

licht.wissen 05

Industrie und Handwerk



Freier Download auf
www.licht.de





Editorial

In Büro oder Labor, Produktionshalle oder Außenlager: Arbeitsplätze müssen zahlreiche Anforderungen im Hinblick auf Sicherheit und Gesundheit erfüllen. Gutes Licht ist hierfür eine grundlegende Voraussetzung. Es soll den Sehvorgang optimal unterstützen und die Beschäftigten vor Unfällen und Gesundheitsgefahren schützen. Licht kann aber noch viel mehr: Es beeinflusst auch physiologische Prozesse – wie z. B. die biologische Rhythmik – und somit die Leistungsfähigkeit und das psychische Befinden. Dabei gibt es kurzfristige und langfristige Effekte, welche die Konzentration, Leistungsfähigkeit und das Wohlbefinden unterstützen können. Für die Träger der gesetzlichen Unfallversicherungen und die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) ist die Beleuchtung von Arbeitsstätten deshalb ein wichtiger Faktor für die Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit.

Unter dem Stichwort „Human Centric Lighting“ (HCL) werden heute Beleuchtungsanlagen angeboten, die den Menschen und seine Bedürfnisse mehr denn je in den Mittelpunkt stellen. Dabei werden neben Arbeit und Leistung verstärkt Gesundheit und Wohlbefinden in den Fokus gerückt. Die Berücksichtigung aller Facetten der Beleuchtung soll die Voraussetzung für „gesunde Arbeitsplätze“ schaffen.

Die Anforderungen an die Beleuchtung von Arbeitsstätten sind in der Verordnung für Arbeitsstätten (ArbStättV) verankert und werden durch die Technische Regel für Arbeitsstätten „Beleuchtung“ (ASR A3.4) konkretisiert. Für die Planung und Ausführung von Beleuchtungsanlagen werden diese in relevanten Standards, wie die Normenreihe DIN EN 12464, sinnvoll ergänzt.

Anforderungen an die Beleuchtung sind in der Regel als Mindestwerte beschrieben, die bei der Arbeit einzuhalten sind. Mit dem Nachteil, dass diese oft zu alleinigen Planungsgrundlagen in der Praxis werden. Dabei bieten neue Technologien viele lohnende Ansätze für Optimierungen bei gleichzeitiger Energieeffizienz. Schriften der Unfallversicherungsträger, wie die DGUV Information 215-210 „Natürliche und künstliche Beleuchtung von Arbeitsstätten“, erläutern Zusammenhänge und helfen bei der Umsetzung.

Im vergangenen Jahrzehnt hat sich die Beleuchtungstechnik rasant verändert. Heute ersetzen effiziente LED-Chips herkömmliche Lampen – und im Zuge dieser Erfolgsgeschichte sind neue Steuerungsmöglichkeiten entwickelt worden, die nicht nur viel Energie sparen, sondern zugleich für höheren Lichtkomfort und mehr Flexibilität sorgen. Über den Einsatz von intelligenter Beleuchtungssteuerung mit Tageslichtsensoren berücksichtigen moderne Beleuchtungskonzepte die individuelle Umgebungssituation, wie zum Beispiel mehr Licht für ältere Arbeitnehmer oder höhere Beleuchtungsstärken für Arbeitsplätze mit hohen Sehanforderungen. Von diesem Fortschritt in der Lichttechnik profitieren Unternehmer und Arbeitnehmer gleichermaßen.

Das neue Heft licht.wissen 05 informiert umfassend über moderne Industriebeleuchtung und stellt viele Anwendungs- und Praxisbeispiele vor. All jenen, die für gutes Licht am Arbeitsplatz verantwortlich sind, wünsche ich eine ebenso kurzweilige wie lehrreiche Lektüre.

Dipl.-Ing. Geroald Soestmeyer

Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI)

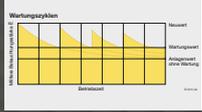
Leiter Sachgebiet Beleuchtung der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV)



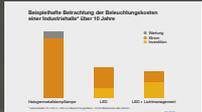
**Gutes Licht,
gutes Arbeiten**
Seite 6



Lichtqualität
Seite 10



Lichtplanung
Seite 14



**Lichtlösungen
mit bester
Effizienz**
Seite 16



**Smart buildings,
smart lightings**
Seite 20



**Umgebungs-
bedingungen**
Seite 22



**Anforderungen
an Qualität**
Seite 28



**Elektrotechnik
und Elektronik**
Seite 30



**Metallverarbeitung,
Maschinen- und
Anlagenbau**
Seite 32



Automobilbau
Seite 34



**Chemische
Industrie**
Seite 36



Licht-Spezial

Licht und Arbeitsschutz

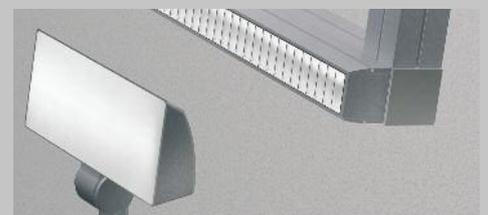
Seite 8

Sanierung mit System

Seite 18

Leuchten

Seite 24





**Labor und
Reinräume**
Seite 38



Schwerindustrie
Seite 40



**Kunststoff- und
Holzverarbeitung**
Seite 42



**Lager und
Logistik**
Seite 44



**Präzisions-
nahsehen**
Seite 46



Druck und Textil
Seite 48



**Lebensmittel-
verarbeitung**
Seite 50



**Kfz-Werkstatt
und Friseur**
Seite 52



Checklisten
Seite 56



**Schriftenreihe,
Impressum**
Seite 58



Lichtquellen

Seite 26

Not- und Sicherheitsbeleuchtung

Seite 54

EnEV

Seite 55



Gutes Licht, gutes Arbeiten

Eine moderne Beleuchtungsanlage mit hoher Effizienz spart viel Energie. Wichtiger aber noch ist die positive Wirkung einer hohen Lichtqualität auf den Menschen, denn Licht ist für viele physiologische Prozesse im Körper unersetzlich und trägt wesentlich zu Wohlbefinden, Gesundheit und Leistungskraft bei. Eine gute Beleuchtung lohnt deshalb nicht zuletzt an Industriearbeitsplätzen.

Im weltweiten Ranking der Produktionsstandorte liegt die Bundesrepublik auf dem dritten Platz – und daran soll sich nach einer Prognose der Unternehmensberatung Deloitte und ihrem „Global Manufacturing Competitiveness Index 2016“ auch in den nächsten Jahren nichts ändern. Die Industrie ist ein bedeutender Arbeitgeber: Mehr als 5,4 Millionen Menschen arbeiten nach Angaben des Statistischen Bundesamtes in Industrieunternehmen mit mehr als 50 Beschäftigten (Stand: April 2017). Hinzu kommt noch eine stattliche Anzahl von Mitarbeitern in Klein- und Handwerksbetrieben.

Mehr Qualität, weniger Kosten

Auch in Zeiten zunehmender Digitalisierung und Industrie 4.0 hängen gute Produktionsergebnisse in Industrie- und Fertigungsbetrieben wesentlich von der Leistungsbereitschaft der Mitarbeiter ab. Das richtige Licht gewinnt in diesem Zusammenhang mehr denn je an Bedeutung. Denn eine gut geplante Industriebeleuchtung mit intelligenter Lichtsteuerung und moderner LED-Technologie ist ein Werkzeug, das in hohem Maß zum wirtschaftlichen Erfolg im Unternehmen beiträgt. Moderne Beleuchtungsanlagen bieten

- **hohe Effizienz:** bis zu 80 % weniger Energiekosten und erhebliche Einsparungen in der Wartung;
- **mehr Produktivität:** Richtiges Licht erhöht die visuelle Leistungsfähigkeit, fördert die Konzentration, beugt Ermüdung und

Stress vor, erhält die Gesundheit und schützt vor Arbeitsunfällen;

- **mehr Flexibilität:** Gut geplante Beleuchtungsanlagen und Systeme, die ohne großen Aufwand erweitert werden können, passen sich neuen Arbeitsanforderungen einfach an;
- **hohe Zuverlässigkeit:** Professionelle Planung, hochwertige Komponenten, ein verlässliches Lichtmanagementsystem und langlebige LED-Leuchten steigern die Betriebssicherheit.

Ein Blick in zahlreiche Werkstätten und mittelständische Betriebe zeigt jedoch, dass noch immer viele Beleuchtungsanlagen veraltet sind. Sie verbrauchen zu viel Energie, entsprechen oft nicht mehr den aktuellen Normen – und bieten den Mitarbeitern häufig nur eine schlechte Beleuchtung am Arbeitsplatz – mit entsprechenden Konsequenzen.

Der Mensch im Mittelpunkt

Vom Holzverarbeitenden Kleinbetrieb über Labore und Lagerhallen bis zum Automobilbau: Die Anforderungen an die Industriebeleuchtung sind so vielschichtig wie die Arbeitsaufgaben und die Betriebsumgebungen. Die Arbeitsprozesse werden immer komplexer, und die Beleuchtung muss sich an die vielfältigen Sehaufgaben anpassen.

Normen geben Mindestwerte vor. Mehr Licht ist erlaubt – und in vielen Fällen besser.

Zahlreiche Untersuchungen belegen, dass die Zahl der Arbeitsunfälle mit Erhöhung der Beleuchtungsstärke signifikant sinkt.

Wichtige Beleuchtungsziele sind nach DIN EN 12464-1 „Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen“ Sehkomfort und Sehleistung. Sehleistung bedeutet, dass Sehaufgaben auch unter schwierigen Bedingungen und über längere Zeit erbracht werden können. Moderne Lichttechnik kann mehr: Sie bietet Lösungen, die Kosten reduzieren und zugleich eine hohe Lichtqualität für den Menschen garantieren. Dazu zählen energieeffiziente LED-Lichtquellen, optimierte Leuchtensysteme und ein leistungsstarkes Lichtmanagement, das die Beleuchtung nach Präsenz und Tageslicht steuert. Solche Systeme ermöglichen zum Beispiel eine individuelle Einstellung mit mehr Licht für ältere Mitarbeiter. Zugleich steigt die Flexibilität, weil die Beleuchtung bei einer Umwidmung der Arbeitsabläufe leichter angepasst werden kann.

Im Mittelpunkt der Lichtplanung steht stets der Mensch mit seinen visuellen, emotionalen und biologischen Bedürfnissen am Arbeitsplatz, am Tag und in der Nachtschicht. Human Centric Lighting unterstützt die Gesundheit und Leistungskraft der Mitarbeiter, sorgt für mehr Sicherheit in der Fertigung – und erhöht die Qualität in der Produktion.

Kurz: Besseres Licht für bessere Arbeit.

[02] Licht in Industrie und Handwerk: Bei der Planung einer Beleuchtungsanlage müssen viele Faktoren und Vorgaben beachtet werden. Eine enge Zusammenarbeit aller Beteiligten – professionelle Lichtplaner, Betreiber und Nutzer sowie Hersteller – führt zu maßgeschneiderten Lösungen für die jeweiligen Beleuchtungsaufgaben.

Beleuchtung am Arbeitsplatz: Einflussfaktoren und Akteure





03



04



05

Licht und Arbeitsschutz

Die richtige Beleuchtung von Arbeitsplätzen ist ein entscheidender Faktor für die Sicherheit und den Gesundheitsschutz von Arbeitnehmern. Unternehmer sind hier in der Pflicht: Beleuchtungsanlagen in Industrie und Handwerk müssen mindestens den relevanten Normen und Regeln entsprechen.

Gutes Licht am Arbeitsplatz ist eine wichtige Voraussetzung, um Unfälle am Arbeitsplatz zu vermeiden. Arbeitsschutz ist im weiteren Sinne aber auch Gesundheitsschutz. Denn nach Definition der Weltgesundheitsorganisation bedeutet Gesundheit nicht nur das Fehlen von klinischen Krankheiten, sondern umfasst auch die geistige und seelische Unversehrtheit sowie das allgemeine Wohlbefinden. In diesem Sinne geht Arbeitsschutz weit über Unfallverhütung hinaus.

Verbindliche Vorgaben für Arbeitsstätten und deren Beleuchtung gelten in ganz Europa. Nach der EU-Einzelrichtlinie für Arbeitsstätten (89/654/EWG)

- müssen Arbeitsstätten möglichst ausreichend Tageslicht erhalten und mit Einrichtungen für eine der Sicherheit und dem Gesundheitsschutz der Arbeitnehmer angemessenen künstlichen Beleuchtung ausgestattet sein;
- muss die Beleuchtung der Arbeitsräume und Verbindungswege so angebracht sein, dass aus der Art der Beleuchtung keine Unfallgefahr für die Arbeitnehmer entsteht;
- müssen Arbeitsstätten, in denen die Arbeitnehmer bei Ausfall der künstlichen Beleuchtung in besonderem Maße Gefahren ausgesetzt sind, über eine ausreichende Sicherheitsbeleuchtung verfügen.

Normen und Regeln

In Deutschland wurde diese EU-Richtlinie durch die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) umgesetzt, die zuletzt 2016 aktualisiert wurde. Im Zusammenspiel mit dem Arbeitsschutzgesetz (§§ 3 und 5) verpflichtet sie Arbeitgeber dazu, Arbeitsplätze so einzurichten, dass Beschäftigte keinen gesundheitlichen Schaden nehmen. Die allgemeinen Anforderungen der ArbStättV an die Beleuchtung werden in den Technischen Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.4 „Beleuchtung“ weiter konkretisiert.

„Arbeitsstätten müssen möglichst ausreichend Tageslicht erhalten und mit Einrichtungen für eine der Sicherheit und dem Gesundheitsschutz der Beschäftigten angemessenen künstlichen Beleuchtung ausgestattet sein.“

Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV, Anhang 3.4)

Bei der Lichtplanung empfiehlt es sich, neben der DIN EN 12464-1 als anerkannte Regel der Technik auch die ASR 3.4 zu beachten, um allen Anforderungen der Arbeitssicherheit und des Gesundheitsschutzes zu genügen. Beleuchtungsanlagen sind deshalb durch Fachkundige zu planen und zu installieren sowie instand zu halten.

DIN EN 12464-1 und ASR 3.4 nennen Mindestanforderungen. Deren Einhaltung bedeutet nicht zwingend, dass für bestimmte Sehaufgaben die optimale Beleuchtung erreicht wird. So ist bei bestimmten Tätigkeiten oder auch für ältere Mitarbeiter mehr Licht die bessere Wahl.

Gütemerkmale der Beleuchtung

Generell gilt eine Arbeitsstätte als gut beleuchtet, wenn:

- alle Arbeitsbereiche, Verkehrswege und Pausenräume ausreichend beleuchtet sind,
- in Arbeitsbereichen mit besonderen Sehaufgaben (z. B. sehr feine Montagearbeiten, Qualitätskontrolle, Büroarbeit) je nach Art der Tätigkeit Beleuchtungsstärken von 500 bis 1.500 Lux erreicht werden,
- die Helligkeit in den Räumen ausgewogen verteilt ist; Decke und Wände also möglichst hell sind,
- störende Blendung und Schatten vermieden werden,
- Lichtquellen mit geeigneter Lichtfarbe und guter Farbwiedergabe verwendet werden
- und Flimmerfreiheit herrscht.

Da sich bestehende Beleuchtungsanlagen im Verlauf der Zeit verändern, müssen Unternehmer regelmäßig im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung prüfen, ob die Anforderungen der ASR A3.4 noch eingehalten werden.

[03] Das Zusammenspiel von Tages- und Kunstlicht sorgt an diesem industriellen Arbeitsplatz dafür, dass die erforderlichen Sehaufgaben gut erfüllt werden können.

[04] Auch in Lagerbereichen sollte nach Möglichkeit Tageslicht vorhanden sein.

[05] Richtiges Licht trägt wesentlich zum Unternehmenserfolg bei. Eine gute Beleuchtung erleichtert Sehaufgaben, beugt Ermüdung vor, erhält die Gesundheit und schützt vor Arbeitsunfällen.



Weitere Infos geben der licht.de-„Leitfaden zur DIN EN 12464-1“ sowie die DGUV-Information 215-210: „Natürliche und künstliche Beleuchtung von Arbeitsstätten“ und die DGUV-Information 215-211: „Gesund und fit im Kleinbetrieb: Tageslicht am Arbeitsplatz – leistungsfördernd und gesund.“

Lichtqualität

Über 80 Prozent der Informationen erfasst der Mensch mit seinen Augen. Das bedeutet im Umkehrschluss: Schlechte Sehbedingungen behindern die Arbeit. Sie stören das Wohlbefinden, senken die Produktivität, führen zu Fehlern und Unfällen.

Das mühelose Bewältigen der Sehaufgaben bestimmt die ergonomische Qualität der Arbeitsplätze in Industrie und Handwerk. Gute Beleuchtung unterstützt die Arbeitsleistung, die Fehlerraten und die Unfallvermeidung positiv: Wer gut sehen kann und sich in angenehmer Raumatmosphäre wohlfühlt, ist motivierter, arbeitet konzentrierter und hat dadurch eine höhere Leistungsfähigkeit. Die Arbeitsqualität steigt, die Zahl der Fehler nimmt messbar ab. Ebenso sinkt die Unfallgefahr. Beleuchtung hat damit auch eine langfristig gesundheitsfördernde Wirkung.

Individuelle Lösungen für die Industrie

Anders als etwa in der Bürobeleuchtung sind die Sehanforderungen an Industriearbeitsplätzen sehr unterschiedlich. Und mitunter stehen die jeweils besten Lösungen für Mitarbeiter einerseits und Arbeitsprozesse andererseits im Widerspruch: So ist das in Gewächshäusern eingesetzte gelbe Licht zwar gut für das Pflanzenwachstum, aber nicht für den Menschen.

Pauschallösungen gibt es in der Industriebeleuchtung deshalb nicht; die Beleuchtungsplanung muss individuell auf den Raum und die jeweiligen Arbeitsprozesse abgestimmt werden. Beleuchtungsqualität bedeutet heute auch, Mitarbeiter bei monotonen Arbeitsabläufen, in Bereichen ohne und mit nur wenig Tageslicht sowie im Schichtbetrieb mit dem richtigen Licht zu unterstützen und ebenso für die zunehmende Zahl älterer Mitarbeiter ideale Sehbedingungen zu schaffen (s. a. Seite 12). Kann das Beleuchtungssystem modifiziert und erweitert werden, bleibt es flexibel für neue Anforderungen.

Beleuchtung nach DIN EN 12464-1

Vorgaben für die „Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen“ gibt DIN EN 12464 Teil 1. Diese zentrale Beleuchtungsnorm nennt für alle lichttechnischen Gütemerkmale Mindestwerte. In der Summe unter-

stützen die Gütemerkmale eine ergonomische Beleuchtung, bei der Störungen, wie z. B. Blendung, minimiert sind. Es genügt dabei nicht, eine Beleuchtungsanlage nach nur einem Merkmal – etwa der Beleuchtungsstärke – auszulegen.

Human Centric Lighting (HCL)

Licht wirkt vielfältig und immer – visuell, emotional und biologisch. Human Centric Lighting (HCL) unterstützt zielgerichtet und langfristig die Gesundheit, das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit des Menschen durch ganzheitliche Planung und Umsetzung der visuellen, emotionalen und der biologischen Wirkungen des Lichtes.

Visuelle Lichtwirkung

Das Beleuchtungsniveau und dessen Gleichmäßigkeit – resultierend aus den Beleuchtungsstärken im Raum – sowie die Güte der Blendungsbegrenzung beeinflussen maßgeblich, wie genau und wie schnell Sehaufgaben gelöst werden können.

Emotionale Lichtwirkung

Sehkomfort entsteht durch eine harmonische Helligkeitsverteilung auf vertikalen und horizontalen Flächen, eine gute Farbwiederga-

beeigenschaft der Lichtquellen und Leuchten sowie eine gute Entblendung. Sehkomfort erzeugt Wohlbefinden und trägt damit zur Leistungssteigerung bei. Lichtrichtung, Schattigkeit und die Lichtfarbe der Leuchtmittel beeinflussen die Wirkung des Lichts im Raum. Dieses oft als visuelles Ambiente beschriebene Lichtklima ist wesentlich verantwortlich für die erlebte Stimmung.

Biologische Lichtwirkung

Jede Art der Beleuchtung hat eine biologische Wirkung auf den menschlichen Körper. Beste Referenz ist dabei immer das natürliche Tageslicht in seinem Verlauf, seinem Spektrum und seiner Intensität. Aber auch elektrische Beleuchtung beeinflusst unsere innere Uhr, Schlaf-Wach-Rhythmen und viele weitere Funktionen. Bewusst und richtig eingesetzt, kann eine biologisch wirksame Beleuchtung mit dynamisch wechselnden Lichtstärken und unterschiedlichen Lichtfarben die Motivation am Arbeitsplatz nachweisbar steigern.

Lichttechnische Gütemerkmale

Werden bei der Planung von Beleuchtungsanlagen die lichttechnischen Gütemerkmale und weitere Planungskriterien berücksichtigt, so kann eine optimale Lichtlösung – ausgerichtet auf den Menschen – entstehen. Wichtige Gütemerkmale guter Beleuchtung sind:

- Beleuchtungsstärke,
- harmonische Helligkeitsverteilung,
- gute Entblendung,
- Modelling (Lichtrichtung und Schattigkeit),
- Lichtfarbe und
- Farbwiedergabe.

Weitere Planungskriterien sind:

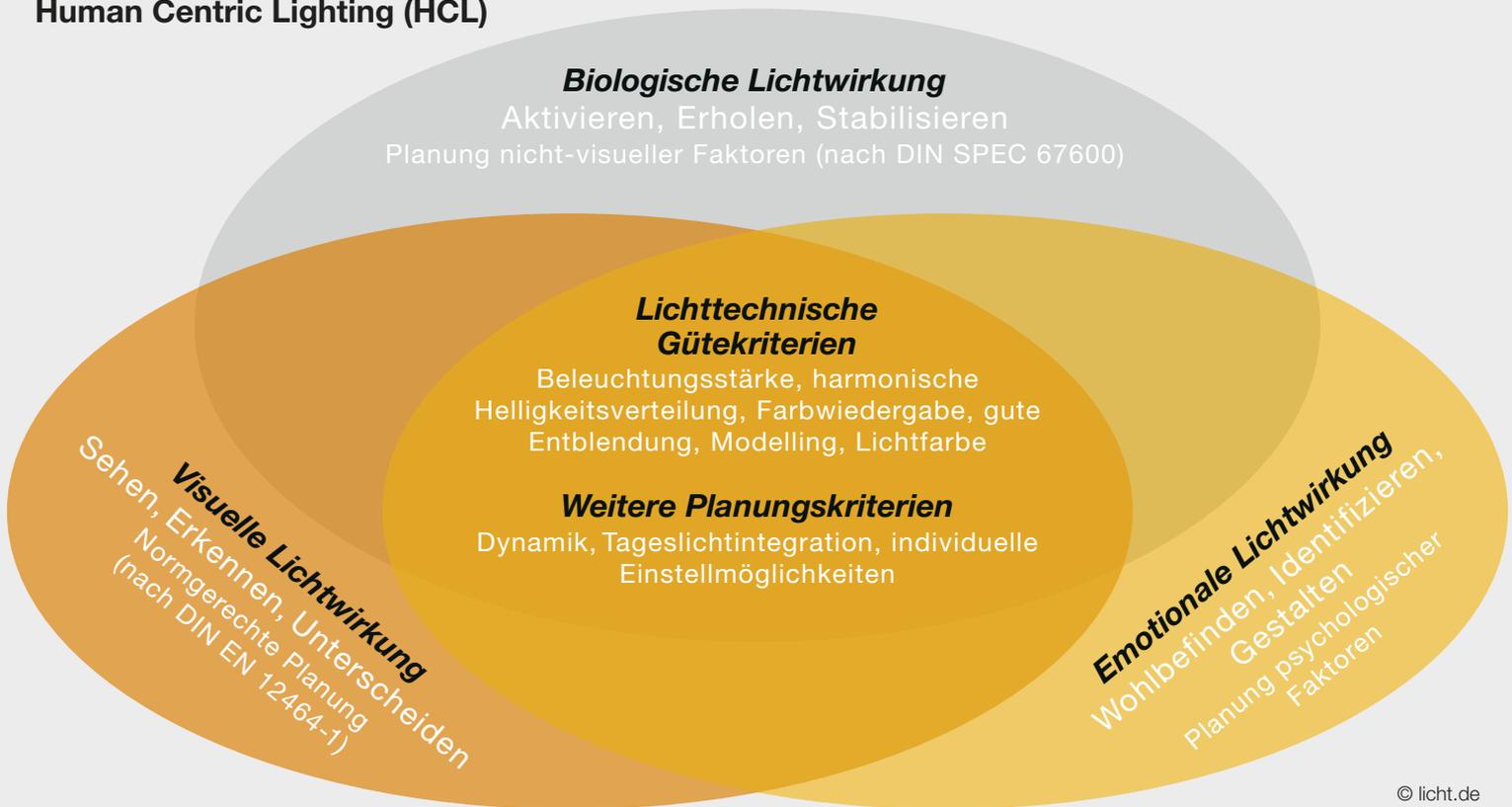
- Dynamik,
- Tageslichtintegration und
- individuelle Einstellmöglichkeiten.

Gütemerkmal: Beleuchtungsstärke

Die Beleuchtungsstärke (Kurzzeichen E) hat besonders großen Einfluss darauf, wie



Human Centric Lighting (HCL)



© licht.de

07

schnell, sicher und leicht eine Sehaufgabe erfasst und ausgeführt wird. In der Maßeinheit Lux (lx) gibt sie den Lichtstrom an, der von einer Lichtquelle auf eine bestimmte Fläche trifft. Gemessen wird die Beleuchtungsstärke auf horizontalen und vertikalen Flächen. Die gleichmäßige Verteilung der Helligkeit erleichtert die Sehaufgabe.

Die normierten Werte für die mittlere Beleuchtungsstärke sind Wartungswerte, die nicht unterschritten werden dürfen. Sind sie erreicht, müssen Wartungsarbeiten erfolgen (s. Seite 15).

Helligkeits- bzw. Leuchtdichteverteilung

Die Leuchtdichte (Kurzzeichen: L) ist das Maß für den Helligkeitseindruck, den das Auge von einer leuchtenden oder beleuchteten Fläche hat, gemessen in Candela pro Flächeneinheit (cd/m^2). Sie beeinflusst Sehleistung und Sehkomfort. Mit steigender Leuchtdichte erhöhen sich die Sehschärfe, die Kontrastempfindlichkeit und damit die Leistungsfähigkeit der Augen.

Der Reflexionsgrad von Oberflächen und die auftreffende Beleuchtungsstärke bestimmen deren Leuchtdichte. Deshalb erscheint ein weißer Raum bei gleicher Beleuchtungsstärke heller als ein dunkel eingerichteter Raum.

Den Sehkomfort stören

- zu niedrige Leuchtdichten und fehlende Leuchtdichteunterschiede, weil sie eine wenig anregende Lichtatmosphäre erzeugen,
- zu hohe Leuchtdichteunterschiede, weil die daraus resultierende ständige Adaptation ermüdet,
- zu hohe punktuelle Leuchtdichten, weil sie Blendung verursachen können.

Blendung begrenzen

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 herab (physiologische Blendung).

