

Leitfaden für Energieaudits von Beleuchtungssystemen

Tipps für Beleuchtungsaudits in Betrieben

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Autorinnen und Autoren: DI Gabriele Brandl und DI (FH) Nicole Hartl, Österreichische Energieagentur

Review: Mag. DI Konstantin Kulterer

Wien, Dezember 2020

Copyright und Haftung

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des BMK und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin/des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgehen.

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an eebetriebe@energyagency.at.

Inhalt

1 Einleitung	5
2 Ablauf eines Energieaudits im Überblick	6
3 Licht macht Dinge sichtbar	7
3.1 Funktionen von Licht	7
3.2 Physikalische Eigenschaften von Licht	8
3.3 Kenngrößen und Qualitätsmerkmale von Licht	9
3.3.1 Lichtstrom	10
3.3.2 Beleuchtungsstärke E und Wartungswert der Beleuchtungsstärke	10
3.3.3 Lichtstärke I	14
3.3.4 Leuchtdichte L_v	14
3.3.5 Blendung	15
3.3.6 Spiegelungen und Reflexionen	17
3.3.7 Schattigkeit	18
3.3.8 Farbwiedergabeindex CRI/R _a	18
3.3.9 Farbtemperatur	20
3.3.10 Flimmern, Stroboskopeffekt	21
3.3.11 Weitere Qualitätsmerkmale	23
3.3.12 Maß für die Energieeffizienz von Leuchtmitteln: Lichtausbeute η_v	23
4 Beleuchtungsaudit – Schritt für Schritt	24
4.1 Ist-Analyse	24
4.1.1 Ermittlung des Beleuchtungsstromverbrauchs	25
4.1.2 Alter der Beleuchtungsanlage	27
4.1.3 Wartungsintensität der Beleuchtungsanlage	27
4.1.4 Tatsächlich eingesetzte Leuchtmittel	27
4.1.5 Überprüfung der Eignung der eingesetzten Leuchten und Leuchtmittel für bestimmte Arbeitsbereiche	27
4.1.6 Einsatz von Lichtmanagement bei Bereichen, die nur zu bestimmten Zeiten genutzt werden	28
4.1.7 Bildung von energierelevanten Kennzahlen für die Analyse	29
4.1.8 Begehung	29
4.1.9 Dokumentation	30
4.2 Ableiten von Energieeffizienzmaßnahmen	30
4.3 Umsetzen von Energieeffizienzmaßnahmen	30
5 Energieeffizienzmaßnahmen für Beleuchtungssysteme	31

5.1 Optimierung der Tageslichtnutzung	31
5.1.1 Einbau von transparenten vertikalen & horizontalen Bauteilen.....	32
5.1.2 Einbau von Lichtlenksystemen und Lichtleitsystemen	33
5.1.3 Bewertung der Energieeinsparung durch verstärkte Tageslichtnutzung.....	33
5.2 Optimierung des Lichtmanagements	35
5.2.1 Energieeffizienz – Einsparmaßnahmen bei der Innenbeleuchtung	36
5.2.2 Bewertung der Energieeinsparung durch Lichtmanagement	37
5.2.3 Betrachtung der Wirtschaftlichkeit der Investition.....	40
5.3 Optimierung des Raumwirkungsgrades	41
5.3.1 Lichtstärkeverteilungskurve und Raumwirkungsgrad	41
5.3.2 Bewertung der Energieeinsparung durch den Raumwirkungsgrad	44
5.4 Einsatz energieeffizienter LEDs.....	45
5.4.1 Eigenschaften einer LED	47
5.4.2 Grundsätzlicher Aufbau der LED.....	47
5.4.3 Wärmeentwicklung und Temperaturbeständigkeit	48
5.4.4 Bauformen von LEDs.....	49
5.4.5 Bauarten von LED.....	49
5.4.6 Richtige Auswahl der LEDs anhand ihres Lichtstroms.....	53
5.5 Richtwerte für die maximale Leistungsaufnahme von Beleuchtungssystemen	54
5.5.1 Bewertung der Energieeffizienz der Beleuchtungsanlage.....	57
6 Angebote und Tools.....	58
Tabellenverzeichnis.....	60
Abbildungsverzeichnis.....	61
Formelverzeichnis	62
Literaturverzeichnis	63
Über klimaaktiv	66

1 Einleitung

Dieser Beleuchtungsaudit-Leitfaden wendet sich an Betriebe, die ihr Beleuchtungssystem verbessern möchten.

Das Energieeffizienzpotenzial von veralteten Leuchten und Leuchtmitteln ist in Betrieben schon vielfach erkannt. Viele Betriebe haben daher bereits mit der Umstellung auf eine effizientere LED-Beleuchtung (Light-emitting Diode) begonnen.

Die Effizienzpotenziale beim Lichtmanagement sind oft jedoch noch unerkannt. Dabei kann die Umsetzung eines geeigneten Lichtmanagements mit Tageslichtsensoren beziehungsweise mit kombinierten Tageslicht- und Präsenzsteuerungen den Energieverbrauch nochmals deutlich senken.

Was dieser Beleuchtungsleitfaden bietet: In dieser überarbeiteten Ausgabe des Beleuchtungsleitfadens wird neben der Energieeinsparberechnung auch ein Schwerpunkt auf die Lichtqualität und die Beschaffungskriterien von Leuchten und Leuchtmitteln gelegt.

Mithilfe dieses Leitfadens erhalten Sie Einblick in die wichtigsten Aspekte der Beleuchtungsplanung und -optimierung. Dieses Wissen dient auch als Unterstützung in der Kommunikation mit der Lichtplanerin oder dem Lichtplaner.

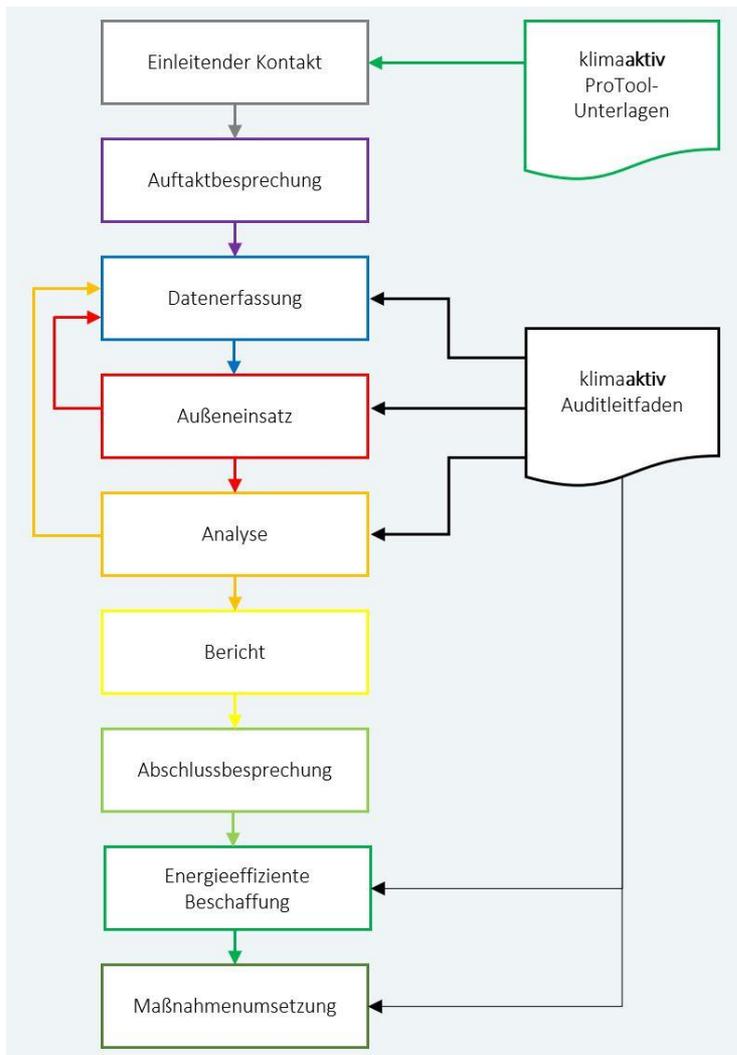
Bei der Optimierung von Beleuchtungssystemen spielen neben umweltrelevanten Themen auch Aspekte des ArbeitnehmerInnenschutzes eine Rolle. Die innerbetriebliche Zusammenarbeit zwischen den Expertinnen und Experten für Energie, Umwelt und Arbeitssicherheit ist daher beim Thema Beleuchtung besonders erforderlich!

Optimierungen von Beleuchtungssystemen können auch Auswirkungen auf andere energierelevante Aspekte haben wie beispielsweise das Verschattungssystem, die Kühlung im Sommer oder die Gebäudeautomatisierung. Daher sollte bei größeren Optimierungen immer auch die anderen Gewerke im Blick behalten werden.

2 Ablauf eines Energieaudits im Überblick

Der Ablauf eines Energieaudits in Betrieben ist gemäß der Struktur der Energieauditnorm ÖNORM EN 16247-1 aufgebaut. Wichtig sind darüber hinaus die energieeffiziente Beschaffung und die Umsetzung von Maßnahmen. Ein Energieaudit sollte schrittweise ablaufen, wobei einige der Schritte auch parallel ablaufen können.

Abbildung 1: Energieaudit-Ablauf im Überblick



Quelle: Österreichische Energieagentur, 2020

3 Licht macht Dinge sichtbar

Erst durch Licht können wir Dinge mit unseren Augen sehen. Das optimale Licht ist Tageslicht. Steht dieses nicht ausreichend zur Verfügung, ist zusätzlich künstliches Licht erforderlich.

3.1 Funktionen von Licht

Licht hat drei Funktionen (Zumtobel, 2018):

Visuelle Funktion

- Mehr Komfort für Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter!
- Den gesetzlichen Vorschriften entsprechende, normgerechte Beleuchtung des Arbeitsbereiches

Emotionales Empfinden

- Stimmungserzeugung

Biologische Wirkung

- Unterstützung des circadianen Rhythmus (Tagesrhythmus, der großen Einfluss auf den Organismus hat)
- Aktivierung oder Entspannung

Um die richtige Lichtsituation für unterschiedliche Anwendungsbereiche herstellen zu können und somit die gewünschte Wirkung zu erzielen, ist das Verständnis des Einflusses von Licht und Beleuchtung auf Arbeitsleistung, Gesundheit, Wohlbefinden, Interaktionen mit anderen Menschen sowie (Konsum-)Verhalten wichtig. Damit stellt sich zuerst die Frage, was mit der Beleuchtung erreicht werden soll. Denn für verschiedene Einsatzgebiete in Industrie und Gewerbe gibt es unterschiedliche Anforderungen an die Beleuchtung.

Beispielsweise ist es in Produktionshallen in Industriebetrieben unerlässlich, eine den gesetzlichen Vorschriften und Normen entsprechende Belichtungs- und Beleuchtungssituation der Arbeitsplätze und Fluchtwege sicherzustellen. Gerade bei Schichtarbeit in den Nachtstunden ist eine angemessene Beleuchtungssituation geboten!

Im Industriebereich spielen auch ein geringer Wartungsaufwand und die Widerstandsfähigkeit der Leuchten hinsichtlich Temperaturen, Feuchte, Erschütterungen, Chemikalien oder Explosionsgefahren eine Rolle. Besondere Lichtszenen für Gefahrenzonen können einen entscheidenden Beitrag zur Arbeitssicherheit leisten.

In der Hotellerie wiederum geht es darum, mit Licht unterschiedliche Stimmungen zu erzeugen und so gezielte Emotionen bei Gästen auszulösen. Für jeden Bereich, ob Empfangsbereich, Zimmer, Bad oder Wellnessbereich sowie im Restaurant, ist eine eigene Lichtsituation passend, die mit bestimmten Leuchten, Lampen und eventuell auch einem eigenen Lichtprogramm hergestellt werden kann.

In Büros etwa ist die Ausleuchtung des Arbeitsplatzes sowie die Blendfreiheit ein wichtiges Qualitätskriterium der Beleuchtung.

3.2 Physikalische Eigenschaften von Licht

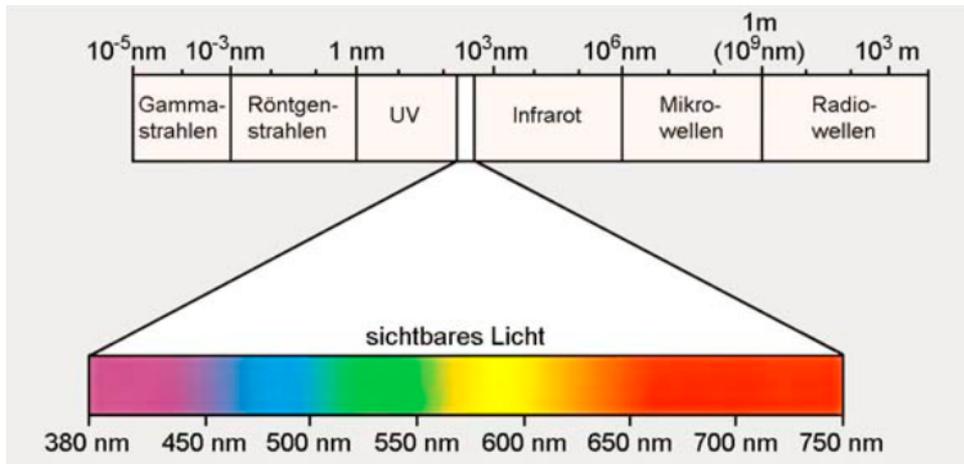
Licht ist elektromagnetische Strahlung. In diesem Leitfaden wird auf das Licht Bezug genommen, das für das menschliche Auge sichtbar ist. In der nachfolgenden Abbildung ist ersichtlich, dass nur ein sehr kleiner Teil des Wellenlängenspektrums für das menschliche Auge wahrnehmbar ist.

Der sichtbare Bereich unterscheidet sich nur durch die Wellenlänge vom nicht für das menschliche Auge sichtbaren Bereich. So sind sichtbare Lichtwellen kürzer als beispielsweise Radiowellen, aber länger als Röntgenstrahlen.

Das für das menschliche Auge erkennbare Licht ist eine elektromagnetische Welle im Bereich von 380 nm (blau) bis 750 nm (rot). Jede Farbe entspricht einer bestimmten Wellenlänge. Vom kurzwelligen Blau über Grün und Gelb bis zum langwelligen Rot weist das Spektrum des Sonnenlichts einen fließenden Übergang auf. Die Mischung aller Farben ergibt weißes Licht.

Gemäß der Empfindlichkeitskurve der Netzhaut des Auges, des sogenannten Hellempfindlichkeitsgrads eines photometrischen Normalbetrachters, sieht das menschliche Auge bei rund 555 nm am hellsten (grün), für die gleiche Wirkung z. B. von Rot und Blau ist mehr Licht erforderlich.

Abbildung 2: Jede Spektralfarbe entspricht einer bestimmten Wellenlänge



Quelle: hhu.de, 2020

Natürliche Farben sind relativ, denn wir sehen nur die Farben, die unter einer bestimmten Licht- beziehungsweise Beleuchtungssituation reflektiert werden. So werden farbige Gegenstände auch nur dann richtig erkannt, wenn im Spektrum einer Lichtquelle alle Farben vorhanden sind. Dies ist etwa beim Sonnenlicht, bei Halogenlampen oder LEDs mit sehr guten Farbwiedergabeeigenschaften ($R_a \geq 90$) der Fall.

3.3 Kenngrößen und Qualitätsmerkmale von Licht

Mittels unterschiedlicher Kenngrößen werden die Eigenschaften von Leuchtmitteln, Leuchten oder Beleuchtungssituationen beschrieben. Diese Kenngrößen sind wesentliche Aspekte, die beim Kauf von Leuchten oder Leuchtmitteln beziehungsweise bei der Planung von Beleuchtungssystemen berücksichtigt werden sollten. Wichtige Kenngrößen des Lichts sind beispielsweise der Lichtstrom, die Beleuchtungsstärke und die Leuchtdichte. Des Weiteren spielen Qualitätsmerkmale wie eine ausgewogene Leuchtdichteverteilung (Helligkeitsverteilung), Blendfreiheit und Schattenwirkung sowie eine energieeffiziente Steuerung eine bedeutende Rolle beim optimalen Beleuchtungssystem.

Für unterschiedliche Einsatzgebiete stehen unterschiedliche Lampen/Leuchten beziehungsweise Leuchtmittel zur Verfügung, die sich in ihrer Charakteristik unterscheiden. Um geeignete Lampen oder Leuchtmittel für einen bestimmten Bereich auswählen und optimal anordnen zu können, ist die Kenntnis der Kenngrößen in der Beleuchtungstechnik wichtig.

