



TRILUX

LED-Technologie und Retrofit

Hintergrund



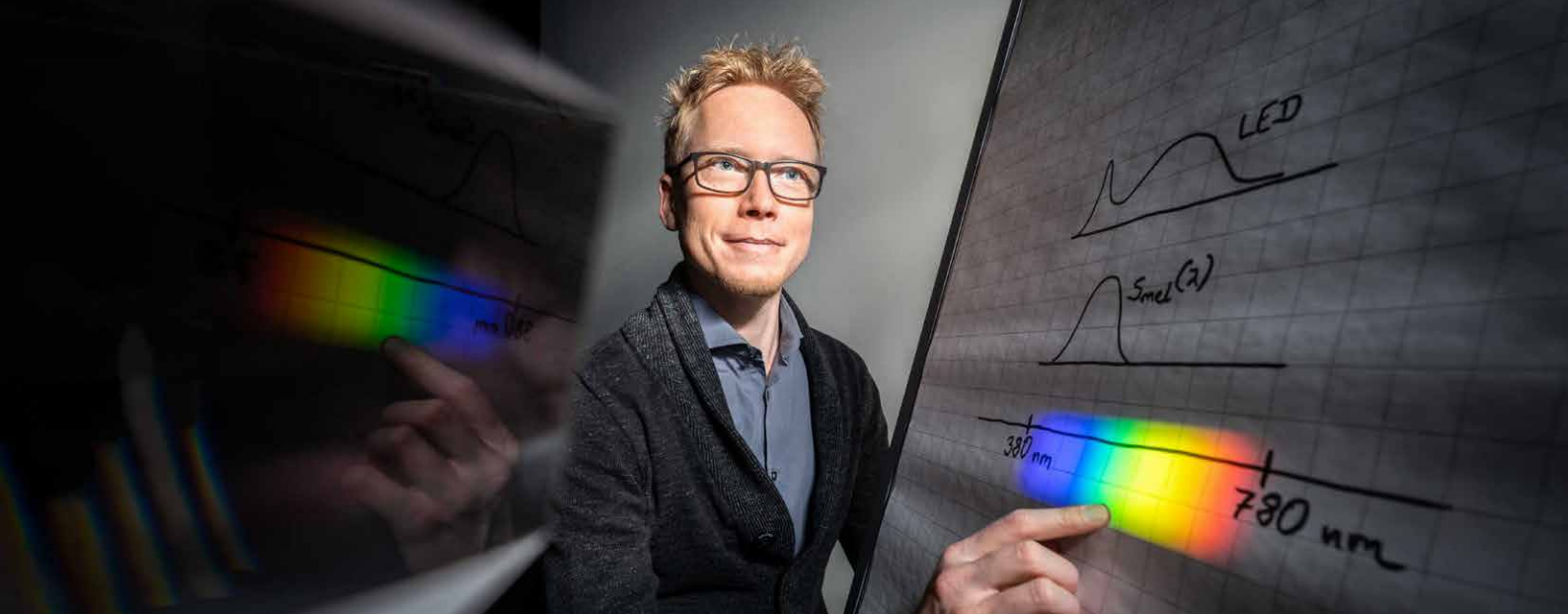
Was Sie über das Lampenverbot, Retrofit-Lampen und den Wechsel zur LED-Technologie wissen sollten

Seit Jahrzehnten haben sich quecksilberhaltige Leuchtstofflampen mit hohen Lichtausbeuten zu Standardprodukten für die Beleuchtung von Arbeitsstätten etabliert. Deshalb bestanden für quecksilberhaltige Entladungslampen bis vor Kurzem Ausnahmeregelungen zu dem generellen Verbot der Verwendung von Quecksilber in Produkten, das in Europa im Jahr 2011 mit der zweiten Auflage der RoHS-Richtlinie erlassen wurde.

Mit der Marktreife weißer LED-Lichtquellen – ca. seit dem Jahr 2013 – hat sich die Situation grundlegend geändert. Heute stehen für nahezu alle Beleuchtungsaufgaben technisch ausgereifte und wirtschaftliche LED-Lösungen bereit. Ihr Energiebedarf im Vergleich zur Leuchtstofflampe ist in vielen Fällen um mehr als die Hälfte geringer.

Deshalb haben die europäischen Gesetzgeber im Februar 2022 beschlossen, die Sondergenehmigungen für den Gebrauch von Quecksilber in Entladungslampen schrittweise aufzuheben. Insbesondere dürfen Kompakt-Leuchtstofflampen seit dem 25.02.2023 und stabförmige Leuchtstofflampen seit dem 25.08.2023 in Europa nicht mehr in Verkehr gebracht, also nicht mehr für die Weitergabe produziert oder importiert werden.

Dies hat zur Folge, dass diese Lampen nach dem Abverkauf von den Lagern nicht mehr am Markt verfügbar sind bzw. sein werden. Der Ersatz der bisher verwendeten Leuchtmittel durch identische Technologie ist spätestens dann nicht mehr möglich. Es ist also Zeit, sich Gedanken über den Technologiewechsel zu machen.



1. LED-Umrüstung durch Lampentausch – eine Gleichung mit vielen Unbekannten

Unter einer Retrofit-Lampe versteht man eine Austausch-Lampe auf Basis einer modernen Technologie, die im einfachen Austausch in Bestandsleuchten betrieben werden kann. In heutiger Zeit ist damit i.d.R. der Wechsel von herkömmlichen Leuchtmitteln auf die LED-Technologie gemeint. Ist ein Eingriff in den elektrischen Aufbau der Leuchte (z. B. Deaktivierung des Vorschaltgerätes) für den Betrieb der Austausch-Lampe vorzunehmen, so spricht man nicht mehr von einer Retrofit-, sondern einer Konversions-Lampe. In beiden Fällen wird statt der Leuchten das Leuchtmittel ausgetauscht.

Das Ziel von Retrofitlösungen ist es, die Vorteile einer modernen Technologie zum Einsatz zu bringen, ohne die bestehende Beleuchtungsanlage grundsätzlich umbauen zu müssen.

Was in der Theorie so einfach und überzeugend klingt, erweist sich in der Praxis aber häufig als komplex. Der Einsatz von Retrofit- und Konversions-Lampen in technisch und konstruktiv sehr heterogenen Leuchten verschiedenster Hersteller wirft im Detail viele Fragen auf. Diese beziehen sich insbesondere auf

- die elektrische Sicherheit, Produkthaftung und Gewährleistung
- Lichtqualität und Nutzung
- die Einhaltung von Normen und Vorschriften der Arbeitssicherheit.