Die direkte Blendung kann vermindert werden, wenn die Oberflächen von Leuchten unter flachen Winkeln möglichst geringe Leuchtdichten aufweisen und der direkte Blick in die Lichtquelle(n) abgeschirmt ist. Direktblendung wird nach dem UGR-Verfahren (Unified Glare Rating) bewertet; Normen nennen Mindestwerte für den Blendeschutz. Entsprechend platzierte Leuchten

und Arbeitsplätze, seitlich einfallendes Licht, matte Oberflächen im Raum und die Leuchtdichtebegrenzung der Leuchten beugen Reflexblendung vor.

Modelling und Schattigkeit

Lichtstärke, Lichtrichtung und Schattigkeit müssen stimmen, damit Gesichter und Gegenstände schnell erkannt und plastisch wahrgenommen werden. Ein Raum mit ausschließlich indirektem Licht ohne Schattenbildung wirkt monoton, während das extrem gerichtete Licht punktförmiger Lichtquellen tiefe Schatten erzeugt, die das Sehen erschweren. Diese „Schlagschatten“ stellen im Umgang mit Werkzeugen oder Maschinen eine Gefahrenquelle dar. Gutes Modelling braucht daher eine ausgewogene Mischung zwischen diffusem und gerichtetem Licht.

Lichtfarbe

Die Lichtfarbe einer Lampe oder Leuchte beschreibt das Erscheinungsbild des abgestrahlten Lichts. Es wird bestimmt von

[07] Human Centric Lighting: Eine Beleuchtung, die visuelle, emotionale und biologische Güteigenschaften berücksichtigt, trägt zur Gesundheit bei und motiviert die Mitarbeiter.

der ähnlichsten Farbtemperatur (T_{cp}) in Kelvin (K):

Warmweiß (ww)	< 3.300 K
Neutralweiß (nw)	3.300 K bis 5.300 K
Tageslichtweiß (tw)	> 5.300 K

Warmweißes Licht wird als behaglich empfunden, neutralweißes Licht erzeugt eine eher sachliche Stimmung. Tageslichtweißes Licht ist dem natürlichen Tageslicht am ähnlichsten und sollte aus biologischer Sicht nur zu Zeiten verwendet werden, in denen auch außen Tageslicht vorhanden ist. In industriellen Anwendungen mit anspruchsvollen Sehaufgaben werden häufig Lichtfarben mit einer Temperatur von etwa 5.000 Kelvin gewählt.

Farbwiedergabe

Die Farbwiedergabeeigenschaft einer Lampe kennzeichnet die farbliche Wirkung, die ihr Licht auf farbigen Gegenständen hervorruft. Sie wird mit dem Index R_a bewertet. Er gibt an, wie natürlich Farben wiedergegeben werden. $R_a = 100$ steht für den besten Wert. Je niedriger der Index, umso schlechter sind die Farbwiedergabeeigenschaften. In Innenräumen sollte $R_a = 80$ nicht unterschritten werden. In Bereichen mit speziellen Anforderungen, z. B. bei der Farbprüfung, eignen sich Farbwiedergabeindizes > 90 .

Tageslicht integrieren

Tageslicht dient dem Sehen und taktet die „innere Uhr“ des Menschen. DIN EN 12464-1 betont die Bedeutung des Tageslichts an Arbeitsplätzen durch Fensterflächen, Oberlichtern und lichtlenkenden Systemen.

Dynamik: Das richtige Licht zur richtigen Zeit

Aktuelle wissenschaftliche Untersuchungen zeigen, dass neben den klassischen Güte Merkmalen auch deren zeitlicher Ablauf und die individuelle Anpassung an den Nutzer maßgeblich zur Qualität der Beleuchtung beitragen.

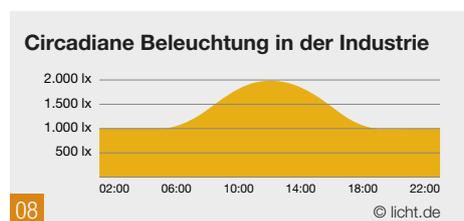
Natürlich können – unter Einhaltung aller anderen Güte Merkmale – stets auch höhere Beleuchtungsstärken installiert werden. Diese dürfen in Abhängigkeit der momentanen Arbeitsaufgabe und der Tageszeit dynamisch verändert werden. Eine gezielte

Aktivierung mit höheren Farbtemperaturen und Beleuchtungsstärken ist immer dann sinnvoll und der Gesundheit zuträglich, wenn sie sich an der Tageszeit orientiert. Nachts empfehlen sich eher warmweiße Lichtfarben und möglichst niedrige Beleuchtungsstärken im Rahmen der normativen Vorgaben.

Werden die visuellen, emotionalen und biologischen Güte Merkmale der Beleuchtung dynamisch und nachhaltig eingesetzt, so ergeben sich wissenschaftlich nachgewiesene positive Effekte beim Nutzer:

- bessere Motivation,
- höhere Leistungsbereitschaft,
- verringerte Fehlerraten,
- weniger Ermüdung,
- weniger Arbeitsunfälle,
- kürzere Fehlzeiten.

Eine Industriebeleuchtung mit nicht-visuellen Effekten lässt sich nach DIN SPEC 67600 umsetzen. Dabei werden zwei Varianten unterschieden. Sofern in einem Betrieb wechselnde Tages- und Nachtschichten anfallen, sollte eine circadiane Beleuchtung den normalen Tag-Nacht-Rhythmus stabilisieren: Beleuchtungsstärke und Blauanteile im Licht steigen am bis zur Mittagszeit kontinuierlich an und nehmen dann langsam bis zum Abend wieder ab; nachts sollte kein tageslichtweißes Licht eingesetzt werden.



Zur Aktivierung am Tag können auch sogenannte „Lichtduschen“ eingesetzt werden. Das Licht variiert in diesem Fall z. B. im Stundentakt Beleuchtungsstärke und Lichtfarbe. Lichtduschen sorgen z. B. bei monotonen Arbeitsabläufen für mehr Wohlbefinden.

Mehr Licht für Ältere

Mit zunehmendem Alter trübt die Augenlinse ein, während sich die Pupillenweite vergrößert und die Sehschärfe abnimmt. Ein 60-jähriger Mitarbeiter benötigt eine etwa doppelt so hohe Beleuchtungsstärke wie

sein 20-jähriger Kollege, um den gleichen Helligkeitseindruck zu haben. Bereits ab dem 35. Lebensjahr ist mehr Licht als „normal“ notwendig. Diese Anforderungen werden am besten mit individuell zuschaltbarem Licht erfüllt. Alternativ kann das Beleuchtungsniveau im ganzen Raum z. B. auf den Lichtbedarf eines 60-Jährigen abgestimmt werden; Jüngere dimmen dann das Licht.

Anpassung der Beleuchtungsstärke an die Arbeitsaufgabe

Bei höheren Schwierigkeitsgraden oder erhöhter Unfallgefährdung müssen Arbeitsplätze mit höheren Beleuchtungsstärken beleuchtet werden. Die Abhängigkeit von Beleuchtungsstärke und Leistungsbereitschaft wurde in verschiedenen Studien im Langzeitversuch an Industriearbeitsplätzen erfasst. Dabei zeigte sich, dass die Leistungssteigerung für schwierige Sehaufgaben mit zunehmender Beleuchtungsstärke deutlich stärker ausfällt als bei einfachen Sehaufgaben. Zugleich sank die Fehlerquote. Befragungen der Beschäftigten während der Langzeitversuche ergaben zudem, dass eine höhere Beleuchtungsstärke zu geringerer Ermüdung führte. Dies ist nicht nur für entsprechende Leistungsreserven von Bedeutung, sondern ebenso für die Unfallvermeidung.



Mehr Informationen zu einer circadian wirksamen Beleuchtung geben Heft licht.wissen 19 „Wirkung des Lichts auf den Menschen“ und Heft licht.wissen 21 „Leitfaden Human Centric Lighting (HCL)“.

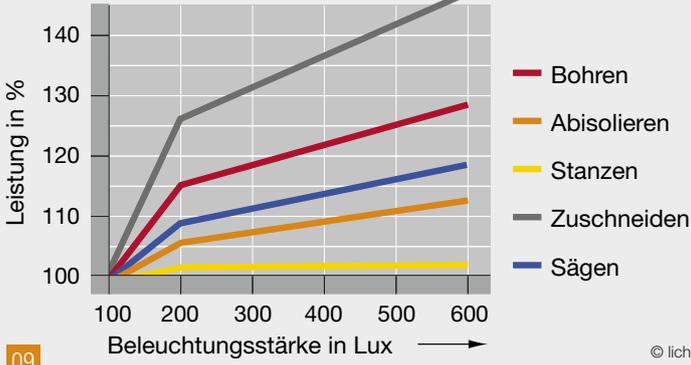
Bei höheren Beleuchtungsstärken

- [09] ... steigt die Leistung,
- [10] ... sinkt die Fehlerquote,
- [11] ... sind die Mitarbeiter wacher.

Diese Zahlen entstammen wissenschaftlichen Untersuchungen der TU Ilmenau: „Nutzen einer besseren Beleuchtung“, 1998, Gall, Völker.

[12–14] Ältere Menschen brauchen mehr Licht als ihre jüngeren Kollegen. Zusätzliches Licht geben gut entblendete Arbeitsplatzleuchten.

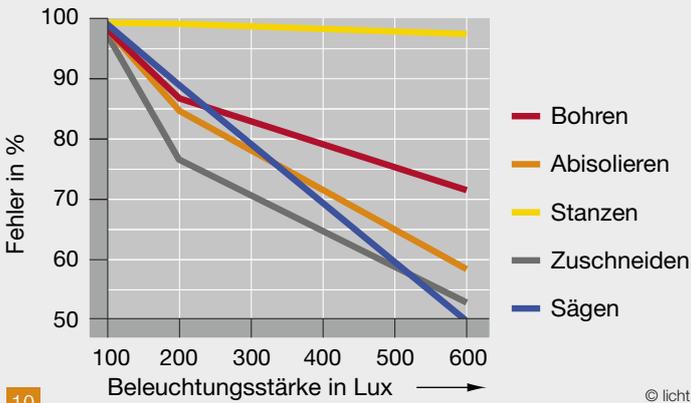
Licht steigert die Arbeitsleistung



09

© licht.de

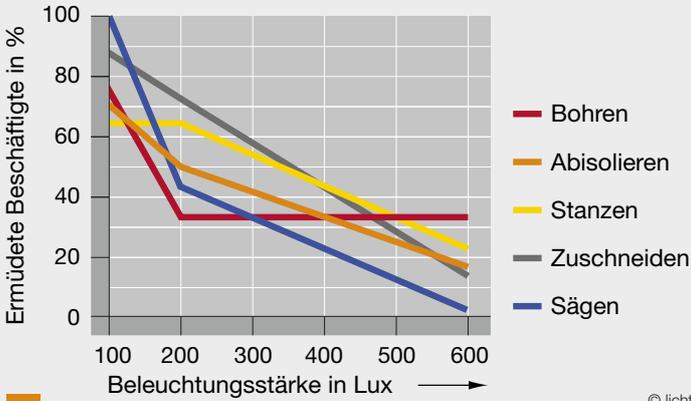
Licht senkt die Fehlerquote



10

© licht.de

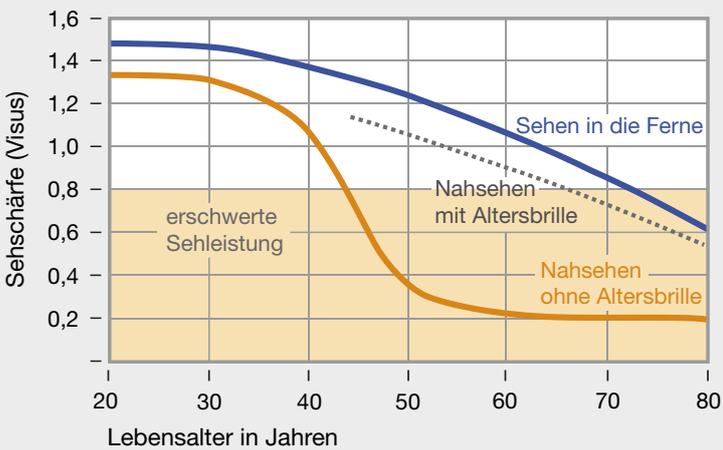
Licht beugt Ermüdung vor



11

© licht.de

Sehschärfe und Alter



12

© licht.de



13



14

Lichtplanung

Die richtige Beleuchtung ist Voraussetzung für gutes Sehen und sorgt für ein angenehmes Lichtklima. Um den vielfältigen Anforderungen an eine ergonomisch und lichttechnisch einwandfreie Beleuchtung gerecht zu werden, ist eine sachkundige Planung erforderlich.

Die Planung einer Beleuchtungsanlage sieht vor, dass die Beleuchtung mit der Inbetriebnahme gute Arbeitsbedingungen schafft, die über einen langen Zeitraum erhalten bleiben. Der Planer sollte sicherstellen, dass die Beleuchtung nach seiner Vorgabe installiert und betrieben wird. Im besten Fall kümmert er sich auch darum, was mit der Beleuchtung am Ende ihrer Lebensdauer passiert. Eine Wiederverwertung bzw. eine umweltfreundliche Entsorgung unterstützen die Nachhaltigkeit.

In Innenräumen geht es in erster Linie darum, dass alle Sehaufgaben – vor allem an Arbeitsplätzen – gut erfüllt werden können und Störungen, etwa durch Blendung, weitestgehend vermieden werden. Neue Beleuchtungskonzepte orientieren sich an den konkreten Lichtbedürfnissen und konzentrieren sich auf die jeweilige Sehaufgabe. So lassen sich Menge und Qualität der Beleuchtung präzise für jeden Bereich des Arbeitsplatzes bestimmen.

Bei der Planung empfiehlt sich die Beachtung der Arbeitsstättenregel ASR A3.4 sowie der Norm DIN EN 12464-1 als anerkannte Regel der Technik. Die Norm definiert die Beleuchtung für den Bereich der Sehaufgabe, der Tätigkeit oder den Raumbereich. Eine ausgewogene Mischung not-

wendiger Helligkeitsniveaus ist für alle Arbeitsbereiche die richtige Wahl. Die Beleuchtung kann nach drei Konzepten angelegt werden:

- **Auf den Raumbereich bezogene Beleuchtung** – bietet im ganzen Raum gleichmäßiges Licht und ist zu bevorzugen, wenn die Anordnung der Arbeitsplätze noch nicht feststeht oder flexibel bleiben soll.
- **Auf den Tätigkeitsbereich bezogene Beleuchtung** – fokussiert auf einen Bereich, in dem auch mehrere Sehaufgaben erfüllt werden sollen.
- **Auf den Bereich der Sehaufgabe bezogene Beleuchtung** – ist in der Regel auf Teilflächen konzentriert. Eine typische Teilfläche ist z. B. die Arbeitsfläche auf dem Schreibtisch.

Raumbezogene Beleuchtung

Ist bei der Planung einer Beleuchtungsanlage die genaue Anordnung der Arbeitsplätze unbekannt, müssen die Raumflächen, auf denen Arbeitsplätze angeordnet werden könnten, nach DIN EN 12464-1 wie der Bereich der Sehaufgabe beleuchtet werden. Diese überwiegend raumbezogene Beleuchtung hat den Vorteil, dass die Anordnung der Arbeitsplätze in diesem Raumbereich jederzeit verändert werden kann.

Bereich der Sehaufgabe

Die Güteermerekmale von DIN EN 12464-1 sind nicht per se für den gesamten Raum gedacht, sie gelten vor allem für den Bereich der Sehaufgabe – also für den Teil des Arbeitsplatzes, in dem die Sehaufgabe ausgeführt wird. An industriellen Arbeitsplätzen können Sehaufgaben sowohl horizontal als auch vertikal (z. B. an Maschinen) sein. Für den sich unmittelbar anschließenden Umgebungsbereich, also die Fläche, die sich im Gesichtsfeld des Arbeitenden befindet, erlaubt die Norm geringere Werte; sie dürfen die unter Punkt 4.3.2 der Norm genannten Werte jedoch nicht unterschreiten.

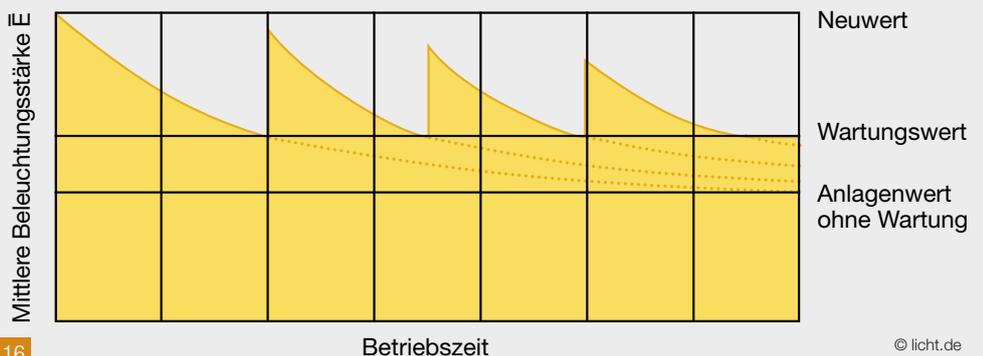
Die Konzentration der Beleuchtung auf den Bereich der Sehaufgabe kann zwar die Investitions- und Energiekosten senken, birgt aber Gefahren für die Qualität der Beleuchtung. Das ist zum Beispiel immer dann der Fall, wenn der Bereich der Sehaufgabe und der angrenzende, geringer beleuchtete Umgebungsbereich räumlich so eng angesetzt werden, dass die Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld nicht ausgewogen ist. Die Bereiche der Sehaufgabe müssen deshalb sorgfältig bestimmt werden.

Unmittelbarer Umgebungsbereich

Ein Arbeitsplatz kann aus mehreren Berei-



Wartungszyklen



chen der Sehaufgabe bestehen, sogar solchen mit unterschiedlichen visuellen und beleuchtungstechnischen Anforderungen. Jedem Bereich der Sehaufgabe ist ein entsprechender unmittelbarer Umgebungsbereich mit geringeren Anforderungen an die Beleuchtung zugeordnet. In seinem „Leitfaden zur DIN EN 12464-1“ empfiehlt licht.de für solche Fälle die Zusammenfassung der Bereiche der Sehaufgaben zu einem Arbeitsbereich, dem sich der unmittelbare Umgebungsbereich anschließt. Dieser Arbeitsbereich kann, wenn die Lage der Arbeitsplätze nicht bekannt ist, auch der ganze Raum sein.

Die Norm sieht für den unmittelbaren Umgebungsbereich eine Breite von mindestens 0,5 m vor. Hier sind die Beleuchtungsanforderungen geringer. Trotzdem darf sich für den Arbeitenden die Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld nicht verschlechtern. Deshalb muss die mittlere Leuchtdichte im Umgebungsbereich mindestens ein Drittel der Leuchtdichte des Bereiches der Sehaufgabe betragen, besser ist mehr. Gegebenenfalls muss der unmittelbare Umgebungsbereich breiter angesetzt werden.

Arbeitsbereiche und Teilflächen

Alternativ kann sich die Beleuchtung auf einzelne Arbeitsbereiche beziehen. Bei der gesonderten Beleuchtung von Bereichen der Sehaufgabe wird das Licht auf diese Teilflächen gerichtet.

Wartung und Wartungsfaktor

Über die Betriebszeit einer Beleuchtungsanlage nimmt ihr Lichtstrom ab, weil Lichtquellen, Leuchten und Raumboflächen

altern und verschmutzen. Deshalb sind die normierten Werte für die mittlere Beleuchtungsstärke Wartungswerte, die nicht unterschritten werden dürfen. Um den Wartungswert über einen längeren Zeitraum zu halten, werden neue Beleuchtungsanlagen mit höheren Werten projektiert. Diese werden mit dem Wartungsfaktor ermittelt. Für die Planung gilt: $\text{Wartungswert} = \text{Wartungsfaktor} \times \text{Neuwert}$.

Der Wartungsfaktor hängt von der Art der Lichtquellen und der Leuchten, der Staub- und Verschmutzungsgefahr des Raumes bzw. der Umgebung sowie von der Wartungsmethode und dem -intervall ab. Häufig sind zum Zeitpunkt der Beleuchtungsplanung die betriebsbedingten Einflüsse auf die Abnahme der Beleuchtungsstärke nicht exakt bekannt, so dass bei einem Wartungsintervall von drei Jahren ein Wartungsfaktor von 0,67 (in sauberen Räumen) bzw. von bis zu 0,5 (in schmutzigen Räumen) anzusetzen ist.

Mit LED-Leuchten wird auf eine hohe Lebensdauer Wert gelegt. Ein Wechsel der LED-Module ist in vielen Fällen nicht mehr vorgesehen. Beim Wartungsplan muss daher beides berücksichtigt werden: der dauerhafte Lichtstromabfall sowie eine regelmäßige Reinigung der Leuchten.

Der Planer muss den Wartungsplan einer Beleuchtungsanlage dokumentieren. Diese Dokumentation kann mit entsprechender Lichtplanungssoftware erstellt und im Wartungshandbuch aufgenommen werden. Verantwortlich für die Einhaltung des Wartungsplanes ist der Betreiber der Anlage.

Leuchten höherer Schutzart vorteilhaft

Leuchten geringer Schutzart – zum Beispiel IP 20 – verschmutzen schneller als geschlossene Leuchten höherer Schutzart von IP 50 und höher. Sie müssen daher früher, geschlossene Leuchten entsprechend später gewartet werden. Einen Vergleich der Leuchtenwartungsfaktoren zeigt die Tabelle auf dieser Seite.

Qualifizierte Fachplanung

Komplexe Beleuchtungsaufgaben erfordern das Know-how von Spezialisten. Qualifizierte Fachplaner kennen den aktuellen Stand der Technik und die relevanten Regelwerke.

Ebenfalls wichtig ist, dass alle Baubeteiligten von Beginn an interdisziplinär zusammenarbeiten. Vor dem Lichtkonzept steht stets eine Objektanalyse:

- Welche Tätigkeiten und Sehaufgaben fallen an welchem Ort an?
- Wie lauten die Anforderungen der Nutzer und der Investoren?
- Welche Vorgaben müssen durch Architektur, Möblierung oder Maschinenanordnungen beachtet werden?

Erst wenn das Lichtkonzept steht, werden die geeigneten Lichtquellen und Leuchten sowie entsprechende Lichtmanagementsysteme gewählt.



Weitere Hinweise zur Lichtplanung gibt Heft licht.wissen 01 „Die Beleuchtung mit künstlichem Licht“.

Leuchtenwartungsfaktor (LMF) im Vergleich

Reinigungsintervall	1 Jahr				2 Jahre				3 Jahre			
	SS	S	N	V	SS	S	N	V	SS	S	N	V
Umgebung												
IP 50-Leuchte	0,96	0,94	0,90	0,86	0,93	0,91	0,86	0,81	0,92	0,90	0,84	0,79
IP 20-Leuchte	0,94	0,88	0,82	0,77	0,91	0,83	0,77	0,71	0,89	0,79	0,73	0,65

SS=sehr sauber/S=sauber (Reinräume, Rechenzentren)/N=normal (Montagehallen, Lagerhallen, Laboratorien)/V=verschmutzt (Chemische Anlagen, Holzverarbeitung)

[15] Mehrere Bereiche der Sehaufgabe an einer Drehbank, die zu einem Bereich des Arbeitsplatzes (hell- und mittelgelb) zusammengefasst sind. Der Streifen des Umgebungsbereiches beträgt mindestens 0,5 Meter (dunkelgelb).

[16] Der Wartungswert kennzeichnet den Wert, den die Beleuchtungsstärken während der Betriebszeit einer Anlage nicht unterschreiten dürfen.

Lichtlösungen mit bester Effizienz

Zu den Anforderungen an eine Beleuchtungsanlage zählt heute auch ein geringer Energieverbrauch. Effiziente Lichttechnik und die intelligente Nutzung von Tageslicht schonen die Umwelt, senken die Betriebskosten und tragen zum Geschäftserfolg bei. Sinnvoll ist dabei ein Lichtmanagementsystem.

Unter der Vorgabe, „keinen Kompromiss zu Lasten der lichttechnischen Güteermale ... einzugehen, nur um den Energieverbrauch zu senken“ (Ziffer 4.9), fordert auch DIN EN 12464-1, das künstliche Licht mit möglichst geringem Energieaufwand zu erzeugen. Deutliche Einsparimpulse setzt die Europäische Union, die mit Richtlinien wie der 2010/31/EU EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) Regeln für die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden vorgibt. Diese beziehen sich auf Energieeffizienz, umweltgerechte Gestaltung und die Lichttechnik in Gebäuden.

Energieausweis auch für kleinere Betriebe

Auf der Richtlinie 2002/91/EG – national als Energieeinsparverordnung (EnEV) umgesetzt – fußt der Energieausweis, seit 2007 verpflichtend für Nicht-Wohngebäude: Er bilanziert den Gesamtenergiebedarf eines Gebäudes inklusive der Beleuchtung. Seit der letzten großen Novelle 2014 müssen auch Gebäude und Nutzflächen mit mehr als 500 Quadratmeter Fläche und starkem Publikumsverkehr erfasst werden. Damit ist auch für kleinere Betriebe in der Regel ein EnEV-Nachweis nach DIN V 18599 erforderlich.

Bauherren werden durch die EnEV verpflichtet, den Gesamtenergieverbrauch eines Gebäudes zu ermitteln: Vor Sanierung

oder Neubau eines Gebäudes muss der Primärenergiebedarf nach DIN V 18599, Teil 4, für die Beleuchtung berechnet und – vor Baubeginn – genehmigt werden.

Komponenten effizienter Beleuchtung

Mit der LED ist die Beleuchtung erheblich effizienter geworden – und im gleichen Maß ist auch die Lichtqualität gewachsen. Weitere Komponenten einer effizienten Beleuchtung sind:

- Qualitätsleuchten mit hohen Betriebswirkungsgraden und optimierter Lichtlenkung,
- elektronische Betriebs- und Vorschaltgeräte mit langer Lebensdauer und geringer Ausfallrate,
- Lichtkonzepte mit unterschiedlichen Schaltgruppen, die einzeln und unabhängig voneinander gedimmt und gesteuert werden können.
- Lichtmanagementsysteme, die das Tageslicht und die Belegung von Räumen einbeziehen.

Wer Leuchten mit einer höheren Schutzart als eigentlich notwendig einsetzt, spart zusätzlich Energie: Weil sie länger sauber bleiben, kann für den Wartungswert ein geringerer Anfangswert (Neuwert) gewählt werden (s. Seite 15).

