

licht.de

licht.forum 53

Tageslicht und künstliche Beleuchtung



Tageslicht und künstliche Beleuchtung

Licht ist die Voraussetzung für alles Leben. Von Anbeginn wurde der Mensch geprägt vom Tageslicht und von dessen natürlichem Rhythmus. Seit fast 130 Jahren steht mit dem künstlichen Licht eine Alternative zur Verfügung. Heute kann mit Licht jederzeit ein Umfeld erzeugt werden, das Arbeiten, Wohlfühlen und Sicherheit verbindet. Dafür werden Tageslicht und Kunstlicht miteinander kombiniert.

Wie beide eine sinnvolle Partnerschaft eingehen, wie dabei Beleuchtungsqualität entsteht, wie der Energieaufwand für die künstliche Beleuchtung reduziert werden kann, wenn sich der Kunstlichtanteil aufgrund hoher Tageslichtanteile für die Beleuchtung verringert, darüber informiert dieses licht.forum. Das daraus resultierende Einsparpotenzial an elektrischer Energie ist ein wichtiger Beitrag zur Reduzierung des Klima schädigenden Treibhausgases CO₂. Der Fachverband Tageslicht und Rauchschutz e.V. (FVLR) und die Brancheninitiative licht.de haben dieses licht.forum gemeinsam erarbeitet.



licht.de

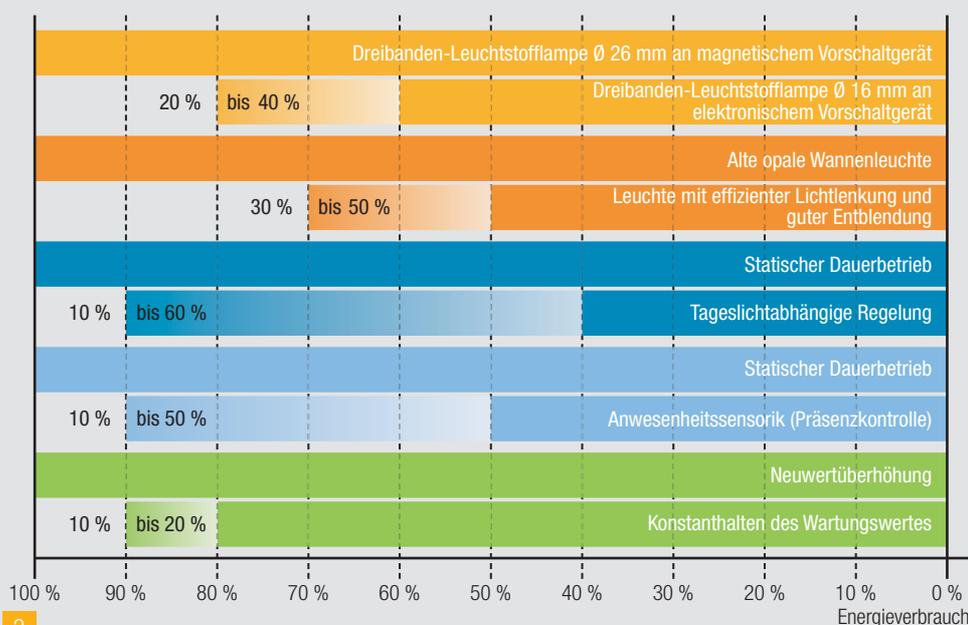
[Titel] Die Kombination von Tages- und Kunstlicht spart Energie, damit Kosten und CO₂-Emissionen.

[1] Auch bei hohen Tageslichtanteilen kann tagsüber nicht immer auf die künstliche Beleuchtung verzichtet werden.



Kombination spart Energie

Effizienzpotenziale moderner Technik



2

Das Tageslicht

Tageslicht ist der sichtbare Teil der Strahlung der Sonne. Doch es gibt zwei Arten von Tageslicht: das Sonnen- und das Himmelslicht. Sonnenlicht führt zur Erwärmung und kann blenden, deshalb sind bei entsprechender Einstrahlung Maßnahmen zum Sonnenschutz erforderlich. Bei der Beleuchtungsstärke (in Lux) unterscheiden Tageslichttechniker Innen- und Außenbeleuchtungsstärke. Der Tag beginnt und endet für sie, wenn die Außenbeleuchtungsstärke 5.000 Lux (Kassel, 10. Dezember um 10 Uhr bei gleichmäßig bedecktem Himmel) beträgt. Sinkt sie unter diesen Wert, herrscht Dämmerung.

„Tageslicht kann die Beleuchtung einer Sehaufgabe ganz oder teilweise übernehmen.“

Mit dieser Formulierung (Ziffer 4.10) ist DIN EN 12464-1 „Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen“ im März 2003 die erste Norm für künstliche Beleuchtung, die dazu auffordert, das Tageslicht in Beleuchtungskonzepten einzubeziehen. Die parallel geltende Berufsgenossenschaftliche Regel (BGR) 131 vom Oktober 2006 signalisiert dies sogar in ihrem Namen: „Natürliche und künstliche Beleuchtung von Arbeitsstätten“.

Beide Regelwerke besiegeln, was schon länger anerkannt ist: Künstliches Licht und Tageslicht ergänzen einander, sind bei der Innenraumbeleuchtung keine Konkurrenten. Zentrale Ziele dieser Kombination lauten: Energie sparen und Lichtqualität erhöhen. Der Anteil der Energie für Beleuchtungszwecke am Gesamtenergieverbrauch in Deutschland beträgt zwar nur elf Prozent, doch auch jede beim künstlichen Licht sinnvoll eingesparte Kilowattstunde verringert den Ausstoß von Kohlendioxid (CO₂).

Licht für die Menschen

Energie sparen ist wichtig. Doch darf die Beleuchtungsqualität nicht unter Sparmaßnahmen leiden. Grundsätzlich verbessert der aufeinander abgestimmte Einsatz von künstlichem Licht und Tageslicht die Beleuchtungsqualität. Zugleich gelten für beide Partner die Güteermere der Beleuchtung (siehe Seite 10). Denn das Licht wird für die Menschen geplant, wann und wo sie es brauchen: Nicht nur in der Arbeitswelt soll es bedarfsgerecht sein, hohe Ansprüche an die visuelle Ergonomie erfüllen, das Wohlbefinden fördern und die Gesundheit erhalten.

Der Energieausweis

Bauherren nutzen diese Energiespar-Technik. Doch nicht alle haben sich bisher von den relativ kurzen Amortisationszeiten der höheren Investition in bessere Technik überzeugen lassen. Das wird sich ändern, weil seit 1. Oktober 2007 der Energieausweis den

Gesamtenergiebedarf eines Hauses bilanziert, für Nicht-Wohngebäude also auch den Energiebedarf für die Beleuchtung. Dies belegen unter anderem die Erfahrungen mit den vor der aktuellen Energieeinsparverordnung, der EnEV 2007, geltenden Vorschriften.

