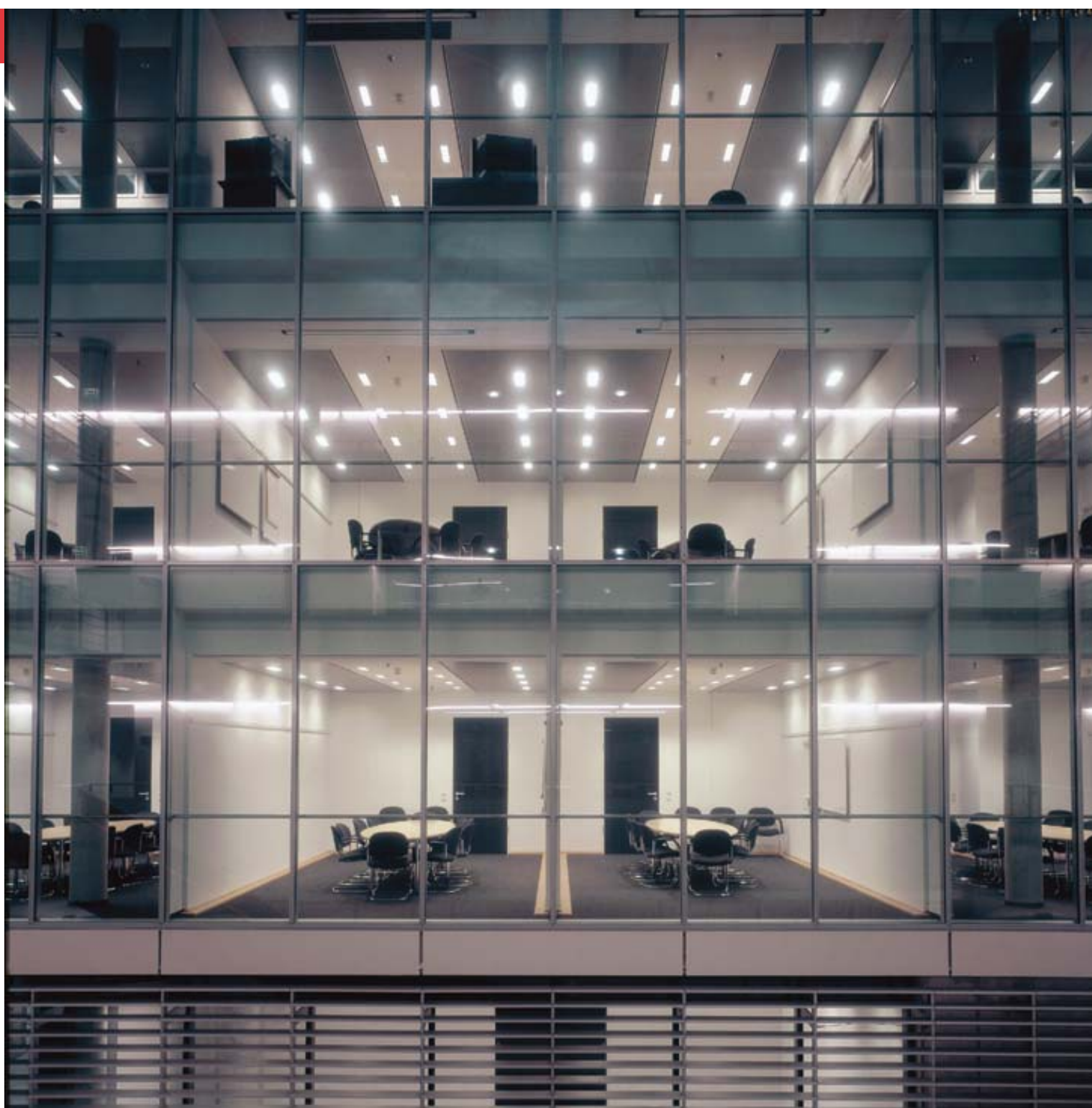


Gutes Lichtklima

Ratgeber zur energieeffizienten
Beleuchtungsmodernisierung



Impressum

Herausgeber

Hessisches Ministerium für Wirtschaft,
Verkehr und Landesentwicklung
Postfach 31 29, 65201 Wiesbaden
Telefon: 06 11/8 15-0
www.wirtschaft.hessen.de

Überarbeitung

hessenENERGIE GmbH
Mainzer Straße 98 – 102, 65189 Wiesbaden
Telefon: 06 11/746 23-0
www.hessenENERGIE.de

Überarbeitete Auflage

Januar 2005

Idee und Konzeption

Landesgewerbeamt Baden-Württemberg
– Informationszentrum Energie –
Postfach 10 29 63
70025 Stuttgart
Willi-Bleicher-Straße 19
70174 Stuttgart
Telefon: 07 11/1 23-2526

Bildnachweis

Nach Veröffentlichungen der Fördergemeinschaft
Gutes Licht, Frankfurt und der Firmen
SITECO, Osram, Philips und Trilux

Gestaltung

Plankton, Büro für Gestaltung
Rundeturmstraße 16
64283 Darmstadt
Telefon: 0 61 51/29 30 71
www.gute-gestaltung.de

Vorwort

In Deutschland wurden im Jahr 2002 etwa 10 Prozent der elektrischen Endenergie, das sind etwa 50,5 Mrd. Kilowattstunden, für künstliche Beleuchtung verwendet. Rund 2,5 Mrd. Kilowattstunden davon könnten durch effizientere Beleuchtung eingespart werden.



Von den Stromkosten eines Gewerbebetriebs kann die Beleuchtung allein mitunter mehr als 50 Prozent der gesamten Aufwendungen für den Energiebezug ausmachen, in manchen Betrieben des Groß- und Einzelhandels sogar bis zu 70 Prozent. Auch in Verwaltungsgebäuden bildet die Beleuchtung einen Verbrauchsschwerpunkt, auf den bis zu 45 Prozent und mehr des gesamten Stromverbrauchs des Gebäudes entfallen können. Dementsprechend hoch sind die

Stromkosten für die Beleuchtung und die damit verbundene finanzielle Belastung des Betriebs.

Dies muss nicht sein. Vielfach werden noch veraltete Beleuchtungsanlagen eingesetzt, obwohl moderne, sehr effiziente Techniken, die sowohl Leistung als auch Verbrauch erheblich reduzieren, zur Verfügung stehen. Eine moderne, energieeffiziente Beleuchtung dient neben der Reduzierung der Stromkosten auch dem sparsamen Umgang mit Ressourcen und leistet so einen Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz.

Die vorliegende Broschüre soll Ihnen Anregungen und konkrete Beispiele zum Einsatz energie- und kosteneffizienter Beleuchtungssysteme in Büros, Werkstätten und Verkaufsräumen geben.

Ich danke dem Landesgewerbeamt Baden-Württemberg für die freundliche Genehmigung zur Überarbeitung und zum Nachdruck.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'A. Rhiel'.

Dr. Alois Rhiel
Hessischer Minister für Wirtschaft,
Verkehr und Landesentwicklung

	Seite
Vorwort	3
1. Einführung	5
- Aufgaben der Beleuchtung	
- Entwicklung der Beleuchtungstechnik	
- Übersicht bestehender lichttechnischer Normen	
- Beurteilung bestehender Beleuchtungsanlagen	
2. Grundlagen der künstlichen Beleuchtung	8
- Lichttechnische Grundgrößen	
- Beleuchtung von Arbeitsstätten	
- Güteermkmale der Beleuchtung	
- Beleuchtung im Bereich der Sehaufgabe	
3. Energiesparende Beleuchtungssysteme	14
- Eigenschaften von Lampen und deren Vorschaltgeräte	
- Leuchteneigenschaften	
- Hohe Beleuchtungswirkungsgrade durch zweckmäßige Leuchtensysteme und Raumgestaltung	
- Planung der Beleuchtung	
- Messung und Bewertung von Beleuchtungsanlagen	
4. Lichtsteuerung, Nutzung des Tageslichtes	24
- Lichtsensoren	
- Einbindung der Beleuchtung in die Gebäudesystemtechnik	
- Präsenzmelder	
- Tageslichtlenkung	
5. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	26
- Beleuchtungskosten	
- Verringerung des Energiebedarfs	
6. Modernisierungsbeispiele von Beleuchtungsanlagen	27
- Dreiachsbüro	
- Fachschulklassenraum	
- Werkstatt eines Handwerksbetriebes	
- Ausstellungsraum	
- Flur	
7. Verwertung und Entsorgung von Leuchten, Leuchtmitteln und Zubehör	38
8. Finanzierung von Modernisierungsmaßnahmen durch Contracting oder Leasing	38
9. Staatliche Energieförderung und Informationsstellen in Hessen	39
10. Zusammenfassung und Ausblick	39
Anhang	40
- Schrifttum	
- Bezugsquellen	
- Lichttechnische Normen	
- Lichttechnische Konzepte nach DIN 5035-7	
- Unternehmen, die der Arbeitsgemeinschaft Lampen-Verwertung (AGLV) angeschlossen sind	
- Informationsstellen in Hessen (Auswahl)	

1. Einführung

Aufgaben der Beleuchtung

Licht ist vor allem das Medium zum Sehen. 80 Prozent der Informationen seiner Umwelt nimmt der Mensch über die Augen wahr. Unzureichendes Licht oder Dunkelheit verhindert gute Orientierung und ruft Unsicherheit hervor. Erst wenn mit angemessener Beleuchtung die Dunkelheit erhellet wird, entsteht ein „sicheres Gefühl“. Die Beleuchtung kann durch Tageslicht, künstliche Beleuchtung oder die Kombination von beiden erzeugt werden.

Gute Beleuchtung steigert die Sehleistung und damit das sichere und schnelle Erkennen wichtiger Details der Arbeitsaufgabe, wie zum Beispiel bei der feinmechanischen Montage, aber auch das rechtzeitige Erkennen von möglichen Gefahren aus der Umgebung, zum Beispiel auf Verkehrswegen. Sie ist daher gesetzlich verankerter Bestandteil des Arbeitsschutzes.

Gute Beleuchtung erhöht die Arbeitsqualität, verringert die Fehlerhäufigkeit, verhindert vorzeitige Ermüdung und ist Voraussetzung für menschengerechte Arbeitsbedingungen.

Gute Beleuchtung unterstützt die optische Kommunikation mit der Arbeitsumwelt, zum Beispiel zwischen den Mitarbeitern eines Gruppenarbeitsplatzes, und trägt so zur Aktivierung menschlicher Leistungsbereitschaft und zu Teamgeist bei.

Gute Beleuchtung steigert die Akzeptanz der Arbeitsbedingungen und fördert eine flexible Anpassung der Mitarbeiter an veränderte Arbeitsbedingungen, zum Beispiel bei Umstellungen von Fertigungsprozessen oder der Einführung neuer Informations- und Kommunikationstechnik. Motivation und Wohlbefinden sind untrennbar miteinander verbunden. Gute Beleuchtung fördert beides.

Gute Beleuchtung steigert die Aufmerksamkeit zum Beispiel für ausgestellte und angebotene Waren durch entsprechende Verkaufsraum- und Schaufensterbeleuchtung, macht Gebäude durch deren Anstrahlung auch in der Dunkelheit zur städtischen Attraktion. Gute Beleuchtung schafft mehr Sicherheit und verringert auch kriminelles Handeln.

Gute Beleuchtung ist durch Gütemerkmale gekennzeichnet, die in Normen, Richtlinien und in der Arbeitsstättenverordnung beschrieben sind. Sie ist bei rechtzeitiger Planung bedarfsgerecht und mit wirtschaftlich vertretbaren Aufwendungen realisierbar.

Entwicklung der Beleuchtungstechnik

In den letzten Jahrzehnten haben sich die empfohlenen Richtwerte der Beleuchtungsstärken für Arbeitsstätten in Innenräumen vor dem Hintergrund verbesserter Lampen, deren Betriebsgeräten (Vorschalt- und Zündgeräte), Leuchten und Anlagentechnologien deutlich nach oben entwickelt. Damit wurden bessere und wirtschaftlich leichter realisierbare Sehbedingungen bei der Arbeit ermöglicht. Zusammengefasst wurde dies in mehreren Normen der Reihe DIN 5035 „Beleuchtung mit künstlichem Licht“ [1] sowie seit März 2003 in der europäischen Norm DIN EN 12464 „Beleuchtung von Arbeitsstätten“ [2] **Bild 1**.

Der in DIN EN 12464-1 für Aufgaben und Tätigkeiten wie Drehen, Pressen und Stanzen genormte Mindestwert für die Beleuchtungsstärke von 300 lx bzw. 500 lx **Bild 1** sowie die übrigen Gütemerkmale der Beleuchtung schaffen gute Seh- und Arbeitsbedingungen bei hoher Arbeitssicherheit. Wurden vor mehr als 50 Jahren z. B. für die Beleuchtung einer Dreherei nur einfachste, aus einem Unterteil und einem Schraubglas bestehende Leuchten für Glühlampen mit einer Lichtausbeute von weniger als 10 Lumen pro Watt (lm/W) eingesetzt, werden heute staubgeschützte Leuchten mit optischen Systemen, Dreibanden-Leuchtstofflampen (siehe Abschnitt 3 „Eigenschaften von Lampen und deren Vorschaltgeräte“) und elektronischen Vorschaltgeräten mit einer bis zu zehnfachen Lichtausbeute verwendet.

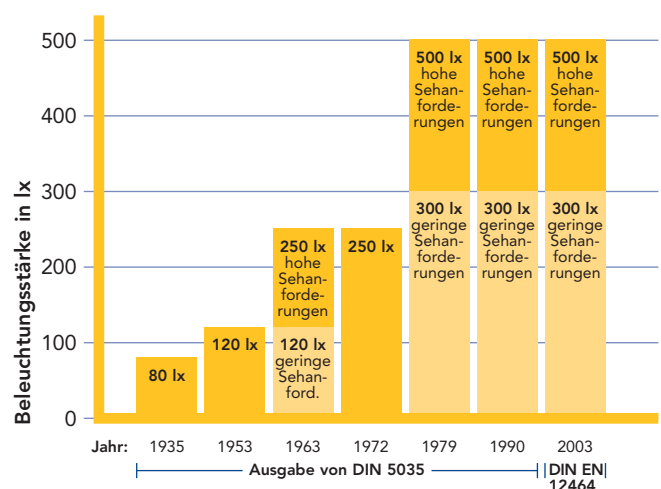


Bild 1 Entwicklung der empfohlenen Beleuchtungsstärke für Aufgaben und Tätigkeiten wie Drehen, Pressen und Stanzen gemäß DIN 5035, Ausgaben von 1935 bis 1990, sowie der europäischen Norm zur Beleuchtung von Arbeitsstätten DIN EN 12464-1 (2003-03)

DIN EN 12665

Beleuchtungssysteme aus Lampen und Vorschaltgeräten modernster Technologie, Leuchten mit hohen Betriebswirkungsgraden, computeroptimierter Lichtstärkeverteilung und optimaler Tageslichtnutzung ergeben eine effiziente Nutzung der Elektroenergie bei der Beleuchtung.

Eine hohe Schutzart der Leuchten – zum Beispiel bezüglich des Staub- oder Feuchtigkeitsschutzes – verringert den Wartungsaufwand und ist ein zusätzlicher Beitrag zur Reduzierung der laufenden Betriebskosten der Beleuchtung.

Das steigende Energiebewusstsein und Preiserhöhungen für Energie in den zurückliegenden Jahren sowie die permanente Verbesserung der Ökonomie und Ökologie technischer Systeme haben auch erhebliche Fortschritte in der Beleuchtungstechnik ausgelöst, die effizientes Beleuchten heute leichter ermöglichen als je zuvor. Es tritt neben der Wirtschaftlichkeit zunehmend auch die Ökologie in den Vordergrund der Entscheidung. Dazu gehören die effiziente Nutzung der Elektroenergie, leichte Entsorgung und stoffliche Unbedenklichkeit der Materialien.

Eine arbeitsgerechte Beleuchtung, gute Seh- und Arbeitsbedingungen, einschließlich der individuellen Behaglichkeit und der Akzeptanz, sind weitere Entscheidungskriterien.

Übersicht bestehender lichttechnischer Normen

Eine Übersicht der wesentlichen lichttechnischen Normen gibt der Anhang.

Seit März 2003 hat die Europäische Norm DIN EN 12464-1 – Beleuchtung von Arbeitsstätten - Arbeitsstätten in Innenräumen [2] den Status einer Deutschen Norm. Zusammen mit DIN EN 12665 [3], in der grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung festgelegt sind, ist sie teilweiser Ersatz für die im September 2002 zurückgezogene Norm DIN 5035-1 – Beleuchtung mit künstlichem Licht - Begriffe und allgemeine Anforderungen. Außerdem ersetzt DIN EN 12464-1 die folgenden Normen teilweise:

- DIN 5035-2 – Richtwerte für Arbeitsstätten in Innenräumen und im Freien
- DIN 5035-3 – Beleuchtung in Krankenhäusern
- DIN 5035-4 – Spezielle Empfehlungen für die Beleuchtung von Unterrichtsstätten
- DIN 5035-7 – Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen und mit Arbeitsplätzen mit Bildschirmunterstützung (Überarbeitung liegt vor)

In DIN EN 12464-1 nicht behandelte Punkte sollen mit Blick auf den fortgeschrittenen Stand der Technik überarbeitet und unter bisheriger Normen-Nummer neu veröffentlicht werden. Mit DIN 5035-7 liegt bereits eine erste überarbeitete Norm vor. Bis zur Vorlage überarbeiteter Normen bleiben die Inhalte der nur teilweise ersetzten Normen der Reihe DIN 5035 gültig.

Auch DIN 67505 – Beleuchtung zahnärztlicher Behandlungsräume und zahntechnische Laboratorien und DIN 67528 – Beleuchtung von Parkplätzen und Parkbauten werden durch DIN EN 12464-1 teilweise ersetzt.

DIN 5035-4

Die DIN EN 12464-2 – Beleuchtung von Arbeitsplätzen - Arbeitsplätze im Freien liegt als Entwurf vor.

Mit Inkrafttreten der DIN EN 12464-1 sind folgende wesentliche Änderungen zu verzeichnen:

Anders als bisher durch DIN 5035 geschehen, fokussiert sich DIN EN 12464-1 nicht mehr allein auf die Sehleistung. Mit dem Ziel eines angenehmen Lichtklimas stehen Sehkomfort, Sehleistung und Sicherheit als Bewertungskriterien fast gleichberechtigt nebeneinander.

Bisher legte DIN 5035-2 Nennbeleuchtungsstärken fest, welche bei der Planung der Neuanlage mit dem Faktor 1,25 zu multiplizieren waren. Die Beleuchtungsstärke durfte bis auf den 0,8-fachen Wert dieser Nennbeleuchtungsstärke sinken. Nun wird in DIN EN 12464-1 bzw. DIN 5035-7 ein Wartungswert eingeführt, den die mittlere Beleuchtungsstärke auf einer bestimmten Fläche nicht unterschreiten darf.

DIN 5035-2

EN 12464-1

Bei der Planung der Beleuchtungsanlage muss daher ein vom Planer festzulegender und zu dokumentierender Wartungsfaktor angesetzt werden, der die zu erwartende Verschmutzung des Raumes und der Beleuchtungsanlage sowie das Alterungsverhalten der Beleuchtungsanlage berücksichtigt. Bei fehlenden Daten für die spezifische Planung gibt DIN 5035-7 Referenzwerte an.

Die Wartungswerte gelten jeweils auf den Flächen, auf denen die verschiedenen Sehaufgaben stattfinden (z. B. im Bürobereich üblicherweise 0,75 m über dem Boden, bei Fluren auf Bodenhöhe).

Daraus resultiert eine gezieltere, individuelle Planung mit möglichst zonalem Charakter entsprechend der Bereiche unterschiedlicher Sehaufgaben. Solche in DIN EN 12464-1 nicht genauer festgelegten Bereiche werden in DIN 5035-7 in drei Beleuchtungskonzepten für die Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen dargestellt:

1. Raumbezogene Beleuchtung
2. Arbeitsbereichsbezogene Beleuchtung
3. Teilflächenbezogene Beleuchtung

Zum Einsatz der verschiedenen Konzepte werden Voraussetzungen genannt und Empfehlungen gemacht.

Im Anhang wird näher auf die drei Beleuchtungskonzepte eingegangen.

Auch der Übergang der Direktblendungsbewertung vom Grenzkurvenverfahren nach Söllner zum UGR-Verfahren (Unified Glare Rating - eine Bewertungsmethode der psychologischen Blendung) stellt eine wesentliche Änderung dar. Der UGR-Wert bezieht sich nicht mehr nur auf eine Leuchte, sondern bewertet die gesamte Beleuchtungsanlage und damit den Blendeindruck aller im Gesichtsfeld befindlichen Leuchten im Verhältnis zur Hintergrundleuchtdichte. Wenn die so ermittelten Grenzen der psychologischen Blendung (Einschränkung des Sehkomforts) eingehalten werden, tritt in der Regel auch keine nennenswerte physiologische Blendung (Einschränkung der Sehleistung) auf.

Bei Büroarbeitsplätzen mit Bildschirmen dürfen nach DIN EN 12464-1 Leuchten, die sich im Bildschirm spiegeln, in Abhängigkeit von der Qualität der verwendeten Bildschirme und der Art der Darstellung oberhalb eines Ausstrahlungswinkels von 65° eine Leuchtdichte von bis zu 1.000 cd/m² aufweisen. Mit dieser Anhebung der Leuchtdichtegrenze vereinfacht sich die Leuchtenauswahl für Büroräume wesentlich.

Eine Unterscheidung von Büroarbeitsplätzen nach ihrer Nähe oder Ferne von Fensterflächen wird bei der Beleuchtungsplanung nicht mehr vorgenommen.

B Beurteilung bestehender Beleuchtungsanlagen

Die kritische Beurteilung bestehender Beleuchtungsanlagen ist nicht nur ein aktuelles, sondern auch ein komplexes Thema, denn die Verringerung des Stromverbrauches für die Beleuchtung hat auch Auswirkungen auf Energieverbrauch und Kosten anderer gebäudetechnischer Bereiche.

Zum Beispiel verringert weniger Beleuchtungswärme die innere Wärmelast eines Klimasystems und kann zur Verringerung der Kühlleistung der entsprechenden Aggregate, zur Verringerung der umzuwälzenden Luftmengen und Kanalquerschnitte sowie weiterer Anlagenkomponenten beitragen.

Oder: Wenn Gebäudeteile erweitert und beleuchtet oder zusätzliche elektrische Verbraucher installiert werden müssen, können Beleuchtungssysteme mit zum Beispiel 50 % weniger Stromverbrauch eine sonst notwendige Erhöhung des Strombezuges und die dafür zu entrichtenden zusätzlichen Kosten überflüssig machen. Eine Modernisierung bestehender Beleuchtungsanlagen kann sich über diesen Weg zusätzlich kostengünstig auswirken.

Es lohnt sich also, über die direkt erreichbaren Energie- (kosten-)einsparungen hinaus, auch den betriebswirtschaftlichen Gesamtnutzen der Modernisierung in anderen Bereichen zu untersuchen.

Anlagen, die vor zehn, fünfzehn oder mehr Jahren nach dem damaligen Stand der Technik geplant und errichtet wurden, genügen oft nicht mehr den heutigen Anforderungen nach normgerechter Beleuchtung (siehe auch Abschnitt 1 „Übersicht bestehender lichttechnischer Normen“).

Neue Erkenntnisse in der Licht- und Beleuchtungstechnik sowie auf dem Gebiet des Arbeitsschutzes, neue Arbeitsmittel und -methoden und die damit verbundenen höheren visuellen Anforderungen an den arbeitenden Menschen – die auch eine kontinuierliche Änderung/Ergänzung von Gesetzen, Verordnungen und Regelwerken zur Folge haben – sind oftmals entscheidende Gründe für die kritische Beurteilung und die Modernisierung von bestehenden Beleuchtungsanlagen.

