichende Übersichtsbeleuchtung und spezielle Arbeitsplätze eine erhöhte Beleuchtungsstärke gemäß Tabelle 4.83 mit genügender Gleichmäßigkeit aufweisen. Gute Beleuchtung vermeidet Unfälle, erhöht die Aufmerksamkeit und die Produktivität.

In landwirtschaftlichen Betrieben ist die Wartung, vor allem die Reinigung der Beleuchtungskörper, besonders wichtig, um die Beleuchtungsstärke nicht unter die Mindestwerte sinken zu lassen. Wartungsfaktoren bis zu 0,50 können bei extremer Verschmutzung (Staubanfall) für die Planung der Beleuchtung notwendig werden (s. a. Kapitel „Allgemeine Anforderungen“, Abschnitt [3.1](#) „Wartungsfaktor“).

Die Auswahl der Leuchten hinsichtlich Schutz gegen Eindringen von Staub und Feuchte (Schutzart) und Schutz gegen gefährliche Berührungsspannungen (Schutzklasse) richten sich

nach den Raumbedingungen (siehe Kapitel 5.10, „Elektrische Sicherheit“). Sie sollten bevorzugt an der Decke, nur in Sonderfällen an den Wänden montiert sein.

Bei der Auswahl von Leuchten für Bereiche der Tierhaltung ist auf die Verträglichkeit von Kunststoffen gegenüber Ammoniak zu achten. Dies gilt einerseits für die äußeren Komponenten, ist auf Grund eines langfristigen Konzentrationsausgleichs mit der umgebenden Atmosphäre ggf. aber auch für die inneren Komponenten zu beachten. Es sollten daher nur spezielle, für diesen Einsatz geeignete Leuchte verwendet werden (siehe Kapitel [7](#) „Leuchtauswahltabelle“). Eine Rücksprache mit dem technischen Support des Leuchtenherstellers ist ggf. zu empfehlen.

Tageslichtabhängige Steuerung der Beleuchtung und Bewegungsmelder für die Außenbeleuchtung tragen zur Energieeinsparung bei.

Spezielle Beleuchtungseinrichtungen mit erhöhtem Infrarotanteil, z. B. für die Aufzucht von Geflügeltieren, können notwendig sein.

4.12.2 Weinwirtschaft

In der Weinwirtschaft handelt es sich im Wesentlichen um Verkaufsräume, Betriebsräume und Außenbereiche, die ausreichend beleuchtet werden müssen. Einzelheiten zur Beleuchtung dieser Bereiche sind in den betreffenden Kapiteln und Abschnitten dieser Schrift enthalten. Planungswerte für die Beleuchtung von speziellen Raumarten in der Weinwirtschaft sind in Tabelle 4.83 aufgeführt.

4.12.3 Gewächshäuser

Licht hat einen großen Einfluss auf das Pflanzenwachstum. Licht liefert die Energie für die Photosynthese, den Aufbau und das Wachstum der organischen Substanz. Licht löst bestimmte (photoperiodische) Entwicklungsvorgänge der Pflanzen aus, z.B. Blütenbildung, Beginn des Wachstums und der Wachstumsruhe. Licht beeinflusst auch das äußere Erscheinungsbild der Pflanzen.

Mit der photoperiodischen Pflanzenbelichtung (photoperiodisches Reizlicht) lässt sich das Wachstum der Pflanzen steuern, wobei der botanische Tag der Pflanzen je nach Art unterschiedlich ist. Eine Kurztagpflanze, z.B. Chrysanthem und Kalanchoe (Flammendes Käthchen), beginnt zu blühen, wenn ihre arttypische, kritische Tageslänge unterschritten wird und damit eine entsprechend lange Dunkelperiode entsteht. Um z.B. deren Blütenbildung zu behindern, ist eine Verlängerung des Tageslichtes (Verkürzung der Dunkelzeit) über die kritische Tageslänge hinaus mit künstlicher Beleuchtung mit einer Beleuchtungsstärke von 20 lx bis 200 lx (Werte artenabhängig) notwendig.

Die künstliche Tagesverlängerung kann statt mit einer Dauerbeleuchtung auch durch Intervallbeleuchtung erfolgen, womit über 50 % Beleuchtungsenergie gespart werden kann. Zum Beispiel

werden Leuchten für 10 Minuten ein- und 20 Minuten ausgeschaltet. Bei den photoperiodischen Vorgängen spielen blaue, rote und IR-Spektralbereiche der Lichtquellen die wichtigste Rolle. Es gibt auch tagneutrale Pflanzen, deren Blütenbildung unabhängig von einer künstlich gesteuerten Tageslänge ist.

Die wirtschaftliche Nutzung von Zierpflanzen erfordert fast zwingend eine photoperiodische Pflanzenbelichtung. Zur Wachstumsförderung (Photosynthese) werden Beleuchtungsstärken von 1.500 lx bis 6.000 lx benötigt, als Minimalwert gelten 1.000 lx. LED-Leuchten mit spezifischen Spektren fördern den Wachstumsprozess in besonderer Weise, Detailsempfehlungen geben spezialisierte Hersteller.

Die Gartenbau-Berufsgenossenschaft hat aufgrund DIN VDE 0100 [\[43\]](#) festgelegt, dass Gewächshäuser „nasse und durchtränkte Räume“ sind und die Leuchten mindestens tropfwassergeschützt (IPx1) sein müssen; im Einflussbereich von Bewässerungsanlagen mindestens spritzwassergeschützt (IPx4) und bei scharfem Abspritzen mit dem Schlauch mindestens strahlwassergeschützt ((IPx5) siehe auch Kapitel [7](#), „Leuchtauswahltabellen“). An die Leuchten in Gewächshäusern werden hohe Anforderungen hinsichtlich Beständigkeit gegen Temperaturwechsel, Luftfeuchtigkeit und chemische Einwirkungen durch Schädlingsbekämpfungsmittel gestellt.





4.12.4 Feuerwehrrhäuser

Die Wichtigkeit von Feuerwehrrhäusern machte es auch in der Vergangenheit notwendig, besondere Beleuchtungsanforderungen zu normen, die jedoch inzwischen weitestgehend durch EN 12464-1 [51] abgedeckt sind. Die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) hat mit der Informationsschrift DGUV Information 205-008 „Sicherheit im Feuerwehrrhaus“ [114] (Ausgabe 2016) auch Mindestanforderungen an die Beleuchtung festgelegt. Die Planungswerte nach Tabelle 4.84 sind sowohl aufgrund dieser GUV-Schrift als auch nach EN 12464-1 [51] zusammengestellt.

Feuerwehrrhäuser sind Arbeitsstätten, die besonderer Gefährdung unterliegen. Die Planungswerte sollten daher nur als Mindest- und Orientierungswerte interpretiert werden. Ferner sind entsprechende Arbeitsschutzbestimmungen zu beachten. Insbesondere müssen starke Helligkeitsunterschiede zwischen Außen- und Innenbereichen vermieden werden, die zu Sehstörungen durch wechselnde Adaptation auf unterschiedliche Beleuchtungsniveaus führen. Benachbarte Räume sollten deshalb keine größeren Beleuchtungsstärken-Unterschiede als 1 : 10 aufweisen, andernfalls sind entsprechend beleuchtete Übergangszonen zu schaffen. Dies gilt insbesondere für Ein- und Ausgänge, z.B. bei Hallenein- und -ausfahrten. Hier soll bei Tagbetrieb die Übergangszone im Innenbereich mit $2 \times E_m$ beleuchtet werden, mindestens jedoch mit

400 lx. Bei Nachtbetrieb liegt der Übergangsbereich außerhalb der Halleneinfahrt und soll mit $0,5 \times \bar{E}_m$ bis $0,2 \times \bar{E}_m$ beleuchtet werden, wobei \bar{E}_m in beiden Fällen die Beleuchtungsstärke (Wartungswert) des Innenbereiches ist, der nicht immer eine Verkehrsfläche sein muss, sondern auch Bereich mit höheren Sehaufgaben sein kann. Die GUV-Schrift fordert im Außenbereich vor Halleneinfahrten einen Wartungswert der Beleuchtungsstärke von 50 lx. Im Freien befindliche Parkplätze und Gehwege sind mit 10 lx zu beleuchten.

4.12.5 Stimmungsbetonte Räume

In stimmungsbetonten Räumen, wie Kirchen, Musiksälen, Theatern, Galerien usw., sowie in repräsentativen Räumen, wie Hotels, Gesellschaftsräumen, Festsälen usw., spielen in besonderem Maße gestalterische Gesichtspunkte und solche der Behaglichkeit eine Rolle. Im Kapitel 4.7 „Beleuchtung öffentlicher Bereiche“ werden einige Hinweise dazu gegeben. Wird in solchen Räumen oder in Teilbereichen davon auch gearbeitet, z.B. im Orchestergraben des Theaters und bei der Einlasskontrolle zum Festsaal, oder dienen sie einer Freizeitgestaltung mit vergleichbaren Sehanforderungen, sind die entsprechenden Anforderungen an die Beleuchtung nach EN 12464-1 [51] zu berücksichtigen.

4.12.6 Wohnbereiche

Die Gestaltung und die Beleuchtung von Wohnbereichen lässt sich nicht normen. Das ist eine sehr individuelle und innenarchitektonische Aufgabe. Für Arbeitsplätze im Wohnbereich, z.B. für das Homeoffice, gelten die Anforderungen an die Beleuchtung wie für Arbeitsräume nach EN 12464-1 [51]. Der Wartungswert der horizontalen Beleuchtungsstärke E_h in Treppenhäusern von Wohngebäuden sollte mindestens 50 lx betragen.

4.12.7 Lichttechnische Anforderungen

Land- und Weinwirtschaft (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtauswahltable“)

Nr.	Ref.- Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a)	b)				mit $U_o \geq 0, 10$			
		lx	lx				lx	lx	lx	
Landwirtschaft										
6.1	Beschicken und Bedienen von Fördereinrichtungen und Maschinen	200	300	0,40	80	25	50	0	-	
6.2	Viehställe	50	75	0,40	40	-	-	-	-	
-	Melkzone	100	25	0,40	80	25	50	50	-	
-	Melkstand	200	-	0,60	40	25	-	-	-	
-	Scheune, Boden, Schuppen	50	-	0,40	80	-	-	-	-	
-	Verkehrsflächen und Flure mit Fahrzeugverkehr	150	-	0,40	80	28	-	-	-	
6.3	Ställe für kranke Tiere, Abkalbställe	200	-	0,60	80	25	50	50	-	
6.4	Futteraufbereitung, Milchräume, Gerätereinigung	200	-	0,60	80	25	50	50	-	
-	Gewächshäuser									
	- Allgemeinbeleuchtung, je nach Pflanzenart	50	-	-	-	25	-	-	-	Spezielle Empfehlungen hinsichtlich der spektralen Zusammensetzung des Lichtes geben die Lampenhersteller.
		bis 500								
	- Wachstumsförderung (Assimilationslicht)	1000	-	-	-	25	-	-	-	
		bis 5000								
18.11	Montagearbeiten:									
	- grobe	200	300	0,60	80	25	50	50	30	
	- mittelfeine	300	500	0,60	80	25	75	75	30	
-	Hofraum									Siehe auch EN 12464-2, aus Sicherheitsgründen höhere Gleichmäßigkeit U_o und höherer Farbwiedergabe-Index empfohlen.
	- Allgemeinbeleuchtung	5	-	0,40	40	-	-	-	-	
	- Betriebshöfe	20	-	0,40	20	-	-	-	-	
	- Verkehrsflächen	50	-	0,40	40	-	-	-	-	
	- Tierstände, Sortierpferche	50	-	0,40	40	-	-	-	-	
-	Offene Geräteschuppen	50	-	0,40	40	-	-	-	-	
Weinwirtschaft										
-	Tanklager	200	-	0,60	80	25	-	-	-	Leuchten über den Gängen anordnen.
-	Flaschenlager	200	-	0,60	80	25	-	-	-	
-	Kelterbereich	300	-	0,60	80	22	-	-	-	
4.1	Vorrats- und Lagerräume	100	150	0,40	60	25	50	50	0	Ggf. Raumtemperatur bei Beleuchtung mit Leuchtstofflampen beachten.
-	Hofbereiche	10	-	0,40	40	-	-	-	-	
		bis 20								
-	Verkaufs- und Probierbereiche	300	500	0,60	80	19	-	-	-	

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.83:
Lichttechnische Anforderungen an Fertigungsstätten in der Landwirtschaft gemäß DIN EN 12464-1 [51] und DLG-Merkblatt 415 „Beleuchtung und Beleuchtungstechnik im Rinderstall“ [121]

Feuerwehrräume (siehe auch Kapitel 7 „Leuchtenauswahltabelle“)

Nr.	Art des Raumes, der Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m		U_o	R_b	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$...Wand ...Decke			Bemerkungen*
		a) lx	b) lx				mit $U_o \geq 0, 10$ lx lx lx			
-	Stellplätze für Einsatzfahrzeuge	150	- ^c	0,40	60	25	-	-	-	Leuchten über den Gängen, neben den Stellplätzen anordnen. Bei Installationsarbeiten, siehe Werte für Werkstätten.
-	Stellplätze mit Prüf- und Wartungsarbeiten an Feuerwehrentechnik	300	- ^c	0,6	80	22	-	-	-	
-	Geräte- und Lagerräume besonderer Ausstattung (Regale, Schränke)	100	- ^c	0,40	60	22	-	-	-	Schutzart der Leuchten je nach Lagergut, bei Treibstofflagerung Technische Regeln für brennbare Flüssigkeiten beachten.
-	Schulungsräume	500	- ^c	0,70	80	22	-	-	-	Dimm- oder schaltbar.
2.1	Kantinen, Teeküchen	200	500	0,40	80	22	75	75	50	
-	Bürräume	500	1000	0,60	80	19	150	150	100	Bildschirmgerechte Beleuchtung siehe Kapitel 4.3 „Beleuchtung von Büros und Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen“.
-	Einsatzzentrale									
-	- Allgemeinbeleuchtung	300	- ^c	0,60	80	19	-	-	-	
-	- am Arbeitsplatz	500	1000	0,60	80	19	150	150	100	
-	Werkstätten, Schlauchpfliegerwerkstätten	300	- ^c	0,60	80	25	-	-	-	500 lx bei besonderer Gefährdung, wie z. B. an Kreissägen, in Atemschutzwerkstätten, sowie nach EN 12464-1 in Ausbildungsstätten.
-	Arbeitsräume in Atemschutzwerkstätten	500	- ^c	0,40	80	22	-	-	-	
-	Waschhallen	150	- ^c	0,40	80	25	-	-	-	Leuchten der Schutzart IP55 siehe Kapitel 5.10 „Schutz gegen Feuchte und Fremdkörper“.
-	Außenanlagen, Stauraum, PKW-Abstellplätze	10	- ^c		20	-	-	-	-	siehe EN 12464-2 [52]
-	Alarmparkplätze	20	-		20	-	-	-	-	
-	Halleneinfahrten	50	- ^c	0,4	20	-	-	-	-	
-	Übungsplätze (außen)	200	-	0,6	60	-	-	-	-	
2.2	Bereitschaftsräume, Pausenräume	100	200	0,40	80	22	50	50	30	Hygiene und Sicherheit können auch höhere Beleuchtungsstärkewerte erfordern. Zusatzbeleuchtung an Spiegeln.
-	- Leseaufgaben	300	- ^c		80	22	-	-	-	
2.4	Garderoben, Waschräume, Duschen, WC, Umkleieräume, Trocknungsräume	200	300	0,40	80	25	75	75	50	GUV: Trocknungsräume 100 lx.
-	Flure	100	- ^c	0,40	40	28	-	-	-	
-	Treppen	150	- ^c	0,40	40	25	-	-	-	
-	Arbeitsplätze und Verkehrswege in Feuerwehrtürmen	150		0,40	80	25	-	-	-	

a) erforderlicher Mindestwert,

b) modifizierter Wert (berücksichtigt übliche Kontextmodifikatoren, siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“)

c) in Anlehnung an die Norm DIN EN 12464-1 sollten auch auf die in der DGUV Information 205-008 angegeben

Werte Kontextmodifikatoren (Erhöhung der Beleuchtungsstärke um eine bis zwei Stufen) angewendet werden.

* Spezifische Anforderungen gemäß der Norm DIN EN 12464-1, teilweise mit ergänzenden Hinweisen.

Tabelle 4.84:
Lichttechnische
Anforderungen an
Feuerwehrräume
gemäß
DIN EN 12464-1 [51]
und DGUV Information
205-008 [114]



LEUCHTEN

Inhalt

5.0	Leuchten	350
5.1	Der erweiterte Qualitätsbegriff	352
5.2	Lichttechnische Klassifizierung	358
5.3	Lichttechnische Eigenschaften	370
5.4	Photobiologische Sicherheit	378
5.5	Konstruktive Eigenschaften, Montage und Anschluss	382
5.6	Kennzeichnung von Leuchten	391
5.7	Betrieb von Leuchten	395
5.8	Betriebseigenschaften von LED-Leuchten	401
5.9	Betrieb von Bestandsleuchten für Entladungslampen	408
5.10	Elektrische Sicherheit	412
5.11	Brandschutz	416
5.12	Elektromagnetische Sicherheit	420
5.13	Mechanische Sicherheit	429
5.14	Chemische und sonstige Einflüsse	431
5.15	Akustische Eigenschaften	434

5.0 LEUCHTEN

Seit dem Ende des 19. Jahrhunderts sind in den Industrieländern in erheblichem Umfang elektrotechnische Anlagen für alle Nutzungsbereiche des täglichen Lebens errichtet worden, dabei in den meisten Anwendungen auch in Kombinationen mit Beleuchtungsanlagen. In dieser Zeit sind in den Ländern voneinander unabhängig technische und betriebsrelevante Rahmenbedingungen erarbeitet und als nationale Normen festgelegt worden.

Mit der Gründung der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft 1957/58 wuchs der handelspolitische Druck, die Normen aneinander anzupassen (zu harmonisieren). Die Harmonisierung der betreffenden Normen nimmt einige Zeit in Anspruch, wobei die Dauer dafür im Einzelfall wesentlich vom Aufwand für die Umstellung auf die neue Norm bestimmt wird.

Besondere Aufmerksamkeit verdient die Normung bzgl. der Sicherheit im Sinne des Schutzes der Anwender, weshalb diese durch Errichtungsvorschriften geregelt ist. Die zwei vorrangigen Schutzziele in den Errichtungsvorschriften für elektrische Anlagen sind:

- Elektrische Anlagen sind so zu errichten und zu betreiben, dass Personen und Nutztiere durch gefährliche Körperströme nicht gefährdet werden.
- Elektrische Anlagen dürfen nicht durch unzulässig hohe Temperaturen Gefahren für Sachwerte hervorrufen.

Aus diesen Grundsätzen leitet sich auch die Frage der Verbindlichkeit der Errichtungsvorschriften, z. B. DIN VDE 0100, ab. Im Gegensatz zu den meisten nationalen und europäischen Normen anderer Sachgebiete, z. B. der Beleuchtungstechnik (siehe Hauptkapitel 2, „Lichttechnische Kriterien der Beleuchtung“), die als allgemeiner Stand der Technik eher empfehlenden Charakter haben, enthalten die Vorschriften für das Errichten von Elektroanlagen, einschließlich ihrer Komponenten, sicherheitstechnische Festlegungen, die meist aufgrund von Gesetzen und Verordnungen als allgemein anerkannter Stand der Technik mindestens einzuhalten sind.

Für Beleuchtungsanlagen bedeutet Sicherheit im Sinne der Errichtungsvorschrift:

- elektrische Sicherheit
- thermische Sicherheit
- mechanische Sicherheit.



Die **photobiologische Sicherheit** und die **Sicherheit bezüglich elektromagnetischer Verträglichkeit (EMV)** werden in weiteren europäischen Richtlinien gefordert (siehe Kapitel [5.12](#) „Elektromagnetische Sicherheit“ und [5.4](#) „Photobiologische Sicherheit“).

Für diese Aspekte bestehen klare Definitionen, wie die Betriebsmittel der Beleuchtungsanlage in Bezug auf diese zu prüfen sind. Die Verfahren der Prüfung, Klassifizierung und Kennzeichnung bzgl. der vier erstgenannten Kriterien sind in der Norm EN 60598-1 „Leuchten – Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfungen“ [\[69\]](#) (identisch zu VDE 0711-1) dokumentiert. Auch für die elektromagnetische Sicherheit bestehen Prüfnormen, denen die Produkte entsprechen müssen, wenn sie auf dem europäischen Markt angeboten werden (siehe Kapitel [5.6.5](#) „CE-Zeichen für Leuchten“).

Die photobiologische Sicherheit ist ein aktuell zunehmend zu berücksichtigender Aspekt in der Leuchtenprüfung. Die gestellten Anforderungen beziehen sich auf die Gefährdung des Anwenders durch das von der Leuchte erzeugte Licht, insbesondere auf die Gefährdung seiner Augen in Hinblick auf die spektrale Zusammensetzung des Lichtes und die in der Anwendung auftretenden Leuchtdichten sowie der Expositions-dauer. Dieser Aspekt ist mit der LED als neuem, hocheffizientem Leuchtmittel in den Fokus der Normung gekommen, ist aber ebenfalls schon bei Einsatz vieler Hochdruck-Entladungslampen zu berücksichtigen gewesen.

Für die **Sicherheit gegen chemische und sonstige Einwirkungen** gibt es keine allgemeinen Prüfnormen, da jeweils die Anwendung und die spezifischen Einwirkungen zu berücksichtigen sind. Für ihre Beurteilung ist der anwendungstechnische Sachverstand des Errichters der elektrischen Anlage vor Ort gefordert.

Zwischen den Kapiteln sicherheitsrelevanter Aspekte befinden sich immer auch weitere Abschnitte mit anwendungstechnischen Hinweisen bzgl. lichttechnischer, mechanischer,

thermischer, akustischer, lufttechnischer und elektrotechnischer Eigenschaften. Diese betreffen das Material, den konstruktiven Aufbau, die Montage, den Anschluss und den Betrieb von Leuchten.

Die beschriebenen Eigenschaften können als allgemeine anwendungsspezifische Auswahlkriterien betrachtet werden. Ihre Berücksichtigung soll helfen, Probleme bei der Errichtung und Inbetriebnahme zu vermeiden und einen performanten Betrieb der Beleuchtung zu gewährleisten. In Einzelfällen kann Nichtbeachtung auch zu Sicherheitsrisiken führen, die nicht durch normative Vorgaben vermieden werden können.

Die nachfolgenden Abschnitte erläutern,

- welche Prüfverfahren auf Leuchten (durch den Hersteller) anzuwenden und zu dokumentieren sind,
- welche erforderlichen Kennzeichnungen der Produkte daraus folgen und
- wie die Qualität der Produkte im Sinne des größtmöglichen Verbraucher- und Anwendernutzens optional zusätzlich gekennzeichnet werden kann.

Die Kennzeichnung erfolgt teilweise auf dem Typenschild der Leuchte und teilweise in der vom Hersteller beigestellten Dokumentation des Produktes. Diese kann in Form von Montage- und Bedienungsanleitungen, bzw. Datenblättern vorliegen.

Wenn Leuchten in Anwendungen mit besonderen Umgebungsbedingungen betrieben werden, bestehen für sie häufig spezifische, erhöhte Sicherheitsanforderungen. Solche Anwendungen und die ggf. dort anzuwendenden Normen, Unfallverhütungsvorschriften und Sicherheitsregeln werden im Kapitel [6](#) behandelt.

Es wird kein Anspruch auf Vollständigkeit z. B. bezüglich der Forderungen aus Normen, Vorschriften und Empfehlungen erhoben. Im Zweifelsfall sind die zuständigen Aufsichtsorgane, z. B. Gewerbeaufsichtsämter, Überwachungsvereine, Berufsgenossenschaften, zu befragen.

5.1 Der erweiterte Qualitätsbegriff

Qualitätsbewusstsein ist die Voraussetzung für erfolgreiche Investitionen. Für die Qualität langlebiger Investitionsgüter bedeutet dies, dass sie sich nicht nur auf die in Prüfverfahren dokumentierten Produkteigenschaften reduziert, wie sie z.B. in den Verkaufsunterlagen und auf dem Typenschild des Produktes angegeben sind. Der erweiterte Qualitätsbegriff erfasst folgende Ebenen:

- Dienstleistung des Herstellers vor dem Verkauf als Basis für eine vertrauensvolle Partnerschaft mit den Kunden, wie den Planern, dem Handel, dem Installateurhandwerk und den Verbrauchern. Diese konzentriert sich zunehmend auf die Erstellung von Problemlösungen anstelle des Angebots von Produkten mit spezifischen Eigenschaften.
- Klarheit und Wahrheit über die Produkteigenschaften sind Voraussetzung für eine, in beiderseitigem Interesse liegende, korrekte Abwicklung des Verkaufsgeschäftes.
- Dienstleistung des Herstellers nach dem Verkauf, ggf. über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes.

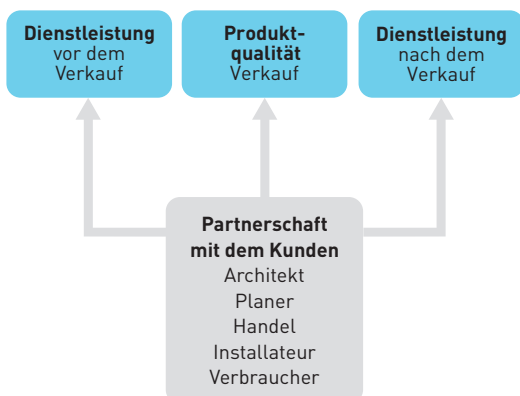


Abbildung 5.1

Die nachfolgenden Kapitel 5.1.1 bis 8 befassen sich umfassend und detailliert mit den weitreichenden Qualitätskriterien von Leuchten. Das Kapitel 5.6 „Kennzeichnung von Leuchten“, befasst sich dabei insbesondere mit der Prüfung und Dokumentation von Qualität.

5.1.1 Dienstleistung vor dem Verkauf

Der **Kunde** will die richtige Kaufentscheidung treffen, d. h. in dem immer vielfältiger und spezieller werdenden Fach- und Vorschriftenfeld eine möglichst gute Investition tätigen. Dazu muss er nicht nur fachkompetent, sondern auch aktuell informiert sein. Orientierende Hinweise sind ihm bei Planung und Ausschreibung der Produkte eine wichtige Hilfe. Er wünscht sich eine zuverlässige Unterstützung durch die Hersteller bei der Lösung anstehender Beleuchtungsaufgaben.

Der **Hersteller** bietet den Kunden einen umfangreichen Service in Form von Planungswerkzeugen, persönlicher Beratung und verfügbaren Unterlagen an. Dazu gehören Software-Tools (siehe auch Abbildungen 5.2), Schulungen bzgl. einschlägiger Normen und Vorschriften, Informationen zu aktuellen Themen und Entwicklungen aus dem Fachbereich sowie umfassende Produktdokumentationen (siehe auch Abbildungen 5.5) zu Serien- und Sonderprodukten. Produktinformationen stehen nahezu nur noch in digitaler Form zur Verfügung.

Auch bei der Lösung komplexer Beleuchtungsaufgaben steht der Qualitätshersteller mit seiner Fachkompetenz und langjährigen Erfahrung zur Verfügung. Er ermöglicht Problemanalysen und objektspezifische Systemlösungen, die auf zukunftsweisende, lichttechnische Konzepte für gute Beleuchtung ausgerichtet sind. Unter Wahrung wirtschaftlicher und ökologischer Zielvorgaben finden architektonische und gestalterische Aspekte Berücksichtigung.

Abbildung 5.1:
Der erweiterte
Qualitätsbegriff

Dieser Service in Kombination mit moderner, zuverlässiger Technik in zeitgemäßem Design schafft Planungssicherheit.

Auch die Angebote der Branchenverbände (z. B. ZVEI, licht.de) in Form von

- Weiterbildung und Qualifikation,
- Hilfen zur Erschließung neuer Marktchancen,
- Akquisitionshilfen,
- Beratungs- und Planungsservice,
- Mitteilung von Trends und Tendenzen und
- Verbraucherinformationen für mehr Produktnutzen

werden durch das Engagement im betreffenden Verband sowie durch die individuelle Beteiligung der Hersteller an dessen Maßnahmen erst ermöglicht.

Beispiel für Planungshilfen

Planungshilfen sind u. a.:

- tabellarische und graphische Lösungsvorschläge
- computergestützte Planungen

- Datensätze und Software-Tools für die Beleuchtungsplanung
- realitätsnahe Darstellungen
- Hilfsmittel für Wirtschaftlichkeitsberechnungen
- Problemlösungen mit objektspezifischen Optiken und deren Darstellung in der virtuellen Realität des Beleuchtungsprojekts sowie dazugehörige Machbarkeitsanalysen
- Musterleuchten
- Musterinstallationen
- Installations- und Nutzungshinweise.

5.1.2 Produktqualität

Die maßgeblichen Kriterien der Produktqualität moderner Lichtsysteme haben sich in der jüngsten Vergangenheit grundlegend verändert. Die Transformation nahezu aller Produktsegmente vom Betrieb einer auswechselbaren, traditionellen Lichtquelle (z. B. Leuchtstofflampe) mit ihren technologietypischen Betriebseigenschaften hin



Abbildung 5.2:
Realitätsnahe Darstellungen unterstützen den Entscheidungsprozess.

zur optimierten Integration hochspezialisierter LED-Komponenten hat diesen Wechsel erfordert.

Für die Beurteilung der Qualität und Gebrauchstüchtigkeit von LED-Leuchten ist zu berücksichtigen, dass die in der technischen Produktdokumentation angegebenen Daten eindeutig und auf gesicherter Grundlage ermittelt worden sein sollten. Insbesondere für die Lichtausbeute und die Nutzlebensdauer werden im Markt häufig missverständliche Angaben gemacht. Diese können nicht nur zu einer falschen Beurteilung der Produktqualität sondern ggf. sogar zu lichttechnischen Fehlplanungen führen. TRILUX verwendet in seinen Dokumentationen aus diesem Grund grundsätzlich die im ZVEI-Leitfaden „Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung“ [167] und der Vereinbarung der europäischen Leuchtenindustrie „Evaluating performance of LED based luminaires, Guidance Paper“ [122] verwendeten Definitionen folgender Begriffe:

- Bemessungsleistung (siehe Kapitel 9.2.1)
- Bemessungslichtstrom (siehe Kapitel 9.2.1)
- Bemessungslebensdauer in Stunden L_x für den Lichtstromrückgang auf x % (siehe Kapitel 9.2.4)
- ähnlichste Farbtemperatur (CCT in K, siehe Kapitel 9.2.2)
- Bemessungsfarbwiedergabeindex (siehe Kapitel 9.2.3)
- zul. Umgebungstemperatur der Leuchte (siehe Kapitel 5.7.2 und 9.2.3)

- Bemessungslichtausbeute der Leuchte (siehe Kapitel 9.2.1).

Ein zentraler Aspekt ist der sichere Schutz gegen Schädigungen der LED durch elektrostatische Entladungen (electro static discharge, ESD-Schutz) über den gesamten Herstellungsprozess. Ähnlich wie die Baugruppen in Computern sind die LED-Baugruppen moderner Leuchten hochempfindliche Elektronikkomponenten. Schon kleinste durch eine elektrostatische Entladung verursachte Ströme können Vorschädigungen bewirken, die häufig nicht unmittelbar erkennbar sind, aber zu einem frühzeitigen Totalausfall führen können. Ein wichtiges Qualitätsmerkmal für LED-Leuchten ist daher, dass in allen Bereichen nach dem Entpacken der LED-Komponenten, insbesondere in den Bereichen der Montage, umfangreiche Vorkehrungen zum Schutz der Bauteile nachweislich getroffen und eingehalten werden. Auch der etwaige Austausch von Komponenten ist daher in der Regel vom Leuchtenhersteller vorzunehmen, sofern nicht ein Austausch-Set mit zugehöriger Montageanleitung vorliegt.

Aber auch die Unempfindlichkeit der Leuchte gegen elektrostatische Schädigungen im Betrieb ist zu gewährleisten (ESD, siehe auch Kapitel 5.12.5 „Elektromagnetische Sicherheit, EN 61547“).

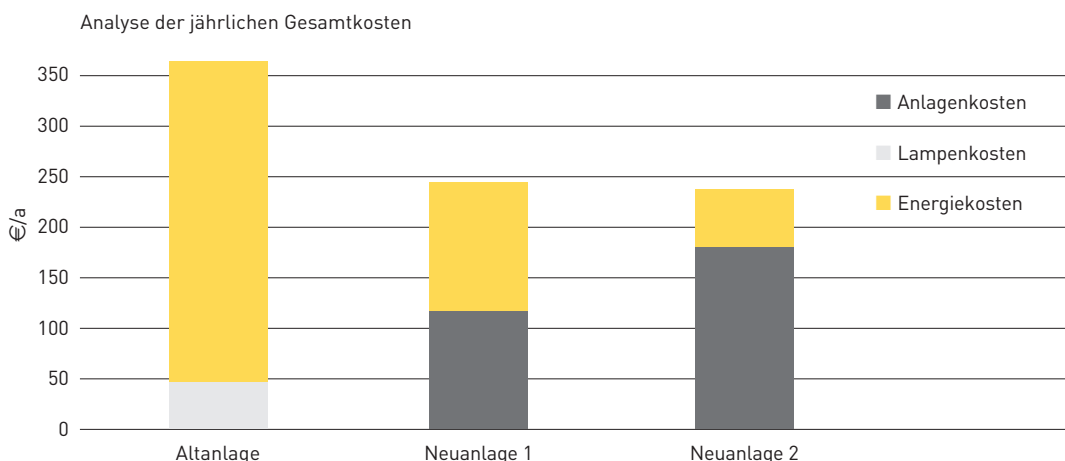


Abbildung 5.3: Kostenberechnungen: Die jährlichen Gesamtkosten bestehen aus den Anlagenkosten, den Wartungskosten und den Energiekosten. Produktqualität und dadurch bedingt der Leuchtenpreis bedingen nur einen Teil der Gesamtkosten einer Beleuchtungsanlage. Energiesparende Qualitätsleuchten können über den Nutzungszeitraum betrachtet erheblich günstiger sein.

Unumgängliche Voraussetzungen zur Erreichung hochwertiger Erzeugnisse mit verlässlicher Gebrauchstüchtigkeit sind daher:

- moderne Entwicklungstechnologien: CAD-gestütztes Konstruieren und thermische Simulationen
- detaillierte Prüfungen in lichttechnischen, elektrotechnischen, elektronischen und akustischen Laboratorien
- eindeutige, korrekte und unmissverständliche Dokumentation der technischen Eigenschaften von LED-Produkten
- der Einsatz hochwertiger Komponenten und Materialien, wie z. B. Platinen, Verbindungstechnik, Reflektoren, Abdeckungen, Dichtungen und Verschlüsse
- hochtechnologische teil- bzw. vollautomatische Fertigungsverfahren für präzise Fertigungsprozesse
- die strenge Organisation und Ausstattung von Arbeitsplätzen für die Montage und Verarbeitung von LED-Komponenten gemäß der Normenreihe EN 61340-5 [79] „Schutz von elektronischen Bauelementen gegen elektrostatische Phänomene“.



Ohne diese Voraussetzungen wären unter anderem die dokumentierten lichttechnischen Eigenschaften, die implizierten thermischen Eigenschaften (siehe auch Kapitel 5.8.1 „Thermomanagement“), sowie der ESD-Schutz im Produktionsprozess und im Betrieb der Leuchte nicht zu gewährleisten.

Darüber hinaus tragen auch die konzeptionellen, nicht materiellen Aspekte zur zufriedenstellenden Verwendbarkeit der Produkte bei:

- Das gewählte Design ist zeitgemäß, damit Leuchtensysteme auch nach Jahren für etwaige Anlagenerweiterungen ergänzbar sind.
- Leuchten sind anschlussfertig, Leuchtensysteme sind vormontiert.
- Montagezubehör sowie geprüftes, systemgebundenes Zubehör (Durchgangsverdrahtung, Befestigungsbauteile usw.) stehen zur Verfügung.
- Montageanleitungen sind klar und unmissverständlich.
- Die Lieferbereitschaft ist hoch durch leistungsfähige Warendistribution und Logistik.
- Eine umweltverträgliche Entsorgung von Verpackungen und Altprodukten ist sichergestellt.

Beispiel für Produktinformationen

Produktinformationen sind u. a.:

- korrekte Produktabbildungen und Produktbeschreibungen
- schnelle Übersicht über die Approbationen (z. B. ENEC) und weitere Kennzeichnungen (z. B. o, IP50)
- wichtige Maße und Gewichte
- Anwendungsfotos und -beispiele
- Datensätze 2-dimensionaler und 3-dimensionaler Darstellungen der Produkte (siehe auch Kapitel 3.7, „Beleuchtungsplanung“)
- Datensätze für BIM-Planungsverfahren sind verfügbar (siehe auch Kapitel 3.7.8, „Building Information Modeling“)
- allgemein verständliche, fachlich kompetente Erläuterungen zu den verwendeten Begriffen, Zeichen und Abkürzungen
- lichttechnische und weitere Produktmerkmale in Form von Texten, Tabellen, Grafiken

und elektronisch weiterverarbeitbaren Datensätzen (siehe auch Kapitel 3.7 „Beleuchtungsplanung“)

- leicht verständliche Montagehinweise
- klare Dokumentation des Montagezubehörs.

Hinweis: Insbesondere ist für LED-Leuchten die verwendete Definition der Lebensdauer eindeutig anzugeben. Dazu ist die Angabe der Degradation (L_x) eindeutig auszuweisen (siehe auch Kapitel 9.2.4 „Lebensdauer von LED-Leuchten“), da diese den zu planenden Wartungsfaktor bestimmt (siehe auch Kapitel 3.1 „Wartungsfaktor“).

5.1.3 Dienstleistung nach dem Verkauf

Der Hersteller von Qualitätsprodukten legt größten Wert darauf, dass auch nach der Abwicklung des Verkaufsgeschäfts mit seinen Kunden – den Architekten und Planern, dem Groß- und Einzelhandel, dem Installateurhandwerk und den Endanwendern – weiterhin partnerschaftliche Beziehungen bestehen. Das bedeutet, dass er auch bei der Umsetzung und dem Betrieb des geplanten Projekts mit seiner Kompetenz zur Verfügung steht. Dazu bietet er an:

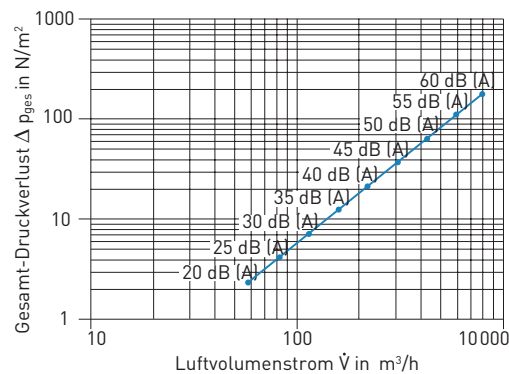
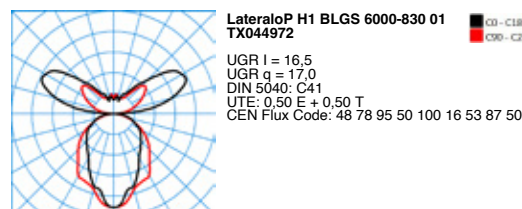


Abbildung 5.4: Beispiel für ein Auswahl-diagramm einer luftdurchströmten Abluftleuchte für Unterdruckdecken



Bemessungsfrequenz	50/60 Hz
Bemessungsspannung	230-240 V
Klirrfaktor (THD) < %	14 %
Schutzart	IP20
Schutzklasse	I
Schlagfestigkeit IK	IK02
Glühdrabtbeständigkeit	650 °C
Umgebungstemperatur	25 °C

Abbildung 5.5: Datenblätter mit den wichtigsten lichttechnischen, mechanischen und elektrotechnischen Daten sowie **vollständige Produktdaten** inklusive der elektronischen Planungsdaten sind im Online-Katalog verfügbar.

- qualifizierten technischen Support und Fachberatung
- ggf. Hilfe bei der Inbetriebnahme
- Performancemonitoring im laufenden Betrieb auf Basis von IoT-gestützten Lichtmanagementsystemen
- lange Nachlieferungssicherheit für Leuchten und Bauteile
- Gewährleistung meist länger als für elektrotechnische Produkte üblich
- Flexibilität bei Reklamationen
- Partnerschaft mit dem Groß- und Einzelhandel, dem Installateurhandwerk und den Endanwendern.

5.1.4 Qualitätsmanagement

Qualitätsmanagement-Systeme (QMS) haben die Aufgabe, die Qualität von Produkten bestmöglich sicherzustellen. Sie umfassen alle Tätigkeiten des Gesamtmanagements eines Unternehmens, das im Rahmen des QMS die Qualitätspolitik, die Ziele und Verantwortungen festlegt sowie diese durch Qualitätsplanung, Qualitätslenkung, Qualitätssicherung und Qualitätsverbesserung verwirklicht.

Kriterien eines QMS sind in der Normenreihe ISO 9000 [93] festgelegt, die in den 80er Jahren unter dem Druck der zunehmenden Globalisierung entwickelt und später weiterentwickelt wurde, um ein weltweit einheitliches und branchenübergreifendes QM-Regelwerk zu schaffen. Heute gelten folgende Normen:

- EN ISO 9000, Ausgabe: 2015 „Qualitätsmanagement-Systeme – Grundlagen und Begriffe“ [93]. Diese Norm beschreibt die elementaren Grundlagen für Qualitätsmanagement-Systeme. Sie dient zum Verständnis und beinhaltet keine Forderungen an QMS.
- EN ISO 9001, Ausgabe: 2015 „Qualitätsmanagement-Systeme – Anforderungen“ [94]. Diese Norm enthält die Anforderungen an QMS. Im Gegensatz zu Versionen der Norm von vor 2000 ist diese heute ebenfalls für Dienstleistungsunternehmen und z. B. auch für Arztpraxen anwendbar. Die Revision von 2015 ist stärker prozessorientiert und berücksichtigt auch das Risikomanagement.
- EN ISO 9004, Ausgabe: 2009 „Qualitätsmanagement-Systeme – Leitfaden zur Leistungsverbesserung“ [95]. Dieser Leitfaden kann von Unternehmen hinzugezogen werden, um die eigene Leistungsverbesserung zu erreichen und die Zufriedenheit der Kunden zu steigern.



Abbildung 5.6:
Zertifikate für das TRILUX-Qualitätsmanagementsystem nach DIN EN ISO 9001 [94]

TRILUX hat für alle Produktbereiche Qualitätssicherungssysteme (QS) eingeführt, in die die Bereiche Entwicklung, Konstruktion, Beschaffung, Produktion, Qualitätswesen, Vertrieb, Marketing und Kundenservice eingebunden sind. Verfolgt wird eine Null-Fehler-Strategie mit vorbeugenden Aktivitäten, ergänzt durch systematische Überwachung der Produktionsabläufe. Nach Prüfung durch anerkannte Zertifizierungsgesellschaften wurde bestätigt, dass die TRILUX-Qualitätssicherungssysteme im vollen Umfang den Anforderungen des internationalen Gütestandards nach EN ISO 9001 [94] entsprechen. Diese Qualitätssicherungssysteme haben die Aufgabe, die Qualität von TRILUX-Innenraum- und Außenleuchten einschließlich aller produktbegleitenden Aktivitäten sicherzustellen. Dazu gehört u. a. auch die Ersatzteilversorgung. Darüber hinaus dokumentieren die QS-Zertifikate, dass die Qualitätssysteme nach internationalen Standards angewendet werden. Regelmäßige und bestandene Überprüfungen (Audits) durch die Zertifizierungsgesellschaften geben hierfür die Garantie. Dem Anwender bieten die Zertifizierungsdokumente (siehe Abbildungen 5.6) zusätzliche Entscheidungssicherheit. Damit besteht der Nachweis,

dass in dem zertifizierten Unternehmen die relevanten Qualitätsaspekte berücksichtigt werden.

5.2 Lichttechnische Klassifizierung

Eine sehr formelle Definition des Begriffs Leuchte lautet: Leuchten sind Geräte, die zur Verteilung, Filterung und Umformung des Lichtes von Leuchtmitteln dienen, welche fest in die Leuchte eingebaut sind oder in sie eingesetzt werden können.

5.2.1 Einteilung von Leuchten

Eine grundsätzliche Unterscheidung von Leuchten kann in zunächst zwei Klassen getroffen werden:

- Leuchten für Leuchtzwecke. Sie dienen zur Vermittlung von Lichtsignalen. Dazu gehören z. B. Rettungszeichenleuchten, die den Rettungsweg und die Fluchtrichtung kennzeichnen (signalisieren), ihn aber nicht beleuchten.



- Leuchten für Beleuchtungszwecke. Sie dienen zur Aufhellung und Gestaltung der Umwelt. Sie sollen den Lichtstrom der in den Leuchten betriebenen Lichtquellen so verteilen, dass die an sie gestellte Beleuchtungsaufgabe bestmöglich erfüllt wird.

Leuchten für Beleuchtungszwecke können weiterhin nach unterschiedlichen Kriterien unterteilt werden, und zwar nach der Art der Verwendung in

- Zweckleuchten für die Beleuchtung von Arbeits- und Aufenthaltsräumen,
- Wohnraumleuchten zur Beleuchtung von Räumen im Privatbereich und
- Repräsentativleuchten, die eigens zur Beleuchtung repräsentativer Räume designorientiert gestaltet sind,

nach Art und Ort der Anbringung in

- ortsfeste Leuchten, die als Einbauleuchten, Anbauleuchten oder Hängeleuchten fest mit dem Montageort verbunden sind,
- ortsveränderliche Leuchten, die während des Betriebes bewegt werden können,

z. B. Standleuchten und auch Leuchten für Stromschienen und

- verstellbare Leuchten, die zwar fest mit dem Montageort verbunden sind, deren lichttechnischer Teil jedoch z. B. mit Gelenken, Zugvorrichtungen, Scherenarmen usw. gedreht und bewegt werden kann.

Leuchten können klassifiziert werden nach der Art des optischen Systems in Leuchten, also nach Systemen mit

- Reflektortechnik,
- Linsensystemen,
- mikroprismatischen, flachen oder volumenförmigen Abdeckungen und
- diffusen, flachen oder volumenförmigen Abdeckungen,

nach ihrer Lichtstärkeverteilung, und zwar in

- tiefstrahlende,
- breitstrahlende,
- gleichförmig strahlende,
- hochstrahlende (indirekt strahlende),
- tief-hochstrahlende (direkt-indirekt strahlende) und
- schrägstrahlende (asymmetrisch strahlende) Leuchten.

Die Lichtstärkeverteilung bestimmt dabei die lichttechnische Wirkung im Raum und wird deshalb in der technischen Beleuchtung detaillierter beschrieben, klassifiziert, skizziert und in Datensätzen erfasst.

5.2.2 Lichtstärkeverteilung und lichttechnische Wirkung

Die lichttechnische Wirkung einer Leuchte in einem leeren Raum ist abhängig von ihrer Abstrahlungscharakteristik und der Reflexion an den Wänden und der Decke des Raumes (siehe Abbildung 5.7). Die Reflexion an Wänden und Decke ist ihrerseits abhängig von dem Reflexionsgrad dieser Flächen sowie deren Abstand zur

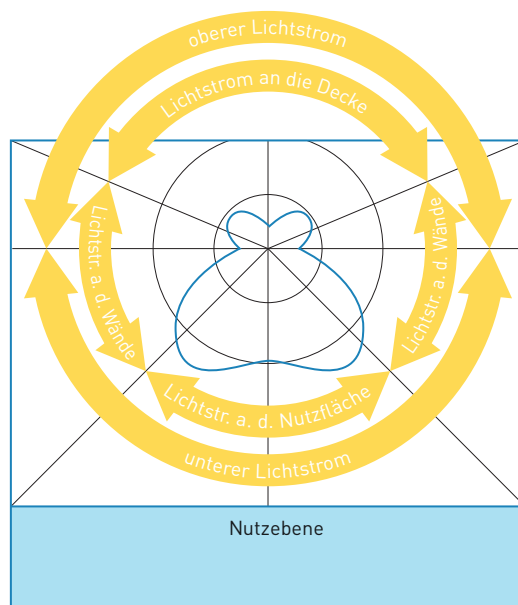


Abbildung 5.7: Lichtstromverteilung einer direkt-indirekt strahlenden Leuchte im Raum

Leuchte, also der Raumgeometrie. Befinden sich Gegenstände in dem Raum, so sind deren optische Eigenschaften und ihre geometrische Lage zur Leuchte ebenfalls zu berücksichtigen.

Moderne Planungsprogramme (siehe Kapitel 3.7.5 „Lichttechnische Planungs-Software DIALux und Relux“) können die lichttechnischen Wirkungen von Leuchten heute sehr genau bestimmen. So ist z.B. die Beleuchtungsstärke oder Leuchtdichte auf jeder im Raum befindlichen Oberfläche mit hoher Genauigkeit berechenbar. Ebenso kann die Beleuchtungsstärke auf jeder beliebig gelegenen Messfläche oder Messebene im Raum ermittelt werden.

Voraussetzung ist, dass die lichttechnischen Eigenschaften der Leuchte und des Raumes hinreichend genau erfasst und beschrieben sind. Die Abstrahlcharakteristik der Leuchte wird dabei in der Regel in Form einer Lichtstärkeverteilung angegeben. Dabei wird die Leuchte als punktförmige Lichtquelle betrachtet. Diese sogenannte Fernfeldbetrachtung führt zu guten Berechnungsergebnissen der Softwareprogramme, sofern die exakte räumliche Lage und Ausdehnung des Lichtaustritts aus der Leuchte nur wenig Einfluss auf das Ergebnis in der Messebene haben. Für ausgedehnte Leuchten mit langem oder flächigem Lichtaustritt unterteilen die lichttechnischen Programme, auf Basis eines Berechnungsalgorithmus diese in mehrere, gleichmäßig angeordnete Lichtpunkte (siehe auch Kapitel 3.7.5).

Zur Beschreibung einer Leuchte kann die Lichtstärkeverteilung auch in Raumwinkelbereiche eingeteilt werden, in die Teile des Gesamtlichtstromes der Leuchte abgestrahlt werden (siehe Abbildung 5.7). In diesem Fall spricht man von einer Lichtstromverteilung. Eine in der Praxis wichtige Messebene ist die Nutzebene, in der sich in vielen Anwendungen die Sehaufgabe befindet. Die Nutzebene, kann dabei horizontal, vertikal oder auch geneigt orientiert sein.

5.2.3 Lichtstärkeverteilungskurven

Die Lichtstärkeverteilung einer Leuchte kann heute aus der Geometrie und den Materialeigenschaften eines optischen Systems einer Leuchte mittels einer Computersimulation näherungsweise errechnet, oder mit einem geeigneten Laboraufbau an der realen Leuchte gemessen werden. Im TRILUX-Labor befindet sich dazu u. a. ein Drehspiegel-Goniophotometer (Abbildung 5.10) nach EN 13032-1 „Licht und Beleuchtung, Messung und Darstellung photometrischer Daten von Lampen und Leuchten, Teil 1: Messung und Datenformat“ [54].

In der Praxis wird im Rahmen der Entwicklung einer Leuchte heute in der Regel eine Simulation durchgeführt. Das Ergebnis der Simulation wird bei TRILUX vor der Serieneinführung grundsätzlich mittels einer Messung eines auf der Simulation basierenden Prototyps auf dem Goniophotometer verifiziert.

Die Anwendung der oben genannten Norm auf Simulation und Messung führt zur Darstellung der Lichtstärkeverteilung in einem in der EN 13032-1 [54] definierten Datenformat. Sie werden zusätzlich in international verbreitete Datenformate der Lichtplanungsprogramme, wie z. B. das IES-Datenformat, überführt. Dies stellt sicher, dass die gewonnenen Daten weltweit verwendet werden können (siehe auch Kapitel 3.7.2

Bezeichnung der LVK	Lichtstromanteil in % im	
	unteren Halbraum	oberen Halbraum
direkt strahlend	100-90	0-10
vorwiegend direkt strahlend	90-60	10-40
gleichförmig strahlend	60-40	40-60
vorwiegend indirekt strahlend	40-10	60-90
indirekt strahlend	10-0	90-100

Tabelle 5.1: Kennzeichnung der Lichtstärkeverteilung von Leuchten nach den Lichtstromanteilen

„Technische Katalogdaten“). In Europa findet in der Praxis das etwas handlichere EULUM-DAT-Datenformat (siehe auch <https://de.wikipedia.org/wiki/EULUMDAT>) eine weitere Verbreitung, in das die Messdaten bei TRILUX ebenfalls überführt werden.

Die räumliche Verteilung der Lichtstärke einer Leuchte wird als Lichtstärkeverteilungskörper bezeichnet (Abbildung 5.10c). Schnitte durch dessen senkrechte Achse stellen Lichtstärkeverteilungskurven (LVK) in den sogenannten C-Ebenen

dar, die in der Regel in Polarkoordinaten dokumentiert werden. Darin sind die Werte der Lichtstärke bei genormten Betriebsbedingungen der Leuchte (z.B. Gebrauchslage, Umgebungstemperatur 25 °C) dargestellt. Sie sind auf 1.000 Lumen der in der Leuchte betriebenen Leuchtmittel bezogen und in der Einheit cd/klm (Candela pro Kilolumen) als normierte LVK angegeben.

Je nach Form und Symmetrieeigenschaften der Lichtstärkeverteilung unterscheidet man tiefstrahlende, breitstrahlende, symmetrische, tiefstrahlende, breitstrahlende, symmetrische,

Abbildung 5.8: Lichtstärkeverteilungskurven direkt strahlender Leuchten

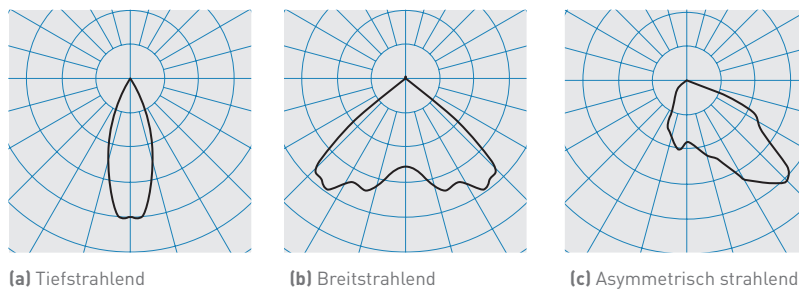


Abbildung 5.9: Lichtstärkeverteilungskurven mit Indirektanteil

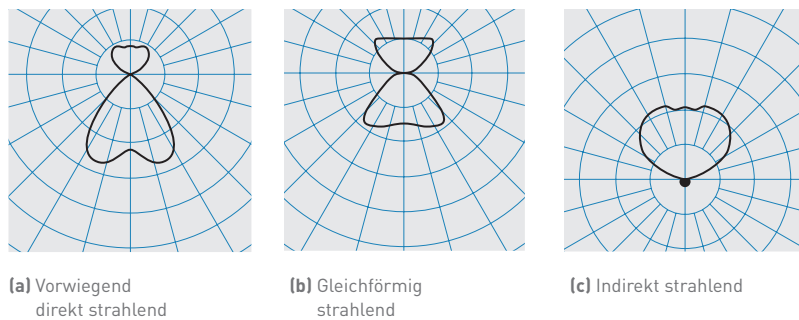
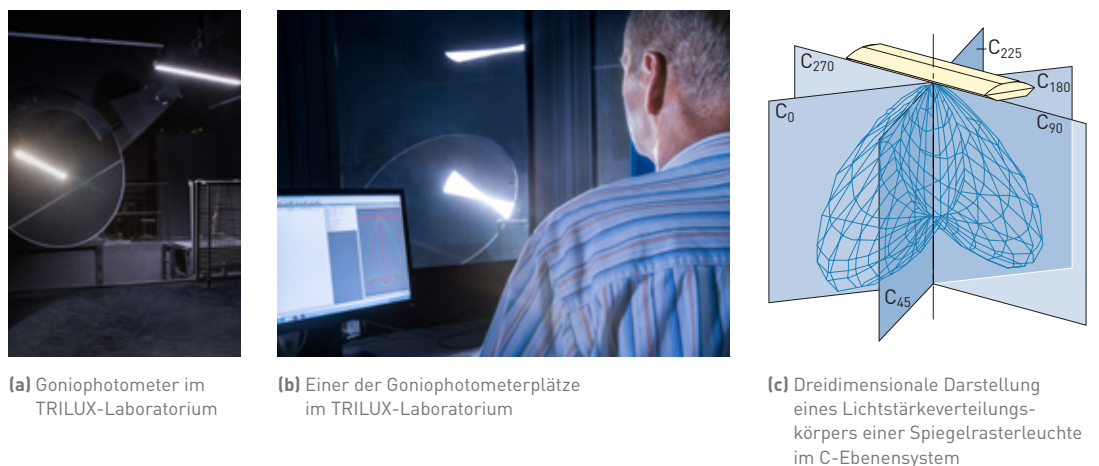


Abbildung 5.10: Messung der Lichtstärkeverteilung am Drehspiegel-Goniophotometer



asymmetrische, direkt strahlende, direkt-indirekt strahlende und indirekt strahlende Leuchten (Abbildungen 5.8 und 5.9). Eine weitere Einteilung kann aufgrund des Lichtstromanteils in den unteren bzw. oberen Halbraum, z.B. wie in Tabelle 5.1 gezeigt, erfolgen.

Detailliertere Klassifizierungen werden in den Definitionen der Wirkungsgradverfahren (siehe die nachfolgenden Kapitel [5.2.5](#) und [5.2.6](#)) vorgenommen. Diese beziehen sich alle auf die in vorgegebene Raumwinkelbereiche abgegebenen relativen Lichtstromanteile, unterscheiden sich jedoch in den konkreten Vorgaben dieser Einteilung.

Die Lichtstärkeverteilungskurven werden bei TRILUX im Online-Katalog, auf dem Leuchten-datenblatt und in den gedruckten Produktbeschreibungen grafisch dokumentiert. Sie ermöglichen dem Fachmann einen schnellen qualitativen Eindruck von der lichttechnischen Wirkung der Leuchte.

Für manche modernen Leuchten ist die Beschreibung als punktförmige Lichtquelle durch die Ausweisung einer summarischen Lichtstärke allein nicht zielführend, um ihre lichttechnische Wirkung zu beschreiben. Dies ist z.B. der Fall, wenn sich Leuchten mit mehreren, ggf. asymmetrischen Lichtaustritten für arbeitszonale Anwendungen nahe am Bereich der Sehaufgabe befinden. In solchen Fällen kann diese vereinfachende Beschreibung der Leuchte als Lichtpunkt (Fernfeldbetrachtung, s. o.) zu falschen Schlussfolgerungen führen. Auch Leuchten mit mehreren, getrennt dimmbaren Lichtquellen sind ggf. besser durch die Überlagerung mehrerer Lichtstärkeverteilungen zu beschreiben (siehe auch Kapitel [3.7.5](#) „Lichttechnische Planungs-Software DIALux und Relux“). Solche Leuchten sind zunehmend durch den Einsatz von LED-Leuchtmitteln im Markt verfügbar und ermöglichen über den Beleuchtungswirkungsgrad hinaus weitere Aspekte der räumlichen Lichtwirkung.

5.2.4 Leuchtenbetriebswirkungsgrad

Durch Reflexion und Transmission des Lichtes in einer Leuchte wird es in die gewünschten Richtungen gelenkt. Allerdings führt dieser Vorgang zwangsläufig zu optischen Verlusten. Diese verringern den aus der Leuchte austretenden Lichtstrom im Vergleich zum frei abgestrahlten Lichtstrom der in ihr installierten Leuchtmittel.

Für austauschbare Leuchtmittel (Lampen) ist der freistrahrend bei einer Umgebungstemperatur von $t_U = 25\text{ °C}$ gemessene Lichtstrom als sog. „Lampenlichtstrom“ definiert. Der von einer Lampe unter abweichenden Bedingungen erzeugte Lichtstrom kann höher oder geringer ausfallen.

Der Betriebswirkungsgrad einer Leuchte η_{LB} ist der Quotient aus

- dem bei der Leuchten-Umgebungstemperatur $t_U = 25\text{ °C}$ und weiteren Betriebsbedingungen, z.B. der bestimmungsgemäßen Montageposition, vorhandenen Leuchtenlichtstrom ϕ_{Leuchte}
- und der unter gleichen Bedingungen ermittelten Summe der Lampenlichtströme ϕ_{Lampe} der in der Leuchte betriebenen Lampen.

$$\eta_{LB} = \frac{\phi_{\text{Leuchte}}}{\sum \phi_{\text{Lampe}}}$$

Er erfasst optische und thermische Einflüsse der Leuchte auf den Lampenlichtstrom und wird unter den in EN 13032-1 [\[54\]](#) genormten Betriebsbedingungen bestimmt.

Der Leuchtenbetriebswirkungsgrad wird in der Regel in den Produktdokumentationen der Hersteller aufgeführt. Für lichttechnische Berechnungen nach einem Wirkungsgradverfahren (siehe Kapitel [3.7.4](#) „Überschlägige Planung mit dem Wirkungsgradverfahren“) ist er erforderlich.

Die zur Bestimmung des Leuchtenbetriebswirkungsgrades notwendigen Lichtströme der

Leuchte und der Lampe(n) werden entweder durch Integration des Lichtstärkeverteilungskörpers im Goniophotometer oder im Kugelphotometer nach Ulbricht (siehe Abbildung 5.11) gemäß EN 13032-1 [54] unter ebenfalls genormten Betriebsbedingungen gemessen.

Für LED-Leuchten mit integrierten, nicht austauschbaren Leuchtmitteln ist die Messung eines Lampenlichtstromes nicht möglich. Formal

wird in diesem Fall der Leuchtenlichtstrom als Lampenlichtstrom und der Leuchtenbetriebswirkungsgrad fest auf den Wert 1 definiert:

$$\phi_{\text{Lampe}} (\cdot 1) = \phi_{\text{Leuchte}}, \text{ für LED-Leuchten.}$$

Als Leuchtenlichtstrom ist hier der sog. Bemessungslichtstrom einzusetzen (siehe auch Kapitel 9.2.1 „Lichtausbeute von LED-Leuchten“).



Abbildung 5.11: Ulbrichtsche Kugel zur Messung von Lichtströmen von austauschbaren Lichtquellen und Leuchten. Der Lichtstrom der Leuchte ϕ_L dividiert durch den Lichtstrom der eingesetzten Lichtquellen ϕ_0 , ergibt ggf. den Leuchtenbetriebswirkungsgrad.

5.2.5 Lichtverteilungsklassifizierung von Leuchten und Wirkungsgradverfahren

Ein in der Praxis wichtiger Aspekt der lichttechnischen Wirkung einer Leuchte ist der Anteil ihres Gesamtlichtstromes, der in der Nutzebene auftrifft. Oft wird er auch als Nutzlichtstrom bezeichnet. Denn nur dieser trägt zur Bereitstellung einer erforderlichen mittleren Beleuchtungsstärke in einer Nutzebene, in der eine Sehaufgabe stattfindet, bei. Das Verhältnis aus Nutzlichtstrom und Gesamtlichtstrom der Leuchte ist sowohl von der Lichtstromverteilung der

Leuchte als auch von der Geometrie des Raumes und den Reflexionsgraden der Raumboflächen abhängig. Es wird als Raumwirkungsgrad η_R der Leuchte bezeichnet:

$$\eta_R = \frac{\phi_{\text{Nutzebene}}}{\phi_{\text{Leuchte}}}$$

Für Leuchten mit auswechselbaren Lampen ist der Gesamtlichtstrom der eingesetzten Leuchtmittel noch mit dem Leuchtenbetriebswirkungsgrad η_{LB} zu gewichten, um den Lichtstrom der Leuchte zu bestimmen:

$$\phi_{\text{Leuchte}} = \phi_{\text{Leuchtmittel}} \cdot \eta_{LB}$$

Kennbuchstabe	φ_u	φ_o	erste Kennziffer	φ_{su}	zweite Kennziffer	φ_{so}
A	$0,9 \leq \varphi_u \leq 1,0$	$0 \leq \varphi_o \leq 0,1$	0	$\varphi_{su} = 0,0$	0	$\varphi_{so} = 0,0$
B	$0,6 \leq \varphi_u \leq 0,9$	$0,1 \leq \varphi_o \leq 0,4$	1	$0 < \varphi_{su} \leq 0,3$	1	$0 < \varphi_{so} \leq 0,3$
C	$0,4 \leq \varphi_u \leq 0,6$	$0,4 \leq \varphi_o \leq 0,6$	2	$0,3 < \varphi_{su} \leq 0,4$	2	$0,5 < \varphi_{so} \leq 0,7$
D	$0,1 \leq \varphi_u \leq 0,4$	$0,6 \leq \varphi_o \leq 0,9$	3	$0,4 < \varphi_{su} \leq 0,5$	3	$0,7 < \varphi_{so} \leq 0,9$
E	$0 \leq \varphi_u \leq 0,1$	$0,9 \leq \varphi_o \leq 1,0$	4	$0,5 < \varphi_{su} \leq 0,6$	4	$0,9 < \varphi_{so} \leq 1,0$
			5	$0,6 < \varphi_{su} \leq 0,7$		
			6	$0,7 < \varphi_{su} \leq 0,8$		
			7	$0,8 < \varphi_{su} \leq 0,9$		
			8	$0,9 < \varphi_{su} \leq 1,0$		

Die in der Tabelle aufgeführten Größen $\varphi...$ sind wie folgt definiert:

- φ_u = Lichtstromanteil in den unteren Halbraum
- φ_o = Lichtstromanteil in den oberen Halbraum
- φ_{su} = direkter Lichtstromanteil auf die Nutzebene
- φ_{so} = direkter Lichtstromanteil an die Decke für den abgebildeten Standardraum.

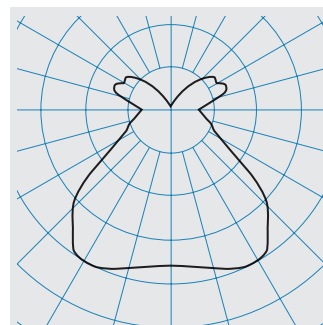
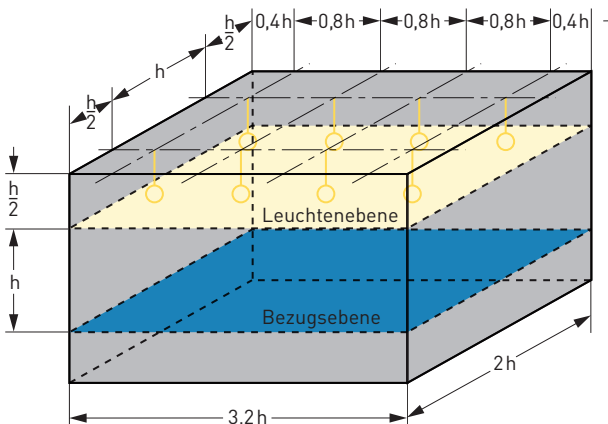


Tabelle 5.2: Klassifizierung der Lichtstromverteilung von Leuchten nach DIN 5040 [12]. Das Beispiel der Lichtstromverteilung mit der Klassifizierung B41 der abgebildeten LVK ist in der Tabelle markiert.

Für die zusammenfassende Berücksichtigung der Raumwirkung und des Leuchtenbetriebs ist daher der Beleuchtungswirkungsgrad η_B definiert worden:

$$\eta_B = \frac{\phi_{\text{Nutzebene}}}{\phi_{\text{Leuchtmittel}}} = \eta_{LB} \cdot \eta_R$$

Für LED-Leuchten sind η_B und η_R identisch.

Auf Basis der Angabe der genannten Wirkungsgrade lässt sich die Anzahl an Leuchten bestimmen, die erforderlich ist, um auf der Nutzebene eines Raumes eine geforderte mittlere Beleuchtungsstärke \bar{E}_m bereitzustellen (siehe auch Kapitel 3.7 „Beleuchtungsplanung“).

Die allgemeine **Wirkungsgradformel** lautet:

$$n = \frac{\bar{E}_m \cdot A \cdot 100}{z \cdot \phi \cdot \eta_B \cdot WF}$$

In der Formel bedeuten die Variablen:

\bar{E}_m	Wartungswert der Beleuchtungsstärke in lx, z. B. nach EN 12464-1 [51]
A	Grundfläche des Raumes in m ²
n	berechnete Anzahl der Leuchten
z	Anzahl der Lampen je Leuchte
ϕ	Lichtstrom einer Lampe in lm
η_B	Beleuchtungswirkungsgrad in %. Er erfasst den Leuchtenbetriebswirkungsgrad und die lichttechnisch wirksamen Eigenschaften des Raumes, wie Reflexionsgrade von Decke, Wänden und Boden und die Raumgeometrie.
WF	Wartungsfaktor (siehe auch Kapitel 3.1).

Zur Bestimmung des Beleuchtungswirkungsgrades, bzw. des Raumwirkungsgrades, haben sich historisch in Europa unterschiedliche Verfahren etabliert. Sie alle setzen eine Klassifizierung der Lichtstärkeverteilung der Leuchte bzgl. ihrer Verteilung des Lichtstroms in eine überschaubare Anzahl festgelegter Raumsegmente voraus. Die Beiträge zum Nutzlichtstrom werden dann je Raumsegment bewertet und aufsummiert. Die Klassifizierung nach DIN 5040 [12] ist beispielhaft in Tabelle 5.2 gezeigt.

Die unterschiedlichen Verfahren zur Bestimmung des Beleuchtungswirkungsgrades sind z. B.

- in England das CIBSE-Verfahren nach dem Technical Memorandum TM 5 (1980) „The calculation and use of utilisation factors“ [130],
- in Deutschland das LiTG-Verfahren gemäß Publikation Nr. 3.5 (1988) „Projektierung von Beleuchtungsanlagen nach dem Wirkungsgradverfahren“ [169] bzw. DIN 5040 „Leuchten für Beleuchtungszwecke“ [12],
- in den nordeuropäischen Ländern die Methode nach der NB-Dokumentation, spezifiziert als Computerprogramm im NBDQC-Report [108],
- in Belgien die Norm NBN L 14-002 (1975) „Methoden ter voorafbepaling van verlichtingssterkten, luminanties en verblindingsindices bij kunstmatige verlichting in gesloten ruimten“ [126],
- in Frankreich die NF-Norm (UTE) C71-121 (1995) „Méthode simplifiée de prédétermination des éclairagements dans les espaces clos et classification correspondante des luminaires“ [127] und
- das internationale Verfahren gemäß der CIE-Publikation No. 40 (1978) „Calculations for interior lighting: Basic method“ und No. 52 (1982) „Calculations for interior lighting: Applied method“ [160].

In allen Wirkungsgradverfahren wird die Geometrie des Raumes durch den Raumindex k repräsentiert, der wie folgt definiert ist:

$$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$$

Darin sind (siehe Abbildung 5.13):

- a Raumlänge in m
- b Raumbreite in m
- h Lichtpunkthöhe in m, berechnet nach $h = H - lp - e$
- H Raumhöhe in m
- lp Pendellänge bzw. Abhängung der Leuchte von der Decke in m
- e Höhe der Bewertungsebene über dem Boden, z. B. im Büro 0,75 m.

Raumgeometrien mit identischem Raumindex k können hinsichtlich ihrer lichttechnischen Wirkung als gleichwertig betrachtet werden.

Die Bestimmung der Beiträge der oben genannten Teillichtströme (der Raumsegmente) zum Nutzlichtstrom erfolgt dann mithilfe von Faktoren, die in entsprechenden Tabellen in Abhängigkeit vom Raumindex und den Reflexionsgraden der Raumbegrenzungsflächen dokumentiert sind.

Die bestehenden Wirkungsgradverfahren unterscheiden sich dabei in der Klassifizierung (Segmentierung) der Lichtstärkeverteilung wie auch den Tabelleneinträgen der Bewertungsfaktoren. Auch die errechneten Beleuchtungswirkungsgrade, und damit die Anzahl der für eine gegebene Beleuchtungsaufgabe benötigten Leuchten, weichen zum Teil merklich von einander ab (siehe auch Kapitel 3.7.4 „Überschlägige Planung mit dem Wirkungsgradverfahren“).

Mit Erscheinen der Norm EN 13032-2 „Licht und Beleuchtung – Messung und Darstellung photometrischer Daten von Lampen und Leuchten – Teil 2: Darstellung der Daten für Arbeitsstätten in Innenräumen und im Freien“ [55] wurde in Europa ein einheitliches Wirkungsgradverfahren festgelegt, das eine vereinheitlichte Bestimmung des Beleuchtungswirkungsgrades UF (utilisation factor) definiert. Das einheitliche europäische Verfahren nach EN 13032-2 [55] überwindet bisherige Differenzen in der Bestimmung des Be-

leuchtungswirkungsgrades und macht die aufgrund der Wirkungsgradformel ermittelte Anzahl von Leuchten für eine bestimmte Beleuchtungsstärke bzw. die zu erwartende Beleuchtungsstärke aufgrund der installierten Lampen und Leuchten vergleichbar.

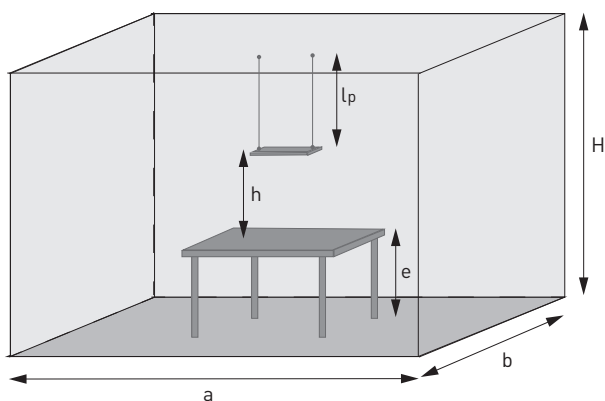
In den frühen 2000er Jahren wurden die mit dem Berechnungsverfahren gemäß EN 13032-2 [55] generierten Tabellen der Beleuchtungswirkungsgrade UF

- für die jeweilige Leuchte (Lichtstromverteilung),
- für unterschiedliche Raumgrößen (Raumindices k) und
- für die Reflexionsgrade von Decke, Wänden und Boden

in den technischen Produktunterlagen vieler Hersteller veröffentlicht. Heute ist dies nicht mehr üblich und erforderlich, da die manuelle Anwendung des Verfahrens in der Praxis keine Rolle mehr spielt. Es ist in zahlreiche, frei verfügbare Computerprogramme implementiert (siehe auch Kapitel 3.7.4 „Überschlägige Planung mit dem Wirkungsgradverfahren“).

5.2.6 Leuchtenkennzeichnung nach EN 13032-2 und CIE 040-1978

Der Leuchtencode nach EN 13032-2 [55] (CEN-Code) besteht für direkt-indirekt strahlende



- a Raumlänge in m
- b Raumbreite in m
- h Lichtpunkthöhe in m, berechnet nach $h = H - lp - e$
- H Raumhöhe in m
- lp Pendellänge bzw. Abhängung der Leuchte von der Decke in m
- e Höhe der Bewertungsebene über dem Boden, z. B. im Büro 0,75 m

Abbildung 5.12: Berechnungsparameter für den Raumindex k

Leuchten aus neun Kenngrößen. Diese Kenngrößen spezifizieren, anders als die oben gezeigte Klassifikation nach DIN 5040, jeweils den prozentualen Lichtstromanteil der betreffenden neun Raumwinkelbereiche der Lichtstärkeverteilung. Grundlage dieser Methode sind die Publikationen CIE No. 40 „Calculations for interior lighting: Basic method“ und No. 52 „Calculations for interior lighting: Applied method“.

Zur Bestimmung der Kenngrößen werden die Teillichtströme gemäß den Abbildungen 5.14 und 5.15 erfasst.

Die Klassifizierung des Direktanteils erfolgt, indem für die ersten drei Kenngrößen die aufsummierten (kumulierten) Lichtströme in folgenden Raumwinkelbereichen bestimmt und auf den Lichtstrom FCL4 im unteren Bereich von 0° bis 90° bezogen werden:

- FCL1/FCL4 von 0° bis 41,4°
- FCL2/FCL4 von 0° bis 60°
- FCL3/FCL4 von 0° bis 75,5°.

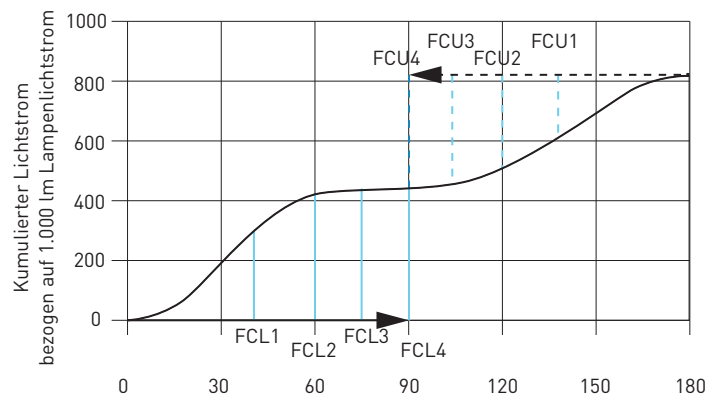
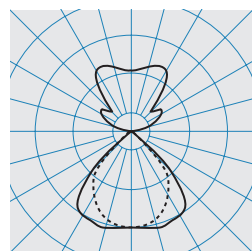
Weitere Kenngrößen sind:

- DFF (Downward Flux Fraction), ist der untere halbräumliche Lichtstromanteil, bestimmt als Quotient aus dem unteren halbräumlichen Betriebswirkungsgrad DLOR (Downward Light Output Ratio) und dem gesamten Betriebswirkungsgrad LOR (Light Output Ratio): $DFF = DLOR/LOR$
- LOR, der Betriebswirkungsgrad der Leuchte als Quotient aus dem gesamten Leuchtenlichtstrom und dem Lichtstrom der in der Leuchte betriebenen Lampen.

Ebenfalls werden aus der normierten (auf 1.000 lm bezogenen) Lichtstärkeverteilung die kumulierten Lichtströme im oberen räumlichen Ausstrahlungsbereich (Abbildung 5.15) ermittelt und auf den Lichtstrom FCU4 im oberen Ausstrahlungsbereich von 90° bis 180° bezogen:

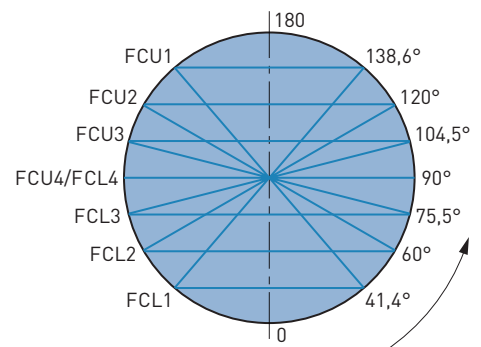
- FCU1/FCU4 für den Ausstrahlungsbereich von 180° bis 138,6°
- FCU2/FCU4 von 180° bis 120°
- FCU3/FCU4 von 180° bis 104,5°.

Abbildung 5.13: Beispiel für die kumulierten Lichtströme einer direkt-indirekt strahlenden Leuchte gemäß EN 13032-2 [55]. Die markierten vertikalen Linien zeigen den bis zu dem jeweiligen Grenzwinkel kumulierten Lichtstrom (je 1.000 lm Lampenlichtstrom) an.

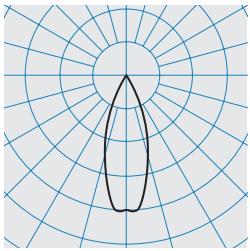


Teillichtströme	Raumwinkel Ω mit dem halben Öffnungswinkel γ in Grad
FCL1	0° bis 41,4°
FCL2	0° bis 60°
FCL3	0° bis 75,5°
FCL4	0° bis 90°
FCU4	180° bis 90°
FCU3	180° bis 104,5°
FCU2	180° bis 120°
FCU1	180° bis 138,6°

Abbildung 5.14: Werte und Darstellung der Raumwinkel zur Bestimmung der aufsummierten Teillichtströme einer Leuchte gemäß EN 13032-2 [55]

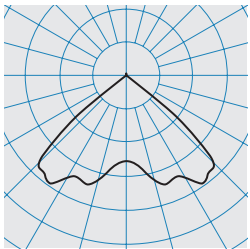


Kennzeichnungsschema nach EN 13032-2:



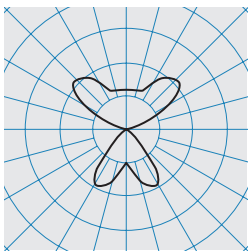
CEN 89 100 100 100 78

Eine tiefstrahlende Leuchte mit einem Betriebswirkungsgrad von 78%, der Indirektanteil ist 0.



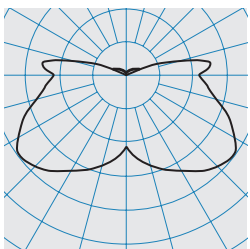
CEN 53 91 99 100 79

Eine ausschließlich nach unten und breitstrahlende Leuchte mit einem Betriebswirkungsgrad von 79%, der Indirektanteil ist 0.



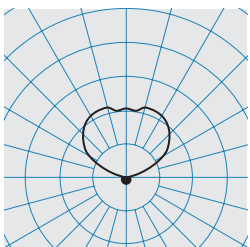
CEN 74 98 99 35 92 36 77 97 65

Eine direkt und indirekt strahlende Leuchte mit einem Betriebswirkungsgrad von 92%. Der obere Lichtstromanteil vom gesamten Leuchtenlichtstrom beträgt 65%.



CEN 28 59 83 77 83 6 15 38 23

Eine extrem breitstrahlende Leuchte mit einem Betriebswirkungsgrad von 83%. Der obere Lichtstromanteil am gesamten Leuchtenlichtstrom beträgt 23%.



CEN 40 70 90 7 69 44 78 96 93

Eine indirekt strahlende Leuchte mit sehr geringem unteren Lichtstromanteil. Der Betriebswirkungsgrad beträgt 69% und der obere Lichtstromanteil am gesamten Leuchtenlichtstrom 93%.

Anmerkung: Die roten Zahlenwerte geben den Leuchtenbetriebswirkungsgrad der Leuchte in den unteren bzw. in den oberen Halbraum an.

Abbildung 5.15:
Schema (oben) und Beispiele (unten) für die Kennzeichnung der Lichtstromverteilung von Leuchten nach EN 13032-2 [55]

- UFF = ULOR/LOR ist der obere halbräumliche Lichtstromanteil, bestimmt als Quotient aus dem oberen halbräumlichen Betriebswirkungsgrad ULOR (Upward Light Output Ratio) und dem gesamten Betriebswirkungsgrad LOR.

Die vier letzten Kenngrößen entfallen bei ausschließlich direkt strahlenden Leuchten.

Abbildung 5.16 zeigt das Schema und Beispiele für die Kennzeichnung von Leuchten nach EN 13032-2 [55].

Die Klassifikation nach CIE 040-1978 [160] (**CIE-Code**) besteht aus den identischen ersten fünf Werten, welche die Lichtstromverteilung in den unteren Halbraum sowie das Verhältnis von Direkt- zu Indirektanteil des Lichtstromes bestimmen. Eine Segmentierung des oberen Halbraumes wird in diesem Verfahren nicht vorgenommen.

5.2.7 Leuchtdichteverteilung

Neben der Erzeugung der Beleuchtungsstärke zur Erfüllung der Sehaufgabe ist die Erzeugung von Leuchtdichten eine wichtige Wirkung der Leuchte im Raum. Diese kann heute mit den marktüblichen Planungsprogrammen in guter Qualität berechnet und dargestellt werden (siehe Kapitel 3.7.5 „Lichttechnische Planungs-Software DIALux und Relux“). Ein wichtiger Aspekt dabei ist die unter verschiedenen Blickwinkeln sichtbare Oberflächenleuchtdichte der Leuchte selbst. Insbesondere bei direkt strahlenden Leuchten bestimmt diese sowohl die zu fördernde melanopische Wirksamkeit in Bezug darauf, welcher MEDI-Wert das Auge erreichen kann, als auch die zu vermeidende Blendwirkung der Beleuchtung.

Für die Beurteilung der Direktblendung und der Reflexblendung ist die Leuchtdichte der Lichtaustrittsfläche die wichtigste Größe. Gemäß Technical Report CIE 117 (1995) „Discomfort

Glare in Interior Lighting“ [156] wird sie winkelabhängig als mittlere Leuchtdichte $L(\gamma)$ aus der Lichtstärke $I(\gamma)$ der Leuchte unter der betreffenden Ausstrahlungsrichtung γ und der dazu senkrechten, projizierten, leuchtenden Fläche $A(\gamma)$ bestimmt und hinsichtlich der Wirkung der Blendung als Bewertungsgröße festgelegt (siehe Abbildung 5.17). Gemäß EN 12464-1 hat der Lichtplaner die Leuchte(n) mithilfe des im Technical Report CIE 117 beschriebenen UGR-Verfahren der CIE (en: Unified Glare Rating, UGR) auszuwählen und dokumentieren.

Mit der 2019 erschienenen Norm CIE 232 „Psychologische Blendung von Leuchten mit inhomogener Leuchtdichtestruktur der Lichtaustrittsfläche“ [159] ist eine Methode entwickelt worden, ggf. auch eine Inhomogenität der Leuchtdichtestruktur innerhalb der Lichtaustrittsfläche mit einem Korrekturfaktor zu berücksichtigen. Eine mögliche Übernahme dieser Methode in das gemäß EN 12464-1 [51] anzuwendende UGR-Verfahren wird TRILUX im Zuge der Normungsentwicklung berücksichtigt.

Eine Direktmessung der mittleren Leuchtdichte der Leuchte ist mit bildgebenden und mit entsprechendem Aufwand auch mit optischen Leuchtdichtemessgeräten möglich.

Die Verteilung der mittleren Leuchtdichte der Leuchten wird für die Beurteilung von Reflexblendung an Bildschirmen gemäß EN 12464-1 [51] in den Ebenen C_0 bis C_{360} in Schritten von 15° , also rundum, benötigt, und zwar gemäß

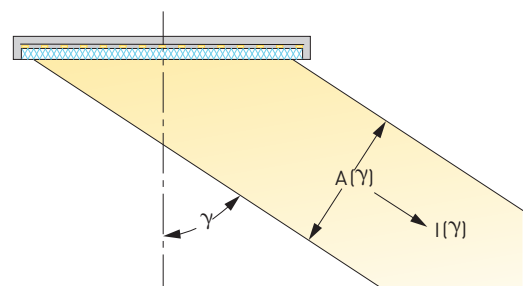


Abbildung 5.16

Abbildung 5.16:
Definition der
mittleren Leuchtdichte
 $L(\gamma) = I(\gamma)/A(\gamma)$

EN 13032-1 [54] für den Ausstrahlungsbereich von $\gamma = 55^\circ, 65^\circ, 75^\circ$ und 85° zur Senkrechten (s. a. Kapitel 4.3.18 „Büro“, Abschnitt „Leuchtdichtegrenzwerte“).

Das gemäß EN 12464-1 [51] anzuwendende vereinheitlichte Blendungsbewertungsverfahren UGR benötigt keine Angaben über die Leuchtdichteverteilung, weil die UGR-Blendziffer u. a. aus der Lichtstärke und der Größe des Raumwinkels, der von der leuchtenden Fläche der Leuchte eingenommen wird, rechnerisch bestimmt wird.

Die Mechanismen der melanopischen Wirkung des Lichtes sind derzeit das Objekt zahlreicher wissenschaftlicher Untersuchungen (siehe auch Kapitel 3.3.2 „Melanopische Wirksamkeit des Lichtes“). Verfahren zu ihrer quantitativen Bewertung sind in den Normen DIN/TS 5031-100:2021-11 [47] und CIE S 026:2018 [163] definiert (siehe Kapitel 3.3.2 „Melanopische Wirksamkeit des Lichtes“). Größe, Lage und Leuchtdichte aller im Gesichtsfeld befindlicher Flächen – also die Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld –, und spektrale Zusammensetzung des Lichtes sowie vertikale Beleuchtungsstärke und zeitliche Dynamik sind in diesem Zusammenhang entscheidend.

5.2.8 Lichtspektrum einer Leuchte

Mit zunehmender Verbreitung von LED-Leuchten werden die spektralen Anforderungen an die Beleuchtung von Arbeitsstätten bzgl. Lichtfarbe und Farbwiedergabe immer mehr zum Aspekt der Leuchte und immer weniger Aspekt des Leuchtmittels. Darüber hinaus kann die melanopische Wirksamkeit des Lichtes dank moderner LED-Lichtquellen gezielt optimiert werden. Dazu wird häufig weißes Licht aus Lichtquellen unterschiedlicher spektraler Verteilungen in der Weise gemischt, dass das resultierende Licht den erforderlichen zeitlichen und spektralen Verlauf bildet (siehe Kapitel 3.3.6 „Human Centric Lighting“, Abschnitt „Anforderungen an die Lichtsteuerung“).

Die spektrale Zusammensetzung des gesamten aus der Leuchte austretenden Lichtes kann mithilfe der Ulbrichtschen Kugel und eines angeschlossenen Spektrometers sehr gut gemessen werden. Werden in einer Leuchte unterschiedliche Leuchtmittel – und diese ggf. mit jeweils unterschiedlicher Lichtstärkeverteilung – betrieben, dann sollten diese auch einzeln gemessen und bewertet werden.

5.3 Lichttechnische Eigenschaften

Wie im vorangegangenen Kapitel aufgezeigt wurde, kann für die lichttechnische Beurteilung einer Leuchte eine Klassifizierung ihrer Lichtstärkeverteilung herangezogen werden.

Um diese zu optimieren, also den Lichtstrom der Leuchtmittel so zu lenken, dass Leuchten die an sie gestellten Beleuchtungsaufgaben bestmöglich erfüllen, sind optische Systeme erforderlich. Sie bestehen aus lichttechnisch-optisch wirkenden Materialien.

Grundsätzlich wird zwischen transmittierenden und nicht transmittierenden (an der Oberfläche reflektierenden) Werkstoffen unterschieden. Zu den transmittierenden gehören auch die hochtransparenten, refraktierenden (lichtbrechenden) Werkstoffe, an deren Grenzflächen auch Totalreflexion stattfinden kann.

Je nach Oberflächenrauigkeit bzw. innerer Materialstruktur wird zwischen gerichteter, gemischter und gestreuter Reflexion bzw. Transmission unterschieden.

Entsprechend der Art der Lichtlenkung werden die Materialien durch den Reflexionsgrad und den Transmissionsgrad gekennzeichnet. Diese Materialeigenschaften sind definiert als das Verhältnis des reflektierten (bzw. bei gegebener Materialstärke transmittierten) Lichtstroms und des senkrecht auf die Fläche auffallenden Lichtstroms.

5.3.1 Lichtverteilung durch Transmission

Gerichtet lichtdurchlässige Werkstoffe (wie Glas und Kunststoffe, siehe Abbildung 5.18 a) werden z.B. bei Prismenabdeckungen zur Lichtlenkung eingesetzt, wobei die Brechung (Refraktion) und die Totalreflexion des Lichtes in den Prismen genutzt werden. Dringt ein Lichtstrahl aus einem optisch dünneren Medium (z.B. Luft) in ein optisch dichteres Medium (z.B. hochtransparenter Kunststoff wie Polymethylmethacrylat PMMA) ein, so ändert er seine Richtung in Abhängigkeit vom Einfallswinkel und dem Brechungsindex des Kunststoffs. Damit wird eine Lichtlenkung erreicht, die die Lichtstärkeverteilung der Leuchte gezielt beeinflusst.

Transparente Materialien zeichnen sich durch hohe Transmissionsgrade aus.

Licht streuende Materialien enthalten Pigmentstoffe, an denen der Lichtstrahl beim Durchgang durch das Material gestreut und aufgeweitet wird. Dabei kommt es sowohl zur diffusen Transmission wie auch zur diffusen Reflexion (Rückstreuung) eines Teils des Lichtstromes (siehe Abbildung 5.18 b). Der gestreut transmittierte Anteil des Lichtstromes erzeugt einen homogenen Helligkeitseindruck der Leuchte. Der zurückgestreute Anteil des Lichtstroms wird im Inneren der Leuchte erneut reflektiert und transmittiert wiederum teilweise. Aufgrund der Mehrfachreflexion erhöhen sich die Verluste gegenüber einer vollständigen Transmission durch

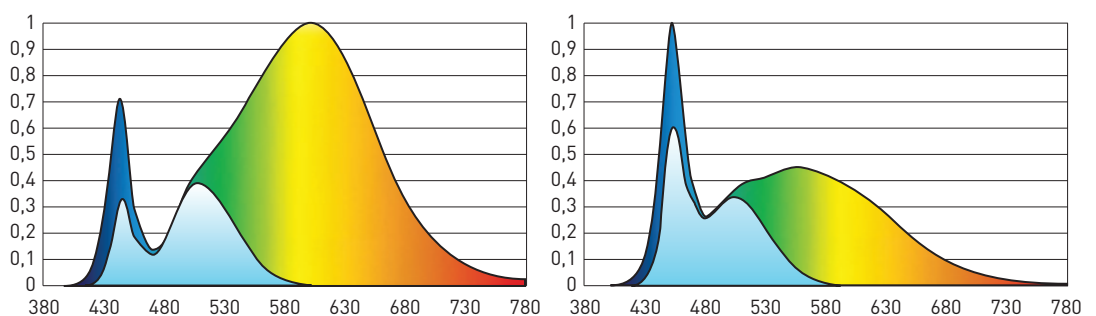
transparentes Material. Opale Kunststoffe sind Beispiele für durch Pigmentzugabe streuende Materialien.

Transluzente Materialien (siehe Abbildung 5.18 c) haben gegenüber (vollkommen) lichtstreuenden, wie z.B. opalen Kunststoffen, höhere Transmissionsgrade. Anzahl und Art der im Material eingelagerten kugelförmigen Additive sind hinsichtlich ausreichender Diffusität der Transmission und des gewünschten höheren Transmissionsgrades optimiert.

5.3.2 Lichttechnische Abdeckungen

Leuchtenabdeckungen – egal ob als sogenannte Wannen, als Abdeckscheiben oder als optische Linsen – erlauben verlängerte Wartungsintervalle durch Staubschutz und gegebenenfalls Feuchtigkeitsschutz. Darüber hinaus bieten sie mechanischen Schutz für die Leuchtmittel und zusätzlich lichttechnische Eigenschaften: Mit optischen Linsen in Verbindung mit LED-Lichtquellen lassen sich sehr präzise Lichtverteilungen bei gleichzeitig sehr geringen Streuverlusten erzielen. Aber auch prismatische Abdeckungen (siehe Abbildung 5.19 b) erzielen hohe Wirkungsgrade bei sehr guter Blendungsbegrenzung. Opale Leuchtenabdeckungen (siehe Abbildung 5.19 a) ergeben gleichmäßig ausgeleuchtete Beleuchtungskörper, die aus ästhetischen Gründen als „Klassiker“ eine gewisse Renaissance erleben. Sie weisen jedoch relativ geringe Transmissi-

Abbildung 5.17:
Radiometrisches
Spektrum und
melanopisches
Wirkspektrum einer
LED-Leuchte bei
unterschiedlichen
Farbtemperaturen



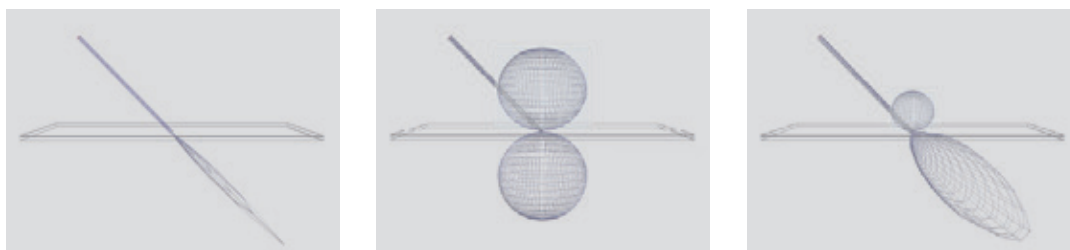
onsgrade, oft kleiner als 50%, auf. Streuend wirkende Leuchtenabdeckungen werden daher heute meistens aus transluzentem Material gefertigt (siehe Abbildung 5.19 c und 5.20 a). Dies führt aufgrund des höheren Transmissionsgrades und geringer Rückstreuung zu hohen Wirkungsgraden und damit erheblich verbesserter Wirtschaftlichkeit bei ebenfalls sehr homogenem Erscheinungsbild.

Lichttechnische Abdeckungen haben mit der Ablösung der Leuchtstofflampen durch LED-Lichtquellen gegenüber Reflektoren erheblich an Bedeutung gewonnen.

Als Materialien kommen überwiegend Polymethylmethacrylat (PMMA) oder Polycarbonat (PC) zur Anwendung. Durch unzulässige Beanspruchungen und Einflüsse schädigender Substanzen kann die Beständigkeit von Polymethylmethacrylat oder Polycarbonat herabgesetzt werden. Dies sind z.B. Weichmacher, die aus nicht wärmebeständiger Leitungsisolierung unter Wärmeeinwirkung austreten und zu Rissbildung oder Festigkeitsminderung führen können. In Leuchten mit Kunststoffabdeckung sollten da-

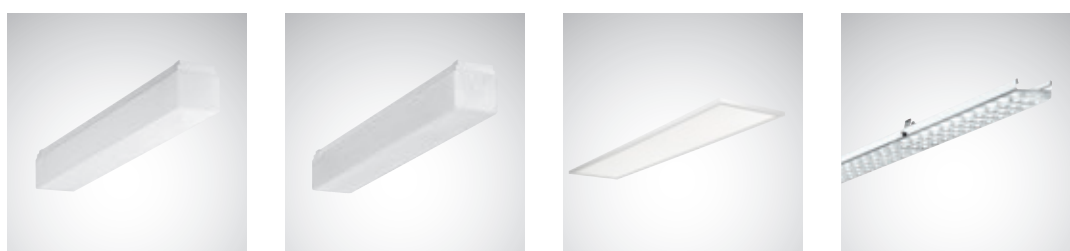
her nur wärmebeständige Innenverdrahtungen und Durchgangsverdrahtungen angewendet werden. Die Verträglichkeit mit anderen Chemikalien geht aus Tabelle 5.20 im Kapitel 5.14 „Sicherheit gegen chemische und sonstige Einflüsse“ hervor.

Polymethylmethacrylat (PMMA) ist ein langjährig bewährtes lichttechnisches Ausgangsmaterial. Es ist ein sehr gut verarbeitbares Thermoplast, das sich in ganz unterschiedlichen Prozessen, wie z. B. dem Tiefziehen, der Strangextrusion oder dem Spritzguss, formen lässt. Für alle diese Verfahren ist es in transparenter, transluzenter und opaler Form verfügbar. Im gesamten sichtbaren Spektrum besitzt PMMA ein ausgezeichnetes Transmissionsverhalten. Spezielle PMMA-Ausführungen zeichnen sich zusätzlich durch eine verbesserte Schlagzähigkeit aus. In dieser Ausführung sind sie prädestiniert z. B. für Außenleuchten-Abdeckungen, bei denen eine erhöhte Stabilität gegenüber mechanischen Beanspruchungen gefordert ist. PMMA ist praktisch dauerhaft vergilbungsfrei. Daher kommt es auch bei langjährigem Betrieb unter Sonneneinstrahlung nicht zur Vergilbung und Versprödung.



(a) Gerichtete Transmission bei klarem, transparentem Material (b) Gestreute Transmission bei opalem Material (c) Gemischte Transmission bei transluzentem Material

Abbildung 5.18: Arten der Transmission



(a) Opale Abdeckung (b) Transparente Prismenabdeckung (c) Transluzente Abdeckung (d) Abdeckung mit Linsenstruktur

Abbildung 5.19: Beispiele für Leuchtenabdeckungen

Polycarbonate (PC) sind, ähnlich wie das PMMA, sehr gut verarbeitbare Thermoplaste. Durch Variation ihres chemischen Aufbaus lassen sich ihre optischen Eigenschaften, wie z. B. der Brechungsindex, und weitere physikalische Parameter weit variieren. Gegenüber PMMA weist es einen leicht verringerten Transmissionsgrad auf. Es wird überwiegend in transparenter, aber auch in opaler Ausführung eingesetzt, steht in transluzenter Form dagegen nicht zur Verfügung. Es wird in hohem Maße im Spritzgussverfahren verarbeitet, um präzise optische Linsensysteme herzustellen. Darüber hinaus zeichnet es sich durch eine herausragende Schlagzähigkeit aus. Polycarbonat eignet sich daher auch für Leuchtenabdeckungen, die in der Innenraumbeleuchtung erhöhten mechanischen Beanspruchungen oder im Außenraum dem Risiko mutwilliger Zerstörung durch Vandalismus ausgesetzt sind. Im Langzeiteinsatz unter intensiver UV-Bestrahlung, z. B. bei direkter Sonneneinstrahlung, kann Polycarbonat vergilben. Die Vergilbung wird begleitet von einem Nachlassen der Schlagzähigkeit.

Silikatglas wird wegen des Gewichts und der geringen Schlagfestigkeit (ausgenommen gehärtete Gläser) nur in Sonderfällen verwendet. Dazu gehören z. B. dekorative Ankleidungen von Downlights, die häufig aus dem in einem besonderen Herstellungsverfahren erzeugten sog. Floatglas gefertigt sind, oder besondere optisch wirkende Abdeckungen wie Fresnel-Gläser.

Folien, z. B. aus Polycarbonat, finden in Leuchten gelegentlich Verwendung. Sie werden als lichtstreuende Materialien für großflächige Leuchten bzw. Lichtdecken eingesetzt. Folien mit mikrostrukturierter Oberfläche ermöglichen besondere Lichtstärkeverteilungen in der Beleuchtungstechnik.

Die lichttechnischen Eigenschaften von Leuchtenabdeckungen werden – neben dem Streuverhalten des Ausgangsmaterials, wie oben beschrieben – wesentlich von ihrer Form bestimmt.