Lichtmanagement ist Referenztechnologie

Nur mit elektronischer Steuerung können Betreiber alle Vorteile ausschöpfen, die mo-

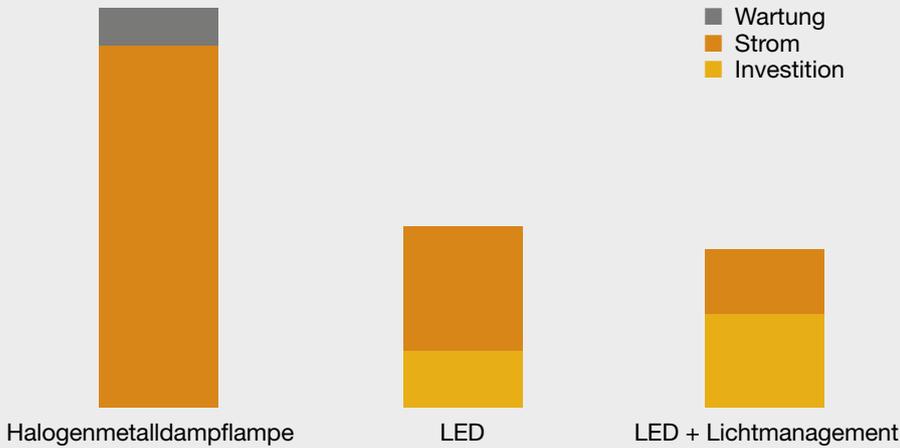
derne Lichtquellen, Leuchten und Betriebsgeräte bieten. Ein neues Beleuchtungssystem mit Tageslicht- und Präsenzsteuerung spart gegenüber einer alten Anlage bis zu 80 Prozent der Energiekosten.

Hohes Einsparpotenzial bieten vor allem jene Gebäudebereiche, die nicht ständig genutzt werden; in Industrieanlagen sind dies z. B. Lagerhallen, Verkehrswege oder auch Umkleide- und Sanitärräume. Durch ein Lichtmanagementsystem kann die Beleuchtung je nach Präsenz geschaltet und geregelt werden. Ebenso kann die Beleuchtung in Bereichen mit viel Tageslicht elektronisch gedimmt und gesteuert werden, ohne dass der Komfort leidet.

Der Gesetzgeber hat das erkannt – und mit der EnEV 2014 den Einsatz von Lichtmanagementsystemen in solchen Bereichen zur Referenztechnologie erklärt. Das bedeutet, dass die elektronische Lichtsteuerung als Mindeststandard vorausgesetzt wird.

Den Beteiligten der Beleuchtungsplanung ist dies nicht immer bewusst. Planer sollten bedenken, dass bei Erstellung des Energieausweises in der Regel der Einsatz der Referenztechnologie unterstellt wird. In vielen Gebäuden ist die Berücksichtigung von Lichtmanagementsystemen also zwingend erforderlich, um die EnEV-Anforderungen zu erfüllen (s. S. 55).

Beispielhafte Betrachtung der Beleuchtungskosten einer Industriehalle* über 10 Jahre



* Industriehalle 30 x 50 m / 300 Lux Beleuchtungsstärke / 3.000 Betriebsstunden jährlich.

@ licht.de

17

[17] Moderne Technik spart: Die Investition in eine neue Beleuchtungsanlage rechnet sich rasch – bei besserer Lichtqualität.

[18] Sensoren in den Leuchten regeln die Beleuchtung nach dem Vorbild des Tageslichts.

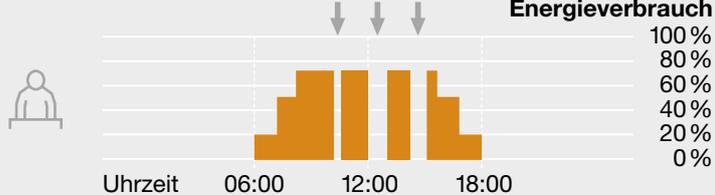
[19] Der Wechsel zu energieeffizienten Leuchtmitteln in Kombination mit Lichtmanagementsystemen spart Strom und Betriebskosten.

Referenztechnologie des Lichtmanagements für beispielhafte Anwendungen (nach EnEV 2014)

Nutzungsprofil Nichtwohngebäude	Lichtmanagement		
	Konstantlichtstromkontrolle	Präsenzmelder	tageslichtabhängige Kontrolle
Einzelbüro	X	–	X
Gruppenbüro (zwei bis sechs Arbeitsplätze)	X	–	X
Großraumbüro (ab sieben Arbeitsplätzen)	X	–	X
Besprechung, Sitzung, Seminar	X	X	X
Verkehrsflächen	–	X	–

@ licht.de

Anwesenheitssensorik



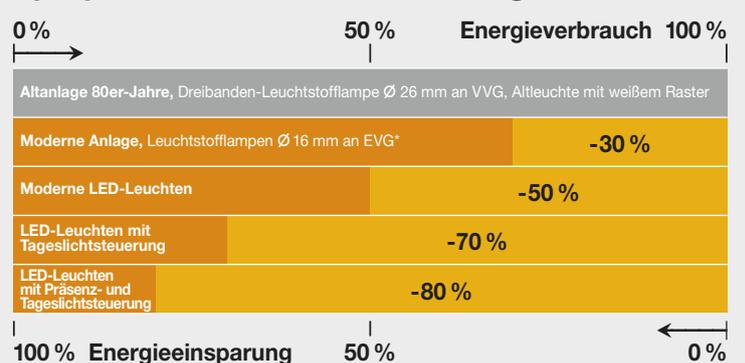
Tageslichtnutzung



18

@ licht.de

Sparpotenziale Innenbeleuchtung



Beispiel für 2-Achs-Büro

* Leuchtstofflampen mit geringer Verlustleistung, Leuchten mit moderner Lichtlenktechnik.

@ licht.de

19

Sanierung mit System

Ein strukturierter Sanierungsprozess hilft, Effizienzpotenziale zu erfassen und sorgt dauerhaft für hohe Lichtqualität bei niedrigen Stromkosten. Fünf Schritte führen zum Ziel.

In vielen Unternehmen ist die Beleuchtung technisch veraltet. Solche Anlagen

- verbrauchen zu viel Energie,
- treiben die Stromkosten in die Höhe,
- erfordern einen hohen Reinigungs- und Wartungsaufwand,
- entsprechen oft nicht mehr den aktuellen Normen und
- bieten häufig nur schlechte Lichtqualität.

Das erschwert die Arbeit, führt zu hohen Fehlerquoten und mindert die Leistungsfähigkeit.

Durch Verschmutzung und Materialalterung kann sich im Laufe der Jahre der Betriebswirkungsgrad einer alten Anlage und der dazugehörigen Komponenten – Lampen, Leuchten und Betriebsgeräte – halbieren. Die Betriebskosten einer Beleuchtungsanlage, Energieaufwand und Wartungsarbeiten, machen heute fast 90 Prozent der Kosten aus. Vor diesem Hintergrund rechnen sich Investitionen in eine ergonomische und effiziente Beleuchtung meist innerhalb weniger Jahre. Dabei gilt: Je älter die zu ersetzende Anlage ist und je länger sie täglich betrieben wird, desto höher ist die Einsparung.

Beste Sanierung: „neu“ gegen „alt“

In der Regel ist der komplette Austausch einer alten Anlage gegen eine professionell geplante neue Anlage mit Lichtmanagementsystem die beste Lösung. Ebenso wie bei einem Neubau sollten auch bei einer Sanierung der Beleuchtungsanlage schon zu Beginn Experten eingebunden werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn Bauherren aus Kostengründen zunächst nur einzelne Komponenten austauschen möchten. Hier ist Vorsicht geboten, denn beim Wechsel von Betriebsgeräten oder Lichtquellen kann das VDE-Zeichen der Leuchten seine Gültigkeit verlieren. Ist dies der Fall, haftet der Betreiber der Anlage für deren Sicherheit.

Ebenfalls kritisch ist der Wechsel von Reflektoren, sofern diese nicht durch den Her-

steller der bestehenden Anlage explizit angeboten werden.

Sanierung professionell planen

Sorgfältige Analyse und professionelle Planung sind die Basis jeder zielgerichteten Beleuchtungssanierung. Ziel ist es, einen umfassenden Sanierungsfahrplan zu erstellen, der die Wirtschaftlichkeitsberechnungen für einzelne Beleuchtungsprojekte enthält. Mit den erfassten Daten und Berechnungen lässt sich die optimale Sanierungsstrategie wählen.

Zugleich lässt sich so besser entscheiden, welche Projekte aus wirtschaftlichen Aspekten eventuell vorgezogen werden sollten. So kann eine Sanierung dann auch abschnittsweise über mehrere Jahre erfolgen. In diesem Fall beginnt die Sanierung entweder in Räumen oder Gebäudeteilen mit der längsten Betriebszeit oder setzt bei Leuchten- und Lampentypen an, die das höchste Einsparpotenzial bieten.

Schritt 1: Die Ist-Analyse

Wer seine Ziele zu Beginn exakt definiert, kann später die erreichten Einsparungen und den Gewinn an Lichtqualität leicht beziffern. Jede Sanierung beginnt mit einer Ist-Analyse. Wichtige Basismaterialien sind:

- Energieabrechnungen der vergangenen drei Jahre,
- Aufstellung der Wartungs- und Reparaturkosten für vorhandene Anlagen,
- lichttechnische Berechnungen und Überprüfung der bestehenden Anlagen,
- Benchmarks mit vergleichbaren Beleuchtungsanlagen. Im einfachsten Fall wird dabei die elektrische Leistungsaufnahme der Beleuchtungsanlage ins Verhältnis zur beleuchteten Fläche gesetzt (also Watt/m² pro 100 Lux pro Jahr).

Schritt 2: Die Planung

Bei der Lichtplanung müssen die Sehaufgaben festgelegt, zahlreiche Normen und



20



21

Ist-Analyse

Planung

Finanzierung

Installation

Wartung & Kontrolle

Richtlinien beachtet und Gütemerkmale der Beleuchtung berücksichtigt werden. Die konkrete Planung erfolgt in fünf Schritten:

- Definition des Lichtkonzepts und Wahl der Beleuchtungsarten,
- Auswahl geeigneter Leuchten und Komponenten,
- Ermittlung der notwendigen Anzahl von Leuchten und deren Anordnung,
- gegebenenfalls Definition des Lichtmanagements und
- Definition des Wartungsplanes.

Zu Planung gehört auch eine Wirtschaftlichkeitsberechnung, die verschiedene Optionen der Beleuchtung – Lampen- und/oder Leuchtentausch – berücksichtigt und unterschiedliche Leuchtenlösungen vergleicht.

Schritt 3: Finanzierung

Die finanziellen Mittel für die Modernisierung von Beleuchtungsanlagen sind oft begrenzt. Dann können sinnvolle Finanzierungskonzepte den Wechsel zu einer energieeffizienten Beleuchtung erleichtern – im Idealfall gänzlich ohne Belastung für den Etat. Hilfestellung gibt es durch:

- Contracting: Hier investiert ein Dienstleis-

ter in effiziente Beleuchtung und übernimmt das wirtschaftliche Risiko.

- Finanzierungshilfen: Mit zahlreichen Programmen unterstützen die Bundesregierung und die bundeseigene KfW-Bank die Sanierung alter Beleuchtungsanlagen.

Schritt 4: Installation und Inbetriebnahme

Professionell geplante Beleuchtungsanlagen erfordern auch eine fachgerechte Installation. Sie gewährleistet, dass alle Komponenten – Leuchten, Lichtquellen, Betriebsgeräte und Sensoren für Präsenz- und Tageslichtmessung – optimal eingestellt sind und die Planungsziele zu Lichtqualität und Energieeinsparung erreicht werden. Schlecht eingestellte Anlagen erreichen häufig nicht die gewünschte Performance.

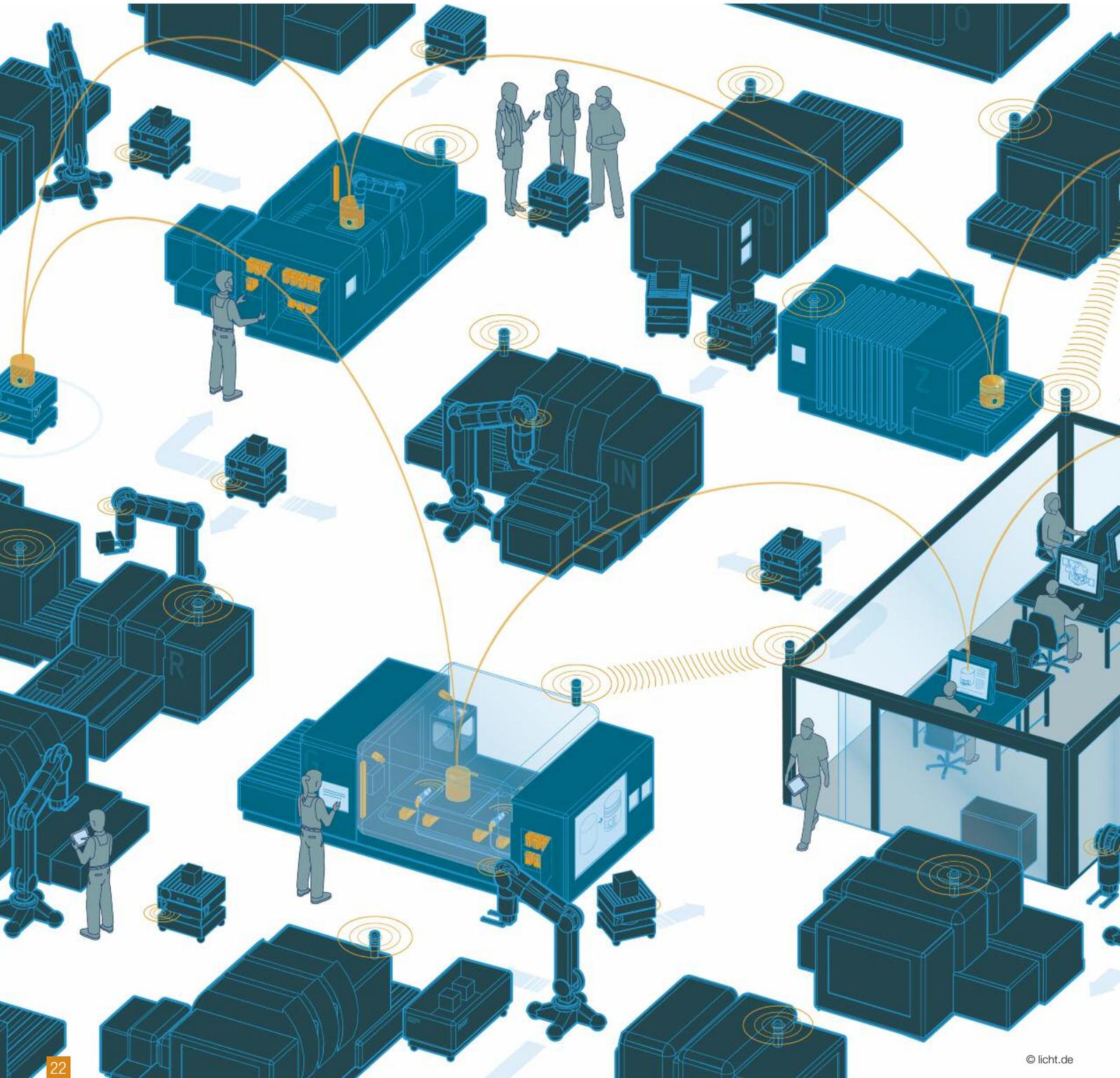
Schritt 5: Wartung und Kontrolle

Nach DIN EN 12464-1 gehört zur Lichtplanung verpflichtend auch die Erstellung eines Wartungsplanes. Optimale Wartung erhöht die Lebensdauer und die Effizienz einer Beleuchtungsanlage. Zudem lassen sich aus der Wartung von Beleuchtungsanlagen wertvolle Hinweise und Kennzahlen für zukünftige Projekte gewinnen.



Weitere Tipps und Praxisbeispiele gibt es in Heft licht.wissen 09 „Sanierung in Gewerbe, Handel und Verwaltung“.

[20 + 21] Mehr Lichtqualität, mehr Effizienz: Ein modernes Beleuchtungssystem mit Lichtsteuerung sorgt auch in Produktionshallen für eine angenehme Atmosphäre und komfortable Arbeitsbedingungen.



22

© licht.de

[22] Die Digitalisierung verändert die Arbeitswelt. In der vernetzten Smart Factory übernehmen Maschinen immer mehr Routine-Aufgaben, gesteuert von Sensoren und Mikroprozessoren.

Smart buildings, smart lightings

Digitale Informationsstrukturen in der Arbeitswelt läuten die vierte industrielle Revolution ein. Die zunehmende Vernetzung von Maschinen und Daten verändert Fertigungs- und Logistikprozesse und bietet Unternehmen neue Möglichkeiten. Die Beleuchtung ist aktiver Teil in smarten Gebäuden: Sie sammelt Nutzungsdaten, reagiert flexibel auf Veränderungen und versorgt den Arbeitsplatz mit der jeweils optimalen Lichtqualität.

Sind bedarfsgerechte Beleuchtung und Industrie 4.0 ein Widerspruch? Durchaus nicht. Im Zeitalter von Industrie 4.0 nehmen die Bedürfnisse der Menschen einen hohen Stellenwert ein und das Thema „Human Centric Lighting“ (HCL) gewinnt mehr und mehr an Bedeutung.

Der Mensch im Mittelpunkt

Durch die Möglichkeit der flexiblen Einstellung moderner Beleuchtungssysteme können Anforderungen verschiedenster Arbeitsfelder, vom Montagewerk bis zum Logistikzentrum, bedient werden und das Licht veränderten Produktionslayouts schnell und einfach angepasst werden. Die moderne Arbeitswelt, die stark durch flexible Arbeitsverhältnisse geprägt ist, profitiert von den Vorteilen einer smarten Beleuchtung: Innovative Sensortechnologie ermöglicht eine Beleuchtung, die sich automatisch an Präsenz, Nutzer und Tätigkeiten anpasst und die visuellen, emotionalen und biologischen Bedürfnisse des arbeitenden Menschen bei der Tag- und Nachtarbeit berücksichtigt.

In Deutschland arbeitet jeder Sechste im Schichtdienst (Bundesarbeitsministerium, 2016) und muss sich regelmäßig von der Tages- auf die Nachtzeit umstellen. In Studien wurde der Nachweis erbracht, dass Lichtlösungen mit dynamisch gesteuerten Beleuchtungsstärken und Farbtemperaturen diese Umstellung unterstützen können. Hinzu kommen immer komplexere, nicht automatisierbare Tätigkeiten mit entsprechend anspruchsvollen Sehaufgaben und der demografische Wandel: Ältere Arbeitnehmer brauchen mehr Licht als ihre jüngeren Kollegen. Beide profitieren von einer guten Lichtqualität, die motiviert und ein fehlerfreies Arbeiten unterstützt.

Licht ist dynamisch und vernetzt

Bedarfsgerechte Beleuchtung bietet jedoch nicht nur gesundheitliche Vorteile für Arbeitnehmer, sondern auch ökonomische Ein-

sparpotenziale. Das Fraunhofer Institut hat ein Arbeitsplatzkonzept für die Industrie 4.0 entworfen: Moderne Beleuchtung passt sich danach tätigkeitsbezogen und ergonomisch den steigenden Anforderungen in den Unternehmen an. Dynamische Einstellungsmöglichkeiten der Lichtfarbe, -intensität und -richtung im Laufe des Arbeitsfortschritts sowie eine digitale Vernetzung von Maschinen und Anlagen unterstützen die Montageleistung an einem Produkt zu jedem Zeitpunkt. Ein Arbeitsplatz mit einer tätigkeitsbasierten Beleuchtung erhöht so einerseits die Produktivität der Mitarbeiter bei gleichzeitiger Fehlerreduktion und verbessert andererseits insgesamt die Arbeitsbedingungen.

Frühzeitig handeln durch Big-Data-Analysen

Durch eine Vernetzung von Sensoren in den Leuchten kann die Effizienz eines gesamten Gebäudes gesteigert werden. Eine digitale Lichtsteuerung sammelt Beleuchtungs- und Präsenzdaten über Bewegungsabläufe und -zeiten von Personen und Ressourcen, energieintensive oder -arme Tätigkeiten sowie Maschinennutzungszeiten und ermöglicht einen Zugriff auch aus der Ferne.

Mit den gesammelten Daten können sowohl Entscheidungen über Service-Einsätze oder neue Investitionen als auch über Anpassungen von Temperatur, Beleuchtung und Reinigungsplänen bei intensiver oder geringer Nutzung leichter getroffen werden. Auch hierdurch können Arbeitsbedingungen verbessert und ökonomische Einsparungen erzielt werden.

Bedarfsgerechte Beleuchtung und entsprechende Lichtmanagementsysteme können die Revolution der Arbeitswelt durch situationsbezogene Optimierungen, ganzheitliche Vernetzungen, intelligente Beleuchtungssysteme für Gebäude und neue Lösungen für die Gestaltung des Arbeitsumfeldes unterstützen.

Umgebungsbedingungen

Vom Reinraum bis zur Müllverbrennungsanlage: In der Industrie gibt es viele verschiedene Anwendungsbereiche mit ebenso unterschiedlichen Umgebungsbedingungen. Material, Beschaffenheit und Konstruktion der Beleuchtung sollten darauf angepasst sein.

Eine funktionierende Beleuchtung ist Grundvoraussetzung für die Sicherheit in jedem Industriebetrieb. Allerdings unterscheiden sich die Umgebungsbedingungen in den verschiedenen Industrieanwendungen deutlich. Bevor man sich für eine Beleuchtungsanlage entscheidet, sollte also zunächst geprüft werden, welche Umgebungsbedingung herrscht und auf welche Eigenschaften, Bauweisen und Materialien bei Leuchtengehäuse, Dichtungen und Verschlüssen geachtet werden soll.

Fremdkörperschutz

In vielen Anwendungen sind Partikel in der Luft, die bei der Produktion anfallen können. Glatte, leicht zu reinigende sowie partikelabweisende Oberflächen sind zu empfehlen. Die erste Kennziffer der IP-Klassifizierung nach DIN EN 60598-1 gibt an, wie groß Partikel sein dürfen, ohne dass sie in die Leuchte eindringen können.

Schutz vor Feuchtigkeit

Die zweite Kennziffer der IP-Klassifizierung

gibt den Feuchtigkeitsschutz der Leuchte an. Bei Anwendungen mit Wasserbädern, Dampf oder auch bei häufiger Reinigung mit Wasser (Dampfreiniger) ist auf eine hohe Schutzart der Leuchten zu achten.

Schutz vor chemischen Einflüssen

Es gibt kein Material, das gegen alle Einflüsse resistent ist. Chemikalien und die Arten der Beeinflussungen sind sehr vielfältig und füllen Bände an Resistenztabellen. Das Gefahrenpotenzial sollte daher immer genau geprüft werden. Bei aggressiven Umgebungsbedingungen sollten Materialien wie Polymethylmethacrylat (PMMA) oder Polyamid (PA) gewählt werden. So ist beispielsweise in der Metallverarbeitung, in der Schmierfette und Öle eingesetzt werden, darauf zu achten, dass keine relevanten Bauteile der Beleuchtungssysteme aus Polycarbonat (PC) bestehen, da dieses Material beschädigt werden kann.

Brandschutz

Stäube und Späne können sich auf Leuch-

ten ablagern und zu hohen Oberflächentemperaturen und Brandgefahr führen. Die D-Kennzeichnung regelt die Oberflächentemperaturen auf Leuchten für feuergefährdete Betriebsstätten.

Sicherheitsbeleuchtung

Sicherheitsbeleuchtung nach DIN EN 60598-2-22 muss besondere Bedingungen erfüllen. So ist vorgeschrieben, dass die Sicherheitsbeleuchtung im Brandfall durch eine Zentralbatterieanlage oder durch einen Dieselgenerator extern betrieben werden kann oder alternativ Leuchten mit integriertem Akku genutzt werden. Weiterhin müssen ausreichende Beständigkeiten gegen hohe Umgebungstemperaturen gegeben sein und bestimmte Komponenten einer sogenannten Glühdrahtprüfung unterzogen werden.

Explosionsschutz

In zahlreichen Industriebereichen müssen explosionsgeschützte Leuchten eingesetzt werden: in chemischen Großanlagen, Ölplattformen oder Raffinerien, aber auch in Getreidemühlen, Silos oder Sägewerken. Bei explosionsgeschützten (Ex-)Leuchten gilt, dass Zündgefahren aktiv vermieden werden müssen.

Insgesamt gibt es 13 mögliche Zündquellen. Neben thermischen oder elektrischen Zündquellen werden auch elektrostatische und elektromagnetische Quellen als mögliche Ursache für eine unerwünschte Zündung betrachtet. Wichtig ist dabei, dass die Leuchte nicht beim Gehäuse aufhört: Innenliegende Komponenten müssen ebenso berücksichtigt werden wie Kabelverschraubungen.

Neben der Zündschutzart, der Methode zur aktiven Vermeidung von Zündquellen, sind die Temperaturklasse und die Gasgruppe entscheidend für die Einstufung der Leuchte. Beide entscheiden über die erlaubte und mögliche Verwendung der Leuchte.

Schutzarten

1. Kennziffer	Schutz gegen Fremdkörper u. Berührung	2. Kennziffer	Schutz gegen Wasser
0	ungeschützt	ungeschützt	
1	geschützt gegen feste Fremdkörper > 50 mm	geschützt gegen Tropfwasser	
2	geschützt gegen feste Fremdkörper > 12 mm	geschützt gegen Tropfwasser unter 15°	
3	geschützt gegen feste Fremdkörper > 2,5 mm	geschützt gegen Sprühwasser	
4	geschützt gegen feste Fremdkörper > 1 mm	geschützt gegen Spritzwasser	
5	geschützt gegen Staub	geschützt gegen Strahlwasser	
6	dicht gegen Staub 	geschützt gegen schwere See	
7	— 	geschützt gegen zeitweises Eintauchen	
8	—	geschützt gegen dauerndes Untertauchen	 ... m
9	—	Schutz gegen Wasser bei Hochdruck-/Dampfstrahlreinigung	

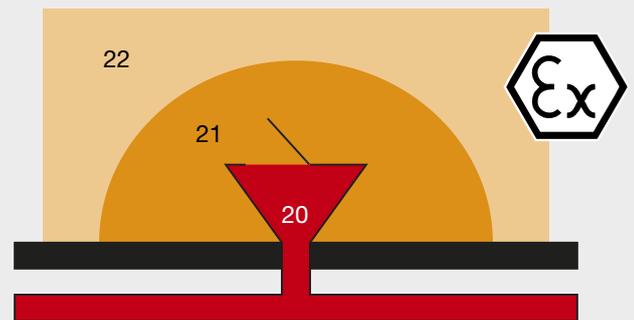


23

Gruppe	Staub	Gefährlichkeit der Stäube
IIIA	Brennbare Flusen	+
IIIB	Nicht-leitfähiger Staub	++
IIIC	Leitfähiger Staub	+++

Gruppe	Prüfgas	Gefährlichkeit der Gase
IIA	Propan	+
IIB	Ethylen	++
IIC	Wasserstoff	+++

Temperaturklasse	Zündtemperatur des Gases	max. Oberflächentemperatur des Betriebsmittels
T1	> 450°C	450°C
T2	> 300°C ≤ 450°C	300°C
T3	> 200°C ≤ 300°C	200°C
T4	> 135°C ≤ 200°C	135°C
T5	> 100°C ≤ 135°C	100°C
T6	> 85°C ≤ 100°C	85°C



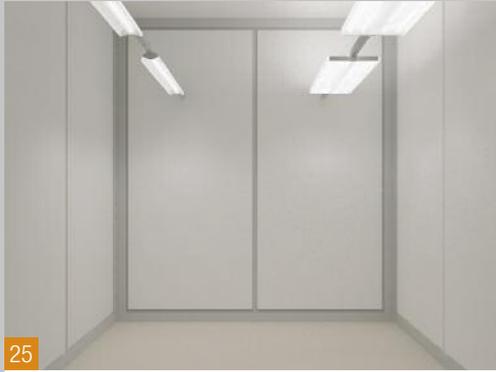
- Zone 20: Fülltrichter einer Sackentleerstation – in Zone 20 ist die Explosionsgefahr am größten
- Zone 21: Nähere Umgebung (Radius 1 m) um die offene Beschickungsöffnung
- Zone 22: Bereich außerhalb der Zone 21 wegen Ablagerung von Staub

24

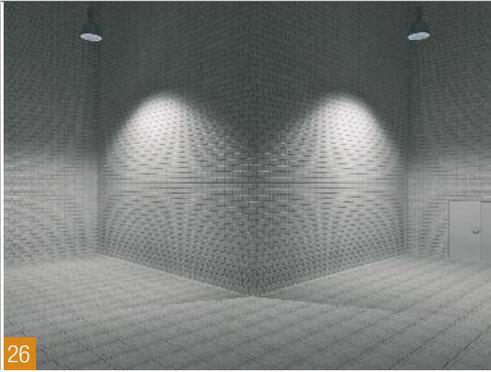
© licht.de

[23] Viele Gase und Stäube sind brennbar und explosionsfähig. In gefährdeten Bereichen müssen explosionsgeschützte Leuchten und Betriebsmittel eingesetzt werden.