Effizienzpotenziale

Das Effizienz- und damit das Einsparpotenzial moderner Beleuchtungstechnik ist hoch. Wie viel Energie einzelne Maßnahmen einsparen können, zeigt die Übersicht „Effizienzpotenziale moderner Technik“ in Vergleichen. Mit der bestmöglichen Ausgestaltung der Einzelmaßnahme werden die höchsten Einsparungen erreicht. Die Effizienz einer Beleuchtungsanlage steigt nochmals, wenn Einzelmaßnahmen kombiniert werden (siehe auch Seite 7).

[2] Jede Einzelmaßnahme (immer der zweite Balken) erzielt eine Mindestersparnis. Die Einsparung kann durch bestmögliche Ausgestaltung nochmals erhöht werden.

Tageslicht für Innenräume



3

Tageslicht variiert in Abhängigkeit von geografischer Lage, Wetter, Jahres- und Tageszeit. Doch die in Mitteleuropa durchschnittlich verfügbare Tageslichtmenge ist außer im Winter relativ hoch, von etwa 8 bis 17 Uhr ist in den meisten Räumen mit Fenstern und Oberlichtern häufig vorwiegende Tageslichtbeleuchtung möglich. Wichtig ist zu jeder Zeit auch die Sichtverbindung nach außen.

Tageslicht durch Fenster

Das durch seitliche Öffnungen einfallende Tageslicht gelangt nicht sehr weit in die Raumtiefe. Es erreicht bei Fensterhöhen von 1,50 bis 2,50 Meter (Unterkante mindestens 0,90 Meter über dem Fußboden) Flächen der Bezugsebene – zum Beispiel den Schreibtisch – in bis zu 3 Meter Raumtiefe sehr gut, bis zu 4,50 Meter noch gut und ab 6 Meter Abstand zum Fenster nicht mehr ausreichend.

Verschiedene Faktoren beeinflussen den Tageslichteinfall:

- > Licht dringt nur durch die freie Fensterfläche, es zählt also die Glasfläche ohne Rahmenanteile.
- > Wie viel Licht durchdringt und in welcher Qualität es im Inneren ankommt, hängt

auch vom Verglasungsmaterial ab. Tageslichttechniker empfehlen farbneutrale Verglasung (Lichtdurchlass im sichtbaren Spektrum zirka 65 bis 75 Prozent). Werden rote und infrarote Anteile des Strahlungsspektrums unterschiedlich absorbiert oder reflektiert – zum Beispiel durch eine Sonnenschutzverglasung – vertrübt der Himmel, und die Objekte drinnen erscheinen farblich verändert, was zu erhöhter Unfallgefahr und subjektiv empfundener Störung, somit zu verminderter Leistungsfähigkeit und Ermüdung führt.

- > An der Nord- und Ostseite eines Gebäudes steht weniger direktes Licht zur Verfügung. Dafür ist es blendfreier und weniger wärmeintensiv.
- > Große, dicht bewachsene Bäume oder Nachbarbauten verringern ebenfalls den Tageslichteinfall.
- > Verspiegelte Fassaden in der Nachbarschaft können störende Blendung erzeugen, auch im Norden des Gebäudes.

Tageslicht durch Oberlichter

Räume direkt unterm Dach und eingeschossige Hallen öffnen sich für Tageslichtbeleuchtung, wenn Dachoberlichter eingebaut werden. Sie lenken viel mehr Tageslicht in den

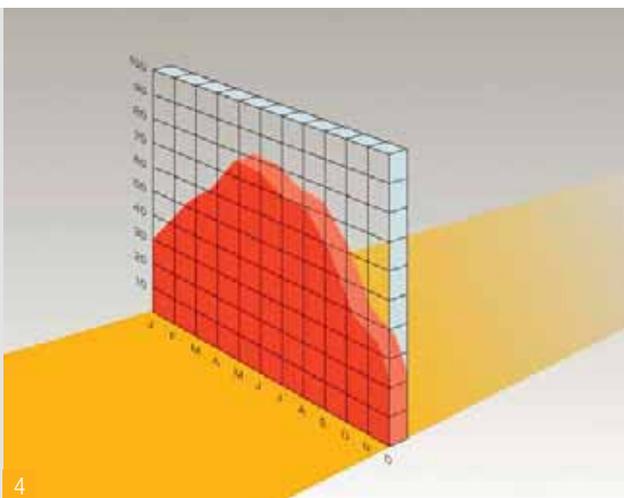
Raum als Fenster. Deshalb genügen kleinere Öffnungen. Das belegt die Berechnung der horizontalen Beleuchtungsstärke an einem Arbeitsplatz mit Schreibtisch: So bräuchte ein Schreibtisch – bei gleicher Entfernung zu Oberlicht und Seitenfenster – für dieselbe mit Tageslicht erzeugte horizontale Beleuchtungsstärke ein Seitenfenster, das fünfeneinhalb Mal größer ist als das Oberlicht.

Ja nach Lage, Einzelgröße und Anzahl der Dachoberlichter wirkt das einfallende Tageslicht im Innenraum unterschiedlich. Üblicherweise werden Lichtkuppeln und Lichtbänder eingesetzt, häufig auch in Kombination: großformatige Lichtbänder zum Beispiel über den Längslinien einer Fertigung und den Verkehrswegen, einzelne Lichtkuppeln über den Zwischenflächen.

Wie viele Oberlichter für übliche Nutzungen wie Leseaufgaben oder handwerkliches Arbeiten bei überwiegender Tageslichtbeleuchtung mindestens gebraucht werden, zeigt die Tabelle „Mindestanzahl von Dachlichtöffnungen“ in Abhängigkeit von Raumhöhe und Grundfläche. Für die gute Versorgung mit Tageslicht müssen die Oberlichter in der Summe mindestens eine bestimmte Größe haben, die als Anteil der gesamten Dachfläche angegeben wird.

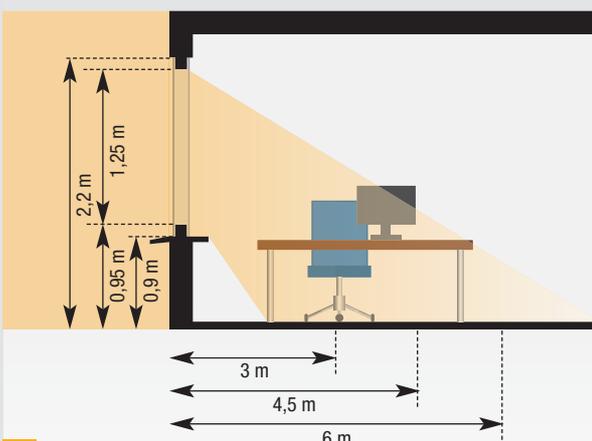
Tageslicht variiert in Abhängigkeit von geografischer Lage, Wetter, Jahres- und Tageszeit, Verbauung sowie dem Einsatz von Blendschutzmaßnahmen. Doch die in Mitteleuropa durchschnittlich verfügbare Tageslichtmenge ist immer relativ hoch.