Für die Modernisierung existieren neue Lampen- und Beleuchtungssysteme, mit denen die Beleuchtung verbessert wird und der Energieeinsatz effizienter als bisher erfolgt.

DIN 5035-3

2. Grundlagen der künstlichen Beleuchtung

Lichttechnische Grundgrößen

Die Lichttechnik erfordert zur Beschreibung der Eigenschaften der Lichtquellen (Lampen), der Leuchten, der beleuchteten Flächen und der Güte-merkmale der Beleuchtung ein eigenes System von Größen und Einheiten. Die wichtigsten davon enthält **Tabelle 1**.

Beleuchtung von Arbeitsstätten

Eine den Arbeitsbedingungen und -abläufen angepasste Beleuchtung von Arbeitsplätzen, Arbeitsbereichen und innerbetrieblichen Verkehrswegen ist eine Grundvoraussetzung für die Verhütung von Unfällen und im weitesten Sinne auch von arbeitsbedingten Erkrankungen.

Daher hat der Gesetzgeber die Beleuchtung von Arbeitsstätten in die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) [4], Anhang 3.4 „Beleuchtung und Sichtverbindung“ einbezogen und eine spezielle Arbeitsstättenrichtlinie ASR 7/3 „Künstliche Beleuchtung“ [5] und ASR 7/4 „Sicherheitsbeleuchtung“ [6] erlassen. Danach ist die Beleuchtung so auszulegen, dass sich keine Unfall- oder Gesundheitsgefahren für die Arbeitnehmer ergeben. Die ArbStättV, die seit August 2004 in überarbeiteter Form existiert, gilt sowohl für den gewerblichen Bereich als auch für Unternehmen ohne Erwerbscharakter (z. B. Schulen, Krankenhäuser), für Religionsgemeinschaften und

die öffentliche Verwaltung. Die Arbeitsstättenrichtlinien befinden sich derzeit in der Überarbeitung und gelten bis zum Abschluss dieser Überarbeitung in den Punkten weiter, wo der Inhalt dem Stand der Technik entspricht. Für die in den Arbeitsstättenrichtlinien gemachten Aussagen mit Bezug auf die alte DIN 5035 bedeutet dies z. B., dass die neuen Angaben nach DIN EN 12464 bzw. den überarbeiteten Normen der Reihe 5035 zu berücksichtigen sind.

Anlässlich von Instandsetzungsarbeiten oder einer andersartigen Nutzung von Räumen sollten bestehende Beleuchtungsanlagen an den neuesten technischen Stand angepasst werden.

Tabelle 1 Lichttechnische Größen und Einheiten nach DIN 5031 Teil 3 (1982-03)

Größe, Formelzeichen	Einheit	Definition und Beispiel
Lichtstrom, ϕ	Lumen, lm	Die von einer Lichtquelle abgegebene Lichtleistung. Eine Dreiband-Leuchtstofflampe 58 W hat z. B. mit einem elektronischen Vorschaltgerät (EVG) einen Lichtstrom von 5.000 lm.
Beleuchtungsstärke, E	Lux, lx	Quotient aus dem auf eine Fläche auftreffenden Lichtstrom und der Größe der beleuchteten Fläche. Die Beleuchtungsstärke ist die Basisgröße für die lichttechnische Anlagenplanung.
Lichtstärke, I	Candela, cd	Quotient aus dem von einer Lichtquelle in eine bestimmte Richtung ausgesandten Lichtstrom und dem durchstrahlten Raumwinkel. Die Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) einer Leuchte gibt an, wie die räumliche Ausstrahlung des Lichtstromes erfolgt.
Leuchtdichte, L	Candela je Quadratmeter cd/m ²	Quotient aus der Lichtstärke in eine bestimmte Richtung und der auf eine Ebene senkrecht zu dieser Richtung projizierten Fläche. Produkt aus der Beleuchtungsstärke und dem Reflexionsgrad vollkommen diffus reflektierender Flächen. Der Helligkeitseindruck und die Sehleistung des menschlichen Auges wird durch die Leuchtdichte bestimmt. In der Praxis wird jedoch von der Leuchtdichte zu bestimmenden Beleuchtungsstärke ausgegangen und hohe Reflexionsgrade unterstellt, andernfalls muss die Beleuchtungsstärke entsprechend erhöht werden, um auf die gleiche Leuchtdichte und Sehleistung zu gelangen.
Lichtausbeute, η	Lumen je Watt lm/W	Quotient aus dem abgestrahlten Lichtstrom einer Lampe in Lumen und der aufgenommenen elektrischen Leistung der Lampe in Watt.
System-Lichtausbeute		Quotient aus dem abgestrahlten Lichtstrom einer Lampe in Lumen und der aufgenommenen elektrischen Leistung der Lampe und des Vorschaltgerätes in Watt, Werte siehe Tabelle 8.
Leuchtenbetriebswirkungsgrad, η_{LB}	-	Verhältnis des aus einer Leuchte unter genormten Betriebsbedingungen ausgestrahlten Lichtstroms zur Summe der Lichtströme der darin betriebenen Lampen.

In DIN EN 12464-1 sind die grundlegenden Kriterien für die Beleuchtungsplanung (Gütemerkmale) dargestellt, die dem Schutz- und Sicherheitsziel der ArbStättV gerecht werden.

Der Arbeitsstättenverordnung übergeordnet ist das Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) [7], das für alle Arbeitsstätten gilt. Es ist die nationale Umsetzung einer entsprechenden EU-Richtlinie **Bild 2**.

In gleicher Weise verfolgen auch die Unfallverhütungsvorschriften (UVV) das Ziel, durch entsprechende Anforderungen an die Arbeitsumgebung – also auch an die Beleuchtung – mehr Sicherheit und Wohlbefinden des arbeitenden Menschen zu erreichen. Insofern hat die Unfallverhütungsvorschrift BGV A1 „Grundsätze der Prävention“ [8] der gewerblichen Berufsgenossenschaften (bisher VBG 1) die Anforderungen an die Beleuchtung entsprechend der ArbStättV auch in ihr Vorschriftenwerk übernommen. Ferner gelten die Sicherheitsregeln BGR 131 (bisher ZH 1/190) [9] der Berufsgenossenschaften, die allerdings bisher noch nicht dem aktuellen Normenstand angepasst wurden. Daher gilt hier wie auch für die noch nicht überarbeiteten Arbeitsstättenrichtlinien, dass die Punkte, die dem aktuellen Stand der Technik entsprechen, nach wie vor Gültigkeit haben, während z. B. für Aussagen auf der Basis nicht mehr gültiger Normen die aktuellen DIN-Versionen heranzuziehen sind. Gegenüber der bisherigen DIN 5035-1 weist die aktuelle DIN EN 12464-1 beispielsweise höhere Anforderungen an die Wartung der Beleuchtungsanlage infolge von Abnahme der Beleuchtungsstärke während der Betriebszeit auf. Die in den BGR 131 genannten erhöhten Anforderungen in diesem Bereich werden damit durch die aktuelle Norm abgedeckt.

Bildschirme gibt es nicht nur im Büro, sondern auch in Werkstätten und Maschinenhallen. Die richtige Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen und insbesondere

EU-Richtlinien
89/394/EWG Maschinen-Richtlinie
89/654/EWG Mindestvorschriften für Sicherheit und Gesundheitsschutz in Arbeitsstätten
90/270/EWG Bildschirmarbeit
Gesetze- und Vorschriften
Arbeitsschutz-Rahmengesetz
Arbeitsstättenverordnung (ArbStättVO 2004)
Arbeitsstättenrichtlinie (ASR)
Normen und Regeln
DIN 5035 Beleuchtung mit künstlichem Licht
DIN EN 12464 Beleuchtung von Arbeitsstätten

Bild 2 Von den EU-Richtlinien zum Arbeitsschutzgesetz über die Arbeitsstätten-Verordnung und die Arbeitsstättenrichtlinie führt ein direkter gesetzlich verankerter Weg zu den Beleuchtungsnormen DIN 5035 und DIN EN 12464

re die Vermeidung von störenden Reflexen auf dem Bildschirm durch Tageslicht oder zu hohe Leuchtdichte der künstlichen Beleuchtung ist für die ergonomische Gestaltung des Arbeitsplatzes und für den Gesundheitsschutz sehr wichtig.

Die Bildschirmarbeitsverordnung [10] verpflichtet den Arbeitgeber, Arbeitsplätze mit Bildschirmen nach dem allgemein anerkannten Stand der Technik zu beleuchten [11].

Die Anforderungen an die Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen enthält DIN 5035-7.

Die aktuellen Normenreihen repräsentieren den Stand der Technik und basieren auf gesicherten physiologischen, ergonomischen und lichttechnischen Erkenntnissen. Insbesondere die Normen DIN EN 12464-1 (Beleuchtung von Arbeitsstätten, Innenräume) und DIN 5035 (Beleuchtung

mit künstlichen Licht) machen durch Zahlen, Daten und Fakten Beleuchtung in Innenräumen mit allen erforderlichen Güteigenschaften planbar. Die Normen enthalten Mindestwerte, die auch wirtschaftliche Überlegungen berücksichtigen. Eine darüber hinausgehende Beleuchtungsqualität ist selten erforderlich, kann aber bei überdurchschnittlich hohen Anforderungen an die Sehaufgabe z. B. die Arbeitssicherheit erhöhen.

Gütemerkmale der Beleuchtung

An eine gute Beleuchtung sind zusätzlich zur erforderlichen Beleuchtungsstärke weitere Güteigenschaften zu stellen, die das Lichtklima beeinflussen und in DIN EN 12464-1 beschrieben sind: Beleuchtungsstärke, Blendung, Leuchtdichteverteilung, Lichtfarbe und Farbwiedergabe, Flimmern sowie Tageslicht **Bild 3**.

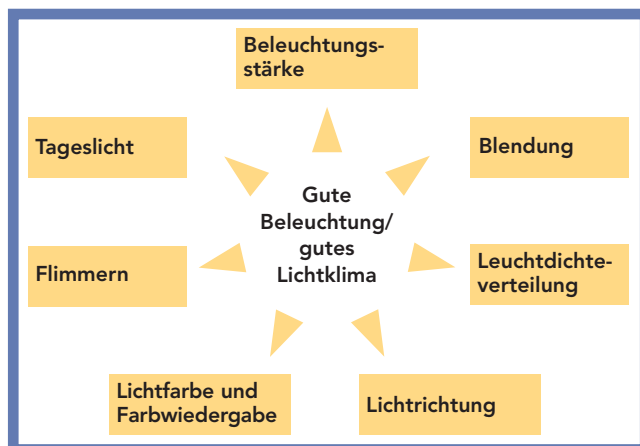


Bild 3 Hauptmerkmale für gutes Lichtklima nach DIN EN 12464 -1

Tabelle 2 Gleichmäßigkeiten und Zusammenhang zwischen der Beleuchtungsstärke des unmittelbaren Umgebungsbereiches und der Beleuchtungsstärke im Bereich der Sehaufgabe

Beleuchtungsstärke „Sehaufgabe“ [lx]	Beleuchtungsstärke „unmittelbare Umgebung“ [lx]
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	E_{Aufgabe}
Gleichmäßigkeit ≥ 0,7	Gleichmäßigkeit ≥ 0,5

Eine hohe Sehleistung wird durch die angemessene Beleuchtungsstärke, Sehkomfort durch ein gutes Lichtklima erreicht. Die Begrenzung der Direkt- und Reflexblendung ist eine weitere Voraussetzung für richtiges und schnelles Sehen. Direktblendung wird nach dem UGR-Verfahren unter Berücksichtigung von

- Leuchtdichteverteilung der Leuchte
- Beleuchtungssituation
- Hintergrundleuchtdichte
- Raumgröße
- Leuchtenabstand und
- Blickrichtung

bewertet. Die Mindestanforderungen an die Begrenzung der Direktblendung sind in DIN EN 12464-1 genannt. Bei Einhaltung dieser Grenzwerte kann psychologische Blendung in der Regel vermieden werden. Reflexblendung – zum Beispiel auf Hochglanzpapier oder auf Bildschirmen – kann durch entsprechende Lichtausrichtung, matte Oberflächen im Raum und die Leuchtdichtebegrenzung der Leuchten vorgebeugt werden.

Eine ausgewogene Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld fördert die optische Kommunikation mit der Arbeitsumgebung und trägt zur Arbeitssicherheit bei. Gutes räumliches Sehen wird durch die entsprechende Lichtrichtung erzielt. Die Lichtfarbe und Farbwiedergabe der verwendeten Lampen (Mindestanforderungen in DIN EN 12464-1) bestimmen wesentlich die Erkennbarkeit farblicher Details und fördern die Stimmung des Raumes. Flimmern kann zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen wie Kopfschmerzen führen, daraus resultierende stroboskopische Effekte gar zu gefährlichen Situationen, z. B. bei der Wahrnehmung rotierender Maschinenteile. Die Beleuchtung einer Sehaufgabe kann durch Tageslicht ganz oder teilweise übernommen werden, wobei künstliche und natürliche Beleuchtung angemessen zusammenwirken müssen. Die Beleuchtungsanlage soll den Beleuchtungsanforderungen genügen, ohne Energie zu verschwenden.

DIN EN 12464-1 empfiehlt für eine Vielzahl von Aufgaben und Tätigkeiten in acht Bereichen fast 300 Beleuchtungsstärken für die unterschiedlichen Sehaufgaben. Diese Werte stellen Wartungswerte dar, die für die jeweilige Sehaufgabe unabhängig vom Alter und Zustand der Beleuchtungsanlage im Mittel nicht unterschritten werden dürfen. In Abhängigkeit von diesen Werten lassen sich nach Angaben aus DIN EN 12464-1 auch die erforderlichen Beleuchtungsstärkewerte für die Bereiche der unmittelbaren Umgebung ermitteln **Tabelle 2**. Die Wartungswerte dienen der Sehleistung und dem Sehkomfort und berücksichtigen auch Faktoren wie visuelle Ergonomie, praktische Erfahrungen, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit. Sie gelten für normalsichtige Menschen und übliche Sehbedingungen im eingerichteten Raum. Die aufgeführten Beleuchtungsstärken können bei einer Abweichung der Sehbedingung von den üblichen Annahmen sowohl erhöht als auch niedriger gewählt werden. Randbedingungen hierfür gibt DIN EN 12464-1 vor. Weiterhin werden Grenzwerte für die

psychologische Blendung (UGR-Wert) und der allgemeine Farbwiedergabeindex (R_a) als Gütemerkmale angegeben. **Tabelle 3** gibt einen Auszug aus DIN EN 12464-1 wieder.

Ältere Menschen benötigen mehr Licht als jüngere, um die gleiche Sehaufgabe ebenso gut und schnell erfüllen zu können. Dieser Unterschied vermindert sich mit steigender Beleuchtungsstärke.

Sobald die mittlere Beleuchtungsstärke unter den nach DIN EN 12464-1 angegebenen Wartungswert (\bar{E}_m) absinkt, ist eine Wartung durchzuführen. Eine Verringerung der Beleuchtungsstärke tritt infolge von Alterung der Lampen sowie Verschmutzung der Lampen, Leuchten und des Raumes mit zunehmender Betriebszeit der Beleuchtungsanlage auf. Diese Abnahme der Beleuchtungsstärke wird in der Planungsphase durch den Wartungsfaktor berücksichtigt, von dessen Größe abhängt, um wie viel Prozent die Beleuchtungsanlage über dem Wartungswert ausgelegt wird **Bild 4**. Der Wartungsfaktor wird nicht vorgegeben, sondern soll durch den Planer

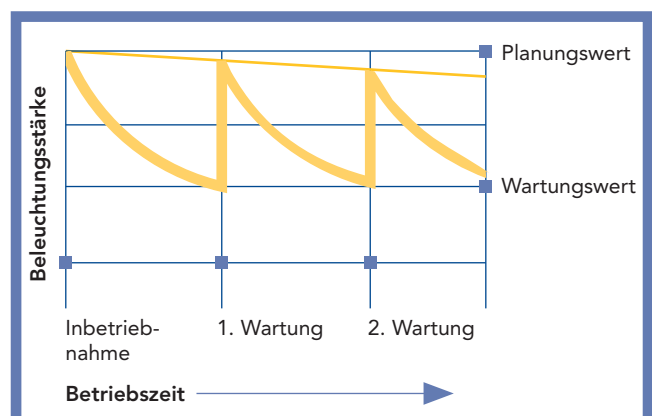


Bild 4 Abnahme der Beleuchtungsstärke mit der Betriebszeit auf den Wartungswert

Tabelle 3 Wartungswert der Beleuchtungsstärke auf der Bewertungsfläche (\bar{E}_m), UGR-Grenzwert (UGR_L) und Allgemeiner Farbwiedergabe-Index (R_a); Beispiele aus DIN EN 12464-1, Abschnitt 5.3

Art des Raumes, Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m [lx]	UGR_L	R_a	Bemerkungen
Chemische Industrie, Kunststoff- und Gummiindustrie (Pos. 2.5)				
Verfahrenstechnische Anlagen mit Fernbedienung	50	-	20	Sicherheitsfarben müssen erkennbar sein.
Ständig besetzte Arbeitsplätze in verfahrenstechnischen Anlagen	300	25	80	
Farbprüfung	1.000	16	90	$T_{CP} \geq 4.000$ K
Nahrungs- und Genussmittelindustrie (Pos. 2.7)				
Arbeitsplätze und kritische Zonen in Schlachthöfen, Metzgereien, Molkereien, Mühlen, auf Filterböden in Zuckerraffinerien	500	25	80	
Schneiden und Sortieren von Obst und Gemüse	300	25	80	
Metallbe- und -verarbeitung (Pos. 2.13)				
Grobe und mittlere Maschinenarbeiten: Toleranzen $\geq 0,1$ mm	300	22	60	
Feine Maschinenarbeiten, Schleifen: Toleranzen $< 0,1$ mm	500	19	60	
Büros (Pos. 3)				
Ablegen, Kopieren, Verkehrszone usw.	300	19	80	
Schreiben, Schreibmaschinenschreiben, Lesen, Datenverarbeitung	500	19	80	Bildschirmarbeit: siehe 4.11 der DIN
Technisches Zeichnen	750	16	80	
CAD-Arbeitsplätze	500	19	80	Bildschirmarbeit: siehe 4.11 der DIN
Konferenz- und Besprechungsräume	500	19	80	Beleuchtung sollte regelbar sein
Empfangstheke	300	22	80	
Archive	200	25	80	
Restaurants und Hotels (Pos. 5.2)				
Empfangs-/Kassentheke, Portiertheke	300	22	80	
Küchen	500	22	80	Es sollte eine Übergangszone zwischen Küche und Restaurant vorhanden sein.
Restaurants, Speiseräume, Funktionsräume	-	-	80	Die Beleuchtung sollte so gestaltet sein, dass eine angemessene Atmosphäre geschaffen wird.
Flure	100	25	80	Während der Nacht ist ein geringeres Niveau zulässig.

unter Berücksichtigung aller relevanten Einflüsse auf die Beleuchtungsanlage errechnet und dokumentiert werden. Neben dem Alterungsverhalten der Lampen, Vorschaltgeräte und Leuchten spielt das Wartungsprogramm eine wesentliche Rolle. In den Wartungsplan geht neben dem Intervall des Lampenwechsels auch das Intervall der Leuchtenreinigung sowie das Reinigen des Raumes und die Reinigungsmethode ein. Aus energetischen Gründen sollte bei der Bestimmung des Wartungsfaktors vermieden werden, zu hohe, nicht erforderliche Sicherheiten zu berücksichtigen. Ein aus diesem Grund zu niedrig gewählter Wartungsfaktor kann zu einer deutlichen Überdimensionierung der Beleuchtungsanlage und damit zu einem erhöhten Energieverbrauch führen. Auch zu hoch angesetzte Wartungsfaktoren sind zu vermeiden, um eine Unterdimensionierung infolge der Alterung zu vermeiden. Der Bestimmung des Wartungsfaktors sollte daher große Bedeutung beigemessen werden. Je nach den betrieblichen Gegebenheiten sind die Wartungsfaktoren (WF) unterschiedlich. Als Berechnungsansatz kann die unten stehende Formel dienen.

Wartungsfaktor

$$WF = LLWF \times LLDF \times LWF \times RWF$$

Lampen**Lichtstrom****Wartungs****Faktor**
berücksichtigt den Lichtstromrückgang der Lampen

Lampen**Lebens****Dauer****Faktor**
berücksichtigt die Ausfallwahrscheinlichkeit des verwendeten Lampentyps

Leuchten**Wartungs****Faktor**
berücksichtigt den Lichtstromrückgang der Leuchte durch Verschmutzung und Alterung

Raum**Wartungs****Faktor**
berücksichtigt den Reflexionsgradrückgang des Raumes durch Alterung und Verschmutzung

Tabelle 4 Referenz-Wartungsfaktoren (WF)

WF	Anwendungshinweis
0,80	Sehr sauberer Raum (z. B. Reinraum), Anlage mit geringer jährlicher Nutzungszeit
0,67	Sauberer Raum, dreijähriger Wartungszyklus
0,57	Außenbeleuchtungsanlage, dreijähriger Wartungszyklus
0,50	Innen- oder Außenbeleuchtungsanlage, starke Verschmutzung

Zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Anlage beträgt dann der Planungswert (Neuwert) der mittleren Beleuchtungsstärke $\bar{E} = \bar{E}_m / WF$ (Wartungsfaktor). Für die vereinfachte Projektierung und bei fehlenden Angaben können Referenzwerte vorgeschlagen werden [12] **Tabelle 4**, die im Rahmen der Beleuchtungsplanung gegebenenfalls aber anzupassen sind: Die Werte der Tabelle 4 sind lediglich Mittelwerte für Hochdruck-Entladungslampen und Leuchtstofflampen. Die mittlerweile recht verbreiteten stabförmigen Dreibanden-Leuchtstofflampen weisen jedoch aufgrund verbesserter Leuchtstoffe bei höherer Lichtausbeute (Tabelle 7) eine wesentlich geringere Lichtstromabnahme im Laufe der

Betriebszeit auf (Bild 11) als Standardlampen und Lampen früherer Bauart. Zusätzlich zu den in DIN EN 12464-1 genannten Beleuchtungsstärken, die sich auf die Ebene beziehen, auf der sich die Sehleistung befindet, legt DIN 5035-7 für Räume mit Bildschirmarbeitsplätzen die Anforderungen an die vertikale Beleuchtungsstärke fest. Die dort genannte vertikale Beleuchtungsstärke ist auf den Arbeitsbereich „Lesetätigkeit an Schrank- und Regalfächern“ bezogen und damit im Allgemeinen auf eine Fläche zwischen 0,5 und 2 m Höhe.

Beleuchtung im Bereich der Sehaufgabe

DIN EN 12464-1 wendet sich deutlich ab von der bisherigen Aussage, wonach die Kriterien der guten Beleuchtung (Bild 3) am besten mit einer Allgemeinbeleuchtung zu erfüllen seien. Die in DIN EN 12464-1 angegebenen Beleuchtungsstärkewerte beziehen sich explizit jeweils auf die Bewertungsfläche des Bereichs einer Sehaufgabe. Das bedeutet, dass bei der Durchführung von Arbeiten mit unterschiedlichen Sehaufgaben in einzelnen Raumzonen, zum Beispiel Raumzonen mit Montagearbeitsplätzen neben größeren Bereichen für die Materialbereitstellung, eine sehaufgabenorientierte Beleuchtung mit unterschiedlichem Beleuchtungsniveau vorzusehen ist. Mit Rücksicht auf die optische Kommunikation mit der Arbeitsumgebung, wie das rechtzeitige Erkennen von außerhalb des Arbeitsbereiches lie-

genden Gefahrenquellen – zum Beispiel bei herannahenden Transporteinrichtungen – ist es im Sinne der Arbeitssicherheit erforderlich, den unmittelbaren Umgebungsbereich so zu beleuchten, dass eine ausgewogene Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld geschaffen wird.