Die **Planung einer Beleuchtungsanlage** ist ein **komplexes Thema**. Bei größeren Umstellungen ist man gut beraten, eine **Lichtplanerin oder einen Lichtplaner hinzuzuziehen**.

Wie eingangs bereits erwähnt hat ein optimales Beleuchtungskonzept die folgenden Qualitätsmerkmale zu erfüllen (Zumtobel, 2018):

- Ausreichendes Beleuchtungsniveau
- Harmonische Helligkeitsverteilung
- Blendungsbegrenzung
- Vermeidung von Spiegelungen und Reflexionen
- Gute Schattigkeit
- Passende Farbwiedergabe
- Veränderbarkeit der Lichtsituation
- Möglichkeit der individuellen Beeinflussung
- Licht als raumgestaltendes Element
- Energieeffizienz

Im Folgenden wird auf die Kenngrößen und die Qualitätsmerkmale einer guten Beleuchtung eingegangen.

3.3.1 Lichtstrom

Der Lichtstrom definiert die Lichtmenge, die von einer Lichtquelle in alle Richtungen abgegeben wird, und wird in Lumen (lm) angegeben. Der Lichtstrom ist die maßgebliche Größe für die Berechnung der Beleuchtungsstärke.

3.3.2 Beleuchtungsstärke E und Wartungswert der Beleuchtungsstärke

Die Beleuchtungsstärke ist die Menge des Lichtstroms, die auf eine bestimmte Fläche auftrifft und damit für den Arbeitsbereich einer Mitarbeiterin oder eines Mitarbeiters relevant ist. Die Beleuchtungsstärke wird in Lux (lx) angegeben. Sie ist eine wichtige arbeitnehmerschutzrelevante Kennzahl. In Kombination mit den Reflexionsgraden der beleuchteten Fläche ist die Beleuchtungsstärke entscheidend für die Sehleistung.

In der Außenbeleuchtung wird nicht die Beleuchtungsstärke, sondern die Leuchtdichte als Planungsgröße verwendet, beispielsweise für die Beleuchtung von innerbetrieblichen

Straßen, Parkplätzen oder Laderampen. Bei der Außenbeleuchtung ist auch die Minimierung der Lichtverschmutzung von Bedeutung!

Im Laufe der Jahre nimmt die Leistungsfähigkeit der Beleuchtungsanlage aufgrund der Verminderung des Lichtstroms durch die Alterung und Verschmutzung der Leuchten und auch durch die Alterung und Verschmutzung von Raumbooberflächen ab. Dies bedeutet eine Verminderung der Beleuchtungsstärke.

Bei der Auslegung einer neuen Beleuchtungsanlage berücksichtigen Planerinnen und Planer die Wartungsmerkmale (Alterung und Verschmutzung) der Lampen und der Vorschaltgeräte, die Leuchten, die umgebenden Flächen und den Wartungsplan. Laut der ÖNORM EN 12464 Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen, im Weiteren ÖNORM EN 12464-1 genannt, beinhaltet ein Wartungsplan die Häufigkeit des Lampenwechsels, die Reinigungsintervalle von Leuchte, Raum und Verglasung sowie die Reinigungsmethoden. Die Faktoren, die eine Verminderung der Beleuchtungsstärke zur Folge haben, werden mit dem Wartungsfaktor angegeben, der individuell ermittelt wird.

Wird mit einem Wartungsfaktor von 0,8 gerechnet, so bedeutet dies, dass sich der Lichtstrom der Beleuchtungsanlage bis zum Ende des Wartungsintervalls auf 80 % der ursprünglichen Beleuchtungsstärke vermindern wird.

Die CIE-Publikation 97.2:2005 „Guide on the maintenance of indoor electric lighting systems“ gibt Leuchtenwartungsfaktoren für unterschiedliche Leuchtengruppen (beispielsweise freistrahrende Leuchten, direkt-indirekt freistrahrende Spiegelrasterleuchten) an. Sollten keine genaueren Wartungsdaten bekannt sein beziehungsweise keine genaueren Kenntnisse der Anwendung vorliegen, gibt die genannte Publikation Standardwerte an. Die folgende Tabelle zeigt Beispiele für Wartungsfaktoren.

Tabelle 1: Wartungsfaktoren für unterschiedliche Anwendungen

Umgebungsbedingungen	Arbeitsbereich	Empfohlener Wartungsintervall	Wartungsfaktor
Sehr sauber	Montagearbeitsplätze für Elektronik- Komponenten	3 Jahre	0,80
Sauber	Büros	3 Jahre	0,67
Normal	Restaurants, Laboratorien, Lagerhäuser, Montagehallen	2 Jahre	0,57
Verschmutzt	Chemische Anlagen, Schweißereien, Schleifereien, Holzverarbeitung	1 Jahr	0,50

Quelle: CIE-Publikation 97.2:2005 „Guide on the maintenance of indoor electric lighting systems“

Die Beleuchtungsstärke der neuen Beleuchtung wird mit dem Wartungsfaktor multipliziert, um den Wartungswert der Beleuchtungsstärke zu erhalten.

Die folgenden Tabellen zeigen Wartungswerte der Beleuchtungsstärke E_m beispielhaft für bestimmte Sehaufgaben und Tätigkeitsbereiche laut ÖNORM EN 12464-1. Die Wartungswerte für die Beleuchtungsstärke dürfen zu keinem Zeitpunkt unterschritten werden. Tabelle 2: Anforderungen an die Beleuchtungsstärke für unterschiedliche Arbeitsaufgaben

Beispiele für Räume und Tätigkeiten	Wartungswerte der Beleuchtungsstärke E_m [Lux]
Verkehrsflächen und Flure in Gebäuden	100
Büroräume	500
Technisches Zeichnen	750
Maschinenarbeiten wie Drechseln oder Fräsen	500
Maschinenformerei	200
Allgemeiner Autoservice, Reparatur und Prüfung	500

Beispiele für Räume und Tätigkeiten	Wartungswerte der Beleuchtungsstärke E_m [Lux]
Feine Montagearbeiten wie z. B. Telefone, Radios, IT-Produkte (Computer)	750
Farbkontrolle	1.000
Vorrats- und Lagerräume	100
Versand- und Verpackungsbereiche	300

Quelle: ÖNORM EN 12464-1

Tabelle 3: Anforderungen an die Beleuchtungsstärke für (Hoch-)Regallager

Beispiele für Räume und Tätigkeiten	Wartungswerte der Beleuchtungsstärke E_m [Lux]
Fahrwege ohne Personenverkehr	20
Fahrwege mit Personenverkehr	150
(Hoch-)Regalfront	200

Quelle: ÖNORM EN 12464-1

Laut ÖNORM EN 12464-1 sollte der geforderte Wartungswert der Beleuchtungsstärke erhöht werden, wenn eine oder mehrere der folgenden Bedingungen zutreffen:

- Die Sehaufgabe ist für den Arbeitsablauf kritisch.
- Die Behebung von Fehlern ist kostenintensiv.
- Eine Genauigkeit, höhere Produktivität oder erhöhte Konzentration ist von großer Bedeutung.
- Aufgabendetails sind ungewöhnlich klein oder weisen einen ungewöhnlich geringen Kontrast auf.
- Die Aufgabe muss für eine ungewöhnlich lange Zeit ausgeführt werden.
- Das Sehvermögen der Arbeitsperson liegt unter dem üblichen Sehvermögen.

Wichtig ist es, den Wartungswert bei der Instandhaltung der Beleuchtungsanlage beziehungsweise Beleuchtungssituation zu berücksichtigen und geeignete Maßnahmen in den Wartungsplan einzubeziehen, wie beispielsweise:

- Intervalle für Messungen der Beleuchtungsstärke vorsehen und gemäß den Intervallen durchführen; bei Bedarf die Leuchten beziehungsweise Leuchtmittel austauschen!
- Reinigungsintervall für die Leuchten festlegen und gemäß den Intervallen durchführen
- Bei Bedarf Wand neu streichen

Der **Wartungsplan** und dessen **Einhaltung** als **grundlegendes Kriterium** für das Erreichen des Wartungswertes der Beleuchtung: Sollten Sie Ihre Beleuchtungsanlage in Eigenregie modernisieren, so können die oben genannten Wartungsfaktoren für unterschiedliche Arbeitsumgebungen einen Anhaltspunkt für notwendige Wartungsarbeiten liefern.

Für einen optimalen Wartungsplan holen Sie den Rat einer Lichtplanerin oder eines Lichtplaners ein oder fragen Sie Ihre Lichtplanerin oder Ihren Lichtplaner, welcher Wartungsplan der Auslegung Ihres Beleuchtungssystems zugrunde gelegt ist. Diesen muss die Lichtplanerin oder der Lichtplaner laut ÖNORM EN 12464-1 im Zuge der Planung der Beleuchtungsanlage erstellen.

3.3.3 Lichtstärke I

Die Lichtstärke definiert die Lichtmenge, die in eine bestimmte Richtung abgestrahlt wird, und wird in Candela (cd) angegeben. Reflektoren sind der maßgebliche Einflussfaktor für die Bestimmung der Lichtstärke.

3.3.4 Leuchtdichte L_v

Die Leuchtdichte definiert den Helligkeitseindruck einer flächenhaften Lichtquelle oder Fläche und wird in Candela pro Quadratmeter (cd/m^2) angegeben. Sie wird maßgeblich durch die Beleuchtungsstärke und den Reflexionsgrad bestimmt.

Der Reflexionsgrad (abhängig von Farbe und Oberflächenbeschaffenheit) der Flächen wie Wände oder Arbeitsflächen hat einen großen Einfluss auf das Helligkeitsempfinden eines Raums. Bei gleicher Beleuchtungsstärke wirkt ein weißer Raum heller als ein dunkler Raum. In erstem Fall ist der Reflexionsgrad hoch. Das heißt, dass beispielsweise ein Raum mit weißer Wandfarbe das Licht besser reflektiert. Daraus folgt: Je dunkler die Wandfarbe und Einrichtungsgegenstände eines Raumes sind, und je schwieriger die Sehaufgabe ist, desto höher muss die Beleuchtungsstärke sein, um das erforderliche Mindestmaß an Beleuchtungsniveau zu erreichen.

Eine harmonische, ausgewogene Leuchtdichte- und Helligkeitsverteilung in einem Raum ist für die visuelle Leistungsfähigkeit, Konzentrationsfähigkeit und das Wohlbefinden entscheidend. Das menschliche Auge passt sich ständig an vorherrschende oder sich ändernde Lichtverhältnisse an. Herrschen in einem Raum zu große Helligkeitsunterschiede, muss sich das Auge häufig anpassen. Dies führt zu Ermüdung und kann Unbehagen auslösen. Durch zu kleine Leuchtdichteunterschiede wirkt ein Raum wiederum zu monoton.

Die ÖNORM EN 12464-1 gibt neben den Wartungswerten der Beleuchtungsstärke für die Sehaufgabe auch Werte für den unmittelbaren Umgebungsbereich und für den Hintergrundbereich an. In Kombination mit den Reflexionsgraden der Oberflächen ergibt sich unter Beachtung dieser Vorgaben eine ausgewogene Leuchtdichte- und Helligkeitsverteilung.

3.3.5 Blendung

Ist das Auge auf einen Leuchtdichtezustand beispielsweise auf der Arbeitsfläche adaptiert, wirken relativ zu hohe Leuchtdichten als blendende Objekte (Quelle: wirtschaftspsychologie.uni-hohenheim.de, 2020).

Blendung am Arbeitsplatz kann zu Ermüdung, Fehlern oder sogar Unfällen führen. Um dies zu vermeiden, ist die Einhaltung der Blendfreiheit in der Planung der Beleuchtungsanlage ein wichtiges Kriterium.

Die Blendwirkung der Beleuchtungsanlage in einem Raum wird durch den UGR-Wert (Unified Glare Rating) bestimmt. Dieser berechnete Wert wird durch die Hintergrundleuchtdichte, die Leuchtdichte jeder Leuchte in Richtung des Beobachterauges, den Raumwinkel der leuchtenden Teile jeder Leuchte, bezogen auf das Beobachterauge, und den PositionsindeX nach Guth für die Leuchten (abhängig von ihrer räumlichen Abweichung von der Hauptblickrichtung) bestimmt. Das bedeutet, der Wert ist abhängig von den Leuchten, deren Anordnung und der Position der Mitarbeiterin oder des Mitarbeiters sowie deren beziehungsweise dessen Blickrichtung.

Anhand dieser Beschreibung kann man schon erkennen, dass diese Berechnung alles andere als trivial ist. Daher wird empfohlen, eine Lichtplanerin oder einen Lichtplaner als Unterstützung beizuziehen.

Die ÖNORM EN 12464-1 regelt die maximal zulässigen UGR_L-Werte (Unified Glare Rating Limit). Einige Beispiele für bestimmte Räume und Tätigkeiten sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 4: Maximal zulässige UGR_L-Werte für ausgewählte Räume und Tätigkeiten

Beispiele für Räume und Tätigkeiten	UGR _L
Verkehrsflächen und Flure in Gebäuden	28
Büroräume	19
Technisches Zeichnen	16
Maschinenarbeiten wie Drechseln oder Fräsen	19
Maschinenformerei	25
Allgemeiner Autoservice, Reparatur und Prüfung	22
Feine Montagearbeiten wie z. B. Telefone, Radios, IT-Produkte (Computer)	19
Farbkontrolle	16
Vorrats- und Lagerräume	25
Versand- und Verpackungsbereiche	25

Quelle: ÖNORM EN 12464-1

Tabelle 5: Maximal zulässige UGR_L-Werte für (Hoch-)Regallager

Beispiele für Räume und Tätigkeiten	UGR _L
Fahrwege ohne Personenverkehr	Keine Angabe
Fahrwege mit Personenverkehr	22
(Hoch-)Regalfront	Keine Angabe

Quelle: ÖNORM EN 12464-1

Maßnahmen zur Verminderung beziehungsweise Vermeidung der Blendung: Weist die Beleuchtungsanlage einen höheren Wert als den maximal zulässigen UGR_L-Wert auf, müssen geeignete Maßnahmen ergriffen werden, wie beispielsweise die Abschirmung von

Lampen, eine eventuell mögliche Verminderung des Lichtstroms der Leuchtmittel, die Änderung der Anordnung des Arbeitsplatzes oder die Montage von geeignetem Blendschutz vor Fenstern, um die Blendung in geeignetem Ausmaß zu vermindern oder zu verhindern.

3.3.6 Spiegelungen und Reflexionen

Störende Faktoren, vor allem bei jeglicher Bildschirmarbeit, sind Spiegelungen von Fenstern, IT-Bildschirmen oder Lichtquellen.

Bei der Lichtplanung muss darauf geachtet werden, dass Spiegelungen oder Reflexionen vermieden werden. Dies kann beispielsweise durch die richtige Auswahl und Anordnung der Leuchten erfolgen.

Auch Vorgaben aus dem ArbeitnehmerInnenschutz sind diesbezüglich interessant. So müssen beispielsweise Bildschirme von Bildschirmarbeitsplätzen eine reflexionsarme Oberfläche besitzen (vergleiche dazu Bildschirmarbeitsverordnung § 3 (1) 7). Weiters ist in § 6 „Belichtung und Beleuchtung“ der Bildschirmarbeitsverordnung Folgendes festgeschrieben:

„(1) Bildschirmarbeitsplätze sind so einzurichten, dass Blendungen und störende Reflexionen auf dem Bildschirm und anderen Arbeitsmitteln durch Lichtquellen auch bei leicht wechselnden Arbeitshaltungen vermieden werden. Bei der Aufstellung des Bildschirms ist darauf zu achten, dass die Blickrichtung annähernd parallel zu Fensterflächen gerichtet ist, wenn dies auf Grund der Raumanordnung möglich ist.

(2) Lichteintrittsöffnungen, die störende Reflexionen oder zu hohe Kontraste hervorrufen, müssen mit verstellbaren Lichtschutzvorrichtungen ausgestattet sein. Die Lichtschutzvorrichtung muss zur Kontrastminderung geeignet sein; so ist z. B. die bei direktem Sonnenlichteinfall durch dünne Stoffvorhänge erreichbare Helligkeitsreduktion nicht ausreichend.

(3) Die Beleuchtung ist so zu dimensionieren und anzuordnen, dass ausreichende Lichtverhältnisse und ein ausgewogener Kontrast zwischen Bildschirm und Umgebung gewährleistet sind. Dabei sind die Art der Tätigkeit sowie die sehkraftbedingten Bedürfnisse der Arbeitnehmerin und des Arbeitnehmers zu berücksichtigen.“

3.3.7 Schattigkeit

Die Schattenwirkung entsteht durch eine vorherrschende Richtung des Lichts. Eine Ausgewogenheit zwischen diffusem und gerichtetem Licht ist ausschlaggebend für eine angenehme Schattenwirkung.