Die Abbildung zeigt die potenziellen Tageslichtbeiträge von Januar bis Dezember für ein Standardbüro.



4

Beispiel für die Tageslichtversorgung in Abhängigkeit von der Raumtiefe (Quelle: BGR 131-2):
 < 3 m = sehr gute Tageslichtversorgung
 < 4,5 m = noch gute Tageslichtversorgung
 < 6 m = noch ausreichende Tageslichtversorgung
 > 6 m = keine ausreichende Tageslichtversorgung



5

Licht zum Nulltarif?

Natürliches Licht steht kostenlos zur Verfügung. Doch ganz zum Nulltarif gibt es das Tageslicht in Innenräumen nicht, denn alle baulichen Voraussetzungen dafür kosten Geld. Außerdem sind häufig zusätzliche Maßnahmen zum Wärme- und zum Blendschutz notwendig. Und schließlich ist die „intelligente“ Beleuchtung, die die Anteile des künstlichen Lichts auf das verfügbare Tageslicht abstimmt, in den Anschaffungskosten etwas teurer als Beleuchtungsanlagen ohne Lichtmanagement – eine Investition, die sich jedoch schnell amortisiert.



6



7



8

Mindestanzahl von Dachlichtöffnungen

Raumhöhe	mindestens 1 Dachlichtöffnung pro	Fläche der Dachlichtöffnung	
		1/10	1/5
bis 4 m	30 m ²	3 m ²	6 m ²
bis 6 m	50 m ²	5 m ²	10 m ²
bis 8 m	80 m ²	8 m ²	16 m ²
über 8 m	100 m ²	10 m ²	20 m ²

[3] Dachoberlichter lenken viel mehr Tageslicht in den Raum als Fenster.

[6] Morgens sind die Jalousien offen, das fensternahe Lichtband ist abgeschaltet.

[7] Mittags schützt die Jalousie vor Besonnung, weshalb im Raum mehr Kunstlicht benötigt wird.

[8] Abends und nachts muss die Beleuchtung ihre volle Leistung erbringen.

[Tabelle] Für die gute Versorgung mit Tageslicht müssen die Oberlichter in der Summe mindestens eine bestimmte Größe haben, die als Anteil der gesamten Dachfläche angegeben wird.



Energieeffizient beleuchten

9

Künstliches Licht selbst arbeitet effizient, wenn Leuchten mit optimierter Lichtlenkung und verbesserten Wirkungsgraden, Lampen mit hoher Lichtausbeute und elektronische Vorschaltgeräte (EVG) anwendungsgerecht eingesetzt werden. Mit Lichtmanagement kann die dank dieser modernen Technik erreichte Energieeinsparung nochmals gesteigert werden.

Den höchsten Einspareffekt schließlich bietet die Nutzung des im Raum zur Verfügung stehenden Tageslichts: Die künstliche Beleuchtung wird nur dann zugeschaltet oder langsam stufenlos hinzugeregt, wenn das Tageslicht nicht ausreicht. Wenn der Tageslichteinfall für das Sehen auch im Arbeitsbereich genügt, kann die Beleuchtungsanlage auch komplett abgeschaltet werden. Je weniger das künstliche Licht in Anspruch genommen wird, umso höher sind die Energie- und damit die CO₂-Einsparung.

Lichtmanagement

Um immer eine qualitativ gute, nutzerorientierte und anwendungsgerechte Beleuchtung sicherzustellen, ist es sinnvoll, dieses Miteinander von Tageslicht und Kunstlicht mit Lichtmanagement zu automatisieren. Die Regelung des Beleuchtungsniveaus in Abhängigkeit vom Tageslicht wird umgesetzt durch Dimmen und/oder Teilabschaltungen

- > über Lichtsensoren an einzelnen Arbeitsplatzleuchten,
- > über Lichtsensoren im Raum,
- > über Außenlichtsensoren.

Sind Bewegungsmelder in das Lichtmanagement integriert, ist eine Präsenzkontrolle möglich: In Abhängigkeit von der Anwesenheit schaltet sich die Beleuchtung sofort ein und zeitversetzt aus.

Tageslichtabhängige Regelung

Üblicherweise werden tageslichtabhängige Regelungen ausgelegt als Summe aus Tageslichtanteil und geregelter künstlicher Licht für ein konstantes Beleuchtungsniveau im ganzen Raum (siehe Abb. 11). So bleibt die gewünschte Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche durch Zugabe oder Rück-

nahme des künstlichen Lichts in etwa gleich, auch wenn sich der Tageslichtanteil ändert. Das heißt: Bei großer Außenhelligkeit wird die künstliche Beleuchtung zurückgenommen, bei wenig Tageslicht am Morgen, am Abend oder in den Wintermonaten wird ihr Niveau entsprechend angehoben.

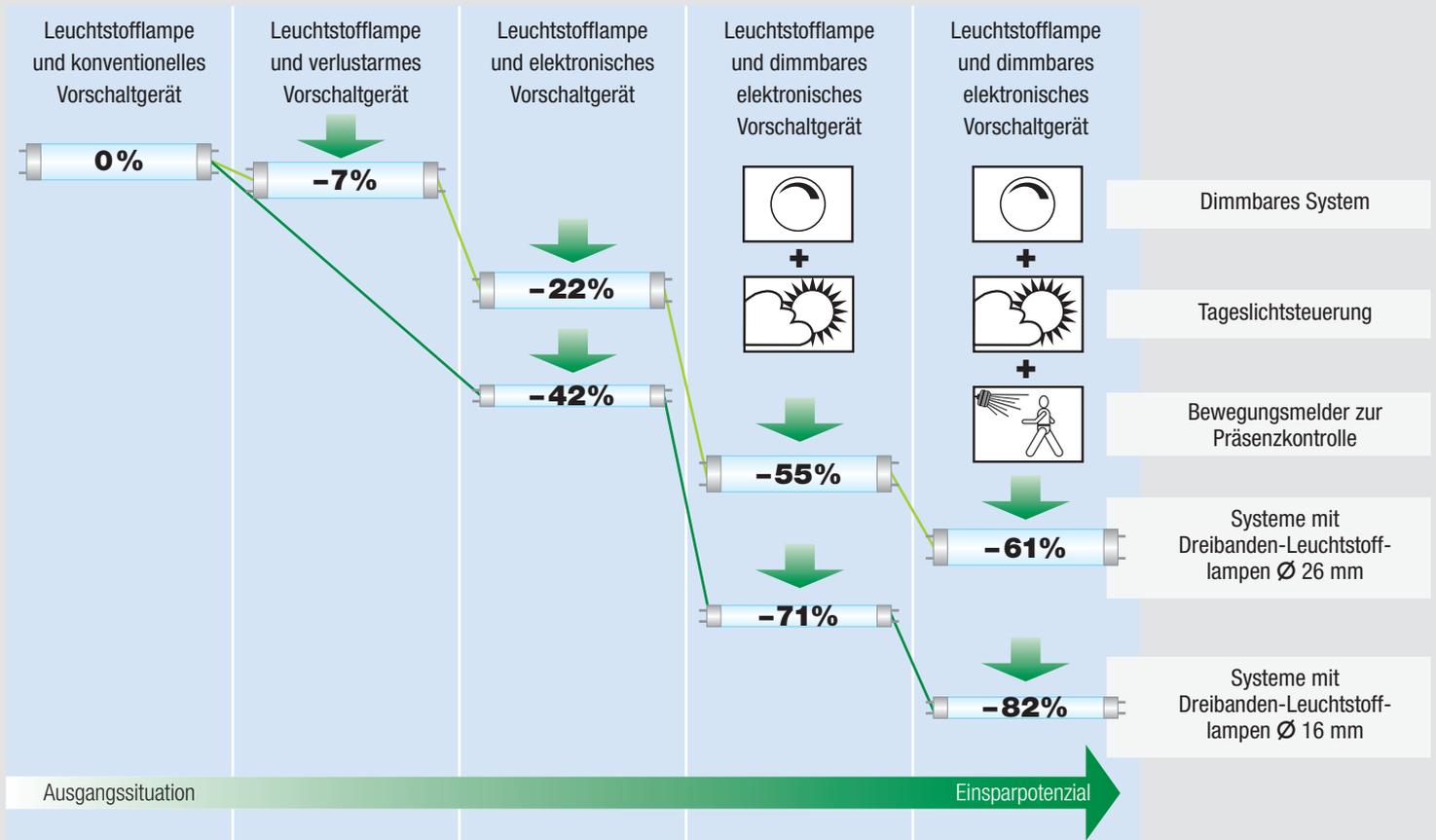
Leuchten mit großer Distanz zur Fensterfront müssen im Verhältnis zu dem in der Raumtiefe abnehmenden Tageslichtanteil (siehe Seiten 4/5) mehr künstliches Licht abgeben als Leuchten direkt am Fenster. Für Sehaufgaben, die mehr Licht benötigen, sollte sich der Sollwert mit einem Handsteuergerät variieren lassen.