Für die Beleuchtungsstärke im unmittelbaren Umgebungsbereich – dieses ist der Bereich, der den Bereich der Sehaufgabe in einer Fläche von mindestens 0,5 m umgibt **Bild 5** – macht DIN EN 12464-1 ebenfalls Angaben (Tabelle 2).

Die Kriterien der guten Beleuchtung können mit einer solchen sich auf die einzelnen Bereiche der Sehaufgabe beziehenden Beleuchtung auch unter energetischen Aspekten am besten erfüllt werden.

Da in DIN EN 12464-1 die einzelnen Bereiche verschiedener Sehaufgaben nicht genau abgegrenzt werden, nennt DIN 5035-7 (2004-08) für Bildschirmarbeitsplätze drei Beleuchtungskonzepte, legt dafür Größe und Lage der Arbeitsbereiche fest und gibt Empfehlungen zur Anwendung.

Diese drei Konzepte der raumbezogenen, arbeitsbereichsbezogenen und teilbereichsbezogenen Beleuchtung sind im Anhang dargestellt.

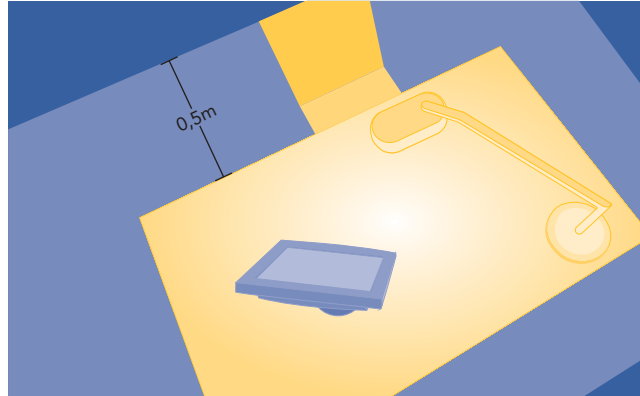


Bild 5 Bereich der Sehaufgabe und der unmittelbaren Umgebung

In Büroräumen muss im Bereich der Sehaufgabe (Schreiben, Lesen, Datenverarbeitung, CAD-Arbeitsplätze etc.) die Beleuchtung den Anforderungen nach DIN EN 12464-1 und DIN 5035-7 entsprechen.

Für alle dort anfallenden Aufgaben wie Lesen am Bildschirm, Lesen von bedrucktem Papier, Schreiben auf Papier und Benutzen der Tastatur muss die Beleuchtung geeignet sein. Wesentlich ist dabei, dass das Arbeiten am Bildschirm oder der Tastatur nicht durch Reflexionen infolge zu hoher Leuchtdichten beeinträchtigt wird.

Die Grenzleuchtdichte ist in erster Linie von den Reflexionseigenschaften des Bildschirms abhängig.

Je nach Bildschirmklassifizierung sind die Leuchtdichtegrenzwerte entsprechend **Tabelle 5** festgelegt.

Tabelle 5 Leuchtdichtegrenzwerte zur Reflexionsbegrenzung bei Bildschirmarbeitsplätzen

Bildschirmklasse nach ISO 9241-7	Klasse I	Klasse II	Klasse III
Bildschirmgüte	gut	mittel	schlecht
Mittlere Leuchtdichte von Leuchten, die sich im Bildschirm spiegeln	≤ 1.000 cd/m ²		≤ 200 cd/m ²

3. Energiesparende Beleuchtungssysteme

Eigenschaften von Lampen und deren Vorschaltgeräte

Lampen wandeln elektrische Leistung in sichtbare Strahlung (Licht) um. Die Lichtausbeute, die in Lumen je Watt (lm/W) angegeben wird, ist das Maß dafür. Der größte Teil der von einer Lampe aufgenommenen Leistung wird jedoch in Wärme umgesetzt. Glühlampen geben nur etwa 5 %, Leuchtstofflampen zwischen 20 % und 40 % ihrer elektrischen Leistung als Licht ab **Bild 6**.

Daher ist es die vornehmlichste Aufgabe der Lampenentwickler, die Lichtausbeute zu steigern, was mit den Gasentladungslampen und hier insbesondere mit den Dreiband-Leuchtstofflampen in besonderer Weise gelungen ist.

Nachfolgend werden die für die praktische Anwendung wichtigsten Lampenarten erläutert. Bei der Lampenauswahl für verschiedene Anwendungszwecke sollte immer beachtet werden, einen Lampentyp mit mög-

lichst hoher Lichtausbeute einzusetzen **Bild 7**. Eine Kompaktleuchtstofflampe hat im Vergleich zur Glühlampe beispielsweise eine erheblich höhere Lichtausbeute und sollte daher bevorzugt eingesetzt werden.

Glühlampen werden trotz ihrer geringen Lichtausbeute von rund 12 lm/W und einer mittleren Lebensdauer von nur etwa 1.000 Stunden nach wie vor häufig in der Wohnraum- und teilweise in der repräsentativen Beleuchtung eingesetzt. Sie sind aufgrund der Lichtausbeute und der Betriebsstundenzahl für kommerzielle und industrielle Anlagen von vornherein weniger geeignet und sollten auch im Wohn- und repräsentativen Bereich durch effizientere Lampen ersetzt werden.

Hochvolt- bzw. Niedervolt-Halogen-glühlampen zeichnen sich durch ein brillantes Licht aus und finden daher in Verkaufsräumen und in repräsentativen Anlagen sowie dort Anwendung,

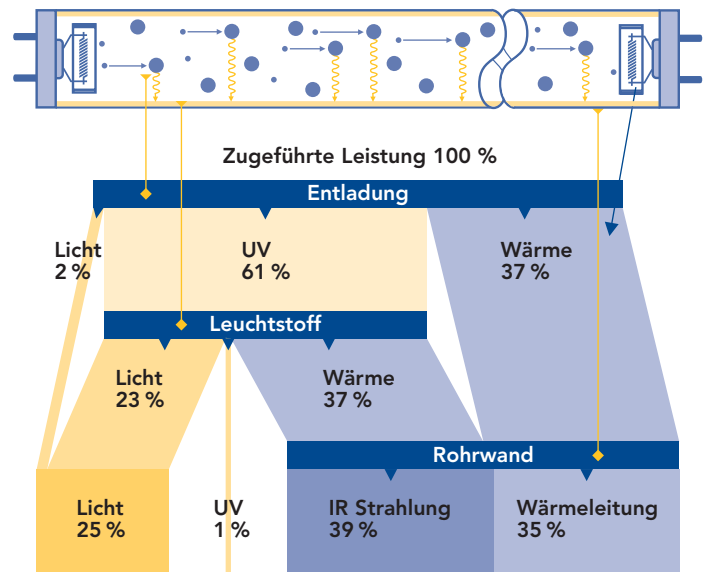
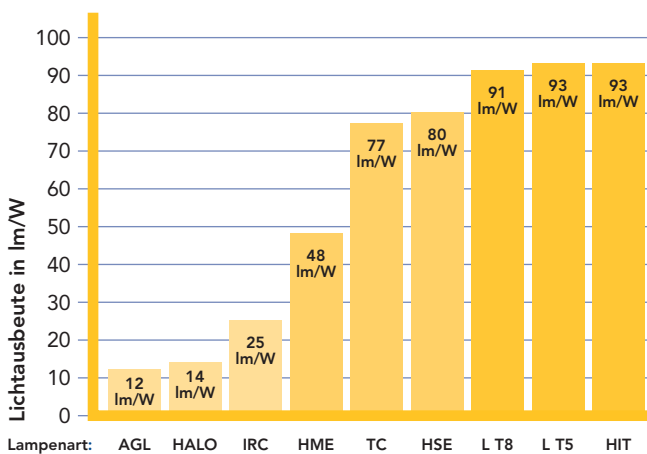
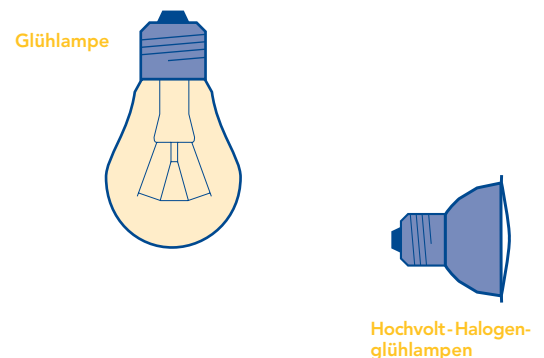


Bild 6 Energiebilanz einer Leuchtstofflampe



- AGL:** Allgebrauchsglühlampe 60 W
- HALO:** Halogenglühlampe 60 W, 230 V
- IRC:** Infra-Red-Coated-Halogenglühlampe, 50 W, 12 V
- HME:** Quecksilberdampf-Hochdrucklampe, elliptisch, 80W, matt
- TC:** Kompakt-Leuchtstofflampe 55 W, EVG
- HSE:** Natriumdampf-Hochdrucklampe, elliptisch, 70 W, matt
- L T8:** stabförmige Dreiband-Leuchtstofflampe 58 W, T8, EVG
- L T5:** stabförmige Dreiband-Leuchtstofflampe 49 W, T5, EVG
- HIT:** Halogen-Metaldampflampe, Röhrenform, 70 W

Bild 7 System-Lichtausbeute von typischen Lampenarten



wo die Architektur des Raumes oder seine Ausstattung besonders zur Geltung kommen soll. Ihre mittlere Lebensdauer ist doppelt so hoch, ihre Lichtausbeute 20 bis 50 % höher als die der Glühlampen. Bei Niedervoltlampen ist die Verlustleistung des Transformators einzubeziehen. Niedervolt-Halogenglühlampen können durch effizientere IRC-Halogenglühlampen ersetzt werden, Hochvolt-Halogenglühlampen durch Kompakt-Leuchtstofflampen.

Infra-Red-Coated (IRC) Niedervolt-Halogenglühlampen lassen sich in den gleichen Bereich wie herkömmliche Niedervolt-Halogenglühlampen einsetzen und weisen auch deren Vorzüge bezüglich der Lichtqualität auf. Mit rund 4.000 Benutzungsstunden ist die mittlere Lebensdauer doppelt so hoch, ihre Lichtausbeute ist 55 bis 70 % höher als die der herkömmlichen Niedervolt-Halogenglühlampen. Dieser energetische Vorteil resultiert aus dem Prinzip der Wärmerückgewinnung: Durch eine spezielle Beschichtung auf dem Lampenkolben (Infra-Red-Coating) wird Wärme während des Betriebs der Lampe auf die Wendel zurückreflektiert und bleibt in der Lampe enthalten. Dadurch muss weniger Energie zugeführt werden, um die Wendel auf Betriebstemperatur zu halten.

Leuchtdioden (LED-Module) basieren auf Halbleiterverbindungen, die elektrischen Strom direkt in Licht umwandeln. Sie haben mit derzeit bis zu 55 lm/W eine deutlich höhere Lichtausbeute als Glühlampen, erreichen aber noch nicht die Effizienz von Leuchtstofflampen.

LEDs existieren in den Farben Rot, Orange, Gelb, Grün oder Blau, weißes Licht wird durch spezielle Technologien erzeugt. LEDs mit weißem Licht erreichen heute mit 25 bis 30 lm/W noch nicht die genannten hohen Lichtausbeuten einiger farbiger LEDs. Langfristig ist eine weitere deutliche Steigerung der Lichtausbeute zu erwarten. Besonders vorteilhaft ist die extrem lange Lebensdauer der LEDs von bis zu 100.000 Stunden. Der Einsatzbereich ist zur Zeit noch relativ klein (z. B. Ampeln, Markierungsbeleuchtung, Großbildschirme etc.), ein verstärkter Einsatz im Endverbrauchermarkt ist in den nächsten Jahren aber zu erwarten.

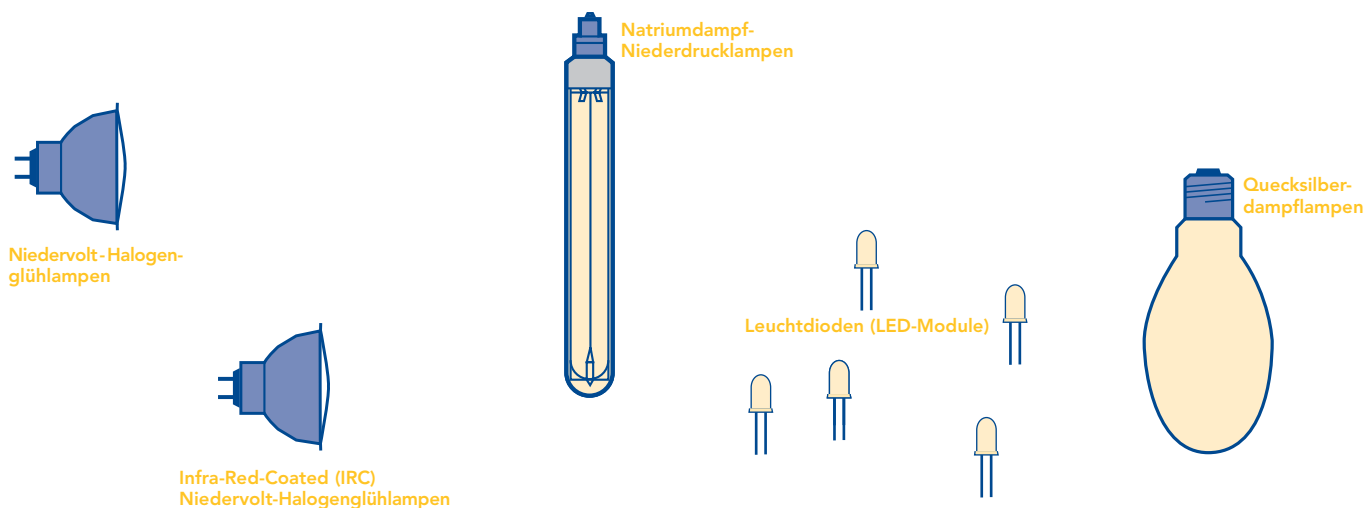
Natriumdampf-Niederdrucklampen haben eine extrem hohe Lichtausbeute bis knapp 200 lm/W, finden wegen ihrer monochromatisch gelben Lichtfarbe und der daraus resultierenden schlechten Farbwiedergabe in der Innenraumbeleuchtung aber keine Verwendung. Ihr Einsatz wird auf Orte beschränkt, bei denen es auf hohe Lichtströme und nicht auf Farbwiedergabe ankommt, z. B. Umgehungs- und Ausfallstraßen, Tunnel und Unterführungen oder Schleusen und Hafenanlagen.

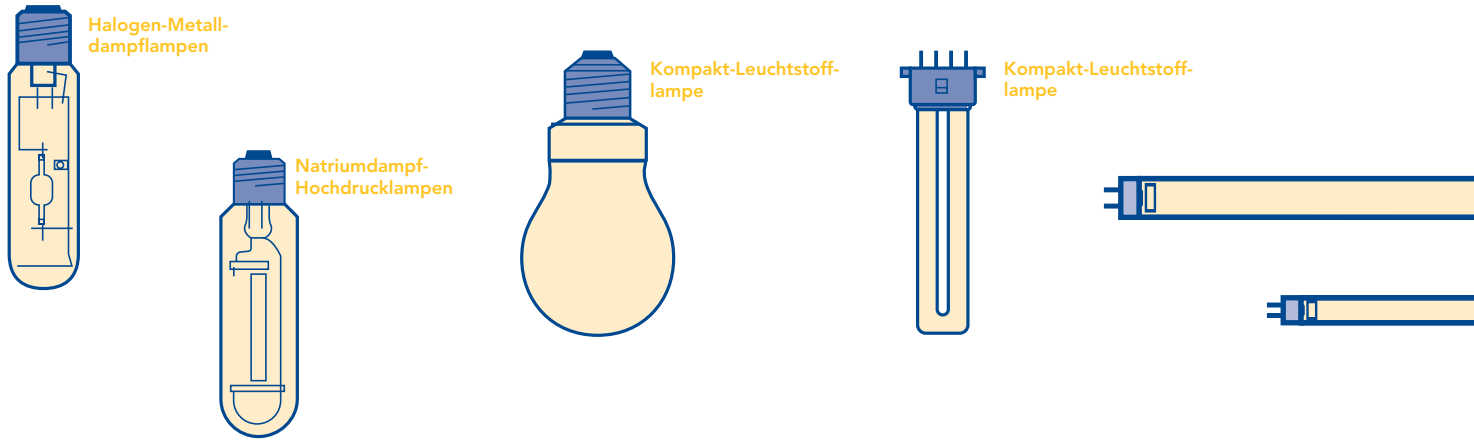
Zu der Gruppe der **Hochdruck-Entladungslampen** gehören Quecksilberdampflampen, Halogen-Metaldampflampen und Natriumdampf-Hochdrucklampen.

(Hochdruck-)Entladungslampen haben im Vergleich zu Glühlampen eine deutlich höhere Lichtausbeute und mittlere Lebensdauer. Hochdrucklampen benötigen bis zum Erreichen des vollen Lichtstromes bis zu 10 Minuten und nach dem Ausschalten eine Abkühl- und Wiedereinschaltzeit von einigen Minuten. Insofern können sich kurzzeitige Netzunterbrechungen (sogenannte Netzrisser) nachteilig auf die Verfügbarkeit der Beleuchtung auswirken. Besondere Betriebsgeräte für eine sofortige Wiedereinschaltung der Lampen auch im heißen Zustand sind zwar aufwendig, aber vermeiden diesen Nachteil. Die meisten Hochdrucklampen benötigen zusätzlich zum Vorschaltgerät ein Zündgerät, mit dem die hohe Zündspannung erzeugt wird. Zunehmend setzen sich auch für Hochdrucklampen elektronische Betriebsgeräte durch.

Quecksilberdampflampen werden wegen ihrer weniger guten Farbwiedergabe (zumeist $R_a = 40...59$) in Innenräumen vor allem in der Verkehrs- und Werkhallenbeleuchtung eingesetzt. Sie benötigen als einzige Hochdrucklampe kein Zündgerät, wohl aber ein Vorschaltgerät.

Im Vergleich zu anderen Entladungslampen ist die Lichtausbeute der Quecksilberdampflampe mit bis zu 60 lm/W nur mäßig.





In verstärktem Maße setzen sich die **Halogen-Metaldampflampen** mit deutlich höherer Lichtausbeute und besserer Farbwiedergabe gegenüber den Quecksilberdampflampen durch. Die lampenphysikalisch bedingte Verknüpfung einer hohen Lichtausbeute mit einer weniger guten Farbwiedergabe und umgekehrt besteht heute nicht mehr in der Form: Es existieren mittlerweile Modelle, die bei sehr guter Farbwiedergabe ($R_a = 80 \dots 89$) eine Lichtausbeute von 100 lm/W und mehr erreichen.

Natriumdampf-Hochdrucklampen zeichnen sich ebenfalls durch eine hohe Lichtausbeute aus. Insbesondere in hohen Leistungsbereichen übertrifft die Lichtausbeute mit bis zu 150 lm/W alle anderen Hochdruckentladungslampen. Die Farbwiedergabe ist mit $R_a = 20 \dots 39$ recht gering, ermöglicht aber neben der Außenbeleuchtung einen Innenraum-Einsatz, beispielsweise in hohen Industriehallen wo sich ihre weniger gute Farbwiedergabe nicht nachteilig auswirkt. Diese Lampen stehen auch mit glühlampenähnlicher Lichtfarbe und guter Farbwiedergabe zur Verfügung, die im gewerblichen Bereich und bei anspruchsvoller Straßenbeleuchtung sowie für Anstrahlungen verwendet werden. Jedoch geht die Farbverbesserung etwas zu Lasten der Lichtausbeute.

Kompakt-Leuchtstofflampen sind Leuchtstofflampen kleiner Bauform. In den niedrigen Leistungsstufen von 5 W bis z. B. 23 W mit eingebautem, meist elektronischen Vorschaltgerät

und mit Sockel E 14 bzw. E 27 sind sie ein sehr wirtschaftlicher Ersatz für Glühlampen. Wegen der rund zwölfjährigen Lebensdauer und der in diesem Leistungsbereich etwa 5-fachen Lichtausbeute gegenüber Glühlampen werden sie auch als Energiesparlampen bezeichnet. Kompakt-Leuchtstofflampen mit E 14- bzw. E 27-Sockel existieren in verschiedensten Formen und sind in allen Lichtfarben erhältlich, so dass ein Austausch von Glühlampen durch Kompakt-Leuchtstofflampen in allen Bereichen möglich ist.

In **Tabelle 6** sind die realisierbaren Leistungsreduzierungen dargestellt, die sich durch den Austausch von Glühlampen durch Kompakt-Leuchtstofflampen mit vergleichbarem Lichtstrom ergeben. Kompakt-Leuchtstofflampen mit Stecksockeln werden in Leuchten mit separaten Vorschaltgeräten verwendet.

Kompakt-Leuchtstofflampen höherer Leistungsstufen, zum Beispiel 18 W, 24 W, 36 W, 40 W und 55 W, werden anstelle stabförmiger Leuchtstofflampen in kompakten, quadratischen oder rechteckigen Leuchten betrieben, die durch ihre Formgebung zusätzliche Möglichkeiten der architektonischen Gestaltung der Beleuchtungsanlage bieten.

Leuchtstofflampen decken laut Statistik etwa 70 % unseres Lichtbedarfs ab. Grundsätzlich sind – von Sonderfällen abgesehen – stabförmige und Kompakt-Leuchtstofflampen höherer Leistung in der Innenraumbeleuchtung wegen ihrer hohen Lichtausbeute und Lebensdauer sowie der guten Farbwiedergabe gegenüber anderen Lampenarten zu bevorzugen. Neben den nach wie vor verbreiteten Leuchtstofflampen mit 26 mm Durchmesser (**T8-Lampen**) setzen sich zu-

Tabelle 6 Kompakt-Leuchtstofflampen mit eingebautem elektronischen Vorschaltgerät als Ersatz für Glühlampen mit etwa gleichem Lichtstrom

Glühlampen der Leistung	Kompakt-Leuchtstofflampen der Leistung
25 W	5 W
40 W	7 W
60 W	11 W
75 W	15 W
100 W	20 W
120 W	23 W



Tabelle 7 Lichtfarben nach DIN EN 12464-1

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

nehmend Leuchtstofflampen mit einem Durchmesser von 16 mm (**T5-Lampen**) mit folgenden verbesserten Eigenschaften durch:

- teilweise, insbesondere im Bereich niedriger Leistung, höhere Lichtausbeute
- höherer Leuchtenwirkungsgrad infolge des geringeren Rohrdurchmessers
- sehr schlanke Leuchtenbauformen sind möglich
- maximaler Lichtstrom bei einer Umgebungstemperatur um 35° C, wie sie üblicherweise in Leuchten existiert (bei der Angabe der Lichtausbeute wird jedoch wie bei allen Leuchtstofflampen eine Umgebungstemperatur von 25° C zu Grunde gelegt, so dass die Lichtausbeute im Betriebszustand rund 10 bis 15 % höher ist.)
- geringeres Verpackungsvolumen
- nur EVG-Betrieb möglich.

Aufgrund der Zusammensetzung des Leuchtstoffes wird in **Standard- und Dreibanden-Leuchtstofflampen** unterschieden. Dreibanden-Leuchtstofflampen haben sich wegen ihrer 25 bis 45 % höheren Lichtausbeute und des geringeren Lichtstromrückganges während der Betriebszeit gegenüber den Standardlampen durchgesetzt. **Dreibanden-Leuchtstofflampen** setzen die in der Quecksilberentladung erzeugte UV-Strahlung besonders effektiv in Licht um. Das Spektrum ist im blauen, grünen und roten Bereich besonders ausgeprägt **Bild 8**. Leuchtstofflampen mit der höchsten Farbwiedergabe, die auch als **Fünfbandenlampen** bezeichnet werden,

weisen gegenüber den Dreibandenlampen eine um etwa 30 % geringere Lichtausbeute und einen stärkeren Lichtstromrückgang auf und sollten daher solchen Beleuchtungsaufgaben vorbehalten bleiben, bei denen es auf eine sehr genaue Farberkennung ankommt, zum Beispiel bei Farbmusterungen in der Textil- und Druckindustrie.

