

Stefan Gasser | Daniel Tschudy

Licht im Haus

Energieeffiziente Beleuchtung



energie schweiz

Unser Engagement: unsere Zukunft.



Inhalt

1. Licht	5	6. Steuern und Regeln	103
1.1 Erforschung des Lichts	5	6.1 Grundlagen	103
1.2 Elektromagnetische Strahlung	6	6.2 Bewegungs- und Präsenz- sensoren	105
1.3 Sehen und wahrnehmen	7	6.3 Intelligente, vernetzte Leuchten	110
1.4 Lichttechnische Begriffe	19	6.4 Fotozelle für Tageslicht- erfassung	112
1.5 Lichtmarkt und Sparpotenzial	24	6.5 Wirkung und Eigenenergie- verbrauch	114
2. Energetische Bewertung	27	6.6 Messprojekt Sensorleuchten	115
2.1 Energieetikette	27	6.7 Korridorbeleuchtung mit LED (Pilotprojekt)	118
2.2 Halogenlampenverbot	29	7. Planung und Optimierung	123
2.3 Deklarationspflicht	30	7.1 Grundlagen der Beleuchtungsplanung	123
2.4 Ausblick zur Energieetikette	32	7.2 Beispiel einer Optimierung	125
2.5 Norm SIA 387/4	33	7.3 Lichtnorm SN EN 12464-1: 2013	130
2.6 Minergie-Standard	49	7.4 Neue Tageslichtnorm EN 17037	134
2.7 Weitere Anwendungen der SIA 387/4	50	7.5 Betriebsoptimierung in bestehenden Bauten	140
2.8 Berechnungs-Tools	51	7.6 Wirtschaftlichkeit	144
2.9 Beleuchtungs-Check für Zweckbauten	53	7.7 Sparpotenziale bei der Beleuchtung	145
2.10 Andere Gebäudelabel	59	7.8 Nutzung der Dunkelheit	147
3. Lampen	63	8. Praxisbeispiele	149
3.1 Typologie der Lampen	63	8.1 Schulhaus Leutschenbach	149
3.2 Temperaturstrahler	64	8.2 Kongresszentrum Davos	153
3.3 Leuchtstofflampen	65	8.3 Technorama Winterthur	157
3.4 Entladungslampen (Halogenmetaldampflampe)	66	8.4 Kantonsbibliothek Liestal	161
3.5 Messen von Lampen	68	8.5 Messehalle Dornbirn	165
3.6 Sparlampen	70	8.6 Irische Nationalgalerie	168
4. LED – Licht emittierende Dioden	71	8.7 Lakeside Luzern	170
4.1 Effizienzpfad LED	71	8.8 Floyd Gebäude Genf	171
4.2 Merkmale der LED	73	8.9 Schulhaus Bläsi	173
4.3 Farbspektrum und Farb- wiedergabe	75	8.10 Bürohaus Altstätten	176
4.4 Optimierte Lichtlenkung	79	8.11 Bürohaus Pully	178
4.5 LED-Innovationen	81	8.12 Geschäftshaus Quadrolith	180
4.6 LED-Fadenlampen im Test	84	9. Anhang	183
4.7 Irrtümer über LED	87	9.1 Autoren	183
5. Leuchten	89	9.2 Weiterführende Infos	184
5.1 Profi- und Wohnleuchten	89	9.3 Schlagwortverzeichnis	186
5.2 Typologie der Leuchten	93		
5.3 Messen von Leuchten	96		
5.4 Minergie-Leuchten	98		

Impressum

Licht im Haus – Energieeffiziente Beleuchtung

Autoren: Stefan Gasser, Daniel Tschudy

Lektorat und Seitenherstellung: Faktor
Journalisten AG, Zürich; Othmar Humm,
Christine Sidler, Sandra Aeberhard

Diese Publikation ist Teil der Fachbuchreihe «Nachhaltiges Bauen und Erneuern». Die Publikation wurde durch das Bundesamt für Energie BFE / Energie-Schweiz und die Konferenz Kantonalen Energiedirektoren (EnDK) finanziert.

Titelbild: Floyd Gebäude, JTI Headquarter, Genf. Foto: Hufton and Crow

Bezug: Als Download (kostenfrei) unter www.energieschweiz.ch oder als Buch beim Faktor Verlag, info@faktor.ch oder www.faktor.ch

2. aktualisierte Auflage, September 2019
ISBN: 978-3-905711-52-3

Dank für die Unterstützung

Die Firmen Regent, Swisslux und Zumtobel sowie das Amt für Hochbauten der Stadt Zürich haben die Realisierung dieses Buches finanziell unterstützt.



Stadt Zürich
Amt für Hochbauten



ZUMTOBEL



REGENT
L i g h t i n g



Gutes Licht

Seit der ersten Auflage des Fachbuches «Licht im Haus» 2012 haben sich die Technologien zur Erzeugung von Licht und zur Steuerung von Beleuchtungen enorm verändert. Die LED-Beleuchtung ist heute Stand der Technik. Gegenüber den Halogenlampen ist die Effizienz mit LED um den Faktor 10 gestiegen, gegenüber der Leuchtstoff-Lampentechnik hat sich die Effizienz verdoppelt. Der weitgehende Ersatz bisheriger Lampen und Leuchten durch LED wird den Stromverbrauch für Beleuchtung in den nächsten Jahren mindestens halbieren; die Stromproduktion eines ganzen AKW (ca. 3 TWh/a) kann damit einspart werden. Auch über die Wirkung und Nutzung von Tageslicht sind neue Erkenntnisse verfügbar. Diese Entwicklung hat die lichttechnische Qualität von Arbeits- und Wohnräumen stark verbessert.

Zweifelsohne wirken sich die vielfältigen Potenziale der Elektronik treibend aus. Das zeigt sich beispielsweise bei der Personenerfassung zur Präsenz abhängigen Steuerung von Beleuchtungen. Durch den Einsatz hochfrequenter Präsenzmelder lassen sich Grösse und Geschwindigkeit eines bewegten Objektes detektieren – ohne eigentliche Bilderfassung. Auch die für private Räume geeigneten Retrofitleuchtmittel sind heute geräuschfrei dimmbar. Neue Konzepte in der Tageslichtnutzung sind nicht nur wirtschaftlich interessant, sie ermöglichen auch bauphysikalische und lichttechnische Verbesserungen.

Diese vollständig überarbeitete und aktualisierte Fassung der Fachpublikation «Licht im Haus» thematisiert wirtschaftliche Kombinationen von vorbildlicher Lichtqualität und hoher Energieeffizienz. Das Ziel bleibt, aber die dafür geeigneten Systeme und Komponenten sind überwiegend neu oder zumindest in wesentlichen Teilen modifiziert.

Gutes Licht ist im Wesentlichen das Resultat der räumlichen Bedingungen, also der Geometrie des Raumes, der Beschaffenheit und Farben der umgebenden Oberflächen. Es ist deshalb kein Zufall, dass ein Architekt und ein Ingenieur als Autoren den Inhalt verantworten. Diese interdisziplinäre Arbeitsweise ermöglicht auch bessere Beleuchtungen. Denn gutes Licht ist gleichermassen Technik und Architektur.

Stefan Gasser, Daniel Tschudy

Licht

1.1 Erforschung des Lichts

Über 90 % unserer Wahrnehmungen erfolgen über das Auge. Für das Erkennen unserer Umgebung und für die Orientierung benötigen wir Licht (Abbildung 1.1).

Die wissenschaftliche Erforschung des Lichts

■ Vor 2500 Jahren nahmen griechische Philosophen an, Licht werde aus den Augen auf die Objekte geworfen, um sie wie mit Fingern zu betasten. Dass nicht der Mensch die Bilder projiziert, sondern Lichtbilder der Aussenwelt in unsere Augen projiziert werden, nach dem Prinzip der «Camera obscura», wurde erst anfangs des 17. Jahrhunderts entdeckt.

■ Der Astronom **Galilei** (1564 bis 1642) versuchte als Erster, die Lichtgeschwindigkeit zu messen, also die Zeit, die ein Lichtsignal benötigt, um einen weit entfernten Ort zu erreichen. Er musste feststellen, dass mit dieser Methode nur die Reaktionszeit und nicht die Lichtgeschwindigkeit gemessen werden konnte.

■ **Newton** (1642 bis 1727), einer der Begründer der klassischen Physik, stellte Licht als Strom kleiner Teilchen dar, der von allen leuchtenden Gegenständen ausgeht (Korpuskeltheorie).

■ **Huygens** (1629 bis 1659), Physiker, verwendete für die Erklärung des Lichts das Wellenmodell (Wellentheorie). Energieimpulse oder Schwingungen würden so übertragen, wie sich Wellen im Wasser fortpflanzen, jedoch im Raum und nicht an einer Oberfläche wie beim Wasser – ein Irrtum, wie sich später herausstellte.

■ Der dänische Astronom **Römer** (1644 bis 1710) stellte fest, dass die Umlaufzeiten der Jupitermonde verschieden sind, was physikalisch nicht erklärbar war. Die Zeitdifferenzen ergaben sich aus den verschiedenen Abständen des Jupiters zur Erde und der begrenzten Lichtgeschwindigkeit, die das beobachtete Resultat verfälschten. Diese Beobachtung zeigte erstmals, dass das, was wir sehen und auch messen, nicht unbedingt der Realität entspricht. Kurze Zeit später war es möglich, die Lichtge-

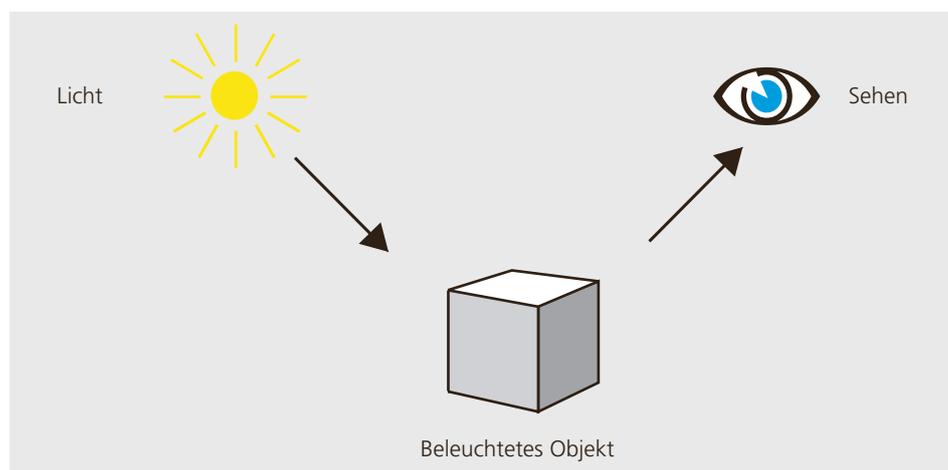


Abbildung 1.1:
Licht, Beleuchtung,
Sehen.



Abbildung 1.2:
Die Galerie der
Lichtphysiker.

schwindigkeit mit einem mechanischen Apparat erstmals zu messen.

■ Der englische Physiker **Maxwell** (1831 bis 1879) entwickelte die Theorie der elektromagnetischen Erscheinungen im Vakuum und in der Atmosphäre. Er begründete damit die Elektrodynamik und erklärte als Erster, dass auch Licht ins Spektrum der elektromagnetischen Wellen gehört.

■ **Einstein** (1879 bis 1955) revolutionierte alle Vorstellungen der klassischen Physik. Die Relativität von Raum, Zeit, Energie und Materie basiert zu einem grossen Teil auf der Untersuchung des Lichts und dessen begrenzter Geschwindigkeit.

1.2 Elektromagnetische Strahlung

Ein bedeutender Unterschied zwischen Lichtwellen und elastischen Wellen wie Wasser- und Schallwellen besteht darin, dass diese Wasser, Luft oder ein Gas brauchen, um sich ausbreiten zu können. Licht erreicht uns jedoch auch durch den leeren Raum, z.B. von einem Stern der Milchstrasse. Die Länge der Lichtwellen ist recht klein, kleiner als ein Tausendstel Millime-

ter. Licht mit einer Wellenlänge von etwa 600 nm sehen wir als rotes Licht, Licht mit einer Wellenlänge 400 nm als blaues Licht. Wellenlänge und Farbe stehen also in direktem Zusammenhang. Die für das menschliche Auge sichtbaren Lichtwellen ordnen sich im «Mittelfeld» der elektromagnetischen Wellen ein (Abbildung 1.3 und Tabelle 1.1).

Inwiefern elektromagnetische Wellen für den menschlichen Organismus schädlich sein können, wird intensiv diskutiert.

■ Von Gammastrahlen und Röntgenstrahlen ist eine Schädigung bekannt und nachgewiesen.

■ UV- und IR-Licht ist in zu hohen Dosen bekannterweise auch schädlich, allerdings ist sichtbares Licht (das zwischen UV und IR liegt) ebenso wesentlich für das Entstehen und Gedeihen von Menschen, Tieren und Pflanzen.

■ Für Mikrowellen und Radiowellen, zu denen das Wireless LAN und die Handynetze gehören, ist eine Schädlichkeit noch nicht nachgewiesen. Es ist aber vorstellbar, dass diese Wellen mit einer Wellenlänge im Zentimeterbereich mit dem menschlichen Organismus in Resonanz kommen könnten.

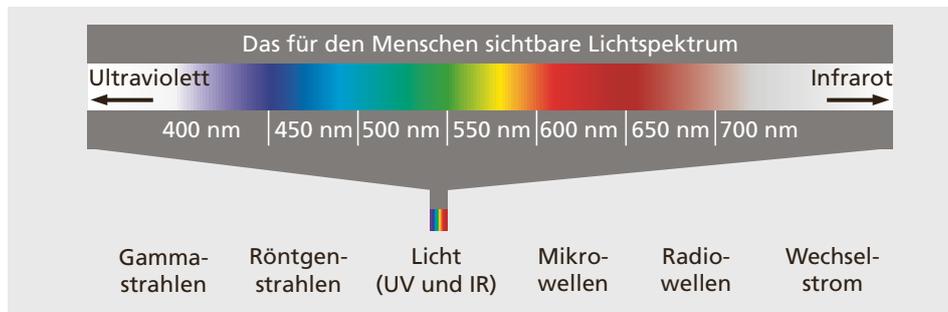


Abbildung 1.3:
Das sichtbare Licht
als elektromagnetische Welle.

Strahlenquelle	Frequenz	Wellenlänge
Stromnetz	50 Hertz	6000 km
Sparlampe (EVG)	50 Kilohertz	6 km
UKW-Radio	100 Megahertz	3 m
Handynetz (GSM 900)	0,9 Gigahertz	33 cm
Mikrowelle, Radar, WLAN	2,5 Gigahertz	10 cm
Infrarot	300 Terahertz	1000 nm (= 0,001 mm)
Sichtbares Licht	430 THz bis 750 THz	700 nm bis 400 nm
Ultraviolett	1000 Terahertz	300 nm (= 0,0003 mm)
Röntgenstrahlen	1 000 000 Terahertz	0,3 nm
Gammastrahlung (Radioaktivität)	1 Mrd. Terahertz	0,0003 nm

Tabelle 1.1:
Beispiele elektromagnetischer Strahlungen.

■ Niederfrequente Wellen wie Stromnetze, aber auch Leistungselektronik aller Art (z. B. in Sparlampen), haben Wellenlängen von mehreren Kilometern; eine Resonanzerscheinung ist hier also nicht zu erwarten. Allerdings spielt auch die Leistung der abgestrahlten Welle eine Rolle. Und die ist bei niederfrequenten Wellen viel höher als bei hochfrequenten.

1.3 Sehen und wahrnehmen

Die Seh- und Wahrnehmungsfähigkeit des menschlichen Auges ist enorm. Mit dem Augapfel, der vielfach kleiner ist als ein gutes Fotoobjektiv, kann das Auge zusammen mit einem wenige Quadratcentimeter kleinen Rechenzentrum im Gehirn Bilder erzeugen, die der besten Fotokamera bei weitem überlegen sind.

■ **Objekt:** Voraussetzung für einen Sehvorgang ist ein beleuchtetes Objekt. Die Bandbreite der Helligkeit, die das Auge verarbeiten kann, geht von «sehr dunkel» bis «sehr hell» und beträgt bis zu 1 zu 1 Mia.