Eine ausreichende Schattenwirkung der Beleuchtung erzeugt eine gute Erkennbarkeit der beleuchteten Körper oder umgebenden Flächen, das bedeutet, das Erscheinungsbild des Raumes wirkt angenehm und sicher.

Fehlt die Schattenwirkung, wird das Umfeld als langweilig und unangenehm empfunden. Eine zu hohe Schattenwirkung durch eine zu stark gerichtete Beleuchtung oder Mehrfachschatten erzeugt möglicherweise Unruhe und verwirrende Effekte für das Beobachterauge.

Grundsätzlich sollen starke Schatten, die am Arbeitsplatz störend wirken, vermieden werden. In manchen Fällen jedoch, beispielsweise in Werkstätten, ist eine gewisse Schattenwirkung zur guten Erkennbarkeit und Beurteilung von Flächen oder Körpern erforderlich.

Laut ÖNORM EN 12464-1 ist das Verhältnis zwischen zylindrischer und horizontaler Beleuchtungsstärke in einem Punkt ein guter Indikator zur Bewertung der Schattenwirkung. Auch hier sind die Kenntnisse und die Erfahrung von Lichtplanerinnen und Lichtplanern eine wertvolle Unterstützung.

3.3.8 Farbwiedergabeindex CRI/R_a

Ein wesentliches Qualitätskriterium von Licht ist die Farbwiedergabe. Der Farbwiedergabeindex, als CRI (Colour Rendering Index) oder R_a (allgemeiner Referenzindex) bezeichnet, gibt an, wie natürlich die Farben von Dingen unter einer bestimmten Lichtquelle wirken, und weist einen Wert zwischen 1 und 100 auf. Sonnenlicht, oder auch die Halogenleuchte, hat einen R_a von 100. Dies bedeutet, dass die Farben eines Gegenstandes oder der Umgebung genauso farblich wirken, wie sie tatsächlich sind. LEDs oder Leuchtstofflampen können ebenfalls einen hohen Farbwiedergabeindex erreichen. Hier ist jedoch eine Bandbreite an unterschiedlichen Qualitätsstufen der jeweiligen Produkte zu beachten.

Ein Wert von R_a > 80 ist gut; ein Wert von R_a > 90 ist sehr gut.

Die ÖNORM EN 12464-1 regelt die Minimalanforderungen an die Farbwiedergabe, die eingehalten werden sollten, abhängig von der Sehleistung oder vom Tätigkeitsfeld. Grundsätzlich ist bei der Beschaffung ein möglichst hoher beziehungsweise über die Minimalanforderungen hinausreichender Farbwiedergabeindex anzustreben. Fragen Sie den Hersteller beziehungsweise Händler nach dem Farbwiedergabeindex.

Tabelle 6: Anforderungen an die Farbwiedergabe anhand des Farbwiedergabeindex R_a für unterschiedliche Arbeitsaufgaben

Beispiele für Räume und Tätigkeiten	Farbwiedergabeindex R_a
Verkehrsflächen und Flure in Gebäuden	40
Büroräume	80
Technisches Zeichnen	80
Maschinenarbeiten wie Drechseln oder Fräsen	80
Maschinenformerei	80
Allgemeiner Autoservice, Reparatur und Prüfung	80
Feine Montagearbeiten wie z. B. Telefone, Radios, IT-Produkte (Computer)	80
Farbkontrolle	90
Vorrats- und Lagerräume	60
Versand- und Verpackungsbereiche	60

Quelle: ÖNORM EN 12464-1

Tabelle 7: Anforderungen an die Farbwiedergabe anhand des Farbwiedergabeindex R_a für (Hoch-)Regallager

Beispiele für Räume und Tätigkeiten	Farbwiedergabeindex R_a
Fahrwege ohne Personenverkehr	40
Fahrwege mit Personenverkehr	60
(Hoch-)Regalfront	60

Quelle: ÖNORM EN 12464-1

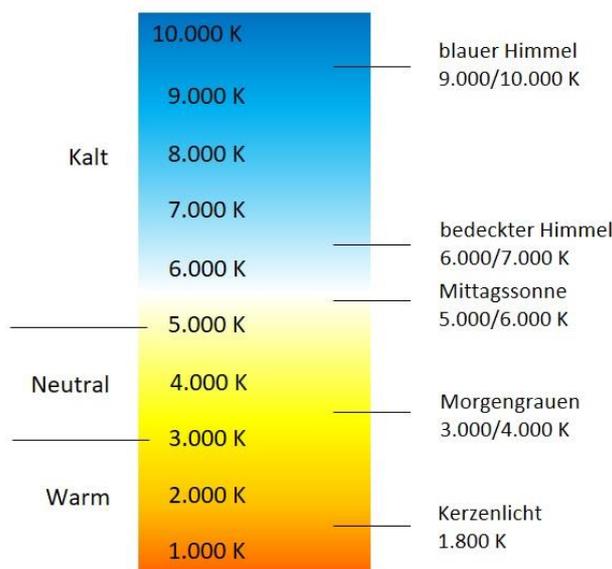
Ein höherer Farbwiedergabeindex von $R_a > 90$ beziehungsweise 95 lässt den Arbeitsalltag bunter erscheinen und steigert somit das Wohlbefinden (Quelle: Alder, 2020).

3.3.9 Farbtemperatur

Ein weiteres bedeutendes Qualitätsmerkmal, welches die Auswahl einer Leuchte beziehungsweise eines Leuchtmittels maßgeblich beeinflusst, ist die Farbtemperatur. Die Farbtemperatur beschreibt die Eigenfarbe der Lichtquelle selbst. Sie wird in Kelvin (K) angegeben und hat einen wesentlichen Einfluss auf die Stimmung des Raumes.

Die Lichtfarben von Lichtquellen sind in drei Gruppen eingeteilt: warmweißes, neutralweißes und kaltweißes oder tageslichtweißes Licht. Die folgende Abbildung zeigt mögliche Farbtemperaturen des Lichts, die Einteilung in die erwähnte Gruppe und ihr Vorkommen.

Abbildung 3: Farbtemperatur von kalt-, neutral- und warmweißem Licht in Kelvin (K)



Quelle: Österreichische Energieagentur

Die Farbtemperatur beeinflusst die Stimmung und den Biorhythmus des Menschen. Im natürlichen Tagesverlauf verändert sich die Farbtemperatur des Tageslichts von warmweiß in der Früh über kaltweiß zur Mittagszeit bis wieder hin zu warmweiß am

Abend. Wärmere Lichtfarben wirken gemütlich, wogegen kältere Farben aktivierend wirken.

Achten Sie bei Arbeitsplätzen darauf, dass gleiche Lichtfarben der Leuchten beziehungsweise Leuchtmittel verwendet werden!

Weisen Leuchtmittel die gleiche Lichtfarbe auf, so kann, aufgrund der spektralen Zusammensetzung der Lichtfarbe, ihre Farbwiedergabeeigenschaft trotzdem unterschiedlich sein.

Fragen Sie den Hersteller beziehungsweise Händler nach der Farbtemperatur der Lichtquelle!

3.3.10 Flimmern, Stroboskopeffekt

„Flimmern“ bezeichnet visuelle Schwankungen aufgrund eines Lichtreizes, dessen Leuchtdichte oder Spektralverteilung zeitlich schwankt. Diese Schwankungen können periodisch oder nicht periodisch sein. Sie können von der Lichtquelle selbst, der Stromquelle oder anderen Einflussfaktoren hervorgerufen werden (Quelle: EU-Verordnung Nummer 2019/2020 EU (Produktgestaltung)).

Auswirkungen von Flimmern und vom Stroboskopeffekt: Flimmernde Beleuchtung, egal ob bewusst wahrgenommen oder nicht, kann beispielsweise Kopfschmerzen auslösen. In Produktionsbetrieben kann auch nicht wahrnehmbares Flimmern den Stroboskopeffekt auslösen. Der Stroboskopeffekt (auch Wagenrad-Effekt genannt) bezeichnet den scheinbar verlangsamten oder umgekehrten Ablauf von periodischen Prozessen, die nur zu bestimmten, regelmäßig aufeinanderfolgenden Zeitintervallen beobachtet werden.

Dies kann zu gefährlichen Situationen führen, da rotierende oder sich hin- und herbewegende Teile nicht korrekt erkannt werden können. Aus diesen Gründen ist laut ÖNORM EN 12464-1 Flimmern beziehungsweise das Entstehen von Stroboskopeffekten zu vermeiden.

Bei LEDs oder Leuchtstoffröhren beispielsweise folgt das abgegebene Licht des Leuchtmittels genau dem Verlauf des eingehenden Stroms. Aus diesem Grund muss das Leuchtmittel konstant mit Strom versorgt werden. Diesen Zweck erfüllen hochwertige Vorschaltgeräte.

Fragen Sie den Hersteller beziehungsweise Händler nach dem Flimmerwert! Bei dimmbaren Leuchten beziehungsweise Leuchtmitteln müssen die Grenzwerte auch für den gedimmten Zustand eingehalten werden.

Gesetzliche Anforderungen: Die Verordnung (EU) 2019/2020 zur Festlegung von Ökodesign-Anforderungen an Lichtquellen und separate Betriebsgeräte (im Weiteren EU-Verordnung 2019/2020 genannt), gültig ab 01.09.2021, legt strenge Anforderungen in Bezug auf das Flimmern und entstehende Stroboskopeffekte fest, die von den Herstellern eingehalten werden müssen.

Die in der genannten Verordnung verwendete Messgröße für das Flimmern ist der genormte Parameter „P_{stLM}“, wobei „st“ für „Kurzzeit“ (Short Term) und „LM“ für „Licht-Flimmermessmethode“ (Light Flicker Method) steht. Ein Wert von P_{stLM} = 1 bedeutet, dass ein durchschnittlicher Beobachter das Flimmern mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % erkennt. Die EU-Verordnung 2019/2020 legt fest, dass der Parameter P_{stLM} bei Volllast maximal 1 betragen darf.

Die in der genannten Verordnung verwendete Messgröße für den Stroboskopeffekt ist die genormte Größe „SVM“ (Stroboscopic Visibility Measure). Ein Wert von SVM = 1 ist die Sichtbarkeitsschwelle für einen durchschnittlichen Beobachter. Die EU-Verordnung 2019/2020 legt fest, dass der Parameter SVM bei Volllast maximal 0,4 betragen darf. Ausgenommen sind hier Hochdruckentladungslampen mit einem Lichtstrom von mehr als 4 klm (1 Kilolumen = 1.000 Lumen) und Lichtquellen, die für Anwendungen im Freien, Industrieanwendungen oder sonstige Anwendungen bestimmt sind, in denen die Beleuchtungsnormen einen Farbwiedergabeindex R_a < 80 ermöglichen.

Diese beiden Größen müssen vom Lieferanten in die EU-Produktdatenbank EPREL (European Product Database for Energy Labelling) eingegeben werden.

Messung: Mit einem Flickermeter kann das Flimmern gemessen werden. Es gibt das PSTLM-Verfahren und das SVM-Verfahren. Mittels PSTLM-Verfahren wird der sichtbare Flicker gemessen, der durch Lichtmodulation im Frequenzbereich von 0,3 bis 80 Hz verursacht wird. Details dazu finden Sie in „IEC TR 61547-1:2020-07 Einrichtungen für allgemeine Beleuchtungszwecke – EMV-Störfestigkeitsanforderungen; Beiblatt 1: Objektives Flickermeter und Störfestigkeitsprüfverfahren gegen Spannungsschwankungen“ und in „IEC 61000-4-15:2010-08 Teil 4-15: Prüf- und Messverfahren – Flickermeter – Funktionsbeschreibung und Auslegungsspezifikation“.

Mittels SVM-Verfahren wird der Stroboskopeffekt bewertet, der im Frequenzbereich von 80 bis 2.000 Hz auftreten kann (Quelle: Tridonic.com, 2020).

3.3.11 Weitere Qualitätsmerkmale

Es gibt weitere Merkmale, die die Qualität einer Beleuchtungsanlage auszeichnen. Diese sind nicht direkt auf physikalische Größen zurückzuführen, sondern betreffen die Bedienbarkeit und den Komfort der Beleuchtungsanlage.

Besonders in Restaurants oder Hotels, aber auch in Pflegeheimen ist die Erzeugung von gewissen Stimmungen eine bedeutsame Funktion der Beleuchtungsanlage. Eine Veränderbarkeit der Lichtsituation ist ein weiteres Qualitätsmerkmal.

Die Wichtigkeit der Möglichkeit der individuellen Beeinflussung kennen wir bereits von der Raumtemperatur. Auch die Möglichkeit, die Lichtsituation bis zu einem gewissen Grad anpassen zu können, ist für Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter und beispielsweise auch für Gäste eines Hotels ein essenzieller Aspekt und zählt damit zu den weiteren Qualitätskriterien, die eine Beleuchtungsanlage aufweisen kann.

3.3.12 Maß für die Energieeffizienz von Leuchtmitteln: Lichtausbeute η_v

Die Lichtausbeute ist das Maß für die Energieeffizienz von Lichtquellen. Die Lichtausbeute gibt an, wie viel Lichtstrom (lm) pro Watt (W) aufgenommener Leistung das Leuchtmittel erzeugt. Sie gibt damit Aufschluss über die Wirtschaftlichkeit einer Lichtquelle. Je höher die Lichtausbeute ist, also je höher die lm/W, desto effizienter ist die Lichtquelle. Diese Angabe finden Sie nicht direkt auf dem Energieeffizienzlabel auf der Verpackung der Leuchtmittel, sondern Sie können sie selbst berechnen, indem Sie den Quotienten aus dem angegebenen Lichtstrom und der aufgenommenen Leistung bilden.

Einige Beispiele als Richtwerte:

- Glühlampe: 12 lm/W
- Halogenglühlampe: 15 bis 20 lm/W
- Energiesparlampe: 40 bis 80 lm/W
- Leuchtstofflampe (Neonröhre): 60 bis 100 lm/W
- LED: bis 160 lm/W
- Power-LED: 100 bis 250 lm/W

4 Beleuchtungsaudit – Schritt für Schritt

Der Ablauf eines Energieaudits für Beleuchtungssysteme in Betrieben ist gemäß der Struktur der Energieauditnorm ÖNORM EN 16247-1. Ausschlaggebend ist darüber hinaus die Umsetzung von Maßnahmen. Jedes Unternehmen kann so einen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten.

Ein Energieaudit für Beleuchtungssysteme sollte schrittweise ablaufen, wobei einige der Schritte auch parallel ablaufen können:

- Durchführung der Ist-Analyse (beispielsweise Datenerfassung)
- Ableitung von Maßnahmen
- Umsetzung von Maßnahmen

4.1 Ist-Analyse

Mit einer Datenerhebung und Analyse sollte in einem ersten Schritt die bestehende Beleuchtungsanlage bewertet werden, um in einem weiteren Schritt geeignete Maßnahmen festzulegen. Die Ist-Analyse sollte folgende Punkte, auf die anschließend genauer eingegangen wird, umfassen:

- Ermittlung des Beleuchtungsstromverbrauchs
- Alter der Beleuchtungsanlage
- Wartungsintensität der Beleuchtungsanlage
- Tatsächlich eingesetzte Leuchtmittel
- Überprüfung der Eignung der eingesetzten Leuchten und Leuchtmittel für bestimmte Arbeitsbereiche
- Einsatz von Lichtmanagement bei Bereichen, die nur zu bestimmten Zeiten genutzt werden
- Bildung von energierelevanten Kennzahlen für die Analyse
- Begehung
- Dokumentation

4.1.1 Ermittlung des Beleuchtungsstromverbrauchs

Sofern das nicht bekannt ist, muss der Stromverbrauch gemessen oder berechnet werden. Einfacher ist es, wenn es einen Messwert aus der Betriebsleittechnik gibt. Gibt es keinen Messwert aus der Betriebsleittechnik, kann der Stromverbrauch der Beleuchtung direkt im Lichtkreis mit einem mobilen oder stationären Strommessgerät gemessen werden. Messungen direkt im Stromkreis dürfen nur von ausgebildeten Expertinnen und Experten durchgeführt werden. Fragen Sie dazu die Elektrofachkräfte und die Sicherheitsfachkräfte im Betrieb! Die Messung im Stromkreis umfasst oft nicht nur die Beleuchtung; das muss bei der Ermittlung des Stromverbrauchs berücksichtigt werden.