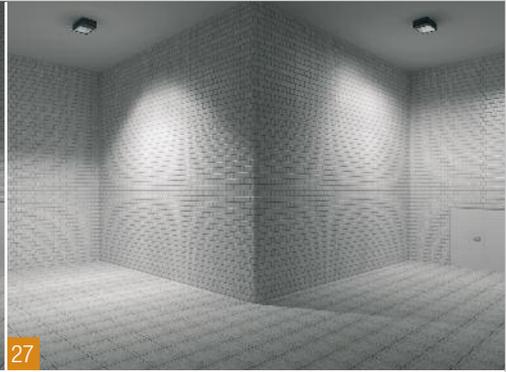
[24] Beispiel für die Einteilung in Zonen nach dem Grad der Gefährdung, hier für brennbare Stäube in die Zonen 20, 21, 22. Für Gas, Nebel und Dämpfe sind die Zonen 0, 1 und 2 definiert.



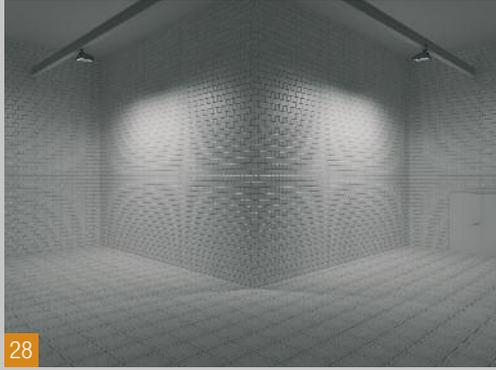
25



26



27



28



29



30

Leuchten

Leuchten verteilen und lenken den Lichtstrom einer oder mehrerer Lichtquellen. Zu einer Leuchte gehören alle Komponenten zur Befestigung sowie zum Betrieb und Schutz der Lichtquelle.

Prinzipiell werden Leuchten in zwei Hauptgruppen unterteilt: Leuchten für Beleuchtungszwecke und Leuchten für Leuchtzwecke. Während Leuchten für Leuchtzwecke eine direkte Wirkung im Auge des Beobachters erzielen sollen – z. B. Signalwirkung, Werbung oder ästhetische Blendung –, erhellen Leuchten für Beleuchtungszwecke die Nutzflächen, die das menschliche Auge sehen, wahrnehmen und/oder bewerten soll.

Eine weitere Unterteilung dieser Gruppe von Leuchten definiert spezifische Eigenschaften der Leuchten, wie den IP-Schutz, IK-

Schutz oder die chemische Verträglichkeit der verwendeten Materialien. Grundsätzlich werden auch Industrieleuchten in Innenleuchten und Außenleuchten unterteilt. Weitere Eigenschaften, die zur Entscheidung für den Leuchtentyp beitragen, sind:

- Leuchteneffizienz: nur effiziente Leuchten helfen, Betriebskosten zu sparen;
- Lichtqualität: Lichtquellen und optische Systeme mit optimaler Beleuchtung der Nutzflächen sind richtig für Industrieanlagen;
- Elektrische Qualität: Zulassung (z. B. ENEC, VDE), Power Factor, Einschalt-



31



32



33



34



35



36

[25] Leuchten im Lichtbandsystem direkt (links) und direkt/indirekt strahlend (rechts), Schutzart IP 20

[26] Hallenreflektorleuchte mit rotations-symmetrischer Lichtstärkeverteilung, Schutzart IP 65

[27] Hallenreflektorleuchte mit symmetrischer (links) und asymmetrischer (rechts) Lichtverteilung

[28] Scheinwerfer mit asymmetrischer Lichtstärkeverteilung für großflächige Industriebereiche, Schutzart IP 65

[29] Explosionsgeschützte Leuchte (Ex-Leuchte)

[30] Maschinenleuchte in den Ausführungen konventionelle Maschinenrohrleuchte (links) und LED-Maschinenleuchte (rechts), Schutzart IP 67

[31] Arbeitsplatzleuchte in den Ausführungen Systemleuchte (links) und universal (rechts), Schutzart IP 20

[32] Reinraumleuchte, Schutzart IP 65

[33] Rasterleuchten für den Deckenanbau (links) und -einbau (rechts), Schutzart IP 20

[34] Feuchtraumwannenleuchte, Schutzart IP 65

[35] Lichtleisten-Leuchte ohne Reflektor, Schutzart IP 65 (Feuchtraumleuchte)

[36] Rettungszeichenleuchte, Schutzart IP 23 oder IP 65 für Industriehallen

strom, Zusammenspiel Netzqualität/Leuchte (Total Harmonic Distortion, THD);

- Lebensdauer: neben der Lichtquelle bestimmen weitere elektronische Komponenten in der Leuchte die Wartungszyklen;
- Produktergonomie: Installationsfreundlichkeit, Wartungsfreundlichkeit, Ästhetik;
- Bauform: ob Flächenstrahler, Punktlichtquelle oder Einbauleuchte entscheidet der Betreiber.

Zudem gibt es noch die Gruppe der handgeführten (= ortsveränderlichen) Leuchten. Auch hier gelten spezielle Forderungen.



1



2



3



4



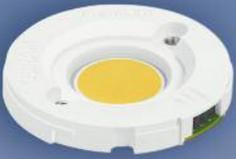
5



6



7



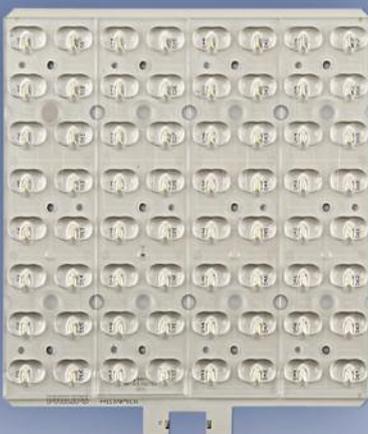
8



9



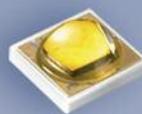
10



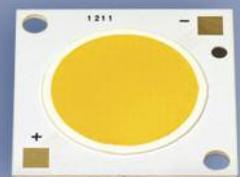
11



12



13



14

LED-Lichtquellen

LED-Lichtquellen gibt es in den verschiedensten Ausführungen. Von der fertigen Retrofit-Lösung über flexible LED-Stripes bis hin zu LED-Modulen, die selbst den höchsten Anforderungen genügen. Auch für anspruchsvolle Sonderanfertigungen hält das LED-Portfolio die perfekte Lösung bereit.

[37] Übersicht gängiger LED-Retrofitlampen, LED-Stripes, LED-Module und LED-Packages. Inzwischen gibt es für jede Anwendung die passende LED-Lösung.

Konversion

Wird eine Leuchte umgebaut, um beispielsweise eine stabförmige LED-Lampe verwenden zu können, wird das als Konversion (Umbau, Umnutzung) bezeichnet. Hierfür ist ein technischer Eingriff in den Leuchtenaufbau notwendig. In der Regel müssen der Starter und das Betriebsgerät ausgetauscht und die Innenverdrahtung ersetzt oder verändert werden. Dadurch ändern sich immer auch die lichttechnischen Eigenschaften der Leuchte, da der LED-Ersatz eine andere Abstrahlcharakteristik aufweist als beispielsweise eine Leuchtstofflampe. Folgende Punkte sind zu beachten:

- Die Umrüstung der Leuchte darf nur durch einen autorisierten Fachbetrieb erfolgen.
- Durch die Umrüstung verliert die Leuchte ihre Zulassung und gegebenenfalls die Garantie des Herstellers.
- Durch den Umbau einer Leuchte entsteht ein neues Produkt, für das eine neue Konformitätsbewertung erstellt werden muss. Dafür ist derjenige verantwortlich, der die Leuchte umbaut oder in Verkehr bringt und dadurch zum Leuchtenhersteller wird.
- Für die Produkthaftung bzw. Gewährleistung ist die umrüstende Firma verantwortlich.
- Die umgerüstete Leuchte muss mit einem neuen Typenschild gekennzeichnet werden.
- Die lichttechnischen Eigenschaften sollten überprüft und gegebenenfalls an die gesetzlich vorgeschriebenen Werte angepasst werden.

LED-Retrofitlampen

Der schnellste und einfachste Einstieg in die LED-Technologie besteht darin, eine vorhandene Leuchte mit einer passenden LED-Retrofitlampe zu bestücken. Die Leuchte inklusive Fassung bleibt dabei unverändert, wird aber mit effizienter Technologie und baugleicher LED-Retrofitlampe auf den neuesten Stand gebracht. LED-Lampen sind in vielen Varianten verfügbar. Sie zeichnen sich durch hohe Energieeffizienz und eine gute Farbwiedergabe aus. Je nach System können sie zudem gedimmt, farbgesteuert oder mit smarter Technologie in ein Netzwerk eingebunden werden. Wichtig: Beim Einsatz von LED-Retrofitlampen in Leuchten muss auf elektrotechnische und lichttechnische Kompatibilität geachtet werden. Auf dem Markt sind im Wesentlichen drei Typen verfügbar:

[1] Ersatz für stabförmige Leuchtstofflampen (T8, T5)

Stabförmige LED-Lampen benötigen bedeutend weniger Energie als herkömmliche Leuchtstofflampen. Sie flackern nicht beim Einschalten und liefern sofort volle Leuchtkraft. Achtung: Konversion beachten, siehe grauen Kasten links.

[2-3] Ersatz für ungebündelt abstrahlende Lichtquellen, ein- oder zweiseitig gesockelt

In klassischer „Birnenform“ und mit Schraubsockel E14 oder E27 ersetzen LED-Lampen herkömmliche Glüh- und Halogenlampen. Ebenso können sie Lampen mit unterschiedlichen Stecksockeln, ein- oder zweiseitig gesockelt, effizient ersetzen.

[4-5] Ersatz für Reflektorlampen

Konventionelle Reflektorlampen lassen sich ebenfalls hervorragend durch LED-Retrofitlampen ersetzen. Hier bietet der Markt eine große Auswahl in unterschiedlichen Lichtfarben und Abstrahlwinkeln.

Flexible LED-Stripes [6-7]

Flexible LED-Stripes eignen sich besonders für die dekorative Beleuchtung. Durch immer höhere Lichtströme werden sie aber auch für die Raumbelichtung, beispielsweise in Vouten, interessant. In diesem Fall muss zwingend auf eine gute Wärmeableitung geachtet werden.

LED-Module [8-11]

LED-Module bestehen aus Platinen, die mit einzelnen LEDs bestückt sind. Je nach Ausbaustufe können diese Lichtquellen bereits mit einer Optik zur Lichtlenkung und einem Kühlkörper ausgestattet sein. Anforderungen an technische Sicherheit, Zuverlässigkeit und Leistung sind in der Verordnung 1194/2012/EU sowie den Sicherheits- und Performanznormen DIN EN 62031 und DIN EN 62717 beschrieben. Zum Betrieb eines LED-Moduls ist in der Regel ein Vorschaltgerät notwendig.

Ausgangs-Basis: Die LED

Die vorgenannten LED-Lichtquellen bedienen sich aus folgenden LED-Bauteilen:

[12] **Low- und Midpower-LEDs** werden mit elektrischen Leistungen von 0,1 bis 0,5 Watt (W) eingesetzt. Sie bestehen aus einem einfachen Kunststoffgehäuse mit Leadframe zur Wärmeableitung und Stromzufuhr sowie einem Chip.

[13] **High-Power-LEDs** mit einer elektrischen Leistung von 1 bis 5 W werden häufig in Strahlern sowie in der Straßenbeleuchtung eingesetzt. Eine präzise Lichtlenkung wird durch spezielle Kunststoffoptiken erreicht.

[14] **Multi-Chip-LEDs** sind mit hochintegrierten Chips hinter einer größeren Konversionsstofffläche, z. B. COB (Chip-on-board), aufgebaut. Sie werden z. B. in Downlights oder Hallen- und Tischleuchten eingesetzt.

Anforderungen an die Qualität von LED-Leuchten

Effiziente LED-Lichtquellen bieten auch in der modernen Industriebeleuchtung optimale Lösungen. Eine Vielzahl von LED-Produkten ist auf dem Markt – aber nicht alle halten, was sie versprechen. Worauf also muss geachtet werden?

Hochwertige LED-Systeme müssen bestimmte Kriterien erfüllen. Dazu zählen zum Beispiel:

- eine hohe Lichtausbeute des gesamten Systems,
- einheitliche Lichtfarbe und homogene Helligkeit inklusive der Möglichkeit, ältere Qualitätsstufen in gleicher Lichtqualität nachzurüsten,
- eine gute Wärmeableitung sowie
- eine lange Lebensdauer mit möglichst wenig Frühausfällen.

Die Leuchtendatenblätter der Hersteller geben Aufschluss über die Bemessungswerte, wie z. B. Leuchten-Lichtausbeute oder Lichtfarbe.

Lichtausbeute von LED-Leuchten

Die Lichtausbeute ist das Maß für die Effizienz von Lichtquellen und wird in Lumen pro Watt (lm/W) angegeben. In der Praxis ist allerdings nicht nur die Lichtausbeute der Lichtquelle entscheidend, sondern die Effizienz des gesamten Systems aus Lichtquelle, Leuchtengehäuse, Optiken und Betriebsgeräten.

Bei LEDs werden immer wieder unrealistisch hohe Lichtausbeuten von mehr als 200 Lumen/Watt (lm/W) veröffentlicht. Dies sind allerdings „Laborwerte“, die unter idealen Bedingungen entstanden sind. Sie können im praktischen Betrieb durch elektrische, optische und vor allem thermische Verluste nicht erreicht werden. Bei Vergleichen sollte deshalb immer darauf geachtet werden, dass der von der Leuchte abgegebene Lichtstrom beachtet wird, nicht derjenige von LED-Chips.

Weiterhin ist zu beachten, dass die Leuchten-Lichtausbeute zur Bewertung der Energieeffizienz nicht ausreicht, da nicht das komplette abgestrahlte Licht tatsächlich auch auf die Nutzebene trifft. Insofern muss ergänzend immer eine lichttechnische Be-

rechnung für die Bewertungsfläche betrachtet werden.

Gute Wärmeableitung

Wann immer Licht entsteht, entsteht auch Wärme. Sie muss gut abgeleitet werden, damit LED-Leuchten eine lange Lebensdauer und maximalen Lichtstrom erreichen. Schon bei der Konstruktion ist deshalb auf ein gutes Thermomanagement mit entsprechend leistungsfähigen Kühlköpern im Leuchtengehäuse zu achten. Grundsätzlich gilt: Je kühler, desto höher die Lebensdauer der LED und desto effizienter und heller ihr Licht.

Lebensdauer von LED-Systemen

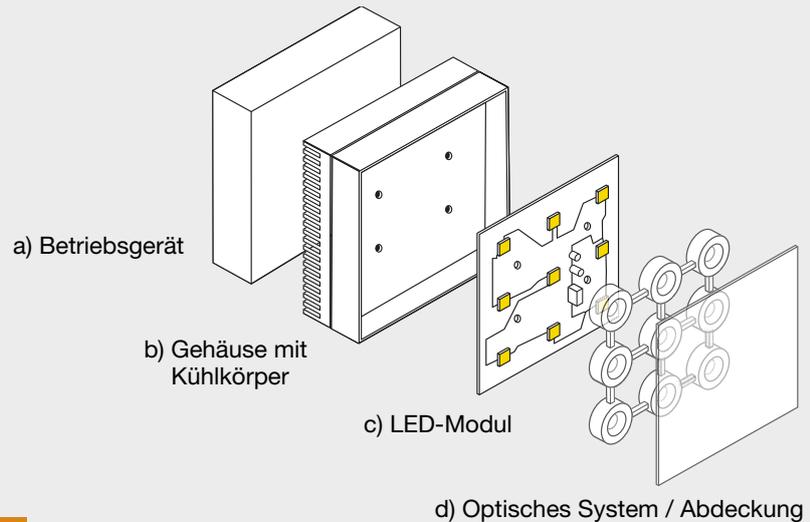
Abhängig von den Betriebsbedingungen können LED-Systeme im Vergleich zu traditionellen Lichttechniken eine sehr lange Lebensdauer erreichen und sind nahezu wartungsfrei.

Bei LED-Systemen wird die Lebensdauer üblicherweise in Stunden angegeben. Fachleute sprechen hier von der Bemessungslebensdauer.

LED-Leuchten fallen nur sehr selten komplett aus, allerdings lässt ihre Helligkeit während der Betriebsdauer nach. Die Bemessungslebensdauer (angegeben mit L_x) beschreibt, nach welcher Zeit der Lichtstrom der LED auf den angegebenen Wert gesunken ist. Für die Allgemeinbeleuchtung gelten z. B. Werte von L_{80} oder L_{70} . So ist die mittlere Bemessungslebensdauer erreicht, wenn der Lichtstrom noch 70 Prozent seines Neuwertes erreicht.

Degradation und der seltene Totalausfall einer LED hängen wesentlich von der Bestromung und der Wärmeableitung ab; Umgebung- und Betriebstemperatur haben einen starken Einfluss auf die Lebensdauer der LED.

Beispielhafter Aufbau einer LED-Leuchte



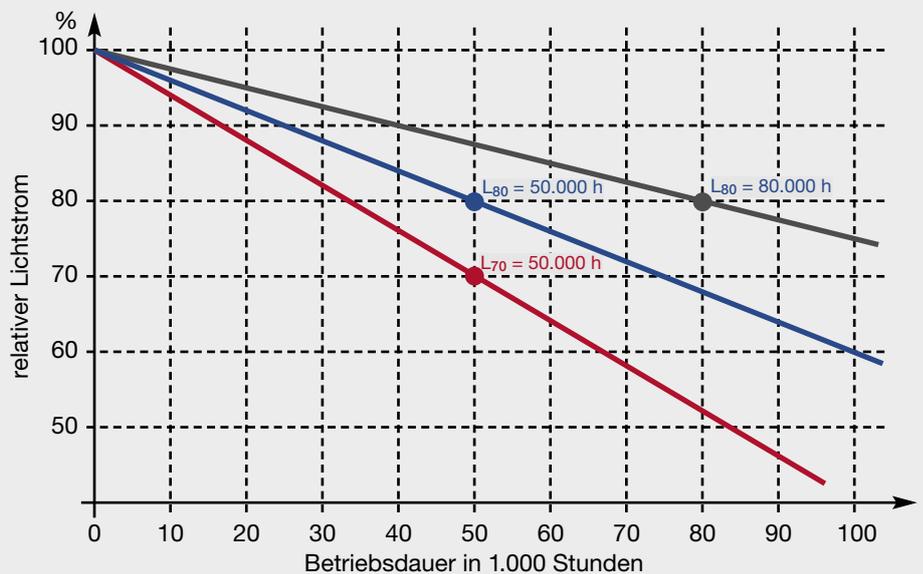
Der mögliche Ausfall von LED-Treibern wird – analog zur konventionellen Technologie – nicht berücksichtigt und muss bei den Herstellern separat abgefragt werden.

38



Über Begriffe, Definitionen und Messverfahren informiert der ZVEI-Leitfaden „Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung“.

Darstellung des Lichtverlaufs über die Betriebszeit



Vereinfachte Darstellung

© licht.de

39

[38] Beispielhafter Aufbau einer LED-Leuchte: Die an der LED-Platine entstehende Wärme muss über das Gehäuse mit spezifischem Kühlkörper abgeführt werden, damit Lichtqualität und Langlebigkeit erhalten bleiben. Die Optik sorgt für Lichtlenkung und passenden Abstrahlwinkel.

[39] LED-Systeme fallen nur sehr selten aus. Ihre Lichtleistung nimmt mit der Zeit aber ab. Die Lebensdauer wird mit L_x angegeben. Typische Beispiele für den Anteil x (in %) des Bemessungslichtstrom sind z. B. 70 oder 80 Prozent (= L_{70} oder L_{80}) bei einer bestimmten Bemessungslebensdauer von etwa 50.000 Stunden und einer Umgebungstemperatur von 25° C der Leuchte.

[40] In der Regel sind hochwertige LED-Systeme mit gutem Thermomanagement während ihrer gesamten Lebensdauer praktisch wartungsfrei. Gleichwohl beeinflussen vielfältige Faktoren die Lebensdauer.

Innere und äußere Faktoren mit Einfluss auf die LED-Lebensdauer



40

© licht.de

Elektrotechnik und Elektronik

Tätigkeiten in Industrie und Handwerk der Elektroindustrie sind stark vom Wandel der Digitalisierung geprägt. Mikro- und Nanotechnologie ziehen in die Wertschöpfungskreisläufe ein. Die klassischen Produkte erhalten zunehmend höhere Integrationsdichten und elektronische Schnittstellen der Zukunft (Internet of Things, IoT). Die Sehaufgaben sind sehr breit gefächert.

Licht für das Elektrohandwerk

Die Tätigkeiten im Elektrohandwerk sind durch eine hohe Varianz der Aufgabenstellungen gekennzeichnet; entsprechend unterschiedlich sind die Sehaufgaben. Aus diesem Grund ist es zweckmäßig, die Arbeitsplätze bzw. Bereiche der Sehaufgabe einzeln auszuleuchten. Die mittlere Beleuchtungsstärke liegt zwischen 300 Lux (lx) bis 500 lx. Feinere Arbeiten erfordern bis zu 1.000 lx, Prüfarbeiten und Justieren 1.500 lx.

Fall breitstrahlende oder asymmetrische Leuchten sowie Leuchten, die entsprechend ausgerichtet werden können.

Für Prüf- und Kontrollplätze sowie weiteren Tätigkeiten mit höheren Sehanforderungen sollte immer zusätzliches Licht zur Verfügung stehen.

Elektronik-Werkstätten

Werkstätten für Kommunikations- und Unterhaltungselektronik haben ähnliche Anforderungen wie das Elektrohandwerk. Für den wachsenden Anteil an integrierten Schaltungen und Miniaturisierung ist für diese Sehaufgaben eine mittlere Beleuchtungsstärke von mindestens 500 lx vorzusehen. Eine zusätzliche Arbeitsplatzbeleuchtung ist erforderlich, wenn räumlich diffizile oder feinste Arbeiten an Werkstü-

[41 + 42] Bei Maschinen oder Prozessen mit stetigen Bewegungen (z. B. Rotation) werden störende stroboskopische Effekte vermieden, wenn die Leuchten an elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) betrieben werden. Bei LED-Leuchten ist zusätzlich darauf zu achten, dass ausschließlich stromamplitudengedimmte EVG oder alternativ EVG mit ausreichend hoher PWM-Frequenz (≥ 2 kHz) verwendet werden.

Das Arbeiten an und mit größeren Geräten erfordert eine besondere Beleuchtung, da es vielfach zu unerwünschten Abschattungen kommen kann. Neben der horizontalen Beleuchtungsstärke muss deshalb ebenfalls auf die vertikale Beleuchtungsstärke geachtet werden. Richtig sind in diesem



cken oder Schaltungen erfolgen. Das plastische Sehen wird damit verbessert und erhält die Konzentration.

Elektronik-Fertigung

Die Anforderungen an die Beleuchtung in der Elektronik-Fertigung sind vergleichbar mit dem Elektrohandwerk. Elektronische Hardware wird immer kleiner und immer häufiger automatisiert bzw. durch Roboter gefertigt. Der Mensch übernimmt mehr Kontrollaufgaben und ist weniger in die Fließprozesse eingebunden.

Die kleinen Strukturen in der Leiterplattenbestückung – wie z. B. bei Mikroprozessoren –, erfordern hohe Beleuchtungsstärken, weil diese häufig schwarz und lichtabsorbierend sind. Die Fertigungsprozesse verlangen eine hohe Reinheit der Luft, die frei von Staub und Mikroorganismen sein muss. Die Beleuchtung erfolgt mit Reinraumleuchten.

Für die Fertigung von Komponenten wie Kabel, Drähte oder große Spulen, Galvanisierungen oder Montagen ist eine mittlere Beleuchtungsstärke von 300 lx ausreichend. Mit abnehmender Größe der Produktionswerkstücke oder der Montage

kleinster Bauteile ist das Beleuchtungsniveau auf mindestens 750 lx anzuheben.

Monitore innerhalb der Produktion und des Qualitätswesens müssen bildschirmgerecht ausgeleuchtet werden. Dabei ist auf Blendfreiheit zu achten; störende Reflexe sind zu vermeiden.

Beleuchtungssysteme

Die Beleuchtungsstärken der Raumbeleuchtung, Arbeitsplatzbeleuchtung und besonderer Arbeitsplätze sind für ein gutes Sehen ausgewogen zu wählen. Empfehlenswert ist eine Leuchtdichteverteilung im Verhältnis von 10:3, damit die Adaption der Augen nicht überfordert wird. Grundsätzlich hilfreich sind helle Wände, Fußböden und eine Deckenaufhellung bei fehlenden Oberlichtern.

Energie- und Ressourcenmanagement sind mit dem Siegeszug der LED-Technik einfach zu realisieren. Beleuchtungsanlagen mit Tageslichtsteuerung und Präsenzmeldern – integriert in ein Gebäudemanagement – garantieren maximale wirtschaftliche Einsparungen in einer modernen Produktionsstätte und erhöhen die Lebensdauer.

Lichtbänder als Deckenaufbau oder in abgehängter Form sind für Lichtpunkthöhen zwischen vier bis sechs Meter ebenso gut geeignet wie Hallen- (Lowbays) oder Hallenpendelleuchten (Highbays) in LED-Technik. Lichtbänder mit tiefstrahlender Optik können auch in höheren Hallen eingesetzt werden.

Für verlängerte Wartungszeiträume und bei höherem Staubaufkommen sollten Leuchten mit höheren Schutzarten, z. B. IP 65 oder IP 66, installiert werden. In chemisch belasteten Bereichen, z. B. beim Beizen oder Galvanisieren, müssen korrosionsstabile Leuchten hoher Schutzart (mind. IP 65) und entsprechende Befestigungen verwendet werden.