■ **Sehen:** Das Auge sieht das Objekt und erstellt eine Abbildung auf der Netzhaut nach dem Prinzip der optischen Kamera. Durch Hornhaut, Pupille und Linse wird das Bild auf die Netzhaut projiziert. Sie enthält etwa 130 Millionen lichtempfindlicher Rezeptoren (Stäbchen für die Helligkeit und Zäpfchen für die Farbigkeit) und zahlreiche Nervenverbindungen mit vielen komplexen Schaltmechanismen. Für die richtige

Schärfe des Bildes auf der Netzhaut sorgen Hornhaut und Linse, für eine vernünftige Belichtung der Netzhaut die Pupille.

■ **Wahrnehmen:** Die körperinterne Weiterverarbeitung der Lichtreize, die auf die Netzhaut auftreten, nennt man Wahrnehmung. Die Bildinformationen werden «Real-Time» über Nervenbahnen ans Sehzentrum im Hinterkopf des Gehirns übermittelt. Dort lesen dann zwei bis drei Milliarden Zellen auf der Sehrinde die gesendeten Signale ab und verarbeiten sie in dem wenige Quadratcentimeter kleinen Rechenzentrum zu einem Bild.

■ **Assoziation:** Jede visuelle Information löst im Sehzentrum des Gehirn Assoziationen aus: Das empfangene Bild wird mit gespeicherten Bildern aus der Erinnerung ergänzt und zum fertigen Bild zusammengesetzt. Es besteht also zwischen Wissen (erinnertes Bild) und Sehen eine Vermischung. Deshalb wird ein Sehobjekt auch dann erkannt, wenn es nur teilweise sichtbar ist. Das Auge bildet zwar die Wirklichkeit objektiv ab, doch was wir sehen, ist eine vom Gehirn manipulierte Version des Bildes. Im Unterschied zur Kamera ist das Hirn kein passiver Apparat.

Die Hellempfindung des Auges

Die Lichtempfindlichkeit des menschlichen Auges ist der Massstab für den Helligkeitseindruck der verschiedenen Wellenlängen des Farbspektrums. Die Kurve der spektra-

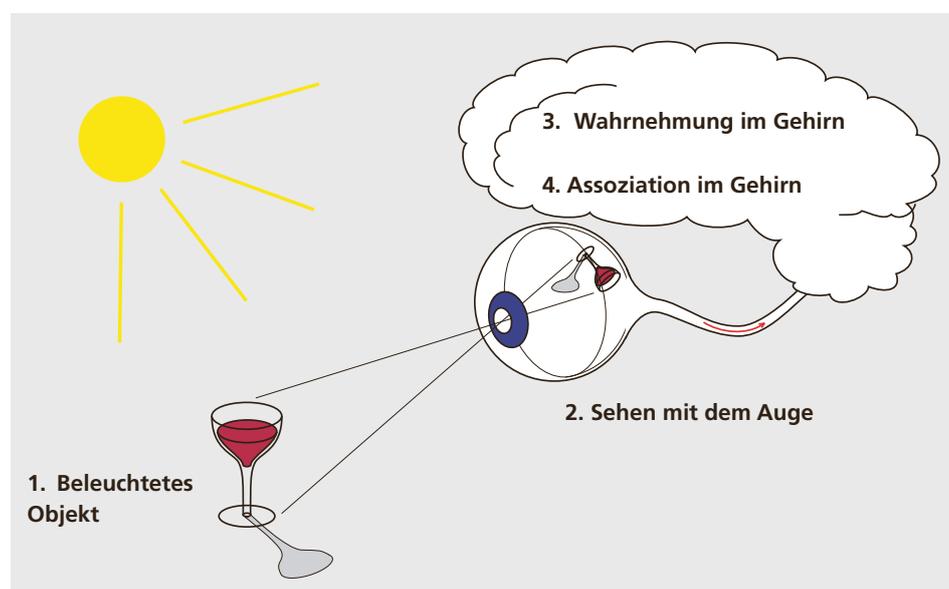


Abbildung 1.4:
Sehen und Verarbeiten von Bildern.

len Hellempfindlichkeit hat beim Tagsehen ein Maximum bei 555 nm (grün-gelb) und sinkt bei 400 nm respektive 700 nm nahezu auf null. Da Menschen Lichteffekte sehr unterschiedlich empfinden, gilt die Kurve nur für das normalsichtige menschliche Auge. Die spektrale Helligkeitsempfindlichkeit ist am Tag und in der Nacht unterschiedlich (Abbildung 1.5).

Biologische Wirkung des Lichts

Neben Assoziationen spielen bei der Wahrnehmung auch biologische Wirkungen des Lichts eine wichtige Rolle. Die Wirkungskette des Lichts folgt separaten Nervenverbindungen, welche von der Netzhaut zum zentralen Steuerorgan der Körperfunktionen (der Hypophyse) führen. Über dieses werden Stoffwechsel und Hormonhaushalt beeinflusst. Der Rhythmus wird vorwiegend durch das Tageslicht bestimmt. «Gutes» Licht fördert deshalb das Konzentrationsvermögen, verbessert die Motivation und verhindert vorzeitige Ermüdung. Dadurch steigt die Leistungsfähigkeit, sogar bei Tätigkeiten, die wenig oder gar nicht sehabhängig sind, wie z. B. Denkvorgänge. Diese Wirkung wird vor allem durch das seitlich ins Auge einfallende Licht ausgelöst. Deshalb ist es in Arbeitsräumen wichtig, nicht nur Arbeitsplätze, sondern auch deren Umfeld gut zu beleuchten. Beleuchtungsstärken unter 500 Lux genügen dazu allerdings nicht. Tageslicht lässt sich nicht vollständig durch künstliche Beleuchtung ersetzen.

Wahrnehmungsprozesse

In der Wissenschaft werden heute visuelle und nichtvisuelle Prozesse unterschieden. Die visuellen Prozesse bilden dabei:

- Das eigentliche Sehen (über Zapfen und Stäbchen)
- Die Wahrnehmung unserer subjektiven Realität
- Teils chronobiologische Prozesse ebenfalls durch die Zapfen und Stäbchen

Die nicht visuellen Prozesse zeigen, dass Licht mehr bewirkt, als uns bewusst ist:

- Hormonelle Beeinflussung über die Hautoberfläche

■ Licht als chronobiologischer Schrittmacher

■ Beeinflussung einer grossen Anzahl weiterführenden Prozesse im Körper durch die direkte Wirkung der Sehzellen und Ganglien, ohne visuelle Prozesse auszulösen.

Visuelle Prozesse

Bei Dunkelheit werden ausschliesslich Stäbchen gereizt. Sie sind ca. 100 000-mal empfindlicher als Zapfen. Auf diese Weise wird ein ausreichendes Sehen selbst in der Nacht ermöglicht. Da es nur eine Stäbchenart gibt, können lediglich Helligkeitswerte unterschieden werden. Neben den ca. 120 Millionen Stäbchen sind im Auge ca. 6 Millionen Zapfen angesiedelt. Die stärkste Konzentration findet man in der Fovea Centralis (Netzhaut, höchste Sehschärfe).

Die Zapfen haben verschiedene spektrale Empfindlichkeiten. Rund 12 % der Zapfen sind vorwiegend auf Blau empfindlich, die verbleibenden restlichen 88 % sind auf Rot und Grün empfindlich.

Neben dem reinen Zapfensehen (Farbsehen, photopisches Sehen) und dem reinen Nachtsehen mit Stäbchen (Grauwerte, skotopisches Sehen) spricht man auch vom mesopischen Sehen, also einem Zwischenbereich, in dem Farbsehen und Nachtsehen möglich sind.

Die Wahrnehmungstheorien basieren auf visuellen Sehprozessen. Dabei werden Lernprozess (Reiz-Antwort-System) und Programm (mentales Konzept; Look-up-Wahrnehmung nach Gregory) unterschieden. Lernprozesse können mit dem Erreichen einer Stufe des Erfolges durch Training relativ klar über das Reiz-Antwort-System und dem dadurch erreichten Konzept, der Look-up-Wahrnehmung, beschrieben werden. Das Reiz-Antwort-System bildet also den Weg und die Look-up-Wahrnehmung das Ziel.

Die Verkehrsampel zeigt beispielsweise als Reiz den Wechsel von Rot zu Grün. Als Antwort wechselt der Autofahrer seinen Fuss vom Brems- zum Gaspedal. Typisch für solche Systeme sind die damit verbundenen Reaktionszeiten. Auch wenn die Reaktionszeiten über das periphere Sehen

zusätzlich verkürzt werden können, bleiben sie bestehen.

Durch Information der Augen wird das passendste oder das wahrscheinlichste Konzept ausgewählt und zur Wahrnehmung genutzt. Wie Abbildung 1.6 zeigt, können gleichmässige Änderungen in der Sinnesinformation zu einer sprunghaften Änderung des ausgewählten mentalen Konzepts führen. Beispiel eines Übergangs von einem mentalen Konzept zu einem anderen: Bei einer Blickbewegung von links nach rechts wechselt das mentale Konzept «Mann» in ein Konzept «Frau». Von rechts nach links findet der Übergang an einer anderen Stelle statt.

Was ist der Vorteil des Konzeptes gegenüber dem Lernprozess? Grundsätzlich ist beides notwendig, um das Erlernte auch zu behalten und in einer Disziplin besser zu werden. Zusätzlich sind die Konzepte

auch schneller abrufbar. Die Vorteile der Look-up-Wahrnehmung gegenüber des reinen Reiz-Antwort-Systems sind:

- Keine Zeitverzögerung: Beispiel heranahender Ball, mentales Konzept der Flugbahn (Beleuchtung beeinflusst positiv).
- Beurteilung von Eigenschaften: Beispiel Oberfläche eines Tisches aufgrund der Erfahrung (Beleuchtung hat keinen Einfluss; Konstanzphänomen; neue unbekannte Objekte dürften schwieriger zu beurteilen sein).
- Die Look-up-Wahrnehmung kann auf Abwesenheit von Eigenschaften reagieren. (Beispiel Kanizsa-Dreieck: Obwohl Linien gar nicht vorhanden sind, werden diese wahrgenommen). Beim Reiz-Antwort-System wäre das unmöglich, da ohne Reiz keine Reaktion möglich ist (Beispiel hohe Leuchtdichten ohne Information).

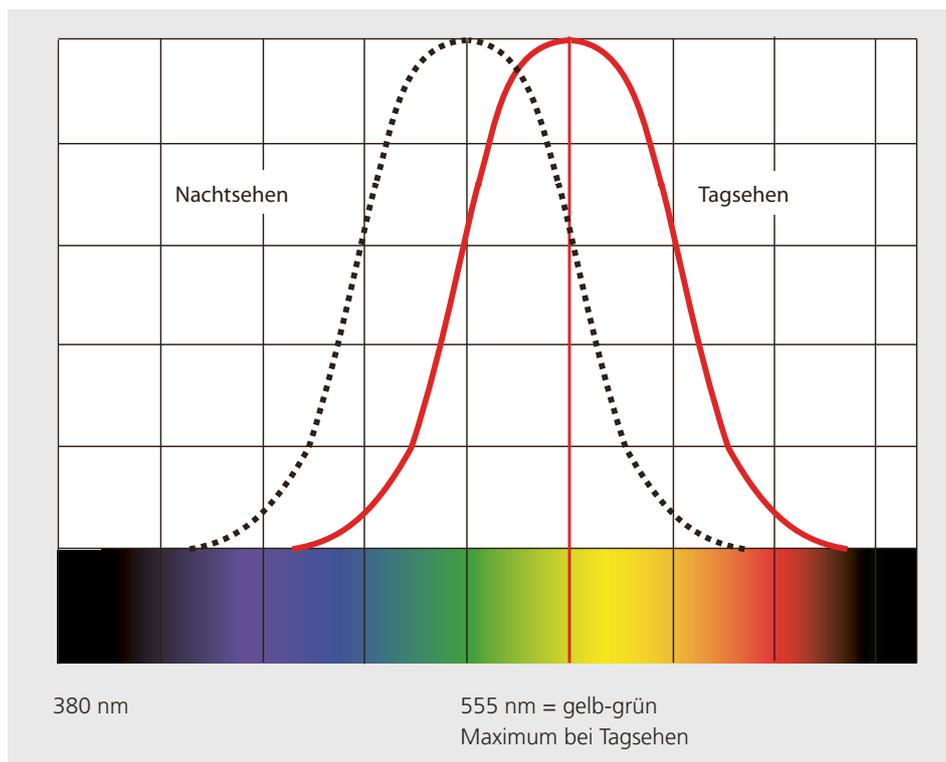


Abbildung 1.5:
Sehvermögen des Menschen bei Tag und Nacht für die verschiedenen Lichtfarben.

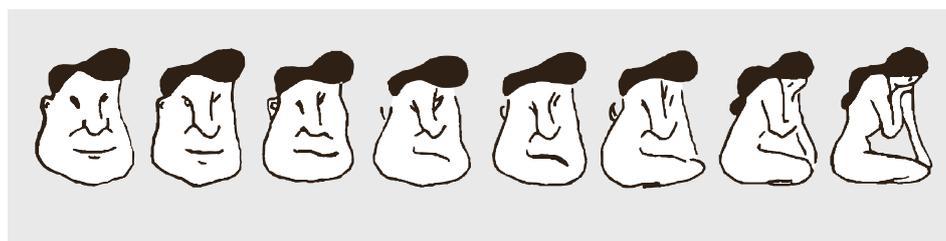


Abbildung 1.6:
Je nach gewählter Richtung ändert sich das mentale Konzept.

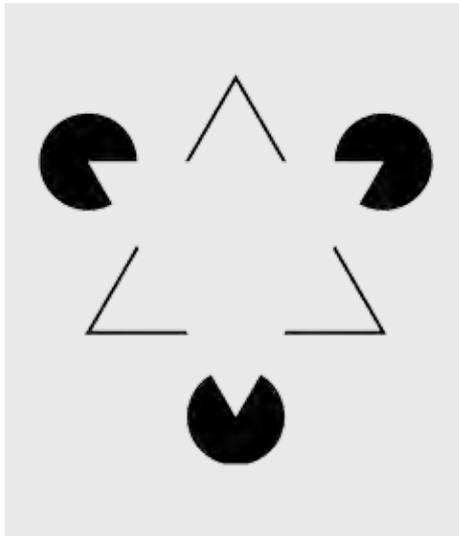


Abbildung 1.7:
Kanisza-Dreieck;
trotz Abwesenheit
von Eigenschaften
klar erkennbar.

■ Die Look-up-Wahrnehmung kann kurzzeitige Informationslücken ausfüllen. Dies erfolgt z.B. beim Lidschlag. Obwohl das Bild auf der Netzhaut des Auges verschwindet, wird die Umwelt zeitlich als kontinuierlich wahrgenommen (Beispiel Haus hinter Baum).

Determinierte Strukturen sprechen in Personen mit ähnlichem kulturellem Hintergrund ähnliche mentale Konzepte an – mit anderen Worten: Sie wirken kommunikativ. Die Konstanz von Winkeln, Farben, Grössen und Helligkeiten bildet dabei im Wahrnehmungsprozess ein wichtiges Bindeglied zu den erlernten und gespeicher-

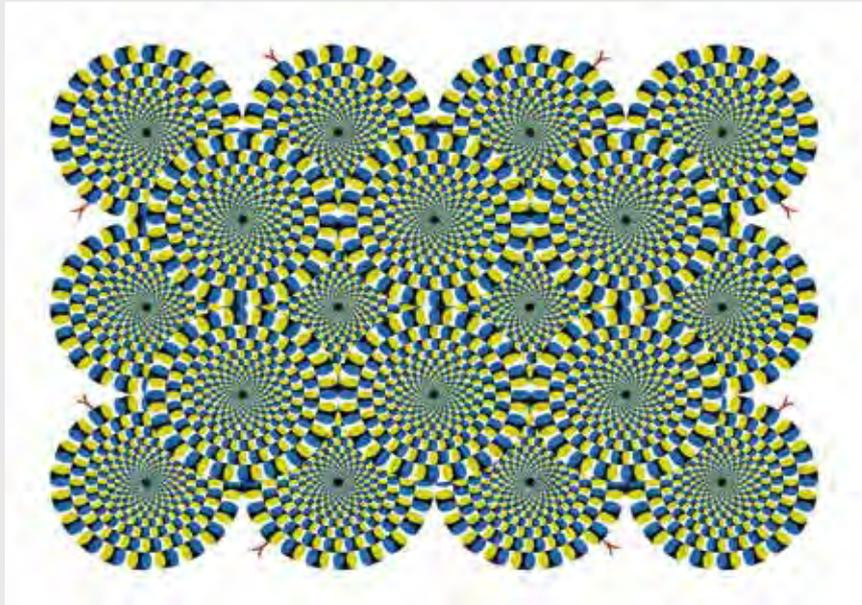


Abbildung 1.8:
Bewegung als
Eigenleistung des
Gehirns, ausgelöst
durch die laterale
Hemmung (Rand-
kontrastverstär-
kung).