Unterschiedliche Ausbaustufen

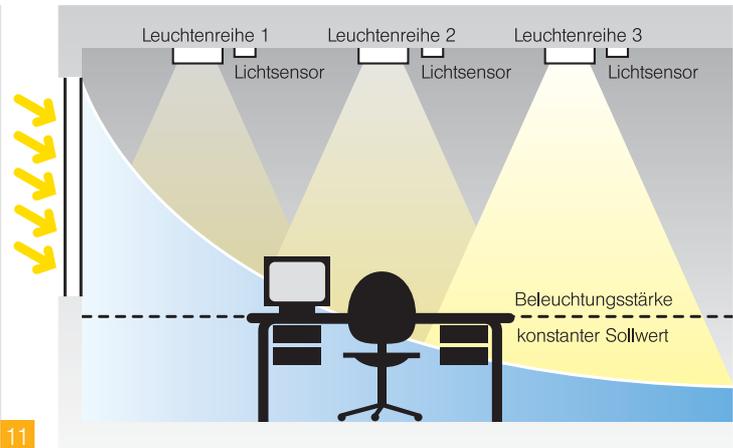
Tageslichtabhängige Regelungen werden in unterschiedlichen Ausbaustufen realisiert: Die Möglichkeiten reichen von der einfachen Regelung einzelner Leuchten über die Regelung von Leuchtengruppen in einem System bis zur Einbindung der gesamten Beleuchtung in die Gebäudesystemtechnik.

Komponenten dieser Lichtregelung sind dimmbare EVG und Signalverstärker mit Lichtsensoren. Jeder Leuchte oder Leuch-

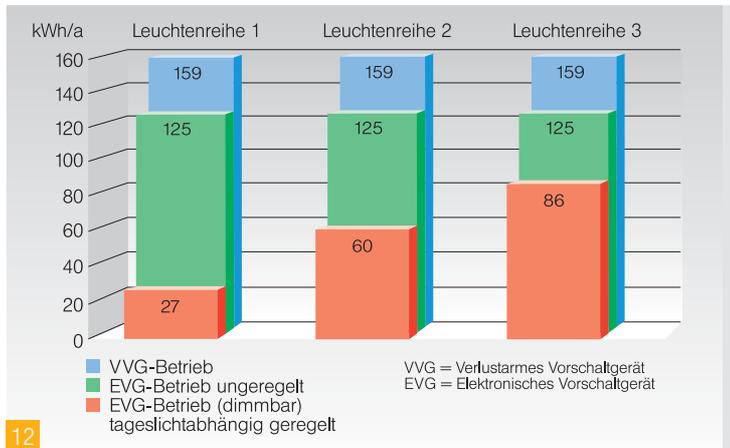
Meilensteine zur Energieeinsparung mit moderner Beleuchtung



10



11



12

tengruppe (bezogen auf Raumzonen) zugeordnet, erfasst ein Sensor die aktuelle Lichtmenge im Innenraum (oder im Außenraum) und regelt das künstliche Licht automatisch auf das vorab eingestellte Niveau. Dieses Regelsystem lässt sich auch mit Außenlichtsensoren realisieren, die an geeigneter Stelle installiert sind.

Die tageslichtabhängig geregelte Beleuchtungsanlage spart Energie, weil sie nicht durchgängig ihre ganze Leistung erbringen muss, um das erforderliche Beleuchtungsniveau zu erreichen. Je häufiger sie also ausgeschaltet bleiben oder gedimmt arbeiten kann, umso mehr Energie wird gespart.

Gedimmte Anlagen haben ein deutlich höheres Einsparpotenzial als Schwellenwert-Anlagen, die bei einem Schwellenwert der vom Tageslicht erzeugten Beleuchtungsstärke von zum Beispiel „unter 200 Lux“ sofort die komplette künstliche Beleuchtung einschalten.

Einsparung und hohe Akzeptanz bei den Nutzern vereinen sich, wenn das Licht zwar automatisch gedimmt wird, bei Bedarf aber händisch zugeschaltet werden muss. Allgemein erhöht sich die Akzeptanz enorm, wenn bei einer geregelten Anlage individuelle Veränderungen möglich sind.

[9] Es ist sinnvoll, das Miteinander von Tages- und Kunstlicht mit Lichtmanagement zu automatisieren.

[11] Tageslichtabhängige Regelung als Summe aus Tageslichtanteil und regeltem künstlichen Licht

[12] Vergleich des jährlichen Energieverbrauchs der künstlichen Beleuchtung eines typischen Büroraumes mit drei Leuchtenreihen (siehe auch Abbildung 11)



13

Grundlagen der Berechnung

Die wichtigsten lichttechnischen Normen zur Planung der Beleuchtung mit Tageslicht sind die Normenreihe DIN 5034 „Tageslicht in Innenräumen“ und DIN EN 12464-1 „Beleuchtung von Arbeitsstätten“. Auf die Sicherheit der Beschäftigten und den Gesundheitsschutz fokussieren die Berufsgenossenschaftlichen Regeln BGR 131. Als weitere Planungsvorgabe gelten nun zusätzlich die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2007 zusammen mit der Vornorm (V) DIN V 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung“.