Am besten wird zuerst ein Messplan erstellt, nach dem die Messung erfolgen soll. Wesentliche Elemente eines Messplans umfassen unter anderem die Darstellung der erfassten Anlagen/Leuchtmittel, den betreffenden Gebäudebereich, den Zeitpunkt, die Dauer der Messung, die Art des Messgeräts und weitere erfasste Parameter. Bei Beleuchtungsmessungen sollte auch das Lichtniveau, die Wetterlage und Auslastung der Arbeitsplätze berücksichtigt werden (z. B. bewölkt, direkte Sonneneinstrahlung). In Industrieanlagen sind vor allem für die Abend- und Nachtschicht Messungen (oder gesonderte Berechnungen) sinnvoll. Verschiedene Arbeitssituationen sollten dabei berücksichtigt werden. Es kann auch erforderlich sein, die Messung über das Wochenende fortzuführen, um unnötigen Energieverbrauch zu identifizieren. Die Ergebnisse der Messung sollten in einem Messprotokoll zusammengefasst werden.

Sofern eine Messung sich als zu schwierig erweist oder nur mit erheblichem Aufwand möglich ist, sollte der Stromverbrauch berechnet werden. Zur Berechnung des Stromverbrauchs kann in Anlehnung an die folgende Tabelle eine Auflistung der bestehenden Leuchten und Leuchtmittel erfolgen. Vergessen Sie nicht, den Stromverbrauch der Vorschaltgeräte miteinzubeziehen.

Tabelle 8: Beispiel für eine Auflistung der Leuchten und Lichtquellen zur weiteren Berechnung des Stromverbrauchs

Bezeichnung Leuchten/Lichtquellen Typ	Lampen- leistung [W]	Tatsächliche Leistung (inklusive Vorschalt- gerät) [W]	Stück	Betriebszeit pro Jahr [h/a]	Energie- verbrauch [kWh/a]
Halbkugelförmige Leuchten	26	28,6	189	1.007	5.443
Röhren (Halogen in Büros)	108	118,8	123	747	1.0921
Kurze Röhren (Notlicht in Gängen)	8	8,8	22	8.398	1.626
LED-Einbauleuchten	32	35,2	16	396	223

Quelle: klimaaktiv ProTool

Die Ermittlung der Betriebszeit muss individuell erfolgen, teilweise müssen auch Annahmen getroffen werden. Beispielsweise ist ein Richtwert für die jährliche Betriebszeit eines Zweischichtbetriebs rund 4.800 Stunden pro Jahr (Berechnung: 16 Stunden pro Tag mal sechs Tage die Woche mal 50 Wochen im Jahr). Ist ein Zeiterfassungssystem im Einsatz, kann auch das in anonymisierter Form für die Ermittlung der jährlichen Betriebszeit herangezogen werden.

Haben Sie für Ihre bestehenden LED-Leuchten beziehungsweise -Leuchtmittel nur die Lumenanzahl und keine Angabe zur Leistung oder dem Energieverbrauch, fragen Sie beim Hersteller beziehungsweise Lieferanten nach. Mit 1. September 2021 gibt es gemäß der EU-Verordnung zur Energieverbrauchskennzeichnung für Lieferanten die Verpflichtung, ein Produktdatenblatt für einen Großteil der Lichtquellen in einer Datenbank bereitzustellen. Die Angaben aus dem Produktdatenblatt können für die Ermittlung des Stromverbrauchs herangezogen werden. Verpflichtende Angaben im Produktdatenblatt sind unter anderem:

- Energieverbrauch im Ein-Zustand (kWh/1.000 h)
- Leistungsaufnahme im Ein-Zustand in W
- Leistungsaufnahme im Bereitschaftszustand in W
- Leistungsaufnahme im vernetzten Bereitschaftsbetrieb in W

4.1.2 Alter der Beleuchtungsanlage

Bei herkömmlichen Beleuchtungsanlagen wird meist eine Nutzungsdauer von zehn Jahren angesetzt. Beleuchtungsanlagen, die älter als zehn Jahre alt sind, sind meist veraltet und es besteht jedenfalls Handlungsbedarf.

4.1.3 Wartungsintensität der Beleuchtungsanlage

Ist die Beleuchtungsanlage sehr wartungsintensiv, besteht Handlungsbedarf. LED-Leuchten und -Leuchtmittel haben eine längere Lebensdauer und sind daher auch weniger wartungsintensiv.

4.1.4 Tatsächlich eingesetzte Leuchtmittel

Ermitteln Sie, welche Leuchtmittel und Leuchten tatsächlich im Einsatz sind. Sind bereits energieeffiziente Leuchtmittel im Einsatz oder gibt es noch weniger energieeffiziente Leuchten beziehungsweise Leuchtmittel wie Energiesparlampen oder Metalldampflampen? Anhand dieser Aufstellung erhalten Sie einen Überblick über Bereiche, die Verbesserungspotenzial aufzeigen.

4.1.5 Überprüfung der Eignung der eingesetzten Leuchten und Leuchtmittel für bestimmte Arbeitsbereiche

Ermitteln Sie, ob die vorhandene Lichtqualität für die jeweiligen Arbeitsverhältnisse geeignet ist, und berücksichtigen Sie dabei auch die gesetzlichen Vorschriften und relevanten Normen. Beurteilen Sie die Lichtqualität nach den in Kapitel 3.3 „Kenngrößen und Qualitätsmerkmale von Licht“ angeführten Qualitätskriterien.

Einige Fragen zur Beurteilung der Lichtqualität sind folgende:

- Gibt es ausreichend Tageslicht?
- Ist die Beleuchtungsstärke für die jeweiligen Tätigkeiten ausreichend?
- Gibt es unterschiedliche Lichtfarben?
- Gibt es Blendungen und Reflexionen?
- Ist die Helligkeit ausreichend, ist die Wandfarbe verschmutzt?

Zur Beurteilung, ob die Leuchten geeignet sind, muss auch festgestellt werden, ob die Reflektoren geeignet sind.

Wie eingangs erwähnt spielen bei der Belichtung und Beleuchtung neben umweltrelevanten Themen auch Aspekte des ArbeitnehmerInnenschutzes eine bedeutende Rolle. Beispielsweise dürfen mit wenigen Ausnahmen nur Räume als Arbeitsräume verwendet werden, die möglichst gleichmäßig natürlich belichtet sind. Sie müssen Lichteintrittsflächen aufweisen, die in Summe mindestens 10 % der Bodenfläche betragen und direkt ins Freie führen (vergleiche dazu Arbeitsstättenverordnung § 25 (1) 1).

In § 2 der Arbeitsstättenverordnung ist weiters festgehalten, dass die Beleuchtungsstärke von Verkehrswegen innerhalb eines Gebäudes mindestens 30 Lux betragen soll.

In § 29 der Arbeitsstättenverordnung ist für Arbeitsräume festgelegt, dass sie mit einer möglichst gleichmäßigen und möglichst farbneutralen künstlichen Beleuchtung auszustatten sind. Die Beleuchtungsstärke muss im ganzen Raum, gemessen 0,85 m über dem Boden, mindestens 100 Lux betragen, sofern die Nutzungsart des Raumes dem nicht entgegensteht.

4.1.6 Einsatz von Lichtmanagement bei Bereichen, die nur zu bestimmten Zeiten genutzt werden

Beispielsweise ist eine Beleuchtung in Lagerhallen und in Sanitärbereichen nur zu bestimmten Zeiten erforderlich. Die Fragen sind dazu:

- Können verschiedene Bereiche getrennt geschaltet werden? Beispielsweise sind in Lager- oder Produktionshallen getrennt einschaltbare Lichtkreise sinnvoll, da oft nur in Teilbereichen gearbeitet wird.
- Gibt es Bereiche, in denen das Licht durch Tageslichtsensoren gesteuert werden sollten?
- Gibt es Bereiche, in denen Präsenzmelder sinnvoll sind und auch eingebaut sind?

Im Rahmen des Programms klima**aktiv** Energieeffiziente Betriebe werden mittlerweile nur umgesetzte Beleuchtungsprojekte ausgezeichnet, bei denen auch ein optimales Lichtmanagement berücksichtigt und durchgeführt wurde.

4.1.7 Bildung von energierelevanten Kennzahlen für die Analyse

Bilden Sie energierelevante Kennzahlen zur Analyse des Stromverbrauchs, wie beispielsweise den Anteil des Stromverbrauchs für die Beleuchtung im Vergleich zum gesamten Stromverbrauch. Ist der Anteil des Stromverbrauchs größer 10 % kann die Beleuchtung jedenfalls als relevanter Energieverbraucher bewertet werden.

Liegen vorangegangene Auditberichte und Ergebnisse vor, sollte ein Vergleich mit diesen durchgeführt werden. Optimaler Weise liegt der Stromverbrauch der Beleuchtung über einen längeren Zeitraum vor; so kann die Entwicklung beobachtet werden. Bei der Betrachtung des Stromverbrauchs der Beleuchtung sollten die Einflussfaktoren auf die Beleuchtung berücksichtigt werden. Der Energieverbrauch sollte um die relevanten Einflussfaktoren bereinigt werden (z. B. Anwesenheit, Sonnenlicht; Quelle: klimaaktiv.at, 2018).

4.1.8 Begehung

Im Rahmen des Beleuchtungsaudits sollte im Rahmen der Ist-Analyse eine Begehung zur Beurteilung der oben angeführten Punkte durchgeführt werden. Im Zuge der Begehung kann beispielsweise überprüft werden, ob die Beleuchtung je nach Bedarf ein- oder ausgeschaltet ist.

Bei der Begehung kann auch die Beleuchtungsstärke mit einem Luxmeter gemessen und analysiert werden. Wie eingangs erwähnt liegt der für den Menschen sichtbare Bereich der Lichtschwingungen zwischen 380 nm und 780 nm. Ein Beleuchtungsstärkemessgerät (Luxmeter) muss das Licht mit der gleichen „Kennlinie“ bewerten wie das Auge, um zu aussagekräftigen Werten zu kommen. Meist werden LEDs mit einem breiten Lichtspektrum eingesetzt. In diesen Fällen ist die Messung mit einem Luxmeter möglich; Schwierigkeiten kann es bei der Messung des eingeschränkten Spektralbereichs von monochromatischen LEDs geben (Quelle: Schleicher, 2020). Viele präzise Beleuchtungsmessgeräte der heutigen Generation liefern ein korrektes, aussagekräftiges Ergebnis bei der Messung von LED-Beleuchtung. Erkundigen Sie sich vor dem Kauf eines Luxmeters, ob das ausgewählte Gerät tatsächlich für die Beleuchtungsstärkemessung von LED-Beleuchtung geeignet ist. Fragen Sie die Sicherheitsfachkräfte im Betrieb, ob sie ein geeignetes Luxmeter haben und wie man bei einer Messung der Beleuchtungsstärke auch arbeitnehmerschutzrelevante Punkte berücksichtigt!

Bei der Begehung sollte auch die Außenbeleuchtung überprüft werden; beispielsweise kann Pflanzenbewuchs die Tageslichtsteuerung beeinflussen.

4.1.9 Dokumentation

Die Ergebnisse der Ist-Analyse sollten dokumentiert werden, damit sie nachvollziehbar bleiben.

4.2 Ableiten von Energieeffizienzmaßnahmen

Ausgehend von der Ist-Analyse ergeben sich identifizierte Verbesserungspotenziale, die entweder sofort in konkrete Maßnahmen münden oder noch im Detail auf deren Optimierungspotenzial hin bewertet und betrachtet werden müssen. Eine detaillierte Betrachtung von Energieeffizienzmaßnahmen im Bereich Beleuchtung finden Sie in Kapitel 5 „Energieeffizienzmaßnahmen für Beleuchtungssysteme“.

4.3 Umsetzen von Energieeffizienzmaßnahmen

Ausschlaggebend ist die Umsetzung von Maßnahmen! Holen Sie sich dazu die Freigabe vom Topmanagement. Listen Sie die vorgeschlagenen Maßnahmen auf und präsentieren Sie sie. Heben Sie dabei neben den möglichen Kosteneinsparungen auch die Vorteile der verbesserten Lichtqualität sowie den verminderten Wartungsaufwand hervor. Legen Sie gemeinsam einen Umsetzungsplan mit Zeitplan und Verantwortlichkeiten fest.

5 Energieeffizienzmaßnahmen für Beleuchtungssysteme

In weiterer Folge werden vier Kategorien von Maßnahmen betrachtet, wobei es in der Praxis meist eine Kombination dieser Maßnahmen ist:

- Kategorie 1: Optimierung der Tageslichtnutzung
- Kategorie 2: Optimierung des Lichtmanagements
- Kategorie 3: Raumoptimierung
- Kategorie 4: Einsatz von LED

5.1 Optimierung der Tageslichtnutzung

In Betrieben wird zum Schutz vor äußeren Einflüssen ein Großteil der zu erledigenden Tätigkeiten innerhalb von Gebäuden durchgeführt. Dies ermöglicht den Einsatz von technischen Systemen zur Herstellung jedes beliebigen Raumklimas (Temperatur, Feuchte, Lichtqualität etc.) unabhängig von den äußeren Gegebenheiten. Auf der anderen Seite wird aufgrund der lokalen Bedingungen oftmals auf den (hybriden) Einsatz von natürlich vorkommenden Ressourcen (z. B. Tageslicht) verzichtet. Im Allgemeinen wird also natürliches Licht bei Industriegebäuden relativ selten verwendet.

Dabei gibt es klare Vorteile bei der Nutzung von Tageslicht:

- Steigerung des Wohlbefindens und der Gesundheit
- Steigerung der solaren Wärmegewinne (Verringerung des Heizwärmebedarfs)
- Reduktion des Energiebedarfs für die Bereitstellung von künstlichem Licht

Hingegen können die Nachteile der Nutzung von Tageslicht sein:

- Zeitlich und saisonal beschränkte Verfügbarkeit
- Beeinflussung durch das Wetter
- Blendeffekte in Fensternähe (Lichtqualität)
- Sommerliche Überhitzung von Räumen, damit erhöhter Kühlenergiebedarf

Zusammenfassend geht es also darum, die Vorteile, welche sich aus der Tageslichtnutzung ergeben, zu maximieren und gleichzeitig mögliche Nachteile zu berücksichtigen.

Generell gilt, dass die Tageslichtnutzung nur in den seltensten Fällen als einzige Lichtlösung eingesetzt werden kann. In Zeiten mit geringem Tageslichtanteil beziehungsweise in Zeiten mit erhöhten Lichthanforderungen ist die Lichtqualität mit einem konventionellen System herzustellen (hybrides System von Belichtung und Beleuchtung). Zur Optimierung der Tageslichtnutzung stehen die in den nächsten beiden Kapiteln dargestellten Verbesserungsmöglichkeiten zur Verfügung.

5.1.1 Einbau von transparenten vertikalen & horizontalen Bauteilen

Wie bereits eingangs erwähnt dürfen gemäß gesetzlichen Vorgaben mit wenigen Ausnahmen nur Räume als Arbeitsräume verwendet werden, die in Summe Lichteintrittsflächen von mindestens 10 % der Bodenfläche aufweisen und direkt ins Freie führen.

Das Österreichische Institut für Bautechnik veröffentlicht Richtlinien (sogenannte OIB-Richtlinien), die Vorgaben für den Bau oder die Sanierung von Gebäuden enthalten. Die OIB-Richtlinie 3, Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz, gibt in Kapitel 9.1 Empfehlungen für Aufenthaltsräume:

„Bei Aufenthaltsräumen muss die gesamte Lichteintrittsfläche (Architekturlichte von Fenstern, Lichtkuppeln, Oberlichtbändern etc.) mindestens 12 % der Bodenfläche dieses Raumes betragen.

Die erforderliche Lichteintrittsfläche vergrößert sich ab einer Raumtiefe von mehr als 5 m um jeweils 1 % der gesamten Bodenfläche des Raumes pro angefangenem Meter zusätzlicher Raumtiefe.“

Die Tageslichtnutzung kann entweder durch vertikale Bauteile erfolgen wie Fenster, transparente Türen oder Garagentore oder aber durch horizontale Bauteile wie durch Oberlichten, Lichtbänder oder Erker. Transparente Bauteile können eine Sichtverbindung ins Freie sein, aber können auch eine ungünstigere Dämmeigenschaft haben. Oberlichten bieten zusätzlich die Möglichkeit der Belüftung und Entlüftung oder als Rauchabzug.

5.1.2 Einbau von Lichtlenksystemen und Lichtleitsystemen

Zusätzlich zu transparenten Bauteilen können Lichtlenksysteme (z. B. Lenkjalousien) und Lichtleitsysteme (z. B. Lichtkamine, Lightpipes) eingebaut werden, um auch tiefer liegende beziehungsweise abgelegene Raumbereiche zu erreichen.