Abbildung 1.9:
Beim Versuch, die
Farben der Wörter
zu lesen, versucht
die rechte Hirn-
hälfte wie ge-
wohnt, die Wörter
so zu interpretie-
ren, wie sie daste-
hen. Sie hat Mühe,
sich unterzuordnen.
Die linke Hirnhälfte
hat ebenso Mühe,
die Führung zu
übernehmen.

GELB BLAU ORANGE
SCHWARZ ROT GRÜN
VIOLETT GELB ROT
ORANGE GRÜN SCHWARZ
BLAU ROT VIOLETT
GRÜN BLAU ORANGE

ten Korrekturprozessen. Es ist zudem eine charakteristische Eigenschaft der Wahrnehmung, einfache und verständliche Deutungen zu bevorzugen (Symmetrie, Gestaltgesetze etc.).

Äussere Reize werden nicht nur rational wahrgenommen, sondern haben auch eine emotionale Ebene. Diese persönliche und überlagerte Empfindung der Umwelt und ihrer Objekte können als angenehm oder unangenehm, als beruhigend oder anregend, als kontrolliert oder ausgeliefert, etc., gedeutet werden. Diese Bewertung wird affektive Färbung genannt. Dabei beeinflussen sich Mustererkennung und affektive Bewertung gegenseitig. Wir sind beispielsweise geneigt, affektiv uninteressante Reize zu unterdrücken. Zusätzlich zeigt sich, dass eine affektive Färbung Zeitströmungen unterliegt und damit dem Wandel der Zeit folgt (Schönheitsideal, Autodesign, Materialisierung etc.).

Diese äusseren Reizimpulse können zusätzlich durch eine eigene Bewertung beeinflusst werden. Wir haben, ausgelöst durch Medien, Gespräche, Gehörtes oder Gesehenes, eine Vorstellung darüber, ob sich eine bestimmte Wahrnehmung positiv oder negativ auf unsere Gesundheit auswirkt. Beispiele dafür gibt es viele, wenn auch oft falsch interpretiert oder dem Aberglauben nahe. Zum Beispiel die öffentliche Diskussion über das unnatürliche und daher ungesunde Lichtspektrum von Leuchtstofflampen. Bei der Behauptung, «Neonröhrenlicht macht krank», wird das mentale Konzept über Leuchtstofflampen mit einem Konzept über die Gesundheit verknüpft.

Diese Bewertung bestimmt das weitere Verhalten gegenüber dem Wahrgenommenen. Sie beeinflusst sowohl affektive Färbung wie auch den Prozess der Mustererkennung. Das heisst auch, dass sie mitbestimmt, welches mentale Konzept von der Look-up-Wahrnehmung ausgewählt wird.

Nichtvisuelle Effekte

Biologische Prozesse, ausgelöst durch nichtvisuelle Effekte, sind unsichtbar und daher auch lange unentdeckt geblieben.

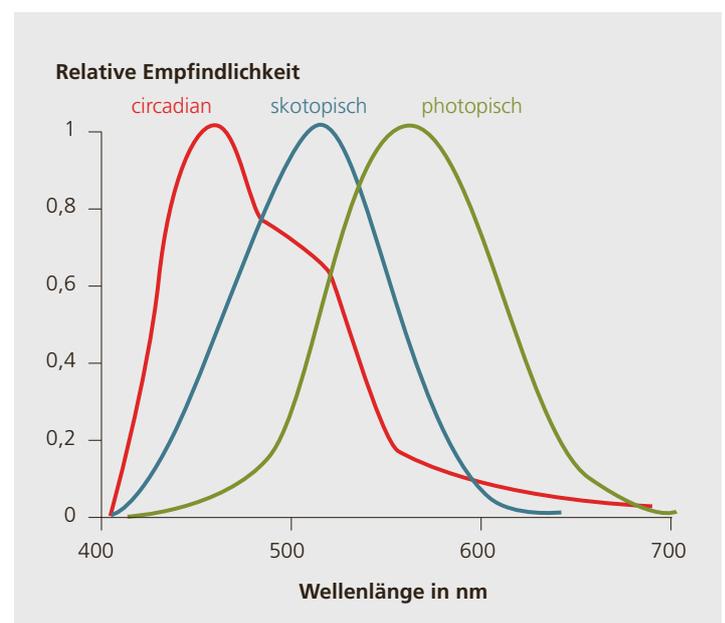
Sie zeichnen sich durch Körperrhythmen (24 Stunden, Tag-Nacht, etc.), durch Aufmerksamkeit, Stimmung, Stress und weitere beschreibbare psychologische Merkmale aus. Man kann daraus schliessen, dass es sich um die gesundheitsbezogenen Qualitätsaspekte von Beleuchtungsanlagen handelt. Erst 2002 wurde durch David Berson und anderen ein neuartiger Photorezeptor beschrieben, entdeckt in der Netzhaut von Säugetieren. Damit war der Mechanismus hinter den von Licht und Dunkel gesteuerten biologischen Effekten als neuartiger Photorezeptor erkannt. Das bedeutet nun, dass die Qualitätskriterien der Beleuchtung um den Faktor Gesundheit erweitert werden muss.

Folgende Oberbegriffe der Qualitätskriterien können neu genannt werden:

- Sehaufgabe
- Gesundheit
- Räumliche Verteilung

Die Beleuchtung einer Sehaufgabe unterliegt anderen Kriterien als jene für die zirkadiane Rhythmik. Ebenso hat die ästhetische Raumbeleuchtung noch nicht den Beweis erbracht, weitere Qualitätskriterien zu erfüllen. Das Zusammenspiel dieser Oberbegriffe ist keineswegs einfach und zusätzliche Kriterien wie Energieeffizienz und normative Absichten verkomplizieren ein vermeintlich einfaches Beleuchtungs-

Abbildung 1.10: Empfindlichkeitskurven der Empfänger im Auge. Photopisches Maximum (Tagessehen) bei 555 nm; Skotopisches Maximum (Nachtsehen) bei 507 nm; Zirkadianes Maximum (nicht visuell) bei ca. 480 nm (neueste wissenschaftliche Erkenntnisse; bislang wurden 460 nm angenommen).



vorhaben. Damit sind die Grenzen nicht gesetzt, eher weit geöffnet. Die verschiedenen Messmethoden (sei es Leuchtdichte oder Beleuchtungsstärke) beherrschen wir. Wie sieht es mit der Bewertung aus? Mit dem Gütekriterium der Beleuchtung müsste Licht präziser beurteilt werden können.

Die Stäbchen sind für die Pupillenöffnung massgeblich verantwortlich. Das bedeutet wiederum, dass Licht mit hohem Blauanteil die Pupille öffnet und damit mehr Tiefenschärfe zulässt. Gelbes Natriumdampflicht im Gegensatz dazu hat zwar eine enorm hohe Lichtausbeute, vermag aber die Stäbchen nicht zu aktivieren. Das führt dazu, dass die Bewertung auf der Netzhaut trotz hoher Lichtausbeute nicht besser ausfällt und somit nicht heller erscheint. Auf die Empfindlichkeit der Stäbchen reduziert, wirkt die Frequenz der Natriumdampflampe wie biologische Nacht.

Auf der anderen Seite wurde mehrfach auf die toxische Wirkung der Blauentladung von LED-Lampen auf das Auge hingewiesen. Wieviel Licht und mit welcher Frequenz ist gesund? Diese Antworten stehen noch aus. Erkenntnisse sind:

- Licht kann Winterdepression mildern.
- Licht kann die Dauer und Tiefe sowie die Qualität von Schlaf erhöhen.
- Licht kann den Schlaf-Wach-Rhythmus regulieren.
- Licht kann die Leistungsfähigkeit erhöhen.
- Licht kann die Gewichtszunahme von Frühgeborenen verbessern.
- Licht kann die Gewichtskonstanz und Gewichtsabnahme von Erwachsenen positiv beeinflussen.
- Die Aktivierung des zirkadianen Systems durch Licht wird durch die retinalen Ganglionzellen in der Netzhaut des Auges beeinflusst.
- Licht reguliert den Melatoninpegel, von dem nachgewiesen wurde, dass er das Wachstum von Brustkrebs verringert.
- Licht hat einen direkten Einfluss auf die Hirnrindenaktivität.

Der Architekt und Künstler Philip Rahm hat sich einer nachhaltigen und ganzheitlich verstandenen Kunstarchitektur verschrieben. Architekturkunst, die sich an naturwissenschaftlichen, biologischen, sozialen und gesellschaftlichen Faktoren orientiert, um auf den wissenschaftlichen Erklärungsnotstand hinzuweisen, ohne rechthaberisch zu wirken, dafür Vermutungen darzustellen. Die Farben in den Räumen symbolisieren biologische Wirkungsprinzipien, die sich in Schlaf, Müdigkeit und Munterkeit bemerkbar machen – Architektur als Sprache. Dabei entstehen Räume wie das Hormonium oder der Melatoninraum (Abbildung 1.12 und Abbildung 1.13).

Human Centric Lighting

Die nicht-visuelle Lichtwirkungsforschung erkannte schon vor zehn Jahren, dass eine nächtliche Beleuchtung die Ausschüttung des Hormons Melatonin unterdrückt und längerfristig den zirkadianen Melatonin-Rhythmus, der unseren Schlaf-Wach-Rhythmus mitbestimmt, stark moduliert. Damit war klar, dass die Art der Beleuchtung (vor allem mit hoher Intensität und kurzweiliger Strahlung) nicht-visuelle Wirkungen auf den Menschen hat und somit die Gesundheit positiv oder negativ beeinflussen kann.

Heute gilt als nachgewiesen, dass neben dem Lichtspektrum auch die Lichtintensität, der Zeitpunkt und die Zeitdauer der Lichtexposition entscheidenden Einfluss auf nicht-visuelle Lichtwirkungen darstellen.

Seit geraumer Zeit spielt der Begriff «Human Centric Lighting» (HCL) eine wichtige Rolle in der Lichtindustrie und Lichtplanung. Mit dem Begriff «Human Centric Lighting» wird jede Art von Licht bezeichnet, sowohl im visuellen wie auch nichtvisuellen Bereich, die eine positive Auswirkung auf das Wohlergehen, die Arbeitsfähigkeit und die Gesundheit des Menschen hat. Unter einer HCL-basierten Lichtplanung versteht man häufig den Einsatz von Kunstlichtsystemen, die vorrangig die Lichtfarbe gemäss einer vorprogrammierten tageszeitlichen Steuerkurve verändert.



Abbildung 1.11:
Split Time Cafe von
Philip Rahm 2007.



Abbildung 1.12:
Melatoninraum von
Décosterd & Rahm,
2000.



Abbildung 1.13:
Melatoninraum von
Décosterd & Rahm,
2000.

Der bewusste Einsatz von Tageslicht und die Möglichkeit von Nutzereingriffen in die automatische Lichtsteuerung bleiben meist unberücksichtigt. Der Fokus liegt derzeit weniger auf einem gesundheitserhaltenden, als mehr auf einem gefährdungsvermeidenden Ansatz und versucht somit, längerfristige Störungen zirkadianer Prozesse zu verhindern, beispielsweise bei Nachtschichtarbeitern in Wechselschichten. Diese werden durch nächtliches helles Licht verstärkt und von medizinischen Experten als gesundheitsgefährdend eingeschätzt. Im Moment gibt es daher fundierte Bestrebungen, zumindest die Lichtfarbe in der Schichtarbeit bei 4100 K als Obergrenze festzulegen. Es gilt aber als gesichert, dass Licht akut die Wachheit steigern, Arbeitsgedächtnis- und Aufmerksamkeitsleistungen erhöhen und spezifische physiologische Parameter (z. B. nächtliche Melatonin-Ausschüttung oder frühmorgendliche Kortisol-Ausschüttung) ver-

ändern kann. Der Mensch hat mit dem Tag-Nacht-Rhythmus und dem Sonnenlicht über Jahrtausende symbiotische Verbindungen aufgebaut. Die chronobiologische Wirkung von Licht zeigt sich vorwiegend frühmorgens und abends in der Dämmerung. Licht kann physiologische Prozesse beeinflussen, indem die Phasenlage verschoben oder Amplitudenhöhen gestaucht oder gestreckt werden. Sehr helles Licht am Morgen hat einen stimmungsaufhellenden Effekt. Mit dem Sehen korrespondiert stets unmittelbar auch unser momentanes Befinden und Verhalten. Deshalb ist eine Trennung von nicht-visuellen und visuellen Lichtwirkungen kaum möglich. Noch deutlich schwieriger ist die Beschreibung von rein nicht-visuellen Wirkungen langfristiger Art, die sich nach mehrstündiger bzw. mehrmaliger Exposition zeigen und nicht unmittelbar mit der visuellen Informationsaufnahme in Zusammenhang stehen. Es gibt deutliche Hinweise darauf, dass folgende Faktoren relevant sind:

Zirkadian

Der Begriff «zirkadian» setzt sich aus den Ursprungswörtern «circa» und «dies» zusammen, bedeutet also «zirka ein Tag». Der Fachausdruck aus der Chronobiologie bezieht sich auf den biologischen Rhythmus von physiologischen Prozessen während «zirka einem Tag», also 24 Stunden. Im Vordergrund steht der Rhythmus von Blutdruck, Gehirnaktivität, Hormonproduktion, Körpertemperatur, Puls und Schlaf.

- Die Lichtexposition der vergangenen Stunden: Je weniger Licht der Mensch ausgesetzt war, umso höher ist seine momentane Empfindlichkeit für Licht.
- Die Tageszeit der Lichtexposition, bezogen auf die Schlafzeit des Individuums: Licht wirkt, in Abhängigkeit von der zirkadianen Phasenlage des Individuums, unterschiedlich auf Stimmung, Kognition und Verhalten.
- Die Bestrahlungsstärken (werden in Abhängigkeit der spektralen Empfindlichkeit

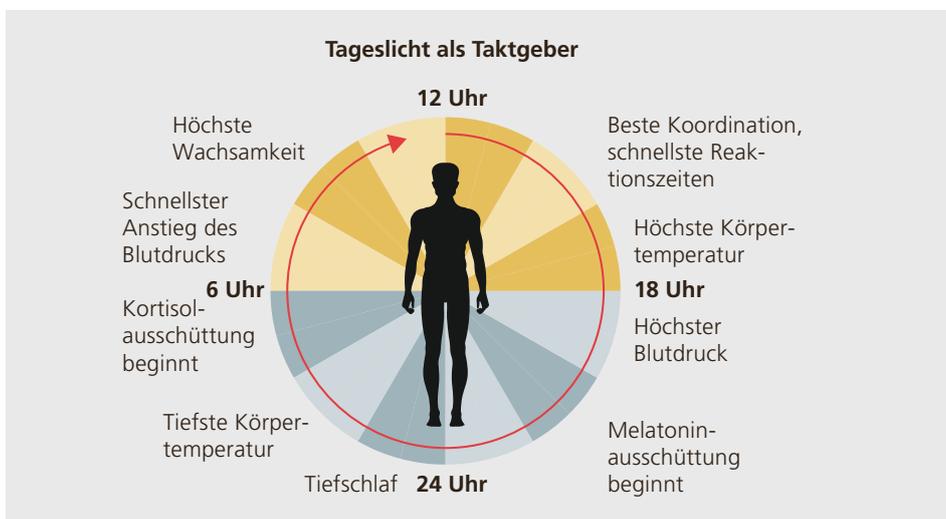


Abbildung 1.14:
Zirkadiane Rhythmen.

der fünf retinalen Fotorezeptoren unterschiedlich gewichtet), welche die akut wirksam werdende Lichtexposition definiert.

- Die Dauer der Lichtexposition.

Anwendung in der Lichtplanung

Die wissenschaftlichen Erkenntnisse lassen sich in vier Empfehlungen zusammenfassen:

- Nutzung von Tageslicht durch Gebäudegeometrie und durch Tageslichtsysteme wie z.B. lichtlenkende Lamellensysteme, Oberlichter: Bei richtiger Anwendung ist es möglich, ohne visuelle oder thermische Belastung von Menschen möglichst viel Tageslicht in Räume zu bringen.

- Ergänzender Einsatz von hochwertigen Kunstlichtsystemen: Diese Systeme ermöglichen Änderungen der Lichtintensität, Lichtfarbe und Lichtverteilung bei einem Mangel an Tageslicht. Dabei ist zu beachten, dass die visuelle Qualität immer erhalten bleibt. Das Kunstlicht muss idealerweise auf die Raumbooberflächen abgestimmt sein.