Vorgaben nach DIN 12464-1: Elektrotechnik

Raum, Aufgabe oder Tätigkeit	E_m	UGR_L	U_0	R_a
Kabel- und Drahtherstellung	300	25	0,60	80
Wickeln, große Spulen	300	25	0,60	80
... mittlere Spulen	500	22	0,60	80
... feine Spulen	750	19	0,70	80
Imprägnierung von Spulen, Galvanisieren	300	25	0,60	80
Montagearbeiten, grob (z. B. große Transformatoren)	300	25	0,60	80
... mittelfeine (z. B. Schalttafeln)	500	22	0,60	80
... feine (z. B. IT-Produkte)	750	19	0,70	80
... sehr feine (z. B. Leiterplatten)	1.000	16	0,70	80
Elektronikwerkstätten, Prüfen, Justieren	1.500	16	0,70	80



Metallverarbeitung, Maschinen- und Anlagenbau

Die Anforderungen an die Sehaufgabe variieren entsprechend der großen Bandbreite der ausgeübten Tätigkeiten: Grobmontage- und Schmiedearbeiten zählen zu den einfachen Sehaufgaben, Schweißen und mittelfeine Maschinenarbeiten stellen höhere Anforderungen. Bei hochpräzisen Arbeiten an Maschinen, beim Löten sowie an Kontroll- und Messplätzen sind die Augen maximal gefordert.

Grobmontage und Freiformschmieden in der Metallverarbeitung

Grobmontage, Gesenk- und Freiformschmieden zählen zu den weniger sensiblen Sehaufgaben; hier genügen 300 Lux (lx), für das Freiformschmieden 200 lx mittlere Beleuchtungsstärke. In hohen Hallen sorgen LED-Industrieleuchten mit entsprechender Optik für wirtschaftliches Licht. Sie sind allerdings ungeeignet, wenn häufig mit glänzenden Metallteilen gearbeitet wird, weil ihr Licht dann starke Reflexblendung erzeugt. In diesem Fall sind LED-Langfeldleuchten mit diffuser Abdeckung besser geeignet.

Schweißarbeiten

An Arbeitsplätzen für Schweißarbeiten ist eine mittlere Beleuchtungsstärke 300 lx richtig. Ergänzend sollten fest montierte oder mobile Arbeitsplatzleuchten eingesetzt werden. Mit der höheren Beleuchtungsstärke am Werkstück kann die geringe Lichtdurchlässigkeit von Schweißbrillen kompensiert werden.

Licht an Drehbänken und zum Löten

Eingespannte Werkstücke müssen von der Bearbeitungsseite beleuchtet werden. Damit keine harten Schatten entstehen, wird dafür die Längsachse von Langfeldleuchten quer zur Drehbank angeordnet. Zusätzlich ist eine gut abgeschirmte, verstellbare Arbeitsleuchte notwendig, die mit streifendem Lichteinfall Details auf dem Werkstück besser hervorhebt.

Bei Lötarbeiten ist die Kontrolle des Ergebnisses besonders wichtig. Zur Beleuchtung eignen sich am besten Leuchten mit opaler Abdeckung.

Maschinen- und Anlagebau

Im Maschinen- und Anlagebau wird die Beleuchtung raum- oder arbeitsbereichsbezogen ausgeführt. Die vorgeschriebene Beleuchtungsstärke variiert zwischen 300 und 500 lx. Höhere Beleuchtungsstärken in den Bereichen der Sehaufgabe und helle vertikale Flächen beeinflussen

Wohlbefinden und Produktivität positiv (s. Seite 10ff.).

Feine Maschinenarbeiten

Für feine Arbeiten mit Toleranzen < 0,1 Millimeter ist eine mittlere Beleuchtungsstärke von 500 Lux erforderlich. Die zu bearbeitenden Metallteile haben häufig glänzende und daher spiegelnde Oberflächen, was zu Reflexblendung führt. Bei der Beleuchtung mit LED-Langfeldleuchten mit diffuser Abdeckung empfehlen sich daher helle Wände und eine helle Decke, um die Reflexblendung zu minimieren.

An Montagebändern werden die Bereiche der Sehaufgabe am besten mit parallel montierten Lichtbändern erfasst. Da dort vielfach auch an geneigten Ebenen ausreichende Beleuchtungsstärken zur Verfügung stehen müssen, sind hier zusätzliche Arbeitsplatzleuchten notwendig.

Arbeitsplätze mit Monitoren

In Bereichen mit Monitoren und Displays sowie an CNC-Maschinen muss die Beleuchtung bildschirmgerecht sein. Nur in der Leuchtdichte begrenzte Leuchten – z. B. mit Mikropismen oder spezielle Bildschirmarbeitsplatzleuchten – können störende Reflexe auf dem Bildschirm effektiv verhindern. Zum Einrichten von Werkzeugmaschinen ist fast immer das zusätzliche Licht mobiler Arbeitsplatzleuchten erforderlich.

Feinmechanische Werkstätten

In der Präzisions- und Mikromechanik werden kleinste Teile bearbeitet, sortiert oder produziert. Enge Toleranzen erfordern besonders exakte Messvorgänge. Die hohen Sehanforderungen verlangen mindestens 1.000 lx mittlere Beleuchtungsstärke. Zumindest für besonders diffizile Tätigkeiten sollten zusätzliche Arbeitsplatzleuchten eingesetzt werden.

Vorgaben nach DIN 12464-1: Metallverarbeitung

Raum, Aufgabe oder Tätigkeit	E_m	UGR_L	U_0	R_a
Freiformschmieden, Verarbeitung schwerer Bleche (> 5 mm)	200	25	0,60	80
Verarbeitung leichter Bleche (< 5 mm)	300	22	0,60	80
Schweißen, Gesenkschmieden, Galvanisieren	300	25	0,60	80
Herstellung von Werkzeugen, Schneidwaren	750	19	0,70	80
Grobe Montagearbeiten	200	25	0,60	80
Sehr feine Montagearbeiten	750	19	0,70	80
Oberflächenbearbeitung und Lackierung	750	25	0,70	80

Kontroll- und Messplätze

Wo kontrolliert, gemessen und geprüft wird, muss die mittlere Beleuchtungsstärke ebenfalls hoch sein: 750 lx bis 1.000 lx. Außerdem ist ein ausgeglichenes Verhältnis von direkter zu indirekter Beleuchtung wichtig, damit plastische Formen gut erkannt und störende Reflexe vermieden werden. Ein weiteres wichtiges Kriterium für die Beleuchtung ist die gute Erkennbarkeit der Skalen und Bildschirme von Messgeräten. Neben hochwertiger Beleuchtung sind in diesen Bereichen helle Raumbegrenzungsflächen – vor allem helle Decken – wichtig.

Beleuchtungssysteme

Favoriten für die Metallverarbeitung sowie im Anlage- und Maschinenbau sind Langfeldleuchten und Lichtbandleuchten. Als entsprechend flexible Systeme können sie Veränderungen in den Produktionsabläufen einfach angepasst werden.

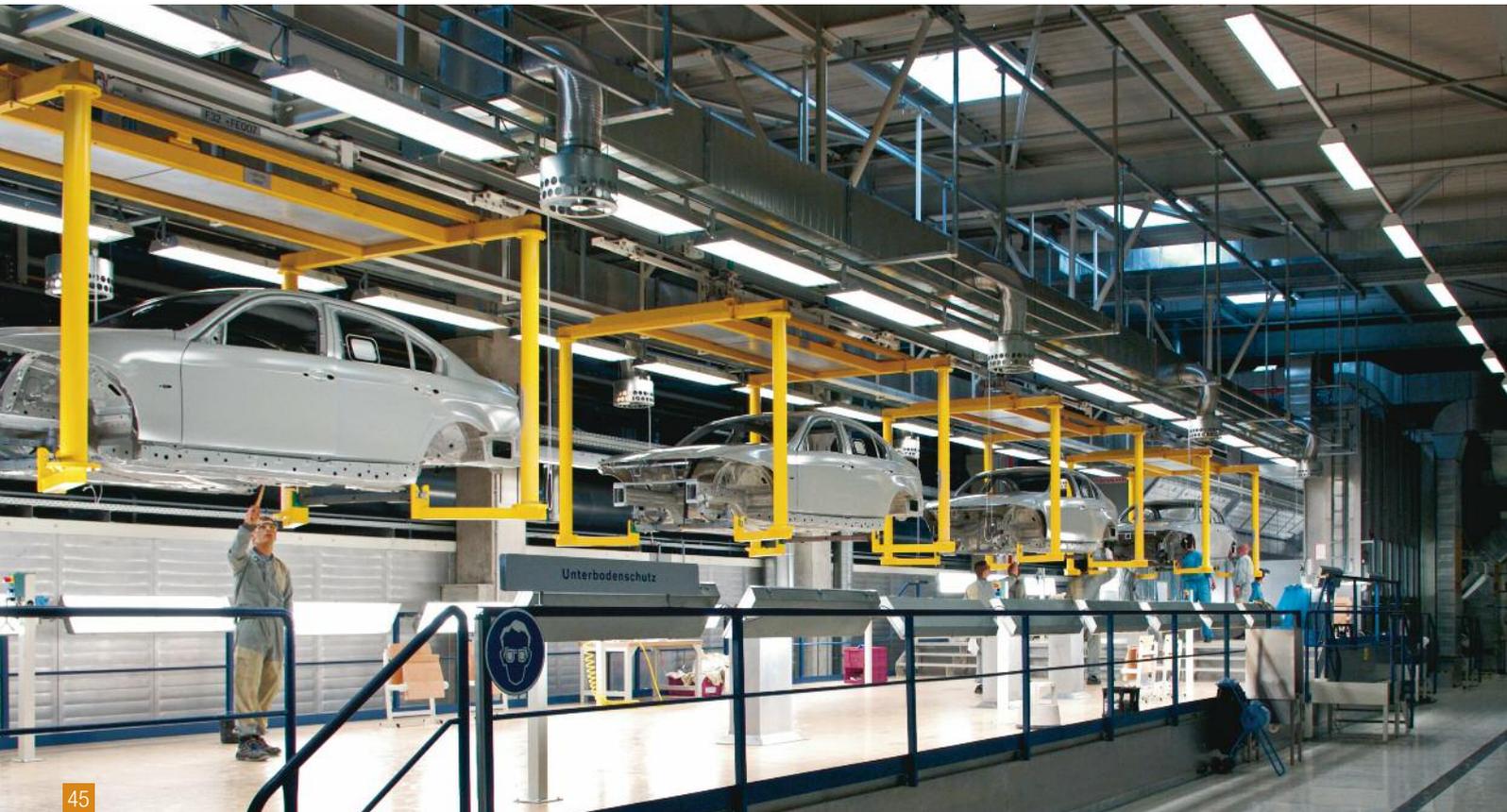
LED-Lichtbandsysteme eignen sich mit entsprechenden Optiken sowohl für niedrige als auch für hohe Räume. Alternativ werden bis sechs Meter Hallenhöhe Langfeldleuchten, ab sechs Meter Hallenstrahler mit LED eingesetzt. Bei hohen Sehanforderungen sind zusätzliche Arbeitsplatzleuchten notwendig.

Bei hohem Staubaufkommen sollten geschlossene Leuchten höherer Schutzart IP 54 oder IP 65 installiert werden. Prinzipiell verlängert eine hohe Schutzart das Wartungsintervall. In Räumen mit hohem Reinheitsgrad, die nicht als Reinräume ausgeführt werden müssen, sollten sich die Leuchten gut reinigen lassen und keine Flächen haben, auf denen sich Verschmutzungen ablagern können.

[43] Abgependelte LED-Pendelleuchten sorgen für blendfreies Licht am Bildschirmarbeitsplatz.

[44] Für Hallen bis zu sechs Meter Höhe eignen sich LED-Lichtbandsysteme.





45

Automobilbau

Eine enorme Fertigungstiefe kennzeichnet den Automobilbau. Die Produktionsschritte reichen von groben Arbeiten, wie z. B. Umformen oder Schweißen, bis zu feinen Montagetätigkeiten und Sichtkontrollen. Entsprechend vielfältig sind die Anforderungen an die Beleuchtung.

In der Automobilindustrie wechseln die Produktions- und Prozessabläufe schnell. Moderne Beleuchtungssysteme sollten deshalb maximale Flexibilität bieten, damit die Beleuchtung schnell und effizient angepasst werden kann. Einzelarbeitsplätze werden mit dem Licht einer raum- oder arbeitsbereichsbezogenen Beleuchtung versorgt. Gegebenenfalls ergänzen Arbeitsplatzleuchten dieses Licht mit höheren Beleuchtungsstärken, z. B. beim Umgang mit Kleinteilen.

Karosseriebau und Montage

Für Karosseriebau und Montage gelten allgemein 500 Lux (lx) mittlere Beleuchtungsstärke als Minimum. In der Montage sind die meisten Arbeitsplätze am Fließband. Hier sollte darauf geachtet werden, dass parallel zum Band installierte Lichtbänder möglichst wenig Blendung verursachen und ein gleichmäßig hohes Beleuchtungsniveau sicherstellen. Die geforderte Beleuchtungsstärke muss beispielsweise auch bei Mon-

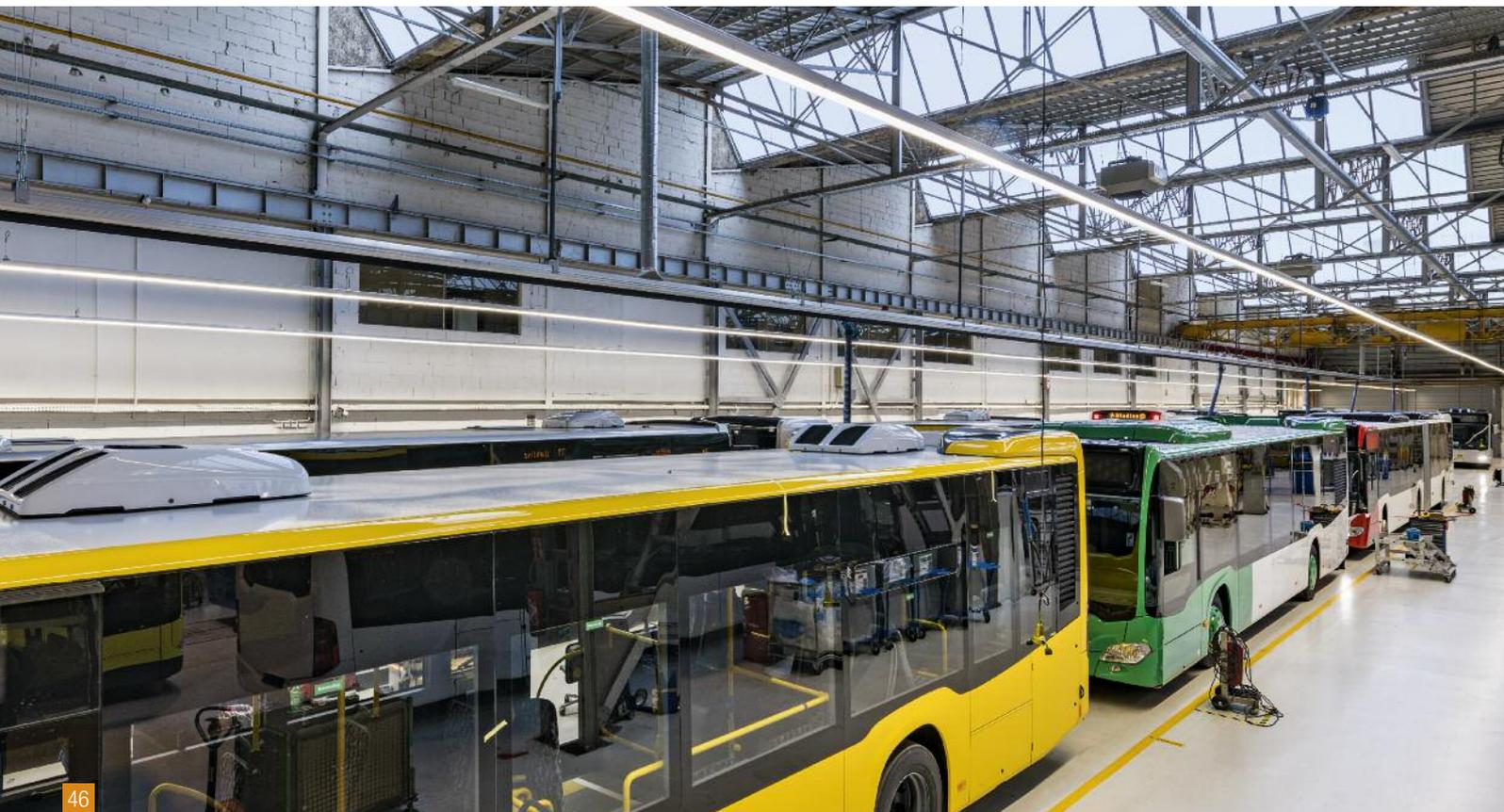
tagearbeiten im Fahrzeuginneren erreicht werden. Bei feineren Tätigkeiten, etwa an Einzelarbeitsplätzen, sollte eine arbeitsplatzbezogene Beleuchtung zum Einsatz kommen.

Lackiererei und Spritzkabine

Lackiererei und Spritzkabinen fordern Werte zwischen 750 und 1.000 Lux mittlerer Beleuchtungsstärke. Zudem sollte beachtet werden, dass in diesen Anwendungen häufig explosionsgeschützte Leuchten zum Einsatz kommen (ATEX-Richtlinie 1999/92/EG). Dies gilt ebenso für Bereiche, in denen größere Mengen an Staub entstehen, wie beispielsweise bei Schleifarbeiten.

Polsterei und Endkontrolle

1.000 Lux mittlere Beleuchtungsstärke müssen in Polsterei und Endkontrolle gewährleistet sein. Diese hohen Werte lassen sich in diesen Bereichen am besten mit Einzellichtern erreichen. Großflächige Prüflichter vermeiden z. B. Reflexblendungen



46

und andere optische Störeffekte – speziell bei hochglänzenden Teilen.

Inzwischen werden Qualitätsprüfungen an lackierten Oberflächen – oder häufig auch an der gesamten Karosserie – bei vielen Automobilherstellern in Lichttunneln vorgenommen. Die Beleuchtungssysteme sind bogenartig angebracht, lassen sich individuell steuern und erlauben durch spezielle Lichtszenarien auch das Erkennen selbst kleinster Unebenheiten.

Ebenso gibt es spezielle Leuchten für die Farbmusterung (ColorMatching). Sie ermöglichen durch Wechsel der Farbtemperatur z. B., dass der Decklack exakt geprüft und Farbtonfehler gut erkannt werden können.

Bei Großunternehmen gelten oftmals Werknormen. Sie übertreffen die Industrienormen teilweise deutlich. Vor der Planung muss geprüft werden, welche Parameter festgelegt sind, damit sie entsprechend berücksichtigt werden.

Beleuchtungssysteme

Für Produktions- und Logistikbereiche mit Decken in mehr als sechs Meter Höhe sind wartungsarme LED-Tiefstrahler zu empfehlen. In rauen Umgebungen (Presswerk, Rohbau, etc.) sollte zudem auf höheren IP-

Schutz (IP 54 und höher), Hitzebeständigkeit und Resistenz gegen eventuell auftretende Emissionen (z. B. Öldämpfe, Schweißrauch) geachtet werden. Bei Deckenhöhen bis sechs Meter empfehlen sich LED-Lichtbänder mit moderatem Staubschutz. In Bereichen mit Displays und Monitoren sorgen Leuchten mit Mikroprismen oder spezielle Bildschirmarbeitsplatzleuchten für blendfreies Licht.

Noch ein Hinweis: Mittlerweile werden lackbenetzungsstörende Substanzen (z. B. Silikon) von vielen Autoherstellern grundsätzlich und in sämtlichen Produktionsbereichen verboten – auch in Beleuchtungsanlagen.

[45 + 46] Für Montagebänder in der Automobilindustrie sind LED-Lichtbänder die richtige Wahl. Sie stellen ein gleichmäßig hohes Beleuchtungsniveau sicher. Für Hallenbereiche mit Deckenhöhen über sechs Meter empfehlen sich LED-Tiefstrahler.

Vorgaben nach DIN 12464-1: Automobilbau

Raum, Aufgabe oder Tätigkeit	E_m	UGR_L	U_0	R_a
Karosseriebau und Montage	500	22	0,60	80
Lackieren, Spritzkabine, Schleifkabine	750	22	0,70	80
Lackieren, Ausbessern, Inspektion	1.000	19	0,70	90
Polsterei, Endkontrolle	1.000	19	0,70	80



Chemische Industrie

Verfahrenstechnische Produktionsanlagen der Chemieindustrie sind je nach Aufgabe im Aufbau sehr unterschiedlich und brauchen daher individuelle Beleuchtungslösungen. Allgemeingültige Kriterien für die Beleuchtung lassen sich trotzdem aufstellen. Bei Arbeiten mit explosiven Stoffen sind Ex-Leuchten (explosionsgeschützt) vorgeschrieben.

Viele chemische Produktionsanlagen unterliegen einer ständigen Beobachtung und -Überwachung. Dabei kommt es vor allem auf ausreichende vertikale Beleuchtungsstärken an. Sehr wichtig ist es außerdem, Reflexblendung auf Instrumenten und Armaturen zu vermeiden. Offene Behälter müssen bis in die Tiefe gut ausgeleuchtet werden.

Betriebsbedingungen beachten

Für Bereiche mit starkem Schmutzanfall eignen sich ausschließlich geschlossene Leuchten höherer Schutzart, die gegebenenfalls auch gegenüber den dort verarbeiteten Stoffen beständig sein müssen. Für Anlagen zum Mischen, Mahlen oder Pulverisieren sind staubgeschützte Leuchten ein Muss; bei Explosionsgefahr müssen diese als Ex-Leuchten ausgeführt sein. Weiterhin ist zu beachten, dass in Bereichen mit hohen Umgebungstemperaturen oder Schadgasen LED-Leuchten häufig nicht eingesetzt werden können. Daher sind für diese Bereiche geeignete konventionelle Leuchten zu wählen.

Die mittlere Beleuchtungsstärke für ständig besetzte Arbeitsplätze muss mindestens 300 Lux (lx) betragen. Gelegentliche manu-

elle Eingriffe (150 lx) oder fernbediente Anlagen (50 lx) kommen mit geringeren Beleuchtungsstärken aus.

Die Leuchten werden überwiegend als arbeitsbereichsbezogene Beleuchtung angeordnet. Für Tätigkeiten mit schwierigen Sehaufgaben werden zusätzliche Arbeitsplatzleuchten eingesetzt, die auf die spezifischen Arbeitsabläufe abgestimmt sind. Wo notwendig, ist auf eine bildschirmgerechte Beleuchtung zu achten.

Beleuchtungssysteme

LED-Lichtbandsysteme eignen sich mit entsprechenden Optiken sowohl für niedrige als auch für hohe Räume. Alternativ werden bis sechs Meter Hallenhöhe Langfeldleuchten, ab sechs Meter Hallenstrahler mit LED oder Hochdruck-Entladungslampen eingesetzt. Bei Explosionsgefahr müssen diese als Ex-Leuchten ausgeführt sein.

Wenn räumliche Körperformen erkannt werden müssen oder Oberflächen zu kontrollieren sind, sorgen zusätzliche, individuell einstellbare Arbeitsplatzleuchten für eine gerichtete Zusatzbeleuchtung und damit für ausreichende Kontrastbildung.

Vorgaben nach DIN 12464-1: Labore und Reineräume

Raum, Aufgabe oder Tätigkeit	E_m	UGR_L	U_0	R_a
Verfahrenstechnische Anlagen mit Fernbedienung	50	–	0,40	20
... mit gelegentlichen manuellen Eingriffen	150	28	0,40	40
... mit ständig besetzten Arbeitsplätzen	300	25	0,60	80
Präzisionsmessräume, Laboratorien	500	19	0,60	80
Arzneimittelherstellung	500	22	0,60	80
Farbprüfung	1.000	16	0,70	90

[47] Hohe Hallen: LED-Lichtbandsysteme spenden Licht für die Papierherstellung.

[48 + 49] Verfahrenstechnische Anlagen mit gelegentlichen manuellen Eingriffen erfordern mindestens 150 Lux Beleuchtungsstärke; bei ständig besetzten Arbeitsplätzen sind mindestens 300 Lux notwendig.



Labor und Reinnräume

Viele Produkte werden heutzutage aufgrund der gestiegenen Anforderungen an die Produktqualität in Reinnräumen oder Laboren produziert. Neben der besonderen Schutzart und Bauweise der Beleuchtung ist vor allem auf eine sehr gute Lichtqualität zu achten.

Die Idee vom „Reinraum“ wird ursprünglich der Medizin zugeschrieben. Heute gibt es mehr Reinnräume in der Industrie für die Fertigung unter diesen „reinen“ Bedingungen als im Gesundheitswesen, da die Anforderungen an die Produktqualität massiv gestiegen sind und so immer mehr Bauteile in Reinnräumen produziert oder zusammengesetzt werden.

Anspruchsvolle Sehaufgaben

Generell sind die Sehaufgaben in Laboren und Reinnräumen sehr viel anspruchsvoller als in anderen klassischen handwerklichen Industrien. Dementsprechend sind auch die Anforderungen an die Lichtqualität in Laboren und Reinnräumen sehr hoch.

Die Reinraum-Industrie umfasst die

- Chemische Industrie mit Arzneimittelherstellung, Präzisionsmessräumen, Laboren, Räumen für Kontrollarbeiten und Nachbearbeitung,
- Halbleiterindustrie,

- Biotech-Industrie,
- Elektroindustrie mit Räumen für feine bis sehr feine Montagearbeiten sowie mit Räumen für Prüf- und Justierarbeiten in Elektrowerkstätten,
- Mikroelektronikindustrie und die
- Metallverarbeitende Industrie mit Räumen für sehr feine Montagearbeiten sowie für Präzisions- und Mikromechanik.

Auch in der Nahrungsmittelindustrie gibt es zahlreiche Reinnräume: zum Sortieren und Waschen, Mischen und Abpacken von Produkten, für Feinkost sowie in Untersuchungslaboren.

Großküchen können ebenfalls als Reinraum ausgeführt sein. Außerdem können Räume mit erhöhten Anforderungen wie Wäscherei und Chemische Reinigung mit Reinraumtechnik ausgestattet werden.

Licht für die Laborarbeit

Diffizile Laborarbeit stellt hohe Anforderun-

gen an die Qualität der Beleuchtung. Damit Farbvergleiche problemlos gelingen, sind Lampen mit Farbwiedergabe $R_a \geq 90$ notwendig. Es ist sinnvoll, den gesamten Raum mit Lichtquellen derselben Farbwiedergabe zu beleuchten, auch wenn nur an bestimmten Plätzen eine Farbprüfung stattfindet. Generell sind in Laboren hohe Beleuchtungsstärken gefragt: 500 Lux (lx) sind richtig, bei Farbprüfungen 1.000 lx mit tageslichtweißem Licht.

Werkzeuge und Materialien haben vielfach glänzende Oberflächen. Deshalb ist es besonders wichtig, darauf zu achten, Reflexblending zu vermeiden. Dafür müssen die Leuchten der arbeitsbereichsbezogenen Beleuchtung und die Arbeitsplatzleuchten entsprechend positioniert und ausgerichtet werden.