Der Tausch von veralteten T5/T8-Leuchtstofflampen gegen LED-Austausch-Lampen verspricht auf der einen Seite schnell, einfach und relativ kostengünstig Einsparungen von Energiekosten, aber im professionellen Umfeld sind auf der anderen Seite umfangreiche Vorprüfungen erforderlich. Für den Einsatz in Gebäuden der öffentlichen Verwaltung wird in der Schrift „Beleuchtung, Hinweise für die Beleuchtung öffentlicher Gebäude“ (Stand Juli 2023) des Arbeitskreises Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV) explizit auf diesen Umstand hingewiesen.

Im Blick auf den tatsächlich verfügbaren Lichtstrom, seine räumliche Verteilung, die normativ geforderte Lichtqualität und die Lebensdauer der Leuchten und Leuchtmittel lässt sich erst nach der Umrüstung feststellen, ob und wie Lampe und Leuchte zusammen funktionieren. Viele Fehlfunktionen zeigen sich erst im längeren Betrieb.

Im Vergleich dazu punkten LED-Leuchten von Qualitätsherstellern mit werkseitig integrierten LED-Modulen mit perfekt aufeinander abgestimmten Einzelkomponenten und präzise vorhersehbaren Qualitäts- und Effizienzparametern.

Grundsätzlich sollte darüber hinaus auch die Gesamtwirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit in diesen Vergleich mit einbezogen werden.



1.1 Sicherheit und Gewährleistung

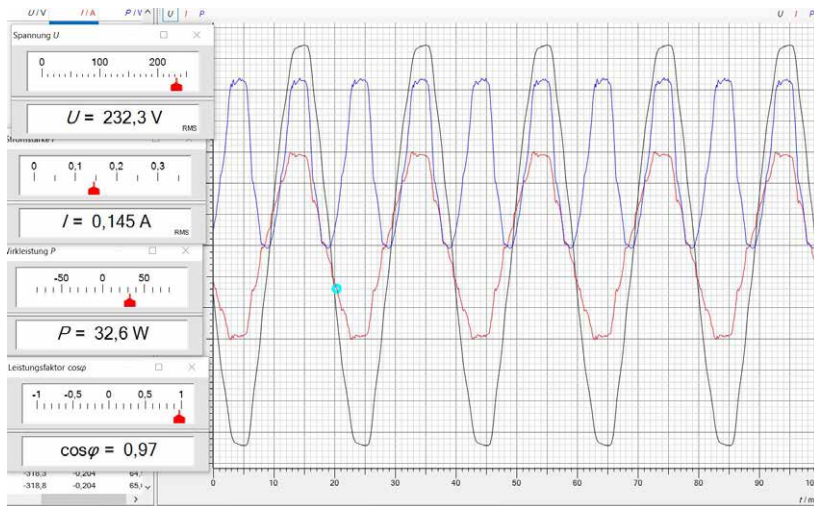
1.1.1 Retrofit

Vor dem Einsatz von LED-Retrofit-Lampen in Leuchten für Leuchtstofflampen ist zu beachten:

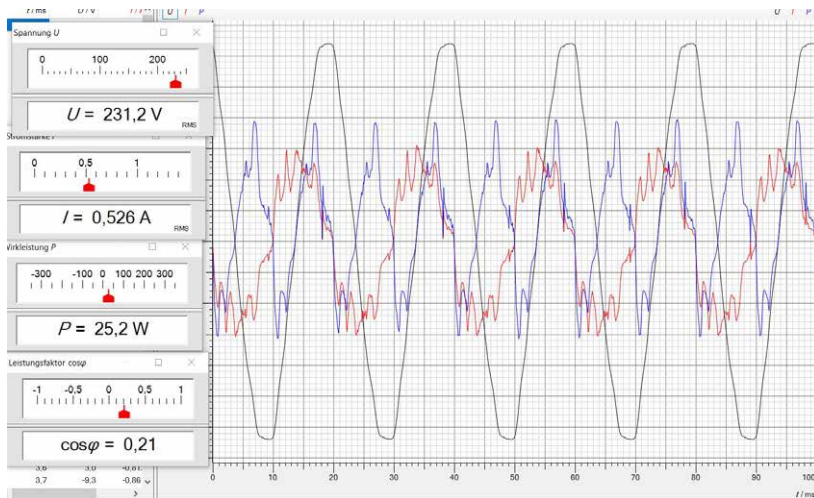
- Es erlöschen die Garantie und Produkthaftung durch den Leuchtenhersteller.
- Dies gilt auch, wenn die einzusetzenden LED-Retrofit-Lampen ein VDE-Zeichen tragen. Das VDE-Zeichen auf der Retrofit-Lampe besagt, dass die vorliegende Retrofit-Lampe durch den VDE gemäß der europäischen Norm DIN EN 62776:2015-12 (VDE 0715-16:2015-12) geprüft wurde und keine unmittelbare Gefahr von ihr ausgeht¹.
- Die Produkthaftung wird dabei an den Hersteller der Retrofit-Lampe übertragen.
- Für den Betrieb von LED-Retrofit-Lampen an EVG für Leuchtstofflampen (HF-Betrieb) ist zu beachten, dass eine Zulassung vom Retrofit-Hersteller – **unter Vorbehalt**² – nur für die in einer Kompatibilitätsliste der Retrofit-Lampe zugeordneten EVG-Typen erteilt wird. Vom Umrüster ist also mindestens sicherzustellen, dass in jeder Leuchte einer Beleuchtungsanlage nur die gelisteten EVG enthalten sind (siehe auch Abbildung 1 a). Der hohe Aufwand für diese Vorprüfungen ist einzukalkulieren.
- Für dimmbare Leuchten ist eine Umstellung auf LED-Retrofit-Lampen grundsätzlich nur in Sonderfällen und unter Beachtung der ggf. in der EVG-Kompatibilitätsliste angeführten Einschränkungen möglich. In den meisten Fällen wäre eine Konversionslösung erforderlich (siehe unten).
- Bei dem Betrieb von LED-Retrofit-Lampen in parallel-kompensierten Leuchten kann sich ein sehr kleiner Leistungsfaktor $\cos(\varphi)$ der Schaltung einstellen und einen hohen Blindstrom in der Elektroinstallation bewirken (siehe auch Abbildung 1 b und <https://www.trilux.com/de/beleuchtungspraxis/leuchten/betrieb-von-leuchten-fuer-entladungslampen/blindleistungskompensation/>).
- Für Tandem-Schaltungen (2 Leuchtstofflampen in Reihenschaltung an einem Vorschaltgerät), wie sie im Bestand in mehrlampigen Leuchten mit 18-Watt-T8-Lampen üblich sind, ist ein möglicher Betrieb von LED-Retrofit-Lampen gesondert zu prüfen. Ggf. würde eine Konversion der Leuchte erforderlich sein (siehe unten).