- Sensorik, zumindest zur Erfassung der Präsenz bzw. Aktivität von Personen und der Lichtmenge in spezifischen Raumbereichen: Sensoren liefern die Daten für eine geregelte, energieeffiziente Zuschaltung des Kunstlichts mit dem Ziel, den dauerhaften Betrieb durch grösstmögliche Einfachheit und anwenderfreundliche Bedienung sicherzustellen.

- Leicht bedienbare Nutzerschnittstellen: Diese erlauben dem Endanwender, das Kunstlichtsystem ein- und auszuschalten, zu dimmen, vordefinierte Szenen abzurufen

und die Menge des einfallenden Tageslichts manuell zu regeln.

Zirkadiane Störungen

Die Verschiebung regelmässiger Wach- und Schlafphasen, ausgelöst zum Beispiel durch Nachtarbeit, wirken sich negativ auf die Gesundheit aus und können zu Krankheiten führen. Darin widerspiegelt sich die Notwendigkeit einer normalen Schlaf- und Aufwachzeit, die den natürlichen Rhythmen entspricht und sich mit den Hell-Dunkel-Zyklen der Erde deckt.

Blaulicht-Gefährdung

Um die Aufmerksamkeit zu erhöhen und den normalen zirkadianen Rhythmus während des Tages zu ermöglichen, wird empfohlen, dass die Beleuchtungsumgebung eine hohe Intensität von Blau angereicherterem Licht aufweist. Um jedoch den Schlaf am Abend zu fördern, sollte die Beleuchtungsumgebung eine geringe Intensität von Blaulicht haben.

Blaues Licht lässt sich in zwei Kategorien von Wellenlängen unterteilen: Licht mit kurzer Wellenlänge (415 nm bis 455 nm) und langer (456 nm bis 490 nm). Blaues Licht in der kurzen Wellenlänge wird als «schlechtes Blaulicht» betrachtet. Es ist schädlich für die Augen, da es zu einer Überanstrengung der Augen und AMD (Altersbedingte Makuladegeneration) beiträgt. Umgekehrt gilt blaues Licht in der langen Wellenlänge als «gutes Blaulicht». Es wird empfohlen, in Leuchten so viel wie möglich «gutes Blaulicht» einzusetzen, um die Aufmerksamkeit zu erhöhen und den zirkadianen Rhythmus zu ermöglichen. Ein

Abbildung 1.15: Tageslicht als Taktgeber. (Quelle: Zumtobel)



theoretisches LED-Lampenmodell mit der blauen Wellenlänge von 464 nm wird als Lichtquelle für «gutes Blaulicht» vorgeschlagen. Das Konzept ähnelt der Night-Shift-Funktion von Apple, der Philips-Soft-Blue-Technologie auf dem LCD-Monitor oder der Linse von Essilor Crizal Prevencia zur Herstellung von Sehhilfen (Brillengläser).

Risikogruppen Blaulicht

Die DIN EN 62471 definiert für Lampen und Leuchten folgende Risikogruppen:

■ **Freie Gruppe (Risikogruppe 0 – RG 0):** Die Lampe bzw. Leuchte stellt keine fotobiologische Gefährdung dar.

■ **Geringes Risiko (Risikogruppe 1 – RG 1):** Die Lampe bzw. Leuchte stellt aufgrund von normalen Verhalten des Nutzers im Gebrauch keine Gefährdung dar.

■ **Mittleres Risiko (Risikogruppe 2 – RG 2):** Die Lampe bzw. Leuchte stellt aufgrund von Abwend-Reaktionen von hellen Lichtquellen oder durch thermisches Unbehagen keine Gefährdung dar.

■ **Hohes Risiko (Risikogruppe 3 – RG 3):** Die Lampe bzw. Leuchte stellt sogar für flüchtige oder kurzzeitige Bestrahlung eine Gefährdung dar.

Die meisten im Handel angebotenen LED-Lampen und Leuchten sind in der Risiko-

gruppe 1 (RG1). Die Deklaration der Produkte ist nicht nötig, da die Blaulichtschädigung handelsüblicher Beleuchtungsprodukte unbedenklich ist.

Unterbruch der zirkadianen Rhythmik

Augen, die abends hellem Licht mit einem hohen Anteil von blauen Wellenlängen ausgesetzt sind, unterdrücken die Produktion von Melatonin, was den Schlafzyklus für mehrere Stunden zurückdrängt und anschliessend den zirkadianen Rhythmus unterbricht. Interferenz mit den zirkadianen Rhythmen des Körpers kann zu gesundheitlichen Problemen führen und den Gemütszustand und die kognitiven Funktionen beeinträchtigen.

Fototoxizität für die Netzhaut

Lichtenergie wird vom Auge absorbiert und kann dabei die Netzhaut schädigen. Je kürzer die Wellenlänge, umso höher ist die Energie. So kann Licht mit kürzerer Wellenlänge wie blaues Licht mehr Schaden verursachen als andere Farben. Dieses Phänomen wird als fothermische Schädigung bezeichnet. Zusätzlich kann blaues Licht auch fotochemische Schäden am Auge auslösen. Fotochemische Schäden können zu Makuladegeneration führen und die Zapfenzellen in der Netzhaut zerstören.

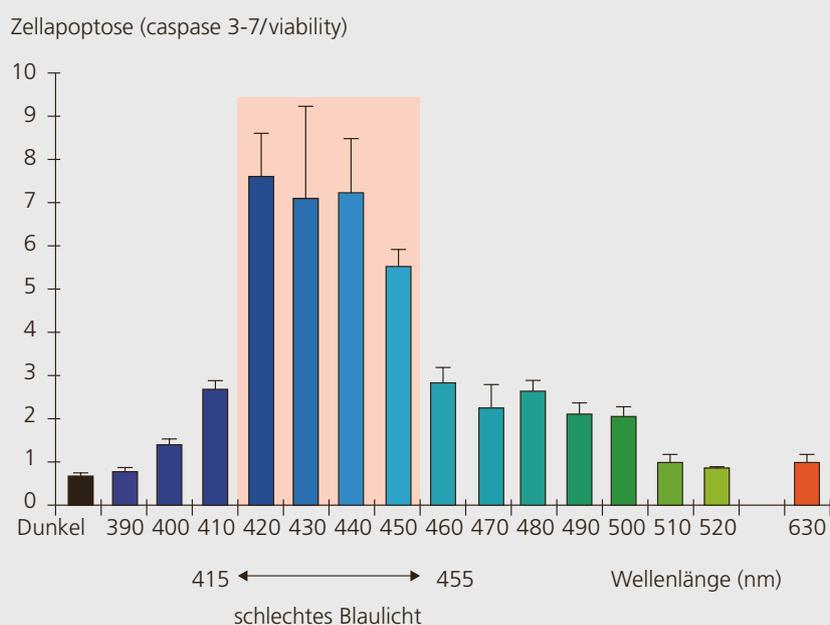
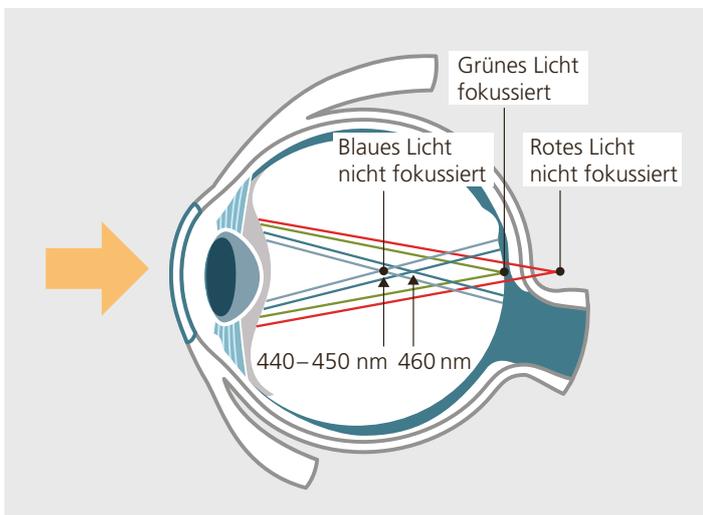


Abbildung 1.16: Fototoxizität für die Netzhaut. (Quelle: Paris Vision Institute and Essilor)

Abbildung 1.16 zeigt, dass blaues Licht bei einer Wellenlänge von 415 nm bis 455 nm den grössten Einfluss auf die Makuladegeneration hat, und dies ist eine der Hauptursachen für AMD (altersbedingte Makuladegeneration). Die blaue Lichtwellenlänge von 464 nm kann den Einfluss auf die Makuladegeneration um etwa 1,9 zu 1 bzw. 1,2 zu 1 im Vergleich zu 440 nm bzw. 450 nm verringern (Abbildung 1.17). Die Wellenlängenteile des roten, grünen und blauen Lichts im sichtbaren Spektrum sind unterschiedlich und daher variieren ihre Brennpunkte auf der Netzhaut. Die kürzere Wellenlänge des blauen Lichts wird vor der Netzhaut fokussiert, was zu einer verschwommenen Sicht führt (das Auge ist kurzsichtig auf kürzere Wellenlängen), während die grüne Wellenlänge auf die Netzhaut fokussiert wird, was zur besten Sicht führt (Grün bei 555 nm wird direkt auf der Netzhaut abgebildet und ist daher in absoluter Schärfe zu sehen). Daraus resultiert, dass bei einer Wellenlänge des blauen Lichts von 464 nm oder höher der Augenmuskel für die Fokussierung weniger stark belastet wird als bei einer Wellenlänge von 440 nm bis 450 nm oder kleiner, da sein Fokus näher an den Sehzellen der Netzhaut liegt.

Die Verschiebung der kurzwelligen Anteile des blauen Lichts zugunsten von langwelligerem Blaulicht (Peakwellenlänge von 450 nm auf 464 nm an der kaltweissen LED-Lampe von 5000K) verringert die Summe der spektralen Strahlendichte von

Abbildung 1.17:
Unterschiedliche Brennpunkte von grünem, rotem und blauem Licht auf der Netzhaut.



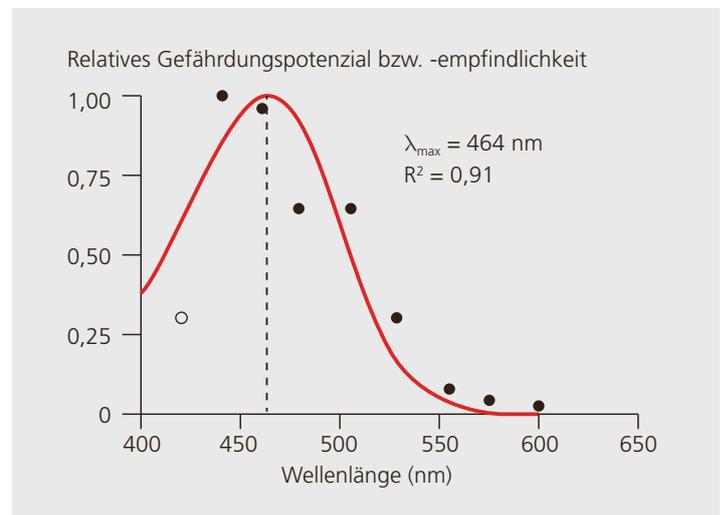
blauem Licht mit kurzer Wellenlänge nun wesentlich. Daher wird die spektrale Strahlung von blauem Licht mit langer Wellenlänge stark erhöht. Die folgenden drei Vorteile können erreicht werden:

1. Diese blaue Peakwellenlänge von 464 nm entspricht exakt der Strahlung, die bei der Unterdrückung von nächtlichem Melatonin am empfindlichsten ist (Abbildung 1.18). Zusätzlich lässt die Verschiebung der blauen Peakwellenlänge die LED-Lampe mehr langwelliges blaues Licht emittieren, das auf die Retina fällt. Folglich werden 13 % mehr des zirkadianen Stimulus aus dem Licht der gleichen Beleuchtungsstärke erzeugt, verglichen mit einer LED, welche die blaue Peakwellenlänge von 450 nm emittiert.

2. Die Blaulicht-Gefahrenempfindlichkeit, dargestellt in der IEC 62471, liegt im Bereich von 425 nm bis 450 nm. Um den Wert von LB (Retinal Blue Light Radiance) zu senken, sollte mittels Lichtquelle vermieden werden, zu viel blaues Licht in diesem Bereich von 425 nm bis 450 nm zu emittieren. Durch Verschiebung der blauen Peakwellenlänge auf 464 nm wird die Summe von «schlechtem Blaulicht» um 73 % reduziert. Folglich kann Retinal Blue Light Radiance für das gesamte blaue Lichtspektrum (415 nm bis 490 nm) um 20 % gesenkt werden.

3. Dieses vorgeschlagene theoretische LED-Lampenmodell emittiert nur etwa 15 % «schlechtes Blaulicht» innerhalb des gesamten blauen Lichtspektrums. Dieser

Abbildung 1.18:
Spektrale Empfindlichkeit für Melatonin-Suppression. (Quelle: Brainard et al.)



Prozentsatz repräsentiert eine fast 4-fache Verringerung im Vergleich zur LED-Lampe, die eine maximale blaue Wellenlänge von 450 nm emittiert. Somit können 85 % «Good Blue Light» innerhalb des gesamten blauen Lichtspektrums geerntet werden, um Aufmerksamkeit zu erzeugen, den zirkadianen Rhythmus zu regulieren und gleichzeitig einen besseren Augenschutz (altersbedingte Makuladegeneration, Augenreizung) zu bieten.

Fazit

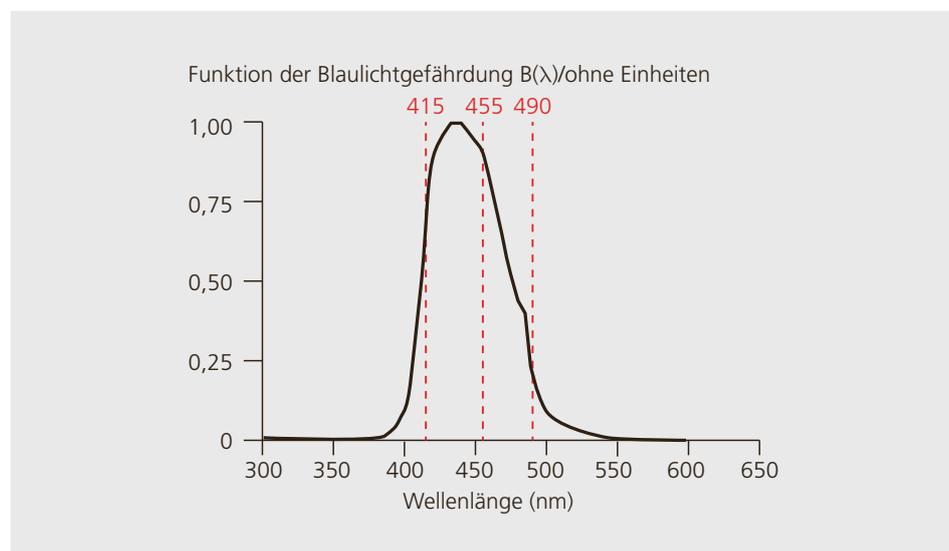
Thomas Edison erfand die Glühbirne vor 150 Jahren. Seitdem sorgt die künstliche Beleuchtung dafür, dass die Menschen länger im Haus bleiben, als sie sollten. Das Verhältnis der Tageslichtexposition hat sich dramatisch geändert!

Heutzutage leiden Menschen unter Unterbelichtung während des Tages und Überbelichtung am Abend. Der blaue Lichtanteil in der Innenbeleuchtung des weissen Lichts spielt eine wichtige Rolle, um tagsüber Wachsamkeit zu erzeugen und den normalen zirkadianen Rhythmus zu ermöglichen. Um das Augengesundheitsrisiko zu minimieren, sollte die LED-Lichtquelle so viel «Good Blue Light» wie möglich enthalten.

Die gesundheitlichen Aspekte korrelieren aber auch mit den energetischen Aspekten. Da alles dem Wirkungsprinzip unterliegt, ist die Wirkungskette, von der Entstehung des Lichts bis hin zur direkten Umset-

zung auf der Netzhaut und deren Interpretation, ein einziges energetisches Wirkschema, das nur optimiert werden kann, wenn die jeweilige Qualität für eine oder mehrere Absichten stimmen. So gesehen macht es Sinn, die Qualität der spektralen Verteilung einer Lichtquelle dahin zu optimieren, dass eben auch die Auswirkung hinsichtlich beabsichtigter Qualität optimiert werden kann.