Dreibanden-Leuchtstofflampen erreichen am elektronischen Vorschaltgerät (EVG) eine bis zu 57 % höhere Lichtausbeute gegenüber Standardlampen am konventionellen Vorschaltgerät (KVG), d. h. für die gleiche elektrische Leistung werden 57 % mehr Lichtstrom „produziert“, und haben zusätzlich eine sehr gute Farbwiedergabe. Diese Lampen haben die besten energetischen Werte und sollten daher bevorzugt für die Moder-

nisierung von Beleuchtungsanlagen in Arbeitsstätten eingesetzt werden.

Leuchtstofflampen bieten die vielfältigsten Wahlmöglichkeiten hinsichtlich Lichtfarbe und Farbwiedergabe. Nach DIN EN 12464-1 wird zwischen den Lichtfarben warmweiß, neutralweiß und tageslichtweiß, die durch die Farbtemperaturen (in Kelvin) gekennzeichnet werden, unterschieden **Tabelle 7**.

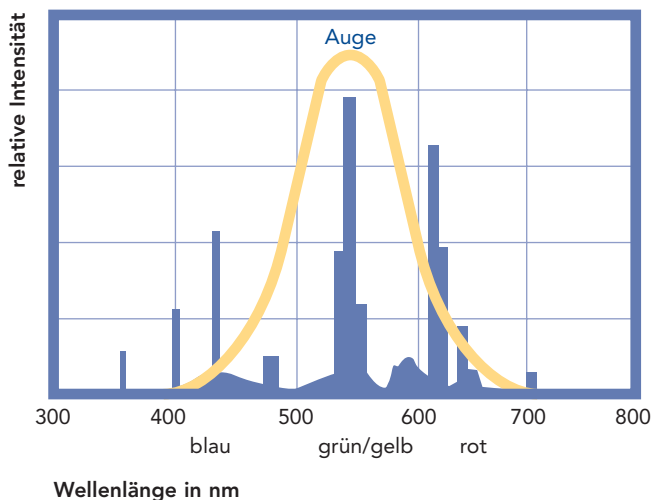


Bild 8 Das Spektrum der Dreibanden-Leuchtstofflampe mit drei ausgeprägten Spektralbereichen im blauen, grünen und roten Bereich im Vergleich zur Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges

Tabelle 8 Zusammenhang zwischen Farbwiedergabeindex R_a nach DIN EN 12464-1 und den Stufen der Farbwiedergabe nach DIN 5035

Farbwiedergabestufe nach DIN 5035	Allgemeiner Farbwiedergabeindex
1 A	$R_a \geq 90$
1 B	$80 \leq R_a < 90$
2 A	$70 \leq R_a < 80$
2 B	$60 \leq R_a < 70$
3	$40 \leq R_a < 60$
4	$20 \leq R_a < 40$

Die objektive Kennzeichnung der Farbwiedergabe-Eigenschaften erfolgt gemäß DIN EN 12464-1 nach dem Allgemeinen Farbwiedergabeindex R_a , dessen höchstmöglicher Wert 100 ist und der bei sinkender Farbwiedergabequalität abnimmt.

Tabelle 8 stellt den Zusammenhang des Farbwiedergabeindex zu der alten, nach DIN 5035-1 vorgenommenen Stufeneinteilung dar.

Für die Kennzeichnung der Lichtfarbe und Farbwiedergabe wird ein einheitliches System verwendet, es besteht aus drei Zahlen.

Die 1. Zahl bezeichnet die erste Ziffer des Farbwiedergabeindex, die 2. und 3. Zahl bezeichnen die beiden ersten Ziffern der Farbtemperatur in Kelvin.

Beispiel:

Die Lampenbezeichnung 840 beschreibt eine Dreiband-Leuchtstofflampe mit der Farbwiedergabe $R_a = 80...89$ und einer Lichtfarbe neutralweiß mit einer Farbtemperatur von 4.000 Kelvin.

Zum Betrieb von Leuchtstofflampen sind Vorschaltgeräte erforderlich. In Verlustarmen Vorschalt-Geräten (VVG) werden gegenüber Konventionellen Vorschalt-Geräten (KVG) höherwertige Elektrobleche und größere Kupferquerschnitte verwendet. Das verringert die Verlustleistung der Vorschaltgeräte für 58 W-Lampen von 13 W auf 8 W, d. h. um 38 %. Daher sinkt die Gesamtanschlussleistung einer 58-W-Leuchtstofflampe von $58 \text{ W} + 13 \text{ W} = 71 \text{ W}$ auf $58 \text{ W} + 8 \text{ W} = 66 \text{ W}$, d. h. um 7 % **Bild 9**.

Elektronische Vorschalt-Geräte (EVG) versorgen die Leuchtstofflampen mit einer Frequenz von etwa 30 bis 50 kHz, was eine Erhöhung der Lichtausbeute der Lampe um etwa 10 % und gegenüber konventionellen Vorschaltgeräten eine Verringerung der Verlustleistung von bis zu 62 % bewirkt. Die Systemleistung einer Dreiband-Leuchtstofflampe 58 W mit EVG beträgt nur 55 W und sinkt gegenüber dem Betrieb mit KVG, der eine Systemleistung von 71 W aufweist, um 23 % **Bild 9**.

Dreibanden-Leuchtstofflampen an elektronischen Vorschaltgeräten erzielen etwa 60 % höhere Systemlichtausbeuten als Standard-Leuchtstofflampen an konventionellen Vorschaltgeräten.

Dimmbare Elektronische Vorschaltgeräte (Dimm EVG) sind entweder mit einer digitalen DALI-Schnittstelle oder mit einer analogen 1...10-V-Schnittstelle ausgerüstet (siehe auch Abschnitt 4).

Die Vorteile vom EVG im Überblick sind:

- geringe Verlustleistung des EVG
- geringe System-Leistungsaufnahme
- hohe System-Lichtausbeute durch Hochfrequenzbetrieb
- schonender Warmstart und Schaltfestigkeit der Lampe
- längere Lampenwechselintervalle durch um 30 bis 50 % höhere Nutzlebensdauer der Lampe

- Wegfall von Starter und Kondensatoren
- geringe Wärmeentwicklung
- Verwendung für Notbeleuchtung durch Eignung für Wechsel- und Gleichstrombetrieb
- schneller, geräuschloser und flackerfreier Start
- konstantes, ruhiges Licht
- kein Elektrodenflimmern
- keine stroboskopischen Effekte an drehenden Teilen
- Dimm-Möglichkeit durch digitale DALI- oder analoge 1...10 V-Schnittstelle
- Ansteuerbarkeit, Möglichkeit zur Einbindung in Steuer- und Regelsysteme
- erhöhter Brandschutz durch automatische Abschaltung defekter Lampen (kein Flackern)
- automatischer Neustart nach Lampenwechsel

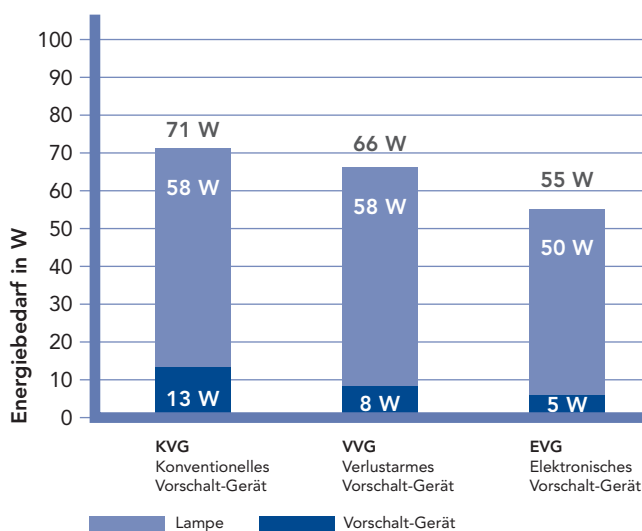


Bild 9 Verlustleistung von Vorschaltgeräten für Leuchtstofflampen 58 W

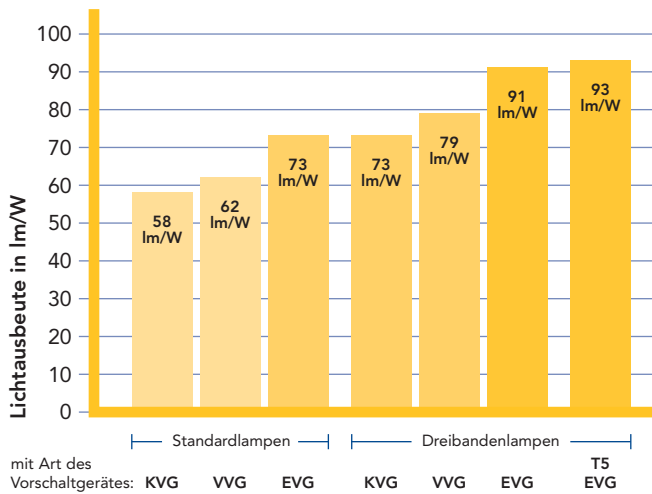


Bild 10 Lichtausbeute von Standard- und Dreibanden-Leuchtstofflampen 58 W an Vorschaltgeräten KVG, VVG und EVG sowie der T5-Lampe 49 W (nur am EVG möglich)

Der Vergleich der Lichtausbeute von Leuchtstofflampen 58 W in Verbindung mit den drei Arten von Vorschaltgeräten zeigt **Bild 10**, dass Dreibanden-Leuchtstofflampen 58 W mit Elektronischen Vorschaltgeräten (Lichtausbeute 91 lm/W) für die gleiche elektrische Leistung 57 % mehr Licht (d. h. auch höhere Beleuchtungsstärke) liefern als die Standardlampe 58 W am konventionellen Vorschaltgerät (Lichtausbeute nur 58 lm/W). Die Systemlichtausbeute der T5-Lampen, die nur am EVG betrieben werden können, ist mit 93 lm/W für T5-Lampen 49 W nochmals etwas höher und liefert so für die gleiche elektrische Leistung 60 % mehr Licht. Vorausgesetzt, die Güte der Beleuchtung entspricht den Normen, kann der Energieverbrauch daher durch Verringerung der Anzahl von Lampen und Leuchten um den entsprechenden Betrag gesenkt werden.

Es ist nicht wirtschaftlich, in Altanlagen nur die Vorschaltgeräte zu wechseln. Abgesehen von den Kosten ist dies in vielen Fällen nach den elektrotechnischen Sicherheitsbestimmungen DIN EN 60598 wegen des Eingriffs in die innere Verdrahtung der Leuchten auch nicht zulässig. Der Einsatz kompletter, oftmals deutlich effizienterer neuer Leuchten mit den entsprechenden Lampen und Vorschaltgeräten ist sinnvoller.

Für die Wirtschaftlichkeit von Beleuchtungsanlagen ist die Lebensdauer der Lampen von entscheidender Bedeutung. Die Nutzlebensdauer ist bei Leuchtstofflampen diejenige Zeit, nach welcher der Anlagenlichtstrom auf 80 % seines Anfangswertes gesunken ist. Dabei ist sowohl die Abnahme des Lichtstromes der Lampe aufgrund Alterung als auch der anteilige Totalausfall (Funktionsfähigkeit) von Lampen zusammengefasst **Bild 11**.

Leuchtstofflampen in Starterschaltung mit KVG bzw. VVG erreichen eine Nutzlebensdauer von rund 8.000 Stunden, im Hochfrequenzbetrieb mit (heute gängigen) Warmstart-EVG mit elektronischer Vorheizung wird eine Nutzlebensdauer von bis zu 18.000 Stunden erreicht.

Damit kann die Lebensdauer gegenüber dem Starterbetrieb mehr als verdoppelt werden.

Eine höhere Lebensdauer der Lampen verringert die Wartungs- sowie die Lampenersatzkosten.

Für eine hohe Nutzlebensdauer sollte die Lichtstromabnahme der Lampen während der Brenndauer möglichst gering sein **Bild 11**.

Stabförmige Dreibanden-Leuchtstofflampen weisen im Betrieb mit Warmstart-EVG eine Lichtstromabnahme von nur etwa 12 % nach einer Betriebsdauer von 20.000 Stunden auf. Im Vergleich dazu haben Standardleuchtstofflampen bereits nach einer Betriebsdauer von rund 12.000 Stunden mehr als 30 % ihres Lichtstromes verloren und müssen – um die Beleuchtungsstärke nicht unter die Mindestwerte absinken zu lassen – auch früher ausgewechselt werden.

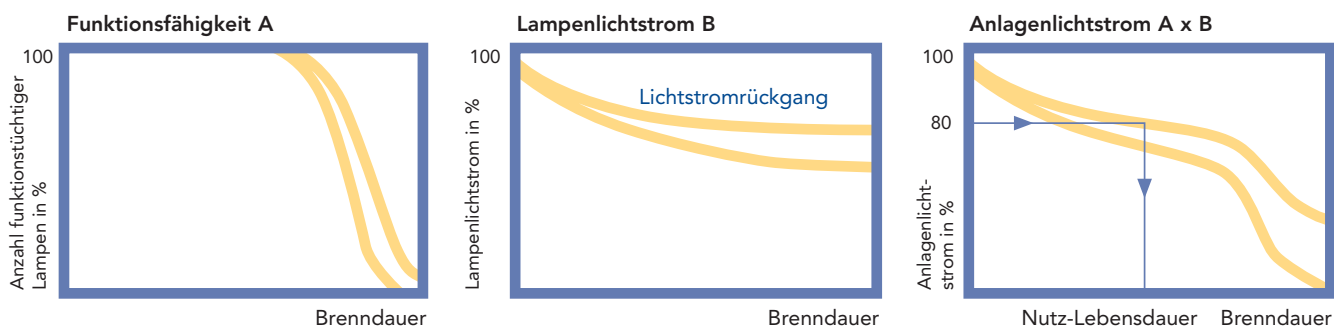


Bild 11 Die Funktionsfähigkeit A und die Lichtstromabnahme B bewirken im Laufe der Brenndauer eine Abnahme des Anlagenlichtstromes A x B, welche die Nutz-Lebensdauer von Leuchtstofflampen bestimmt.

Tabelle 9 Übersicht über die wichtigsten Daten von Leuchtstoff- und Kompakt-Leuchtstofflampen mit Stecksockel

KVG, VVG, EVG: Konventionelles-, Verlustarmes-, bzw. Elektronisches Vorschalt- Gerät

Lampenart	Leistung				Lichtstrom		Lichtausbeute	Länge	Sockel	
	Lampe	Lampe incl.			KVG	EVG				
	[W]	KVG [W]	VVG [W]	EVG [W]			[lm]	[lm]	EVG [lm/W]	[mm]
Stabförmige Dreibanden- Leuchtstofflampen mit 16 mm Durchmesser (T5-Lampen)*	14			16		1.350	84	550	alle G 5	
	21			24		2.100	88	850		
	28			31		2.900	94	1.150		
	35			39		3.650	94	1.450		
		24			26		2.000	77	550	alle G 5
		39			44		3.500	80	850	
		49			54		5.000	93	1.450	
		54			59		5.000	85	1.150	
		80			88		7.300	83	1.450	
	Stabförmige Dreibanden- Leuchtstofflampen mit 26 mm Durchmesser (T8-Lampen)	15	25	-	-	950	-	-	438	alle G 13
15**		19,5	-	-	950	-	-	438		
18		29	24	19	1.350	1.300	68	590		
18**		23	21	18	1.350	1.300	72	590		
36		46	42	36	3.350	3.200	89	1.200		
58		71	66	55	5.200	5.000	91	1.500		
Stabförmige Standard- Leuchtstofflampen mit 26 mm Durchmesser (T8-Lampen)	18	29	24	19	1.100	1.050	55	590	alle G 13	
	18**	23	21	19	1.100	1.050	55	590		
	36	46	42	36	2.600	2.500	60	1.200		
	58	71	66	55	4.100	4.000	73	1.500		
Stabförmige Standard- Leuchtstofflampen mit 38 mm Durchmesser (T12-Lampen)	20	32	27		1.150			590	alle G 13	
	40	50	46		2.800			1.200		
	65	78	73		4.400			1.500		
Kompakt- Leuchtstoff- lampen, Einrohrtechnik (TC und TC-EL)	7		11	9	400	400	44	115	VVG: G 23 oder EVG: 2 G 7	
	9		13	12	600	600	50	145		
	11		15	14	900	900	64	215		
Kompakt-Leuchtstoff- lampen, Zweirohrtechnik (TC-D und TC-DEL) siehe auch Anmerkung	10		15	12	600	600	50	95	G 24 q-1	
	13		17	14	900	900	64	130	G 24 q-1	
	18		23	20	1.200	1.200	60	150	G 24 q-2	
	26		31	28	1.800	1.800	64	170	G 24 q-3	
Kompakt-Leuchtstoff- lampen, Dreirohrtechnik (TC-T und TC-TEL) siehe auch Anmerkung	13		17	14	900	900	64	90	GX 24 q-1	
	18		23	20	1.200	1.200	60	105	GX 24 q-2	
	26		31	28	1.800	1.800	64	125	GX 24 q-3	
	32		-	35	-	2.400	69	140	GX 24 q-3	
	42		-	46	-	3.200	70	155	GX 24 q-4	
Kompakt- Leuchtstofflampen Einrohrtechnik (TC-L)	18		24	19	1.200	1.150	61	225	alle 2G 11	
	24		30	27	1.800	1.750	65	320		
	36		43	39	2.900	2.700	69	415		
	40		-	45	-	3.500	78	535		
	55		-	62	-	4.800	77	535		

* Lichtstrom und -ausbeute bezogen auf Umgebungstemperatur von 35° C

** in Tandemschaltung

EL Zusatzbezeichnung für EVG-Betrieb

Anmerkung Sockel gilt für EVG-Betrieb, für VVG-Betrieb gilt: statt q steht d

Leuchteigenschaften

Leuchten lenken mit ihren optischen Systemen den Lichtstrom der Lampen in bestimmte Richtungen. Die Lichtstärkeverteilungskurve (LVK, Definition siehe Tabelle 1, Beispiel siehe Bild 12) einer Leuchte dokumentiert die räumliche Verteilung der Lichtstärke.

Je nach Anwendungsfall werden tief-, breit-, symmetrisch- bzw. asymmetrisch-strahlende Leuchten eingesetzt.

Für energetische Wertungen ist unter anderem der Leuchtenbetriebswirkungsgrad wichtig. Er ist das Verhältnis des aus der Leuchte austretenden Lichtstroms bezogen auf den Lichtstrom der darin betriebenen Lampen und wird unter realistischen Betriebsbedingungen gemessen Tabelle 10.

Eine Erhöhung des Betriebswirkungsgrades kann durch Verwendung hochwertiger lichttechnischer Bauelemente, beispielsweise durch hochglänzende Spiegelreflektoren in computeroptimierter Form, erreicht werden. Hierzu sind reflexionsverstärkende Reflektorstoffe entwickelt worden, die – übrigens wie vergütete Optiken (zum Beispiel Brillen, Ferngläser, Fotooptiken usw.) – hochtransparente Schichten tragen, die den Reflexionsgrad erhöhen. Stückeloxiertes Reinstaluminium mit einem Reinheitsgrad von 99,98 % hat einen Reflexionsgrad von etwa 85 %. Werden auf das gleiche Reinstaluminium solche reflexionsverstärkenden Schichten aufgedampft, steigt der Reflexionsgrad auf etwa 95 %. Der Leuchtenbetriebswirkungsgrad steigt bei der gleichen Leuchte zum Beispiel von 67 % auf 74 %, was wiederum eine Verringerung des Energiebedarfs von etwa 10 % zur Folge hat.

Sparsamer Energieeinsatz ist dann gewährleistet, wenn Lampen und Vorschaltgeräte mit hoher Systemlichtausbeute in Leuchten mit hohem Betriebswirkungsgrad bei gleichzeitig sinnvoller Lichtlenkung betrieben werden. Der Einsatz von freistrahrenden Leuchten ist unter Berücksichtigung dieser Aspekte daher trotz hohem

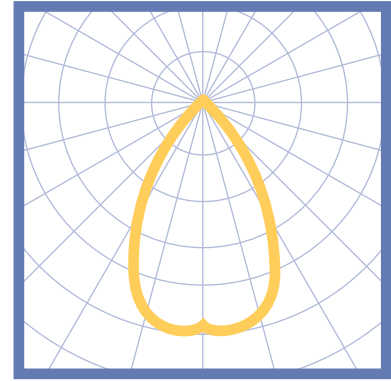
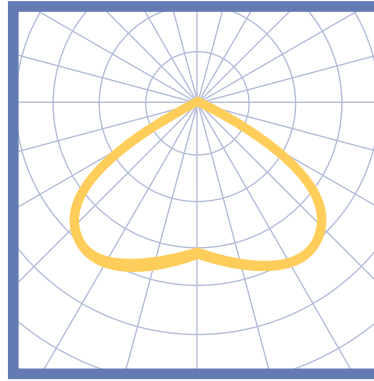


Bild 12 Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) einer breitstrahlenden (links) und einer tiefstrahlenden Leuchte (schematisch).

Betriebswirkungsgrad nicht sinnvoll, da die hohen Werte nur durch einen völlig ungerichteten Lichtstromaustritt zustande kommen.

Leuchten sind in einem klimatisierten Raum als „innere Wärmelasten“ in die Kühllastberechnung einzubeziehen und zwar mit ihrer gesamten elektrischen Anschlussleistung. Auch der sichtbare und unsichtbare Strahlungsanteil ist in diesem Sinne Kühllast, denn er wird durch Absorption im Raum in (latente) Wärme umgewandelt, welche die Kühlanlage belastet.

Eine Verringerung des Energieaufwandes für die Beleuchtung durch hohe Lichtausbeute der Lampen, geringe Verluste in den Vorschaltgeräten und

durch hohe Betriebswirkungsgrade der Leuchten entlastet die Klimaanlage in allen ihren Komponenten, wie zum Beispiel die Kühl- und Befeuchtungsaggregate und die Einrichtungen des Luftverteilungssystems. Damit können Einsparungen an Investitions- und Betriebskosten erreicht werden.

Leuchten mit höherem Staub- und Feuchtigkeitsschutz verringern den Kostenaufwand für die Reinigung von Lampen und Leuchten und tragen zum Beispiel in industriellen und schwer zugänglichen Anlagen zur Wirtschaftlichkeit bei.

Tabelle 10 Beispiele von Betriebswirkungsgraden von Leuchten für Leuchtstofflampen

Leuchtenart	Betriebswirkungsgrad
Deckenanbauleuchte mit opaler Wanne (alt), für T8-Lampen	bis ca. 50 %
Deckenanbauleuchte mit opaler Wanne (neu), für T8-Lampen	bis ca. 75 %
Deckenanbauleuchte mit Prismenwanne, für T8-Lampen	bis ca. 83 %
Deckenanbauleuchte mit optimiertem Spiegelreflektor und Prismenwanne, für T8-Lampen	bis ca. 80 %
Direktstrahlende Spiegelraster-Leuchte (hochglänzend), für T5-Lampen	bis ca. 75 %
Direktstrahlende Spiegelraster-Leuchte (hochglänzend), für T8-Lampen	bis ca. 70 %
Lichtbandsystem, freistrahrend für T8-Lampen	bis ca. 95 %

Hohe Beleuchtungswirkungsgrade durch zweckmäßige Leuchtensysteme und Raumgestaltung

Der Beleuchtungswirkungsgrad (definiert als das Verhältnis des auf die Nutzfläche gelangenden Lichtstroms zur Summe der Lichtströme aller installierten Lampen) ist um so höher, je größer der Anteil des Leuchtenlichtstroms ist, der direkt und ohne Mehrfachreflexion an den Wänden auf die zu beleuchtende Arbeitsfläche gelangt.