¹ Diese Norm bezieht sich ausschließlich auf Retrofit-Lampen für den direkten Austausch und nicht auf Konversions-Lampen, deren Betrieb einen Eingriff in den elektrischen Aufbau der Leuchte erfordert. Für Konversions-Lampen wird kein VDE-Zeichen vergeben.

² In den EVG-Kompatibilitätslisten der Lampenhersteller wird z. B. darauf hingewiesen, dass die vorliegende Kompatibilitätsliste nur zu Informationszwecken dient und als Empfehlung behandelt werden muss. So basieren die Angaben z. B. auf Tests in einer laborsimulierten Umgebung unter Bedingungen, die in der Praxis ggf. davon abweichen können. Der Retrofit-Hersteller übernimmt deshalb ggf. keine Verantwortung, Garantie oder Haftung, dass eine Kompatibilität unter Verwendung der angegebenen Geräte unter anderen Bedingungen als spezifisch von ihm getestet oder bei Verwendung von Nachfolgemodellen der angegebenen Geräte gegeben ist. Es können dann Fehlfunktionen auftreten, z.B. Flackern, kein Licht, Überhitzung, vorzeitige Alterung, Ausfall von Geräten, etc.. Auch der Lichtstrom kann sich in Abhängigkeit vom verwendeten Vorschaltgerät ändern.



a) Messung mit einer LED-Retrofit-Lampe 23 W/4000 K 1500 mm in TRILUX-Leuchte mit nicht zugelassenem EVG. Die Lampe wird mit erhöhter Leistung betrieben (32,6 W anstatt 23 W).



b) Messung mit einer LED-Retrofit-Lampe 23 W/4000 K 1500 mm in einer TRILUX--Feuchtraumleuchte (Aragon 158K, Herstelldatum ca. 2010) mit induktivem VG und Parallelkompensation. Ein Leistungsfaktor von $\cos(\varphi) = 0,21$ führt zu einem hohen Blindstrom und in einer Beleuchtungsanlage mit vielen Leuchten ggf. zu einer überhöhten Leitungsbelastung und dem Auslösen des Leitungsschutzschalters. Das VDE-Zertifikat für Retrofit-Lampen berücksichtigt solche praktischen Fehlfunktionen nicht, sondern bewertet lediglich das mögliche Auftreten eines Sicherheitsrisikos, das in einer ordnungsgemäßen Installation durch den Leitungsschutzschalter vermieden wird.

Abbildung 1: Messungen mit Retrofitlampen

1.1.2 Konversion

Vor dem Umbau der Leuchte für den Betrieb einer Konversions-Lampe:

- Alle zum Einsatz kommenden Komponenten des Konversionskits müssen den für sie geltenden Sicherheits- und EMV Normen nachgewiesener Weise entsprechen.
- Es ist sicherzustellen, dass bei Einsatz einer anderen verwechselbar passenden Lampe, wie z.B. einer Leuchtstofflampe, keine Gefahr von der Leuchte ausgeht.
- Die umzurüstende Leuchte muss für die Verwendung des Konversionskits geeignet sein.
- Alle mit dem Einsatz des Konversionskits einhergehende Veränderungen müssen hinsichtlich der Erhöhung etwaiger Risiken (hinsichtlich Leistung, Verwendung, Bauart, EMV, Blaulichteigenschaften, Notbeleuchtung, Steuerungssysteme, ...) bewertet werden.
- Werden Risiken erhöht, ist die Durchführung eines vollständigen Konformitätsbewertungsverfahrens erforderlich. In diesem Fall ist unter anderem auch das ursprüngliche Typenschild der Leuchte zu ersetzen und durch ein neues Typenschild mit den notwendigen Angaben zu ersetzen.

1.1.3 Lebensdauer und Zuverlässigkeit

- Für LED-Austausch-Lampen werden in der Regel keine oder vergleichsweise ungünstige Angaben zu Ausfallraten gemacht (z. B. max. 10 % Ausfall innerhalb von 6.000 h).
- Die Nennlebensdauer von LED-Austausch-Lampen wird marktüblich für eine L_{70} -Degradation (Lichtstromrückgang um 30 % auf einen Restlichtstrom von 70 % am Ende der Lebensdauer) angegeben. In Bezug auf die Arbeitssicherheit (siehe unten) ist also zu berücksichtigen, dass am Lebensdauerende nur noch 70 % des ohnehin verringerten Anfangslichtstromes zur Verfügung stehen.
- Die Nennlebensdauer von LED-Austausch-Lampen ist in der Regel für eine Umgebungstemperatur von 25° C angegeben. Diese Temperatur wird standardisiert als Umgebungstemperatur im Innenraum angenommen. In einer geschlossenen Leuchte kann sich durch den Betrieb der Lampe die im Inneren herrschende Temperatur signifikant erhöhen und damit die Lebensdauer der Lampe erheblich reduzieren.
- Bei Einsatz in chemisch belasteten Atmosphären können spezifische Unverträglichkeiten zur Schädigung und zum Ausfall von LED-Austausch-Lampen führen. Wechselwirkungen mit Komponenten der Leuchte können zudem zu Schädigungen der Leuchte führen.
- In Sonderanwendungen (hohe Temperaturen, mechanische Belastungen durch Vibrationen und mehr) sind große Abweichungen vom normalen Betriebsverhalten der LED-Austausch-Lampen – und auch im Vergleich zum Betrieb von Leuchtstofflampen – möglich.
- Bei LED-Austausch-Lampen mit höherem Gewicht als das von Leuchtstofflampen kann es zu Schädigungen der Fassungen kommen. Die Folge können Übergangswiderstände zwischen Sockelstiften und Fassungskontakten mit unzulässigen Übertemperaturen sein. Dies kann zu Funktionsstörungen bis hin zum Totalausfall der Leuchte führen. Sind Fassungen bedingt durch die vorige Nutzungszeit bereits schon gealtert und spröde, besteht diesbezüglich ein erhöhtes Risiko.