- **Klassische Prismen**-Abdeckungen bewirken mit den innen- und außenliegenden Prismen durch Brechung und Totalreflexion eine bevorzugte Lenkung des Lichtstromes auf die

Abbildung 5.20:
Lichttechnisch wirksame Strukturen für Leuchtenabdeckungen

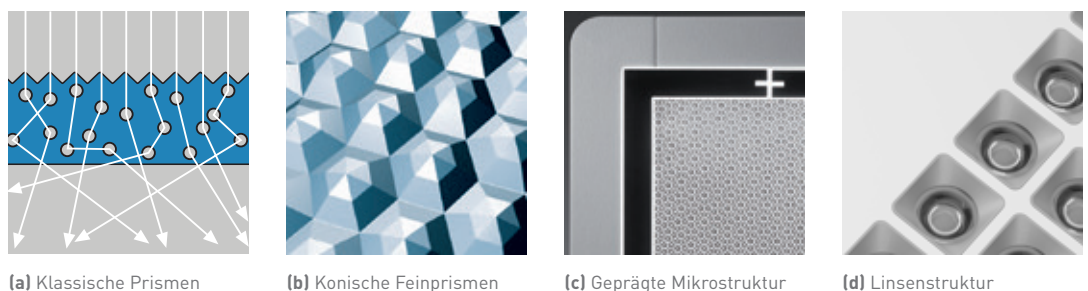
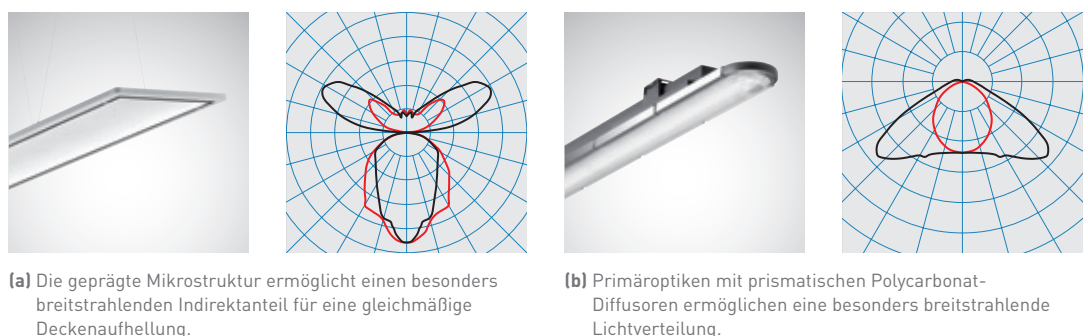


Abbildung 5.21:
Lichttechnisch wirksame Strukturen für besonders breite direkt strahlende Lichtverteilung



Nutzebene und reduzieren die Leuchtdichte für die Blendungsbegrenzung im Blickwinkelbereich (siehe Abbildung 5.19 b). Sie sind entweder aus einem Stück im Spritzgussverfahren, im Blasverfahren oder im Extrusionsverfahren gefertigt. Das Spritzgussverfahren zeigt dabei die höchste Präzision und damit die Möglichkeit sehr gezielter Lichtlenkung.

- **Konische Feinprismen** (Conical Declaring Prism, CDP) ermöglichen ebenfalls eine präzise Lichtlenkung. Diese werden einseitig auf eine Abdeckscheibe aufgeprägt. Auch hier gibt es weite qualitative Unterschiede. Mit hochwertigem PMMA-Material und speziellen Prägeverfahren können lichttechnische Scheiben erzielt werden, die als Abdeckungen für direkt strahlende Leuchten mit hohem Wirkungsgrad eingesetzt werden und gleichzeitig die Leuchtdichte für Ausstrahlungswinkel $> 60^\circ$ auf bildschirmgerechte 1.500 cd/m^2 begrenzen (siehe Abbildung 5.20 b).
- **Fein strukturierte Lichtleiterplatten-Systeme** (wie z.B. das „Binary Light Guide System“, BLGS) sind optische Systeme aus übereinander angeordneten, strukturiert geprägten Platten lichttechnischer Kunststoffe. Innerhalb der Platten führt Totalreflexion zur Ausbreitung des Lichtes, während die Oberflächenstruktur mittels Brechung und Streuung des Lichtes zu dessen Auskopplung führt. In den späten 1990er und den 2000er Jahren sind erste Entwicklungen in diese Richtung in Verbindung mit der querschnittsverringerten T5-Leuchtstofflampe erschienen. Das Licht moderner LED-Lichtquellen lässt sich dem gegenüber noch sehr viel effizienter einkoppeln, so dass diese Technik heute weit bessere technische und gestalterische Möglichkeiten eröffnet. Mit gezielter Strukturierung der Prägung der Oberflächen kann die Lichtauskopplung eine sehr präzise direkt-indirekte Lichtstärkeverteilung erzeugen. Z.B. kann der Indirektanteil für eine erhöhte Lichtqualität bei geringen Deckenabständen besonders breitstrahlend, der Direktanteil andererseits bildschirmgerecht gemäß EN 12464-1 ausgekoppelt werden (siehe Abbildung 5.20 c und Abbildung 5.21 a).

- Abdeckungen aus lichttechnischen Kunststoffen mit integrierten **Linsensystemen** eignen sich besonders für den Einsatz in Kombination mit LED-Lichtquellen. Die äußerst effiziente Lichtlenkung erfolgt durch Brechung und Totalreflexion. Mit dem Entwurf solcher Systeme lassen sich gezielt exakte Lichtstromverteilungen entwickeln, die anwendungsspezifisch optimiert werden können. Häufig werden solche Optiken bei mittleren und größeren Lichtpunkthöhen, wie z.B. in Supermärkten, Werkstätten, Fertigungs- oder Lagerhallen eingesetzt (siehe Abbildung 5.19 d).
- **Kombinationen aus LED-Linsen und Abblend-Kuben** (siehe Abbildung 5.20 d) ermöglichen bei einer präzisen Abstimmung der Komponenten in der ConVision®-Technologie neben einer optimierten Lichtverteilung zusätzlich visuell ansprechend gestaltete Lichtaustrittsflächen und eine besonders effektive Entblendung, z. B. auf $R_{UGL} \leq 16$.
- **Primäroptiken mit zusätzlichen Feinprismenstrukturen** ermöglichen eine besonders breite direkt strahlende Lichtverteilung (siehe Abbildung 5.21 b). Sie sind insbesondere geeignet für Anwendungen mit geringen Beleuchtungsstärken bei geringen Deckenhöhen. Auch bei großen Querabständen der Leuchten wird eine hohe Gleichmäßigkeit der Beleuchtung erreicht. Anforderungen an horizontale und vertikale Mindestbeleuchtungsstärken in Randbereichen können erfüllt werden, ohne zusätzliche Leuchten zu installieren oder das Gesamtbeleuchtungsniveau unnötig zu erhöhen (siehe Kapitel [4.11](#) „Beleuchtung von Parkbauten“).

5.3.3 Lichtlenkung durch Reflexion

Reflektierende Werkstoffe werden einerseits durch ihren Reflexionsgrad und andererseits durch ihr Streuverhalten gekennzeichnet. Als Grundmaterial für Reflektoren wird in der Regel Aluminium verwendet. Durch Einbeziehung in die elektrische Schutzmaßnahme ist der Reflektor

elektrostatisch neutral und somit unempfindlich gegen Staubanlagerungen. Kunststoffe werden als Trägermaterial wegen ihrer elektrostatischen Staubanziehung nur in Einzelfällen verwendet.

Gerichtete Reflexion (siehe Abbildung 5.22 a) findet z. B. in der Leuchtentechnik an Spiegelreflektoren statt. Exakte Spiegelformen, die heute mithilfe von Computersimulationen entwickelt werden, ermöglichen die für die jeweilige Beleuchtungsaufgabe erforderliche Lichtstärkeverteilung und Leuchtdichtebegrenzung der Leuchten.

Gemischte Reflexion (siehe Abbildung 5.22 b) findet an satinierten Oberflächen statt, die einen diffusen Anteil des reflektierten Lichtstroms bewirken. Solche Leuchtenflächen weisen eine harmonische Helligkeitsverteilung auf und werden daher oft auch als angenehm empfunden.

Gestreute Reflexion (siehe Abbildung 5.22 c) findet an matten Oberfläche statt und ermöglicht bei Verwendung einer hochwertigen Lackierung einen Reflexionsgrad von über 90 %. Dieser liegt damit in der Größenordnung von sehr hochwertigen metallisch reflektierenden Werkstoffen. Lackierte Reflektoren in der Farbe „Verkehrsweiß“ (RAL 9016) weisen besonders homogene Reflexionseigenschaften bzgl. der sichtbaren Lichtwellenlängen auf. Lichtfarbe und Farbwiedergabeindex des Leuchtmittels bleiben bei der Reflexion erhalten. Andere weiße Farbtöne können erhebliche Einbußen der Lichtqualität verursachen, wie auch die Vergilbung bei mangelhafter Langzeitstabilität der Lackierung.

Für die gerichtete und gemischte Reflexion stehen heute ebenfalls mehrere Prozesse zur Oberflächenvergütung zur Auswahl. Es ist zu unterscheiden zwischen

- eloxiertem Aluminium,
- reflexionsverstärkend beschichtetem Aluminium und
- Aluminiumreflektoren mit reflexionsverstärkend beschichtetem Silber.

Beim **eloxierten Aluminium** wird das Aluminium im walzfrischen Zustand mit einer schützenden Eloxalschicht überzogen. Der Reflexionsgrad eloxierten Aluminiums beträgt jedoch maximal 85%. Insbesondere bei starker Lichtlenkung durch Mehrfachreflexion treten erhebliche optische Verluste auf.

Reflexionsverstärkend beschichtetes Aluminium ist das Ergebnis einer verbesserten Herstellungstechnologie. Basis ist ein Aluminiumträgermaterial (Substrat) mit vergleichsweise geringem Reflexionsgrad, das dem Reflektor die nötige mechanische Stabilität für die exakte Form gibt. Darauf wird eine Reinstaluminiumschicht mit hohem Reflexionsgrad im Hochvakuum aufgedampft. In einem speziellen Beschichtungsverfahren wird hierauf ein reflexionsverstärkend wirkendes hochtransparentes Oxidschichtensystem aufgetragen. Wenn die transparente Schicht eine von der Wellenlänge, dem Einfallswinkel und dem Brechungsindex n abhängige Dicke aufweist, addieren sich die Amplituden der reflektierten Lichtwellen und wirken sich so reflexionsverstärkend aus.

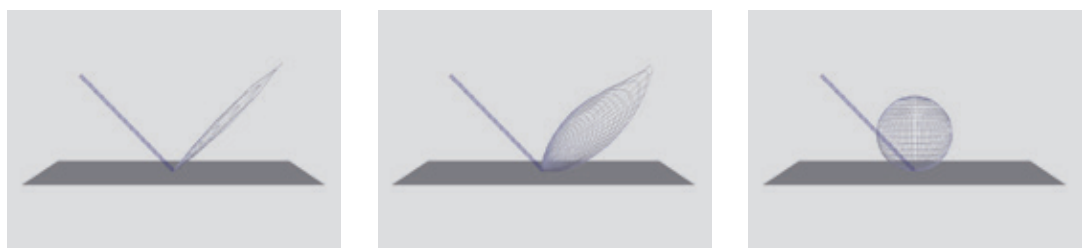


Abbildung 5.22:
Arten der Reflexion

(a) Gerichtete Reflexion

(b) Gemischte Reflexion

(c) Gestreute Reflexion

Werden verschieden dicke Schichten aufgebracht, verstärken sich mehrere Wellenlängen. Die Gesamtreflexion von reflexionsverstärkend beschichtetem Aluminium beträgt ca. 95 %.

Reflexionsverstärkend beschichtetes Silber basiert auf dem Reflexionsmaterial Reinstsilber, das in geringer Schichtdicke auf ein voreloxirtes Aluminium-Trägermaterial aufgedampft wird. Gegenüber Reinstaluminium hat Reinstsilber einen deutlich höheren Gesamtreflexionsgrad (Silber, hochglanzpoliert, 90 % bis 92 %, Reinstaluminium, hochglänzend, 80 % bis 85 %). Durch ein darüber liegendes reflexionsverstärkend wirkendes Schichtensystem ergibt sich eine weitere Steigerung bis auf einen Wert der Gesamtreflexion von 98 % sowie der unerlässliche Oberflächenschutz. Diese Technologie ist sowohl auf hochglänzende Oberflächen mit einem diffusen Reflexionsanteil von weniger als 3 % als auch auf satinierte Oberflächen anwendbar (siehe Abbildung 5.22 b).

Das hohe Maß an Gesamt- und gerichteter Reflexion schafft die Voraussetzungen dafür, dass auch bei kleinen Bauformen der Lichtstrom der Leuchtmittel nahezu verlustfrei aus dem optischen System austreten kann. Im Leuchtenbau eignet sich dieses Material daher sehr gut für hohe Effizienzen in Verbindung mit LED-Lichtquellen.

5.3.4 Optikentwicklung

Der Weg von der beleuchtungstechnischen Aufgabenstellung bis hin zur Realisierung durch den Lichtplaner und Leuchtenhersteller ist heute ohne leistungsfähige Simulationsverfahren kaum denkbar. Diese ermöglichen eine Optimierung der lichttechnischen Eigenschaften der Leuchten im Hinblick auf die anwendungsspezifischen Vorgaben und die gewünschte Lichtwirkung. Aus diesem Konzept ergeben sich die Aufgabenstellungen für den Lichtingenieur hinsichtlich der Entwicklung des optischen Systems der Leuchten.

Höchste Genauigkeit ist gefordert, insbesondere dann, wenn die lichttechnischen Eigenschaften der Leuchten im Hinblick auf spezifische Anwendungskonstellationen optimiert werden. Die gezielte Lenkung des Lichtes – z.B. aus einer punktförmigen LED-Lichtquelle durch im Spritzgussverfahren herzustellende Systeme von Einzellinsen auf die Anwendungsebene – ist das Ziel. Der Weg des eingekoppelten Lichtes durch den Kunststoffkörper muss exakt vorbestimmt sein. Auch Abweichungen im Rahmen von unvermeidlichen Fertigungstoleranzen sind hier im Detail zu berücksichtigen, um reproduzierbare lichttechnische Qualität zu gewährleisten.

Unsere Optikentwickler haben sich dafür die geeigneten Werkzeuge geschaffen. Voraussetzung dafür war, dass die lichttechnischen Eigenschaften der Werkstoffe sowie alle weiteren Einflussgrößen als Dateninformation vorliegen und in validierten Verfahren verarbeitet werden.

Immer wieder wird im Vergleich eines auf der virtuellen Ebene entwickelten lichttechnischen Systems mit den an der realen Leuchte in unserem lichttechnischen Labor gemessenen Werten die Wirksamkeit dieses Entwicklungsverfahrens bestätigt.

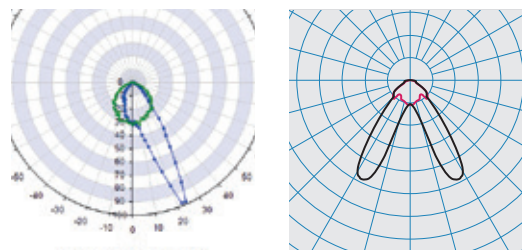
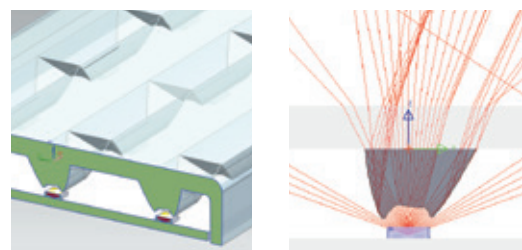


Abbildung 5.23: Stark asymmetrische Lichtstärkeverteilung einer LED-Leuchte (rechts), entwickelt in der Simulation (links)



(a) Asymmetrisches optisches System in 3D-Darstellung

(b) Simulation eines Strahlengangs in einer asymmetrischen Polycarbonat-Optik

Abbildung 5.24: Entwicklung eines asymmetrischen optischen Systems für eine punktförmige LED-Lichtquelle in der Simulation; exakte Lichtlenkung durch Brechung und Totalreflexion an den Grenzflächen von hochbrechendem Polycarbonat zur Luft

5.3.5 Messung lichttechnischer Eigenschaften

Bezüglich der Messung der lichttechnischen Eigenschaften von Leuchten kann grundsätzlich zwischen zwei Betrachtungsweisen unterschieden werden. Eine bezieht sich auf die Gesamtheit des aus der Leuchte austretenden Lichtes, die andere bezieht sich auf dessen räumliche Verteilung.

Um Licht in der Gesamtheit auf seine Eigenschaften zu untersuchen, ist der einzusetzende Messaufbau die Ulbrichtsche Kugel. Die Beschichtung der Innenseite der Kugel mit Bariumsulfat sorgt durch seine diffuse, spektral neutrale (aselektive) Reflexion für eine gleichmäßige Verteilung des Lichtes, sodass an einer Öffnung in der Außenwand an beliebiger Stelle gemessen werden kann. Die Ulbrichtsche Kugel eignet sich demnach sowohl für spektrale Messungen wie auch für Relativmessungen bzgl. des verfügbaren Lichtstromes.

Die räumliche Verteilung des aus einer Leuchte austretenden Lichtes wird im Allgemeinen als Lichtstärkeverteilungskurve (bzw. Lichtstärkeverteilungskörper, siehe Abbildung 5.10) dargestellt. Die Messung der Lichtverteilung kann mit

einem Drehspiegelgoniophotometer als Fernfeldmessung durchgeführt werden. Hierzu muss der Messabstand r zwischen Lichtquelle und Messsensor mindestens das Zehnfache der größten Ausdehnung der Lichtquelle betragen (photometrische Grenzentfernung). Um einen möglichst kleinen Messfehler zu erreichen, ist im bei TRILUX eingerichteten Laborraum für die Messung ausgedehnter Langfeldleuchten von mehr als 1,5 m Länge ein Messabstand von 25 m umgesetzt.

Moderne Goniophotometer sind heute sehr viel kompakter und ermöglichen Nahfeldmessungen. Dabei wird die Sensorik nahe, in kleinem Abstand im Verhältnis zur Leuchtausdehnung, in kleinen Schritten an der Leuchte vorbeigeführt. In jedem Messpunkt wird eine Messung der von dem Messpunkt ausgehenden Lichtstärkeverteilung gemacht. Diese im Vergleich zum Drehspiegelgoniophotometer sehr viel detaillierteren Messdaten sind derzeit von marktüblichen Lichtplanungsprogrammen nicht verarbeitbar. Auch ist bis heute kein einheitliches Datenformat für die Nahfelddarstellung von Leuchten definiert. Die mit der Nahfeldmessung gewonnenen Daten werden daher von der Messsoftware des Goniophotometers in Fernfelddaten umgerechnet, um sie für die Lichtplanungsprogramme zur Verfügung zu stellen.



Abbildung 5.25:
Messung der Licht-
stärkeverteilung mit
dem Nahfeldgonio-
photometer

5.4 Photobiologische Sicherheit

Elektrische Betriebsmittel, darunter auch Leuchten, dürfen in der EU nur dann in Verkehr gebracht werden, wenn sie den grundlegenden Anforderungen geltender europäischer Richtlinien (umgesetzt in nationale Gesetze) entsprechen. Eine solche Anforderung ist auch die photobiologische Sicherheit. Ihre Berücksichtigung wird in der „Richtlinie zum Schutz der Arbeitnehmer gegen tatsächliche oder mögliche Gefährdungen ihrer Gesundheit und Sicherheit durch Exposition gegenüber künstlicher optischer Strahlung während der Arbeit“ (2006/25/EG [136]) gefordert, zudem auch in der Europäischen Richtlinie über die allgemeine Produktsicherheit (GPSD), 2001/95/EG [135] und der Niederspannungsrichtlinie (LVD), 2014/35/EU [145].

Zur Beurteilung der photobiologischen Sicherheit der durch Lampen erzeugten optischen Strahlung bestehen Messvorschriften und Bewertungsmaßstäbe, die in der internationalen Norm IEC 62471:2006 [85] festgelegt sind. Diese ist in Europa als EN 62471:2008 [85] und in der Folge in Deutschland als DIN EN 62471:2009-03/VDE 0837-471:2009-03 [85] umgesetzt worden. Sie steht in Übereinstimmung mit der europäischen Richtlinie 2006/25/EG [136]. Die Beurteilung der Lichtquellen erfolgt bzgl. unterschiedlicher Gefährdungen:

- aktinische UV-Gefährdung der Augen und der Haut
- Gefährdung der Augen im UV-A-Spektralbereich
- photochemische Netzhautgefährdung (Blaulichtgefährdung)
- photochemische Netzhautgefährdung – kleine Quelle
- thermische Netzhautgefährdung
- thermische Netzhautgefährdung – schwacher visueller Reiz
- IR-Gefährdung der Augen
- thermische Gefährdung der Haut.

Für alle Gefährdungsarten existieren Messverfahren sowie Grenzwerte der Strahldichte oder Bestrahlungsstärke, bzgl. derer die Leuchtmittel in Risikogruppen (RG) der Stufen 0 bis 3 eingeteilt werden können.

Die Einteilung ist wie folgt zu verstehen:

- RG0** Es besteht kein Risiko. Es besteht keine Gefahr der Schädigung des Auges, auch bei dauerhaftem Blick in Richtung der Lichtquelle (unbegrenzte Expositionsdauer).
- RG1** Es besteht ein geringes Risiko. Eine Schädigung des Auges tritt nicht ein, auch bei starrem Blick in Richtung der Lichtquelle mit begrenzter Dauer (begrenzte Expositionsdauer).
- RG2** Es besteht ein mittleres Risiko. Eine Schädigung des Auges wird durch eine Abwendreaktion vermieden. Dies setzt voraus, dass der Blick in die Lichtquelle als genügend unangenehm empfunden wird. Der Grenzwert der Strahldichte bzw. Bestrahlungsstärke wird so festgelegt, dass innerhalb der Dauer bis zum Abwenden des Blickes von der Lichtquelle (kurze Expositionsdauer) das Auge durch die Strahlung nicht geschädigt wird.
- RG3** Es besteht ein hohes Risiko. Schon ein kurzer Blick in die Lichtquelle kann eine Schädigung des Auges hervorrufen.

Die Risikogruppen beziehen sich auf einen gemeinsamen Referenzabstand des Auges von der Lichtquelle. Ab der Einstufung in die Gruppe RG2 müssen Leuchtmittel gekennzeichnet und mit einem Warnhinweis versehen werden, der auf die photobiologische Gefährdung und auf Möglichkeiten der Vermeidung von Augenschädigungen hinweist.

Diese Messverfahren und Klassifizierungen können ebenfalls auf LED-Lichtquellen angewendet werden, auch wenn diese nicht über eine Fassung für ihren Wechsel in einer Leuchte verfügen, also im strengen Sinne keine Lampen sind. Die Leuchten-Norm EN 60598-1 [69] legt weiterhin fest, dass die gleiche Bewertung

wie in IEC 62471 [85] ebenfalls auf Leuchten mit fest integrierten Lichtquellen zu übertragen ist. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf LED-Produkten und einer möglichen Gefährdung durch Blaulicht (Blue Light Hazard, Photoretinitis). Umfangreiche Untersuchungen haben ergeben, dass eine solche Gefährdung unter ungünstigen Bedingungen bei Verwendung von in der Leuchtentechnik marktüblichen LED-Komponenten auftreten kann („Photobiologische Sicherheit von Licht emittierenden Dioden (LED)“ [170], Dr. rer. nat. Ljiljana Udovičić et al.).

Die „Blaulichtgefährdung“ beruht auf einer photochemischen Reaktion, die im Auge durch sichtbares Licht, insbesondere im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 500 nm, ausgelöst werden kann.

Die Risikogruppen der Stufen 0 bis 3 sind für die Blaulichtgefährdung mit Angabe der zugehörigen Grenzwerte und Expositionsdauern in Tabelle 5.3 angegeben. Die Grenzwerte beziehen sich auf die radiometrische Strahldichte bzw. Strahlungsstärke, gewichtet mit der spektralen

Wirkungsfunktion $B(\lambda)$ für photochemische Netzhautgefährdung (siehe Abbildung 5.28). Eine Umrechnung auf die visuell wahrnehmbare Leuchtdichte bzw. Beleuchtungsstärke kann bei Kenntnis der spektralen Zusammensetzung des Lichtes erfolgen.

In der oben genannten Auflistung wird bzgl. der photochemischen Netzhautgefährdung (Blaulichtgefährdung) zwischen der Betrachtung ausgedehnter Lichtquellen und der Betrachtung kleiner Lichtquellen unterschieden. Als kleine Lichtquellen werden solche bezeichnet, die im Gesichtsfeld mit einer Winkelausdehnung α erscheinen, die kleiner ist als der charakteristische Empfangswinkel γ des Augrezeptors von 11 mrad (0,63°). Diese Einstufung ist also abhängig vom Abstand der Lichtquelle vom Auge (siehe Abbildung 5.30), der in der lichttechnischen Anwendung als ≥ 20 cm angenommen werden soll. Für den Abstand von 20 cm ergibt sich eine Kantlänge der „kleinen“ Lichtquelle von 2,2 mm, was dazu führt, dass Einzel-LEDs aufgrund ihrer geringeren Baugröße in der Regel als „kleine“ Lichtquellen betrachtet werden können.

Risikobewertung gemäß europ. Norm EN 62471 [85]

Lampengruppe Risiko Beschreibung

Grenzwerte der „Blaulichtgefährdung“ gemäß europ. Richtlinie 2006/25/EG [136]

Strahldichte¹ [$\frac{W}{m^2 \cdot sr}$] Expositionsdauer [s] Bestrahlungsstärke² [$\frac{W}{m^2}$]

Freie Gruppe	kein Risiko	Diese Lampen stellen keine photobiologische Gefährdung dar, auch nicht bei kontinuierlicher, lang andauernder Exposition im Referenzabstand – sie sind unter allen Umständen sicher.	100	10.000	0,01
Risikogruppe 1	gering	Diese Lampen stellen unter Berücksichtigung normalen menschlichen Verhaltens keine Gefährdung dar. In Bezug auf die Augen sind diese Lampen sicher, außer bei einer sehr lang andauernden Betrachtung im Referenzabstand mit direkter Augenexposition.	10.000	100	1,0
Risikogruppe 2	mittel	Die Sicherheit dieser Lampen in Bezug auf die Augen basiert auf Abwendungsreaktionen; sie stellen keine photobiologische Gefährdung dar, solange Abwendungsreaktionen die Expositionsdauer begrenzen.	4.000.000	0,25	400
Risikogruppe 3	hoch	Diese Lampen sind auch bei kurzzeitiger Exposition im Referenzabstand gefährlich.	$\geq 4.000.000$		≥ 400

¹) Für ausgedehnte Lichtquellen

²) Für kleine Lichtquellen

Tabelle 5.3: Risikogruppen für Dauerstrichlampen nach der Lampensicherheitsnorm EN 62471 [85] und Grenzwerte der „Blaulichtgefährdung“

Für „kleine“ Lichtquellen ist nicht mehr ihre Strahlungsdichte relevant, sondern die Bestrahlungsstärke, die sie am Auge erzeugen. Diese nimmt gemäß dem photometrischen Entfernungsgesetz proportional zum Quadrat des Abstandes zwischen Lichtquelle und Beobachter ab.

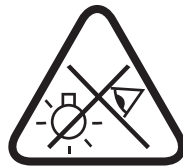
Wenn die eingesetzte Lichtquelle bereits geprüft ist, muss die Leuchte nicht erneut auf Blaulichtgefährdung geprüft werden. Die Einstufung des Leuchtmittels in die Risikogruppe kann direkt auf die Leuchte übertragen werden. Denn durch den Einbau in eine Leuchte wird die Strahlungsgefahr nicht erhöht. Eine niedrigere Einstufung kann erfolgen, wenn bei der Messung der Leuchte ein entsprechend verringertes Risiko ermittelt wird.

In EN 60598-1 [69] ist neben der Messung und Einstufung auch die Zulassung und Kennzeichnung von Leuchten bzgl. ihrer photobiologischen Sicherheit festgelegt. Dabei ist zwischen Leuchtenarten für unterschiedliche Anwendungen zu unterscheiden.

- Grundsätzlich muss gewährleistet sein, dass bei sachgemäßer Anwendung der Leuchte maximal eine geringe Gefährdung gemäß der Risikogruppe RG1 auftritt.
- Der Grenzwert der radiometrischen Bestrahlungsstärke der Risikogruppe RG1 beträgt $1,0 \text{ W/m}^2$.
- Für Leuchten wird die entsprechende photometrische Beleuchtungsstärke E_{thr} angegeben,

die sich unter Berücksichtigung der spektralen Zusammensetzung des Lichtes ergibt.

- Für höher als RG1 eingestufte Leuchten ist die Kennzeichnung durch ein Bildzeichen erforderlich.



Quelle: © VDE

Bildzeichen: Nicht in die Lichtquelle/Leuchte starren!

Der Anbringungsort ist der Tabelle 5.4 zu entnehmen.

- Für höher als RG1 eingestufte Leuchten sind ggf. Hinweise erforderlich, unter welchen Anwendungsbedingungen eine entsprechende Herabsetzung des Risikos erreicht wird.

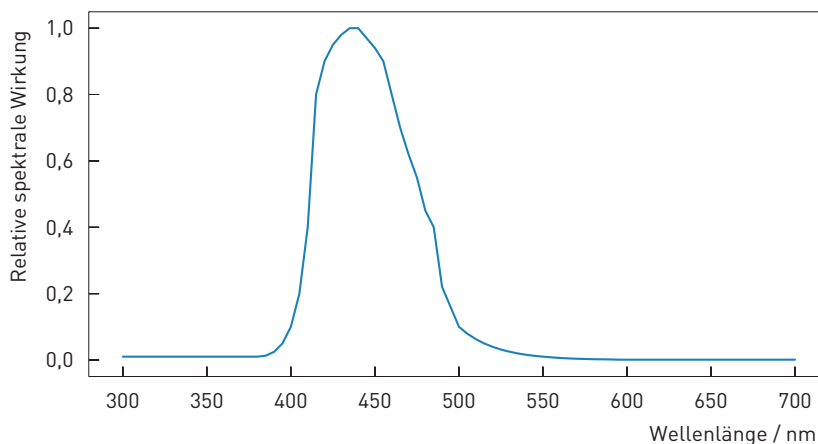


Abbildung 5.26: Die spektrale Wirkungsfunktion $B(\lambda)$ für photochemische Netzhautgefährdung (Blue Light Hazard) hat im Spektralbereich um 435 nm bis 440 nm ihr Maximum.

- Für Leuchten, die bei dem festgelegten Referenzabstand von 20 cm den Grenzwert der Bestrahlungsstärke von 1,0 W/m² nicht einhalten, ist ein Mindestabstand anzugeben, bei dem der Grenzwert unterschritten wird.

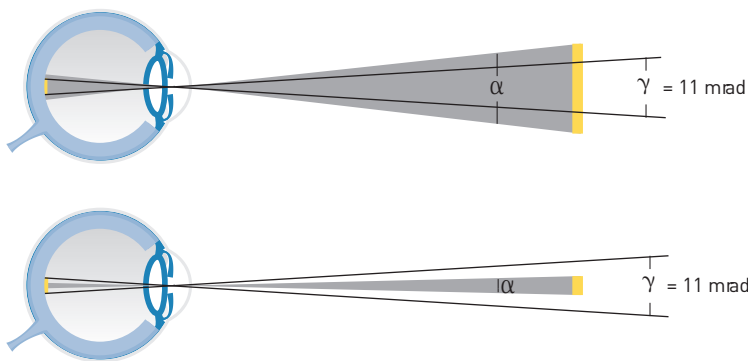


Abbildung 5.28:
Verhältnis von Winkelausdehnung α der Strahlungsquelle und Empfangswinkel γ des Augrezeptors

- Für Leuchten mit LED-Modulen, die höher als RG1 eingestuft sind und im Fall der Wartung der Leuchte direkt einsehbar werden, muss das oben gezeigte Bildzeichen bei der Wartung sichtbar sein und ein Warnhinweis in der Montageanleitung gegeben werden (siehe Tabelle 5.4).
- Für Leuchten für Kinderzimmer ist gemäß der Norm maximal die Risikogruppe RG1 zulässig (siehe Tabelle 5.4).

Bei der ENEC-Zertifizierung von Leuchten beim VDE und den weiteren Prüfinstitutionen wird immer auch eine Bewertung der photobiologischen Sicherheit durchgeführt.

TRILUX-Innenraumleuchten entsprechen in Gebrauchslage grundsätzlich mindestens der Risikogruppe RG1. In seltenen Fällen schon länger bestehender Baureihen werden in TRILUX-Leuchten LED-Module der Klassifizierung RG2 eingesetzt, die bei der Wartung der Leuchte einsehbar werden (siehe Abbildung 5.29).

Leuchtenart	Maßnahmen, Kennzeichnung
Leuchten für Kinder, Netzsteckdosen-Nachtlichter	<ul style="list-style-type: none"> • Bei Einsatz von Lichtquellen ohne Angabe von E_{thr} bzw. ohne Bildzeichen ist eine Messung nicht erforderlich, eine Kennzeichnung der Leuchte ist nicht notwendig. • Aus Sicherheitsgründen darf eine vollständig zusammengebaute Leuchte nur RG0 oder RG1 entsprechen. • Lichtquellen über RG1 dürfen nur verwendet werden, wenn sie bei der Wartung nicht sichtbar sind.
Ortsveränderliche Leuchten, Handleuchten	<ul style="list-style-type: none"> • Bei Einsatz von Lichtquellen ohne Angabe von E_{thr} bzw. ohne Bildzeichen ist eine Messung nicht erforderlich, eine Kennzeichnung der Leuchte ist nicht notwendig. • Bei Verwendung von Lichtquellen mit Angabe von E_{thr} oder Bildzeichen muss das Bildzeichen auf der Außenseite der Leuchte angebracht sein oder es muss durch Messung der vollständig zusammengebauten Leuchte nachgewiesen werden, dass der Grenzwert für RG1 nicht überschritten wird. • Falls bei zur Wartung geöffneter Leuchte in die Lichtquelle geblickt werden kann, muss das evtl. vorhandene Bildzeichen der Lichtquelle erkennbar sein.
Ortsfeste Leuchten	<ul style="list-style-type: none"> • Bei Einsatz von Lichtquellen ohne Angabe von E_{thr} bzw. ohne Bildzeichen ist eine Messung nicht erforderlich, eine Kennzeichnung der Leuchte ist nicht notwendig. • Bei Einsatz von Lichtquellen mit Angabe von E_{thr} kann die Angabe für den Texthinweis verwendet werden oder es kann durch Messung der vollständig zusammengebauten Leuchte ein Wert ermittelt werden. Im Falle von RG0 und RG1 ist ein Texthinweis nicht erforderlich. • Bei Einsatz von Lichtquellen mit Bildzeichen muss durch Messung der vollständig zusammengebauten Leuchte ein Wert für E_{thr} ermittelt werden. Im Falle von RG0 und RG1 ist ein Texthinweis nicht erforderlich. • Sofern der bei vollständig geschlossener Leuchte für E_{thr} äquivalente Abstand $> 0,2$ m beträgt, muss die Montageanweisung einen Texthinweis (sinngemäß) enthalten: „Die Leuchte sollte so angebracht werden, dass ein längeres Starren in die Leuchte aus einer Entfernung weniger als x m nicht erwartet wird.“ • Falls bei zur Wartung geöffneter Leuchte in die Lichtquelle geblickt werden kann, muss das evtl. vorhandene Bildzeichen der Lichtquelle erkennbar sein.

Tabelle 5.4:
Kennzeichnung von Leuchten zur Blaulichtgefährdung

5.5 Konstruktive Eigenschaften, Montage und Anschluss

In der Praxis erfolgt die anwendungsspezifische Auswahl von Leuchten nicht nur aufgrund lichttechnischer Kriterien, sondern ebenso aufgrund konstruktiver und elektrotechnischer Eigenschaften.

Die folgenden Abschnitte behandeln allgemeine Auswahlkriterien für Leuchten sowie Rückwirkungen von Leuchten – und ggf. weiterer Infrastrukturkomponenten (siehe Kapitel 5.5.4) – auf Komponenten der Elektroanlage, soweit diese für die Konfiguration der Anlage von Wichtigkeit sind. Dabei sind in erster Linie normative Vorgaben und anwendungstechnische Praxiserfahrungen berücksichtigt.

Eine besondere Bedeutung kommt dabei der Betriebssicherheit der elektrotechnischen Anlage zu, die durch Errichtungsvorschriften geregelt ist.

In **Deutschland** wurde im Jahr 1895 der Vorgänger der Errichtungsvorschrift DIN VDE 0100 „Errich-

ten von Starkstromanlagen mit Nennspannung bis 1000 V“ [43] veröffentlicht (siehe Tabelle 5.5). Später erhielt diese Vorschrift den Titel „Errichten von Niederspannungsanlagen“, der ab 1997 in Anlehnung an die entsprechende Publikation IEC 60364 „Electrical Installations of Buildings“ [43] der International Electrotechnical Commission (IEC) in „Elektrische Anlagen in Gebäuden“ geändert wurde. Weil noch Teile der alten Vorschriften DIN VDE 0100 gültig sind, finden sich alle drei Titel in den gültigen Teilen dieser Normenreihe wieder.

In Deutschland ist für die Normung im Bereich der Elektrotechnik die Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (DKE) in DIN (Deutsches Institut für Normung e.V.) und VDE (Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.) zuständig.

Auf **europäischer Ebene** ist damit das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique) befasst. Die Arbeitsergebnisse des CENELEC werden entweder als europäische Normen EN (die unverändert in nationale Normen umgesetzt werden müssen) oder



als Harmonisierungsdokumente HD (die auf nationaler Ebene nur teilweise und mit eigenen, aber gleichwertigen Ergänzungen übernommen werden) veröffentlicht.

Auf **internationaler Ebene** erfolgt die elektrotechnische Normung in der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (International Electrotechnical Commission IEC). Die Arbeitsergebnisse der IEC werden als internationale Normen veröffentlicht. Aufgrund von Verträgen

zwischen CENELEC und IEC wird im Endstadium des IEC-Normungsprozesses eine gemeinsame Abstimmung mit dem Ziel durchgeführt, die IEC-Norm möglichst ohne Änderungen als europäische Norm EN zu veröffentlichen. Dies gelingt für Leuchten weitestgehend. Unvermeidliche Abweichungen gegenüber der IEC-Norm gelten entweder in allen CEN-Staaten (common modifications) oder nur in den Staaten, in denen gesetzliche Anforderungen diese Abweichungen notwendig machen (A-Abweichungen).

Gruppe 100	Anwendungsbereich, Allgemeine Anforderungen	703	Räume und Kabinen mit Saunaheizungen
Gruppe 200	Begriffe	704	Baustellen
Gruppe 400	Schutzmaßnahmen	705	Landwirtschaftliche und gartenbauliche Anwesen
410	Schutz gegen elektrischen Schlag	706	Leitfähige Bereiche mit begrenzter Bewegungsfreiheit
420	Schutz gegen thermische Einflüsse	708	Caravanplätze, Campingplätze und ähnliche Bereiche
430	Schutz bei Überstrom	709	Häfen, Marinas und ähnliche Bereiche – besondere Anforderungen an die Versorgungseinrichtungen für den elektrischen Landanschluss von Schiffen
442	Schutz von Niederspannungsanlagen bei vorübergehenden Überspannungen infolge von Erdschlüssen im Hochspannungsnetz und bei Fehlern im Niederspannungsnetz	714	Beleuchtungsanlagen im Freien
444	Schutz gegen elektromagnetische Störungen	715	Kleinspannungsbeleuchtungsanlagen
450	Schutz gegen Unterspannung	716	ELV-DC-Energieverteilung für die Informations- und Kommunikationstechnologie (ICT) – Kabelinfrastruktur
460	Schutzmaßnahmen – Trennen und Schalten	717	Ortsveränderliche oder transportable Baueinheiten
Gruppe 500	Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel	718	Öffentliche Einrichtungen und Arbeitsstätten
510	Allgemeine Bestimmungen	721	Elektrische Anlagen in Caravans und Motorcaravans
520	Kabel und Leitungsanlagen	722	Stromversorgung von Elektrofahrzeugen
530	Schalt- und Steuergeräte	723	Unterrichtsräume mit Experimentiereinrichtungen
534	Trennen, Schalten und Steuern – Abschnitt 534: Überspannungsschutzeinrichtungen (SPDs)	730	Elektrischer Landanschluss für Fahrzeuge der Binnenschifffahrt
537	Geräte zum Trennen und Schalten	731	Abgeschlossene elektrische Betriebsstätten
540	Erdungsanlagen und Schutzleiter	737	Feuchte und nasse Bereiche und Räume und Anlagen im Freien
551	Andere Betriebsmittel – Abschnitt 551: Niederspannungsstromerzeugungseinrichtungen	740	Vorübergehend errichtete elektrische Anlagen für Aufbauten, Vergnügungseinrichtungen und Buden auf Kirmesplätzen, Vergnügungsparks und für Zirkusse
559	Leuchten und Beleuchtungsanlagen	753	Heizleitungen und umschlossene Heizsysteme
560	Einrichtungen für Sicherheitszwecke		
Gruppe 600	Prüfungen, wiederkehrende Prüfungen siehe DIN VDE 01005-100/A1 (VDE 0105-100/A1)		
Gruppe 700	Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art		
701	Räume mit Badewanne oder Dusche		
702	Becken von Schwimmbädern, begehbare Wasserbecken und Springbrunnen		

Tabelle 5.5:
Struktur der
Normenreihe
DIN VDE 0100 [43],
angepasst an
IEC 60364 [43] und
CENELEC-HD 384 [43]

In **Großbritannien** gilt als Errichtungsvorschrift der British Standard BS 7671 [43], die als IEE Wiring Regulations (IEE – Institution of Electrical Engineers) veröffentlicht ist und etwa die gleiche Struktur wie IEC 60364 [43] aufweist.

In **Frankreich** existiert eine Errichtungsvorschrift Norme Française NF C 15-100 [43] (früher UTE C 15-100), ebenfalls mit einer ähnlichen Struktur wie IEC 60364.

In den **Niederlanden** ist NEN 1010 „Veiligheidsvoorschriften voor laagspanningsinstallaties“ [43] des Nederlandse Norm Onwerp die entsprechende Errichtungsvorschrift, die ebenfalls nach dem Gliederungsschema der IEC 60364 [43] aufgebaut ist.

Auf **europäischer Ebene** existiert das Harmonisierungsdokument CENELEC HD 384, welches ebenfalls der Gliederung der IEC 60364 folgt.

Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich hinsichtlich der geforderten Sicherheitsstandards elektrischer Anlagen im Wesentlichen auf die in Deutschland gültigen Vorschriften gemäß DIN VDE. Soweit möglich, wird auf dazu existierende europäisch bzw. international harmonisierte Normen verwiesen. Weil die Kapitel in den Errichtungsvorschriften vieler Länder auf der gemeinsamen Basis der Norm IEC 60364 [43] beruhen und daher übereinstimmende Nummerierungen aufweisen, ist der Querverweis von den hier zitierten DIN-VDE-Vorschriften auf entsprechende Vorschriften anderer Länder wesentlich erleichtert. Wenn z. B. an einer Textstelle dieses Buches DIN VDE 0100-701 „Räume mit Badewanne oder Dusche“ [34] zitiert ist, dann entspricht dieses Kapitel der französischen Norm NF C 15-100, Partie 7-701 „Locaux contenant une baignoire ou une douche“. Ob jedoch die Einzelheiten der darin festgelegten Anforderungen übereinstimmen, muss sorgfältig nach dem jeweils gültigen Stand der Normen überprüft werden.

5.5.1 Montage von Leuchten

Bei der Montage von Leuchten ist grundsätzlich die Montageanleitung zu beachten. Für TRILUX-Leuchten ist diese u. a. den Produkten zugeordnet im Online-Katalog unter <https://www.trilux.com/products/de/Innenbeleuchtung/> zum Download verfügbar. Es empfiehlt sich, diese im Vorfeld einzusehen. Insbesondere folgende Punkte sind zu beachten:

- die Angaben zum elektrischen Anschluss: Beispielsweise aufgrund der Art der Anschlussklemmen können Einschränkungen bestehen. Ggf. sind Schutzmaßnahmen gegen UV-Einwirkung auf halogenfreie Installationsleitungen zu beachten.
- die einschränkende Brandschutzkennzeichnung (siehe Kapitel 5.11)
- Die angegebene Gebrauchslage ist einzuhalten. Abweichungen davon betreffen nicht nur die Stabilität der Befestigung der Leuchte, sondern ggf. auch die Anforderungen an die Gebrauchslage der Lampe, die mechanische und thermische Belastung der Komponenten der Leuchte und die Schutzart der Leuchte (siehe Kapitel 5.10). Wenn nicht anders angegeben, ist grundsätzlich die Deckenmontage vorausgesetzt.

Aber auch Angaben zu

- Befestigungsabständen,
 - Befestigungszubehör,
 - Einschwenktiefen für Einbauleuchten (siehe Abb 5.31),
 - Mindestmaßen für Einbaugehäuse (siehe Abb 5.33),
 - Position der Leitungseinführung,
 - Durchgangsverdrahtung
 - und anderen Besonderheiten
- sind dort vermerkt.

Für LED-Leuchten können hier auch Hinweise auf für den ESD-Schutz erforderliche Maßnahmen enthalten sein, die während der Montage zu beachten sind (siehe Abbildung 5.32). Die Nichtbeachtung dieser Hinweise kann zu Vorschädigungen bis hin zum Totalausfall der Leuchte führen (siehe auch Kapitel 5.1.2 „Produktqualität“).

Grundsätzlich gilt, auch ohne Erwähnung in der Montageanleitung:

- Außerhalb von geschlossenen Räumen ist die Verwendung von Innenraumleuchten höherer Schutzart nur in geschützten Bereichen ohne direkte Sonneneinstrahlung und ohne direkte Bewitterung zulässig.
- Bauseitig gestellte Befestigungsmittel müssen gemäß VDE 0100-559 [31] die Masse von mindestens 5 kg tragen können. Ist die Masse der Leuchte größer als 5 kg, ist die Tragfähigkeit des Befestigungsmittels der Masse der Leuchte anzupassen. Vom Hersteller für eine Leuchte als Zubehör zugelassene Befestigungsmittel

sind gemäß EN 60598 mit mindestens der fünffachen Leuchtenmasse geprüft. Die Aufgabe des Befestigungsmittels überträgt sich ggf. an die Aufhängung des Deckensystems, sofern Leuchten durch sie gehalten werden müssen und nicht separat an der Rohbaudecke befestigt sind.

- Korrosion der Leuchtenverschlüsse und Befestigungsmittel sind zu vermeiden (siehe Kapitel 5.14.2).

Zur Montage im Zusammenhang mit baulichen Brandschutzmaßnahmen geben die zwei folgenden Abschnitte allgemeine Hinweise.

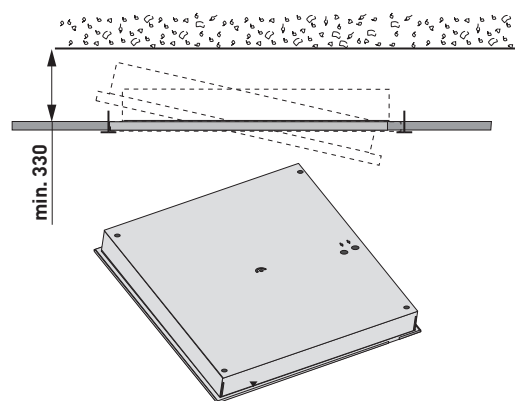


Abbildung 5.29: Montage einer Einbauleuchte, Einschwenktiefe in Systemdecke mit sichtbaren Tragschienen (Auszug aus einer Montageanleitung)

5.5.2 Beleuchtungswärme

Leuchten setzen im Betrieb elektrische Energie in Licht und zum Teil in Wärme um. Diese Wärme muss abgeführt werden, um einen sachgerechten Betrieb der Leuchte zu ermöglichen. Insbesondere bei Einbauleuchten ist es also wichtig, die Erfordernisse der Wärmeabführung in der Anwendung zu berücksichtigen.

de HINWEIS

Die Schutzhülle der LED-Platine (**ESD-Schutz**) erst nach dem Zusammenfügen der Stecker entfernen. **Der vorherige Anschluss der Erdung ist zwingend erforderlich.**



en NOTE

Only remove the protective covering (**for ESD protection**) of the LED PCB after connecting the connector. **The previous ground connection is compulsorily required.**

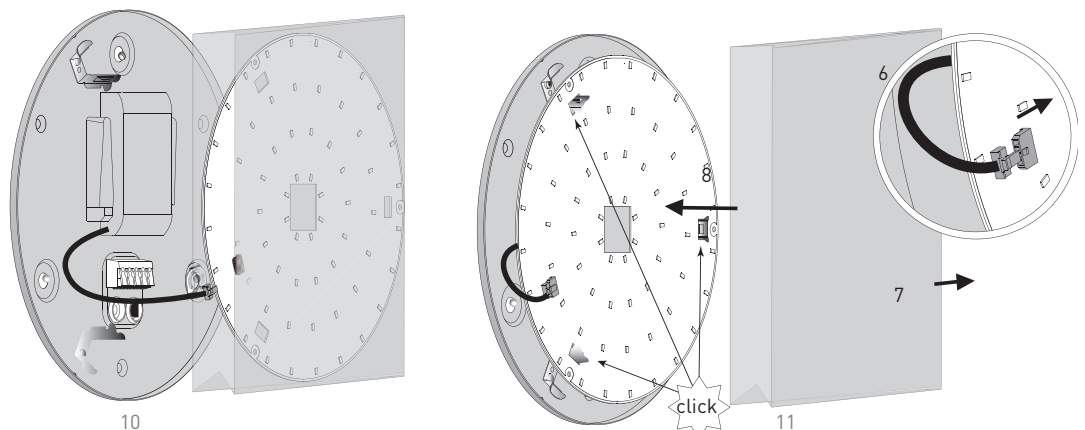



Abbildung 5.30: Montage einer LED-Leuchte mit vor Ort einzusetzendem LED-Geräteträger (Auszug aus einer Montageanleitung)

Ist eine Einbauleuchte nicht einschränkend gekennzeichnet, darf davon ausgegangen werden, dass sie sich unter Einhaltung der Montageanleitung im Betrieb maximal so stark erwärmt, dass ihr Betrieb und ihre Umgebung nicht beeinträchtigt wird und diese grundsätzlich eingesetzt werden kann. Eine einschränkende Kennzeichnung¹ erfolgt hingegen an Leuchten, die nicht für den Einbau in Decken- oder Wandöffnungen geeignet sind, wenn Wärmedämmmaterial die Leuchte abdecken kann. Dies ist nicht allein eine brandschutztechnische Vorgabe (siehe Kapitel 5.11), sondern bezieht sich auch auf den bei Einhaltung der technischen Spezifikation störungsfreien Betrieb der Leuchte. Nichteinhaltung führt zu einem Wärmestau in der Leuchte und kann eine verringerte Lichtausbeute, schnellere Alterung der Komponenten und Frühausfälle der Leuchtmittel bzw. Leuchten bewirken.

Übliche Baustoffe des Trockenbaus sind in diesem Sinne nicht als isolierende Materialien, sondern als normal wärmeleitfähig zu betrachten. Die thermische Prüfung der Leuchten im Labor erfolgt gemäß EN 60598 [72] mit einem Einbaugehäuse aus schwarz gestrichenem, 19 mm starkem Sperrholz für die Seitenteile und 12 mm starker Spanplatte für die aufnehmende Deckenplatte und die obere Abdeckung. Die Prüfung erfolgt in der Gebrauchslage, wie in der Montageanleitung dokumentiert, unter Berücksichtigung der dort gegebenen Montagehinweisen.

Für Einbauleuchten ohne die oben genannte einschränkende Kennzeichnung wird die Prüfung mit zusätzlich zwei vollständig umschließenden Schichten Isoliermaterial von 10 cm Stärke und einer Wärmeleitfähigkeit von 0,04 W/mK durchgeführt.

Gegebenenfalls sind die in der Montageanleitung dokumentierten Mindestmaße für den Einbauhohlraum zu beachten. Sowohl für Leuchten mit einschränkender Kennzeichnung bzgl. Wärmeisolierung als auch für solche ohne diese Kennzeichnung¹ ist die Oberfläche des Einbauvolumens für die Wärmeableitung erforderlich. Für TRILUX-Einbauleuchten in den typischen Maßen der Systemdecken (z. B. 600 mm x 600 mm, 300 mm x 1200 mm etc.) darf das Deckenmaterial direkt an der Leuchte anliegen. Für Downlights und Einbaustrahler sind die erforderlichen Geometrien skizziert (siehe Abbildung 5.33).

¹ Das Zeichen  befindet sich von außen sichtbar auf der Leuchte sowie in der Montageanleitung.

5.5.3 Elektrischer Anschluss von Leuchten

Die meisten Zweckleuchten sind ortsfeste Leuchten. Eine Ausnahme bilden Stand- und Schreibtischleuchten. Da diese ortsveränderlich ausgeführt sind, müssen sie gemäß VDE 0100-520 [29] mit einer flexiblen Zuleitung angeschlossen werden und mit einer Zugentlastung ausgestattet

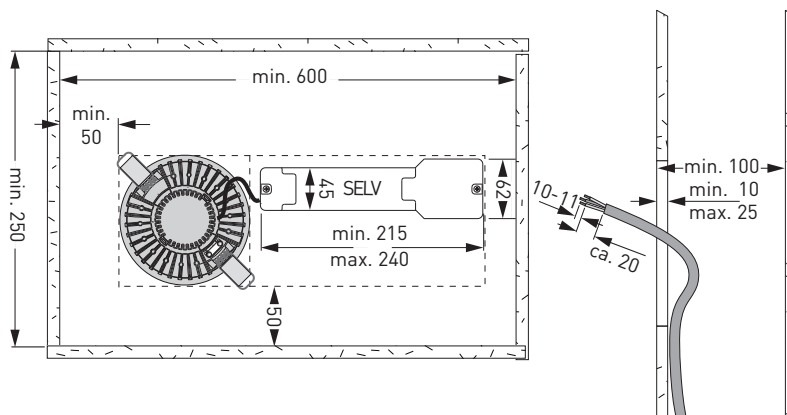


Abbildung 5.31: Mindestmaße für den Einbauhohlraum eines Downlights

sein. Auch abgehängte Leuchten gelten als ortsfest. Für diese kann vorausgesetzt werden, dass eine starre elektrische Zuleitung vorliegt. Da der Anschluss der starren Leitung eine Anschluss- oder Verbindungsstelle nach VDE 0100-520 darstellt, sind auch hier die Kabel und Leitungen von mechanischer Beanspruchung zu entlasten.

Anschlussklemmen abgehängter Leuchten sind in der Regel geeignet, mit Aderendhülsen versehene flexible Leitungen aufzunehmen. Hierbei bilden Lichtbandsysteme mit vorverdrahteten Tragschienen mit Trennsteckersystemen die Ausnahme, die in der Regel keine flexiblen Leitungen – auch nicht mit Aderendhülsen – aufnehmen können. In der Regel ist in der Montageanleitung lediglich der übliche Anschluss mit starrer Zuleitung dargestellt. Ggf. ist daher Rücksprache mit dem Leuchtenhersteller erforderlich.

Ähnlich sieht es mit der **Zugentlastung** aus. Auch hier verfügen viele abgehängte Leuchten über eine Zugentlastung für ihre Zuleitung. Auch Einbau-Downlights verfügen in vielen Fällen über Zugentlastungen für die Zu- und Weiterleitung. Hinweise dazu sind in der Montageanleitung enthalten.

Darüber hinaus existieren am Markt zahlreiche **Steckverbindingssysteme für den Netzanschluss**. Mit vorkonfektionierten Zuleitungen in einer dafür vorbereiteten Installation dürfen diese Leuchten dann auch von Nicht-Fachleuten in Betrieb genommen werden (siehe z. B. Abbildung 5.34).

Steuerleitungen für die 1–10-Volt- und die DALI-Schnittstelle sind grundsätzlich netzspannungsfest zu verlegen. Beide dürfen in einer gemeinsamen Mantelleitung mit der elektrischen Zuleitung verlegt werden. Sie basieren jeweils zwar auf einer Kleinspannung, jedoch nicht auf Schutzkleinspannung (SELV). Die DALI-Schnittstelle kann in der Installation in Einzelfällen auch auf Basis einer Schutzkleinspannung eingerichtet werden. Dazu muss jedoch für alle beteiligten Komponenten eine ausreichend geschützte Schnittstelle sichergestellt sein. Leitungen für Schutzkleinspannungen sind grundsätzlich separat zu verlegen.

Die Auslegung der **Schalter und Schutzmaßnahmen** (Fehlerstromschutzschalter und Leitungs-Schutzschalter) ist stark abhängig von der Art der Betriebsgeräte, mit denen die angeschlossenen Leuchten betrieben werden (siehe Kapitel 5.8.4).

In einigen Fällen kommt es vor, dass **mehrere LED-Leuchten sekundärseitig** an einem Vorschaltgerät in **Reihenschaltung** betrieben werden können. Dabei ist darauf zu achten, dass der für die Leuchten zulässige Betriebsstrom vom angeschlossenen Vorschaltgerät eingehalten wird. Die maximale Anzahl bzw. die maximale Gesamtleistung der angeschlossenen Leuchten darf nicht überschritten werden. Vom Hersteller geprüfte Konstellationen und ggf. vorkonfektionierte Anschlussleitungen sind in der Montageanleitung der Leuchte dokumentiert (siehe auch Kapitel 5.8.3 „Betriebsgeräte für LED-Leuchten“).

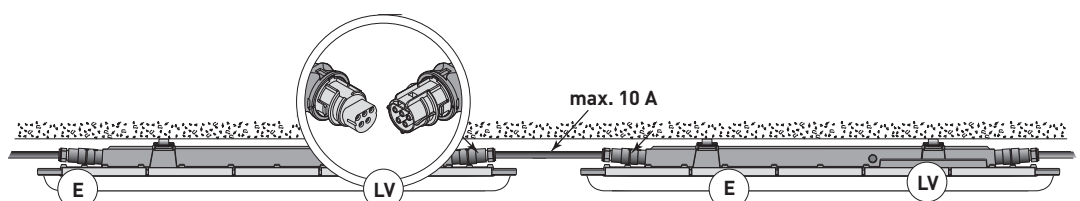


Abbildung 5.32:
Beispiel eines elektrischen Anschlusses mit Steckverbindern

5.5.4 Leitungen für Notlicht und Infrastruktur

Da die Leuchten einer Beleuchtungsanlage, in der Regel in oder an der Decke befestigt, über die gesamte Fläche eines Gebäudes verteilt und mit elektrischen Versorgungsleitungen verbunden sind, eignen sie sich in besonderer Weise, weitere elektrische Komponenten der Gebäudeinfrastruktur aufzunehmen.

Neben den Komponenten der beleuchtungsnahe Funktionen, wie z. B. der Beleuchtungssteuerung (Masterleuchten, siehe Kapitel 8.1.8 „Lichtmanagementsysteme“) oder der Notbeleuchtung können auch weitere Komponenten, wie z. B. Repeater für das WLAN- oder Telefonnetzwerk, Empfänger für eine Positionserkennung (Indoor-Positioning) oder CO₂-Sensoren für die Erkennung der Luftqualität, auf Anfrage durch den Hersteller in Leuchten integriert oder deren nachträglicher Einbau vorbereitet werden.

Insbesondere Lichtbandsysteme können auf diesem Wege vielfältige Zusatzfunktionen ermöglichen. Die erforderlichen Komponenten werden dazu, unabhängig von den Leuchteneinsätzen, frei im Tragschienensystem positioniert. Mit variablen Verbindungssteckern kann an jeder

Stelle des Lichtbandes jeweils auf die der Funktion zugeordneten Verbindungen zugegriffen werden. Eine vieladerige, integrierte Leitungsführung steht in der Tragschiene zur Verfügung, um z. B. die elektrische Versorgung der Allgemein- und Notbeleuchtung und weiterer Komponenten sowie Steuerleitungen für das Lichtmanagement bereitzustellen (siehe Abbildung 5.35). Aber auch zusätzliche – ggf. geschirmte – Datenleitungen können im Tragschienenensystem mitgeführt werden.

Universelle Einsätze mit einem mehrpolig variablen Trennstecker für den Zugriff auf das integrierte Leitungssystem und einer Anschlussklemme ermöglichen die Montage bauseits freiwählbarer Komponenten (siehe Abbildung 5.36).



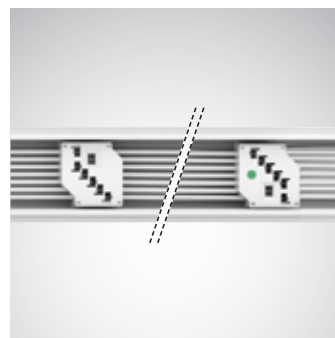
Abbildung 5.34: Tragschienenensatz mit mehrpoligem Trennstecker und Anschlussklemme für die Aufnahme und den Anschluss einer bauseitigen Komponente, wie z. B. einem Netzwerk-Repeater



(a) Notlicheinsatz für das TRILUX-E-Line-System



(b) Tragschienenensatz mit LiveLink-Sensor für das TRILUX-E-Line-System



(c) 7+7-adrige Verdrahtung, 3 separate Stromkreise, 2 Steuerleitungen für DALI-Signal, 2 unabhängige Notlichtstromkreise (Kennzeichnung durch grünen Punkt)

Abbildung 5.33: Tragschiene mit variabler Anschlussmöglichkeit für Notlicht, Lichtmanagement und weitere Infrastruktur-Funktionen

5.5.5 Leitungsquerschnitte Durchgangsverdrahtung

In DIN VDE 0298-4 [45] „Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Starkstromanlagen, Teil 4: Empfohlene Werte für die Strombelastbarkeit von Kabeln und Leitungen für feste Verlegung in und an Gebäuden und von flexiblen Leitungen“ sind in umfangreichen Tabellen die zulässigen Strombelastbarkeiten in Abhängigkeit von der Verlegart angegeben, und zwar für sehr unterschiedliche Verlegearten, Betriebs- und Umgebungstemperaturen.

Durchgangsverdrahtungen durch Leuchten können grundsätzlich seitens der Leuchtenmontage (also bauseits) erstellt werden. Nach VDE 0100-520 darf der Spannungsfall von 3,0 % nicht überschritten werden (siehe weiter unten). Entsprechend ist hinsichtlich der Strombelastbarkeit und des Spannungsfalls ein ausreichender Leiterquerschnitt auszuwählen.

Bei Leuchten als Lichtband kann der Netzanschluss als Durchgangsverdrahtung von einer Leuchte zur nächsten verlegt werden. Dabei ist zu beachten, dass die zulässige Betriebstemperatur der Leitungsisolierung nicht überschritten wird. Nach VDE 0100 Teil 559 „Errichten von Niederspannungsanlagen – Leuchten und Beleuchtungsanlagen“ [31] dürfen Kabel und Leitungen als Durchgangsverdrahtung in die Leuchte eingebracht werden, die den Temperaturvorgaben des Leuchtenherstellers entsprechen, z. B. gekennzeichnet durch das Zeichen $t_{max} \leq 105^\circ C$. Andernfalls werden wärmebeständige Silikonleitungen empfohlen.

In Leuchten dürfen Leitungen mehrerer Leuchtenstromkreise gemeinsam verlegt werden, vorausgesetzt, sie sind dafür vorgesehen. Die Durchgangsverdrahtung kann auch durch die Leuchte geführt werden, ohne dass diese daran angeschlossen ist.

Die mit der Leuchte mitgelieferten, also vorkonfektionierten inneren und äußeren wärmebeständigen PVC-Leitungen nach der Leuchten-

vorschrift EN 60598-1 [69] haben eine Wärmebeständigkeit bis 105 °C. Von TRILUX gelieferte Durchgangsverdrahtungen bestehen aus farbig gekennzeichneten, wärmebeständigen Einzelleitungen 1,5 mm² oder 2,5 mm².

Da die Belastung der Durchgangsverdrahtung und die damit verbundene Erwärmung auch Rückwirkungen auf andere Komponenten der Leuchten haben können, werden TRILUX-Lichtbänder grundsätzlich mit einer Belastung der Durchgangsverdrahtung von 10 A (16 A) bei einem Leiterquerschnitt von 1,5 mm² (2,5 mm²) geprüft.

Maximale Anzahl von Leuchten je elektrischem Leiter

Die maximal zulässige Anzahl der an einem Leiter anschließbaren Leuchten ist grundsätzlich durch die zulässige Strombelastung des Leiters begrenzt. Dabei ist der Leistungsfaktor der Leuchten zu berücksichtigen. Ist dieser nicht bekannt, so kann gemäß EN 60598 [72] von $\lambda \geq 0,9$ ausgegangen werden, sofern „Zweckleuchten“, bzw. Leuchten mit einer Systemleistung ≥ 25 W, eingesetzt werden (siehe auch Kapitel 5.7.4 „Leistungsfaktor“). Im Fall induktiver Leuchten für Leuchtstofflampen muss ggf. die bauseitige Kompensationsmaßnahme berücksichtigt werden (siehe Kapitel 5.9.2).

$$n = \frac{I_{\max} \cdot 230V \cdot \lambda}{P_{\text{Sys,Leuchte}}}$$

Dabei ist

n	die zulässige Anzahl an Leuchten,
I_{\max}	der maximal zulässige Strom,
λ	der Leistungsfaktor der Leuchte und
$P_{\text{Sys,Leuchte}}$	die Systemleistung einer Leuchte.

Der maximal zulässige Betriebsstrom ist durch den Leiterquerschnitt und die Verlegeart bestimmt (siehe oben), kann bei großen Leitungslängen jedoch zusätzlich durch den Spannungsfall beschränkt sein.

Spannungsfall

In größeren Beleuchtungsanlagen können erhebliche Leitungslängen auftreten. Aufgrund der

Niederspannungsanschlussverordnung (NAV) und der VDE-Anwendungsregel 4100 [107] darf im Hauptstromversorgungssystem (Verbindungsleitungen zwischen der Übergabestelle und dem Zähler) bei einem Leistungsbedarf von bis zu 100 kVA der Spannungsfall nicht mehr als 0,5 % betragen. Nach VDE 0100-520 [29] darf der Spannungsfall bis zum Verbrauchsmittel nur maximal 3 % betragen, d. h. bei 230 V nicht mehr als 6,9 V und bei 400 V nicht mehr als 12,0 V.

Der Spannungsfall in elektrischen Leitungen errechnet sich gemäß DIN VDE 0100-520: [29] Anhang G nach folgender Formel:

$$\Delta U = b \left(\rho_1 \cdot \frac{l}{A} \cdot \cos \varphi + \lambda \cdot l \cdot \sin \varphi \right) I_B$$

bzw.

$$l = \frac{\Delta U}{b \cdot I_B \left(\frac{\rho_1}{A} \cdot \cos \varphi + \lambda \cdot \sin \varphi \right)}$$

Dabei gilt:

ΔU Spannungsfall in Volt

b Koeffizient: $b = 1$ bei dreiphasigen Stromkreisen; $b = 2$ bei einphasigen Stromkreisen

Anmerkung: Dreiphasige Stromkreise, die vollkommen unsymmetrisch belastet werden (nur eine Phase belastet), werden als einphasige Stromkreise betrachtet.

ρ_1 spezifischer elektrischer Widerstand der Leiter im ungestörten Betrieb

Dabei wird als spezifischer elektrischer Widerstand der Wert für die im ungestörten Betrieb vorhandene Temperatur genommen, d.h. 1,25-mal der spezifische elektrische Widerstand bei 20 °C, oder 0,0225 Ω·mm²/m für Kupfer und 0,036 Ω·mm²/m für Aluminium.

l gerade Länge der Kabel- und Leitungsanlage in Meter

A Querschnitt der Leiter

$\cos \varphi$ Leistungsfaktor; falls nicht bekannt, wird ein Wert von 0,8 ($\sin \varphi = 0,6$) angenommen.

λ Blindwiderstand je Längeneinheit des Leiters; falls nicht bekannt, wird ein Wert von 0,08 mΩ/m angenommen.

I_B Betriebsstrom.

Der relative Spannungsfall ΔU_{rel} in Prozent ergibt sich nach:

$$\Delta U_{rel} = 100 \frac{\Delta U}{U_0}$$

Dabei steht U_0 für die jeweilige Systemspannung in Volt.

Für Zweckleuchten gilt gemäß EN 60598 für den Leistungsfaktor:

$$1 \geq \cos \varphi \geq 0,90 \text{ (bzw. } 0 \leq \varphi \leq 0,14 \cdot \pi \text{)}$$

Bei einer Netzspannung von 230 V ergibt sich im für diese Betrachtung ungünstigsten Fall ($\varphi = 0$) daraus für die maximal zulässige Leitungslänge bei vorgegebenem Spannungsfall von 6,9 V (3 %):

$$l_{max} = \frac{6,9V}{I_B \cdot 2 \left(\frac{0,0225 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}}{A} \cdot 1 + 0 \right)}$$

Für Durchgangsverdrahtungen für Lichtbänder ergibt sich für

- mit $I_B = 10$ A Strombelastbarkeit und $A = 1,5$ mm² Leitungsdurchmesser eine Leitungslänge von 22,5 m, wenn der komplette Strom auf voller Länge fließt, also die komplette Last am Ende des Leiters installiert ist, bzw.
- mit $I_B = 16$ A Strombelastbarkeit und $A = 2,5$ mm² Leitungsdurchmesser eine Leitungslänge von 24 m, wenn der komplette Strom auf voller Länge fließt, also die komplette Last am Ende des Leiters installiert ist.

Ist die Last gleichmäßig auf die Leitungslänge verteilt, sind also die Leuchten in gleichmäßigen Abständen angeordnet, so ergibt sich für ein einphasig betriebenes Lichtband, dass der Spannungsfall durch den im Leiter zulässigen Maximalstrom in jedem Fall nicht überschritten wird, solange das Lichtband nicht über 45 m bzw. 48 m lang ist. Ein dreiphasig betriebenes Licht-

band darf doppelt so lang sein, wenn alle drei Phasen gleichmäßig belastet sind.

Sind nicht die für den Leiterquerschnitt zulässigen Maximalströme erreicht, so ist auch der Spannungsfall entsprechend geringer und es können größere Leitungslängen realisiert werden, die der Abbildung 5.37 entnommen werden können. In der Praxis ist der Spannungsfall selten der begrenzende Faktor der Leitungslänge, da aufgrund hoher Einschaltströme elektronischer Betriebsgeräte und der magnetischen Auslösung der Leitungsschutzschalter sowie der Empfindlichkeit von zwangsgeführten Schaltern und Fehlerstromschutzschaltern gegenüber kurzzeitigen Stromspitzen die Zahl der Leuchten je Außenleiter in der Regel stärker limitiert ist (siehe auch die Kapitel 5.8.4 „Einschaltstrom“).

5.6 Kennzeichnung von Leuchten



Abbildung 5.36: Typenschild einer Leuchte mit erforderlichen Angaben und freiwilligen Approbationszeichen

5.6.1 Typenschild

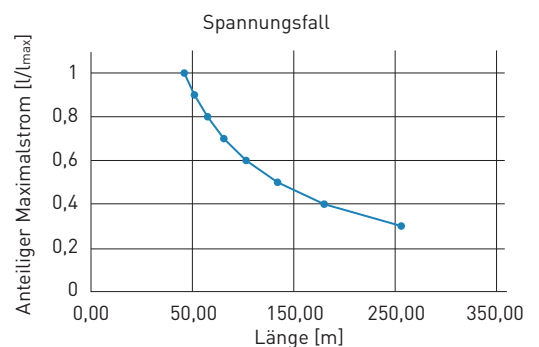
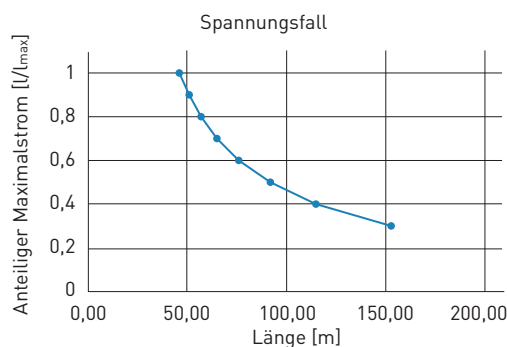
Nach EN 60 598-1 „Leuchten – Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfungen“ [69] müssen auf Leuchten folgende Aufschriften, insbesondere auf dem Typenschild, angebracht sein:

- Ursprungszeichen, z. B. Herstellername
- Typen- oder Bestell-Nr.
- Bemessungsspannung, z. B. 230 V
- Nennfrequenz, z. B. 50 Hz
- Kennzeichnung zulässig betreibbarer Lampen, i. d. R. durch Lampen-Nennleistung, z. B. 2 × 36 W (für Entladungslampen)
- Angabe der Bemessungsleistungsaufnahme für LED-Leuchten
- Schutzklasse, sofern abweichend von Schutzklasse I, z. B. durch das Bildzeichen der Schutzklasse II
- Schutzart, falls von IP20 abweichend, z. B. IP66
- Höchstwert der Bemessungs-Umgebungstemperatur, falls abweichend von 25 °C, z. B. 45 °C
- ggf. Brandschutzkennzeichnung
- ggf. Bildzeichen für die Montage der Leuchten
- Kennzeichnung für besondere Lampen, z. B. Kopfspiegellampen.

Qualitätsleuchten werden darüber hinaus gekennzeichnet mit

- Approbationszeichen, z. B. ENEC- bzw. VDE-Zeichen, Ballwurfsicherheit.

Abbildung 5.35: Abhängigkeit der aufgrund des Spannungsfalls zulässigen Leitungslänge (x-Achse) von der Auslastung des Leiters der Durchgangsverdrahtung eines Lichtbandes (y-Achse) im einphasigen System (links) und dreiphasigen System (rechts)



Die Aufschriften müssen gut lesbar, dauerhaft auf der Leuchte angebracht und bei Installation deutlich erkennbar sein – die Wichtigsten davon auch bei der Wartung.

Für den Betrieb gemäß der auf dem Typenschild und in der Montageanleitung der Leuchte gemachten Angaben übernimmt der Hersteller die Produkthaftung. Auch die Prüfungen unabhängiger Prüfinstitutionen (z.B. für die ENEC-Approval) beziehen sich auf diese Angaben (siehe Kapitel [5.6.2](#) „Sicherheitszeichen für Leuchten“).

Für einen Betrieb außerhalb der dokumentierten Bedingungen verlieren alle Approbationszeichen ihre Gültigkeit und die Produkthaftung erlischt. Insbesondere bei Einsatz von Retrofit-Leuchtmitteln übernimmt der Anbieter des Leuchtmittels die Haftung für die Sicherheit und fehlerfreie Funktion der Leuchte und des Leuchtmittels im Rahmen der laut Leuchtmitteldokumentation zulässigen Verwendung. Die Zulässigkeit der Verwendung ist im Einzelfall von der umrüstenden Person zu bewerten.

5.6.2 Sicherheitszeichen für Leuchten

Mit dem ENEC-Zeichen (European Norms Electrical Certification) wurde in Europa für Produkte der Elektrotechnik ein einheitliches Sicherheitszeichen mit einheitlichen Prüfbedingungen geschaffen. Das ENEC-Abkommen umfasst derzeit Leuchten, Leuchtenkomponenten, Energiesparlampen, Geräte der Informationstechnik, Transformatoren, Geräteschalter, elektrische Regel- und Steuergeräte, Klemmen, Gerätesteckvorrichtungen, einige Arten von Kondensatoren und Funkentstörbauteile. Weitere elektrische Betriebsmittel sollen in das ENEC-Abkommen aufgenommen werden.

Das ENEC-Zeichen ist das zwischen gegenwärtig 24 nationalen Zertifizierungsstellen europäischer Länder gemeinsam vereinbarte europäische Prüfzeichen für Normenkonformität

(vgl. Kapitel [5.6.5](#) „CE-Zeichen für Leuchten“). Es bestätigt die geprüfte Übereinstimmung des damit gekennzeichneten Produkts mit den entsprechenden Europäischen Normen und wird durch eine am ENEC-Abkommen teilnehmende Zertifizierungsstelle erteilt. Die Zertifizierungsstellen der anderen Länder behandeln Erzeugnisse, die das ENEC-Zeichen tragen, so, als hätten sie das ENEC- oder das nationale Prüfzeichen selbst erteilt. Damit dient das ENEC-Zeichen dem freien Warenverkehr in den Märkten des europäischen Wirtschaftsraumes einschließlich der Schweiz und in zunehmendem Maße im osteuropäischen Markt.

Eine deutsche akkreditierte Prüf-, Zertifizierungs- und Inspektionsstelle ist das VDE-Institut in Offenbach. Es vergibt das ENEC-Zeichen mit der Prüfstellenummer 10. Eine zusätzliche Kennzeichnung mit dem VDE-Prüfzeichen ist möglich.

Prüfungen zum Erlangen des ENEC-Zeichens für Leuchten werden auf der Grundlage der Normenreihe EN 60598 [\[72\]](#) von den nationalen Prüfstellen durchgeführt. Zusätzliche Voraussetzungen zur Erlangung des ENEC-Zeichens ist ein Qualitätssicherungssystem. Derzeit tragen ca. 85.000 Produkte das ENEC-Zeichen (siehe auch www.enec.com).

5.6.3 Rechtliche Bedeutung von VDE- bzw. ENEC-Zeichen

Die EU-Richtlinie 2001/95/EG [\[135\]](#) vom 3.12.2001 über die allgemeine Produktsicherheit und weitere spezielle Sicherheitsbelange wurde in Deutschland durch das am 1.5.2004 in Kraft getretene Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (GPSG) umgesetzt. Dies wurde am 27. Juli 2021 vom aktuellen Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) [\[135\]](#) abgelöst.

Die EU-Richtlinie 2001/95/EG [\[135\]](#) sowie die daraufhin erlassenen nationalen Gesetze regeln u.a. das Inverkehrbringen (Herstellen, Importieren) von Produkten. Danach dürfen Produkte

nur in den Verkehr gebracht werden, wenn Sicherheit und Gesundheit von Anwendern nicht gefährdet werden. Dazu muss der Anwender der Produkte über alle die Sicherheit betreffenden Eigenschaften des Produkts informiert werden. Insbesondere müssen die Produkte den allgemein anerkannten Regeln der Technik sowie den Arbeitsschutz- und Unfallverhütungsvorschriften entsprechen. Auch muss der Hersteller den Lebenszyklus seines Produktes beobachten und bei bekannt gewordenen Mängeln die zuständige Behörde informieren und gegebenenfalls einen Rückruf einleiten.

Das VDE-Prüf- und Zertifizierungsinstitut (VDE-PZI) ist in Deutschland eine zugelassene Stelle nach dem ProdSG, auch für die Prüfung und Zuerkennung des in Deutschland gültigen GS-Zeichens bzw. VDE-GS-Zeichens – auch für verwendungsfertige Gebrauchsgegenstände und technische Arbeitsmittel.


Land	Prüfstelle und Sicherheitszeichen	
Spanien	AENOR	 01
Belgien	CEBEC	 02
Italien	IMQ	 03
Portugal	CERTIF	 04
Niederlande	KEMA	 05
Irland	NSAI	 06
Luxemburg	SNCH	 07
Frankreich	LCIE	 08
Griechenland	MIRTEC	 09
Deutschland	VDE	 10
Österreich	ÖVE	 11
Großbritannien	BSI	 12
Schweiz	Elektrosuisse	 13
Schweden	SEMKO	 14
Dänemark	DEMKO	 15
Finnland	FIMKO	 16
Norwegen	NEMKO	 17
Ungarn	MEEI	 18
Großbritannien	BEAB	 19
Großbritannien	ASTA	 20
Tschechien	EZU	 21
Slowenien	SIQ	 22
Deutschland	TÜV-Rheinland	 24
Deutschland	TÜV PS	 25

Tabelle 5.6:
Zertifizierungs- und
Prüfstellen sowie
nationale und euro-
päische Sicherheits-
zeichen für Leuchten

Bei der Leuchtenauswahl bedeutet dies: Bei Produkten mit VDE- bzw. ENEC-Zeichen kann ohne weitere Prüfung davon ausgegangen werden, dass diese dem Stand der Technik und damit dem GPSG entsprechen. Der Hersteller kennzeichnet durch das VDE- bzw. ENEC-Zeichen auf den Betriebsmitteln, dass das VDE-Prüf- und Zertifizierungsinstitut die Einhaltung der Sicherheitsbestimmungen überprüft hat. Zusätzlich wird die Fertigung durch Ingenieure des VDE-PZI überwacht, wobei Stichproben für Nachprüfungen entnommen werden.

5.6.4 GS-Zeichen

Mit dem GS-Zeichen (GS – geprüfte Sicherheit) bestätigen autorisierte Prüfstellen die Konformität eines Produktes mit dem Gesetz über die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt (Produktsicherheitsgesetz – ProdSG) bzw. mit der entsprechenden EU-Richtlinie. Das GS-Zeichen darf nur in Verbindung mit dem Zeichen der prüfenden Stelle verwendet werden. Das VDE-Prüf- und Zertifizierungsinstitut erteilt ebenfalls das GS-Zeichen, stellt dem Inhaber aber frei, entweder das GS-Zeichen in Verbindung mit dem VDE-Zeichen oder nur das VDE-Zeichen auf den Produkten anzugeben. Darüber hinaus gibt es in Deutschland noch weitere autorisierte Prüfstellen, wie z. B. die Technischen Überwachungsvereine TÜV oder Prüfstellen der Berufsgenossenschaften. Auch von diesen Prüfstellen erteilte GS-Zeichen sind nur in Verbindung mit dem Zeichen der Prüfstelle gültig.

Das GS-Zeichen in Verbindung mit dem betreffenden Prüfstellenzeichen dokumentiert, dass das Produkt auch den Bestimmungen der Arbeitsschutz- und Unfallverhütungsvorschriften entspricht.

5.6.5 CE-Zeichen für Leuchten

Zur Schaffung eines gemeinsamen europäischen Binnenmarktes ohne Handelshemmnisse wurden und werden EU-Richtlinien geschaffen, die mit der Umsetzung in nationales Recht bzw. nach Ablauf von Umsetzungsfristen in den einzelnen EU-Mitgliedsstaaten rechtsverbindliche Gültigkeit erlangen.

Produkte, die auf dem europäischen Markt in Verkehr gebracht werden sollen, müssen zwingend alle in Frage kommenden EU-Richtlinien erfüllen. Dies wird durch das CE-Kennzeichen dokumentiert. Die Abkürzung „CE“ steht für „Communautés Européennes“ (Europäische Gemeinschaften).

Das CE-Zeichen wendet sich nicht an Verbraucher, sondern an Überwachungsbehörden, die ohne weitere Prüfung Produkte mit CE-Kennzeichnung als binnenmarktfähig anerkennen. Erst bei Gegenanzeigen wird die Konformität mit den einschlägigen Bestimmungen überprüft.

Die CE-Kennzeichnung wird in der EG-Richtlinie 93/68/EWG (CE-Kennzeichnungsrichtlinie) geregelt, die seit dem 1.1.1995 in Kraft ist.

Seit 1.1.1997 muss auf allen von der CE-Kennzeichnungsrichtlinie betroffenen Produkten ein CE-Zeichen angebracht sein, womit der Herstel-

ler die Zusage erteilt, dass dieses Produkt alle einschlägigen EU-Richtlinien erfüllt. Für Leuchten bezieht sich die CE-Kennzeichnung insbesondere auf

- die Richtlinie 2014/35/EU [\[145\]](#) zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung elektrischer Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen auf dem Markt (Niederspannungs-Richtlinie) und
- die Richtlinie 2014/30/EU [\[144\]](#) zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit (Neufassung).

Die CE-Kennzeichnung ist kein Prüfzeichen für Normenkonformität, wie z.B. das VDE-Zeichen, das ENEC-Zeichen oder das EMV-Zeichen. Die CE-Kennzeichnung basiert nicht auf einer Prüfung durch eine neutrale Prüfstelle. Sie wird in Eigenverantwortung vom Hersteller vorgenommen.

Leuchten und deren Komponenten, die das ENEC-, das VDE-Zeichen oder das EMV-Zeichen tragen, sind hinsichtlich der Einhaltung der betreffenden EU-Richtlinien und der sich darauf beziehenden Vorschriften von unabhängiger Stelle geprüft.



5.7 Betrieb von Leuchten

5.7.1 Netzspannung

Eine wichtige Voraussetzung sowohl für den europäischen Binnenmarkt als auch für den internationalen Handel ist eine einheitliche Netz-Nennspannung. Unterschiedliche Nennspannungen, z.B. von 380/220 V in vielen kontinentaleuropäischen Ländern und 415/240 V in Großbritannien und vielen Ländern des ehemaligen Commonwealth, haben den Welthandel früher erheblich beeinträchtigt. Gegenwärtig beträgt die Nennspannung in Japan 100 V, in Australien 240 V, in Kanada 220 V und in Großbritannien 230 V +10% (= 253 V). In der Bundesrepublik und anderen Ländern wurde 1988 mit der Umstellung der Netz-Nennspannung von 380/220 Volt auf 400/230 Volt begonnen. Grundlage dafür war die internationale Norm IEC 38 „IEC-Normspannung“ von 1983 (heute IEC 60038, bzw. EN 60038 [64]). Mit dieser Norm ist eine

weltweite Prozedur zur Vereinheitlichung der Nennspannungen eingeleitet worden. Die einheitliche Spannung ist mit 230 Volt zwischen den Außenleitern und dem Mittelpunktleiter bzw. 400 V zwischen den Außenleitern mit einer Toleranz von -10% (also 207/360 Volt) bis +10% (also 253/440 Volt) angestrebt.

Natürlich braucht eine solche Umstellung eine lange Zeit, um die im Netz befindlichen elektrischen Betriebsgeräte bis zum Lebensdauerende betreiben zu können. In Deutschland wurde der Prozess nach 25 Jahren (von 1983 bis 2008) abgeschlossen.

$\left(\begin{array}{l} 220 \text{ V} \\ +10\% \end{array} \right)$ 242 V	250 V	$\left(\begin{array}{l} 230 \text{ V} \\ +6\% \end{array} \right)$ 243,8 V	253 V $\left(\begin{array}{l} 230 \text{ V} \\ +10\% \end{array} \right)$
	240 V		230 V	230 V
220 V	230 V	$\left(\begin{array}{l} 230 \text{ V} \\ -10\% \end{array} \right)$ 207 V	$\left(\begin{array}{l} 230 \text{ V} \\ -10\% \end{array} \right)$ 207 V
$\left(\begin{array}{l} 230 \text{ V} \\ -10\% \end{array} \right)$ 198 V	220 V			207 V $\left( \begin{array}{l} 230 \text{ V} \\ -10\% \end{array} \right)$
	210 V		
	200 V		
	190 V		
		von 1988 bis 2008	ab 2008

5.7.2 Betriebsbedingungen

Für den Betrieb gemäß der auf dem Typenschild und in der Montageanleitung der Leuchte gemachten Angaben übernimmt der Hersteller die Produkthaftung. Auch die Prüfungen unabhängiger Prüfinstitutionen (z.B. für die ENEC-Approbation) beziehen sich auf diese Angaben (siehe Kapitel [5.6.2](#) „Sicherheitszeichen für Leuchten“).

Für einen Betrieb außerhalb der dokumentierten Bedingungen verlieren alle Approbationszeichen ihre Gültigkeit und die Produkthaftung erlischt. Insbesondere bei Einsatz von Retrofit-Leuchtmitteln übernimmt der Anbieter des Leuchtmittels bzw. die umrüstende Person die Haftung für die Sicherheit und fehlerfreie Funktion des Leuchtmittels in Verbindung mit der Leuchte (siehe auch Kapitel [5.6](#) „Kennzeichnung von Leuchten“).

Für einige Betriebsbedingungen, wie z.B. die zulässige Umgebungstemperatur, gelten Standardwerte, sofern keine abweichenden Angaben gemacht werden.

TRILUX-Leuchten mit LED bzw. für den Betrieb von Leuchtstofflampen mit EVG sind serienmäßig für eine Nennspannung von 230 V \pm 10 % (Leuchten für Leuchtstofflampen mit VVG von 230 V +6 %/-10 %) sowie für eine Nennfrequenz von 50 Hz und eine Umgebungstemperatur von 25 °C ausgelegt.

Bezüglich der Umgebungstemperatur werden für LED-Leuchten aufgrund der starken Temperaturabhängigkeiten von Lebensdauer und Lichtausbeute verschiedene Angaben verwendet.

- Die Bemessungsumgebungstemperatur t_a (ambient) ist die höchste Umgebungstemperatur, bei der die Leuchte betrieben werden darf.
- Die Bemessungstemperatur t_q (quality) ist die höchste Temperatur, für die die lichttechnischen Eigenschaften und Lebensdauern aus dem Datenblatt gelten (siehe Kapitel [9.2.4](#) „Lebensdauer von LED-Leuchten“).

Die maximale Temperatur t_q kann also nicht höher sein als t_a . Besonders relevant sind diese Werte in Nutzungsbereichen mit Temperaturen von in der Regel mehr als 25 °C.

Insbesondere in Fertigungshallen mit großen Deckenhöhen herrschen auf Höhe der Leuchtenebene oft deutlich höhere Temperaturen. Leuchtenhersteller geben für Leuchten, die typischerweise in solchen Umgebungen eingesetzt werden, deshalb häufig auch Bemessungslebensdauern für höhere t_q -Werte an.

In jedem Fall darf die Umgebungstemperatur die Temperatur t_a nicht überschreiten, da sonst ein sicherer Betrieb der Leuchte nicht gewährleistet werden kann. Um die lichttechnischen Angaben und die Lebensdauer aus dem Datenblatt zu erreichen, muss die tatsächliche Umgebungstemperatur ebenfalls kleiner oder gleich der Temperatur t_q sein.

Besondere oder abweichende Betriebsbedingungen können auftreten für

- Betriebsspannung und Netzfrequenz, z. B. in Bahnen und Fahrzeugen,
- Umgebungstemperaturen, z. B. in Kühl- und Kesselhäusern,
- Luftfeuchte und weitere chemische oder physikalische Einflüsse, wie z. B. Salznebel, aus Kunststoff austretende Weichmacher, Gase, See- und tropische Klimate, UV-Strahlung, besondere Reinigungsverfahren,
- Stäube und Fremdkörper sowie
- mechanische Schwingungen und Vibrationen.

Vereinzelte gibt es für besondere Betriebsbedingungen genormte Prüfmethode. In jedem Fall sind jedoch bei Einsatz von Leuchten unter abweichenden Betriebsbedingungen die Erfahrungen der Leuchtenhersteller zu berücksichtigen.

Insbesondere ist zu berücksichtigen, dass bei vielen modernen Leuchten Teile aus Kunststoffen zu wichtigen Funktionselementen geworden sind. Bei bestimmungsgemäßer Anwendung ist die Beständigkeit der Kunststoffe sichergestellt. Durch unzulässige Beanspruchung und schädli-

gende Einflüsse kann ihre Beständigkeit beeinträchtigt werden. Erhöhte Betriebsspannung, zu hohe Umgebungstemperaturen und ggf. unsachgemäße Montage führen zu erhöhter Temperaturbelastung der Kunststoffe und können diese verformen, verspröden oder verfärben. Quecksilberdampf-Hochdrucklampen mit hohem UV-Anteil in der Strahlung und Entkeimungsstrahler setzen Kunststoffe zu hoher UV-Bestrahlung aus, die dadurch vergilben oder verspröden können. Austretende Weichmacher (z. B. aus nicht wärmebeständigen Leitungsisolierungen oder Dichtungen) und falsche Reinigungsmittel können für Kunststoffe aggressive Substanzen darstellen und Rissbildung, Verringerung der Festigkeit und Oberflächenschäden führen. Bei sehr tiefen Temperaturen kann die Elastizität von Kunststoffen ebenfalls eingeschränkt sein, sodass es z. B. bei starken Temperaturschwankungen zu Rissbildungen in den Leiterplatten der Elektronik kommen kann.

Bei Rückfragen an den Hersteller sind daher in der Regel weitere Angaben z. B. über die Wirkstoffe, deren Konzentration in der Raumluft sowie die Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit erforderlich.

Hinsichtlich thermischer Sicherheit (Brandchutz) von Leuchten siehe Kapitel 5.11, mechanischer Sicherheit Kapitel 5.13 und Sicherheit gegen chemische und sonstige Einflüsse siehe auch Kapitel 5.14.

Abbildung 5.37: Prüfungen an Leuchten im TRILUX-Labor: Alle für die Sicherheit und Performance relevanten Parameter werden bei TRILUX auf Basis der DIN EN ISO 60598 in den eigenen Laboren für jede Leuchte gemessen und dokumentiert. Für Serienleuchten werden die Messungen für die Vergabe des ENEC-Zertifikats unter Aufsicht des VDE durchgeführt. So ist sichergestellt, dass TRILUX-Leuchten zu jeder Zeit in Bezug auf Sicherheit und Performance dem allgemein anerkannten Stand der Technik entsprechen.



5.7.3 Überspannungsschutz bei Prüfungen der Elektroanlage

Elektrische Anlagen und Betriebsmittel dürfen nur in ordnungsgemäßem Zustand in Betrieb genommen und müssen in diesem Zustand erhalten werden. Daher müssen sie durch eine Elektrofachkraft oder unter Leitung und Aufsicht einer Elektrofachkraft auf ordnungsgemäßen Zustand geprüft werden.

Die elektrische Anlage ist zu prüfen

- vor der ersten Inbetriebnahme gemäß der Norm VDE 0100-600: „Errichten von Niederspannungsanlagen Teil 6: Prüfungen“ [33] (Juni 2008, deutsche Übernahme HD 60364-6: 2016 + A11: 2017),
- nach einer Änderung oder Instandsetzung vor der Wiederinbetriebnahme gemäß derselben Norm und
- in bestimmten Zeitabständen gemäß DIN VDE 0105-100 „Betrieb von elektrischen Anlagen, Teil 100: Allgemeine Festlegungen“ [44].

Die elektrischen Betriebsmittel sind zu prüfen

- nach einer Änderung oder Instandsetzung vor ihrer Wiederinbetriebnahme gemäß DIN EN 50678 (VDE 0701) „Allgemeine Verfahren zur Überprüfung der Schutzmaßnahmen von Elektrogeräten nach der Reparatur“ [61] und DIN EN 50699 (VDE 0702) „Wiederholungsprüfung für elektrische Geräte“ [62] und
- in bestimmten Zeitabständen gemäß der letztgenannten Norm.

Einen Teil der Prüfung der Elektroanlage bildet die Messung des Isolationswiderstandes. Bei Anlagen mit einer Nennspannung bis 500 Volt Wechselspannung wird die Prüfung mit einer Gleichspannung von 500 Volt vorgenommen. Der Isolationswiderstand darf 1 Megaohm ($M\Omega$) nicht unterschreiten. Bei über 500 Volt Nennspannung beträgt die Messgleichspannung 1.000 V und der Isolationswiderstand mindestens 1 $M\Omega$. Bei Anlagen mit der Schutzkleinspannung SELV oder

PELV beträgt die Messgleichspannung 250 V. Hier beträgt der Mindestisolationswiderstand 0,5 M Ω .

Die Messgeräte müssen den Festlegungen der Normenreihe DIN VDE 0413 „Geräte zum Prüfen Messen oder Überwachen von Schutzmaßnahmen“ [81] entsprechen, die

- der Normenreihe IEC 61557 bzw.
- der CENELEC-Normenreihe EN 61557 entspricht.

Die Messung des Isolationswiderstandes ist für die Außenleiter und den Neutraleiter gegen Erde durchzuführen. Zur Reduzierung des Messaufwandes dürfen Außen- und Neutraleiter miteinander verbunden sein. Bei der Messung mit angeschlossenen elektronischen Betriebsmitteln, z. B. EVG, muss dies sogar der Fall sein.

Angeschlossene Leuchten mit Parallelkondensatoren oder Funkentstörfiltern können zu Fehlmessungen führen. Darüber hinaus besteht die Gefahr, dass elektronische Bauteile der Betriebsmittel durch die Messspannung Schaden nehmen. TRILUX-Leuchten werden aufgrund ihres Schaltungsaufbaus durch Isolationswiderstandsmessungen nicht beschädigt. Dies gilt sowohl für die LED-Leuchten als auch für Leuchten für Leuchtstofflampen mit VVG oder EVG.

Neutraleiterunterbrechung

In der Praxis werden für die Messung des Isolationswiderstandes gegen den Schutzleiter PE die Außenleiter L1, L2 und L3 sowie der Neutraleiter N an der Trennklemme unterbrochen (siehe oben). Vor anschließender Inbetriebnahme muss insbesondere die Neutraleiter-Trennklemme wieder geschlossen werden. Wird dies unterlassen und liegt eine unterschiedliche Belastung der Außenleiter vor, können erhöhte Betriebsspannungen bis 400 V an den Verbrauchern auftreten. Diese können elektrische Betriebsmittel wie elektronische Vorschaltgeräte beschädigen. Warum? Bei angeschlossenem Neutraleiter NoderbeiwaggleicherBelastungderAußenleiter liegt der Sternmittelpunkt im Spannungs-Vektor-

diagramm etwa in der Mitte und die Spannung an den Verbrauchern beträgt 230 V (siehe Abbildung 5.40). Wird N unterbrochen, verschiebt sich der Sternmittelpunkt und die Spannung an den Verbrauchern mit größerer Last kann Werte bis zu 400 V annehmen.

Überspannungsfestigkeit

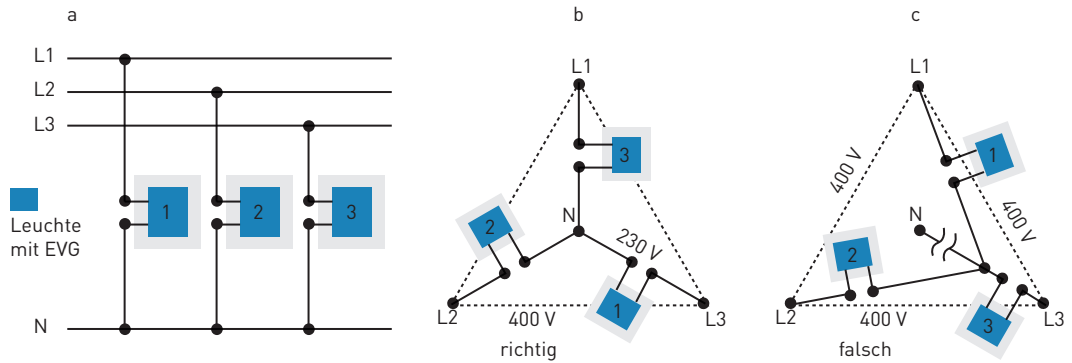
Elektronische Betriebsgeräte (LED-Treiber und EVG für Leuchtstofflampen) sind geeignet für eine Nennspannung von 230 V, häufig auch für einen Nennspannungsbereich von 220 V bis 240 V. Aufgrund der zulässigen Netztoleranzen von $\pm 10\%$ muss ein Dauerbetrieb im Spannungsbereich von 207 V bis 253 V, ggf. von 198 V bis 264 V, gewährleistet werden. Darüber hinaus ist normativ keine Funktionstüchtigkeit der Betriebsgeräte gefordert. Auch ein Überspannungsschutz bzgl. der Schädigung der Betriebsgeräte ist normativ nicht gefordert.

Nach DIN VDE 0100-534 (VDE 0100-534) [30] müssen Überspannungsschutzeinrichtungen (SPD) mindestens vom TYP 2 so nahe wie möglich am Speisepunkt der elektrischen Anlage errichtet werden. Bei baulichen Anlagen mit Blitzschutzsystemen müssen SPDs vom Typ 1 verwendet werden. Beträgt die Leitungslänge zwischen dem SPD und einem zu schützenden Betriebsmittel mehr als 10 m, dann sollten zusätzliche SPDs in der Nähe des zu schützenden Betriebsmittels verwendet werden, um zusätzliche Schutzmaßnahmen zu ermöglichen. Diese beschriebene Maßnahme kann auch zum Schutz für Beleuchtungsanlagen umgesetzt werden.

In der Praxis werden Schäden durch Überspannung häufig nicht erkannt, da diese unter Umständen nicht zu einem sofortigen Ausfall des Betriebsgerätes, sondern nur zu einer Vorschädigung führen, die die Lebensdauer der elektronischen Komponenten beeinträchtigt. Der Ausfall des Betriebsgerätes erfolgt dann zu einem späteren Zeitpunkt, jedoch vor Erreichen der angegebenen Nutzlebensdauer.

Aus Gründen der Widerstandsfähigkeit gegenüber den in realen Elektroanlagen vorkommen-

Abbildung 5.38: Leuchten in Dreiphasennetzen (Drehstromnetzen)
(a) Anschluss der Leuchten bzw. Leuchtengruppen 1, 2 und 3 an drei Außenleiter L1, L2, L3 mit dem gemeinsamen Neutralleiter N
(b) Diagramm der Sternschaltung des Netzes bei geschlossenem Neutralleiter N: gleiche Spannung an den Verbrauchern
(c) Wird der Neutralleiter unterbrochen, steigt die Spannung an Verbrauchern mit der größeren Leistung stark an.



Allgemeine technische Daten

Netzspannungsversorgung	
Nennspannung	220 ... 240 V
Max. zulässiger Spannungsbereich (dauernd)	198 ... 264 V
Nennfrequenz	0 / 50 ... 60 Hz
Batteriebetrieb	
Spannungsbereich für Dauerbetrieb	198 ... 278 VDC
Unterer Grenzwert für vorübergehenden Betrieb	176 VDC / 2 h
Verhalten bei Netzüberspannung	
Überspannungsfestigkeit	350 VAC / 2 h
Automatische Abschaltung der LEDs bei	ca. 320 VAC
Schutz gegen Spannungsspitzen	
Spannungsspitzen L - N	1 kV
Spannungsspitzen L/N - PE	2 kV

Abbildung 5.39: Auszug eines Datenblattes eines LED-Betriebsgerätes

den Belastungen, wie z.B. einer Neutralleiterunterbrechung (siehe oben), sind hochwertige Betriebsgeräte in der Regel mit einem erhöhten Überspannungsschutz ausgestattet. Typische Werte sind eine Dauerspannungsfestigkeit bis zu 350 V AC bis zu 2 Stunden und ein Schutz gegen Spannungsspitzen bis zu 1 kV zwischen L und N bzw. 2 kV zwischen L/N und PE.

Im Einzelfall sind die Angaben zum Überspannungsschutz dem Datenblatt des Betriebsgerätes zu entnehmen (siehe Abbildung 5.41).

Erstprüfung und Prüfung instandgesetzter Elektroanlagen

Im Rahmen der Erstprüfung vor der ersten Inbetriebnahme einer Starkstromanlage muss

- durch Besichtigen z.B. hinsichtlich der Abstände, Abdeckungen, Umhüllungen usw. zum Schutz gegen elektrischen Schlag,

- durch Erproben und Messen z.B. der Durchgängigkeit des Schutzleiters, des Isolationswiderstandes der elektrischen Anlage, der Spannungspolarität und Spannungsfestigkeit sowie
- durch Funktionsprüfung der Schutzeinrichtungen (Leitungsschutzschalter und FI-Schalter)

sichergestellt sein, dass alle Festlegungen hinsichtlich des Schutzes von Personen, Nutztieren und Sachen erfüllt sind.

Eine entsprechende Prüfung ist auch nach der Änderung oder Instandsetzung der elektrischen Anlage vorzunehmen.

Wiederkehrende Prüfung an Elektroanlagen

Die DGUV Vorschrift 3 „Elektrische Anlagen und Betriebsmittel“ [120] der Berufsgenossenschaft fordert darüber hinaus wie-

derkehrende Prüfungen im Betrieb der Anlage. Diese Vorschrift ist eine Unfallverhütungsvorschrift und damit eine autonome Rechtsverordnung. Sie wurde vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales genehmigt und durch Bekanntgabe im Bundesanzeiger rechtsverbindlich. Sie gilt für alle gewerblich genutzten Anlagen und Geräte. Die Anwendung und Durchführung der Unfallverhütungsvorschriften wird von den Berufsgenossenschaften überwacht, bei Nichtbefolgung drohen Sanktionen. DGUV Vorschrift 3 übernimmt Festlegungen aus DIN VDE 0105 Teil 100 „Betrieb von elektrischen Anlagen“ [44] und EN 50191 (bzw. VDE 0104) „Errichten und Betreiben elektrischer Prüfanlagen“ [60] und macht diese damit rechtsverbindlich.

Insbesondere wird nach DIN VDE 0105-100 „Betrieb von elektrischen Anlagen, Teil 100: Allgemeine Festlegungen“ [44] eine regelmäßige Wartung durch Fachkräfte und/oder unterwiesenes Personal gefordert. Hierzu zählt die Überprüfung von Fehlerstromschutzeinrichtungen und Messung von Isolationswiderstand sowie Erdungswiderstand. Auch die Prüfintervalle für unterschiedliche ortsfeste oder nichtstationäre Anlagen sind festgelegt.