Abbildung 1.19: Das Diagramm zeigt die mögliche Verschiebung der kurzwelligeren Anteile des blauen Lichts zugunsten von langwelligerem Blaulicht. (Quelle: National Physical Laboratory)



1.4 Lichttechnische Begriffe

Die grundlegenden Begriffe der Beleuchtung (Abbildung 1.20) betreffen das Licht (Lichtstrom und Lichtstärke), die Beleuchtung (Beleuchtungsstärke in Lux) und das Sehen (Leuchtdichte).

■ Eine Lichtquelle gibt Licht ab; die gesamte Menge bezeichnet man als Lichtstrom mit der Einheit Lumen (lm). Die Intensität in eine bestimmte Richtung bezeichnet man als Lichtstärke mit der Einheit Candela (cd).

■ Eine Oberfläche wird beleuchtet; die Beleuchtungsstärke auf dieser Oberfläche wird in Lux angegeben (lx).

■ Das Auge nimmt das – meist von einem beleuchteten Gegenstand reflektierte Licht – auf. Man misst und bewertet die spezifische Intensität des auf dem Auge eintreffenden Lichts – die Leuchtdichte – mit der Einheit Candela pro Quadratmeter (cd/m^2).

Lichtstärke (Candela, cd)

Die Lichtstärke gibt die Intensität des Lichts in eine bestimmte Richtung an. 1 Candela entspricht etwa der Intensität einer Kerze (Candela steht für Kerze). Die räumliche Verteilung der Lichtstärken einer Lichtquelle wird mit Lichtverteilkurven (LVK) beschrieben. Die Kurven geben in jede «Himmelsrichtung» (sogenannte C-Ebenen) und für jeden Abstrahlwinkel (Winkelbezeichnung: $\gamma = \text{Gamma}$) die Lichtstärke einer Lichtquelle an. Lichtverteilkurven können je nach Quelle mehr oder weniger symmetrisch sein. Zur Verwendung in Computersimulationen speichert man diese Lichtstärken in einer Eulum-Datei (Suffix: *.ltd). Eine Messdatei enthält bis zu 1752 Messwerte, zum Teil noch mehr (Abbildung 1.21).

Wenn man die Intensitäten der Lichtstrahlen einer Lichtquelle in alle Richtungen zusammenzählt (mathematisch: über den

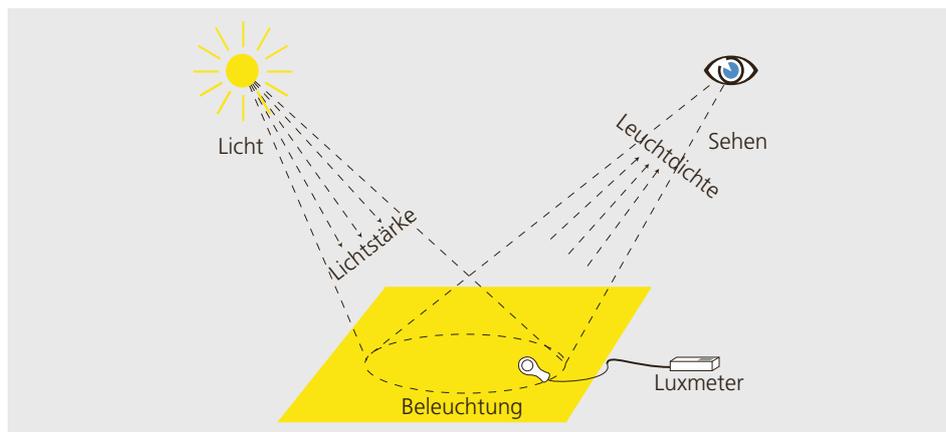


Abbildung 1.20: Licht, Beleuchtung und Sehen.

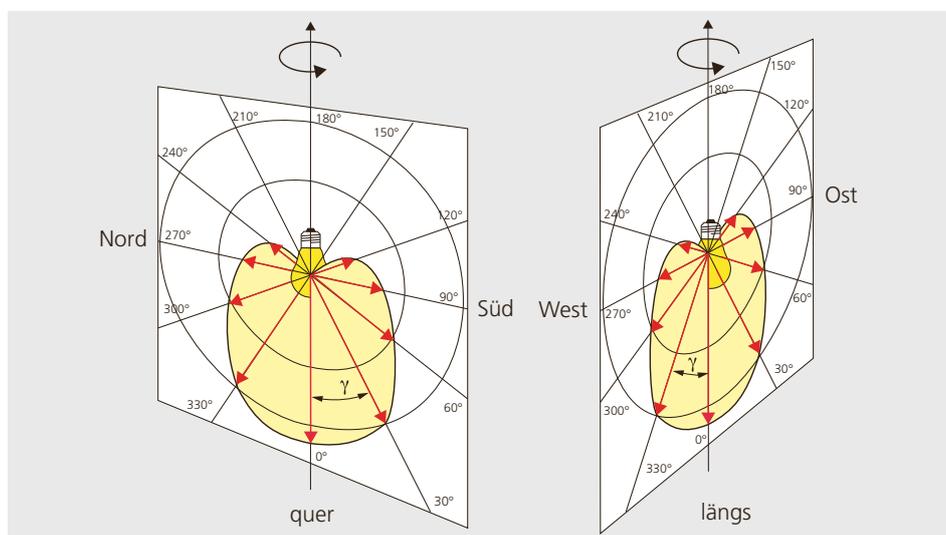


Abbildung 1.21: Lichtverteilkurve einer Lampe in Längs- und in Querrichtung.

gesamten Raum integriert), dann ergibt sich der Lichtstrom. In der Deklaration von Spotlampen ist in der Regel ein Candela-wert (anstelle des Lichtstroms in Lumen, wie bei rundumstrahlenden Lampen) dokumentiert. Dieser Wert entspricht der maximalen Lichtstärke in der Hauptausstrahlrichtung des Spots; der Wert sagt aber nichts über die Lichtmenge und die Energieeffizienz des Leuchtmittels aus. Je nach Abstrahlwinkel der Spotlampe können bei derselben Lichtstärke (Candela-zahl) ganz verschieden grosse Lichtkegel und somit unterschiedliche Lichtmengen resultieren (Abbildung 1.22). Als Abstrahlwinkel einer Spotlampe ist derjenige Winkel definiert, bei welchem die Lichtquelle die Hälfte der maximalen Lichtstärke abgibt. Auch unter Angabe des Abstrahlwinkels (z. B. 35°) kann keine genaue Angabe über Lichtmenge und Energieeffizienz des Leuchtmittels gemacht werden. Es ist deshalb für eine Bewertung unerlässlich, dass auch bei Spotlampen der gesamte Lichtstrom in Lumen angegeben wird.

Aus Abbildung 1.22 geht hervor, dass das Licht innerhalb des Abstrahlwinkels in den meisten Fällen nicht gleich stark ist. Wesentlich ist auch, dass Spotlampen mit dem gleichen Abstrahlwinkel total unterschiedliche Lichtverteilkurven und somit auch Lichtmengen generieren können. Die Angabe von Candelazahl und Abstrahlwinkel (wie es bei Spotlampen üblich ist) sagt somit nichts über die Effizienz der Lampe, aber auch wenig über die Ausleuchtung eines Gegenstandes aus.

Lichtstrom (Lumen, lm)

Der Lichtstrom bezeichnet die gesamte Lichtmenge, die von einer Lichtquelle in alle Richtungen abgegeben wird. In der Energietechnik gibt man die Leistung eines Elektroapparates in Watt an. Da das menschliche Auge nicht alle Farben gleich gut sehen kann, verwendet man für die Lichtleistung einer Lichtquelle eine über die spektrale Empfindlichkeit des Auges bewertete Grösse, die Lumenzahl: Grüne und gelbe Farben werden höher gewichtet

Abbildung 1.22: Gleicher Abstrahlwinkel – unterschiedliche Lichtmenge.

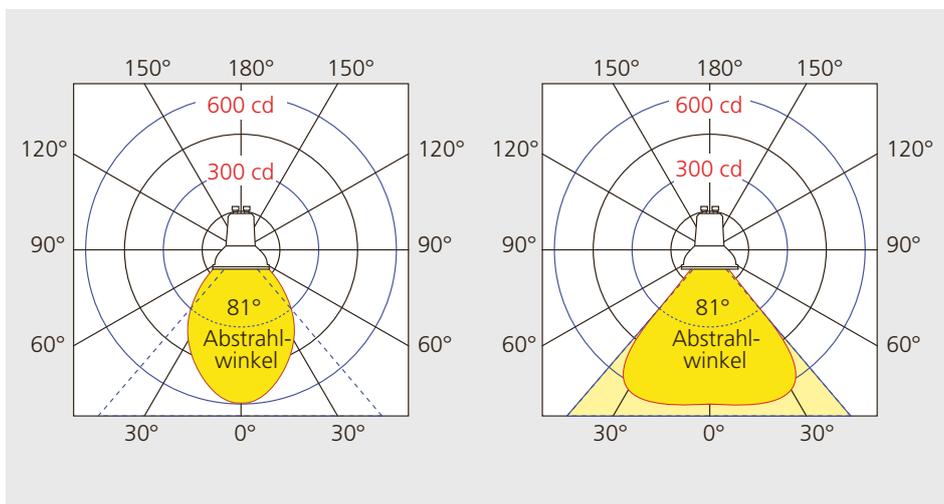


Tabelle 1.2: Lichtstärken verschiedener Lichtquellen in Hauptausstrahlrichtung.

Lichtquelle	Lichtstärke (cd)
Glühwürmchen	0,01
Kerze (Candela)	1
Glühlampe 100 W	100
LED-Spot-Lampe 5 W, 120°	150
LED-Spot-Lampe 5 W, 36°	1000
LED-Spot-Lampe 5 W, 15°	3300
Leuchtturm	10000000
Sonne	$2 \cdot 10^{27}$

als Rot und Blau. Man nennt diese Bewertungskurve des menschlichen Auges auch V-Lambda-Kurve (Abbildung 1.23). Die Lumenzahl ist die massgebende Kenngrösse eines Leuchtmittels; der Wert muss auf jeder Lampenverpackung angegeben sein; z. B. 42-Watt-Halogenglühlampe: 630 Lumen. Die Energieeffizienz oder die Lichtausbeute eines Leuchtmittels wird also nicht in Prozent angegeben, sondern in Lumen pro Watt (lm/W). Lampen mit einem grossen Grün- oder Gelbanteil haben eine bessere Energieeffizienz, weil das menschliche Auge diese Farben besser sehen kann. Typisch dafür sind gelbe Natrium-

umlampen in der Strassenbeleuchtung. Noch effizienter könnte man eine Strassenbeleuchtung machen, wenn man sie mit grünem LED-Licht realisieren würde.

Beleuchtungsstärke (Lux)

Die Beleuchtungsstärke dient als Mass für die Bewertung der Helligkeit einer Fläche. Wenn auf einem Tisch eine Beleuchtungsstärke von 500 Lux gemessen wird, kann man einen Text mit normaler Schriftgrösse ohne Ermüdung lesen. Je nach Sehaufgabe ist eine andere Beleuchtungsstärke notwendig: In einem Korridor reichen 100 Lux, auf einem Operationstisch sind meh-

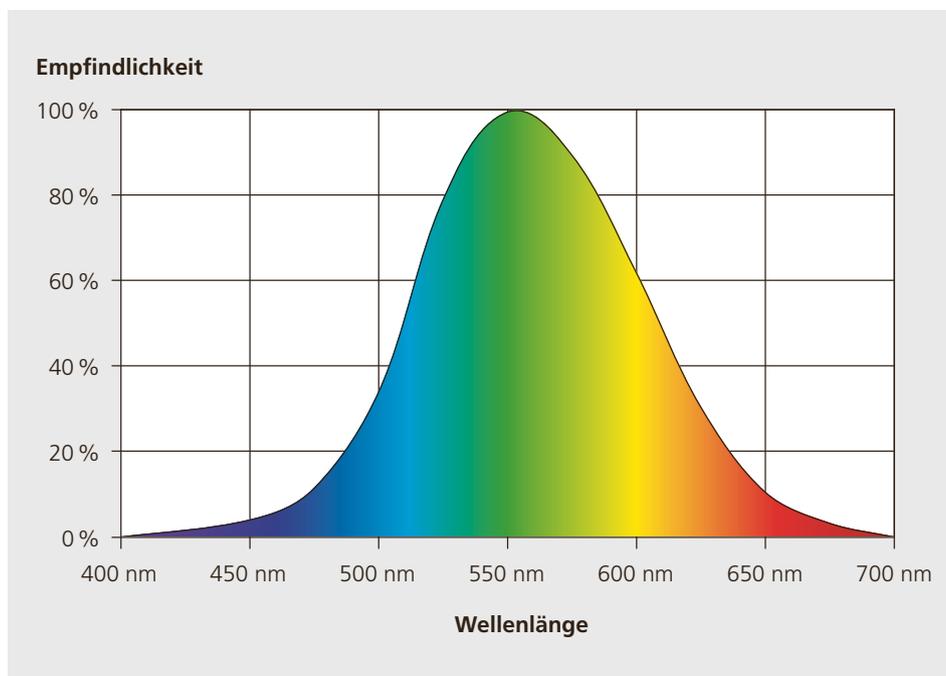


Abbildung 1.23: Empfindlichkeit des menschlichen Auges in Abhängigkeit des Farbspektrums (V-Lambda-Kurve).

Lichtquelle	Elektrische Leistung (W)	Lichtstrom (lm)	Lichtausbeute (lm/W)
Haushaltkerze	–	12,5	–
Glühlampe für Taschenlampe	2	12,5	6
Glühlampe 230 Volt	60	710	12
Eco-Halogenglühlampe	42	630	15
Sparlampe	11	640	58
LED-Fadenlampe	6	810	135
Leuchtstoffröhre	36	3350	93
LED-Retrofit-Röhre	22,5	3600	160
Natrium-Niederdrucklampe («gelb-orange» Strassenlampe)	180	32000	178
Sonne	–	$2,5 \cdot 10^{28}$	–

Tabelle 1.3: Beispiele von Lampen und deren Lichtstrom und Lichtausbeute.

rere 1000 Lux sinnvoll. Das menschliche Auge kann bei Beleuchtungsstärken zwischen weniger als 1 Lux (Vollmond) bis zu 100 000 Lux (volle Sonne am Mittag) sehen (Abbildung 1.24, Tabelle 1.4). Mit der Pupille und einer gewissen Adaptionszeit stellt sich der Mensch auf die grossen Helligkeitsunterschiede ein. Jeder Fotoapparat ist mit diesem grossen Helligkeitsspektrum völlig überfordert. Die Beleuchtungsstärke kann mit einem Luxmeter – im Vergleich zu den anderen Lichtgrössen – relativ einfach gemessen werden.

Leuchtdichte (cd/m²)

Das vom Auge aufgenommene Licht wird mit der Leuchtdichte beschrieben. Dabei spielt die Grösse des leuchtenden Körpers (Sonne, Lampe, Bildschirm oder reflektiertes Licht eines selber nicht leuchtenden Gegenstandes) die wesentliche Rolle.

■ Ein leuchtender Körper erzeugt im Auge eine sehr hohe Leuchtdichte, wenn Lichtstärke und leuchtende Fläche gross sind.

■ Eine hohe Leuchtdichte kann aber auch bei grosser Lichtstärke und relativ kleiner leuchtenden Fläche erzeugt werden, z.B. Licht einer klaren Glühlampe.

■ Wird die leuchtende Fläche durch einen Diffusor vergrössert, sinkt die Leuchtdichte deutlich, z.B. Licht einer matten Glühlampe.