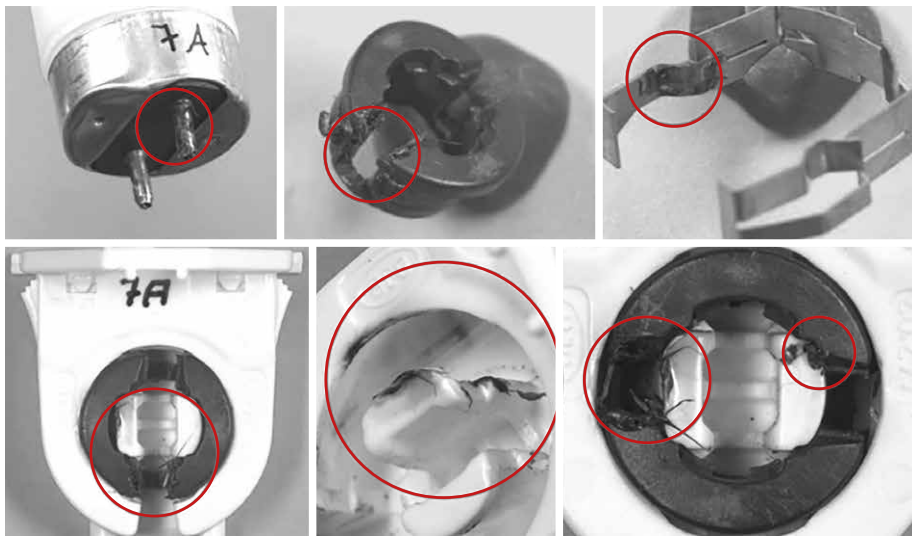


Abbildung 2: Beschädigte Fassungen, in denen Retrofit-Lampen mit zu hohem Gewicht betrieben wurden

1.2 Lichtqualität und Arbeitssicherheit

1.2.1 Lichtstrom und Beleuchtungsstärke

- Marktübliche LED-Austausch-Lampen haben vielfach einen deutlich geringeren Lichtstrom als entsprechende Leuchtstofflampen. Ein direkter Austausch führt dann zu einer deutlichen Verringerung der Beleuchtungsstärke im Raum.
- Selbst der Lichtstrom der LED-Austausch-Lampen mit den höchsten am Markt verfügbaren Werten liegt in der Regel deutlich unterhalb des Wertes der bislang eingesetzten Leuchtstofflampen (z. B. 3.700 lm als Ersatz für 5.000 lm im Fall der T8-58W-Lampe, siehe Tabelle 1).
- Es ist zu berücksichtigen, dass für LED-Austausch-Lampen in der Regel ein Lichtstromrückgang bis zum Lebensdauerende auf 70 % des angegebenen Anfangslichtstroms (also z. B. $3.700 \text{ lm} \cdot 0,7 = 2.590 \text{ lm}$, siehe unten) zu kalkulieren ist.

- Die Kennzahlen der Lichtausbeute von LED-Austausch-Lampen werden für ihren frei strahlenden Betrieb ohne Berücksichtigung von Verlusten durch den Betrieb in einer Leuchte angegeben. Messungen zeigen jedoch, dass sich die tatsächlichen Verluste (bzw. Leuchtenbetriebswirkungsgrade) vielfach in vergleichbarer Höhe zum Betrieb mit Leuchtstofflampen einstellen.
- Als Folge ist das Beleuchtungsniveau vielfach nicht mehr normgerecht und entspricht nicht den gesetzlichen Bestimmungen zur Arbeitssicherheit.

Lampenart					
Länge	T8 (Referenz)	Retrofit Beispiel 1	Beispiel 2	Beispiel 3	Beispiel 4
600 mm	18 W 1.300 lm	7,5 W 1.100 lm (- 15 %)	6,6 W 720 lm (- 45 %)	8 W 1.050 lm (- 19 %)	8 W 900 lm (- 31 %)
1.200 mm	36 W 3.200 lm	15,0 W 2.400 lm (- 25 %)	15 W 1.800 lm (- 44 %)	14,7 W 2.500 lm (- 22 %)	18 W 2.000 lm (- 38 %)
1.500 mm	58 W 5.000 lm	22 W 4.100 lm (- 21 %)	18,3 W 2.200 lm (- 56 %)	21,7 W 3.700 lm (- 26 %)	23 W 2.700 lm (- 46 %)

Tabelle 1: T8 LED-Retrofit-Röhren: Beispiele für Leistungsaufnahme und Lichtstrom am Markt verfügbarer Produkte (Stand November 2023)

1.2.2 Lichtverteilung und Gleichmäßigkeit

- Eine von der zylindersymmetrischen Abstrahlung (360 Grad) der Leuchtstofflampe abweichende Abstrahlcharakteristik der LED-Austausch-Lampe führt ggf. zu einer deutlichen Veränderung der Lichtstärkeverteilung der Leuchte.
- Dies kann zu einer verringerten Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke im Raum führen. Die Einhaltung der Bestimmungen zur Arbeitssicherheit ist diesbezüglich zu prüfen.
- Die von der Leuchtstofflampe abweichende Abstrahlcharakteristik der LED-Austausch-Lampe führt bei abgehängten Leuchten mit Indirektanteil zu deutlich reduzierter Deckenaufhellung mit entsprechendem Beanstandungsrisiko durch die Nutzer.

1.2.3 Allgemeine Lichtqualität

- LED-Austausch-Lampen können ein erhebliches Flickerverhalten aufweisen, welches das einer Leuchtstofflampe im Betrieb am VVG weit übersteigt (siehe auch Abbildung 3.191 b) unter <https://www.trilux.com/de/beleuchtungs-praxis/leuchten/betrieb-von-leuchten-fuer-entladungslampen/vorschaltgeraete/induktive-vorschaltgeraete/>).
- LED-Austausch-Lampen weisen eine generell geringe Farbkonsistenz auf. Typischerweise wird von den namhaften Herstellern ein Wert der Farborttoleranz (initial MacAdam) ≤ 6 SDCM angegeben. In einigen Fällen leistungsfähiger Produkte wird ein Wert ≤ 5 SDCM angegeben. Auch bei 5 SDCM sind Farbabweichungen deutlich erkennbar. Im Vergleich dazu liegen die Werte bei Qualitätsleuchten bei 3 SDCM.

1.2.4 Stand der Technik, Anforderungen der aktuellen DIN EN 12464-1

Der direkte Austausch der Leuchtstofflampen gegen LED-Austausch-Lampen fällt in der Regel nur dann unter den Bestandsschutz, wenn sich die Arbeitsbedingungen gegenüber dem Errichtungszeitpunkt nicht verändert haben. Es wird also nur der Erhalt des Status Quo angestrebt. Anforderungen gemäß heutigem Stand der Technik, wie er in der DIN EN 12464-1 in der aktuellen Fassung von 2021 beschrieben ist, bleiben dabei unberücksichtigt. Empfohlen werden aktuell insbesondere:

- die bei Bedarf gegebene Verfügbarkeit einer um ein bis zwei Stufen erhöhten Beleuchtungsstärke, die durch dimmbare Leuchten und ein geeignetes Lichtmanagement geregelt werden sollte, sowie
- eine angemessene Leuchtdichteverteilung mit Mindestbeleuchtungsstärken an Wänden und Decken, die im Bestand häufig nicht erreicht wird (z. B. mit tief strahlenden Rasterleuchten, Darklight-Leuchten, siehe Beispiel „Beleuchtung eines Büros“).