Damit es bei der Laborarbeit nicht zu Stroboskopeffekten kommt, sollten alle Lichtquellen mit geeigneten EVGs (im Fall von LED-Leuchten: stromamplitudengedimmt oder PWM-Frequenz > 2 kHz) betrieben werden.

Beleuchtungssysteme

Die Bauart „Reinraumleuchte“ beschreibt ausschließlich ihre Tauglichkeit für eine besonders saubere Umgebung. Das oberste Gebot im Reinraum ist der Schutz der Produkte vor Verunreinigung.

Die Vorgaben sind ausführlich in den einschlägigen DIN EN ISO-Normen und in Richtlinien zur Qualitätssicherung, wie GMP (Good Manufacturing Practice) und HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points), dokumentiert. Diese Normen haben wesentlichen Einfluss auf die Kon-

struktion der Betriebsmittel in Reinräumen, also auch auf die Leuchten.

Generell sollte die Beleuchtung für Labore und Reinräume geschlossen sein (hohe Schutzart) und den Hygieneanforderungen entsprechen, z. B. durch einfach zu reinigende Oberflächen, die eine Keimbildung vermeiden. Die obengenannten Normen und Richtlinien bestimmen dabei das Partikelemissionsverhalten der Betriebsmittel im Reinraum als Kriterium zur Klassifizierung. Entsprechend wichtig sind auch für Leuchten die Materialauswahl und die Optimierung der konstruktiven Eigenschaften. Eingesetzt werden fast ausschließlich Einbauleuchten.

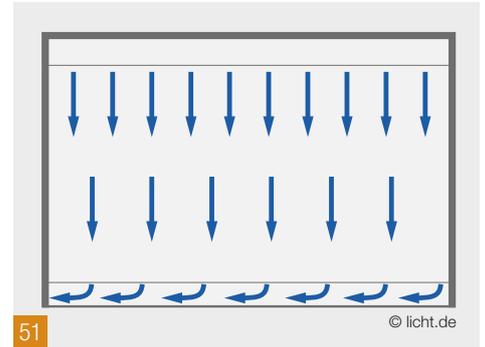
Die Wartung der Beleuchtung sollte möglichst einfach sein, da sie nur von speziell geschultem Personal geleistet wird. Für eine schnelle und einfache Wartung ohne Produktionsstopp ist häufig eine Zugriffsmöglichkeit von oben vorgesehen.

In Ausnahmefällen – meist aufgrund des Platzbedarfs weiterer Medien – werden auch Anbauleuchten verwendet. Bei Explosionsgefahr müssen sie als Ex-Leuchten ausgeführt sein.

Zwei Strömungskonzepte

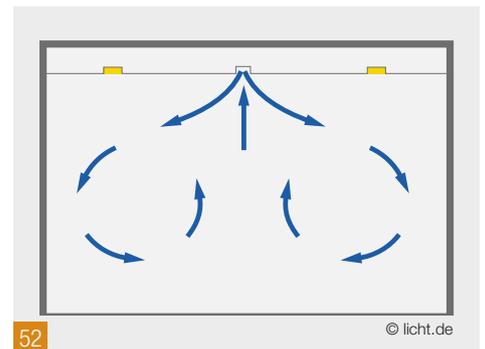
Für Reinräume gibt es zwei unterschiedliche Strömungskonzepte: Laminairflow und Mixed Airflow.

Laminairflow: Die Luftströmung verläuft turbulenzarm von oben nach unten, ähnlich wie im Kamin. Die meisten Reinräume dieser Art gibt es in der Mikro- und Halbleiter-Industrie. Hier reicht IP 40 als Schutzart der Leuchten meist aus (s. Abb. 52).



51

Mixed Airflow: Die Luft verteilt sich als Mischströmung. Rund zwei Drittel aller Reinräume funktionieren nach diesem Prinzip, da diese Ausrüstung wesentlich günstiger ist. Hier ist für die Leuchten je nach Anwendung eine Schutzart von mindestens IP 54 bis IP 65 vorgeschrieben (s. Abb. 53).



52

[50 + 53, 54] Für Labore und Reinräume mit teilweise diffizilen Sehaufgaben sind mindestens 500 Lux Beleuchtungsstärke richtig, bei Farbprüfungen mindestens 1.000 Lux mit tageslichtweißem Licht. Die Beleuchtung sollte bildschirmgerecht sein.



53



54

Schwerindustrie

Bergbau, die Eisen- und Stahlverarbeitung sowie die Schwerchemie – kurz, die Schwerindustrie – zählen zu den Grundstoffindustrien. Ein großer Teil der Verfahrensanlagen steht im Freien und muss dort beleuchtet werden. Aber ein Teil der Arbeit findet in Innenräumen statt. In Betriebsstätten der Schwerindustrie werden Leuchten hoher Schutzart eingesetzt, häufig auch explosionsgeschützte (Ex) Leuchten. Der Einsatz von modernen effizienten LED-Leuchten ist bei extremen Umgebungsbedingungen – z. B. sehr hohe Temperaturen und Verschmutzungen – nur eingeschränkt möglich.

Generell muss die Beleuchtung eine gute örtliche Gleichmäßigkeit haben, hochragende Maschinenteile dürfen keine störenden Schatten erzeugen. Außerdem sollten ausreichende vertikale Anteile der Beleuchtungsstärke vorhanden sein – unter anderem zum leichten Ablesen von Instrumenten und für einen sicheren Tritt auf Treppen. Hierfür eignen sich insbesondere tief-/breitstrahlende LED-Industrieleuchten.

Licht für Produktionsanlagen

Bei Produktionsanlagen ohne manuelle Eingriffe ist eine Beleuchtungsstärke von 50 Lux (lx) vorgeschrieben. In Produktionsanlagen mit Staub-, Rauch- oder Dampfentwicklungen können die Sehverhältnisse zeitweise sehr stark beeinträchtigt werden.

Deshalb sind hier mindestens 150 lx notwendig. Außerdem dürfen hier Natriumdampf-Hochdrucklampen mit dem schlechten Farbwiedergabe-Index $R_a \geq 40$ eingesetzt werden. An ortsfesten, ständig besetzten Arbeitsplätzen müssen die Lichtquellen jedoch mindestens den Farbwiedergabe-Index $R_a \geq 80$ haben.

Beim Einsatz von LED-Leuchten in der Schwerindustrie ist unbedingt auf die zulässigen Umgebungsbedingungen zu achten. Bei Gefahr der Schwitzwasserbildung müssen korrosionsfeste Leuchten eingesetzt werden.

Anlagen mit ständiger Beobachtung

Produktionsanlagen, die durch ständige Beobachtung überwacht werden, benötigen mindestens 300 lx Beleuchtungsstärke. Da Decken und Wände meist geringe Reflexionsgrade haben, ist eine tiefstrahlende Lichtverteilung wichtig. Bei der Planung sind die begehbaren Hallenträger (Kranträger) zu berücksichtigen: Sie müssen so viel

Licht erhalten, dass sie mit sicherem Schritt betreten werden können.

Für ständig besetzte Arbeitsplätze in verfahrenstechnischen Anlagen ist die arbeitsbereichsbezogene Beleuchtung die richtige Lösung. Sie wird auf die spezifischen Eigenarten der Maschine und des Arbeitsablaufes abgestimmt. Offene Behälter müssen gut ausgeleuchtet werden.

Beleuchtungssysteme

In den überwiegend hohen Hallen sind Leuchten mit Hochdruck-Entladungslampen sehr wirtschaftlich. Mit ihnen werden bei guter örtlicher Gleichmäßigkeit pro Lichtpunkt große Lichtstromeinheiten realisiert. Die deshalb geringe Anzahl von Leuchten verringert die Wartungskosten. Leistungsstarke LED-Industrieleuchten sind auch möglich, sofern die Umgebungsbedingungen dies zulassen. Wo es notwendig ist, müssen Ex-Leuchten eingesetzt werden.

Eine zweckmäßige Beleuchtungslösung ist die Anstrahlung mit einigen Flutlichtscheinwerfern, die außerhalb explosionsgefährdeter Bereiche aufgestellt werden. Die Alternative sind tiefstrahlende Leuchten, offen (IP 20) oder besser in geschlossener (IP 50) Ausführung. Eine hohe Schutzart geschlossener Leuchten verlängert die Wartungsintervalle.

Für die arbeitsbereichsbezogene Beleuchtung der Arbeitsplätze eignen sich Lichtbandsysteme mit schrägstrahlenden Optiken, die unbedingt der erforderlichen Schutzart entsprechen müssen.

Zur optimalen Anpassung an die jeweiligen örtlichen Gegebenheiten sollten Leuchten mit der Möglichkeit unterschiedlicher Lichtverteilung gewählt werden.



55



56

Vorgaben nach DIN 12464-1: Schwerindustrie

Raum, Aufgabe oder Tätigkeit	E _m	UGR _L	U ₀	R _a
Produktionsanlage ohne manuelle Eingriffe	50	–	0,40	20
... mit gelegentlichen manuellen Eingriffen	150	28	0,40	40
... mit ständigen manuellen Eingriffen	200	25	0,60	80
Hochofen	200	25	0,40	20
Walzstraße, Haspel, Scheren- und Trennstrecken	300	25	0,60	40
Steuerbühnen, Kontrollstände	300	22	0,60	80
Test-, Mess- und Inspektionsplätze	500	22	0,60	80

[55 + 56] Leuchten für die Schwerindustrie müssen eine hohe Schutzart haben und mitunter auch explosionsgeschützt (Ex-Leuchten) sein.



Kunststoffverarbeitung

Bei der Kunststoffverarbeitung gibt es unterschiedliche Produktionsverfahren, deren Besonderheiten auch die Beleuchtung berücksichtigen muss. Generell empfiehlt sich eine an der Maschinenaufstellung ausgerichtete, aber doch flexible arbeitsbereichsbezogene Beleuchtung.

Da die Maschinen in allen Produktionslinien via Bildschirm gesteuert und überwacht werden, muss die Beleuchtung in diesen Bereichen bildschirmgerecht sein. Dafür sind ausschließlich Leuchten geeignet, deren Leuchtdichte begrenzt ist.

Licht für Spritzguss

Spritzgießmaschinen müssen im Bereich der Schließeinheiten zusätzlich beleuchtet werden, damit die Helligkeit für den Werkzeugwechsel ausreicht. Da diese Tätigkeiten nur temporär anfallen, ist es sinnvoll, die Beleuchtungsstärke mit einem geeigneten Lichtmanagementsystem nach Bedarf zu erhöhen oder zu reduzieren. Für einige Produkte, zum Beispiel bei der Herstellung von Teilen für die Medizintechnik, werden Spritzgießmaschinen auch unter Reinraumbedingungen (siehe Seite 38f.) eingesetzt.

Extrusion

Die in Extrudern gefertigten Kunststoffprofile, -rohre oder -platten werden weiterbearbeitet, zum Beispiel mit Sägen auf das gewünschte Format gebracht. Für derartige

nachfolgende Einrichtungen ist eine Zusatzbeleuchtung notwendig.

Reaktionstechnik

Bei Maschinen und Anlagen zur Herstellung und zum Schäumen von Kunststoffteilen aus reaktiven Komponenten werden teilweise explosionsgefährdete Treibmittel verwendet. Deshalb sind für diese Bereiche explosionsgeschützte Leuchten vorgeschrieben.

In Bereichen mit hohem Staubaufkommen sollten geschlossene Leuchten höherer Schutzart IP 54 oder IP 65 installiert werden. Bei thermischen Verformungs- und Produktionsverfahren muss auch auf die maximal zulässigen Umgebungstemperaturen geachtet werden, da die Umgebungstemperatur insbesondere bei LED-Leuchten teilweise sehr großen Einfluss auf Lebensdauer und Leistungsdaten hat.

Bei der Planung sind neben der europäischen Norm DIN EN 12464-1 auch die Arbeitsstättenregel ASR A3.4 sowie die

DGUV-Information 215-210 „Natürliche und künstliche Beleuchtung von Arbeitsstätten“ zu beachten.

Beleuchtungssysteme

Produktionsprozesse und Maschinenpositionen verändern sich – und damit auch die Sehauflagen. Flexible Lichtlösungen sind für die Kunststoffverarbeitung deshalb die richtige Wahl. Favoriten sind LED-Lichtbandleuchten mit unterschiedlichen Lichtverteilungen. Häufig empfiehlt sich eine ergänzende, auf den Tätigkeitsbereich bezogene Beleuchtung, die direkt am Arbeitsplatz zusätzliches Licht spendet. Optimale Ergebnisse erzielt ein Lichtmanagementsystem, das eine schnelle und einfache Anpassung der Lichtsituation ermöglicht.

[57] In der Kunststoffverarbeitung sind flexible Beleuchtungslösungen die richtige Wahl. Eine komfortable Lösung sind LED-Lichtbandleuchten mit Lichtmanagementsystem.

Holzverarbeitung

In der holzverarbeitenden Industrie gibt es verschiedene Arbeitsbereiche mit unterschiedlichsten Anforderungen an die Beleuchtung. Zusätzlich stellen die Umgebungsbedingungen besondere Forderungen an die Leuchten, die Beleuchtungsinstallation und die Wartung der Leuchten.

Der häufige Wechsel von Arbeitsplatz zu Arbeitsplatz in der holzverarbeitenden Industrie erfordert sehr flexible Beleuchtungslösungen. Neben der Allgemeinbeleuchtung hilft hier eine arbeitsplatzbezogene Individualbeleuchtung, damit genügend Licht für die jeweiligen Sehaufgaben vorhanden ist. Bei wechselnder Belegung sollten zudem die Leuchten für alle Blickrichtungen gut entblendet sein.

Die Mindestforderungen an Beleuchtungsstärke, Gleichmäßigkeit der Beleuchtung, Blendfreiheit und Farbwiedergabe sind grundsätzlich durch die europaweit geltende DIN EN 12464 beschrieben. Danach genügen z. B. für Maschinenarbeiten 500 Lux (lx) Beleuchtungsstärke, für Lackieren und Holz-einlegearbeiten sind 750 lx notwendig.

Arbeitsplätze mit hohem Sehkomfort

Die Ausrichtung der Arbeitsplätze parallel zur Fensterfront und parallel zu den Leuchten sorgt für das richtige Licht. Sägeblätter, Fräsköpfe und Bohrer müssen gut erkannt werden, starke Schattenbildung stört. Auch Reflexe auf metallischen Flächen stören das Sehen und sollten deshalb soweit möglich reduziert werden.

Neben der Gewährleistung einer optimalen Ausleuchtung der Aktivbereiche bei der Holzbearbeitung muss auch beachtet werden, dass Stroboskopeffekte auftreten können. Gerade durch die Beleuchtung mit niederfrequent gepulstem Licht (< 2 kHz) können rotierende Teile stillstehend erscheinen. Zusätzlich muss der Betreiber derartiger Anlagen die erhöhten Forderungen an

die Wartung beachten. Staubablagerungen durch feinste Holzspäne können zu einer explosionsgefährdenden Umgebung führen. Wartung allein ist in diesen Fällen nicht ausreichend; hier sind hier explosionsgeschützte Leuchten zwingend erforderlich.

Beleuchtungssysteme

In der Holzverarbeitung mit oft sehr hohen Raumhöhen wurden in der Vergangenheit häufig Hochdruckentladungslampen eingesetzt. Dank LED-Technik und effizienter Lichtformung durch Optiken oder Reflektoren gibt es heute sehr effiziente Alternativen zur Metaldampflampe. Einstellbare Farbtemperaturen, hohe Farbwiedergabewerte und eine lange Lebensdauer sind die besten Argumente für eine Umrüstung der Allgemein- und Arbeitsplatzbeleuchtung.



[58] In der Holzverarbeitung mit häufig wechselnder Arbeitsplatzbesetzung ist eine flexible Beleuchtung gefragt. LED-Lösungen bieten auch für hohe Hallen eine effiziente Beleuchtung mit hohem Lichtkomfort.

Vorgaben nach DIN 12464-1: Holzverarbeitung

Raum, Aufgabe oder Tätigkeit	E_m	UGR_L	U_0	R_a
Automatische Bearbeitung (z. B. Trocknung, Schichtholzherstellung)	50	28	0,40	40
Arbeiten an der Hobelbank, Leimen, Zusammenbau	300	25	0,60	80
Schleifen, Lackieren, Modelltischlerei	750	22	0,70	80
Arbeiten an Holzbearbeitungsmaschinen (z. B. Drechseln, Fugen, Nuten, Fräsen)	500	19	0,60	80
Qualitätskontrolle	1.000	19	0,70	90

Lager und Logistik

Lagerhallen umfassen verschiedene Bereiche: Verladerampen, Regale oder Arbeiten am Schreibtisch stellen unterschiedliche Anforderungen an die Beleuchtung. Bei der Planung müssen außerdem hohe Dachkonstruktionen mit großen Lichtpunkthöhen und oft schmale Regalgänge beachtet werden. Zudem gibt es in den meisten Lagerhallen nur wenig oder überhaupt kein Tageslicht.

Für Regallager ist die vertikale Beleuchtungsstärke besonders wichtig: Nur bei ausreichend Helligkeit in der Vertikalen können Aufschriften auf den gelagerten Waren und die Regalbeschriftung schnell und fehlerlos gelesen werden. Die in DIN EN 12464-1 normierten 100 Lux (lx) bis – für ständig besetzte Lagerräume – 200 lx mittlere Beleuchtungsstärke sind deshalb in der Regel zu wenig Licht. Die Brancheninitiative licht.de empfiehlt, zumindest in bestimmten Bereichen, 300 lx zu installieren, damit Beschriftungen, Lieferscheine und Lagerpapiere mühelos gelesen werden können.

Licht für Hochregallager

Die höchsten Ansprüche an eine gleichmäßige vertikale Beleuchtung stellen Hochregallager mit ihren teilweise sehr schmalen Wegen. Hier müssen mit entsprechend tiefstrahlenden und bei Lese- und Suchaufgaben breit- oder schrägstrahlenden Leuchten alle technischen Möglichkeiten der Lichtlenkung ausgeschöpft werden.

Ein- und Ausfahrten von Lagerhallen

Die Beleuchtung der Ein- und Ausfahrten von Lagerhallen orientiert sich an der hohen Unfallgefahr an diesen Schnittstellen zwischen Innen- und Außenbereich. Hier überfordern große Helligkeitsunterschiede die Augen. Kritisch ist vor allem der Übergang vom Hellen ins Dunkle. Bei Tag ist das die Einfahrt in die vergleichsweise dunkle Halle, bei Nacht die Ausfahrt aus der beleuchteten Halle. Um Unfälle zu vermeiden, müssen die unterschiedlichen Beleuchtungsniveaus im Übergangsbereich ausgeglichen werden; dafür ist eine umschaltbare Beleuchtungsanlage für den Tag- und den Nachtbetrieb notwendig.

Beleuchtungssysteme

Auch in Lagerhallen ist die Hallenhöhe ausschlaggebend: bis sechs Meter werden eher LED-Lichtbandsysteme, ab sechs

Vorgaben nach DIN 12464-1: Lager

Raum, Aufgabe oder Tätigkeit	E_m	UGR_L	U_0	R_a
Vorrats- und Lagerräume	100	25	0,40	60
Versand- und Verpackungsbereiche	300	25	0,60	60
Hochregallager, Fahrwege ohne Personenverkehr	20	–	0,40	40
Fahrwege mit Personenverkehr	150	22	0,40	60
Leitstand	150	22	0,60	80
Hochregalfront	200	–	0,40	60

Meter auch Hochdrucklichtsysteme eingesetzt. Für beide Systeme gibt es spezielle Lichtverteilungen, die sich bis zu 15 Meter Lichtpunkthöhe eignen und gleichmäßige vertikale Beleuchtungsstärken bieten. Bei der Lichtplanung sind Maßnahmen zu ergreifen, die Direktblendung beim Hinaufschauen in die Regale reduzieren.

In Kühlräumen müssen Leuchten höherer Schutzart eingesetzt werden. Hier spielt die LED ihre Stärke aus; im Vergleich zu Leuchtstofflampen sinkt das Beleuchtungsniveau bei tiefen Temperaturen nicht ab.

Lichtmanagement spart

Die höchsten Einsparungen bieten Systeme, die das Licht nur dorthin bringen, wo es benötigt wird, und nur dann, wenn es benötigt wird. Eine Lagerhalle kann in „Zonen“ unterteilt werden. Anwesenheitssensoren, die jeder Zone zugeordnet sind, aktivieren die volle Ausleuchtung der Zone, wenn eine Bewegung darin erkannt wird oder sich jemand dieser Zone nähert. Dadurch ist ge-

währleistet, dass sich Personen und Fahrzeuge sicher in der Lagerhalle bewegen können. Wenn ein Raum nicht belegt ist, wird das Licht auf eine energiesparende Hintergrundbeleuchtung gedimmt.

Die Zonen sollten einfach konfiguriert werden können, z. B. über eine Fernbedienung. Gemeinsam mit dem Anwender werden die unterschiedlichen Zonen definiert und die Beleuchtungsniveaus für die Anwesenheit von Personen sowie für die Abwesenheit mit dezenter Hintergrundbeleuchtung eingestellt. Sofern die Raumaufteilung geändert werden soll, können die Zonen mit der Fernbedienung jederzeit schnell neu konfiguriert werden.



59



60



61



62

Lichtmanagement in Lagerhallen

[59 – 62] In Lagerbereichen fallen unterschiedliche Sehaufgaben an. Leuchten für Hochregallager haben spezielle, schräg strahlende Reflektoren, damit Waren und Beschriftung gut erkennbar sind.

[63] Lichtmanagement sorgt in Lagerhallen effizient für „Licht nach Bedarf“: Sensoren aktivieren die volle Ausleuchtung einer Zone, wenn sich Personen nähern. Bei Nichtbelegung wird das Licht gedimmt.



63

Präzisionsnahsehen und Qualitätsprüfung

In vielen Bereichen der Industrie werden die technischen Bauteile immer kleiner und die manuellen Tätigkeiten immer anspruchsvoller und diffiziler. Das menschliche Auge ist dann maximal gefordert. In solchen Anwendungen sind sehr hohe Beleuchtungsstärken gefragt, die häufig mit speziellen Linsensystemen kombiniert werden.

Für das Präzisionsnahsehen sind hohe Beleuchtungsstärken und sehr gute Farbwiedergabeeigenschaften der Lichtquellen gefordert. Hier ist eine tätigkeitsbezogene Beleuchtung richtig, wie sie beispielsweise Gestänge-Arm-Leuchten mit optionalen Linsensystemen bieten.

Licht für Mikromechanik und Schmuckproduktion

In Bereichen wie Präzisions- und Mikromechanik werden mittlere Beleuchtungsstärken von mindestens 1.000 Lux (lx) gefordert. Darüber hinaus muss der Farbwiedergabewert R_a über 80 liegen.

In noch anspruchsvolleren Bereichen, wie etwa bei der Herstellung von Schmuckwaren oder Uhren, müssen bis zu 1.500 lx er-

reicht werden. Für ein gutes Kontrastsehen ist eine Farbtemperatur von über 5.000 Kelvin (= tageslichtweiß) ideal. Auch werden in solchen Anwendungen sehr hohe Ansprüche an die Farbwiedergabe gestellt; $R_a \geq 90$ ist richtig.

Direkt- und Reflexblendungen auf Hochglanzoberflächen werden durch richtig positionierte Leuchten und eine sinnvolle Auswahl von Leuchtenblenden bzw. -rastern vermieden. Um den schwierigen Sehaufgaben gerecht zu werden, ist häufig eine Lichtquelle in der Nähe des Werkstücks notwendig – eine Beleuchtung also, die auf den Bereich der Tätigkeit fokussiert. Idealerweise sind diese Systeme flexibel einstellbar und mit ergonomischer Gestänge-Arm-Technik ausgestattet.



Vorgaben nach DIN 12464-1: Nahsehen

Raum, Aufgabe oder Tätigkeit	E_m	UGR_L	U_0	R_a
Präzisions- und Mikromechanik	1.000	19	0,70	80
Sehr feine Montagearbeiten, z. B. Leiterplatten, Messinstrumente	1.000	16	0,70	80
Elektronikwerkstätten, Prüfen und Justieren	1.500	16	0,70	80
Bearbeitung von Edelsteinen	1.500	16	0,70	90
Uhrmacherei (Handarbeit)	1.500	16	0,70	80

[64 + 66] Lupenleuchten erleichtern anspruchsvolle Sehaufgaben in der Qualitätsprüfung.

[65] Hohe Beleuchtungsstärken, ein flächiges, schattenfreies Licht und sehr gute Farbwiedereigenschaften der Leuchtmittel sind beim Präzisionsnahsehen gefordert. Richtig ist eine tätigkeitsbezogene Beleuchtung, die flexibel eingestellt werden kann.

Qualitätsprüfung

Generell ist die Allgemeinbeleuchtung der Produktionshalle für Arbeitsplätze der Qualitätsprüfung mit hohen visuellen Tätigkeiten selten ausreichend. Eine zusätzlich zur Allgemeinbeleuchtung installierte Arbeitsplatzbeleuchtung ist somit unerlässlich. Auch wenn Aufbauten oder Installationen den Arbeitsplatz überschatten, ist zusätzliches Licht ein Muss.

Das Beleuchtungskonzept selbst hängt dabei wesentlich vom Material des Prüfgegenstandes ab: Das Licht muss abgestimmt werden auf dessen Oberfläche und Farbe sowie deren Reflexionsverhalten. Auch die Größe des Werkstücks und die daraus resultierenden Schattigkeiten müssen berücksichtigt werden.

Die jeweils notwendige Beleuchtungsstärke, erforderliche Lichtrichtung und Lichtfarbe (Farbwiedergabe) variiert somit je nach Sehaufgabe bzw. Sehdetail. Werden unterschiedliche Produkte an einem Arbeitsplatz geprüft, sollte die Beleuchtung idealerweise variabel in den Eigenschaften einstellbar sein, so dass sie sich je nach Sehanforde-

rung anpassen lässt. Dafür eignet sich ein Lichtmanagementsystem.

Flächen- oder Punktlicht

Grob unterschieden werden zwei Beleuchtungskonzepte: Flächen- und Punktlicht. Generell sind empfehlenswert

- flächiges, schattenfreies Licht für das Prüfen von matten, glänzenden oder durchsichtigen Objekten, zum Beispiel auf Beulen, Dellen oder Verwerfungen,
- beim Prüfen von Oberflächen auf Kratzer, Anrisse oder Gravuren ein als streifendes Licht eingesetztes Punktlicht. Die dabei gezielt erzeugten Schatten unterstützen das Erkennen der Oberflächenstruktur.

Hinweis: Besondere Vorsicht gilt beim Einsatz von LED-Array-Leuchten am Arbeitsplatz, da diese zu einer Veränderung der Formwahrnehmung durch Mehrfachschatten führen können.