Für stationäre Anlagen, also auch Beleuchtungsanlagen, wird eine Überprüfung der ortsfesten Betriebsmittel durch eine Elektrofachkraft alle vier Jahre gefordert.

Notwendig ist die Überprüfung von Kriech- und Luftstrecken, des Schutzes gegen indirektes Berühren und gegen Eindringen von Staub oder Feuchte. Die Prüfung umfasst das Besichtigen und das Messen des Schutzleiterübergangs- und Isolationswiderstandes.

Das Messen des Ableitstromes und eine Funktionsprüfung der Schutzeinrichtungen ist nur unter bestimmten Umständen erforderlich.

Prüfungen an Elektrogeräten gemäß DIN EN 50678 (VDE 0701) und DIN EN 50699 (VDE 0702)

Elektrische Geräte (also auch Leuchten) sind nach einer Instandsetzung oder Änderung und wiederkehrend in Zeitabständen von bis zu vier Jahren hinsichtlich der Wirksamkeit ihrer Schutzmaßnahmen gemäß den Anforderungen der DIN EN 50678 (VDE 0701) [61] auf Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen nach Reparatur zu prüfen. Die Wiederholungsprüfung elektrischer Geräte erfolgt nach den Anforderungen der DIN EN 50699 (VDE 0702) [62]. Für Leuchten in Beleuchtungsanlagen ist eine Überprüfung der Einzelgeräte nicht erforderlich, sofern eine Prüfung der Anlage gemäß DIN VDE 0105-100 [44] durchgeführt wird, da diese ggf. alle festzustellenden Mängel der Einzelgeräte erfasst.

Bei Leuchten gelten Wartungsarbeiten wie das Wechseln von Lampen und Startern nicht als Instandsetzung im Sinne dieser Norm.

5.7.4 Leistungsfaktor

Induktivitäten (Leiterspulen) und Kapazitäten (Kondensatoren) in elektronischen Schaltungen beeinflussen bei Anlegen einer elektrischen Spannung U den zeitlichen Verlauf des elektrischen Ladungstransports – des Stroms I – in der Schaltung. Kondensatoren sind Ladungsspeicher und weisen einen Ladestrom auf, der bei konstant anliegender Spannung zum Erliegen kommt, wenn der Kondensator vollständig geladen ist. Induktivitäten verzögern den Ladungstransport. Bei Anlegen einer Wechselspannung führt beides zu einer periodischen, zeitlichen Verschiebung der Größe des Stromflusses $I(t)$ gegenüber der Höhe der anliegenden Spannung $U(t)$ – einer Phasenverschiebung φ .

Es gilt

$$-\pi \leq \varphi \leq +\pi$$

mit der Periodendauer 2π (Radiant) der Wechselspannung.

Die Leistungsaufnahme der elektronischen Schaltung ist zu jedem Zeitpunkt

$$P(t) = U(t) \cdot I(t)$$

Integriert man Strom $I(t)$ und Spannung $U(t)$ über eine Periodendauer, so ergibt sich die sogenannte Wirkleistung P_{Wirk} als zeitlicher Mittelwert von $P(t)$ zu

$$P_{\text{Wirk}} = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

mit U und I als zeitliche Mittelwerte von Spannung und Strom² (Nennspannung und Nennstrom).

Der Faktor $\cos \varphi$ wird als Leistungsfaktor häufig mit dem griechischen Buchstaben λ bezeichnet.

$$\lambda = \cos \varphi$$

Das Produkt aus den Nennwerten von Strom und Spannung ohne Berücksichtigung des Leistungsfaktors wird als Scheinleistung P_{Schein} bezeichnet. Die Differenz zwischen Scheinleistung und Wirkleistung ist die Blindleistung P_{Blind} .

$$P_{\text{Wirk}} = P_{\text{Schein}} - P_{\text{Blind}}$$

Aufgrund der entgegengesetzten Richtungen der Phasenverschiebungen von Spulen und Kondensatoren ist es möglich, Schaltungen so zu gestalten, dass die auftretenden Phasenverschiebungen sich aufheben, wodurch das Auftreten einer Blindleistung vermieden wird. Mit der Blindleistung ist immer auch ein Blindstrom I_{Blind} verbunden. Der Wirkleistung wird entsprechend ein Wirkstrom I_{Wirk} zugeordnet. Jedoch wird die Scheinleistung nicht durch einen „Scheinstrom“ verursacht, sondern durch den Gesamtstrom I_{Gesamt} , der im Leitungssystem fließt und somit auch die Leitungen belastet:

$$I_{\text{Gesamt}} = I_{\text{Wirk}} + I_{\text{Blind}}$$

Insbesondere muss bei der Dimensionierung der elektrischen Anlage (Leitungsquerschnitte und Leitungsschutzschalter) der Gesamtstrom I_{Gesamt} zu Grunde gelegt werden (siehe auch Kapitel 5.5).

Energieversorger erwarten von ihren Kunden im Allgemeinen, dass der Blindstromanteil maximal 10% ihres abgenommenen Gesamtstroms betragen darf.

$$\lambda \geq 0,9$$

TRILUX-Leuchten weisen in Vollast (100%-Betrieb) überwiegend einen Leistungsfaktor $\geq 0,9$ auf. Dies gilt auch wenn die Anschlussleistung unter 25 Watt beträgt, was aufgrund der Einführung der LED häufig der Fall ist.

Leuchten mit **dimmbaren elektronischen Betriebsgeräten** weisen im gedimmten Betrieb oder im Standby-Betrieb häufig einen sehr viel kleineren Leistungsfaktor als 0,9 auf. Bei der Bestimmung der Leistungsaufnahme im Dimmbetrieb oder der Standby-Leistung muss dies messtechnisch jedoch berücksichtigt werden.

5.8 Betriebseigenschaften von LED-Leuchten

Die Betriebseigenschaften von LED-Leuchten unterscheiden sich wesentlich von denen der Leuchten für Entladungslampen oder Temperaturstrahler. Dies resultiert maßgeblich aus der Tatsache, dass das Leuchtmittel ein Halbleiterelement ist, mit Eigenschaften, die uns eher aus der Digitalelektronik bekannt sind als aus der Beleuchtung.

- Die thermische Überlastung der Komponenten im Betrieb muss durch ein gutes Thermomanagement ausgeschlossen werden.

² Dies gilt bei sinusförmigem Spannungsverlauf, der im Versorgungsnetz gewährleistet ist, für einen ebenfalls sinusförmigen Stromverlauf. In der Praxis tragen auch Oberschwingungsanteile des Stromes, die nicht mit einer Phasenverschiebung zur Grundschiwingung beschrieben werden können, zum Leistungsfaktor bei.

- Aufgrund einer für einige Produkte realisierten Leistungsregulierung ist der Begriff der „Bemessungsleistung“ zu definieren.
- Die Funktionsweise der Lichterzeugung bedingt einen zu anderen Techniken unterschiedlichen Aufbau der Schaltungen und Betriebsgeräte.
- Der Einfluss elektromagnetischer Wechselwirkungen mit dem Versorgungsnetz und umliegender Elektronik, sowohl bzgl. der Störfestigkeit als auch der zulässigen Störaussendungen, ist in den Bestimmungen zur elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) geregelt.
- Schädigungen der Leuchtenkomponenten durch elektrostatische Spannungsüberschläge (electro static discharge, ESD) müssen im Fall der Wartung durch sorgfältige Verfahren sicher vermieden werden.

Aber auch lichttechnische Güte- und Effizienzkriterien wie

- der Bemessungslichtstrom,
- die Lichtausbeute und
- spektrale Eigenschaften des Lichts

werden für LEDs anders beschrieben als für die traditionellen Leuchtmittel (siehe Kapitel [9.2](#) „Leuchtmittel-Eigenschaften“).

Aus diesem Grunde werden für LED-Leuchten insbesondere die im Kapitel [5.1.2](#) „Produktqualität“ angegebenen Qualitätskriterien geprüft. Die hierfür relevanten elektrotechnischen Aspekte werden im Folgenden ebenfalls beschrieben.

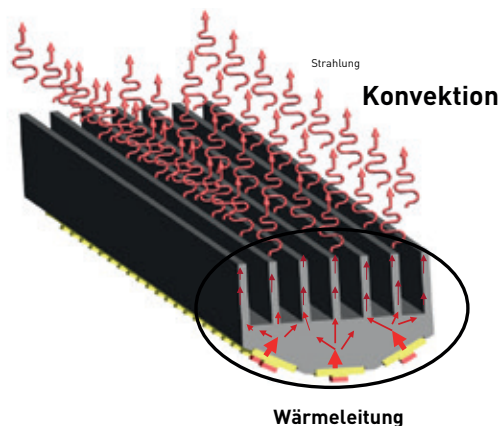


5.8.1 Thermomanagement

Lichtstrom, Lichtausbeute und Lichtstromdegradation einer LED hängen stark von der Temperatur in ihrem Inneren ab. Lichtstrom und Lichtausbeute sinken mit höheren Temperaturen. Die Lichtstromdegradation steigt und mit ihr sinkt die Nutzlebensdauer der Leuchte, in der die LED betrieben wird. Aus diesem Grund muss die beim Betrieb der LED entstehende Wärme abgeführt werden. Die dazu erforderlichen konstruktiven Maßnahmen bezeichnet man als das Thermomanagement der Leuchte.

Die Kühlung der Leuchte, also die Abgabe der Wärme von der Leuchte an ihre Umgebung, erfolgt dabei häufig über einen Kühlkörper oder über die Oberfläche des Leuchtenkörpers. Ebenso wichtig ist jedoch der Wärmetransport innerhalb der Leuchte. Form, Verarbeitung und Material aller eingesetzten Komponenten spielen dabei eine Rolle. Nur optimale thermische Verbindungen auf dem gesamten Weg von der LED bis zur Leuchtenoberfläche stellen sicher, dass das Auftreten von Stauwärme an der LED effektiv vermieden wird. Die Oberflächentemperatur des Leuchtenkörpers wird sich, unabhängig vom Inneren der Leuchte, im thermischen Gleichgewicht immer praktisch gleich einstellen (siehe unten, Beispiel „Thermomanagement eines Downlights“).

Zur Bewertung der Effektivität des Thermomanagements einer Leuchte sind also um-



fangreiche Messungen im Inneren der Leuchte erforderlich, die einen Rückschluss auf die Temperatur t_j am pn-Übergang (Junction) der LED erlauben. Hersteller von LED-Modulen kennzeichnen auf ihren Produkten einen t_c/t_p -Punkt, an dem die Temperatur in einfacher Weise mit einem Messfühler gemessen werden kann. Der hier gemessene Wert lässt den direkten Rückschluss auf die Sperrschichttemperatur zu und kann vom Leuchtenhersteller zur Bestimmung der Leuchteigenschaften (siehe auch Kapitel [9.2.4](#) „Lebensdauer von LED-Leuchten“) verwendet werden.

Für die Wärmeabgabe an die Umgebung sind am Ende die Temperatur der umgebenden Luft sowie die Möglichkeit der Luftzirkulation (Konvektion) von entscheidender Bedeutung. Daher sind die vom Leuchtenhersteller gegebenen Montagehinweise sowie die Umgebungstemperatur t_a (siehe Kapitel [5.7.2](#)) zu berücksichtigen.

5.8.2 Bemessungsleistung

Die Bemessungsleistung einer Leuchte entspricht der Wirkleistung P der Leuchte, wenn diese mit der Bemessungsspannung (z. B. 230 V) in einer Umgebung mit der Bemessungstemperatur (z. B. 25 °C) bei maximalem Lichtstrom ϕ_B (Bemessungslichtstrom, siehe auch Kapitel [9.2.1](#) „Lichtausbeute“) im thermischen Gleichgewicht betrieben wird. Zur Vereinheitlichung wird dieser Wert zur Bilanzierung der Energieaufnahme einer Leuchte verwendet. Er beinhaltet die Leistungsaufnahme aller Komponenten der Leuchte, die für den Betrieb notwendig sind. Dimmstufen werden derzeit nicht berücksichtigt, d. h. die Messung der Wirkleistung erfolgt bei 100% Lichtleistung. Wird in einer Leuchte die zeitliche Lichtstromdegradation mittels einer Konstantlichtstromregelung ausgeglichen, so ist im Datenblatt im Allgemeinen die Leistungsaufnahme im Neuzustand angegeben. Zusätzlich dazu ist die am Ende der Bemessungslebensdauer erreichte Wirkleistung anzugeben. Diese steht in engem Zusammenhang mit der für die

Bemessungslebensdauer zu berücksichtigenden Degradation (siehe Kapitel [9.2.4](#) „Bemessungslebensdauer bei Konstantlichtstromregelung“).

5.8.3 Betriebsgeräte für LED-Leuchten

Zum Betrieb von LEDs werden Betriebsgeräte benötigt. Diese können in zwei unterschiedlichen Varianten vorliegen:

- Konstantstromquellen (siehe Abbildung 5.42 a)
- Konstantspannungsquellen (siehe Abbildung 5.42 b).

Da LEDs aufgrund ihrer steilen Stromspannungskennlinie schon auf kleine Spannungsschwankungen mit großen Stromschwankungen reagieren, werden sie häufig mit **Konstantstromquellen** betrieben. Diese versorgen die LEDs im Rahmen der zulässigen Betriebsbedingungen mit einem idealen, stabilisierten Gleichstrom.

Ein großer Vorteil solcher Betriebsgeräte ist, dass – in begrenztem Umfang – unterschiedlich viele LEDs oder LED-Module in Reihenschaltung betrieben werden können, ohne dass die Einstellungen des betreffenden Betriebsgerätes geändert werden müssen. Die maximale Gesamtleistung an einem Betriebsgerät zu betreibender LEDs ist demnach von der maximal möglichen Ausgangsspannung abhängig. Der Bereich der zulässigen Ausgangsleistung kann dem Datenblatt des Betriebsgerätes entnommen werden (siehe Abbildung 5.44).

Da eine Gleichspannung bis zu einem Wert von 120 V als Kleinspannung eingestuft wird, können mit dieser Schaltung z. B. LEDs mit einer typischen Stromaufnahme von 700 mA mit einer Gesamtleistung von 84 W betrieben werden, ohne den Bereich der Kleinspannung zu überschreiten. Werden solche Leuchten weiterhin mit einem Betriebsgerät betrieben, das eine Schutzkleinspannung (SELV) bereitstellt, sind sie der Schutzklasse III zuzuordnen und unterliegen

geringeren Einschränkungen beim Einsatz in Nassbereichen (siehe Kapitel 6.2).

Einige im Markt verbreitete LED-Module werden aber auch mit **Spannungsquellen** betrieben. In diesen Fällen sind in der Regel elektronische Komponenten zur Stromstabilisierung in der internen Schaltung des LED-Moduls enthalten. Anderenfalls würden schon kleine Toleranzen der Halbleitereigenschaften zu großen Unterschieden in der Stromaufnahme bzw. der Leistungsaufnahme führen, was einen exakt definierten Betrieb unmöglich machen würde (siehe Abbildungen 5.43).

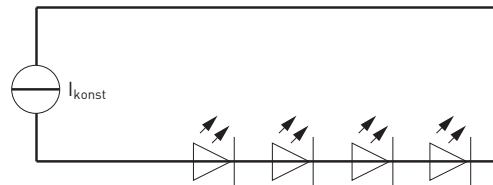
Mehrere solcher Module mit interner Stromstabilisierung können an einer Spannungsquelle bis zu der Anzahl in Parallelschaltung betrieben werden, bei der die maximale Auslastung des Betriebsgerätes erreicht ist.

Für die Installation von Leuchten in einer elektrischen Anlage hat die Schaltung der LEDs praktische Konsequenzen, wenn mehrere Leuchten sekundärseitig an einem Vorschaltgerät betrieben werden. Hierzu ist die Montageanleitung zu beachten und ggf. ein spezifisches Zubehör für den elektrischen Anschluss zu verwenden.

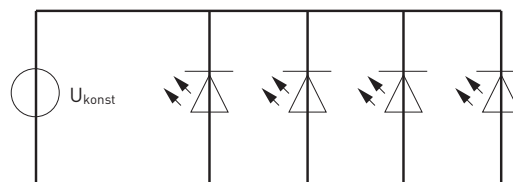
Für Leuchten mit integriertem Betriebsgerät kann bei Überschreiten der Schutzkleinspannung im Inneren ein erhöhter Berührungsschutz erforderlich sein, wenn bei der Wartung spannungsführende Teile berührt werden können.

5.8.4 Einschaltstrom

Betriebsgeräte für LEDs stellen für den Betrieb der angeschlossenen Leuchtmittel sekundärseitig einen konstanten Gleichstrom oder eine geglättete Gleichspannung zur Verfügung (siehe oben). In beiden Fällen sind in der elektronischen Schaltung des Betriebsgerätes für die Gleichrichtung und Stabilisierung der primärseitig eingehenden Wechselspannung, bzw. des Wechselstroms, Eingangskondensatoren zur

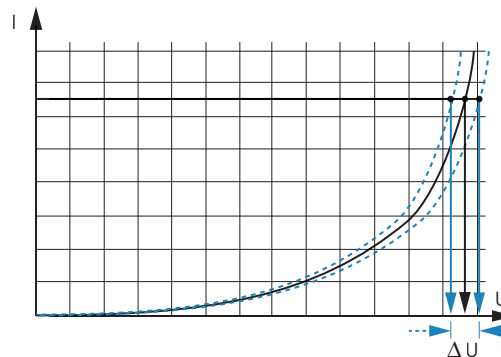


(a) Reihenschaltung von LEDs an einer Konstantstromquelle

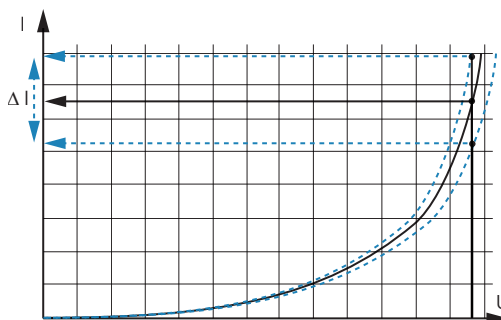


(b) Parallelschaltung von LEDs an einer Konstantspannungsquelle

Abbildung 5.40: Schaltungsarten von LEDs



(a) Schematische Stromspannungskennlinie einer LED mit Abweichungen aufgrund von Material- und Fertigungstoleranzen. Die sich bei konstantem Strom einstellenden Toleranzen der Vorwärtsspannung führen zu geringen Toleranzen der Leistungsaufnahme. $P = (U \pm \Delta U) \cdot I$



(b) Schematische Stromspannungskennlinie einer LED mit Abweichungen aufgrund von Material- und Fertigungstoleranzen. Die sich bei konstanter Spannung einstellenden Toleranzen des Vorwärtsstroms führen zu erheblichen Toleranzen der Leistungsaufnahme. $P = U \cdot (I \pm \Delta I)$

Abbildung 5.41: Schematische Stromspannungskennlinien einer LED

Ladungsspeicherung erforderlich. Die Aufladung der Eingangskondensatoren verursacht einen kurzzeitig sehr hohen Einschaltstrom (siehe Abbildung 5.45).

Die Dauer des Ladevorgangs des Kondensators liegt im Bereich von einigen μs und damit weit unter der halben Periodendauer der Netzwechselspannung. Die Höhe des Einschaltstromes hängt dabei stark von der momentanen Höhe (Phasenlage) der anliegenden Spannung zum Zeitpunkt des Einschaltens ab und kann bis zum hundertfachen Wert des Dauerstromes betragen. Bei gleichzeitigem Einschalten mehrerer Leuchten summieren sich die Ladeströme der Einzel-Leuchten zu einem Einschaltstrom einer Leuchtengruppe.

Abbildung 5.42: Beispiel eines Datenblattauszuges eines LED-Treibers. Angegeben wird der zulässige Bereich der Anschlussleistung, der durch Reihenschaltung von LEDs oder LED-Modulen realisiert werden kann.

Ausführung	Ausgangsstrom	Ausgangsleistung
QCS135-15LI-11/220-240	1 x 350 mA	7 ... 15 W
QCS170-20LI-11/220-240	1 x 700 mA	11 ... 20 W
QCS150-28LI-11/220-240	1 x 500 mA	18 ... 28 W
QCS170-40LI-11/220-240	1 x 700 mA	22 ... 40 W
QCS150-25LI-20/220-240	1 x 500 mA	14 ... 25 W
QCS170-35LI-20/220-240	1 x 700 mA	19 ... 35 W
QCS1105-40LI-20/220-240	1 x 1050 mA	28 ... 40 W
QCS1105-50LI-20/220-240	1 x 1050 mA	28 ... 50 W
QCS1110-40LI-20/220-240	1 x 1100 mA	24 ... 40 W

Abbildung 5.43: Beispiel eines Datenblattauszuges eines LED-Treibers. Angegeben werden der in einer Elektroinstallation maximal vom Treiber verursachte Einschaltstrom sowie Hinweise zu LS unterschiedlicher magnetischer Auslösung (B- und C-Charakteristik).

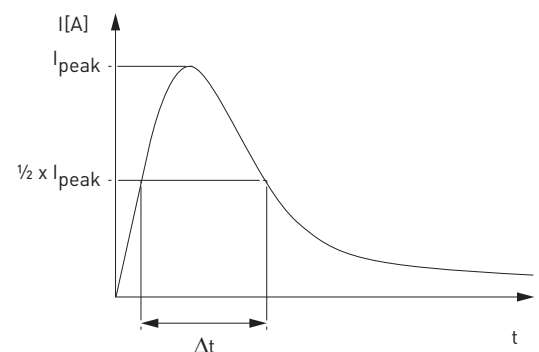
Ausführung	typ. $I_{\text{peak}}/\Delta t$	Anzahl EVG an einpoligen Leitungsschutzschaltern (LS)				
		LS- Typ	10 A	16 A	20 A	25 A
QCS135-15LI...	3 A/ 40,8 μs	B	78	125	156	195
		C	78	125	156	195
QCS170-20LI...	2,8 A/ 44 μs	B	60	96	120	150
		C	60	96	120	150
QCS150-28LI...	15 A/ 231 μs	B	45	73	90	112
		C	45	73	90	112
QCS170-40LI...	13,8 A/ 206 μs	B	35	57	70	87
		C	35	57	70	87
QCS150-25LI...	4,16 A/ 400 μs	B	20	32	40	50
		C	34	56	68	86

Leitungsschutzschalter, magnetische Auslösung

Bei großen Leuchtengruppen kann der Einschaltstrom dazu führen, dass ein in der Elektroinstallation befindlicher **Leitungsschutzschalter** (LS) aufgrund seiner magnetischen Auslösung – die eine schnelle Abschaltung der Netzspannung als Schutzfunktion bei Auftreten eines Kurzschlusses bewirken soll – hin und wieder, in Abhängigkeit des aufgrund der Phasenlage des Einschaltzeitpunktes tatsächlich auftretenden Einschaltstromes, abschaltet.

Zur Vermeidung der Auslösung des LS geben die Hersteller in den Produktdatenblättern der LED-Betriebsgeräte Hinweise zur zulässigen **Anzahl ihrer Betriebsgeräte** für den Anschluss an LS unterschiedlicher Strombelastbarkeit und unterschiedlicher Spezifizierung der magnetischen Auslösung (siehe Abbildung 5.45). Darüber hinaus geben sie die Werte der Einschaltströme ihrer Produkte an. Generell wird für Beleuchtungsgruppen der Einsatz von C- Automaten empfohlen.

Die genannten Einschaltströme werden erreicht, wenn das Betriebsgerät an der Spannungsquelle mit dem betreffenden Leitungsschutzschalter betrieben wird und sich keine weiteren, den Strom begrenzenden Komponenten (z.B. lange Zuleitungen) in der Installation befinden. In der Praxis kann es daher vorkommen, dass auch bei Überschreiten der im Datenblatt angegebenen Anzahl der Betriebsgeräte Leitungsschutzschalter nicht auslösen.



Fehlerstromschutzschalter (FI, RCD)

Fließt ein Fehlerstrom über den Schutzleiter infolge Kontakts eines Leiters mit dem Gehäuse und ist dieser größer als der Nennfehlerstrom, schaltet der RCD den Verbraucher vom Netz ab.

Nach der Leuchtenvorschrift EN 60598-1 [69] ist bei ortsfesten Leuchten der Schutzklasse I im Normalbetrieb ein Ableitstrom von bis zu 3,5 mA je Leuchte, unabhängig von der Anzahl der Lampen, zulässig, wobei in der Praxis selten 1 mA überschritten wird. Ein Vertauschen der Netzanschlussleitungen kann zu erhöhten Ableitströmen führen. Die Angaben an der Netzanschlussklemme sind daher zu beachten. Die mögliche Anzahl angeschlossener Leuchten je Fehlerstromschutzschalter (FI-Schalter) wird durch dessen Nennfehlerstrom je Außenleiter, z.B. $I_f \leq 30 \text{ mA}$, begrenzt. Fehlerstromschutzschalter dürfen gemäß DIN EN 61008-1 (VDE 0664-10) „Fehlerstromschutzeinrichtungen“ [18] bereits bei Fehlerströmen größer 50 % des Nennfehlerstromes auslösen.

Ein 30 mA-FI-Schalter darf also bereits bei einem Fehlerstrom von 15 mA ansprechen. Mehr als 15 Leuchten je Außenleiter bzw. 45 Leuchten bei einem Dreiphasen-FI-Schalter sollten deshalb in diesem Fall nicht angeschlossen werden.

Beim Ein- und Ausschalten von Beleuchtungsanlagen treten unvermeidbare Stromspitzen



Abbildung 5.44

auf. Daher wird empfohlen, nur FI-Schalter zu verwenden, die nach EN 61009-1 „Fehlerstrom-/Differenzstrom-Schutzschalter mit eingebautem Überstromschutz (RCBOs) für Haushaltsinstallationen und für ähnliche Anwendungen. Teil 1: Allgemeine Anforderungen“ [77] bis zu einer Stoßstromfestigkeit von 200 A geprüft sind.

Nach DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410) [27] ist für Beleuchtungsanlagen in Wohngebäuden ein RCD mit einem Bemessungsdifferenzstrom von 30 mA vorzusehen. In allen übrigen Gebäudearten ist nach den jeweiligen Anforderungen aus der Normengruppe VDE 0700 über die Verwendung des RCD zu entscheiden.

Begrenzung des Einschaltstroms

Eine Möglichkeit zur Vermeidung hoher Einschaltströme ist der Einsatz sogenannter „**elektronischer Nulldurchgangsschalter**“, die ein Einschalten bei hoher Momentanspannung verhindern. Die Planungshinweise der Hersteller der Halbleiterschütze sind zu beachten.

Eine weitere Möglichkeit ist die Begrenzung des Einschaltstromes durch **NTC-Elemente** (Thermistoren), wie sie unter anderem auch in Schaltnetzteilen von Geräten der Unterhaltungselektronik (z.B. Fernsehgeräten) eingesetzt werden. Dabei ist zu beachten, dass der in der Schaltung den Einschaltstrom begrenzende NTC-Widerstand bei jedem Schaltvorgang elektrische Leistung aufnimmt und sich dabei erwärmt. Mehrfaches Aus- und Einschalten in kurzen Zeitabständen führt zur Überhitzung des NTC-Widerstandes und damit ggf. zu seiner Zerstörung.

Netzschalter

Kontakte von Netzschaltern können im Einschaltmoment durch hohe Einschaltströme belastet und ggf. zerstört werden. Einige Hersteller von Schaltern geben deshalb Hinweise zum maximal zulässigen Einschaltstrom oder zur maximal anzuschließenden kapazitiven Last von Leuchtenbetriebsgeräten an. Unter Umständen ist es sinnvoll, große Leuchtengruppen mit Mehrfachschützen hoher Nennströme zu schalten.

Abbildung 5.44:
Fehlerstrom-
Schutzschalter

5.8.5 Dimmung durch Betriebsstromregulierung und Pulsweitenmodulation

Zeitgemäße Lösungen aller Aufgaben der modernen Beleuchtungstechnik setzen ein hohes Maß an Planbarkeit, Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und Funktionssicherheit für das Gesamtsystem und seine Komponenten voraus. Eine solche Aufgabe ist auch das Dimmen eines Leuchtmittels, das in definierter Weise erfolgen muss, um ein gefordertes Beleuchtungsniveau oder eine gewünschte Lichtfarbe präzise einstellen zu können (siehe auch Kapitel 8.5). Dazu bestehen grundsätzlich zwei Möglichkeiten, nämlich

- die kontinuierliche Variation der Lichtleistung mit permanenter Lichtaussendung und
- die Variation zeitlicher Unterbrechungen der Lichtaussendung mit kurzen Intervallen unterhalb der Wahrnehmungsgeschwindigkeit des Auges.

Die **Variation der Lichtleistung** wird dabei in der Regel mittels der Regulierung des Betriebsstromes der LED erzielt. In weiten Bereichen ist

dieses Prinzip technisch gut umsetzbar. Zu kleinen Lichtleistungen hin stößt es jedoch an seine Grenzen. Der Grund ist die dort auftretende starke Abhängigkeit der sich einstellenden Vorwärtsspannung der LED von kleinen Stromänderungen. Diese drückt sich in der Form des unteren Bereichs der Strom-Spannungs-Kennlinie der LED aus (siehe Abbildung 5.43 in Kapitel 5.8.3). Der Dimmbereich ist dadurch beschränkt.

Die periodische, zeitliche Unterbrechung der Lichtaussendung wird im Allgemeinen als **Pulsweitenmodulation (PWM)** bezeichnet. Die Dauer vom Einschaltvorgang über den Ausschaltvorgang bis zum nächsten Einschalten der LED ist die Periodendauer der PWM. Diese sollte einen Wert kleiner als 2,5 ms aufweisen, was einer Frequenz oberhalb von 400 Hz entspricht. Ein sichtbares Flimmern der Beleuchtung ist schon ab ca. 100 Hz nicht mehr wahrnehmbar, jedoch sind physiologische Wirkungen auch unterhalb der Wahrnehmungsgrenze des Sehens bis zu einer Frequenz von 400 Hz noch möglich. Stroboskopische Effekte, z. B. an rotierenden Teilen, können auch bei weit höheren Frequenzen noch auftreten, sofern diese mit der Periodizität der Drehbewegung übereinstimmen.

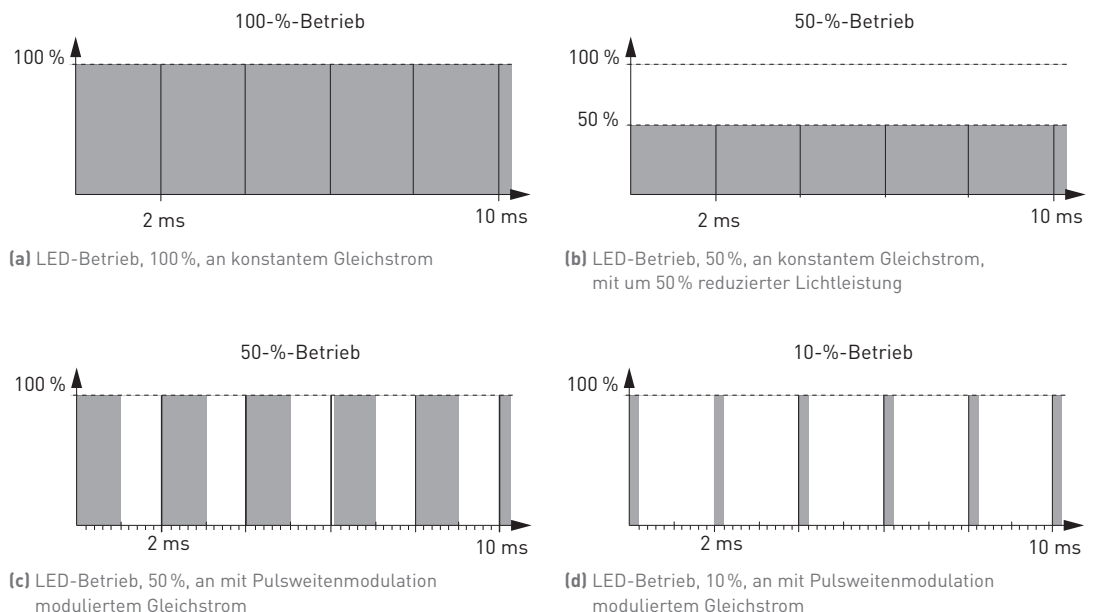


Abbildung 5.45: Dimmen einer LED-Leuchte durch kontinuierlich reduzierte Lichtleistung oder Pulsweitenmodulation. Die Modulationsfrequenz sollte ≥ 400 Hz sein.

Im Gegensatz zum Temperaturstrahler (Glühlampe), der sich nach dem Einschalten erwärmen und nach dem Abschalten abkühlen muss, reagiert die LED sehr schnell auf Schaltvorgänge. Schon bei sehr kurzen Betriebszeiten im Bereich von μs entwickelt sie ihren vollen Lichtstrom. Bei einer Periodendauer von ca. 2 ms kann die PWM also als eine Folge von Schaltzyklen mit Betriebszeiten und Betriebszeitunterbrechungen betrachtet werden. Insofern ist der zeitlich gemittelte Lichtstrom als (annähernd) proportional zum zeitlichen Mittelwert der Leistungsaufnahme anzunehmen.

Tatsächlich wirkt sich die mittlere Leistungsaufnahme auf die Betriebstemperatur der LED aus. Infolge der **erhöhten Lichtausbeute** bei geringen Betriebstemperaturen ist der verfügbare mittlere Lichtstrom im unteren Dimmbereich der **PWM** also sogar etwas höher als bei proportionaler Abhängigkeit.

In der Praxis wird für die Dimmung von LEDs häufig eine **Kombination** aus Betriebsstromregulierung und PWM gewählt (siehe Abbildung 5.48). Die Betriebsstromregulierung wird im oberen Leistungsbereich angewendet. Dies hat den Vorteil, dass in diesem Bereich stroboskopische Effekte vollständig und sicher vermieden werden. Erst im unteren Dimmbereich, wenn z. B. bei einer tageslichtabhängigen Regelung viel Tageslicht verfügbar ist, tritt die PWM ein, wodurch stroboskopische Erscheinungen ggf. effizient abgeschwächt werden.

Insgesamt ist auf diesem Wege ein weiter Dimmbereich mit zuverlässig reproduzierbarem Verhalten realisierbar.

Die Ansteuerung erfolgt über eine Schnittstelle, wie z. B. DALI (Digital Addressable Lighting Interface, siehe auch Kapitel 8 „Lichtmanagement“).

Bei der Messung der Leistungsaufnahme im Dimmbetrieb und Standby-Betrieb ist ggf. zu berücksichtigen, dass sich hier ein reduzierter Leistungsfaktor (siehe Kapitel 5.7.4) einstellen kann. Die zulässige Standby-Leistung ist für Betriebsgeräte für den Betrieb von Leuchtmitteln – auch für vernetzte Betriebsgeräte – in der Ökodesign-Richtlinie [191] auf max. 0,5 W festgelegt (siehe Kapitel 3.5.5 „Ökodesign-Anforderungen an Lichtquellen“).

5.9 Betrieb von Bestandsleuchten für Entladungslampen

Neben den zur mechanischen Aufnahme und elektrischen Versorgung von Lampen notwendigen Fassungen sind für ihren Betrieb häufig zusätzliche Betriebsgeräte (z. B. Vorschaltgeräte, Starter, Zündgeräte, Transformatoren) erforderlich.

Bei dem Betrieb von Leuchtstofflampen beeinflusst die Art des Vorschaltgerätes (KVG, VVG oder EVG) wesentlich die Leistungsaufnahme der Leuchte, die Lebensdauer der Lampen und die Beleuchtungsqualität. Insbesondere bei der Betrachtung des Energieeinsparpotentials – und damit der Wirtschaftlichkeit – der Sanierung einer Bestandsanlage mit Leuchtstofflampen kann die vorliegende Schaltungsart ein wesentlicher Faktor sein.

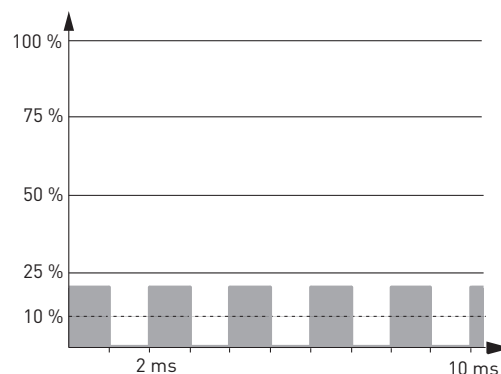


Abbildung 5.46: Beispiel einer Dimmbarkeit durch Betriebsstromregulierung bis zu 20 % Leistungsaufnahme. Mit zusätzlicher Pulsweitenmodulation wird auf geringere Niveaus gedimmt. Die Modulationsfrequenz sollte auch hier ≥ 400 Hz sein.

5.9.1 Vorschaltgeräte

Induktive (magnetische) Vorschaltgeräte werden in konventionelle (KVG) und verlustarme Vorschaltgeräte (VVG) unterteilt. Die Zündung der Leuchtstofflampen erfolgt durch Starter.

Im Sinne der Energieeinsparung haben das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union im Oktober 2000 eine Vorschaltgeräte-Richtlinie 2000/55/EG über Energieeffizienz-anforderungen an Vorschaltgeräte für Leuchtstofflampen (ggf. unter Einbeziehung der Kompensationsmaßnahmen) erlassen. Die damalige Richtlinie enthielt eine Energieeffizienzklassifizierung (Energieeffizienzindex EEI, siehe Tabelle 5.7) mit maximal zulässigen Systemleistungen von Lampe und Vorschaltgerät.

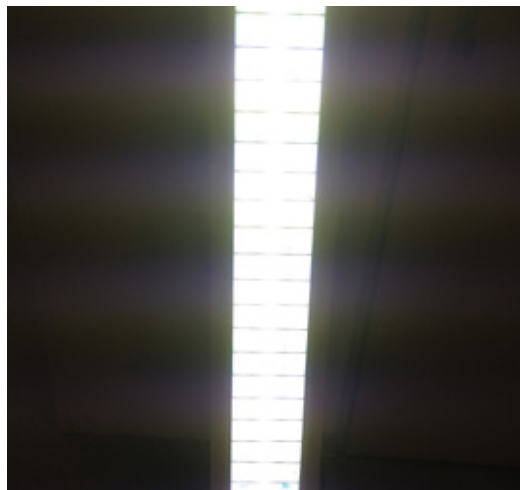
Seit den 90er Jahren haben elektronische Vorschaltgeräte (EVG) die magnetischen Vorschaltgeräte zunehmend abgelöst. Sie erzeugen eine Betriebsfrequenz von 30 kHz bis über 90 kHz. Damit wird eine höhere Lichtausbeute der Lampen bei verminderten Eigenverlusten des Vorschaltgerätes und damit die EEI-Klassifikation A2 erreicht. Ihre Leistungsaufnahme (Systemleistung) ist gegenüber der KVG-Schaltung um ca. 25 %

verringert. Kompensationskondensatoren sind mit EVG nicht erforderlich (siehe unten).

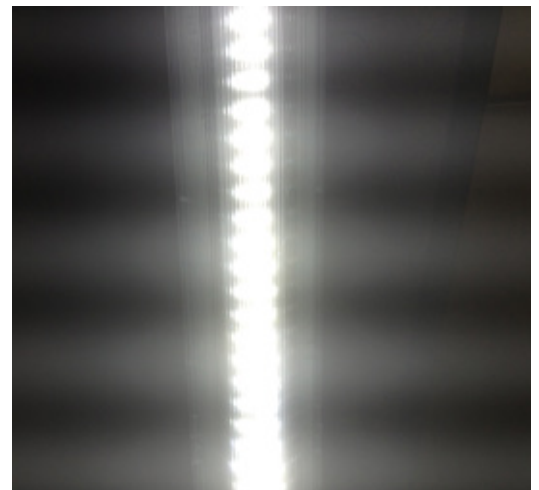
Im Bestand sind induktive Vorschaltgeräte aufgrund ihres 100-Hz-Betriebs und des Zündverhaltens der Leuchtstofflampen leicht zu identifizieren. Richtet man im Betrieb der Lampe die Kamera eines Smartphones auf sie, so bildet sich auf dem Monitor ein charakteristisches Streifenmuster (sog. „Handy-Test“, siehe Abbildung 5.50), das auf die niederfrequenten Lichtstromschwankungen zurückzuführen ist. Beim Start der Lampe erfolgt das mehrfache Auf-flackern der Bimetall-Starter-Schaltung, bis die Gasentladung erfolgreich zündet. Beim Betrieb der Lampe an einem elektronischen Vorschaltgerät (EVG) entfällt das mehrfache Auf-flackern. Auch das Streifenmuster tritt beim EVG-Betrieb nicht auf.

Dimm-EVG

Besondere Ausführungen elektronischer Vorschaltgeräte ermöglichen das flackerfreie Dimmen von stabförmigen und Kompakt-Leuchtstofflampen in einem weiten Steuerbereich. Bei der Messung der Leistungsaufnahme ist ggf. zu berücksichtigen, dass sich im Dimmbetrieb ein reduzierter Leistungsfaktor (siehe Kapitel [5.7.4](#)) einstellen kann.



(a) „Handy-Test“ zur Bestimmung der Art der Betriebsgeräte von Leuchtstofflampen. Im 100-Hz-Betrieb der Lampe am induktiven Vorschaltgerät, hier in einer Rasterleuchte, sind Streifen auf dem Bildschirm gut erkennbar.



(b) „Handy-Test“ mit LED-Retrofit-Lampe. Bei Einsatz einer LED-Retrofit-Lampe am induktiven Vorschaltgerät (100-Hz-Betrieb) sind die Streifen auf dem Bildschirm noch deutlicher erkennbar.

Abbildung 5.47:
„Handy-Test“

5.9.2 Blindleistungskompensation

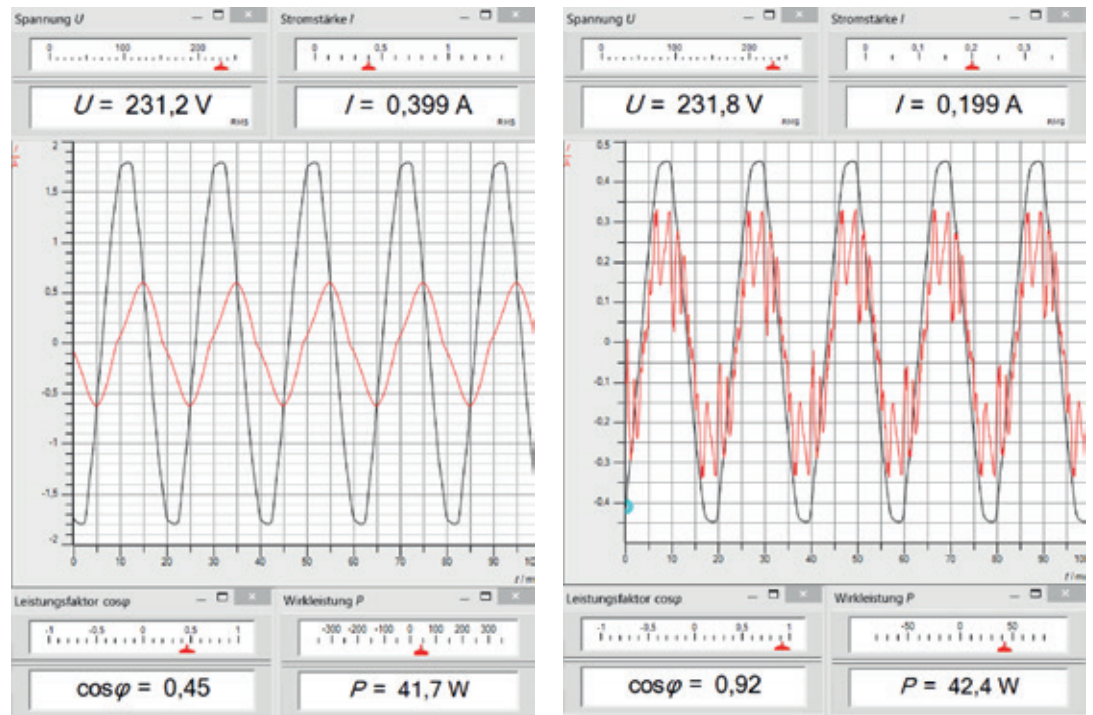
Beim Betrieb von Leuchtstofflampen mit induktiven Vorschaltgeräten liegt der Leistungsfaktor (für sinusförmige Größen als $\cos \varphi$ bezeichnet) lediglich bei 0,3 bis 0,5. Um eine erhöhte Belastung des Versorgungsnetzes durch den Blindleistungsanteil zu vermeiden, fordern z.B. die Errichtungsvorschriften der deutschen Energieversorgungsunternehmen eine Kompensation beim Betrieb von Entladungslampen, sofern mehr als 250 W Systemleistung (Leistung der Lampe plus Verlustleistung des Vorschaltgerätes) je Außenleiter angeschlossen sind [131]. Ziel ist ein Leistungsfaktor von mehr als 0,9.

Die Kompensation kann einzeln in jeder Leuchte oder mittels einer zentralen Kompensationsanlage erfolgen. Bei der Einzelkompensation hat sich die Methode der Parallelkompensation europaweit durchgesetzt.

Bei dem Betrieb von Retrofit-LED-Lampen anstelle der vorgesehenen Leuchtstofflampen in parallelkompensierten Leuchten kann es zu einer kapazitiven Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung kommen, die ggf. einen Leistungsfaktor $\lambda \leq 0,25$ bewirkt (siehe auch Kapitel 5.7.4). Dadurch kommt es zu einem erhöhten Blindstrom, der häufig eine bis zu doppelt so hohe Strombelastung des elektrischen Stromkreises verursacht, als dies mit der ursprünglichen Leuchtstofflampe der Fall gewesen ist (siehe auch Kapitel 9.1.1 „LED (Light Emitting Diodes)“).

Lampentyp	Lampenleistung		Art des Vorschaltgerätes						
	50 Hz	HF	Dimm- EVG A1	EVG A2	EVG A3	VVG B1	VVG B2	KVG C	KVG D
T8	15 W	13,5 W	9 W	16 W	18 W	21 W	23 W	25 W	> 25 W
	18 W	16 W	10,5 W	19 W	21 W	24 W	26 W	28 W	> 28 W
	36 W	32 W	19 W	36 W	38 W	41 W	43 W	45 W	> 45 W
	58 W	50 W	29,5 W	55 W	59 W	64 W	67 W	70 W	> 70 W
TC-L	18 W	16 W	10,5 W	19 W	21 W	24 W	26 W	28 W	> 28 W
	24 W	22 W	13,5 W	25 W	27 W	30 W	32 W	34 W	> 34 W
	36 W	32 W	19 W	36 W	38 W	41 W	43 W	45 W	> 45 W
		55 W	32,5 W	61 W	65 W				
		80 W	47,5 W	88 W	92 W				
TC-F	24 W	22 W	13,5 W	25 W	27 W	30 W	32 W	34 W	> 34 W
	36 W	32 W	19 W	36 W	38 W	41 W	43 W	45 W	> 45 W
TC-D/TC-DE	10 W	9,5 W	6,5 W	11 W	13 W	14 W	16 W	18 W	> 18 W
	13 W	12,5 W	8 W	14 W	16 W	17 W	19 W	21 W	> 21 W
	18 W	16,5 W	10,5 W	19 W	21 W	24 W	26 W	28 W	> 28 W
	26 W	24 W	14,5 W	27 W	29 W	32 W	34 W	36 W	> 36 W
TC-T/TC-TE	18 W	16,5 W	10,5 W	19 W	21 W	24 W	26 W	28 W	> 28 W
	26 W	24 W	14,5 W	27 W	29 W	32 W	34 W	36 W	> 36 W
		32 W	19,5 W	36 W	39 W				
		42 W	25 W	46 W	49 W				

Tabelle 5.7:
Grenzwerte der Leistung von Lampe und Vorschaltgerät (Systemleistung) und die vom europäischen Dachverband der Leuchtenhersteller CELMA erstellte Vorschaltgeräteklassifikation gemäß der ehemaligen EU-Richtlinie 2000/55/EG



(a) Leuchte mit reduziertem Leistungsfaktor durch große Phasenverschiebung (induktiv)

(b) Leuchte mit hohem Leistungsfaktor durch reduzierte Phasenverschiebung der Grundschwingung (parallelkompensiert)

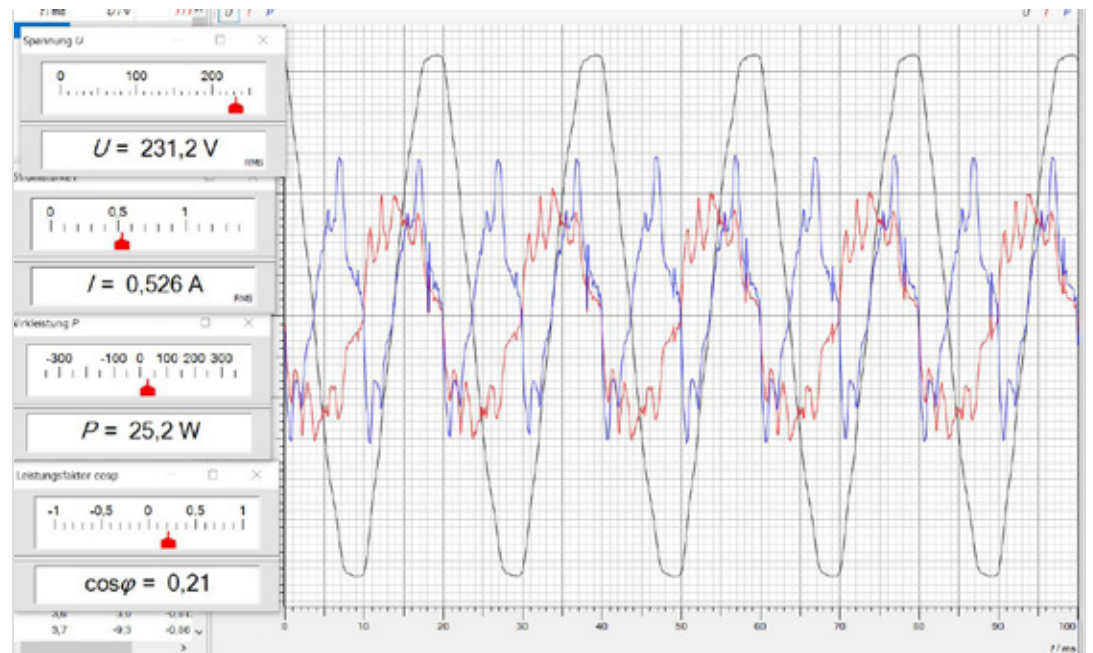


Abbildung 5.48: Leistungsfaktor-korrektur bei einer T8-Leuchte (36 Watt) durch Kompensation

(c) Sehr geringer Leistungsfaktor bei Einsatz einer LED-Retrofit-Lampe in eine parallelkompensierte Bestandsleuchte

5.10 Elektrische Sicherheit

5.10.1 Niederspannungsrichtlinie

Europaweit ist die rechtliche Grundlage für sicherheitsrelevante Anforderungen an elektrische Betriebsmittel die Niederspannungsrichtlinie 2014/35/EU, „Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung elektrischer Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen auf dem Markt“ [145], in der Fassung vom 26. Februar 2014. Unter die Richtlinie fallen alle elektrischen Betriebsmittel innerhalb der Spannungsgrenzen von 50 V bis 1000 V.

In Anlehnung an das „Internationale Elektrotechnische Wörterbuch“ [102] der Internationalen elektrotechnischen Kommission (IEC) sind elektrische Betriebsmittel alle Gegenstände und Einrichtungen zum Erzeugen, Fortleiten, Verteilen, Speichern, Umsetzen und Verbrauchen elektrischer Energie. Beispiele sind Generatoren, Kabel, Messinstrumente, Schutzeinrichtungen, Installationsmaterial und Geräte wie Schalter,

Steckdosen, Akkumulatoren, Transformatoren, Leuchten, Haushaltsgeräte und Motoren.

Die Übereinstimmung von Geräten mit den Anforderungen der Niederspannungsrichtlinie [145] und weiteren relevanten EU-Richtlinien (z. B. EMV-Richtlinie [144]) wird durch die CE-Kennzeichnung sichtbar gemacht (zur Bedeutung des CE-Zeichens siehe Kapitel 5.6.5 „CE-Zeichen für Leuchten“).

Um den Herstellern den Nachweis der Übereinstimmung der Geräte mit den Sicherheitszielen der Niederspannungsrichtlinie [145] zu erleichtern und eine Prüfmöglichkeit zu schaffen, werden harmonisierte Normen veröffentlicht, die diese Anforderungen beschreiben. Eine wichtige harmonisierte Norm ist die EN 60598 (Leuchten) [72].

Grundsätzlich ist für elektrische Betriebsmittel keine Prüfung auf Übereinstimmung mit der Richtlinie durch ein unabhängiges Institut vorgeschrieben. Die Verantwortung liegt ausschließlich beim Hersteller, beim Importeur bzw. beim Inverkehrbringer. Die Konformität eines elektrischen Betriebsmittels mit den Sicherheitszielen der Niederspannungsrichtlinie wird vermutet



(juristisch als der Beweis des ersten Anscheins bezeichnet), wenn es nach technischen Normen hergestellt wurde, die in der Richtlinie in folgender Rangfolge genannt werden:

⁴ Harmonisierungs-Dokumente, siehe auch Kapitel 5

- europäische Normen (EN oder HD⁴)
- soweit noch keine harmonisierten Normen ausgearbeitet sind, internationale Regelungen der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC)
- soweit noch keine europäischen bzw. internationalen Normen bestehen, die nationalen Normen im Mitgliedsstaat des Herstellers.

Diese Konformität wird am deutlichsten durch eine unabhängige Prüfung des Gerätes und dessen Kennzeichnung mit dem VDE- bzw. einem gleichwertigen Prüfzeichen anderer europäischer Prüfinstitute und bei Leuchten und deren Komponenten durch das ENEC-Zeichen zum Ausdruck gebracht. Daher wird im weiteren Teil des Hauptkapitels „Leuchten“ dieses Buches bevorzugt auf einschlägige EN-Normen bzw. HD-Dokumente, ggf. aber auch auf VDE-Vorschriften, verwiesen.

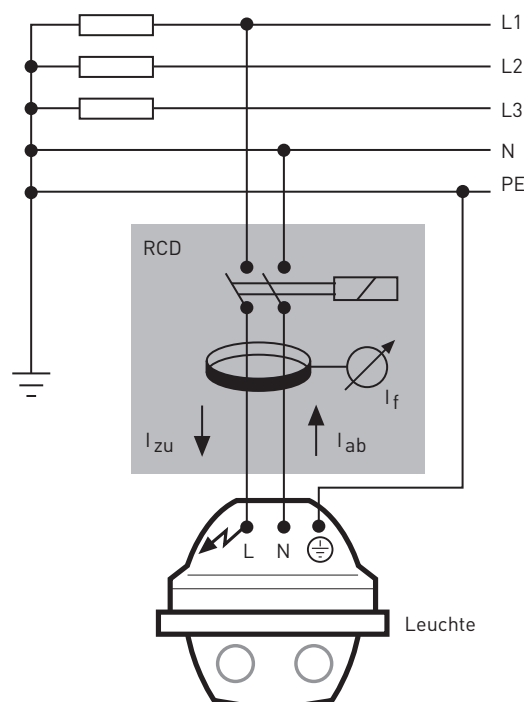


Abbildung 5.49:
TN-System mit RCD

5.10.2 Schutzklassen

Elektroanlagen und Elektrogeräte müssen einen ausreichenden Schutz von Menschen und Tieren gegen elektrischen Schlag (direktes Berühren spannungsführender Teile) aufweisen. Dieser Schutz kann erreicht werden durch:

- Abdeckung oder Umhüllung
- Hindernisse (z. B. Absperrungen) und Abstand
- zusätzliche Schutzeinrichtungen, z. B. Fehlerstromschutzschalter (siehe auch Kapitel 5.8.4)
- Isolierung aktiver (spannungsführender) Teile
- Betrieb mit bei Berührung ungefährlicher Schutzkleinspannung.

Entsprechend ihrem Schutz gegen zu hohe Spannung bei direkter Berührung werden elektrische Betriebsmittel wie Leuchten in drei Schutzklassen nach EN 61140 [78] (DIN VDE 0140) eingeteilt:

⊕ Bei der Schutzklasse I wird das Schutzziel durch Isolierung spannungsführender Teile (sog. Basisisolierung) und durch den Anschluss leitfähiger berührbarer Metallteile an den Schutzleiter erreicht. Die Schutzleiter-Anschlussklemme ist mit dem Erdungszeichen gekennzeichnet.

Wenn die Basisisolierung versagt und in der Folge eine elektrische Verbindung der Spannungsquelle mit berührbaren Teilen der Leuchte besteht, fließt ein Strom über den Schutzleiter. Der Schutzleiter befindet sich auf Erdpotential, sodass die mit ihm verbundenen Teile der Leuchte keine gefährlichen Körperspannungen annehmen können.

Zusätzlich werden durch eine Fehlerstromschaltung (FI-Schaltung, Differenzstromschaltung, RCD-Residual current protective device) elektrische Betriebsmittel vom versorgenden Netz getrennt, wenn in dem zu schützenden Stromkreis ein zu großer Differenz- bzw. Fehlerstrom fließt.

Stromkreise, in denen sich Steckdosen befinden, müssen mit Schutzschaltern mit Auslösung bei 30 mA ausgestattet werden. Dies soll sicherstellen, dass auch bei Berührung spannungsführender Teile ohne Verbindung zum Schutzleiter der Körperstrom auf maximal 30 mA begrenzt ist und nicht zu bleibenden Gesundheitsschäden führt.

□ Bei Betriebsmitteln der Schutzklasse II sind spannungsführende Teile zusätzlich zur Basisisolierung mit einer weiteren Schutzisolierung versehen. Ein Schutzleiteranschluss ist nicht erforderlich. Anlagenbezogene Schutzmaßnahmen können entfallen. Das Gerät ist mit dem doppelten Quadrat gekennzeichnet.

⚡ Bei Geräten der Schutzklasse III beruht der Schutz auf der Anwendung von Schutzkleinspannung (SELV – safety extra-low voltage). Das bedeutet, dass die Versorgungsspannung 50 V (Wechselspannung) bzw. 120 V (Gleichspannung) in Verbindung mit einem Sicherheitstrafo (oder gleichwertigen Gerät) nicht überschreiten darf.

5.10.3 Schutz gegen Feuchte und Fremdkörper

Zu den häufigsten Belastungen, denen elektrische Betriebsmittel ausgesetzt sein können, zählt Feuchtigkeit. Unter den Einwirkungen von Kondenswasser, Wrasen, Dünsten, Dämpfen sowie Spritz- und Strahlwasser kann die elektrische Sicherheit durch „verkürzte Kriech- und Luftstrecken“, d. h. durch höhere Leitfähigkeit zwischen unterschiedliche Spannung führenden Teilen, herabgesetzt werden.

In DIN VDE 0100-737 [42] wird für feuchte und nasse Räume und Anlagen im Freien ein besonderer Schutz der Betriebsmittel gegen das Eindringen von Feuchtigkeit gefordert.

Schutzarten

Mit der Norm EN 60529 bzw. IEC 60529 (VDE 0470 Teil 1) „Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code)“ [68] werden Schutzarten für Umhül-

lungen (Gehäuse) von elektrischen Betriebsmitteln definiert. Dies betrifft den Schutz von Personen vor Berühren (mit Handrücken oder Finger) spannungsführender Teile und den Schutz des Betriebsmittels gegen das Eindringen von festen Körpern (Fremdkörperschutz) und Wasser (Wasserschutz). Damit sollen insbesondere die konstruktiv bedingten Luft- und Kriechstrecken zwischen unterschiedlich spannungsführenden Teilen sichergestellt werden. So soll die aufgrund einer Prüfung festgestellte elektrische Sicherheit des Betriebsmittels auch unter Betriebsbedingungen bestehen bleiben.

Der IP-Code (IP – International Protection) besteht aus zwei Ziffern. Die erste Ziffer betrifft den Berührungs- bzw. den Fremdkörperschutz, die zweite Ziffer den Wasserschutz (siehe Tabelle 5.8).

Für das Einhalten der Schutzart ist sowohl der Errichter bei der Montage als auch der Betreiber während der Gebrauchsdauer der Beleuchtungsanlage verantwortlich. Um bei der Installation die angegebene Schutzart der Leuchte einzuhalten, sind die mitgelieferten Dichtungsmittel für Leitungseinführungen und Befestigungsstellen zu verwenden und die Hinweise in der Montageanleitung zu beachten.

Die angegebene Schutzart bezieht sich auf die bestimmungsgemäße Gebrauchslage der Leuchte. Wenn nicht anders angegeben, wird eine Deckenmontage vorausgesetzt.



Anforderungen

In feuchten Räumen wird die elektrische Sicherheit durch Feuchtigkeit, Kondenswasser und chemische oder ähnliche Einflüsse beeinträchtigt. Betriebsmittel müssen hier mindestens tropfwassergeschützt in der Schutzart IPx1 ausgeführt sein. Werden in nassen Räumen Fußböden, Wände und Einrichtungen zu Reinigungszwecken abgespritzt, müssen die elektrischen Betriebsmittel mindestens der Schutzart IPx4 (spritzwassergeschützt) bzw., wenn sie zur Reinigung angestrahlt werden, der Schutzart IPx5 (strahlwassergeschützt) entsprechen.

Bei Verwendung von Druckwasser zu Reinigungszwecken, z.B. bei Reinigung mit Hochdruckreiniger, ist die Schutzart IPx5 nicht ausreichend. In solchen Fällen wird empfohlen, Betriebsmittel in der Schutzart IPx9 einzusetzen.

Darüber hinaus bestehen für bestimmte Betriebsstätten oder Räume spezielle Forderungen zum Feuchteschutz. Hierzu gehören beispielsweise Räume mit Badewanne oder Dusche (siehe Kapitel 6.2), überdachte Schwimmbäder (siehe Kapitel 6.3) oder Anlagen im Freien (siehe Kapitel 6.4).

Für die Verwendung im Freien müssen Betriebsmittel mindestens der Schutzart IPx3 entsprechen. In besonderen Fällen, wie z. B. in geschützten Anlagen, genügt IPx1. Grundsätzlich müssen Innenleuchten bei Verwendung im Freien dafür auch geeignet sein.

In Tabelle 5.9 werden die für Leuchten gebräuchlichsten Schutzarten aufgeführt.

Grundsätzlich sollten Leuchten für feuchte Bereiche nicht nur das Eindringen von Feuchtigkeit

Tabelle 5.9:
Gebräuchliche Schutzarten bei technischen Leuchten

Schutzart	Erste Ziffer: Fremdkörperschutz	Zweite Ziffer: Wasserschutz
IP20	Fremdkörper > 12 mm	ungeschützt
IP23	Fremdkörper > 12 mm	Sprühwasser
IP40	Fremdkörper > 1 mm	ungeschützt
IP44	Fremdkörper > 1 mm	Spritzwasser
IP50	staubgeschützt	ungeschützt
IP54	staubgeschützt	Spritzwasser
IP65	staubdicht	Strahlwasser
IP66	staubdicht	Starkes Strahlwasser

Tabelle 5.8:
Schutzkennzeichnung gemäß IP-Code nach EN 60529

Schutzart	Erste Ziffer: Berührungsschutz	Fremdkörperschutz	Zweite Ziffer: Wasserschutz
0	Kein Schutz	Kein Schutz	Kein Schutz
1	Schutz gegen Berührung mit Handrücken	Schutz gegen feste Fremdkörper mit > 50 mm Durchmesser	Schutz gegen senkrecht tropfendes Wasser
2	Schutz gegen Berührung mit Fingern	Schutz gegen feste Fremdkörper mit > 12 mm Durchmesser	Schutz gegen schräg tropfendes Wasser (Neigung 15° von oben)
3	Schutz gegen Berührung mit Werkzeugen	Schutz gegen feste Fremdkörper mit > 2,5 mm Durchmesser	Schutz gegen Sprühwasser, schräg bis 60° von oben
4	Schutz gegen Berührung mit einem Draht	Schutz gegen feste Fremdkörper mit > 1,0 mm Durchmesser	Schutz gegen Spritzwasser aus allen Richtungen
5	Schutz gegen Berührung mit einem Draht	staubgeschützt	Schutz gegen Strahlwasser
6	Schutz gegen Berührung mit einem Draht	staubdicht	Schutz gegen starkes Strahlwasser
7	-	-	Schutz gegen zeitweiliges Untertauchen in Wasser
8	-	-	Schutz gegen dauerndes Untertauchen in Wasser, konkrete Prüfbedingungen sind zu vereinbaren, besonders bei Anwendung von Hochdruckreinigern
9	-	-	Bei Hochdruckreinigern IPx9 nach DIN 4005

verhindern, sondern durch entsprechend widerstandsfähige Materialien auch einen ausreichenden Schutz gegen Korrosion und Alterung bieten, um die im Neuzustand ermittelte Schutzart auch langfristig erfüllen zu können (siehe auch Kapitel 5.14 „Sicherheit gegen chemische und sonstige Einflüsse“).

5.11 Brandschutz

Brandschutz beschreibt zwei Aspekte:

- Betriebsmittel müssen so ausgewählt und installiert werden, dass von ihnen durch Temperaturanstieg im normalen Betrieb und im Fehlerfall kein Brand verursacht wird. Hierbei ist das Brandverhalten des Materials, der Montagefläche und aller thermisch beeinflussten Flächen sowie der Mindestabstand zu brennbaren Materialien zu beachten.
- Betriebsmittel müssen auch hinreichende Beständigkeit gegen Feuer und Entzündung aufweisen. Dieser Aspekt erfasst die mögliche Gefahr, dass brennbare Teile der Betriebsmittel, insbesondere Kunststoffe, die Feuerausbreitung fördern können.

Leuchten besitzen im Allgemeinen keine aktive Brandschutzfunktion, sind also nicht als Teil von baulichen Brandschutzmaßnahmen einsetzbar (siehe Kapitel 5.11.4 „Brandschutzzeigenschaften“).

Sicherheitsanforderungen aus Normen, Unfallverhütungsvorschriften und Sicherheitsregeln an die Leuchten in spezifischen Anwendungen und Umgebungsbedingungen werden in Kapitel 6 behandelt. Dort befindet sich auch ein Unterkapitel 6.1.1 „Feuergefährdete Betriebsstätten“.

5.11.1 Baustoffklassen

Die brandschutztechnische Qualität von Baustoffen bestimmt wesentlich die Ausbreitung eines Brandes. Entsprechend ihrem Brandverhalten werden brennbare Baustoffe in Baustoffklassen eingeteilt (siehe Tabelle 5.10).

5.11.2 Brandschutzkennzeichnung

Gemäß der Errichtungsvorschrift VDE 0100-559 „Errichten von Niederspannungsanlagen – Leuchten und Beleuchtungsanlagen“ [31] muss für die Montage von Leuchten auf Gebäudeteilen deren Kennzeichnung hinsichtlich des Brandschutzes beachtet werden. Eine grundsätzliche Änderung der Kennzeichnung ist dabei mit der vorletzten Überarbeitung der Norm EN 60598-1 „Leuchten – Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfungen“ [69] im Jahr 2009 erfolgt, so dass im Bestand heute noch Leuchten mit unterschiedlichen Zeichen anzutreffen sind (siehe Tabelle 5.11).

Die heutige Regelung sieht vor, dass Leuchten grundsätzlich für die Montage auf allen zur allgemeinen Verwendung üblichen Baustoffen montiert werden dürfen, sofern sie keine einschränkenden Kennzeichnungen aufweisen (siehe Tabelle 5.11, rechte Spalte). Diese sind vom Hersteller mit einer Größe von 25 mm x 25 mm außen auf der Leuchte (nicht auf dem Typenschild, siehe Kapitel 5.6.1) anzubringen und in der Montageanleitung zu erläutern.

Für Leuchten ohne Kennzeichnung ist sicher gestellt, dass selbst im Fehlerfall (z. B. beim Windungsschluss des Vorschaltgerätes für Leucht-

Baustoffklasse	Art der Baustoffe
A1, A2	Nichtbrennbare Baustoffe wie z. B. Metall, Beton
B1	Schwer entflammbare Baustoffe wie z. B. Gipskarton- und Leichtbauplatten
B2	Normal entflammbare Baustoffe wie z. B. Holz und Holzwerkstoffe
B3	Leicht entflammbare Baustoffe wie z. B. Papier, Stroh, Heu, Holzwolle, Baumwolle. Nach den Bauverordnungen sind diese Stoffe als Gebäudeteile nicht zulässig.

Tabelle 5.10:
Baustoffklassen nach dem Brandverhalten

stofflampen) eine Temperatur von 180 °C an der Befestigungsfläche nicht überschritten wird (siehe Tabelle 5.13).





Die Anbau- und Einbaumontage nicht gekennzeichnete Leuchten an Baustoffen bzw. in Baustoffe, die bis zu einer Temperatur von 180 °C form- und standfest sind, ist daher zulässig (früher mit ▽-Zeichen). Die Einbaumontage in normal entflammbare Baustoffe ist auch dann zulässig, wenn diese mit einer aufliegenden Wärmeisolierung versehen sind (früheres ▽-Zeichen), sofern nicht das einschränkende ⚠-Zeichen auf der Außenseite der Leuchte abgebildet ist.

Für höhere Anforderungen, wie z. B. die Eignung für Bereiche, die durch Stäube oder Faserstoffe feuergefährdet sind, werden Leuchten durch positive Kennzeichnungen ausgewiesen (z. B. ▽-Zeichen, siehe auch Abschnitt 6.1.1 „Feuergefährdete Betriebsstätten“). Die Anforderungen an solche Leuchten sind in der Norm EN 60598-2-24 „Leuchten – Teil 2-24: Besondere Anforderungen – Leuchten mit begrenzter Oberflächentemperatur“ [71] definiert.

5.11.3 Möbelleuchten

Leuchten zum Einbau in bzw. Anbau an Möbeln müssen mit dem ▽- bzw. ▽▽-Zeichen gekennzeichnet sein (siehe Tabelle 5.12) und den in der Tabelle 5.13 beschriebenen thermischen Anforderungen genügen. Die Montageanleitung von Möbelein- bzw. Möbelanbauleuchten muss Hinweise für die zulässige bzw. nicht zulässige Ein- bzw. Anbaumöglichkeit der Leuchte, z. B. hinsichtlich des Mindestabstandes von anderen Bauteilen, enthalten. Die Montageanweisung des Leuchtenherstellers muss in jedem Fall beachtet werden. Die Gefahr eines möglichen Wärmestaus, z. B. in Vouten und Rinnen, ist zu beachten. Bei Leuchtenanordnungen innerhalb von Schränken und Klappbetten muss ein Schalter vorhanden sein, der Leuchten zwangsweise abschaltet, sobald der Schrank geschlossen bzw. das Bett eingeklappt wird. Zuleitungen und Durchgangsverdrahtungen durch Möbelleuchten müssen bis zu einer Länge von 10 m einen Leiterquerschnitt von mindestens 0,75 mm², über 10 m Länge einen Leiterquerschnitt von mindes-

Tabelle 5.11: Kennzeichen von Leuchten für die Montage auf Gebäudeteilen nach DIN VDE 0100-559 (VDE 0100-559) [31]

Gebäudeteil	Brandschutzkennzeichnung für Leuchten			
	Bis 01.06.2009* (alte Regelung)		Ab 01.08.2009* (neue Regelung)	
	Positiv (zulässig)	(unzulässig)	(zulässig)	Negativ (unzulässig)
Nicht brennbare Baustoffe, z. B. Metall, Beton	Kennzeichnung nicht erforderlich	-		-
Schwer oder normal entflammbare Baustoffe, z. B. Holzwerkstoffe, auch wenn diese furniert oder lackiert sind	Bei Anbau- oder Einbaumontage ▽ ▽ ▽ ▽▽	▽ ▽	Kennzeichnung nicht erforderlich (Positiv-Kennzeichnung ist nicht vorgesehen)	 oder 
	Bei Einbaumontage mit wärmeisolierender Abdeckung ▽▽	▽▽ ** ▽ ▽ ▽ ▽▽		 oder 

* Übergangsfrist bis 12.04.2012, Leuchten konnten noch mit den alten Brandschutzkennzeichen ausgewiesen werden.
** In der Praxis konnten nach Rücksprache mit dem Hersteller einige Leuchten mit den folgenden Kennzeichnungen ebenfalls für solche Anwendungen verwendet werden.

Tabelle 5.12: Kennzeichen von Leuchten für die Montage in oder an Einrichtungsgegenständen (Möbel) nach DIN VDE 0100-559 (VDE 0100-559) [31]

Möbelteil	Möbelteil
Nicht brennbare Werkstoffe, z. B. Metall	Kennzeichnung nicht erforderlich
Schwer oder normal entflammbare Werkstoffe, z. B. Holz oder Holzwerkstoffe, auch wenn diese furniert oder lackiert sind	▽ ▽▽
Werkstoffe, deren Brandverhalten nicht bekannt ist.	▽▽▽
Dies gilt auch, wenn diese beschichtet, furniert oder lackiert sind.	

tens 1,5 mm² aufweisen. Leuchten müssen Zugentlastungsvorrichtungen für diese Leitungen aufweisen.

5.11.4 Brandschutzeigenschaften

Leuchtenkennzeichnungen und Bestimmungen, die vor der Leuchte als Brandursache schützen, sind in den vorangegangenen Abschnitten thematisiert.

Darüber hinaus haben Betreiber elektrischer Anlagen auch das Schutzbedürfnis, dass bei Ausbruch eines Brandes deren Betriebsmittel die Feuerausbreitung, z.B. durch herunterfallende brennende Teile, nicht zusätzlich fördern. Daher müssen elektrische Betriebsmittel, also auch Leuchten, in gewissem Umfang auch eine Feuerbeständigkeit aufweisen. Das gilt insbesondere für Isolierteile, die den Schutz gegen elektrischen Schlag sicherstellen oder die spannungsführende Teile in ihrer Lage fixieren. Für solche Isolierstoffe ist in EN 60598 [72] eine Nadelbrennerprüfung vorgesehen, bei der diese Teile 10 s einer Prüf Flamme ausgesetzt sind. 30 s nach Entfernen der Prüf Flamme darf der Prüfling nicht mehr brennen. Eventuell herabfallende brennende Tropfen dürfen darunter liegende Teile (im Test ist das Fließpapier) nicht entzünden.

In öffentlichen Bereichen werden in elektrischen Anlagen darüber hinaus häufig halogenfreie elektrische Leitungen verwendet, um im Brandfall das Auftreten giftiger Gase zu vermeiden. In diesen Fällen wird die Halogenfreiheit häufig auch für die verwendeten Leuchten gefordert. Leuchten sind im Allgemeinen nicht mit halogenfreier Innenverdrahtung ausgestattet, können aber beim Leuchtenhersteller entsprechend angefragt werden.

Bei Leuchten mit Leuchtstofflampen ist darauf zu achten, dass halogenfreie Installationsleitungen im Bereich der Kabeleinführung gegen den Einfluss von UV-Strahlung zu schützen sind. Entsprechende Hinweise dazu müssen der Leuchte beigelegt sein.

5.11.5 Brandschutzhauben für Feuerwiderstandsklassen

Unter ungünstigen Bedingungen können sich Brände rasch ausbreiten und auf benachbarte Räume übergreifen. Entsprechend ausgebildete Bauteile (Decken, Dächer und Wände) können dies verhindern oder zumindest verzögern.

Das Brandverhalten von Bauteilen wird in Deutschland in der Norm DIN 4102-2 [5] durch

Kennzeichen	Bewertungsfläche	Betriebszustand des Vorschaltgerätes	Temperatur der Bewertungsfläche	
Ohne Kennzeichen (früher ▽)	Befestigungsfläche	Normaler Betrieb	< 90 °C	
		Anomaler Betrieb	< 130 °C	
		Fehler im Vorschaltgerät	< 180 °C	
▽	Alle waagerechten Flächen, auf denen sich Staub ablagern kann	Normaler Betrieb	< 90 °C	
		Fehler im Vorschaltgerät	< 115 °C	
		Alle senkrechten Flächen	< 150 °C	
▽▽	Oberflächen von Leuchtstofflampen		< 150 °C	
		Befestigungsfläche und benachbarte Flächen	Normaler Betrieb	< 130 °C
			Fehler im Vorschaltgerät	< 180 °C
▽▽▽	Befestigungsfläche und benachbarte Flächen	Normaler Betrieb	< 95 °C	
		Anomaler Betrieb	< 130 °C	
		Fehler im Vorschaltgerät	< 130 °C	

Tabelle 5.13: Brandschutzkennzeichnung von Leuchten


eine Buchstaben-Zahlenkombination beschrieben (siehe Tabelle 5.14). Deckenbauteile im Sinne dieser Norm sind nicht Unterdecken allein, sondern die aus tragenden und abgehängten Baustoffen bestehende Gesamtkonstruktion der abgehängten Decke.

Hersteller abgehängter Deckensysteme geben Auskunft über die Feuerwiderstandsklasse ihrer Produkte in Verbindung mit unterschiedlichen tragenden Konstruktionen. Diesen Angaben liegen genormte Brandversuche in amtlichen Instituten zugrunde, die durch Prüfzeugnisse dokumentiert werden.

Die Angaben der Deckenhersteller zur Feuerwiderstandsklasse gelten nur dann, wenn Brandlasten, z. B. Leitungen im Deckenhohlraum, gleichmäßig verteilt und begrenzt sind.

Bei Einbauöffnungen in abgehängten Decken sind die Voraussetzungen für die geprüften Feuerwiderstandsklassen nicht mehr gegeben. Dabei ist es unerheblich, ob in diese Öffnungen anschließend Einbauleuchten, Luftauslässe, Lautsprecher oder andere Bauteile eingebaut werden. In diesen Fällen werden Brandschutzhauben über den Leuchten eingesetzt, die die Öffnung im brandtechnischen Sinn wieder schließen.

Viele Deckenhersteller bieten für das brandtechnische Verschließen von Einbauöffnungen Brandschutzhauben aus Mineralfasermaterial an. Brandschutzhauben sind in geschlossener Ausführung oder mit Luftauslässen zur Abführung der Leuchtenwärme verfügbar. Die Luftauslässe belüfteter Brandschutzhauben schließen sich im Brandfall selbsttätig.

TRILUX-Einbauleuchten sind in geschlossene, nicht durchlüftete Brandschutzhauben einsetzbar, ohne dass unzulässig hohe Temperaturen entstehen. Eine Zwangslüftung ist nicht erforderlich. Das VDE- und für ältere Bestandsleuchten ggf. auch das d-Zeichen (siehe auch Kapitel 5.11.2 „Brandschutzkennzeichnung“) bleiben unter Beachtung der Montageanleitung erhalten. Deckenmaterialien mit erhöhtem Feuerwiderstand weisen im Allgemeinen keine Wärmeisolierwirkung auf, sodass im Allgemeinen auch Leuchten mit dem -Zeichen eingesetzt werden können.

5.11.6 Glühdrahtfestigkeit

Für Isolierstoffe, die keine spannungsführenden (aktiven) Teile in ihrer Lage fixieren, ist in EN 60598 [72] eine Glühdrahtprüfung vorgesehen. Dabei wird ein Glühdraht mit einer Temperatur von 650 °C an das betreffende Teil, z. B. eine Leuchtenabdeckung, gehalten. 30 s nach Entfernen des Glühdrahtes muss eine eventuell durch den Glühdraht ausgelöste Flamme erloschen sein. Brennende bzw. geschmolzene Tropfen dürfen darunter liegende Teile (im Test ist das Fließpapier) nicht entzünden. Die Anforderungen gelten jedoch nicht für Leuchten, die einen wirksamen Schutz gegen das Herausfallen brennender Teile aufweisen.

Feuerwiderstandsklasse	Feuerwiderstandsdauer in Minuten
F30	≥ 30 Minuten
F60	≥ 60 Minuten
F90	≥ 90 Minuten
F120	≥ 120 Minuten
F180	≥ 180 Minuten

Tabelle 5.14:
Feuerwiderstandsklassen nach
DIN 4102-2 [5]

5.12 Elektromagnetische Sicherheit

Viele elektrische Geräte verursachen in ihrer Umgebung Störungen, die durch elektromagnetische Rückwirkungen ihres Betriebs verursacht sind. Diese Störungen können sich sowohl leitungsgebunden als auch nicht-leitungsgebunden – in Form elektromagnetischer Wellen – von den Geräten ausgehend ausbreiten. In beiden Fällen spricht man von elektromagnetischen Störaussendungen.

Damit weitere Geräte in der Umgebung dieses Gerätes möglichst ungestört betrieben werden können, können zwei Wege beschritten werden:

- Die Störaussendungen des einen Gerätes können begrenzt werden.
- Die Störfestigkeit der umgebenden Geräte, d. h. ihre Unempfindlichkeit bzgl. des Empfangs von Störungen, kann erhöht werden.

Da im realen Betrieb alle in einer elektrischen Anlage betriebenen Geräte als Sender und Empfänger von Störungen zueinander in Bezie-

hung stehen, kann ein ordnungsgemäßer Betrieb aller Teilnehmer nur sichergestellt werden, indem sowohl das zulässige Maß der Störaussendungen als auch eine Mindeststörfestigkeit für jedes Gerätes festgelegt sind. Dies nennt man elektromagnetische Verträglichkeit (EMV).

Leuchten sind elektrische Geräte, die heute zunehmend mit elektronischen Komponenten ausgestattet sind. Für elektronische Schaltungen gilt grundsätzlich, dass ihre Störaussendung und Störfestigkeit in hohem Maße vom Aufbau der Schaltung abhängen. Die Auslegung elektromagnetisch verträglicher Schaltungen erfordert daher hohe Sorgfalt, um eine verlässlich stabile Funktion zu gewährleisten. Insofern sind die Aspekte der EMV in der modernen, professionellen Beleuchtung heute von enormer Bedeutung.

Über die Belange der EMV hinaus werden Wirkungen von elektromagnetischen Feldern auf den menschlichen Körper in der EU-Richtlinie 2013/35/EU [143] behandelt, die z. B. im Bundesgebiet mit der „VDV-Mitteilung 5000 Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV)“ [143] umgesetzt ist.



5.12.1 EU-Richtlinien

Unsere Industriegesellschaft ist ohne elektronische Geräte nicht mehr vorstellbar. Daher hat sich auch der europäische Gesetzgeber der Frage der EMV zugewandt und entsprechende Richtlinien erlassen.

Die Richtlinie 2014/30/EU [144] (EMV-Richtlinie) sowie die Richtlinie 2014/53/EU [146] (Funkgeräterichtlinie) regeln die EMV-Eigenschaften von Leuchten. Erstere ist auf alle Leuchten anzuwenden. Auf Letztere wird verwiesen, sofern Komponenten für die Funkkommunikation (z. B. W-LAN) in der Leuchte enthalten sind.

Beide Richtlinien gewährleisten das gleiche Schutzniveau hinsichtlich der EMV.

EU-Richtlinien und entsprechende nationale Gesetze enthalten nur Rahmenvorschriften. Die technischen Anforderungen und Prüfbestimmungen sind in harmonisierten Normen enthalten. Die EMV-Normen für Leuchten und Leuchtenzubehör in Europa und in Deutschland sind in Tabelle 5.15 zusammengefasst.

5.12.2 EN 55015

Die europäische Richtlinie 2014/30/EU [144] (EMV-Richtlinie) verweist für Beleuchtungseinrichtungen unter anderem auf die in Europa harmonisierte Norm EN 55015 „Grenzwerte und Messverfahren für Funkstörungen von elektri-

schen Beleuchtungseinrichtungen und ähnlichen Elektrogeräten“ [63]. Grenzwerte für Störaussendungen im Frequenzbereich über 9 kHz sowie die Messverfahren zur Prüfung ihrer Einhaltung sind in dieser Norm festgelegt. Gegenwärtig sind die zulässigen Störpegel bis zu einer Frequenz von 300 MHz festgelegt. Eine Erweiterung der Norm hinsichtlich der Prüfung und Bewertung von Störfeldstärken bis zu 1.000 MHz ist in Bearbeitung. Die festgelegten Grenzwerte gelten sowohl für leitungsgebundene wie auch für nicht-leitungsgebundene hochfrequente Störungen durch Leuchten und Leuchtenzubehör.



Tabelle 5.15:
Zuordnung europäischer und deutscher Regelwerke zu den Themen der elektromagnetischen Verträglichkeit (Titel der Normen siehe Anhang)

Europäische Normen	Deutsche Normen	VDE-Klassifikation
EN IEC 55015: 2020-07 für die Störaussendung	DIN EN IEC 55015: 2020-07	VDE 0875 Teil 15-1:2020-07
EN IEC 61000-3-2:2019-12 für die Oberschwingungsströme	DIN EN IEC 61000-3-2:2019-12	VDE 0838 Teil 2: 2019-12
EN 61000-3-3:2020-07 für die Spannungsschwankungen und Flicker	DIN EN 61000-3-3:2020-07	VDE 0838 Teil 3:2020-07
EN 61547:2009 für die Störfestigkeitsanforderungen	DIN EN 61547:2010-03	VDE 0875 Teil 15-2:2010-03

Leuchten für Glühlampen, die keine Lichtsteuergeräte oder elektronische Schalter enthalten, erzeugen keine elektromagnetischen Störgrößen und sind daher von EMV-Prüfungen ausgenommen.

Alle Leuchten – ausgenommen solche für Glühlampen – müssen Grenzwerte der Störspannung an ihren Anschlussklemmen für die Netzspannungsversorgung sowie weitere Zuleitungen einhalten. Abbildung 5.53 zeigt die maximal zulässigen Quasispitzenwerte *QS* und Mittelwerte *M* der Störspannung in Abhängigkeit von der Frequenz. Diese Werte gelten auch für Dimmer und Transformatoren mit Halbleitern.

Die EN 55015 [63] legt Grenzwerte der magnetischen Komponente der (drahtlos ausgesendeten elektromagnetischen) Störfeldstärke fest (siehe Abbildung 5.54), wobei die Grenzwerte je nach Durchmesser der um die Leuchte anzuordnenden Messantenne unterschiedlich sind.

Besondere Anwendungsfälle, wie z. B. im militärischen Bereich oder bei der Flugplatzbeleuchtung, können weitergehenden Anforderungen an die Begrenzung von Störaussendung unterliegen.

Um die elektromagnetische Verträglichkeit einer Beleuchtungsanlage sicherzustellen, ist es erforderlich, die eingesetzten Leuchten als Funktionseinheiten, d. h. nicht nur die einzelnen Komponenten, zu betrachten. Denn auch wenn nur der Norm EN 55015 [63] entsprechende Betriebsgeräte und ggf. Steuerkomponenten verwendet werden, bedarf es eines sorgfältigen Schaltungsentwurfs, insbesondere bzgl. der Verlegung der leuchten-

internen Leitungen, damit auch die Leuchte als Funktionseinheit die Anforderungen der EN 55015 erfüllen kann. In Einzelfällen können zusätzliche Entstörkomponenten erforderlich sein, wenn sich die auftretenden Störaussendungen durch konstruktive Maßnahmen nicht genügend reduzieren lassen (siehe Abbildungen 5.55).

In der Praxis kann es beim Betrieb von Leuchten trotz sorgfältiger Prüfungen ihrer elektromagnetischen Verträglichkeit in Einzelfällen zu Störungen, z. B. des Rundfunkempfangs oder von Funkübertragungen, kommen. Diese können in Verbindung mit ungünstigen Betriebsbedingungen auftreten. In einigen Fällen kann so eine Störung durch einen Mantelwellenfilter (Klapp-

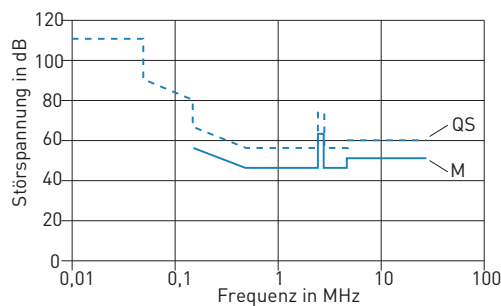


Abbildung 5.53: Maximal zulässige leitungsgebundene Störspannung an den Netzanschlussklemmen in dB (über 1 µV) für die Quasispitzenwerte *QS* und die Mittelwerte *M* nach EN 55015 [63] in Abhängigkeit von der Frequenz der Oberschwingungen

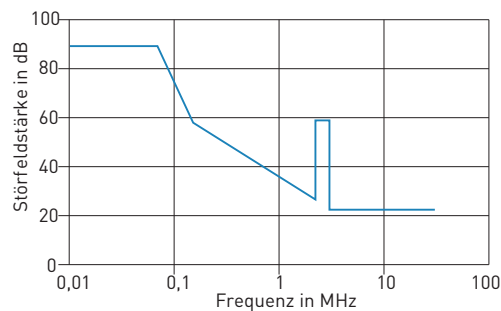


Abbildung 5.54: Maximal zulässige Quasispitzenwerte der magnetischen Komponente der Störfeldstärke nach EN 55015 [63] (Durchmesser der Messantenne 2 m) in dB (über 1 µA)

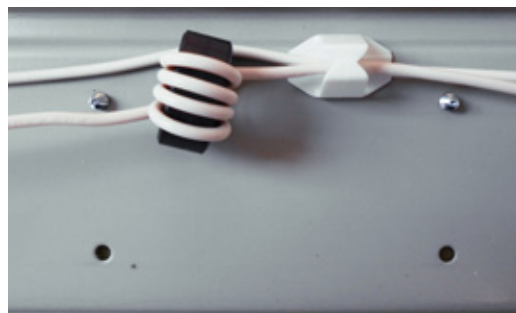
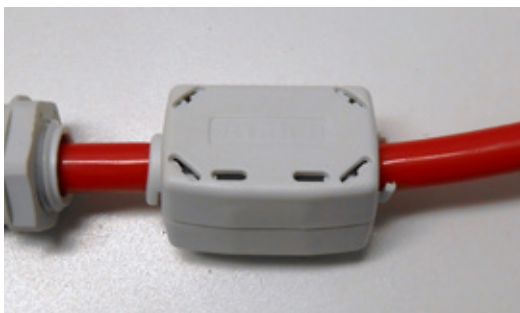


Abbildung 5.55: Entstörkomponenten in der internen Verdrahtung einer Leuchte

ferrit, siehe Abbildung 5.55), der die Zuleitung der Spannungsversorgung umschließt, ausreichend reduziert werden.

5.12.3 EN 61000-3-2

In EN 61000-3-2 „Elektromagnetische Verträglichkeit, Grenzwerte für Oberschwingungsströme (Geräte-Eingangsstrom ≤ 16 A je Leiter)“ [74] sind die Grenzwerte der Netzstrom Oberschwingungen für Leuchten und Leuchtenzubehör festgelegt. Durch die Einhaltung der vorgegebenen Grenzwerte ist sichergestellt, dass keine unzulässige Beeinflussung (Störungen durch Netzurückwirkungen) von Verbrauchern an der gleichen Netzversorgung erfolgt. Für Leuchten mit weniger als 25 W und solchen ab 25 W Eingangsleistung unterscheiden sich die Grenzwerte.

5.12.4 EN 61000-3-3

In EN 61000-3-3 „Elektromagnetische Verträglichkeit, Grenzwerte für Spannungsschwankungen und Flicker in Niederspannungsnetzen (Geräte-Eingangsstrom ≤ 16 A je Leiter)“ [75] sind Festlegungen getroffen, die verhindern, dass durch Laständerungen von Geräten die Netzspannung an den Anschlussstellen der Betriebsgeräte zu stark variiert.

Damit sollen unzulässige Störungen anderer Verbraucher an der gleichen Netzversorgung vermieden werden. Bei Leuchten mit Glühlampen bis 1.000 W Eingangsleistung, Leuchten mit Entladungslampen bis 600 W Eingangsleistung sowie LED-Leuchten bis 200 W Eingangsleistung muss nach dieser Norm nicht mehr gemessen werden, da davon ausgegangen wird, dass die Grenzwerte eingehalten werden. Bei Beleuchtungseinrichtungen sind im Allgemeinen relativ geringe und konstante Leistungen anzunehmen, von denen keine signifikanten Spannungsschwankungen oder Flicker erzeugt werden.

Eine Ausnahme bildet die professionelle Veranstaltungsbeleuchtung (Theater, Diskothek) mit großen Leistungen und schnellen Leistungsänderungen (Blitzlicht in Diskotheken).

5.12.5 EN 61547

Mit der Einhaltung der Anforderungen der Norm EN 61547 „Einrichtungen für allgemeine Beleuchtungszwecke – EMV-Störfestigkeitsanforderungen“ [80] wird nachgewiesen, dass Leuchten und Leuchtenzubehör gegen äußere Störungen anderer Verbraucher nicht anfällig sind.

Bei den Prüfungen zur Störfestigkeit werden definierte Störungen erzeugt und die Leuchte wird diesen ausgesetzt. Durch die „Reaktion“ der Leuchte auf diese Störungen wird die Störfestigkeit bewertet.

Solche Störfestigkeitsprüfsignale unterscheiden sich durch den Übertragungsweg (leitungsgelassen bzw. nicht-leitungsgelassen), durch die Signalform (kontinuierlich bzw. impulsförmig) und durch die Frequenz (niederfrequent bzw. hochfrequent).

Die leitungsgelassenen Störsignale werden direkt auf den Netzanschluss, den Signal- und Steuereingang oder auf externe Lampenanschlüsse übertragen.

Bei nicht-leitungsgelassenen Störfestigkeitsprüfungen wird ein definiertes Störfeld erzeugt, dem die Leuchte ausgesetzt wird. Auch Auswirkungen elektrostatischer Entladungen auf die Leuchte werden geprüft. Letztere Prüfung ist insbesondere für LED-Leuchten von großer Relevanz, da die betriebenen LED-Halbleiter bei ungünstiger Konstruktion der Leuchte durch elektrostatische Entladungen stark gefährdet sein können (siehe auch Kapitel 5.1.2 „Produktqualität“).

Die Auswirkungen der Prüfsignale werden in Stufen bewertet. Zum Beispiel bedeutet die

Bewertungsstufe A, dass sich die visuell wahrgenommene Lichtstärke der Leuchte während der Prüfung mit den genormten Prüfsignalen nicht verändert und eventuell vorhandene Regel- und Steuergeräte einwandfrei funktionieren. Eine Bewertung der Stufe B lässt hingegen eine Veränderung der Lichtstärke zu, die sich jedoch wieder selbsttätig zurückbilden muss.

- Zündanlagen, Schaltkontakte, Leuchtstofflampen
- transportable elektronische Geräte (z. B. Laptop-Computer)
- Entladungen statischer Elektrizität, z. B. aufgeladener Personen oder Gewitterblitze.

5.12.6 Elektromagnetische Felder – Wirkung auf den menschlichen Körper

In einigen Teilen der Öffentlichkeit und auch bei Entscheidungsträgern besteht teilweise eine gewisse Verunsicherung über die gesundheitlichen Risiken, die möglicherweise von elektromagnetischen Feldern (EMF) ausgehen können. Dabei ist seltener die physikalische sondern eher die biologische Wirkung, die häufig auch als „Elektromog“ bezeichnet wird, ein oft diskutiertes Thema.

Typische Störquellen können sein:

- Sendeanlagen (z. B. UKW-Sender)
- Mobilfunktelefone/Smartphones/ Smartwatches/Mobilfunksender
- Elektromotoren und Leistungselektronik (z. B. Bahnverkehr)

Hinsichtlich der Wechselwirkungen von elektromagnetischen Feldern und biologischen Organismen muss zwischen niederfrequenten (0 Hz bis 100 kHz) und hochfrequenten (100 kHz bis 300 GHz) Feldern unterschieden werden. Im niederfrequenten Bereich können elektrische und magnetische Felder als entkoppelte Felder behandelt werden. Im hochfrequenten Bereich lassen sich die elektrische und die magnetische Komponente des EMF nicht mehr getrennt betrachten. Sie sind physikalisch bedingt eng miteinander verknüpft.

Für den Bereich des Arbeitsschutzes hat der europäische Gesetzgeber mit der EU-Richtlinie 2013/35/EU [143] „Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (elektromagnetische Felder)“ festgelegt. Sie betreffen den Schutz der Arbeitnehmer gegen tatsächliche oder mögliche Gefährdungen ihrer Gesundheit und Sicherheit durch Einwirkung von elektromagnetischen Feldern (0 Hz – 300 GHz) während ihrer Arbeit, insbesondere durch bekannte schädliche Kurzzeitwirkun-

Elektrische Feldstärke		Ereignis	
1000 kV/m	1000 kV/m	Elektrischer Überschlag	
	ca. 500 kV/m	Flimmereffekte im menschlichen Auge	
100 kV/m	ca. 50 kV/m	Wahrnehmungsschwelle	
10kV/m	5 kV/m	Grenzwert in Deutschland für 50 Hz (Allgemeinbevölkerung)	Typischer Wert unter 400-kV-Hochspannungsleitung, elektrische Heizdecke in 1 m Abstand
1 kV/m	300 V/m	Einphasig geschaltete Lampe mit Schnurschalter in 30 cm Abstand	
100 V/m	100 V/m	Wand mit Stegleitungen in 50 cm Abstand	Typische Werte in Haushaltungen
	70 V/m	Zweiadriges Netzkabel in 50 cm Abstand	
	25 V/m	Schwedischer Normwert für strahlungsarme Monitore	
	15 V/m	Beeinflussung des Melatoninspiegels und des Schlafverhaltens	
10 V/m	10 V/m	Grenzwert des US-Rates für Strahlenschutz	

Tabelle 5.16: Beispiele für die Exposition niederfrequenter elektrischer Felder (Effektivwerte)

gen im menschlichen Körper. Ursache können induzierte Ströme, Energieabsorption oder Kontaktströme sein.

5.12.7 Niederfrequente EMF

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder treten überall dort auf, wo elektrische Energie erzeugt, transportiert oder angewendet wird. Im Alltag sind dies hauptsächlich die elektrischen und magnetischen Felder, die durch die Stromversorgung (50 Hz) und elektrifizierten Verkehrssysteme entstehen. Aufgrund physikalischer Eigenschaften können im niederfrequenten Bereich die Wirkungen der elektrischen und magnetischen Felder getrennt betrachtet werden.

Das elektrische Feld entsteht durch eine elektrische Spannung zwischen zwei Leitern. Gemessen wird das elektrische Feld in V/m (Volt pro Meter). Am bekanntesten ist das elektrische Feld eines Kondensators.

Elektrische Felder lassen sich leicht abschirmen, z. B. durch Auskleidung mit leitfähiger und geerdeter Tapete (Faradayscher Käfig). Sie dringen wegen einer Restfeuchte (Leitfähigkeit) von Mauern und Putz kaum von außen in Häuser ein, ebenso aufgrund der relativ guten Leitfähigkeit der menschlichen Haut praktisch auch nicht in den Körper und verursachen daher im wesentlichen nur Oberflächeneffekte.

Als Reaktion auf die Aufladung der Körperoberfläche richten sich z. B. die Körperhaare auf und vibrieren mit der Frequenz des verursachenden Feldes. Die meisten Menschen bemerken diesen Effekt ab einer Feldstärke von 1 kV/m. Erhöht man die Feldstärke auf noch höhere Werte, vernehmen manche Personen zusätzlich ein unangenehmes, aber ebenfalls harmloses Hautkribbeln. Reizwirkungen aufgrund innerer Körperströme können prinzipiell ausgeschlossen werden.

In Deutschland sind niederfrequente EMF durch die „Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV“ [143] erfasst. Diese Verordnung bezieht sich auf die wichtigsten Anlagentypen, wie Hochspannungsleitungen, Erdkabel, Transformatoren sowie Bahn- und Stromversorgungsanlagen. Darin sind Grenzwerte festgelegt, die auch in den Tabellen 5.16 und 5.17 enthalten sind.

Das Magnetfeld entsteht ringförmig um stromdurchflossene Leiter und nimmt mit steigendem Abstand ab. Man kann Magnetfelder nur mittels magnetisch leitender Materialien um den zu schützenden Bereich herumführen (abschirmen) und diesen damit schützen.

Gemessen wird das magnetische Feld H in der Maßeinheit A/m (Ampere pro Meter); es hat sich jedoch weitgehend stattdessen die magnetische Induktion B mit der Maßeinheit T (Tesla) durchgesetzt. In Luft gilt: $1 \text{ A/m} = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ T} = 1,2566 \mu\text{T}$.

Niederfrequente magnetische Felder durchdringen den menschlichen Körper und induzieren darin Wirbelströme, die Nerven- oder Muskelzellreizungen sowie optische Flimmererscheinungen zur Folge haben können. Die typische Reizschwelle für solche Phänomene liegt bei 50-Hz-Feldern für die empfindlichsten Testpersonen in der Größenordnung von 2 mT, wobei selbst bei längerer Belastung im Bereich von 1 mT bis 20 mT keine Spätfolgen bekannt geworden sind.

Zum Vergleich (siehe auch Tabelle 5.17): Der Maximalwert netzfrequenter magnetischer Felder am Patientenplatz zur störungsfreien Registrierung von EKG (Elektrokardiogrammen) darf $4 \times 10^{-7} = 0,4 \mu\text{T}$ nicht überschreiten. Diese Grenzwerte werden im Allgemeinen in einem Abstand von 6 m von Transformatoren und Motoren bis 3 kW Leistung eingehalten (siehe auch Kapitel 6.8 „Medizinisch genutzte Räume“). Beleuchtungsanlagen halten den Wert im Abstand von ca. 1 m ein. Im Aufenthaltsbereich der Patienten beträgt die Induktion weniger als $0,1 \mu\text{T}$.

Bei elektronischen Vorschaltgeräten ist der Wert noch geringer. Ein Kernspintomograph (Magnetresonanzgerät) erzeugt ein magnetisches Feld von bis zu 3 Tesla.

Die Grenzwerte für die störungsfreie Aufzeichnung von EEG- und EMG-Signalen (Elektroenzephalogramm bzw. Elektromyogramm) liegen nach DIN VDE 0100-710 [37] bzw. nach EN ISO 11197 [90] (in Bezug auf medizinische Versorgungseinheiten) bei 0,2 µT bzw. bei 0,1 µT.

Unter dem Einfluss schwacher Magnetfelder wurden eine Verringerung der Ausschüttung des Schlafhormons Melatonin und damit einher-

gehend Schlafstörungen und psychische Beeinträchtigungen (Depressionen) festgestellt.

In epidemiologischen Studien, die den Zusammenhang zwischen der Kranken- bzw. Todesstatistik und der den Menschen belastenden Größe untersuchen, konnte z. B. keine signifikante Schädigung durch Hochspannungsleitungen, insbesondere hinsichtlich eines erhöhten Krebsrisikos (Leukämie, Gehirntumor), durch magnetische Felder festgestellt werden.