2. Sanierung statt Retrofit

Einen sicheren und nachhaltigen Weg zum LED-Technologiewechsel bieten unterschiedliche Sanierungsoptionen, die passgenau zu den technischen und räumlichen Gegebenheiten gewählt werden können.

Das größte Optimierungspotential liegt dabei in einer freien, von der Bestandssituation unabhängigen Neukonzeption der Beleuchtung. In vielen Fällen kann aber auch bereits ein einfacher Tausch der Leuchten zu einem befriedigenden Ergebnis führen. Dabei ist darauf zu achten, dass die gewählten Leuchten nach dem Tausch die aktuellen lichttechnischen und elektrotechnischen Anforderungen in der bestehenden Konfiguration erfüllen.

Wenn ein Tausch von kompletten Leuchten aus baulichen oder anderen Gründen nicht angestrebt wird, kann TRILUX auf Anfrage fassungslose Leuchteneinsätze mit LED-Modulen – sogenannte Sanierungskits – liefern. Im Einzelfall kann dabei auch das komplette optische System gegen eine zeitgemäße Lichttechnik ersetzt werden.³

Lichtmanagementsysteme zur weitergehenden Energieeinsparung, die bei Bedarf auch am Tagesverlauf orientierte circadiane Steuerung der Farbtemperatur ermöglichen, sind bei allen Sanierungsoptionen einsetzbar.

³ Werden von einem Hersteller Umrüstsätze für Fremdprodukte angeboten, liegen Gewährleistung, Produkthaftung und die weiteren Pflichten, wie bei der Konversion, zunächst bei der umrüstenden Person. Der Umfang einer etwaigen Übernahme durch den Hersteller und die Bereitstellung technischer Datensätze für die resultierenden Leuchten sind im Vorfeld zu klären.

2.1 Sicherheit, Qualität und Wirtschaftlichkeit

Die wichtigsten Vorteile einer Sanierung mit LED-Leuchten von TRILUX im Vergleich zu einer Umrüstung mit LED-Austausch-Lampen:

- Lichttechnische Datensätze stehen zur Verfügung, um die Erfüllung der Anforderungen der Arbeitssicherheit im Vorfeld einer Umrüstung überprüfen zu können.
- Für sie besteht uneingeschränkte Produkthaftung und Gewährleistung.
- Die elektrotechnischen Betriebsdaten sind im Detail bekannt und garantiert.
- Die Lebensdauern werden für Restlichtströme von mindestens 80 % ($L \geq 80$) angegeben.
- Über ihre gesamte Lebensdauer sind praktisch keine Ausfälle (Ausfallrate nahe Null) zu erwarten.
- Bei der im Raum zulässigen Umgebungstemperatur kann die dokumentierte Lebensdauer erwartet werden, die nicht durch eine Temperaturerhöhung in der Leuchte reduziert wird.
- Vielfach werden auch Ausführungen für erhöhte Umgebungstemperaturen angeboten.
- Störungen des Sehkomforts durch 100-Hertz-Flimmern werden durch ausgewiesene geringe Flickerfaktoren vermieden.
- Zeitgemäße Anforderungen an die Beleuchtungsqualität können erfüllt werden.
- Für jeden Anwendungsfall stehen auch dimmbare Leuchten und ein dafür geeignetes Lichtmanagement zur Verfügung.
- Bei Bedarf sind auch Leuchten mit veränderlicher Farbtemperatur für eine circadiane Steuerung verfügbar.
- Optimierte Lichttechnik kann das Licht in der spezifischen Anwendung vielfach gezielter verteilen, als dies mit Leuchtstofflampenleuchten möglich war.
- LED-Leuchten sind dadurch besonders energieeffizient.
- Sie weisen durch ein hochwertiges Binning eine hohe Farbkonsistenz (Farborttoleranz ≤ 3 SDCM) auf.
- Es sind keine defekten Fassungen der Bestandsleuchten zu ersetzen.
- Es wird eine bessere Effizienz und Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu einem Lampentausch mit LED-Austausch-Lampen erzielt.



2.2 Nachhaltigkeit

Zur Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit von Leuchten stehen zwei Aspekte im Vordergrund:

1. Die Betrachtung des CO₂-Fußabdrucks
2. Die Bewertung des Verbrauchs begrenzt verfügbarer Rohstoffe (ADP-Bewertung)

Für die Betrachtung des **CO₂-Fußabdrucks** wird zusätzlich zum Energieverbrauch im Betrieb eines Produktes auch das für die Bereitstellung des Produkts erforderliche CO₂-Aufkommen berücksichtigt. Es wird also der gesamte Lebenszyklus des Produktes zur Ermittlung des CO₂-Äquivalents (CO₂e) erfasst. Auf diese Weise können unter anderem die Aufwände für die Bereitstellung und den Betrieb eines Produktes ins Verhältnis gesetzt werden.

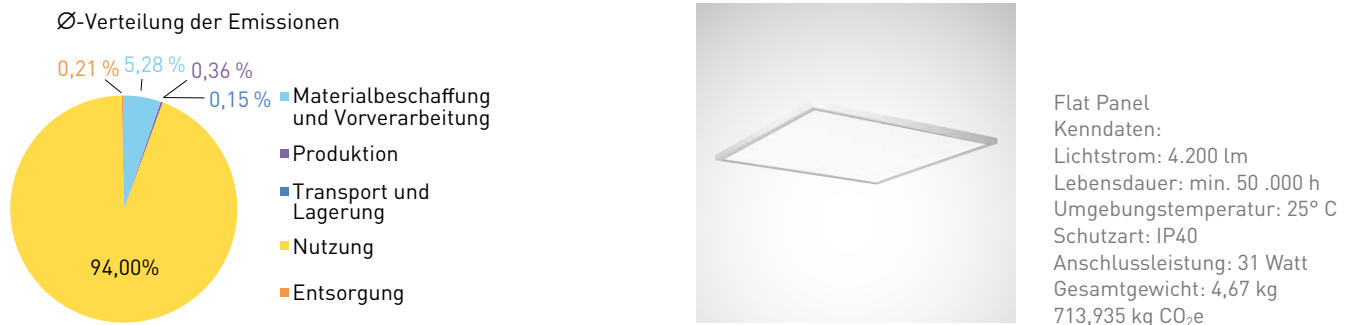


Abbildung 3

Die Kenndaten zur Abbildung 3 zeigen, dass bei Verwendung einer typischen Standardleuchte für Büroanwendungen mit Stahlblechgehäuse und PMMA-Abdeckung der Betrieb fast 95 % des CO₂-Ausstoßes bedingt.