Sowohl für die hohen Anforderungen an die Beleuchtung in Industrie, Handel und Handwerk als auch für Büros und Verwaltungsgebäude bietet sich mit der nach DIN EN 12464-1 vorgesehenen tätigkeitsbereichsbezogenen Beleuchtung die Möglichkeit, besonders energieeffiziente Beleuchtungsvarianten mit hohen Beleuchtungswirkungsgraden zu realisieren **Bild 13**. Die Anforderungen an den unmittelbaren Umgebungsbereich eines Bereichs der Sehaufgabe, wie sie in Abschnitt 2 „Beleuchtung im Bereich der Sehaufgabe“ dargestellt sind, müssen dabei berücksichtigt werden.

Der Beleuchtungswirkungsgrad ist auch von der Lichtstärkeverteilung der Leuchten abhängig, die damit ebenfalls den Energieverbrauch für die Beleuchtung beeinflusst. Um bei durchschnittlichen Reflexionsgraden (Decke: 0,7 - z. B. helle Gipsplatten-,

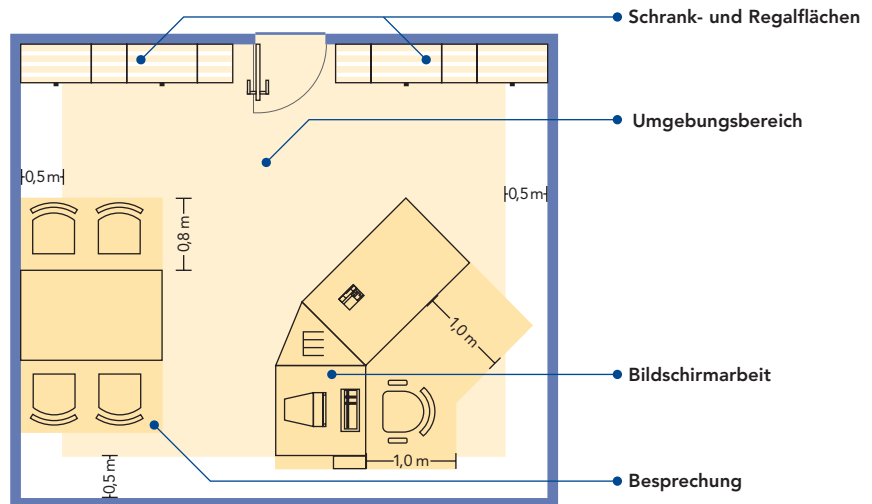
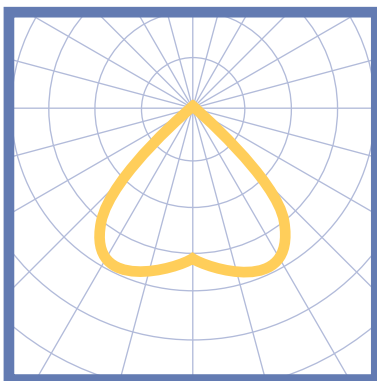


Bild 13 Arbeitsbereichsbezogene Beleuchtung

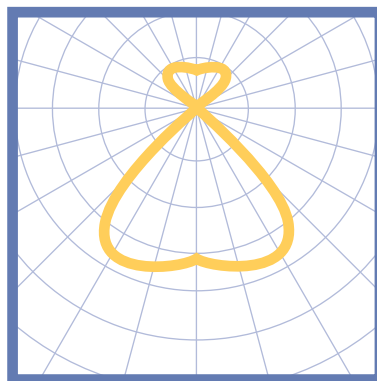
Wände: 0,5 - z. B. heller Beton-, Boden: 0,2 - z. B. mittelgraue Kunststoffbodenplatten-) die gleiche mittlere Beleuchtungsstärke im Raum zu erzielen, benötigen zum Beispiel direkt strahlende Leuchtensysteme 100 % Energie (Basiswert, **Bild 14**). Direkt-indirekt strahlende Systeme erfordern je nach Anteil des an die Decke strahlenden Leuchtenlichtstroms oftmals deutlich mehr Energie. Indirekt, also ausschließlich an die Decke strahlende Systeme benötigen auch bei einem hohen Deckenreflexionsgrad erheblich mehr Energie für die gleiche Beleuchtungsstärke als das direkt strahlende System. Indirekte Beleuchtungen sollten daher nur in Sonderfällen eingesetzt werden.

„Je heller ein Raum gestaltet ist, desto heller ist es in ihm auch“, denn der Beleuchtungswirkungsgrad ist auch von den Reflexionsgraden der Decke, der Wände (Möbel) und des Bodens, d. h. von dem reflektierten Lichtstrom an den Raumbegrenzungsflächen abhängig. Dies gilt auch für die Fenster, die nur einen Reflexionsgrad von knapp 10 % haben. Vorhänge können diesen auf 50 % erhöhen. Reflexionsgrade beeinflussen also ebenfalls den Energieverbrauch für die Beleuchtung. Dunkle Decken, Wände, Möbel (mit geringem Reflexionsgrad z. B. 0,3) absorbieren Licht und erfordern daher für die gleiche Beleuchtungsstärke höhere Lichtströme als bei heller Umgebung. Bei direkt-indirekt-strahlenden Leuchten kann

Direkt strahlende Leuchten;
Energieverbrauch: 100 %



Direkt/Indirekt (70/30 %) strahlende Leuchten;
Energieverbrauch: 117 %



Indirekt strahlende Leuchten;
Energieverbrauch: 179 %

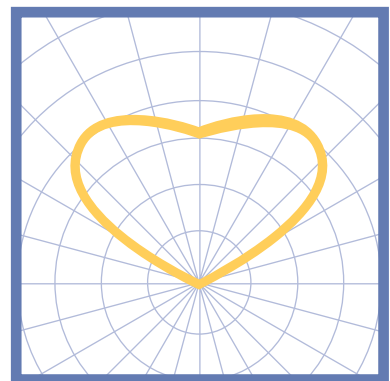


Bild 14 Relativer Energieverbrauch von Beleuchtungssystemen mit unterschiedlichen Lichtstärkeverteilungen. Reflexionsgrade: Decke 0,7, Wände 0,5, Boden 0,2

das bis zu 50 % ausmachen. Das bedeutet mehr Lampen, Leuchten und mehr Energie.

In **Bild 15** ist für die direkte Beleuchtung bei heller Raumausstattung mit einer weißen Decke (Reflexionsgrad 0,8), hellen Pastellwänden (Reflexionsgrad 0,7) und mittelhellem Boden (0,3) der Energiebedarf als Bezugswert auf 100 % festgesetzt. Geringere Reflexionsgrade ergeben damit einen höheren Energiebedarf, um die gleiche Beleuchtungsstärke zu erreichen.

P Planung der Beleuchtung

Erst eine präzise Planung der Beleuchtung ermöglicht die exakte Ermittlung des Lichtbedarfs. Sie ist damit ein wesentlicher Beitrag zur Energiekosteneinsparung. Entscheidungen für die Erneuerung einer Beleuchtungsanlage erfordern eindeutige Aussagen über die zu erwartenden Nutzungsvorteile. Beleuchtungstechnische und wirtschaftliche Analysen des IST- und des SOLL-Zustandes und deren verständliche grafische Darstellung sind dabei unerlässlich. Lichttechnische Planungen sowie Energie- und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen liefern einwandfreie Entscheidungshilfen.

Notwendige Angaben für eine lichttechnische Planung sind:

- Raumabmessungen (Länge, Breite, Höhe) und die Reflexionsgrade von Decke, Wänden (Mobiliar) und Boden,
- Art der Tätigkeit bzw. der Sehaufgabe und (sofern bekannt) Bereich, in dem diese ausgeführt wird sowie – falls erforderlich –
- besondere Anforderungen an die zu verwendenden Lampen und Leuchten.

Für die Planung der Beleuchtung stehen verschiedene Computerprogramme zur Verfügung, in denen die Sortimente der einzelnen Leuchtenhersteller für die Planung genutzt werden können. Zum Beispiel vertreibt das Deutsche Institut für Angewandte Lichttechnik GmbH (DIAL) aus Lüdenscheid das Programm DIALux, die Relux Informatik AG aus Basel vertreibt das Programm RELUX Professional. Beide

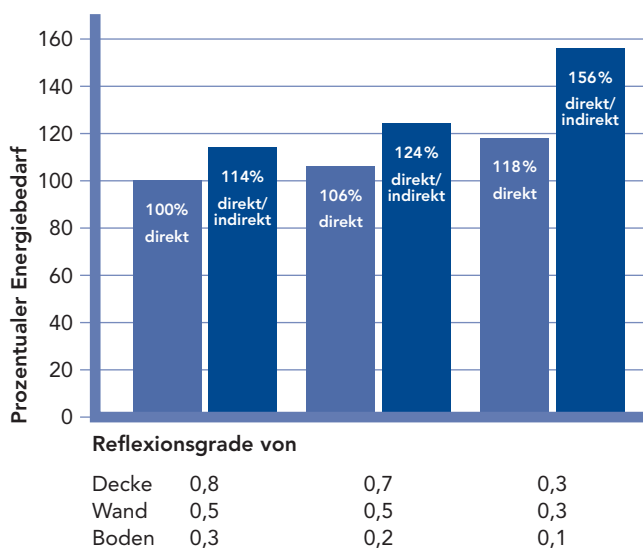


Bild 15 Energieverbrauch eines direkt und eines direkt- indirekt strahlenden Beleuchtungssystems in Räumen mit unterschiedlichen Reflexionsgraden der Decke, Wände und des Bodens, bezogen auf gleiche Raumabmessungen und gleiche Beleuchtungsstärke

Programme sind für die MS-Windows-Oberfläche konzipiert und werden von namhaften Leuchtenherstellern mit Planungsdaten unterstützt. Lichttechnische Beratungen und Planungen können von entsprechenden Planungsbüros, von Energieagenturen und dem Elektroinstallationshandwerk durchgeführt werden. Die Fördergemeinschaft Gutes Licht [13] gibt darüber hinaus herstellerunabhängige Informationen über Planung, Gestaltung und Ausführung von Beleuchtungsanlagen für die verschiedenen Anwendungsfälle. Ferner ist auf die Fachliteratur zurückzugreifen, z. B. [14], [15], [16].

M Messung und Bewertung von Beleuchtungsanlagen

Ob eine Beleuchtungsanlage aufgrund zu geringer Beleuchtungsstärke erneuert werden muss, lässt sich messtechnisch ermitteln. Beleuchtungsstärkemesser (Luxmeter) sind als analoge Zeigerinstrumente oder als Digitalinstrumente mit höherer Genauigkeit und vertretbarem Preis (ab ca. EUR 120,-) verfügbar.

Die Messung selbst erfolgt dadurch, dass das Luxmeter oder dessen Lichtempfänger (Photoelement) auf die Bewertungsfläche des Bereichs der Sehaufgabe gelegt und der Wert der Beleuchtungsstärke abgelesen wird. Befindet sich die Sehaufgabe auf einer schrägen Fläche, wie zum Beispiel beim Ablesen einer Instrumentenanzeige in einem Leitstand, ist dort zu messen. Eine vollständigere Aussage über den

Zustand der Ist-Anlage erhält man, wenn der Raum bzw. die Raumzone in gleiche Teilflächen unterteilt und die Beleuchtungsstärke im Mittelpunkt dieser Teilflächen gemessen wird. Aus den Punktbeleuchtungsstärken wird der Mittelwert und die Gleichmäßigkeit (das ist der Quotient aus dem Minimalwert und dem Mittelwert) der Beleuchtungsstärke errechnet. Hinweise zur Durchführung und Auswertung der Messung enthält DIN 5035-6.

Die Lichtfachleute der Ingenieurbüros und der Elektroinstallationsfirmen können auch bei solchen Messaufgaben helfen. Das gilt auch für die Erfassung der übrigen Güte Merkmale der Beleuchtung, die ebenfalls eingehalten werden müssen, jedoch meist nicht so einfach ermittelt werden können wie die Beleuchtungsstärke.

4. Lichtmanagement, Nutzung des Tageslichtes

Die wirtschaftlichste Maßnahme Strom einzusparen, ist die rationelle Nutzung des Tageslichtes und das Ausschalten der Beleuchtung bei Nichtgebrauch. So einfach dies klingt, so selten wird es von den Nutzern verwirklicht. Wie eine Umfrage ergab, war die Beleuchtung eines Büros während 60 % der normalen Bürozeit eingeschaltet. Morgens wird die Beleuchtung eingeschaltet, und oftmals schaltet die Reinigungsmannschaft oder wer es zufällig bemerkt, sie erst abends wieder aus. Auch an hellen Sommertagen wird bei kurzzeitiger, witterungsbedingter Verdunklung die Beleuchtung eingeschaltet und ebenfalls anschließend nicht wieder ausgeschaltet. Benutzerverhalten und das Bewusstsein zur Energieeinsparung liegen meist weit auseinander. Mit automatischen Schalt-, Steuer-, Regel- oder BUS-Systemen lassen sich energiesparende Maßnahmen hervorragend durchführen.

Lichtsensoren

Das durch Fenster einfallende Tageslicht ist von einer Vielzahl von Einflussfaktoren wie Fenstergröße, äußere Bebauung und Himmelsrichtung abhängig. Es nimmt zur Raumtiefe schnell ab **Bild 16** und reicht dort mitunter selbst an hellen Sonnentagen nicht mehr aus. Die künstliche Beleuchtung muss dieses Lichtdefizit auffüllen – bevorzugt in den ungenügend tagesbelichteten Raumbereichen. Dies kann durch tageslichtabhängiges, stufenweises Schalten einzelner Leuchten bzw. Leuchtenreihen oder durch kontinuierliche Helligkeitsregelung (Dimmen) auf das erforderliche Niveau erreicht werden. Hierzu werden Lichtsensoren eingesetzt, wobei anstelle einer zentralen Tageslichterfassung, zum Beispiel an der Fassade oder auf dem Dach des Gebäudes, die Lichtmessung im Raum nicht nur eine durch ihre Individualität sehr effektive, sondern auch kostengünstige Methode ist. Ein oder mehrere Lichtsensoren, die für die dezentrale Lichtmessung entweder an der Decke des Raumes oder direkt in den Leuchten eingebaut sind, ermitteln den aus Kunstlicht und

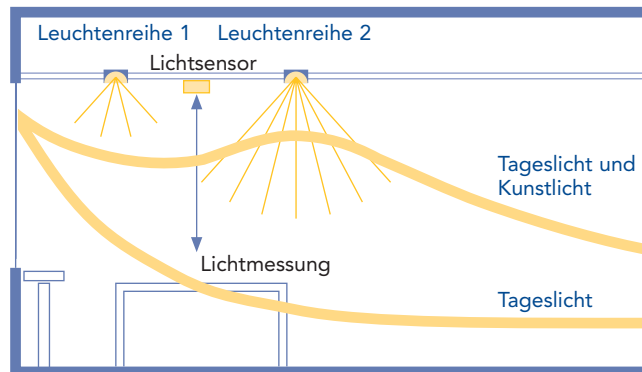


Bild 16 Durch tageslichtabhängige Regelung erzielter Verlauf der Beleuchtungsstärke von Tageslicht und Kunstlicht im Raum (schematisch)

Tageslicht bestehenden Ist-Wert der Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsebene, der mit einem einstellbaren Soll-Wert elektronisch verglichen wird. Je nach Komfort des Systems werden Leuchten bzw. einzelne Lampen in den Leuchten in Stufen zu- oder abgeschaltet bzw. mittels Dimm-EVG helligkeitsgeregelt. Dadurch muss zum Erreichen des gewünschten Beleuchtungsniveaus nicht durchgängig die gesamte Leistung erbracht werden.

Der in **Bild 16** dargestellte Verlauf, also der aus dem Tageslicht und der künstlichen Beleuchtung addierte Gesamtbeleuchtungsverlauf, kann mit Dimm-EVG sogar zu einer Konstant-

lichtregelung erweitert werden. Dazu sind die einzelnen Lampenlichtströme so zu regeln, dass sie den Tageslichtverlauf auf ein konstantes Gesamtniveau im Raum ergänzen. Jeder Leuchte oder Leuchtengruppe wird dazu ein Lichtsensor zugeordnet. Mit einer solchen „Konstantregelung“ im Vergleich zu einem nichtgeregelten EVG-Betrieb können 40 bis 60 % an Strom eingespart werden. Im Vergleich zu einer mit konventionellen (KVG) oder verlustarmen (VVG) Vorschaltgeräten betriebenen, unregelmäßig betriebenen, unregelmäßig betriebenen, unregelmäßig betriebenen Beleuchtungsanlage lassen sich mit der tageslichtabhängigen Regelung gar über 70 % der Stromkosten einsparen. **Bild 17** stellt den

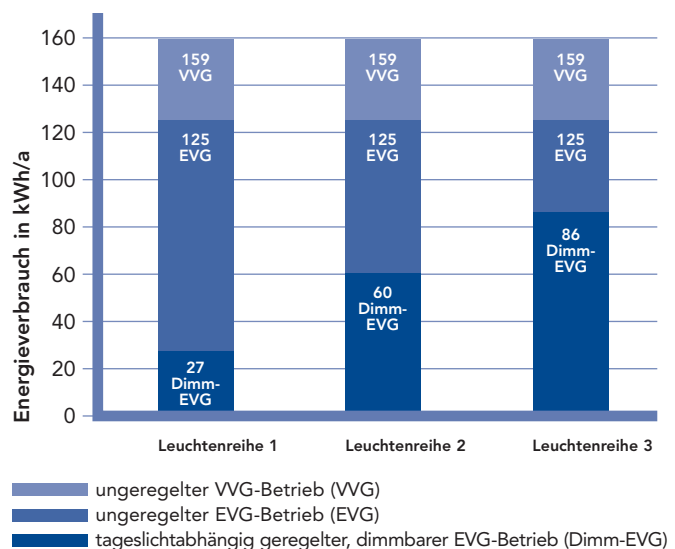


Bild 17 Energieverbrauch der künstlichen Beleuchtung eines typischen Büroraumes mit drei Leuchtenreihen

Energieverbrauch solcher Betriebsvarianten der Beleuchtungsanlage (VVG unregelt, EVG unregelt und dimmbares EVG, tageslichtabhängig geregelt) eines typischen Büroraumes mit drei Leuchtenreihen dar.

Gemäß der Anforderungen nach DIN EN 12464-1 und DIN 5035-7 ist eine neue Beleuchtungsanlage so zu planen, dass der Planungswert (Neuwert) der Beleuchtungsstärke entsprechend der Wahl eines geeigneten Wartungsfaktors über dem nach DIN EN 12464-1 geforderten Minimalwert (Wartungswert) liegt (siehe auch Bild 4). Diese Art „Überbeleuchtung“ kann ebenfalls durch Herunterdimmen auf den Wartungswert reduziert und damit wiederum Strom eingespart werden. Sinkt die Beleuchtungsstärke im Laufe der Nutzung der Anlage durch Lampenalterung und Verschmutzung, wird die künstliche Beleuchtung automatisch auf den Sollwert (Wartungswert) hochgeregelt.

E Einbindung der Beleuchtung in die Gebäudesystemtechnik

Gebäudesystemtechnik und Energiemanagementsysteme beziehen Jalousien, Heizung, Sicherheitstechnik (Zugangsberechtigungen) und auch die Beleuchtung in eine BUS-gestützte Elektroinstallation mit ein. Neben dem Automatikbetrieb kann die Raumbeleuchtung durch Sensoren oder manuelle Betätigung beeinflusst oder zentral überwacht und gesteuert werden, zum Beispiel durch ein Gebäudemanagementsystem, durch Dienstleister oder Hausverwaltung.

Einzelne Räume oder kleinere Gebäudeeinheiten lassen sich einfach, flexibel und komfortabel mit DALI-Komponenten steuern und regeln. DALI (Digital Adressable Lighting Interface) dient der digitalen Kommunikation zwischen den einzelnen Komponenten einer lichttechnischen Anlage und kann jedes Gerät individuell ansprechen.

Darüber hinaus bietet DALI die Möglichkeit, Informationen mit einem übergeordneten Gebäudemanagementsystem mit EIB (European Installation

Bus) oder LON (Local Operating Network) mittels Gateway auszutauschen.

In einem Verwaltungsgebäude mit EIB-System konnte durch tageslichtabhängiges Abschalten der fensterseitigen Leuchtenreihe soviel Energie eingespart werden wie die beiden Aufzugsanlagen benötigen, die das gesamte Gebäude mit einer Bruttofläche von 9.500 m² erschließen [17].

P Präsenzmelder

Eine weitere Maßnahme zur Energieeinsparung ist das Ausschalten der Beleuchtung bei Nichtgebrauch. Durch Bewegungs- oder Präsenzmelder wird die Beleuchtung beim Betreten des Raumes oder des Raumbereiches eingeschaltet. Diese Methode ist umso wirksamer, je größer die Fläche und je geringer die Personenfrequenz ist. So konnte zum Beispiel der Energieverbrauch für die Beleuchtung einer Lagerhalle durch Präsenzmelder um 70 % gesenkt werden. Aber auch in kleinen Räumen sind gute Ergebnisse zu erzielen, etwa dadurch, dass die Beleuchtung nach Verlassen des Raumes (z. B. während der Pausen, nach der Gleitzeit und nach dem Arbeitsende) entweder

- vollständig ausgeschaltet, oder
- bis auf eine Durchgangs- bzw. Putzbeleuchtung ausgeschaltet oder
- durch Dimmbetrieb reduziert wird.

Diese Maßnahmen lassen sich am besten durch ein EDV-gestütztes Gebäudemanagementsystem verwirklichen.

Präsenzmelder wirken sich energiesparend insbesondere auch in innenliegenden, nicht befensterten Räumen, wie zum Beispiel Wasch- und Toilettenräumen, Archivräumen, Werkzeug- und Materialräumen usw., aus, denn dort werden die Räume meist ununterbrochen beleuchtet, dagegen nur selten benutzt.

T Tageslichtlenkung

Eine weitere Möglichkeit, das Tageslicht zu nutzen und damit Energie bei der Beleuchtung einzusparen, ist die

Tageslichtlenkung. Dabei wird mit Tageslichtlenksystemen (Spiegeln, Refraktoren/Prismen, Segeln usw.), die sich an der Fassade und an bzw. in den Fenstern befinden, Tageslicht aus dem Himmel in die Gebäude umgelenkt und mit zusätzlichen, speziellen Reflektoren, die sich an der Raumdecke befinden, in die Raumtiefe transportiert. Elektronische Steuerungen können zusätzlich die Lenkeinrichtungen an der Fassade auf den Sonnenstand ausrichten.

Diese meist sehr komplexen und kostenträchtigen Systeme müssen einer Gesamtplanung für ein Gebäude vorbehalten bleiben, weil sie im allgemeinen architektonische und bauphysikalische Spezialisten erfordern. Zum Beispiel lassen große Fenster zwar viel Tageslicht in den Raum, wohl aber auch Wärmestrahlung, die u. U. wiederum durch aufwendige Klimatisierungsmaßnahmen kompensiert werden muss.

5. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

B Beleuchtungskosten

Wirtschaftliche Betrachtungen spielen bei der Projektierung neuer bzw. bei der Modernisierung bestehender Beleuchtungsanlagen eine entscheidende Rolle. Zwar ist gesamtwirtschaftlich betrachtet nur eine geringe Energieeinsparung durch Verringerung des Energieverbrauches bei der Beleuchtung möglich, denn die künstliche Beleuchtung beansprucht nur etwa 10 % des gesamten Strombedarfs. In Bürogebäuden liegt der Strombedarf für die Beleuchtung jedoch weit höher, so dass sich energiesparende Beleuchtungsanlagen schnell amortisieren. Aber auch in anderen Bereichen können bei Einsatz energiesparender Beleuchtungssysteme erhebliche Kosten eingespart werden, die sich betriebswirtschaftlich rechnen lassen. Energiesparende Beleuchtungsanlagen senken sowohl die Kosten für die verbrauchsabhängige elektrische Energie (in kWh) als auch für die bereitzustellende Leistung (in kW).