Magnetische Feldstärke		Ereignis	
10 T	3 T	Maximalwert des Kernspintomographen	
1 T			
100 mT			
10 mT	10 mT	Flimmereffekte im menschlichen Auge	
	5 mT	Grenzwert in Deutschland für Arbeitsplätze nach DIN VDE 0848, Teil 4, 1995	
	2 mT	Reizschwelle für Muskeln und Nerven	
1 mT	1 mT	Wahrnehmungsschwelle	
	400 µT	Grenzwert in Deutschland für 50 Hz (Allgemeinbevölkerung)	
100 µT	15 µT	Typischer Maximalwert unter einer 400-kV-Hochspannungsleitung	
10 µT	10 µT	Grenzwert des US-Rates für Strahlenschutz	
	5 µT	Elektrische Heizdecke	
	3 µT	Elektrische Bahnstrecke in 50 m Abstand	
	2 µT	20 cm Abstand von Radiowecker, Steckernetzteil	
1 µT	1 µT	Beeinflussung des Melatoninspiegels und des Schlafverhaltens	
	0,4 µT	Grenzwert für störungsfreie EKG-Aufnahmen bei 50 Hz	Wert in ca. 6,0 m Abstand von Motoren mit 3 kW Leistung
	0,25 µT	Schwedischer Normwert für strahlungsarme Monitore, schwedische Empfehlungen für Kindergärten	Typischer Wert in 100,0 m Abstand von einer 400-kV-Hochspannungsleitung
	0,2 µT	Grenzwert für störungsfreie EEG-Aufnahmen bei 50 Hz	
0,1 µT	0,1 µT	Grenzwert des US-Rates für Strahlenschutz; Grenzwert für störungsfreie EMG-Aufnahmen bei 50 Hz	Wert in ca. 2,0 m Abstand von magnetischen Vorschaltgeräten
	0,08 µT	Durchschnittliche zivilisatorische Grundbelastung	

Tabelle 5.17: Beispiele für die Exposition niederfrequenter magnetischer Felder (Effektivwerte)

5.12.8 Hochfrequente EMF

Hochfrequente elektromagnetische Felder (EMF) kommen bei der drahtlosen Informationsübertragung, wie Rundfunk, Fernsehen und Mobilfunk, vor.

Die Wirkung hochfrequenter EMF hängt entscheidend von der Frequenz ab. Man unterscheidet aufgrund der Frequenz bzw. der Wellenlänge (Abbildung 5.56) in:

- nicht-ionisierende Strahlung, das sind EMF mit Wellenlängen von 1 km bis 1 m (Rundfunkwellen), die EMF mit Wellenlängen von 1 m bis 1 mm (Mikrowellen) sowie die infrarote, sichtbare und ultraviolette Strahlung mit Wellenlängen bis 100 nm (Frequenzbereich bis 300 GHz)
- ionisierende Strahlung, d.h. Röntgen- und Gammastrahlung mit Frequenzen bis 750 THz (Tera Hertz). Diese Strahlung zeigt extreme Wirkungen und muss wegen großer Gefahren, z. B. Veränderung des Erbguts, gemieden werden. Solche hochfrequenten Felder unterliegen wegen ihrer schädlichen Wirkung speziellen Sicherheitsmaßnahmen.

Bei der nicht-ionisierenden Strahlung ab 100 nm und höher muss hinsichtlich der biologischen Wirkungen zwischen thermischen und athermischen Wirkungen unterschieden werden. Bei den thermischen Wirkungen wird die Strahlungsenergie vom Körper absorbiert und in Wärme umgewandelt. Es entstehen durch die EMF Wirbelströme, welche das elektrisch leitfähige Körpergewebe erwärmen und das Eindringen des Feldes behindern (Skin-Effekt). Die sogenannte Eindringtiefe ist der Wert, bei dem das Feld auf $1/e = 37\%$ abgefallen ist. Bei einer Frequenz von 1 GHz beträgt sie je nach Art des Körpergewebes zwischen 1,8 cm (Muskeln) und 18 cm (Knochen). Die Grenzwertbeurteilung beruht darauf, dass im Körper keine thermisch bedingten Schädigungen auftreten dürfen. Die absorbierte Energie wird als SAR-Wert (Specific Absorption Rate) bezeichnet und ist stark frequenzabhängig. Ebenso sind die maximal zulässigen Grenzwerte stark frequenzabhängig. Besonders betroffen sind Organe mit niedriger Wärmeleitfähigkeit und schlechter Durchblutung (z. B. Augenlinse) sowie temperatursensible Organe.

Die EU-Richtlinie 2013/35/EG [143] enthält Expositionsgrenzwerte und SAR-Werte für elektromagnetische Felder in Abhängigkeit von der Frequenz, und zwar

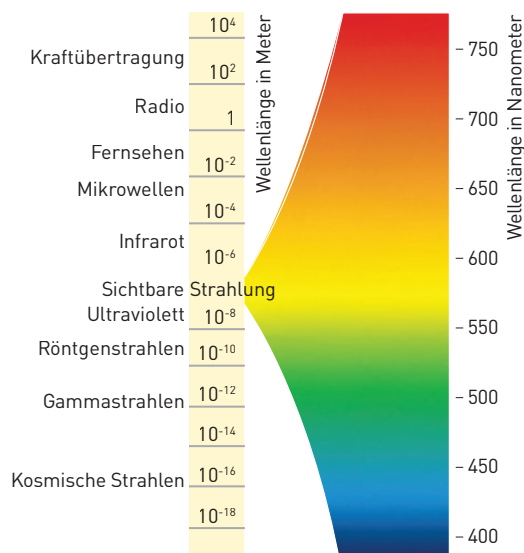


Abbildung 5.56:
Spektrum
elektro-
magnetischer
Strahlung

- Expositionsgrenzwerte für die Stromdichte (in mA/m^2) für zeitlich veränderliche Felder bis 1 Hz, um Auswirkungen auf das kardiovaskuläre und das Zentralnervensystem vorzubeugen,
- Expositionsgrenzwerte für die Stromdichte für den Frequenzbereich zwischen 1 Hz und 10 MHz, um Auswirkungen auf die Funktionen des Zentralnervensystems vorzubeugen,
- Expositionsgrenzwerte und SAR-Werte für Felder zwischen 100 kHz und 10 GHz, um die Wärmebelastung des ganzen Körpers und eine übermäßige lokale Gewebeerwärmung zu vermeiden,
- Expositionsgrenzwerte sowohl für die Stromdichte als auch für den SAR-Wert für Felder im Bereich von 100 kHz bis 10 MHz, um eine übermäßige Gewebeerwärmung an oder nahe der Körperoberfläche zu vermeiden, und

- Expositionsgrenzwert für die Leistungsdichte (in mW/m^2) für Felder zwischen 10 GHz und 300 GHz, um eine übermäßige Gewebeerwärmung an oder nahe der Körperoberfläche zu vermeiden.

Die Auswirkungen thermischer Effekte sind in der Wissenschaft unstrittig und reichen von einer erhöhten Krebswahrscheinlichkeit bis zu starken Missbildungen bei der Nachkommenschaft im Tierversuch. Bekannt sind ferner Störungen von Stoffwechsel, Drüsenfunktionen, Blut-/Immun- und Nervensystem über Grauen Star und Unfruchtbarkeit bis hin zu inneren Verbrennungen und Herzinfarkt bei extrem hohen Feldstärken. Athermische Wirkungen sind Effekte, die unterhalb der thermischen Wirkungsschwelle auftreten. Ihre Existenz ist inzwischen weitgehend wissenschaftlich anerkannt. Strittig ist nur, ob diese zu gesundheitlichen Auswirkungen führen können, da körpereigene Regel- und Kontrollmechanismen dem entgegenwirken können. Die Wirkungen treten oft nur innerhalb schmaler Amplituden- und Frequenzbereiche auf. Eine Studie des Instituts für Sozial- und Präventivmedizin der Universität Bern/Schweiz deutet darauf hin, dass verschiedene Beschwerden wie Schlafstörungen, Nervosität und Schwächegefühle bei Menschen, die durch einen Rundfunk-Kurzwellensender mit einer Sendeleistung von $3 \times 150 \text{ kW}$ in weniger als 2 km Entfernung einer Dauerbelastung ausgesetzt waren, signifikant häufiger auftreten als bei Menschen aus weiter entfernten Wohnungen.

5.12.9 Zusammenfassung

Die vorstehenden Ausführungen und weitere Untersuchungen haben gezeigt, dass bei den heute verwendeten Beleuchtungseinrichtungen und den dadurch erzeugten elektromagnetischen Feldern keine gesundheitlichen Beeinflussungen oder gar Schädigungen zu befürchten sind.

In normalen Netzen (Niederfrequenz 50 Hz, siehe Tabellen 5.16 und 5.17) sind die elektrischen Felder z. B. von Stegleitungen in Wänden und von Beleuchtungsanlagen mit etwa $0,1 \text{ kV/m}$ etwa um den Faktor 200 geringer als der gesetzliche Grenzwert von 20 kV/m . Magnetische Felder im Abstand von 1 m von Beleuchtungsanlagen sind mit etwa $0,4 \mu\text{T}$ um etwa den Faktor 10.000 geringer als der in Deutschland am Arbeitsplatz zulässige Grenzwert von $5.000 \mu\text{T}$ (= 5 mT).

Im hochfrequenten Bereich der EMF sind Beleuchtungsanlagen mit EVG und weiteren elektronischen Regelgeräten nicht zu berücksichtigen, weil sowohl deren Leistung als auch deren Frequenzen (bis ca. 120 kHz) nicht in diesen Bereich fallen. Demzufolge sind keine Auswirkungen auf den Menschen anzunehmen.

5.13 Mechanische Sicherheit

Leuchten müssen eine ausreichende Widerstandsfähigkeit gegen die im bestimmungsgemäßen Betrieb zu erwartenden mechanischen Beanspruchungen aufweisen. So müssen z.B. innen liegende Kunststoffkomponenten der Leuchte bei den zu erwartenden Temperaturen eine genügende Festigkeit aufweisen, um die Funktion und Sicherheit der Leuchte in der zulässigen Gebrauchslage jederzeit zu gewährleisten. Der Leuchtenhersteller hat dazu umfangreiche Prüfungen durchzuführen, die in der Leuchtenprüfnorm EN 60598 [72] beschrieben sind. Den zulässigen Rahmen für den bestimmungsgemäßen Betrieb kann der Anwender dem Typenschild und der Montageanleitung der Leuchte entnehmen (siehe Kapitel 5.7.2 „Betriebsbedingungen“).

Für äußere mechanische Einflüsse ist zu unterscheiden zwischen der Schlagfestigkeit und der Schockfestigkeit einer Leuchte. Erstere bezieht sich auf die Einwirkung einer Schlagenergie auf

die Leuchte. Letzteres bezieht sich auf Erschütterungen der Befestigungsfläche der Leuchte, also auf eine Beschleunigung der Leuchte.

Für spezielle Leuchten für den rauen Betrieb (z.B. Leuchten auf Baustellen und Werkstätten oder bei Montage unter Brücken oder an einem Stativ) wird die Schockfestigkeit nach DIN EN 60068-2-27 [65] geprüft und dokumentiert. Diese müssen außerdem mindestens die Schutzart IP54 aufweisen und weiterreichende mechanische Prüfungen bestehen, z.B. auch Fallprüfungen. Für die Schlagfestigkeit sind allgemein verbindliche Prüfungen vorgeschrieben.

5.13.1 Schlagfestigkeit

Die Leuchtenvorschrift EN 60598-1 [69] fordert eine unveränderte elektrische Sicherheit nach einer Schlagprüfung mit einem genormten Schlagprüfgerät. Es werden drei Schläge mit einer Schlagenergie nach Tabelle 5.18 bei maximaler



Umgebungstemperatur t_a auf die schwächste Stelle zerbrechlicher und anderer Teile ausgeübt. Die Schlagenergiewerte entsprechen der Norm EN 60068-2-75:2015-08 „Umweltprüfung – Hammerprüfung“ [66] (identisch mit IEC 60068-2-75).

Bei speziellen Anwendungen sind unter Umständen höhere Anforderungen an die Stabilität zu stellen. Notwendig ist dies z. B. bei Sporthallenleuchten.

In der europäischen Norm DIN EN 62262 VDE 0470-100 „Schutzarten durch Gehäuse für elektrische Betriebsmittel (Ausrüstung) gegen äußere mechanische Beanspruchungen (IK-Code)“ [84] wird in Analogie zum IP-Code bzgl. des Eindringens von festen und flüssigen Stoffen (siehe Kapitel 5.10 „Schutzarten“) für die Schlagfestigkeit eines elektrischen Betriebsmittels ein IK-Code eingeführt, der z. B. mit der französischen Norm NF C20-15/NF EN 62262 (2004-04-01) auch in Frankreich als nationale Norm übernommen wurde. Die Bestimmung des IK-Codes erfolgt nach der Norm EN 60068-2-75 [67] (Tabelle 5.19).

5.13.2 Ballwurfsicherheit



In Sport- und Turnhallen wird mit sich schnell bewegenden Bällen gespielt, deren kinetische Energie elektrische Betriebsmittel zerstören kann. Abgesehen vom Verlust der Funktion der Betriebsmittel können auch Teile davon herabfallen und eine Unfallgefahr für Menschen darstellen. Daher sind in Deutschland in der Norm DIN 18032-1 „Sporthallen – Hallen für Turnen, Spiele und Mehrzwecknutzung – Grundsätze für Planung und Bau“ [3] die bautechnischen Anforderungen für Sporthallen festgelegt. Danach müssen Leuchten und deren Zubehör, wie Tragschienen und Aufhängemittel, ballwurfsicher sein.

Die Prüfbedingungen auf Ballwurfsicherheit von Sporthallenleuchten sind in DIN 18032-3 „Hallenfür Turnen und Spiele, Prüfung der Ballwurfsicherheit“ [4] und in DIN 57710-13 „Leuchten mit Betriebsspannung unter 1.000 V, Ballwurfsichere Leuchten“ [13] beschrieben. Danach werden die Leuchten mit einem Ballschussgerät getestet. Nach insgesamt 36 Handballbeschüssen aus drei Richtungen mit einer Aufprallgeschwindigkeit von etwa 60 km/h dürfen die Leuchten keine wesentlichen Beschädigungen aufweisen, vor

Leuchtentyp	Schlagenergie in Nm bzw. Joule	
	Zerbrechliche Teile	Andere Teile
Einbauleuchten, ortsfeste Leuchten für allgemeine Zwecke und ortsveränderliche Leuchten für Wandmontage	0,20	0,35
Ortsveränderliche Boden- und Tischleuchten, Photo- und Filmleuchten	0,35	0,50
Scheinwerfer, Straßen- und Wegeleuchten, Leuchten für Schwimmbecken, ortsveränderliche Gartenleuchten und Leuchten für Kinder	0,50	0,70

Tabelle 5.18: Schlagenergie zur Prüfung der mechanischen Sicherheit von Leuchten nach EN 60598-1 [69]

IK-Code	Energie in Nm bzw. Joule	IK-Code	Energie in Nm bzw. Joule
IK00	0,00	IK06	1,0
IK01	0,14	IK07	2,0
IK02	0,20	IK08	5,0
IK03	0,35	IK09	10
IK04	0,50	IK10	20
IK05	0,70		

Tabelle 5.19: IK-Code und dazugehörige Schlagenergie nach DIN EN 60068-2-75 [67]

allein dürfen die Lampen nicht zerbrechen und es dürfen keine Teile während des Tests herunterfallen. Als Zeichen für die Ballwurfsicherheit wird das Ballsymbol erteilt.

In Sport- und Tennishallen ist die Installation von Anbauleuchten unmittelbar an der Hallendecke nicht immer möglich oder zweckmäßig. Dies ist z. B. dann der Fall, wenn durch Unterzüge oder Lichtkuppeln keine durchgehende Montagefläche zur Verfügung steht oder wenn zum Spielfeld hin ausgerichtete Leuchten lichttechnische Vorteile bieten. In diesen Fällen ist die Montage an Tragschienen zu empfehlen. Die Ballwurfsicherheit muss auch in dieser Montageart geprüft und gewährleistet sein.

Die uneingeschränkte Ballwurfsicherheit bei Anbaumontage und abgehängter Montage ist grundsätzlich nur dann sichergestellt, wenn die Herstellerhinweise in der Montageanleitung beachtet werden.



Abbildung 5.55:
Ballwurf-Prüfgerät

Damit sich keine Tennisbälle im optischen System verfangen können, sollten in Tennishallen nur Leuchten mit geschlossenen Prismenabdeckungen oder mit geeigneten Rastern verwendet werden. Bedingt durch den Durchmesser von Tennisbällen von 63,5 mm bis 66 mm sollten Rasterfelder entsprechend eng dimensioniert sein. In Anlagen mit noch kleineren Bällen, z. B. für Squash, sind nur geschlossene Leuchten zulässig.

5.14 Chemische und sonstige Einflüsse

TRILUX-Leuchten sind serienmäßig für eine Nennspannung von 230 V $\pm 10\%$, eine Nennfrequenz von 50 Hz und eine Umgebungstemperatur von 25 °C (für Innenleuchten) bzw. von 15 °C (für Außenleuchten) sowie für normale Betriebsbedingungen ausgelegt.

5.14.1 Besondere Umgebungsbedingungen

Besondere Umgebungstemperaturen, wie z. B. in Kühl- und Kesselhäusern, sowie eine von den Standardbedingungen abweichende Betriebsspannung und Frequenz können erschwerte Betriebsbedingungen für Leuchten bedeuten. Ferner können auch chemische oder physikalische Einflüsse, wie z. B. Luftfeuchte, Salznebel, Laugen, Säuren, aus Kunststoffen austretende Weichmacher, Gase, See- und tropische Klimate, UV-Strahlung, Vibrationen und kurzzeitige Erschütterungen sowie besondere Reinigungsverfahren, erschwerte Betriebsbedingungen ergeben. Hinsichtlich der Auswirkungen besonderer Betriebsbedingungen auf Leuchten sollten die Leuchtenhersteller befragt werden.

Für die Verwendung in feuchter, leicht korrosiver Atmosphäre stehen Kunststoffleuchten zur Verfügung. Ist mit aggressiven Medien in der Raumatmosfera zu rechnen, ist eine

Rückfrage beim Leuchtenhersteller erforderlich, um die Eignung der betreffenden Leuchtenbaureihe möglichst verlässlich vorauszusagen. Dabei sind Angaben über die Umgebungsbedingungen, wie z. B. in Bezug auf Wirkstoffe, Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit, erforderlich.

Bezüglich Chemikalienverträglichkeit von Polymethylmethacrylat und Polycarbonat siehe Tabelle 5.20.

5.14.2 Leuchtenbefestigung, Korrosionsschutz

Aufhängevorrichtungen von Leuchten dürfen bei Belastung mit der fünffachen Masse der Leuchte (mindestens aber 10 kg) keine gefährbringenden Veränderungen zeigen. Dies gilt sowohl für Befestigungszubehör, das von Leuchtenherstellern gemäß der Gerätevorschrift EN 60598 angeboten wird, als auch für bauseits beigestellte

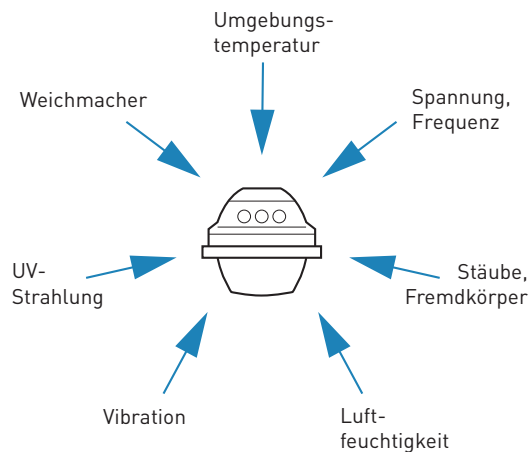


Abbildung 5.58: Besondere Betriebsbedingungen

Chemische Stoffe	Polymethylmethacrylat (PMMA)	Polycarbonat (PC)
Aceton	unbeständig	unbeständig
Äther	unbeständig	unbeständig
Ätznatron 2%ig	beständig	unbeständig
Ätznatron 10%ig	beständig	unbeständig
Ätznatron bis 30%	beständig	beständig
Alkohol, konzentriert	unbeständig	unbeständig
Ammoniak	beständig	unbeständig
Anilin	unbeständig	unbeständig
Athylazetat	unbeständig	unbeständig
Benzol	unbeständig	unbeständig
Chloroform	unbeständig	unbeständig
Essigsäure bis 30%	begrenzt	unbeständig
Essigsäure bis 50%	unbeständig	unbeständig
Glycerin	beständig	begrenzt
Kochsalzlösung	beständig	beständig
Kohlenwasserstoffe	begrenzt	unbeständig
Laugen, synthetisch	unbeständig	begrenzt
Meerwasser	beständig	beständig

Chemische Stoffe	Polymethylmethacrylat (PMMA)	Polycarbonat (PC)
Methylchlorid	unbeständig	unbeständig
Normalbenzin	beständig	begrenzt
Öle, Fette	beständig	begrenzt
Petroläther	beständig	begrenzt
Phenol	unbeständig	unbeständig
Salpetersäure 15 %	beständig	beständig
Salpetersäure 20 %	begrenzt	begrenzt
Salzsäure 15 %	beständig	beständig
Salzsäure > 20 %	beständig	unbeständig
Schwefeldioxid	unbeständig	begrenzt
Schwefelsäure 50 %	beständig	beständig
Schwefelsäure 70 %	begrenzt	begrenzt
Soda	beständig	beständig
Superbenzin	beständig	unbeständig
Tetrachlorkohlenstoff	unbeständig	unbeständig
Terpentinöl	beständig	beständig
Trichloräthylen	unbeständig	unbeständig
Wasserstoff-Sulfid	beständig	beständig

Tabelle 5.20: Chemikalienverträglichkeit von Polymethylmethacrylat und Polycarbonat



Abbildung 5.59:
Korrosion

(a) Befestigungsmittel für Leuchten müssen gegen Korrosion geschützt werden, um solche Materialzerstörungen zu vermeiden.



(b) Korrosionstest im TRILUX-Laboratorium

Befestigungsmittel gemäß der Anlagenvorschrift DIN VDE 0100-559 [31].

In feuchten und nassen Räumen sowie im Freien, z. B. unter Vordächern, sind tragende Elemente, wie abgehängte Decken und Leuchten, und deren Befestigungsmittel ausreichend gegen Korrosion zu schützen. In den meisten Fällen reichen „normaler“ nichtrostender Stahl (z. B. Stahlschlüssel- bzw. Werkstoff-Nr. 1.4301, 1.4401, 1.4541 und 1.4571) gemäß DIN EN 10088 [49] oder ausreichend feuerverzinkte Materialien aus.

Die feuchte, warme und chlorhaltige Luft, z. B. in ungenügend belüfteten Schwimmbädern (siehe Kapitel 6.3), kann säure- und salzhaltige Filme auf Befestigungsteilen bilden, die bei Reinigung wegen schwerer Zugänglichkeit nicht immer ausreichend abgespritzt werden und sich daher immer höher konzentrieren. Dadurch kann eine Langzeitkorrosion entstehen. Davon sind insbesondere Aufhängemittel mit geringen Querschnitten und solche, die unter dauernden mechanischen Spannungen (Zug, Druck) stehen, betroffen. In diesen Fällen sind die Langzeitwirkungen der Korrosion aufgrund der elektrochemischen Spannungsreihe (Elektrolytbildung) zwischen weniger verträglichen, leitfähigen

Baustoffen besonders zu beachten. In extremen Umgebungsbedingungen sind unter Umständen höherwertige metallische Materialien oder entsprechende Aufhängungen aus Kunststoff zu verwenden. Zum Beispiel werden in der Außenbeleuchtung, wo ähnliche Langzeitkorrosion auftreten kann, Seilaufhängungen von Überspannungsleuchten aus glasfaserverstärktem Polyesterkunststoff verwendet, um diesen Problemen zu begegnen.

Für korrosive Atmosphären werden deshalb von einschlägigen Materialprüfanstalten auch verstärkte, feuerverzinkte Deckenhaken (z. B. 8-mm-Haken statt 6-mm-Haken) empfohlen.

5.15 Akustische Eigenschaften

Geräusche selbst geringer Intensität können in Räumen – insbesondere bei geistiger Beschäftigung – die Konzentration und das Wohlbefinden erheblich stören.

Die im Raum oder außerhalb davon befindlichen Schallquellen beeinflussen in Verbindung mit den raumakustischen Eigenschaften, insbesondere der Schallabsorption von Fußboden, Wänden und Decke sowie der im Raum befindlichen Gegenstände, das akustische Klima des Raumes.

Als störend wahrgenommene Schallquellen können Maschinen aller Art, wie z. B. Büromaschinen, Komponenten raumluftechnischer Anlagen oder auch elektrische Betriebsmittel, wie z. B. Leuchten, sein.

Geräuschursachen bei Leuchten sind in der Regel

- summende LED-Betriebsgeräte mit Pulsweitenmodulation (PWM), typischerweise im Frequenzbereich der PWM (ca. 500 Hz, siehe Kapitel [2.11](#) „Flimmern und stroboskopische Effekte“),
- sogenanntes Wannenknacken nach dem Einschalten von Wannenleuchten, das bei Bedarf in den meisten Fällen durch eine Behandlung der Wannenverschlüsse mit Wachs behoben oder gemindert werden kann,
- Schwingungen von Leuchtenteilen oder labilen Einbaudecken, was in der Regel auf konstruktive Mängel des Produktes schließen lässt, und
- Strömungsrauschen von Abluftleuchten, das im folgenden Abschnitt behandelt wird.



5.15.1 Abluftleuchten

Leuchten mit Abluftführung (Abluftleuchten) übernehmen in klimatisierten bzw. belüfteten Räumen licht- und lufttechnische Aufgaben. Wesentlicher Vorteil dieser Leuchten ist die Verringerung der Kühllast innerhalb eines Raumes. Die in den Leuchten entstehende Beleuchtungswärme wird zum großen Teil unmittelbar mit dem Abluftvolumenstrom abgeführt, ohne erst in den umgebenden Raum zu gelangen. Hierdurch kann entweder die erforderliche Temperaturdifferenz zwischen Raumluft und Zuluft, also die Kühlleistung (Kühllast), verringert oder der Zuluftvolumenstrom entsprechend abgesenkt werden. Auf jeden Fall jedoch wird durch Abluftleuchten der Energieaufwand für die Kühlung verringert (siehe auch Kapitel [3.4.1](#) „Kosten der Beleuchtung“).

Luftdurchströmte Leuchten (Klimaleuchten) sind außerdem meist Bestandteil einer abgehängten Decke, deren schalltechnische Eigenschaften wiederum das „akustische Klima“ des Raumes und die Schalldämmung zwischen ihm und darüber- oder danebenliegenden Räumen mitbestimmen. Leuchten mit Abluftführung sind unvermeidbare Quellen von Strömungsrauschen, das durch strömungstechnisch günstige Gestaltung der Abluftauslässe wirksam reduziert wird.

Als Bestandteil der raumlufttechnischen Anlagen müssen luftdurchströmte Leuchten hinsichtlich des Strömungsrauschens begrenzt werden. Im TRILUX-Laboratorium für lufttechnische, klimatechnische und akustische Untersuchungen werden die Schalleistungspegel und die Gesamtdruckverluste in Abhängigkeit vom Luftvolumenstrom durch die Leuchte gemessen.

Im Hinblick auf rationelle Energieanwendung sollten Beleuchtung, Klima und Akustik bereits während der Planung sorgfältig aufeinander abgestimmt werden. Grundlage hierfür bilden exakte lichttechnische, lufttechnische und akustische Planungsdaten. Für TRILUX-Leuchten, die für den Einsatz in Klimaanlage geeignet sind,

werden diese im lufttechnischen und akustischen Laboratorium nach den anerkannten Regeln der Technik gemessen und dokumentiert.

Aufgrund der objektspezifischen ablufttechnischen Rahmenbedingungen werden TRILUX-Klimaleuchten grundsätzlich auf Anfrage als Varianten der Serienleuchten angeboten.

5.15.2 Akustische Messungen

Die Ermittlung der Schalleistungspegel erfolgt im TRILUX-Laboratorium in einem Hallraum nach EN ISO 3741 „Ermittlung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen; Hallraumverfahren der Genauigkeitsklasse 1“ [\[92\]](#) mit aufwendigen Entkopplungsmaßnahmen zum Erdreich und zur Umgebung. In diesem schallharten Messraum mit 200 m³ Volumen und etwa 200 Tonnen Gewicht erzeugt die Geräuschquelle ein diffuses Schallfeld. Der Grundschalldruckpegel im Hallraum liegt bei etwa 4 dB(A), was einen hohen Störpegelabstand zum Messsignal ergibt und damit die Voraussetzung für zuverlässige Messwerte schafft.

Der Hallraum ist zur Vermeidung stehender Schallwellen schiefwinklig aufgebaut. Hierdurch erzeugt eine Schallquelle ein diffuses Schallfeld. Die Kalibrierung des Hallraumes erfolgt durch eine amtlich geprüfte Normschallquelle mit bekannten Schalleistungswerten in engen Frequenzbändern (Terz- bzw. Oktavmittelfrequenzen).

In dem Hallraum werden

- das Strömungsrauschen von Abluftleuchten in Abhängigkeit vom Abluftvolumenstrom,
- Geräusche von elektronischen Betriebsgeräten in Leuchten unter Betriebsbedingungen und
- Leuchten wegen ggf. auftretender Knackgeräusche, z. B. bei Wannenleuchten,

gemessen.

Im TRILUX-Laboratorium für lufttechnische, klimatechnische und akustische Untersuchungen werden die Schalleistungspegel und die Gesamtdruckverluste in Abhängigkeit vom Luftvolumenstrom der Abluftleuchten gemessen.

Qualitätsprodukte setzen eine sehr sorgfältige, entwicklungsbegleitende akustische Beurteilung der Leuchten voraus. Dabei werden die Leuchten vor der Messung „künstlich“ gealtert, weil deren Schwingungsverhalten stark nutzungsabhängig ist. So können Schwingungsresonanzen z. B. erst nach längerer Zeit auftreten, weil sich Befestigungen von Komponenten mit der Zeit lösen

oder verfestigen und Oberflächeneigenschaften sich verändern können. Befestigungs- und Berührungsflächen zwischen Kunststoffen und Metallen (z. B. zwischen der Leuchtenabdeckung und dem Leuchtengehäuse) erreichen erst nach längerer thermischer Belastung ihre endgültigen Reibungseigenschaften, die aufgrund unterschiedlicher Ausdehnungskoeffizienten der aneinander liegenden Materialien Ursache eventuell auftretender Knackgeräusche beim Einschalten der Leuchten sein können.

Durch spezielle konstruktive Maßnahmen zur Verbesserung der akustischen Eigenschaften

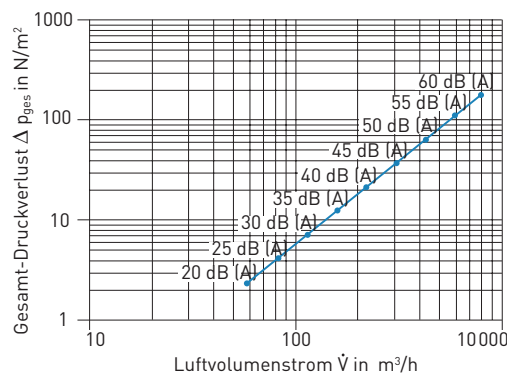


(a) Das Präzisionsmikrophon misst im Hallraum den Schalldruck eventuell auftretender Vibrationsgeräusche von Einbauleuchten.

(b) Die Auswertung der akustischen Messungen erfolgt am Rechner.



(c) Blick in den Hallraum: Eine Abluftleuchte für den Einbau in die Unterdruckdecke wird zur Messung vorbereitet.



(d) Beispiel für ein Auswahldiagramm einer luftdurchströmten Abluftleuchte für Unterdruckdecken

Abbildung 5.60: Akustisches Labor

sowie durch entsprechende Messungen werden Geräuschentwicklungen bei TRILUX-Leuchten minimiert.

Abbildung 5.60 b zeigt den Bildschirm bei der computergestützten Messung der akustischen Daten einer Leuchte. Es sind sowohl langzeitige Überwachungen des Geräusches als auch gezielte Abfragen von Einzelschalldruckpegeln möglich, mit denen die Ursachen eventuell auftretender Pegelspitzen erforscht werden können. Diese wiederum haben entsprechende Auswirkungen auf die Leuchtenkonstruktion.



ANFORDERUNGEN AN LEUCHTEN

Inhalt

6.0	Anforderungen an Leuchten	440
6.1	Feuergefährdete Betriebsstätten	440
6.2	Räume mit Badewannen und Duschen	442
6.3	Schwimmbäder	445
6.4	Anlagen im Freien	445
6.5	Landwirtschaftliche und gartenbauliche Betriebsstätten	446
6.6	Lebensmittelindustrie	447
6.7	Reinräume	448
6.8	Anforderungen an medizinisch genutzte Räume	449
6.9	Notbeleuchtungsanlagen	452

6.0

ANFORDERUNGEN AN LEUCHTEN

6.1 Feuergefährdete Betriebsstätten

6.1.1 Brandschutz

Anforderungen an Niederspannungsanlagen mit erhöhtem Brandschutz bei besonderen Risiken und Gefahren sind in DIN VDE 0100-420, „Schutzmaßnahmen – Schutz gegen thermische Auswirkungen“ [28] enthalten. Diese Norm basiert auf dem CENELEC-Harmonisierungsdokument HD 60364-4-42:2011 bzw. IEC 60364-4-42:2010, modifiziert. Diese Norm gilt für:

- Räume und Orte im Freien mit besonderem Brandrisiko, insbesondere feuergefährdete Betriebsstätten. Hier besteht die Gefahr, dass sich nach den örtlichen und betrieblichen Verhältnissen leicht entzündliche Stoffe wie Staub und/oder Fasern in gefahrbringender Menge den elektrischen Betriebsmitteln so nähern können, dass höhere Temperaturen an diesen Betriebsmitteln eine Brandgefahr bilden. Dazu gehören Arbeits-, Trocken- und Lagerräume, Heu-, Stroh-, Jute- und Flachslager sowie derartige Stätten im Freien, z. B. in Papier-, Textil- oder Holzbearbeitungsbetrieben. Leicht entzündlich im Sinne dieser Norm sind Stoffe, die, nachdem man sie der Flamme eines Zünd-

- holzes 10 s ausgesetzt hat, von selbst weiter brennen oder weiter glimmen, jedoch keine Explosionsgefahr in der Atmosphäre auslösen. Solche Stoffe sind z. B. Stroh, Heu, Strohstaub, Hobelspäne, lose Holzwohle, Magnesiumspäne, Reisig, loses Papier, Baum- und Zellwollfasern.
- Bauten, die vorwiegend aus brennbaren Baustoffen wie Holz, Hohlwänden usw. hergestellt sind
- Bauten mit unersetzbaren Gütern von hohem Wert wie z. B. gesetzlich geschützte Baudenkmäler oder Gebäude mit hohem Sachwert. Auch Ausstellungen, Messen, Rechenzentren, Laboratorien, Bahnhöfe und Flughäfen können Gebäuden mit hohem Sachwert gleichgestellt werden.

In feuergefährdeten Betriebsstätten dürfen nur Leuchten mit begrenzter Oberflächentemperatur verwendet werden. In Betriebsstätten mit Feuergefahr aufgrund von Staub und/oder Fasern müssen die Leuchten zusätzlich so beschaffen sein, dass sich der Staub und die Fasern nicht in gefährlicher Menge auf ihnen anhäufen können. Hier erfüllen grundsätzlich Leuchten mit dem ▽-Kennzeichen die Anforderungen an die Begrenzung der Oberflächentemperatur.

Mit dem Zeichen ▽ gekennzeichnete Leuchten eignen sich für Räume mit besonderem Brandschutzrisiko. Um die Oberflächentemperatur zu begrenzen, sind sie mit geeigneten Leuchtmitteln und Betriebsgeräten ausgestattet.

Bestandsleuchten für Leuchtstofflampen mit dem Zeichen ▽ müssen mit einer Abdeckung (z. B. Wanne, Lampenschutzrohr) mit der Schutzart IP5x umschlossen sein oder deren Lampen und andere Teile der Leuchten müssen z. B. durch Schutzgitter oder Schutzkörbe gegen mechanische Beschädigungen geschützt sein.

Seit dem 12.04.2012 ist dies Bestandteil der Prüfung für das ▽-Zeichen. Bei älteren Leuchten ist ggf. zusätzlich auf den mechanischen Schutz zu achten, um die Forderungen des Verbandes Deutscher Sachversicherer e. V. nach mechanischer Sicherheit zu erfüllen.

6.1.2 Explosionsschutz

Eine Beurteilung, ob Explosionsgefahr herrscht, d. h. die Klärung der Frage, ob eine gefährliche explosive Atmosphäre auftreten kann, muss sich auf den Einzelfall beziehen. Explosionen mit gefährlichen Auswirkungen können auftreten, wenn die folgenden vier Voraussetzungen gleichzeitig erfüllt sind:

- hoher Dispersionsgrad der brennbaren Stoffe
- Konzentration der brennbaren Stoffe in Luft innerhalb ihrer Explosionsgrenzen
- gefahrdrohende Menge explosibler Atmosphäre
- wirksame Zündquelle

Für den Explosionsschutz gilt die EU-Richtlinie 1999/92/EG [134] über Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphären gefährdet werden können.

Als Grundlage für die Beurteilung des Umfangs der zu stellenden Anforderungen werden explosionsgefährdete Bereiche nach der Beschaffenheit und Wahrscheinlichkeit des Auftretens gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre in Zonen eingeteilt (siehe Tabelle 6.1). Für brennbare Gase, Dämpfe und Nebel gelten die Zonen 0, 1 und 2 und für entzündliche Stäube die Zonen 20, 21 und 22.

Zone 0: Bereich, in dem eine explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln ständig,

Gefahr	Risiko	Zone
Gase, Dämpfe und Nebel	ständig, langfristig oder häufig	0
Gase, Dämpfe und Nebel	gelegentlich	1
Gase, Dämpfe und Nebel	selten, dann nur kurzzeitig	2
Stäube	ständig, langfristig oder häufig	20
Stäube	gelegentlich	21
Stäube	selten, dann nur kurzzeitig	22

Tabelle 6.1:
Zonen des
Explosionsschutzes

über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist. In der Regel treten die Bedingungen der Zone 0 nur im Inneren von Behältern oder von Anlagen (Verdampfer, Reaktionsgefäße usw.) auf, unter Umständen aber auch in der Nähe von Entlüftungs- und anderen Öffnungen.

Zone 1: Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb gelegentlich eine explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln bilden kann. Hierzu können u. a. gehören: die nähere Umgebung der Zone 0, die nähere Umgebung von Beschickungsöffnungen, der nähere Bereich um leicht zerbrechliche Apparaturen oder Leitungen aus Glas, Keramik u. dgl., außer wenn der Inhalt zu geringfügig ist, um eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre zu bilden, der nähere Bereich um nicht ausreichend dichtende Stopfbuchsen, z. B. an Pumpen und Schiebern, das Innere von Anlagen wie Verdampfer oder Reaktionsgefäße.

Zone 2: Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln normalerweise nicht oder nur kurzzeitig auftritt. Zur Zone 2 können u. a. gehören: Bereiche, welche die Zonen 0 oder 1 umgeben. Bereiche in der Umgebung von Rohrleitungen, in denen brennbare Stoffe nur in dauerhaft technisch dichten Rohrleitungen gefördert werden, sind jedoch keine explosionsgefährdeten Bereiche.

Zone 20: Bereich, in dem eine explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist. Diese Bedingungen sind im Allgemeinen nur im Inneren von Behältern, Rohrleitungen, Apparaturen usw. anzutreffen. Hierzu gehört in der Regel nur das Innere von Anlagen (Mühlen, Trockner, Mischer, Förderleitungen, Silos usw.), wenn sich ständig, langfristig oder häufig staubexplosionsfähige Gemische in gefahrdrohender Menge bilden können.

Zone 21: Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb gelegentlich eine explosionsfähige Atmosphäre

in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub bilden kann. Hierzu können u. a. Bereiche in der unmittelbaren Umgebung von z. B. Staubentnahme- oder Füllstationen gehören und Bereiche, in denen Staubablagerungen auftreten und die gelegentlich beim Normalbetrieb eine explosionsfähige Konzentration von brennbarem Staub im Gemisch mit Luft bilden.

Zone 22: Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub normalerweise nicht oder nur kurzzeitig auftritt. Hierzu können u. a. gehören: Bereiche in der Umgebung Staub enthaltender Anlagen, wenn Staub aus Undichtheiten austreten kann und sich Staubablagerungen in gefahrdrohender Menge bilden. Die Auswahl von Betriebsmitteln für explosionsgefährdete Bereiche ist sowohl von der entsprechenden Zoneneinteilung als auch von den Temperaturklassen und Explosionsgruppen der brennbaren Stoffe abhängig. Bei brennbaren Stäuben ist deren Zünd- und Glühmtemperatur zu berücksichtigen.

Für die Zonen 0, 1 und 2 sind speziell geprüfte und zertifizierte Ex-Leuchten erforderlich. Für Leuchten zur Verwendung in der Zone 20 (früher Zone 10) und Zone 21 muss die Eignung in der Baumusterprüfbescheinigung und auf dem Gerät ausgewiesen sein.

Leuchten zur Verwendung in der Zone 22 (früher Zone 11) sollten auf dem Typenschild entsprechend gekennzeichnet sein. Der Hersteller muss die betreffende Eignung, z. B. in Herstellerlisten, sowie die betriebsmäßige Oberflächentemperatur, sofern sie 80 °C überschreitet, angeben. Wesentliche Eigenschaften solcher Leuchten sind:

- Schutzart mindestens IP5x bei nicht leitenden und IP6x bei leitenden Stäuben
- schlagzähe Leuchtenabdeckung
- begrenzte Oberflächentemperatur: Diese darf 2/3 der Zündtemperatur des jeweiligen Staub/Luft-Gemisches nicht überschreiten. An Flächen, auf denen eine gefährliche Ablagerung

glühfähigen Staubes nicht wirksam verhindert werden kann, darf die Oberflächentemperatur die um 75 °C verminderte Glühmtemperatur des jeweiligen Staubes nicht überschreiten. Leuchten müssen mit der maximal auftretenden Oberflächentemperatur (Fehlerfall des Vorschaltgerätes¹) gekennzeichnet sein, sofern diese 80 °C überschreitet.

- Für Leuchtstofflampen ist der Einsatz von elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) empfehlenswert. Beim Einsatz induktiver Vorschaltgeräte sollten Ausführungen mit Temperatursicherungen verwendet werden.

6.2 Räume mit Badewannen und Duschen

Die Sicherheitsanforderungen an elektrische Anlagen in Bade- und Duschräumen sind in DIN VDE 0100-701 [34] festgelegt. Sie basieren auf IEC 60364-7-701 (CENELEC-Harmonisierungsdokument HD 60364-7-701).

In Dusch- und Baderäumen werden gemäß DIN VDE 0100-701 [34] drei Bereiche definiert (Abbildungen 6.1 und 6.2 sowie Tabelle 6.2). Außerhalb dieser Bereiche werden keine gesonderten Anforderungen an elektrische Betriebsmittel gestellt.

In Räumen mit Badewannen oder Duschen ist eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (FI-Schalter, RCD – Residual current protective device) mit einem Ansprechstrom von maximal 30 mA vorgeschrieben.

¹ Windungsschluss bei induktiven Vorschaltgeräten für Leuchtstofflampen (siehe Kapitel 5.9.1)

Bereich	Installation, Installationsgeräte, Leuchten	Schutzart
Bereich 0 ist das Innere der Bade- bzw. Duschwanne. Bei Duschen ohne Wanne entfällt der Bereich 0.	Installation von Schaltern, Steckdosen, Verbindungsdosen und Kabeln oder Leitungen, auch im bzw. unter Putz, ist nicht zulässig. Es dürfen nur Betriebsmittel (auch Leuchten) verwendet werden, die ausdrücklich zur Verwendung in Badewannen erlaubt sind und die mit Schutzkleinspannung $\leq 12\text{ V-}$ gespeist werden. Die Stromquelle muss außerhalb des Bereichs 0 angeordnet sein.	IPx7
Bereich 1 ist begrenzt durch den Fertigfußboden und die waagerechte Fläche in 2,25 m Höhe über dem Fußboden sowie durch die senkrechten Flächen gemäß Abbildungen 6.1 und 6.2. Auch der Bereich unter Bade- bzw. Duschwannen gehört zu diesem Bereich bis zur Oberfläche des Fertigfußbodens. Sind keine Bade- bzw. Duschwannen vorhanden, wird der Bereich 1 durch das Fadenmaß gemäß Abbildung 6.2 begrenzt.	Installation von Schaltern, Steckdosen, Verbindungsdosen und Kabeln oder Leitungen, auch im bzw. unter Putz, ist nicht zulässig, ausgenommen Verbindungs- und Anschlussdosen für die Versorgung fest angeschlossener Wasserpumpen, Whirlpooleinrichtungen, Abwasserpumpen und Abluftgeräte. Leuchten in diesem Bereich sind nur bis zu einer Wechselspannung von 25 V zulässig.	Bei seltener Nässebildung (Wohnungen) IPx4, bei Reinigung mit Strahlwasser IPx5
Bereich 2 ist begrenzt durch den Fertigfußboden und die waagerechte Fläche in 2,25 m Höhe über dem Fußboden sowie durch die senkrechten Flächen im Abstand von 60 cm vom Bereich 1.	Installation von Schaltern, Steckdosen, Verbindungsdosen und Kabeln oder Leitungen, auch im bzw. unter Putz, ist nicht zulässig, ausgenommen Verbindungs- und Anschlussdosen für die Versorgung fest angeschlossener Wasserpumpen, Whirlpooleinrichtungen, Abwasserpumpen und Abluftgeräte.	Bei seltener Nässebildung (Wohnungen) IPx4, bei Auftreten von Strahlwasser IPx5
In Räumen ohne Bade- und Duschwannen (Abbildung 6.2) entfallen die Bereiche 0 und 2.	Für Leuchten und andere elektrische Verbrauchsgüter bestehen außerhalb der Bereiche keine Einschränkungen. Zusätzlich sind auch Rasiersteckdosen gemäß EN 61558-2-5 [80] zulässig.	

Tabelle 6.2: Definition der Bereiche und dort zulässige Installationen in Dusch- und Baderäumen

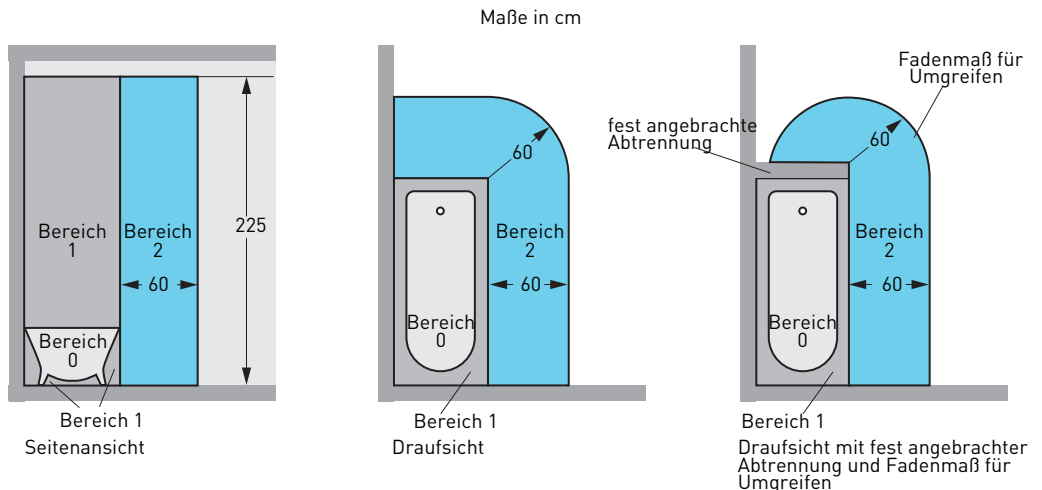


Abbildung 6.1: Bereiche 0, 1 und 2 in Räumen mit Bade- und Duschwannen, Maße in cm

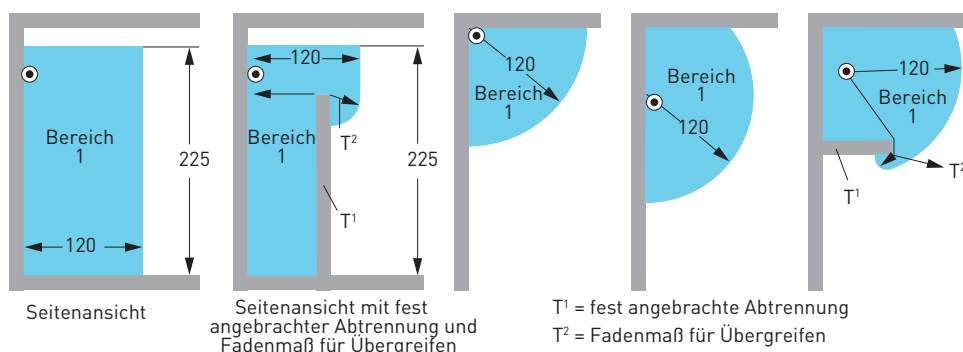


Abbildung 6.2: Bereich 1 in Räumen ohne Bade- und Duschwannen. Die Maße (in cm) beziehen sich auf die feste Wasseraustrittsstelle.

Bereich	Installation, Installationsgeräte, Leuchten	Schutzart
<p>Bereich 0 umfasst das Innere des Beckens und alle darin zugänglichen Stellen, siehe Abbildung 6.3.</p>	<p>Installation von Schaltern, Steckdosen und Verbindungsdosen sowie von Kabeln oder Leitungen ist nicht zulässig, ausgenommen sind Leitungen zur Versorgung von im Bereich angeordneten Betriebsmitteln mit nichtmetallischen Umhüllungen sowie Kabel und Leitungen, die mindestens 6 cm unter Putz gelegt sind. Es dürfen nur fest installierte Betriebsmittel (auch Leuchten) verwendet werden, die ausdrücklich zur Verwendung in Schwimmbädern erlaubt sind und die mit Schutzkleinspannung $\leq 12\text{ V}$- bzw. 30 V= gespeist werden. Die Stromquelle muss außerhalb der Bereiche 0, 1 und 2 angeordnet sein. Unterwasser-scheinwerfer müssen DIN EN 60598-2-18:2012-09 (VDE 0711-2-18:2012-09), „Besondere Anforderungen – Leuchten für Schwimmbecken und ähnliche Anwendungen“, entsprechen. Leuchten hinter wasserdichten Bullaugen, die von hinten bedient werden müssen, dürfen keine leitfähige Verbindung zum Bullauge aufweisen.</p>	IPx8
<p>Bereich 1 umfasst den Raum vom Beckenrand bis zu einem Abstand von 2,0 m oder bei Sprunganlagen bis zu einem Abstand von 1,5 m und einer Höhe von 2,5 m über der höchsten Standfläche, siehe Abbildung 6.3.</p>	<p>Siehe Bereich 0. Verbindungsdosen für SELV-Stromkreise sind erlaubt. In Schwimmbädern mit kleinem Umgebungsbereich, in denen es nicht möglich ist, außerhalb des Bereiches 1 Leuchten anzubringen, können im Bereich 1, aber außerhalb des Handbereiches von Bereich 0, auch Leuchten mit Schutz durch Schutzkleinspannung $\leq 50\text{ V}$- bzw. 120 V=, durch FI-Schutzeinrichtung (RSD) mit $I_N \leq 30\text{ mA}$ oder durch Schutztrennung angebracht werden. Das Gehäuse muss Isolationsanforderungen für Schutzklasse II erfüllen und mittleren mechanischen Beanspruchungen standhalten.</p>	Ohne Strahlwasser IPx4, bei Auftreten von Strahlwasser IPx5
<p>Bereich 2 erstreckt sich zwischen 2,0 m und 3,5 m Abstand zum Beckenrand oder bei Sprunganlagen zwischen 1,5 m und 3,0 m Abstand und einer Höhe von 2,5 m über der höchsten Standfläche, siehe Abbildung 6.3.</p>	<p>Installation von Schaltern, Steckdosen, Verbindungsdosen und anderer Betriebsmittel (auch Leuchten) ist zulässig, wenn sie einzeln von Trenntransformatoren oder mit Schutzkleinspannung $\leq 50\text{ V}$- bzw. 120 V= gespeist oder mit FI-Schutzschalter (RCD) mit $I_N \leq 30\text{ mA}$ geschützt werden. Kabel und Leitungen dürfen nicht in berührbaren Metallrohren verlegt werden. Stromquellen für SELV-Stromkreise oder Trenntransformatoren dürfen errichtet werden, wenn sie mit FI-Schutzschalter mit $I_N \leq 30\text{ mA}$ geschützt werden.</p>	Für Innenräume IPx2, in Außenbereichen IPx4, bei Auftreten von Strahlwasser (etwa für Reinigungszwecke) IPx5

Tabelle 6.3: Definition der Bereiche und dort zulässige Installationen in Schwimmbädern

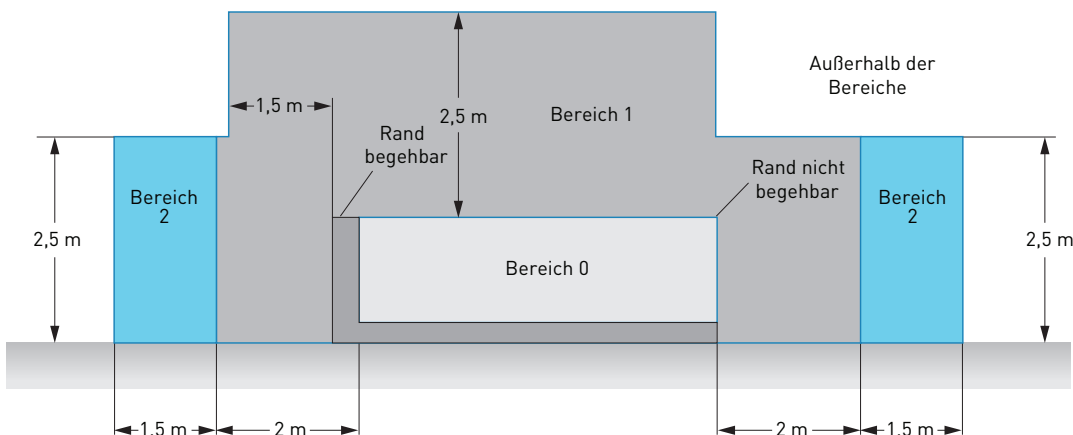


Abbildung 6.3: Bereiche 0, 1 und 2 in Schwimmbädern

6.3 Schwimmbäder

Elektrische Anlagen in Becken von überdachten Schwimmbädern und Schwimmbädern im Freien sowie anderen Becken sind in DIN VDE 0100-702 [35] geregelt. Schwimmanlagen werden danach in drei Bereiche mit abgestuften Sicherheitsanforderungen eingeteilt. Auch außerhalb der angegebenen Bereiche sind darüber hinaus Aspekte der Korrosion zu beachten (siehe Kapitel 5.14.2).

6.4 Anlagen im Freien

Bei Anlagen im Freien wird zwischen geschützten und ungeschützten Anlagen unterschieden.

Geschützte Anlagen im Freien sind Bereiche, die durch eine Überdachung gegen Witterungseinflüsse weitgehend abgeschirmt sind. Betriebsmittel müssen nach DIN VDE 0100-737 [42] (siehe auch Abschnitt „Schutz gegen Feuchte“) mindes-



tens in der Schutzart IPx1 (tropfwassergeschützt) ausgeführt sein.

Ungeschützte Anlagen im Freien sind Regen unmittelbar ausgesetzt. Betriebsmittel müssen nach DIN VDE 0100-737 [42] mindestens in der Schutzart IPx3 (regengeschützt) ausgeführt sein.

Für Beleuchtungsanlagen im Freien gilt DIN VDE 0100-714 [39], die sich auf das Harmonisierungsdokument HD 60364-7-714 bzw. auf IEC 60364-7-714 bezieht. Diese Norm betrifft ortsfeste Beleuchtungsanlagen im Freien, z. B. für die Beleuchtung von Straßen, Gärten, Plätzen, Sportstätten und Denkmälern, sowie Flutlichtanlagen. Auch die Innenbeleuchtung von Telefonzellen, Wartehäuschen, Hinweistafeln, Stadtplänen und Verkehrszeichen gehört zu diesem Geltungsbereich.

Die Norm gilt nicht für öffentliche Beleuchtungsanlagen, die Teil des öffentlichen Versorgungsnetzes sind. Sie gilt auch nicht für Signalanlagen, vorübergehend genutzte Girlandenbeleuchtung und für außen angebrachte, jedoch von innen versorgte Beleuchtungsanlagen wie z. B. Hausnummernleuchten und Hauseingangleuchten.

Im Gegensatz zu Innenräumen ist der Außenbereich durch höhere Temperaturschwankungen und eine von Innenräumen abweichende Atmosphäre gekennzeichnet. Für elektrische Betriebsmittel gelten folgende Anforderungen hinsichtlich äußerer Einflüsse:

- Umgebungstemperatur -40 °C bis $+40\text{ °C}$
- relative Feuchte 5 % bis 100 %
- Auftreten von Sprühwasser
- Auftreten von kleinen Fremdkörpern
- ggf. korrosive Stoffe
- mechanischer Schock
- Sonnenstrahlung.

Weitere Anforderungen:

- Gehäuse, in denen sich zugängliche aktive (spannungsführende) Teile befinden, sowie Türen für den Zugang zu den Betriebsmitteln (z. B. zum Kabelanschlusskasten), die sich

weniger als 2,5 m über der Standfläche befinden, dürfen nur mit Werkzeug zu öffnen sein.

- Leuchten in einer Höhe von weniger als 2,8 m über der Standfläche dürfen zum Zwecke des Lampenwechsels nur durch Werkzeug geöffnet werden können.
- Es wird eine Fehlerstromschutzeinrichtung RCD mit $I < 30$ mA empfohlen.
- Schutzart mindestens IP33. Eine Schutzart IP23 ist ausreichend, wenn die Verschmutzungsgefahr gering ist (wie in Wohn- oder ländlichen Gebieten) und die Leuchten mehr als 2,5 m über der Standfläche angeordnet sind.

Für landwirtschaftliche und gartenbauliche Betriebsstätten im Freien siehe nachfolgenden Abschnitt.

6.5 Landwirtschaftliche und gartenbauliche Betriebsstätten

Anforderungen an Niederspannungsanlagen dieser Betriebsstätten sind in der Norm DIN VDE 0100 – Teil 705 [36] enthalten. Sie basiert auf dem CENELEC Harmonisierungsdokument HD 60364-7-705 bzw. auf IEC 60364-7-705. Sie gelten für Anlagen sowohl im Freien als auch in Innenräumen, und zwar für:

- Ställe für Tiere, für Aufzucht- und Bruträume, für Räume und Bereiche der Intensiv-Tierhaltung (Schweinemästereien, Binnenfischerei, Teichwirtschaft) und für deren Nebenräume,



wie Futterküchen und Futteraufbereitung, für Melkstände sowie für Milchkammern

- Lager- und Vorratsräume wie Scheunen, Speicher für Stroh, Düngemittel und Getreide und für Gewächshäuser
- Räume, in denen landwirtschaftliche und gartenbauliche Erzeugnisse aufbereitet und weiterverarbeitet werden, wie z. B. Trocknen, Dämpfen, Pressen, Gären, Schlachten, Fleischverarbeitung usw.
- zu diesen Betriebsstätten gehörige Wohnungen und Nebenräume, wenn diese mit den landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Betriebsstätten durch metallische Rohrleitungen, Schutzleiter usw. verbunden sind.

In der festen Installation müssen Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit $I \leq 300$ mA im allgemeinen Bereich und mit $I \leq 30$ mA in Steckdosenkreisen eingesetzt werden. Steckdosen- und Leuchtenstromkreise müssen mit Überstromschutzschaltern bis 16 A geschützt werden.

Die gesamte Anlage (ggf. auch gebäude- oder abschnittsweise) muss durch jederzeit zugängliche, allpolige Schalter mit erkennbarer Schaltstellung freigeschaltet werden können (Ausnahme geerdeter Leiter). Falls der Betriebszustand von der Einschaltstelle aus nicht erkennbar ist, muss er durch ein gut sichtbares Lichtsignal angezeigt werden. Das gilt insbesondere für Lichtschalter.

Im Stand-, Liege- und Melkbereich müssen alle durch Großvieh berührbaren leitfähigen Teile durch einen zusätzlichen Potentialausgleich untereinander und mit dem Schutzleiter verbunden sein.

In den Errichtungsvorschriften sind besondere Anforderungen an die Installation von Kabeln und Leitungen, Schaltgeräten, Transformatoren, Maschinen, Steckvorrichtungen und Wärmergeräten und für die Intensiv-Tierhaltung aufgeführt.

Elektrische Betriebsmittel müssen mindestens der Schutzart IP44 entsprechen.

Leuchten müssen mindestens der Schutzart IP44 entsprechen, wenn kein Staub auftritt, und mindestens IP54 entsprechen, wenn Staub auftritt, was der Regelfall ist.

Betriebsmittel wie Leuchten müssen gegen mechanische Einwirkung sowie gegen Feuchtigkeit, Staub, stark chemisch angreifende Dämpfe (z. B. Ammoniak), Säuren oder Salze beständig sein (siehe auch Tabelle 5.20 in Kapitel 5.14.1 „Besondere Umgebungsbedingungen“).

Ganz wesentlich in landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Betriebsstätten ist der Brandschutz, der ebenfalls in der harmonisierten Norm DIN VDE 0100-0705 behandelt ist. Danach müssen Leuchten bei Anbringung in feuergefährdeten Bereichen mit Gefährdung durch brennbare Staubablagerungen auf Leuchten (z. B. Halogenstrahler) mit ∇ gekennzeichnet sein (siehe Kapitel 5.11 „Brandschutz“).

Leuchten sind nur an Stellen mit ausreichend großem Abstand zu brennbaren Materialien anzubringen. Stapelbare Stoffe und gefahrbringen-

de Arbeitsvorgänge (z. B. das Vorbeifahren mit solchen Materialien beladenen Fahrzeugen) sind dabei zu beachten.

Je nach der Gefährdungsart der landwirtschaftlichen Betriebsstätten sind zusätzlich zu DIN VDE 0100 – Teil 705 [36] auch DIN VDE 0100, Teil 520 [27] (betrifft feuergefährdete Betriebsstätten, Kapitel 6.1.1) und DIN VDE 0100-737 [42] (betrifft feuchte und nasse Bereiche und Räume) zu beachten.

6.6 Lebensmittelindustrie

Hohe Anforderungen werden international in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie an Hygiene und Bruchsicherheit aller Komponenten gestellt, die sich im Bereich der Fertigung befinden und zu Verunreinigungen der zu fertigenden Produkte führen könnten. Dies gilt auch für die Beleuchtung, denn Licht wird in dieser Industrie überall benötigt – zur Begutachtung der eingehenden Grundstoffe, zur Bedienung der Maschinen und Anlagen, zur Qualitätskontrolle des Endproduktes.

Internationale Standards und Normen legen hohe Anforderungen für die Reinheit der Lebensmittel fest und fordern umfangreiche Maßnahmen, wenn bei im Handel erhältlichen Produkten Verunreinigungen auftreten. Dieselben Regelwerke befassen sich daher auch mit der Ausstattung der Produktionsstätten und geben die konkreten Anforderungen vor. Angewendet werden insbesondere der **IFS (International Food Standard)**, der seinen Ursprung in den Vereinigten Staaten von Amerika hat, sowie der **BRC Global Standard Food** mit Ursprung in Großbritannien.

Es wird von jedem Unternehmen der Lebensmittelindustrie gefordert, dass es ein **HACCP-System (Hazard Analysis Critical Control Point)** einführt, um das Risiko zu minimieren. Für Teile von Anlagen in der Produktion gibt es keine Zulassung oder Einzelzertifizierung, aber die Forderung, dass auch der Lieferant sich der



Abbildung 6.4:
DQS-Zertifikat,
Leuchten für Lebens-
mittelindustrie

zu beachtenden Standards bewusst ist und die erforderlichen Regeln zur Identifizierung und Bewertung von gesundheitlichen Gefahren unter besonderer Berücksichtigung von Splitterschutz, Reinigung und Wartung sowie der chemischen und mechanischen Beständigkeit anerkennt. Der Bericht eines durchgeführten Audits dokumentiert, dass das beim Lieferanten eingeführte HACCP-System die Forderungen der DIN 10500 [2] erfüllt.

Auf dieser Basis kann vom Hersteller bescheinigt werden, dass bestimmte Produkte für den Einsatz in nach oben genannten Standards zertifizierten Lebensmittelunternehmen geeignet sind (siehe auch Abbildung 6.4).

6.7 Reinräume

Die Anforderungen an Reinräume sind sehr unterschiedlich, wie auch die Tätigkeiten, die in ihnen verübt werden. Vom Operationsraum in einer Klinik über die Medikamentenfertigung in der pharmazeutischen Industrie bis hin zur

Chipfertigung in der Mikroelektronik sollen Kontaminationen mit unerwünschten Partikeln vermieden werden.

International existieren unterschiedliche Normen, die Räume bzgl. der Größe und Konzentration von Partikeln in der Raumluft in Reinheitsklassen einteilen (siehe Tabellen 6.4). In der Anwendung weit verbreitet sind die internationale und in das europäische und deutsche Normensystem übernommene Norm EN ISO 14644-1 [88] sowie die VDI-Richtlinie 2083 [170].

Die Kriterien, die an technische GGeräte wie z. B. Leuchten in Reinräumen gestellt werden, sind dabei vielfältig und sehr unterschiedlich. Es reicht nicht aus, dass Leuchten einfach nur staubdicht sind, so dass sie keinen Staub in ihr Inneres aufnehmen oder aus ihrem Inneren abgeben könnten. Wichtig ist bei Anwendungen mit hohen Anforderungen häufig auch die Form und Beschaffenheit der Oberfläche. Dies ist damit zu erklären, dass z. B. in einigen Fällen die Reinhaltung der Luft eine permanente Belüftung mit laminarer Luftströmung erfordert. Auch dürfen

Maximale Partikelanzahl je m³

Klasse	≥ 0,1 µm	≥ 0,2 µm	≥ 0,3 µm	≥ 0,5 µm	≥ 1,0 µm	≥ 5,0 µm
ISO 1	10	2				
ISO 2	100	24	10	4		
ISO 3	1.000	237	102	< 35	8	
ISO 4	10.000	2.370	1.020	352	83	
ISO 5	100.000	23.700	10.200	3.520	832	29
ISO 6	1.000.000	237.000	102.000	35.200	8.320	293
ISO 7				352.000	83.200	2.930
ISO 8				3.520.000	832.000	29.300
ISO 9				35.200.000	8.320.000	293.000

Tabelle 6.4:
Reinraumklassen
gemäß
EN ISO 14644-1 [91]

Maximale Partikelanzahl je m³

Klasse	≥ 0,1 µm	≥ 0,2 µm	≥ 0,3 µm	≥ 0,5 µm	≥ 1,0 µm	≥ 5,0 µm
0	150	33	14			
1	1.500	330	140	45		
2	15.000	3.300	1.400	450		
3		33.000	14.000	4.500		
4				45.000	10.000	300
5				450.000	100.000	3.000
6				4.500.000	1.000.000	30.000

Tabelle 6.5:
Reinraumklassen
gemäß VDI-Richtlinie
2083 [174]

Partikel sich nicht auf der Oberfläche festsetzen und dort ansammeln.

Die Prüfung der Tauglichkeit einer Leuchte für den Einsatz in Reinräumen ist daher mit einer Reihe von Tests verbunden, deren Bestehen mit einem Zertifikat für die jeweils spezifisch getestete Leuchtenbauform ausgewiesen werden kann. TRILUX lässt seine Reinraumleuchten für hohe Ansprüche beim Fraunhofer Institut IPA in Stuttgart zertifizieren (siehe Abbildung 6.5). Die Zertifikate können beim technischen Support angefragt werden.

6.8 Anforderungen an medizinisch genutzte Räume

Die Sicherheit der Patienten und des medizinischen Personals in medizinisch genutzten Räumen ist Gegenstand der Norm DIN VDE 0100-710 „Errichten von Niederspannungsanlagen, Anforderungen an Betriebsstätten, Räumen und Anlagen besonderer Art, Teil 710: medizinisch

genutzte Räume“ [37]. Parallel wird bei IEC an einer entsprechenden Norm IEC 60364-7-710 „Electrical installations – Part 7-7-10: Requirements for special installations or locations – Medical locations“ gearbeitet, deren gegenwärtiger Beratungsstand noch nicht das Sicherheitsniveau für die allgemein hohe medizinische Ausstattung in Deutschland erreicht hat. Auf europäischer Ebene (CENELEC) liegt ein Harmonisierungsdokument HD 60364-7-710:2012 vor, auf das sich die DIN VDE 0100-710 [37] bezieht.

Medizinisch genutzte Räume sind:

- Krankenhäuser und Kliniken, auch in Containerbauweise
- Sanatorien und Kurkliniken
- Senioren- und Pflegeheime
- Ärztehäuser, Polikliniken und Ambulatorien
- Arztpraxen und Dentalpraxen
- sonstige ambulante Einrichtungen z. B. der Betriebs-, Sport- und anderer Ärzte

Medizinisch genutzte Bereiche werden je nach dem Kontakt von Mensch und Tier mit elektrischen Geräten oder Teilen davon in Gruppen eingeteilt (Beispiele siehe Tabelle 6.6):

- Gruppe 0: kein körperlicher Kontakt mit Teilen medizinischer Geräte
- Gruppe 1: äußerlicher oder invasiver Kontakt mit Teilen elektrischer Geräte
- Gruppe 2: direkter Kontakt zwischen dem Herzen (intrakardialer Kontakt) mit Teilen elektrischer Geräte, z. B. im Operationsraum oder bei lebenswichtiger Behandlung, die bei Fehlern in der Stromversorgung Lebensgefahren verursachen können

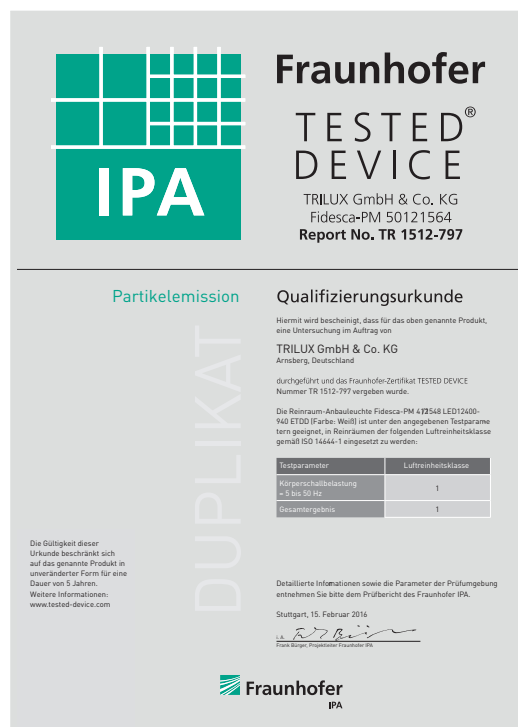


Abbildung 6.5: Qualifizierungsurkunde für eine Leuchte für die Tauglichkeit zum Einsatz in Reinräumen

Medizinischer Bereich	Gruppe			Unterbrechungszeit	
	0	1	2	≤ 0,5 s	≤ 15 s
1. Massageraum	•			•	•
2. Bettenraum		•		•	
3. Entbindungsraum		•		•	
4. EKG-, EEG-, EMG-Raum		•		•	
5. Endoskopieraum		•*)			•*)
6. Untersuchungs- und Behandlungsraum		•		•	
7. Urologieraum		•*)			•*)
8. Radiologischer Diagnostik- und Behandlungsraum, außer Nuklearmedizin (Ziffer 21)		•			•
9. Hydrotherapieraum		•			•
10. Physiotherapieraum		•		•	•
11. Anästhesieraum			•	•	•
12. Operationsraum			•	•	•
13. Operations-Vorbereitungsraum		•	•	•	•
14. Operations-Gipsraum		•	•	•	•
15. Operations-Aufwachraum		•	•	•	•
16. Herzkatheterraum			•	•	•
17. Intensivpflegeraum			•	•	•
18. Angiographieraum			•		•
19. Hämodialyseraum		•			•
20. Magnetfeld-Behandlungsraum (MRT)		•			•
21. Nuklearmedizinraum		•		•	•
22. Frühgeborenenraum			•	•	•

Unterbrechungszeit ≤ 0,5 s bedeutet, dass die Beleuchtung und lebenswichtige medizinische Einrichtungen in diesem Bereich eine Stromversorgung innerhalb von 0,5 s benötigen.

*) Wenn es kein Operationsraum ist.

Tabelle 6.6:
Zuordnung von medizinischen Bereichen zu den Gruppen 0, 1 und 2 und zulässige Unterbrechungszeit der allgemeinen Stromversorgung bis zum Eintreten der Sicherheitsstromversorgung nach DIN VDE 0100-710

6.8.1 Potentialausgleich

In medizinisch genutzten Bereichen der Gruppen 1 und 2 müssen folgende leitfähigen Teile mit einem zusätzlichen Potentialausgleich und einer Potentialausgleichsschiene verbunden sein, um Potentialdifferenzen zwischen den Teilen zu vermeiden:

- Schutzleiter
- fremde leitfähige Teile
- Abschirmungen gegen elektrische Störfelder
- Verbindungen zu ableitfähigen Fußböden
- ortsfeste, nicht elektrisch betriebene Operationstische, die nicht mit dem Schutzleiter verbunden sind

In medizinisch genutzten Bereichen der Gruppe 2 sind in der Nähe des Patienten Potentialaus-

gleichsbolzen nach DIN 42801 [6] für den Anschluss ortsveränderlicher medizinischer Geräte bzw. Operationsleuchten vorzusehen. Fest installierte medizinische Geräte und medizinische Versorgungseinheiten nach DIN EN ISO 11197 [90] mit eingebautem Potentialanschlussbolzen, die einen Schutzleiteranschluss haben, brauchen nicht zusätzlich in den Potentialausgleich einbezogen zu werden.

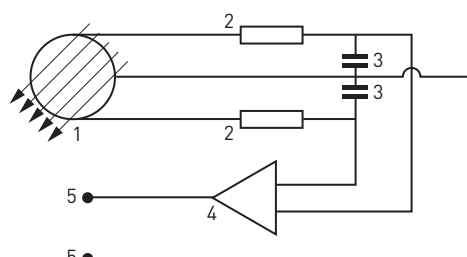


Abbildung 6.6:
Messanordnung für die magnetische Induktion nach EN ISO 11197 [90]
1 genormte Prüfspule
2 Widerstände
3 Kondensatoren
4 Verstärker
5 Ausgangsspannung 0,1 V entsprechend 1 µT

6.8.2 Schutz gegen elektromagnetische Störungen

Um Störungen bei der Aufnahme von EMG (Elektromyogrammen), EKG (Elektrokardiogrammen) bzw. EEG (Elektroenzephalogrammen) zu vermeiden, darf die magnetische Induktion netzfrequenter magnetischer Felder am Patientenplatz folgende Werte nicht überschreiten:

- $1 \cdot 10^{-7} \text{ T} = 0,1 \text{ } \mu\text{T}$ bei EMG
- $2 \cdot 10^{-7} \text{ T} = 0,2 \text{ } \mu\text{T}$ bei EEG
- $4 \cdot 10^{-7} \text{ T} = 0,4 \text{ } \mu\text{T}$ bei EKG

Die EKG-Grenzwerte werden im Allgemeinen eingehalten, wenn zwischen dem elektrischen Betriebsmittel (Störer) und dem Patientenplatz folgende Mindestabstände in allen Richtungen eingehalten werden:

- bei induktiven Betriebsmitteln großer Leistung, wie Transformatoren der Starkstromanlage und ortsfesten Motoren bis 3 kW, Mindestabstand 6 m
- bei mehradrigen Kabeln und Leitungen der Starkstromanlage mit einem Leiterquerschnitt von 10 bis 70 mm² Mindestabstand 3 m, von 95 bis 185 mm² Mindestabstand 6 m und von mehr als 185 mm² Mindestabstand 9 m
- bei medizinischen Versorgungseinheiten in einem Mindestabstand von 0,75 m.

Bei einadrigen Kabeln und Stromschienensystemen können größere Abstände notwendig sein.

Magnetische Vorschaltgeräte und elektronische Vorschaltgeräte für Leuchtstofflampen und Betriebsgeräte für LED-Leuchtmittel stellen keine realistische Störgefahr für EEG- und EKG-Messungen dar.

In EN ISO 11197 [90] ist ein Blockschaltbild einer Messanordnung für die magnetische Induktion angegeben. Für den darin enthaltenen Verstärker kann auch ein EKG-Gerät mit entsprechender Kalibrierung verwendet werden (siehe auch Kapitel 4.5 „Beleuchtung von Räumen des Gesundheitswesens“).

6.8.3 Sicherheitsbeleuchtung

Zusätzlich zu DIN VDE 0100-710 [37] sind weitere Vorschriften und gesetzliche Regelungen zur Not- und Sicherheitsbeleuchtung zu beachten, siehe auch Kapitel 3.9 „Notbeleuchtung“ und 6.9 „Notbeleuchtungsanlagen“.

Bei Ausfall der allgemeinen Stromversorgung in medizinisch genutzten Gebäuden muss die Mindestbeleuchtungsstärke nach EN 1838 [58] durch die Sicherheitsstromversorgung für folgende Einrichtungen zur Verfügung stehen:

- Rettungswege
- Beleuchtung von Ausgangswegweisern
- Schaltanlagen über 1 kV
- Standorte für Schalt- und Steuergeräte, für Sicherheitsstromquellen und für Hauptverteiler der allgemeinen Stromversorgung und der Sicherheitsstromversorgung und deren Zugänge
- medizinisch genutzte Bereiche der Gruppe 1: Im Raum muss mindestens eine Leuchte von der Sicherheitsstromversorgung eingespeist sein.
- medizinisch genutzte Räume der Gruppe 2
- Räume, in denen wichtige Dienste aufrechterhalten werden. Dazu können auch Räume der Gruppe 0 gehören. In jedem dieser Räume muss mindestens eine Leuchte von der Sicherheitsstromversorgung eingespeist sein.

Die Umschaltzeit der Sicherheitsstromversorgung darf 15 s nicht überschreiten.

Für bestimmte ortsfeste elektrische Anlagen in medizinisch genutzten Bereichen können auch kürzere Umschaltzeiten (siehe Tabelle 6.6) bzw. sogar ein unterbrechungsfreier Betrieb erforderlich sein.

Operationsleuchten nach DIN EN 60601-2-41 [73] und andere unentbehrliche Leuchten müssen aus einer zusätzlichen Sicherheitsstromversorgung für eine Versorgungsdauer von mindestens 3 h weiterbetrieben werden können. Die Umschaltzeit für diese Leuchten darf maximal 0,5 s betragen.

Zu den unentbehrlichen Leuchten können auch Lichtquellen für die endoskopische OP-Feldbeleuchtung (mikroinvasive Chirurgie) gehören.

6.9 Notbeleuchtungsanlagen

Notbeleuchtung wird bei einer Störung der allgemeinen Stromversorgung wirksam. Sie soll ein ungehindertes Fortführen der Arbeit ermöglichen (Ersatzbeleuchtung) bzw. ein gefahrloses Beenden der Arbeit und ein sicheres Verlassen der Arbeitsräume gewährleisten (Sicherheitsbeleuchtung). Die Sicherheitsbeleuchtung ihrerseits wird wiederum unterteilt in „Sicherheitsbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung“, in „Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege“ und in die „Antipanikbeleuchtung“ (siehe auch Kapitel [3.9](#) „Notbeleuchtung“).

Bei Ausfall der allgemeinen Stromversorgung entstehen Unfallgefahren. Daher hat der Gesetzgeber mit der europäischen Arbeitsstätten-Richtlinie 89/654/EWG „Mindestvorschriften über Sicherheit und Gesundheit in Arbeitsstätten“ [\[148\]](#) für Arbeitsstätten eine Notbeleuchtung vorgeschrieben. In Deutschland ist diese Richtlinie mit der Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) [\[148\]](#) in nationales Recht übernommen worden. Ähnliches gilt auch für die übrigen EU-Länder. Dem gleichen Schutzziel dient auch die EU-Richtlinie

92/58/EWG [\[150\]](#) über Mindestvorschriften für die Sicherheits- und/oder Gesundheitsschutz-Kennzeichnung am Arbeitsplatz. Sie regelt die Gestaltung von Sicherheitskennzeichen, z.B. zur Rettungswegkennzeichnung, die ebenfalls bei Netzausfall durch Notstrom versorgt sein müssen.

6.9.1 Regelwerke

Not- und Sicherheitsbeleuchtung ist in vielen europäischen Ländern seit Langem mit Gesetzen und Verordnungen erfasst. Daher ist in diesem Bereich die Harmonisierung bestehender Normen noch nicht abgeschlossen.

Seit August 2004 gilt die Norm EN 50172 „Sicherheitsbeleuchtungsanlagen“ [\[59\]](#), die im Januar 2005 in Deutschland als DIN EN 50172 (VDE 0108-Teil 100 [\[59\]](#)) veröffentlicht wurde. Sie gilt für die Kennzeichnung und die Beleuchtung von Rettungswegen bei Störung der allgemeinen Stromversorgung in Arbeitsstätten und baulichen Anlagen für Menschenansammlungen. Sie enthält Definitionen und allgemeine Festlegungen, auf die man sich europaweit einigen konnte, jedoch keine detaillierten und zahlenmäßigen Anforderungen. Hinsichtlich der lichttechnischen Anforderungen an die Sicherheitsbeleuchtung wird auf EN 1838 „Notbeleuchtung“ [\[58\]](#) (siehe



Kapitel [3.9](#)) und hinsichtlich der Leuchten für die Sicherheitsbeleuchtung auf EN 60598-2-22 [\[70\]](#) verwiesen.

Bis zum 1.3.2007 mussten nationale Normen, die der europäischen Norm EN 50172 [\[59\]](#) entgegenstehen, zurückgezogen sein.

Die Anzahl der nationalen Abweichungen zur Norm EN 50172 [\[59\]](#) aufgrund nationaler Rechtsvorschriften unterstreicht weiterhin den schwierigen Harmonisierungsprozess. So hat z. B. Italien sieben Dekrete und Frankreich ebenfalls eine Vielzahl nationaler Rechtsvorschriften zum Thema Notbeleuchtung, die in diesen Ländern Vorrang vor einer europäischen Norm haben.

Auch in Deutschland sind durch die Arbeitsstättenverordnung, die Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaften sowie durch Festlegungen in den Landesbauordnungen der einzelnen Bundesländer für Versammlungsstätten, Hotels, Verkaufsstätten und andere Bereiche gesetzliche Vorgaben zur Notbeleuchtung erlassen worden.

Für Deutschland ist zudem die Normenreihe DIN VDE 0108 von 1989 inzwischen in eine Vornorm DIN V VDE V 0108-100, „Sicherheitsbeleuchtungsanlagen“ [\[46\]](#) (VDE V 0108-100) umgewandelt worden, zum Hinweis, dass von deutscher Seite Änderungen an der EN 50172 [\[59\]](#) gewünscht werden. Darin sind bereits einige konkrete Anforderungen an die Sicherheitsbeleuchtung enthalten (Tabelle 6.7).

Ob eine Not- bzw. Sicherheitsbeleuchtung vorgeschrieben ist oder nicht, wird durch gesetzliche Bestimmungen festgelegt. Wenn sie erforderlich ist, gelten die lichttechnischen Anforderungen nach EN 1838 [\[58\]](#).

Für die Elektroanlage gilt die Norm DIN VDE 0100-560 „Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 5-56: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Einrichtungen für Sicherheitszwecke“ [\[32\]](#); deutsche Übernahme HD 60364-5-56:2010.

6.9.2 Begriffe

Antipanikbereich nach EN 50172 [\[59\]](#): Bereiche mit nicht gekennzeichneten Rettungswegen in Hallen größer als 60 m² oder in kleinere Flächen, wenn dort ein zusätzliches Risiko gegeben ist, z. B. bei Nutzung durch eine größere Menschenansammlung

Notleuchte in Dauerschaltung nach EN 50172 [\[59\]](#): Leuchte, bei der die Lampen für die Notbeleuchtung immer dann ständig gespeist werden, wenn allgemeine Beleuchtung oder Notbeleuchtung erforderlich ist.

Notleuchte in Bereitschaftsschaltung nach EN 50172: Leuchte, bei der die Lampen für die Notbeleuchtung nur dann eingeschaltet sind, wenn die Stromversorgung für die allgemeine Beleuchtung ausfällt

Hinterleuchtetes Sicherheitszeichen nach EN 50172 [\[59\]](#): Zeichen, das, wenn es erforderlich ist, von einer internen Lichtquelle beleuchtet wird

Beleuchtetes Sicherheitszeichen nach EN 50172 [\[59\]](#): Zeichen, das, wenn es erforderlich ist, von einer externen Lichtquelle beleuchtet wird

Erforderliche Batteriebetriebszeit nach EN 50172 [\[59\]](#): Dauer des Batterie-Notbetriebs, der für die Funktion erforderlich ist

Bemessungsbetriebsdauer nach EN 50172 [\[59\]](#): vom Hersteller angegebene Dauer, in der der Bemessungslichtstrom abgegeben wird

Umschaltzeit nach DIN VDE 0100-718 [\[40\]](#): Zeit zwischen dem Erkennen des Ausfalls der allgemeinen Stromversorgung und dem Zeitpunkt des Wirksamwerdens der Stromquelle für Sicherheitszwecke. EN 1838 [\[58\]](#) unterscheidet zwischen der Einschaltverzögerung bis zum Erreichen von 50 % bzw. 100 % des Wartungswertes der Beleuchtungsstärke.

6.9.3 Anforderungen

In der Norm DIN V VDE V 0108-100:2010-08 [46] sind allgemeine Anforderungen und je nach baulicher Anlage spezielle Anforderungen zur Sicherheitsbeleuchtung enthalten (Tabelle 6.7). Insbesondere wurde z.B. für folgende Anwendungsbereiche eine Sicherheitsbeleuchtung vorgeschrieben:

- Rettungswege
- besondere Räume für Ersatzstromaggregate, Hauptverteiler der allgemeinen und der Sicherheitsstromversorgung, für Schaltanlagen über 1 kV
- Arbeitsräume mit mehr als 50 m²
- Versammlungsstätten, Schulen und Museen für mehr als 200 Personen
- Mittel- und Vollbühnen, einschließlich der Bühnenerweiterung
- Bühnenbetriebsräume, Probebühnen, Chor- und Ballettübungsräume, Orchesterübungsräume, Stimmzimmer, Aufenthaltsraum für Mitwirkende, Bildwerferräume, Manegen, Sportrennbahnen
- Räume mit Bühnen und Szenenflächen für Filmvorführungen sowie Bild- und Tonvorführungen für mehr als 100 Personen
- Geschäftshäuser und bauliche Anlagen mit mehr als 50 m² großen Verkaufsräumen

Beispiele baulicher Anlagen für Menschenansammlungen

Anforderungen

	Beleuchtungsstärke in lx	Umschaltzeit in Sekunden	Bemessungsbetriebsdauer der Stromquelle für Sicherheitszwecke in h	Be- oder hinterleuchtetes Sicherheitszeichen in Dauerbetrieb	Zentrales Stromversorgungssystem – CPS	Stromversorgungssystem mit Leistungsbegrenzung – LPS	Einzelbatteriesystem	Stromerzeugungsaggregat ohne Unterbrechung (0 s)	Stromerzeugungsaggregat kurze Unterbrechung (0,5 s)	Stromerzeugungsaggregat mittlere Unterbrechung (15 s)	Besonders gesichertes Netz
Versammlungsstätten, Theater, Kinos	²⁾ 1	1	3	x	x	x	-	x	x	-	-
Ausstellungshallen	²⁾ 1	3	3	x	x	x	-	x	x	-	-
Verkaufsstätten	²⁾ 1	3	3	x	x	x	-	x	x	-	-
Restaurants	²⁾ 1	3	3	x	x	x	x	x	x	-	-
Beherbergungsstätten, Heime	²⁾ 15 ¹⁾	15 ¹⁾	8 ⁴⁾	x	x	x	x	x	x	x	-
Schulen	²⁾ 15 ¹⁾	15 ¹⁾	3	x	x	x	x	x	x	x	-
Parkhäuser, Tiefgaragen	²⁾ 15	15	1	x	x	x	x	x	x	x	-
Flughäfen, Bahnhöfe	²⁾ 1	1	3 ⁵⁾	x	x	x	x	x	x	-	-
Hochhäuser	²⁾ 15 ¹⁾	15 ¹⁾	3	x	x	x	x	x	x	x	-
Wohnhochhäuser	²⁾ 15 ¹⁾	15 ¹⁾	8 ⁴⁾	x	x	x	x	x	x	x	-
Rettungswege in Arbeitsstätten	²⁾ 15	15	1	x	x	x	x	x	x	x	x
Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung	²⁾ 0,5	0,5	³⁾	x	x	x	x	x	x	-	x
Bühnen	3	1	3	x	x	x	-	x	x	-	-

¹⁾ Je nach Panikrisiko von 1 s bis 15 s

²⁾ Beleuchtungsstärke der Sicherheitsbeleuchtung nach EN 1838 [58]

³⁾ Der Zeitraum der für die Personen bestehenden Gefährdung

⁴⁾ In besonderen Fällen, z.B. wenn genügend Tageslicht vorhanden ist und deswegen die Sicherheitsbeleuchtung mit der Allgemeinbeleuchtung geschaltet wird, 3 h

⁵⁾ Für oberirdische Bereiche von Bahnhöfen ist je nach Evakuierungskonzept auch 1 h zulässig
 x zulässig
 - nicht relevant

Tabelle 6.7: Anforderungen an Sicherheitsbeleuchtungsanlagen nach DIN V VDE V 0108-100 [46]

- Verkaufsräume und Ausstellungsräume (einzeln oder zusammen) mit mehr als 2.000 m² Nutzfläche
- baulichen Anlagen mit mehr als 50 m² großen Ausstellungsräumen (ausgenommen Ausstellungsstände in großen Ausstellungshallen oder -zelten)
- Schank- und Speisewirtschaften mit mehr als 400 Gastplätzen
- Beherbergungsbetriebe mit mehr als 60 Gästebetten
- Hochhäuser mit Räumen, deren Fußboden mehr als 22 m über der festgelegten Geländeoberfläche liegt (gilt nicht für Wohnungen)
- geschlossene Großgaragen mit einer Nutzfläche von mehr als 1.000 m²
- Schulen aller Art, in denen gleichzeitig eine größere Anzahl von Personen regelmäßig unterrichtet wird und in denen mindestens ein Geschoss eine Fläche von mehr als 3.000 m² hat
- fensterlose Unterrichtsräume
- verdunkelte Fachräume.

Grundlegende Anforderungen an die Sicherheitsbeleuchtung nach DIN V VDE V 0108-100 [46] sind folgende Punkte:

- Die Sicherheitsbeleuchtung stellt sicher, dass bei Ausfall der allgemeinen Stromversorgung die Beleuchtung unverzüglich automatisch und für eine vorgegebene Zeit in einem festgelegten Bereich zur Verfügung gestellt wird.
- Die Anlage muss die Beleuchtung der Rettungswegzeichen, der Wege zu den Ausgängen bis in den sicheren Bereich und der Brandbekämpfungseinrichtungen oder Meldeeinrichtungen entlang der Rettungswege sicherstellen sowie Arbeiten in Verbindung mit Sicherheitsmaßnahmen ermöglichen.
- Wenn ein Ausgang nicht unmittelbar gesehen werden kann, muss ein Richtungszeichen (oder eine Folge von Rettungszeichen) vorgesehen und so angebracht werden, dass eine Person sicher zu einem Notausgang geleitet wird. Die Rettungszeichen müssen von allen Punkten entlang des Rettungswegs sichtbar sein.
- Alle Zeichen, die Ausgänge oder Rettungswege kennzeichnen, müssen in Farbe und Gestal-

tung einheitlich sein (siehe DIN 4844 [7]) und EN 1838 [58] entsprechen. In Bereichen, in denen sich ortsunkundige Personen aufhalten, sind Rettungszeichen in Dauerschaltung zu betreiben.

- Die Lichtquellen für be- oder hinterleuchtete Sicherheitszeichen müssen in Dauerschaltung ausgeführt und Teil der Sicherheitsbeleuchtung sein. Um eine sichere Stelle zu erreichen, wo Personen keiner Gefahr mehr ausgesetzt sind, sollte die Beleuchtungsstärke im Bereich unmittelbar außerhalb des Endausgangs die Anforderungen für Rettungswege nach EN 1838 [58] erfüllen.
- Dunkelheit infolge von Stromausfall in Aufzügen kann bei Menschen aufgrund der Ängste, für unbestimmte Zeit auf kleinem Raum eingeschlossen zu sein, zu Schäden führen. Daher muss in einer Aufzugskabine, die für Personen zugelassen ist, eine Sicherheitsbeleuchtung als Antipanikbeleuchtung nach EN 1838 [58] vorgesehen sein. Dabei wird eine feuergeschützte Zuleitung gefordert.
- Leuchten für die Sicherheitsbeleuchtung müssen EN 60598-2-22 [70] entsprechen.
- Leuchten der Sicherheitsbeleuchtung müssen leicht und sicher erkannt und rot oder grün sowie mit der Verteiler-, der Stromkreis- und der Leuchtennummer gekennzeichnet sein.

Ferner schreibt DIN VDE 0100-718 [40] vor: Wenn die allgemeine Beleuchtung eines Raumes z. B. in Versammlungsstätten, Ausstellungshallen, Theatern, Kinos oder Sportarenen für eine betriebliche Verdunkelung gedimmt oder geschaltet werden soll, ist es erforderlich, eine besondere Beleuchtung für Hilfs- und Ordnungsmaßnahmen mit mindestens den lichttechnischen Anforderungen der Sicherheitsbeleuchtung vorzusehen. Diese muss von der Aufsichtsperson leicht einschaltbar sein. Dies gilt nicht für Arbeitsstätten.

Die wesentlichen Anforderungen nach DIN V VDE V 0108-100 [46], die in eine überarbeitete Norm EN 50172 [59] einfließen sollen, sind in Tabelle 6.7 enthalten.

6.9.4 Ersatzstromquellen

Ersatzstromquellen liefern nach Ausfall bzw. Absinken der Spannung der allgemeinen Stromversorgung für eine begrenzte Zeit die elektrische Energie für die Versorgung der notwendigen Sicherheitseinrichtungen. Die Umschaltung auf Sicherheitsstromversorgung muss erfolgen, wenn die Spannung der allgemeinen Stromversorgung über einen Zeitraum von mehr als 0,5 s um mehr als 15 % gesunken ist. Bei mehr als 85 % der Bemessungsspannung muss innerhalb von 1 min auf Netzbetrieb zurückgeschaltet werden.

Ersatzstromquellen sind:

- Einzelbatterie, wartungsfrei, mit Lade-, Umschalt- und Kontrolleinrichtung sowie Tiefentladeschutz, maximal für zwei Sicherheits- bzw. Rettungszeichenleuchten zulässig; Einzelbatteriesysteme müssen EN 60598-2-22 [70] entsprechen.
- Gruppenbatterie, wartungsfrei, mit Lade- und Kontrolleinrichtung, für Sicherheitseinrichtungen von maximal 300 W bei dreistündiger bzw. 900 W bei einstündiger Betriebsdauer zulässig
- Zentralbatterie mit Lade-, Umschalt- und Kontrolleinrichtung sowie Tiefentladeschutz, ohne Leistungsbeschränkung für die gesamte Sicherheitseinrichtung zulässig; batteriebetriebene zentrale Stromversorgungssysteme müssen EN IEC 62485-2 (VDE 0510-485-2) [21] entsprechen.
- Ersatzstromaggregat, bestehend aus Dieselmotor und Generator, mit einer Umschaltzeit von maximal 15 s; Hubkolben-Verbrennungsmotoren zum Antrieb von Wechselspannungs-Generatoren müssen entsprechend ISO 8528-12 [104] konstruiert sein.
- Schnellbereitschaftsaggregat mit einer Umschaltzeit von maximal 0,5 s; hierbei dient ein Energiespeicher zur kurzzeitigen Energieversorgung der Verbraucher und zum Hochfahren des Ersatzstromaggregats.
- Sofortbereitschaftsaggregat ist ein Stromerzeugungsggregat ohne Umschaltzeit. Ein Energiespeicher versorgt kurzzeitig die Ver-

braucher und einen Elektromotor zum schnellen Hochfahren der Kraftmaschine des Ersatzstromaggregats.

- Besonders gesicherte Netze haben zwei voneinander unabhängige Einspeisungen der Sicherheitseinrichtungen.

Der Betrieb von Beleuchtungsanlagen über Stromerzeugungsggregat oder durch besonders gesicherte Netze ist dann möglich, wenn die elektrischen Kenngrößen (Spannung, Frequenz) mit den Nennbetriebsdaten der Leuchten übereinstimmen. In Zweifelsfällen sollte der Leuchtenhersteller befragt werden.

6.9.5 Schaltungsarten

Sicherheitsbeleuchtung kann in Dauerschaltung oder Bereitschaftsschaltung erfolgen.

Bei **Dauerschaltung** werden Sicherheitsleuchten aus dem Allgemeinbeleuchtungsnetz und bei dessen Ausfall oder Störung aus der Ersatzstromquelle gespeist. Bei Wiederkehr der allgemeinen Stromversorgung muss selbsttätig auf diese zurückgeschaltet werden. Bei Dauerschaltung sind zwei Betriebsarten zu unterscheiden:

- Im Umschaltbetrieb sind Sicherheitsleuchten nur bei Netzausfall mit der Ersatzstromquelle verbunden, ansonsten werden sie aus dem allgemeinen Netz gespeist.
- Im Bereitschaftsparallelbetrieb sind Sicherheitsleuchten ständig an die Ersatzstromquelle angeschlossen.

Bei **Bereitschaftsschaltung** sind Sicherheitsleuchten im Normalbetrieb nicht eingeschaltet. Erst bei Netzausfall oder -störung erfolgt die Einschaltung. Die Sicherheitsbeleuchtung muss bei Wiederkehr der Spannung selbständig wieder ausschalten. In Räumen, in denen Bereitschaftsschaltung vorgesehen ist, müssen die Leuchten der Allgemeinbeleuchtung auf mindestens zwei Stromkreise aufgeteilt werden.

Die Netzüberwachung, mit Ausnahme von Einzelbatteriesystemen, erfolgt bei Dauerschaltung im Hauptverteiler, bei Bereitschaftsschaltung im Unterverteiler.

6.9.6 Prüfung

Sicherheitsbeleuchtungsanlagen müssen regelmäßig geprüft und gewartet werden. Dazu ist eine fachkundige Person zu bestimmen. Werden automatische Prüfeinrichtungen benutzt, so sind die Informationen monatlich aufzuzeichnen. Bei allen anderen Systemen sind die Prüfungen gemäß Tabelle 6.8 durchzuführen.

Bei normgerechten, automatischen Prüfeinrichtungen, bei denen die Batterieladung ständig oder in Intervallen < 5 min periodisch überwacht wird, entfallen manuelle Prüfprozeduren. Darüber hinaus werden Umschaltung und Funktion der angeschlossenen Verbraucher bei Einzelbatterien wöchentlich und bei Zentral- und Gruppenbatterien täglich geprüft. Automatische Prüfeinrichtungen müssen Störungen melden und registrieren. Automatische Testeinrichtungen zur Überwachung der Sicherheitsbeleuchtung müssen EN 62034 [83] (VDE 0711-400) entsprechen.

Der vom Leuchtenhersteller angegebene Lichtstrom eines Einzelbatterieversorgungssystems muss bis zum Ende der Nennbetriebsdauer (üblicherweise 1 h oder 3 h) gewährleistet werden. Für den Betrieb an Gleichspannung geeignete Leuchten können bei Netzausfall über Gruppen- oder Zentralbatterien mit 220 V Gleichspannung versorgt werden. Bei geringeren Spannungen sind spezielle Geräte erforderlich. Ggf. muss berücksichtigt werden, dass im Gleichspannungsbetrieb ein vom Wechselspannungsbetrieb abweichender Lichtstrom von der Leuchte bereitgestellt wird.

Prüfzeit	Prüfaufgabe
täglich	Anzeigen der zentralen Stromversorgungsanlage auf Funktion prüfen (Sichtprüfung)
wöchentlich	Funktionsprüfung der Sicherheitsbeleuchtung, der Notleuchten und der Leuchten für die Sicherheitskennzeichnung (z. B. Rettungszeichenleuchten) bei zugeschalteter Sicherheitsstromquelle
monatlich	Simulation des Netzausfalls und Funktionsprüfung aller Leuchten und Zeichen. Rückschaltung auf Netzbetrieb und Funktionsprüfung aller Meldelampen und Meldegeräte. Bei Zentralbatterieanlagen muss zusätzlich der korrekte Betrieb der Überwachungseinrichtung geprüft werden.
jährlich	Alle Leuchten und Zeichen müssen über die volle, vom Hersteller angegebene Betriebsdauer geprüft werden. Rückschaltung auf Netzbetrieb und Funktionsprüfung aller Meldelampen und Meldegeräte. Funktionsprüfung der Ladeeinrichtung. Protokollierung der Prüfung und der Prüfergebnisse. Für Generatorsätze gelten die Anforderungen nach ISO 8528-12 [104].
spätestens alle drei Jahre	Messung der Beleuchtungsstärke der Sicherheitsbeleuchtung

Tabelle 6.8:
Prüfung der Sicherheitsbeleuchtungsanlage nach DIN VDE 0108-100 [59]



LEUCHTEN- AUSWAHLTABELLE

7.0

LEUCHTENAUSWAHLTABELLE

7.0

Leuchtauswahltabelle

Die Norm DIN VDE 0100-559 „Errichten von Niederspannungsanlagen, Teil 5-55: Auswahl und Errichten elektrischer Betriebsmittel – Andere Betriebsmittel – Abschnitt 559: Leuchten und Beleuchtungsanlagen“ (Ausgabe 2014, identisch mit dem CENELECHarmonisierungsdokument HD 60364-5-559:2012) bestimmt, dass Leuchten nach den Herstellerangaben ausgewählt werden und EN 60598 entsprechen müssen.

Im Anhang von DIN VDE 0100-559 (Harmonisierungsdokument HD 60364-5-559:2012) sind Erläuterungen der in Leuchten, Schaltgeräten für Leuchten und für die Montage der Leuchten verwendeten Kennzeichen aufgeführt. Der Hersteller muss nach dieser Norm diese Kennzeichen entweder auf dem Typenschild der Leuchte oder in der Montageanleitung verwenden. Die aus dieser Norm auszugsweise entnommene Übersicht erleichtert dem Anwender die entsprechende Auswahl und Anordnung der Leuchten.

Die Tabelle 7.2 enthält Hinweise für die Auswahl von TRILUX-Leuchten für viele Anwendungsfälle der Innenbeleuchtung – und zwar aufgrund einschlägiger europäischer Normen, der Errichtungsvorschriften DIN VDE 0100 sowie einiger weiterer Vorschriften.

Zusätzlich sind auch Vorschriften, wie z.B. der Berufsgenossenschaften, der Baubehörden, der Sachversicherer usw. zu berücksichtigen. Im Einzelfall ist jeweils die neueste Ausgabe dieser Vorschriften heranzuziehen und in Zweifelsfällen mit den entsprechenden Aufsichtsbehörden Kontakt aufzunehmen. Insbesondere sind auch die Errichtungs- und Sicherheitsvorschriften anderer Länder zu beachten.