Die Leuchtdichte wird für die Beurteilung der Helligkeit von leuchtenden Flächen verwendet. Dazu wird die Lichtstärke einer Lichtquelle in die Richtung des Betrachters durch die Grösse der leuchtenden Fläche geteilt. Beispiel: Eine Deckenleuchte hat eine Schirmgrösse von 0,1 m² aus der Sicht des Betrachters. Dieser sieht ja nur eine Seite der Leuchte von einem bestimmten Standort aus. Wenn die Lichtstärke der Deckenleuchte in diese Richtung nun 100 cd beträgt, dann ergibt sich für den Betrachter auf dem Leuchtschirm eine Leuchtdichte von 1000 cd/m². Die Leuchtdichte ist somit auch ein Mass für die Blen-

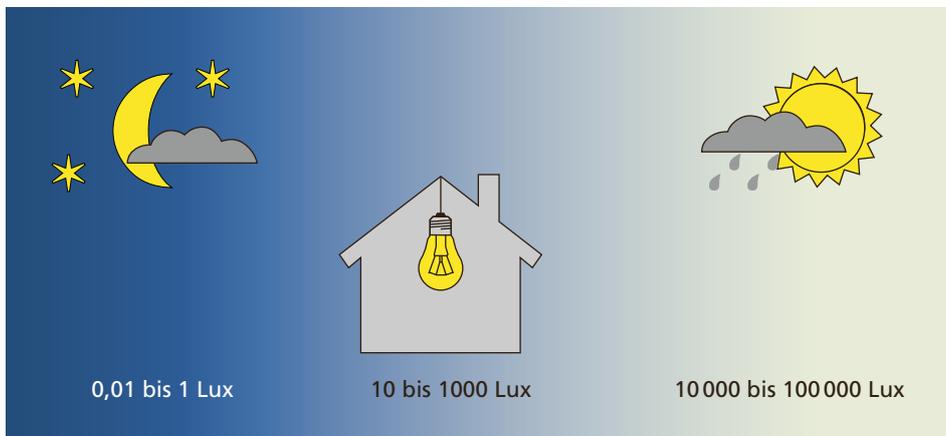


Abbildung 1.24:
Beleuchtungsstärken von typischen Lichtquellen.

Bewertungsebene (Boden, Tisch)	Beleuchtungsstärke (Lux)
Wolkenloser Sommertag	100 000
Trüber Sommertag	20 000
Exponat in Bijouterie	10 000
Operationstisch	5 000
Auslagen im Supermarkt	2 000
Bürobeleuchtung	500
Wohnzimmer	100
Strassenbeleuchtung	20
Vollmond in Winternacht	1
Sternennacht ohne Mondschein	0,01

Tabelle 1.4:
Beispiele von Beleuchtungsstärken.

dung einer Lichtquelle. Je nach Sehaufgabe sollten bestimmte Leuchtdichten nicht überschritten werden. Bei Bildschirmarbeitsplätzen sollte die Blendung der Arbeitsplatzleuchte nicht höher als 1000 cd/m² sein, damit die Person am Computer noch ungestört arbeiten kann.

Zusammenhang zwischen Lux, Lumen und Candela

Unter der speziellen Voraussetzung, dass eine Lichtquelle genau 1 Meter von der Bewertungsebene von 1 m² entfernt ist und die gesamte Lichtmenge der Lichtquelle genau auf diese Bewertungsebene abgegeben wird, gilt:

1 Lumen = 1 Lux = 1 Candela

(Abbildung 1.25)

Mit einem Luxmeter lässt sich demnach die Lichtstärke in eine bestimmte Richtung messen, wenn das Messgerät genau 1 Meter von der Lichtquelle entfernt ist und senkrecht auf diese gerichtet ist. Die Lichtstärke nimmt in Relation zur Beleuch-

tungsstärke mit dem Quadrat des Abstandes ab: Bei 2 m beträgt die Lichtstärke also 25 %, bei 0,5 m 400 % des Wertes von 1 m Abstand.

Unter der Voraussetzung, dass die Lichtstärke einer Lichtquelle in alle Abstrahlrichtungen gleich gross ist bzw. die Lichtquelle das Licht in alle Richtungen gleichmässig abgibt, gilt:

1 Candela → 12,57 Lumen = Oberfläche der Einheitskugel (Radius 1 m) = 4 · Pi (Abbildung 1.26)

Lichtkörper	Leuchtdichte (cd/m ²)
Sonne am Mittag	1 600 000 000
100-W-Glühlampe klar (10-Watt-LED)	10 000 000
Sonne am Horizont	5 000 000
100-W-Glühlampe matt (10-Watt-LED)	200 000
Blauer Himmel	10 000
Kerzenflamme	5 000
Mond	2 500
Flachbildschirm	1 000
Nachthimmel	0,001

Tabelle 1.5: Lichtquellen und deren Leuchtdichten.

Abbildung 1.25: Zusammenhang zwischen Beleuchtungsstärke (Lux), Lichtstrom (Lumen) und Lichtstärke (Candela) bei gerichtetem Licht.

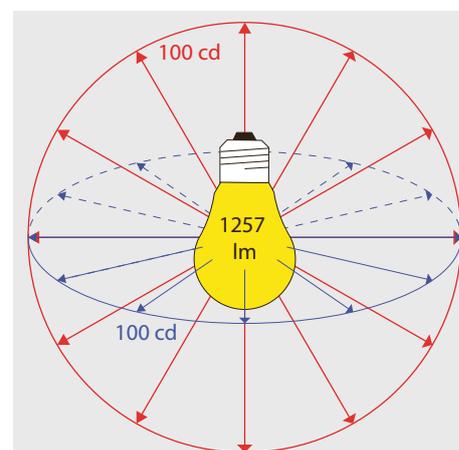
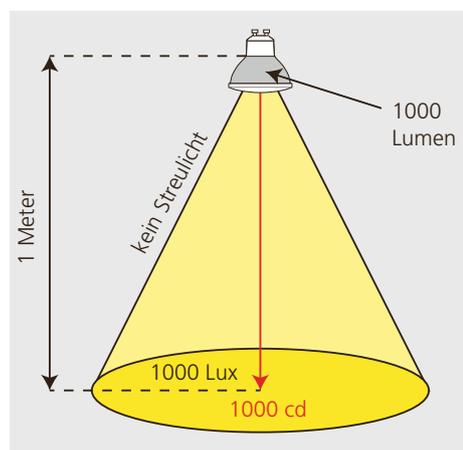


Abbildung 1.26: Zusammenhang zwischen, Lumen und Candela bei rundum gleich strahlendem Licht.

1.5 Lichtmarkt und Sparpotenzial

Gesamtenergiebilanz

In der Schweiz wurden im Jahr 2017 total 236 Terawattstunden Energie konsumiert und dafür 26,5 Milliarden Franken bezahlt. Der Energieverbrauch lässt sich den Energieträgern Treibstoffe (Benzin und Diesel), Wärme (Öl, Gas, Holz, Fernwärme, Solar) und Elektrizität zuordnen. Weil die elektrische Energie die teuerste Energieform ist, unterscheiden sich die Anteile für Verbrauch und Kosten deutlich. Bezüglich der Kosten macht die Elektrizität mit knapp 38 % einen deutlich höheren Anteil am Energiekuchen aus als beim Verbrauch. Mit 40 % fallen die Treibstoffe am stärksten ins Gewicht. Zu berücksichtigen ist, dass bei Diesel und Benzin mehr als die Hälfte des Endenergiepreises der Mineralölsteuer zufließt. Die hohen Millionenbeträge bei den Energiekosten müssen relativiert werden: Pro Person und Jahr werden in der Schweiz nur gerade 3150 Franken für Energie (Wärme, Treibstoffe, Strom) ausgegeben. Energie macht ca. 4 % des Bruttoinlandproduktes aus.

Energieverbrauch für Beleuchtung

Der Anteil der Beleuchtung am gesamten Elektrizitätsverbrauch der Schweiz beträgt 12,4 %, allein im Jahr 2016 waren das 7200 GWh.

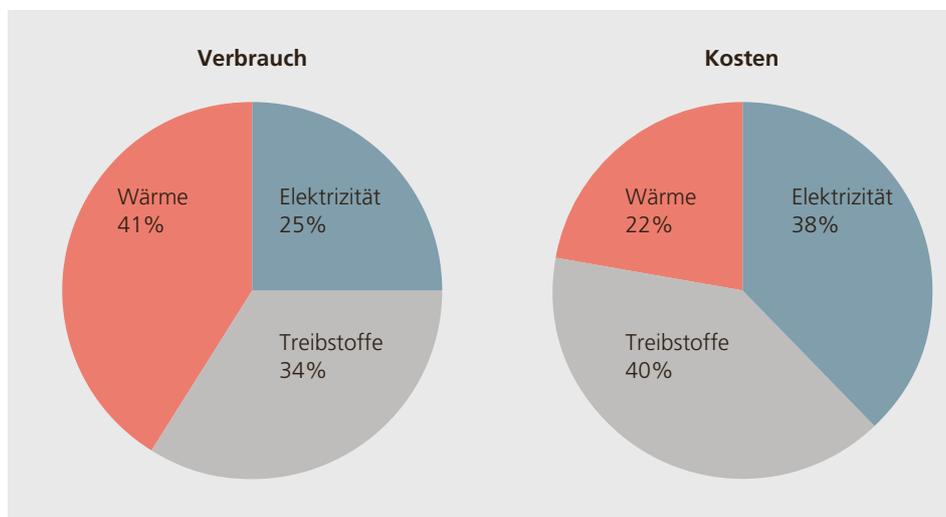
Es können drei Lichtmärkte unterschieden werden:

- Industrie und Dienstleistung: 71 %
- Haushaltbeleuchtung: 19 %
- Öffentliche Beleuchtung: 10 %

Entgegen der intuitiven Erwartung verbrauchen die Haushalte und die öffentliche Beleuchtung relativ wenig Energie. Die Hauptmenge fließt in die Industrie und in die Dienstleistungsbetriebe (Büros, Schulen, Verkauf, Spitäler etc.), wobei der Verkaufssektor allein rund ein Drittel davon ausmacht. Der Technologiewechsel zu LED birgt ein enormes Sparpotenzial. Experten gehen davon aus, dass durch den sukzessiven Ersatz bisheriger Leuchtmittel (insbesondere Leuchtstoff- und Halogenlampen) durch LED und den Einsatz von geeigneter Lichtregulierung bis zum Jahr 2025 der Beleuchtungsanteil halbiert wird. Damit lässt sich bis zu 6 % des gesamten schweizerischen Stromverbrauchs einsparen – die Hälfte der Energieproduktion des Kernkraftwerks Gösgen.

Für fast alle Beleuchtungsanwendungen stehen heute LED-Ersatzprodukte zur Verfügung. Bei Neuinstallationen ist aber eine grosse Diskrepanz zwischen professionellen Anwendungen (Dienstleistung und Industrie) und Anwendungen in Haushalt und Kleingewerbe festzustellen: Während die meisten professionellen Beleuchtungen mit LED bestückt werden, ist in Haushalt und Kleingewerbe noch immer jede zweite neue Lampe eine Halogenlampe.

Abbildung 1.27: Anteile der Energieträger am gesamten Energieverbrauch von 236 TWh/a (links) und an den gesamten Energiekosten von 26,5 Mia. Fr. (rechts) für das Jahr 2017.



In keinem anderen Energieverbrauchssektor lässt sich zurzeit so viel Energieeffizienz realisieren wie bei der Beleuchtung. Im Jahre 2016 waren bereits knapp 16 % aller Beleuchtungsanlagen mit LED bestückt. Die Abnahme des Gesamtelektrizitätsverbrauchs der Schweiz dürfte massgeblich auf die Erfolge bei der Beleuchtung zurückzuführen sein. Solche Einsparerfolge sind allerdings nicht selbstverständlich. Die vielen Möglichkeiten der LED-Technik bringen auch neue Begehrlichkeiten. Beleuchtete Fassaden und erhellte Kleiderschränke werden immer häufiger – ein Rebound-Effekt stellt sich ein. Daher müssen Überlegungen angestellt werden, wie dem Rebound-Effekt begegnet werden kann.

Marktstatistik

Die Schweizer Lichtgesellschaft (SLG) ermittelt im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BFE) jährlich alle relevanten Zahlen zum Lichtmarkt der Schweiz. Daraus lassen sich Entwicklungstrends beim Technologiewandel (zu LED), aber auch Veränderungen beim Energieverbrauch für die Beleuchtung ableiten und beurteilen.

Der gesamte Umsatz der Lichtbranche beläuft sich gemäss der Studie auf rund 1,1 Milliarden Franken pro Jahr. Trotz des weitgehenden Technologiewandels der letzten Jahre zur LED-Beleuchtung veränderte sich der Gesamtumsatz kaum. Mit rund 70 % wird der grösste Anteil im Bereich der Innenraumleuchten erzielt. Die restlichen 30 % teilen sich die Aussenbeleuchtung

und der Leuchtmittlersatz. Der Umsatz der Lichtbranche entspricht etwa den Energieausgaben der Stromkonsumenten für das Licht, die rund 1,2 Milliarden Franken ausmachen. In kaum einem anderen Bereich der Industrie dürften die Stromkosten so nah am Umsatz der Branche liegen.

Etwa die Hälfte der Produkte wird im sogenannten B2B-Geschäft (Business to Business) direkt von den Herstellern zu den Kunden (in der Regel professionelle Bauherren) geliefert. Ein Viertel der Leuchten und Lampen werden indirekt von den Herstellern über den Handel an die Endkonsumenten verkauft und ein weiteres Viertel wird über die kleinen und grossen Läden und die Warenhäuser vertrieben (Retail).

Der Trend zur LED-Beleuchtung in den letzten Jahren ist deutlich. Doch es gibt klare Unterschiede zwischen den drei Lichtmärkten Haushalt, Dienstleistung/Industrie und Aussenbeleuchtung.

Der Sektor Haushalt wird hauptsächlich durch den Ersatz von Leuchtmitteln (Lampen) in bestehenden Leuchten (Lampe, Gehäuse, Reflektor und Elektronik) bestimmt, der Anteil der Leuchten mit fest eingebauten LED ist noch relativ klein. Ein Blick in die Verkaufsstatistik der Lampen (Abbildung 1.29) zeigt, dass der Anteil der LED-Lampen zwischen 2014 und 2017 von 11 % auf 28 % zugenommen hat und die Sparlampen praktisch vom Markt verschwunden sind. Dominant sind aber nach wie vor die Halogenlampen, die 2017 noch 38 % aller verkauften Leuchtmittel

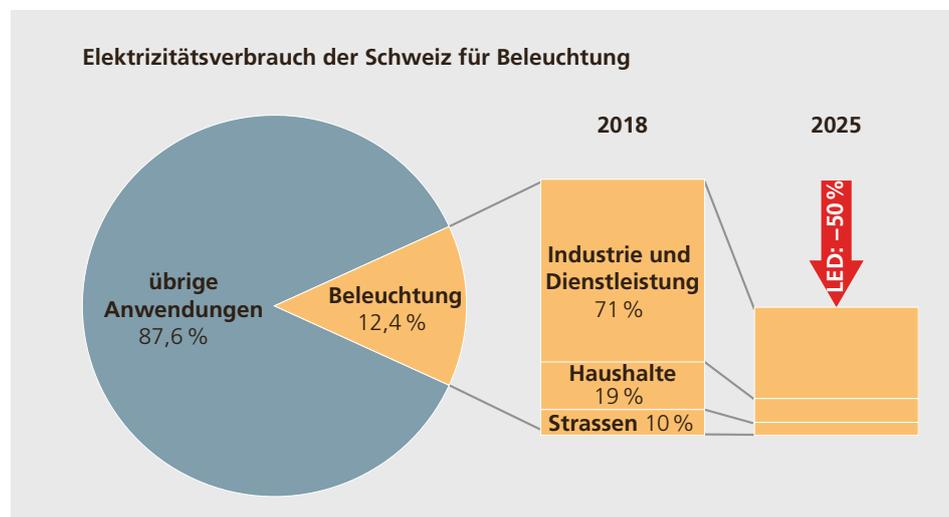


Abbildung 1.28: Anteile der Verbraucherkategorien am gesamten Verbrauch für Beleuchtung respektive am gesamten Stromverbrauch von 58 TWh (2017/2018). Der Verbrauch hat Kosten von 10 Mrd. Fr. zur Folge.

ausmachten. Mit dem im September 2018 eingeführten Verbot vieler Halogenlampen dürfte der LED-Trend ab 2019 stark zunehmen. Die Lampenverkäufe haben insgesamt markant abgenommen. Dies hat mit der deutlich längeren Lebensdauer der Lampen zu tun (eine LED-Lampe hält 10- bis 20-mal länger als eine Halogenlampe) und nicht mit einer rückläufigen Tendenz an Lichtstellen.

Etwas vereinfacht kann gesagt werden, dass Halogenglühlampen, LED-Lampen (meist Retrofit mit Sockeln der Halogenlampen) und Sparlampen zum grössten Teil im Haushaltsbereich und teilweise im Kleingewerbe eingesetzt werden, während Leuchtstoff- und andere Lampen in Dienstleistung, Industrie und Aussenbeleuchtung zur Anwendung kommen. Die Veränderung der LED-Lampen in der

Leuchtmittelstatistik ist also ein guter Indikator für die LED-Durchdringung im Haushaltssektor.