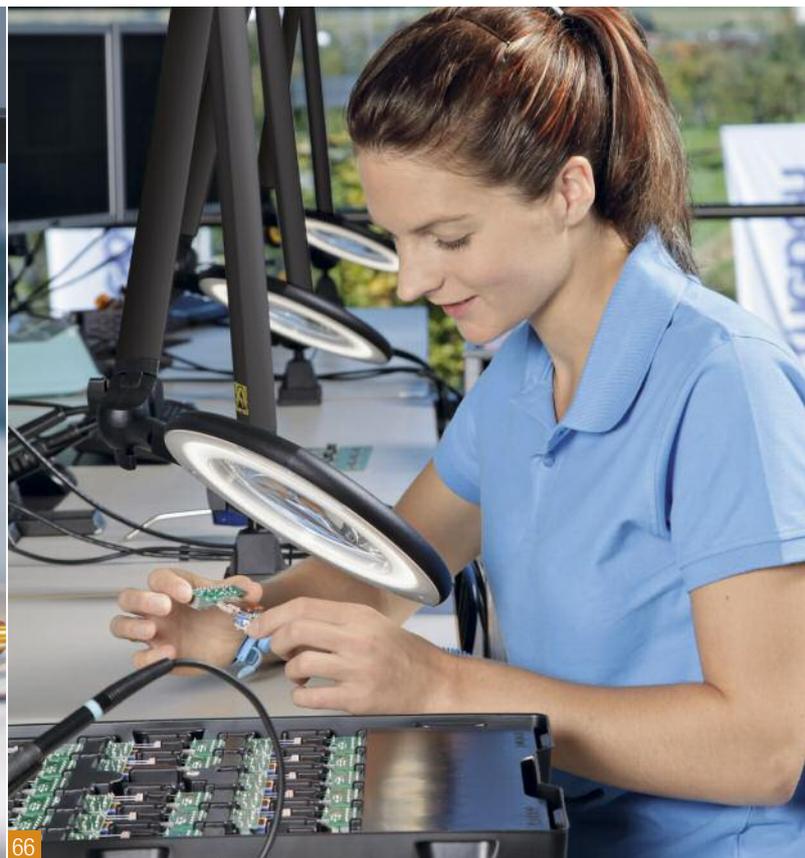
Lupenleuchten für anspruchsvolle Sehaufgaben

Reicht das menschliche Auge für anspruchsvolle Sehaufgaben nicht mehr aus, sollten spezielle Lupenleuchten eingesetzt werden.

Solche Leuchten sind ideal für präzise Prüfungen in Forschung und Entwicklung oder bei der Montage von Kleinbauteilen. Eine eingebaute Linse aus Glas oder Kunststoff sorgt in vielen Fällen für ein zwei- bis dreifach vergrößertes Sehen, das in Kombination mit großen Lichtmengen ein angenehmes und ergonomisches Arbeiten gewährleistet – vor allem, wenn es sich um dauerhafte und repetitive Tätigkeiten handelt. Um eine ständige Adaption der Augen zu vermeiden, sollte das Sichtfeld der Linse entsprechend groß – etwa dem Augenabstand entsprechend – und verzerrungsfrei sein. Lupenleuchten sind ein komfortables Hilfsmittel, wenn sie sich schnell und einfach einstellen lassen und die eingestellte Position ohne störendes Nachwippen halten.

Beleuchtungssysteme

Für die geforderten diffizilen Sehaufgaben sollten die Beleuchtungssysteme möglichst flexibel mechanisch einstellbar sein und lichttechnische Adaptionen, wie etwa Dimmung oder Segmentschaltung, erlauben. So können Schatteneffekte vermieden oder bewusst provoziert werden.



Druck und Textil

In Druck- und Textilbetrieben ist hoher Lichtbedarf die Regel: Das empfindliche Material, Stoffe, Farben, Bilder und Schriften, aber auch schnell laufende Maschinen erfordern einen sicheren Blick. Vor allem an Arbeitsplätzen, an denen die Qualität von Printprodukten und Textilien bewertet wird, ist besonderes Augenmerk auf die Lichtqualität zu legen.

In der Druck- und Textilindustrie kommen verschiedene Sehaufgaben vor: von einfachen Druckarbeiten oder handwerklichen Arbeiten, wie Spinnen und Zwirnen, bis hin zu anspruchsvollen Sehaufgaben wie Retuschen, Entwerfen oder Qualitätsprüfungen. Entsprechend unterschiedlich sind die Anforderungen an Lichtbedarf und Lichtqualität. Da aber in jedem Fall Stoffe, Farben und Bilder bearbeitet werden, meistens auch durch manuelle Tätigkeiten, empfiehlt licht.de, auf gute Farbwiedergabe, Blendungsbegrenzung und Gleichmäßigkeit der Beleuchtung zu achten.

Licht für Druckerei und Buchbinderei

Kleine und mittlere Druckereien bestehen in der Regel aus zwei wesentlichen Funktionsbereichen: der eigentlichen Druckerei mit den Druckmaschinen und der Buchbinderei zur Weiterverarbeitung der bedruckten Bogen zum Endprodukt. Für beide Bereiche sollte die mittlere Beleuchtungsstärke mindestens 500 Lux (lx) betragen.

Druckvorstufe und Lithografie

Die Druckvorstufe ist heute in der Regel

Bildschirmarbeit. Hier kommt es vor allem auf den Schutz vor Direkt- und Reflexblendung an. Entsprechende Leuchten erfüllen die Anforderungen an bildschirmgerechte Beleuchtung. Gegebenenfalls schützen zusätzliche arbeitsplatzbezogene Maßnahmen. Die mittlere Beleuchtungsstärke liegt bei 500 lx.

Weitere Anforderungen für die Bildbearbeitung am Bildschirm nennt die Norm ISO 12646:2015-07 „Drucktechnik – Bildschirme zur farbverbindlichen Darstellung von Bildinhalten – Parameter und Betrachtungsbedingungen.“

Klassisches Handwerk und feine Sehaufgaben

Für klassische handwerkliche Tätigkeiten wird auch in der Textilindustrie nach DIN EN 12464-1 eine Mindestbeleuchtungsstärke von 500 lx empfohlen. Feinere Sehaufgaben – wie z. B. Nähen oder Entwurfsarbeiten – erfordern 750 lx. Typensatz, Retusche und Lithografie benötigen 1.000 lx, der Umgang mit Stahl und Kupferstichen erfordert mindestens 2.000 lx.

Bei großen Druck- und Textilverarbeitungsanlagen sind ausreichende vertikale Beleuchtungsstärken notwendig. Dafür sollten die Leuchten parallel zu den Maschinen installiert werden. Falls erforderlich, kann zusätzlich über dem Farbwerk und vor der Vorderkante des Schneidetisches eine Beleuchtung installiert werden. Auch eine Zusatzbeleuchtung für die Wartungsarbeiten an den Maschinen ist sinnvoll.

Kontroll- und Prüfarbeitsplätze

Besonders wichtig sind in der Druck- und Textilindustrie die Kontroll- und Prüfarbeitsplätze, an denen der Lichtbedarf mit 1.500 lx besonders hoch ist. Hier sollte der Farbwiedergabe-Index der Lichtquellen mit $R_a \geq 90$ besser sein als im übrigen Raum, wo $R_a \geq 80$ ausreicht. Farbtemperaturen zwischen 4.000 Kelvin (K) und 6.500 K sind – je nach Probe – empfohlen. Im Idealfall können sie variiert und auf das zu bewertende Produkt angepasst werden. Weitere detaillierte Anforderungen für die Farbprüfung beschreibt die Norm ISO 3664 „Betrachtungsbedingungen“.

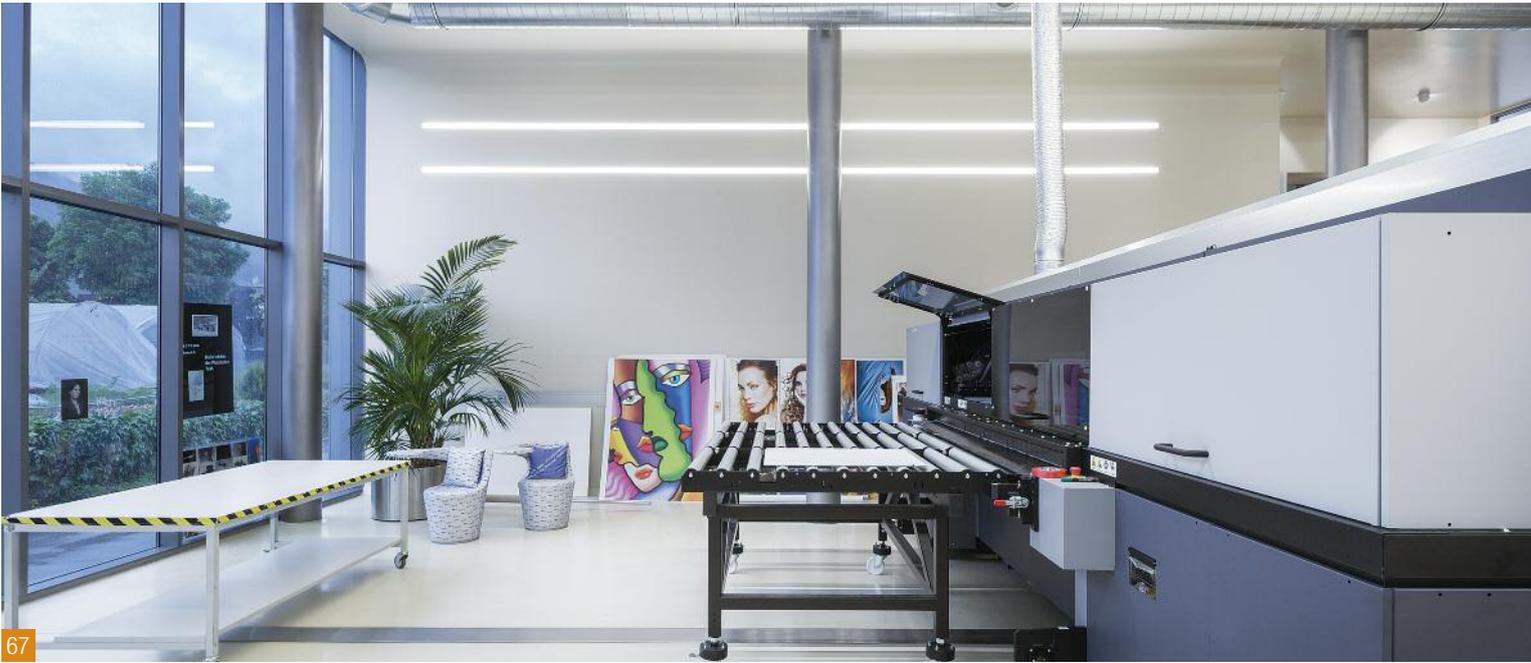
Für Arbeitsplätze der Qualitätsprüfung empfiehlt licht.de eine auf den Tätigkeitsbereich bezogene Beleuchtung. Wenn häufig mit hochglänzenden Papieren, Folien oder sonstigen Materialien gearbeitet wird, ist eine indirekte oder seitliche Beleuchtung sinnvoll.

Beleuchtungssysteme

Eine flexible LED-Beleuchtung, die den unterschiedlichen Sehaufgaben in Druckereien und Textilbetrieben gerecht wird, ist die richtige Wahl. Die Leuchten sollten gut entblendet sein und individuell auf den Arbeitsplatz eingestellt werden können, um Reflexe auf Drucken, Maschinen und Bildschirmen zu vermeiden. Flexible Leuchten und Lichtmanagementsysteme passen das Licht an die Notwendigkeiten der verschiedenen Sehaufgaben und Maschinentätigkeiten an.

Vorgaben nach DIN 12464-1: Druck und Textil

Raum, Aufgabe oder Tätigkeit	E_m	UGR_L	U_0	R_a
Zuschneiden, Prägen, Druckmaschinen, Matrizenherstellung, Papiersortierung und Handdruck	500	19	0,60	80
Automatisches Stoffdrucken	500	25	0,60	80
Nähen und Feinsticken	750	22	0,70	80
Typensatz, Retusche, Lithographie	1.000	19	0,70	80
Farbkontrolle bei Mehrfarbendruck	1.500	16	0,70	80



67

An Kontrollarbeitsplätzen für Mehrfarben-
druck können spezielle Aufsichtleuchten mit
gleichmäßiger Ausleuchtung in Tageslicht-
qualität eingesetzt werden. Sie erleichtern
diffizile Sehaufgaben und eine exakte Farb-
kontrolle.

Bei empfindlichen Stoffen und Papieren
sollte auch auf die Wahl des Lichtspek-
trums geachtet werden und eine möglichst
schonende Beleuchtung mit geringem UV-
Anteil gewählt werden.

Speziell in der Textilindustrie erfordern ei-
nige Tätigkeiten zudem eine hohe Schutzart
der Beleuchtung. So entsteht z. B. beim
Spinnen und Zwirnen ein feiner Staub, der
sich auf der Beleuchtung ablagern und bei
zu hohen Oberflächentemperaturen zu Ex-
plosionen führen kann. In diesem Fall sind
spezielle Ex-Leuchten richtig.

Auch in Druckereien kann ein feiner Papier-
staub entstehen. Oberflächen der Leuchten
sollten deshalb so gestaltet sein, dass Staub
idealerweise kaum liegen bleiben kann. In
Färbereichen und Bädern ist zudem auf
den Schutz vor Feuchtigkeit und Resistenz
gegenüber Säuren und Basen zu achten.

Hinweis: Auf stroboskopische Effekte bei
rotierenden Maschinen, wie z. B. beim
Spinnen und Zwirnen, sollte geachtet wer-
den.

[67 – 70] LED-Leuchten sorgen als Licht-
band oder Einzelleuchten für die richtige Be-
leuchtung in Druckereien und der Textilindus-
trie. Je nach Umgebung sind Ex-Leuchten
gefordert.



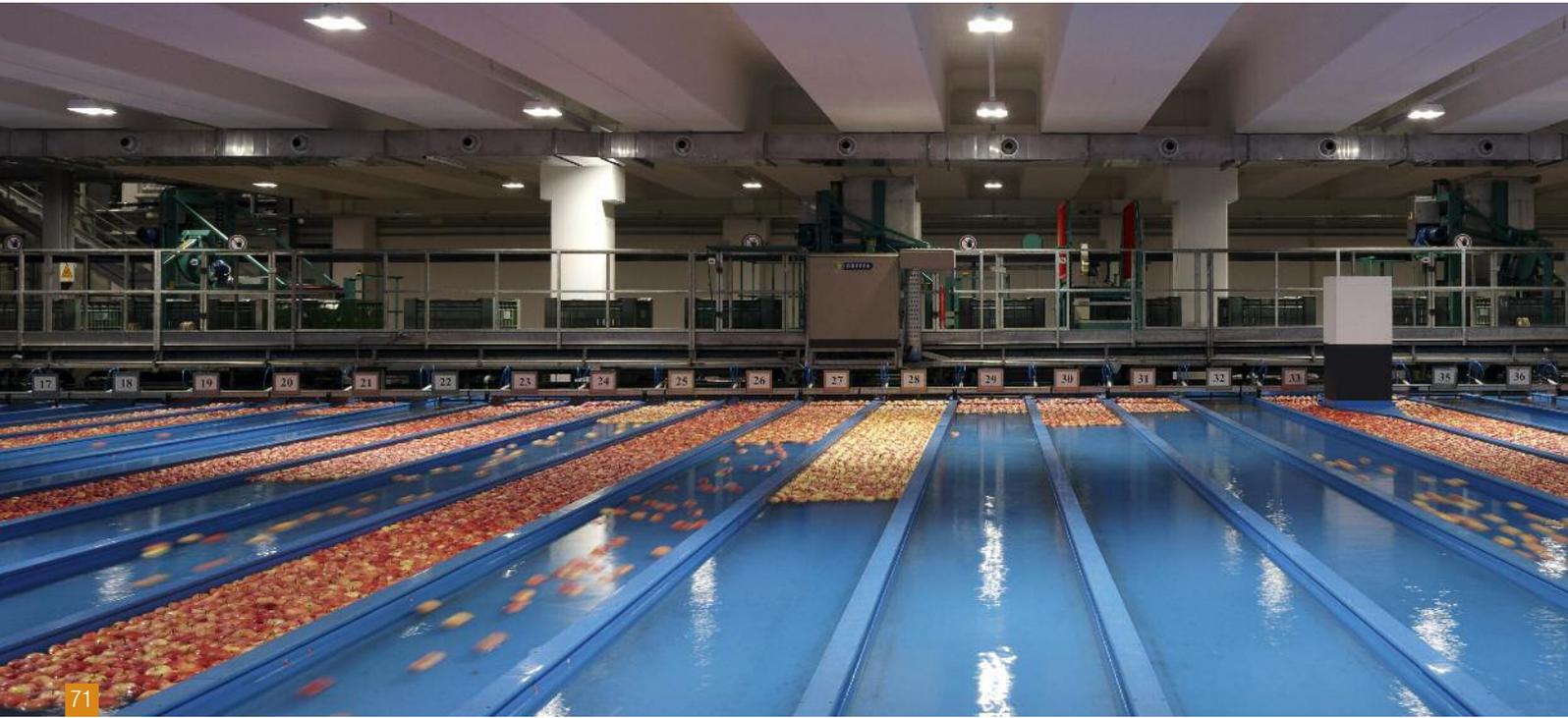
68



69



70



Lebensmittelverarbeitung

Sauberkeit und Hygiene sind die wichtigsten Anforderungen in der Lebensmittelverarbeitung. Dies gilt im erweiterten Rahmen auch für Betriebsstätten, die regelmäßig zuliefern, z. B. Reinigungsutensilien. Die Auswahl heller und freundlicher Farben vermittelt Vertrauen.

Eine Reihe von Arbeitsvorgängen in der Lebensmittelindustrie stellt nur geringe Anforderungen an die Sehaufgaben. Dazu gehören Prozesse, die weitgehend automatisiert ablaufen und nur stichprobenartig in größeren Zeitintervallen überwacht werden müssen. Für viele Betriebe der Nahrungsmittel- und Getränkeindustrie ist deshalb eine Beleuchtung des gesamten Arbeitsbereichs die richtige Wahl. Überwachungsaufgaben erfordern neben der horizontalen jedoch auch eine ausreichende vertikale Beleuchtungsstärke.

Zusätzliche Arbeitsplatzleuchten erleichtern Garnieren und Kontrolle

Ist ein häufiger Wechsel der Arbeitsplätze erforderlich, sollten alle Plätze gleich gut beleuchtet und die Leuchten für alle Blickrichtungen gleich gut entblendet sein. Hierfür eignet sich die raumbezogene Beleuchtung am besten. An Arbeitsplätzen mit gehobenen oder schwierigen Sehaufgaben, wie z. B. Anrichten, Garnieren oder bei der Kontrolle, sind in jedem Fall zusätzliche Arbeitsplatzleuchten unerlässlich.

Das durchschnittliche Beleuchtungsniveau für Waschen, Kochen, Trocknen/Fermentie-

ren und für Abfüllarbeiten liegt bei über 200 Lux (lx) Beleuchtungsstärke, für Sortier- und Packarbeiten sind 300 lx richtig. Nochmals höhere Beleuchtungsstärken fordert DIN EN 12464-1 für Arbeitsplätze und kritische Zonen in Schlachthöfen, Metzgereien, Molkereien und Mühlen sowie bei Kontrollarbeiten (siehe Tabelle Seite 51).

Gute Farbwiedergabe ist Pflicht

Besonders wichtig beim Umgang mit Nahrungsmitteln ist eine gute Farbwiedergabe der Lichtquellen. Der Farbwiedergabe-Index muss mindestens $R_a \geq 80$ betragen. Das gilt auch für Betriebe mit nicht farbkritischen Endprodukten, damit die Frische verwendeter Zutaten und das Endprodukt immer sicher beurteilt werden können.

In der Fleischverarbeitung (Metzgereien, Schlachthöfe) ist ein ausreichend hoher Rotanteil sinnvoll. licht.de empfiehlt Lichtquellen mit einem Farbwiedergabeindex von $R_a \geq 90$, die diesen Anforderungen gerecht werden. Zur optischen Kontrolle von Flaschen und Gläsern auf Fremdstoffe, Schmutz oder Bruchstellen, wird eine gleichmäßig leuchtende Fläche mit gerin-

[71] In vielen Bereichen der Lebensmittelindustrie sind Prozesse weitgehend automatisiert. In diesem Fall ist eine Beleuchtung des gesamten Arbeitsbereichs die richtige Wahl.

[72] In Kühlräumen müssen spezielle Feuchtraumleuchten für Tieftemperatur-Bereiche eingesetzt werden – am besten mit LEDs bestückt, denn die Dioden vertragen im Gegensatz zu herkömmlichen Lichtquellen Kälte bestens.



Vorgaben nach DIN 12464-1: Lebensmittelproduktion

Raum, Aufgabe oder Tätigkeit	E_m	UGR_L	U_0	R_a
Arbeitsplätze und -zonen ... in Brauereien, auf Malzböden; ... zum Waschen, Reinigen, Sieben, Schälen und Abfüllen in Fässern; ... zum Kochen in Konserven- und Schokoladenfabriken; ... in Zuckerfabriken	200	25	0,40	80
Vorbereitungs- und Backräume	300	22	0,60	80
Arbeitsplätze und kritische Zonen in Schlachthöfen, Metzgereien, Mühlen, Molkereien	500	25	0,60	80
Schneiden und Sortieren von Obst Küchenarbeit, Herstellung von Feinkost	500	25	0,60	80
Produktkontrollen, Garnieren, Sortieren	500	22	0,60	80
Farbkontrolle	1.000	16	0,70	90

ger Leuchtdichte eingesetzt. Dosen werden in speziellen Kabinen geprüft, die indirekt beleuchtet sind, um Reflexe zu vermeiden. Spiegel ermöglichen die Kontrolle von innen und hinten.

Beleuchtungssysteme

Die Lebensmittelindustrie legt besonderen Wert auf Beleuchtungssysteme, die sich leicht reinigen lassen, wartungsfreundlich und splitterfrei sind. Für Bereiche, in denen Dampf, Hitze, Kälte, hohe Luftfeuchtigkeit, Staub oder eine aggressive Atmosphäre entstehen, sind staubgeschützte oder feuchtigkeitsgeschützte Leuchten, in einigen Fällen auch explosionsgeschützte Leuchten notwendig.

Im Allgemeinen sind Wannenleuchten mit glatten Oberflächen und internen Prismenoptiken oder Reflektoren mit breit- oder tiefstrahlenden Spiegeln je nach Lichtpunkthöhe eine gute Wahl. Die Schutzart von mindestens IP 50 sollte für trockene Anwendungen nicht unterschritten werden. Sobald regelmäßig feucht gereinigt wird, sind Feuchtraumleuchten ab IP 65 oder höher einzusetzen. Eine Abdeckung der Leuchten durch Kunststoffe verhindert, dass Glassplitter bei konventioneller Technik in den Nahrungsmittelprozess gelangen.

Lebensmittelproduzenten und Zulieferbetriebe können sich zertifizieren lassen. Splitterfreie Leuchten mit einer lebensmit-



72

telrechtlichen Konformitätserklärung nach (EG) Nr. 852/2004 können in die Zertifizierungssysteme der Lebensmittelindustrie einfach eingebunden werden. Als solche gelten HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points), IFS (International Featured Standard) oder BRC (British Retail Consortium), die das Qualitätssystem und die Prozesse in den Betrieben festlegen. Dazu zählen auch die Reinigungsintervalle der Leuchten. Die Leuchtenindustrie achtet bei der Materialauswahl vorab schon auf eine hohe Resistenz gegen Reinigungsmit-

Kühlräume

Kühlräume sind Lagerräume; die Norm schreibt 100 lx Beleuchtungsstärke vor. Besser ist mehr Licht: Empfehlenswert sind – zumindest bereichsweise – 300 lx, damit Beschriftungen, Lieferscheine und Lagerpapiere mühelos lesbar sind.

Der Tieftemperaturbereich stellt erhöhte Anforderungen an Lampen, Betriebsgeräte und Leuchten. Deshalb müssen für den Einsatzbereich „tiefe Temperaturen“ spezielle Feuchtraumleuchten eingesetzt werden. Bei konventionellen Lichtquellen beginnt der Lichtstromrückgang ab 0° C und kann bei höheren Minusgraden bis zu 40 Prozent betragen. Das muss lichtplanerisch entsprechend korrigiert werden. LED-Lichtquellen vertragen Kälte hingegen bestens.

tel; im Zweifelsfall ist jedoch immer die Freigabe des Herstellers einzuholen.

Richtig ist die parallele Anordnung von Lichtbändern über den Arbeitsplätzen, bei höheren Lichtpunkthöhen können auch Einzelleuchten eingesetzt werden. Die Arbeitsplätze sollten so angeordnet sein, dass Licht möglichst abschattungsarm seitlich von oben auf das Arbeitsgut fällt. Die horizontale Beleuchtungsstärke ist durch vertikale Anteile zu ergänzen.



73

Kfz-Werkstatt

Die Arbeit rund um das Auto erfordert Beleuchtungslösungen, die den vielfältigen Tätigkeiten entsprechen. Tageslicht fällt meist nur von einer Fensterseite oder durch ein Oberlicht in die Werkstatt. Für Arbeiten an der Fahrzeugunterseite ist eine spezielle Arbeitsbeleuchtung notwendig.

Die Tätigkeiten in einer Kfz-Werkstatt reichen von eher groben Arbeiten wie Reifenwechsel über Lackierarbeiten bis hin zu feingranen Einstell- oder Inspektionsaufgaben. Eine Grundbeleuchtungsstärke von mindestens 200 Lux (lx) ist empfehlenswert. Die Leuchten müssen so positioniert werden, dass die Fahrzeuge von allen Seiten beleuchtet werden.

Das Beleuchtungsstärkeniveau sollte jedoch in Bereichen, in denen anspruchsvolle Sehaufgaben geleistet werden, höher sein – z. B. 1.000 lx für Lackierarbeiten (s. a. Tabelle S. 35) – oder kurzzeitig erhöht werden können. Dies spricht für die Verwendung eines Lichtmanagementsystems. So kann auch ein eventuell vorhandener Tageslichteinfall berücksichtigt werden – das unterstützt bei der Energieeinsparung.

Montagegruben und Lackierarbeiten

Die Auswahl der Leuchten erfolgt in Bezug auf die jeweilige Tätigkeit. In Montagegruben werden die Leuchten seitlich mit einem hohen Lichtanteil nach oben montiert, damit auch der Unterboden des Fahrzeuges

gut beleuchtet ist. Minimale Blendung ist Pflicht. In Bereichen für Lackierarbeiten ist eine gute zylindrische Beleuchtungsstärke ebenso erforderlich wie eine gute Farbwiedergabe ($R_a \geq 90$) und möglichst wenig Blendung.

Mobile Leuchten, wie zum Beispiel kleine Handleuchten, ergänzen die Beleuchtungsanlage und ermöglichen einfacheres Arbeiten in schwer zugänglichen Bereichen.

Beleuchtungssysteme

Sehr gut eignen sich für Kfz-Betriebe LED-Hallenleuchten oder Lichtbandsysteme. In Feuchträumen wie Waschhallen werden Leuchten höherer Schutzart (mindestens IP 65) benötigt. Lackierbereiche erfordern häufig Ex-Leuchten (explosionsschutz).

Generell ist die chemische Beständigkeit der Leuchten – vor allem der Kunststoffe – im Vorfeld zu prüfen. Ist die Atmosphäre besonders ölhaltig? Werden Reinigungszusätze verwendet? In diesen Fällen müssen die Leuchten chemisch beständig sein.