Kriterien für die Auswahl von Leuchten aufgrund lichttechnischer Anforderungen siehe Kapitel 4. Die Angaben in der Tabelle 7.2 berücksichtigen auch Praxiserfahrungen. Zum Beispiel ist bei Leuchten der Schutzart IPx4 (Schutz gegen Strahlwasser) aus konstruktiven Gründen immer

auch der Schutz gegen Fremdkörper verbunden und aus der Mindestschutzart für Innenleuchten IPx4 wird die Leuchtenschutzart IP 54 (staubgeschützt) bzw. Bei Außenleuchten IP 44 (Schutz gegen Fremdkörper > 1 mm).

Die in der Tabelle 7.2, Spalte „empfohlene Produktgruppen“ aufgeführten Leuchten sind bevorzugt einzusetzen. Andere Leuchten mit vergleichbaren Eigenschaften können ebenfalls geeignet sein.

Viele moderne LED-Leuchten ermöglichen Betriebszeiten über 50.000 Stunden bis zum Ende der wirtschaftlichen Lebensdauer und damit lange Lebenszyklen der Anlagen. Dazu sind diese so beschaffen, dass sie lange Wartungsintervalle ermöglichen.

Leuchten in Räumen mit höheren Anforderungen an den Schutz gegen Staub und Feuchte erfordern wegen der damit verbundenen starken Verschmutzung meist deutlich kürzere Wartungs- bzw. Reinigungszyklen. Insofern kann es aus betriebswirtschaftlicher Sicht günstiger sein, wegen der verringerten Innenverstaubung und der damit verbundenen längeren Wartungszyklen Leuchten höherer Schutzart gegenüber der Mindestschutzart einzusetzen oder Wannenleuchten der betreffenden Schutzart anderen Bauformen vorzuziehen, weil sich diese wegen der glatten Außenformen leichter reinigen lassen.

Wartungsgründe haben bei einigen Innen- und bei Außenleuchten dazu geführt, dass der optische Teil der Leuchte oft eine wesentlich höhere Schutzart aufweist als der Bereich des elektrischen Anschlusses, für den die Mindestschutzart ausreicht.

Anwendungsfall	Schutzart	Vorschriften	empfohlene Produktgruppen (mit exemplarischen Verweisen)	Bemerkungen
A				
Archivräume	IP20	1)	3331... , Arimo Fit CDP... , Opendo... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT...	Bei Staubauffall IP50. Bei Bildschirmarbeitsplätzen Leuchtdichtebegrenzung beachten.
Außenbereiche, Rampen (überdacht)	IPx1	1) 2)	Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit... , 748... , Tugra... , Downlights: Inperla Ligra Plus (mit Abdeckung)	Blendung bei Ladearbeiten begrenzen.
Außenbereiche, Regen ausgesetzt	IPx3	1) 2) 9)	Außenleuchten, Feuchtraumleuchten (eingeschränkt, unter Berücksichtigung der Produktdokumentation): Duroxo... , Nextrema...	
Ausstellungsräume	IP20	1) 8) ggf. 12)	nach lichttechnischen Anforderungen	Notbeleuchtung der Rettungswege für 3 Std. Betriebsdauer (siehe auch Kapitel 3.9).
B				
Backbetriebe	IP40	1) 2) 3) 14) 16) ggf. 12)	Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit... , 713... , Tugra... Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP50... , E-Line NEXT IP64...	In feuchten Bereichen IP44. Bei Reinigung mit Spritzwasser IPx4, mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9. In Räumen mit Mehlsilos IP54. Umgebungstemperatur beachten. ggf. Explosionsschutz beachten. Ersatzbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung vorsehen. (siehe auch Kapitel 3.9 , „Notbeleuchtung“).
Bade- und Duschräume, allgemein	IP20	1) 4)	3331... , 713... , 6651... , Acuro... , Solvan Flow C... , Polaron IQ... , Onplana... , Inplana... , Arimo Fit Sky... , Arimo Fit...	Außerhalb Bereich 0, 1 und 2.
Bade- und Duschräume Bereich 0	IPx7	1) 4)		Reinigung mit Hochdruckreinigern IPx9.
Bade- und Duschräume Bereich 1	IPx4	1) 4)	LED-Leuchten, Schutzklasse III	Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9.
Bade- und Duschräume Bereich 2	IPx4	1) 4)	Feuchtraumleuchten: Duroxo... , Nextrema... , Aragon Fit... , 713... , 748... , Tugra...	Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9.
Bade- oder Waschanstalten	IPx4	1) 2)	Feuchtraumleuchten: Duroxo... , Nextrema... , Aragon Fit... , 713... , 748... , Tugra...	Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9.
Badmintonhallen	IP20	1) ggf. 12)	Actison Fit... (mit CDP-Abdeckung)	Besondere Leuchtenanordnung. Notbeleuchtung der Rettungswege für 3 Std. Betriebsdauer (siehe auch Kapitel 3.9).
Bahnsteige, nicht überdacht	IPx3	1) 2) 9)	Außenleuchten	Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9. Blendung begrenzen.
Bahnsteige, überdacht	IPx1	1) 2) 9)	Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit... , 748... , Tugra... , Downlights: Inperla Ligra Plus (mit Abdeckung)	Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9. Blendung begrenzen.

Anwendungsfall	Schutzart	Vorschriften	empfohlene Produktgruppen (mit exemplarischen Verweisen)	Bemerkungen
Banken, Schalterhallen	IP20	1) ggf. 12)	Arimo Fit... , Arimo Fit Sky... , Belviso... , Luceo Slim... , Creavo... , Finea... , ggf. arbeitszonale Leuchten: Lateralo... , Lunexo... , Parelia... , Luceo Slim S... , Bicult...	Bei Bildschirmarbeitsplätzen Leuchtdichtebegrenzung beachten. Lichtakzente steigern die Wertigkeit der Beleuchtung, evtl. farbdynamische Beleuchtung. Ggf. Notbeleuchtung der Rettungswege für 3 h Betriebsdauer (siehe auch Kapitel 3.9).
Behandlungs- und Untersu- chungsräume für EKG-EEG- und EMG-Messungen	IP20	1) 7)	Belviso C... , Belviso D... , Arimo Fit... , Arimo Fit Sky... , Opendo... , Luceo Slim...	Beleuchtungsniveau und Lichtfarbe nach Art der Untersuchung unterschiedlich, ggf. dimmbare Leuchten. Bei Bildschirmarbeitsplätzen Leuchtdichtebegrenzung beachten.
Bier- und Weinkeller	IPx1	1) 2)	Feuchtraumleuchten: Duroxo... , Nextrema... , Aragon Fit... , 713... , 748... , Tugra... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP64...	Bei Reinigung mit Spritzwasser IPx4, mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9.
Bildschirm- arbeitsplätze	IP20	1)	Ggf. arbeitszonale Leuchten (siehe Büros)	Leuchtdichtebegrenzung beachten.
Büros	IP20	1)	Arimo Fit... , Arimo Fit Sky... , Belviso... , Luceo Slim... , Creavo... , ggf. arbeitszonale Leuchten: Lateralo... , Lunexo... , Parelia... , Luceo Slim S... , Bicult... , Cultega...	Bei Bildschirmarbeitsplätzen Leuchtdichtebegrenzung beachten. Lichtakzente steigern die Wertigkeit der Beleuchtung.
C				
CAD-Räume	IP20	1)	arbeitszonale Leuchten: Lateralo... , Lunexo... , Parelia... , Luceo Slim S... , Bicult... , Cultega...	Leuchtdichtebegrenzung beachten. Helligkeitsregelung empfohlen.
D				
Datenarchiv- und Erfassungsräume	IP20	1) 13)	Belviso... , Creavo... , Arimo Fit... , Finea... , Arimo Fit IP... , Fidesca SD...	Bei Staubanfall IP50. Bildschirmgerechte Beleuchtung erforderlich.
Düngerschuppen	IP44	1) 6)	Feuchtraumleuchten: Duroxo... , Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit...	Bei Staubanfall IP54. Ggf. feuergefährdete Betriebsstätte ggf. Explosionsschutz beachten.
Dusch- und Baderäume, allgemein	IP20	1) 4)	3331... , 713... , 6651... , Acuro... , Solvan Flow C... , Polaron IQ... , Onplana... , Inplana... , Arimo Fit Sky... , Arimo Fit...	Außerhalb Bereich 0, 1 und 2.
Dusch- und Baderäume Bereich 0	IPx7	1) 4)		Reinigung mit Hochdruckreinigern IPx9.
Dusch- und Baderäume Bereich 1	IPx4	1) 4)	LED-Leuchten, Schutzklasse III	Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9.
Dusch- und Baderäume Bereich 2	IPx4	1) 4)	Feuchtraumleuchten: Duroxo... , Nextrema... , Aragon Fit... , 713... , 748... , Tugra...	Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9.
E				
EEG-, EKG-, EMG-Räume	IP20	1) 7)	Belviso C... , Belviso D... , Arimo Fit... , Arimo Fit Sky... , Opendo... , Luceo Slim...	Beleuchtungsniveau und Lichtfarbe nach Art der Untersuchung unterschiedlich, bei Bildschirmarbeitsplätzen ggf. dimmbare Leuchten, Leuchtdichtebegrenzung beachten.

Anwendungsfall	Schutzart	Vorschriften	empfohlene Produktgruppen (mit exemplarischen Verweisen)	Bemerkungen
F				
Fachklassenräume	IP20	1)	Opendo... , Tugra... , 3331... , Solvan Flow... , Belviso... , Arimo Fit... , Luceo Slim... , Creavo...	Blendungsbegrenzung beachten.
Feuergefährdete Betriebsstätten	IP50	1) 3) 14)	3331... , Tugra... , 748... , 713... , Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Aragon Fit... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP50... , E-Line NEXT IP64...	VdS fordert D-Zeichen.
Filmvorführräume (Publikum)	IP20	1) 10) ggf. 12)	Wandleuchten, Downlights, Akzentleuchten	Lichtakzente steigern die Wertigkeit der Beleuchtung. Notbeleuchtung der Rettungswege für 3 Std. Betriebsdauer ggf. Antipanikbeleuchtung (siehe auch Kapitel 3.9).
Flechtereier: Bast, Rohr, Schilf, Stroh	IP50	1) 3) 14)	3331... , Tugra... , 748... , 713... , Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Aragon Fit... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP50... , E-Line NEXT IP64...	Feuergefährdete Betriebsstätte. VdS fordert D-Zeichen.
Fleisch und Fisch verarbeitende Betriebe	IPx5	1) 2) ggf. 12)	Feuchtraumleuchten: Duroxo..., Nextrema... , Aragon Fit... , Tugra... , 713...	Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9. Tierische Lebensmittel-Hygieneverordnung - Tier-LMHV [153] beachten. Bei Reinigung mit aggressiven Reinigungsmitteln chemische Beständigkeit (siehe Kapitel 5.14) beachten. Ersatzbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung vorsehen.
Fliegende Bauten, Veranstaltungs- zelte, Verkaufsstände	IP54	1) 11) ggf. 12)	Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Aragon Fit... , Tugra... , 748... , 713... , Hallenspiegelleuchten: Mirona Fit...	Lampen, die sich im Verkehrsbereich des Publikums bis zu 2 m Höhe über dem Fußboden befinden, müssen mit einem Schutz gegen Bruch durch mechanische Beanspruchung gesichert sein. Notbeleuchtung der Rettungswege für 3 h Betriebsdauer (siehe auch Kapitel 3.9).
Flure, Treppenhäuser	IP20	1) ggf. 12)	3331... , Opendo... , Tugra... , Finea... , Downlights: Sonnos... , Inperla Ligra... , Inplana... , Onplana... , Wandleuchten: 74R... , 74Q... , 748... , Deca... , Polaron IQ...	Bei erhöhtem Staubanfall IP50 im Handbereich. Wannenleuchten bzw. Lampe mit Schutzrohr einsetzen. Blendung und Irritationen an Stufen durch richtige Beleuchtung vermeiden. LED-Leuchten bevorzugt (insbesondere bei Schaltautomaten mit kurzer Betriebszeit).
Futteraufbereitung (landw. Betriebsstätten)	IP44	1) 2) 6) 14)	Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Aragon Fit... , 748... , 713... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP64...	Bei Staubanfall IP54, ggf. feuergefährdung beachten.
Futterküchen (landw. Betriebsstätten)	IP44	1) 2) 6) 14)	Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Aragon Fit... , 748... , 713... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP64...	Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9. Umgebungstemperatur beachten.
G				
Galvanische Betriebe	IPx4	1) 2) ggf. 12)	Feuchtraumleuchten, Hallenspiegelleuchten: auf Anfrage	Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9. Ersatzbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung vorsehen (siehe auch Kapitel 3.9).
Garagen, Großgaragen, Tiefgaragen, Kleingaragen	IPx1	1) 21) ggf. 12)	Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit... , 748... , Tugra...	Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9. Helle Garagen sind sichere Garagen. Wegleitungssysteme z. B. mit LED-Leuchten. Notbeleuchtung der Rettungswege für 3 h Betriebsdauer (siehe auch Kapitel 3.9).

Anwendungsfall	Schutzart	Vorschriften	empfohlene Produktgruppen (mit exemplarischen Verweisen)	Bemerkungen
Geschäftsräume (Verkaufsräume)	IP20	1) ggf. 12)	Arimo Fit... , Belviso... , Arimo Fit Sky... , Creavo... , Luceo Slim... , Downlights: Sonnos... , Inperla Ligra... , Inplana... , Onplana... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT... Akzentleuchten	Bei Staubanfall IP50. Bei Bildschirmarbeitsplätzen Leuchtdichtebegrenzung beachten. Lichtakzente steigern die Wertigkeit der Beleuchtung, ggf. farbdynamische Beleuchtung. Notbeleuchtung der Rettungswege für 3 h Betriebsdauer (siehe auch Kapitel 3.9).
Gewächshäuser	IPx4	1) 6)	Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Aragon Fit... , Tugra... , Hallenspiegelleuchten: Mirona Fit...	Bei Staubanfall IP54. Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9.
Großküchen	IPx4	1) 2) 15)	Arimo Fit IP... , Fidesca BS... , Feuchtraumleuchten: Duroxo... , Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit... , Tugra...	Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9. Umgebungstemperatur beachten. Bei Reinigung mit aggressiven Reinigungsmitteln chemische Beständigkeit beachten (siehe Kapitel 5.14).
H				
Holzbearbeitungs- betriebe	IP50	1) 3) 14) ggf. 12)	3331... , Tugra... , 748... , 713... , Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Aragon Fit... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP50... , E-Line NEXT IP64...	Feuergefährdete Betriebsstätte, VdS fordert D-Zeichen, ggf. Ersatzbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung vorsehen (siehe auch Kapitel 3.9).
Holzmehl- verarbeitung	IP50	1) 3) 14)	3331... , Tugra... , 748... , 713... , Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Aragon Fit... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP50... , E-Line NEXT IP64... , Ex-Leuchten: Acquex... , Kratex...	Feuergefährdete Betriebsstätte, VdS fordert D-Zeichen. ggf. Explosionsschutz beachten.
Hotelzimmer	IP20	1)	Downlights: Inplana... , Onplana... , Sonnos... , Inperla Ligra... , Wandleuchten: Polaron IQ... , Akzentleuchten	Behagliche Beleuchtung sehr wichtig, Lichtakzente einsetzen, Helligkeitsregelung empfehlenswert.
I				
Industriehallen	IP20	1)	Lichtbandleuchten: E-Line NEXT... , Coriflex... Hallenspiegelleuchten: Mirona Fit...	Bei Staubanfall IP50. Im Handbereich Wannenleuchten bzw. Lampen mit Schutzrohr. Zonale Beleuchtung bei hohen Lichtniveaus durch abgehängte Leuchten. Bei besonderen Umgebungsbedingungen (Temperatur, Feuchte, aggressive Medien etc.) entsprechende Leuchten einsetzen.
Intensivtierhaltung	IP44	1) 3) 6) 14)	Feuchtraumleuchten: Duroxo...	Bei Staubanfall IP54. VdS fordert D-Zeichen. Beständigkeit gegen Ammoniak beachten (siehe Kapitel 5.14).
K				
Kämmerei und Krempelerei, Textilien	IP50	1) 3) 14)	3331... , 713... , Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Aragon Fit... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP50... , E-Line NEXT IP64...	Feuergefährdete Betriebsstätte (VdS fordert D-Zeichen).
Keller, beheizte und belüftete	IP20	1)	3331... , Feuchtraumleuchten: Aragon Fit... , Oleveon Fit... , 748...	Bei Staubanfall IP50.

Anwendungsfall	Schutzart	Vorschriften	empfohlene Produktgruppen (mit exemplarischen Verweisen)	Bemerkungen
Keller, unbeheizte und unbelüftete	IPx1	1) 2)	3331... , Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Aragon Fit... , 748... , 713...	Feuchter Raum.
Keller, Wein und Bier	IPx1	1) 2)	Feuchtraumleuchten: Duroxo... , Nextrema... , Aragon Fit... , 713... , 748... , Tugra... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP64...	Bei Reinigung mit Spritzwasser IPx4, mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9.
Kesselhäuser	IPx1	1) 2)	Feuchtraumleuchten: Duroxo... , Nextrema... , Aragon Fit... , 713... , 748... , Tugra... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP64...	Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9. Umgebungstemperatur beachten.
Kfz-Waschräume	IP54	1) 2) 18)	Feuchtraumleuchten: Duroxo... , Nextrema...	Direkter Kontakt der Leuchten mit Reinigungsmitteln kann zu Versprödungen von Wannenschlüssen etc. führen. Bei Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9. Umgebungstemperatur beachten.
Kfz-Werkstätten	IP20	1) 17) ggf. 12)	Feuchtraumleuchten: Duroxo... , Nextrema... , Aragon Fit... , 713... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT... , E-Line NEXT IP64...	Bei Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9. Gemäß BGR 157 ist in Arbeits- und Verkehrsbereichen für Leuchten IP54 und Schutz gegen mechanische Beschädigung erforderlich. Ersatzbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung vorsehen (siehe auch Kapitel 3.9). Bei Kontakt mit Fetten und Ölen werden Leuchtenabdeckungen aus PMMA empfohlen.
Kinosäle	IP20	1) 10) ggf. 12)	Wandleuchten: Polaron IQ... , 74R... , 74Q... , Downlights: Sonnos... , Inperla Ligra... , Inplana... , Onplana... , Akzentleuchten	Lichtakzente steigern die Wertigkeit der Beleuchtung. Notbeleuchtung der Rettungswege für 3 h Betriebsdauer Antipannikbeleuchtung (siehe auch Kapitel 3.9)
Konzertsäle, Musikschulen	IP20	1) 10) 12)	Opendo... , Luceo Slim... , Creavo... , Finea... , 748... , Deca... , Polaron IQ... , 74R... , 74Q...	Geräuschpegel beachten. Lose Komponenten sowie Deckenbauteile können zu Resonanzschwingungen angeregt werden. Notbeleuchtung der Rettungswege für 3 h Betriebsdauer (siehe auch Kapitel 3.9).
Korkverarbeitung	IP50	1) 3) 14)	748... , 713... , Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Aragon Fit... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP50... , E-Line NEXT IP64...	Feuergefährdete Betriebsstätte (VdS fordert D-Zeichen).
Kornspeicher	IP54	1) 3) 6) 14)	Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Aragon Fit... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP50... , E-Line NEXT IP64... , Ex-Leuchten: Acquex... , Kratex...	Feuergefährdete Betriebsstätte (VdS fordert D-Zeichen), ggf. Explosionsschutz beachten.
Küchen, Futterküchen (landwirtschaftliche Betriebsstätte)	IP44	1) 3) 6) 14)	Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Aragon Fit... , 748... , 713... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP64...	Bei Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9. Umgebungstemperatur beachten.

Anwendungsfall	Schutzart	Vorschriften	empfohlene Produktgruppen (mit exemplarischen Verweisen)	Bemerkungen
Küchen, Großküchen	IPx4	1) 2) 15)	Arimo Fit IP... , Fidesca BS... , Feuchtraumleuchten: Duroxo... , Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit... , Tugra...	Bei Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9. Umgebungstemperatur beachten. Bei Reinigung mit aggressiven Reinigungsmitteln chemische Beständigkeit beachten (siehe Kapitel 5.14)
Küchen, Spülküchen	IPx4	1) 2) 15)	Arimo Fit IP... , Fidesca BS... , Feuchtraumleuchten: Duroxo... , Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit... , Tugra...	Bei Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9. Umgebungstemperatur beachten. Bei Reinigung mit aggressiven Reinigungsmitteln chemische Beständigkeit beachten (siehe Kapitel 5.14).
Kühlräume, Tiefkühlräume	IPx1	1) 2)	Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Duroxo...	Insbesondere bei nur kurzzeitigem Betrieb LED-Leuchten verwenden (verringertes Lichtstrom von Leuchtstofflampen). Temperaturangaben in der Montageanleitung beachten. Bei sehr tiefen Temperaturen Spezialleuchten verwenden.
Kunststofffaser Verarbeitung	IP50	1) 3) 4)	3331... , 713... , Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Aragon Fit... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP50... , E-Line NEXT IP64...	Feuergefährdete Betriebsstätte (VdS fordert D-Zeichen).
L				
Laboratorien	IP20	1)	3331... , Arimo Fit CDP... , Opendo... , Fidesca SD... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT...	Bei Staubauffall IP50. Im Handbereich Wannenleuchten bzw. Lampen mit Schutzrohr. Ggf. chemische Beständigkeit beachten (siehe Kapitel 5.14). Bei Bildschirmarbeitsplätzen Leuchtdichtebegrenzung beachten.
Lagerräume allgemein	IP20	1)	Lichtbandleuchten: E-Line NEXT... , E-Line NEXT IP50... , E-Line NEXT IP64...	Schutzart je nach Lagergut. Bei Staubauffall IP50. Bei Bildschirmen Reflexblendung vermeiden.
Lagerräume für Basterzeugnisse, Schilf- und Schilfprodukte	IP50	1) 3) 14)	Aragon Fit... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP50... , E-Line NEXT IP64...	Feuergefährdete Betriebsstätte (VdS fordert D-Zeichen).
Lagerräume für Bettfedern	IP50	1) 3) 14)	Aragon Fit... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP50... , E-Line NEXT IP64...	Feuergefährdete Betriebsstätte (VdS fordert D-Zeichen).
Lagerräume für Futtermittel, Düngemittel	IP44	1) 3) 6) 14)	Feuchtraumleuchten: Duroxo... , Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit...	Ggf. feuergefährdete Betriebsstätte (VdS fordert D-Zeichen), ggf. Explosionsschutz beachten.
Lagerräume für Getreide	IP54	1) 3) 6) 14)	Feuchtraumleuchten: Duroxo... , Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit...	Feuergefährdete Betriebsstätte (VdS fordert D-Zeichen).
Lagerräume für Heu, Stroh, Jute, Flachs	IP54	1) 3) 6) 14)	Feuchtraumleuchten: Duroxo... , Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP50...	Feuergefährdete Betriebsstätte (VdS fordert D-Zeichen).
Lagerräume für Holzspäne	IP50	1) 3) 14)	Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP50...	Feuergefährdete Betriebsstätte (VdS fordert D-Zeichen).

Anwendungsfall	Schutzart	Vorschriften	empfohlene Produktgruppen (mit exemplarischen Verweisen)	Bemerkungen
Lagerräume für Lumpen	IP50	1) 3) 14)	Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP50...	Feuergefährdete Betriebsstätte (VdS fordert D-Zeichen).
Lagerräume für Reifen	IP44	1) 3) 6) 14)	Feuchtraumleuchten: Duroxo...	LED sind empfindlich gegen schwefelhaltige Atmosphäre – Leuchten sollten daher besonderen Schutz gewähren (gasdicht), ggf. feuergefährdete Betriebsstätte (VdS fordert D-Zeichen).
Lagerräume für Zuckerrübenschnitzel (Pellets)	IP50	1) 3) 14)	Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP50...	Feuergefährdete Betriebsstätte (VdS fordert D-Zeichen).
Lagerplätze im Freien für Heu, Stroh (überdacht)	IP54	1) 3) 6) 14)	Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit...	Feuergefährdete Betriebsstätte (VdS fordert D-Zeichen).
Landwirtschaftliche Betriebsstätten	IP44	1) 3) 6) 14)	Feuchtraumleuchten: Duroxo... , Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit...	Bei Staubanfall IP54, ggf. feuergefährdete Betriebsstätte (VdS fordert D-Zeichen). Bei Tierhaltung Beständigkeit gegen Ammoniak beachten (siehe Kapitel 5.14).
Lebensmittelverarbeitung, allgemein	IP20	1)	Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT...	Bei Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9. Hygienevorschriften beachten. Schutz gegen mechanische Beschädigung (Glasbruch) im Verarbeitungsbereich erforderlich.
Lebensmittelverarbeitung, Gären, Pressen	IPx1	1) 2)	Feuchtraumleuchten: Duroxo... , Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP64...	Bei Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9. Schutz gegen mechanische Beschädigung (Glasbruch) im Verarbeitungsbereich erforderlich.
Lebensmittelverarbeitung, Schlachten	IPx1	1) 2)	Feuchtraumleuchten: Duroxo... , Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit...	Bei Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9. Hygienevorschriften beachten. Schutz gegen mechanische Beschädigung (Glasbruch) im Verarbeitungsbereich erforderlich.
Lebensmittelverarbeitung, Trocknen	IPx1	1) 2)	Feuchtraumleuchten: Duroxo... , Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP64...	Ggf. feuergefährdete Betriebsstätte (VdS fordert D-Zeichen). Schutz gegen mechanische Beschädigung (Glasbruch) im Verarbeitungsbereich erforderlich.
Lederbearbeitung	IP50	1) 3) 14)	3331... , Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Aragon Fit... , 713... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP50...	Ggf. feuergefährdete Betriebsstätte (VdS fordert D-Zeichen).
Lesesäle	IP20	1) 10) 12)	Arimo Fit... , Arimo Fit Sky... , Belviso... , Luceo Slim... , Creavo... , ggf. arbeitszonale Leuchten: Lateralo... , Lunexo... , Parella... , Luceo Slim S... , Bicult... , Cultega...	Geräuschpegel beachten. Reflexblendung auf Lesevorlagen und Bildschirmen vermeiden. Notbeleuchtung der Rettungswege für 3 h Betriebsdauer (siehe auch Kapitel 3.9).

Anwendungsfall	Schutzart	Vorschriften	empfohlene Produktgruppen (mit exemplarischen Verweisen)	Bemerkungen
M				
Melkstände	IP44	1) 6) 14)	Feuchtraumleuchten: Duroxo... , Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit...	Bei Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9.
Metallbearbeitung und -verarbeitung	IP20	1) 19)	Lichtbandleuchten: E-Line NEXT... (mit Glasabdeckung auf Anfrage); Tiefstrahler: Mirona Fit... (mit Glasabdeckung auf Anfrage)	Glasabdeckungen sind empfohlen bei Verschmutzung durch Öle und Fette sowie in Bereichen für Schweißarbeiten, wegen Funkenflugs bis zu 4 m Höhe.
Milchkammern (Landwirtschaft)	IP44	1) 6) 14)	Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit...	Bei Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9.
Molkereien	IPx4	1) 2)	Feuchtraumleuchten: Duroxo... , Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit...	Bei Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9.
Museen	IP20	1) 8) 10) 12)	nach lichttechnischen Anforderungen	Beleuchtungsplanung ist meist sehr speziell, Akzent- beleuchtung überwiegend. Notbeleuchtung der Rettungswege für 3 h Betriebsdauer (siehe auch Kapitel 3.9).
Musikschulen, Konzertsäle	IP20	1) 10) 12)	Opendo... , Luceo Slim... , Creavo... , Finea... , 3331... , Deca... , Polaron IQ... , 74R... , 74Q...	Geräuschpegel beachten. Lose Komponenten sowie Decken- bauteile können zu Resonanzschwingungen angeregt werden. Notbeleuchtung der Rettungswege für 3 h Betriebsdauer (siehe auch Kapitel 3.9).
N				
Nasswerkstätten, z. B. Steinbear- beitung	IPx4	1) 2) 6)	Feuchtraumleuchten: Duroxo... , Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit...	Bei Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9.
O				
Operationsräume, Allgemeinbeleuch- tung	IP20	1) 7)	Reinraumleuchten: Fidesca PM... , Fidesca SD...	Aus Gründen der Hygiene wird IP54 bzw. IP65 empfohlen. Bei Reinigung mit aggressiven Reinigungsmitteln chemische Beständigkeit beachten (siehe Kapitel 5.14). Verträglichkeit mit IR-Steueranlagen (z. B. OP-Tisch-Steuerung) beachten (siehe Kapitel 5.7.5).
P				
Papierbearbei- tungsbetriebe	IP50	1) 3) 14)	3331... , 713... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP50...	Feuergefährdete Betriebsstätte (VdS fordert D-Zeichen).
Parkhaus	IPx1	1) 21) ggf. 12)	Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit... , 748... , Tugra...	Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9. Helle Garagen sind sichere Garagen. Wegleitungs- systeme z. B. mit LED-Leuchten. Notbeleuchtung der Rettungswege für 3 h Betriebsdauer (siehe auch Kapitel 3.9).
Polsterei	IP50	1) 3) 14)	3331... , 713... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP50...	Feuergefährdete Betriebsstätte (VdS fordert D-Zeichen).
Publikums- bereiche	IP20	1) 10) 12)	Wandleuchten: Polaron IQ... , 74R... , 74Q... , Downlights: Sonnos... , Inperla Ligra... , Inplana... , Onplana... , Akzentleuchten	Bei Bildschirmarbeitsplätzen Leuchtdichtebegrenzung beachten. Lichtakzente steigern die Wertigkeit der Beleuchtung. Für farbdynamische Beleuchtung sind Leuchten mit getrennt steuerbaren Dimm-EVG erforderlich. Notbeleuchtung der Rettungswege für 3 h Betriebsdauer (siehe auch Kapitel 3.9).
Pumpenräume	IPx1	1) 2)	Feuchtraumleuchten: Duroxo... , Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit...	Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9.

Anwendungsfall	Schutzart	Vorschriften	empfohlene Produktgruppen (mit exemplarischen Verweisen)	Bemerkungen
R				
Rechenzentren (s. Datenerfassung)	IP20	1) 13)	Belviso C... , Arimo Fit... , Arimo Fit Sky... , Fidesca SD... , arbeitszonale Beleuchtung: Parelia... , Lateralo... , Lunexo...	Bei Staubanfall IP50. Bildschirmgerechte Beleuchtung erforderlich.
Reifenlager	IP44	1) 3) 6) 14)	Feuchtraumleuchten: Duroxo...	LED sind empfindlich gegen schwefelhaltige Atmosphäre – Leuchten sollten daher besonderen Schutz gewähren (gasdicht), ggf. feuergefährdete Betriebsstätte (VdS fordert D-Zeichen)
S				
Sägewerke	IP50	1) 3) 12) 14)	3331... , 713... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP50...	Feuergefährdete Betriebsstätte (VdS fordert D-Zeichen). Ersatzbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung vorsehen (siehe auch Kapitel 3.9).
Sanitärräume	IP20	1) 2) 4)	Downlights: Sonnos... , Inperla Ligra... , Inplana... , Onplana... , Acuro... , Solvan Flow... , Feuchtraumleuchten	Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9 (siehe auch Bade- und Duschräume).
Schalterhallen, Banken	IP20	1) ggf. 12)	Arimo Fit... , Arimo Fit Sky... , Belviso... , Luceo Slim... , Creavo... , Finea... , ggf. arbeitszonale Leuchten: Lateralo... , Lunexo... , Parelia... , Luceo Slim S... , Bicult...	Bei Bildschirmarbeitsplätzen Leuchtdichtebegrenzung beachten. Lichtakzente steigern die Wertigkeit der Beleuchtung, evtl. farbdynamische Beleuchtung. Ggf. Notbeleuchtung der Rettungswege für 3 h Betriebsdauer (siehe auch Kapitel 3.9).
Schulen	IP20	1) 10) 12)	Opendo... , Tugra... , 3331... , Solvan Flow... , Belviso... , Arimo Fit... , Luceo Slim... , Creavo...	Blendungsbegrenzung beachten, Schultafelbeleuchtung vorsehen (siehe auch Kapitel 4.9.4). Notbeleuchtung der Rettungswege für 3 h Betriebsdauer (siehe auch Kapitel 3.9).
Schulen, Fach- klassenräume	IP20	1)	Opendo... , Tugra... , 3331... , Solvan Flow... , Belviso... , Arimo Fit... , Luceo Slim... , Creavo...	Blendungsbegrenzung beachten, Beleuchtung für Schultafel und Experimentiertisch (siehe auch Kapitel 4.9.4, vorsehen). Notbeleuchtung der Rettungswege für 3 h Betriebsdauer (siehe auch Kapitel 3.9).
Schulen, Wandtafel	IP20	1)	Opendo... , Tugra... , Solvan Flow... , Arimo Fit... , Creavo...	Leuchten mit asymmetrischer oder tiefstrahlender Lichtstärkeverteilung verwenden, Blendungsbegrenzung beachten.
Schweine- mästereien	IP54	1) 6) 14)	Feuchtraumleuchten: Duroxo...	Feuergefährdete Betriebsstätte (VdS fordert D-Zeichen). Beständigkeit gegen Ammoniak beachten (siehe Kapitel 5.14).
Schwimmbäder, allgemein	IP20	1) 5) 10) 12)	3331... , Deca... , Polaron IQ... , 74R... , 74Q... , 713... , Downlights: Sonnos... , Inperla Ligra... , Athenik Ligra... , Inplana... , Onplana... , Akzentleuchten	Lichtakzente steigern die Wertigkeit der Beleuchtung, ggf. farbdynamische Beleuchtung. in Bereichen mit chlorhaltiger Atmosphäre chemische Beständigkeit beachten (siehe Kapitel 5.14, Leuchten auf Anfrage).
Schwimmbecken, Bereich 0	IPx8	1) 2) 5)		Chemische Beständigkeit beachten Bereich 0 Spezialleuchten erforderlich.
Schwimmbecken, Bereich 1	IPx4	1) 2) 5)	LED-Leuchten, Schutzklasse III	Bei Reinigung mit Strahlwasser IPx5. Spezialleuchten erforderlich in Bereichen mit chlorhaltiger Atmosphäre. Chemische Beständigkeit beachten (siehe Kapitel 5.14).
Squashhallen	IP20	1) 20)	Sporthallen-Wannenleuchten als Einbauleuchte: Actison Fit...	Geschlossene Leuchten, ballwurfsicher (siehe Kapitel 5.13). Besondere Leuchtenanordnung beachten. Bei Deckenstrahlheizung ist Rückfrage erforderlich.
Sport- und Turnhallen	IP20	1) 20)	Sporthallenleuchten: Actison Fit...	Ballwurfsichere Leuchten (siehe Kapitel 5.13). Bei Deckenstrahlheizung ist Rückfrage erforderlich.
Ställe für Groß- und Kleintiere	IP44	1) 6) 14)	Feuchtraumleuchten: Duroxo... , andere auf Anfrage	Bei Staubanfall IP54. VdS fordert D-Zeichen. Beständigkeit gegen Ammoniak beachten (siehe Kapitel 5.14).

Anwendungsfall	Schutzart	Vorschriften	empfohlene Produktgruppen (mit exemplarischen Verweisen)	Bemerkungen
Ställe, Bruträume	IP44	1) 6) 14)	Feuchtraumleuchten: Duroxo... , andere auf Anfrage	Bei Staubanfall IP54. VdS fordert D-Zeichen. Beständigkeit gegen Ammoniak beachten (siehe Kapitel 5.14).
Ställe, Nebenräume	IP44	1) 6) 14)	Feuchtraumleuchten: Duroxo... , Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit...	Bei Staubanfall IP54. VdS fordert D-Zeichen. Beständigkeit gegen Ammoniak beachten (siehe Kapitel 5.14).
T				
Tafeln, Wandtafeln	IP20	1)	Opendo... , Tugra... , Solvan Flow... , Arimo Fit... , Creavo...	Leuchten mit asymmetrischer oder tiefstrahlender Lichtstärkeverteilung verwenden. Blendungsbegrenzung beachten.
Tankstellen, überdachte	IPx1	1) 2)	Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Tiefstrahler: Mirona Fit... , Lichtbänder: E-Line NEXT IP64...	Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9.
Tennishallen	IP20	1) 20)	Sporthallenleuchten: Actison Fit...	Ballwurfsichere Leuchten (siehe Kapitel 5.13), besondere Leuchtenanordnung, bei Deckenstrahlheizung ist Rückfrage erforderlich.
Textilbearbeitung	IP50	1) 3) 14)	3331... , 713... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP50...	Feuergefährdete Betriebsstätte (VdS fordert D-Zeichen).
Theater	IP20	1) 10) ggf. 12)	Wandleuchten: Polaron IQ... , 74R... , 74Q... , Downlights: Sonnos... , Inperla Ligra... , Inplana... , Onplana... , Akzentleuchten	Lichtakzente steigern die Wertigkeit der Beleuchtung. Notbeleuchtung der Rettungswege für 3 h Betriebsdauer Antipanikbeleuchtung (siehe auch Kapitel 3.9).
Theater- werkstätten	IP50	1) 3) 14)	3331... , 713... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP50...	Feuergefährdete Betriebsstätte (VdS fordert D-Zeichen).
Tiefgaragen, Garagen, Großgaragen	IPx1	1) 21) ggf. 12)	Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit... , 748... , Tugra...	Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9. Helle Garagen sind sichere Garagen. Wegleitungssysteme z.B. mit LED-Leuchten. Notbeleuchtung der Rettungswege für 3 h Betriebsdauer (siehe auch Kapitel 3.9).
Tierhaltung, intensiv	IP44	1) 6) 14)	Feuchtraumleuchten: Duroxo...	Bei Staubanfall IP54. Feuergefährdete Betriebsstätte (VdS fordert D-Zeichen). Beständigkeit gegen Ammoniak beachten (siehe Kapitel 5.14).
Tierhaltung, Nebenräume	IP44	1) 6) 14)	Feuchtraumleuchten: Duroxo... , Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit...	Bei Staubanfall IP54. Feuergefährdete Betriebsstätte (VdS fordert D-Zeichen). Beständigkeit gegen Ammoniak beachten (siehe Kapitel 5.14).
Toreinfahrten	IPx3	1) 2)	Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit...	Blendung bei Ladearbeiten begrenzen.
Tragfluthallen für Lagerung	IP20	1)	Wannenleuchten Nextrema... , Duroxo...	Schutzart je nach Lagergut. Bei Staubanfall IP50. Bei Bildschirmen Reflexblendung vermeiden.
Treppenhäuser, Flure	IP20	1) ggf. 12)	3331... , Opendo... , Tugra... , Finea... , Downlights: Sonnos... , Inperla Ligra... , Inplana... , Onplana... , Wandleuchten: 74R... , 74Q... , 748... , Deca... , Polaron IQ...	Bei erhöhtem Staubanfall IP50. Im Handbereich Wannen- leuchten bzw. Lampen mit Schutzrohr. Blendung und Irritatio- nen an Stufen durch die Beleuchtung vermeiden. LED-Leuch- ten bevorzugt (insbesondere bei Schaltautomaten mit kurzer Betriebszeit).
Trockenräume	IP50	1) 3) 14)	Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP50...	Feuergefährdete Betriebsstätte (VdS fordert D-Zeichen).
Turn- und Sporthallen	IP20	1) 20)	Sporthallenleuchten: Actison Fit...	Ballwurfsichere Leuchten (siehe Kapitel 5.13). Bei Deckenstrahlheizung ist Rückfrage erforderlich.

Anwendungsfall	Schutzart	Vorschriften	empfohlene Produktgruppen (mit exemplarischen Verweisen)	Bemerkungen
U				
Unterirdische Bahnhöfe	IPx1	1) 2) 12)	Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit... , 748... , Tugra... , Downlights: Inperla Ligra Plus (mit Abdeckung)	Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9. Blendung begrenzen. Notbeleuchtung der Rettungswege für 3 h Betriebsdauer (siehe auch Kapitel 3.9).
Unterrichtsräume, IP20 allgemein		1)	Opendo... , Tugra... , 3331... , Solvan Flow... , Belviso... , Arimo Fit... , Luceo Slim... , Creavo...	Blendungsbegrenzung beachten.
Unterrichtsräume, IP20 Musik		1)	Opendo... , Luceo Slim... , Creavo... , Finea... , 3331...	Geräuschpegel beachten, Leuchtenraster und lose Komponenten sowie Deckenbauteile können zu Resonanzschwingungen angeregt werden.
Unterrichtsräume, IP20 Wandtafeln		1)	Opendo... , Tugra... , Solvan Flow... , Arimo Fit... , Creavo...	Leuchten mit asymmetrischer oder tiefbreitstrahlender Lichtstärkeverteilung verwenden. Blendungsbegrenzung beachten.
Unterrichtsräume, IP20 Werken		1)	3331... , 713... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP50...	Ggf. Feuergefährdung beachten (VdS fordert D-Zeichen)
V				
Veranstaltungsräume	IP20	1) 10) 12)	Wandleuchten: Polaron IQ... , 74R... , 74Q... , Downlights: Sonnos... , Inperla Ligra... , Inplana... , Onplana... , Akzentleuchten	Bei Bildschirmarbeitsplätzen Leuchtdichtebegrenzung beachten. Lichtakzente steigern die Wertigkeit der Beleuchtung, ggf. farbdynamische Beleuchtung. Notbeleuchtung der Rettungswege für 3 h Betriebsdauer (siehe auch Kapitel 3.9).
Veranstaltungszelte, Zelte	IP54	1) 11)	Feuchtraumleuchten: Aragon Fit... , 713... , Oleveon Fit... , 748...	Lampen, die sich im Verkehrsbereich des Publikums bis zu 2 m Höhe über dem Fußboden befinden, müssen mit einem Schutz gegen Bruch durch mechanische Beanspruchung versehen sein.
Verkaufsräume (Geschäftsräume)	IP20	1) 12)	Arimo Fit... , Belviso... , Arimo Fit Sky... , Creavo... , Luceo Slim... , Downlights: Sonnos... , Inperla Ligra... , Inplana... , Onplana... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT... Akzentleuchten	Bei Staubanfall IP50. Bei Bildschirmarbeitsplätzen Leuchtdichtebegrenzung beachten. Ggf. sind erhöhte Anforderungen an die Farbwiedergabe zu berücksichtigen. Lichtakzente steigern die Wertigkeit der Beleuchtung, ggf. farbdynamische Beleuchtung. Notbeleuchtung der Rettungswege für 3 h Betriebsdauer (siehe auch Kapitel 3.9).
Versandbetriebe	IP20	1)	3331... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT...	Bei Staubanfall IP50.
Vliesstoff- und Watteverarbeitung	IP50	1) 3) 14)	3331... , 713... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP50...	Feuergefährdete Betriebsstätte (VdS fordert D-Zeichen).
W				
Wagenwaschräume	IP54	1) 2) 18)	Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Duroxo...	Direkter Kontakt der Leuchten mit Reinigungsmitteln kann zu Versprüdungen von Wannenschlüssen etc. führen (siehe Kapitel 5.14). Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9. Umgebungstemperatur beachten.
Wandtafeln	IP20	1)	Opendo... , Tugra... , Solvan Flow... , Arimo Fit... , Creavo...	Leuchten mit asymmetrischer oder tiefbreitstrahlender Lichtstärkeverteilung verwenden. Blendungsbegrenzung beachten.

Anwendungsfall	Schutzart	Vorschriften	empfohlene Produktgruppen (mit exemplarischen Verweisen)	Bemerkungen
Warenhäuser	IP20	1) 12)	Arimo Fit... , Belviso... , Arimo Fit Sky... , Creavo... , Luceo Slim... , Downlights: Sonnos... , Inperla Ligra... , Inplana... , Onplana... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT... Akzentleuchten	Bei Staubanfall IP50. Bei Bildschirmarbeitsplätzen Leuchtdichtebegrenzung beachten. Ggf. sind erhöhte Anforderungen an die Farbwiedergabe zu berücksichtigen. Lichtakzente steigern die Wertigkeit der Beleuchtung, ggf. farbdynamische Beleuchtung. Notbeleuchtung der Rettungswege für 3 h Betriebsdauer (siehe auch Kapitel 3.9).
Waschanlagen – Kfz	IP54	1) 2) 18)	Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Duroxo...	Direkter Kontakt der Leuchten mit Reinigungsmitteln kann zu Versprüdungen von Wannenschlüssen etc. führen (siehe Kapitel 5.14). Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9. Umgebungstemperatur beachten.
Waschküchen	IPx1	1) 2)	Feuchtraumleuchten: Duroxo... , Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit... , Tugra...	Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9.
Wasch- und Badeanstalten	IPx4	1) 2)	Feuchtraumleuchten: Duroxo... , Nextrema... , Aragon Fit... , 713... , 748...	Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9.
Weberei	IP50	1) 3) 14)	3331... , 713... , Tugra... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP50...	Feuergefährdete Betriebsstätte (VdS fordert D-Zeichen).
Wein- und Bierkeller	IPx1	1) 2)	Feuchtraumleuchten: Duroxo... , Nextrema... , Aragon Fit... , 713... , 748... , Tugra... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT IP64...	Bei Reinigung mit Spritzwasser IPx4, mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9.
Werkstätten – Kfz	IP20	1) 17) ggf. 12)	3331... , 713... , Tugra... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT... , E-Line NEXT IP50... , E-Line NEXT IP64...	Bei Reinigung mit Strahlwasser IPx5, mit Hochdruckreinigern IPx9. Gemäß BGR 157 ist in Arbeits- und Verkehrsbereichen für Leuchten IP54 und Schutz gegen mechanische Beschädigung erforderlich. Ersatzbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung vorsehen (siehe auch Kapitel 3.9). Bei Kontakt mit Fetten und Ölen werden Leuchtenabdeckungen aus PMMA empfohlen.
Wirkerei	IP50	1) 3) 14)	3331... , 713... , Tugra... , Lichtbandleuchten: E-Line NEXT... , E-Line NEXT IP50...	
Z				
Zelte, Veranstaltungszelte	IP54	1) 11)	Feuchtraumleuchten: Nextrema... , Aragon Fit... , Oleveon Fit... , 748... , Tugra... , Hallenspiegelleuchten: Mirona Fit...	Lampen, die sich im Verkehrsbereich des Publikums bis zu 2 m Höhe über dem Fußboden befinden, müssen mit einem Schutz gegen Bruch durch mechanische Beanspruchung versehen sein.

Tabelle 7.2

- 1) DIN VDE 0100-559, Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V, Leuchten und Beleuchtungsanlagen [\[31\]](#)
- 2) DIN VDE 0100-737, Feuchte und nasse Bereiche und Räume und Anlagen im Freien [\[42\]](#)
- 3) DIN VDE 0100-420, Schutz gegen thermische Auswirkungen [\[28\]](#)
- 4) DIN VDE 0100-701, Räume mit Badewanne oder Dusche [\[34\]](#)
- 5) DIN VDE 0100-702, Becken von Schwimmbädern und andere Becken citeDINVDE0100701 [\[35\]](#)
- 6) DIN VDE 0100-705, Landwirtschaftliche und gartenbauliche Anwesen [\[36\]](#)
- 7) DIN VDE 0100-710, Medizinisch genutzte Räume, früher VDE 0107 [\[37\]](#)
- 8) DIN VDE 0100-711, Ausstellungen, Shows und Stände [\[38\]](#)
- 9) DIN VDE 0100-714, Beleuchtungsanlagen im Freien [\[39\]](#)
- 10) DIN VDE 0100-718, Bauliche Anlagen für Menschenansammlungen, Notbeleuchtung [\[40\]](#)
- 11) DIN VDE 0100-722, Fliegende Bauten, Wagen und Wohnwagen nach Schaustellerart [\[41\]](#)
- 12) DIN EN 50172 (DIN VDE 0108 Teil 100), Sicherheitsbeleuchtungsanlagen [\[59\]](#)
- 13) VdS Merkblatt 2007, Anlagen der Informationstechnologie [\[175\]](#)
- 14) VdS Merkblatt 2033, Feuergefährdete Betriebsstätten und diesen gleichzustellende Risiken; Richtlinien zur Schadenverhütung [\[176\]](#)
- 15) DGUV Regel 110-003, Branche Küchenbetriebe [\[118\]](#)
- 16) DGUV Regel 110-004, Branche Backbetriebe [\[119\]](#)
- 17) DGUV Regel 109-008, Fahrzeug-Instandhaltung [\[117\]](#)
- 18) DGUV Information 209 - 010, Lichtbogenschweißen [\[115\]](#)
- 19) DIN 18032-3, Sporthallen – Hallen für Turnen und Spielen und Mehrzwecknutzung: Prüfung der Ballwurfsicherheit [\[4\]](#)
- 20) In Deutschland: Landesbauordnungen beachten



LICHT- MANAGEMENT

Inhalt

8.0	Lichtmanagement	476
8.1	Anwendung und Funktion von Lichtmanagement	476
8.2	Anwesenheitserfassung	482
8.3	Tageslichtabhängige Regelung	486
8.4	Schnittstellen	492
8.5	Die DALI-Schnittstelle	496
8.6	Funkschnittstellen	506
8.7	Energy Monitoring und Light Monitoring	508
8.8	Gebäudemanagement, KNX und andere Bussysteme	508

8.0

LICHTMANAGEMENT**8.1****Anwendung und Funktion von Lichtmanagement**

Die Motivation ein Lichtmanagement zu planen, zu installieren und anzuwenden ist im Einzelfall so unterschiedlich wie die elektronischen Systeme, die am Markt zur Verfügung stehen. Häufige Gründe sind

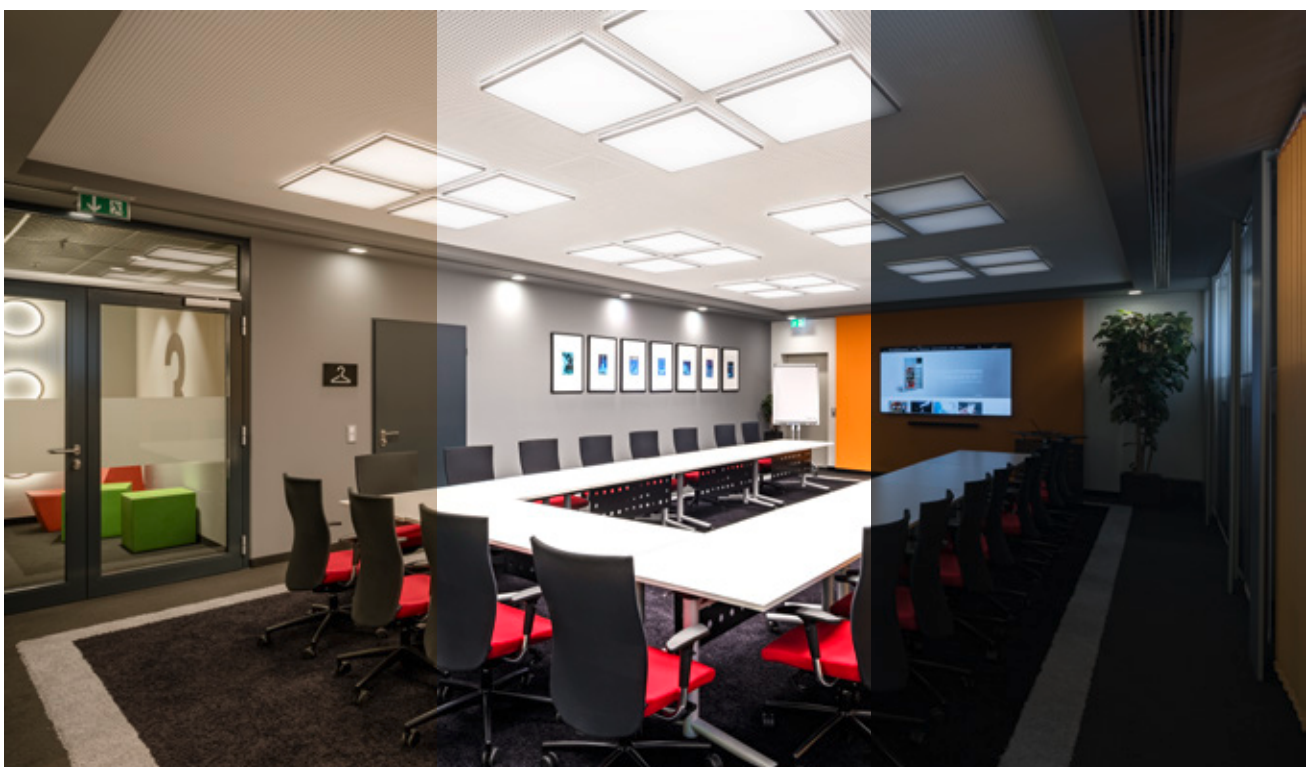
- Erhöhung des Beleuchtungskomforts,
- Individualisierung der Beleuchtung,
- multifunktionale Räume, Anpassung des Lichtes an die Beleuchtungsaufgabe,
- Anpassung an Beleuchtungsstärkestufen,
- Energieeinsparung,
- Human Centric Lighting,
- Erhöhung der Wirtschaftlichkeit,
- Erfüllung geltender Vorschriften und Regeln.

Um die jeweils geforderten Ziele zu erreichen, ist es wichtig, sich für die richtigen Funktionalitäten zu entscheiden. Diese wiederum hängen in hohem Maße von den eingesetzten Technologien ab. Insofern ist es für die Entscheidungsfindung

unerlässlich, sich sowohl mit dem Rahmen der anwendungsbezogenen Bedürfnisse der Nutzer zu befassen wie auch mit den technischen Details der elektronischen Komponenten. Dieser einleitende Abschnitt soll daher den genannten Rahmen abstecken, während die weiteren Abschnitte (Kapitel [8.2](#) ff.) die Aspekte der technischen Lösungen beschreiben.

Die Festlegung der Anforderungen an das Lichtmanagement sind Teil der Lichtplanung sowie auch das Konzept zu deren Umsetzung mit geeigneten Komponenten. Grundsätzlich empfiehlt es sich, die Definition und Programmierung der Funktionen des Lichtmanagements im Detail zu dokumentieren. Ein Abnahmeprotokoll vervollständigt die erfolgreiche Inbetriebnahme.

Auch weitere elektronische Komponenten, die über die Steuerung des Lichts hinaus gehen, wie z. B. CO₂-Sensoren, können in das Lichtmanagementsystem, bzw. die Beleuchtungsanlage integriert werden (siehe Kapitel [5.5.4](#) „Leitungen für Notlicht und Infrastruktur“).

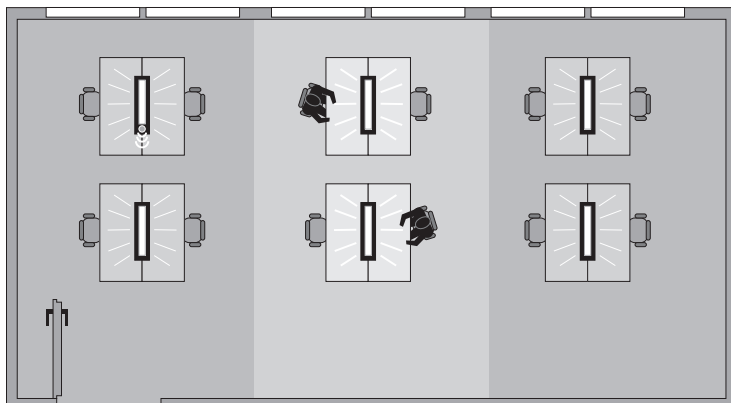


8.1.1 Erhöhung des Beleuchtungskomforts

Die klassische Aufgabe des Lichtmanagements ist die Variation der Einstellung einer Beleuchtungsanlage mit dem Ziel, das Licht wechselnden visuellen Bedürfnissen des Nutzers bzgl. der Behaglichkeit, der Wirkung des Raumes und der Erfüllung der Sehaufgabe anzupassen. Dies kann durch das Schalten von Lichtquellen, das Ausrichten der Lichtabstrahlrichtung oder die Regulierung des Lichtstroms erfolgen. Insofern ist es nicht verwunderlich, dass die ersten elektronischen Lichtsteuerungskomponenten für den Einsatz im Wohnbereich sowie dem Hotel- und Gastgewerbe entwickelt wurden. Dort hält sich der Nutzer zu unterschiedlichen Tageszeiten auf und geht in besonderem Maße unterschiedlichen Tätigkeiten nach. Die Bereitstellung von voreingestellten Lichtszenen erhöht dabei den Bedienkomfort.

Abbildung 8.1:

Mit arbeitsplatzbezogenen Leuchten und ihrer lokalen Steuerung bzw. Regelung kann Licht individualisiert werden. Durch die Individualisierung erhöht sich auch das Einsparpotential durch Abschalten bei Abwesenheit. Ein reduziertes Lichtniveau sollte auch bei Abwesenheit erhalten bleiben, um ein normgerechtes Leuchtdichteverhältnis im Raum zu erhalten [siehe Kapitel 2.6, „Leuchtdichteverteilung“].



nissen und der erleichterten Umsetzung aufgrund des technischen Fortschritts.

Von Beleuchtungskomfort spricht man überwiegend im Zusammenhang mit wählbaren Lichtszenen. Die Lichtszenensteuerung dient in Arbeitsstätten vorwiegend der Individualisierung des Lichtes und der gezielten Unterstützung wechselnder Sehaufgaben.

8.1.2 Individualisierung der Beleuchtung

Unter Individualisierung des Lichtes versteht man im Allgemeinen die Möglichkeit, die Beleuchtungssituation an persönliche Bedürfnisse und Erfordernisse anzupassen (siehe Abbildung 8.1). Insbesondere der demografische Wandel rückt diesen Aspekt in den Fokus der Experten für Arbeitsproduktivität und Arbeitssicherheit. Grund dafür sind wesentlich die sich mit dem Lebensalter ändernden Faktoren des Bedarfs an Beleuchtungsstärke und des Blendungsempfindens (siehe auch Kapitel [4.6.1](#) „Sehen im Alter“).

Aber auch Aspekte jenseits des Gesundheits- und Arbeitsschutzes spielen eine zunehmend große Rolle. In den offenen Bürolandschaften moderner Coworking-Bereiche ist die arbeitszonale Beleuchtung z. B. ideal geeignet, dem Raum mittels der Anordnung und Helligkeit der Lichtquellenstruktur und damit den häufig wechselnden

den Nutzern Orientierung zu geben (siehe Kapitel [4.3.2](#) „Coworking und New Work“). Die Konzentration des Lichtes an den jeweiligen Arbeitsplätzen unterstützt die Nutzer, ihre Tätigkeit auf das Zentrum Ihres Bereiches auszurichten und ein gewisses Maß an Privatheit in dem offenen Raum zu schaffen. Arbeitsplatzleuchten mit indirektem Lichtaustritt ermöglichen andererseits hohe vertikale Beleuchtungsstärken. Diese unterstützen damit auch die zweite, scheinbar widersprechende Anforderung an das moderne Büro: Offenheit, Kommunikativität und Raumwahrnehmung.

Ein geeignetes Lichtmanagement sollte diese Anforderungen umsetzen und die individuelle Anpassung des Lichtes am Arbeitsplatz an die gegebene Arbeitssituation und die persönlichen Gewohnheiten und Vorlieben wechselnder Nutzer ermöglichen. Die detaillierten Funktionen des Lichtmanagements sind im Einzelfall zu bestimmen, um ein ausgewogenes Verhältnis zwischen der individuellen Freiheit des Nutzers und dem Einfluss auf die Wirkung des Gesamt-raumes zu gewährleisten. Ein möglichst intuitiv verständliches Bedienkonzept ist dabei äußerst wichtig, um die Akzeptanz für die Nutzung zu steigern.

Die Individualisierung der Beleuchtung findet auch in den anerkannten Gebäude-Zertifizierungen Berücksichtigung. Dies sind Verfahren, mit denen die umwelt- und menschengerechte Gestaltung von Gebäuden bewertet werden, und die auf unterschiedlichen Bewertungssystemen basieren (siehe auch Kapitel [3.6](#) „Gebäude-zertifizierung“).

8.1.3 Anpassung des Lichtes an wechselnde Beleuchtungsaufgaben

Anpassungen des Lichtes an wechselnde Beleuchtungsaufgaben sind mit modernem Lichtmanagement flexibler und einfacher umzusetzen, als das in früheren Zeiten der Fall war. Dimmbare elektronische Betriebsgeräte und Steuerkomponenten haben sich zum Standard entwickelt und sind damit erschwinglich geworden. Darüber hinaus tragen die gute, wirtschaftliche Dimmbarkeit und die Schaltungsempfindlichkeit von LED-Leuchten zur Verbreitung von Lichtmanagement bei.

Das sind maßgebliche Gründe, warum Lichtszenensteuerungen heute nicht mehr allein den hochspezialisierten Arbeitsbereichen (siehe oben) vorbehalten sind, sondern auch in Büros, Besprechungs- und Seminarräumen, in Fachräumen von Ausbildungsstätten und in Sporthallen Eingang gefunden haben.

Für diese klassischen Aufgaben des Lichtmanagements können zwei Ziele unterschieden werden. Im Fall der Seminar- und Unterrichtsräume dient die Absenkung des Beleuchtungsniveaus der Verbesserung der Sehbedingungen, z. B. der Erkennbarkeit einer Projektion. In der Sporthalle hingegen dient die Absenkung des Beleuchtungsniveaus der Energieeinsparung, indem die Beleuchtungsstärke ggf. auf das gemäß der ausgeübten Sportart in der Norm EN 12193 [\[50\]](#) festgelegte Niveau abgesenkt wird.



Moderne Beleuchtungsanlagen sollten jedoch auch für eine gezielte Erhöhung des Beleuchtungsniveaus im Bedarfsfall ausgelegt sein. Für Büros, Besprechungs- und Seminarräume sowie in einigen Bereichen in Bildungsstätten und weiteren Anwendungen empfiehlt die Norm EN 12464-1 [51] ein um zwei Stufen erhöhtes Beleuchtungsniveau für den Wert \bar{E}_m (siehe Kapitel 2.4 „Beleuchtungsstärke“). Ein hoher Bedienkomfort kann dabei durch die Einrichtung wählbarer Lichtszenen erreicht werden. Eine Optimierung des Energieverbrauchs ist möglich, wenn die Lichtszenen für alle Lichtniveaus auf entsprechende Sollwerte tageslichtabhängig geregelt sind (siehe Kapitel 8.3 „Tageslichtabhängige Regelung“).

8.1.4 Gesundheitsförderung

Durch Unterstützung des circadianen Rhythmus des Menschen kann der Einsatz geeigneter Beleuchtungssysteme eine positive Auswirkung auf die Gesundheit haben. Dies ist ein wichtiger Bestandteil des HCL-Konzeptes (Human Centric Lighting). Dabei handelt es sich immer um eine dynamische, also zeitlich variierende Beleuchtung, für die ein geeignetes Lichtmanagement unerlässliche Voraussetzung ist. Die Voraussetzungen und Wirkungen so einer Beleuchtungsanlage und ihres Lichtmanagements sind im Kapitel 3.3 „Licht und nicht-visuelle Wirkungen“, insbesondere im Abschnitt 3.3.6 „Human Centric Lighting und Lichtplanung“ beschrieben.

8.1.5 Energieeinsparung

Zusätzlich zur Komfortsteigerung ist heute die Energieeinsparung ein weiteres Argument und letzlicher Anlass zur Entscheidung für ein Lichtmanagement. Die Fülle der Anwendungen, in denen hohe Einsparpotentiale liegen, führen dabei zu einem hohen Bedarf entsprechender Installationen, was seinerseits in der jüngeren

Vergangenheit zu einem Entwicklungsschub und zu drastischen Kostenreduzierungen geführt hat und damit wiederum die Verbreitung von Lichtmanagementsystemen weiter beschleunigt.

Wie oben im Beispiel der Sporthalle erwähnt, kann in einigen Anwendungen durch Einstellen des Niveaus der künstlichen Beleuchtung auf den zur Zeit erforderlichen Wert anstelle eines permanenten 100%-Betriebes bereits Energie eingespart werden. Während dies früher häufig in Stufen durch eine Serienschaltung mehrerer Leuchtmittel oder Leuchten realisiert wurde, erweist sich heute das gleichmäßige Dimmen aller Leuchtmittel, insbesondere das Dimmen von LED-Leuchten, als die rationellere und wirtschaftlichere Lösung (siehe Kapitel 5.8.5, „Dimmung durch Betriebsstromregulierung und Pulsweitenmodulation“). Jedes beliebige Beleuchtungsniveau kann eingestellt und aufgerufen werden, ohne die weiteren lichttechnischen Kriterien, wie z. B. die Gleichmäßigkeit oder die Blendung negativ zu beeinflussen.

Ein weiterer Vorteil ist, dass das Dimmen beim Nutzer im Allgemeinen eine höhere Akzeptanz genießt. Stufenschaltungen werden häufig als irritierend empfunden. Dimmvorgänge finden unbemerkt statt und beeinträchtigen den Sehkomfort nicht.

Zusätzlich ist nun prinzipiell nur noch ein Sensor zur Erfassung der momentanen Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz erforderlich, um auch Fremdlicht, das am Ort der Sehaufgabe zur Verfügung steht, zu berücksichtigen und durch eine Konstantlichtregelung den Energieverbrauch der Beleuchtungsanlage weiter zu senken. An vielen Arbeitsplätzen steht Tageslicht in hohem Maße zur Verfügung, so dass große Einsparpotentiale genutzt werden können (siehe auch Kapitel 3.5.9 „Tageslichtnutzung“).¹

Ein weiteres Einsparpotential, das durch Erfassung mittels Sensorik nutzbar gemacht werden kann, ist die Abwesenheit von Personen (siehe Kapitel 8.2 „Anwesenheitserfassung“). In vielen Anwendungen kann in den Abwesenheitszei-

¹ Bei einer Messung der Leistungsaufnahme im Dimmbetrieb ist ggf. zu berücksichtigen, dass sich hier ein reduzierter Leistungsfaktor (siehe Kapitel 5.7.4 „Leistungsfaktor“) einstellen kann.

ten das Licht ausgeschaltet oder drastisch gedimmt betrieben werden. Zum energiesparenden Abschalten bei Abwesenheit gehört jedoch immer eine verlässliche Erfassung der Anwesenheit, damit keine Risiken bzgl. der Arbeitssicherheit entstehen. Bei sachgerechter Auswahl und Anordnung der Sensoren sind diese beiden Aspekte mit heutigen Mitteln sehr gut zu vereinen.

Welche Sensortechniken zur Verfügung stehen und welche Randbedingungen bei der Konzeption der Anwesenheitserfassung und der tageslichtabhängigen Regelung zu beachten sind, wird in den nachfolgenden, technischen Absätzen dieses Kapitels behandelt.

Hinweise zu den Energie-Einsparpotentialen von Anwesenheitserfassung und tageslichtabhängiger Regelung (siehe Abbildung 8.2) befinden sich im Kapitel [3.5.12](#), „Deutsche Norm DIN V 18599“.

8.1.6 Erhöhung der Wirtschaftlichkeit

Ein wesentlicher Grund der hohen Attraktivität energiesparender Maßnahmen in allen Lebensbereichen ist heute der Preis, der für Energie zu zahlen ist. Insbesondere der Preis für elektrische Energie ist seit der Jahrtausendwende drastisch gestiegen. So hat sich z. B. im Zeitraum vom Jahr 2000 bis zum Jahr 2020 der Strompreis für einen typischen Industriebetrieb von 6,05 ct/kWh auf 18,55 ct/kWh, also um einen Faktor > 3, erhöht.²

Die Entwicklung des Strompreises hat in dem genannten Zeitraum allerdings breite Schwankungen gezeigt. Eine Prognose der Entwicklung der Energiepreise ist deshalb immer mit einiger Unsicherheit verbunden, so dass es vielen Anwendern sinnvoll erscheint, mit Energieverbrauch senkenden Maßnahmen dieses Risiko zu minimieren.

Darüber hinaus ist bei der Betrachtung von Arbeitsstätten die Verbesserung der Umgebungsbedingungen immer auch ein Aspekt der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung. Dazu gehört in

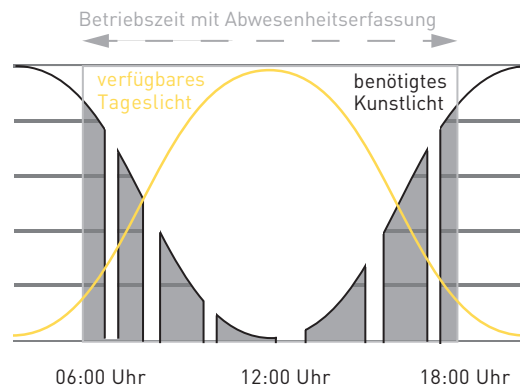


Abbildung 8.2: Energie-Einsparpotentiale durch Lichtmanagement. Ausschalten bei Abwesenheit und tageslichtabhängige Konstantlichtregelung ergeben kombiniert ein hohes Einsparpotential.

hohem Maße auch die Verbesserung des Beleuchtungskomforts und der Individualität der Beleuchtung bzw. der allgemeinen Beleuchtungsqualität. Sie führen zu erhöhter Motivation und Konzentrationsfähigkeit und in Einzelfällen auch zur besseren Erfassung der Sehaufgabe (siehe Kapitel [8.1.2](#) „Individualisierung der Beleuchtung“). Die wirtschaftlichen Auswirkungen gesundheitsfördernder, circadian wirksamer Beleuchtung sind ggf. mit einzuschließen (siehe Kapitel [3.3.1](#) „Human Centric Lighting“).

Diese Effekte in ihrer finanziellen Auswirkung in der Einheit einer Währung zu beziffern, erfordert jedoch die genaue Untersuchung des vorliegenden Einzelfalls, weshalb diese Betrachtungsweise in der Regel nicht erfolgt. Dennoch sollten die genannten Auswirkungen des Lichtmanagement bei seiner Einrichtung berücksichtigt werden, da sie als Zusatznutzen ohne bzw. mit geringem Zusatzaufwand „mitgenommen“ werden können (siehe auch Kapitel [3.4.3](#) „Beispiel eines Büros“).

Die finanziellen Effekte der Energieeinsparung auf die Gesamtwirtschaftlichkeit der Beleuchtungsanlage werden im Kapitel [3.4](#) „Licht und Wirtschaftlichkeit“ behandelt.

² Durchschnittlicher Strompreis für die Industrie (inkl. Stromsteuer) bei einem Jahresverbrauch von 160.000 bis 20 Mio. kWh (Strompreisanalyse Januar 2020, BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., <https://www.bdew.de>)

8.1.7 Geltende Vorschriften und Regeln

Vorschriften und Regeln unterscheiden sich in Ihrer Art grundsätzlich in zwei Kategorien: Sie beziehen sich auf Produkte oder auf Anwendungen.

Eine typische Produktvorschrift ist die sogenannte „Ökodesign-Richtlinie“ (ErP-Richtlinie, Energy-related Products), die als EU-Richtlinie 2009/125/EG [138] erlassen wurde. Die daraus resultierende für die technische Beleuchtung relevante Verordnung ist die Verordnung (EG) Nr. 2019/2020 [191]. Sie regelt das Verbot des Inverkehrbringens ineffizienter Beleuchtungskomponenten (siehe auch Kapitel 3.5.5 „Ökodesign-Anforderungen an Lichtquellen“).

Bezüglich der Komponenten in elektronisch gesteuerten Beleuchtungsanlagen stellt die ErP-Richtlinie nur die Forderung, dass Vorschaltgeräte, die das Ausschalten angeschlossener Leuchtmittel ermöglichen, im Standby-Betrieb nicht mehr als 0,5 Watt Wirkleistung aufnehmen dürfen (siehe Kapitel 5.7.4 „Leistungsfaktor“). Forderungen an die Funktionsweise von Steuerkomponenten werden nicht erhoben.

Allerdings gibt es Anwendungsvorschriften, die sich in den europäischen Ländern unterscheiden, aber alle auf die jeweils nationale Umsetzung der europäischen EPBD-Richtlinie (Energy Performance of Buildings Directive), EU-Richtlinie 2010/31/EU [140] zurückzuführen sind.

In Deutschland ist dies das Gebäude-Energie-Gesetz (ehemalig die Energie-Einspar-Verordnung). In seiner gültigen Fassung (GEG [140], siehe Kapitel 3.5.11 „Gebäude-Energie-Gesetz [GEG, ehemalig Energieeinsparverordnung EnEV]“) werden Lichtmanagementsysteme mit der Funktion der automatischen Anwesenheitserfassung oder einer tageslichtabhängigen, dimmenden Beleuchtungssteuerung für Anwendungen in Arbeitsstätten (Nutzerprofile) als Referenztechnologie festgelegt. Damit ist festgeschrieben, dass

ihr Energie-Einsparpotential bei der Ermittlung des für die Ausstellung einer Baugenehmigung eines Nichtwohngebäudes maximal zulässigen Energiebedarfs zu berücksichtigen ist.

8.1.8 Lichtmanagementsysteme

Funktionen eines Lichtmanagements sollten in der Regel raumbezogen definiert werden, egal, ob es um einfaches Dimmen geht, oder um komplexe Steuerungsaufgaben. Denn das Licht ist Voraussetzung für das Sehen, mit dem der Mensch durchschnittlich über 80 % seiner Sinneswahrnehmungen erhält. Und das Sehen findet innerhalb eines Raumes statt.

Dabei kann der Raum ggf. in mehrere, individuell steuerbare Bereiche unterteilt sein (siehe Abbildung 8.1). Jedoch sind die Bereiche innerhalb eines Raumes permanent im Blickfeld jedes einzelnen Nutzers. Daher sollte sich erst bei Abwesenheit von Personen in allen Bereichen des Raumes das Licht komplett ausschalten. Bis dahin sollte im gesamten Raum eine Hintergrundbeleuchtung bestehen bleiben. Es muss also die Anwesenheitsinformation der Nachbarbereiche berücksichtigt werden. Ob dies innerhalb eines den vollständigen Raum übergreifenden Gesamtsystems oder mittels mehrerer untereinander verbundener Einzelsysteme geschieht, ist dabei unerheblich.

Voneinander getrennte Räume hingegen stehen aus Sicht ihrer Nutzer in keinem Zusammenhang und können insofern voneinander unabhängig gesteuert werden.

Viele raumbezogene Systeme eröffnen auch installationstechnische Vorteile, in dem Steuergerät und Sensoren in die Leuchte integriert werden. Dies vereinfacht die Leitungsführung, indem z. B. die Steuerleitungen zum Anschluss an die Schnittstellen des Steuergerätes nicht in die sich im Flur befindliche Unterverteilung geführt werden müssen (siehe Abbildung 8.3).

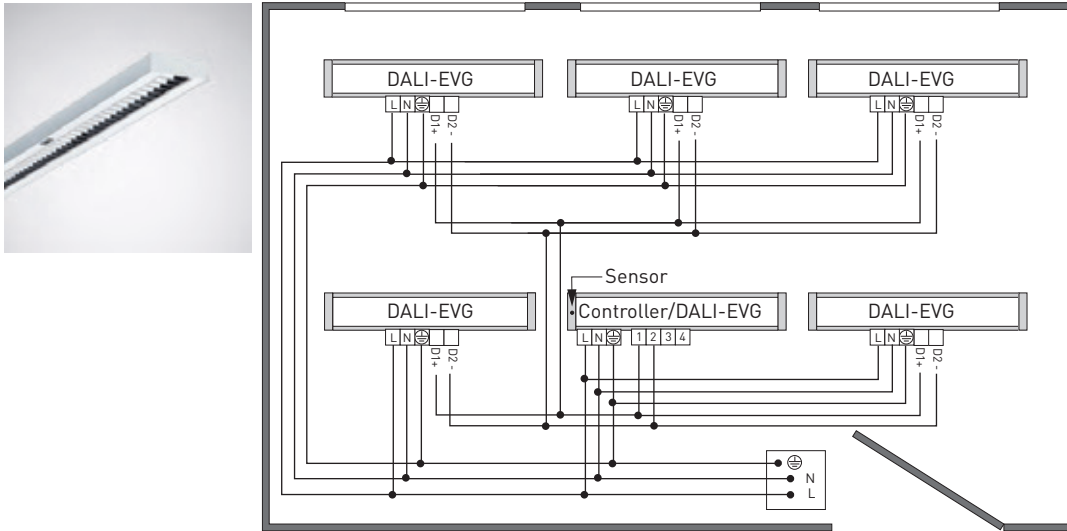


Abbildung 8.3:
Schematische Darstellung: Lokales Lichtmanagement mit Masterleuchte. Masterleuchte (Foto) mit integriertem Steuergerät und Sensoreinheit.

Sollen, z. B. in repräsentativen Anwendungen aufgrund des Erscheinungsbildes des Gesamtgebäudes übergreifende Funktionen realisiert werden, so empfiehlt es sich, diese durch Vernetzung raumbezogener Einzelsysteme oder deren Ansteuerung mittels eines Gebäudemanagementsystems zu realisieren (siehe Kapitel 8.8 „Gebäudemanagement, KNX und andere Bussysteme“). Aber auch zentralisierte Fernwartungs- und Monitoring-Funktionen können heute mittels geeigneter Schnittstellen mit zunehmendem Komfort und geringer werdendem Aufwand realisiert werden.

8.2 Anwesenheitserfassung

Bei der Anwesenheitserfassung für die Steuerung einer Beleuchtung ist grundsätzlich zwischen zwei Ausgangszuständen zu unterscheiden: der Zustand bei Anwesenheit und der Zustand bei Abwesenheit.

- Der typische Bewegungsmelder³ am Haus hat die Aufgabe, bei Dunkelheit eine sich nähernde Person zuverlässig zu erfassen und das Licht einzuschalten. Ist er an der Haustür installiert, soll er in der Regel das Licht so lange eingeschaltet halten, wie sich die Person im Ein-

gangsbereich befindet. Es geht um die Vermeidung von Dunkelheit zum Schutz vor Einbruch und Unfallgefahr.

- Die Anwesenheitserfassung eines Lichtmanagementsystems für die Innenraumbeleuchtung hat demgegenüber die (Haupt-) Aufgabe, das eingeschaltete Licht zuverlässig dann – und nur dann – auszuschalten, wenn keine Person mehr anwesend ist. Insofern könnte man diese Funktion auch eine „Abwesenheitserfassung“ nennen. Denn nur bei Abwesenheit wird Energie eingespart, was der beabsichtigte Zweck der Einrichtung ist (siehe auch Kapitel 3.5.8 „Licht und Umwelt“).

Im Folgenden soll es daher immer um den Zweck im Innenraum, also die „Abwesenheitserfassung“ gehen, die in vielen unterschiedlichen Konstellationen realisiert werden kann.

8.2.1 Automatische Wiedereinschaltung

Das Einsparpotential der Anwesenheitserfassung (siehe auch Kapitel 3.5.12 „Deutsche Norm DIN V 18599“) ist einerseits abhängig vom Grad der Erfassung der Abwesenheit. Ein weiterer Faktor ist jedoch die Funktion der Wiedereinschaltung.

³ Die weit verbreitete Unterscheidung zwischen Bewegungsmelder und Präsenzmelder soll hier unberücksichtigt bleiben, da beide Begriffe eigenständig installierbare Funktionseinheiten beschreiben, die sich in ihrem Funktionsumfang unterscheiden (wobei die Differenzierung nicht eindeutig ist). Hier soll – unabhängig vom Funktionsumfang des Installationsgerätes – allein auf die Funktion der Anwesenheitserfassung eingegangen werden.

Diese kann automatisch bei Erfassung erneuter Anwesenheit erfolgen oder aber ein manuelles Einschalten erfordern. Zur energetischen Optimierung der Beleuchtung sollten diese beiden Faktoren daher bis zu einem gewissen Grad im Zusammenhang betrachtet werden.

In vielen Anwendungen ist der Grad der Erfassung der Abwesenheit im Wesentlichen abhängig von der Haltezeit, die nach dem letzten Erfassen einer Bewegung vergehen muss, bis das Licht ausgeschaltet wird.

Wird z. B. in einem durchschnittlich halbstündlich frequentierten **Korridor** die Haltezeit auf 15 Minuten eingestellt, so ist maximal ein Einsparpotential von 50 % zu erwarten. Kann die Haltezeit hingegen auf eine Minute verkürzt werden, so können ca. 95 % der Energie, die für einen Dauerbetrieb erforderlich wäre, eingespart werden. Dies setzt jedoch voraus, dass die Erfassung der Anwesenheit mittels geeigneter Sensoren und deren optimierter Anordnung so gut sein muss, dass sie nicht für eine Minute aussetzt. Aus Gründen der Sicherheit sollte hier bei erneutem Erkennung von Bewegung eine automatische Wiedereinschaltung eingestellt werden. Man spricht hier auch von einer „vollautomatischen Schaltfunktion“.

Ein anderes Beispiel wäre ein **Klassenraum** in einer Schule. Eine sehr kurze Haltezeit würde aufgrund der zeitweise sehr geringen Bewegungen häufig zum Ausschalten der Beleuchtung führen. Abgesehen von der störenden Wirkung wäre es also erforderlich, eine automatische Wiedereinschaltung einzustellen, damit nicht dauernd das Licht manuell wieder eingeschaltet werden müsste. Verlängert man aber die Haltezeit so, dass die Anwesenheitserfassung in dieser Zeit verlässlich funktioniert, kann auf die automatische Wiedereinschaltung der Beleuchtung verzichtet werden. In Kombination mit der Tageslichtnutzung ergeben sich hier hohe Einsparpotentiale dadurch, dass das Licht bewusst eingeschaltet werden muss (siehe Kapitel [8.3](#) „Tageslichtabhängige Regelung“). Die Haltezeit sollte hier also ca. 5 bis 10 Minuten betragen,

damit sich innerhalb einer Unterrichtspause das Licht automatisch ausschaltet. Man spricht hier auch von einer „halbautomatischen Schaltfunktion“.

Die erforderliche Haltezeit ist also abhängig von der Leistungsfähigkeit und der Anordnung der Sensoren, um eine Zeit zu überbrücken, in der eine Anwesenheit nicht sicher erfasst wird. Andererseits sollte sie so kurz gewählt werden, dass das mögliche Energieeinsparpotential nicht verschenkt wird.

8.2.2 Sensorik

Um Anwesenheit in einem Raum festzustellen, bestehen grundsätzlich viele Möglichkeiten; von der Videokamera mit geeigneter Mustererkennung zur Erfassung von Personen über eine Geräuscherfassung bis hin zu Systemen mit klassischen Bewegungssensoren, die eine Veränderungen des Eingangssignals an ihrem auf einen Raumbereich ausgerichteten Sensor als Bewegungen interpretieren. Das könnten wiederum eine Videokamera mit einfacher Bildauswertung sein sowie Ultraschallsensoren⁴, Passiv-Infrarot-Sensoren oder Hochfrequenz-Sensoren.

In marktüblichen Lichtmanagementsystemen für den Innenraum wird überwiegend die Bewegungserfassung mittels Passiv-Infrarot-Sensoren genutzt. In einigen Fällen werden Hochfrequenz-Sensoren verwendet. Die akustische Anwesenheitserfassung kommt gelegentlich zusätzlich zu einem der vorgenannten Sensoren in Sanitärbereichen und Treppenhäusern zum Einsatz, z. B. in Seniorenheimen, wenn eine reine Bewegungserfassung zu unsicher ist. Die weiteren Optionen kommen nur in Spezialanwendungen zum Einsatz.

Es ist vom jeweiligen elektronischen Steuergerät abhängig, ob es nur den Erfassungsbereich eines einzelnen Sensors auswertet oder ob es eine Erweiterung des Erfassungsbereiches oder eine Einteilung des Raumes in mehrere Bereiche mit-

⁴ Aus Gründen des Datenschutzes dürfen solche Systeme keine Bilddateninformationen von Personen sichern, sondern nur die musterhafte Interpretation der örtlich, sich aufhaltenden Personen verarbeiten.

tels der Kombination mehrerer Sensoren ermöglicht. Die Kommunikation zwischen Sensor und Steuergerät ist in der Regel systemspezifisch. Eine genormte Schnittstelle für die Anwesenheitssensorik ist im Rahmen des DALI-2-Standards verfügbar (siehe Kapitel 8.4 „Schnittstellen“).

Anwesenheitserfassung am Arbeitsplatz mit Passiv-Infrarot(PIR)-Sensoren

Für die Erkennung der Anwesenheit an Arbeitsplätzen in Innenräumen werden in der Regel PIR-Sensoren eingesetzt. Als passive Sensoren zeichnen sie sich insbesondere durch einen einfachen Aufbau, geringe Wartungsanfälligkeit, relativ kleine Abmessungen, günstiges Preis-Leistungs-Verhältnis und einen geringen Energiebedarf aus. Darüber hinaus können PIR-Sensoren mit sehr unterschiedlich ausgeprägten Erfassungsbereichen angeboten werden.

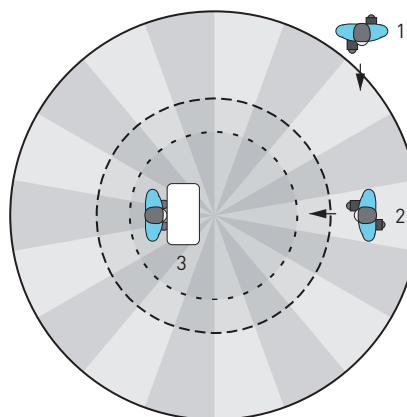
Die prinzipielle Funktionsweise dieses Sensortyps lässt sich wie folgt beschreiben:

- Sie beruht auf der Erfassung der von Lebewesen als Infrarotstrahlung an die Umwelt abgegebenen Körperwärme.
- Passiv ist er also insofern, als dass er selbst kein Signal aussenden muss, sondern lediglich Signale aus der Umwelt empfängt und auswertet.
- Die Auswertung des Signals erfolgt mittels einer Segmentierung des Empfängers, wobei jedes Segment die eingehende IR-Strahlung eines Raumwinkelbereiches der Umgebung erfasst.
- Bei Bewegung ändert sich also die IR-Einstrahlung in einem oder mehreren Segmenten, was vom Lichtmanagementsystem als Anwesenheit gedeutet wird.
- Es muss „Sichtkontakt“ zwischen dem Sensor und der sich bewegenden Person bestehen, damit die Bewegung erfasst werden kann.
- Mit wachsender Entfernung vom Sensor ist eine größere Bewegung erforderlich, um erkannt zu werden. Deshalb wird häufig zwischen dem nahen Bereich der Anwesenheitserkennung (geringe Bewegungen reichen aus) und

dem erweiterten Bereich der Bewegungserkennung (Fortbewegung) unterschieden (siehe Abbildung 8.4).

- Die elektrische Versorgung des PIR-Sensors erfolgt in der Regel durch das zugehörige Steuergerät über die Sensorleitung.

Infrarotstrahlung kann, ähnlich wie optische Strahlung, auf einfache Weise durch Linsen gebündelt oder gestreut und damit fokussiert oder aufgeweitet werden. Auf diese Weise ist es möglich, ganz unterschiedliche Erfassungscharakteristika zu erzeugen, die entsprechend der Raumgeometrie der vorliegenden Anwendung eingesetzt werden. So gibt es eng erfassende Sensoren mit großer Reichweite für Flure, Sensoren für große Montagehöhen in Regallagern mit elliptischer Erfassungsfläche, breit erfassende Sensoren für Büros und Bildungsstätten sowie weitere Ausprägungen der Erfassung. In Einzelfällen sind Erfassungsparameter, wie z. B. Reichweite und Empfindlichkeit, am Sensor einstellbar.



- 1) Reichweite bei seitlichem Vorbeigehen (tangential)
- - - 2) Reichweite bei direktem Draufzugehen (radial)
- · - · 3) Reichweite bei sitzender Tätigkeit (Präsenz)

Abbildung 8.4:

Der Erfassungsbereich eines Passiv-Infrarot-Sensors für die Anwesenheits- und Bewegungserfassung.

- In einem weiten Erfassungsbereich können Bewegungen erfasst werden, wenn diese tangential (quer zur „Blickrichtung“ des Sensors) in vergleichbarer Form zu einer Gehbewegung stattfinden.
- In einem etwas engeren Erfassungsbereich werden auch radiale Bewegungen der Art einer Gehbewegung in Richtung zum Sensor hin erfasst.
- Im Erfassungsbereich der Anwesenheit (Präsenz) werden auch kleine Bewegungen (z. B. Schreibtätigkeit) erfasst.

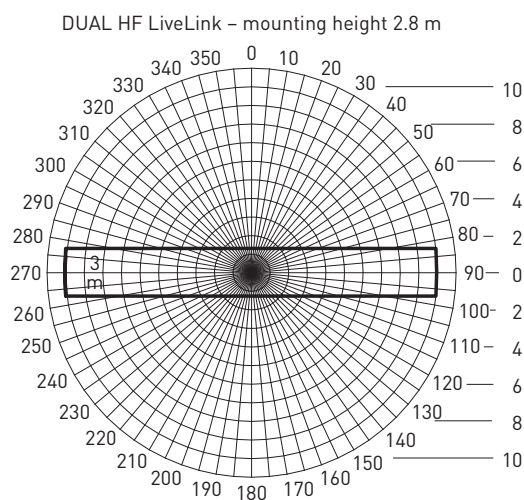
Es ist vom jeweiligen elektronischen Steuergerät abhängig, ob es nur den Erfassungsbereich eines einzelnen Sensors auswertet oder ob es eine Erweiterung des Erfassungsbereiches oder eine Einteilung des Raumes in mehrere Bereiche mittels der Kombination mehrerer Sensoren ermöglicht. Die Kommunikation zwischen Sensor und Steuergerät ist in der Regel systemspezifisch. Eine genormte Schnittstelle für die Anwesenheitssensorik ist im Rahmen des DALI-II-Standards in Vorbereitung (siehe Kapitel 8.4 „Schnittstellen“).

Typische Anwendungen sind z. B.

- Büros,
- Bildungsstätten,
- Sporthallen,
- Räume des Gesundheitswesens,
- Lagerbereiche,
- Flure,
- und weitere Bereiche in Innenräumen, in denen sich Personen im Allgemeinen nicht in winterlicher Bekleidung für den Aufenthalt im Freien bewegen (siehe unten, nächster Abschnitt).

Bei der Positionierung von IR-Anwesenheitssensoren ist darauf zu achten, dass eine ausreichende Erfassung der Anwesenheit gewährleistet ist. Außerdem sollte ihre Funktion nicht durch Störquellen im Erfassungsbereich beeinträchtigt werden.

Abbildung 8.5: Der Erfassungsbereich eines Hochfrequenz-Sensors für die Anwesenheitserfassung. Die gerichtete Abstrahlung der Sendeleistung ermöglicht eine große Länge des Erfassungsbereiches.



- So können z. B. unbewegte Wärmequellen zum Einschalten der Beleuchtung führen, wenn diese sich schnell erhitzen oder abkühlen, sie also eine Änderung des vom Sensor empfangenen IR-Signals bewirken.
- In benachbarten, aber unabhängig zu schaltenden Bereichen kann ggf. die IR-Strahlung des Indirektanteils der (Leuchtstofflampen-) Beleuchtung des Nachbarbereiches das automatische Einschalten auslösen.

Störungen dieser Art treten jedoch relativ selten auf und lassen sich in der Regel durch eine Abschattung der Störquelle oder eine Änderung der Sensorpositionierung beheben.

Anwesenheitserfassung auf Verkehrswegen mit HF-Sensoren

In manchen Anwendungen kann ein IR-Anwesenheitssensor prinzipiell nicht verwendet werden, wenn z. B.

- die in ihrer Bewegung zu erkennenden Personen/Objekte keine IR-Strahlung aussenden,
- in dem betrachteten Raumbereich starke IR-Signale auftreten, die das zu erfassende Signal überdecken, oder
- sich der Sensor in einer geschlossenen Leuchte befinden soll.

In diesen Fällen wird in der Regel zu der Alternativlösung mittels eines HF-Sensors gegriffen. Die prinzipielle Funktionsweise dieses Sensortyps lässt sich wie folgt beschreiben:

- Die Erfassung beruht auf der Aussendung eines Hochfrequenz-Signals (elektromagnetische Strahlung im Mikrowellenbereich) und dem Empfang von dessen Reflexion.
- Bewegungen im Raum bewirken eine Veränderung des reflektierten Signals.
- Es muss nur bedingt „Sichtkontakt“ zwischen dem Sensor und der sich bewegenden Person bestehen, damit die Bewegung erfasst werden kann.
- In geringem Maße kann das Hochfrequenz-Signal Material, (z. B. dünne Trockenbauwände durchdringen, sodass ggf. die Sensoreinstel-

lung angepasst werden muss, um den Erfassungsbereich einzuschränken.

- Die aktive Aussendung des HF-Signals verursacht einen relativ hohen Versorgungsstrom des Sensors, der durch das Steuergerät oder ggf. durch ein Sensor-Netzgerät bereitzustellen ist.

Die Form des Erfassungsbereiches kann weitgehend durch die Abstrahlcharakteristik des HF-Signals bestimmt werden (siehe Abbildung 8.5). Insbesondere große Reichweiten bei engen Erfassungswinkeln lassen sich mit dieser Technologie sehr gut realisieren. Typische Anwendungen sind z. B.

- Eingangsbereiche und Hausflure, wo zu erwarten ist, dass Personen im Winter noch Mäntel, Mützen und Handschuhe tragen und somit für IR-Sensoren nicht erkennbar sind,
- Tiefgaragen, wo für Personen das Gleiche gilt wie in Eingangsbereichen und auch sich bewegende Fahrzeuge noch nicht unbedingt betriebswarm sind,
- Lagerbereiche,
- lange Gänge und Verkehrswege,
- Bereiche, die mit geschlossenen Wannenleuchten beleuchtet und nicht mit leuchtenexternen IR-Sensoren erfasst werden.

8.3 Tageslichtabhängige Regelung

Neben der Anwesenheits- bzw. Abwesenheits- erfassung ergibt sich ein weiteres großes Energieeinsparpotential durch die Nutzung einer elektronischen Tageslichterfassung. Das Maß an Tageslicht, das zur Verfügung steht, muss nicht zusätzlich durch die künstliche Beleuchtung bereitgestellt werden. Das künstliche Licht kann also um die entsprechende Lichtmenge reduziert und bei ausreichend Tageslicht ausgeschaltet werden.

Schon in den 1980er Jahren wurde dieses Prinzip, vor allem in großen Beleuchtungsanlagen in Industrie- und Sporthallen, zur Einsparung der

Beleuchtungsenergie angewendet. Vielfach kam dazu ein Schwellwertschalter zum Einsatz, der bei Erreichen voreinstellbarer Schwellwerte des Messwertes des verfügbaren Tageslichtes das künstliche Licht in drei Schaltgruppen zu- bzw. wegschaltete. Die heutige Technik erlaubt ein kontinuierliches Dimmen der Beleuchtung, so dass sich zusätzliches Einsparpotential durch exaktes Halten des geforderten, voreingestellten Beleuchtungsniveaus eröffnet.

Der Mehraufwand für tageslichtabhängig gedimmte Beleuchtungsanlagen ist dank moderner Technik heute in vielen Fällen ökologisch sinnvoll und wirtschaftlich lukrativ und in weiteren zumindest vertretbar. Dennoch sollte eine Betrachtung des Einsparpotentials immer berücksichtigt werden:

- Zunächst sollte durch den Einsatz effizienter Leuchten eine gute Beleuchtungsqualität bei minimierter Anschlussleistung realisiert werden.
- Als Nächstes ist zu prüfen, ob eine Anwesenheits- erfassung sinnvoll ist. Ist in der betrachteten Anwendung bei Abwesenheit kein Restlichtniveau erforderlich, so können in der Regel nicht-dimmbare Leuchten eingesetzt werden.
- Zuletzt ist zu prüfen, ob bei nach Abzug der abwesenheitsbedingten Ausschaltzeiten in der verbleibenden Betriebszeit die Dimmung der Anlage noch ein attraktives Einsparpotential der tageslichtabhängigen Dimmung bietet (siehe Abbildung 8.2).

Gegebenenfalls ist dann zu entscheiden, welche Funktionalitäten im Detail anzustreben sind.

8.3.1 Steuerung und Regelung

Bei der Tageslichtnutzung zur Reduzierung des Kunstlichtes kann zwischen zwei Prinzipien unterschieden werden:

- der tageslichtabhängigen Steuerung und
- der tageslichtabhängigen Regelung.

⁵ Definitionsgemäß ist der Begriff der Steuerung der Oberbegriff, welcher die Regelung mit einschließt. Die Regelung ist somit ein Sonderfall der Steuerung. Hier soll mit dem Begriff der Steuerung der Fall gemeint sein, dass keine Regelung vorliegt.

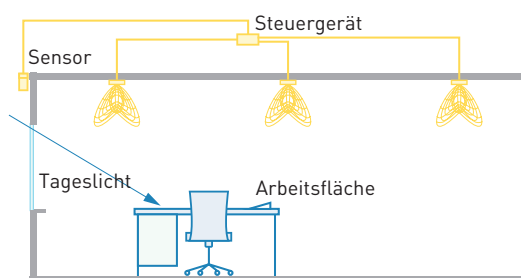
Mit dem Begriff

- Steuerung⁵ ist gemeint, dass die Menge des verfügbaren Tageslichtes an möglichst geeigneter Stelle gemessen wird, um daraus die zusätzlich erforderliche Menge des Kunstlichtes zu ermitteln, die mittels der elektrischen Beleuchtungsanlage erzeugt werden muss, um den Bereich der Sehaufgabe ausreichend mit Licht zu versorgen (siehe Abbildung 8.6a),
- Regelung ist gemeint, dass im Bereich der Sehaufgabe die Summe des dort auftretenden Tageslichtes und Kunstlichtes gemessen wird. Sobald das Tageslicht nicht ausreicht, um die im Bereich der Sehaufgabe erforderliche Beleuchtungsstärke bereitzustellen, wird mit künstlichem Licht ergänzt. Dazu befindet sich der Erfassungsbereich des Sensors im Bereich der Sehaufgabe. Die künstliche Beleuchtung wird von dem Steuergerät so nachgeführt, dass die gemessene Beleuchtungsstärke konstant auf dem erforderlichen Niveau, dem sogenannten Sollwert, gehalten wird (siehe Abbildung 8.6b).

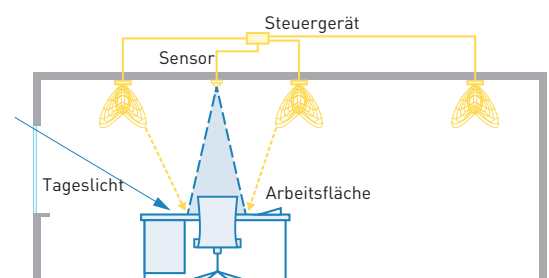
In den Anwendungen der Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen hat sich die Regelung als in den meisten Fällen überlegene und verlässlichere Prinzip herausgestellt. Die Steuerung ist hingegen schwierig. Die Schwierigkeit liegt darin, dass die Abhängigkeit der im Bereich der Sehaufgabe verfügbaren Menge des Tageslichtes von derjenigen am außerhalb des Sehbereiches liegenden Messpunktes in der Regel schwer zu ermitteln ist. Gründe hierfür sind:

- Die Messung des Tageslichtes muss in der Regel außerhalb des künstlich beleuchteten Raumes erfolgen, um die Messung nicht durch Anteile des Kunstlichtes zu verfälschen.
- Die unterschiedliche Wirkung des Einfalls von direktem (bei Sonnenschein) und diffusem (bei Bewölkung) Tageslicht.
- Der Tageslichteinfall variiert tages- und jahreszeitlich in hohem Maße.
- Der Einfluss von Beschattungseinrichtungen ist rechnerisch schwierig zu berücksichtigen.

Abbildung 8.6:
Position des
Lichtensors

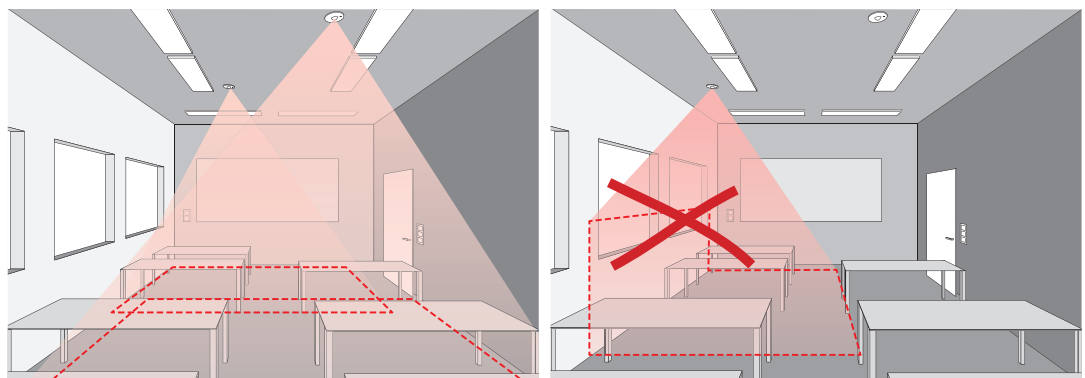


(a) Lichtsensorposition der Steuerung



(b) Lichtsensorposition der Regelung

Abbildung 8.7:
Der Erfassungsbereich eines Lichtsensors für die tageslichtabhängige Regelung. Störungen durch mit Fremdlicht hell beschienenen Flächen im Erfassungsbereich sollen vermieden werden.



Die Einflüsse, die bei der Steuerung zusätzlich zu erfassen und einzukalkulieren wären, sind im Fall der Regelung im Messwert enthalten.

Um eine verlässliche Regelung der Beleuchtung sicherzustellen, ist andererseits erforderlich, dass

- die Messfläche im Bereich der Sehaufgabe liegt,
- ein genügend hoher Reflexionsgrad im Bereich der Sehaufgabe vorliegt,
- der Bereich der Sehaufgabe diffus reflektiert,
- die Messfläche unter dem Sensor genügend groß und dort die mittlere Reflexion zeitlich konstant ist und
- in der Messfläche keine zu großen Störungen durch Fremdlicht auftreten.

Dies ist durch eine geeignete Positionierung des Sensors in der Regel mit geringem Aufwand zu realisieren.

Als störendes Fremdlicht können in der Praxis Reflexionen heller, tageslichtbeschienener Flächen im Erfassungsbereich des Sensors (siehe Abbildung 8.7), aber z. B. auch ein indirekt abgestrahlter Lichtstromanteil abgehängter Leuchten wirken.

8.3.2 Lichtniveau und Bereich der Sehaufgabe

Aufgabe der tageslichtabhängigen Lichtregelung bzw. Lichtsteuerung ist es, Energie zu sparen und dabei sicherzustellen, dass dennoch alle Bereiche der Sehaufgabe im Raum zu jeder Zeit ausreichend mit Licht versorgt sind. Zur Einrichtung des Lichtmanagements ist es daher sinnvoll, die räumliche Verteilung der Sehaufgaben zunächst zu analysieren, und unter Berücksichtigung der Anordnung der Leuchten diese zu gruppieren und die Positionierung der zugeordneten Sensoren festzulegen.

Der Weg der Entscheidungsfindung soll hier an drei typischen Situationen beschrieben werden.

Identische Bereiche der Sehaufgabe in Fensternähe

Einer der häufigsten Grundrisse in Verwaltungsgebäuden ist das Gruppenbüro mit in Fensternähe befindlichen Arbeitsbereichen. Dies sind häufig Doppelarbeitsplätze, bei denen zwei Schreibtische sich gegenüberstehen. Aber auch die Anordnung von Vierfcharbeitsplätzen (siehe Abbildung 8.9) ist häufig anzutreffen. In solchen Büros kann man die Arbeitsplätze als identische, zusammenhängende Bereiche der Sehaufgabe betrachten. Für das Lichtmanagement besteht die Aufgabe darin, diese Bereiche ordnungsgemäß zu steuern.