Die Bestimmung der jährlichen Gesamtkosten einer Beleuchtungsanlage setzt sich zusammen aus

- den Kapitalkosten für die Anschaffung und die Erstmontage
- den Energiekosten und
- den Kosten für den Lampenersatz und die Wartung.

Die Preise der Lampen und Leuchten sind kein Maß für die Gesamtkosten einer Beleuchtungsanlage. Die jährlichen Gesamtkosten werden ganz wesentlich durch die Energiekosten bestimmt: Diese betragen etwa 50 %, Anschaffung und Installation sowie Instandhaltung haben Anteile von jeweils 25 % am Kapitalaufwand für eine Beleuchtungsanlage. Eine scheinbar teure, aber energiesparende Leuchte wird sich daher in absehbarer Zeit eher amortisieren als billige Produkte mit schlechter Energieeffizienz.

Die Anwendung einer Kostenformel erfolgt üblicherweise durch entsprechende Computerprogramme. Dabei können u. U. Schwierigkeiten auftreten,

wenn nicht alle dazu notwendigen Detailwerte bekannt sind. Überschlägig genügt es, nur die Energiekosten und die beleuchtungstechnischen Vorteile einer Neuanlage mit denen der Altanlage zu vergleichen. Die dazu erforderlichen Berechnungen sind leicht durchführbar.

Die Modernisierungsbeispiele im Abschnitt 6 sind auf diese Art erstellt und daher sicher auch gut nachvollziehbar.

Oft können mit den ermittelten Einsparungen an Energiekosten die jährlichen Kapitalkosten der Neuanlage abgedeckt werden. Wird eine über dem Marktzins liegende Verzinsung des eingesetzten Investitionskapitals (Rentabilität) erreicht, ist die Modernisierung eine Investition mit betriebswirtschaftlich nachweisbarem Gewinn. Konkrete Angaben bezüglich der Rentabilität des eingesetzten Kapitals für die Modernisierung, zu dem nicht nur die Kosten für die neuen Leuchten und Lampen und deren Montage, sondern ggf. auch die Kosten für die Demontage der alten Leuchten und deren materialgerechte Entsorgung (insbesondere, wenn diese noch mit nicht mehr zulässigen PCB-haltigen Kompensationskondensatoren bestückt sind) gehören, sind nur unter Berücksichtigung objektspezifischer Vorgaben zu ermitteln und können daher nicht verallgemeinert werden.

Im allgemeinen werden zur Finanzierung der Erneuerungs-/Modernisierungskosten Rücklagen aus der AfA (Abschreibung für Abnutzung) herangezogen.

Bei Betrachtungen zur Rentabilität und Amortisation des eingesetzten Kapitals für die Neuanlage muss außerdem berücksichtigt werden, dass die Altanlage teilweise die vom Gesetzgeber geforderten lichttechnischen Anforderungen an die Beleuchtung nicht erfüllt und die Neuanlage hinsichtlich dieser Merkmale eine wesentliche Verbesserung der Seh- und Arbeitsbedingungen darstellt.

V Verringerung des Energiebedarfs

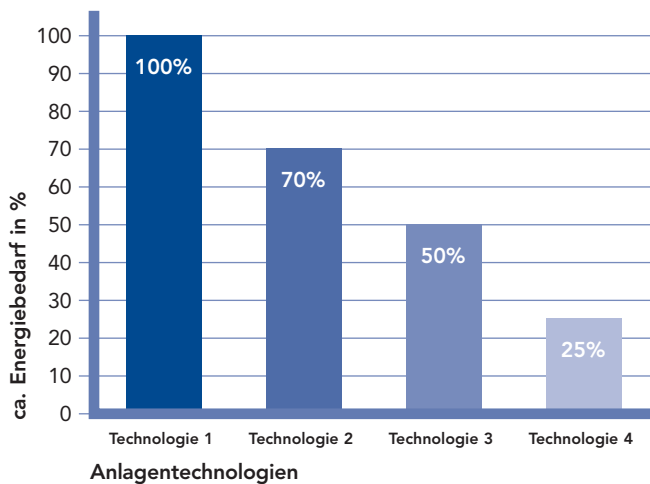
Eine für alle Einzelfälle gültige Voraussage über die Energieeinsparung ist verständlicherweise nicht möglich. Dazu sind objektspezifische Analysen und Planungen notwendig. Wohl aber ist eine grobe Vorausschau möglich. In **Bild 18** werden vier Beleuchtungstechnologien hinsichtlich des Energiebedarfs verglichen.

Eine energetische Beurteilung von vorhandenen oder geplanten Beleuchtungsanlagen lässt sich durch eine Bilanzierung des zu erwartenden jährlichen Beleuchtungsstromverbrauches für einzelne Räume, Raumgruppen oder das ganze Gebäude erreichen. Der dabei ermittelte flächenspezifische Verbrauchskennwert kann dann mit Grenz- oder Zielwerten verglichen werden, die bei der betrachteten Gebäudenutzung mit einer energetisch optimierten Beleuchtungsanlage erreicht werden können.

Entsprechende Berechnungsverfahren, Referenzwerte und EDV-Arbeitshilfen werden zur Zeit in dem vom Land Hessen geförderten Forschungsprojekt „Methodik zur Ermittlung, Beurteilung und Optimierung des Elektrizitätsbedarfs von Gebäuden (MEG)“ weiterentwickelt.

Informationen und Downloads zu diesem Projekt sind unter www.meg.ds-plan.de verfügbar.

6. Modernisierungsbeispiele von Beleuchtungsanlagen



- Technologie 1** Standard-Leuchtstofflampen mit konventionellen Vorschaltgeräten, diffus strahlende opale Wanne bzw. weiße Raster
- Technologie 2** Dreiband-Leuchtstofflampen mit verlustarmen Vorschaltgeräten, Leuchte mit höherem Wirkungsgrad, z. B. mit Spiegelreflektor und gerichteter Lichtverteilung
- Technologie 3** Dreiband-Leuchtstofflampen an elektronischen Vorschaltgeräten, Spiegelraster mit hohem Wirkungsgrad und gerichteter Lichtverteilung
- Technologie 4** Lampen, Vorschaltgeräte und Leuchten wie Technologie 3, jedoch tageslichtabhängig und/oder anwesenheitsabhängig geschaltet bzw. gesteuert.

Bild 18 Energiebedarf verschiedener Beleuchtungssysteme

Die nachfolgenden Beispiele sind der Praxis entnommen. Die Daten der Tabellen sind das Ergebnis computergestützter lichttechnischer Planungen nach DIN EN 12464-1 und beziehen sich auf die jeweilige Nutzebene. Ihnen liegt ein aus Arbeitspreis und Leistungspreis gemittelter Strompreis von 0,15 ct/kWh ohne MwSt. und eine aus den Nutzungsbedingungen ermittelte jährliche Betriebsdauer zugrunde. Variante 1 der Neuanlage wird unregelmäßig betrieben, bei Variante 2 findet eine tageslicht- und anwesenheitsabhängige Regelung statt, was zu entsprechend verkürzten Benutzungsstunden führt.

Generell wird von einer normalen Lampenalterung und Verstaubung des Raumes ausgegangen. Durch den in der Neuanlage geplanten Einsatz von Warmstart-EVG in Kombination mit stabförmigen Dreiband-Leuchtstofflampen, die eine geringe Lichtstromabnahme von nur rund 10 % nach der Nutzlebensdauer (18.000 Stunden) aufweisen, wird ein Wartungsfaktor von 0,8 für die Neuanlage angesetzt. Im Neuzustand wird sich daher eine um 10 bis 20 % höhere Beleuchtungsstärke einstellen.

Bei den Altanlagen wurden Standardlampen im Betrieb mit KVG angenommen, deren Lichtstromabnahme sich nach geringerer Betriebszeit (rund 12.000 Stunden) bereits auf mehr als 30 % beläuft. Die Nutzlebensdauer der Altanlagen beträgt weniger als die Hälfte im Vergleich zu den Neuanlagen.

Dreischsbüro

Bisher waren flache zweilampige Deckenanbauleuchten mit opaler Wanne, bestückt mit 58 W-T8-Lampen, installiert. Energieeinsparung und Verbesserung der Sehbedingungen, insbesondere hinsichtlich der Begrenzung der Direktblendung und der Vermeidung störender Reflexe auf dem Bildschirm (siehe auch Abschnitt 2 „Gütemerkmale der Beleuchtung“) waren die Modernisierungsgründe.

Die Modernisierung kann mit bildschirmarbeitsplatzgeeigneten, einlampigen Deckenanbauleuchten mit hochglänzendem (oder seidenmattem) BAP65-Spiegelraster und einer Leuchtdichte $L \leq 1.000 \text{ cd/m}^2$ für Ausstrahlungswinkel $\geq 65^\circ$ rundum erfolgen. Die Bestückung der aus energetischen Gründen ausschließlich direkt strahlenden Leuchten erfolgt mit 35 W-T5-Lampen, womit eine mittlere Beleuchtungsstärke von 498 lx im Raum erzielt wird, die den Anforderungen nach DIN 12464-1 (500 lx im Bereich der Sehaufgabe) entspricht.

Die neue Anlage mit T5-Lampen weist eine wesentliche Verbesserung der Beleuchtungsqualität gegenüber der Altanlage auf. Der elektrische Anschlusswert sinkt bei beiden Neuanlagen-Varianten auf ca. 27 % des alten Wertes. Die Energiekosten der unregelmäßig genutzten T5-Anlage liegen bei unverändert 1.500 Betriebsstunden pro Jahr etwa 73 % (entsprechend 139,- EUR) unter den ursprünglichen Werten. Mit der tageslicht- und anwesenheitsabhängig geregelten Variante und einer Betriebsdauer von rund 1.000 Stunden pro Jahr liegen die Energiekosten ca. 82 % (entsprechend 157,- EUR) unter den ursprünglichen Werten.

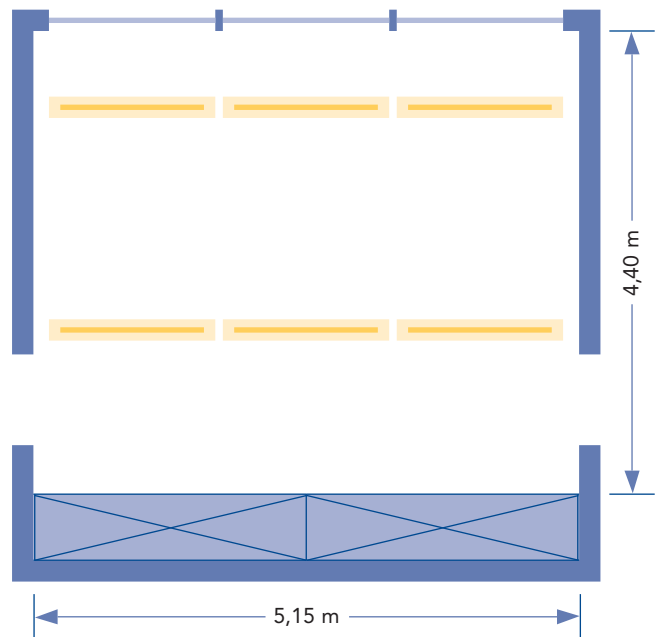


Bild 19 Schematische Darstellung Dreischsbüro

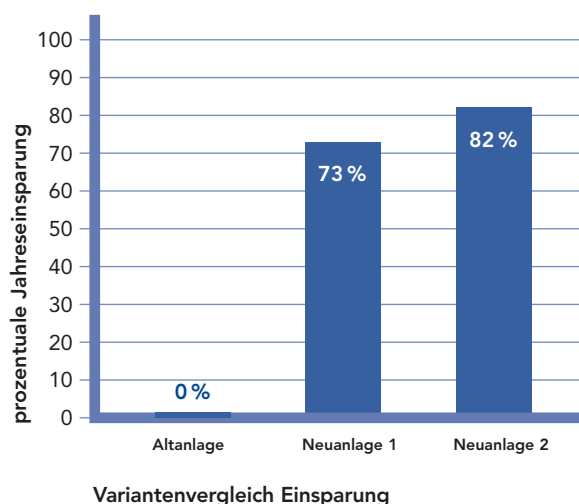
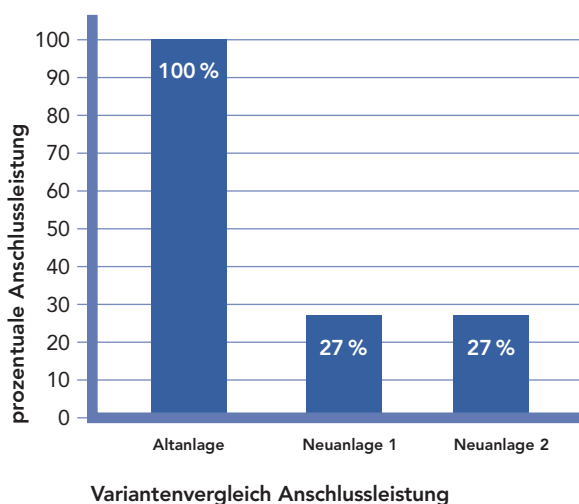


Tabelle 11 Beleuchtungsvarianten Dreiachsbüro

Grundfläche 22,7 m² (ohne Einbauschränk)

Raumabmessung (L x B x H) 5,15 m x 5,00 m x 2,70 m (Breite abzgl. 0,6 m für Einbauschränk)

Reflexionsgrade (Decke|Wände|Boden) 0,7|0,5|0,2

	Bestehende Anlage	Neue Anlage 1	Neue Anlage 2
Leuchte/Lampe	Anbauleuchten, opale Wanne 2 x 58 W/T8	Anbau-Bildschirmarbeitsplatzleuchten, BAP65-Spiegelraster, direkt strahlend 1 x 35 W/T5	
Anzahl der Leuchten	6	6	6
Anzahl der Lampen je Leuchte	2	1	1
Art des Vorschaltgerätes (VG)	KVG	EVG	Dimm-EVG
Regelung der Beleuchtungsanlage	ungeregelt	ungeregelt	tageslicht- und anwesenheitsabhängig
Betriebsdauer der Anlage [h/a]	1.500	1.500	1.000
Lampenlichtstrom je Leuchte [lm]	2 x 4.100	3.300	3.300
Systemleistung (Lampen+VG) je Leuchte [W]	2 x 71	39	39
Beleuchtungsstärke [lx]	681	498	498
Beleuchtungsstärke [%]	100	73	73
Anschlussleistung [W]	852	234	234
Anschlussleistung [%]	100	27	27
spez. Stromverbrauch [W/m ²]	38	10	10

Tabelle 12 Verbrauch und Kosteneinsparung im Jahr

	Altanlage	Neuanlage 1	Neuanlage 2
Verbrauch [kWh]	1.278	351	234
Kosten, absolut [EUR]	192	53	35
Kosteneinsparung [%]	-	73	82

Fachschulklassenraum

Dieser Klassenraum in einer Berufs- bzw. Meisterschule wird ganztägig und ganzjährig genutzt, daher auch die für normale Schulklassen ungewöhnlich hohe Betriebsdauer der Beleuchtungsanlage von 1.500 Stunden im Jahr. Es findet keine computerunterstützte Ausbildung statt, so dass der Einsatz von Bildschirmarbeitsplatzleuchten nicht erforderlich ist.

Die Altanlage bestand aus Deckenanbauleuchten mit opalen Wannen, bestückt mit jeweils 2 x 58 W-T8-Lampen. Für die stromsparende Neuanlage werden zur Allgemeinbeleuchtung einlampige Deckenanbauleuchten mit Prismenwanne und hochglänzendem, direkt strahlendem Aluminium-Spiegel eingesetzt. Für die Tafelbeleuchtung wird der gleiche Leuchtentyp, jedoch mit direkt asymmetrisch strahlendem Spiegel eingesetzt, so dass eine Lichtlenkung zur Tafel hin stattfindet. Bei einer Bestückung mit 58 W-T8-Lampen wird mit 522 lx die geforderte Norm-Beleuchtungsstärke von 500 lx erreicht.

Die energetischen Vorteile beider Varianten der Neuanlage gegenüber der Altanlage sind überzeugend: Mit der unregelmäßig varianten wird bei einem Anschlusswert von 715 W (- 64 % gegenüber der Altanlage) und gleichbleibenden 1.500 Betriebsstunden pro Jahr eine Energieeinsparung von 64 % (entsprechend 286,- EUR) erzielt. Mit der tageslicht- und anwesenheitsgeregelt Variante kann bei einem Anschlusswert von ebenfalls 715 W die Betriebsdauer auf rund 1.000 Stunden jährlich gesenkt werden, so dass Energieeinsparungen in Höhe von 76 % (entsprechend 340,- EUR) erreicht werden.

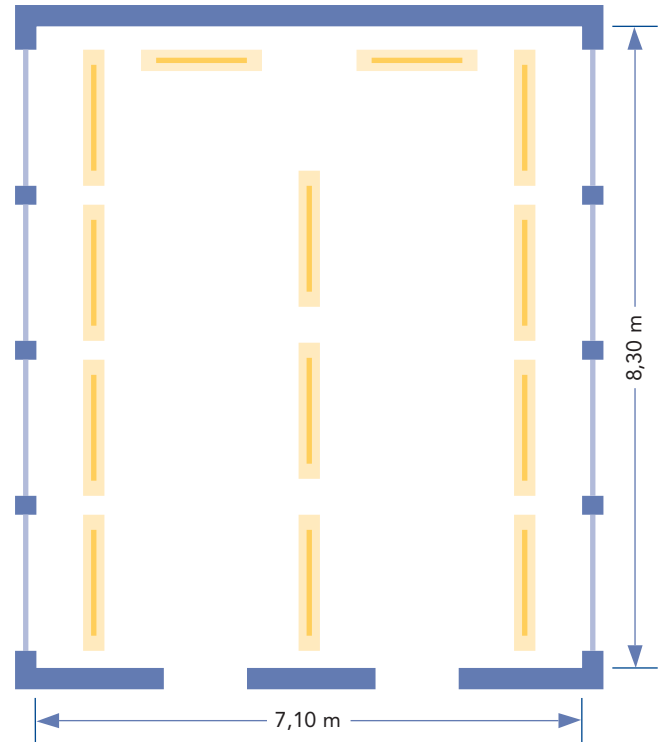


Bild 20 Schematische Darstellung Fachschulklassenraum

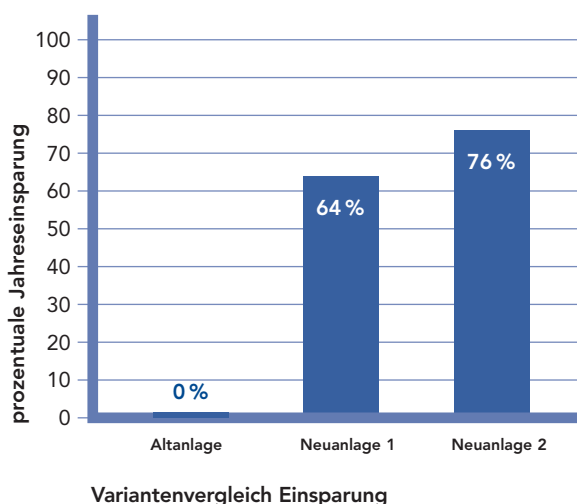
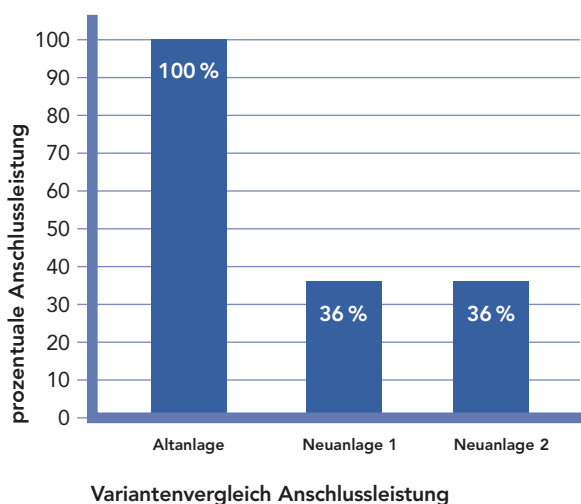


Tabelle 13 Beleuchtungsvarianten Fachschulclassenraum – Werte inkl. Tafelbeleuchtung

Grundfläche 59 m²

Raumabmessung (L x B x H) 7,10 m x 8,30 m x 3,00 m

Reflexionsgrade (Decke|Wände|Boden) 0,7|0,5|0,2

	Bestehende Anlage	Neue Anlage 1	Neue Anlage 2
Leuchten/Lampe	Anbauleuchten, opale Wanne 2 x 58 W/T8	Anbauleuchten, Prismenwanne mit Reflektorspiegel, direkt strahlend 1 x 58 W/T8	
Anzahl der Leuchten	14	13	13
Anzahl der Lampen je Leuchte	2	1	1
Art des Vorschaltgerätes (VG)	KVG	EVG	Dimm-EVG
Regelung der Beleuchtungsanlage	ungeregelt	ungeregelt	tageslicht- und anwesenheitsabhängig
Betriebsdauer der Anlage [h/a]	1.500	1.500	1.000
Lampenlichtstrom je Leuchte [lm]	2 x 4.100	5.000	5.000
Systemleistung (Lampen+VG) je Leuchte [W]	2 x 71	55	55
Beleuchtungsstärke [lx]	552	522	522
Beleuchtungsstärke [%]	100	95	95
Anschlussleistung [W]	1.988	715	715
Anschlussleistung [%]	100	36	36
spez. Stromverbrauch [W/m ²]	34	12	12

Tabelle 14 Verbrauch und Kosteneinsparung im Jahr

	Altanlage	Neuanlage 1	Neuanlage 2
Verbrauch [kWh]	2.982	1.073	715
Kosten, absolut [EUR]	447	161	107
Kosteneinsparung [%]	-	64	76

Werkstatt Handwerksbetrieb

Die Shed-Halle der Werkstatt mit einer Grundfläche von 550 m² war mit 70 Lichtbandleuchten, 2 x 58 W (T8), beleuchtet. Die Anlage musste erneuert werden, weil die Blendungsbegrenzung der freistrahrenden Leuchten nicht den geforderten Werten entsprach und zu Klagen führte. Deckenverschmutzungen wirkten sich stark auf die Verringerung der Beleuchtungsstärke aus, weil die Freistrahlerleuchten zu viel Licht an die Sheddächer strahlten. Der Energieverbrauch der jährlich 2.500 Stunden betriebenen Anlage sollte verringert werden. Die Modernisierung erfolgt mit direkt strahlenden Aluminium-Reflektor-Lichtbandleuchten. Die Leuchten sind mit 58 W-T8-Lampen ausgerüstet und erzielen eine der Norm entsprechende Beleuchtungsstärke von 321 lx bei ausreichender Blendungsbegrenzung.

Die Anschlussleistung reduziert sich für beide Modernisierungsvarianten auf 39 % des Wertes der Altanlage. Die unregulierte Variante mit 2.500 Betriebsstunden jährlich weist dabei Energieeinsparungen in Höhe von 61 % (entsprechend 2.284,- EUR) gegenüber der ursprünglichen Anlage auf. Die tageslicht- und anwesenheitsgeregelt Variante führt bei 1.200 Betriebsstunden pro Jahr mit rund 81 % (entsprechend 3.035,- EUR) gegenüber der bisherigen Anlage zu nochmals deutlich höheren Einsparungen.