5.1.3 Bewertung der Energieeinsparung durch verstärkte Tageslichtnutzung

Die Energieeinsparung ergibt sich in erster Linie durch die Reduktion der Betriebszeiten der elektrischen Beleuchtungsanlage. In der Regel gilt, dass das Beleuchtungssystem ausgeschaltet werden kann, wenn die Qualität des Tageslichtes zumindest gleich groß ist wie die geforderte Lichtqualität im Inneren des Raumes. Der Zusammenhang zwischen diesen beiden Kenngrößen wird über den Tageslichtquotienten beschrieben, der eine wichtige lichtplanerische Kennzahl ist.

Der mittlere Tageslichtquotient wird in Prozent angegeben und ist das Verhältnis zwischen der Beleuchtungsstärke an einem Punkt im Innenraum und der gleichzeitig vorhandenen horizontalen Beleuchtungsstärke im Freien bei bedecktem Himmel und unverbauter Himmelshalbkugel.

Formel 1: Mittlerer Tageslichtquotient

$$D = \frac{E_{innen}}{E_{außen}} * 100$$

D...mittlerer Tageslichtquotient [%]

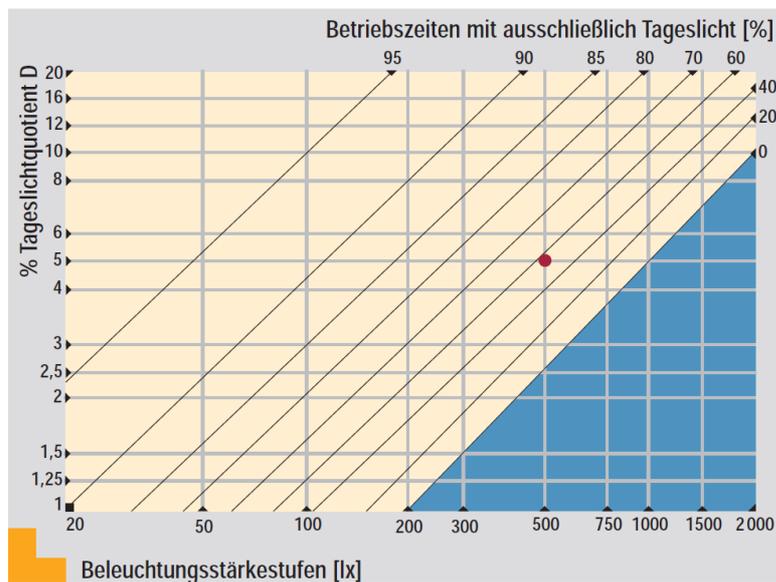
E_{innen}...Beleuchtungsstärke an einem Punkt im Innenraum [Lux]

E_{außen}...Beleuchtungsstärke an einem Punkt im Freien [Lux]

Beispielsweise ergibt sich bei einer Beleuchtungsstärke an einem Punkt im Innenraum von 300 Lux und einer Beleuchtungsstärke an einem Punkt im Freien von 20.000 Lux ein Tageslichtquotient von 1,5 %. Eine detaillierte Beschreibung für die Berechnung des Tageslichtquotienten findet sich in Teil 3 der DIN 5034 Tageslicht in Innenräumen. Aufgrund der Komplexität empfiehlt es sich, für die Bestimmung des Tageslichtfaktors eine Software zu verwenden und eine Lichtplanerin oder einen Lichtplaner hinzuzuziehen.

Kennt man nun den mittleren Tageslichtquotienten und die erforderliche Beleuchtungsstärke im Innenraum, kann man anhand der nachfolgenden Abbildung den Anteil der Betriebszeit abschätzen, in welcher der Raum ausschließlich mit Tageslicht beleuchtet werden kann. Beispielsweise kann bei einem mittleren Tageslichtquotienten von 5 und einer erforderlichen Beleuchtungsstärke im Innenraum von 500 Lux rund 60 % der Betriebszeit ausschließlich mit Tageslicht beleuchtet werden.

Abbildung 4: Zusammenhang zwischen Tageslichtquotient, Beleuchtungsstärke und Betriebszeiten



Quelle: rehva.eu, 2010

Die folgende Formel zeigt die Berechnung der Energieeinsparung durch verstärkte Tageslichtnutzung.

Formel 2: Energieeinsparung durch verstärkte Tageslichtnutzung

$$EE_J = (P \cdot t_B \cdot (1 - f_v)) - (P \cdot t_B \cdot (1 - f_n))$$

EE_J ... Energieeinsparung pro Jahr [kWh/a]

P... Elektrische Anschlussleistung [kW]

t_B... Betriebsstunden pro Jahr [h/a] während der Tageszeiten

f ... Tageslichtquotient vor der Umsetzung der Maßnahme [%]

f_n... Tageslichtquotient nach der Umsetzung der Maßnahme [%]

Für Nachtarbeit kann diese Berechnung nicht herangezogen werden. Noch genauer wird diese Berechnung, wenn die Energieeinsparung pro Stunde berechnet wird.

Wichtig ist, vor Umsetzung einer Maßnahme zur Optimierung der Tageslichtnutzung die Lichtqualität zu bewerten, die mit der Maßnahme erreicht werden. Die Lichtqualität darf durch die Maßnahme nicht negativ beeinflusst werden.

Maßnahmen zur erhöhten Tageslichtnutzung erfordern meist hohe Investitionskosten. Besonders für Maßnahmen im Bereich der Tageslichtoptimierung ist es daher unerlässlich, schon in der Planungsphase die optimale Tageslichtnutzung zu berücksichtigen, um das bestmögliche Ergebnis zu erzielen. In der Praxis sind diese Maßnahmen bei Betrieben vor allem bei Neubauten beziehungsweise Zubauten relevant.

5.2 Optimierung des Lichtmanagements

Wie bereits erwähnt gibt es in Abhängigkeit der Sehaufgabe und der Anwesenheitszeit unterschiedliche Anforderungen an die Lichtqualität. Auf der einen Seite ergibt sich bereits durch die Optimierung der Tageslichtnutzung eine bestimmte Lichtqualität im Raum. Weiters kann die Lichtqualität durch den Austausch von Leuchtmitteln erreicht werden, optimaler Weise in Kombination mit einem Lichtmanagementsystem. Unter einem Lichtmanagementsystem werden technische Maßnahmen zur Regelung und

Steuerung von Beleuchtungssystemen verstanden. All diese Maßnahmen führen zu einem flexiblen, bedarfsgerechten zeitlichen und örtlichen Lichteinsatz bei gleichzeitiger Steigerung des Wohlbefindens und Optimierung des Energieverbrauchs.

5.2.1 Energieeffizienz – Einsparmaßnahmen bei der Innenbeleuchtung

Selbst bei Beleuchtungssystemen, die bereits mit LED betrieben werden, besteht oft noch Einsparungspotenzial durch Maßnahmen im Bereich Lichtmanagement (beispielsweise durch den Einsatz von Tageslicht- und Präsenzsteuerung).

In Abhängigkeit der Komplexität und Aufgabe des Beleuchtungssystems ergeben sich unterschiedliche Optimierungsmöglichkeiten, die in der nachfolgenden Tabelle im Überblick dargestellt sind.

Tabelle 9: Möglichkeiten zur Optimierung des Lichtmanagements

Möglichkeit	Maßnahmen	Vorteile	Nachteile
Sensibilisierung der Belegschaft für manuelle Ein- und Ausschaltung	Schulung von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, Hinweistafeln etc.	Aktive Einbindung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter; relativ einfach; kein Umbau erforderlich	Abhängig von Mitarbeiterinnen- und Mitarbeitermotivation
Einbau einzelner Aktoren	Bewegungsmelder, Zeitschaltuhr, Dämmerungsschalter	Einschaltung des Lichts nur bei vorgegebenen Bedingungen (Anwesenheit, Zeitraum, Beleuchtungsstärke, Objekterkennung); konstante Lichtqualität; kostengünstig	Umstellung auf Dauerlicht nicht einfach
Einbau eines Steuersystems	Dimmer, Außenlichtsensor, Lichtsensor im Raum (Konstantlichtregelung), Lichtsensor an einzelnen Lampen, Kombination mit Aktoren	Beleuchtungsstärke in Abhängigkeit der Tätigkeit; optimale Ausnutzung des Tageslichtes; mögliche Steigerung der Lichtqualität durch den Einbau von Regelsystemen (z. B. automatische Einschaltung der Beleuchtungsanlage, wenn die Beleuchtungsstärke unter einen vorgegebenen Wert fällt)	Notwendige Dimmbarkeit der Komponenten der Beleuchtungsanlage; für nicht dimmbare Lampen: Automatiksteuerung (stufenlose Abschaltung)

Möglichkeit	Maßnahmen	Vorteile	Nachteile
Einbau eines Regelsystems	DALI (Digital Addressable Lighting Interface)	Regelung der Lichtqualität; Integration in das Gebäudemanagementsystem; programmierbare Beleuchtungsszenen auf Knopfdruck; große Energieeinsparung	Geeignete Komponenten inkl. Bussystem erforderlich; Verlustleistung der Regelung relativ groß; kostenintensiv; zu hoher Grad an Automatisierung kann zu Unzufriedenheit führen

Damit eine Optimierung der Lichtregelung und -steuerung durchgeführt werden kann, müssen bestimmte Voraussetzungen gegeben sein:

- Verwendung eines Aktors: Einzelne Leuchten oder Leuchtengruppen müssen individuell bedienbar sein; dies erfordert in der Regel eine eigene elektrische Zuleitung pro Leuchte beziehungsweise Leuchtengruppe.
- Verwendung eines Steuersystems: Die einzelnen Komponenten der Beleuchtungsanlage müssen dimmbar sein.
- Verwendung eines Regelsystems: Die einzelnen Komponenten der Beleuchtungsanlage müssen mit dem Regelsystem kompatibel sein.

Die Verwendung von Maßnahmen im Bereich Lichtmanagement (Aktoren, Steuer- und Regelsysteme) bei LED-Technologie ist in der Regel relativ unproblematisch.

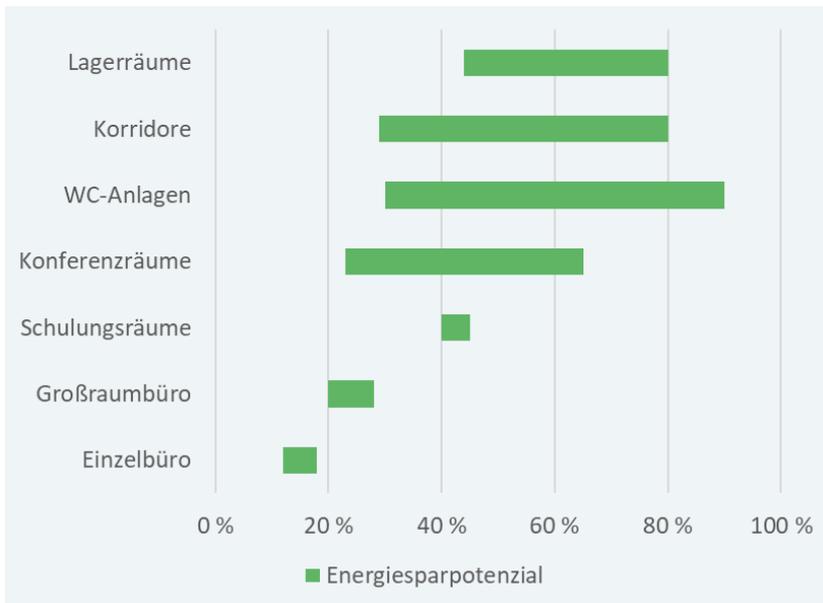
5.2.2 Bewertung der Energieeinsparung durch Lichtmanagement

Die Energieeinsparung ist abhängig von der durchgeführten Maßnahme. Beim Einbau eines Aktors ergibt sich die Energieeinsparung durch die reduzierten Betriebsstunden. Beim Einbau eines Steuersystems entsteht eine Energieeinsparung hingegen durch den temporären reduzierten elektrischen Leistungsbedarf. Wird hingegen ein komplettes Regelsystem installiert, ergibt sich die Energieeinsparung durch die Reduktion der Betriebsstunden und durch die temporäre Senkung des Leistungsbedarfs.

5.2.2.1 Einbau eines Aktors

Wird beispielsweise ein Präsenzmelder eingebaut, führt dies selbst bei LED-Beleuchtungsanlagen in der Regel zu folgenden Kosten- und Energieeinsparungen:

Abbildung 5: Einsparpotenzial – auch bei LED-Leuchten durch bewegungs- und tageslichtabhängige Regelung



Quelle: i-need.de, 2020, Darstellung: AEA

Formel 3: Energieeinsparung durch den Einsatz von Präsenzmeldern

$$EE_J = \sum_{t=00:00}^{24:00} EE_h(t) \cdot \text{Arbeitstage pro Jahr}$$

$$EE_h = (P \cdot t_v) - (P \cdot t_n)$$

EE_J...Energieeinsparung pro Jahr [kWh/a]

EE_h...Energieeinsparung pro Stunde [kWh/h]

P...Elektrische Anschlussleistung für eine Zone [kW]

t_v...Einschaltdauer pro Stunde vor der Umsetzung der Maßnahme [h]

t_n...Einschaltdauer pro Stunde nach der Umsetzung der Maßnahme [h]

Die Betriebsstunden vor beziehungsweise nach der Umsetzung der Maßnahmen können durch die Definition von einfachen Szenarien abgeschätzt werden. Dazu kann es hilfreich sein, sich die Prozesse und Lastgänge im Unternehmen genauer anzuschauen und

verschiedene Szenarien zu untersuchen. Es gilt auch, die Verlustleistung von Präsenzmeldern in die Berechnung miteinzubeziehen und zu betrachten.

5.2.2.2 Einbau eines Steuersystems

Wird hingegen ein Steuersystem eingebaut (Dimmer, Außenlichtsensor, Lichtsensor im Raum, Lichtsensor an einzelnen Lampen), erfolgt die Einsparung durch einen temporären reduzierten elektrischen Leistungsbedarf. Die Energieeinsparung durch den Einbau eines Steuersystems kann mit nachfolgender Berechnung quantifiziert werden.

Formel 4: Energieeinsparung durch den Einbau eines Steuersystems

$$EE_J = \sum_{t=00:00}^{24:00} EE_h(t) \cdot \text{Arbeitstage pro Jahr}$$

$$EE_h = (P_v \cdot t) - (P_n \cdot t)$$

EE_J...Energieeinsparung pro Jahr [kWh/h]

EE_h...Energieeinsparung pro Stunde [kWh/h]

P_v...Elektrische Anschlussleistung für eine Zone vor der Umsetzung der Maßnahme [kW]

P_n...Elektrische Anschlussleistung für eine Zone nach der Umsetzung der Maßnahme [kW]

t...Einschaltdauer pro Stunde [h]

Die elektrische Anschlussleistung für eine Zone zu einem bestimmten Zeitpunkt vor beziehungsweise nach der Umsetzung der Maßnahmen kann durch die Definition von einfachen Szenarien abgeschätzt werden. Dazu kann es hilfreich sein, sich die Prozesse und Lastgänge im Unternehmen beziehungsweise die horizontale Beleuchtungsstärke im Freien bei bedecktem Himmel genau anzuschauen. Die Verlustleistung der Steuersysteme in der Bilanzierung darf dabei nicht vergessen werden.

Bei der Nachrüstung von Dimmsystemen in LED-Leuchten ist zu beachten, dass die LED-Leuchten dafür geeignet sind. Jedoch ist auch bei – für die Dimmbarkeit – geeigneten LED-Leuchten nicht jeder Dimmer geeignet! Eine wesentliche Informationsquelle ist das Produktdatenblatt, wo unter anderem Angaben zur Dimmbarkeit und der Anzahl der Schaltzyklen zu finden sind.

5.2.2.3 Einbau von Regelsystemen

Wird ein komplettes Regelsystem installiert, ergibt sich die Energieeinsparung durch die Reduktion der Betriebsstunden und durch die temporäre Senkung des Leistungsbedarfs. Wichtig bei der Berechnung ist die Betrachtung der Verlustleistungen durch die Regelungen. Die Berechnung der Energieeinsparung von Regelsystemen kann mit folgenden Formeln erfolgen:

Formel 5: Berechnung der Energieeinsparung durch den Einbau eines Regelsystems

$$EE_J = \sum_{t=00:00}^{24:00} EE_h(t) \cdot \text{Arbeitstage pro Jahr}$$

$$EE_h = \left((P_v + P_{Reg_v}) \cdot t_v \right) - \left((P_n + P_{Reg_n}) \cdot t_n \right)$$

EE_J...Energieeinsparung pro Jahr [kWh/h]

EE_h...Energieeinsparung pro Stunde [kWh/h]

P_v...Elektrische Anschlussleistung für eine Zone vor der Umsetzung der Maßnahme [kW]

P_{Reg_v}...Elektrische Verlustleistung der Regelung für eine Zone vor der Umsetzung der Maßnahme [kW]

P_n...Elektrische Anschlussleistung für eine Zone nach der Umsetzung der Maßnahme [kW]

t_v...Einschaltdauer pro Stunde vor der Umsetzung der Maßnahme [h]

t_n...Einschaltdauer pro Stunde nach der Umsetzung der Maßnahme [h]

Auch hier gilt wieder: Die elektrische Anschlussleistung der Beleuchtungsanlage und der Regelung sowie die Betriebsstunden vor beziehungsweise nach der Umsetzung der Maßnahmen können durch die Definition von einfachen Szenarien abgeschätzt werden. Dazu kann es hilfreich sein, sich die Prozesse und Lastgänge im Unternehmen genauer anzuschauen und verschiedene Szenarien zu entwickeln.