Bezüglich einer tageslichtabhängigen Regelung können hier unterschiedliche Aspekte eine Rolle spielen, die im Wesentlichen von der Anordnung und der lichttechnischen Wirkung der verwendeten Leuchten abhängen:

- Bei zwei Leuchtenreihen kann eine gleichmäßige Dimmung aller Leuchten oder eine sogenannte Offset-Regelung erfolgen.
- Es können leuchtenexterne Sensoren oder in (Master-)Leuchten integrierte Sensoren zum Einsatz kommen.
- Die Istwert-Messung kann im Arbeitsbereich oder außerhalb des Arbeitsbereiches erfolgen.

Die **Abbildungen 8.8a und b** zeigen eine zweireihige Anordnung direkt strahlender An- oder Einbauleuchten, wie sie in vielen Büros vorzufinden ist. In solchen Anwendungen kann der Sensor der tageslichtabhängigen Regelung leuchtenextern über dem Arbeitsplatz montiert sein oder sich in einer Masterleuchte befinden. In beiden Fällen bieten viele Lichtmanagementsysteme eine Wahl zwischen zwei möglichen Betriebsarten an. Dabei können entweder alle Leuchten gleichmäßig gedimmt betrieben werden oder ein sogenannter Offset-Betrieb eingerichtet werden, bei dem die fensternahen Leuchten bei verfügbarem Tageslicht stärker gedimmt werden als die von den Fenstern entfernteren.

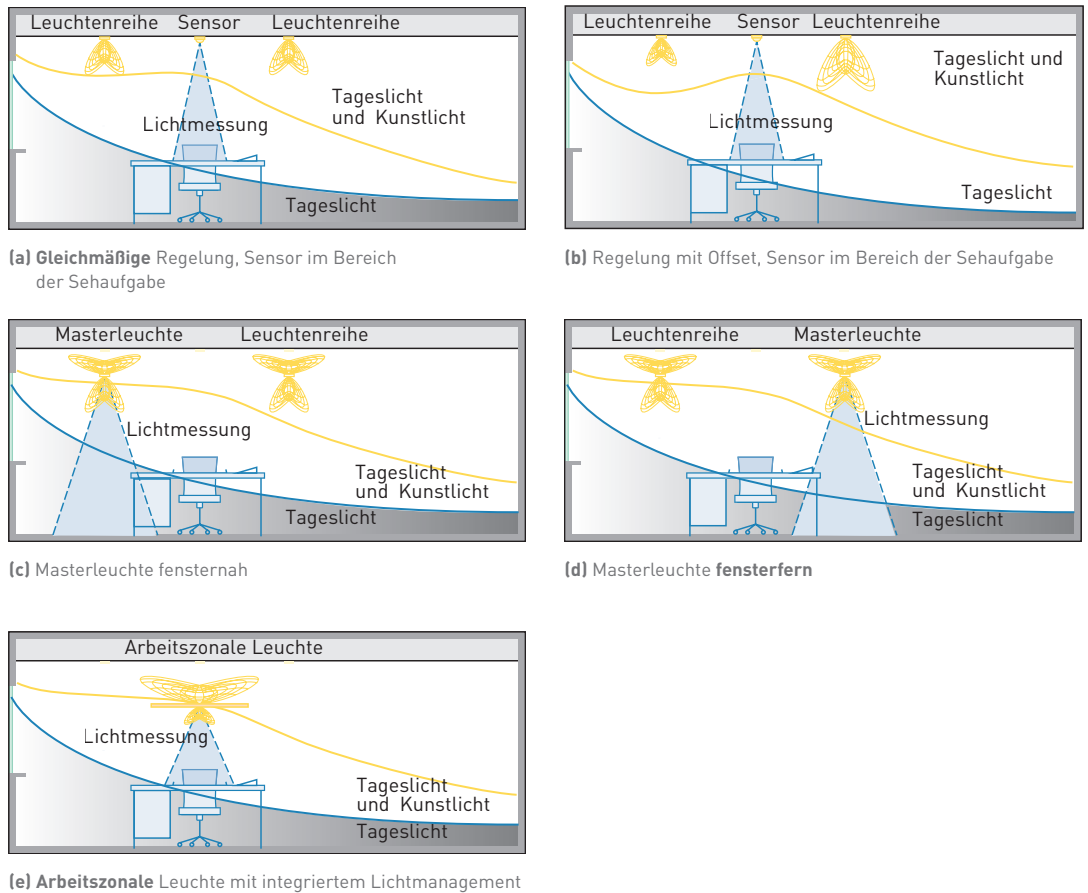


Abbildung 8.8:
Tageslichtabhängige
Regelung in einem
Bereich der Sehauf-
gabe

Das Ziel der Offset-Regelung besteht darin, die zur Raumtiefe hin abnehmende Verfügbarkeit des Tageslichtes auszugleichen. Es ist im Einzelfall zu prüfen, in welchem Maße die bewirkte, überwiegend horizontale Beleuchtungsstärke in diesem Bereich, der z. B. ein reiner Verkehrsweg sein könnte, benötigt wird.

Die **Abbildungen 8.8c und d** zeigen die Situation der Integration des Lichtsensors in eine Masterleuchte. Ein Grund für die Verwendung der Masterleuchte kann die vereinfachte Installation sein. Im Falle direkt-indirekt strahlender Leuchten sollte für die korrekte Messung der Ist-Beleuchtungsstärke in der Nutzebene jedoch unbedingt vermieden werden, dass Anteile des nach oben gerichteten Lichtstroms der Leuchten direkt vom Sensor erfasst werden und den Messwert überlagern. Aufgrund der breit strahlenden Charakteristik des Lichtstrom-Indirektanteils ist

die Montage des Sensors an der Decke in solchen Fällen daher kritisch zu bewerten.

Bei der Entscheidung, ob der Sensor fensternah oder in einer Leuchte in der Raumtiefe positioniert werden soll, ist zu berücksichtigen, dass Störungen durch Fremdlicht (siehe Abbildung 8.7) vermieden werden. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass der Verlauf der Tageslichtversorgung zur Raumtiefe vom Grad der Streuung des Tageslichtes (gerichtetes Licht bei Sonnenschein oder diffuses Licht bei bedecktem Himmel) abhängig sein kann. Die Anordnung des Sensors in der Raumtiefe reduziert somit unter Umständen das Energieeinsparpotential im Vergleich zur Messung im Arbeitsbereich. Im Vergleich zur fensternahen Messung ist sie hingegen unter Umständen zuverlässiger.

Soll in der Geometrie der Abbildungen 8.8c und d eine Offset-Regelung realisiert werden, so ist darauf zu achten, ob das Lichtmanagementsystem einen positiven oder negativen Offset vorgibt. Entsprechend ist ggf. die fensternahe oder fensterferne Anbringung der Masterleuchte vorgegeben.

Die **Abbildung 8.8e** zeigt die Anordnung einer arbeitszonalen Leuchte mit integrierter Sensorik zur Messung im Bereich der Sehaufgabe. Ein deckenmontierter Lichtsensor in Kombination mit der stark indirekt strahlenden Leuchte ist auszuschließen. Der hohe Indirektanteil der Leuchte erfordert einen guten Deckenreflexionsgrad (siehe auch Empfehlungen aus DIN EN 12464-1:2021-11, Kapitel 5.2.2). Er bewirkt dann in der Raumtiefe eine in der Regel sehr gute Ausleuchtung. Insbesondere der vertikale Anteil

der Beleuchtungsstärke ist geeignet, nicht nur einen Verkehrsweg zu beleuchten, sondern auch Leseaufgaben an Regalen und Schränken zu unterstützen (siehe auch Abbildung 4.20 in Kapitel 4.3.13 „Sehaufgaben und Arbeitsbereich“).

Für **alle Anordnungen** können bei identischer Tageslichtversorgung aller Arbeitsplätze im Raum die benachbarten Bereiche durch ein gemeinsames Lichtmanagementsystem gesteuert werden. In der Praxis ist abzuwägen, ob eine lokale Anwesenheitserfassung je Arbeitsplatzgruppe (siehe Abbildung 8.9) den Einsatz mehrerer Sensoren sinnvoll erscheinen lässt. Da in Masterleuchten Anwesenheits- und Lichtsensoren in der Regel kombiniert enthalten sind, können diese für lokale, individualisierte Ansteuerungen der Leuchtengruppen genutzt werden.

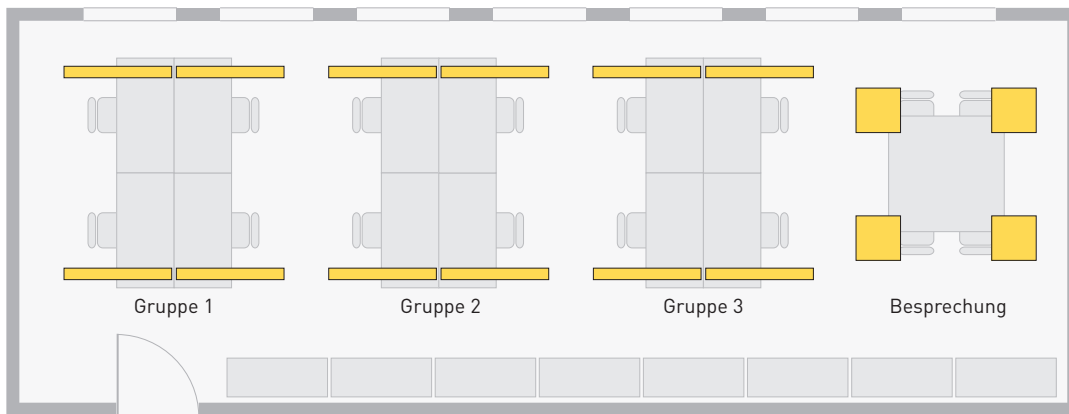


Abbildung 8.9: Grundriss eines Gruppenbüros

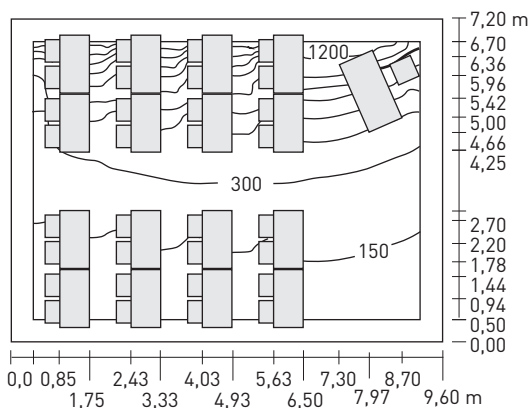


Abbildung 8.10: Verteilung der horizontalen Beleuchtungsstärke durch Tageslicht in einem Klassenraum

Identische Bereiche der Sehaufgabe in Fensternähe und in der Raumtiefe

Sind Bereiche identischer Sehaufgaben in einem Raum nicht in gleichem Maße mit Tageslicht versorgt, so besteht im Sinne der normgerechten Lichtversorgung aller Arbeitsbereiche die Möglichkeit, sich bzgl. der tageslichtabhängigen Regelung am schlechtest beleuchteten Bereich zu orientieren oder zu differenzieren und eine Aufteilung in mehrere Regelbereiche vorzunehmen, innerhalb deren die Tageslichtversorgung als annähernd gleich zu bezeichnen ist.

In Einzelfällen kann die schlechtere Tageslichtversorgung in Teilbereichen durch einen positiven Offset, also eine Erhöhung des künstlichen Beleuchtungsniveaus, ausgeglichen werden. Eine solche Installation spart häufig Kosten gegenüber der Einrichtung einer zusätzlichen, eigenständigen Regelung. Diese Möglichkeit ist jedoch kritisch zu prüfen.

In vielen Räumen ist die Tageslichtversorgung entlang der Fensterwand annähernd gleich, während sie zur Raumtiefe hin stark variiert, was in der Lichttechnik durch den sogenannten Tageslichtquotienten beschrieben wird (siehe Abbildung 8.10, siehe auch Kapitel 3.5.9 „Nutzung des Tageslichtes“). Bei Fenstersturzhöhen von bis zu 3 m kann z. B. ab ca. 5 m Raumtiefe davon ausgegangen werden, dass in der Nutzebene von 0,8 Metern Höhe dort weniger als ein Drittel der auf die Gesamtfläche bezogenen mittleren Beleuchtungsstärke vorherrscht. Eine Offset-

regelung würde bei diesem Verhältnis wenig Sinn machen. Eher wäre abzuwägen, ob hier ein permanenter 100 %-Betrieb vorzusehen ist.

Sollen in einem Raum Leuchten gruppenweise voneinander unabhängig geregelt werden, ist zu vermeiden, dass störende Einflüsse der Leuchtengruppen untereinander auftreten. Hierzu ist es sinnvoll, die Herstellerhinweise bzgl. möglicher, dokumentierter Systemkonfigurationen zu prüfen (siehe Abbildung 8.12).

Insbesondere der Parallelbetrieb mehrerer Einzelsysteme in benachbarten Bereichen kann im Einzelfall zu erheblichen Fehlfunktionen führen, die für den Nutzer – der im Allgemeinen kein Fachexperte ist – kaum beherrschbar sind.

Beispiel einer Fehlfunktion: Zwei parallele Systeme befinden sich an einem gemeinsamen Ein/Aus-Taster. Bei genügend Tageslicht schaltet die fensternahe Gruppe aus, die Gruppe in der Raumtiefe bleibt eingeschaltet. Das Betätigen des Schalt-Tasters führt zu einem unerwünschten Toggle-Betrieb (abwechselnd eine Gruppe ein-, die andere ausgeschaltet).

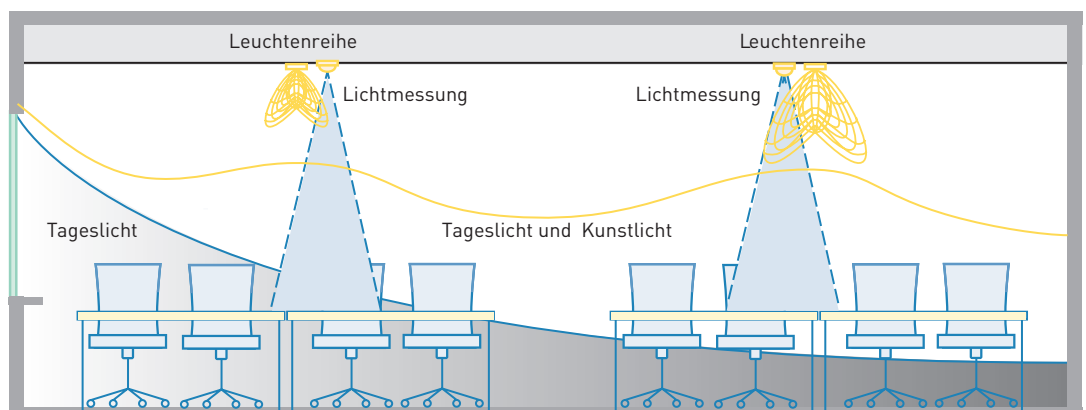


Abbildung 8.11:
Tageslichtabhängige
Regelung in mehreren
identischen Bereichen
der Sehaufgabe

Unterschiedliche Bereiche der Sehaufgabe

Bei unterschiedlichen Sollwerten der Beleuchtungsstärke für getrennte Bereiche der Sehaufgabe sollte grundsätzlich auf Offset-Steuerungen verzichtet und in den Bereichen einzeln geregelt werden. Auch hier ist zu beachten, dass benachbarte Bereiche sich gegenseitig beeinflussen können. Systeme, die für den Betrieb benachbarter Bereiche vorbereitet sind, helfen, Fehlfunktionen zu vermeiden (siehe Abbildung 8.12).

8.4 Schnittstellen

Schnittstellen sind für ein Lichtmanagement für die Kommunikation der unterschiedlichen beteiligten Komponenten erforderlich. Alle relevanten Informationen werden im Steuergerät gesammelt und verarbeitet und, soweit erforderlich, an die Komponenten übermittelt. Schnittstellen bestehen zwischen dem Steuergerät und

- den Sensoren,
- dem Nutzer (Bediener),
- den Betriebsgeräten der Leuchten.

Die Sensoren der Beleuchtungssteuerung erfassen Bewegungen bzw. Anwesenheit und Licht und setzen die gemessenen Werte in Signale um, die sie an das Steuergerät übergeben. Die Art der Verbindung sowie die Zusammensetzung der Signale, das Protokoll, kennzeichnen die Schnittstelle. Diese ist für die Sensorik heute im Markt in der Regel systemspezifisch. Das heißt, dass Sensoren nur bei Anschluss an das zugehörige Steuergerät ihre erwünschte Funktion erfüllen, ohne dass Anpassungen außerhalb der obligatorischen Inbetriebnahme erforderlich sind.

Ähnlich verhält es sich mit der Schnittstelle des Steuergerätes zum Nutzer bzw. Bediener. Auch hier können die Form, der Anschluss und die Funktionsbelegung der Bedienelemente sehr unterschiedlich ausfallen. Eine Form ist häufig die einfacher Installations-Schließ-taster. Diese können dann aber z. B. mit 230 V Netzspannung

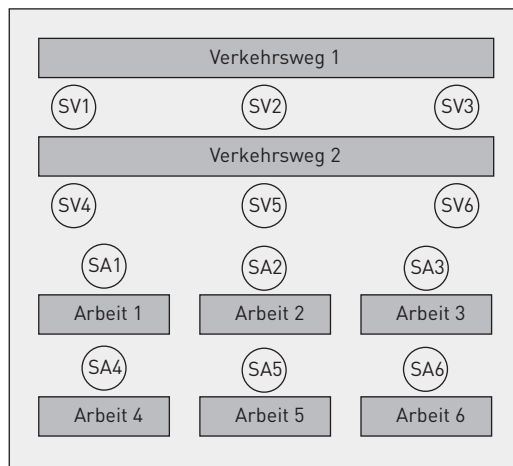


Abbildung 8.12:

Im Use Case „Fertigungshalle erweitert“ (des TRILUX LiveLink Systems) sind die Leuchtengruppen „Verkehrsweg 1“, „Verkehrsweg 2“, „Arbeit 1“, „Arbeit 2“, „Arbeit 3“, „Arbeit 4“, „Arbeit 5“ und „Arbeit 6“ angelegt. Zudem gibt es sechs Sensoren, die für die tageslichtabhängige Lichtregelung (SA1 – 6) und sechs Sensoren, die für die Anwesenheits-erfassung (SV1 – 6) zuständig sind.

oder mit einer vom Steuergerät intern oder extern bereitgestellten Schutzkleinspannung (SELV) betrieben und mit ganz unterschiedlichen Funktionen belegt werden.

Aber auch bei Verwendung vieler marktüblicher Funk-Schnittstellen, wie Bluetooth, ZigBee oder WLAN, ist die Definition bzgl. der verwendeten Schnittstelle für Leuchten, Sensoren oder Bedienelemente der Beleuchtung nicht komplett. Die Zuordnung der Funktionen zu den Befehlen, das Protokoll, ist hier nur formal vorgegeben, aber nicht inhaltlich festgelegt. Die inhaltliche Festlegung erfolgt durch den Anbieter des funktionsfähigen Gesamtsystems. Infolge dessen sind Komponenten unterschiedlicher Lichtmanagementsysteme trotz gleicher Schnittstelle in der Regel nicht miteinander kompatibel.

Beleuchtungsschnittstellen

Für die Kommunikation des Steuergerätes mit den Leuchten bzw. den Betriebsgeräten bestehen im Markt Schnittstellen, die in mehr oder weniger hohem Maße bzgl. der Auswirkungen ihrer Funktionen auf die zu betreibende Beleuchtung standardisiert sind. Diese können als Beleuchtungsschnittstellen bezeichnet werden.

Im Folgenden sollen im Markt verbreitete Beleuchtungsschnittstellen beschrieben und einander gegenübergestellt werden.

Zuletzt wird DALI, eine international standardisierte Beleuchtungsschnittstelle, eingehender betrachtet (siehe Kapitel 8.5 „Die DALI-Schnittstelle“). In einer aktuell erweiterten Version dieser Schnittstelle (DALI-2) sind auch Komponenten der Sensorik und der Bedienung standardisiert (siehe Abbildung 8.19). Weitere Bestrebungen schreiten voran, die leitungsgebundene Übertragung des standardisierten DALI-Protokolls auch auf die im Markt verbreiteten Funk-Schnittstellen zu erweitern. Im Vergleich zur leitungsgebundenen Übertragung sind die Gegebenheiten der Übertragungsrate und -sicherheit sowie die Reichweite der jeweiligen Schnittstellen jedoch stärker von äußeren Parametern abhängig.

8.4.1 Phasenanschnitt und Phasenabschnitt

Der An- bzw. Abschnitt der Phase bedeutet, dass die periodisch verlaufende Wechselspannung im Verlauf jeder Halbwelle unterbrochen wird. Dieses Dimmverfahren erklärt sich z. B. an Temperaturstrahlern (Glühlampen unterschiedlicher Ausprägung) auf einfache und verständliche Weise. Die Lampe wird dabei, je nach beabsichtigtem Dimmniveau, immer für einen mehr oder minder großen Teil einer Hundertstelsekunde betrieben und wieder ausgeschaltet.

Aufgrund der Frequenz von 100 Hz und des trägen Verhaltens der Lampe beim Aufheizen und

Abkühlen des Glühfadens wird vom Auge kein Flimmern des Lichtes wahrgenommen (siehe auch Kapitel 2.11 „Flimmern und stroboskopische Effekte“). In diesem Zusammenhang ist das Verfahren nicht als Schnittstelle im engeren Sinne zu bezeichnen, da keine Information übermittelt wird, sondern die Energiezufuhr beeinflusst wird (siehe Abbildung 8.13).

Viele Betriebsgeräte für LED-Leuchtmittel bieten jedoch heute neben der Dimmung mit z. B. der DALI-Schnittstelle ebenfalls einen Dimmbetrieb mit Phasenanschnitt oder Phasenabschnitt an. In diesem Fall wertet das Betriebsgerät das eingehende Signal aus, um das Leuchtmittel seinerseits gedimmt zu betreiben (siehe Kapitel 5.8, „Betrieb von LED-Leuchten“). Aufgrund des Phasenanschnitts bzw. Phasenabschnitts wird das Betriebsgerät mit Unterbrechungen mit Strom versorgt.

Die Praxis zeigt, dass ein solcher Dimmbetrieb von LED-Leuchtmitteln im Allgemeinen nur eingeschränkt möglich ist. Insbesondere im unteren Dimmbereich kann es zu Flackererscheinungen kommen. Bei einem Betrieb mit ununterbrochener Phase der Stromversorgung und zusätzlichem Steuersignal kann hingegen mit vielen Betriebsgeräten die Lichtleistung bis zu einem Prozent hinunter gedimmt werden.

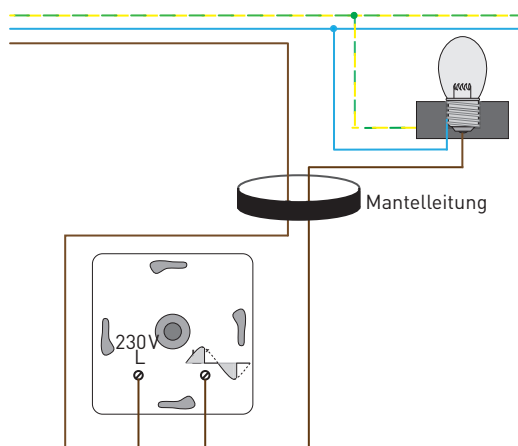
8.4.2 1...10 V-Schnittstelle

Eine seit vielen Jahren genutzte Schnittstelle für Vorschaltgeräte in der technischen Beleuchtung ist die 1...10 V-Schnittstelle. Sie ist nicht zu verwechseln mit der Schnittstelle aus der Bühnentechnik (0...10 V). Beide benötigen zwei zusätzliche Leitungsadern zur Übermittlung des Steuersignals in Form einer Gleichspannung. Bei der 1...10 V-Schnittstelle ist – im Gegensatz zur 0...10 V-Schnittstelle – das Betriebsgerät des Leuchtmittels die aktive Komponente. Das bedeutet:

- Das Betriebsgerät stellt den Steuerstrom für die Schnittstelle bereit.

Abbildung 8.13: Schematische Darstellung: Phasenabschnitt-Dimmer, z. B. als Drehdimmer für den Einbau in eine Unterputzdose.

- Für den Dimmbetrieb von Temperaturstrahlern.
- Auch manche elektronische Betriebsgeräte, z. B. für LED-Leuchtmittel, lassen sich (eingeschränkt) an angeschnittener bzw. abgeschnittener Phase betreiben.



- Die Leerlaufspannung bei offener Schnittstelle beträgt 10 V.
- Bei offener Schnittstelle befindet sich das Vorschaltgerät im 100 %-Betrieb, also bei maximaler Lampenleistung.
- Mit einem elektronischen Widerstand (Potentiometer) als Dimmer kann die Steuerspannung beeinflusst werden.
- Unterhalb einer Steuerspannung von 1 V befindet sich das Vorschaltgerät im Minimum-Betrieb.
- Der Steuerstrom im Kurzschluss der Schnittstelle ist nicht normativ festgelegt, ist jedoch auf maximal 1 mA begrenzt.
- Für die einwandfreie Funktion der Schnittstelle ist darauf zu achten, dass das angeschlossene Potentiometer durch den Steuerstrom der zu betreibenden Betriebsgeräte nicht überlastet wird.
- Alle Komponenten im Steuerkreis sind mit korrekter Polung anzuschließen. Bei vertauschter Polung eines oder mehrerer Vorschaltgeräte kommt es zum Kurzschluss und damit (in der Regel) zum Betrieb im Minimum-Niveau.

Es handelt sich hier also um ein analoges Signal. Charakteristisch dafür ist, dass das Signal in Form der Steuerspannung permanent verfügbar ist bzw. anliegt. Eine Kennlinie, die das Verhältnis der anliegenden Steuerspannung zum vom Leuchtmittel erzeugten Lichtstrom darstellt, ist für die 1...10 V-Schnittstelle nicht genormt.

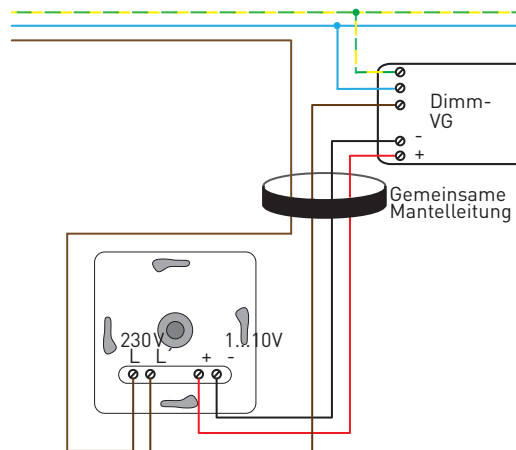
Im Unterschied zur oben erwähnten, vorwiegend in der Bühnenbeleuchtung verbreiteten passiven 0...10 V-Schnittstelle ist die 1...10 V-Schnittstelle eine reine Dimm-Schnittstelle. Das Betriebsgerät wird nicht mittels des Steuersignals geschaltet. Zum Ein- und Ausschalten der Beleuchtung ist demnach immer das Schalten der Versorgungsspannung erforderlich (siehe Abbildung 8.14).

Das Steuersignal beruht auf einer Kleinspannung, ist innerhalb der Installation jedoch keine Schutzkleinspannung (SELV). Die Steuerleitung muss deshalb netzspannungsfest verlegt werden. Die Verlegung in einer gemeinsamen Mantelleitung mit der Netzspannung ist zulässig.

8.4.3 Push-Dim

Manche Betriebsgeräte für Lichtquellen wie z. B. Leuchtstofflampen oder LEDs verfügen über eine Push-Dim-Schnittstelle⁶. Dies ist die einfachste Form einer Beleuchtungsschnittstelle. Dazu wird die Phase des Netzanschlusses des Vorschaltgerätes zusätzlich über einen Schließkaster an dessen Steuereingang angeschlossen. Kurzes Drücken des Tasters bedeutet an bzw. aus, langes Drücken des Tasters bedeutet auf- bzw. abdimmen.

Ein wesentlicher Vorteil im Vergleich zur 1...10 V-Schnittstelle ergibt sich daraus, dass nur zwei Leitungsadern in der Wand erforderlich sind. In



⁶ Bezeichnung für die Ansteuerung eines Betriebsgerätes mit einer getasteten Phase bei dem Vorschaltgerätehersteller BAG-electronics. Die Bezeichnungen wie auch Funktionen (in Detail) unterscheiden sich von Hersteller zu Hersteller, wie z. B. „TouchDim“ bei OSRAM oder „Touch-&-Dim“ bei Philips.

Abbildung 8.14: Schematische Darstellung: Dreh-Potentiometer als 1...10 V-Dimmer, z. B. für den Einbau in eine Unterputzdose.

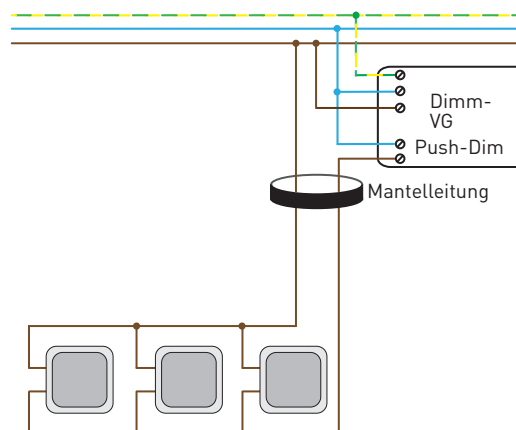


Abbildung 8.15: Schematische Darstellung: Taster an Steuergerät mit Push-Dim-Funktion. Kein Parallelbetrieb an gemeinsamem Taster.

bestehenden Installationen bisher nur schaltbarer Beleuchtungen entspricht dies meist der vorgefundenen Situation. Lediglich in der Decke muss eine zusätzliche Leitungsader für die dauernd anliegende Phase eingerichtet werden (siehe Abbildung 8.15), was in vielen Fällen mit geringem Aufwand möglich ist. Es können mehrere Taster parallel angeschlossen werden, um mehrere Bedienstellen einzurichten. Die Installationshinweise der Hersteller sind zu beachten.

Diese Lösung sollte nur für die Bedienung einzelner Betriebsgeräte eingesetzt werden. So kann es z. B. vorkommen, dass bei Ansteuerung zweier Betriebsgeräte via Push-Dim bei sehr kurzem Tastendruck für nur ein Betriebsgerät der Schwellwert an der Schnittstelle gerade überschritten wird und dieses schaltet. Das weitere Betriebsgerät schaltet nicht, da der Schwellwert (aufgrund von Gerätetoleranzen oder Installationsgegebenheiten) nicht ganz erreicht wurde. Nun sind die Geräte in unterschiedlichen Schaltzuständen. Beim nächsten Tastendruck werden beide Geräte geschaltet. Das ausgeschaltete schaltet ein und umgekehrt. Die beiden Betriebsgeräte befinden sich danach wieder in unterschiedlichen Schaltzuständen. Bei größeren Anzahlen von Betriebsgeräten wird das Eintreten einer solchen Asynchronität wahrscheinlicher.

Sollen mehrere Leuchten mit der Push-Dim-Funktionalität bedient werden, so können z. B. DALI-Steuergeräte eingesetzt werden, die auf der Eingangsseite über eine Push-Dim-Schnittstelle verfügen (siehe unten, Abbildung 8.16). Ein solches System kann bei Bedarf mit Repeatern erweitert werden (siehe Abbildung 8.21 in Kapitel 8.5.6 „DALI-System-Erweiterung“).

8.4.4 DMX

Für die Bühnenbeleuchtung wurde bereits Anfang der 1990er Jahre der Standard DMX 512 (ANSI E1.11 [1]) geschaffen, um viele Teilnehmer mittels adressierter digitaler Steuersignale schnell ansteuern zu können. Die DMX-Schnittstelle findet aber auch in der Architekturbeleuchtung häufig Anwendung.

Mittels einer verdrehten, geschirmten, zweiadrigen Steuerleitung wird das hochfrequente DMX-Signal übertragen. Es hat eine begrenzte Reichweite, kann zur Übermittlung über beliebig lange Strecken jedoch mit Hilfe von Repeatern immer wieder aufgefrischt und verstärkt werden. Die Steuerleitung muss als Strang verlegt werden. Eine ring- oder sternförmige Installation

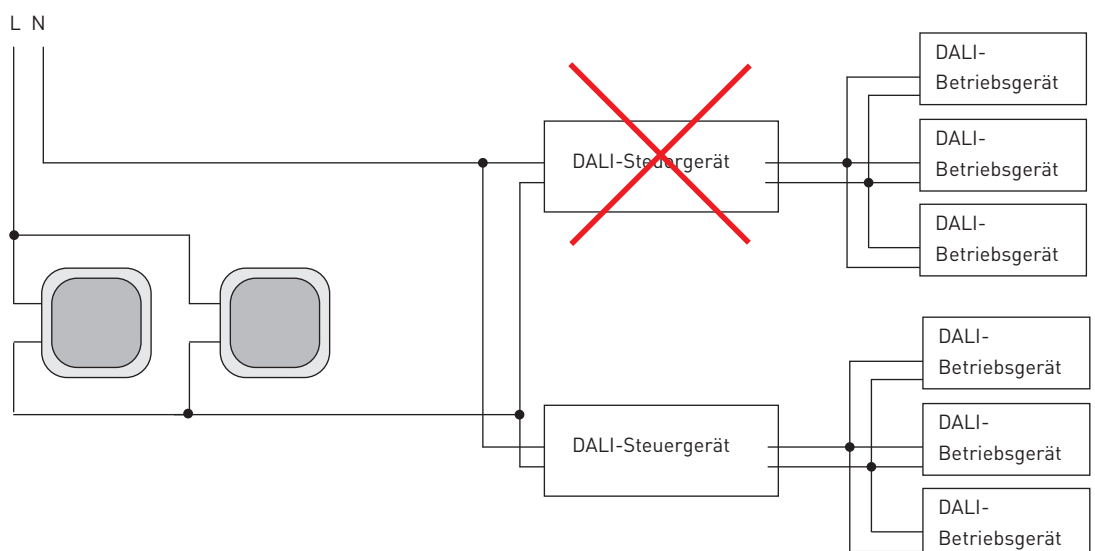


Abbildung 8.16:
Schematische Darstellung:
Taster an Steuergerät mit Push-Dim-Funktion. Kein Parallelbetrieb an gemeinsamem Taster.

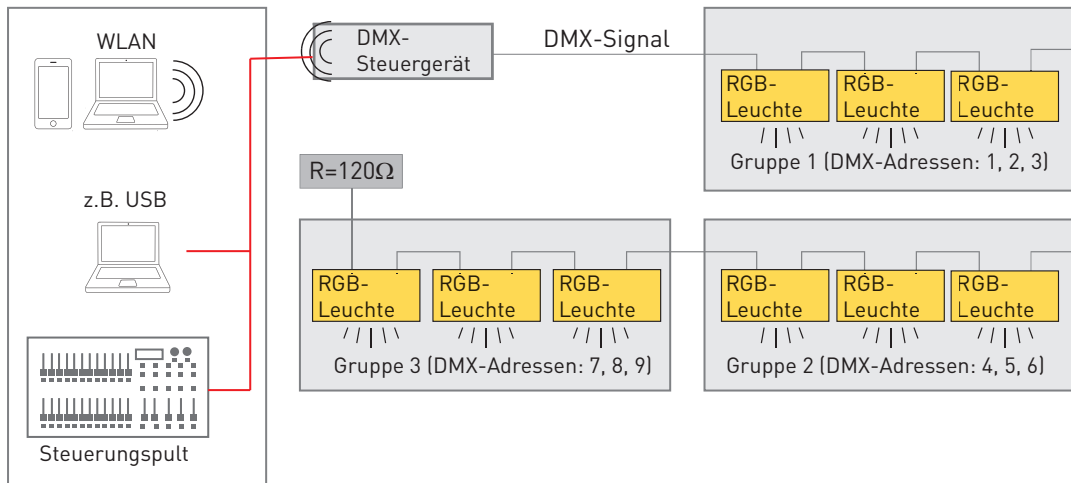


Abbildung 8.17:
Schematische Darstellung:
DMX-Steuergerät
mit Bedienelementen
und angesteuerten
Leuchten.

ist nicht funktionstüchtig. Am Ende des Leitungsstrangs ist ein Abschlusswiderstand erforderlich.

Es können beliebig viele Teilnehmer angeschlossen werden, ggf. unter Verwendung von mehreren Repeatern. In einem DMX-System (DMX-Universum) stehen 512 unterscheidbare Adressen zur Verfügung, auf die die Teilnehmer aufgeteilt werden können. Teilnehmer mit gleicher Adresse werden gemeinsam angesteuert.

Die Adressierung erfolgt am Betriebsgerät, häufig durch Dip-Schalter, zunehmend aber auch mittels spezifischer Software und Inbetriebnahme-Schnittstelle. Die Weiterentwicklung dieses Standards zu DMX RDM ermöglicht auch Rückmeldungen von den Geräten zur Steuerung. Werden mehr als 512 Adressen benötigt, können mehrere Universen, die in der Installation separat eingerichtet sind, zu einer Gesamtsteuerung zusammengefasst werden.

Die hohe Flexibilität und Geschwindigkeit dieser Schnittstelle sowie die große Teilnehmerzahl an einer Steuerleitung werden von den Anwendern, besonders für die Umsetzung dynamischer Lichtsteuerungen, sehr geschätzt. In der Bühnenbeleuchtung wird dabei nicht nur der Lichtstrom der angeschlossenen Scheinwerfer, sondern auch deren Ausrichtung bzw. Bewegung gesteuert.

8.5 Die DALI-Schnittstelle

 Die digitale adressierbare Beleuchtungsschnittstelle DALI (Digital Addressable Lighting Interface) ist für den Gebrauch in der Gebäudeinstallationstechnik konzipiert. Sie ist in der Zweckbeleuchtung universell einsetzbar, von der einfachsten Beleuchtungsaufgabe (Plug-and-Play) bis hin zu Anwendungen hochkomplexer Steuerungen. Sie ist in den späten 1990er Jahren entwickelt worden und in der Norm IEC 62386 [89] seit dem Jahr 2002 weltweit standardisiert. Seit dem Jahr 2014 wird an einer grundsätzlichen Weiterentwicklung der Schnittstelle, DALI-2, gearbeitet, die sich zunehmend im Markt etabliert.

In der Praxis bewährte Leistungsmerkmale der DALI-Schnittstelle:

- Die Dimm-Kennlinie ist genormt. Auch unterschiedliche Leuchtmittel können gemeinsam gleichmäßig gedimmt werden.
- Leuchten können via Schnittstelle nicht nur gedimmt, sondern auch geschaltet werden.
- Die Polarität der Schnittstelle ist im Allgemeinen nicht zu beachten (siehe Kapitel 8.5.5 „DALI-Installation“). Fehlfunktionen aufgrund einer Verpolung bei der Installation der Leuchte sind dadurch ausgeschlossen.
- Die zweiaderige DALI-Steuerleitung darf in gemeinsamer Mantelleitung mit der Spannungs-

versorgung (5LV) verlegt werden (siehe Kapitel [8.5.5](#) „DALI-Installation“).

Darüber hinaus sind viele weitere DALI-Funktionen definiert.

Marktübliche DALI-Steuergeräte sind häufig für bestimmte Anwendungen konzipiert und greifen nur auf einen Teil der definierten DALI-Funktionen zu. Der Aufbau und die Bedienung der DALI-Steuergeräte, die Ausführung der genutzten Bedienelemente (Taster, Touch-Panel etc.) sowie der Umfang der von ihm unterstützten Funktionen sind **im DALI-Standard nicht festgelegt**.

DALI-Betriebsgeräte hingegen sind universell – also kompatibel mit jedem DALI-Steuergerät – einsetzbar, sofern sie das DALI-Logo tragen (siehe Absatz „DALI-Parameter und Initialisierung“ am Ende von Kapitel 8.5.7). Für Farbsteuerungs-Anwendungen sind ggf. weitere Aspekte zu berücksichtigen. In einigen Fällen können sogenannte DT8-Betriebsgeräte eingesetzt werden (siehe Kapitel 8.5.4).

Man unterscheidet zwei Kommunikationsprinzipien:

- DALI Broadcast-Betrieb (Direct DALI) – alle Teilnehmer folgen gemeinsam einem Steuerungssignal.
- DALI Adressierbetrieb – jeder Teilnehmer bekommt eine Individualadresse mit der er individuell angesteuert werden kann, wobei die Anzahl der möglichen Adressen auf 64 begrenzt ist.

Die DALI-Schnittstelle dient also der Kommunikation zwischen einem Steuergerät (Master) und mehreren zu steuernden Betriebsgeräten (Slaves). Diese grundsätzliche Funktion ist im Vergleich zu den vorher genannten Schnittstellen mittels einer detaillierten Definition des Standards für Anwendungen der Zweckbeleuchtung optimiert.

Die DALI-2-Schnittstelle ermöglicht darüber hinaus grundsätzlich erweiterte Funktionalitäten,

wie

- den parallelen Betrieb mehrerer Steuergeräte (Multi-Master-Betrieb),
- den Anschluss und Betrieb standardisierter Lichtsensoren,
- den Anschluss und Betrieb standardisierter Anwesenheitssensoren und
- den Anschluss und Betrieb standardisierter Tasterkoppler an einer mit den Betriebsgeräten gemeinsamen Steuerleitung.

Diese Funktionen haben sich im Zusammenhang mit häufig auftretenden Beleuchtungsaufgaben als sinnvolle Ergänzung erwiesen.

8.5.1 Broadcast-Betrieb

Im Broadcast-Betrieb werden alle Teilnehmer mit einem gemeinsamen Signal angesteuert. Eine Adressierung ist nicht erforderlich. Leuchten können ohne DALI-Inbetriebnahme an das Steuergerät angeschlossen und bedient werden (Plug-and-Play). Die Anzahl der ansteuerbaren Betriebsgeräte ist im Allgemeinen auf 64 oder weniger beschränkt (siehe Kapitel [8.5.5](#) „DALI-Installation“). Eine Erweiterung kann mittels eines oder mehrerer Repeater erfolgen, die auch kaskadiert eingesetzt werden können. Die Anzahl der gemeinsam dimmbaren DALI-Teilnehmer ist damit unbegrenzt (siehe Abbildung 8.21).

Abbildung 8.18:
Schematische Darstellung: DALI-Dimmer, z. B. in Form eines „Dreh-Potentiometers“ für den Einbau in eine Unterputzdose. Für den DALI-Broadcast-Betrieb ohne Adressierung.

- Schalten durch Drücken und Dimmen durch Drehen des Einstellrades.
- Marktüblich sind solche Steuergeräte auch mit zusätzlicher Funktion der Farbtemperatur-Einstellung von DALI-DT8-Betriebsgeräten.
- Die Einstellung der Farbtemperatur des Lichtes erfolgt z. B. durch gleichzeitiges Drücken und Drehen des Einstellrades.

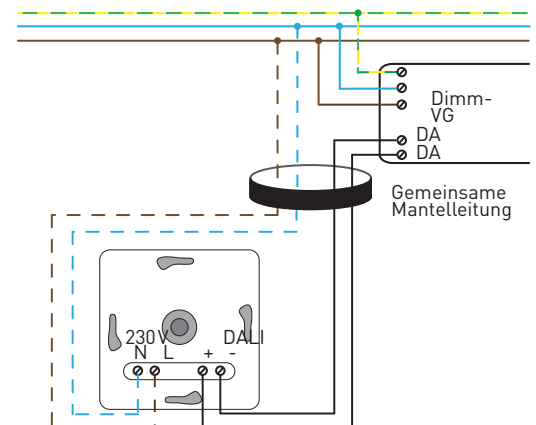


Abbildung 8.18

Die elektrische Installation ist ähnlich wie bei Anwendungen der 1...10 V-Schnittstelle. Drei der bereits einleitend genannten DALI-Eigenschaften (siehe oben) stellen sich hier im direkten Vergleich zur 1...10 V-Schnittstelle als vorteilhaft heraus.

- Die Polarität ist nicht zu beachten.
- Unterschiedlichste Leuchtmittel werden gleichmäßig gedimmt.
- Die angeschlossenen Leuchten können mittels der Schnittstelle geschaltet werden.

Sollen Leuchtengruppen unterschiedlich angesteuert werden, sind sie an separaten Steuerleitungen zu betreiben.

Mit DT8-Betriebsgeräten (Device Type 8, siehe Kapitel [8.5.4](#) „DALI-Farbsteuerung“) und Steuergeräten, die die speziellen DT8-Befehle unterstützen, können auch Farbsteuerungen im Broadcast-Betrieb umgesetzt werden. Eine Farbtemperatur-Einstellung erfolgt z. B. mit einem „DALI-Potentiometer“ (siehe Abbildung 8.18) durch Drehen bei gedrücktem Einstellrad.

8.5.2 Adressierter Betrieb

Die DALI-Schnittstelle sieht vor, dass jedem DALI-Teilnehmer eine Individualadresse zugeteilt werden kann. Maximal 64 Individualadressen (Kurzadressen) stehen zur Verfügung. Kurzadressen können in einem DALI-System nicht doppelt vergeben werden. Die maximale Anzahl der DALI-Teilnehmer an einer Steuerleitung ist im Adressierbetrieb somit auf 64 begrenzt. Gegebenenfalls ist eine zusätzliche Einschränkung aufgrund des verfügbaren Steuerstroms zu berücksichtigen (siehe Kapitel [8.5.5](#) „DALI-Installation“).

Viele DALI-Steuergeräte ermöglichen sowohl einen Broadcast-Betrieb ohne Adressvergabe als auch einen Adressierbetrieb.

Mit der Individualadresse kann jedes einzelne Betriebsgerät identifiziert und angesteuert werden. Mehrkanaligen Betriebsgeräten sind ggf.

mehrere Adressen zuzuordnen (siehe Kapitel [8.5.4](#) „DALI-Farbsteuerung“). Eine Systemerweiterung mit Repeatern ist aufgrund ihres sekundärseitigen Broadcast-Betriebs nur bedingt möglich (siehe Kapitel [8.5.6](#) „DALI-Systemerweiterung“).

Mittels DALI-Abfragen können auch der Betriebszustand jedes Teilnehmers und der Defekt eines Leuchtmittels oder Betriebsgerätes abgefragt und ggf. dem Nutzer durch das Steuergerät zur Verfügung gestellt werden.

Inwiefern die oben genannten Möglichkeiten genutzt werden, hängt von der jeweiligen Anwendung ab.

In vielen Fällen ist es möglich, den Teilnehmern nach der Vergabe der Individualadressen bis zu 16 Gruppenadressen zuzuweisen. Die Individualadressen werden häufig zufällig vergeben und ggf. nur für den separaten Aufruf der Leuchten zwecks der Gruppenzuweisung benötigt. Die Prozedur der Adressierung ist jedoch nicht im DALI-Standard festgelegt. Sie kann auf unterschiedlichem Wege durchgeführt werden. Abhängig vom eingesetzten Steuergerät können z. B. folgende Vorgehensweisen erforderlich sein:

- i) Die Adressierung aller Betriebsgeräte wird grundsätzlich im Rahmen der Inbetriebnahme eines Steuergerätes durchgeführt. Steuergeräte, die bei der Inbetriebnahme nicht erfasst werden, werden nicht angesteuert. Eine DALI-Inbetriebnahme der komplett aufgebauten Beleuchtungsanlage vor Ort ist in diesen Fällen zwingend erforderlich.
- ii) Die Adressierung erfolgt mit einem separaten DALI-Programmiergerät. Das Steuergerät stellt keinen Adressiervorgang zur Verfügung. Dies gilt z. B. für einfache Steuergeräte mit unveränderlich festgelegten Funktionen, wie z. B. dem Dimmen von DALI-Gruppen oder dem Aufruf von DALI-Szenen. Solche Betriebsgeräte erfordern häufig keine eigene Inbetriebnahme. Es können ggf. vorprogrammierte bzw. voradressierte Leuchten verwendet werden.

iii) Die Adressierung kann wahlweise im Rahmen der Inbetriebnahme oder mit einem separaten Adressiergerät erfolgen. Häufig gilt dies z. B. für Steuergeräte, deren Steuerfunktionen ausschließlich auf Gruppenbefehlen beruhen und keine Individualadressen erfordern. Es können dann ggf. auch voradressierte Betriebsgeräte eingesetzt werden, so dass eine Inbetriebnahme vor Ort nicht erforderlich ist.

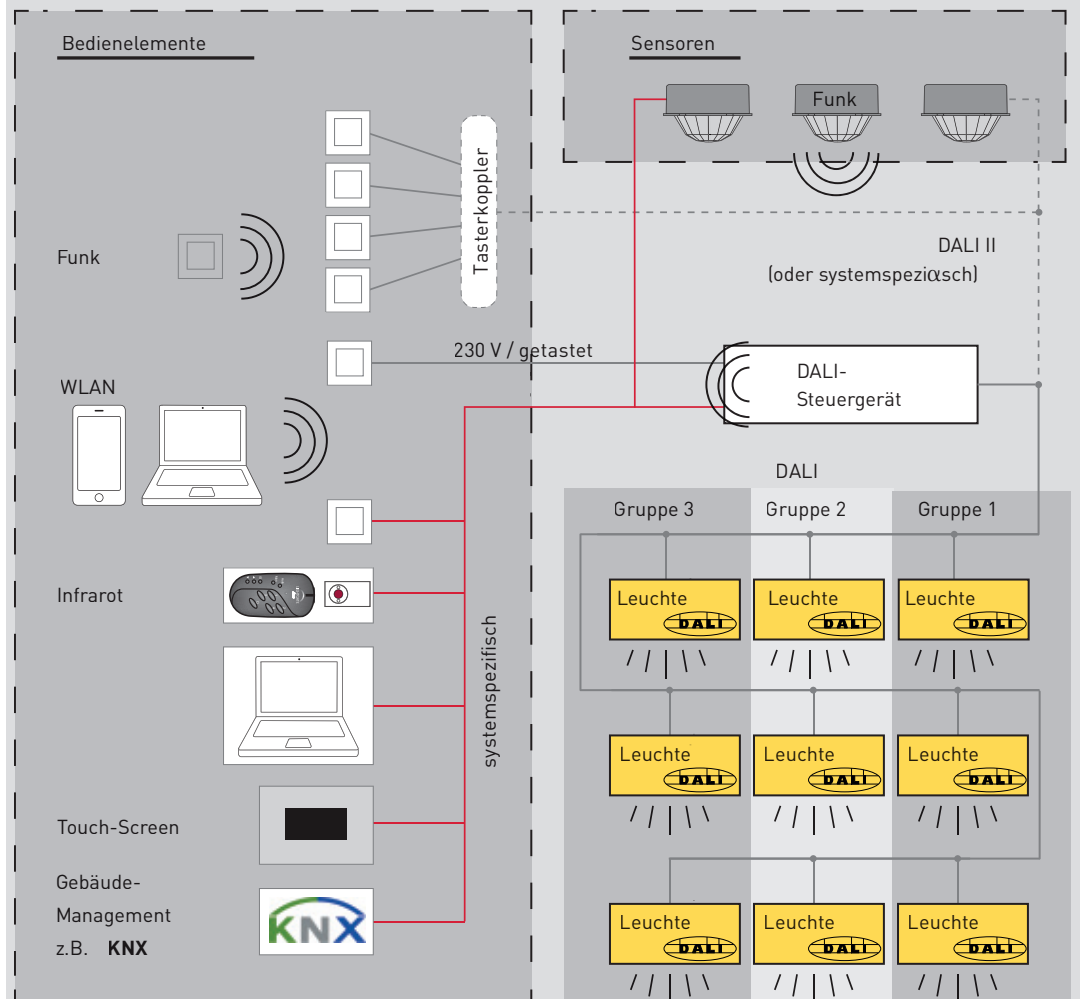
sen, die sich nicht an den Erfordernissen einer Bühnenshow, sondern an denen der Beleuchtung einer Arbeitsstätte orientiert. Andererseits besteht mit der DALI-Schnittstelle zusätzlich die Möglichkeit, Leuchten einzeln wie auch mit einem allgemeinen Broadcast-Befehl anzusprechen. Auch die Zuweisung eines Betriebsgerätes zu mehreren Gruppen ist möglich.

Im Vergleich von DALI- und DMX-Schnittstelle entspricht die DALI-Gruppenadresse am ehesten der DMX-Adresse. Es können mit ihrer Hilfe mehrere Betriebsgeräte mit einem gemeinsamen Befehl angesteuert werden. Der auffälligste Unterschied liegt dabei in der Anzahl der Adres-

Abbildung 8.19:
Schematische Darstellung eines Lichtmanagements mit DALI-Schnittstelle:

- DALI-Steuergerät im Adressierbetrieb.
- Leuchten mit Gruppenadressen.
- Einbindung systemspezifischer Bedienelemente und Sensoren mittels Funk, WLAN, IR oder Datenleitung.
- Einbindung von (zukünftig standardisierten DALI-II-) Tasterkopplern und Sensoren mittels Anschluss an die DALI-Steuerleitung.

DALI-Logo:

Mit der neuen **DALI-2-Norm** sind auch Sensoren für die Licht- und Anwesenheitserfassung sowie Koppler für den Anschluss von Schließ-tastern mit der DALI-Schnittstelle zu verbinden und adressierbar. Für diese Komponenten stehen zusätzliche 64 DALI-Adressen zur Verfügung. Die Adresssysteme der Betriebsgeräte und der Steuerkomponenten sind voneinander unabhängig. Gegebenenfalls ist der für den Betrieb der Steuerkomponenten erforderliche DALI-Steuerstrom bzgl. der betreibbaren Anzahl der DALI-Teilnehmer zu berücksichtigen.

Einige am Markt verfügbare Lichtmanagementsysteme nutzen bereits DALI-2-Komponenten. Eine universelle Kompatibilität dieser Komponenten ist das Ziel (siehe Abbildung 8.19). Zertifizierte Komponenten tragen das DALI-2-Emblem (siehe Kapitel [8.5.7](#) „DALI-Parameter und Initialisierung“).

8.5.3 DALI-Szenensteuerung

Neben der Broadcast-Steuerung, der Gruppensteuerung und der adressierten Ansteuerung der DALI-Teilnehmer besteht zusätzlich die Möglichkeit zur Definition und zum Aufruf von bis zu 16 Lichtszenen. Dazu kann in jedem Vorschaltgerät ein individueller Lichtwert je Szene hinterlegt werden. Die Lichtszenen sind somit grundsätzlich unabhängig von der Gruppenzuordnung der DALI-Teilnehmer. In der Praxis wird bei der Inbetriebnahme mit vielen Steuergeräten für die Lichtszenen jedoch ein direkter Bezug zu den Leuchtengruppen genommen.

8.5.4 DALI-Farbsteuerung

In Anwendungen der Farbsteuerung sind sehr unterschiedliche Konstellationen möglich. Die Farbmischung beruht häufig auf einem der drei Prinzipien

- RGB, die Zusammensetzung der resultierenden Farbe erfolgt mit drei Lichtquellen der Grundfarben Rot, Grün und Blau.
- RGBW, wie RGB, jedoch mit einer zusätzlichen weißen Lichtquelle. Wird häufig angewendet, wenn Leuchten, z. B. zu unterschiedlichen Tageszeiten, sowohl für die dekorative wie auch für die Zweckbeleuchtung eingesetzt werden. Die Farbwiedergabe des LED Systems wird zusätzlich verbessert.
- Weiß-Weiß (tunable white), Steuerung der Farbtemperatur weißen Lichtes. Wird in der Regel angewendet, um den Farbtemperaturwechsel des Tageslichtes nachzubilden (siehe auch Kapitel [3.3.1](#) „Human Centric Lighting“).

In allen drei Fällen kann grundsätzlich eine DALI-Ansteuerung im Broadcast-Betrieb oder im Adressierbetrieb ausgeführt werden. Jedoch ist zu beachten:

- Für den Broadcast-Betrieb ist erforderlich, dass in jeder Leuchte jede Einzelfarbe durch ein Leuchtmittel mit separatem, einkanaligem Betriebsgerät erzeugt wird. Das Steuergerät muss je Farbe einen separaten Broadcast-Ausgang bereitstellen. Es ist je Farbe ein Steuerleitungspaar zu verlegen.
- Bei Adressierbetrieb können auch Leuchten angesteuert werden, in denen Leuchtmittel unterschiedlicher Farben durch ein Mehrkanal-Betriebsgerät mit mehreren DALI-Adressen mit nur einem DALI-Anschluss erzeugt werden. Es reicht ein Steuerleitungspaar. Dabei können insgesamt maximal 64 DALI-Teilnehmer (Farbkanäle) angesteuert werden, bei RGBW-Steuerung also z. B. maximal 16 Leuchten. Eine Systemerweiterung mittels Repeatern ist nicht möglich.⁷

⁷ Am Markt verfügbare Repeater senden auf der Sekundärseite nur Broadcast-Befehle an die angeschlossenen Leuchten. Eine theoretisch mögliche separate Ansteuerung mittels der Zuordnung der Farben zu Gruppenadressen scheitert am Mangel eines geeigneten Repeaters.

Farbsteuerungen können aber auch mit Hilfe spezieller Komponenten des Typs DT8 (Device

Type 8) umgesetzt werden. Hier ist zu beachten:

- Bei DT8-Betrieb müssen sowohl die Betriebsgeräte als auch das Steuergerät die speziellen DT8-Farbsteuer-Funktionen unterstützen. Dabei können bis zu 64 Betriebsgeräte betrieben werden, da jedes DT8-Betriebsgerät nur eine DALI-Adresse belegt, um die Farbmischung mittels des erhaltenen DALI-DT8-Befehls durchzuführen. DT8-Farbsteuer-Funktionen können sowohl im Adressierbetrieb wie im Broadcast-Betrieb ausgeführt werden (siehe Abbildung 8.18).

8.5.5 DALI-Installation

Ähnlich wie die 1...10 V-Schnittstelle beruht auch DALI auf einer Kleinspannung (16 Volt), die nicht als Schutzkleinspannung (SELV) ausgeführt ist. DALI-Leitungen müssen netzspannungsfest ausgeführt sein und dürfen in gemeinsamer Mantelleitung mit der Netzspannung verlegt werden (z. B. NYM, fünfadrig, siehe Abbildung 8.18). Die Übertragungsfrequenz des DALI-Signals ist im Unterschied zum DMX-Signal ausreichend niedrig, dass ein Abschlusswiderstand oder die Einschränkung auf die Leitungsverlegung als Strang nicht erforderlich sind. Eine Fünf-Leiter-Verdrahtung mit für die Zweckbeleuchtung allgemein üblicher Leitungsführung hat sich bewährt. Die Leitungslänge ist auf 300 m begrenzt (bei 1,5 mm²).

Für die Ansteuerung der Betriebsgeräte wird im Unterschied zur 1...10 V-Schnittstelle der **Steuerstrom im DALI-System** nicht von Betriebsgerät bereitgestellt. Das Betriebsgerät ist also eine passive Komponente und benötigt einen Steuerstrom, der von einer DALI-Stromquelle erzeugt wird. Viele Steuergeräte verfügen über eine integrierte DALI-Stromquelle, sie kann aber auch als separate Komponente ausgeführt sein.

Der zulässige Steuerstrom auf einer DALI-Leitung ist auf einen Maximalwert von 250 mA begrenzt. Der Steuerstrom-Bedarf der angeschlossenen Betriebsgeräte beträgt maximal 2 mA je DALI-Adresse. Die integrierten DALI-Stromquellen marktüblicher Steuergeräte liefern in der Regel 128 mA oder weniger, womit auch für einen etwaigen Broadcast-Betrieb die Anzahl der betreibbaren Teilnehmer auf 64 oder weniger begrenzt sein kann. Bei Anschluss von DALI-2-Steuerkomponenten ist ggf. auch deren Steuerstrom-Bedarf zu berücksichtigen.

In der Regel ist beim Anschluss der DALI-Teilnehmer an die Schnittstelle nicht auf die Polarität zu achten. Dies ist jedoch nicht Teil der Festlegung des DALI-Standards, sondern den jeweiligen Herstellern freigestellt. Bei Parallelbetrieb mehrerer DALI-2-Steuergeräte im Multi-Master-Betrieb ist grundsätzlich auf deren Schnittstellen-Polarität zu achten (siehe Abbildung 8.20).

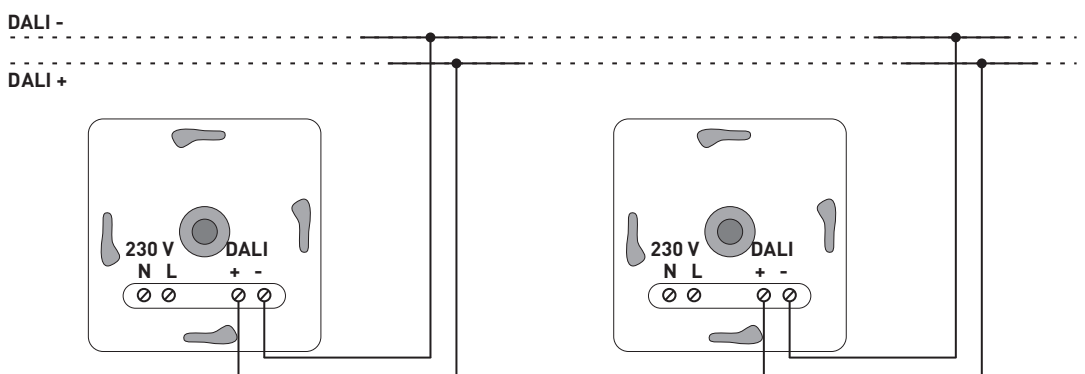


Abbildung 8.20:
Schematische Darstellung:
Die Informationen über die Betriebszustände angeschlossener Betriebsgeräte werden im Multi-Master-Betrieb ausgetauscht. Es ist auf die gleiche Polarität aller beteiligten Steuergeräte zu achten.

8.5.6 DALI-System-Erweiterung

Im DALI-Broadcast- und auch im DALI-Adressierbetrieb ist eine **Erweiterung des Systems** auf mehr als 64 angeschlossene Betriebsgeräte möglich. Dazu können einerseits **mehrere DALI-Universen** in einer übergeordneten Steuerung zusammengefasst werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, in der DALI-Installation **Repeater** als Teilnehmer einzusetzen.

DALI-Repeater verfügen primärseitig über einen DALI-Eingang (Slave-Funktion) und sekundärseitig über einen DALI-Ausgang (Master-Funktion). Sekundärseitig kann eine DALI-Stromversorgung integriert sein. Primärseitig verfügen DALI-Repeater, sofern sie das **DALI-Logo** tragen, über alle Eigenschaften eines DALI-Betriebsgerätes. Sie können demnach im Broadcast-Modus angesteuert werden (siehe Abbildung 8.21), oder auch adressiert werden. Sie können Gruppenadressen zugewiesen bekommen und ihr Betriebszustand kann abgefragt werden.

Die betreffend der Individual- oder Gruppenadresse erhaltenen Dimmwerte werden im Broadcast-Modus an alle auf der Sekundärseite angeschlossenen Betriebsgeräte weitergegeben. Die Zustandsabfrage bzgl. Lampen- oder Betriebsgerätedefekt wird ebenfalls durchgeführt.

Die Rückmeldung an das DALI-Steuergerät erfolgt mit der Individualadresse des Repeaters. Die dahinter liegenden Betriebsgeräte werden nicht individuell identifiziert.

8.5.7 DALI-Parameter und Initialisierung

Neben der Zuweisung der Individual- und Gruppenadressen und der Zustandsabfrage ist mit der DALI-Schnittstelle die Übertragung vieler DALI-Parameter und DALI-Befehle vom Steuergerät an die Betriebsgeräte möglich.

Der wichtigste, in allen DALI-Anwendungen genutzte DALI-Parameter ist der Dimmwert. Er wird in 8-Bit-Auflösung (logarithmisch, 255 Stufen von 0 % bis 100 % und „unverändert“, siehe Abbildung 8.22) übertragen.

Weitere DALI-Parameter können anwendungsspezifisch genutzt werden. Sie werden häufig bei der Initialisierung im Rahmen der Inbetriebnahme oder mit jedem Einschalten der Stromversorgung eines Steuergerätes an die Betriebsgeräte übertragen. Sie dienen dazu, den Betrieb des Gesamtsystems zu optimieren. Von Steuergerät zu Steuergerät können der Umfang der genutzten Parameter sowie deren Voreinstellung sehr

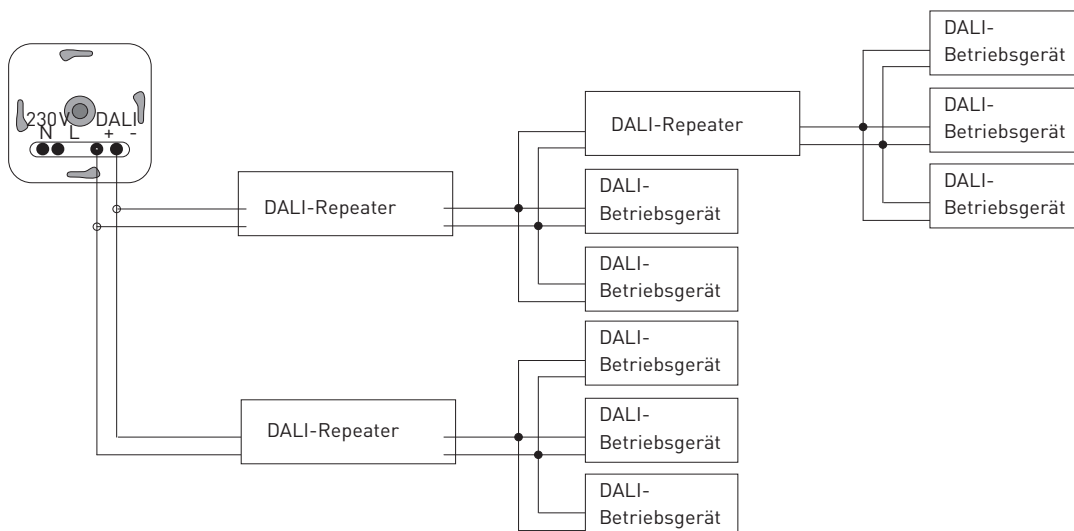


Abbildung 8.21:
Schematische Darstellung: DALI-Erweiterung mit Repeatern.

- Ein DALI-Steuergerät kann mehrere Repeater im Broadcast- oder Adressierbetrieb ansteuern.
- Ein Repeater zählt als ein DALI-Teilnehmer.
- Repeater können kaskadiert werden.

unterschiedlich ausfallen. Insofern ist es ratsam, bei einem Wechsel des DALI-Steuergerätes in einer bestehenden Beleuchtungsanlage einen Reset aller DALI-Parameter durchzuführen, um eventuell störende Auswirkungen durch vom Vorgängergerät gesetzte Parametereinstellungen zu vermeiden.

Mit Hilfe eines DALI-Programmiergerätes und einer DALI-Software können DALI-Parameter auch manuell gesetzt werden. Es ist jedoch zu beachten, dass sie anschließend bei einer Initialisierung durch ein Steuergerät ggf. überschrieben werden (siehe Kapitel 8.5.2 „Adressierter Betrieb“). Die einstellbaren DALI-Parameter sind in Tabelle 8.1 beschrieben.

System Failure Level	Der Dimmwert, der sich einstellt, wenn keine DALI-Spannung an der Schnittstelle am Betriebsgeräte anliegt.
Power on Level	Der Dimmwert, der sich einstellt, wenn nach dem Einschalten des Betriebsgerätes zwar die DALI-Spannung anliegt, aber seit dem Einschalten kein DALI-Befehl eingegangen ist.
Minimum Level	Ein im Betriebsgerät hinterlegter Dimmwert, der im Betrieb nicht unterschritten werden soll, auch wenn das Steuergerät einen niedrigeren Wert für den Betrieb übermittelt.
Maximum Level	Ein im Betriebsgerät hinterlegter Dimmwert, der im Betrieb nicht überschritten werden soll.
Fading Time	Die Zeit, die benötigt wird, um über den gesamten DALI-Dimmbereich von 0,1 % auf 100 %, bzw. von 100 % auf 0,1 % zu dimmen. Mit dieser Zeit wird die Dimmgeschwindigkeit festgelegt. Insbesondere beim Aufruf von Lichtszenen (siehe oben) sorgt die Fading Time für eine sanfte Überblendung anstelle eines harten Umschaltens.
Dimmwerte für 16 Lichtszenen	16 im Betriebsgerät hinterlegte Dimmwerte, die jeweils mittels des Aufrufs einer Lichtszene eingestellt werden können.
16 Gruppen	Für bis zu 16 Gruppen kann die Zugehörigkeit im Betriebsgerät hinterlegt werden. Dabei kann ein Betriebsgerät beliebig vielen Gruppen gleichzeitig angehören. Das Betriebsgerät führt neben den Broadcast-Befehlen und den individuell adressierten Befehlen auch alle Gruppenbefehle aus, die an Gruppen adressiert sind, denen das Betriebsgerät angehört.
Wiederholrate*	Die Häufigkeit der periodischen Wiederholung eines gesendeten DALI-Befehls.

* Kein DALI-Parameter, aber insbesondere für DALI-Gateways in Gebäudemanagement-Systemen häufig einstellbar.

Tabelle 8.1: DALI-Parameter

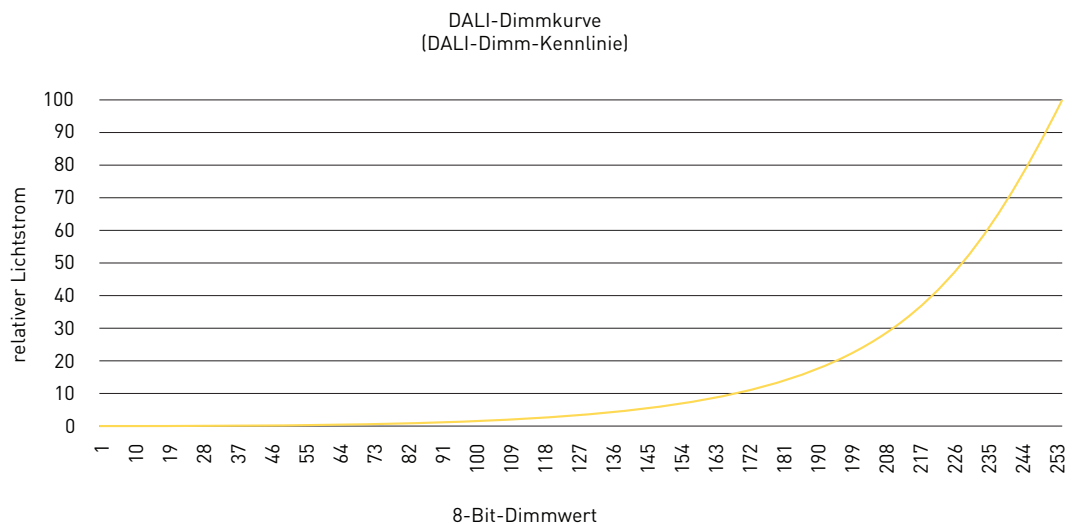


Abbildung 8.22: Dimm-Kennlinie mit 8-Bit-Auflösung gemäß dem DALI-Standard. Logarithmischer Verlauf über 3 Dekaden (0 = Aus; 85 = 1 % ; 169 = 10 % ; 254 = 100 % ; 255 = unverändert).

Um gewährleisten zu können, dass eine mit einem DALI-Steuergerät eingerichtete DALI-Anwendung in vollem Umfang funktioniert, sollten in der Regel **universell einsetzbare Betriebsgeräte** verwendet werden. Das bedeutet, dass diese Geräte alle im DALI-Standard für ihre Geräteart definierten DALI-Befehle und DALI-Parameter unterstützen sollten. Nur wenn diese Bedingung erfüllt ist, dürfen Betriebsgeräte und ihre Dokumentationen mit dem **DALI-Logo** bedruckt werden.

Weitere marktübliche, einfachere Betriebsgeräte sind häufig nur für eng spezifizierte Anwendungen verwendbar und erfüllen nur einen Teil der DALI-Definition. Diese sind dann häufig mit dem Begriff „DALI“ in der Bezeichnung versehen, tragen jedoch nicht das Logo.

Für DALI-2-Komponenten gibt es ein separates Logo, das jedoch nur mittels der unabhängigen Zertifizierung durch die DiiA (Digital Illumination Interface Alliance) vergeben werden kann.

Die komplette Beschreibung aller DALI-Parameter und DALI-Befehle kann den Teilen der Norm IEC 62386 entnommen werden. Weitere Hinweise sind unter <https://www.digitalilluminationinterface.org/dali/> erhältlich.

8.5.8 Manuelle Parametrierung und Monitoring

Die DALI-Schnittstelle stellt eine große Anzahl unterschiedlicher Befehle und Parameter bereit, die im Wesentlichen in folgender Weise in Erscheinung treten:

- Sehr einfache Steuergeräte (Plug-and-Play) greifen in der Regel nur auf direkte Dimmbefehle (Dimmwerte) im Broadcast-Betrieb zu. Es findet keine Initialisierung statt.
- Leistungsfähigere Steuergeräte ermöglichen die Adressierung von Betriebsgeräten. Sie nutzen einen größeren Befehlsumfang. Auch Voreinstellungen durch DALI-Parameter werden genutzt. Die Voreinstellungen erfolgen in der Regel automatisch bei der Initialisierung des Systems und sind für den vorgesehenen Anwendungsfall optimiert.
- Universelle, frei programmierbare Steuergeräte ermöglichen dem Nutzer große Freiheiten bei der Umsetzung komplexer und individueller Steuerungsaufgaben. Der volle Befehls- und Parameterumfang der DALI-Schnittstelle steht dem Nutzer zur Verfügung. Die Einrichtung sinnvoller Voreinstellungen und bedarfsgerechter Funktionen liegen in der Kompetenz des Experten.

Dennoch gibt es einige Situationen, in denen eine manuelle Parametrierung auch für Nicht-Experten eine sinnvolle Option darstellt. Dazu benötigt wird ein DALI-Programmiergerät mit integrierter oder externer DALI-Stromquelle. Nach dem Entfernen eines ggf. vorhandenen DALI-Steuergerätes aus der Installation kann das DALI-Programmiergerät angeschlossen und in Betrieb genommen werden.

Ein gelegentlich auch außerhalb einer DALI-Steuerung nützlicher DALI-Parameter ist der **System Failure Level**. Mit ihm kann das Dimmniveau festgelegt werden, auf das sich das Betriebsgerät einstellt, wenn keine DALI-Spannung anliegt. Insbesondere kann dieser Parameter gesetzt werden, wenn eine Leuchte permanent ein festgelegtes Dimmniveau unterhalb des 100 %-

bei der Initialisierung überschreiben oder ggf. in der Anwendung mit einem allgemeinen Reset auf die Werkseinstellung zurücksetzen. Insofern sollte grundsätzlich darauf verzichtet werden, sicherheitsrelevante Voreinstellungen (Schutz vor Überlastung, Beleuchtungsniveau einer Rettungswegbeleuchtung etc.) mit Hilfe von DALI-Parametern einzustellen, sofern eine Kollision mit Funktionen eines (derzeit oder in der Zukunft) angeschlossenen Steuergerätes nicht ausgeschlossen werden kann.

Neben der manuellen Parametrierung bieten die DALI-Programmiergeräte in der Regel auch eine Monitorfunktion an, bei der das Gerät passiv (ohne DALI-Stromquelle) mit einem in Funktion befindlichen DALI-System verbunden wird, um den Datenverkehr auf der DALI-Leitung zu analysieren. Auf diese Weise können z. B. Details der unter Verwendung der DALI-Befehle und Parameter realisierten Umsetzung der Funktionen bestimmt werden, die im Anwendungsfall relevant, jedoch der System-Dokumentation nicht zu entnehmen sind.

So kann z. B. die Wiederholrate des Sendens direkter Dimmbefehle von Interesse sein, wenn Teile der Beleuchtungsanlage während des permanenten Betriebes des Steuergerätes durch Trennung von der Netzspannung geschaltet werden sollen (siehe Abbildung 8.23).

8.6 Funkschnittstellen

Alternativ zu einer leitungsgebundenen Übermittlung kann grundsätzlich auch eine Funkübertragung der Steuersignale zwischen den Komponenten einer Beleuchtungsanlage eingerichtet werden. Viele marktübliche Lichtmanagementsysteme bieten eine solche Funktion an. Dabei kann die Kommunikation innerhalb des Systems ausschließlich auf Funk basieren oder in Kombination mit einer leitungsgebundenen Schnittstelle, z. B. DALI, eingesetzt werden (siehe Abbildung 8.24). Die Einbindung der Funkkomponenten erfolgt in vielen Fällen in einem durch das Lichtmanagementsystem aufgebauten Zigbee- oder Bluetooth Mesh-Netzwerk. Die Kodierung und der Umfang der verfügbaren Steuerfunktionen marktüblicher Systeme ist vom jeweiligen Hersteller abhängig. Insofern sind Komponenten unterschiedlicher Systeme in der Regel nicht kombinierbar.

Im Rahmen der Bemühungen der DALI-Alliance um weitere Standardisierung werden in der Norm EN IEC 62386-104 „Digital adressierbare Schnittstelle für die Beleuchtung – Teil 104: Allgemeine Anforderungen – Funk- und alternative kabelgebundene Systemkomponenten“ [88] technische Spezifikationen festgelegt, die zur Einführung und Verbreitung kompatibler, herstellernerneutraler, auf Funk basierender Lichtmanagementkomponenten führen sollen. Einige Erweiterungen und daraus folgende Anpassungen dieses Teils der DALI-Norm sind derzeit in Arbeit. Sie sollen unter anderem einen kombinierten Betrieb von DALI-Komponenten mit zweierlei Steuerleitung und funkgesteuerten Komponenten eines Mesh-Netzwerks (Bluetooth Mesh oder Zigbee) mittels einer DALI-Brücke, sowie die Einbindung von IP- und WiFi-basierten Komponenten ermöglichen. Unter dem Namen DALI+ werden die Spezifizierung und Zertifizierung solcher Komponenten festgelegt, die eine vollumfängliche Nutzung des DALI-Befehlsatzes (DALI-Protokoll) auf den genannten Übertragungswegen gemäß der aktualisierten Norm gewährleisten.

In der Praxis ist im Einzelfall abzuwägen, ob eine leitungsgebundene oder auf Funk basierte Kommunikation zu bevorzugen ist. Die geringeren Kosten, die äußerst geringe Störanfälligkeit der Signalübertragung und ggf. eine mögliche Gruppierung miteinander verbundener Leuchten machen die Verwendung von Steuerleitungen, z.B. für Beleuchtungsanlagen mit Lichtbändern in Industriebetrieben, attraktiv. Deshalb ist bei der Neuinstallation oder Sanierung der elektrischen Anlage auch in kleineren und weniger kritischen Konfigurationen eine fünf-aderige Verdrahtung grundsätzlich zu empfehlen. Diese ist praktisch ohne zusätzlichen Aufwand einzurichten und ermöglicht auch nachträglich die kostengünstige und bequeme Ausstattung einer

Beleuchtungsanlage mit Lichtmanagement. Eine Funklösung ist hingegen zu erwägen, wenn im Fall einer Sanierung der Beleuchtung das nachträgliche Verlegen zusätzlicher Steuerleitungen problematisch ist.

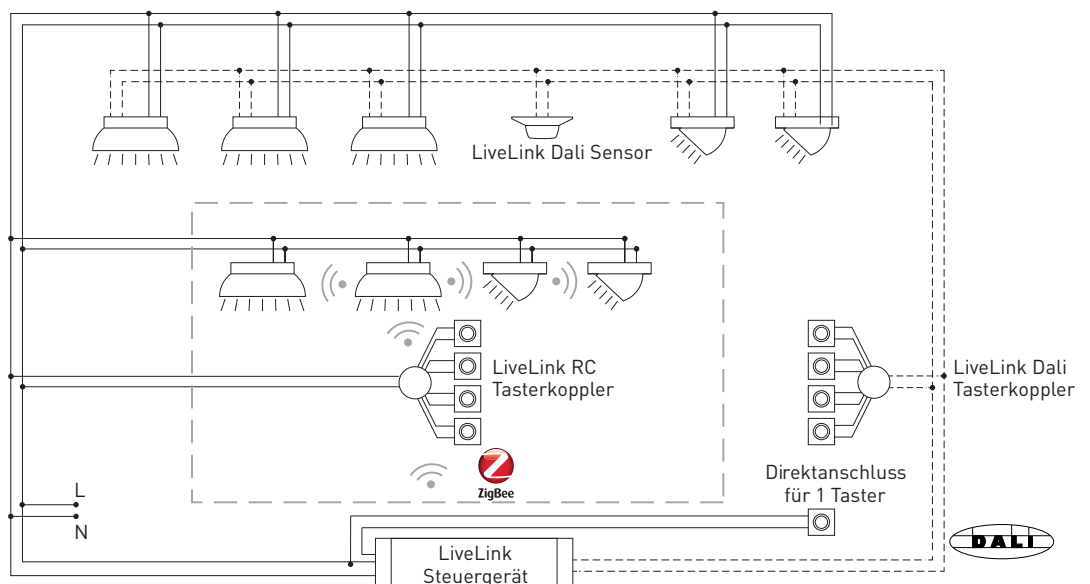


Abbildung 8.24: Übersicht über die Komponenten des Lichtmanagement-Systems mit der Einbindung von Leuchten, Tasterkopplern und Sensoren via DALI-Steuerleitungen oder Funkschnittstelle, sowie einer App als Bedienoberfläche auf einem Smartphone oder Tablet-PC via WLAN.



8.7 Energy Monitoring und Light Monitoring

Mit der Einbindung von Lichtsteuergeräten in das Internet und dem Angebot zur Speicherung und Verarbeitung von Daten auf Servern von Dienstleistern, sogenannten „Cloud-Services“, sind die Grundlagen geschaffen, den Betrieb einer Beleuchtungsanlage kontinuierlich zu erfassen und auszuwerten.

Verbrauchsdaten einer Beleuchtungsanlage sind dabei bereits bei Verwendung üblicher DALI-Leuchten zu erfassen. Dies beruht im Wesentlichen auf zwei Faktoren:

- Die Dimm-Kennlinie ist in der Norm EN IEC 62386 festgelegt. Dadurch lässt sich ein relatives Dimm-Niveau, unabhängig vom Leuchtmittel, jederzeit präzise einstellen und protokollieren.
- Die Leistungsaufnahme von LED-Leuchten ist zum eingestellten Lichtstrom weitgehend proportional.

Damit lässt sich die elektrische Leistungsaufnahme jederzeit bestimmen, ohne eine Messung

elektrischer Größen durchführen zu müssen. TRILUX bietet für einen solchen Service für seine Lichtmanagementsysteme als sogenanntes „Energy Monitoring“ an.

Mit dem TRILUX „Light Monitoring“ können weitere Betriebsdaten erfasst und ausgewertet werden, wie z.B. die Betriebstemperatur einzelner Leuchten, die zu einer spezifischen, temperaturabhängigen Alterung des Gerätes führt. Dazu sind allerdings Leuchten mit speziellen Betriebsgeräten erforderlich, die dem von der DALI Alliance definierten D4i-Standard entsprechen. Insbesondere in Industriebetrieben mit stark schwankenden Umgebungstemperaturen können diese Daten nützlich sein, um Wartungsaufwände und daraus resultierende Services ggf. besser planen zu können.

8.8 Gebäudemanagement, KNX und andere Bussysteme

In modernen Gebäuden übernehmen heute zunehmend Gebäudemanagementsysteme (BMS, Building Management System) die Aufgabe, Funktionen der Haustechnik zu koordinieren und

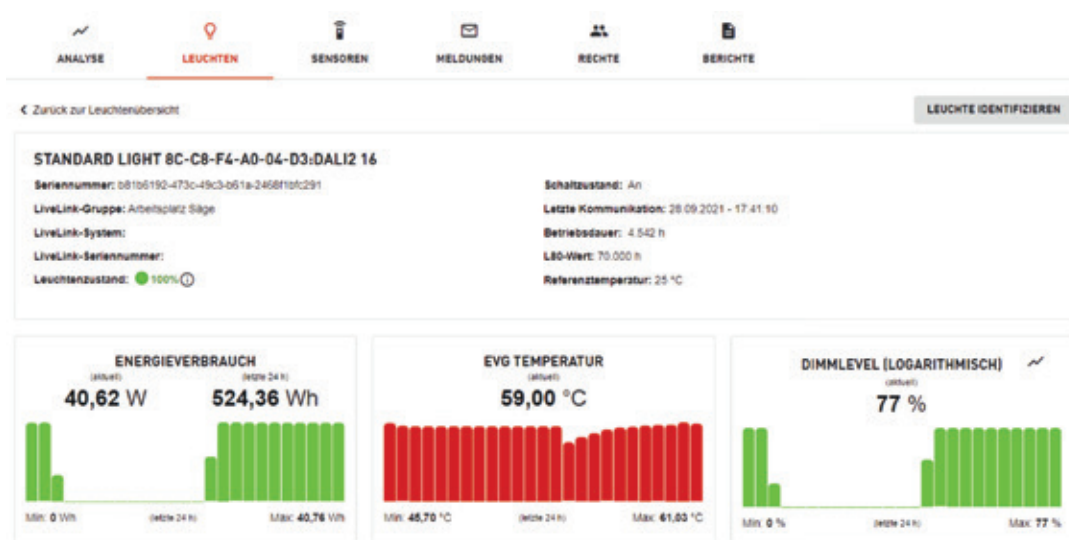


Abbildung 8.25: Bildschirm des Digitalen Services „Light Monitoring“ in der TRILUX Cloud

zu optimieren. Sie steuern Gewerke übergreifend. Dazu erforderlich sind Systemkomponenten, die sich – basierend auf einer gemeinsamen Schnittstelle – über die vielfältigen Funktionen der Gewerke erstrecken.

Ein in der Praxis weit verbreitetes BMS ist das KNX-System. Dabei handelt es sich um ein international standardisiertes Bus-System (ISO/IEC 14543 [106]) für die Gebäudeautomation mit offener Schnittstelle (siehe auch <http://www.knx.de>). Viele Hersteller aller Bereiche der Haustechnik bieten – meistens optional – mit dieser Schnittstelle ausgestattete Komponenten an.

Vorrangige Ziele des Gebäudemanagements sind

- die Komfortsteigerung,
- die Energieeinsparung und
- Interoperabilität zwischen den System ermöglichen.

Aber auch

- eine Erleichterung der Wartungsvorgänge,
- die Dokumentation der Verläufe technischer Vorgänge sind wichtige Aspekte bei der Einrichtung eines Gebäudemanagements und
- Erweiterung des CAFM (Computer Added Facility Management).

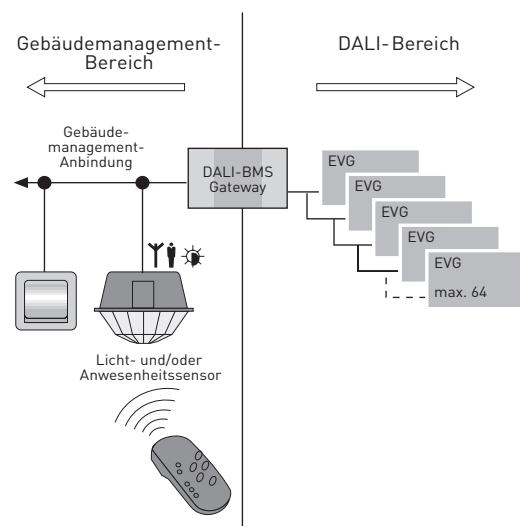


Abbildung 8.26:
Ein Übersetzer (Gateway) verbindet ein DALI-System mit übergeordneten Gebäudemanagement-Systemen, wie z. B. KNX

8.8.1 Aktoren

Die „klassische“ Vorgehensweise der Integration der Beleuchtung in das Gebäudemanagement ist die Steuerung von Lichtszenen mittels Schalt- und Dimm-Aktoren (siehe Kapitel 8.1.1 „Erhöhung des Beleutungskomforts“). Ziel ist zunächst die Erhöhung des Bedienkomforts. Die eingesetzten Dimm-Aktoren

- arbeiten dabei mit Phasenan- oder Phasenabschnitt oder
- bedienen die Steuerspannung der analogen 1...10 V-Schnittstelle angeschlossener Betriebsgeräte.

8.8.2 Gateways

Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung von sogenannten **Gateways**. Diese überführen die Befehle des BMS auf eine Beleuchtungsschnittstelle, da ein direkter Anschluss der Leuchten an die Busleitung des BMS nicht möglich ist, denn

- die Betriebsgeräte von Leuchten verfügen in der Regel nicht über BMS-Schnittstellen und
- der direkte Betrieb von Leuchten am BMS-Bus würde den Bus unnötig belasten.

Die Gateways in der Beleuchtung von Arbeitsstätten sind im Allgemeinen DALI-Gateways (siehe Abbildung 8.26), aber auch DMX-Gateways und Übergänge zu anderen Schnittstellen sind am Markt verfügbar. Sie übernehmen dabei aber nicht nur die Aufgabe einer 1-zu-1-Übersetzung eingehender BMS-Befehle auf die Beleuchtungsschnittstelle, sondern sie führen auch selbständig eigene, auf die Funktionsweise der jeweiligen Beleuchtungsschnittstelle optimierte Prozesse durch. So können z. B. Lichtszenen auf der Ebene der Beleuchtungsschnittstelle definiert oder auch Monitoringfunktionen ohne Beteiligung des BMS ausgeführt werden.

Insofern sind Gateways nicht nur Übersetzer, sondern auch selbst Steuergeräte. Dies spiegelt

sich z.B. auch darin wider, dass DALI-Gateways in der Regel mittels Applikationen in ein KNX-Gebäudemanagement integriert werden. Das sind zum Gateway gehörige, eigenständige Softwareprogramme die von der ETS (Software des KNX-Systems) aufgerufen werden.

DALI-Gateways werden, ebenso wie von einem BMS unabhängige Steuergeräte, in sehr unterschiedlicher Funktionalität angeboten. Die meisten unterstützen vorrangig die Einzelansteuerung von DALI-Teilnehmern im **DALI-Adressierbetrieb**, die Einrichtung von Lichtszenen und das vollständige Monitoring von Betriebszuständen. Es gibt jedoch auch DALI-Gateways mit z.B. acht **DALI-Broadcast**-Ausgängen, die einen einfachen Betrieb der DALI-Teilnehmer ohne DALI-Adressierung und DALI-Inbetriebnahme, ähnlich der 1...10 VSchnittstelle zzgl. Schaltaktor, ermöglichen.

8.8.3 Integrierbare Lichtmanagementsysteme

Der zusätzliche Aspekt der Energieeinsparung erfordert in festzulegenden Bereichen des Gebäudes Funktionen der Anwesenheitserfassung und die Lichtregelung. Hinweise für die Festlegung dieser Bereiche und deren „Referenztechnologien“ können der gültigen Fassung der EnEV (Energie-Einspar-Verordnung) und der DIN V 18599 entnommen werden (siehe Kapitel 8.1.7 „Geltende Vorschriften und Regeln“).

Die anwesenheits- und tageslichtabhängige Steuerung der Beleuchtung erfordert **Sensoren** und eine Verarbeitung der von ihnen erfassten Informationen. Eine Möglichkeit ist der Einsatz von Sensoren mit einer Schnittstelle zum Gebäudemanagementsystem. Die Datenerfassung erfolgt über die Busleitung des BMS. Die Programmierung der Funktionen erfolgt in der zugehörigen Software (z.B. der ETS im Falle eines KNX-Systems, siehe oben). Die Einrichtung der Steuer- bzw. Regelfunktionen (siehe Kapitel 8.2 „Anwesenheitserfassung“ und 8.3 „Tageslicht-

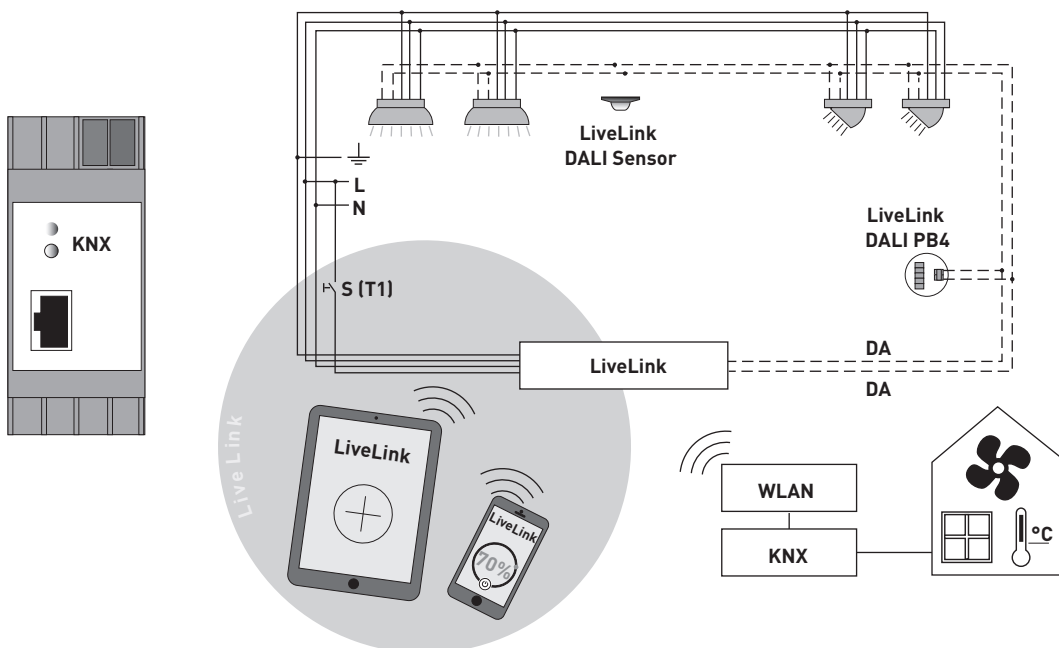


Abbildung 8.27: Schematische Darstellung: Einbindung des Lichtmanagementsystems TRILUX-LiveLink in ein KNX-Gebäudemanagementsystem. Die Inbetriebnahme erfolgt mittels der LiveLink-System-Software, die Bedienung und das Monitoring der Beleuchtung erfolgen mittels zahlreicher Parameter, die dem BMS vom LiveLink-System bereitgestellt werden.

abhängige Regelung“) obliegt in diesem Fall dem Administrator des Gebäudemanagementsystems.

Eine Alternative hierzu bieten in sich geschlossene **Lichtmanagementsysteme** mit Schnittstelle zum BMS (z. B. KNX, siehe Abbildung 8.27). Diese erfüllen die automatischen Steuerfunktionen lokal. Der für die Lichtregelung erforderliche Datenverkehr erfolgt ausschließlich über die Schnittstellen des Lichtmanagementsystems (z. B. DALI) und belastet nicht die Busleitung des BMS.

Alle im Lichtmanagementsystem verfügbaren Funktionen stehen ohne zusätzlichen Programmieraufwand zur Verfügung. Die Inbetriebnahme dieser Funktionen erfolgt lokal. Monitoringfunktionen der Beleuchtungsschnittstelle, wie z. B. Zustandsabfragen (siehe Kapitel [8.5.2](#) „Adressierter Betrieb“), können bei Bedarf durch das BMS wahrgenommen werden.



LEUCHTMITTEL

Inhalt

9.0	Leuchtmittel	514
9.1	Leuchtmittelarten	514
9.2	Leuchtmittleigenschaften	518

9.0

LEUCHTMITTEL

9.1

Leuchtmittelarten

Die Umwandlung von elektrischer Energie in sichtbare Strahlung (Lichterzeugung) erfolgt in Leuchtmitteln (Lichtquellen). Dabei ist grundsätzlich zwischen drei möglichen Prozessen zu unterscheiden, nämlich der Lichterzeugung

- durch Temperaturerhöhung (Temperaturstrahler),
- durch Gasentladungslampen (Hochdruck- und Niederdruck-Entladungslampen) und
- durch elektronische Vorgänge in Festkörpern, Elektrolumineszenz (LED).

Temperaturstrahler – Glühlampen und Halogen-glühlampen – sind Plancksche Schwarzkörperstrahler. Sie erzeugen bei hoher Temperatur ein kontinuierliches Strahlungsspektrum, das nur zu einem geringen Anteil im sichtbaren Bereich liegt. Der weitaus größere Teil der Strahlungsenergie wird in Form von Wärme – Infrarotstrahlung – umgesetzt (siehe Abbildungen 9.1 und 9.2). Ihre Lichtausbeute [lm/W] ist daher gering.

Der Betrieb von Entladungslampen und LEDs erfordert nicht diese hohen Temperaturen. Er beruht auf dem Übergang zwischen quantenmechanischen Energiezuständen von Atomen bei der Gasentladung bzw. innerhalb von kristallinen Gitterstrukturen im Fall der LED. Die erzeugte

Strahlung der Gasentladung in einer Leuchtstofflampe liegt im ultravioletten Spektralbereich vorrangig bei der Resonanzlinie 253,7 nm. Sie wird durch Leuchtstoffe effizient in Strahlungsanteile sichtbaren Lichtes konvertiert (siehe Abbildung 9.3).

Die klassischen Leuchtmittel – Temperaturstrahler und Entladungslampen – sind stets in Form von Lampen mit Sockeln für den austauschbaren Betrieb in Leuchten angeboten worden. Für LED-Leuchtmittel gilt dies überwiegend nicht mehr. Leuchten mit fest integrierten LED-Leuchtmitteln werden heute in vielen Anwendungen bevorzugt eingesetzt.

Glühlampen und Halogen-glühlampen waren in der Vergangenheit vor allem in der Wohnraumbeleuchtung dominant. Gasentladungslampen wurden seit den 1940er Jahren traditionell überwiegend in der technischen Innen- und Außenbeleuchtung angewendet, um die dort auftretenden großen Lichtbedarfe abzudecken. Ihr großer Vorteil lag in ihrer 6- bis 8-fachen Lichtausbeute im Vergleich zur zu den erwähnten Glühlampen (siehe oben).

Beide Formen werden derzeit von LED-Lichtquellen abgelöst. In der Wohnraumbeleuchtung ist dies zu einem guten Teil dem schrittweisen Verbot der Glühlampen zuzuschreiben. In der



technischen Beleuchtung liegt der Grund in der europaweit bevorstehenden weitgehenden Abschaffung quecksilberhaltiger Leuchtmittel (siehe Kapitel 3.5.1 „Lampen ohne Quecksilber (neue RoHS-Bestimmungen)“). Nur wenige spezielle Lichtquellen für medizinische, therapeutische, wissenschaftliche und andere Zwecke sind davon ausgenommen. Der Wegfall der Ersatzbeschaffung von Leuchtmitteln aufgrund der ergänzenden Richtlinien zur RoHS-Richtlinie (siehe Tabelle 3.23 in Kapitel 3.5.1) führt dabei zu einem erhöhten Sanierungsbedarf.

Im Folgenden wird es deshalb im Wesentlichen um die LED als Lichtquelle gehen.

9.1.1 LED (Light-Emitting Diodes)

In konventionellen Lampen entsteht sichtbares Licht entweder aufgrund der Erwärmung einer Metallwendel (Glühlampe) oder durch eine Gasentladung. In der LED (Light-Emitting Diode) findet die Lichterzeugung in einem räumlich sehr kleinen Bereich des p-n-Übergangs des kristallinen, halbleitenden Materials statt, wo bei der Rekombination der positiven und negativen Ladungsträger ein Teil der frei werdenden Energie in Licht umgesetzt wird (Elektrolumineszenz). Dabei wird monochromatisches Licht einer bestimmten Farbe (Gelb, Orange, Rot, Grün, Blau) bzw. Wellenlänge erzeugt. Das entstehende Licht ist schmalbandig und materialcharakteristisch

Abbildung 9.1: Spektrum elektromagnetischer Strahlung

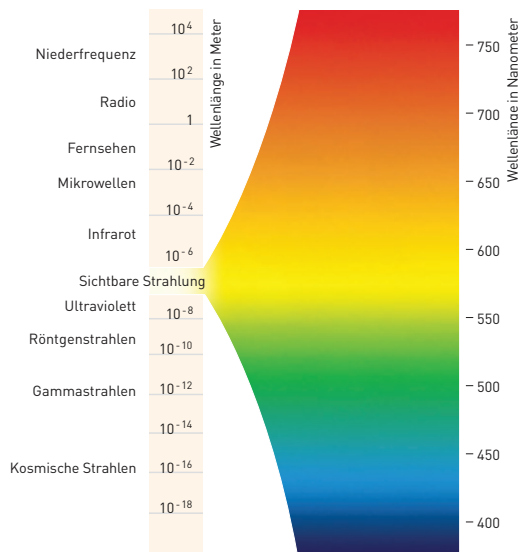


Abbildung 9.1

Abbildung 9.2: Sichtbares Spektrum einer Glühlampe

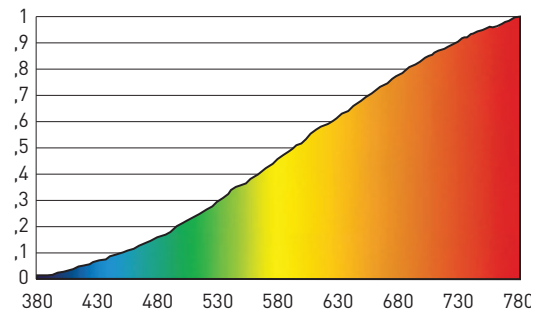
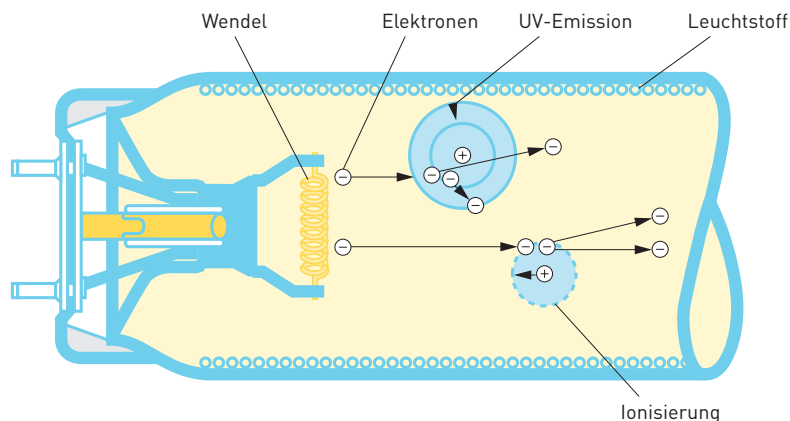


Abbildung 9.2

Abbildung 9.3: Lichterzeugung in einer Leuchtstofflampe: Die durch elektrische Energie erhitzte Wendel der Lampe emittiert negativ geladene Teilchen (Elektronen). Diese ionisieren auf dem Weg zum Pluspol die Gasentladung (machen sie leitfähig) und regen die Quecksilberatome zur UV-Emission an. Die UV-Strahlung wird im Leuchtstoff in sichtbares Licht umgewandelt.



(siehe Abbildung 9.5, Tabelle b). Ein Reflektor und eine Linse mit unterschiedlichen optischen Eigenschaften (sammelnd, streuend usw.) lenken das abgestrahlte Licht.

Weißes Licht entsteht entweder durch Mischung des Lichtes von roten, grünen und blauen LEDs (RGB-Mischung) oder durch die Beschichtung einer blauen LED mit einem Leuchtstoff, der das blaue Licht der LED teilweise in Licht des grünen und roten Spektralbereichs umwandelt.