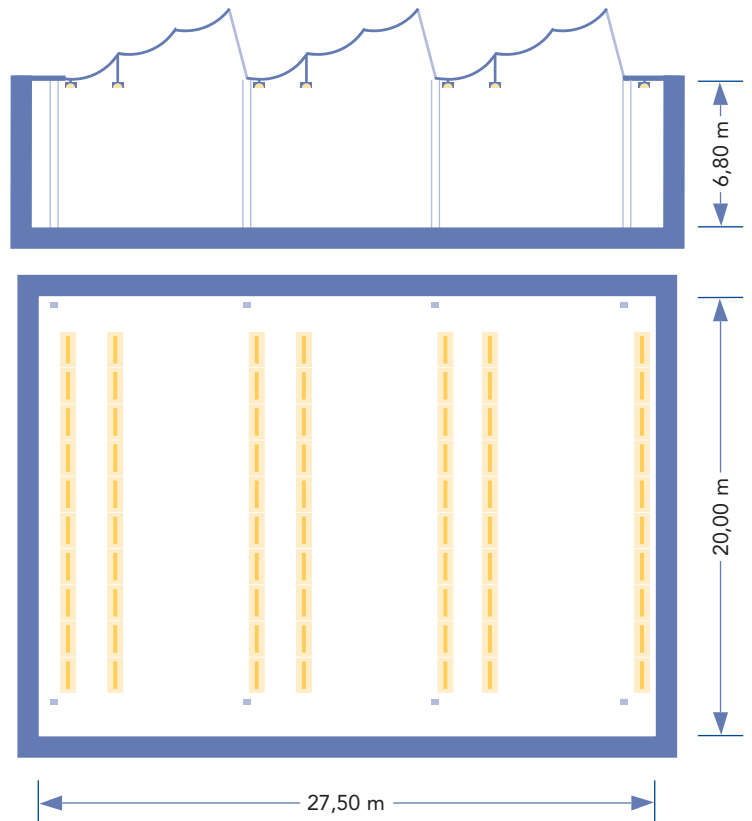


Bild 21 Schematische Darstellung Werkstatt Handwerksbetrieb

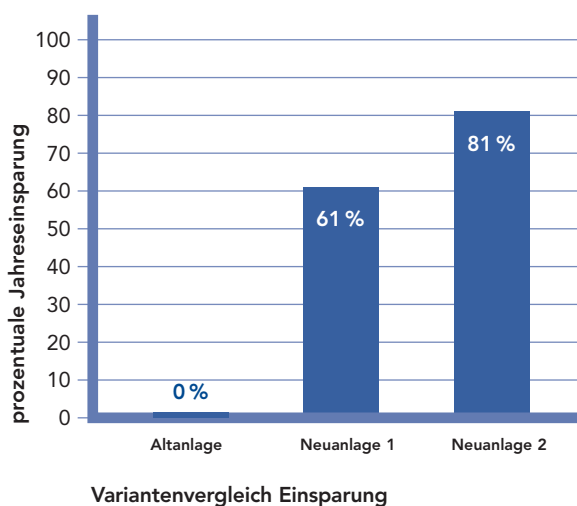
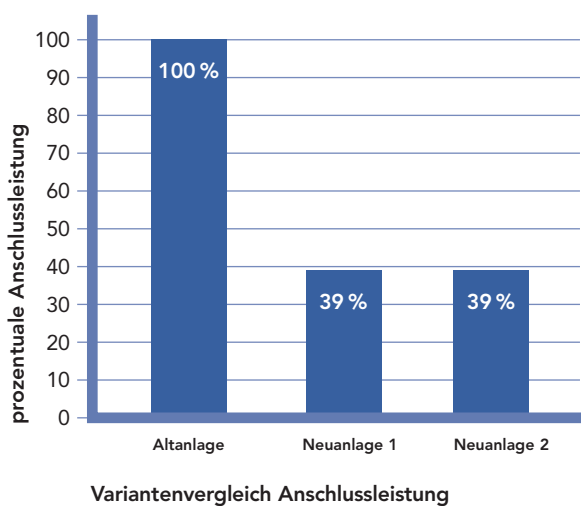


Tabelle 15 Beleuchtungsvarianten Werkstatt Handwerksbetrieb – Grobe und mittlere Maschinenarbeiten

Grundfläche 550 m²

Raumabmessung (L x B x H) 27,50 m x 20,00 m x 6,80 m

Reflexionsgrade (Decke|Wände|Boden) 0,3|0,3|0,1

	Bestehende Anlage	Neue Anlage 1	Neue Anlage 2
Leuchte/Lampe	Freistrahler-Leuchten 2 x 58 W/T8	Aluminium-Reflektor-Lichtbandleuchten, direkt strahlend 1 x 58 W/T8	
Anzahl der Leuchten	70	70	70
Anzahl der Lampen je Leuchte	2	1	1
Art des Vorschaltgerätes (VG)	KVG	EVG	Dimm-EVG
Regelung der Beleuchtungsanlage	ungeregelt	ungeregelt	tageslicht- und anwesenheitsabhängig
Betriebsdauer der Anlage [h/a]	2.500	2.500	1.200
Lampenlichtstrom je Leuchte [lm]	2 x 4.100	5.000	5.000
Systemleistung (Lampen+VG) je Leuchte [W]	2 x 71	55	55
Beleuchtungsstärke [lx]	365	321	321
Beleuchtungsstärke [%]	100	88	88
Anschlussleistung [W]	9.940	3.850	3.850
Anschlussleistung [%]	100	39	39
spez. Stromverbrauch [W/m ²]	18	7	7

Tabelle 16 Verbrauch und Kosteneinsparung im Jahr

	Altanlage	Neuanlage 1	Neuanlage 2
Verbrauch [kWh]	24.850	9.625	4.620
Kosten, absolut [EUR]	3.728	1.444	693
Kosteneinsparung [%]	-	61	81

Ausstellungsraum

Der Ausstellungsraum eines Möbelgeschäftes war mit 30 freistrahrenden Leuchten, 2 x 58 W (T8), beleuchtet. Starke Blendung und die „billig wirkenden“ Lichtbänder entsprachen nicht mehr den Anforderungen besuchergerechter Raumausstattung. Die Verbesserung des Erscheinungsbildes des Raumes und der Beleuchtung waren die Hauptmodernisierungsgründe.

Die Modernisierung wird zur Unterstützung des repräsentativen Charakters und zur Schaffung einer besonders angenehmen Lichtatmosphäre mit direkt-/indirekt-strahlenden Leuchten vorgenommen. Für eine energetisch sinnvolle Lösung sollte eine Leuchte mit nicht zu hohem Indirektanteil gewählt werden, zum Beispiel im Verhältnis 70 % Direkt- und 30 % Indirektanteil. Es kommen Leuchten mit seidigem Spiegelraster und einlampiger 49 W-T5-Bestückung in abgehängter Montage zum Einsatz, die eine normgerechte Beleuchtungsstärke von 324 lx erzielen.

Die neuen Leuchten erfüllen das Modernisierungsziel: Die Beleuchtung wurde wesentlich verbessert, und zusätzlich wurden die Energiebezugskosten gesenkt. Die Anschlussleistung reduziert sich für beide Modernisierungsvarianten auf 30 % gegenüber der Altanlage. Damit lässt sich der Energieverbrauch der unregelmäßig genutzten Variante bei gleicher Betriebsdauer von 2.500 Stunden jährlich um 70 % (entsprechend 1.112,- EUR) gegenüber der Alt-Anlage reduzieren.

Die tageslicht- und anwesenheitsabhängig geregelte Variante erzielt mit Betriebszeiten von 1.500 Stunden pro Jahr Einsparungen in Höhe von 82 % (entsprechend 1.306,- EUR) gegenüber der bisherigen Anlage.

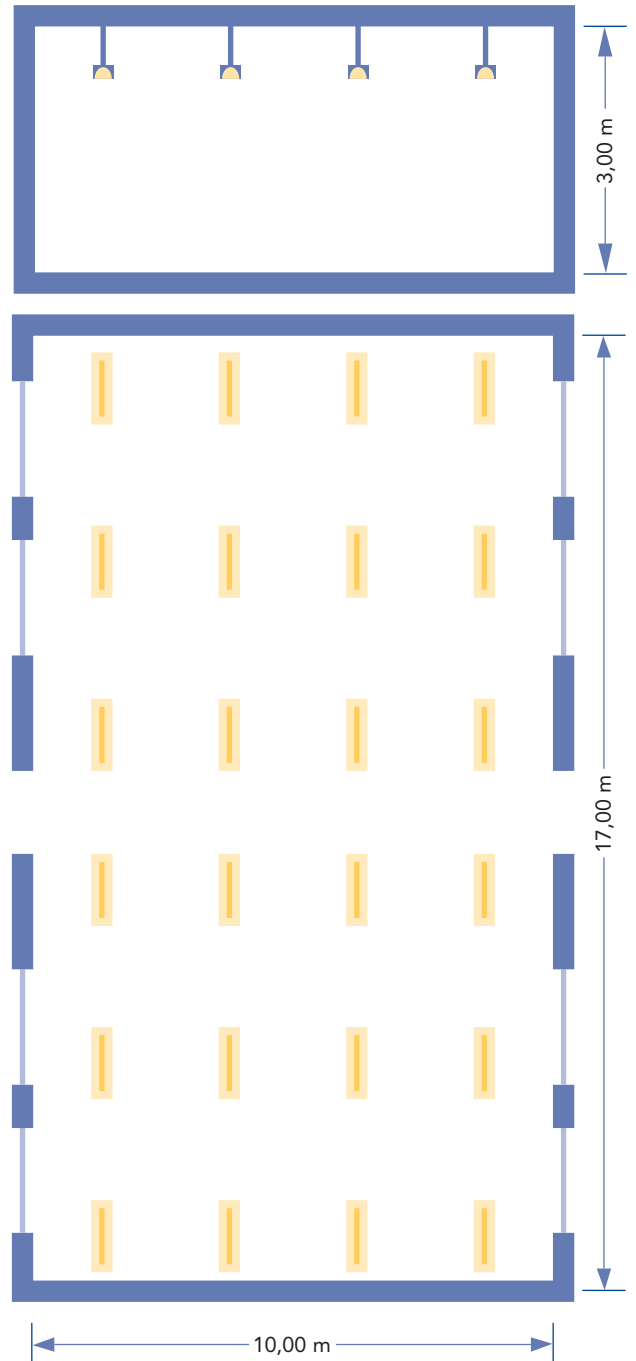
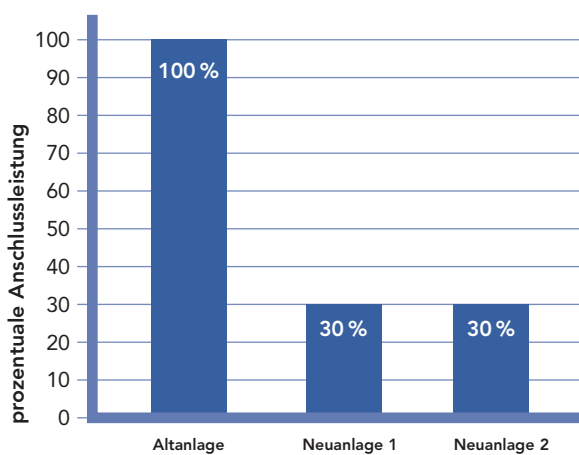
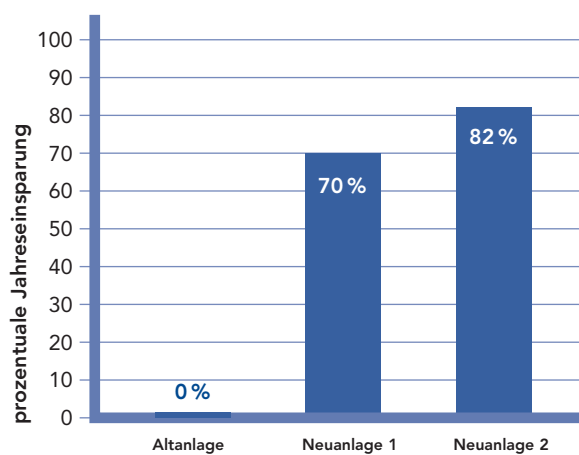


Bild 22 Schematische Darstellung Ausstellungsraum



Variantenvergleich Anschlussleistung



Variantenvergleich Einsparung

Tabelle 17 Beleuchtungsvarianten Ausstellungsraum

Grundfläche 170 m²

Raumabmessung (L x B x H) 17,0 m x 10,0 m x 3,0 m

Reflexionsgrade (Decke|Wände|Boden) 0,7|0,5|0,2

	Bestehende Anlage	Neue Anlage 1	Neue Anlage 2
Leuchte/Lampe	Freistrahlerleuchten, 2 x 58 W/T8	Hängeleuchten, Spiegelraster matt, direkt/indirekt strahlend (70/30 %) 1 x 49 W/T5	
Anzahl der Leuchten	30	24	24
Anzahl der Lampen je Leuchte	2	1	1
Art des Vorschaltgerätes (VG)	KVG	EVG	Dimm-EVG
Regelung der Beleuchtungsanlage	ungeregelt	ungeregelt	tageslicht- und anwesenheitsabhängig
Betriebsdauer der Anlage [h/a]	2.500	2.500	1.500
Lampenlichtstrom je Leuchte [lm]	2 x 4.100	4.300	4.300
Systemleistung (Lampen+VG) je Leuchte [W]	2 x 71	54	54
Beleuchtungsstärke [lx]	550	324	324
Beleuchtungsstärke [%]	100	59	59
Anschlussleistung [W]	4.260	1.296	1.296
Anschlussleistung [%]	100	30	30
spez. Stromverbrauch [W/m ²]	25	8	8

Tabelle 18 Verbrauch und Kosteneinsparung im Jahr

	Altanlage	Neuanlage 1	Neuanlage 2
Verbrauch [kWh]	10.650	3.240	1.944
Kosten, absolut [EUR]	1.598	486	292
Kosteneinsparung [%]	-	70	82

Flur

Flure in Verwaltungsgebäuden, Krankenhäusern und vielen Industriebetrieben werden oft trotz der Fenster und des Tageslichteinfalls ganztägig beleuchtet, ob notwendig oder nicht. Bei Fluren mit Tageslichteinfall liegt daher ein besonders hohes Einsparpotential vor.

Der betrachtete Flur war mit fünf opalen Einbauleuchten, bestückt mit 2 x 36 W-T8-Lampen ausgerüstet. Für die Modernisierung bieten sich zwei Lösungen mit Deckenanbauleuchten an, für welche die Decke an den Stellen der jetzigen Einbauleuchten jedoch zunächst verschlossen werden müsste.

Alternativ dazu können die vorhandenen Einbauleuchten durch ebensolche ersetzt werden, wodurch vorhergehende Arbeiten an der Decke überflüssig werden. Hier besteht die Möglichkeit des Einsatzes von Sanierungsleuchten mit Spiegelraster, die sich durch Einsetzen in das vorhandene alte Leuchtengehäuse besonders einfach montieren lassen. Für die Modernisierung werden einlampige Sanierungsleuchten mit einer Bestückung von 49 W-T5-Lampen vorgesehen.

Durch die Modernisierung reduziert sich die Anschlussleistung auf 59 % gegenüber der alten Anlage.

Ohne Regelung reduziert sich der Energieverbrauch bei nach wie vor 2.500 Betriebsstunden jährlich um 41 % (entsprechend 72,- EUR) gegenüber der bisherigen Anlage. Mit tageslicht- und anwesenheitsabhängiger Regelung ist eine Reduzierung der Betriebsdauer auf 1.000 Stunden und damit eine Reduzierung des Energieverbrauch um 76 % (entsprechend 132,- EUR) gegenüber der alten Anlage möglich.

In Verwaltungsgebäuden beträgt die gesamte Flurlänge im allgemeinen nicht nur, wie hier angenommen, 22 Meter, sondern ein Vielfaches davon. Demzufolge ist auch ein Vielfaches der Energiekosteneinsparung erzielbar.

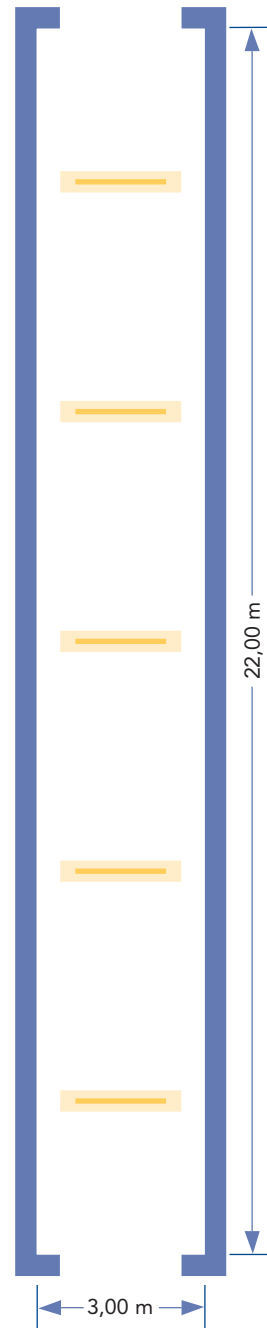
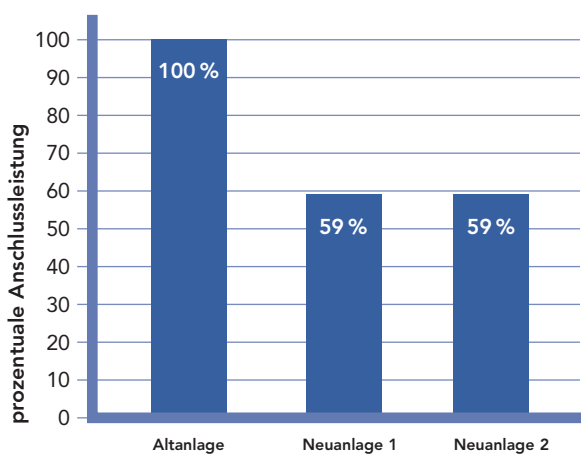
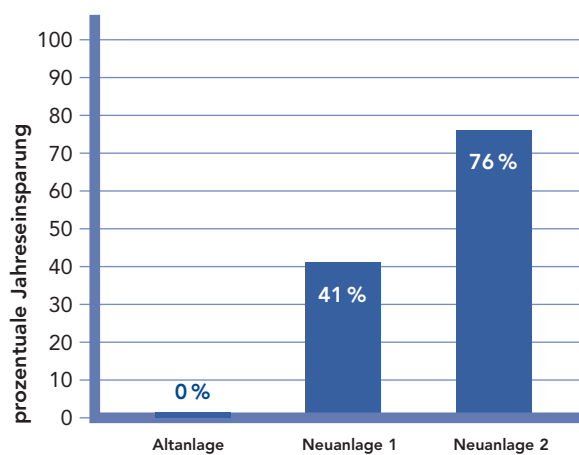


Bild 23 Schematische Darstellung Flur



Variantenvergleich Anschlussleistung



Variantenvergleich Einsparung

Tabelle 19 Beleuchtungsvarianten Flur

Grundfläche 66 m²

Raumabmessung (L x B x H) 22,0 m x 3,0 m x 3,0 m

Reflexionsgrade (Decke|Wände|Boden) 0,7|0,5|0,2

	Bestehende Anlage	Neue Anlage 1	Neue Anlage 2
Leuchte/Lampe	Einbauleuchten, opale Wanne 2 x 36 W/T8	Sanierungs-Einbauleuchten, Spiegelraster, direkt strahlend 1 x 49 W/T5	
Anzahl der Leuchten	5	5	5
Anzahl der Lampen je Leuchte	2	1	1
Art des Vorschaltgerätes (VG)	KVG	EVG	Dimm-EVG
Regelung der Beleuchtungsanlage	ungeregelt	ungeregelt	tageslicht- und anwesenheitsabhängig
Betriebsdauer der Anlage [h/a]	2.500	2.500	1.000
Lampenlichtstrom je Leuchte [lm]	2 x 2.600	4.300	4.300
Systemleistung (Lampen+VG) je Leuchte [W]	2 x 46	54	54
Beleuchtungsstärke [lx]	115	130	130
Beleuchtungsstärke [%]	100	113	113
Anschlussleistung [W]	460	270	270
Anschlussleistung [%]	100	59	59
spez. Stromverbrauch [W/m ²]	7	4	4

Tabelle 20 Verbrauch und Kosteneinsparung im Jahr

	Altanlage	Neuanlage 1	Neuanlage 2
Verbrauch [kWh]	1.150	675	270
Kosten, absolut [EUR]	173	101	41
Kosteneinsparung [%]	-	41	76

7. Verwertung und Entsorgung von Leuchten, Leuchtmitteln und Zubehör

Sofern Leuchten keine schadstoffhaltigen Komponenten, wie z. B. PCB-haltige Kondensatoren enthalten, sind sie hausmüllähnlicher Gewerbeabfall.

Nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrW/AbfG) vom Januar 2004 gehören Entladungslampen und PCB-haltige Kondensatoren zu den besonders überwachungsbedürftigen Abfällen, weil sie Schadstoffe, bei Entladungslampen insbesondere Quecksilber, enthalten. Sie sind verwertbar und müssen deshalb unzerstört zum Entsorger bzw. zur Schadstoffsammelstelle gelangen. Entsorgungspflichtig ist derzeit der Abfallerzeuger. Ab 13. August 2005 gelten die Vorgaben der WEEE (Waste of Electrical and Electronic Equipment), einer Richtlinie über die Elektroaltgeräteentsorgung in der EU, die ein einheitliches Entsorgungsniveau anstrebt. Eine wesentliche Änderung gegenüber der derzeitigen Verfahrensweise wird sein, dass Hersteller und Importeure die Abholung und Entsorgung alter Lampen finanzieren müssen, nachdem diese an Sammelstellen bereitgestellt wurden.

Seit Gründung der Arbeitsgemeinschaft Lampenverwertung (AGLV), Stresemannallee 19, 60596 Frankfurt am Main, Telefon 069/6302-349 (Fax -317), www.zvei.de, ist in Deutschland ein flächendeckendes System von Lampenentsorgungsunternehmen aufgebaut worden, zu dem spezielle Lampenverwerter und auch Lampenhersteller mit entsprechenden Entsorgungseinrichtungen gehören. Diese Unternehmen (siehe Anhang) sind qualifiziert, zertifiziert und allgemein anerkannt und werden kontinuierlich und unabhängig überwacht. Sie gewährleisten eine umweltverträgliche Verwertung von Entladungslampen.

Die Entsorgung der Verpackung von Leuchten ist in Deutschland aufgrund der Verpackungsverordnung von 1998 über die vorhandenen Sammel- und Verwertungssysteme des Dualen Systems Deutschland vorzunehmen.

8. Finanzierung von Modernisierungsmaßnahmen durch Contracting oder Leasing

Die Modernisierung von Beleuchtungsanlagen ist meist aus Gründen der gewünschten Einsparung an Energie- und Betriebskosten und/oder durch die in Normen, Gesetzen, Richtlinien und Verordnungen geforderte lichttechnische Verbesserung der Beleuchtungsanlage notwendig. Es entsteht ein Kapitalbedarf für Investitionen, der oft nicht vorhanden ist.

Nicht selten können Investitionen durch Contracting ausgelöst werden, die sonst wegen knapper Finanzmittel nicht getätigt worden wären.

Planung, Wirtschaftlichkeitsnachweise, Ausschreibung, Lieferung und Montage der Beleuchtungsanlage, ihre Wartung und Instandsetzung, die stoffgerechte Entsorgung der Altanlage und der verbrauchten Lampen können im Wege des Contracting abgewickelt werden. Der Betreiber (Contractingnehmer) kommt dadurch in den Nutzen einer dem Stand der Technik entsprechenden Beleuchtungsanlage, die durch die fachgerechte Planung bedarfsoptimiert und zugleich möglichst stromsparend ist. Für eine bestimmte Zeit – meist 8 bis 10 Jahre – bezahlt er eine Contractingrate in vertraglich vereinbarter Höhe an den Contractinggeber (Contractor). Zumeist kann sowohl die installierte Beleuchtungsleistung als auch die Benutzungsstundenzahl im Rahmen der Modernisierung bei gleichzeitiger Verbesserung der Beleuchtungsqualität deutlich gesenkt werden. Auch die Wartungskosten sinken. So dienen neben der Stromkosteneinsparung auch die zwischen Alt- und Neuanlage entstehende Differenz sonstiger Betriebskosten zur Finanzierung der Investition. In Einzelfällen kann dies bis zu 100 % betragen.

Viele Contractoren greifen gern auf lokale Handwerksbetriebe zurück, die mit den Verhältnissen vor Ort bereits vertraut sind.