5.2.3 Betrachtung der Wirtschaftlichkeit der Investition

Entscheidend ist dabei die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit über den geplanten Nutzungszeitraum der neuen Beleuchtungsanlage und nicht nur die statische Amortisationsbetrachtung! Im Vergleich dazu sollte auch die alte Anlage analysiert werden.

Die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit sollte folgende Kosten beinhalten:

- Planungskosten für Neuanlagen
- Investitions- und Installationskosten (unter anderem auch Programmierung)
- Energiekosten
- Weitere Betriebskosten (Wartung, Reparatur, Reinigung, Lagerhaltung etc.)
- Kosten Demontage, Entsorgung

5.3 Optimierung des Raumwirkungsgrades

Der Raumwirkungsgrad ist eine lichtplanerische Größe, die von mehreren Faktoren abhängt: von der Lichtstromverteilung der Leuchte, der Geometrie des Raumes (Raumindex) und den Reflexionsgraden der Raumbooberflächen (Quelle: trilux.com, 2020a).

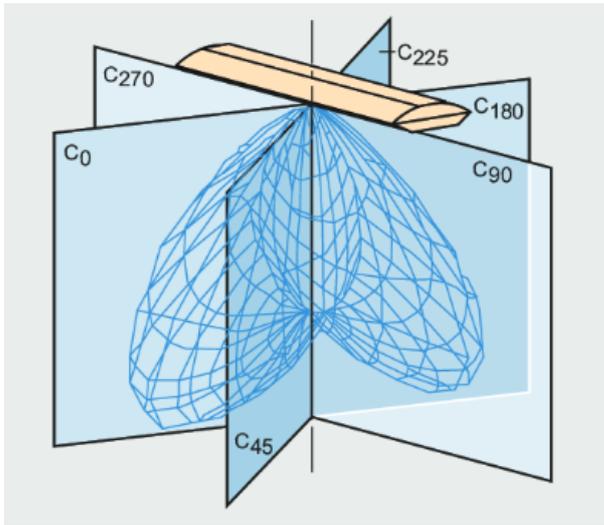
5.3.1 Lichtstärkeverteilungskurve und Raumwirkungsgrad

Das von einer Lichtquelle emittierte Licht (Lichtstrom) gelangt über verschiedene Wege bis hin zum Auge des Empfängers und wird dort als Helligkeit wahrgenommen. Zur Optimierung der Wegstrecke von der Lichtquelle bis hin zum Empfänger stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung:

- Optimierung der direkten Wegstrecke des Lichtstroms
- Optimierung der indirekten Wegstrecke z. B. über reflektierende Oberflächen

Wie eingangs erwähnt beschreibt die Lichtstärke die Menge des Licht, die in eine bestimmte Richtung abgestrahlt wird. Die räumliche Verteilung der Lichtstärke von Leuchten ist bei deren Auswahl wichtig und wird durch Lichtstärkeverteilungskurven beschrieben, die die Hersteller in Datenblättern dokumentieren. Mittels der Lichtstärkeverteilungskurve von Leuchten kann die Lichtplanerin oder der Lichtplaner die Eignung der Leuchte für den jeweiligen Anwendungszweck beurteilen. Davon abhängig ist nicht nur die Art der Leuchten, sondern auch deren Anzahl. Achten Sie beim Kauf einer Leuchte auf deren Lichtverteilungskurve!

Abbildung 6: Beispiel der Lichtstärkeverteilung einer Innenraumleuchte



Quelle: trilux.com, 2020b

Je nach Form und Symmetrieeigenschaften der Lichtstärkeverteilung unterscheidet man tiefstrahlende, breitstrahlende, symmetrische, asymmetrische, direkt bzw. indirekt strahlende Leuchten. Abhängig vom Lichtstromanteil kann die Einteilung auch in den unteren (direkten) bzw. oberen (indirekten) Halbraum erfolgen. Die Lichtstärkeverteilung einer Leuchte kann mittels einer Computersimulation näherungsweise errechnet, oder mit einem geeigneten Laboraufbau an der realen Leuchte gemessen werden. Die Lichtstärkeverteilung wird in Lichtverteilungskurven dargestellt. Nähere Informationen zur Lichtstärkeverteilung bestimmter Leuchten erhalten Sie beim Hersteller bzw. Händler (Quelle: trilux.com, 2020b).

Neben der Lichtstärkeverteilung haben auch die Pendellänge der Leuchte, die Raumgröße und die Reflexionseigenschaften der Raumbooberfläche einen Einfluss auf den Raumwirkungsgrad. Für eine Senkung des Energiebedarfs und einer Steigerung der Lichtqualität durch einen höheren Raumwirkungsgrad sind die in nachfolgender Tabelle angeführten Optimierungsmaßnahmen vorstellbar.

Tabelle 10: Möglichkeiten zur Optimierung des Raumwirkungsgrades

Möglichkeiten	Varianten	Vorteile	Zu beachten
Ersatz der Leuchte	Leuchte mit optimierter Lichtstärkeverteilung, beispielsweise eine Pendelleuchte anstelle einer Deckenleuchte oder abgehängte Leuchten	Bessere Lichtqualität am Arbeitsplatz beziehungsweise beim menschlichen Auge; Reduktion der Direktblendung; leichtere Reinigung der Leuchten	Energieverbrauch soll dadurch nicht steigen!
Farbauswahl von Baustoffen, Wänden, Decken und Einrichtungsgegenständen	Baustoffauswahl, Farbauswahl der Inneneinrichtung, Farbanstrich Wände und Decken	Weniger Energieverbrauch durch höhere Reflexionsgrade von helleren Decken und Wänden bei gleicher Beleuchtungsstärke	Farbanstrich bei Bedarf erneuern

Weiß man den Raumindex, die Reflexionsgrade der Oberflächen und den Leuchtentyp, so kann man den Leuchtenbetriebswirkungsgrad, den Raumwirkungsgrad und somit den Beleuchtungswirkungsgrad ermitteln, die alle zur planerischen Berechnung der Anzahl der erforderlichen Leuchten herangezogen werden.

Der Reflexionsgrad gibt an, wie viel Prozent des Lichtstroms, der auf eine Fläche fällt, reflektiert werden. Dunkle Flächen weisen einen niedrigen Reflexionsgrad auf, helle Flächen einen höheren. Weiße Decken oder Wände reflektieren bis zu 85 % des Lichtstrahls. Eine helle Holzverkleidung weist einen Reflexionsgrad von circa 35 % auf. Von schwarzen Flächen wird das Licht vollkommen absorbiert. Das bedeutet, dass, je dunkler der Raum ist, desto mehr Licht benötigt wird um die notwendige Beleuchtungssituation zu erreichen (Quelle: click-licht.de, 2020).

Für eine detailliertere Bestimmung sind sogenannte Raumwirkungsgradtabellen heranzuziehen. Neben dem Reflexionsgrad braucht man für die Ermittlung des Raumwirkungsgrades auch den Raumindex, der die geometrischen Verhältnisse der Ausleuchtung umfasst und der folgendermaßen berechnet werden kann:

Formel 6: Raumindex

$$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$$

k... Raumindex

a... Länge des Raums

b... Breite des Raums

h... Aufhänghöhe der Leuchte über der Nutzebene; bei indirekter Beleuchtung: Höhe des Raumes

5.3.2 Bewertung der Energieeinsparung durch den Raumwirkungsgrad

Bei einem höheren Raumwirkungsgrad kann die elektrische Anschlussleistung reduziert werden. Für eine detaillierte Berechnung der Einsparung der elektrischen Anschlussleistung kann folgende Methode angewandt werden:

Formel 7: Einsparung an elektrischer Anschlussleistung

$$\Delta p = \left(\frac{E \cdot p}{\eta_{LP} \cdot \eta_{LB} \cdot \eta_{R_vor}} \right) - \left(\frac{E \cdot p}{\eta_{LP} \cdot \eta_{LB} \cdot \eta_{R_nach}} \right)$$

Δp ...Einsparung spezifische Leistung [W/m²]

E...Beleuchtungsstärke [lx]

p...Planungsfaktor (Verschmutzung und Alterung; normal: 1,25; erhöht: 1,43; stark: 1,67)

η_{LP} ...Lichtausbeute Lampe + Vorschaltgerät [lm/W]

η_{LB} ... Leuchtenbetriebswirkungsgrad laut Herstellerangaben

η_{R_vor} ...Raumwirkungsgrad vor der Umsetzung der Maßnahme

η_{R_nach} ...Raumwirkungsgrad nach der Umsetzung der Maßnahme

Die Messung des Lampenlichtstroms bei LED-Leuchten mit integrierten, nicht auswechselbaren Leuchtmitteln ist nicht möglich. In diesem Fall wird der Leuchtenlichtstrom als Lampenlichtstrom und der Leuchtenbetriebswirkungsgrad auf den Wert 1 festgelegt (Quelle: trilux.com, 2020c).

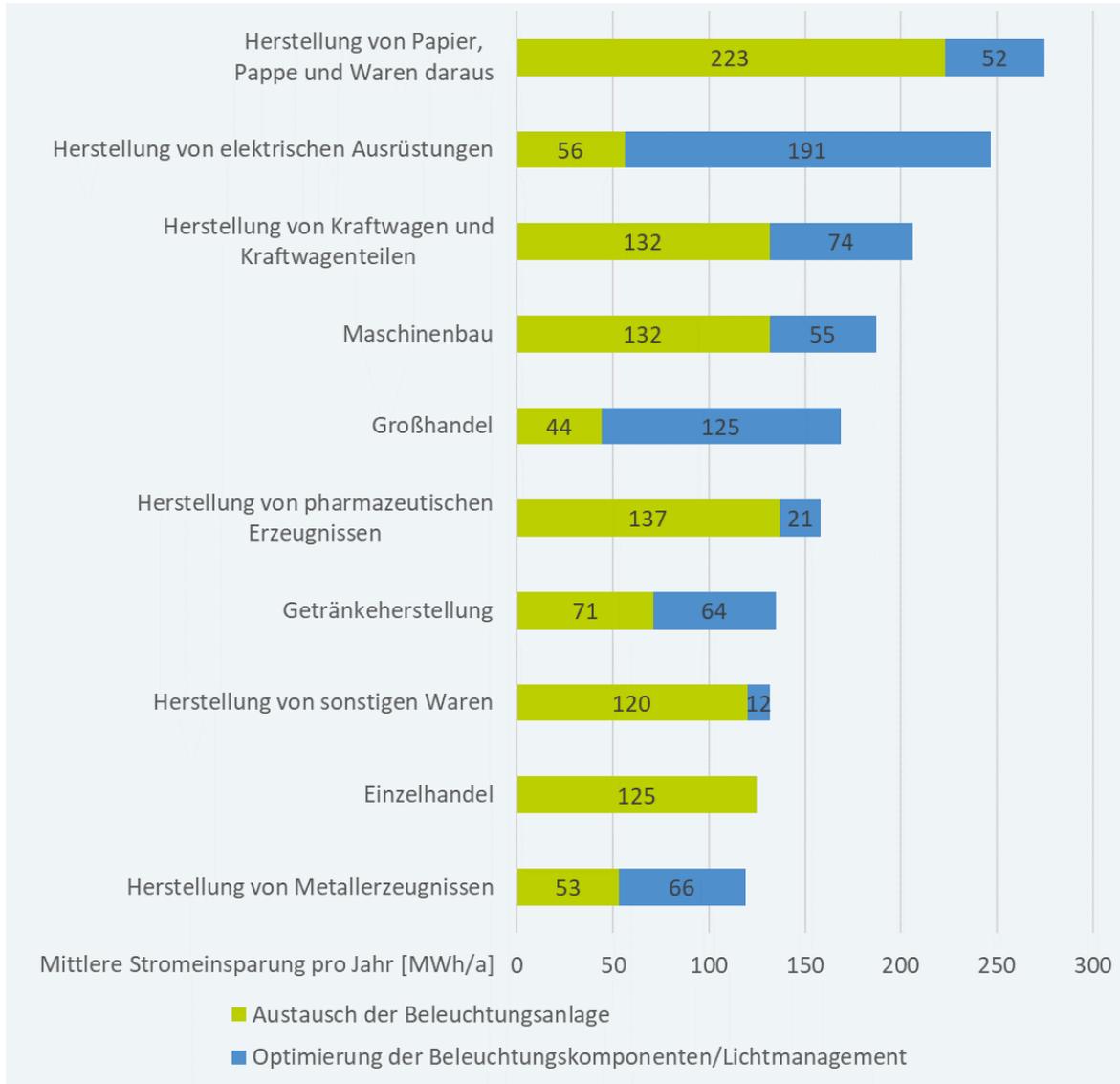
5.4 Einsatz energieeffizienter LEDs

Die Basis für ein energieeffizientes Beleuchtungssystem bilden energieeffiziente Leuchten, Lampen und Vorschaltgeräte. Eine hohe Energieeffizienz des Systems kann mittels anwendungsspezifischer Lichtlösungen, Tageslichtnutzung, Präsenz- und Bewegungssensoren, bedarfsabhängiger Steuerung, Zeitmanagement und Predictive Maintenance (vorausschauende Instandhaltung) erreicht werden.

Zusätzlich zu einer maximalen Energieeffizienz bietet eine solche Steuerung Flexibilität für eventuell notwendige Adaptionen im Betrieb. Unabhängig von der Branche eines Unternehmens machen sich Investitionen in die Energieeffizienz der Beleuchtung eines Betriebes unmittelbar finanziell bemerkbar.

Die folgende Abbildung zeigt die mittlere jährliche Stromeinsparung durch den Austausch der Beleuchtungsanlage und durch die Optimierung der Beleuchtungskomponenten/des Lichtmanagements für verschiedene Branchen.

Abbildung 7: Mittlere jährliche Stromeinsparung [MWh] durch effiziente Beleuchtungssysteme der Top-10-Branchen aus den Energieaudits im Rahmen der Energieeffizienznetzwerke



Quelle: Steinbach, 2019, Darstellung: AEA

LED Leuchtmittel sind nach derzeitigem Stand der Technik die energieeffizienteste Beleuchtungstechnologie: In der Praxis hat beim Tausch der Leuchtmittel fast ausschließlich die Umrüstung herkömmlicher Beleuchtung auf LEDs Relevanz, deshalb liegt in diesem Leitfaden der Fokus auf LEDs.

5.4.1 Eigenschaften einer LED

LEDs sind grundsätzlich die energieeffizientesten Leuchtmittel. Durch ihre lange Lebensdauer sind sie auch meist kosteneffizient. Die Wirtschaftlichkeit hängt vom Anwendungsfall ab. Grundsätzlich gilt: Je höher die jährlichen Betriebsstunden sind, desto kosteneffizienter sind LEDs.

LEDs sind darüber hinaus stoß- und vibrationsfest und geben keine ultraviolette Strahlung ab. Es gibt sie als Deckenlampen, Wandlampen, Deckenstrahler, Spots, Tischlampen, Lichteisten, Industriehallenleuchten für die Innenbeleuchtung oder für die Außenbeleuchtung. Sie sind für die Allgemeinbeleuchtung genauso geeignet wie für die Anwendung als gerichtetes Licht und können optimal in das Lichtmanagement eingebunden werden.

LED-Leuchtmittel gibt es für nahezu alle Fassungen. LED-Leuchtmittel, die auf ältere Fassungen beziehungsweise Lampen abgestimmt sind, nennt man Retrofit-Leuchtmittel.

LED-Lampen lassen sich auch dimmen (siehe Produktdetails auf der Verpackung). Hierfür ist ein für LED-Lampen kompatibler Dimmer erforderlich. Die Lebensdauer bleibt trotz häufiger Dimm- oder Schaltvorgänge unverändert.

LEDs gibt es mit hoher Farbwiedergabe und in vielen Farbtemperaturen. Auch die Auswahl unterschiedlicher Farbtemperaturen in einer Leuchte ist möglich.

Die Umrüstung auf LED ermöglicht eine gesteigerte Lichtqualität bei gleichzeitig höherer Effizienz.