Der LED-Trend in den Sektoren Dienstleistung/Industrie und Aussenbeleuchtung ist deutlich stärker als im Haushalt. Aus Abbildung 1.30 geht hervor, dass der LED-Anteil bei Neuinstallationen in Dienstleistungs- und Industrie-Gebäuden zwischen 2014 und 2017 von 34 % auf 72 % angewachsen ist. Bei der Aussenbeleuchtung ist das Bild ähnlich. In diesen Sektoren werden bestehende Leuchten (meist mit Leuchtstofflampen bestückt) in der Regel durch LED-Leuchten mit fest integrierten LED-Modulen ersetzt; in einigen Fällen kommen auch Retrofit-LED-Röhren, in bestehende Leuchten eingesetzt, zum Einsatz. Bei Neuanlagen kommen in der Regel LED-Leuchten zur Anwendung.

Abbildung 1.29:
Verkaufsentwicklung nach Leuchtmitteltypen zwischen 2014 und 2017.

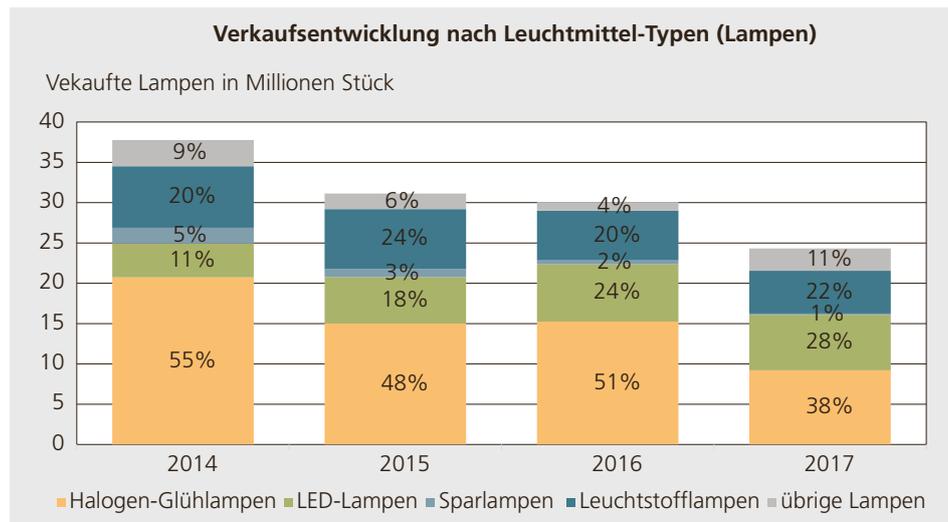
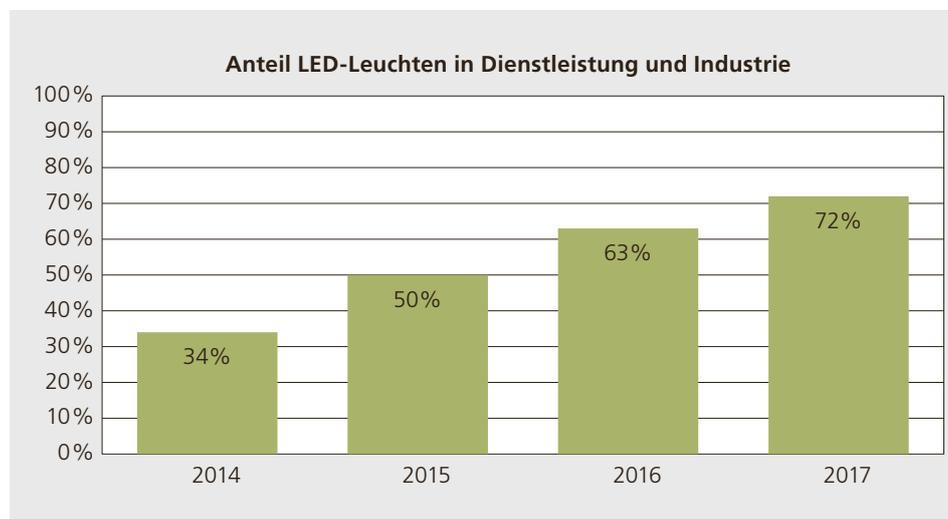


Abbildung 1.30:
Verkaufsentwicklung von LED-Leuchten im Dienstleistungs- und Industriesektor zwischen 2014 und 2017.



Energetische Bewertung

2.1 Energieetikette

Die Energieetikette ist eine europäische Deklaration für diverse Energieverbraucher. Sie teilt den Energieverbrauch nach 7 Effizienzklassen ein, wobei der Buchstabe «A» für die beste und «G» für die schlechteste Klasse steht. Zusätzlich müssen, je nach Verbrauchertyp, weitere technische Kennzahlen angegeben werden. Die Energieetikette muss am Verkaufspunkt gut sichtbar angebracht und in Verkaufsunterlagen ersichtlich sein.

Die Energieetikette wurde in den 1990er-Jahren für Haushaltgeräte entwickelt – für Waschmaschinen, Wäschetrockner, Geschirrspüler, Kühlgeräte und Tiefkühler. Diese Geräte werden auch als «weisse Ware» bezeichnet. Später folgten Lampen, Autos, Gebäude, Kaffeemaschinen und Fernsehgeräte. Die Klasse D bezeichnet den Durchschnitt im Verbrauchspektrum zum Zeitpunkt der Einführung der Energieetikette.

Die weiße Ware wird seit gut 20 Jahren etikettiert. Zwischenzeitlich hat sich der Energieverbrauch der angebotenen Geräte stark verändert. Heute sind praktisch alle Haushaltgeräte in der A-Klasse zu finden. Mit den Zusatzkategorien A+ und A++ kennzeichnet man heute die besten Geräte. Wer ungenügend informiert ist und bloss aufgrund der farbigen Etikette entscheidet, trifft allerdings eine falsche Wahl. Denn ein A-Kühlschrank ist nicht besonders energiesparend. Der schnelle Blick auf die Energieetikette täuscht – auch bei Lampen.

Etikette für Leuchtmittel

Bei den Leuchtmitteln hat sich die Energieeffizienz aufgrund des Technologiewandels zu LED stark verändert. Mit den neuen Superklassen A+ und A++ wurden – analog den Haushaltgeräten – zusätzliche Kennzeichnungsmöglichkeiten geschaffen, um noch bessere Leuchtmittel auszuzeichnen (Abbildung 2.1).

Die Umsetzung der Energieetikette wurde in der europäischen Richtlinie Nr. 874/2012 (Energieverbrauchskennzeichnung von elektrischen Lampen und Leuchten) festgelegt. In dieser Verordnung werden Anforderungen an die Kennzeichnung von elektrischen Lampen sowie an die Bereitstellung ergänzender Produktinformationen zu elektrischen Lampen festgelegt, z. B. für:

- Glühlampen
- Leuchtstofflampen
- Hochdruckentladungslampen
- LED-Lampen und LED-Module

Von der Etikettierungspflicht sind einige Produkte ausgenommen, z. B. sehr kleine Lampen, Lampen für Batteriebetrieb, Signallampen und Lampen, die nicht für Beleuchtungszwecke geeignet sind.

In der Verordnung wird auch eine Etikettierungspflicht für Leuchten, die in einer Verkaufsstelle ausgestellt werden, beschrieben. Mit der Etikette wird allerdings nicht die Effizienz des Leuchtschirms bewertet, sondern nur angegeben, für welches Leuchtmittel die Leuchte geeignet ist. Da meist verschiedene Leuchtmitteltypen in eine Leuchte eingesetzt werden können, ist die Etikette nicht sehr hilfreich.

Typische Lampen und Effizienzklassen

Als Energieeffizienz einer Lampe wird das Verhältnis von abgegebener Lichtmenge der Lampe (Lumen) zur aufgenommenen elektrischen Leistung (Watt) verwendet, die Energieeffizienz von Leuchtmitteln ergibt sich in Lumen pro Watt. In Abhängigkeit der elektrischen Leistung wird einem bestimmten Lumen-pro-Watt-Wert eine Effizienzklasse zugeordnet. Die Anforderungskennlinie ist nicht linear: Je höher die Leistung, desto strenger die Anforderung – bzw. je niedriger die Leistung, desto schwächer die Anforderung.

In Tabelle 2.1 sind typische Beispiele von Lampen mit rundum strahlendem Licht mit Angabe zu Effizienzklasse, Leistung, Licht-

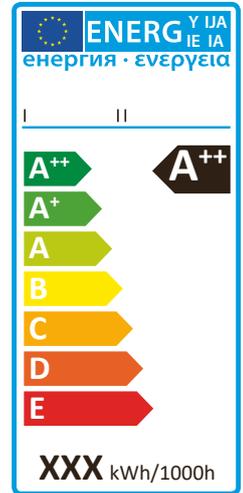


Abbildung 2.1: Die europäische Energieetikette; Beispiel Leuchtmittel.

strom und Energieeffizienz aufgelistet. Die Klassen C und D sind grundsätzlich seit September 2018 nicht mehr erlaubt; es existieren aber einige Ausnahmen (z.B. Niedervolt-Lampen, Hochvolt-Stift- und -Stablampen). Die Klasse E (klassische Glühlampe) ist seit September 2012 nicht mehr erlaubt. Folgendes fällt auf:

■ Der Effizienzunterschied zwischen der besten (LED-Röhre) und der schlechtesten Lampe (Glühlampe) beträgt Faktor 13.

■ Die Klasse B umfasst einen sehr grossen Effizienzbereich: Sowohl die Kompaktleuchtstofflampe mit 69 lm/W als auch die fast 3-mal weniger effiziente Niedervolt-Halogenlampe figurieren in der Klasse B. Der Grund liegt beim Gesetzgeber, der seit September 2017 nur noch Klasse B und besser erlaubt, aber gewisse Halogenlampen vom Verbot ausnehmen will.

■ Die Sparlampe erreicht trotz geringerer Effizienz als die Kompaktleuchtstofflampe die Klasse A – sie nimmt einen Sonderstatus ein, mit dem man vor dem LED-Boom die Sparlampe aufwerten wollte. In der Zwischenzeit ist die Sparlampe praktisch vom Markt verschwunden – die LED hat sie weitgehend verdrängt.

Abbildung 2.2 zeigt die Effizienzbereiche der einzelnen Klassen in Form eines Leistung-Lichtstrom-Diagramms. Beispiel: Eine rundum strahlende Lampe mit 10 Watt Leistungsaufnahme und 1050 Lumen Lichtstromabgabe ist der Klasse A+ zugeordnet. Die Klasseneinteilung für Reflektor-Lampen weicht von derjenigen für

rundum strahlende Lampen ab: Die Anforderungen sind generell schwächer. Abbildung 2.3 zeigt Effizienzbereiche der einzelnen Klassen in Form eines Leistung-Lichtstrom-Diagramms. Beispiel: Eine Reflektor-Lampe mit 10 Watt Leistungsaufnahme und 1050 Lumen Lichtstromabgabe ist der Klasse A++ zugeordnet.

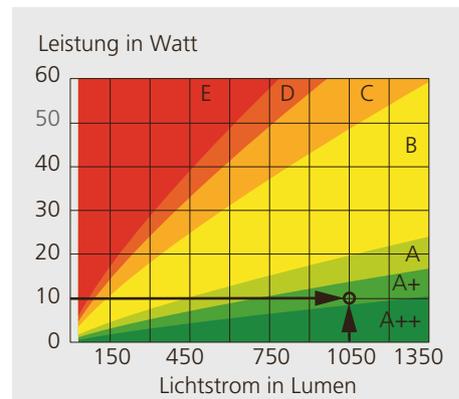


Abbildung 2.2: Effizienzklasse in Abhängigkeit von Leistung und Lichtstrom für rundum strahlende Lampen.

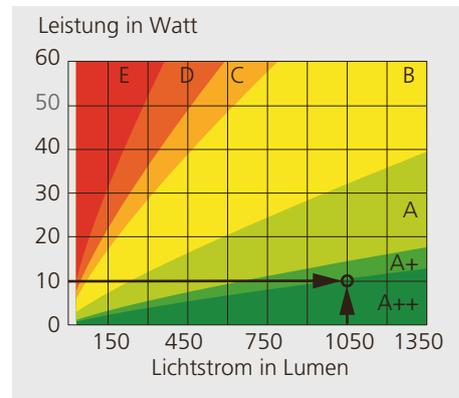


Abbildung 2.3: Effizienzklasse in Abhängigkeit von Leistung und Lichtstrom für Reflektor-Lampen.

Klasse	Lampenbeispiel	Leistung (W)	Lichtstrom (lm)	Effizienz (lm/W)
A++	LED-Röhre (150 cm)	24	3700	154
	LED-Filamentlampe E27	7	806	115
A+	LED-Lampe Standard E27	15	1521	101
A	Leuchtstoffröhre (150 cm)	35	3450	99
	Sparlampe E27	11	640	58
B	Kompakte Leuchtstofflampe	42	1800	69
	Beste Halogenlampe (12 Volt)	35	840	24
C	Halogenlampe	52	820	16
D	Halogenlampe	28	345	12
E	Glühlampe	60	702	12

Tabelle 2.1:
Typische rundum
strahlende Lampen
und deren Effizienz-
klassen.

2.2 Halogenlampenverbot

2009 beschloss die Europäische Union, ineffiziente Glüh- und Halogenlampen schrittweise zu verbieten. Das Verbot erfolgte in mehreren Phasen: Zuerst wurden die leistungsstarken und besonders ineffizienten Lampen vom Markt ausgeschlossen. Seit September 2018 sind nur noch ausgewählte Halogenlampen erlaubt. Für die nicht mehr erlaubten Lampen steht eine breite Palette von alternativen LED-Leuchtmitteln mit denselben Lampensockeln zur Verfügung.

Gesetzliche Grundlagen

Grundsätzlich verfügt der Gesetzgeber kein Technologieverbot, sondern gibt Mindestanforderungen an die Energieeffizienz vor – in der Praxis führen diese Anforderungen faktisch aber zu einem Verbot von Halogenlampen. Die gesetzlichen Grundlagen werden in verschiedenen europäischen Verordnungen geregelt (Download: www.eur-lex.europa.eu). Die Schweiz übernimmt die europäischen Verordnungen und schreibt dies in der Energieverordnung EnEV fest (Download unter www.admin.ch → Systematische Sammlung des Bundesrechts: 730.02).

- EU 244/2009: Anforderungen an rundum strahlende Lampen
- EU 874/2012: Energieetikette für Lampen und Leuchten
- EU 1194/2012: Anforderungen an Reflektor-Lampen
- EU 1428/2015: Korrekturen zu Nr. 244 und Nr. 1194
- CH 730.02: Verordnung über die Anforderungen an die Energieeffizienz serienmässig hergestellter Anlagen, Fahrzeuge und Geräte (Licht: S. 24, 25, 28, 29, 64)

Nicht mehr zugelassene Halogenlampen (seit September 2018)

Alle Hochvolt-Lampen (230 Volt) mit den Sockeln E14, E27 und GU10 sind nicht mehr erlaubt. Für diese Lampentypen gibt es gute LED-Ersatz-Lampen, die sich äusserlich kaum vom Original unterscheiden, aber bis zu 10-mal weniger Strom benötigen.

Weiterhin zugelassene Halogenlampen

Für einige gebräuchliche Halogenlampen gibt es keine Ersatzlampen (oder nur mit Einschränkungen). Deshalb bleiben diese weiterhin erlaubt.

Welche Lampen werden verboten, welche nicht?

Wieso werden einige Halogenlampen verboten und andere nicht? Für die meisten Konsumenten bleibt diese Frage unklar.

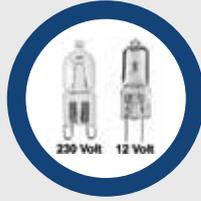
■ Sämtliche verbotenen Halogenleuchtmittel sind Hochvolt-Lampen (230 Volt) und benötigen keinen Transformator. Es gibt für alle Bauformen und Leistungen LED-Ersatztypen, die relativ günstig sind. Berücksichtigt man die Energieeinsparung von bis zu 90 %, amortisiert sich der Ersatz einer Halogen- durch eine LED-Lampe in wenigen Monaten – bei einer Lebensdauer der LED-Lampe von 10 bis 20 Jahren.

■ Die stabförmigen Halogenlampen (Sockeltyp R7s) haben meist hohe Leistungen (z.B. 300 Watt) und werden v. a. in Steh-

Tabelle 2.2 (oben): Nicht mehr zugelassene Halogenlampen.

Tabelle 2.3 (unten): Weiterhin zugelassene Halogenlampen.