Neue Norm: DIN V 18599

DIN V 18599 beschreibt in zehn Teilen Methoden zur Ermittlung des monatlichen und jährlichen Gesamtenergiebedarfs von Gebäuden. Teil 4 behandelt die Beleuchtung mit künstlichem Licht und Tageslicht. Inzwischen wurden Leitfäden zu den Berechnungsabläufen veröffentlicht, auch Software ist verfügbar. Bewertet werden können die elektrische Leistung von Beleuchtungslösungen sowie die Einflüsse und Auswirkungen der Tageslichtversorgung, siehe „Relevante Verfahrensparameter nach DIN V 18599-4“.

Der Tageslichtquotient

Die zentrale Größe zur Ermittlung des zur Verfügung stehenden Tageslichts ist der Tageslichtquotient D . Per Definition ist er das Maß für das Beleuchtungsniveau in einem mit Tageslicht beleuchteten Innenraum an einem Punkt einer gegebenen Fläche, die durch direktes und/oder indirektes Himmelslicht erzeugt wird. Der Quotient setzt sich zusammen aus dem direkt vom Himmel erzeugten Himmelslichtanteil, dem durch Reflexion an benachbarter Verbauung erzeugten Außenreflexionsanteil und dem durch Reflexion an den Innenraumflächen erzeugten Innenreflexionsanteil.

Stören keine Nachbarbauten, entfällt der Außenreflexionsanteil bei der Berechnung des Tageslichtquotienten für Oberlichter. Für Dachoberlichter sollte der mittlere Tageslichtquotient in der Nutzebene 0,85 Meter über dem Boden mindestens 4 Prozent und höchstens 10 Prozent betragen.

Verfahren nach DIN V 18599-4

DIN V 18599-4 enthält zwei Verfahren zur Berechnung des jährlichen Endenergiebedarfs: für vertikale Fassaden, also Fenster

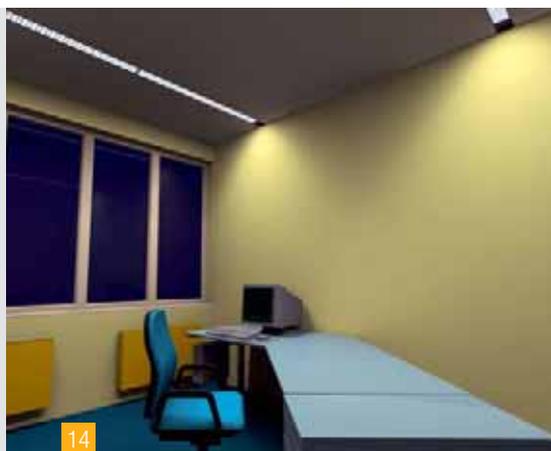
oder verglaste Fassaden, und für Dachoberlichter. Grundsätzlich haben die Berechnungen denselben Ablauf: Einstufung der Tageslichtversorgung aufgrund der (geplanten) baulichen Gegebenheiten auf der Basis des Tageslichtquotienten D und anschließende Korrelation mit dem Einsparpotenzial an Beleuchtungsenergie.

Stufe 1: Zunächst wird der Tageslichtquotient D ausschließlich auf Grundlage geometrischer Daten berechnet, also unabhängig vom Standort des Gebäudes und damit unabhängig von Lage und Klima. Er dient dann zur Klassifizierung der Tageslichtversorgung („viel“, „mittel“, „wenig“, „keine“).

Stufe 2: Die auf diese Weise ermittelte Tageslichtversorgung wird mit monatlichen oder jährlichen Energiebedarfswerten für Beleuchtungszwecke korreliert. Jetzt fließen weitere Größen in die Berechnung ein wie geografische Daten (Lage, Klima) sowie Angaben zur Beleuchtungsanlage für künstliches Licht. Daraus ergibt sich auch die wahrscheinliche Einschaltdauer der tageslichtabhängig geregelten Beleuchtung.

[13] In der Beispielrechnung für ein derartiges Einzelbüro führt die Tageslichtnutzung zu 35 bis 50 Prozent Energieeinsparung.

Relevante Verfahrensparameter nach DIN V 18599-4



14

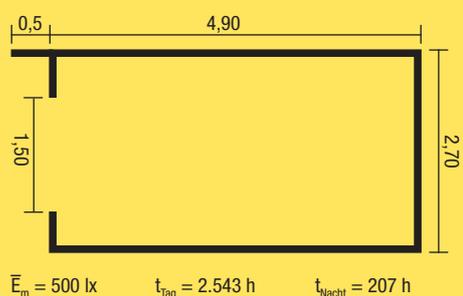
Einzelbüro 3.2.1 aus DIN V 18599-4



15

Einzelbüro 3.2.2 aus DIN V 18599-4

17



16

Ergebnisse

Ausstattung des Gebäudes	ohne Tageslicht	mit Tageslicht, 25 % Rahmen, ohne Präsenzkontrolle	mit Tageslicht, 25 % Rahmen, mit Präsenzkontrolle
Energieverbrauch	100 %	62,6 % (-37,4 %)	52,7 % (-47,3 %)

Beispielrechnung Einzelbüro

Die wichtigsten Parameter der Berechnung nach der Methodik von DIN V 18599-4 nennt dieses licht.forum: für das Einzelbüro (Beispiele 3.2.1 und 3.2.2 in der Norm), Tageslicht durch Fassade; die vollständige Berechnung des End- und Primärenergiebedarfs für die Beleuchtung dieser Einzelbüros kann als Sonderveröffentlichung (PDF-Datei) unter Angabe der Kennziffer 53/18599 bei licht.de bestellt werden, E-Mail licht.de@zvei.org.

Bauliche Situation

Baumaße: Raumtiefe $a_R = 4,90 \text{ m}$; Raumbreite $b_R = 3,20 \text{ m}$; Raumhöhe $h_R' = 2,70 \text{ m}$

Fenstersituation

Rohbauöffnung:
 $A_{\text{Rb}} = 3,00 \text{ m} \cdot 1,50 \text{ m} = 4,50 \text{ m}^2$
 Sturzhöhe: $h_{\text{st}} = 2,40 \text{ m}$

Fassadensituation

Südfassade, Geschossdecke krägt 0,50 m aus.

Verbauung

Gegenüber steht ein Gebäude, dessen Dachoberkante unter einem Winkel von 15° zur Fenstermitte erscheint.

Nutzung

Höhe der Nutzebene: $h_{\text{Ne}} = 0,75 \text{ m}$
 Wertungswert der Beleuchtungsstärke:
 $\bar{E}_m = 500 \text{ lx}$,
 Nutzungszeit: $t_{\text{tag,n}} = 2.543 \text{ h}$, $t_{\text{nacht}} = 207 \text{ h}$

Ergebnisse

Die Berechnung der effektiven Zeiten, zu denen Tageslicht für die Beleuchtung zur Verfügung steht, führt zu den in der Tabelle oben erfassten Ergebnissen.