Die RGB-Mischung spielt heute in Anwendungen der Allgemeinbeleuchtung praktisch keine Rolle. Einerseits sind sowohl die Farbwiedergabe, gekennzeichnet durch den Farbwiedergabe-Index R_a , als auch die Lichtausbeute des durch RGB-Mischung erzeugten weißen Lichts nicht zufriedenstellend. Andererseits weist es – aufgrund unterschiedlicher Degradation der LED der einzelnen Farben – einen sich zeitlich ändernden Farbort auf (siehe Kapitel 2.9). Die RGB-Farbmischung findet jedoch im Bereich dekorativer und das Wohlbefinden fördernder Anwendungen (siehe auch Kapitel 3.3.1) in der Signaltechnik (z. B. in Kraftfahrzeugen, Ampelsignalanlagen) und bei Wegleitungssystemen (in Gebäuden oder im Außenraum) ein breites Einsatzspektrum.

Die Konversion blauen LED-Lichts mittels einer Leuchtstoffbeschichtung ist hingegen ein Verfahren, das überall dort Anwendung findet, wo qualitativ hochwertiges weißes Licht in großer Menge benötigt wird. So zum Beispiel in der Wohnraumbeleuchtung, der Arbeitsstättenbeleuchtung und der Straßenbeleuchtung. Hohe Farbstabilität, gute bis sehr gute Farbwiedergabeeigenschaften sowie sehr hohe Lichtausbeuten zeichnen dieses Verfahren aus.

Im Labor werden Werte der Lichtausbeute von über 200 lm/W gemessen. Jedoch sind diese Werte als technische Angaben eines „Lampenlichtstroms“ nicht einsetzbar, da die Lichtausbeute in hohem Maße von den konkreten Betriebsbedingungen in der Leuchte abhängt. Wichtige Faktoren sind dabei die Bestromung der LED sowie das Thermomanagement (siehe

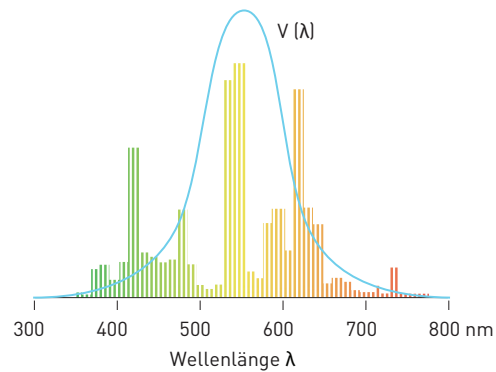
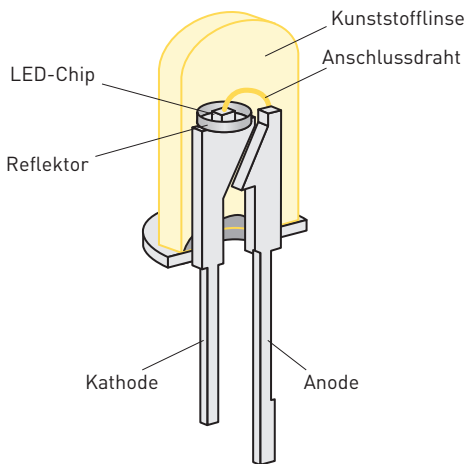


Abbildung 9.4: Spektrum der Dreibandlampen mit drei ausgeprägten Spektralbereichen Blau, Grün und Rot sowie Hellempfindlichkeitsgrad des Auges $V(\lambda)$



(a) Schematischer Aufbau einer LED

Halbleitermaterial	Abkürzung	Farbe(n)
Aluminium-Galliumarsenid	AlGaAs	Rot
Aluminium-Indium-Galliumphosphid	AlInGaP	Rot, Gelb
Galliumarsenidphosphid	GaAsP	Rot, Orange, Gelb
Indiumgalliumnitrid	InGaN	Grün, Blau

(b) Materialien zur Erzeugung von farbigem LED-Licht

Abbildung 9.5: LED

Kapitel 5.8.1), die in engem Zusammenhang mit der zu erwartenden Lebensdauer der Leuchte stehen.

In der Wohnraumbeleuchtung finden heute vermehrt sogenannte „Retrofit“-Lampen mit LED-Technik Anwendung. Dabei handelt es sich um Komplettsysteme bestehend aus den LEDs und den für ihren Betrieb benötigten Elektronik-Komponenten (siehe Kapitel 5.8.3), häufig mit E27- oder E14-Fassung als Ersatz für die traditionellen Glühlampen.

In der professionellen Arbeitsstättenbeleuchtung werden Retrofit-Lampen nur selten eingesetzt. Ein Grund dafür ist, dass Leuchten in Arbeitsstätten – im Gegensatz zu Einzeleuchten im Privathaushalt – im Allgemeinen in größeren Gruppen als Beleuchtungsanlagen mit langen Betriebszeiten betrieben werden. Daraus ergeben sich erhöhte wirtschaftliche wie auch sicherheitsrelevante

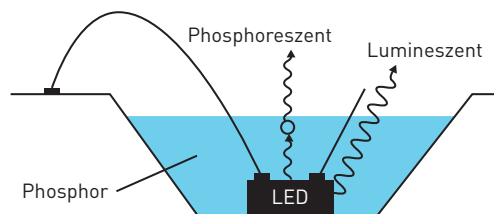
Anforderungen (siehe auch Kapitel 5.6.1, „Kennzeichnung von Leuchten, Typenschild“) an

- die Energieeffizienz der Leuchte,
- die Lebensdauer der Lampe bzw. Leuchte,
- die lichttechnischen Kenndaten der Lampe bzw. Leuchte für die lichttechnische Planung,
- die elektromagnetische Verträglichkeit,
- den Leistungsfaktor (Blindstrom-Vermeidung) und
- die Flimmerfreiheit.

Diese Anforderungen werden heute von LED-Leuchten in Form von optimierten Gesamtsystemen mit fest integrierter LED-Lichtquelle und Elektronik sehr viel besser erfüllt.

Gedimmt werden LED-Lichtquellen mit unterschiedlichen Verfahren. Weit verbreitet ist die Pulsweitenmodulation (PWM) der Gleichspannung, bei der nach einem einstellbaren ON/OFF-Verhältnis der vom Betriebsgerät erzeugte Gleichstrom ein- und ausgeschaltet und damit die Energiezufuhr geregelt wird. Anders als z. B. bei der Phasenabschnitt-Dimmung von Glühlampen, bei der das Licht des sich träge abkühlenden Glühfadens nicht erlischt, folgt die LED der Pulsweitenmodulation praktisch ohne Verzögerung. Für Anwendungen, bei denen sich

Abbildung 9.6:
Weiße LED



(a) Retrofit-Lampe mit E14-Sockel



(b) Retrofit-Lampe (Tube) mit G13-Sockel

Abbildung 9.7:
Beispiele für
Retrofit-Lampen

stroboskopische Effekte störend auswirken können, ist eine PWM-Dimmung daher zu vermeiden. Physiologische Rückwirkungen auf den Menschen sind bei PWM-Frequenzen oberhalb von 400 Hz sicher vermieden. Schaltungen mit geringeren PWM-Frequenzen sollten nicht eingesetzt werden. Dazu sind geeignete Betriebsgeräte (siehe Kapitel 5.8.5) erforderlich, z. B. mit DALI-Schnittstelle (siehe Kapitel 8.5).

Weitere Entwicklungen im Bereich der Nutzung der Elektrolumineszenz betreffen die organischen LEDs, die sogenannten OLEDs, bei denen die Lichterzeugung in einer organischen Substanz erfolgt. Während kristalline LEDs sehr kleine Einzelelemente mit nur wenigen Millimetern Durchmesser sind, lassen sich mit OLEDs vor allem flächige Lichtemitter herstellen. Sie werden heute vorwiegend in der Display-Technik eingesetzt. Ein wirtschaftlicher Einsatz in der Allgemeinbeleuchtung ist derzeit nicht abzusehen.

9.2 Leuchtmittleigenschaften

Die wichtigsten Eigenschaften von Leuchtmitteln sind:

- Leistungsaufnahme
- erzeugter Lichtstrom
- Lichtausbeute
- Lichtfarbe und Farbwiedergabe
- Lebensdauer
- Form und Abmessungen.

Für LED-Lampen und -Leuchten ist zu empfehlen, die aktuellen technischen Daten auf der Internetseite des Herstellers nachzusehen. Auf Grund der schnellen technologischen Entwicklung werden diese für viele Produkte in kurzen Zeitabständen aktualisiert.

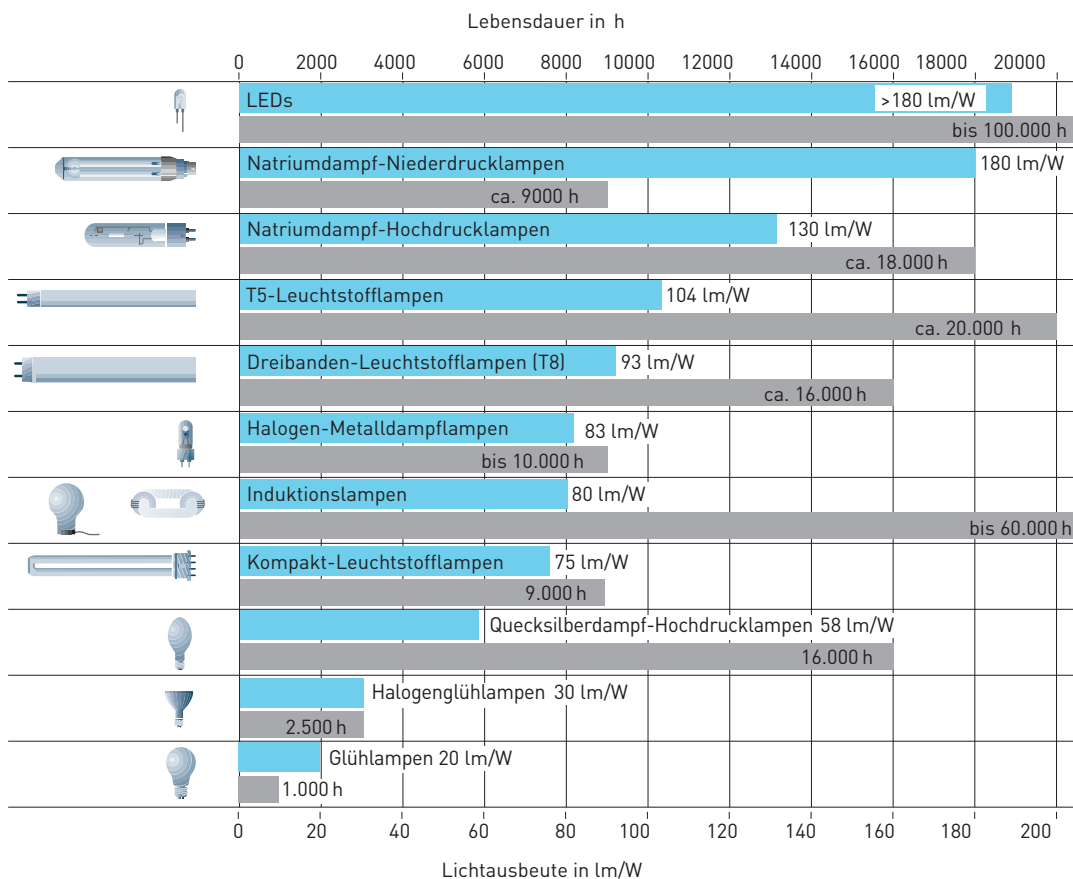


Abbildung 9.8: Lichtausbeute (Zirka-Höchstwerte ohne Vorschaltgeräte) und Lebensdauer (bezogen auf die zutreffende Definition) verschiedener Lampenarten

9.2.1 Lichtausbeute

Lichtausbeute von Lampen

Leuchtmittel wandeln elektrische Leistung in sichtbare Strahlung (Licht) um. Ein großer Teil der von einem Leuchtmittel aufgenommenen elektrischen Leistung wird jedoch in Wärme umgesetzt. Glühlampen geben etwa nur 5 %, Leuchtstofflampen zwischen 20 % und 40 % und LEDs bis zu über 60 % ihrer elektrischen Leistung als Licht ab. Die Lichtausbeute ist das Maß für die Effizienz der Lichterzeugung. Sie wird in Lumen je Watt (lm/W) angegeben.

Als Lampenlichtausbeute bezeichnet man das Verhältnis der abgegebenen Lichtmenge zur elektrischen Leistungsaufnahme einer freistrahrenden Lampe unter standardisierten Umgebungsbedingungen. Zusätzlich sind zum Betrieb von LEDs und Entladungslampen Vorschaltgeräte erforderlich, die ihrerseits ebenfalls eine Leistungsaufnahme verursachen. Die Systemlichtausbeute einer Lampenschaltung definiert sich hierbei durch das Verhältnis von Lampenlichtstrom zur Leistung von Lampe und Vorschaltgerät. Die Systemlichtausbeute wird also von der Lichtausbeute der Lampe und der Verlustleistung der notwendigen Betriebsgeräte (Vorschaltgeräte) bestimmt. Insbesondere auf die Wirtschaftlichkeit eines geplanten Sanierungsvorhabens hat dies häufig einen erheblichen Einfluss (siehe Kapitel [3.4](#) „Licht und Wirtschaftlichkeit“).

Für LED-Leuchtmittel kann eine Lampen- bzw. Systemlichtausbeute nur im Fall der Retrofit-Lampen angegeben werden. Nur diese können freistrahrend unter definierten Bedingungen betrieben werden.

Zusätzlich entstehen in der Leuchte optische Verluste aufgrund von Reflexion und Absorption an optischen Materialien sowie thermische Verluste aufgrund der Erwärmung in der Leuchte (siehe Kapitel [5.2.4](#), „Leuchtenbetriebswirkungsgrad“).

Lichtausbeute von LED-Leuchten

Fest in Leuchten verbaute LED-Komponenten sind gesondert zu betrachten. Für sie ist kein Lampenlichtstrom und damit keine Lampenlichtausbeute definierbar. Ein standardisierter Betrieb der Komponenten ist nicht möglich, da Leuchte und Lampe nicht voneinander getrennt werden können. Insbesondere die elektrischen Betriebsbedingungen können, abhängig vom eingesetzten Betriebsgerät, sehr unterschiedlich gewählt werden. Aber auch die konstruktive Beschaffenheit der Leuchte hat durch das Thermomanagement einen signifikanten Einfluss auf den Betrieb der LED (siehe Kapitel [5.8](#), „Thermomanagement“). Deshalb sind für den Fall solcher LED-Leuchten der Bemessungslichtstrom ϕ_B , die Bemessungsleistung P_B und die sich daraus ergebende Lichtausbeute ϕ_B/P_B definiert.

Bemessungslichtstrom:

ϕ_B = Leuchtenlichtstrom im Neuzustand, ungedimmt

Bemessungsleistung:

P_B = Leistungsaufnahme zur Erzeugung von ϕ_B

Lichtausbeute:

$$\phi_B/P_B = \frac{\text{Leuchtenlichtstrom im Neuzustand, ungedimmt}}{\text{Leistungsaufnahme zur Erzeugung von } \phi_B}$$

Die Leuchtenlichtausbeute bezeichnet das Verhältnis des von der LED-Leuchte abgegebenen Leuchtenlichtstroms zur von der Leuchte aufgenommenen elektrischen Leistung.

Der Leuchtenbetriebswirkungsgrad entfällt bei dieser Betrachtungsweise bzw. wird mit dem Wert 1 angegeben, um eine fehlerfreie Arbeitsweise von Software-Programmen für die Lichtberechnung zu ermöglichen (siehe Kapitel [5.2.4](#), „Leuchtenbetriebswirkungsgrad“). Die theoretisch maximal erreichbare Lichtausbeute bei monochromatischer Strahlung beträgt 683 lm/W, für weißes Licht im sichtbaren Spektralbereich von 380 nm bis 780 nm nur 199 lm/W.

Technisch ausgereifte LED-Leuchten erreichen heute eine Bemessungslichtausbeute bis über 180 lm/W.

9.2.2 Lichtfarbe

Die Lichtfarbe einer Lichtquelle wird durch die ähnlichste Farbtemperatur T_{cp} (température de couleur proximale) gekennzeichnet. Die ähnlichste Farbtemperatur ist die Temperatur, bei der der Farbort erhitzten Platins dem der betreffenden Lichtquelle am nächsten kommt (siehe Abbildung 9.11).

Die temperaturabhängigen Farborte des erhitzten Platins bilden dabei eine Linie mit „weißem“ Licht. Niedrige ähnlichste Farbtemperaturen beschreiben warmes, gelb-rot-weiß erscheinendes Licht, wie z.B. Kerzen, Glühlampen und andere Temperaturstrahler. Hohe Temperaturen beschreiben kaltes, also mehr weiß-blaues Licht, wie z.B. das Tageslicht mit etwa 6.500 K (bedeckter Himmel). Die Farborte künstlicher Lichtquellen, die keine Temperaturstrahler sind, liegen im Allgemeinen abseits der Linie. Je näher sie ihr sind, desto natürlicher bzw. weißer wird ihr Licht empfunden.

Abweichungen einzelner Lichtquellen von einem vorgegebenen Farbort können im Farbraum mit Hilfe von MacAdam-Ellipsen gekennzeichnet werden. Die Größe der MacAdam-Ellipsen bezieht sich dabei stufenweise auf die visuelle Un-

terscheidbarkeit der Abweichungen (SDCM, Standard Deviation of Colour Matching, siehe Abbildung 9.9). Die Größe und Orientierung gleichstufiger MacAdam-Ellipsen ist außerdem von der Lage im Farbraum abhängig. So wird berücksichtigt, dass z.B. im grünen Bereich des Farbraumes eine relativ geringere Unterscheidbarkeit besteht, was zu größeren Ellipsen führt. Die MacAdam-Ellipsen basieren auf den Ergebnissen einer empirischen Untersuchung des amerikanischen Wissenschaftlers David Lewis MacAdam [177], die im Jahr 1942 veröffentlicht wurde.

Abweichungen von bis zu 3 SDCM werden beim gemeinsamen Betrieb von z.B. Deckenleuchten für die Allgemeinbeleuchtung kaum wahrgenommen und stellen deshalb für derartige Anwendungen ein allgemein akzeptiertes Qualitätskriterium dar (siehe Abbildung 9.10). Größere Farbabweichungen qualitativ weniger hochwertiger Lichtquellen gehen häufig auch mit stärkeren Abweichungen vom Planckschen Kurvenzug einher, weshalb ihr Licht – neben den sichtbaren Unterschieden untereinander – häufig als unnatürlich empfunden wird.

In den europäischen Normen zur Beleuchtung werden im Allgemeinen nur vereinzelt Empfehlungen zur Lichtfarbe der zu verwendenden Licht-

Lichtfarbe	Ähnlichste Farbtemperatur
Warmweiß	unter 3.300 K
Neutralweiß	von 3.300 K bis 5.300 K
Tageslichtweiß	über 5.300 K

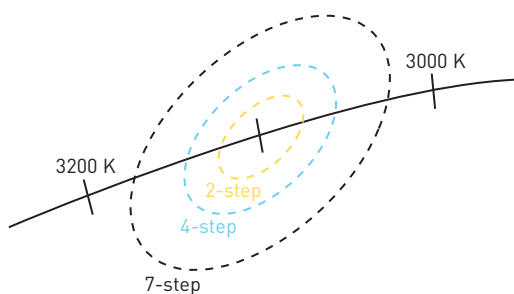


Abbildung 9.9:

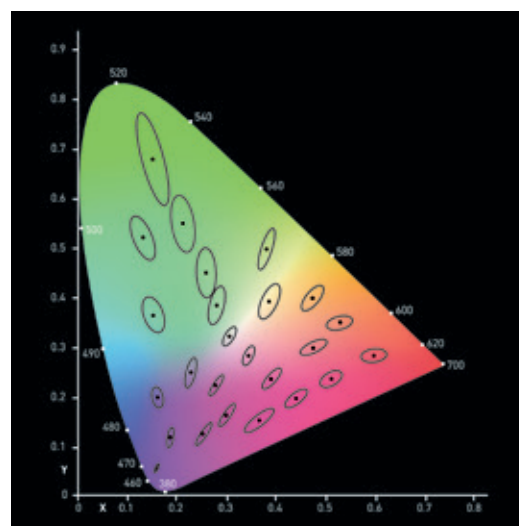


Abbildung 9.10:

Tabelle 9.1: Lichtfarbe und ähnlichste Farbtemperatur nach EN 12464-1 [51]

Abbildung 9.9: Darstellung von MacAdam-Ellipsen unterschiedlicher Stufen (SDCM) um einen Farbort

Abbildung 9.10: Darstellung von MacAdam-Ellipsen gleicher Stufen (SDCM) bei unterschiedlicher Lage im Farbraum

quellen gegeben, weil deren bevorzugte Wahl u. a. stark davon abhängt, was in den unterschiedlichen Regionen Europas als natürlich empfunden wird. Die Wahl der geeigneten Lichtfarbe hängt also stark von den regionalen Gewohnheiten ab, insbesondere davon, wie auch das Tageslicht im Innenraum in Erscheinung tritt.

In warmen Klimazonen wird allgemein – selbst bei geringem Beleuchtungsstärkeniveau – eine höhere Farbtemperatur, z. B. Tageslichtweiß, bevorzugt. In kaltem Klima ist es eher eine niedrigere Farbtemperatur, also warmweiße Lichtfarben.

Die Wahl der Lichtfarbe hängt aber ebenso auch vom Anwendungsfall – also der Sehaufgabe – und Faktoren der Ästhetik und der Psychologie sowie den Farben des Raumes und der Möbel und der räumlichen Wirkung der Umgebung ab.

Aufgrund jüngerer Erkenntnisse sollte heute aber auch der tageszeitliche Rahmen der Nutzung des Raumes nicht außer Betracht gelassen werden. Insbesondere für Räume mit gegenüber dem üblichen Arbeitsrhythmus erweiterten Nutzungszeiten sollte die circadiane Wirksamkeit des Lichtes unbedingt Berücksichtigung finden. Dabei ist es nicht allein die Lichtfarbe, sondern auch die detaillierte spektrale Zusammensetzung des Lichtes, die Lichtrichtung und Helligkeitsdynamik die einen Einfluss ausübt. Für

Bereiche mit Nachtschichtbetrieb ist darauf zu achten, dass die innere Uhr nicht zu sehr beeinflusst wird. Im Einzelfall müssen in der Nachtschicht Risiken und Nutzen für die konkrete Lichtlösung abgewägt werden. Für Bereiche mit frühem Arbeitsbeginn und geringer Tageslichtversorgung sollte die künstliche Beleuchtung eine aktive Unterstützung des circadianen Rhythmus ermöglichen (siehe Kapitel [3.3.1](#), „Human Centric Lighting (HCL)“ ff.).

Eine herstellernerneutrale, internationale Art der Kennzeichnung der Lichtfarbe ist der Tabelle 9.2 zu entnehmen. Zusätzlich wird dort die Farbwiedergabe der Lichtquelle gekennzeichnet, die im folgenden Abschnitt erläutert wird.

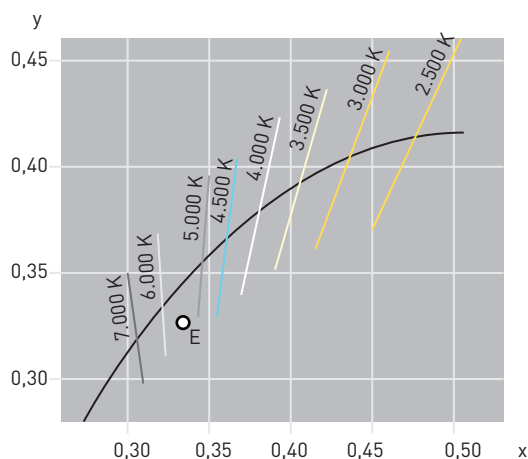
9.2.3 Farbwiedergabe

Für die Sehleistung, die Behaglichkeit und das Wohlbefinden ist es wichtig, dass die Farben der Umgebung, der Objekte und der menschlichen Haut natürlich und wirklichkeitsgetreu wiedergegeben werden. Dies lässt Menschen attraktiv und gesund aussehen. Je nach Einsatzort und Sehaufgaben sollten künstliche Lichtquellen ebenso eine möglichst korrekte Farbwahrnehmung gewährleisten, die dem natürlichen Tageslicht so nah wie möglich kommt (siehe auch [Abbildung 9.12](#)).

Trotz gleicher Lichtfarbe können die Lichtquellen aufgrund unterschiedlicher spektraler Zusammensetzung ihrer Strahlung unterschiedliche Farbwiedergebeeigenschaften haben. Zur objektiven Kennzeichnung der Farbwiedergebeeigenschaften einer Lichtquelle wurde der allgemeine Farbwiedergabeindex R_a eingeführt. Die europäische Beleuchtungsnorm EN 12464-1 [\[51\]](#) definiert anwendungsspezifische Mindestanforderungen an die Farbwiedergabe der Beleuchtung auf dieser Grundlage.

Der Farbwiedergabeindex bezeichnet das Maß der Übereinstimmung der gesehenen Körperfarbe mit ihrem Aussehen unter der jeweiligen

Abbildung 9.11: Auszug aus der Normfarbtafel nach CIE 1931 mit dem Planckschen Kurvenzug, der die Lichtfarbe des erhitzten Platins repräsentiert. Eingezeichnet sind beispielhaft verschiedene ähnlichste Farbtemperaturen. E ist der Unbuntpunkt oder Weißpunkt. Als „Juddsche Geraden“ werden die Schnittgeraden, die im CIE-Farbdreieck die Black-Body-Kurve schneiden, gekennzeichnet. Für alle Farborte auf einer Juddschen Geraden ist die ähnlichste Farbtemperatur die, welche der Farbtemperatur an dem Schnittpunkt mit der Black-Body-Kurve entspricht. Juddsche Geraden werden auch als Isotemperaturlinien bezeichnet.



Bezugslichtquelle. Er basiert auf dem technischen Report der CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) CIE 13.3-1995 [157] „Verfahren zur Messung und Kennzeichnung der Farbwiedergabe-Eigenschaften von Lichtquellen“. Zur Bestimmung des R_a -Wertes werden die Farbverschiebungen von acht genormten Testfarben bestimmt, die sich ergeben, wenn die Testfarben mit der zu prüfenden Lichtquelle bzw. mit der Bezugsquelle beleuchtet werden. Je geringer die Abweichung ist, desto besser ist die Farbwiedergabeeigenschaft der geprüften Lichtquelle. Eine Lichtquelle mit $R_a = 100$ gibt alle Farben wie unter der Bezugslichtquelle optimal wieder. Je niedriger der R_a -Wert ist, umso weniger gut werden die Farben wiedergegeben. Die Bezugslichtart für tageslichtweiße Lichtquellen ist das natürliche Tageslicht mit einer Farbtemperatur von 6.500 K, was einem bedeckten Himmel ohne Sonnenlicht entspricht. Für Lichtquellen mit < 5.000 K ist der Plancksche Strahler die Bezugslichtart.

Leuchtmittel mit einem Farbwiedergabeindex kleiner als 80 sollten in Innenräumen, in denen Menschen für längere Zeit arbeiten oder sich aufhalten, gemäß EN 12464-1 [51] nicht verwendet werden.

Mit der fortschreitenden Verbreitung der LED-Leuchten tritt diese Problematik zunehmend in den Hintergrund. Auch hohe Beleuchtungsstärken können mit diesen Leuchtmitteln bei guter Farbwiedergabe mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand realisiert werden. In den aktuellen Bestrebungen der lichttechnischen Normung findet dies bereits Berücksichtigung.

Um die Lichtfarbe und Farbwiedergabe von Lampen und LED-Leuchten zusätzlich zu den herstellertypischen Bezeichnungen allgemeinverständlich zu kennzeichnen, haben sich die Hersteller international auf eine einfache Art der Kennzeichnung festgelegt. Sie besteht aus drei Ziffern, wie in der Tabelle 9.2 dargestellt.

Bei LED-Leuchtmitteln bezeichnet man ihre Farbwiedergabeeigenschaften mit dem Bemessungsfarbwiedergabeindex, was zum Ausdruck bringt, dass die Farbwiedergabe zum Zeitpunkt der Erstinbetriebnahme gemeint ist.

Für spezifische Anwendungsfälle können erweiterte oder abweichende Bewertungsverfahren der Farbwiedergabe herangezogen werden. So können z.B. zusätzliche Anforderungen an spezielle Farbwiedergabeindizes in Bezug auf einzelne Testfarben gestellt werden, wobei man sich hier in der Regel auf ein um sechs gesättigte Farben auf vierzehn Farbkarten erweitertes Set von Referenzfarben bezieht. Insbesondere der spezielle Farbwiedergabeindex R9, der die Wiedergabe von gesättigtem Rot bewertet, wird unter anderem im kosmetischen Bereich herangezogen. Für Sportstätten ist hingegen

Farbwiedergabe		Lichtfarbe (ähnlichste Farbtemperatur)	
Ziffer 1	R_a -Bereich	Ziffern 2 und 3	Wert in Kelvin
9	90 - 100	27	2.700 K
8	80 - 89	30	3.000 K
7	70 - 79	40	4.000 K
6	60 - 69	50	5.000 K
5	50 - 59	60	6.000 K
4	40 - 49	65	6.500 K

Tabelle 9.2: Herstellerneutrale Farbbezeichnung für Lampen bzw. Leuchten mit integrierten Leuchtmitteln



Abbildung 9.12: Gute Farbwiedergabe und ungenügende Farbwiedergabe

häufig eine Bewertung nach dem TLCI-2012-Verfahren der European Broadcasting Union gefordert, das insbesondere die spektrale Empfindlichkeit von Kameras für Fernsehübertragungen berücksichtigt. Im außereuropäischen Raum wird häufig das TM-30-15-Verfahren der IES (Illuminating Engineering Society) angewendet, auf das sich z. B. auch US-amerikanische Gebäude-Zertifizierungen beziehen (siehe Kapitel 3.6 „Gebäude-Zertifizierung“). Die Ermittlung der Farbwiedergabeeigenschaften eines Leuchtmittels beruht in der Praxis auf einer Spektralmessung der Lichtquelle. Anhand dieser spektralen Informationen lassen sich die Bewertung in den verschiedenen Bewertungssystemen und weitere umfangreiche Auswertungen ableiten.

9.2.4 Lebensdauer von LED-Leuchten

Bei LED-Leuchten nimmt der Lichtstrom mit steigender Betriebsdauer ab. Dieses Verhalten wird als Lichtstromdegradation bezeichnet. Totalausfälle von LED-Leuchten treten in der Regel allerdings erst nach sehr langer Zeit auf, wenn die Degradation bereits sehr weit fortgeschritten ist. Aus diesem Grunde spielt der Totalausfall bei der Betrachtung der Lebensdauer solcher LED-Produkte eine eher untergeordnete Rolle. Lediglich bei Einzel-LEDs ist deren Totalausfall – z. B. als „Pixelfehler“ auf einem LED-Display – erkennbar.

Eine gebräuchliche Definition der Lebensdauer für **LED-Retrofit-Lampen für den Haushalts-**

gebrauch ist – in Anlehnung an die Ausfallrate der Glühlampe – der Zeitpunkt der Degradation auf 50 % des Lichtstroms des Neuproduktes (Bemessungslichtstrom).

Mittlere Bemessungslebensdauer

Für **LED-Leuchten ist keine einheitlich gebräuchliche Definition der Lebensdauer** – sei es eine „Nennlebensdauer“ oder eine „wirtschaftliche Lebensdauer“ – etabliert.

Stattdessen ist es üblich, die „**mittlere Bemessungslebensdauer**“ auszuweisen, die sich auf einen spezifizierten Grad der Lichtstromdegradation bezieht. Dabei handelt es sich um einen statistischen Mittelwert (vgl. Absatz „Bemessungslebensdauer, allgemeine Formulierung“).

Die Angabe der mittleren Bemessungslebensdauer erfolgt in der Form

$L_x = \text{Anzahl h.}$

Der Wert des Index x im Ausdruck L_x beziffert den prozentualen Restlichtstrom einer Leuchte nach Ablauf der angegebenen Zeitspanne. Es gilt:

$$\phi(L_x) = \frac{x}{100} \cdot \phi_B, \text{ mit}$$

- L_x , der mittleren Bemessungslebensdauer,
- $\phi(L_x)$, dem Lichtstrom der Leuchte zum Zeitpunkt L_x ,
- ϕ_B , dem Bemessungslichtstrom (Lichtstrom im Neuzustand)
- x , dem Restlichtstrom der betreffenden Leuchte am Ende der Lebensdauer L_x , Angabe in %.

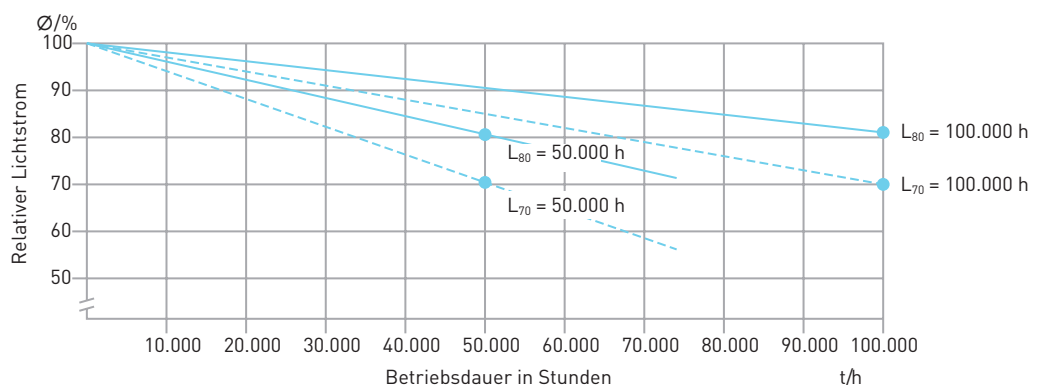


Abbildung 9.13:
Beispielhafte
Darstellungen der
Lichtstromrückgänge
für unterschiedliche
mittlere Bemessungs-
lebensdauern L_x

Diese Definition für die Lebensdauer von LED-Leuchten ist in einer Vereinbarung der europäischen Leuchtenindustrie („Evaluating performance of LED based luminaires, Guidance Paper“ [122]) aus dem Januar 2018 empfohlen.

Die Angabe der Lebensdauer für eine gegebene Leuchte

$$L_{80} = 50.000$$

bedeutet also z.B., dass die betroffene Beleuchtungsanlage nach 50.000 Betriebsstunden mindestens noch 80 % ihres (im Neuzustand verfügbaren) Bemessungslichtstromes erzeugt.

Bis zum Erreichen der Bemessungslebensdauer kann der Verlauf des Lichtstromrückgangs (Degradation) vereinfachend als linear angesehen werden (siehe Abbildung 9.13).

Dann gilt:

$$\phi(t) = \phi_B - \left(1 - \frac{x}{100}\right) \phi_B \cdot \frac{t}{L_x}$$

(Formelzeichen siehe oben).

In der Praxis kann diese Näherung oft auch über die vom Hersteller angegebene Bemessungslebensdauer hinaus, für einen Zeitraum bis zu $1,5 \cdot L_x$, angewendet werden (siehe auch Tabellen im Kapitel 3.1.2, „Der Lampenwartungsfaktor einer LED-Leuchte“).

Im Markt gebräuchliche Angaben zur mittleren Bemessungslebensdauer beziehen sich auf unterschiedliche Degradationsgrade: L_{90} , L_{85} , L_{80} , L_{70} und L_{50} . In gewissen Grenzen lassen sich diese Werte ineinander umrechnen¹.

Die Wahl des Index x der mittleren Bemessungslebensdauer wirkt sich signifikant auf den in der Beleuchtungsplanung anzusetzenden Wartungsfaktor aus. Angaben dazu sind den Tabellen des Kapitels 3.1.2, „Der Lampenwartungsfaktor einer LED-Leuchte“ zu entnehmen.

Im Detail betrachtet handelt es sich bei der „mittleren Bemessungslebensdauer“ um einen statistischen Mittelwert.

Bemessungslebensdauer, allgemeine Formulierung

Die oben beschriebene „mittlere Bemessungslebensdauer“ beruht auf einer allgemeineren Definition der „**Bemessungslebensdauer**“, die im Jahr 2014 durch die Normen über die Arbeitsweise von Leuchten (DIN EN 62722-1; Arbeitsweise von Leuchten – Teil 1: Allgemeine Anforderungen [86], DIN EN 62722-2-1; Teil 2-1: Besondere Anforderungen an LED-Leuchten [87]) und LED-Modulen (DIN IEC/PAS 62717; LED-Module für Allgemeinbeleuchtung – Anforderungen an die Arbeitsweise [20]) vorgeschlagen wurde.

Diese allgemeinere Darstellung in der Form $L_x B_y$ (z. B.: $L_{80} B_{10} = 50.000$ h) beschreibt ebenfalls den prozentualen Restlichtstrom einer Leuchte nach Ablauf der angegebenen Betriebszeit, jedoch nicht als statistischen Mittelwert. Der zusätzliche Index y gibt hingegen an, welcher prozentuale Anteil einer großen Gruppe Leuchten diesen Lichtstrom unterschreitet und wird „Gradual failure fraction“ genannt. Die „mittlere Bemessungslebensdauer“ L_x ergibt sich folglich für $y = 50$ (bzw. $L_x B_{50}$), wobei der B-Wert in dieser Darstellung (L_x) nicht angegeben werden muss.

Die Abweichung zwischen der „mittleren Bemessungslebensdauer“ L_x und einer „Bemessungslebensdauer“ $L_x B_y$ hängt vom Wert des Index y und von der statistischen Streuung der Degradation ab. Insbesondere muss grundsätzlich für eine breite Streuung der Degradation damit gerechnet werden, dass die Anwendung der „mittleren Bemessungslebensdauer“ L_x auf Einzelleuchten eine Unterschreitung der geforderten Mindestbeleuchtungsstärke bewirken kann (siehe Abbildung 9.14). Um dies zu vermeiden, ist in der Vergangenheit die Angabe der Bemessungslebensdauer häufig auf eine geringere „Gradual failure fraction“ bezogen worden (z. B. B_{10}).

Für große Beleuchtungsanlagen konnte der Wert der Beleuchtungsstärke aufgrund der statistischen Verteilung dann hochgerechnet werden (siehe Abbildung 9.14, unten). Die Umrechnung setzte jedoch die Kenntnis der Breite der Streu-

¹ Der TRILUX LIFETIME RECHNER ermöglicht die Ermittlung des LLMF und LSF von LED-Leuchten in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer und der Umgebungstemperatur sowie die Umrechnung zwischen unterschiedlichen Lebensdauer-Spezifikationen (z. B. von L_{80} nach L_{70} , siehe auch Kapitel 9.2.4, Lebensdauer von LED-Leuchten). Der Wartungsfaktor (MF) kann ermittelt werden, wenn der LMF und der RMF der Anwendung bekannt sind.

ung voraus und konnte daher nur in Absprache mit dem Hersteller der Leuchte erfolgen.

Mit dem technologischen Fortschritt der vergangenen Jahre ist die Breite der statistischen Streuung der Degradation stark zurückgegangen. Die Abweichung der Degradation einer Einzeleuchte vom statistischen Mittelwert ist für Qualitätsleuchten heute weitgehend vernachlässigbar. Damit ist auch der Wert der „Gradual failure fraction“ B_x heute kaum noch relevant. Die allgemeine Anwendung der „mittleren Bemessungslebensdauer“ L_x ist daher für Qualitätsleuchten praxistauglich und gemäß der oben genannten Branchenvereinbarung der Beleuchtungsindustrie seit geraumer Zeit im Markt als Standard etabliert.

Bemessungslebensdauer und Bemessungstemperatur

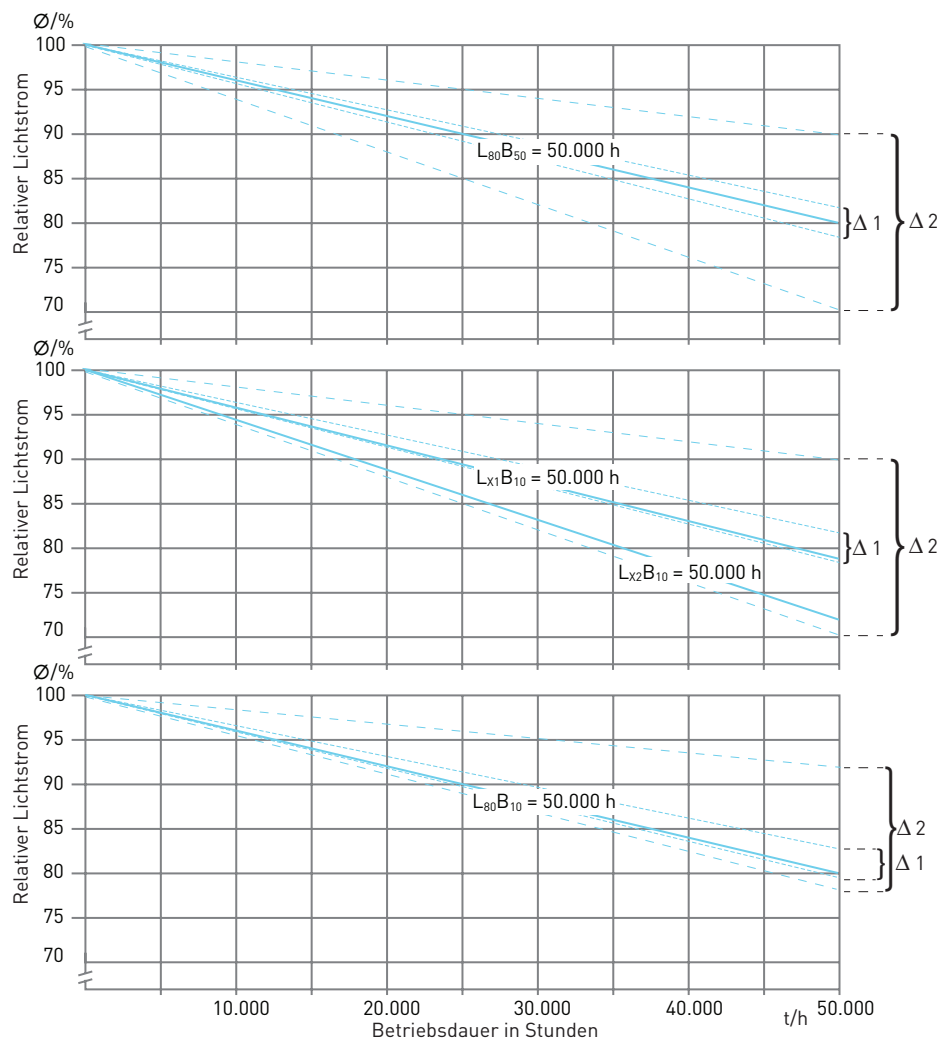
Als Halbleiterelement, in dem elektrische Energie umgesetzt wird, ist die LED – ähnlich wie ein Leistungstransistor in einem Verstärker oder ein Prozessor in einem Computer – temperaturempfindlich. Insbesondere hängt das Maß der Lichtstromdegradation – und damit auch die „mittlere Bemessungslebensdauer“ – von der **Betriebstemperatur** der LED in der Leuchte ab. Sichere Angaben zur Lebensdauer setzen daher ein zuverlässiges Thermomanagement der LED-Leuchte voraus (siehe auch Kapitel 5.8.1, „Thermomanagement“) und beziehen sich im Normalfall auf eine Umgebungstemperatur (**Bemessungstemperatur**) von 25 °C, wenn vom Hersteller nicht anders angegeben.

Abbildung 9.12:

oben
Bei breiter Streuung kann die Degradation einzelner Leuchten weit vom Mittelwert abweichen und daher im praktischen Einzelfall zu einem erheblich reduzierten Beleuchtungsniveau führen. Bei geringer Streuung ist diese Abweichung vernachlässigbar.

mittig
Für den Einsatz von Einzeleuchten ist es bei breiter Streuung der Degradation daher sinnvoll, sich auf eine geringe „Gradual failure fraction“ (z. B. B_{10}) zu beziehen. Bei geringer Streuung kann die Abweichung der individuellen Degradation vom Mittelwert für Einzeleuchten vernachlässigt werden.

unten
Für die Angabe des Restlichtstroms mit Bezug auf eine geringe „Gradual failure fraction“ (z. B. B_{10}) ergibt sich im Umkehrschluss, dass der statistische gemittelte Restlichtstrom bei einer breiten Streuung der Degradation erheblich höher anzunehmen ist. Bei geringer Streuung ist der Einfluss der „Gradual failure fraction“ vernachlässigbar.



In Anlehnung an die oben genannten Normen besteht die Möglichkeit, im Datenblatt eine von 25 °C, abweichende Umgebungstemperatur t_q anzugeben, in der die ausgewiesenen technischen Qualitätsmerkmale erreicht werden (siehe auch Kapitel 5.7.2, „Betriebsbedingungen“ und Kapitel 5.1.2, „Produktqualität“).

Für LED-Leuchten steht Nutzern des TRILUX-Portals ein Berechnungswerkzeug (TRILUX LIFETIME RECHNER¹) für die Ermittlung des LLMF und LSF zur Verfügung.

Auswirkungen des Dimmbetriebes auf die Lichtstromdegradation von LED-Leuchten

Die Bemessungslebensdauer einer LED-Leuchte wird für den 100%-Betrieb, also den Dauerbetrieb mit dem Nennstrom, in einer Umgebung mit der Bemessungstemperatur (siehe oben) bestimmt. Das Thermomanagement sorgt dafür, dass unter diesen Umständen die Temperatur im Inneren der LED einen erforderlichen Grenzwert (junction temperature) nicht überschreitet. Für die Bestimmung der Temperatur wird ein geeigneter Referenz-Messpunkt, der Solderpoint, im Bereich der Befestigungsfläche der LED definiert.

Eine Erhöhung der Umgebungstemperatur über die Bemessungstemperatur hinaus würde zu einer entsprechenden Erhöhung der Temperatur am Solderpoint führen und damit den Degradationsprozess beschleunigen. Ein typischer Wert für hochwertige LED ist eine Erhöhung der Degradation von 10 % bei 10 °C Temperaturerhöhung.

Darüber hinaus ist die Degradation aber auch vom Betriebsstrom und damit von der Leistungsaufnahme der LED abhängig. Hochwertige LEDs zeigen hier z.B. ca. eine Verdoppelung der Lebensdauer, wenn der Strom auf ein Drittel des Nennwertes reduziert wird.

Der Betriebsstrom erzeugt jedoch auch Wärme, die der LED im Betrieb zugeführt wird, und bewirkt wiederum eine relative Erhöhung der Temperatur am Solderpoint im Vergleich zur Umgebung. Im gedimmten Betrieb der LED verringert sich die Temperatur im Vergleich zum 100%-Betrieb entsprechend der (d. h. proportional zur) elektrischen Leistungsaufnahme. Abbildung 9.15 zeigt diesen Zusammenhang für einen tageslichtabhängigen Dimmbetrieb am Beispiel einer Fallstudie, die bei TRILUX von 2016 bis 2017 durchgeführt wurde.

Die Einflüsse von Betriebsstrom und Temperatur auf die Degradation überlagern sich. Da sich in der Branche bisher keine allgemeine Form zur Beschreibung dieser Zusammenhänge etabliert hat, kann hier nur auf die exemplarischen Ergebnisse unserer Fallstudie verwiesen werden. Dort ergibt sich

- aus einer Leistungsreduzierung um 50 % eine Verlängerung der Lebensdauer um ca. 40 % sowie
- eine Absenkung der Solderpoint-Temperatur um 20 °C und somit eine zu erwartende Verlängerung der Lebensdauer um ca. 20 %, bezogen auf den 140 %-Wert.

¹ Der TRILUX LIFETIME RECHNER ermöglicht die Ermittlung des LLMF und LSF von LED-Leuchten in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer und der Umgebungstemperatur, sowie die Umrechnung zwischen unterschiedlichen Lebensdauer-Spezifikationen (z. B. von L80 nach L70, siehe auch Kapitel 9.2.4, Lebensdauer von LED-Leuchten). Der Wartungsfaktor (MF) kann ermittelt werden, wenn der LMF und der RMF der Anwendung bekannt sind.“

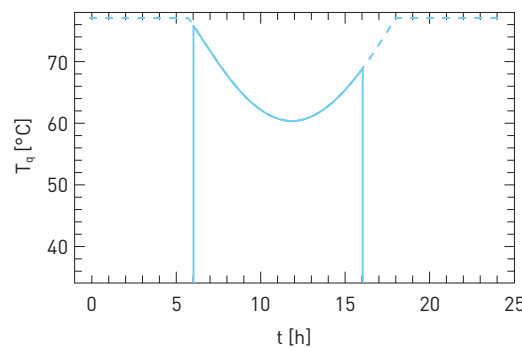
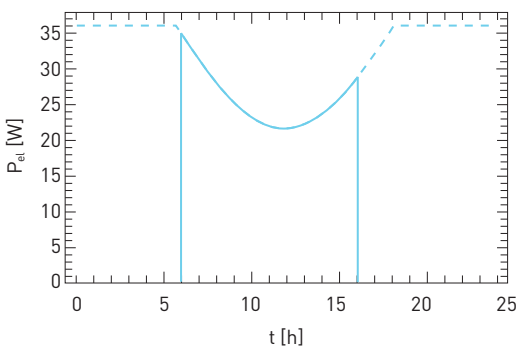


Abbildung 9.15: Beispielhafte Darstellung der Abhängigkeit der Temperatur am Solderpoint von der Leistungsaufnahme einer LED-Leuchte im tageslichtabhängigen gedimmten Ein-Schicht-Betrieb der TRILUX-Lehrwerkstatt

Insgesamt folgt bei Betrachtung der Fallstudie bei einem 50%-Dimmbetrieb also eine Verlängerung der Lebensdauer um ca. 70 %.

Für zahlreiche, unterschiedliche Anwendungen (Nutzerprofile) gibt die Norm DIN V 18599 [26] Hinweise auf Betriebszeiten und zu erwartende Lichtstrom- bzw. Leistungsreduzierung durch Dimmen (siehe Kapitel 3.5.12 „Deutsche Norm DIN V 18599“). Die oben ermittelte 70%ige Verlängerung der Lebensdauer kann in Anlehnung an die Betrachtungsweise dieser Norm auch als Reduzierung der effektiven Betriebszeit angesehen werden. Für eine Dimmung um durchschnittlich 50 % ergibt sich eine Reduzierung der degradationseffektiven Betriebszeit $t_{\text{eff, Deg}}$ um 100/170 auf ca. 60 % (siehe Kapitel 3.1.5 „Wartungsfaktoren in Beispiel-Anwendungen“).

Ausfallrate

Totalausfälle von LED-Lampen bzw. -Leuchten werden durch den C_z -Wert (catastrophic failure) gekennzeichnet, wobei der Zahlenwert von z die zu einem gegebenen Zeitpunkt zu erwartende Ausfallrate in Prozent angibt.²

Eine Angabe zur Klassifizierung einer Leuchte

$$C_5 = 100.000 \text{ h, bei } t_q = 35 \text{ °C}$$

würde also z. B. bedeuten, dass bei einer Umgebungstemperatur von 35 °C nach einer Betriebszeit von 100.000 Stunden diese LED-Leuchten eine Totalausfallrate von 5 % aufweisen.

Der Wert der Totalausfallrate am Ende der mittleren Bemessungslebensdauer L_x (B_{50} , siehe oben) einer Leuchte wird als AFV („Abrupt Failure Value“) bezeichnet. In der Praxis stellen sich allerdings signifikante Ausfallraten bei LED-Produkten erst zu Zeitpunkten weit fortgeschrittener Degradation ein. Bei Angaben der mittleren Bemessungslebensdauer mit $x \geq 80$ ist der AFV daher vernachlässigbar gering.

Bei der Ermittlung des Wartungsfaktors ist die Totalausfallrate durch den LSF („Lamp Survival Factor“) zu berücksichtigen (siehe auch Ka-

pitel 3.1.2, „Der Lampenwartungsfaktor einer LED-Leuchte“).

$$LSF = 1 - \frac{z}{100}$$

Der **Lampen-Überlebensfaktor** LSF spielt daher bei der Ermittlung von Wartungsfaktoren in der Regel erst nach Ablauf der Bemessungslebensdauer eine Rolle. In den Tabellen des Kapitels 3.1.2, „Der Lampenwartungsfaktor einer LED-Leuchte“, ist er bereits berücksichtigt.

Bemessungslebensdauer bei Konstantlichtstromregelung (CLO)

Mit der Konstantlichtstromregelung (CLO, constant light output) wird der Lichtstrom eines LED-Produktes innerhalb der Bemessungslebensdauer konstant auf das Niveau des am Ende der Bemessungslebensdauer statistisch zu erwartenden Restlichtstroms geregelt. Wird dieser Lichtstrom einer Beleuchtungsplanung zu Grunde gelegt, kann bis zum Ende der Bemessungslebensdauer Energie gespart werden, die sonst nur zu einer nicht benötigten Überbeleuchtung führen würde.

Für eine Leuchte mit der Bemessungslebensdauer L_x gilt:

$$\phi(t) = \phi_{\text{neu}} = \phi'_B \cdot \frac{x}{100}, \text{ für } 0 \leq t \leq L_x$$

und

$$\phi(t) = \phi'_B - \left(1 - \frac{x}{100}\right) \phi'_B \cdot \frac{t}{L_x}, \text{ für } L_x \leq t,$$

mit

- $\phi(t)$, dem Lichtstrom der Leuchte zum Zeitpunkt t ,
- L_x , der mittleren Bemessungslebensdauer,
- ϕ'_B , dem Bemessungslichtstrom (Lichtstrom im Neuzustand) einer Leuchte gleicher Bemessungslebensdauer ohne CLO und
- x , dem prozentualen Restlichtstrom von ϕ'_B am Ende der Bemessungslebensdauer.

Nach Ablauf der Bemessungslebensdauer kann die Degradation nicht mehr kompensiert werden und der Lichtstrom der Leuchte nimmt in gleicher Weise ab, wie er es auch bei einer Leuchte

² In einigen Druckwerken wird der Index der Totalausfallrate C mit dem Buchstaben „y“ bezeichnet. Aus Gründen der besseren Unterscheidung vom Index der „Gradual failure fraction“ B_y wird hier das „z“ als Index gewählt.

ohne Konstantlichtstromregelung tun würde (siehe Abbildung 9.17, oben).

Im Datenblatt solcher Leuchten wird im Allgemeinen die im Neuzustand der Leuchte erforderliche Leistungsaufnahme P_{neu} zur Bereitstellung des konstant gehaltenen Lichtstroms ϕ_{neu} angegeben. Außerdem sollte der am Ende der Bemessungslebensdauer benötigte Wert P_{L_x} der Leistungsaufnahme angegeben sein.

Für eine gegebene mittlere Bemessungslebensdauer L_x ergibt sich:

$$P_{neu} = \frac{x}{100} \cdot P_{L_x}, \text{ bzw.}$$

$$\frac{P_{neu}}{P_{L_x}} = x \%$$

Nach dem Ende der Bemessungslebensdauer, wenn der Lichtstrom ϕ_{neu} nicht mehr gehalten wird, ist die Leistungsaufnahme konstant. Sie hat ihren Maximalwert erreicht:

$$P(t) = P_{L_x} = \frac{100}{x} \cdot P_{neu}, \text{ für } t \geq L_x$$

Im Verlauf der Bemessungslebensdauer nimmt die Leistungsaufnahme stetig zu (siehe Abbildung 9.17, unten):

$$P(t) = P_{neu} + \left(\frac{100}{x} - 1\right)P_{neu} \cdot \frac{t}{L_x}, \text{ für } 0 \leq t \leq L_x$$

Der sich so ergebende zeitabhängige Faktor, mit dem sich die Leistungsaufnahme erhöht, wird als **Leistungs-Lebensdauer-Faktor** mit der Bezeichnung **PLF** definiert:

$$PLF(t) = \begin{cases} 1 + \left(\frac{100}{x} - 1\right) \frac{t}{L_x} & \text{für } 0 \leq t \leq L_x \\ \frac{100}{x} & \text{für } t \geq L_x \end{cases}$$

In den Tabellen des Kapitels 3.1.2, „Der Lampenwartungsfaktor einer LED-Leuchte“, werden die sich ergebenden Werte des **PLF** mit aufgeführt. Der Energiebedarf $W_{neu}(t)$ einer neu installierten Leuchte bis zu einem Zeitpunkt t innerhalb der Bemessungslebensdauer ergibt sich als statistischer Mittelwert zu:

$$W_{neu}(t) = P_{neu} \cdot \frac{1 + PLF(t)}{2} \cdot t, \text{ für } t \leq L_x$$

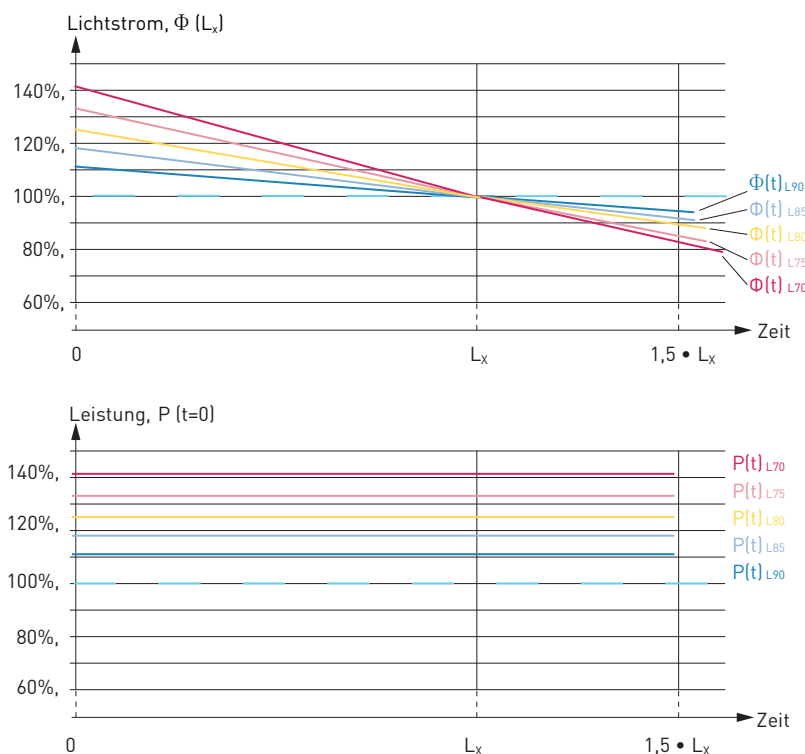


Abbildung 9.16: Beispielhafte Darstellungen der zeitlichen Lichtstromverläufe bezogen auf den Wartungswert zum Zeitpunkt des Bemessungslebensdauer-Endes L_x in Abhängigkeit des degradationsabhängigen Restlichtstroms x . Die Leistungsaufnahme in der unteren Grafik ist auf die Bemessungsleistung der gleichen Leuchte mit CLO bezogen (siehe Abbildung 9.17).

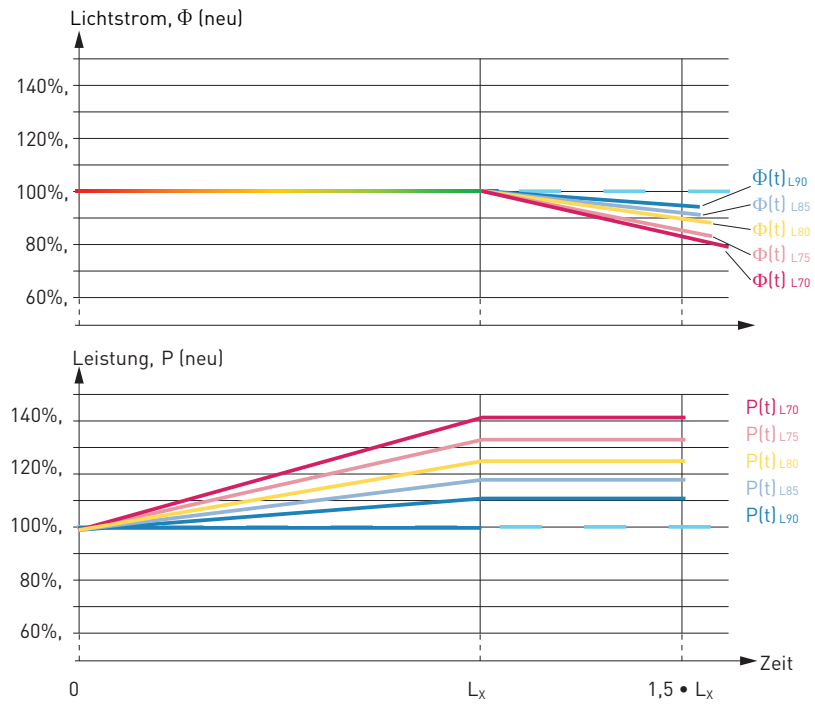


Abbildung 9.17: Beispielhafte Darstellungen der Lichtstromrückgänge und der Leistungsregelung bei Konstantlichtstrom-Schaltung (CLO) über einen Zeitraum von $1,5 \cdot L_x$



FACHBEGRIFFE DER BELEUCHTUNGS- PRAXIS (GLOSSAR)

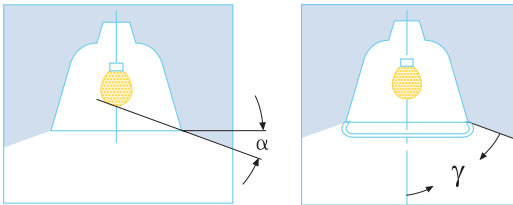
10

ANHANG

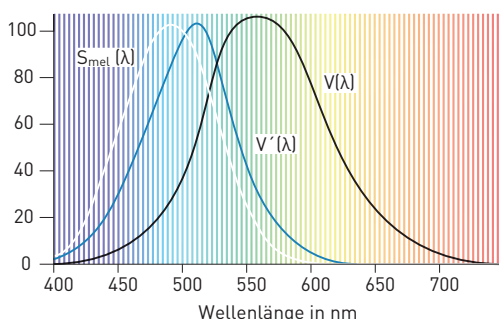
Fachbegriffe der Beleuchtungspraxis (Glossar)

A

Abschirmwinkel Winkel zwischen der horizontalen Ebene und der Blickrichtung, unter der leuchtende Teile der Lichtquelle in der Leuchte gerade sichtbar sind (Definition gemäß DIN EN 12464-1, siehe auch Kapitel [2.7.5](#) „Abschirmwinkel“).



Adaptation Anpassung der Empfindlichkeit des Auges an veränderte Sehbedingungen, insbesondere an die Umfeldleuchtdichte. Dunkeladaptation ist die Anpassung der Augenempfindlichkeit an eine geringe Umfeldleuchtdichte. Sie dauert länger als die Helladaptation. Bei einer Umfeldleuchtdichte unter $0,03 \text{ cd/m}^2$ (manche Personen unter $0,003 \text{ cd/m}^2$) ist das menschliche Auge dunkeladaptiert und es gilt der Hellempfindlichkeitsgrad für das Nachtsehen (skotopisches Sehen) $V'(\lambda)$. Helladaptation ist die Anpassung der Augenempfindlichkeit an eine höhere Umfeldleuchtdichte. Ab einer Umfeldleuchtdichte



von 3 cd/m^2 (manche Personen ab 30 cd/m^2) ist das menschliche Auge helladaptiert und es gilt der Hellempfindlichkeitsgrad für das Tagessehen (photopisches Sehen) $V(\lambda)$. Die Helladaptation verläuft schneller (0,5 - 3 min.) als die Dunkeladaptation (bis zu 30 min). Die Pupillenweite eines 20-jährigen Menschen liegt bei Helladapta-

tion bei 1,5 - 2 mm und bei Dunkeladaptation bei ca. 8 mm. Je älter der Mensch, desto geringer ist die Öffnungsweite der Pupille bei Dunkeladaptation.

Adressierung Zuweisung der individuellen Kennung einer Komponente in einem Bussystem.

Akkommodation Änderung der Brennweite (Brechkraftänderung) der Augenlinse. Die Anpassung des Auges auf die Entfernung wird durch die Kontraktion oder Entspannung des Ziliarmuskel reguliert. Die Akkommodation ermöglicht es dem Menschen unterschiedlich nahe als auch ferne Objekte nacheinander auf Retina (Netzhaut) scharf abzubilden. Die Umstellungszeit auf unterschiedliche Brennweiten verläuft mit einer Verzögerung von ca. 0,2 sec und ist damit deutlich schneller vollzogen als die Adaptation.

Arbeitsbereich Bereich innerhalb eines Raumes, in dem ein Arbeitsplatz oder mehrere Arbeitsplätze angeordnet sind.

Arbeitsplatz Der räumliche Bereich in der Arbeitsstätte, in dem die Arbeitsaufgabe verrichtet wird. Er setzt sich zusammen aus

- den Arbeitsflächen, die horizontal, vertikal oder geneigt sein können, und auf denen sich die Sehaufgaben befinden,
- den Flächen, auf denen die dem unmittelbaren Fortgang der Arbeit dienenden Arbeitsmittel (z.B. Werkzeuge, Zeichnungen) angeordnet sind,
- den Flächen, die bei der funktions- und sachgerechten Ausübung der jeweiligen Tätigkeit für den Benutzer zusätzlich erforderlich sind (z.B. Geh-, Steh-, Sitz- und Bewegungsflächen) und
- dem unmittelbaren Fortgang der Arbeit dienende Lagerflächen (z.B. Werkstückablage, Aktenablage).

Arbeitsstätte Nach der deutschen Arbeitsstättenverordnung sind Arbeitsstätten

- Arbeitsräume in Gebäuden einschließlich Ausbildungsstätten,
- Arbeitsplätze auf dem Betriebsgelände im Freien, ausgenommen Felder, Wälder und sonstige Flächen, die zu einem land- oder forstwirtschaftlichen Betrieb gehören und außerhalb seiner bebauten Fläche liegen,
- Baustellen,
- Verkaufsstände im Freien, die im Zusammenhang mit Ladengeschäften stehen,
- Wasserfahrzeuge und schwimmende Anlagen auf Binnengewässern.

Zur Arbeitsstätte zählen auch Verkehrswege, Lager-, Maschinen- und Nebenräume, Pausen-, Bereitschafts-, Liegeräume und Räume für körperliche Ausgleichsübungen, Umkleide-, Wasch- und Toilettenräume (Sanitarräume), Sanitäräume.

B

Ballwurfsicher Für den Einsatz in Sporthallen müssen Leuchten und ihr Zubehör, wie Tragschienen und Aufhängemittel, ballwurfsicher sein. Die Prüfbedingungen auf Ballwurfsicherheit von Sporthallenleuchten sind in DIN 18032-3 „Hallen für Turnen und Spiele, Prüfung der Ballwurfsicherheit“ und in DIN 57710-13 „Leuchten mit Betriebsspannung unter 1 000 V; Ballwurfsichere Leuchten“ beschrieben (siehe auch Kapitel [5.13.2](#), „Ballwurfsicherheit“).

Beleuchtungsstärke Die Beleuchtungsstärke E ist der Quotient aus dem auf eine Fläche auftreffenden Lichtstrom ϕ (Einheit: Lumen) und der Größe dieser beleuchteten Fläche A (Einheit: m^2), die eben, horizontal, vertikal, geneigt oder auch gekrümmt sein kann. Je nach Lage und Form der beleuchteten Fläche unterscheidet man in horizontale (E_h), vertikale (E_v), halbzylindrische (E_{sz}), zylindrische (E_z) und halbsphärische (E_{hs}) Beleuchtungsstärke.

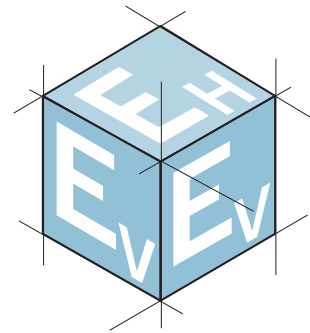
$$E = \phi/A.$$

Einheit: Lux (lx).

$$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm}/m^2.$$

Die mittlere Beleuchtungsstärke \bar{E} (mit Querstrich über dem E) ist der arithmetische Mittelwert der örtlichen Beleuchtungsstärke an regelmäßig festgelegten Punkten auf einer Fläche zu einem bestimmten Zeitpunkt.

Der Minimalwert E_{\min} bzw. Maximalwert E_{\max} der Beleuchtungsstärke ist der geringste bzw. höchste auf der Bewertungsfläche ermittelte Wert der Beleuchtungsstärke zu einem bestimmten Zeitpunkt. Zur Ermittlung werden die oben genannten, regelmäßig verteilten Punkte der Fläche herangezogen. Ferner unterscheidet man auf Grund zeitlicher Veränderung (Degradation) in den Neuwert und den Wartungswert der Beleuchtungsstärke. Mit dem Indize „m“ wird der geforderte Wartungswert einer mittleren Beleuchtungsstärke beschrieben.



Beleuchtungswirkungsgrad Der Beleuchtungswirkungsgrad η_B ist das Verhältnis des auf die Nutzfläche einer Beleuchtungsanlage auftreffenden Nutzlichtstroms ϕ_N zur Summe der Lichtströme aller in der Beleuchtungsanlage betriebenen Lichtquellen $\Sigma \phi_0$. Er ist auch das Produkt aus Raumwirkungsgrad η_R und Leuchtenbetriebswirkungsgrad η_{LB} :

$$\eta_B = \phi_N / \Sigma \phi_0 = E \cdot A / \Sigma \phi_0 = \eta_R \cdot \eta_{LB}$$

Bereich der Sehaufgabe Der Bereich der Sehaufgabe ist der Teilbereich des Arbeitsplatzes, in dem die Sehaufgabe ausgeführt wird. Die Sehaufgabe kann horizontal, vertikal oder auch geneigt sein. Sind Größe und/oder Lage des Bereiches der Sehaufgabe nicht bekannt, muss der Teil der Arbeitsstätten als Bereich der Sehaufgabe angenommen und entsprechend beleuchtet werden, in dem die Sehaufgabe auftreten kann. Das kann dazu führen, dass ein größerer Bereich einer Arbeitsstätte und nicht nur ein Arbeitsplatz, z. B. eine gesamte Fertigungshalle oder eine Baustelle als Bereich der Sehaufgabe zu beleuchten ist (siehe auch Kapitel 2.2, „Bereiche der Sehaufgabe“).

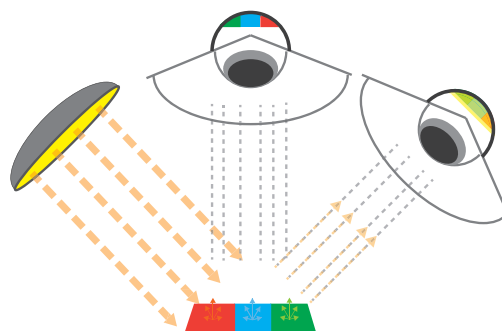
Bereich des Arbeitsplatzes Der Bereich des Arbeitsplatzes setzt sich, gemäß ASR A3.4, zusammen aus

- den Arbeitsflächen,
- den Bewegungsflächen und
- allen dem unmittelbaren Fortgang der Arbeit dienenden Stellflächen.

BIM Building Information Modeling bezeichnet eine moderne und kooperative Arbeitsmethodik, mit der auf der Grundlage digitaler (Daten)-Modelle eines Bauwerks (inkl. aller Komponenten) die für seinen Lebenszyklus relevanten Informationen und Daten konsistent erfasst, verwaltet und in einer transparenten Kommunikation zwischen den Beteiligten ausgetauscht oder für die weitere Bearbeitung übergeben werden. BIM beschreibt somit einen agilen und vernetzten Prozess innerhalb der Gebäudeplanung, über die Umsetzung, bis zum operativen Betrieb.

Blendung Man unterscheidet physiologische und psychologische Blendung und **Direkt- und Reflexblendung**. Physiologische Blendung führt objektiv und nachweisbar sofort nach Einwirkung zu einer Minderung der Sehleistung. Diese Blendwirkung wird mit der äquivalenten Schleierleuchtdichte beschrieben, die sich wie ein Schleier über das auf der Netzhaut abgebil-

dete Sehdetail legt und damit die Kontraste und Konturenschärfe verschlechtert. Die äquivalente Schleierleuchtdichte hat eine Erhöhung des Grenzwertes (Schwellenwertes) der Adaptationsleuchtdichte zu Folge, die unbedingt notwendig ist, um ein Sehdetail zu erkennen. Diese Schwellenwerterhöhung (Threshold-Increment TI) wird z. B. in der Straßenbeleuchtung als Maß für die physiologische Blendwirkung herangezogen (TI-Verfahren) und ist in den einschlägigen Normen zahlenmäßig festgelegt, z. B. $TI \leq 15\%$. Ferner wird in der Außenbeleuchtung auch das Glare-Rating (GR)-Verfahren zur Blendungsbewertung herangezogen, dem ebenfalls eine Blendformel auf Basis der Schleierleuchtdichte zugrunde liegt. Psychologische Blendung führt meist erst nach einiger Zeit zu einer subjektiv wahrgenommenen Störwirkung (Unbehagen). Die psychologische Blendung durch Leuchten hoher Leuchtdichte wird in der Innenbeleuchtung nach dem Unified-Glare-Rating (UGR)-Verfahren bewertet. **Direktblendung** wirkt direkt und unmittelbar durch hohe Leuchtdichten (z. B. von Leuchten) auf das Auge und kann physiologische oder nur psychologische Wirkungen auslösen. **Reflexblendung** hat die gleiche Wirkung wie Direktblendung. Sie entsteht durch hohe Leuchtdichten durch reflektierte Reflexion an glänzenden Flächen. Daneben bewirkt sie zusätzlich eine Kontrastminderung, indem das gerichtet reflektierte Licht die Bildinformation des am Objekt gestreut reflektierten Lichtes überstrahlt. Dabei gilt: Je geringer der Glanzgrad einer Oberfläche ist – z. B. bei guter Entspiegelung von Bildschirmen oder Glasflächen –, desto höhere Leuchtdichten von Leuchten und leuchtenden Flächen können zugelassen werden, ohne sich störend

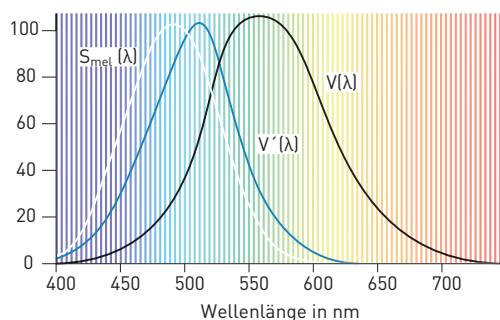


auszuwirken. Reflexblendung lässt sich darüber hinaus effektiv durch die geeignete geometrische Ausrichtung der Sehaufgabe zur potentiellen Blendquelle vermeiden. Eine fachliche Lichtplanung bildet die Grundlage zur Vorbeugung und Vermeidung von Blendsituation. Auch die Erhöhung der Umgebungsleuchtdichten reduziert sowohl die Direkt- wie auch die Reflexblendwirkung einer Lichtquelle (siehe auch Kapitel [2.7.1](#) „Direktblendung“ und [2.7.6](#) „Reflexblendung auf horizontalen Sehaufgaben“).

Broadcast-Betrieb Unadressierter Betrieb in einem (adressierbaren) Bussystem. Viele einfache DALI-Steuergeräte ermöglichen ausschließlich einen Broadcast-Betrieb und verzichten vollständig auf eine Adressierung.

C

circadianes System Über die sogenannten intrinsisch photosensitiven retinalen Ganglienzellen (ipRGC) auf der Netzhaut wird die Steuerung der biologischen (inneren) Uhr und damit der Einfluss auf den Schlaf-wach-Rhythmus des Menschen ausgelöst. Die Wirkungsfunktion ist $S_{mel}(\lambda)$. Das Maximum der Empfindlichkeit dieser Rezeptoren liegt im kurzwelligen Bereich des sichtbaren Spektrums bei ca. 490 nm (DIN/TS 5031-100:2021-11). Die Lichtempfindlichkeit beruht auf dem Photopigment



Melanopsin. Der nichtvisuelle Pfad besteht im Wesentlichen aus den lichtempfindlichen me-

lanopsinhalten Ganglienzellen der Retina (ipRGC), dem retinohypothalamischen Trakt, dem suprachiasmatischen Nucleus (die zentrale innere Uhr), der Zirbeldrüse mit seinem Hormon Melatonin sowie den ausführenden Organen und Zellen des Körpers. Die Grafik zeigt im Vergleich dazu den Hellempfindlichkeitsgrad für das Tagessehen $V(\lambda)$ und das Nachtsehen $V'(\lambda)$.

D

DALI DALI bedeutet „Digitale Adressierbare Beleuchtungsschnittstelle“ (Digital Addressable Lighting Interface). Die in IEC 62386 international genormte Schnittstelle ermöglicht einen hohen Grad an Kompatibilität der im Rahmen einer Beleuchtungssteuerung eingesetzten Komponenten. Neben der Schaltfunktion und einer genormten Dimm-Kennlinie ist insbesondere der adressierte Betrieb von bis zu 16 Leuchtengruppen an einer gemeinsamen Steuerleitung von Bedeutung (siehe auch Kapitel [8.5](#), „Die DALI-Schnittstelle“).

Das DALI-Logo zeigt an, dass die vorliegende Komponente alle Anforderungen des DALI-Standards vollständig erfüllt.



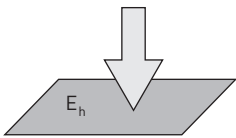
Eine aktuelle Erweiterung der Norm zur Version DALI-2 definiert einen Multi-Master-Betrieb und die Einbeziehung von genormten Licht- und Anwesenheitssensoren und Kopplern zum Anschluss von Schließ Tastern für manuelle Bedienfunktionen.

DMX (Digital Multiplex) Standardisierte Steuer-Schnittstelle im Bereich der Bühnenbeleuchtung. Gemäß der aktuellen Fassung der Norm ANSI E1.11 [\[1\]](#) können Teilnehmer in einem Netzwerk mit 512 getrennt adressierbaren Kanälen betrieben werden. Es können beliebig viele Komponenten gleicher Adresse parallel betrieben werden.

E

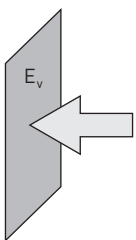
E_h Horizontale Beleuchtungsstärke. Quotient aus dem auf eine ebene horizontale Fläche auftreffenden Lichtstrom und der Größe dieser Fläche. Die horizontale Beleuchtungsstärke ist die Basisgröße für die meisten lichttechnischen Kriterien und der Planung der Beleuchtung. Sie bestimmt die zu installierende Anzahl der Lampen und Leuchten.

Einheit Lux (lx).

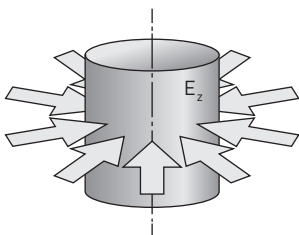


E_v Vertikale Beleuchtungsstärke. Quotient aus dem auf eine ebene vertikale Fläche auftreffenden Lichtstrom und der Größe dieser Fläche. Die Orientierung der vertikalen Fläche ist jeweils mit anzugeben.

Einheit Lux (lx).



E_z Zylindrische Beleuchtungsstärke. Arithmetischer Mittelwert der an einem Punkt im hori-



zontalen Winkelbereich von 0° bis $\pm 180^\circ$ auftreffenden vertikalen Beleuchtungsstärke E_v . E_z ent-

spricht somit dem Quotienten des auf die Mantelfläche eines senkrecht stehenden Zylinders auftreffenden Lichtstroms ϕ und der Größe der Mantelfläche (siehe Schattigkeit).

Einheit Lux (lx).

E_{hs} Halbsphärische Beleuchtungsstärke. Lichtstrom, bezogen auf die gekrümmte Fläche einer Halbkugel, die auf der zu bewertenden Fläche liegt.

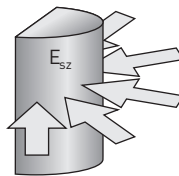
Einheit Lux (lx).

E_{sz} Halbzyklindrische Beleuchtungsstärke. Arithmetischer Mittelwert der an einem Punkt im horizontalen Winkelbereich von 0° bis $\pm 90^\circ$ auftreffenden vertikalen Beleuchtungsstärke E_v . Sie entspricht somit dem Quotienten des auf die Mantelfläche eines senkrecht stehenden Halbzylinders auftreffenden Lichtstroms ϕ und der Größe der Mantelfläche

$$E_{sz} = \phi/A.$$

Die Richtung der halbzyklindrischen Beleuchtungsstärke, d. h. der gekrümmten Fläche, ist anzugeben.

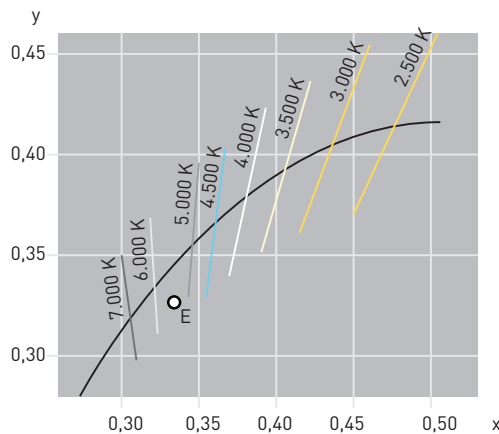
Einheit: Lux (lx).

**ENEC** (European Norms Electrical Certification)

Das ENEC-Zeichen ist ein Symbol zur Produktkennzeichnung von Elektrogeräten in der Europäischen Union. Für Leuchten besagt das ENEC-Zeichen, dass von einem unabhängigen Prüfinstitut bestätigt wird, dass sie der internationalen Leuchtenbaunorm DIN EN ISO 60598 entsprechen.

F

Farbtemperatur (- ähnlichste T_{CP}) Die ähnlichste Farbtemperatur (Index CP - température de couleur proximale) einer Lichtquelle wird durch den visuellen Vergleich mit dem sogenannten „Schwarzen Strahler“ (z. B. erhitztes Platin) bestimmt. Wird die Farbe einer LED-Lichtquelle, in gleicher Farbe wahrgenommen wie entsprechend erhitztes Platin, ist die ähnlichste Farbtemperatur der LED gleich der Temperatur des Platins, gemessen in Kelvin (K). Eine LED mit einer ähnlichsten Farbtemperatur von 3.000 K erscheint dem Betrachter als warmweiß. Der bedeckte Himmel hat eine Farbtemperatur von ca. 6.500 K (Tageslichtweiß). Die Farbtemperatur T_{CP} wird zur Benennung der Lichtfarbe verwendet (siehe auch Kapitel 9.2.2, „Lichtfarbe“). Einheit: Kelvin (K).



Farbwiedergabe-Index (- allgemeiner R_a) Maß der Übereinstimmung der gesehenen Körperfarbe mit ihrem Aussehen unter der jeweiligen Bezugslichtquelle. Zur Bestimmung des R_a -Wertes werden die visuell wahrgenommenen Farbabweichungen (spezielle Farbwiedergabe-Indizes) von acht genormten Testfarben bestimmt, die sich ergeben, wenn die Testfarben mit der zu prüfenden Lichtquelle bzw. mit der Bezugsquelle beleuchtet werden. Die Bestimmung erfolgt mittels 14 Testfarben welche in der DIN 6169 festgelegt wurden: 8 primären Referenzfarben (Altrosa, Senf gelb, Gelbgrün, Hellgrün, Türkisblau,

Himmelblau, Asterviolett und Fliederviolett) sowie 6 sekundären Referenzfarben (gesättigtes Rot, Gelb, Grün, Blau, Hautfarben (Rosa) und Blattgrün). Der allgemeine Farbwiedergabe-Index ist der Mittelwert der so bestimmten speziellen Farbwiedergabe-Indizes. Je geringer der Mittelwert der Abweichung ist, desto besser ist die Farbwiedergabe-Eigenschaft der geprüften Lichtquelle und umso höher ist der R_a -Wert. Eine Lichtquelle mit $R_a = 100$ gibt alle Farben wie unter der Bezugslichtquelle optimal wieder. Je niedriger der R_a -Wert ist, umso weniger gut werden die Farben wiedergegeben. Für Farbtemperaturen bis zu 5.000 K ist die Referenzlichtquelle ein „Schwarzer Strahler“ (siehe Farbtemperatur). Für höhere Farbtemperaturen ist die Referenzlichtquelle ein standardisiertes Tageslichtspektrum bei 6.500 K. Darüber hinaus existieren noch weitere Testverfahren (z. B. das IES TM-30-18) zur Ermittlung der Farbwiedergabeeigenschaft.

G

Gesichtsfeld Das Gesichtsfeld ist das räumliche Gebiet der visuellen Wahrnehmung. Bei beidäugigem (binokularem) Sehen reicht das Gesichtsfeld bei gerader Kopfhaltung in vertikaler Richtung von bis 60° nach oben bis 70° nach unten und horizontal mehr als 80° nach beiden Seiten. Weil die farbsehtüchtigen Rezeptoren (Zapfen) überwiegend im Zentrum der Netzhaut angeordnet sind, ist das Gesichtsfeld für Farberkennung deutlich kleiner. Die Gesichtsfeldausdehnung zur Erkennung der Grundfarben weitet sich „horizontal“ auf ca. 120° (2x60°) und in vertikaler Ausdehnung auf ca. 90° (2x45°) aus. Für die Adaptation ist nur ein zentrales Feld von ±20° wirksam.

Gleichmäßigkeit (der Beleuchtungsstärke) Die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke wird in lichttechnischen Regelwerken für die Innenbeleuchtung häufig gefordert, um eine harmonische Beleuchtungssituation zu gewährleisten. Mit dem Formelzeichen U_o ist der Quotient aus

dem räumlichen Minimalwert zum räumlichen Mittelwert der Beleuchtungsstärke (siehe auch Mittlere Beleuchtungsstärke) in dem zu betrachtenden Bereich der Sehaufgabe definiert.

$$U_0 = \frac{E_{\min}}{\bar{E}}$$

H

Hellempfindlichkeitsgrad Verhältnis des spektralen Strahlungsflusses bei einer festgelegten Bezugswellenlänge λ , z.B. 555 nm für das helladaptierte Auge, zum Strahlungsfluss bei einer anderen Wellenlänge, die zur gleichen Hellwahrnehmung führt. Anders ausgedrückt: Der Hellempfindlichkeitsgrad beschreibt die relative spektrale Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges bei verschiedenen Wellenlängen gleichen spektralen Strahlungsflusses im Bereich von 380 nm bis 780 nm, bezogen auf die maximale Hellempfindlichkeit, die für das helladaptierte Auge bei der Wellenlänge von 555 nm und für das dunkeladaptierte Auge bei 507 nm erreicht wird. Es wird unterschieden in den relativen, spektralen Hellempfindlichkeitsgrad für das photopische Sehen (für das helladaptierte Auge, das Tagessehen) $V(\lambda)$ mit dem Maximum bei 555 nm und für das skotopische Sehen (für das dunkeladaptierte Auge, das Nachtsehen) $V'(\lambda)$ mit dem Maximum bei 507 nm (vgl. Adaptation). Dazwischen liegt der Bereich des mesopischen Sehens, das je nach Adaptationsniveau stärker von den hell- und farbtüchtigen Zapfen oder von den nur hellempfindlichen, farbuntüchtigen Stäbchen auf der Netzhaut bestimmt wird.

Zum Vergleich zeigt die Grafik (Abbildung unter C) die circadiane Funktion $S_{\text{mel}}(\lambda)$ mit einem Maximum bei etwa 490 nm (siehe auch circadianes System), die für die nicht-visuelle Wirkung und somit für die Steuerung der biologischen Uhr des Menschen (Steuerung des Tag-Nacht-Rhythmus, vgl. Circadianes System) verantwortlich ist.

Hintergrundbeleuchtung Bereiche innerhalb von Arbeitsstätten, insbesondere in solchen, die ungenügend mit Tageslicht versorgt sind und direkt an den unmittelbaren Umgebungsbereich anschließen, müssen ebenfalls angemessen beleuchtet werden. Diese Hintergrundbereiche sind nach EN 12464-1 auf einer Breite von mindestens 3,0 m mit mindestens 1/3 des Wertes der Beleuchtungsstärke des unmittelbaren Umgebungsbereiches und einer Gleichmäßigkeit U_0 von mindestens 0,10 zu beleuchten.

horizontale Beleuchtungsstärke siehe E_h

Human Centric Lighting (HCL) Der Begriff steht für ein Lichtkonzept, das neben den visuellen Aspekten von Wahrnehmung und Sehkomfort auch biologische und emotionale Gesichtspunkte in ausbalancierter Abwägung berücksichtigt. Eine qualitative HCL-Lichtkonzept beinhaltet immer eine Fachplanung, Lichtmanagement (LiveLink) und Leuchten mit dynamischer Lichtfarbenvariation (Active).

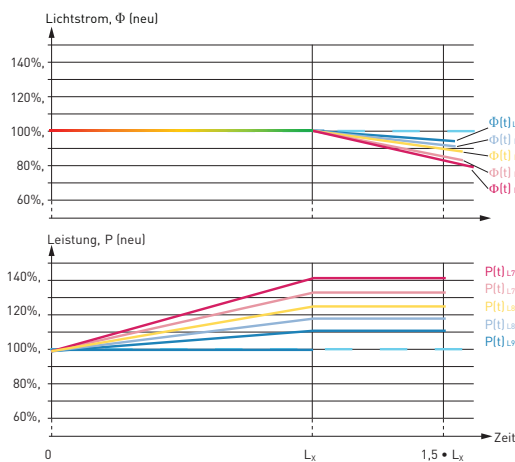
K

Konstant-Lichtstrom-Regelung (CLO: Constant Light Output) Elektronische Regelung zum Ausgleich der Degradation eines Leuchtmittels innerhalb seiner Bemessungslebensdauer L_x . Die im Neuzustand einer (ungeregelten) Beleuchtungsanlage auftretende Überbeleuchtung wird vermieden, indem die elektrische Leistungsaufnahme so weit gedrosselt wird, dass der erzeugte Lichtstrom auf seinen Wertungswert reduziert wird. Mit fortschreitender Degradation des Leuchtmittels wird die Leistungsaufnahme erhöht, so dass ein zeitlich konstanter Lichtstrom resultiert. Die maximale Leistungsaufnahme wird am Ende der Bemessungslebensdauer erreicht. Die Beleuchtungsstärke entspricht bis dahin zu jeder Zeit exakt ihrem Wertungswert.

Bei konstanter Degradation ergibt sich ein relatives Energieeinsparpotential ΔW_{rel} von

$$\Delta W_{rel} = \frac{1 - MF}{2} \text{ (mit } MF = x/100, \text{ Maintenance Factor)}$$

Beispiel: $MF = 0,8; \Delta W_{rel} = \frac{1-0,8}{2} = 0,1 = 10\%$



L

Lampe Auswechselbares Leuchtmittel. Quelle optischer Strahlung im sichtbaren Bereich (Licht). Lampen setzen elektrische Energie in optische Strahlung um (Lichtausbeute). Eine Lampe ist darüber hinaus mit einem zu einer Fassung passenden Sockel, oder Kontaktierungssystem ausgestattet, der für ihren Austausch ohne erforderlichen Einsatz einer Elektrofachkraft, z. B. am Lebensdauerende, vorgesehen ist.

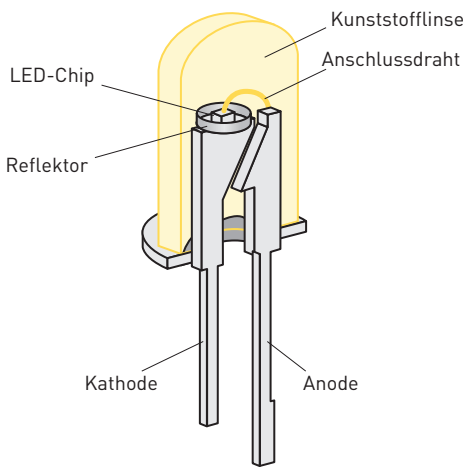
Kontrast Maß für den Helligkeitsunterschied zwischen einem Objekt (Objekt-Leuchtdichte L_1) und seiner Umgebung (Hintergrundleuchtdichte L_2), ausgedrückt durch das Leuchtdichteverhältnis L_1/L_2 oder $(L_1-L_2)/L_2 = \Delta L/L$. Ist das Objekt heller als seine Umgebung, spricht man vom Positivkontrast, ist es dunkler, erscheint es im Negativkontrast (Silhouette).

Kriterien Die wichtigsten Kriterien der Beleuchtung sind

- Ausgewogene Leuchtdichteverteilung im gesamten Gesichtsfeld,
- ausreichende Beleuchtungsstärke,
- Begrenzung der Blendung,
- Lichtrichtung und Schattigkeit,
- Lichtfarbe und Farbwiedergabe-Index,
- Variabilität des Lichtes in Niveau und Farbe,
- Vermeiden von Lichtflimmern,
- Bedienkomfort der Lichtsteuerung,
- ausreichende Tageslichtversorgung,
- Energieeffizienz.

Lebensdauer Für LED-Leuchten ist eine Bemessungslebensdauer L_x definiert. Diese bezieht sich immer auf einen nach Ablauf dieser Zeit noch zu erwartenden Restlichtstrom, dessen prozentualer Wert vom Anfangslichtstrom (Bemessungslichtstrom) mit dem Index x beziffert wird (z. B. $L_{70} = 50.000$ h, bedeutet 70% relativer Lichtstrom nach 50.000 Betriebsstunden) siehe auch Kapitel 9.2.4 „Lebensdauer von LED-Leuchten“).

LED (Light Emitting Diode) Kristallines Halbleiterelement zur Erzeugung monochromatischen Lichtes auf Grund der Elektrolumineszenz. Die Wellenlänge (Farbe) des Lichtes ist abhängig von den Eigenschaften des LED-Kristalls. Weißes Licht kann durch Mischung farbiger (roter, grüner, blauer) LEDs oder durch teilweise Konversion des Lichtes einer blauen LED mittels eines Leuchtstoffs erzeugt werden (siehe auch Kapitel 9.1.1 „LED [Light Emitting Diodes]“).



Leuchtdichte Maß für die Helligkeit (visuelle Hellwahrnehmung)

Formelzeichen: L

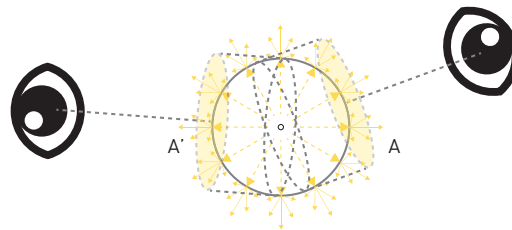
Einheit: cd/m^2 [Candela/Quadratmeter].

Die Leuchtdichte ist der Quotient der von einer Lichtquelle ausgehenden Lichtstärke und ihrer wirksamen Lichtaustrittsfläche. Beide Größen sind im Allgemeinen abhängig vom Blickwinkel zur Lichtquelle. Die wirksame Lichtaustrittsfläche ist dabei die Projektion des Lichtaustritts der Lichtquelle auf die zur Blickrichtung senkrechte Ebene.

$$L(\gamma) = \frac{I(\gamma)}{A(\gamma)}$$

Die Lichtquelle kann dabei ein Licht erzeugendes Leuchtmittel (Lampe/Leuchte) oder ein auf Grund von Reflexion oder Streuung Licht ausstrahlender Körper sein.

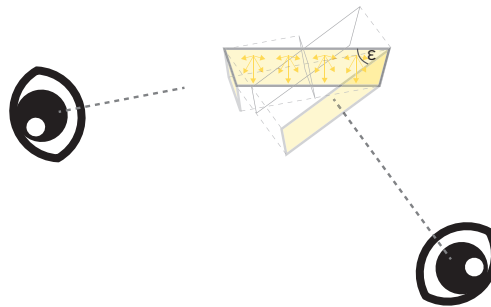
- Für einen kugelsymmetrischen Freistrahler ergibt sich eine vom Winkel unabhängige Leuchtdichte
 $L(\gamma) = \text{const.}$



A' und A sind identisch.

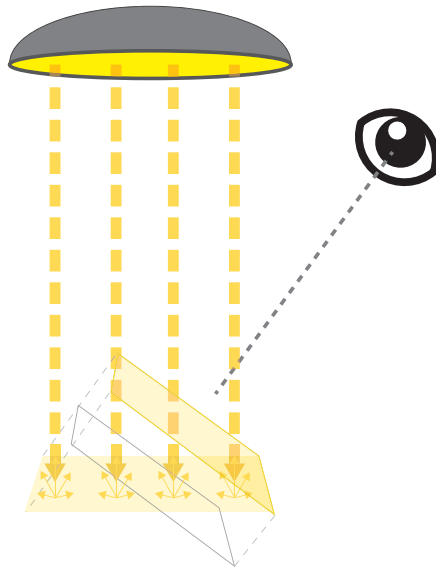
- Für Leuchten mit planer Lichtaustrittsfläche ergibt sich

$$L(\gamma) = \frac{I(\gamma)}{A_{\text{Austritt}} \cdot \cos(\epsilon)}$$



- Für ebene, vollkommen diffus reflektierende Flächen mit einem Reflexionsgrad ρ ergibt sich die wahrgenommene Leuchtdichte auf Grund der Beleuchtungsstärke, mit der die Fläche beschienen wird, zu einem konstanten Wert

$$L = \frac{\rho \cdot E}{\pi}$$



Der Helligkeitseindruck und die Sehleistung des menschlichen Auges werden durch die Leuchtdichte bestimmt. In der Praxis der Planung der Innenraumbeleuchtung wird jedoch von der leichter zu bestimmenden Beleuchtungsstärke ausgegangen. Es werden genügend hohe Reflexionsgrade der Arbeitsflächen unterstellt bzw. durch etablierte Planungsnormen empfohlen. Gegebenenfalls muss die Beleuchtungsstärke entsprechend erhöht werden, um zu der erforderlichen Leuchtdichte und Sehleistung zu gelangen.

Leuchtdichtekoeffizient Der Leuchtdichtekoeffizient $q(\gamma, \varphi)$ beschreibt die räumliche Verteilung des von einer nicht diffus reflektierenden Fläche (z.B. Fahrbahnoberfläche) reflektierten Lichtstroms, insbesondere in Richtung des (für die Straßenbeleuchtung) definierten Beobachters, der die Fahrbahn unter einem Winkel von $\varphi = 1^\circ$ sieht. Er ist abhängig vom Lichteinfallwinkel γ und dem Beobachterwinkel φ (s. a. Spiegel-faktoren). Der mittlere Leuchtdichtekoeffizient q_0 beschreibt den über alle Winkel gemittelten Leuchtdichtekoeffizient $q(\gamma, \varphi)$ und führt zu einem mittleren Helligkeitseindruck, z. B. der Fahrbahnoberfläche.

$$q(\gamma, \varphi) = L/E$$

$$q_0 = L/E$$

Einheit: $\text{cd}/(\text{m}^2 \cdot \text{lx})$.

Leuchte Gerät, durch welches das von einem oder mehreren Leuchtmitteln erzeugte Licht verteilt, gefiltert oder umgewandelt wird. Ist das Leuchtmittel fest in die Leuchte integriert und nicht mit einem Sockel für seinen Austausch versehen, so ist es Bestandteil der Leuchte. Handelt es sich bei den Leuchtmitteln um Lampen, so umfasst die Leuchte alle Teile zur Befestigung, zum Schutz und zum Betrieb der Lampen. Dazu gehören Verdrahtungen sowie Vorrichtungen zum Anschluss an das elektrische Versorgungsnetz – nicht jedoch die Lampen selbst. Zur Leuchte (Beleuchtungskörper) gehören ferner z.B. Fassungen, Vorschaltgeräte, Starter, Zündgeräte, Leitungen und Klemmen, ggf. auch Schalt- und Sicherungselemente, ferner die optischen Bauteile, die den Lichtstrom der Lampen lenken, sowie Vorrichtungen zum Schutz des optischen Systems.

Leuchtenbetriebswirkungsgrad Sind Leuchten für den Betrieb mit austauschbaren Lampen vorgesehen, ist der Leuchtenbetriebswirkungsgrad wie folgt definiert: Der Leuchtenbetriebswirkungsgrad η_{LB} ist das Verhältnis des bei der Leuchenumgebungstemperatur t und weiteren genormten Betriebsbedingungen aus der Leuchte austretenden Lichtstroms $\phi_L(t)$ zur Summe der Lichtströme $\Sigma \phi_0$ der eingesetzten Lampen, die diese einzeln an dem leuchteneigenen Vorschaltgerät und unter den Betriebsbedingungen abgeben, die der Hersteller den Lichtstromabgaben zugrunde legt. Nach den geltenden Normen ist der Lichtstrom der Lampen und der Leuchten (auch der Außenleuchten) bei einer Umgebungstemperatur von $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ zu messen.

$$\eta_{LB} = \phi_L(t) / \Sigma \phi_0$$

Für Leuchten mit fest integrierten Lichtquellen ist die Definition einfacher. An die Stelle des Lampenlichtstroms tritt in diesem Fall der Leuchtenlichtstrom, der dann formal mit einem Leuchtenbetriebswirkungsgrad von 1 ausgewiesen wird.

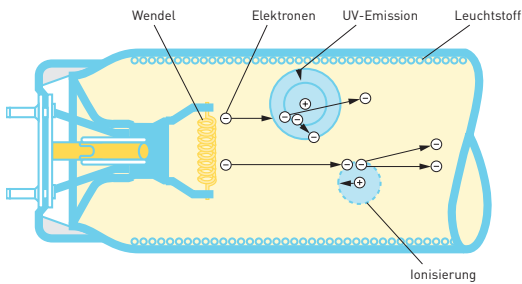
Leuchtenwirkungsgrad Man unterscheidet zwischen Leuchtenbetriebswirkungsgrad η_{LB} und optischem Wirkungsgrad η_L .

$$\eta_{LB} = \phi_L(t) / \Sigma \phi_0.$$

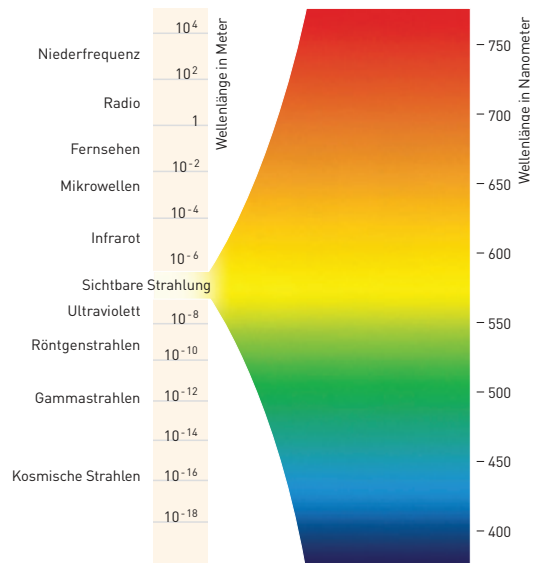
$$\eta_L = \phi_L / \Sigma \phi_0.$$

Leuchtmittel Oberbegriff für die Lichtquelle, unabhängig von ihrer Bauform und Verwendung. Als Leuchtmittel wird sowohl eine austauschbare Lampe als auch eine fest in eine Leuchte integrierte Lichtquelle, z.B. eine LED-Baugruppe, bezeichnet.

Leuchtstofflampe Mit einem Leuchtstoff versehene Quecksilberdampf-Niederdruck-Entladungslampe zur Erzeugung sichtbaren Lichtes (siehe auch Kapitel „Niederdruck-Entladungslampen“).