Abbildung 4

Abbildung 4 zeigt eine Leuchte für die Beleuchtung von hohen Industriehallen. Eine Linsenoptik erzeugt die optimal geeignete Lichtverteilung und ihr technisch und materiell aufwendiger Leuchtenkörper gewährleistet das erforderliche Thermomanagement für einen langlebigen und effizienten Betrieb bei hohen Umgebungstemperaturen. Die Kenndaten zur Abbildung zeigen, dass für diese aufwendigere Leuchte der relative Anteil des CO₂-Ausstoßes für die Bereitstellung und Entsorgung vergleichbar bleibt. Technischer Aufwand und Materialbedarf steigen gleichmäßig mit dem großen Lichtstrompaket, dass bei hohen Temperaturen betrieben werden kann, an.

Die angeführten Beispiele machen deutlich, dass für typische lichttechnische Anwendungen der CO₂-Ausstoß zu über 90 % der Nutzung der Beleuchtung zuzuschreiben ist. Der Anteil von insgesamt 6 % des CO₂-Ausstoßes, der durch die Bereitstellung bis hin zur Entsorgung der Leuchte verursacht wird, spielt also in beiden Fällen eine unter-

geordnete Rolle. Das bedeutet, dass in diesen Fällen eine Erhöhung der Effizienz der Beleuchtung um 6% durch den Austausch der Leuchte gegen eine energetisch optimierte LED-Leuchte ausreicht, um den energetischen Aufwand zur Bereitstellung der Leuchte zu kompensieren. Der Einsatz von aufwendigen, qualitativ hochwertigen Leuchtenkörpern und lichttechnischen Komponenten ist deswegen sinnvoll zur Erreichung eines minimierten CO₂-Fußabdrucks.

Ein mindestens ebenso hohes Potential liegt darüber hinaus in der qualifizierten Fachplanung bzgl. der vorliegenden lichttechnischen Aufgabe. Insbesondere der gezielte Einsatz spezifischer, für die jeweilige Anwendung optimierter Lichttechniken, die mit der Variantenvielfalt moderner LED-Leuchtenbaureihen verfügbar sind, bildet eine sichere Basis für Effizienz und Nachhaltigkeit.

Den Ressourcenverbrauch begrenzt verfügbarer Materialien minimiert TRILUX durch die hohe Reparierbarkeit, insbesondere den separaten Austausch der LED-Module und der Elektronik, sowie die garantiert lange Ersatzteilverfügbarkeit.

Zur Bewertung des **Verbrauchs begrenzt verfügbarer Rohstoffe** ist ein international anwendbares Verfahren entwickelt worden, mit dem unter Berücksichtigung der Vorkommen von Rohstoffen ermittelt werden kann, welche Komponenten eines Produktes in besonderem Maße die Verknappung von Rohstoffen beeinflussen. Das Ergebnis solcher Betrachtungen wird als ADP (Abiotic Depletion Potential) dokumentiert.

Das ADP bezieht sich, ähnlich wie der CO₂-Fußabdruck, auf den gesamten Lebenszyklus des betrachteten Produktes. Auch für LED-Leuchten können die relativen Anteile des ADP mit dem genannten Verfahren den unterschiedlichen Komponenten der Leuchte zugeordnet werden. Die Abbildung 5 zeigt die gemittelten Verhältnisse unter Berücksichtigung aller LED-Leuchten des TRILUX-Portfolios. Die Werte sind im Rahmen eines Forschungsprojektes „SUMATRA“ ermittelt worden, an dem TRILUX sich beteiligt hat.

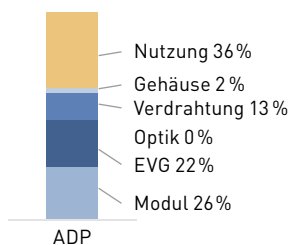


Abbildung 5: Gemittelte ADP-Verhältnisse einer LED-Leuchte,
Quelle: Abschlussdokumentation des Forschungsprojekts SUMATRA
(https://www.trilux.com/fileadmin/Downloads/Brochures/Nachhaltigkeit/LpR103_Trilux_SUMATRA.pdf)

Die Abbildung zeigt deutlich, dass z. B. das Gehäuse – und damit auch dessen etwaiger Erhalt – für den Erhalt knapper Rohstoffe keine wesentliche Rolle spielt. Es sind die LED, die weiteren elektronischen Komponenten und wiederum der Energieverbrauch, die den ADP-Wert bestimmen.

Energieeffizienz, lange Lebensdauer und geringer Materialeinsatz betreffender Substanzen im Bereich der LED-Module und der Elektronik sind der Schlüssel zur Nachhaltigkeit. Leuchten mit integrierten LED-Modulen zeigen diesbezüglich große Potenziale, die TRILUX durch gezielte Entwicklungen optimiert. Den Verbrauch begrenzt verfügbarer Materialien minimiert TRILUX weiterhin durch die hohe Reparierbarkeit, insbesondere den separaten Austausch der LED-Module und der Elektronik, sowie die garantiert lange Ersatzteilverfügbarkeit.

Bei der Verwendung austauschbarer Leuchtmittel sind solche Optimierungsmöglichkeiten weitgehend beschränkt. Geringere Energieeffizienz in der Anwendung, kürzere Lebensdauer und die Untrennbarkeit von Lichtquelle und Betriebsgerät führen zu einem erhöhten Ressourcenverbrauch.



3. Beispielbetrachtung

Für eine Beispielbetrachtung sind in den TRILUX-Laboren konkrete Messungen zum Betrieb von LED-Retrofit-Lampen in klassischen TRILUX-Leuchten durchgeführt worden. Eingesetzt wurden insbesondere zwei von den Herstellern als hochwertig ausgewiesene Lampen mit den höchsten verfügbaren Lichtströmen:

Retrofit 1: 1.500 mm, 4.100 lm, 22,1 W, 4.000 K

Retrofit 2: 1.500 mm, 3.700 lm, 23,0 W, 4.000 K

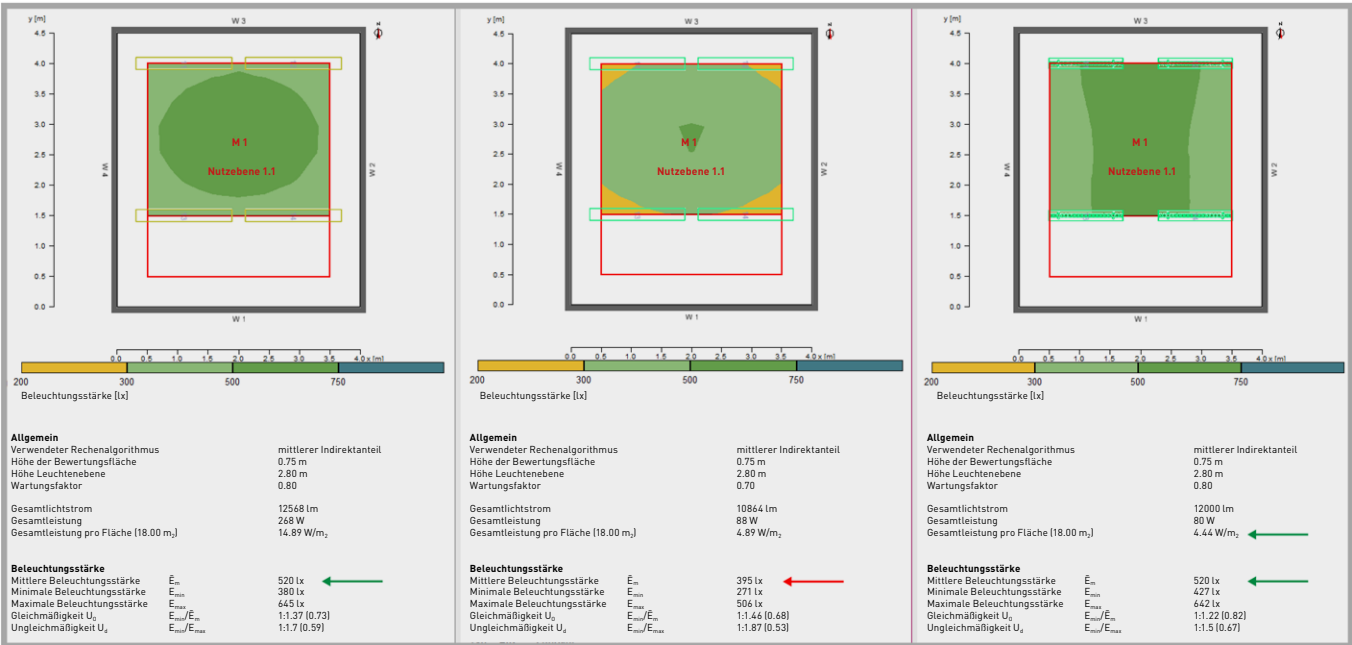
Es erfolgten Messungen im Betrieb der jeweiligen Lampe u.a. jeweils in einer BAP-Spiegelrasterleuchte der TRILUX-Baureihe Atirion und einer Feuchtraumleuchte der Baureihe Olevion.

Die erfassten Daten sind daraufhin für vergleichende Berechnungen in typischen Anordnungen lichttechnischer Anwendungen eingesetzt worden.

3.1 Beispiel Büro

In einem exemplarischen Büro wird im unten dargestellten Beispiel die Fläche zwischen den beiden Lichtbändern als Bereich der Sehaufgabe im Sinne der EN 12464-1 betrachtet, in dem sich die Tätigkeitsbereiche befinden sollen.

Länge	4,00 m	Anforderungen der Arbeitssicherheit:
Breite	4,50 m	$\bar{E}_m \geq 500 \text{ lx}$
Höhe	2,80 m	$U_0 = E_{\min}/\bar{E}_m \geq 0,6$
Höhe der Nutzebene	0,75 m	
Lichtbänder	2 x 2 Leuchten	



	$\bar{E}_m$	MF	U_0	ϕ_{gesamt}	W_{gesamt}	W/A	W/(A x $\bar{E}_m$ /100)
T8	520 lx	0,8	0,76	12.568 lm	268 W	14,89 W/m ²	3,12 W/(m ² · 100 lx)
Retrofit 1	395 lx	0,7	0,68	10.864 lm	88 W	4,89 W/m ²	1,31 W/(m ² · 100 lx)
Creavo	520 lx	0,8	0,83	12.000 lm	80 W	4,44 W/m ²	0,88 W/(m ² · 100 lx)

Abbildung 6: Berechnungsergebnisse für die Beleuchtung eines Büros vor und nach der Umrüstung mit einer LED-Retrofitlampe im Vergleich zum Einsatz einer LED-Leuchte. Der für die Retrofitlampe auf den Wert 0,7 reduzierte Wartungsfaktor berücksichtigt die erhöhte Degradation dieses Leuchtmittels, dessen L₇₀-Lebensdauer angegeben ist.

Verglichen werden die lichttechnischen Berechnungen für den Betrieb der ursprünglichen T8-Lampe, 58 W, in einer Rasterleuchte der Baureihe TRILUX Atirion als Referenz, sowie der Bestückung der identischen Leuchte mit der genannten Retrofit-Lampe mit 4.100 lm und eine aktuelle TRILUX-LED-Leuchte (CREAVO D2-L LW19-03 30-840 ETDD 01, TOC 7728451) mit integrierten LED-Modulen.

Das Beispiel zeigt deutlich, dass im Fall dieser Standardanordnung nach der Retrofit-Umrüstung die Anforderungen der Arbeitssicherheit bzgl. der geforderten Beleuchtungsstärke nicht mehr erfüllt wären.

Durch den 1-zu-1-Tausch der Bestandsleuchten gegen LED-Leuchten können hingegen die Anforderungen bei einem geringeren Energiebedarf als dem der Retrofit-Umrüstung erfüllt werden. Effizienz und Qualität der Beleuchtung sind deutlich erhöht.

3.2 Beispiel Verpackungshalle

Als weiteres Beispiel wird eine kleine Halle, in der Verpackungsarbeiten verrichtet werden, betrachtet.

Länge	20,00 m	Anforderungen der Arbeitssicherheit:
Breite	15,00 m	$\bar{E}_m \geq 300 \text{ lx}$
Höhe	2,80 m	$U_0 = E_{\min}/\bar{E}_m \geq 0,6$
Höhe der Nutzebene	0,75 m	
Lichtbänder	4 x 8 Leuchten	