Das bedeutet: Der Energiebedarf für die künstliche Beleuchtung kann um über 35 Prozent oder sogar um fast 50 Prozent gesenkt werden.

Gütemerkmale guter Beleuchtung

Beleuchtungsqualität lässt sich an der Einhaltung einzelner Gütemerkmale festmachen. Diese sind nach DIN EN 12464-1:

- > Beleuchtungsstärke,
- > Leuchtdichteverteilung (Helligkeitsverteilung),
- > Begrenzung der Blendung (Direkt- und Reflexblendung),
- > Lichtrichtung und Schattigkeit,
- > Lichtfarbe und Farbwiedergabe,
- > kein Flimmern und
- > die Einbeziehung von Tageslicht.

Sehkomfort steht an erster Stelle der Beleuchtungsziele von DIN EN 12464-1. Er soll den arbeitenden Menschen Wohlbefinden vermitteln und kann damit zur Leistungssteigerung beitragen.

Sehleistung ist das zweite gleichwertige Ziel. Sie soll es ermöglichen, auch schwierige Sehaufgaben über längere Zeit erbringen zu können.

Sicherheit wird von DIN EN 12464-1 als drittes Ziel angeführt. Aus lichttechnischer Sicht sind die Anforderungen an die Sicherheit (sicheres Erkennen) am Arbeitsplatz gegeben, wenn die Vorgaben für Sehkomfort und Sehleistung erfüllt sind. Sicherheit im Sinne von Arbeits- und Gesundheitsschutz formulieren zusätzlich berufsgenossenschaftliche Vorschriften wie die BGR 131.

Nutzerorientiert und bedarfsgerecht

Die Vorgaben von DIN EN 12464-1 gelten für den Bereich der Sehaufgabe und seine unmittelbare Umgebung. Derart zonierte Beleuchtung ist nutzerorientiert. Auch die Forderung nach Flexibilität von Beleuchtungsanlagen und einzelner Leuchten zählt zur Beleuchtungsqualität: Jeder Einzelne soll sich das Licht am Arbeitsplatz bedarfsgerecht seinen individuellen Bedürfnissen entsprechend einrichten können.

Ein weiterer Aspekt der Beleuchtungsqualität nach DIN EN 12464-1 ist die forcierte Einbeziehung des Tageslichts in ein Beleuchtungskonzept. Die Gründe:

- > Das Tageslicht und seine Dynamik beeinflussen den natürlichen biologischen Rhythmus (circadianer Rhythmus).
- > Tageslichtbeleuchtung und tageslichtabhängig geregelte Beleuchtung sparen Energie, weil die künstliche Beleuchtung nicht durchgängig bei voller Leistung eingeschaltet ist.

Energieeffiziente Lichterzeugung

Zur Qualität einer Beleuchtungsanlage zählt auch ihre Wirtschaftlichkeit: Unter der Vorgabe, „keinen Kompromiss zu Lasten der lichttechnischen Gütemerkmale ... einzugehen, nur um den Energieverbrauch zu senken“ (DIN EN 12464-1, Ziffer 4.9), soll das künstliche Licht möglichst energieeffizient erzeugt und eingesetzt werden.

Kurz erklärt

Beleuchtungsstärke

Wie schnell, sicher und leicht etwas erkannt wird, hängt wesentlich von der Beleuchtungsstärke (in Lux) ab. Sie gibt den Lichtstrom an, der von einer Lichtquelle auf eine bestimmte Fläche trifft: Bei 1 Lux Beleuchtungsstärke leuchtet der Lichtstrom von 1 Lumen 1 Quadratmeter Fläche gleichmäßig aus. Beispiel: Eine normale Kerzenflamme erzeugt im Abstand von 1 Meter zirka 1 Lux. Gemessen wird auf horizontalen und vertikalen Flächen.

Die gleichmäßige Verteilung der Helligkeit erleichtert das Sehen. Die Gleichmäßigkeit ist das Verhältnis der kleinsten zur mittleren Beleuchtungsstärke und sollte im Bereich der Sehaufgabe mindestens 0,7 betragen.

Leuchtdichteverteilung

Die Leuchtdichteverteilung (Helligkeitsverteilung) im Gesichtsfeld beeinflusst Sehleistung und Sehkomfort. Die Leuchtdichte ist das Maß für den Helligkeitseindruck, den das

Auge von einer leuchtenden oder beleuchteten Fläche hat. Sie wird gemessen in Candela pro Flächeneinheit (cd/m^2 , cd/cm^2). Der Reflexionsgrad von Oberflächen und die auftreffende Beleuchtungsstärke bestimmen deren Leuchtdichte.

Blendung

Blendung kann direkt von Leuchten oder anderen Flächen mit zu hoher Leuchtdichte – auch Fenstern – ausgehen (Direktblendung). Oder sie wird von Reflexen verursacht, die durch Spiegelung auf glänzenden Oberflächen entstehen (Reflexblendung). Direkt wie Reflexblendung vermindern den Sehkomfort (psychologische Blendung) und setzen die Sehleistung (physiologische Blendung) herab.

Lichtrichtung und Schattigkeit

Form und Oberflächen im Raum sollen deutlich (Sehleistung) und auf angenehme Weise (Sehkomfort) erkennbar sein. Das erfordert ausgewogene Schatten mit weichen Rän-

dern. Beeinflusst wird die Schattenbildung von der Lichtrichtung, also von der Verteilung und Anordnung der Leuchten, Fenster und Oberlichter im Raum.