Licht Optische (elektromagnetische) Strahlung im sichtbaren Wellenlängenbereich von 380 nm bis 780 nm, die mit dem relativen spektralen Hellempfindlichkeitsgrad des menschlichen Auges bewertet ist.



Lichtausbeute Quotient aus dem von einer Leuchte ausgesandten Lichtstrom und der von ihr aufgenommenen elektrischen Leistung.

Einheit: Lumen/Watt (lm/W).

Bei Leuchten für den Betrieb von austauschbaren Lampen ist zu beachten, dass bzgl. des Lichtstroms der Leuchtenbetriebswirkungsgrad und bzgl. der elektrischen Leistung die elektrischen Verluste der Vorschaltgeräte mit zu berücksichtigen sind.

Lichtfarbe Die Lichtfarbe z. B. einer Lampe oder des Tageslichtes bezieht sich auf die wahrgenommene Farbe des von ihr abgestrahlten Lichtes. Sie wird durch ihre ähnlichste Farbtemperatur (T_{CP} – température de couleur proximale) beschrieben. Typische Lichtfarben sind Warmweiß, Neutralweiß und Tageslichtweiß (siehe Kapitel 9.2.2 „Lichtfarbe“). Die Bezeichnung 840 bedeutet: Farbwiedergabe RA80, sowie 4000 K ähnlichste Farbtemperatur, Lichtfarbe).

Einheit: Kelvin (K).

Lichtstrom Der Lichtstrom ist der mit dem Hellempfindlichkeitsgrad des menschlichen Auges bewertete Strahlungsfluss. Sie ist die lichttechnische Leistungsgröße einer Lichtquelle. Eine LED-Leuchte für standardisierte Systemdecken im Büro hat typischerweise einen Lichtstrom von ca. 4.000 lm. Stehleuchten für die Bürobeleuchtung erzeugen ca. 2-3 mal so hohe Lichtströme.

Einheit: Lumen (lm).

Lichtstärke Quotient aus dem von einer Lichtquelle in eine bestimmte Richtung ausgesandten Lichtstrom und dem durchstrahlten Raumwinkelement $\Delta\Omega$. Die räumliche Verteilung der Lichtstärke einer Lampe bzw. einer Leuchte wird durch deren Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) angegeben.

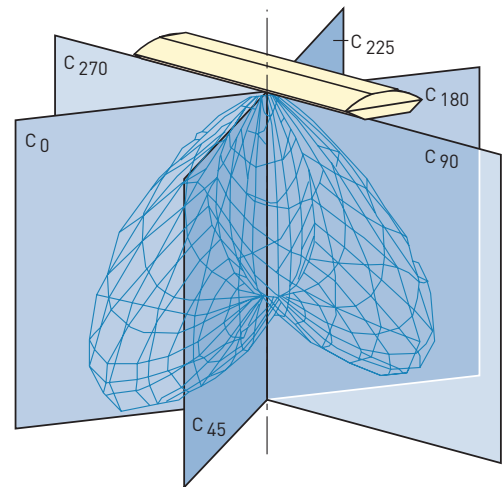
$$I = \Delta\phi / \Delta\Omega.$$

Einheit Candela (cd), 1 cd = 1 lm/sr.

Im SI (système international d'unités) ist die Lichtstärke die lichttechnische Grundgröße. Das Candela (cd) ist somit eine SI-Einheit.

Lichtstärkeverteilungskurve Die Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) ist eine zweidimensionale Darstellung der räumlichen Verteilung der Lichtstärke von Lampen und Leuchten. Die allgemeinere, dreidimensionale Darstellung

ist der Lichtstärkeverteilungskörper. Die LVK ergibt sich durch den Schnitt einer vertikalen Ursprungsebene mit dem Lichtstärkeverteilungskörper. In Katalogdarstellungen werden in der Regel die sogenannten C90- und C0-Ebenen dargestellt, die bzgl. einer linearen Leuchte als die Richtungen entlang der Lampenachse und orthogonal dazu definiert sind. Sowohl der Lichtstärkeverteilungskörper wie auch die Lichtstärkeverteilungskurven werden in der Regel in Polarkoordinaten dargestellt und auf 1.000 lm des vom Leuchtmittel abgegebenen Lichtstroms normiert (siehe auch Kapitel 5.2.3 „Lichtstärkeverteilungskurven“). Die Einheit der grafischen Darstellung der LVK ist also das cd/klm.



LSDP – Lighting-System-Design-Prozess LSDP

Der Lighting-System-Design-Prozess wird in der prEN TS 17165 beschrieben und bildet den fachlichen, integralen Lichtplanungsprozess ab. Der interdisziplinäre Planungsprozess für die Lichtlösung fordert u. a. auch die Umsetzung von Regulierungsmaßnahmen, sowie die Entwicklung und Einhaltung von Prüfanforderungen.

M

Melatonin Das sogenannte „Schlafhormon“ das in der Zirbeldrüse (Epiphyse) gebildet und am Abend und in der Nacht in den Blutkreislauf gelangt. Zu viel „kurzwelliges“-Licht kann am Abend und in der Nacht die Eingabe von Melatonin ins Blut unterdrücken und damit die schlaffördernde Wirkung aufheben. Der Melatoninlevel im Blutserum ist ein Marker für die Phasenlage des circadianen Rhythmus.

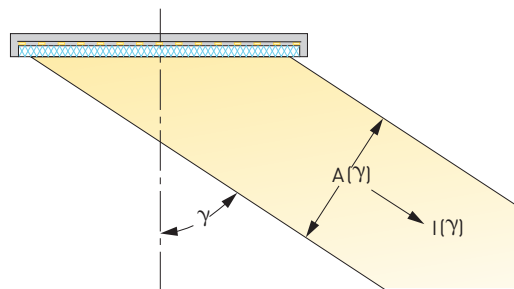
Melanopsin Photopigment, das für die Lichtempfindlichkeit der retinalen Ganglienzellen (ipRGC) verantwortlich ist. Die maximale Empfindlichkeit liegt bei 490 nm. Die durch Licht hervorgerufenen, biologische Wirkungen beruhen im wesentlichen auf der Anregung der melanopsinhaltenen Ganglienzellen und werden daher auch melanopische Wirkungen genannt.

Mindestwert \bar{E}_m und \bar{L}_m sind gemäß ASR A3.4 (siehe Kapitel 3.2.3 „Technische Regeln für Arbeitsstätten“) der jeweils örtliche Mittelwert der Beleuchtungsstärke (mittlere Beleuchtungsstärke) bzw. Leuchtdichte (mittlere Leuchtdichte, gekennzeichnet durch den Querstrich über E bzw. L) auf der Bewertungsfläche bzw. im Bereich der Sehaufgabe, der z. B. aufgrund des Arbeits- und Gesundheitsschutzes mindestens erreicht werden muss und zu keiner Zeit unterschritten werden darf. Der Begriff ist identisch mit dem in den europäischen Normen verwendeten Wert, welcher mit dem Index „klein m“ für maintenance gekennzeichnet wird.

Mittlere Beleuchtungsstärke Die mittlere Beleuchtungsstärke \bar{E} ist der örtliche Mittelwert der Beleuchtungsstärke (gekennzeichnet durch den Querstrich über dem E) auf der Bewertungsfläche bzw. im Bereich der Sehaufgabe. Ein zeitlicher Mittelwert ist in der Lichttechnik nicht definiert.

Mittlere Leuchtdichte Die mittlere Leuchtdichte \bar{L} ist der örtliche Mittelwert der Leuchtdichte (gekennzeichnet durch den Querstrich über dem L) auf der Bewertungsfläche. Die (mittlere) Leuchtdichte ist im Allgemeinen abhängig vom Blickwinkel, unter dem das Objekt betrachtet wird. Ein zeitlicher Mittelwert ist in der Lichttechnik nicht definiert.

$$L(\gamma) = I(\gamma) / A(\gamma)$$



N

Neuwert Der örtliche Mittelwert der Beleuchtungsstärke bzw. Leuchtdichte zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme einer neuen Beleuchtungsanlage. Er ergibt sich aus dem Wert und dem Wartungsfaktor.

$$\text{Neuwert} = \text{Wartungswert} / \text{Wartungsfaktor}$$

$$\text{Beispiel: } 625 \text{ lx} = (500 / 0,8) \text{ lx}$$

Normen Normen der Licht- und Beleuchtungstechnik und der Elektrotechnik werden auf internationaler, europäischer und nationaler Ebene erarbeitet. Sie stimmen teilweise überein, können jedoch auch gravierend voneinander abweichen. In ihrem Geltungsbereich stellen sie den „allgemein anerkannten Stand der Technik“ dar. Normenorganisationen sind

- ISO International Organization for Standardization,
- IEC International Electrotechnical Commission, CIE Commission internationale de l'éclairage (Internationale Beleuchtungskommission) mit z. Z. 37 nationalen Komitees,

- CEN Comité Européen de Normalisation (Europäisches Normenkomitee),
- CENELEC European Committee for Electrotechnical Standardization.

In CEN und CENELEC arbeiten zzt. 31 nationale Normenorganisationen, darunter z. B. British Standards Institution BSI, Deutsches Institut für Normung e. V. DIN, Association Francaise de Normalisation AFNOR, Ente Nazionale Italiano di Unificazione UNI, Nederlands Normalisatie-instituut NEN, Österreichisches Normungsinstitut ON, Schweizerische Normen-Vereinigung SNV (siehe auch Kapitel 2.1.5 „Weitere Regelwerke“).

Nutzlebensdauer Siehe Lebensdauer.

O

OLED (Organische LED) Ähnlich einer kristallinen LED funktionierendes Dünnschichtbauelement aus organischen halbleitenden Materialien, jedoch mit weitaus geringerer Leuchtdichte und daher eher als großflächige Lichtquelle einsetzbar. Überwiegender Einsatz derzeit in der Displaytechnik.

P

Parametrische Modellierung Parametrische Modellierung beschreibt die Erstellung von Gebäudemodellen, bei der die einzelnen Bauwerkskomponenten in Relation zueinander stehen und sich gegenseitig beeinflussen. Einzelnen Bauteilen (z. B. Leuchten) sind dabei parametrische Eigenschaften, wie beispielsweise Höhe, Länge, Breite, Position etc. zugeordnet. Bei Änderungen einer Komponente des (Gebäude-)Modells, passen sich die dazu in Relation stehenden Teile automatisch mit an. Auch Zeichnung, Stücklisten oder andere Dokumente, die aus dem Modell abgeleitet werden, passen sich automatisch an.

R

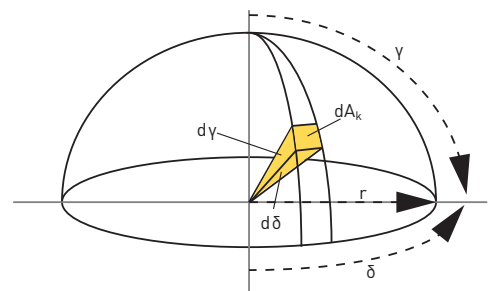
Retina Die Retina (Netzhaut) ist die hintere Schicht (Nervengewebe) des Auges, Sie ist mit lichtempfindlichen Zellen (Fotorezeptoren) ausgestattet – Stäbchen und Zäpfchen. Über die Netzhaut wird auch die Stelle des schärfsten Sehens, die Fovea (gelber Fleck) und die Austrittsstelle des Sehnervs ausgebildet.

R_{UGL} Nicht zu überschreitender Grenzwert der Blendungsbegrenzung. Siehe auch Blendung.

Raumwinkel Der Raumwinkel Ω ist der Quotient aus der Fläche A_k , die ein Kegel aus einer Kugel ausschneidet, und dem Quadrat des Radius r der Kugel. Die Öffnung des Kegels wird durch den Meridianwinkel $d\delta$ und dem Breitenwinkel dy bestimmt.

In Differenzialschreibweise ergibt sich:

$$d\Omega = dy \cdot d\delta = dA_k/r^2$$



Ist dieser Kegel ein Kreiskegel, lässt sich sein halber Öffnungswinkel α nach der Formel $\cos\alpha = 1 - \Omega/(2\pi)$ berechnen.

Einheit: Steradian (sr).

$$\Omega = \int_{A_k} d\Omega = \int_{A_k} \frac{1}{r^2} dA_k$$

$$\Omega = A_k/r^2 = 2\pi(1 - \cos\alpha) \text{ in sr}$$

Beispiele:

- Für $\Omega = 1$ sr ist $\alpha = 32,77^\circ$
- Für $\alpha = 90^\circ$, also für den Halbraum, ist $\Omega = 2 \cdot \pi$ sr
- Für $\alpha = 180^\circ$, also für den vollen Raum, ist $\Omega = 4 \cdot \pi$ sr

Raumwirkungsgrad Verhältnis des auf die Nutzfläche einer Beleuchtungsanlage auftreffenden Nutzlichtstroms ϕ_N zur Summe der Lichtströme aller Leuchten $\Sigma \phi_L$ im Raum. Er ist auch der Quotient aus Beleuchtungswirkungsgrad η_B und Leuchtenbetriebswirkungsgrad η_{LB} .

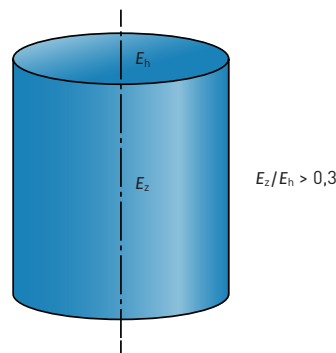
$$\eta_R = \phi_N / \Sigma \phi_L = \eta_B / \eta_{LB}$$

Reflexionsgrad Verhältnis des von einer Fläche reflektierten und des auf diese Fläche auffallenden Lichtstroms. Normen für die Lichtplanung empfehlen geeignete Werte für Reflexionsgrade von Oberflächen. Das Reflexionsverhalten von spiegelnden Flächen, wie z.B. Fahrbahnoberflächen, wird durch Leuchtdichtekoeffizienten und Spiegelfaktoren beschrieben und ist für Fahrbahnbeläge C1 und C2 international standardisiert (siehe auch Normen). Früher verwendete man in einigen europäischen Ländern, so auch in Deutschland, die Fahrbahnbeläge R1, R2, R3 und R4.

Regelung Im Gegensatz zur Steuerung in Abhängigkeit von äußeren, nicht von der Steuerung beeinflussbaren Parametern wird bei der Regelung eine Stellgröße mit Hilfe der Messung derselben so beeinflusst, dass sie sich möglichst permanent auf einen konstanten Sollwert einstellt (siehe auch Kapitel 8.3 „Tageslichtabhängige Regelung“).

S

Schattigkeit Der Mittelwert der vertikalen Beleuchtungsstärke E_v auf einer Zylinderoberfläche ergibt die zylindrische Beleuchtungsstärke E_z . Das Verhältnis der zylindrischen und der horizontalen Beleuchtungsstärke E_h definiert die Schattigkeit E_z/E_h an diesem Punkt. In Innenräumen soll der Wert in 1,2 m über dem Boden zwischen 0,3 und 0,6 betragen. Die Schattigkeit wird auch Modelling genannt und bestimmt die Erkennbarkeit dreidimensionaler Objekte aufgrund einer Ausgewogenheit zwischen diffusem und gerichtetem Licht (siehe auch Kapitel 2.8 „Räumliche Beleuchtung, Lichtrichtung, Modelling“).



Schleierleuchtdichte Die physiologische Blendung wird mit der äquivalenten Schleier-Leuchtdichte beschrieben, die sich wie ein Schleier über das auf der Netzhaut abgebildete Sehdetail legt und damit die Kontraste und Konturenschärfe verschlechtert. Die äquivalente Schleierleuchtdichte hat eine Erhöhung des Grenzwertes (Schwellenwertes) der Adaptationsleuchtdichte zufolge, die unbedingt notwendig ist, um ein Sehdetail zu erkennen (siehe auch Kapitel 4.6.1 „Sehen im Alter“). Einheit: cd/m^2 .

Schutzart Mit der IP-Klassifikation der Schutzart werden elektrische Betriebsmittel hinsichtlich ihres Schutzes vor Eindringen fester und flüssiger Substanzen gekennzeichnet. Insbesondere für die elektrische Sicherheit, z.B. von Leuchten in unterschiedlichen Anwendungen, ist die Schutzart von Bedeutung (siehe auch Kapitel 5.10 „Niederspannungsrichtlinie“).

Schutzkleinspannung (SELV) Schutzkleinspannung (SELV, Safety Extra Low Voltage).

Sehaufgabe Sehrelevante Elemente der auszuführenden Arbeit. Hauptsächlich sehrelevant sind die Größe des zu erkennenden Objektes, dessen Leuchtdichte, dessen Kontrast gegenüber dem Hintergrund und dessen Darbietungsdauer.

Sehleistung Leistung des visuellen Systems (Auge). Die Sehleistung wird z.B. durch die Geschwindigkeit und Genauigkeit, mit der eine Sehaufgabe gelöst wird, beschrieben. Die Sehleistung hängt wesentlich von der Verteilung der Leuchtdichte – d. h. dem Helligkeitseindruck, den das Auge von einer leuchtenden oder beleuchteten Fläche hat – und von der Sehschärfe ab. Weitere beeinflussende Faktoren sind der Adaptionszustand des Auges (Hell-Dunkel-Adaptation), der Kontrast des Sehobjektes im Verhältnis zu seiner Umgebung, die Größe des Sehobjektes und die Wahrnehmungsgeschwindigkeit (das ist die Zeit, in der der visuelle Eindruck verarbeitet werden kann). Für optimales Sehen muss das Auge an die Umgebungsleuchtdichte adaptiert und der Kontrast sowie die Objektgröße ausreichend sein. Darüber hinaus ist die Wahrnehmungsdauer relevant, so dass z. B. schnell bewegte Gegenstände schlecht erkennbar sind. Mit steigendem Alter nimmt die Sehleistung ab.

Sehschärfe Zwei Punkte in einem Abstand von $A = 0,6$ mm ergeben aus einer Entfernung von $B = 2.000$ mm einen Sehwinkel von $1,03$ Winkelminuten ($1,03'$). Werden diese Punkte sicher erkannt, spricht man von einer Sehschärfe von etwa 1. Die Sehschärfe (Visus) ist der Reziprokwert des Sehwinkels in Winkelminuten.

Sehschärfe = $1/\text{Sehwinkel}$ in Winkelminuten.

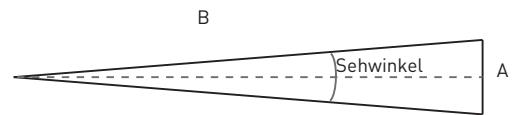
Sehwinkel in Bogenminuten = A/B , z.B. für $A = 0,3$ mm und $B = 2.000$ mm ergibt sich ein Sehwinkel von $0,3 \text{ mm}/2.000 \text{ mm} = 0,00015$

Bogenminuten. Die Umrechnung in Winkelminuten ist folgende:

$$\text{Sehwinkel in Winkelminuten} = A \cdot 360 \cdot 60 / (B \cdot 2\pi) = 0,52$$

Beispiel:

Ein Gegenstand der Höhe von 12 cm wird in einer Entfernung von 100 m unter einem Sehwinkel von vier Winkelminuten gesehen.



Sollwert Siehe Regelung.

Spiegelfaktoren Die Spiegelfaktoren (S_1, S_2, κ_p) beschreiben den „Glanzgrad“, d.h. die spiegelnden Eigenschaften einer reflektierenden Fläche. Sie kennzeichnen gemeinsam mit dem Leuchtdichtekoeffizienten das Reflexionsverhalten z. B. von Fahrbahnbelägen.

T

Teilfläche Eine Teilfläche ist eine Fläche mit höheren Sehanforderungen, z. B. Lesen, Schreiben, Messen, Kontrollieren und Betrachten von Fertigungsprozessen, innerhalb einer Arbeitsfläche.

Transmissionsgrad Der Transmissionsgrad τ ist das Verhältnis des von einer Fläche durchgelassenen und des auf diese Fläche auffallenden Lichtstroms. Die transmittierenden Materialeigenschaften können auch spektrale Einflüsse nach sich ziehen. Ein Praxisbezug: Für HCL Planungen spielt dies als Faktor zur Berücksichtigung der altersbedingte Linsentrübung eine Rolle.

U

U_o Siehe Gleichmäßigkeit.

Umgebungsbereich Der unmittelbare Umgebungsbereich schließt sich gemäß EN 12464-1 an den Bereich der Sehaufgabe an und umfasst die im Gesichtsfeld befindlichen Flächen um den Bereich der Sehaufgabe im Umfeld von mindestens 0,5 m Breite. Daran schließt sich der Hintergrundbereich an, für den in EN 12464-1 ebenfalls lichttechnische Anforderungen enthalten sind, siehe auch Hintergrundbeleuchtung. Die Beleuchtungsstärke des unmittelbaren Umgebungsbereichs darf z. B. eine Stufe niedriger sein als die Beleuchtungsstärke im Bereich der Sehaufgabe, im Sinne der ASR A3.4 ist der Umgebungsbereich nicht nur der unmittelbare Umgebungsbereich, sondern ein räumlicher Bereich, der sich direkt an einen Bereich oder mehrere Bereiche von Arbeitsplätzen anschließt oder durch die Raumwände oder Verkehrswege begrenzt wird.

V

VDE (Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.) Das DE-Zeichen ist ein Symbol zur Produktkennzeichnung von Elektrogeräten. Für Leuchten besagt das VDE-Zeichen, dass von dem unabhängigen Prüfinstitut des VDE bestätigt wird, dass sie der internationalen Leuchtenbaunorm DIN EN ISO 60598 entsprechen. Das Prüfverfahren entspricht dem zur Vergabe des ENEC-Zeichens. Das VDE-Prüfinstitut vergibt auch das europaweit anerkannte ENEC-Zeichen.

Vorschaltgerät Als „Vorschaltgerät“ wird in der Regel ein Betriebsgerät für ein Leuchtmittel bezeichnet. Dabei handelt es sich um eine elektrische Vorrichtung, die zwischen den Versorgungsstromkreis und ein oder mehrere Leuchtmittel geschaltet ist.

Im Falle des Betriebes von LEDs stellt es den geforderten, konstanten Strom bzw. die konstante Spannung zur Verfügung. Im Falle des Betriebes von Entladungslampen dient es hauptsächlich dazu, den Lampenstrom auf den geforderten Wert zu begrenzen.

Ein Vorschaltgerät kann auch aus mehreren Komponenten bestehen. Es kann z. B. einen Transformator für die Versorgungsspannung enthalten, den Leistungsfaktor korrigieren und allein oder in Verbindung mit einem Startgerät die erforderlichen Voraussetzungen für die Zündung und den Betrieb der Lampe(n) schaffen.

W

Wartungsfaktor (MF: maintenance factor) Der Wartungsfaktor berücksichtigt die Alterung und Verschmutzung von Lampen (bzw. Leuchtmitteln) und Leuchten und die Verschmutzung von Reflexionsflächen des Raumes während der Betriebszeit der Beleuchtungsanlage. Er bestimmt den Neuwert der Beleuchtungsstärke bzw. der Leuchtdichte und damit die Anzahl der dafür erforderlichen Lampen und Leuchten. Er kann als Referenzwartungsfaktor aufgrund standardisierter Betriebsbedingungen wie auch aufgrund spezieller Kenngrößen von Lampen und Leuchten entsprechend der betreffenden Beleuchtungsanlage bestimmt werden. Definition nach EN 12665: Der Wartungsfaktor ist das Verhältnis der mittleren Beleuchtungsstärke auf der Nutzebene nach einer bestimmten Benutzungsdauer einer Beleuchtungsanlage und der mittleren Beleuchtungsstärke, die unter denselben Bedingungen bei einer neuen Anlage erreicht wird. Für die Auslegung der Lichtplanung muss der Planer einen objektspezifischen Wartungsplan vorbereiten, der z. B. die Häufigkeit des Lichtquellenwechsels sowie der Leuchten- und Raumreinigungsintervalle beinhaltet.

$$MF = \frac{\text{Mittlere Beleuchtungsstärke}_{\text{Wartung}}}{\text{Mittlere Beleuchtungsstärke}_{\text{Neu}}}$$

Wartungswert Der Wartungswert der Beleuchtungsstärke \bar{E}_m bzw. Leuchtdichte \bar{L}_m (Index m vom engl. maintained) ist der (örtliche) Mittelwert der Anlage, der zu keiner Zeit unterschritten werden darf. Die in den europäischen Normen, wie z.B. in EN 12464-1, für verschiedene Tätigkeiten festgelegten Werte der Beleuchtungsstärken bzw. Leuchtdichten sind Wartungswerte. Werden diese im Laufe der Betriebszeit aufgrund Alterung von Lampen und Leuchten und Verstaubung der Anlage erreicht, muss die Anlage gewartet, d. h. gereinigt, und die Lampen müssen ggf. ausgetauscht werden.

Einheit: Lux (lx.)

Normen

- [1] ANSI E1.11, Entertainment Technology – USITT DMX512-A – Asynchronous Serial Digital Data Transmission Standard for Controlling Lighting Equipment and Accessories. [ANSI](#), 2008.
- [2] DIN 10500, Lebensmittelhygiene – Verkaufsfahrzeuge und ortsveränderliche, nichtständige Verkaufseinrichtungen für leicht verderbliche Lebensmittel – Hygieneanforderungen, Prüfung. [Beuth Verlag](#), 2019.
- [3] DIN 18032-1:2014-11, Sporthallen – Hallen und Räume für Sport und Mehrzwecknutzung – Teil 1: Grundsätze für die Planung. [Beuth Verlag](#), 2014.
- [4] DIN 18032-3, Sporthallen – Hallen für Turnen und Spielen und Mehrzwecknutzung – Teil 3: Prüfung der Ballwurfsicherheit. [Beuth Verlag](#), 2018.
- [5] DIN 4102-2, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. [Beuth Verlag](#), 1977.
- [6] DIN 42801, Anschlußbolzen für Potentialausgleichsleitungen. [Beuth Verlag](#), 1980.
- [7] DIN 4844, Graphische Symbole - Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen. [Beuth Verlag](#), 2012.
- [8] DIN 5032-7 Lichtmessung – Teil 7: Klasseneinteilung von Beleuchtungsstärke- und Leuchtdichtemessgeräten. [Beuth Verlag](#), 2017.
- [9] DIN 5034 (Teile 1 - 6), Tageslicht in Innenräumen – Teil 1: Begriffe und Mindestanforderungen, Teil 2: Grundlagen, Teil 3: Berechnung, Teil 5: Messung, Teil 6: Vereinfachte Bestimmung zweckmäßiger Abmessungen von Oberlichtöffnungen in Dachflächen. [Beuth Verlag](#), 2021.
- [10] DIN 5035-3, Beleuchtung mit künstlichem Licht – Teil 3: Beleuchtung im Gesundheitswesen. [Beuth Verlag](#), 2006.
- [11] DIN 5035-6, Beleuchtung mit künstlichem Licht – Teil 6: Messung und Bewertung. [Beuth Verlag](#), 2006.
- [12] DIN 5040, Leuchten für Beleuchtungszwecke; Lichttechnische Merkmale und Einteilung. [Beuth Verlag](#), 1976.
- [13] DIN 57710-13, DIN VDE 0710-13, VDE 0710-13, Leuchten mit Betriebsspannungen unter 1000 V; Ballwurfsichere Leuchten [VDE-Bestimmung]. [Beuth Verlag](#), 1981.
- [14] DIN 67528 Beleuchtung von öffentlichen Parkbauten und öffentlichen Parkplätzen. [Beuth Verlag](#), 2018.
- [16] DIN CEN/TS 17623:2021-08 „BIM-Merkmale für die Beleuchtung – Leuchten und Sensoren“. [Beuth Verlag](#), 2021.
- [17] DIN EN 12464-1 Beiblatt 1, Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen; Beiblatt 1: Beleuchtungskonzepte und Beleuchtungsarten für künstliche Beleuchtung. [Beuth Verlag](#), 2017.
- [18] DIN EN 61008-1, VDE 0664-10, Fehlerstrom-/Differenzstrom-Schutzeinrichtung. [Beuth Verlag](#), 2018.
- [19] DIN EN 61547 Beiblatt 1:2021-03, Einrichtungen für allgemeine Beleuchtungszwecke - EMV-Störfestigkeitsanforderungen; Beiblatt 1: Objektives Flickermeter und Störfestigkeitsprüfverfahren gegen Spannungsschwankungen (IEC TR 61547-1:2020). [Beuth Verlag](#), 2021.
- [20] DIN EN 62717, LED-Module für die Allgemeinbeleuchtung - Anforderungen an die Arbeitsweise (IEC/PAS 62717:2011). [Beuth Verlag](#), 2019.
- [21] DIN EN IEC 62485-2 (VDE 0510-485-2), Sicherheitsanforderungen an Sekundär-Batterien und Batterieanlagen - Teil 2: Stationäre Batterien (IEC 62485-2:2010). [Beuth Verlag](#), 2019.
- [22] DIN EN ISO 19650-1:2019-08, Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) – Informationsmanagement mit BIM – Teil 1: Begriffe und Grundsätze. [Beuth Verlag](#), 2019.

- [23] DIN IEC/TR 62778, Anwendung von IEC 62471 zur Beurteilung der Blaulichtgefahr von Lichtquellen und Leuchten (entspricht DIN SPEC 42778). [Beuth Verlag](#), 2014.
- [24] DIN ISO 3864, Graphische Symbole - Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen. Beuth Verlag, 2012.
- [26] DIN V 18599, Energetische Bewertung von Gebäuden. [Beuth Verlag](#), 2018.
- [27] DIN VDE 0100-410, Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 4-41: Schutzmaßnahmen - Schutz gegen elektrischen Schlag. [Beuth Verlag](#), 2018.
- [28] DIN VDE 0100-420, Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 4-42: Schutzmaßnahmen - Schutz gegen thermische Auswirkungen. [Beuth Verlag](#), 2022.
- [29] DIN VDE 0100-520, Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 5-52: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel - Kabel- und Leitungsanlagen. [Beuth Verlag](#), 2013.
- [30] DIN VDE 0100-534, Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 5-53: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel - Trennen, Schalten und Steuern - Abschnitt 534: Überspannungs-Schutzeinrichtungen (SPDs). [Beuth Verlag](#), 2016.
- [31] DIN VDE 0100-559, Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 5-559: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel - Leuchten und Beleuchtungsanlagen. [Beuth Verlag](#), 2014.
- [32] DIN VDE 0100-560, Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 5-56: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel - Einrichtungen für Sicherheitszwecke (IEC 60364-5-56:2009, modifiziert). [Beuth Verlag](#), 2013.
- [33] DIN VDE 0100-600, Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 6: Prüfungen. [Beuth Verlag](#), 2017.
- [34] DIN VDE 0100-701, Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 7-701: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art - Räume mit Badewanne oder Dusche. [Beuth Verlag](#), 2008.
- [35] DIN VDE 0100-702, Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 7-702: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art - Becken von Schwimmbädern, begehbare Wasserbecken und Springbrunnen. [Beuth Verlag](#), 2012.
- [36] DIN VDE 0100-705, Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 7-705: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art - Elektrische Anlagen von landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Betriebsstätten. [Beuth Verlag](#), 2007.
- [37] DIN VDE 0100-710, Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 7-710: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art - Medizinisch genutzte Bereiche. [Beuth Verlag](#), 2012.
- [38] DIN VDE 0100-711, Errichten von Niederspannungsanlagen - Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art - Teil 711: Ausstellungen, Shows und Stände. [Beuth Verlag](#), 2020.
- [39] DIN VDE 0100-714, Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 7-714: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art - Beleuchtungsanlagen im Freien. [Beuth Verlag](#), 2014.
- [40] DIN VDE 0100-718, Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 7-718: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art - Öffentliche Einrichtungen und Arbeitsstätten. [Beuth Verlag](#), 2014.
- [41] DIN VDE 0100-722, Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 7-722: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art - Stromversorgung von Elektrofahrzeugen. [Beuth Verlag](#), 2019.
- [42] DIN VDE 0100-737, Errichten von Niederspannungsanlagen - Feuchte und nasse Bereiche und Räume und Anlagen im Freien. [Beuth Verlag](#), 2002.

- [43] DIN VDE 0100, Errichten von Niederspannungsanlagen. Beuth Verlag, 2016.
 Normen anderer Länder
 GB BS 7671 IEE Wiring Regulations
 F NF C 15-100 (früher UTE C 15-100)
 NL NEN 1010 Veiligheidseisen voor laagspanningsinstallaties
 EU HD 384
 INT IEC 60364 Electrical Installations of Buildings
- [44] DIN VDE 0105-100, Betrieb von elektrischen Anlagen - Teil 100: Allgemeine Festlegungen. [Beuth Verlag](#), 2015.
- [45] DIN VDE 0298-4, Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Starkstromanlagen – Teil 4: Empfohlene Werte für die Strombelastbarkeit von Kabeln und Leitungen für feste Verlegung in und an Gebäuden und von flexiblen Leitungen. [Beuth Verlag](#), 2013.
- [46] DIN VDE V 0108-100, Sicherheitsbeleuchtungsanlagen. [Beuth Verlag](#), 2018.
- [48] DIN/TS 67600:2022 „Ergänzende Kriterien für die Lichtplanung und Lichtenwendung in Hinblick auf nichtvisuelle Wirkungen von Licht “. [Beuth Verlag](#), 2022.
- [49] EN 10088-1, Nichtrostende Stähle – Teil 1: Verzeichnis der nichtrostenden Stähle. [Beuth Verlag](#), 2014.
- [50] EN 12193, Licht und Beleuchtung – Sportstättenbeleuchtung. [Beuth Verlag](#), 2019.
- [51] EN 12464-1, Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen. [Beuth Verlag](#), 2021.
- [52] EN 12464-2, Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 2: Arbeitsplätze im Freien. [Beuth Verlag](#), 2014.
- [53] EN 12665, Licht und Beleuchtung – Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung. [Beuth Verlag](#), 2018.
- [54] EN 13032-1, Licht und Beleuchtung – Messung und Darstellung photometrischer Daten von Lampen und Leuchten – Teil 1: Messung und Datenformat. [Beuth Verlag](#), 2012.
- [55] EN 13032-2, Licht und Beleuchtung – Messung und Darstellung photometrischer Daten von Lampen und Leuchten – Teil 2: Darstellung der Daten für Arbeitsstätten in Innenräumen und im Freien. [Beuth Verlag](#), 2018.
- [56] EN 13032-3, Licht und Beleuchtung – Messung und Darstellung photometrischer Daten von Lampen und Leuchten – Teil 3: Darstellung von Daten für die Notbeleuchtung von Arbeitsstätten. [Beuth Verlag](#), 2022.
- [57] EN 13201-2, Straßenbeleuchtung – Teil 2: Güteermkmale. [Beuth Verlag](#), 2016.
- [58] EN 1838, Angewandte Lichttechnik – Notbeleuchtung. [Beuth Verlag](#), 2019.
- [59] EN 50172 (entspricht VDE 0108-100), Sicherheitsbeleuchtungsanlagen. [Beuth Verlag](#), 2005.
- [60] EN 50191 (entspricht VDE 0104), Errichten und Betreiben elektrischer Prüfanlagen. [Beuth Verlag](#), 2011.
- [61] EN 50678 (VDE 0701), Allgemeines Verfahren zur Überprüfung der Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen von Elektrogeräten nach der Reparatur. [Beuth Verlag](#), 2021.
- [62] EN 50699 (VDE 0702), Wiederholungsprüfung für elektrische Geräte. [Beuth Verlag](#), 2021.
- [63] EN 55015 (entspricht VDE 0875-15-1), Grenzwerte und Messverfahren für Funkstörungen von elektrischen Beleuchtungseinrichtungen und ähnlichen Elektrogeräten (CISPR 15:2013 + IS1:2013 + IS2:2013 + A1:2015). [Beuth Verlag](#), 2020.
- [64] EN 60038 (entspricht VDE 0175-1), CENELEC-Normspannungen (IEC 60038). [Beuth Verlag](#), 2012.
- [65] EN 60068-2-27 (entspricht VDE 0468-2-27), Umgebungseinflüsse – Teil 2-27: Prüfverfahren – Prüfung Ea und Leitfaden: Schocken (IEC 60068-2-27:2008). [Beuth Verlag](#), 2010.

- [66] EN 60068-2-75 (entspricht VDE 0468-2-75), Umgebungseinflüsse – Teil 2-75: Prüfungen – Prüfung Eh: Hammerprüfungen (IEC 60068-2-75:2014). [Beuth Verlag](#), 2015.
- [67] EN 60068-2-75, Umgebungseinflüsse – Teil 2-75: Prüfungen – Prüfung Eh: Hammerprüfungen – Umgebungseinflüsse – Teil 2-75: Prüfungen – Prüfung Eh: Hammerprüfungen. [IEC](#), 2014.
- [68] EN 60529 (entspricht VDE 0470-1), Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code) (IEC 60529:1989 + A1:1999 + A2:2013). [Beuth Verlag](#), 2014.
- [69] EN 60598-1 (entspricht VDE 0711-1), Leuchten – Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfungen (IEC 60598-1:2020). [Beuth Verlag](#), 2022.
- [70] EN 60598-2-22 (entspricht VDE 0711-2-22), Leuchten – Teil 2-22: Besondere Anforderungen – Leuchten für Notbeleuchtung (IEC 60598-2-22:2014). [Beuth Verlag](#), 2020.
- [71] EN 60598-2-24 (entspricht VDE 0711-2-24), Leuchten – Teil 2-24: Besondere Anforderungen – Leuchten mit begrenzter Oberflächentemperatur (IEC 60598-2-24:2013). [Beuth Verlag](#), 2014.
- [72] EN 60598, Leuchten. [Beuth Verlag](#).
- [73] EN 60601-2-41 (entspricht VDE 0750-2-41), Medizinische elektrische Geräte – Teil 2-41: Besondere Festlegungen für die Sicherheit einschließlich der wesentlichen Leistungsmerkmale von Operationsleuchten und Untersuchungsleuchten (IEC 62D/1757/CDV:2020); Deutsche und Englische Fassung prEN IEC 60601-2-41:2020). [Beuth Verlag](#), 2021.
- [74] EN 61000-3-2 (entspricht VDE 0838-2), Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 3-2: Grenzwerte – Grenzwerte für Oberschwingungsströme (Geräte-Eingangsstrom ≤ 16 A je Leiter) (IEC 61000-3-2:2018). [Beuth Verlag](#), 2019.
- [75] EN 61000-3-3 (entspricht VDE 0838-3), Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 3-3: Grenzwerte – Begrenzung von Spannungsänderungen, Spannungsschwankungen und Flicker in öffentlichen Niederspannungs-Versorgungsnetzen für Geräte mit einem Bemessungsstrom ≤ 16 A je Leiter, die keiner Sonderanschlussbedingung unterliegen (IEC 61000-3-3:2013). [Beuth Verlag](#), 2020.
- [76] EN 61000-4-15 (entspricht VDE 0847-4-15), Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-15: Prüf- und Messverfahren – Flickermeter – Funktionsbeschreibung und Auslegungsspezifikation (IEC 61000-4-15:2010). [Beuth Verlag](#), 2011.
- [77] EN 61009-1 (entspricht VDE 0664-20), Fehlerstrom-/Differenzstrom-Schutzschalter mit eingebautem Überstromschutz (RCBOs) für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen (IEC 61009-1:2010, modifiziert + A1:2012, modifiziert + A1:2012/Cor.:2012 + A2:2013, modifiziert + A2:2013/Cor.:2014). [Beuth Verlag](#), 2016.
- [78] EN 61140 (entspricht VDE 0140-1), Schutz gegen elektrischen Schlag – Gemeinsame Anforderungen für Anlagen und Betriebsmittel (IEC 61140:2016). [Beuth Verlag](#), 2016.
- [79] EN 61340-5 (entspricht VDE 0300-5), Schutz von elektronischen Bauelementen gegen elektrostatische Phänomene. [Beuth Verlag](#), 2017.
- [80] EN 61547 (entspricht VDE 0875-15-2), Einrichtungen für allgemeine Beleuchtungszwecke – EMV-Störfestigkeitsanforderungen (IEC 61547:2009). [Beuth Verlag](#), 2010.
- [81] EN 61557 (entspricht VDE 0413), Elektrische Sicherheit in Niederspannungsnetzen bis AC 1000 V und DC 1500 V – Geräte zum Prüfen, Messen oder Überwachen von Schutzmaßnahmen (IEC 61557). [Beuth Verlag](#), 2007.
- [82] EN 61558-2-5 (entspricht VDE 0570-2-5), Sicherheit von Transformatoren, Drosseln, Netzgeräten und entsprechender Kombinationen – Teil 2-5: Besondere Anforderungen und Prüfungen an Transformatoren für Rasierer, Netzgeräte für Rasierer und Rasiersteckdosen-Einheiten (IEC 61558-2-5:2010). [Beuth Verlag](#), 2011.
- [83] EN 62034, Automatische Prüfsysteme für batteriebetriebene Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege (IEC 62034:2012). [Beuth Verlag](#), 2013.

- [84] EN 62262:2022-02 (entspricht VDE 0470-100), Schutzarten durch Gehäuse für elektrische Betriebsmittel (Ausrüstung) gegen äußere mechanische Beanspruchungen (IK-Code). [Beuth Verlag](#), 2022.
- [85] EN 62471 (entspricht VDE 0837-471), Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen (IEC 62471:2006, modifiziert). [Beuth Verlag](#), 2009.
- [86] EN 62722-1, Arbeitsweise von Leuchten – Teil 1: Allgemeine Anforderungen (IEC 62722-1:2014, modifiziert). [Beuth Verlag](#), 2016.
- [87] EN 62722-2-1, Arbeitsweise von Leuchten – Teil 2-1: Besondere Anforderungen an LED-Leuchten (IEC 62722-2-1:2014, modifiziert). [Beuth Verlag](#), 2017.
- [88] EN IEC 62386-104, Digital adressierbare Schnittstelle für die Beleuchtung – Teil 104: Allgemeine Anforderungen – Funk- und alternative kabelgebundene Systemkomponenten. [Beuth Verlag](#), 2020.
- [89] EN IEC 62386, Digital adressierbare Schnittstelle für die Beleuchtung. [Beuth Verlag](#), 2020.
- [90] EN ISO 11197 (entspricht VDE 0750-211), Medizinische Versorgungseinheiten (ISO 11197). [Beuth Verlag](#), 2020.
- [91] EN ISO 14644-1, Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche – Teil 1: Klassifizierung der Luftreinheit anhand der Partikelkonzentration. [Beuth Verlag](#), 2016.
- [92] EN ISO 3741, Akustik – Bestimmung der Schallleistungs- und Schallenergiepegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen – Hallraumverfahren der Genauigkeitsklasse 1 (ISO 3741:2010). [Beuth Verlag](#), 2011.
- [93] EN ISO 9000, Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe. [Beuth Verlag](#), 2015.
- [94] EN ISO 9001, Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen. [Beuth Verlag](#), 2015.
- [95] EN ISO 9004, Leiten und Lenken für den nachhaltigen Erfolg einer Organisation – Ein Qualitätsmanagementansatz. [Beuth Verlag](#), 2018.
- [96] EN ISO 9241-303, Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 303: Anforderungen an elektronische optische Anzeigen (ISO 9241-303:2011). [Beuth Verlag](#), 2012.
- [97] EN ISO 9241-305, Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 305: Optische Laborprüfverfahren für elektronische optische Anzeigen (ISO 9241-305:2008). [Beuth Verlag](#), 2009.
- [98] EN ISO 9241-307, Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 307: Analyse- und Konformitätsverfahren für elektronische optische Anzeigen (ISO 9241-307:2008). [Beuth Verlag](#), 2009.
- [99] EN ISO 9241-5, Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten – Teil 5: Anforderungen an Arbeitsplatzgestaltung und Körperhaltung. [Beuth Verlag](#), 1999.
- [100] EN ISO 9241-6, Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten – Teil 6: Leitsätze für die Arbeitsumgebung. [Beuth Verlag](#), 2001.
- [101] EN ISO 9680, Zahnheilkunde – Behandlungsleuchten. [Beuth Verlag](#), 2022.
- [102] IEC 60050, Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch. [IEC](#).
- [103] ISO 16739, Industry Foundation Classes (IFC) für den Datenaustausch in der Bauindustrie und dem Anlagen-Management. [Beuth Verlag](#), 2021.
- [104] ISO 8528-12, Stromerzeugungsaggregate mit Hubkolben-Verbrennungsmotoren – Teil 12: Notstromversorgung für Sicherheitseinrichtungen. [Beuth Verlag](#), 1997.
- [105] ISO 8995-1 (entspricht CIE S 008), Beleuchtung von Arbeitsplätzen – Teil 1: Innenräumen. [Beuth Verlag](#), 2002.
- [106] ISO/IEC 14543-3-10, Informationstechnik – Heim-Elektronik-Systeme (HES). [Beuth Verlag](#), 2020.
- [107] VDE-AR-N 4100 Anwendungsregel:2019-04, Technische Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Niederspannungsnetz und deren Betrieb (TAR Niederspannung). [VDE Verlag](#), 2019.

Vorschriften und Empfehlungen

- [108] A computer program for NB-documentation of luminaires, LTLI Notat 248. NBD0C, 1987.
- [109] ASR A1.3 – Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung in Arbeitsstätten. [Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin \(BAuA\)](#), 2022.
- [110] ASR A3.4 – Beleuchtung. [Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin \(BAuA\)](#), 2022.
- [111] ASR A3.4/7 – Sicherheitsbeleuchtung, optische Sicherheitsleitsysteme. [Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin \(BAuA\)](#), 2017.
- [112] Beleuchtung 2019 „Hinweise für die Innenbeleuchtung mit künstlichem Licht in öffentlichen Gebäuden“. [AMEV](#), 2019.
- [113] Building regulation, Approved Document L2B: conservation of fuel and power in existing buildings other than dwellings, 2010 edition (incorporating 2010, 2011, 2013 and 2016 amendments). CIBSE, 2016.
- [114] DGUV Information 205-008, Sicherheit im Feuerwehrhaus. [DGUV](#), 2016.
- [115] DGUV Information 209-010 Lichtbogenschweißen. [DGUV](#), 2017.
- [116] DGUV Information 215-442 Beleuchtung im Büro - Hilfen für die Planung der künstlichen Beleuchtung in Büroräumen. [DGUV](#), 2020.
- [117] DGUV Regel 109-009 Fahrzeug-Instandhaltung (bisher BGR 157). [DGUV](#), 2006.
- [118] DGUV Regel 110-003 – Branche Küchenbetriebe (Nachfolge für: DGUV Regel 110-002, BGR 111). [DGUV](#), 2019.
- [119] DGUV Regel 110-004 Branche Backbetriebe (Nachfolge für: BGR 112). [DGUV](#), 2020.
- [120] DGUV Vorschrift 3, Unfallverhütungsvorschrift Elektrische Anlagen und Betriebsmittel (ehemals BGV A 3). [DGUV](#), 1997.
- [121] DLG-Merkblatt 415 „Beleuchtung und Beleuchtungstechnik im Rinderstall“. [DLG e. V.](#), 2016.
- [122] Evaluating performance of LED based luminaires, Guidance Paper. [Lighting Europe](#), 2018.
- [123] LG02 Lighting Guide 02: Hospitals & Health Care Buildings – LG2. [CIBSE](#), 2008.
- [124] LG04 Lighting Guide 04: Sports Lighting – LG4, Part B: Applications – Lighting for television (addendum). CIBSE, 2014 (in Überarbeitung).
- [125] LG07/15 Lighting Guide 07: Offices – LG7. [CIBSE](#), 2015.
- [126] NBN L 14-002, Methods of predetermination for illuminances, luminances and glare indices in artificial lighting of enclosed spaces. [NBN](#), 1975.
- [127] Norme NF C71-121 – Méthode simplifiée de prédétermination des éclairagements dans les espaces clos et classification correspondante des luminaires. [UTE](#), 1987.
- [128] Richtlinie für die Errichtung, die Abnahme und das Betreiben von Schießständen. [schiefsstandrichtlinien.de](#), 2013.
- [129] RiL 81305 „Personenbahnhöfe planen – Beleuchtungsanlagen“. [Deutsche Bahn](#), DB Kommunikationstechnik GmbH Medien- und Kommunikationsdienste Informationslogistik, Kriegsstraße 136, 76133 Karlsruhe, 2016. Weitere Hinweise in „Anforderung an Beleuchtungsanlagen“ und „Zusammenstellung der Anforderungen an Leuchten mit LED-Leuchtmitteln“ (Download unter „Anforderungen“).
- [130] Technical Memorandum TM 5, „The calculation and use of utilisation factors“. CIBSE, 1980.
- [131] Technische Anschlussbedingungen TAB 2007 für den Anschluss an das Niederspannungsnetz. [BDEW](#), 2011.
- [132] TRStrab EA, Technische Regeln für Straßenbahnen Elektrische Anlagen. [Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. \(VDV\)](#), 2011.

- [133] Empfehlung der Kommission vom 24. Februar 1989 über die Regeln, die bei Besichtigungen in den für den innergemeinschaftlichen Handel zugelassenen Fleischlieferbetrieben zu beachten sind (89/214/EWG). [EUR-Lex](#), 1995.
- [134] Richtlinie 1999/92/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 1999 über Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphären gefährdet werden können (Fünfzehnte Einzelrichtlinie im Sinne von Artikel 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG). [EUR-Lex](#), 1999.
- [135] Richtlinie 2001/95/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 3. Dezember 2001 über die allgemeine Produktsicherheit. [EUR-Lex](#), 2001. Deutsche Umsetzung der Richtlinie: ProdSG (2021) [Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz](#).
- [136] Richtlinie 2006/25/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung) (19. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG). [EUR-Lex](#), 2006. Deutsche Umsetzung der Richtlinie: TROS IOS (2013) [Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin \(BAuA\)](#).
- [137] Richtlinie 2009/104/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. September 2009 über Mindestvorschriften für Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Benutzung von Arbeitsmitteln durch Arbeitnehmer bei der Arbeit (Zweite Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG). [EUR-Lex](#), 2009. Deutsche Umsetzung der Richtlinie: BetrSichV (2021) [Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz](#).
- [138] Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkt (ErP-Richtlinie). [EUR-Lex](#), 2009. Deutsche Umsetzung der Richtlinie: EVPG (2020) [Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz](#).
- [139] Richtlinie 2017/1369/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Angabe des Verbrauchs an Energie und anderen Ressourcen durch energieverbrauchsrelevante Produkte mittels einheitlicher Etiketten und Produktinformationen. [EUR-Lex](#), 2020. Deutsche Umsetzung der Richtlinie: EnVKV (2021) [Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz](#).
- [140] Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden. [EUR-Lex](#), 2021. Deutsche Umsetzung der Richtlinie: Gebäudeenergiegesetz GEG von 2020 [Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz](#).
- [141] Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Juni 2011 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten (RoHS-Richtlinie). [EUR-Lex](#), 2021. Deutsche Umsetzung der Richtlinie: ElektroStoffV (2022) [Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz](#).
- [142] Richtlinie 2012/19/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2012 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (WEEE-Richtlinie). [EUR-Lex](#), 2018. Deutsche Umsetzung der Richtlinie: ElektroG (2015) [Bundesanzeiger Verlag](#).

- [143] Richtlinie 2013/35/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Juni 2013 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (elektromagnetische Felder) (20. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG) und zur Aufhebung der Richtlinie 2004/40/EG. [EUR-Lex](#), 2013. Deutsche Umsetzung der Richtlinie: EMFV (2016) [Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz](#) 26. BImSchV (2013) [Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz](#)
- [144] Richtlinie 2014/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit (Neufassung). [EUR-Lex](#), 2014. Deutsche Umsetzung der Richtlinie: EMV-Gesetz (2016) [Bundesanzeiger Verlag](#).
- [145] Richtlinie 2014/35/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung elektrischer Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen auf dem Markt (Niederspannungsrichtlinie). [EUR-Lex](#), 2014. Deutsche Umsetzung der Verordnung: ProdSG (2021) [Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz](#).
- [146] Richtlinie 2014/53/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. April 2014 über die Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung von Funkanlagen auf dem Markt und zur Aufhebung der Richtlinie 1999/5/EG. [EUR-Lex](#), 2018. Deutsche Umsetzung der Richtlinie: FuAG (2017) [Bundesministerium für Wirtschaft und Energie \(BMWi\)](#).
- [147] Richtlinie 89/391/EWG des Rates vom 12. Juni 1989 über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit. [EUR-Lex](#), 1989. Deutsche Umsetzung der Richtlinie: ArbSchG (1996) [Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz](#).
- [148] Richtlinie 89/654/EWG des Rates vom 30. November 1989 über Mindestvorschriften für Sicherheit und Gesundheitsschutz in Arbeitsstätten (Erste Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG). [EUR-Lex](#), 2019. Deutsche Umsetzung der Richtlinie: ArbStättV (2020) [Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz](#).
- [149] Richtlinie 90/270/EWG des Rates vom 29. Mai 1990 über die Mindestvorschriften bezüglich der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes bei der Arbeit an Bildschirmgeräten (Fünfte Einzelrichtlinie im Sinne von Artikel 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG). [EUR-Lex](#), 2019. Deutsche Umsetzung der Richtlinie: ArbStättV, Abschnitt 6 (2020) „Maßnahmen zur Gestaltung von Bildschirmarbeitsplätzen“ [Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz](#)
- [150] Richtlinie 92/58/EWG des Rates vom 24. Juni 1992 über Mindestvorschriften für die Sicherheits- und/oder Gesundheitsschutzkennzeichnung am Arbeitsplatz (Neunte Einzelrichtlinie im Sinne von Artikel 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG). [EUR-Lex](#), 2019.
- [151] Richtlinie 94/62/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Dezember 1994 über Verpackungen und Verpackungsabfälle. [EUR-Lex](#), 2018. Deutsche Umsetzung der Richtlinie: VerpackG (2022) [Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz](#).
- [152] Richtlinie 96/59/EG des Rates vom 16. September 1996 über die Beseitigung polychlorierter Biphenyle und polychlorierter Terphenyle (PCB/PCT). [EUR-Lex](#), 2009. Deutsche Umsetzung der Richtlinie: PCBAbfallV (2012) [Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz](#).
- [153] VERORDNUNG (EG) Nr. 853/2004 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 29. April 2004 mit spezifischen Hygienevorschriften für Lebensmittel tierischen Ursprungs. [EUR-Lex](#), 2014. Deutsche Umsetzung der Verordnung: Tier-LMHV (2018) [Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz](#).

- [179] Delegierte Richtlinie (EU) 2022/274 der Kommission vom 13. Dezember 2021 zur Änderung — zwecks Anpassung an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt — des Anhangs III der Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich einer Ausnahme für die Verwendung von Quecksilber in CCFL- (cold cathode fluorescent lamps) und EEFL-Lampen (external electrode fluorescent lamps) für besondere Verwendungszwecke (Text von Bedeutung für den EWR). [EUR-Lex](#), 2022.
- [180] Delegierte Richtlinie (EU) 2022/275 der Kommission vom 13. Dezember 2021 zur Änderung — zwecks Anpassung an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt — des Anhangs III der Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich einer Ausnahme für die Verwendung von Quecksilber in anderen Hochdrucknatrium(dampf)lampen für allgemeine Beleuchtungszwecke (Text von Bedeutung für den EWR). [EUR-Lex](#), 2022.
- [181] Delegierte Richtlinie (EU) 2022/276 der Kommission vom 13. Dezember 2021 zur Änderung — zwecks Anpassung an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt — des Anhangs III der Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich einer Ausnahme für die Verwendung von Quecksilber in einseitig gesockelten (Kompakt-)Leuchtstofflampen für allgemeine Beleuchtungszwecke (Text von Bedeutung für den EWR). [EUR-Lex](#), 2022.
- [182] Delegierte Richtlinie (EU) 2022/277 der Kommission vom 13. Dezember 2021 zur Änderung — zwecks Anpassung an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt — des Anhangs III der Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich einer Ausnahme für die Verwendung von Quecksilber in einseitig gesockelten (Kompakt-)Leuchtstofflampen für allgemeine Beleuchtungszwecke < 30 W mit einer Lebensdauer von 20.000 Stunden oder mehr (Text von Bedeutung für den EWR). [EUR-Lex](#), 2022.
- [183] Delegierte Richtlinie (EU) 2022/278 der Kommission vom 13. Dezember 2021 zur Änderung — zwecks Anpassung an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt — des Anhangs III der Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich einer Ausnahme für die Verwendung von Quecksilber in Metallhalidlampen (Text von Bedeutung für den EWR). [EUR-Lex](#), 2022.
- [184] Delegierte Richtlinie (EU) 2022/279 der Kommission vom 13. Dezember 2021 zur Änderung — zwecks Anpassung an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt — des Anhangs III der Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich einer Ausnahme für die Verwendung von Quecksilber in anderen Entladungslampen für besondere Verwendungszwecke (Text von Bedeutung für den EWR). [EUR-Lex](#), 2022.
- [185] Delegierte Richtlinie (EU) 2022/280 der Kommission vom 13. Dezember 2021 zur Änderung — zwecks Anpassung an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt — des Anhangs III der Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich einer Ausnahme für die Verwendung von Quecksilber in anderen Niederdruckentladungslampen (Text von Bedeutung für den EWR). [EUR-Lex](#), 2022.
- [186] Delegierte Richtlinie (EU) 2022/281 der Kommission vom 13. Dezember 2021 zur Änderung — zwecks Anpassung an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt — des Anhangs III der Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich einer Ausnahme für die Verwendung von Quecksilber in einseitig gesockelten (Kompakt-)Leuchtstofflampen für besondere Verwendungszwecke (Text von Bedeutung für den EWR). [EUR-Lex](#), 2022.
- [187] Delegierte Richtlinie (EU) 2022/282 der Kommission vom 13. Dezember 2021 zur Änderung — zwecks Anpassung an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt — des Anhangs III der Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich einer Ausnahme für die Verwendung von Quecksilber in nichtlinearen Tri-Phosphor-Lampen (Text von Bedeutung für den EWR). [EUR-Lex](#), 2022.

- [188] Delegierte Richtlinie (EU) 2022/283 der Kommission vom 13. Dezember 2021 zur Änderung — zwecks Anpassung an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt — des Anhangs III der Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich einer Ausnahme für die Verwendung von Quecksilber in Hochdrucknatrium(dampf)lampen mit verbessertem Farbwiedergabeindex für allgemeine Beleuchtungszwecke (Text von Bedeutung für den EWR). EUR-Lex, 2022.
- [189] Delegierte Richtlinie (EU) 2022/284 der Kommission vom 16. Dezember 2021 zur Änderung — zwecks Anpassung an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt — des Anhangs III der Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich einer Ausnahme für die Verwendung von Quecksilber in beidseitig gesockelten linearen Leuchtstofflampen für allgemeine Beleuchtungszwecke (Text von Bedeutung für den EWR). EUR-Lex, 2022.
- [190] DELEGIERTE VERORDNUNG (EU) 2019/2015 DER KOMMISSION vom 11. März 2019 zur Ergänzung der Verordnung (EU) 2017/1369 des Europäischen Parlaments und des Rates in Bezug auf die Energieverbrauchskennzeichnung von Lichtquellen und zur Aufhebung der Delegierten Verordnung (EU) Nr. 874/2012 der Kommission. EUR-Lex, 2019.
- [191] VERORDNUNG (EU) 2019/2020 DER KOMMISSION vom 1. Oktober 2019 zur Festlegung von Ökodesign-Anforderungen an Lichtquellen und separate Betriebsgeräte gemäß der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 244/2009, (EG) Nr. 245/2009 und (EU) Nr. 1194/2012 der Kommission. EUR-Lex, 2019.

Weitere Publikationen

- [15] DIN CEN/TS 17165:2019-04; DIN SPEC 67503:2019-04 „Licht und Beleuchtung – Planungsprozess für Beleuchtungssysteme“. [Beuth Verlag](#), 2019.
- [25] DIN SPEC 43197:2019-06 „Einrichtungen für allgemeine Beleuchtungszwecke – Objektives Prüfverfahren der stroboskopischen Effekte von Beleuchtungseinrichtungen“. [Beuth Verlag](#), 2019.
- [47] DIN/TS 5031-100:2021-11 „Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik – Teil 100: Über das Auge vermittelte, melanopische Wirkung des Lichts auf den Menschen – Größen, Formelzeichen und Wirkungsspektren“. [Beuth Verlag](#), 2021.
- [154] CIE 069-1987, Methods of Characterizing Illuminance Meters and Luminance Meters. [CIE](#), 1987.
- [155] CIE 112, Blendungsbewertungssystem für Außenbeleuchtungsanlagen und Beleuchtungsanlagen für Sport im Freien. [Beuth Verlag](#), 1994.
- [156] CIE 117, Psychologische Blendung in der Innenraumbeleuchtung. [Beuth Verlag](#), 1995.
- [157] CIE 13.3, Verfahren zur Messung und Kennzeichnung der Farbwiedergabe-Eigenschaften von Lichtquellen. [Beuth Verlag](#), 1995.
- [158] CIE 19:22, Analytisches Modell zum Erfassen des Einflusses von Beleuchtungsparametern auf das Sehleistungspotential eines Beobachters; Zusammenfassung und Anwendung des Modells. [Beuth Verlag](#), 1981.
- [159] CIE 232, Psychologische Blendung von Leuchten mit inhomogener Leuchtdichtestruktur. [Beuth Verlag](#), 2019.
- [160] CIE 40, Berechnungsverfahren für Innenbeleuchtung (Basisverfahren). [Beuth Verlag](#), 1978.
- [161] CIE 97, Leitfaden zur Wartung von elektrischen Beleuchtungsanlagen im Innenraum. [Beuth Verlag](#), 2005.
- [162] CIE S 008, Lighting of work places – Part 1: Indoor. [Beuth Verlag](#), 2001.
- [163] CIE S 026:2018, CIE-System für die Metrologie optischer Strahlung für ipRGC-beeinflusste Antworten auf Licht. [Beuth Verlag](#), 2018.
- [164] DGNB System – Kriterienkatalog Innenräume, Soziokulturelle und funktionale Qualität, SOC1.4 / VISUELLER KOMFORT. [DGNB](#), 2018.
- [165] Energiedaten: Gesamtausgabe, Stand: Oktober 2019. [Bundesministerium für Wirtschaft und Energie \(BMWi\)](#), 2019.
- [166] Energieeffizienzdaten für den Klimaschutz. [Umweltbundesamt](#), 2012.
- [167] Leitfaden Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung, überarbeitete 3. Auflage. [ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.](#), 2020.
- [168] LiTG 13, Der Kontrastwiedergabefaktor – ein Güte Merkmal der Innenraumbeleuchtung. [LiTG](#), 1991.
- [169] LiTG Publikation 3.5:1988, Projektierung von Beleuchtungsanlagen nach dem Wirkungsgradverfahren; Berechnung von Raumwirkungsgraden und Beleuchtungswirkungsgraden und ihre Anwendung. [Beuth Verlag](#), 1988.
- [170] Photobiologische Sicherheit von Licht emittierenden Dioden (LED). [Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin \(BAuA\)](#), 2013.
- [171] Masterplan BIM für Bundesbauten Erläuterungsbericht. [Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat](#), 2021.
- [172] Optionen und Potenziale für Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen: Kurzfassung; Endbericht im Auftrag der E.ON AG. [Wuppertal Institut](#), 2006.
- [173] Stufenplan Digitales Planen und Bauen. [Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur](#), 2015.

- [174] VDI 2083 Blatt 1, Reinraumtechnik - Partikelreinheitsklassen der Luft. [Beuth Verlag](#), 2011.
- [175] VdS 2007, Informationstechnologie (IT-Anlagen) Gefahren und Schutzmaßnahmen. [Beuth Verlag](#), 2016.
- [176] VdS 2033, Elektrische Anlagen in feuergefährdeten Betriebsstätten und diesen gleichzustellende Risiken, Richtlinien zur Schadenverhütung. [Beuth Verlag](#), 2019.
- [177] Visual sensitivities to color differences in daylight. *Journal of the Optical Society of America*, 32, 1942, 1942.
- [178] Wirksamkeit von Dynamischem Licht im Schulunterricht. [Elektronische Dissertationen und Habilitationen](#), 2014.

Lichttechnische Gesellschaften

Land	Bezeichnung	Web-Adresse
Belgien	Institut Belge de L'Eclairage Belgisch Instituut voor Verlichtingskunde IBE-BIV	www.ibe-biv.be
Deutschland	Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V. LiTG	www.litg.de
Frankreich	Association Française de l'Eclairage AFE	www.afe-eclairage.com.fr
Großbritannien	Society of Light and Lighting SLL	www.cibse.org
Italien	Associazione Italiana di Illuminazione AIDI	www.aidiluce.it
Niederlande	Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde NSV	www.nsvv.nl
Österreich	Lichttechnische Gesellschaft Österreichs LTG	www.ltg.at
Polen	Polski Komitet Óswietleniowy SEP	www.ee.pw.edu.pl
Rumänien	Comitetul National Roman de Iluminat CNRI	www.cnri.ro
Spanien	Comité Español de Iluminación CEI	www.ceisp.com/
Schweiz	Schweizer Lichtgesellschaft Association Suisse pour l'éclairage SLG	www.slg.ch
Ungarn	Magyar Világítástechnikai Társaság VTT	www.vilagitas.org

Normungsinstitute

Land	Normungsinstitut	Web-Adresse
Europa	CEN Management Centre	www.cenorm.be
Europa	Europäische Kommission (z. B. für EU-Richtlinien)	http://ec.europa.eu/
Belgien	Institut Belge de Normalisation (IBN)	www.nbn.be
Dänemark	Dansk Standard (DS)	www.ds.dk
Deutschland	Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)	www.din.de
Finnland	Suomen Standardisoimisliitto r.y. (SFS)	www.sfs.fi
Frankreich	Association Française de Normalisation (AFNOR)	www.afnor.org
Griechenland	Hellenic Organization for Standardization (ELOT)	www.elot.gr
Großbritannien	British Standards Institution (BSI)	www.bsi-global.com
Irland	National Standards Authority of Ireland (NSAI)	www.nsai.ie
Italien	Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI)	www.uni.com
Luxemburg	Service de l'Energie de l'Etat (SEE) Organisme Luxembourgeois de Normalisation	www.ilnas.public.lu
Niederlande	Nederlands Normalisatie-instituut (NEN)	www.nen.nl
Norwegen	Standard Norge (SN)	www.standard.no
Österreich	Österreichisches Normungsinstitut (ON)	www.on-norm.at
Polen	Polish Committee for Standardization (PKN)	www.pkn.pl
Portugal	Instituto Português da Qualidade (IPQ)	www.ipq.pt
Spanien	Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR)	www.aenor.es
Schweden	Swedish Standards Institute (SIS)	www.sis.se
Schweiz	Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV)	www.snv.ch

STICHWORTVERZEICHNIS

A		ASR A3.4	27, 86, 209, 226
Abdeckscheiben	371	ASR A3.4/3	27
Abluftleuchten	435	Aufhängemittel	433
Abschirmwinkel	48	Aufwachräume (Operationsnebenräume)	289
Abstellflächen	341	Aufzüge	199
Abstrahlungscharakteristik	359	Augenärztliche Untersuchungsräume	298
Abwesenheitserfassung	145	Ausbildungsstätten	324, 334
Adaptation	196, 260, 281	Ausfahrtzonen	340
Adressierbetrieb, DALI	497	Ausfallrate, LED	527
Adressierung, DMX	496	Auslieferbereiche	201
AFE, Association Française de l'Eclairage	27	Außenanlagen	250, 333
Ähnlichste Farbtemperatur	354	Ausstellungshallen	316
AIDI, Associazione Italiana di Illuminazione	27	Ausstrahlungswinkel	49
Akkommodationsarbeit	50	automatische Wiedereinschaltung	482
aktivierendes Licht	98	Automobilbau	222
Aktoren, Gebäudemangement	509	B	
Akustisches Labor	436	Bäckereien	213
Allgemeinbeleuchtung	87, 113, 129, 168, 209, 233, 278, 281, 285, 325	Bäder	200
Altenheim	302	Badewannen	442
Aluminium, Reflektormaterialien	375	Badmintonhallen	261
AMEV	88	Bahnanlagen	336, 338
Ammoniak	432, 447	bakteriendicht	295
Amortisation	112	Ballwurfsicherheit	430
Anlagen im Freien	445	Baustoffklassen	416
Anlagenlichtstrom	63	Befestigungsmittel	432
Anschlussklemmen	384, 387	Begrenzung der Blendung	42
Antipanikbeleuchtung	188	Begrenzung der Blendung, Büro	242
Anwesenheitserfassung	114, 134, 140, 145, 330, 482	Behandlung	297
Apotheken	291, 300	Behandlungsräume	281, 299
Arbeitsbereich, Büro	240	Beleuchtung 2016	88
arbeitsbereichsbezogene Beleuchtung, Büro	229, 233, 246	Beleuchtungsanlage	351
Arbeitsfläche	28	Beleuchtungsarten, Büro	235
Arbeitsflächen, Büro	239	Beleuchtungsaufgaben, wechselnde	478
Arbeitsinseln, Büro	233	Beleuchtungsklassen, Sportstätten	250
Arbeitsmedizin	86	Beleuchtungskomfort	
Arbeitsplatz	28, 243	durch Lichtmanagement	477
Arbeitsplätze im Freien	25	Beleuchtungskonzepte, Büro	233, 246
Arbeitsschutz	84	Beleuchtungskonzept, Verkauf	318
Arbeitsstätten	25, 26, 27	Beleuchtungsplanung	164
Arbeitsstätten-Regel	27, 86	Beleuchtungsstärke	32
Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV)	27, 86, 186	Beleuchtungsstärke, Altenheim	305
Ärztliche Behandlungen	200	Beleuchtungsstärke, Büro	239
Arztpraxen	289, 302	Beleuchtungsstärke, Industrie	209
		Beleuchtungsstärke, Messung der	181

Beleuchtungsstärkenskala	33	Bildschirmarbeit, Büro	241
Beleuchtungsstärke, Sportstätten	251	Bildschirmarbeitsplatz	86, 237, 248
Beleuchtungsstärke, zeitlicher Verlauf	82	Bildschirmarbeitsplatz, Büro	238
Beleuchtungssteuerung	134, 476	Bildschirmarbeitsplatz, einzeln	211
Beleuchtungswärme	385	Bildschirmarbeitsverordnung	88
Beleuchtungswirkungsgrad	63, 79, 128	Bildschirmpolarität	244
Bemessungsfarbwiedergabeindex	354, 522	Bildschirm, Reflexblendung am	51
Bemessungslebensdauer	65, 354, 523, 527	Bildwechselfrequenz	256
Bemessungsleistung	354, 403, 519	BIM, Building Information Modeling	161, 173
Bemessungslichtausbeute	354, 519	Blauer Lichtanteil	307
Bemessungslichtstrom	354, 519	Blaulichtgefährdung	
Bemessungsspannung	391	(photochemische Netzhautgefährdung)	378
Bemessungstemperatur	396, 525	Blendempfindlichkeit	306
Bemessungsumgebungstemperatur	396	Blend-Formel	42
Benutzerflächen, Büro	239	Blendskala, UGR-Verfahren	43
Beratungsbereiche	313	Blendung, Altenheim	306
Bereich der Sehaufgabe	28, 488	Blendung, Büro	242
Bereich der Sehaufgabe,		Blendung, Parkgarage	341
Ausbildungsstätten	325	Blendungsbegrenzung	42, 251, 262, 264, 305
Bereich der Sehaufgabe, Büro	240	Blendungsbewertung, UGR	43
Bereich der Sehaufgabe, Gesundheitswesen	277	Blindleistung	401
Bereich der Sehaufgabe, Industrie	203	Blindleistungskompensation	410
Bereich des Arbeitsplatzes	29, 209	Blindstrom	401
Bereiche der Sehaufgabe, Beispiele für	205	Blue Light Hazard, Photoretinitis	379
Bereiche, fensternah und fensterfern	136,	Bluetooth	506
	231, 491	BMS, Gebäudemanagement	508
Bereitschaftsschaltung, Notbeleuchtung	456	Boxen	265
Besprechung	239	Brandlasten	419
Besprechungstisch	240	Brandrisiko	440
Beständigkeit, Kunststoffe	396	Brandschutzhauben	418
Bestandsschutz	185	Brandschutzkennzeichnung	391, 416
Beton	213	Brandverhalten	416
Betriebsbedingungen	396	Brauereien	215
Betriebsbedingungen, genormte	361	BRC Global Standard Food	447
Betriebsfrequenz, EVG	409	BREEAM, Zertifizierungssystem	159
Betriebsgeräte für LED-Leuchten	403	Broadcast-Betrieb, DALI	497
Betriebsstätten, feuergefährdete	440	Büchereien	314, 317
Betriebsstromregulierung, LED	407	Büro	224, 247
Betriebszeit	146, 330	Büro, CAD-Büros	228
Betriebszustand	179	Büro, CAD-Büros, Planungswerte	228
Bettzimmer	278, 297	Bussysteme	509
Bewegungsflächen	340		
Bewegungsmelder	482	C	
Bewertungsfeld	181	CAD-Arbeitsplätze	247
Bewertungsflächen, Sportstätten	253	CAD-Büros, Planungswerte	228
Bewertungsraster	178	CASBEE-Zertifizierung	163
Bildgebende Diagnostik	298	CDP-Conical Declaring Prism	374
Bildschirmarbeitsplatz	88		

CELMA	410	DALI-Wiederholrate	505
CEN	24, 25, 27	Datenformat, BIM	173
CEN-Code	366	Datenformate, lichttechnische	165, 360
CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique)	382	Daten-PlugIn, Lichtplanungs-Software	169
CEN-Staaten	25	Dauerschaltung, Notbeleuchtung	456
CE-Zeichen	89, 394	Degradation	88
Chemische Einflüsse	431	Degradation, LED-Leuchten	65, 523, 524
Chemische Industrie	214	Dekorieren	215
Chemische Reinigung	216	DGNB-Zertifizierung	157
chlorhaltige Atmosphäre	433	DIALux, Planungs-Software	169
Chronobiologie	91, 326	Dienstleistung nach dem Verkauf	356
Chronotyp	98	Dienstleistung vor dem Verkauf	352
CIBSE	27	Differenzmessung	179
CIBSE, Wirkungsgradverfahren	365	Dimm-EVG	409
CIE	27	Dimmung, LED	407
CIE 040-1978	366	DIN 4102-2	419
CIE-Verfahren, Wirkungsgradverfahren	365	DIN 5040	365
circadianer Rhythmus	91, 92, 96, 98, 304, 308, 326	DIN EN 12464-1	25
circadianer Rhythmus, Unterstützung	479	DIN/TS 5031-100:2021-11	93, 370
circadianer Verlauf	100	DIN/TS 67600:2022	95
CLO, Constant Light Output	65, 527	DIN V 18599	141, 330, 482
Cloud-Services	508	DIN VDE 0100	350, 382
CO ₂ -Fußabdruck	131	Direktbeleuchtung	235
ConVision®-Technologie	374	Direktblendung	42
Coworking, Büro	225	Direkt-/Indirektbeleuchtung	236
CRF-Wert	50, 183	DMX-Schnittstelle	495
		3DS-Format	166
		Druckereien	219
		Durchgangsverdrahtung	389
		Duschen	442
		DWG-Format	166
		dynamische Beleuchtung	479
D			
D4i-Standard	508	E	
DALI, adressierter Betrieb	498	1...10 V Schnittstelle	493
DALI, Broadcast-Betrieb	497	EAR-Register	154
DALI (Digital Addressable Lighting Interface)	408, 496	effektive Betriebszeit	146
		ehlerstrom-Schutzschalter	446
DALI, DT8	500	Einbaugehäuse	386
DALI Erweiterung mit Repeatern	502	Einbaumontage	417
DALI-II-Standard	485, 500	Einbauvolumen	386
DALI-Inbetriebnahme	502	Einfahrtzonen	340
DALI-Initialisierung	502	Eingangsbereiche	486
DALI-Logo	497	Eingangshallen	312, 315
DALI-Monitoring	504, 511	Eingangshallen, öffentliche	312
DALI-Parameter	502	Einsatzzentrale	347
DALI-Programmiergerät	503	Einschaltstrom	404
DALI-Repeater	502		
DALI-Steuerstrom	501		
DALI-Szenensteuerung	500		

Einschaltstrom-Begrenzung	406	ErP-Richtlinie, Energy-related Products	481
Einsparpotential	134	Errichtungsvorschriften	350, 382
Einsparpotentiale	126, 142, 149, 480	Ersatzbeleuchtung	187
Eissporthalle	266	Erste-Hilfe-Räume	197
elektrischer Anschluss	387	Erwachsenenbildung	329
ElektroG	152	ESD, electro static discharge	354, 384, 402, 423
Elektroindustrie	214	EU-Normen	25
Elektrolumineszenz	514, 515	EU-Richtlinie 2010/31/EU,	
Elektromagnetische Sicherheit	420	Gebäude-Energieeffizienz	137
elektromagnetische Strahlung	106	EU-Richtlinien zum Arbeitsschutz	84
Elektromagnetische Verträglichkeit,		Europäische Normen, Harmonisierung	26
Gesundheitswesen	293	Europäische Normen	
elektronische Vorschaltgeräte (EVG)	409	zur künstlichen Beleuchtung	25
elektrostatische Entladungen	354, 423	EVG	409
elektrostatischer Entladungen	384	Explosionsschutz	441
eloxiertes Aluminium	375		
EML: Equivalent Melanopic Lux	161	F	
Empfangsbereiche	291	Fachgeschäfte	320
Empfangsbereiche, Gesundheitswesen	291	Fading Time (DALI)	504
EMV	420, 451	Fahrbänder	199
EMV-Zeichen	394	Fahrradständer	333
EN 12193	250, 269	Fahrwege	340
EN 12464-1	25, 85	Farbaspekte	54
EN 13032-1	360	Farbbezeichnung	56
EN 13032-2	366	Farbkontrolle	215
EN 60598	412	Farbtemperatur	54, 326, 520
ENEC-Zeichen	89, 391, 392	Farbwahrnehmung	212
ENEC-Zertifizierung	381	Farbwiedergabe	54, 55, 521
Energieausweis	139	Farbwiedergabe, LED	516
Energiebedarf	136, 146	Fehlerfall des Vorschaltgerätes	416, 442
Energiebedarf, Beispiele	140, 148	Fehlerstromschutzschalter	406, 413
Energieeffizienz	139	Fehlerstrom-Schutzschalter	444, 446
Energieeffizienz (Verkaufsräume)	322	Feinprismen	374
Energieeinsparung	122, 263, 479	fensternahe Bereiche	136, 231, 491
Energieeinsparungen	249	Fernfeldmessung der Lichtstärkeverteilung	377
Energiekosteneinsparungen	112	Fernsehaufnahmen	250, 255, 265
Energiepass	138	Fernwartung, Lichtmanagement	482
Energy Monitoring	508	Festsäle	345
Energy-related Products	125	Feuchteschutz	414
EnEV, Energieeinsparverordnung	138, 481	Feuerbeständigkeit	418
EN ISO 9241	238	Feuergefährdete Betriebsstätten	440
Entbindungsräume	299	Feuerwehrrhäuser	345
Entflammbarkeit	416	Feuerwiderstandsklasse	419
Entsorgung	152	Filmaufnahmen	250, 255
EPBD-Richtlinie (Energy Performance		FI-Schalter	406, 413, 444, 446
of Buildings Directive)	137, 481	Flaschenlager	346
Ergonomische Anforderungen, Büro	237	Fleischerzeugnisse	322
ErP-Richtlinie	125		

Flicker	421, 423	Greifraum	87
Flickerfaktor	57, 257	Grenzleuchtdichten für Leuchten	244
Flickerindex	57	Großraumbüro	89, 135, 147, 150, 231
Fliesen	213	Grundsätze der Beleuchtung	276
Flimmerfreiheit	256	Gruppenbüro, Büro	231
Flimmern	25, 56, 407, 493, 517	GS-Zeichen	393
Floatglas	373	Gummi-Industrie	214
Flughäfen	335, 337		
Flure	89, 147, 196, 199, 307, 312, 329		
Flure, Gesundheitswesen	129, 291	H	
Flure, Hotels	316	HACCP-System (Hazard Analysis Critical	
Footprint, CO2-Fußabdruck	131	Control Point)	212, 447
Fördereinrichtungen	346	halbautomatischen Schaltfunktion	483
Fremdkörperschutz	414	halbzylindrische Beleuchtungsstärke	53, 241
Fremdlicht	178	Hallen	210
Fresnel-Gläser	373	halogenfreie Leitungen	418
Friseure	216	Haltezeit, Lichtmanagement	483
Frühhausfälle	386	Hammerprüfung	429
Funkgeräterichtlinie	421	Handy-Test	409
Funkschnittstellen	506	harmonisierte Normen	383, 384, 412, 421
Fusionsreize	50	Harmonisierung europäischer Normen	26
		Harmonisierung internationaler Normen	27
		HCL, Human Centric Lighting	90, 158, 225, 479
		Helligkeitsunterschiede	310
		Hintergrundbeleuchtung	32, 37, 481
		Hintergrundbereich	32, 37
		Hochfrequenz- (HF-) Sensoren	485
		hochtransparent, optische Materialien	370
		Hohe Beleuchtungsstärke	209
		Holzbearbeitung	223
		Homeoffice	226
		horizontale Bewertungsebene	283
		horizontalen Bewertungsebenen	240
		Horizontale Sehaufgaben	50, 183
		Hörsäle	327
		Hotels	313, 316
		HQE, Zertifizierung	162
		Human Centric Lighting	90, 100
		100-Hz-Flimmern	57, 407, 493
		Hüttenwerke	220
		Hygiene im Krankenhaus	293
		I	
		IEC 62717	524
		IEC 62722	524
		IES-Format	165
		IFC-Format	173
G			
Ganglienzelle	90		
Ganglienzellen	93, 97, 98, 305		
Garderoben	200, 312, 315		
Gasentladung	514		
Gaststätten	316		
Gateways, Gebäudemanagement	509		
Gebäudemanagement, BMS	508		
Gebäude-Zertifizierung	156		
Gebrauchslage	361, 381, 384, 386, 414		
GEG, Gebäude-Energie-Gesetz	138, 481		
Genussmittelindustrie	212, 215		
Gesichtsfeld	32, 38, 209, 244, 282, 308, 370, 379		
Gesundheitsförderung	105, 479		
Gesundheitsschutz	85		
Gesundheitswesen	275		
Gewächshäuser	344		
Gießerei und Metallguss	215		
Glas und Glaswaren	213		
GLDF-Format	166, 169, 173		
Gleichmäßigkeit	374		
Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke	37		
Gleichmäßigkeit, Empfehlungen	40		
Glühdrahtfestigkeit	419		
Goniophotometer	360, 377		

IFS (International Food Standard)	447	Kontextmodifikatoren	34, 88
IK-Code	430	Kontrast	34, 38, 42, 50, 182, 237
Indirektbeleuchtung	235	Kontrast, Bildschirmarbeit	228, 237
Individualisierung		Kontrast, Parkbauten	341
durch Lichtmanagement	161, 477	Kontrast, Sehen im Alter	304
Indoor-Positioning	388	Kontrast, Sport	252
Infrarotstrahlung IR	378	Kontrastwiedergabe, CRF	50, 183
Infrarotstrahlung IR	484	Kontrast, zahntechnisches Labor	290
Infrastruktur	388	Kontrolle von Gläsern	215
Innenraumleuchten	385	Kontrollräume	198, 200
innere Uhr	96	Konzerthallen	316
Intensivmedizin, Räume der	284	Korrosion	264, 432, 433
Intensivstation	300	Kostenberechnung	119
Inverkehrbringen	392, 412	Kosten der Beleuchtung	111
IP-Code, Schutzarten	414	Kraftwerke	219
IR-Gefährdung	378	Krankenhäuser	296
ISO 8995-1	27	Kriterien der Beleuchtung	25, 236
ISO 9000..	357	Kühlräume	198, 201
ISO 9001	357	Kunststoffindustrie	214
Ist-Wert, Beleuchtungssteuerung	487	KVG	409

J

Jalousien	232
-----------	-----

K

Kantinen	200
Kassen	313, 315
Kennzeichnung	386
Keramik	213
Kindergärten	324, 328, 333
Klassenräume	89
Klemmen, Anschluss-	387
Klemmen (elektrischer Anschluss)	384
Klimaschutz	125
Klimatisierung	435
KNX	509
Kombibüro	231
Kompensation	409
Kompensation, Blindleistung	155, 389, 410, 411
Kompensationskondensator	410
Kondensatoren, Entsorgung (PCB)	155
Konferenzräume	247, 316
Konstantlichtregelung	145, 479
Konstantlichtstrom-Regelung, CLO	65, 527
Konstantspannungsquellen	403
Konstantstromquellen	403

L

Lx, Bemessungslebensdauer	64, 354, 523
Laboratorien	215, 291, 300
Laboratorien, zahntechnische	290
Ladebereich	201
Laderampen	199
Lager	201
Lagerräume	198, 346
Lagerregale	201
laminare Luftströmung	448
Lampen	514
Lampenlichtausbeute	519
Lampenlichtstrom	363
Lampenwartungsfaktor, LED-Leuchte	64, 524, 528
Landwirtschaft	343, 346
Landwirtschaftliche Betriebsstätten	446
Laser im OP	288
LDT-Format	165
Lebensdauer (LED), Bemessungs-	524
Lebensdauer, LED-Leuchten	523
Lebensmittel	322
Lebensmittelindustrie	212, 447
LED	514
LED, Ausfallrate	527
LED-Ersatzleuchtmittel	123

Leder und Lederwaren	217	Lichtmanagement	100, 114, 119, 134, 161, 167, 177, 476
LED-Leuchten, Degradation	523	Lichtrechner	169
LED-Leuchten, Lebensdauer	523	Lichtrichtung	52
LED-Leuchten, Lichtausbeute	519	Lichtschutz	107
LED-Leuchten, Qualitätskriterien	402	Licht-Sensor, Positionierung	488
LED-Leuchten, Schaltunempfindlichkeit	116, 137, 478	Lichtstärkeverteilung	359
LED, Lichtfarbe	516	Lichtstärkeverteilung, Messung	377
LED-Retrofit-Lampen	392, 409, 410, 517, 523	Lichtstromdegradation	402
LEED-Zertifizierungsverfahren	160, 478	Lichtszenensteuerung	477
Lehrerzimmer	334	Lichttechniker	164
Leichenhallen	301	Lichttechnische Anforderungen, Sportstätten	268
Leistungsaufnahme, Messung	401, 479	lichttechnische Eigenschaften, Messung	377
Leistungsfaktor	389, 400, 408, 410, 479	lichttechnisches System	376
Leistungs-Lebensdauer-Faktor, PLF	528	Lifte	199
Leitungsquerschnitt	389, 401	Light-Emitting Diodes	515
Leitungsschutzschalter	401, 405, 446	Light Engine	516
Lesebeleuchtung	278	Light Monitoring	508
Lesetätigkeit	239, 240	Linsen	371
Leuchtdichtebegrenzung	51	Linsensysteme	374
Leuchtdichtegrenzwerte	244	LiTG	27
Leuchtdichte, Messung der	182	LiTG-Verfahren, Wirkungsgradverfahren	365
Leuchtdichte Verteilung	369	LLMF, Lamp Lifetime Maintenance Factor	62, 88
Leuchtdichte Verteilung, Büro	244	Logistik	201
Leuchtdichte Verteilung, Industrie	209	LOR	369
Leuchtdichte von Leuchten	184	LTG	27
Leuchtdichte von Oberflächen	39		
Leuchtenauswahltabelle	460		
Leuchtenbetriebswirkungsgrad	79, 127, 362		
Leuchtenbetriebswirkungsgrad, LED	519	M	
Leuchtendaten, geometrische	172	MacAdam-Ellipsen	520
Leuchten, Einteilung von	358	magnetische Auslösung	405
Leuchten für Kinderzimmer	381	manuelles Einschalten, Lichtmanagement	483
Leuchten, Lichtstrom-Klassifizierung	364	Masterleuchte	482, 488
Leuchten, Montage	384	Maximum und Minimum Level (DALI)	504
Leuchtenwartungsfaktor	78	MDER, melanopic daylight efficacy ratio	94
Leuchtmittel	514	MEDI, Anwendung	101
Leuchtmittel, effiziente	127	MEDI, melanopic equivalent daylight illuminance	94
Leuchtstofflampe	123	Medizinisch genutzte Räume	449
Lichtausbeute	129, 514, 519	Mehrfachreflexion	371
Lichtausbeute, LED-Leuchten	519	melanopischen Wirksamkeit	90
Lichtbandlänge	390	melanopischer Wirkungsfaktor	93, 371
Lichtbedarf	95	melanopische Wirksamkeit	304, 369
Lichtbedarf, höherer	36	Melanopische Wirksamkeit	308
Lichtberechnung	165	melanopische Wirkspektren	96, 102
Lichtfarbe	54, 520, 522	melanopische Wirkung	91, 234, 237, 326, 328
Lichtfarbe, LED	516	melanopische Wirkungsfunktion Smel	92
Lichtlenkung	370		

Melanopsin	90, 93	nichtvisuelle Lichtwirkung	93
Melatonin	98, 104	Nichtwohngebäude	139
Mesh-Netzwerke	506	Niederspannungsrichtlinie	412
Messeebene	181	Normenkonformitätszeichen	394
Messen	316	Normspannung	395
Messgeräteklasse	179	Normung	25
Messprotokoll	184	Notbeleuchtung	186
Messpunkte	178, 181	Notbeleuchtung, Messung der	184
Messraster	180	Notbeleuchtungsanlagen	452
Messung der Beleuchtung	88, 177	Notbeleuchtung, Sportstätten	254
Messung der Beleuchtung, Sportstätten	253	Notlicht	388
Messung der Leistungsaufnahme	401, 479	Notstromversorgung	186
Messung von Leuchtdichten	184	NSvV	27
Metallbe- und -verarbeitung	218	Null-Fehler-Strategie	358
Metzgereien	215	Nutzebene	360
Mikroinvasive Chirurgie	287	Nutzerprofile	113, 146, 331
Mindestabschirmwinkel	49	Nutzungsänderung	185
Mindestwerte	177	Nutzungszone	146
MINERGIE, Zertifizierung	158		
mittlere Bemessungslebensdauer (LED)	524	O	
Möbelfunktionsflächen	239	Obduktionsräume	291, 301
Möbelleuchten	417	Oberflächenleuchtdichte	369
Modelling	52, 149	Oberflächentemperatur	418, 440, 442
Modulationstiefe	58	Oberflächenvergütung	375
Molkereien	215	Oberschwingungsströme	421, 423
Monitoring, Lichtmanagement	482	öffentlichen Bereichen	312
Monitoring, mit DALI	504, 511	Offset-Regelung	488, 492
monochromatische Strahlung, LED	519	Ohrenärztliche Untersuchungsräume	298
Montage von Leuchten	384	Ökodesign-Anforderungen	123, 129
Mühlen	215	Ökodesign-Richtlinie	125, 481
Museen	314, 317	Ökologie	122
		OLED	518
N		Operationsbereich	299
Nachhaltigkeit	156	Operationsfeldbeleuchtung	286
Nachtbeleuchtung	297	Operationsräume	285
Nadelbrennerprüfung	418	Optikentwicklung	376
Nahfeldmessung der Lichtstärkeverteilung	377	optische Materialien	370
Nahrungsmittelindustrie	212, 215	optisches System	376
NBN L, Wirkungsgradverfahren	365	optische Strahlung	106, 109
NB, Wirkungsgradverfahren	365	Orientierungsbeleuchtung	280
Nennfrequenz	391		
Netzhautgefährdung	378	P	
Netzschalter	406	Papier und Papierwaren	218
Netzspannung	395	Parkbauten	339, 342, 374
Netzstromüberschwingungen	423	Passiv-Infrarot (PIR) Sensoren	484
Neutralleiterunterbrechung	398	Patientenbereiche	291
Neuwert	33, 62, 253		

Pausenräume	197, 200	Qualitätsmanagement	357
PCB, polychlorierte Biphenyle	155	Quecksilber	123
Personalräume	296		
Personalräume, Gesundheitswesen	292		
Pflegeheim	302, 311	R	
Phasenanschnitt und Phasenabschnitt	493	Ra-Wert	55
Phasenlage im Einschaltmoment	405	RUGL-Grenzwerte, Überprüfung der	183
Phasenverschiebung (Wechselstrom)	400	RUGL-Referenzwerte	48
Photobiologische Sicherheit	49, 378	RAL 9016, Verkehrsweiß	375
Pigmentstoffe	371	Raumarten, Büro	231
Planckscher Strahler	54, 521	raumbezogene Beleuchtung, Büro	233, 246
Planung	341	Räume der Intensivmedizin	284
Planung der Beleuchtung	164	Raumeigenschaften	128
Planung, Parkbauten	341	Raumindex	128, 365
Planungshilfen	352	Raumluft, Partikel	448
Planungshilfen, Beispiel	353	Raumtiefe	491
Planung, Sportstätten	267	Raumwartungsfaktor	79
Planungssicherheit	353	Raumwinkel	42, 183, 360, 367, 484
Planungs-Software	169	Raumwirkungsgrad	64, 79, 143, 364
Planungsverfahren	165, 166	RCD	406, 413, 442, 444, 446
Planungswerte, Büro	246	Referenztechnologie	140
Planungswerte, CAD-Büros	228	Referenz-Wartungsfaktoren	63, 211, 295
Planungswerte, Sportstätten	250	Referenzwertverfahren	139, 148
Planung, überschlägig	168	reflektierend, optische Materialien	370
Planung, Verkaufsraum	321	Reflexblendung	50, 183
PLF, Leistungs-Lebensdauer-Faktor	528	Reflexblendung am Bildschirm	51
PLF, Power Lifetime Factor	66	Reflexion, Lichtlenkung	374
Polycarbonat (PC)	372, 432	Reflexionseigenschaften, Sportstätten	252
Polymethylmethacrylat (PMMA)	206, 372, 432	Reflexionsgrad	183
Positionierung des Licht-Sensors	488	Reflexionsgrade im OP	285
Power on Level (DALI)	505	Reflexionsgrade von Oberflächen	39
Primärenergiebedarf	141	refraktierend (lichtbrechenden), optische Materialien	370
Primärenergiefaktor	139	Regalflächen, Lesetätigkeit	239, 240
Prismen-Abdeckungen	373	Regallager	484
Produkthaftung	392	Regelwerke der Beleuchtung	275
Produktinformationen	355	Reihenschaltung (LED)	387, 403
Produktsicherheit	392	Reinräume	448
Protokollierung einer Messung	178	Relux, Planungs-Software	169
Prüfstellen	392	Repeater	496
Prüfung, Notbeleuchtung	456	Repeater, DALI	502
Pulsweitenmodulation (PWM)	57, 407, 517	Restaurants	313, 316
Push-Dim	494	Retrofit	123
PWM	57, 407	Retrofit-Lampen	392, 409, 410, 517, 523
		Rettungswege	186, 188, 451
Q		Rettungszeichen-Leuchte	184, 189
QS-Zertifikate	358	RFA-Format	166, 173
Qualitätskriterien, LED-Leuchten	402	RGB-Mischung	516

Risikogruppen (RG)	378	Sicherheitsbeleuchtung, besondere Gefährdung	190
RoHS	125, 152	Sicherheitsbeleuchtung in Sportstätten	189
RoHS-Richtlinie	515	Sicherheitszeichen	392
RoHS-Sondergenehmigung	123	Sichtverbindung nach außen	59
ROLF-Format	166	Silber, reflexionsverstärkend beschichtet	376
Rolltreppen	199	Silikatglas	373
		SLG	27
		SLL	27
S		Snooker	266
SAD	92, 99, 108	Soll-Wert, Beleuchtungssteuerung	487
Sanierung	157, 263	Sonderschulen	329
Sanierungsbeispiel, Ausbildungsstätte	330	Spannungsfall	389
Sanierungsbeispiele	113	Spannungsschwankungen	423
Sanitär-Räume	197	spektrale Verteilung	101
Sanitätsräume	200	Spektrum einer Glühlampe	515
Schalterbereiche	313, 315	Spektrum elektromagnetischer Strahlung	107, 515
Schaltunempfindlichkeit		Speziallichtfarben	322, 344
von LED-Leuchten	116, 137, 478	Splitterschutz	448
Schaltungsarten, Notbeleuchtung	456	Sporthallen	89, 257, 334
Schaltungsarten von LED	403	Sporthallenleuchten	430
Schattigkeit	53	Sportliche Aktivitäten	200
Scheinleistung	401	Sportstätten	250
Schichtarbeit	98, 105	Squashhallen	261
Schlachthöfe	215	Stabilität, mechanische	429
Schlagprüfung	429	Stahlwerke	220
Schleierleuchtdichte	304, 306	Ställe	346
Schleierreflexion	42, 50	Standby-Betrieb	401, 481
Schmuckherstellung	216	Standby-Leistung	409
Schnittstellen	387, 408, 492	Starter	409
Schrankflächen, Lesetätigkeit	239, 240	Steckverbindingssysteme	387
Schulen	324, 334	Sterilräume	301
Schulungsräume	347	Steuergerät, in Leuchte integriert	481
Schutzart	211, 295, 385, 391, 414	Steuerleitungen	387, 495
Schutzklasse	391, 413	Steuer-Schnittstellen	492
Schutzklasse III	403	Steuerstrom (1...10 V Schnittstelle)	493
Schutzkleinspannung (SELV)	403, 414, 443, 444, 494, 501	Steuerstrom, DALI	501
Schwimmbäder	262, 433	Störaussendungen	420
Sehaufgaben, Büro	240	Störfeldstärke	422
Sehaufgaben, horizontale	50	Störfestigkeit	420, 423
Sehbedingungen, besondere	35	Störspannung	422
Sehkomfort	479	Strahlungswirkungen	106
Seniorenheim	311	Straßenbahnen	337
Sensoren, in Leuchte integriert	481	Stroboscopic Visibility Measure (SVM)	58
Sensorik	479, 483	stroboskopische Effekte	56, 407, 518
Shops	320	Strompreis	113, 480
Short-Term-Light-Modulation	58	Strom-Spannungs-Kennlinie, LED	407
Sicherheitsbeleuchtung	188, 451		

Stromspannungskennlinien	404	U	
Stromverbrauch	110	U-Bahn	337
Supermärkte	319	Übersichtsbeleuchtung	279
Synchronisation der inneren Uhr	97	Übersichtsbeleuchtung, Gesundheitswesen	284
System Failure Level (DALI)	504	Überspannungsfestigkeit, Betriebsgeräte	398
Systemlichtausbeute	519	Überspannungsschutz	397
		UF (utilisation factor)	366
		UGR-Blendziffer	370
		UGR-Formel	42
		UGR-Tabellen	44
		UGR-Tabellen, Anwendung	47
		UGR-Tabellenmethode	43
		UGR-Verfahren	42, 43
		Ulbrichtsche Kugel	363, 377
		ULD-Format	166
		ULOR	369
		Umgebungsbedingungen, besondere	431
		Umgebungsbereich	32
		Umgebungsbereiche, Büro	239
		Umgebungstemperatur	396
		Umgebungstemperatur tq	403
		Umkleideräume	316, 347
		Umschaltzeiten, Sicherheitsbeleuchtung	451
		Umwelt	122
		Untersuchungen	297
		Untersuchungsbeleuchtung	279
		Untersuchungsräume	89, 281, 296, 302
		UTE, Wirkungsgradverfahren	365
		UV-Gefährdung	378
		UV-Strahlung	418
		V	
		VDE-Zeichen	89, 391, 392
		Vergilbung	372, 375
		Verkaufsräume	318, 323
		Verkehrsflächen	199
		Verkehrswege	312
		Verkehrszonen	196
		Vernetzung, Lichtmanagement	482
		vertikale Beleuchtungsstärke	103
		Viehställe	346
		virtueller Spaziergang	172
		Visualisierung	171
		visuelle Atmosphäre, Büro	233
T			
T14-Format	165		
Tabellenverfahren	142		
Tageslicht 58, 105, 231, 234, 237, 326, 328			
tageslichtabhängige Regelung	486		
Tageslichtanteil	179		
Tageslichtnutzung	134, 145		
Tageslichtnutzung, Beispiel	137, 150		
Tageslichtquotient	135, 491		
Tageslichtquotienten	134		
Tageslichtversorgung	488, 491		
Tagesverlauf	101		
Tag-Nacht-Rhythmus	90		
Teeküchen	200		
Teilflächen-Beleuchtung	87		
teilflächenbezogene Beleuchtung, Büro	234, 246		
Temperatur, Bewertungsflächen	418		
Temperaturstrahler	514		
Tennishallen	260		
Textilherstellung und -verarbeitung	221		
Theater	316		
Thermische Sicherheit	416		
Thermomanagement	66, 402, 525		
Tiefgaragen	486		
Tischtennis	264		
Toiletten	200		
Total Profit of Ownership, TPO	112, 121		
Totalreflexion	370		
Touch-Dim	494		
Transluzenz	371		
Transmission	371		
Treppen	199		
Treppen, Gesundheitswesen	291		
Typenschild	391		

visuelle Kommunikation	290	Z	
vollautomatischen Schaltfunktion	483	Zahnärztliche Behandlungsräume	300
Vorbereitungs- und Aufwachräume (Operationsnebenräume)	289	Zahntechnische Laboratorien	290, 301
Vordach	199	Zeichensäle	334
Vorratsräume	346	Zellenbüro, Büro	231
Vorschulen	328	Zement, Zementwaren	213
		Zertifikate (QS)	358
		Zertifizierung (ENEC)	381
		Zertifizierung (Leuchten)	447
		Zertifizierung (Leuchten für Reinräume)	448
		Zertifizierungssysteme (Gebäude)	156
		Ziegel	213
		Zigarren, Herstellung	215
		Zigbee	506
		Zone 0...22, Explosionsschutz	441
		Zuleitung, elektrische	387
		Zusatzbeleuchtung	327
		Zweckleuchten	389
		zylindrische Beleuchtungsstärke	52, 229, 241, 306
W			
Waermedämmung	386		
Walzwerke	220		
Wandtafel	327		
Wannenmaterialien	371		
Warenpräsentation	321		
Wärmeabführung	385		
Wärmeisolierung, aufliegend	417		
Warteräume	296, 302, 313, 315		
Wartungsfaktor	33, 62, 145, 210, 253, 326		
Wartungsfaktor, Büro	241		
Wartungsfaktor, Gesundheitswesen	295		
Wartungsintervall	79, 82, 253		
Wartungswert	33, 62, 145		
Wäschereie	216		
Waschhallen	347		
Waschräume	200		
wechselnde Beleuchtungsaufgaben	478		
Weinwirtschaft	343, 346		
WG	409		
Wiedereinschaltverhalten	482		
Wiederholrate, DALI-Befehle	505		
Wirkleistung	401		
Wirkstrom	401		
Wirkungsgradformel	365		
Wirkungsgradverfahren	143, 168		
Wirkungsspektrum	93		
Wirtschaftlichkeit	111, 329, 480		
Wirtschaftlichkeit, Gesundheitswesen	295		
Wirtschaftlichkeitsberechnung	119		
Wöchnerinnenzimmer	278		
Wohlbefinden	90, 99		
Wohnbereiche	345		

TRILUX GmbH & Co. KG

Heidestraße 4 · D-59759 Arnsberg

Postfach 1960 · D-59753 Arnsberg

Tel. +49 2932 301-0

info@trilux.de · www.trilux.com

TRILUX Akademie der TRILUX Vertrieb GmbH

Heidestraße 4 · D-59759 Arnsberg

Tel. +49 2932 301-9596

akademie@trilux.com