Eine reine Finanzierungsvariante ist das Leasing (Mietkauf). Hier bezahlt der Betreiber der Neuanlage eine Leasinggebühr. Teile der Leasinggebühren, in manchen Fällen bis zu 100 %, werden durch die Einsparungen an laufenden Betriebskosten, insbesondere Energiekosten, erwirtschaftet. Auch hier erfolgt also eine teilweise Finanzierung aus der Betriebskostendifferenz. Die Abwicklung erfolgt über Leasingbanken.

Sowohl bei der Contracting- als auch bei der Leasing-Variante kommen die im Vergleich zur Altanlage erzielten Betriebskosteneinsparungen nach Zahlung der letzten Contracting- bzw. Leasingrate ausschließlich dem Betreiber (Nutzer der Anlage) zugute, und das über die gesamte verbleibende Lebensdauer der Anlage, die in der Regel weit mehr als das Doppelte der üblichen Vertragslaufzeit beträgt.

Nicht nur kommunale Anlagenbetreiber, zum Beispiel von Beleuchtungsanlagen in Schulen und Verwaltungsgebäuden, nutzen die Möglichkeiten, vor dem Hintergrund mangelnder

Investitionsmittel energiesparende Anlagen zu installieren, sondern auch private Unternehmen, die ihr Kapital nicht in Anlagevermögen investieren wollen, sondern erfolgreicher in laufenden Geschäftsaktivitäten. Contractingraten oder Leasinggebühren sind laufende Kosten, sofort abschreibbar und daher bilanzneutral. Wenn der Contractingvertrag oder das Leasing auch die laufende Wartung und Instandsetzung der Anlagen einschließt, ist dafür eine gesonderte Personalvorhaltung nicht notwendig.

9. Staatliche Energieförderung und Informationsstellen in Hessen

Die Bundesrepublik Deutschland fördert durch zinsgünstige Kredite (z. B. über das KfW-Umweltprogramm) die rationelle Energienutzung und den Einsatz erneuerbarer Energiequellen. Was gefördert werden kann, ist im einzelnen den aktuellen Förderrichtlinien zu entnehmen.

Ebenfalls von der Bundesregierung werden Energieberatungen gefördert. Sowohl das Rationalisierungs- und Innovationszentrum der Deutschen Wirtschaft (RKW) als auch das Hessische Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung geben hierüber Auskünfte. Das Referat Energieeffizienz des Wirtschaftsministeriums verfügt über entsprechendes Informationsmaterial und hilft darüber hinaus in allen Fragen der rationellen Energienutzung und des Einsatzes erneuerbarer Energien.

Weiter stehen Ihnen die Berater bei den Fördereinrichtungen, Kammern, Verbänden, Energieagenturen und Energieversorgungsunternehmen zur Verfügung. Eine Auswahl von Beratungseinrichtungen und Informationsstellen in Hessen ist auf der Internetseite des Hessischen Wirtschaftsministeriums unter www.wirtschaft.hessen.de zusammengestellt. Verschiedene Einrichtungen sind auch im Anhang zu finden.

10. Zusammenfassung und Ausblick

Beleuchtungsanlagen, die vor 10 Jahren und früher installiert wurden, entsprechen in den meisten Fällen nicht mehr den heutigen Anforderungen hinsichtlich sparsamer Stromnutzung und lichttechnischer Merkmale.

Energiesparende Lampen, geringe Verlustleistung der Vorschaltgeräte, lichttechnisch optimierte Leuchten und hochentwickelte Beleuchtungssysteme sowie verbesserte Methoden der Planung ermöglichen Energie- und Energie-(bezugs)kosten-Einsparungen bis 60 %, in Einzelfällen auch deutlich darüber. Weitere Energieeinsparungen erreicht man, wenn die Nutzungszeiten der Beleuchtungsanlage verringert werden, zum Beispiel durch sinnvolles Reduzieren bei ausreichendem Tageslicht und durch (automatisches) Ausschalten bei Abwesenheit. Während solche Regelsysteme noch vor einigen Jahren nur besonderen Objekten vorbehalten waren, kommen die für ein computergestütztes Energiemanagement notwendigen Installationskomponenten heute auch für kleinere Anlagen in Frage. Zusätzlich ist eine Modernisierung von Beleuchtungsanlagen auch im Sinne des gesetzlich verankerten Arbeitsschutzes ein aktuelles Thema. Veraltete Anlagen entsprechen hier zumeist nicht den heutigen Anforderungen.

Es lohnt sich, bestehende Anlagen nach beiden Merkmalen kritisch zu untersuchen. Die Lichtfachleute der Ingenieurbüros, der Energieagenturen und des Elektrohandwerks helfen dabei im besonderen.

- [1] DIN 5035 Beleuchtung mit künstlichem Licht
Teil 2 Richtwerte für Arbeitsstätten in Innenräumen und im Freien
Teil 3 Beleuchtung in Krankenhäusern
Teil 4 Spezielle Empfehlungen für die Beleuchtung von Unterrichtsstätten
Teil 6 Messung und Bewertung
Teil 7 Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen
Teil 8 Spezielle Anforderungen zur Einzelplatzbeleuchtung in Büroräumen und büroähnlichen Räumen
- [2] DIN EN 12464 Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten
Teil 1 Arbeitsstätten in Innenräumen (2003-3)
- [3] DIN EN 12665 Licht und Beleuchtung – Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung (2002-09)
- [4] ArbStättV, Verordnung über Arbeitsstätten vom 12.8.2004, BGBl. I, Seite 2179, ausgegeben am 24. August 2004
- [5] ASR 7/3 Arbeitsstättenrichtlinie „Künstliche Beleuchtung“, BArbBl. 11/1993, Seite 40
- [6] ASR 7/4 Arbeitsstättenrichtlinie „Sicherheitsbeleuchtung“ BArbBl. 3/1981, Seite 68, zuletzt geändert am 1.8.1988, BArbBl. 3/1988, Seite 46
- [7] ArbSchG Arbeitsschutzgesetz, 7.8.1996, BGBl. I, Seite 1246, zuletzt geändert am 30.07.2004, BGBl. I, Seite 1950
- [8] BGV A1 (bisherige VBG 1) „Unfallverhütungsvorschrift – Grundsätze der Prävention“, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, 1.1.2004
- [9] BGR 131 (bisherige ZH 1/190) „Arbeitsplätze mit künstlicher Beleuchtung und Sicherheitsleitsysteme“, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Oktober 1996, aktualisierte Fassung 2001
- [10] BildschArbV, Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit an Bildschirmgeräten (Bildschirmarbeitsverordnung) vom 04.12.1996, BGBl. I, 1996, Seite 1843, zuletzt geändert am 25.11.2003, BGBl. I, Seite 2304
- [11] Richter, H.-J.: Beleuchtung im Sinne der EG-Bildschirmverordnung bzw. der Bildschirmarbeitsverordnung, LICHT 2-3/1997 und 4/1997
- [12] FA Innenbeleuchtung der LiTG, „Planung des Wartungsfaktors“, LICHT Ausgabe 06/2003
- [13] FGL Schriften zur Lichtenwendung der Fördergemeinschaft Gutes Licht, 60596 Frankfurt/M., Stresemannallee 19
- [14] Zieseniß, C.-H.: Beleuchtungstechnik für den Elektrofachmann - Lampen, Leuchten und ihre Anwendung, 7. Auflage. Hüthig & Pflaum Verlag, Heidelberg, 2002
- [15] RAVEL Fachbuchreihe „RAVEL in der Beleuchtung“, insbesondere „Zeitgemäße Beleuchtung von Industriebauten“ und „Zeitgemäße Beleuchtung von Bürobauten“, herausgegeben vom Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern/Schweiz, 1994
- [16] Richter, H.-J.: Licht im Büro - Ergonomie und Wirtschaftlichkeit der Beleuchtung. Die Bibliothek der Technik Band 71, verlag moderne industrie, Landsberg/Lech, 1993.
- [17] Leonhard, G., Richter, H.-J.: Steuerung der Beleuchtung und anderer haustechnischer Anlagen mit dem European Installation Bus EIB. LICHT 3-4/1996

Bezugsquellen

DIN-Normen: Es gelten jeweils die neuesten Ausgaben. Sie sind zu beziehen beim Beuth-Verlag GmbH, 10787 Berlin, Burggrafestraße 6.

Schriften zum Arbeitsschutz sind erhältlich beim Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Scharnhorststraße 34-37, 11019 Berlin.

Lichttechnische Normen

Die folgende Aufstellung gibt einen Überblick über die wichtigsten Normen und Vorschriften im Bereich der Beleuchtungstechnik.

DIN 5031: Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik

DIN 5032: Lichtmessung

DIN 5034: Tageslicht in Innenräumen

DIN 5035: Beleuchtung mit künstlichem Licht (teilweise ersetzt)

DIN 5039: Licht, Lampen, Leuchten – Begriffe, Einteilung

DIN 5040: Leuchten für Beleuchtungszwecke

DIN 5044: Ortsfeste Verkehrsbeleuchtung (teilweise ersetzt)

DIN 6169: Farbwiedergabe

DIN 67505: Beleuchtung zahnärztlicher Behandlungsräume und zahntechnischer Laboratorien (teilweise ersetzt)

DIN EN 12193: Licht und Beleuchtung – Sportstättenbeleuchtung

DIN 67526: Sportstättenbeleuchtung (teilweise ersetzt)

DIN 67528: Beleuchtung von Parkplätzen und Parkbauten (teilweise ersetzt)

DIN EN 1838: Angewandte Lichttechnik – Notbeleuchtung

DIN EN 12464: Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten

DIN EN 12665: Licht und Beleuchtung – Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung

DIN EN ISO 9241: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten

DIN EN 13201: Straßenbeleuchtung

DIN EN ISO 13406: Ergonomische Anforderungen für Tätigkeiten an optischen Anzeigeeinheiten in Flachbauweise

Hinweis:
Die hier aufgeführten Normen und Vorschriften stellen keine vollständige Aufstellung dar, sondern nur eine Zusammenstellung der wichtigsten für die Beleuchtungstechnik relevanten Normen und Veröffentlichungen.

Lichttechnische Konzepte nach DIN 5035 Teil 7

Konzept Nr. 1: Raumbezogene Beleuchtung

Anzuwenden wenn

- im Raum überall gleiche Sehbedingungen vorherrschen sollen
- individuelle Arbeitsbereiche in der Planungsphase örtlich nicht zugeordnet werden können
- die räumliche Ausdehnung der Arbeitsbereiche in der Planungsphase nicht bekannt ist
- eine flexible Anordnung der Bildschirmarbeitsplätze vorgesehen ist

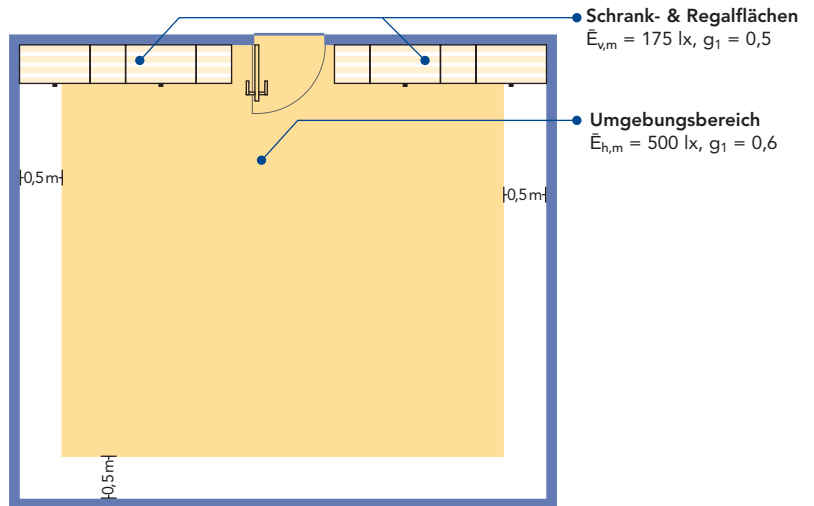
Zusätzlich ist zur besseren Erkennbarkeit von Gesichtern, Mimik und Gestik eine zylindrische Beleuchtungsstärke in 1,2 m Höhe gefordert:

$$\bar{E}_{z,m} = 175 \text{ lx}$$

$$g_1 = 0,5$$

$$\bar{E}_{z,m} = 0,33 \times \bar{E}_{h,m}$$

Bewertungsbereich für die vertikale Beleuchtungsstärke $\bar{E}_{v,m}$ ist von 0,5 bis 2 m Höhe



Konzept Nr. 2: Arbeitsbereichsbezogene Beleuchtung

Anzuwenden wenn

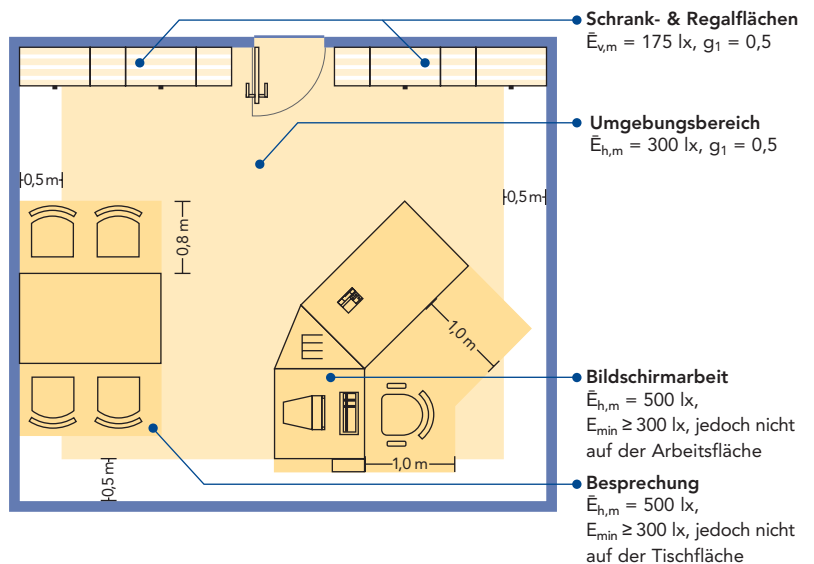
- die Arbeitsaufgaben bekannt sind
- die Anordnung der Arbeitsplätze und damit der Arbeitsbereiche bekannt sind
- durch unterschiedliche Helligkeitsniveaus der einzelnen Arbeitsbereiche und des Umgebungsbereiches Lichtzonen geschaffen werden sollen, die die Raumatmosphäre positiv beeinflussen

Zylindrische Beleuchtungsstärke in 1,2 m Höhe in den Bereichen

- Besprechung und & Bildschirmarbeit:
 $\bar{E}_{z,m} = 175 \text{ lx}$
 $g_1 = 0,5$
 $\bar{E}_{z,m} = 0,33 \times \bar{E}_{h,m}$

- Umgebungsbereich:
 $\bar{E}_{z,m} = 100 \text{ lx}$
 $g_1 = 0,5$
 $\bar{E}_{z,m} = 0,33 \times \bar{E}_{h,m}$

Bewertungsbereich für die vertikale Beleuchtungsstärke $\bar{E}_{v,m}$ ist von 0,5 bis 2 m Höhe



Konzept Nr. 3: Teilflächenbezogene Beleuchtung

Anzuwenden wenn

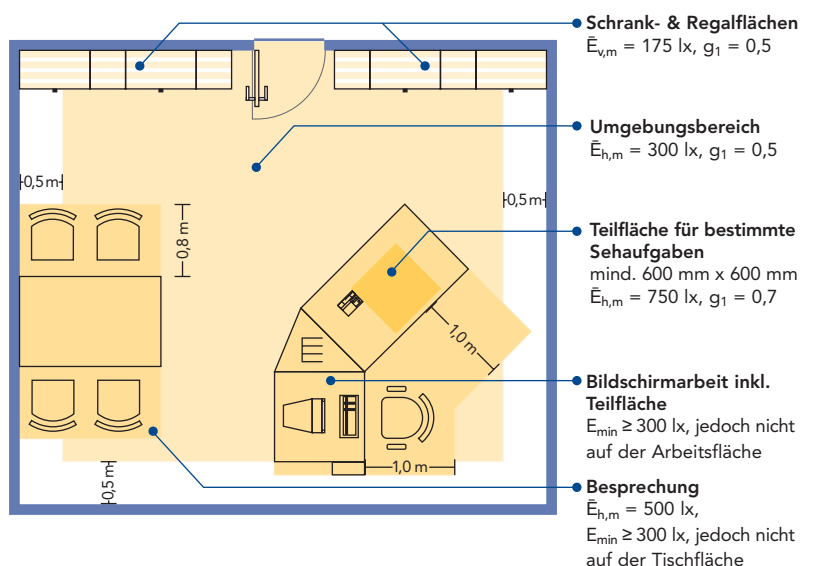
- es erforderlich ist, die Beleuchtung am Arbeitsplatz an unterschiedliche Tätigkeiten anzupassen
- die Beleuchtung an räumlich unterschiedlich orientierte Arbeitsmittel innerhalb des Arbeitsbereichs oder an das individuelle Sehvermögen und andere Erfordernisse des Nutzers anpassbar sein soll
- die Erkennbarkeit schwieriger Sehaufgaben erforderlich ist oder eine Individualisierbarkeit der Beleuchtungsbedingungen ermöglicht werden soll

Zylindrische Beleuchtungsstärke in 1,2 m Höhe in den Bereichen

- Besprechung und & Bildschirmarbeit:
 $\bar{E}_{z,m} = 175 \text{ lx}$
 $g_1 = 0,5$
 $\bar{E}_{z,m} = 0,33 \times \bar{E}_{h,m}$

- Umgebungsbereich:
 $\bar{E}_{z,m} = 100 \text{ lx}$
 $g_1 = 0,5$
 $\bar{E}_{z,m} = 0,33 \times \bar{E}_{h,m}$

Bewertungsbereich für die vertikale Beleuchtungsstärke $\bar{E}_{v,m}$ ist von 0,5 bis 2 m Höhe



Unternehmen, die der Arbeitsgemeinschaft Lampen-Verwertung (AGLV) angeschlossen sind

(Stand: Januar 2005) AGLV, Stresemannallee 19, 60596 Frankfurt, Telefon/Fax: 069/6302-349/317

Lampen-Verwerter

ALBA Baving

Entsorgung GmbH & Co.
Kanalstraße 64
48432 Rheine
Telefon 05971/88001
Fax 05971/88003
www.ALBA-Baving.de
email: ALBA-Entsorgung@t-online.de

HERBORN GmbH

Entsorgung-Umweltschutz
Lange Streng 9
65462 Ginsheim-Gustavsburg
Telefon 06134/75617-0
Fax 06134/75617-9
www.system-herborn.de
email: info@system-herborn.de

LAREC Lampen Recycling GmbH

Erzstraße 18
09618 Brand-Erbisdorf
Telefon 037322/2340
Fax 037322/2341
www.larec.de
email: info@larec.de

LVG GmbH

Alte Landstraße 4
45329 Essen
Telefon 0201/83805-0
Fax 0201/83805-29
www.lvg-online.de
email: info@lvg-online.de

RELUX Lampenverwertung GmbH & Co.KG

Viele Brunnen 2/1
74912 Kirchartd-Berwangen
Telefon 07266/911994
Fax 07266/911997
www.kottmeyer.de
email: relux-berwangen@kottmeyer.de

RELUX

Recycling und Umwelttechnik GmbH
Brückenstraße 9
32549 Bad Oeynhausen
Telefon 05731/4800-61
Fax 05731/4800-70
www.kottmeyer.de
email: relux@kottmeyer.de

RWE Umwelt Elektrorecycling GmbH

Grunower Weg 5
15345 Strausberg-Hohenstein
Telefon 03341/3467-0
Fax 03341/3467-18
www.rue.rweumwelt.com
email: Dieter.Doenges@rwe.com

Lampen-Hersteller

AURA LIGHT GmbH

Habichtstraße 41
22305 Hamburg
Telefon 040/756634-0
Fax 040/756634-29
www.auralight.de
email: info@auralight.de

GE Lighting GmbH

Eisenstraße 5
65428 Rüsselsheim
Telefon 06142/601-0
Fax 06142/601-164
www.gelighting.com
email: Wolfgang.Scheffler@lighting.ge.com

G.L.E. Berlin - Gesellschaft für licht-technische Erzeugnisse mbH

Herzbergstraße 26
10365 Berlin
Telefon 030/55766-0,
Fax 030/55766-499
www.narva.de
email: NARVAGLE@aol.com

Heraeus Noblelight GmbH

Richard-Heraeus-Straße 12-14
63450 Hanau
Telefon 06181/35-8492
Fax 06181/35-168410
www.heraeus-noblelight.com
email: hng-marketing@heraeus.com

NARVA Lichtquellen GmbH + Co. KG

Erzstraße 22
09618 Brand-Erbisdorf
Telefon 037322/17-202
Fax 037322/17-203
www.narva-bel.de
email: office@narva-bel.de

OSRAM GmbH

Hellabrunner Straße 1
81536 München
Telefon 089/6213-0
Fax 089/6213-3463
www.osram.de
email: umwelt@info.osram.de

PHILIPS Licht

Unternehmensbereich der PHILIPS GmbH
Steindamm 94
20099 Hamburg
Telefon 0180/3888333
Fax 0180/3888334
www.philips.de
email: Lighting.info-center@philips.com

RADIUM Lampenwerk GmbH

Dr. Eugen-Kersting-Straße 6
51688 Wipperfürth
Telefon 02267/81-1
Fax 02267/81-314
www.radium.de
email: radium@radium.de

SLI Lichtsysteme GmbH

Graf-Zeppelin-Straße 9-11
91056 Erlangen
Telefon 09131/793-364
Fax 09134/793-203
email: info.de@sylvania-lighting.com

Informationsstellen in Hessen

Fachverband elektro- und informations- technische Handwerke Hessen

Lilienthalallee 4
60487 Frankfurt am Main
Telefon 0 69/79 40 04-0
Fax 0 69/79 40 04-10
info@feh.de

Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Dr. Ing. Jens Knissel
Annastraße 15
64285 Darmstadt
Telefon 0 61 51/29 04-0
Fax 0 61 51/29 04-97
j.knissel@iwu.de

Universität Kassel

Rationelle Energiewandlung

Dr. Ing. Ingo Stadler
Wilhelmshöher Allee 73
34121 Kassel
Telefon 05 61/8 04-6208
Fax 05 61/8 04-6434
istadler@uni-kassel.de

RKW Hessen –

Rationalisierungs- und Innovationszentrum der Deutschen Wirtschaft e. V.

Büro Eschborn
Düsseldorfer Straße 40
65760 Eschborn
Telefon 0 61 96/97 02-00
Fax 0 61 96/97 02-99
eschborn@rkw-hessen.de

Büro Kassel
Ludwig-Erhard-Straße 8
34131 Kassel
Telefon 05 61/93 09 99-0
Fax 05 61/93 09 99-9
kassel@rkw-hessen.de

Ingenieurkammer des Landes Hessen

Fachgruppe Technische Ausrüstung und Energie

Gustav-Stresemann-Ring 6
65189 Wiesbaden
Telefon 06 11/9 74 57-0
Fax 06 11/9 74 57-29
info@ingkh.de

Verband beratender Ingenieure (VBI)

Landesverband Hessen e. V.

Herr Jochen Ludewig
Hanauer Landstraße 135–137
60314 Frankfurt
Telefon 0 69/9 59 21-0
Fax 0 69/9 59 21-585
vbi_lvhessen@bgs-ing.de

hessenENERGIE GmbH

Mainzer Straße 98–102
65189 Wiesbaden
Telefon 06 11/7 46 23-0
Fax 06 11/7 1 82 24

Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung

Frau Gabriele Purper
Postfach 3129
65201 Wiesbaden
Telefon 06 11/8 15-2604
Fax 06 11/8 15-492604



HESSEN



**Hessisches Ministerium
für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung**

Abteilung IV – Referat 9 Energieeffizienz

Kaiser-Friedrich-Ring 75
65185 Wiesbaden

www.wirtschaft.hessen.de