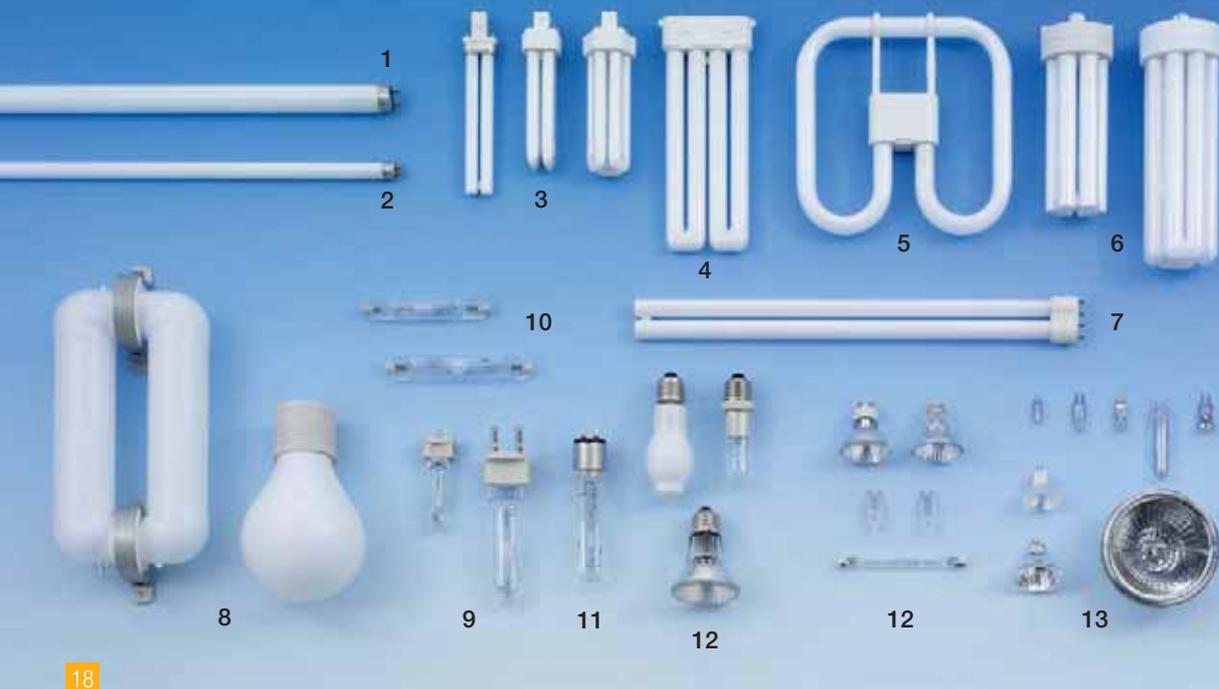
Lichtfarbe

Die Lichtfarbe beschreibt die Eigenfarbe des abgestrahlten Lichts einer Lampe oder des Tageslichts. Während die Lichtfarben der Lampen – Warmweiß, Neutralweiß, Tageslichtweiß – aufgrund der bekannten Farbtemperatur (in Kelvin) feststeht, verändert sich die Lichtfarbe des Tageslichts entsprechend seiner Dynamik.

Farbwiedergabe

Künstliche Lichtquellen werden mit dem Farbwiedergabe-Index R_a bewertet, der von häufig vorkommenden Testfarben abgeleitet ist. $R_a = 100$ steht für den besten Wert; je niedriger der Index, umso schlechter sind die Farbwiedergabeeigenschaften. Die allerbeste Farbwiedergabe erzielt unerreicht das Tageslicht.

Elektronik vorgeschaltet



[18] Dreibanden-Leuchtstofflampen **1** Ø 26 mm und **2** Ø 16 mm; Kompaktleuchtstofflampen **3** mit einem, zwei oder drei Röhren, **4** mit vier Röhren, **5** in quadratischer Bauform, **6** mit höherer Leistung, **7** in gestreckter Bauform; **8** Induktionslampen ringförmig und kolbenförmig; Halogen-Metaldampflampen **9** einseitig und **10** zweiseitig gesockelt; **11** Natriumdampf-Hochdrucklampe; **12** Halogenlampen für Netzspannung (230 Volt); **13** Niedervolt-Halogenlampen (12 Volt)

18

Fast alle heute in der Innenraumbeleuchtung im Nicht-Wohnbereich eingesetzten Lampen erzeugen ihr Licht äußerst wirtschaftlich. Spitzenreiter bei der Lichtausbeute – sie beschreibt wie viel Licht (Lichtstrom in Lumen) aus der aufgenommenen elektrischen Energie (Leistung in Watt) erzeugt wird – ist die stabförmige Leuchtstofflampe Ø 16 mm (HE = High Efficiency) mit bis zu 104 Lumen/Watt.

Zum sparsamen Verbrauch trägt auch die vorgeschaltete Elektronik bei: elektronische Vorschaltgeräte (EVGs) für stabförmige Leuchtstofflampen, Kompaktleuchtstofflampen und Hochdruck-Entladungslampen. In nicht dimmbarer und vor allem in dimmbarer Ausführung sind EVGs außerdem die Voraussetzung für „intelligente“ Regelungen im Lichtmanagement.

Stabförmige Leuchtstofflampen

In Beleuchtungsanlagen für Bürogebäude und Fertigungshallen dominieren stabförmige und kompakte Leuchtstofflampen. Dreiband-Leuchtstofflampen Ø 26 mm können an EVGs betrieben werden, Ø 16 mm-Lampen setzen den EVG-Betrieb voraus. Beide haben eine lange Lebensdauer – an EVGs bis zu 20.000 Betriebsstunden –, bieten sehr gute Farbwiedergabeeigenschaften und die Auswahl unter einer Vielzahl von Lichtfarben.

Kompakte Leuchtstofflampen

Kompaktleuchtstofflampen arbeiten nach demselben Lichterzeugungsprinzip wie stabförmige. Sie sind einseitig gesockelt, haben auch sehr gute Farbwiedergabeeigenschaften und sind in vielen Lichtfarben erhältlich. Lampen für den Betrieb an EVGs und dimmbaren EVGs haben einen 4-Stift-Sockel.

Induktionslampen

Energieeffizienz bei einer Lebensdauer von 60.000 Betriebsstunden (< 12 Prozent Systemausfälle) sind die wichtigsten Kennzeichen der ring- und kolbenförmigen Induktionslampen. Beide arbeiten nach dem Prinzip der elektromagnetischen Induktion und der Gasentladung, sie haben keine verschleißbaren Komponenten wie Glühwendeln oder Elektroden.

Hochdruck-Entladungslampen

Halogen-Metaldampflampen vereinen kompakte Bauform, sehr hohe Lichtausbeute und gute Farbwiedergabeeigenschaften mit langer Lebensdauer zu lichtstromstarken und wirtschaftlichen Lichtquellen. Eine gleichwertige Alternative sind farbverbesserte kompakte Natriumdampf-Hochdrucklampen.

Viele Hochdruck-Entladungslampen können mit EVG betrieben werden.

Halogenlampen

Halogenlampen gibt es in zahlreichen Ausführungen für Netz- und Niedervoltspannung. Sie dominieren die Akzentbeleuchtung. Sie haben eine deutlich höhere Lichtausbeute als die Allgebrauchsglühlampe. Viele Halogenlampen sparen zudem Energie mithilfe der IRC-Technik (Infra Red Coating): Diese Beschichtung des Lampenkolbens reflektiert die von der Glühwendel abgegebene Wärmestrahlung zurück auf die Wendel und senkt so den Energieverbrauch um bis zu 30 Prozent.

Impressum

Herausgeber: licht.de – Fördergemeinschaft Gutes Licht, Lyoner Straße 9, 60528 Frankfurt am Main, www.licht.de, E-Mail: licht.de@zvei.org.

Redaktion und Realisation: rfw. agentur für kommunikation, Darmstadt.

Layout u. Grafik: Kugelstadt MedienDesign, Darmstadt.
Fotos: Christine Olma, Ingolstadt, für den FVLR (1 und 3); VBG Hamburg, www.vbg.de (14 und 15); Blitzwerk, Mühlthal (18); Werkfotos von licht.de-Mitgliedsunternehmen.