5.4.2 Grundsätzlicher Aufbau der LED

Eine LED ist ein elektronisches Halbleiterbauelement, das Licht abgibt, sobald Strom hindurchfließt. Das Hauptelement der LED ist das Halbleiterelement (LED-Chip). Der LED-Chip sitzt auf einer Reflektorwanne, die den Wirkungsgrad und die Lichtausbeute steigert.

Die Reflektorwanne ist mit der Kathode verbunden. Der LED-Chip ist durch einen dünnen Draht mit der Anode verbunden.

Der LED-Chip baut sich aus mehreren Halbleiterschichten und Anschlusselementen auf. In der aktiven Schicht wird beim Betrieb der Diode über Gleichspannung Licht einer bestimmten Wellenlänge erzeugt. Im Halbleiter rekombinieren Elektronen und Löcher. Elektrische Energie wird über Elektrolumineszenz direkt in Licht (elektromagnetische Energie) umgewandelt.

Das Halbleiterelement erzeugt grundsätzlich blaues Licht. Um warmweißes, neutralweißes oder kaltweißes Licht zu erzeugen, wird vor dem LED-Chip eine gelbe Lumineszenzschicht (Phosphor oder additive Farbmischung) aufgebracht. Die Mischung aus blauem und gelbem Licht ergibt weißes Licht. Mittels Verwendung unterschiedlicher Halbleiterstoffe beziehungsweise der Kombination von Halbleiterstoffen können durch die entstehenden unterschiedlichen Energie-Levels unterschiedliche Farben erzeugt werden. Es gibt auch sogenannte OLEDs (organische LEDs), deren Halbleitermaterial aus organischem Material bestehen. Diese Technologie wird jedoch noch kaum eingesetzt.

Sollen verschiedene Lichtfarben erzeugt werden, werden rote, blaue und grüne Leuchtdioden miteinander kombiniert. Ein spezielles Steuergerät steuert die einzelnen LEDs. Durch eine geeignete Mischung dieser Farben kann ebenfalls weißes Licht produziert werden.

Eine Linse umschließt den LED-Chip und dessen Aufbau. Diese Linse kann unterschiedliche Formen haben.

5.4.3 Wärmeentwicklung und Temperaturbeständigkeit

Der Lichtkegel der LEDs gibt nur wenig Wärme ab, jedoch entsteht Wärme auf der Rückseite der Leuchte. Diese Wärme muss über einen Kühlkörper abtransportiert werden, da die Lebensdauer mit steigender Betriebstemperatur sinkt. Hochwertige LEDs können in Bereichen mit Temperaturen bis 60 °C eingesetzt werden. In Produktionsanlagen wie beispielsweise im Maschinenbau oder Geräte- und Anlagenbau herrschen unter Umständen höhere Temperaturen. In diesen Fällen muss die Beleuchtung besonders hitzebeständig ausgeführt werden.

5.4.4 Bauformen von LEDs

Es gibt unterschiedliche Bauformen von LEDs, deren Konstruktionsart sich vom grundsätzlichen Aufbau etwas unterscheidet. Diese Bauformen haben sich aufgrund der Einsatzmöglichkeiten entwickelt. Wenn Sie mit einer Lichtplanerin oder einem Lichtplaner sprechen, werden Sie mit einigen Abkürzungen und Begriffen im Zusammenhang mit LEDs in Berührung kommen. Die üblichsten Begriffe haben wir für Sie im Folgenden kurz beschrieben, um Ihnen ein gewisses Basiswissen an die Hand zu geben und die Kommunikation mit der Lichtplanerin oder dem Lichtplaner zu erleichtern.

Die gängigsten Bauformen von LEDs sind SMD-LEDs (Surface-mounted Device) und COB-LEDs (Chip-on-Board).

SMD-LEDs (Surface-mounted Device) zeichnen sich dadurch aus, dass sie auf eine Platine gelötet werden können. Sie sind klein und flach und können daher beispielsweise auf LED-Streifen gelötet und gruppiert werden. SMD-LEDs sind mit einer Linse verkapselt. Sie sind häufig in Industriebetrieben im Einsatz.

COB-LEDs (Chip-on-Board) werden ebenfalls direkt auf Platinen befestigt. Der LED-Chip wird mit einem oder zwei Golddrähten mit der Platine verbunden. Weiters wird erst bei der Montage eine Linse befestigt, wodurch man den Abstrahlwinkel je nach Wunsch gestalten kann. COB-LEDs sind leistungstärker als SMD-LEDs. Auf LED-Module können viele einzelne COB-LEDs aufgebracht werden.

5.4.5 Bauarten von LED

LEDs gibt es in verschiedenen Ausführungen. Je nach Einsatzgebiet sind bestimmte Bauarten zu bevorzugen. (Premium Light Pro, 2018)

5.4.5.1 LED-Module

LED-Module bestehen aus mehreren LEDs, die auf Platinen montiert sind. Sie sind universell einsetzbar – auch als eingegossene Module ohne Gehäuse –, die direkt in Boden- oder Deckenkanäle eingesetzt oder als Einzelmodule für LED-Leuchten verwendet werden. Für den Betrieb von LEDs wird grundsätzlich ein Vorschaltgerät benötigt, welches aus der Netzspannung den für den Betrieb notwendigen Gleichstrom erzeugt.

Lineare LED-Module werden für Streiflicht- und Wall-Washer-Effekte sowie für die Architekturbeleuchtung eingesetzt. Sie setzen Fassaden und Wände in Szene und können in schmale Kanäle platziert werden. Mit ihnen können auch lange Lichtlinien nahtlos umgesetzt werden.

Flexible LED-Module überwinden besonders einfach Kurven und Kanten und werden in der Regel mit SMD-LEDs bestückt. Diese flachen Module eignen sich vor allem für die Beleuchtung von gebogenen Flächen wie beispielsweise Handläufe oder Schriftzüge.

Flächige LED-Module gibt es meist als einsatzfertige LED-Tafeln mit Glas- oder Kunststoffoberflächen. Sie werden als Lichtkacheln oder komplette Lichtdecken eingesetzt. Werden mehrere Module miteinander gekoppelt, können auch großflächige Displays verwirklicht werden.

LED-Ketten werden beispielsweise bei der Lichtwerbung zur Hinter- oder Unterleuchtung von Flächen eingesetzt.

5.4.5.2 Retrofit-Leuchtmittel

Von Retrofit-Leuchtmitteln oder Retrofits spricht man, wenn eine bestehende Leuchte mit einem neuen LED-Leuchtmittel ausgestattet wird. Retrofit-Leuchtmittel sind LED-Module mit Steck- oder Schraubsockeln. Sie sind beispielsweise mit einem E14- oder E27-Schraubsockel sowie auch als LED-Röhren erhältlich und ersetzen so häufig konventionelle Glühlampen, Energiesparlampen oder Leuchtstoffröhren. Retrofit-Leuchtmittel mit einem entsprechenden Stecksockel können auch Halogenlampen oder Halogenspots ersetzen. Vor allem für den Privatgebrauch sind Retrofit-Leuchtmittel eine gute energiesparende Alternative, da sie einfach in bestehende Leuchten eingesetzt werden können.

Möchten Sie Ihre bestehenden Leuchtmittel durch Retrofit-Leuchtmittel ersetzen, sind folgende Punkte zu beachten:

Ähnlichkeit der Lampeneigenschaften beachten: Beim Tausch des Leuchtmittels bedenken Sie, dass mit dem neu eingesetzten Retrofit-Leuchtmittel die zuvor erreichte Beleuchtungssituation nicht unbedingt wieder erreicht werden kann, da beispielsweise die Reflektoren oder die Farbe der bestehenden Leuchte nicht auf das neue Retrofit-Leuchtmittel abgestimmt sind beziehungsweise einfach nicht passen.

Worauf achten beim Kauf von Retrofit-Leuchtmitteln

Achten Sie daher beim Kauf eines Retrofit-Leuchtmittels auf den Lichtstrom, den Abstrahlwinkel des Leuchtmittels, die Farbtemperatur, den Farbwiedergabeindex und die Dimmbarkeit. Diese Eigenschaften sollten dem zuvor eingesetzten Leuchtmittel sehr nahekommen, um die gewohnte Beleuchtungssituation nach dem Leuchtmitteltausch wieder zu erreichen.

Ausreichende Ableitung der entstehenden Wärme sicherstellen: Ein weiterer Punkt, der zu beachten ist, ist die Tatsache, dass bei steigender Betriebstemperatur die Lebensdauer der Retrofit-Leuchtmittel sinkt. Daher muss vor dem Lampentausch geklärt sein, ob die Wärme, die die LED abgibt, durch die bestehende Leuchte ausreichend abgegeben werden kann. Hat das Retrofit-Leuchtmittel die gleichen Abmessungen wie das Leuchtmittel davor, ist dies meist problemlos möglich. Häufig sind die Retrofit-Leuchtmittel aufgrund der verbauten Elektronik (Vorschaltgerät zur Ansteuerung) und des Kühlkörpers etwas größer und die Wärme kann in der bestehenden Leuchte eventuell nicht mehr optimal abgeleitet werden.

Abmessungen

Daher ist zu empfehlen, sich vor dem Kauf über die genauen Abmessungen zu erkundigen, damit nach dem Tausch genügend Platz für die Ableitung der Wärme bleibt.

Notwendige Mindestlast der Retrofit-Leuchtmittel einhalten: Bestehende elektronische Vorschaltgeräte (EVG), an denen Niedervolt-Halogenglühlampen betrieben wurden, benötigen oft eine hohe Mindestlast. Retrofit-Leuchtmittel benötigen jedoch eine geringe Mindestlast.

Vorschaltgerät

Prüfen Sie vor dem Kauf eines Retrofit-Leuchtmittels, ob das bestehende Vorschaltgerät für ein Niedervolt-Retrofit-Leuchtmittel geeignet ist. Sollte dies nicht der Fall sein, kann es zu Flackern oder sogar zu Ausfällen kommen.

LED-Röhren als Ersatz von Leuchtstoffröhren: LED-Röhren haben im Gegenzug zu Leuchtstofflampen keine Anlaufzeit. Das bedeutet, dass die Lampen gleich nach dem Einschalten ihre volle Leuchtkraft erreichen. Für Produktions- und Lagerhallen oder Werkstätten eignen sich LED-Röhren besonders gut, da sie, so wie alle anderen LEDs, vollkommen flackerfrei leuchten. Die LED-Röhre weist eine viel längere Lebensdauer auf und ist daher wartungsärmer als eine Leuchtstoffröhre.

Herkömmliche Leuchtstoffröhren benötigen für die Initialzündung ein Vorschaltgerät. Würden LED-Röhren mit einem Vorschaltgerät betrieben werden, würden sie wahrscheinlich beim ersten Einschalten schon zerstört werden. Daher ist es erforderlich, ein eventuell bestehendes elektronisches Vorschaltgerät zu entfernen oder zu überbrücken. Sind andere Vorschaltgeräte verbaut, beispielsweise ein konventionelles Vorschaltgerät, wird der Starter gegen eine Brücke (auch LED-Starter genannt) getauscht.

Lassen Sie die Installation immer von autorisierten Fachkräften durchführen.

Die Frage der Haftung: Die Leuchten, die mit Leuchtstoffröhren betrieben werden, haben die CE-Kennzeichnung genau für diesen Betrieb erhalten. LED-Röhren zählen jedoch nicht zu den Produkten, die gemäß den Produktunterlagen mit dieser Leuchte betrieben werden dürfen. Somit gilt die Gewährleistung des Leuchtenherstellers im Falle des Einsatzes von LED-Röhren nicht.

Es ist jedoch zulässig, Änderungen an der Beleuchtungsanlage durch Elektrofachkräfte durchführen zu lassen. Diese werden die geltenden Vorschriften in diesem Bereich beachten und für diese Arbeiten auch die Haftung übernehmen.

Auf der sicheren Seite ist man in jedem Fall, wenn man die gesamte vorhandene Leuchte gegen eine Leuchte tauscht, die für den Betrieb mit LED-Röhren vorgesehen ist.

Retrofit oder Tausch der Leuchte: Ob der Einsatz von Retrofit-Leuchtmitteln in einem spezifischen Fall geeignet ist, hängt vom Ausgangszustand ab. Sind die bestehenden Leuchten nicht sehr alt und in einem guten Zustand, kann der Einsatz von Retrofit-Leuchtmitteln, mit allen notwendigen fachgerechten Umbauten, der geeignete Weg sein. Ist es absehbar, dass einige Leuchten in den nächsten Jahren sowieso getauscht werden sollten, und ist der Rest aber noch in Ordnung, dann können auch LED-Leuchten mit geeigneten LEDs-Leuchtmitteln eingesetzt werden.

Ist die bestehende Beleuchtungsanlage schon veraltet, sind Kunststoffteile brüchig etc., dann kann eine Neuinstallation die geeignete Option sein.

Lassen Sie Ihre Situation von einer Expertin beziehungsweise einem Experten für Lichtplanung, Beleuchtung oder Elektrotechnik prüfen. Er oder sie kann ein geeignetes Konzept vorschlagen.

5.4.6 Richtige Auswahl der LEDs anhand ihres Lichtstroms

Aus der Glühlampen-Ära ist man noch daran gewohnt, die Helligkeit der Lampen anhand der Wattzahl auszuwählen. Die elektrische Leistung in Watt sagt genau genommen nichts darüber aus, wie viel Licht mit dem jeweiligen Leuchtmittel produziert wird. Verschiedene Lampentypen können für dieselbe Menge an produziertem Licht sehr unterschiedliche Leistungen benötigen. Das geeignete Maß zur Bewertung der Lampenhelligkeit ist die Gesamtmenge an sichtbarem Licht, das von der Lichtquelle abgegeben wird, nämlich der Lichtstrom (Quelle: topprodukte.at, 2020).

Die folgende Tabelle zeigt die Leistung (Watt) einer klassischen Glühbirne und den entsprechenden Lichtstrom einer LED im Vergleich.

Tabelle 11: Vergleich der Leistung einer klassischen Glühbirne mit dem entsprechenden Lichtstrom einer LED

Leistung (Watt) einer klassischen Glühbirne	Entsprechender Lichtstrom (Lumen) einer LED
40	350–400
60	590–700
75	800–900
100	1.150–1.400

Die entsprechenden Angaben finden Sie auf der Verpackung der Leuchtmittel. Bei Unklarheiten oder der Installation durch eine Fachkraft fragen Sie Ihren Hersteller beziehungsweise Händler nach dem Lichtstrom Ihrer Lichtquelle!

5.5 Richtwerte für die maximale Leistungsaufnahme von Beleuchtungssystemen

Die in diesem Leitfaden beschriebenen maximal zulässigen Kennwerte und Qualitätsanforderungen sollten unter Berücksichtigung der energieeffizienten Bereitstellung der Beleuchtung eingehalten werden.

Die Energieeffizienz von Leuchtmitteln wird mittels der elektrischen Leistungsaufnahme des Leuchtmittels in W/m^2 angegeben. Im Projekt Premium Light Pro wurden Beschaffungskriterien als Richtwerte für die LED-Innenbeleuchtung erarbeitet. Die folgenden Tabellen zeigen diese Richtwerte für die maximale elektrische Leistungsaufnahme in W/m^2 für die Auslegung neuer Anlagen einschließlich Lampen, Vorschaltgeräte und Betriebsgeräte für unterschiedliche Anwendungsgebiete (in Übereinstimmung mit den Beleuchtungsstärken der ÖNORM EN 12464-1).