[73] In der Kfz-Werkstatt sorgen LED-Lichtbandleuchten, angeordnet nach Arbeitsbereichen, für hohen Lichtkomfort.

Friseursalon und Kosmetik

Das richtige Licht im Friseursalon und in der Kosmetikkabine fördert die kreative Arbeit und verhindert Fehler der Behandlung. Zugleich soll es eine entspannende Lichtatmosphäre erzeugen, die den Kunden Vertrauen gibt.

Im Dienst der Schönheit sind keine Kompromisse erwünscht – auch nicht beim Licht. Im Friseursalon mit offenem Raumkonzept ist eine raumbezogene Beleuchtung mit zusätzlichen Arbeitsplatzleuchten richtig, während im Kosmetiksalon überwiegend in der Kabine behandelt wird. Hier fokussiert die Beleuchtung auf die Arbeitsbereiche.

Licht für den Friseursalon

Im Friseursalon ist eine Anordnung der Leuchten entweder in zwei oder drei Meter Höhe etwa 0,5 Meter hinter dem Arbeitsplatz parallel zum Spiegel sinnvoll. Alternativ können die Leuchten auch zwischen den Stühlen, quer zum Spiegel, angeordnet werden.

Dekorativ und komfortabel ist das Licht von „Arbeitsplatzleuchten“ beidseits der Spiegelfläche. Es erhöht die vertikalen Lichtanteile in Richtung Stuhl, muss als Spiegelbeleuchtung aber schatten- und blendfrei sein.

Für alle Arbeiten der Haarpflege setzt DIN EN 12464-1 mindestens 500 Lux (lx)

an. Für einen Farbabgleich reicht das nicht: Dieser erfordert 1.000 lx Beleuchtungsstärke und eine Farbwiedergabe von $R_a \geq 90$.

Licht für die Kosmetikkabine

In der Kosmetikkabine werden Leuchten seitlich an den Innenwänden, je nach Raumsituation auch auf oder über niedrigen Trennwänden angeordnet. Hier muss die Beleuchtung variabel sein, entsprechend den unterschiedlichen Anforderungen nach hoher Sehleistung während der Behandlung und entspannender Atmosphäre in der Ruhepause. Dafür sollte das Licht dimmbar sein. Leuchten links und rechts des Spiegels sind sinnvoll.

Licht für Verkaufsbereiche

Lichtakzente, z. B. in Verkaufsvitrinen, lockern die Raumatmosphäre auf. Sie können auch farbige Akzente setzen, dürfen aber nicht blenden. Großflächig farbiges Licht oder andere Farbeffekte, die in der Verkaufsraumbeleuchtung beliebt sind, sollten im Bereich von Arbeitsplätzen vermieden werden. In Verkaufsbereichen ist akzentuier-

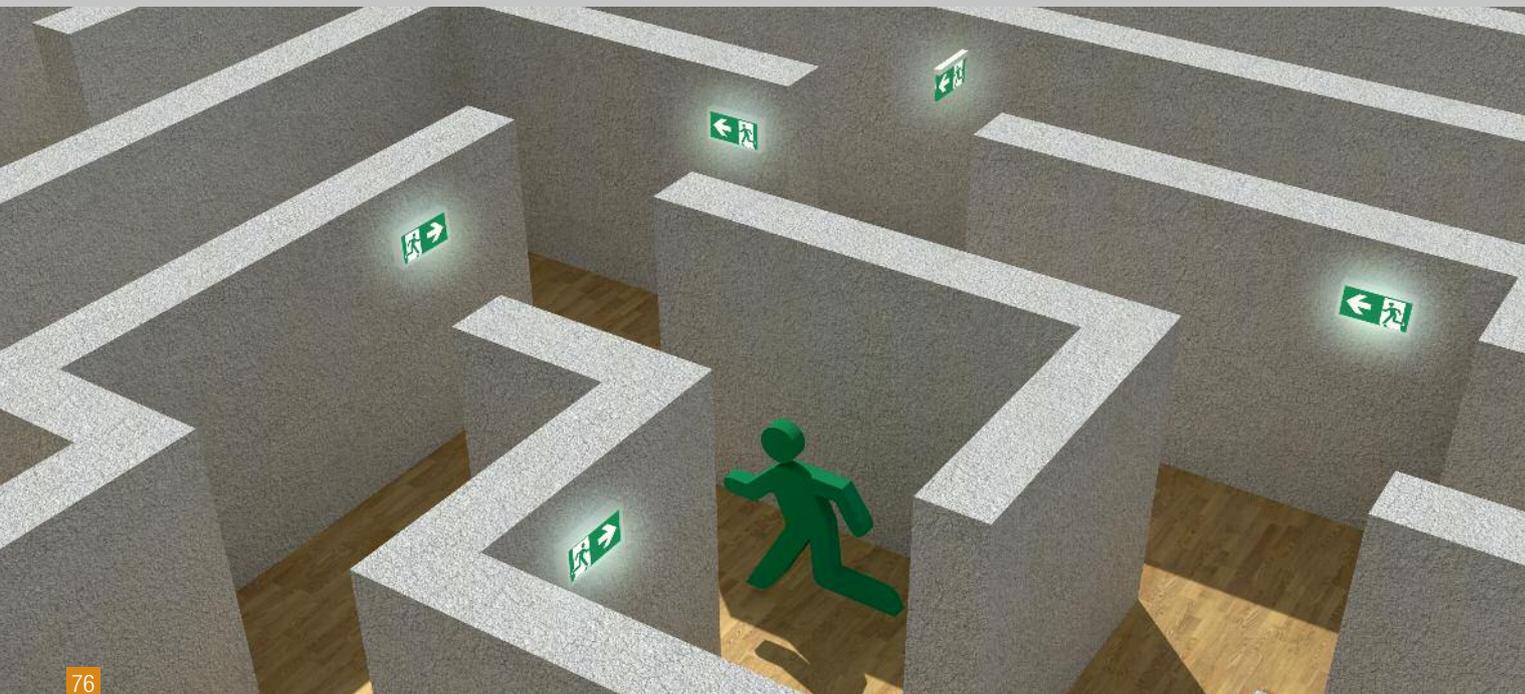
endes Licht – z. B. mit eng gebündelten Strahlern, die das Licht auf ausgestellte Produkte lenken – unverzichtbar.

Beleuchtungssysteme

Effiziente und zugleich dekorative LED-Leuchten erfüllen die Beleuchtungsaufgaben im Salon am besten. Im Friseursalon sind blendfreie Spiegelleuchten an jedem Platz Pflicht. Zusätzliche Downlights, Vouten oder Wallwasher setzen individuelle Akzente und erhöhen den Sympathiewert des Salons.

[74 + 75] Dekorative LED-Leuchten sorgen in Friseursalon und Kosmetikstudio für effizientes und angenehmes Licht.





76

Not- und Sicherheitsbeleuchtung

Licht und Sicherheit sind eng miteinander verknüpft. Fällt die Allgemeinbeleuchtung aus, springt die netzunabhängige Sicherheitsbeleuchtung ein. Sie sorgt für ein sicheres Verlassen der gefährdeten Bereiche.

Stromausfälle sind keine Seltenheit. Obwohl Deutschland über eines der zuverlässigsten Stromnetze in Europa verfügt, kann es immer wieder zu derartigen Ereignissen kommen. Dann sorgt die Not- und Sicherheitsbeleuchtung dafür, dass Menschen ein Gebäude gefahrlos verlassen oder bestimmte Arbeitsprozesse sicher weitergeführt oder sicher abgeschlossen werden können. Sichere Fluchtwege müssen durch eine entsprechende Fluchtwegekennzeichnung markiert und nach normativen Anforderungen auch beleuchtet werden.

Netzunabhängige Sicherheitsbeleuchtung

Die Sicherheitsbeleuchtung muss bereits während der Planungsphase eines Neubaus berücksichtigt werden. Eine Vielzahl von Normen, Vorschriften und Richtlinien weisen den Planer an, eine netzunabhängige Zusatzbeleuchtung vorzusehen. Eine grundsätzliche Unterscheidung erfolgt dabei zwischen der Beleuchtung von Fluchtwegen und der Beleuchtung von Bereichen mit besonderer Gefährdung.

Schon bei der Betrachtung der Netzunabhängigkeit erfolgt eine erste wichtige Ent-

scheidung: Soll die Spannungserzeugung über Generatoren, über eine Zentralbatterieanlage oder über Leuchten mit integrierter Batterie als Energieversorger erfolgen? Diese erste Weichenstellung hat Konsequenzen auf die baulichen Randbedingungen mit Definition der Brandabschnitte und der Kabel sowie den räumlichen Voraussetzungen für Generatoren oder Zentralbatterieanlagen. Weiterhin müssen die Leuchten jeweils für die entsprechende Notstromquelle geeignet sein.

DIN EN 1838 für Fluchtwegezeichen

In einem zweiten Schritt muss der Planer darauf achten, dass bestimmte Bereiche mit erhöhtem Gefährdungspotenzial abweichende Forderungen an die Beleuchtungsstärke und die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung aufweisen. Fluchtwege werden oftmals mit weit niedrigeren Minimalwerten für diese beiden lichttechnischen Anforderungen ausgelegt. Die lichttechnischen Anforderungen für Fluchtwegezeichen werden in der DIN EN 1838 beschrieben und beziehen sich vorrangig auf die Mindestwerte der Leuchtdichte und den Kontrast zwischen den weißen und grünen Flächenanteilen.

Betriebssicherheit der Beleuchtung

In der Industrie werden immer wieder die Wartungskosten in den Vordergrund bei der Auslegung der lichttechnischen Anlagen gestellt. Die Sicherheitsbeleuchtung stellt besondere Forderungen an die Betriebssicherheit der Beleuchtungsanlage. So müssen regelmäßige Tests durchgeführt werden. Neben der verpflichtenden Erstprüfung sind tägliche, wöchentliche und monatliche Prüfungen mit unterschiedlichen Inhalten beschrieben.

Zusätzlich sind normativ geforderte Testinhalte jährlich bzw. alle drei Jahre zu prüfen. Automatische Prüfeinrichtungen, z. B. bei Zentralbatterieanlagen, können diese Tests vereinfachen.



Mehr Informationen gibt es in Heft licht.wissen 10 „Notbeleuchtung, Sicherheitsbeleuchtung“.

Energieeinsparverordnung (EnEV)

Ein wichtiges Instrument der deutschen Energie- und Klimaschutzpolitik ist die Energieeinsparverordnung der Bundesregierung. Den Weg zur Einhaltung der Mindestanforderungen für den effizienten Betrieb von Beleuchtungsanlagen ebnet LED-Technologie und modernes Lichtmanagement.

Die deutsche Umsetzung der europäischen Gebäudeeffizienz-Richtlinie EPBD (European Performance of Buildings Directive) ist die Energieeinsparverordnung (EnEV). Ziel der EnEV ist ein nahezu klimaneutraler Gebäudebestand bis zum Jahr 2050. Die Verordnung regelt daher den maximal zulässigen Gesamtenergiebedarf von Nichtwohngebäuden inklusive der Beleuchtung, der im Energieausweis dokumentiert wird. Vor Neubau oder Sanierung muss demnach der Energiebedarf ermittelt werden, der zur sachgemäßen Nutzung des Gebäudes erforderlich ist. Aktuell gilt die EnEV 2014. 2016 ist der energetische Standard für Neubauten angehoben worden: Der erlaubte Jahres-Primärenergiebedarf für Neubauten wurde um durchschnittlich 25 Prozent gesenkt.

Grundlage der Berechnung

Das gemäß EnEV 2014 anzuwendende Berechnungsverfahren ist in der Norm DIN V 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung,

Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung“ beschrieben. Teil 4 behandelt den Nutz- und Endenergiebedarf für die Beleuchtung. Hierbei werden statistisch ermittelte Daten für die Energieeffizienz der eingesetzten Technologien sowie der Beleuchtung verwendet.

Novellierung steht an

Eine Überarbeitung der EnEV ist geplant. Zudem sollen die derzeit noch parallel laufenden Bestimmungen zum Energieeinsparungsgesetz (EnEG), Energieeinsparverordnung (EnEV) und Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) in ein gemeinsames Regelwerk – das Gebäudeenergiegesetz (GEG) – zusammengeführt werden. Hintergrund war u. a. die EU-Gebäuderichtlinie, die ab 2019 den Niedrigstenergie-Standard für Neubauten fordert.

Derzeit dürfen alte oder ineffiziente Beleuchtungsanlagen noch mit dem Energiebedarf anderer effizienter Technologien wie Heizung oder Klima verrechnet werden. Der ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik-

und Elektronikindustrie e. V. setzt sich dafür ein, dass Beleuchtungssysteme in der anstehenden Überarbeitung als gebäudetechnische Systeme aufgenommen werden.

Somit würden Beleuchtungssysteme künftig unabhängig bewertet. Mit gutem Grund: Kein anderes technisches Gebäudesystem kann auf vergleichbar hohe Effizienzsteigerungen verweisen. Die Digitalisierung des Lichts (z. B. Connectivity, Monitoring etc.) steigert die Energieeffizienz von Beleuchtungssystemen auch in Zukunft.

Ein weiteres zentrales Anliegen des ZVEI ist die fachgerechte Planung. Sie beinhaltet nicht nur die Erfüllung der lichttechnischen Qualitätsanforderungen nach DIN EN 12464-1, sondern auch die Erstellung eines Wartungsplans. Dieser legt z. B. auch die Reinigungsintervalle fest. Werden Leuchten häufiger gereinigt, kann die Systemleistung der Leuchte reduziert werden.

Der Wartungsplan hat erheblichen Einfluss auf die Energieeffizienz eines Gebäudes. Zur besseren Wirtschaftlichkeit sollten Wartungszyklen mit der schon heute regelmäßig notwendigen Wiederholungsprüfung der jeweiligen elektrischen Anlagen nach DGUV-Vorschrift A3 zusammenfallen.



Das 2016 erschienene Positionspapier des ZVEI „Berücksichtigung der Beleuchtung bei der Novellierung der Energiesparverordnung“ behandelt das Thema umfassend.

Checklisten

Sanierung oder Neuanlage: Checklisten erleichtern die Arbeit. Der hier abgebildete Erfassungsbogen hält die Anforderungen an die Beleuchtungsanlage fest – und steht ebenso wie weitere Planungshilfen von licht.de auf der Webseite www.licht.de zum Download zur Verfügung.

licht.de

Erfassungsbogen

Angaben zu Kunde / Anlage / Lichtsystem

Name des Kunden, Ansprechpartner vor Ort:

Adresse / Objektname:

Telefonnummer / E-Mail:

Erfasser:

Nutzungs- und Eigentumsverhältnis: Eigentum Miete Pacht

Art der Gebäudenutzung:

<input type="checkbox"/> Büro und Verwaltung	<input type="checkbox"/> Industrie
<input type="checkbox"/> Krankenhaus / Altenheim	<input type="checkbox"/> Hotel
<input type="checkbox"/> Gewerbe / Handel / Logistik	<input type="checkbox"/> Shop
<input type="checkbox"/> Kommunale Einrichtung	<input type="checkbox"/> Schule / Kindergarten

Sonstiges (*bitte eintragen*)

Steht ein Budget zur Verfügung? Ja € Nein

Projektvolumen / Größe € m²

Ist das Projekt in der Startphase? Ja Nein

Betrachtungszeitraum (TCO*) 3 5 7 9 10 12 15 20 Jahre
*Total Cost of Ownership

Angaben zur Beleuchtungsanlage	System 1	System 2	System 3
Raumnutzung <i>z. B. Büro, Flur, Lager, Werkstatt</i>	<input style="width: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>
Jährliche Betriebsstunden <i>(alternativ Wochenstunden)</i>	<input style="width: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>
Alter der Anlage in Jahren	<input style="width: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>
Gibt es Bestandsdaten? <i>(Excel, CAD, Papierzeichnung)</i>	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
Raumabmessung (L x B x H)	<input style="width: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>
Strompreis € / kWh	<input style="width: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>
Jährliche Stromkosten (€)	<input style="width: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>
Beleuchtungsstärke im Raum (lx)	<input style="width: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>

© licht.de

Angaben zum Lichtsystem	System 1	System 2	System 3
Leuchtenbezeichnung <i>1. Rasterleuchte / 2. Downlight / 3. Strahler / 4. Lichtband / 5. Hallentiefstrahler / 6. Wannenleuchte / 7. Feuchtraumleuchte</i>			
Leuchten / Lampen je Leuchte			
Leistung in Watt			
Deckensystem <i>Beton / Rigips / T-System / Metall / Paneel</i>			
Montageart <i>(LPH = Lichtpunkthöhe)</i>	<input type="checkbox"/> Einbau <input type="checkbox"/> Anbau <input type="checkbox"/> Pendel _____ LPH	<input type="checkbox"/> Einbau <input type="checkbox"/> Anbau <input type="checkbox"/> Pendel _____ LPH	<input type="checkbox"/> Einbau <input type="checkbox"/> Anbau <input type="checkbox"/> Pendel _____ LPH
Konventionelle Technik	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Teilweise <input type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Teilweise <input type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Teilweise <input type="checkbox"/> Nein
Wird die DIN-Norm erfüllt?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Darüber	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Darüber	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Darüber
Anzahl Ausfälle pro Jahr <i>(niedrig < 3 % / mittel < 10 % / hoch > 10 %)</i>	<input type="checkbox"/> Niedrig <input type="checkbox"/> Mittel <input type="checkbox"/> Hoch	<input type="checkbox"/> Niedrig <input type="checkbox"/> Mittel <input type="checkbox"/> Hoch	<input type="checkbox"/> Niedrig <input type="checkbox"/> Mittel <input type="checkbox"/> Hoch
Verschmutzungsgrad	<input type="checkbox"/> Gering <input type="checkbox"/> Mittel <input type="checkbox"/> Hoch	<input type="checkbox"/> Gering <input type="checkbox"/> Mittel <input type="checkbox"/> Hoch	<input type="checkbox"/> Gering <input type="checkbox"/> Mittel <input type="checkbox"/> Hoch
Sanierungsoption	<input type="checkbox"/> Retrofit <input type="checkbox"/> Leuchte <input type="checkbox"/> + Controls	<input type="checkbox"/> Retrofit <input type="checkbox"/> Leuchte <input type="checkbox"/> + Controls	<input type="checkbox"/> Retrofit <input type="checkbox"/> Leuchte <input type="checkbox"/> + Controls
Lichtplanung	<input type="checkbox"/> 1 : 1 <input type="checkbox"/> Norm <input type="checkbox"/> Konzept	<input type="checkbox"/> 1 : 1 <input type="checkbox"/> Norm <input type="checkbox"/> Konzept	<input type="checkbox"/> 1 : 1 <input type="checkbox"/> Norm <input type="checkbox"/> Konzept
Sind Teile defekt?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
Schutzart	<input type="checkbox"/> IP 20 <input type="checkbox"/> IP 40 <input type="checkbox"/> IP 65	<input type="checkbox"/> IP 20 <input type="checkbox"/> IP 40 <input type="checkbox"/> IP 65	<input type="checkbox"/> IP 20 <input type="checkbox"/> IP 40 <input type="checkbox"/> IP 65
Umgebungstemperatur	<input type="text"/> °Celsius	<input type="text"/> °Celsius	<input type="text"/> °Celsius

Notizen

Jedes Heft!

€ 10,-

Die Schriftenreihe von licht.de



licht.wissen 01

Die Beleuchtung mit künstlichem Licht

Heft licht.wissen 01 vermittelt auf 60 Seiten allgemein verständlich und herstellerneutral die Grundlagen moderner Beleuchtung. Es ist der Auftakt zu insgesamt 20 „licht.wissen“-Heften.



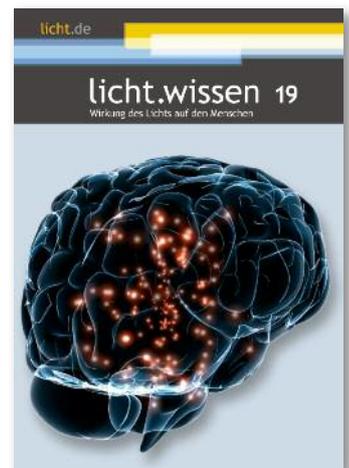
[licht.wissen 04] Eine optimale Beleuchtung im Büro fördert das Wohlbefinden und spart Energie- und Wartungskosten. Heft 04 stellt auf 56 Seiten Anwendungen vor und erklärt, welche Normen beachtet werden müssen.



[licht.wissen 09] 40 Seiten zur Sanierung in Gewerbe, Handel und Verwaltung mit zahlreichen praxisnahen Lösungsbeispielen. Sie zeigen, dass eine Modernisierung Energie spart und zugleich die Beleuchtungsqualität steigt.



[licht.wissen 10] 52 Seiten zur Not- und Sicherheitsbeleuchtung: Heft 10 informiert über relevante Normen und Vorschriften, erklärt licht- und elektrotechnische Anforderungen und stellt zahlreiche Anwendungslösungen vor.



[licht.wissen 19] 56 Seiten über die biologische Wirkung des Lichts auf den Menschen: Heft 19 informiert über den aktuellen Stand der Forschung und stellt Lösungsbeispiele aus der Praxis vor.

licht.wissen – per Post oder als kostenfreie PDF-Datei (Download) unter www.licht.de/lichtwissen

- | | | |
|--|---|---|
| 01 Die Beleuchtung mit künstlichem Licht (2016) | 08 Sport und Freizeit (2010) | 15 Gute Beleuchtung rund ums Haus (2009) |
| 02 Besser lernen mit gutem Licht (2012) | 09 Sanierung in Gewerbe, Handel und Verwaltung (2014) | 16 Stadtmarketing mit Licht (2010) |
| 03 Straßen, Wege und Plätze (2014) | 10 Notbeleuchtung, Sicherheitsbeleuchtung (2016) | 17 LED: Grundlagen – Applikation – Wirkung (2018) |
| 04 Licht im Büro, motivierend und effizient (2012) | 11 Gutes Licht für Hotellerie und Gastronomie (2005) | 18 Licht für Museen und Ausstellungen (2016) |
| 05 Industrie und Handwerk (2018) | 12 Lichtmanagement (2016) | 19 Wirkung des Lichts auf den Menschen (2014) |
| 06 Shopbeleuchtung, attraktiv und effizient (2011) | 13 Arbeitsplätze im Freien (2007) | 20 Nachhaltige Beleuchtung (2014) |
| 07 Gesundheitsfaktor Licht (2012) | 14 Ideen für Gutes Licht zum Wohnen (2009) | 21 Leitfaden Human Centric Lighting (HCL) (2018) |

All booklets are available in English as PDFs, free download at www.licht.de/en/

Alles über Beleuchtung!

Herstellernerneutrale Informationen

licht.de informiert über die Vorteile guter Beleuchtung. Die Fördergemeinschaft Gutes Licht hält zu allen Fragen des künstlichen Lichts und seiner richtigen Anwendung umfangreiches Informationsmaterial bereit. Die Informationen sind herstellernerneutral und basieren auf den relevanten technischen Regelwerken nach DIN und VDE.

licht.wissen

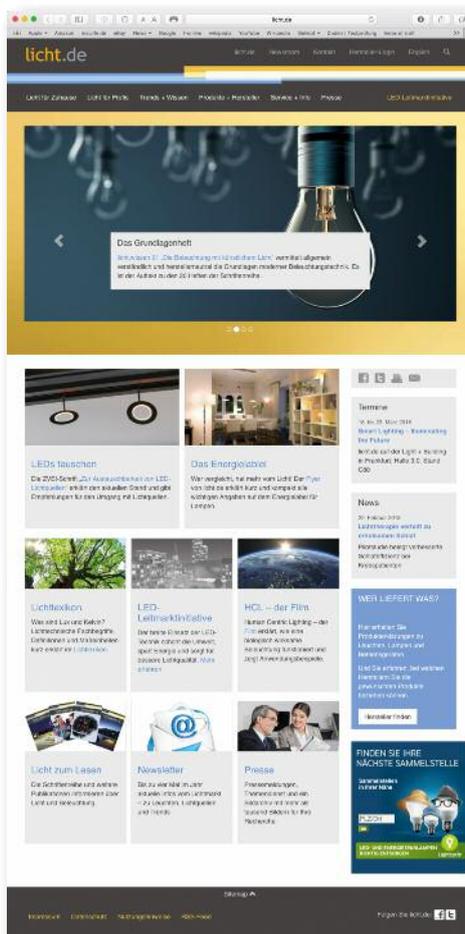
Die Hefte 1 bis 20 der Schriftenreihe licht.wissen geben Informationen zur Lichtanwendung. Diese Themenhefte erläutern anhand vieler Beleuchtungsbeispiele lichttechnische Grundlagen und zeigen beispielhafte Lösungen. Sie erleichtern damit auch die Zusammenarbeit mit Fachleuten der Licht- und Elektrotechnik. Alle lichttechnischen Aussagen sind grundsätzlicher Art.

licht.forum

licht.forum behandelt aktuelle Fragen der Lichtenwendung und stellt Beleuchtungstrends vor. Diese kompakten Fachinformationen erscheinen in loser Folge.

www.licht.de

Ihr umfangreiches Lichtwissen präsentiert die Brancheninitiative auch im Internet unter www.licht.de. Architekten, Planer, Installateure und Endverbraucher finden hier auf rund 5.000 Seiten praxisorientierte Tipps, viele Lichtenwendungen und aktuelle Informationen zu Licht und Beleuchtung. Eine Datenbank mit umfangreichen Produktübersichten weist den direkten Weg zum Hersteller.



www.twitter.com/licht_de
www.twitter.com/all_about_light



www.facebook.com/lichtde

Impressum

Herausgeber

licht.de
 Fördergemeinschaft Gutes Licht
 – eine Brancheninitiative des ZVEI e.V. –
 Lyoner Straße 9, 60528 Frankfurt am Main
 Tel. 069 6302-353, Fax 069 6302-400
licht.de@zvei.org, www.licht.de

Redaktion und Gestaltung

r.f.w. kommunikation, Darmstadt

ISBN-Nr. Druckausgabe 978-3-945220-15-3
 ISBN-Nr. PDF-Ausgabe 978-3-945220-16-0
 März 2018 (03/18/00/5VI)

Berücksichtigt wurden die bei Herausgabe gültigen DIN-Normen und VDE-Vorschriften, wiedergegeben mit Erlaubnis des DIN, Deutsches Institut für Normung e. V. Maßgebend für das Anwenden der DIN-Norm ist deren jeweils aktuelle Fassung, erhältlich bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin.

Der komplette oder auszugsweise Nachdruck von licht.wissen 05 ist nur mit Genehmigung des Herausgebers gestattet.

Bildnachweis

	78		
Bildnummern Rückseite	79	80	81
	82	83	84

Bilder

[12] Dr. Christoph Schierz, TU Illmenau; [22] ZVEI; [76] Moritz Finke.

Alle anderen Bilder, Visualisierungen und Grafiken stammen von licht.de-Mitgliedsunternehmen oder wurden im Auftrag von licht.de angefertigt.

licht.wissen 05
Industrie und Handwerk



licht.de

Förderungsgemeinschaft Gutes Licht
Lyoner Straße 9
60528 Frankfurt am Main
Tel. +49 (0)69 63 02-353
Fax +49 (0)69 63 02-400
licht.de@zvei.org
www.licht.de