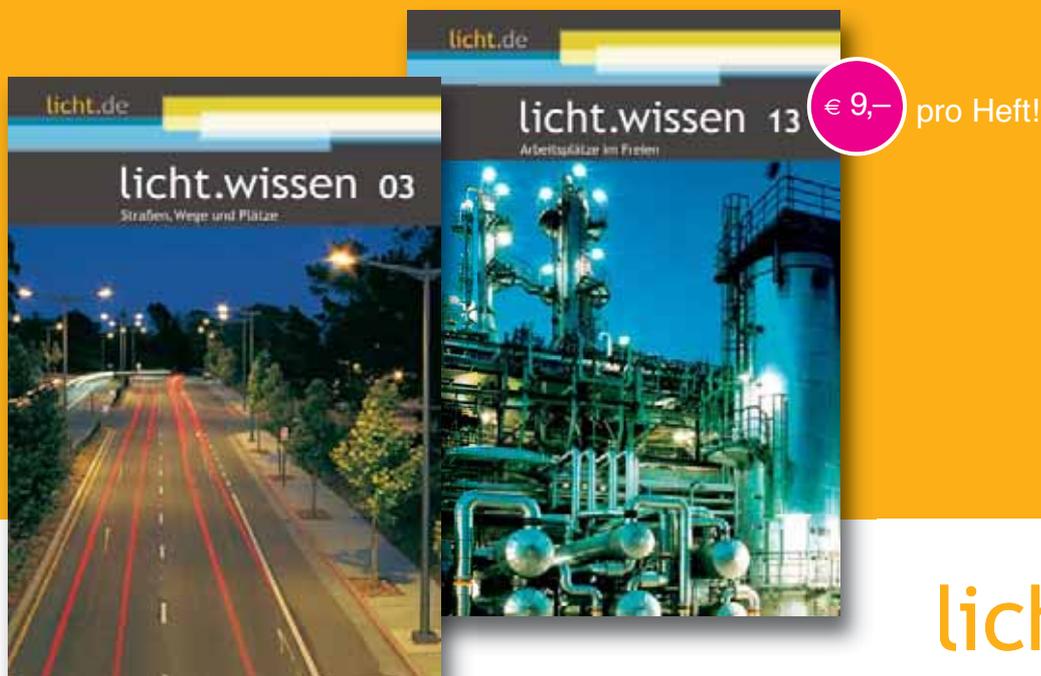
Druck: Druckhaus Haberbeck, 32791 Lage/Lippe 1/08-255

Die Mitgliedsunternehmen von licht.de

LEUCHTENHERSTELLER: GEBR. ALBERT · ANSORG · ARTEMIDE · A + G SCHRÉDER · BANKAMP · BAULMANN · BEGA · BÖHMER · BPS · BRUCK · BRUMBERG · B + M LEUCHTEN · CASABLANCA · CEAG NOTLICHT · COOPER CROUSE-HINDS · DERUNGS · DIGITALICHT · DOLIN · DURLUM · ELEKTRA · ERCO · ETAP · EUTRAC · FAGERHULT · ALOYS FISCHER · FLOS · GEWISS · GLAMOX · GLASHÜTTE LIMBURG · GROSSMANN · HELESTRA · HERNER GLAS · HESS FORM + LICHT · HIRT · HOFFMEISTER · HOLOPHANE · HOLTKÖTTER · IGUZZINI · INDAL · KAUFEL · KOTZOLT · KPM · LED2WORK · LEUCI · LICATEC · LICHTWERK · LITE-LICHT · LMT · LUXO · MAY & CHRISTE · MOONLIGHT · M. MÜLLER · NIERMANN · NOBILÉ · NORKA · OLIGO · PHILIPS · POPP · PRACHT · PRÄZISA · RADEMACHER · RECHLATERNEN · REIHER · REISS LIGHTING · RIDI · ROBERS · RSL RODUST · RUHSTRAT · RZB-LEUCHTEN · SCHMITZ · SCHUCH · SEMPERLUX · SILL · SIMON & SCHELLE · SIS-LICHT · SITECO · SONLUX · SPITTLER · R. STAHL · STENG LICHT · STG-BEIKIRCH · STRASSACKER · SYSTEMTECHNIK · T. D. LICHTTECHNIK · TECNOLIGHT · TRILUX · VULKAN · WALDMANN · WE-EF · WILA · DR. WILLING · Z-I-LICHTSYSTEME · ZUMTOBEL LICHT

BETRIEBSGERÄTEHERSTELLER: BAG · ECKERLE · ERC · HADLER · HELVAR · HÜCO · INSTA · LT ELEKTRONIK · OSRAM · PHILIPS LIGHTING · TRIDONICATCO · VLM · VOSSLOH SCHWABE · VS OPTOELECTRONIC

LAMPENHERSTELLER: AURA LIGHT · BLV · GE LIGHTING · G.L.E. · LEUCI · NARVA LICHTQUELLEN · OSRAM · PAULMANN · PHILIPS LIGHTING · RADIUM · SLI LICHTSYSTEME



Die licht.de-Schriftenreihe. Als Heft per Post oder als kostenfreie PDF-Datei (Download) unter www.licht.de.

- 01* Die Beleuchtung mit künstlichem Licht (2004)
- 02* Gutes Licht für Schulen und Bildungsstätten (2003)
- 03* Straßen, Wege und Plätze (2007)
- 04* Gutes Licht für Büros und Verwaltungsgebäude (2003)
- 05 Gutes Licht für Handwerk und Industrie (1999)
- 06* Gutes Licht für Verkauf und Präsentation (2002)
- 07* Gutes Licht im Gesundheitswesen (2004)
- 08* Gutes Licht für Sport und Freizeit (2001)
- 09 Repräsentative Lichtgestaltung (1997)
- 10 Notbeleuchtung, Sicherheitsbeleuchtung (2000)
- 11* Gutes Licht für Hotellerie und Gastronomie (2005)
- 12* Beleuchtungsqualität mit Elektronik (2003)
- 13* Arbeitsplätze im Freien (2007)
- 14 Ideen für Gutes Licht zum Wohnen (2000)
- 16* Stadtmarketing mit Licht (2002)
- 17* LED – Licht aus der Leuchtdiode (2005)
- 18* Gutes Licht für Museen, Galerien, Ausstellungen (2006)

* Auch in englischer Übersetzung (PDF-Datei) erhältlich.

licht.de

Fördergemeinschaft Gutes Licht
Lyoner Straße 9
60528 Frankfurt am Main
Tel. 069 6302-353
Fax 069 6302-400
licht.de@zvei.org
www.licht.de

in Kooperation mit dem

FVLR

FVLR Fachverband Tageslicht und
Rauchschutz e.V.
Ernst-Hilker-Straße 2
32758 Detmold
Tel. 05231 30959-0
Fax 05231 30959-29
info@fvlr.de
www.fvlr.de