Tabelle 12: Maximale elektrische Leistungsaufnahme für den Kunstbereich

Kunst	Maximale elektrische Leistungsaufnahme [W/m^2]
Theaterraum	5,8
Eingang	5,8
Ausstellungshalle	5,8

Tabelle 13: Maximale elektrische Leistungsaufnahme für den Krankenhausbereich

Krankenhaus	Maximale elektrische Leistungsaufnahme [W/m^2]
Patientenzimmer	5,6
Beobachtungsraum	10,3
Behandlungsraum	10,3

Tabelle 14: Maximale elektrische Leistungsaufnahme für den Hotelbereich

Hotel	Maximale elektrische Leistungsaufnahme [W/m²]
Zimmer	6,4
Lobby	5,5

Tabelle 15: Maximale elektrische Leistungsaufnahme für den Bürobereich

Büro	Maximale elektrische Leistungsaufnahme [W/m²]
Einzel- oder Gruppenraum	10,3
Großer Raum	8,1
Meetingraum	10,3
Eingang	5,9

Tabelle 16: Maximale elektrische Leistungsaufnahme für die Gastronomie

Gastronomie	Maximale elektrische Leistungsaufnahme [W/m²]
Restaurant	4,9
Cafeteria	2,9
Restaurantküche	15,5
Cafeteriaküche	12,1

Tabelle 17: Maximale elektrische Leistungsaufnahme für den Einzelhandelsbereich

Einzelhandel	Maximale elektrische Leistungsaufnahme [W/m²]
Lebensmittelverkauf	12,3
Shop	12,3
Möbelverkauf	9,9

Tabelle 18: Maximale elektrische Leistungsaufnahme für den Schulbereich

Schule	Maximale elektrische Leistungsaufnahme [W/m ²]
Klassenzimmer	9,1
Lehrerzimmer	6,2
Bibliothek	4,9
Konzerthalle/Aula	8,1
Labor	9,1

Tabelle 19: Maximale elektrische Leistungsaufnahme für den Sportbereich

Sport	Maximale elektrische Leistungsaufnahme [W/m ²]
Gymnastikraum	9,3
Fitnessraum	5,3
Schwimmhalle	6,0

Tabelle 20: Maximale elektrische Leistungsaufnahme für den Bereich Parkzonen, Parkhäuser und andere Zonen

Parkzonen, Parkhäuser und andere Zonen	Maximale elektrische Leistungsaufnahme [W/m ²]
Verkehrszonen	2,9
Krankenhaus - Verkehrszone	5,9
Treppenhaus	5,9
Außengebäude	2,5
Küche	4,2
WC, Bad/Dusche	5,0
WC	8,2
Ankleidezimmer	4,7
Car Park	1,2
Waschzimmer	7,0

Parkzonen, Parkhäuser und andere Zonen	Maximale elektrische Leistungsaufnahme [W/m ²]
Kühlraum	2,3
Serverraum	2,8

5.5.1 Bewertung der Energieeffizienz der Beleuchtungsanlage

Eine komplette Erneuerung einer bestehenden Beleuchtungsanlage führt zu den höchsten Einsparungen und zu einer merklichen Verbesserung der Beleuchtungssituation, bedeutet jedoch auch mitunter hohe Investitionskosten. Sollte dies keine Option sein, können auch Einzelmaßnahmen umgesetzt werden, um die Effizienz einer bestehenden Beleuchtungsanlage zu erhöhen.

Mögliche Einsparungen können durch den Vergleich des Energieverbrauchs der bestehenden Anlage mit dem Energieverbrauch moderner Beleuchtungssysteme abgeschätzt werden. Hierzu wird der elektrische Anschlusswert, also die elektrische Leistungsaufnahme der Beleuchtungsanlage pro beleuchteter Fläche [W/m²], ermittelt und mit einem modernen Beleuchtungssystem (siehe Tabellen 12 bis 20) verglichen.

Weitere Eigenschaften der bestehenden Beleuchtungsanlage wie die vorherrschende und notwendige Beleuchtungsstärke, Lichtfarbe, Farbwiedergabe, Blendung, der Wartungsaufwand, die Möglichkeit der Integration in Steuerprogramme und so weiter sollten ebenfalls eruiert werden und tragen wesentlich zur Auswahl der Maßnahmen bei.

6 Angebote und Tools

asdfas Um Betriebe bei der Optimierung häufig genutzter Technologien zu unterstützen, wurden im Programm klimaaktiv Energieeffiziente Betriebe weitere **Leitfäden** zu folgenden Querschnittstechnologien erstellt:

- Optimierung von Kältesystemen
- Optimierung von Druckluftsystemen
- Optimierung von Ventilatoren und Lüftungssystemen
- Optimierung von Dampfsystemen
- Optimierung von Pumpensystemen
- Optimierung von Beleuchtungssystemen
- Messleitfaden I zur Bewertung von Energieeinsparungen
- Messleitfaden II zur Messtechnik
- Optimierung der Wärmeverteilung und Hydraulik
- Technische Isolierung

Energiemanagement und Benchmarking: Ein EMS beinhaltet die Umsetzung technischer, strategischer und organisatorischer Maßnahmen zur fortlaufenden Verbesserung der energiebezogenen Leistung. Wie ein Energiemanagementsystem nach der ISO 50001 Schritt für Schritt im Unternehmen verankert wird und wie die Anforderungen der Norm ISO 50001:2018 erfüllt werden, ist auf der klimaaktiv Website [energiemanagement.at](https://www.klimakaktiv.at/energiemanagement) beschrieben. Machen Sie den Erstbewertungscheck, um das Ausgangsniveau zur Einführung des EMS festzustellen.

Good Practice Beispiele von Betrieben zum Nachweis der energiebezogenen Leistung sowie Energie-, Material- und Ressourceneffizienz und Einhaltung von energierechtlichen Vorschriften im Rahmen der ISO 50001 finden Sie zusammengefasst in drei **Guidelines** auf [klimakaktiv.at/energiesparen/energiemanagement](https://www.klimakaktiv.at/energiesparen/energiemanagement).

- Einhaltung von energierechtlichen Vorschriften im Rahmen der ISO 50001
- Energieeffizienz und Synergien zur Materialeffizienz und zum Arbeitnehmerschutz
- Nachweis der Verbesserung der energiebezogenen Leistung

Weiters bietet klimaaktiv Schulungen und Webinare, in denen Grundlagen und Lösungen zur Optimierung betrieblicher Systeme vermittelt werden. Aktuelle Termine finden Sie auf klimaaktiv.at/betriebe-schulungen oder im Energieeffiziente Betriebe Newsletter. Sie können sich unter klimaaktiv.at/service/newsletter-an-abmeldung anmelden.

ProTool: Das klimaaktiv ProTool ist ein Tool, das für eine umfassende Erstanalyse der Energieeffizienz im Betrieb eingesetzt werden kann und ermöglicht rasch Einsparpotenziale zu identifizieren.

Pinch Tool: Die Pinch-Analyse ermöglicht eine rasche und unkomplizierte Bestimmung der optimalen Abwärmenutzung. Dieses Werkzeug erleichtert es, ein Wärmetauschernetzwerk basierend auf realen Betriebsdaten von Prozessströmen und Abwärmeströmen aus der Energieversorgung zu kreieren und zu bewerten.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wartungsfaktoren für unterschiedliche Anwendungen.....	12
Die folgenden Tabellen zeigen Wartungswerte der Beleuchtungsstärke E_m beispielhaft für bestimmte Sehaufgaben und Tätigkeitsbereiche laut ÖNORM EN 12464-1. Die Wartungswerte für die Beleuchtungsstärke dürfen zu keinem Zeitpunkt unterschritten werden.	
Tabelle 2: Anforderungen an die Beleuchtungsstärke für unterschiedliche Arbeitsaufgaben	12
Tabelle 3: Anforderungen an die Beleuchtungsstärke für (Hoch-)Regallager	13
Tabelle 4: Maximal zulässige UGR_L -Werte für ausgewählte Räume und Tätigkeiten.....	16
Tabelle 5: Maximal zulässige UGR_L -Werte für (Hoch-)Regallager.....	16
Tabelle 6: Anforderungen an die Farbwiedergabe anhand des Farbwiedergabeindex R_a für unterschiedliche Arbeitsaufgaben	19
Tabelle 7: Anforderungen an die Farbwiedergabe anhand des Farbwiedergabeindex R_a für (Hoch-)Regallager	19
Tabelle 8: Beispiel für eine Auflistung der Leuchten und Lichtquellen zur weiteren Berechnung des Stromverbrauchs	26
Tabelle 9: Möglichkeiten zur Optimierung des Lichtmanagements	36
Tabelle 10: Möglichkeiten zur Optimierung des Raumwirkungsgrades	43
Tabelle 11: Vergleich der Leistung einer klassischen Glühbirne mit dem entsprechenden Lichtstrom einer LED	53
Tabelle 12: Maximale elektrische Leistungsaufnahme für den Kunstbereich.....	54
Tabelle 13: Maximale elektrische Leistungsaufnahme für den Krankenhausbereich	54
Tabelle 14: Maximale elektrische Leistungsaufnahme für den Hotelbereich	55
Tabelle 15: Maximale elektrische Leistungsaufnahme für den Bürobereich	55
Tabelle 16: Maximale elektrische Leistungsaufnahme für die Gastronomie	55
Tabelle 17: Maximale elektrische Leistungsaufnahme für den Einzelhandelsbereich	55
Tabelle 18: Maximale elektrische Leistungsaufnahme für den Schulbereich.....	56
Tabelle 19: Maximale elektrische Leistungsaufnahme für den Sportbereich	56
Tabelle 20: Maximale elektrische Leistungsaufnahme für den Bereich Parkzonen, Parkhäuser und andere Zonen	56

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Energieaudit-Ablauf im Überblick.....	6
Abbildung 2: Jede Spektralfarbe entspricht einer bestimmten Wellenlänge.....	9
Abbildung 3: Farbtemperatur von kalt-, neutral- und warmweißem Licht in Kelvin (K)	20
Abbildung 4: Zusammenhang zwischen Tageslichtquotient, Beleuchtungsstärke und Betriebszeiten.....	34
Abbildung 5: Einsparpotenzial – auch bei LED-Leuchten durch bewegungs- und tageslichtabhängige Regelung.....	38
Abbildung 6: Beispiel der Lichtstärkeverteilung einer Innenraumleuchte	42
Abbildung 7: Mittlere jährliche Stromeinsparung [MWh] durch effiziente Beleuchtungssysteme der Top-10-Branchen aus den Energieaudits im Rahmen der Energieeffizienznetzwerke	46

Formelverzeichnis

Formel 1: Mittlerer Tageslichtquotient.....	33
Formel 2: Energieeinsparung durch verstärkte Tageslichtnutzung	35
Formel 3: Energieeinsparung durch den Einsatz von Präsenzmeldern.....	38
Formel 4: Energieeinsparung durch den Einbau eines Steuersystems.....	39
Formel 5: Berechnung der Energieeinsparung durch den Einbau eines Regelsystems.....	40
Formel 6: Raumindex	44
Formel 7: Einsparung an elektrischer Anschlussleistung.....	44

Literaturverzeichnis

Alder, 2020: Alder, D., Persönliche Mitteilung, XAL GmbH, 24.08.2020

Arbeitsstättenverordnung: Verordnung der Bundesministerin für Arbeit, Gesundheit und Soziales, mit der Anforderungen an Arbeitsstätten und an Gebäuden auf Baustellen festgelegt und die Bauarbeiterschutzverordnung geändert wird BGBl. II Nummer 368/1998 in der Fassung BGBl. II Nummer 309/2017

click-licht.de, 2020: Rudolf, R., click-licht.de GmbH & Co. KG, Reflexionsgrad – Definition, [click-licht.de/Glossar/reflexionsgrad-definition](https://www.click-licht.de/Glossar/reflexionsgrad-definition), 18.12.2020

DIN 5034-3 Tageslicht in Innenräumen – Teil 3: Berechnung, Februar 2007

EU-Verordnung zur Energieverbrauchskennzeichnung: Delegierte Verordnung (EU) 2019/2015 der Kommission vom 11.3.2019 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) Nummer 874/2012 der Kommission

hhu.de, 2020: Kiefer, K., Elektromagnetisches Spektrum und sichtbares Licht, [hhu.de/biodidaktik/Fotosynthese_neu/dateien/licht/licht.html](https://www.hhu.de/biodidaktik/Fotosynthese_neu/dateien/licht/licht.html), 15.01.2021

i-need.de, 2020: B.E.G. Brück Electronic GmbH, 2019, Einsparpotenzial – auch bei LED-Leuchten, [i-need.de/?Artikel=152736&page=2](https://www.i-need.de/?Artikel=152736&page=2), 18.12.2020

klimaaktiv, 2018: Bundesministerium Nachhaltigkeit Tourismus, 2018, Leitfaden - Nachweis der Verbesserung der energiebezogenen Leistung, [klimaaktiv.at/energiesparen/energiemanagement/effizienzsteigerung_iso50001.html](https://www.klimaaktiv.at/energiesparen/energiemanagement/effizienzsteigerung_iso50001.html), 18.12.2020

OIB-Richtlinie 3: Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz, April 2019

ÖNORM EN 16247-1: Energieaudits – Teil 1: Allgemeine Anforderungen, 1.9.2012

Premium Light Pro Konsortium et alii, co2online gemeinnützige GmbH, LED-Innenbeleuchtung – Planung & Beschaffung, Berlin, 2018

rehva.eu, 2010: Linden, J., 2010, Tageslichtnutzung in Gebäuden,
[rehva.eu/fileadmin/user_upload/How to Bring Daylight Into the Building.pdf](http://rehva.eu/fileadmin/user_upload/How_to_Bring_Daylight_Into_the_Building.pdf),
18.12.2020

Schleicher, 2020: Schleicher, O.: Persönliche Mitteilung, Testo GmbH, 20.11.2020

Steinbach, 2019: Steinbach, J. et alii: Potential für energieeffiziente Beleuchtungssysteme in Unternehmen und Hemmnisse bei der Umsetzung, Fraunhofer ISI, IREES Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien, Karlsruhe, 2019

topprodukte.at, 2020: klimaaktiv topprodukte.at, 2019, Die beste Beleuchtung für Ihr Zuhause, klimaaktiv.at/service/publikationen/energiesparen/beleuchtung_zuhause.html,
18.12.2020

Tridonic.com, 2020: Tridonic GmbH & Co KG, 2020, Technical Information - Temporal Light Artefacts (TLA) / Lichtflicker und Stroboskopeffekt,
[tridonic.com/com/de/download/technical/Technical Information Temporal Light Artefacts \(TLA\) de.pdf](http://tridonic.com/com/de/download/technical/Technical_Information_Temporal_Light_Artefacts_(TLA)_de.pdf), 18.12.2020

trilux.com, 2020a: Trilux GmbH & Co. KG, Lichtstrom-Klassifizierung von Leuchten und Wirkungsgradverfahren, trilux.com/de/beleuchtungspraxis/leuchten/lichttechnische-klassifizierung/lichtstrom-klassifizierung-von-leuchten-und-wirkungsgradverfahren/,
18.12.2020

trilux.com, 2020b: Trilux GmbH & Co. KG, Lichtstärkeverteilungskurven,
trilux.com/de/beleuchtungspraxis/leuchten/lichttechnische-klassifizierung/lichtstaerkeverteilungskurven/, 18.12.2020

trilux.com, 2020c: Trilux GmbH & Co. KG, Leuchtenbetriebswirkungsgrad,
trilux.com/de/beleuchtungspraxis/leuchten/lichttechnische-klassifizierung/leuchtenbetriebswirkungsgrad/, 15.01.2021

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

Wirtschaftspsychologie.uni-hohenheim.de, 2020: Werth, L. et alii, 2013, Psychologische Befunde zu Licht und seiner Wirkung auf den Menschen – ein Überblick, [wirtschaftspsychologie.uni-hohenheim.de/fileadmin/einrichtungen/wirtschaftspsychologie/Abstracts Publikationen/ Psychologische Befunde zu Licht und seiner Wirkung auf den Menschen ein Ueberblick.pdf](https://wirtschaftspsychologie.uni-hohenheim.de/fileadmin/einrichtungen/wirtschaftspsychologie/Abstracts_Publikationen/Psychologische_Befunde_zu_Licht_und_seiner_Wirkung_auf_den_Menschen_ein_Ueberblick.pdf), 18.12.2021

Zumtobel, 2018: Zumtobel Lighting GmbH, Lichthandbuch für den Praktiker, Dornbirn, 2018

Über klimaaktiv

klimaaktiv ist die Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Seit 2004 bietet sie in den Themenschwerpunkten „Bauen und Sanieren“, „Energiesparen“, „Erneuerbare Energie“ und „Mobilität“ ein umfassendes, ständig wachsendes Spektrum an Information, Beratung sowie Weiterbildung und setzt Standards, die international Vorbildcharakter haben.

klimaaktiv zeigt, dass jede Tat zählt: Jede und jeder in Kommunen, Unternehmen, Vereinen und Haushalten kann einen aktiven Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten. Damit trägt die Initiative zur Umsetzung des nationalen Energie- und Klimaplanes (NEKP) für Österreich bei. Näheres unter klimaaktiv.at.

Das klimaaktiv Programm Energieeffiziente Betriebe setzt gezielt Impulse zur Erhöhung der Energieeffizienz in österreichischen Produktions- und Gewerbebetrieben und unterstützt diese auf Ihrem Weg in Richtung Klimaneutralität. Informationen, Angebote und Good Practice Beispiele von umgesetzten Maßnahmen finden Sie unter klimaaktiv.at/effizienz

Kontakt

Strategische Gesamtsteuerung klimaaktiv

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

Abt. VII/3 – Nachhaltige Finanzen und Standortpolitik

Stubenbastei 5, 1010 Wien

Programmmanagement klimaaktiv Energieeffiziente Betriebe

Österreichische Energieagentur

Petra Lackner

eebetriebe@energyagency.at

klimaaktiv.at/effizienz

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und
Technologie**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

[bmk.gv.at](https://www.bmk.gv.at)