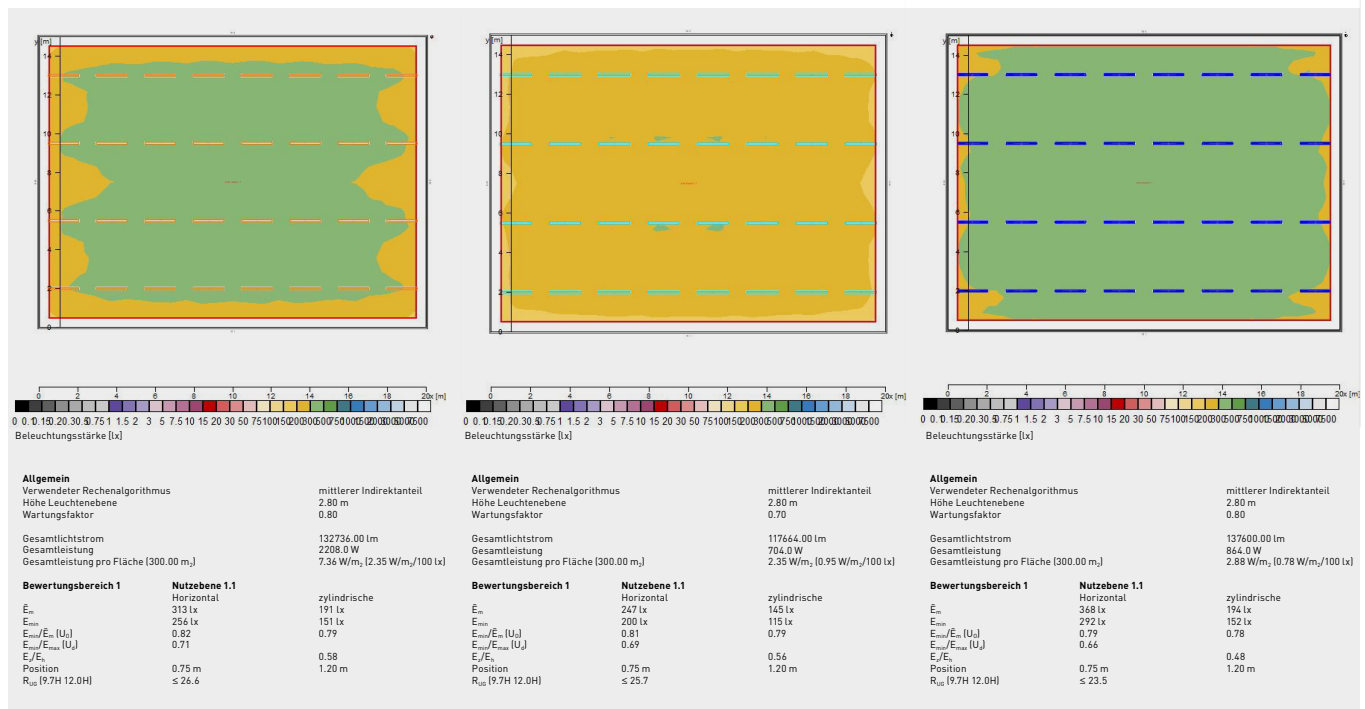


Abbildung 7: Berechnungsergebnisse für die Beleuchtung einer Verpackungshalle vor und nach der Umrüstung mit einer LED-Retrofitlampe im Vergleich zum Einsatz einer einfachen LED-Leuchte. Der für die Retrofitlampe auf den Wert 0,7 reduzierte Wartungsfaktor berücksichtigt die erhöhte Degradation dieses Leuchtmittels, dessen L_{70} -Lebensdauer angegeben ist.

Verglichen werden die lichttechnischen Berechnungen für den Betrieb der ursprünglichen T8-Lampe mit 58 W in einer Feuchtraumleuchte der Baureihe TRILUX Oleveon als Referenz sowie der Bestückung der identischen Leuchte mit der genannten Retrofit-Lampe mit 4.100 lm und eine aktuelle Ausführung einer TRILUX-Feuchtraumleuchte der Baureihe Aragon Fit (ARAGF 15 PVW 44-840 ETDD, TOC 7401451) mit integrierten LED-Modulen.

Das Beispiel zeigt deutlich, dass im Fall dieser Standardanordnung nach der Retrofit-Umrüstung die Anforderungen der Arbeitssicherheit nicht mehr erfüllt wären.

- Der Lichtstrom reicht nicht aus, um die geforderte Beleuchtungsstärke bereitzustellen.
- Der heute in der Norm EN 12464-1 geforderte Wert der Blendungsbegrenzung $R_{UGL} \leq 25$ wird nicht eingehalten.

Durch den 1-zu-1-Tausch der Bestandsleuchten gegen LED-Leuchten können hingegen die Anforderungen der Arbeitssicherheit mehr als erfüllt und die Effizienz und Qualität der Beleuchtung erhöht werden.

- Dafür stehen heute LED-Leuchten mit vielfältigen lichttechnischen Spezifikationen bzgl. Lichtstrom, Lichtverteilung und Blendungsbegrenzung zur Verfügung.
- Mit der gewählten LED-Leuchte wird die geforderte Beleuchtungsstärke sicher erreicht.
- Die LED-Leuchte hält den heute in der Norm EN 12464-1 geforderten Wert der Blendungsbegrenzung $R_{UGL} \leq 25$ ein.
- Die Lichtausbeute der LED-Leuchte ist um 22 % höher als die der Bestandsleuchte mit der LED-Retrofit-Lampe.

4. Fazit

Nach einem Tausch der Leuchtstofflampen gegen LED-Retrofit-Lampen können im günstigsten Fall die zum Zeitpunkt der Installation der Beleuchtungsanlage umgesetzten Anforderungen an die Beleuchtung erfüllt sein. Sie bleiben dann also folglich bestenfalls auf diesem ehemaligen Stand der Arbeitssicherheit bestehen, der daraufhin für den Zeitraum des Betriebs der Retrofit-Lampen festgeschrieben ist. Selbst das kann in vielen Fällen jedoch nicht sichergestellt werden, so dass Anforderungen der Arbeitssicherheit und des sicheren Betriebs der Beleuchtungsanlage nicht erfüllt sein können.

Bei einem fachgerechten Tausch der Leuchten wird dem gegenüber eine zeitgemäße Beleuchtungsqualität erreicht, die den heutigen Stand der Technik berücksichtigt. Auch die Anforderungen an die Kriterien der Beleuchtung gemäß der neuen Beleuchtungsnorm DIN EN 12464-1; 2021-11 können in der Regel ohne Mehraufwand berücksichtigt werden. Darüber hinaus sind die Einrichtung einer gesteuerten Beleuchtung, ggf. mit melanopischer Wirksamkeit zur Unterstützung des circadianen Rhythmus möglich. Es erschließen sich dabei zusätzliche Energie-Einsparpotenziale bei erhöhter Beleuchtungsqualität.

Auch in Bezug auf den CO₂-Fußabdruck über den Lebenszyklus der Beleuchtungsinstallation ist ein Tausch der Leuchten gegenüber dem Einsatz von Retrofits die wesentlich nachhaltigere Lösung.

Die Betrachtung einer optimierten Neukonzeption kann weitere, erhebliche Potentiale hervorbringen.



(a) Am frühen Morgen und ab dem späten Nachmittag



(b) Am Tage um die Mittagszeit

Abbildung 8: An das Tageslicht angepasster Verlauf der Farbtemperatur der künstlichen Beleuchtung in einem Großraumbüro



Mehr erfahren Sie unter:
www.trilux.com/beleuchtungssanierung



Besuchen Sie auch gerne unsere TRILUX Akademie
mit spannenden Angeboten rund um das Thema Lichtwissen:
www.trilux-akademie.com

Simplify Your Light.

www.trilux.com

26/42-A-CH-D