Rundstrahler	Reflektor-Lampen	Reflektor-Lampen
Sockel: E14, E27 (230 Volt)	Sockel: E14, E27 (230 Volt)	Sockel: GU10 (230 Volt)
		
Verkauf bis längstens 31.8.2019	Nicht mehr erhältlich seit 1.9.2018	Nicht mehr erhältlich seit 1.9.2018

Stablampen	Stiftlampen	Reflektor-Lampen
Sockel: R7s (230 Volt)	Sockel: G9 (230 Volt) und G4 und GY6.35 (12 Volt)	Sockel: GU5.3 (12 Volt)
		
Weiterhin erhältlich	Weiterhin erhältlich	Weiterhin erhältlich Lebensdauer min. 4000 h

leuchten eingesetzt. Die angebotenen LED-Ersatzprodukte sind im Gegensatz zum Original so voluminös, dass sie in den vorhandenen Stehleuchten oft nicht montiert werden können. Die stabförmigen Halogenlampen sind weiterhin erlaubt.

■ **Stiftlampen** sind sehr klein und kommen häufig in Tischleuchten zum Einsatz. Auch hier gibt es LED-Ersatzprodukte, die aber in der notwendigen Leistung in bestehenden Leuchten häufig keinen Platz finden. Halogen-Stiftlampen (230 Volt und 12 Volt) bleiben weiterhin erlaubt.

■ Für 12-Volt-Reflektor-Lampen gibt es zahlreiche LED-Ersatzprodukte, dennoch bleibt die Halogenvariante weiterhin zugelassen – mit erhöhten Anforderungen an die Lebensdauer. Niedervolt-Reflektor-Lampen benötigen einen zusätzlichen Transformator, viele werden zudem gedimmt. Weil aber einige Transformatoren und Dimmer von bestehenden Systemen nicht kompatibel sind mit LED-Lampen (diese können brummen, flackern oder gar nicht brennen) bleiben auch die 12-Volt-Halogen-Spotlampen weiterhin erlaubt. Ein Ersatz dieser Reflektor-Lampen sollte dennoch in Betracht gezogen werden: Selbst wenn ein bestehender Transformator oder Dimmer bei der Umstellung auf LED ersetzt werden müsste – die hohe Wirtschaftlichkeit ist gegeben, dies insbesondere im Gastro- und Kleingewerbebereich.

2.3 Deklarationspflicht

Die EUP-Richtlinien für Lampen (Nr. 244 und 1194) enthalten zusätzliche Vorgaben zur Deklarationspflicht von wichtigen technischen Kennwerten. Auf allen Lampenverpackungen müssen folgende Angaben vermerkt sein: Leistungsaufnahme, Lichtstrom, Lebensdauer, Zahl der Schaltzyklen, Farbtemperatur, Dimmbarkeit, Anlaufzeit, Abstrahlwinkel (bei Reflektor-Lampen), Abmessungen und Quecksilbergehalt (Abbildung 2.4). In webgestützten Infos müssen weitere Angaben zu den Lampen gemacht werden: Leistungsfaktor, Lichtstromerhalt, Zündzeit, Farbwiedergabe und Empfehlung zur Entsorgung. Dank der Deklarationspflicht ist es möglich, die Qualität von Lampen auch ausserhalb ihrer Energieeffizienz zu beurteilen. Die in der Deklaration erwähnten Begriffe sind im Folgenden erklärt.

Anforderungen an LED-Lampen

Neben der Deklarationspflicht gelten für Lampen Mindestanforderungen. Die Anforderungen an LED-Lampen sind in Tabelle 2.4 aufgeführt.

Erläuterungen zu den einzelnen Anforderungen

■ **Lampenlebensdauerfaktor** (Überlebensdauer): Der Anteil der Lampen, der nach 6000 Betriebsstunden noch voll funk-

Anforderungen an LED-Lampen	
Lampenlebensdauerfaktor	Min. 90 % nach 6000 h
Lichtstromerhalt	Min. 80 % nach 6000 h
Zahl der Schaltzyklen bis zum Ausfall	<ul style="list-style-type: none"> • Lebensdauer ab 30 000 h: min. 15 000 • Lebensdauer unter 30 000 h: min. die Hälfte der Lebensdauer
Zündzeit	Weniger als 0,5 Sekunden
Anlaufzeit	Weniger als 2 Sekunden
Frühausfallrate	Max. 5 % nach 1000 h
Farbwiedergabe (Ra)	<ul style="list-style-type: none"> • Min. 80 • Für Aussen- und Industriebeleuchtung min. 65
Farbkonsistenz	Abweichung der Farbwertanteile innerhalb einer MacAdam-Ellipse mit bis zu sechs Stufen
Elektrischer Leistungsfaktor	<ul style="list-style-type: none"> • Unter 2 Watt: keine Anforderung • 2 bis 5 Watt: min. 0,4 • 5 bis 25 Watt: min. 0,5 • ab 25 Watt: min. 0,9

Tabelle 2.4:
EU-Anforderungen
an LED-Lampen.

tionsfähig ist, muss mindestens 90 % betragen.

■ **Lichtstromerhalt:** Der Lichtstrom von LED-Lampen muss nach 6000 Stunden mindestens 80 % des anfänglichen Lichtstroms betragen. Diese Anforderung ist sehr bescheiden: Eine gute LED-Lampe mit einer Lebensdauer von 30000 Betriebsstunden sollte nach 6000 Stunden noch 96 % des anfänglichen Lichtstroms aufweisen.

■ **Zahl der Schaltzyklen bis zum Ausfall:** Eine LED-Lampe mit einer deklarierten Lebensdauer von 30000 h und mehr muss mindestens 15000-mal ein- und ausgeschaltet werden können. Bei 15000 h beträgt die minimale Anzahl Ein-Aus-Schaltungen 7500. Diese Anforderung liegt weit unter einem vernünftigen Praxiswert: Dieser sollte bei mindestens 100000 (besser 500000) Schaltungen liegen.

■ Die **Zündzeit** bezeichnet die Zeitspanne vom Betätigen des Lichtschalters bis zur ersten Lichtabgabe der Lampe. Bei einer LED-Lampe darf es also 0,5 Sekunden dauern, bis die Lichtquelle leuchtet.

■ **Anlaufzeit:** Zeitdauer nach der Zündzeit bis zum Moment, in dem 60 % der maximalen Lichtabgabe verfügbar ist. Da der Anlauf logarithmisch verläuft, dauert es ein Mehrfaches der 60 %-Anlaufzeit bis zur 100 %-Lichtabgabe. Bei Sparlampen können das bis zu 15 Minuten sein. Bei LED-Lampen wird die maximale Helligkeit meist schon nach weniger als 1 Sekunde erreicht.

■ **Frühausfallrate:** 95 % aller Lampen eines bestimmten Typs müssen nach 1000 Stunden Betrieb noch brennen. Auch diese Zahl sollte in der Praxis deutlich höher liegen (bei 99 %).

■ **Farbwiedergabe:** Sie gibt die Qualität des Lichts an. Der Farbwiedergabeindex ist allerdings eine relativ oberflächliche Definition für die Güte des Lichts. Auch bei einem guten Wert von 80 kann man – je nach Farbsituation – subjektiv einen schlechten Eindruck haben. Eine genauere Beurteilung der Farbwiedergabe ist nur durch die Betrachtung des gesamten Farbspektrums möglich. Vor allem bei der LED-Technik kommt diesem Aspekt eine grosse Bedeutung zu.

Abbildung 2.4:
Beispiel einer
Produkte-
deklaration.

Die neue Lampenverpackung

The diagram shows a light bulb with a label divided into two main sections. The left section is titled 'ENERGY SAVER' and contains the following information: 'Name und Nummer der Lampe', '8 w' (with a 60w icon), '806 lm', '10 years / 10.000h', and 'warm white'. The right section is titled 'warm white' and contains: '2700K' (with sun and moon icons), '220-240V', 'E27', '82 mA', '0,0 mg Hg', 'www.xyz.yy', '90 Ra', a dimmer icon, a light bulb icon with '0 Sek.' and '90 000 mal', and an 'ON/OFF' switch icon.

- 1 Die vordere Zahl gibt die **Leistungsaufnahme** in Watt an, also wie viel Energie die Lampe beim Betrieb benötigt. Die hintere Zahl gibt an, welcher klassischen Glühbirne die Leistung der Lampe entspricht.
- 2 Lm = Lumen, gibt die **Lichtleistung** an, also wie hell eine Lampe ist.
- 3 Years/h (hours), gibt die ungefähre **Lebensdauer** in Stunden und Jahren an.
- 4 K = Kelvin, gibt die **Lichtfarbe** an, also ob das Licht warmweiss, neutral oder kaltweiss ist.
- 5 Falls die Lampe Quecksilber enthält, sind folgende Informationen anzugeben: **Hg = Hydragyrum**, gibt an, ob und wenn ja, wie viel Quecksilber eine Lampe enthält. Auf folgender Website finden Sie Informationen, wie die Lampe bei versehentlichem Bruch zu entsorgen ist: www.xyz.yy
- 6 **Farbwiedergabe:** Je niedriger der R_a -Wert, desto schlechter ist die Farbwiedergabe, d. h. die Farben der angeleuchteten Gegenstände werden anders wiedergegeben als bei Tageslicht. (Diese Angabe ist optional) 60 bis 80 = mittel (Aussenbereich) 80 bis 90 = gut bis sehr gut (Wohnraum, Büro, Schule), 90 bis 100 = ausgezeichnet (Grafikarbeitsplätze, Wohnraum)
- 7 **Dimmereignung**, gibt an, ob sich eine Lampe für den Dimmerbetrieb eignet.
- 8 **Anlaufzeit:** Zeitraum, den eine Lampe benötigt, um 60 % des angegebenen Helligkeitswerts zu erreichen. (Bei LED-Lampen: 0 Sekunden)
- 9 **Schaltzyklen:** Gibt an, wie oft eine Lampe an- bzw. ausgeschaltet werden kann. (Guter Wert: ab 75000-mal)

■ Unter **Farbkonsistenz** versteht man die maximale Abweichung des Farbortes im Farbraum. Die Position einer Lichtquelle wird über ein x-y-Koordinatensystem im CIE-Normfarbsystem beschrieben (CIE = Commission internationale de l'éclairage). Zur näheren Bewertung der Farbkonsistenz hatte der amerikanische Physiker David Lewis MacAdam 1942 intensive Untersuchungen durchgeführt und entdeckt, dass um einen Farbort herum die Abstände für die gleiche Farbempfindung nicht identisch, also kreisförmig, sondern elliptisch sind. Entsprechend gelten als Bewertungskriterium für die Farbkonsistenz die sogenannten MacAdam-Ellipsen – auch unter dem Begriff SDCM (Standard Deviation of Colour Matching) bekannt. Der Wert muss deklariert werden, es gibt keine Anforderung. Guter Wert: max. 3 SDCM (Standardabweichung des Farbabgleichs).

■ **Leistungsfaktor:** Eine elektrische Grösse, die das Verhältnis zwischen bezogener Wirkleistung und transportierter Scheinleistung angibt. Für die Konsumenten ist dieser Wert von geringer Bedeutung. Es ist aber die Kennzahl zur Beurteilung der technischen Qualität des Produktes und der damit verbundenen Netzverschmutzung. Dass Lampen unter 25 Watt einen Leistungsfaktor von 0,5 ausweisen dürfen, ist aus technischer Sicht fragwürdig und nur aus einer ökonomischen Sicht zu erklären.

2.4 Ausblick zur Energieetikette

Die zuständige EU-Kommission hat beschlossen, die Energieetikette und die Anforderungen an die Beleuchtung ab 2021 zu erneuern. Die Energieetikette soll für alle Anwendungen künftig die ursprünglichen Klassierungen A bis G aufweisen. Die Oberklassen A+, A++ und A+++ werden verschwinden. Die Skala der Energieetikette wird markant verschärf:

- Klasse A: grösser als 210 lm/W
- Klasse B: 185 bis 210 lm/W
- Klasse C: 160 bis 185 lm/W
- Klasse D: 135 bis 160 lm/W
- Klasse E: 110 bis 135 lm/W
- Klasse F: 85 bis 110 lm/W
- Klasse G kleiner als 85 lm/W

Zu Beginn der Einführung werden keine Produkte in den Klassen A und B erwartet. Die besten liegen in der Klasse C. Die Kommission geht davon aus, dass die Klassen während der folgenden 10 Jahre nicht erneuert werden müssen.

Eine interessante Neuerung ist zudem die öffentlich zugängliche Datenbank aller in der EU zugelassenen Produkte.

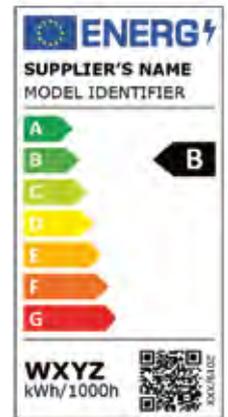


Abbildung 2.5:
Die neue Energieetikette ab 2021.

2.5 Norm SIA 387/4

Der SIA (Schweizerischer Ingenieur und Architekten Verein) ist in der Schweiz zuständig für die Normen im Hoch- und Tiefbau. Eine der vier sektoriellen Normenkommissionen ist die Kommission für Gebäudetechnik und Energie (KGE). Die KGE steuert und koordiniert alle Normen in diesem Bereich, unter anderem auch die Norm SIA 387/4 (Elektrizität in Gebäuden – Beleuchtung: Berechnung und Anforderungen). Die Norm SIA 387/4 nimmt eine spezielle Stellung im schweizerischen, aber auch im europäischen Normenwesen ein: Als die Norm 1995 in Kraft gesetzt wurde (damals unter dem Kürzel SIA 380/4), gab es im gesamten europäischen Umfeld kein Pendant. Dies änderte sich erst 10 Jahre später mit der Umsetzung der europäischen Gebäuderichtlinie EPBD: Energy Performance of Buildings Directive. Die Vorreiterrolle der Schweiz in diesem Bereich bringt Vorteile: Grundsätzlich verpflichten sich die europäischen Länder nämlich, die Euronormen anzuwenden und keine neuen eigenen Normen zu entwickeln, wo es bereits europäische gibt. Da SIA 387/4 aber bereits lange vor der EPBD entstanden ist, kann sie weiterhin angewendet und entwickelt werden, ohne europäische Vereinbarungen zu verletzen. Das ist ein grosses Plus in der Frage der Umsetzung: Vorgehen und Rechenmodell sind bei SIA 387/4 deutlich praxisorientierter gestaltet als beim europäischen Pendant, der EN 15193-1:2017 (Energetische Bewertung der Lichttechnik in Gebäuden).

Die Norm SIA 387/4 ist eine reine Beleuchtungsnorm. Der Inhalt zur Beleuchtung basiert auf der ursprünglichen Norm SIA 380/4, welche die gesamte elektrische Energie im Hochbau behandelte. Im Zuge der Überarbeitung 2017 wurde die SIA 380/4 aufgesplittet: In die Beleuchtungsnorm SIA 387/4 und das Merkblatt SIA 2056. Letzteres beschreibt alle Aspekte, die bisher ausserhalb der Beleuchtung in der SIA 380/4 behandelt wurden: v. a. den Elektrizitätsbedarf für Geräte und die allgemeine Gebäudetechnik.

Ziel und Zweck der Norm

Im Vorwort der SIA 387/4 heisst es: «Die vorliegende Norm hat einen effizienten Einsatz von Elektrizität für Beleuchtung in Gebäuden zum Ziel. Sie liefert ein Verfahren zur Berechnung und Beurteilung des Elektrizitätsbedarfs für Beleuchtung in Neu- und Umbauten. Die Norm definiert die massgebenden Kennzahlen und legt die standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs fest.» Die Norm umfasst 6 Kapitel:

- Geltungsbereich (Abgrenzung und Verweise)
- Verständigung (Erklärung zu Begriffen)
- Projektierung (Planungsteam und Vorgehen)
- Berechnung des Elektrizitätsbedarfs (Leistung und Volllaststunden)
- Einzel- und Systemanforderungen
- Anhang (Typische Werte und Beispiele)



Abbildung 2.6:
Aus dem Titelblatt
der Norm SIA 387/4.

Verständigung

Die wichtigsten Begriffe aus der Norm SIA 387/4:

■ **Elektrizitätsverbrauch** (MWh/a): Jährlicher, **gemessener** Verbrauch an elektrischer Energie eines Gebäudes oder einer Anlage.

■ **Elektrizitätsbedarf** (MWh/a): Jährlicher **berechneter** Bedarf an elektrischer Energie eines Gebäudes, von einzelnen Nutzungen, von Räumen und von installierten Geräten.

■ **Spezifischer Elektrizitätsbedarf** (kWh/m²): Auf die Nettofläche bezogener jährlicher Elektrizitätsbedarf von Gebäuden, Nutzungen und Räumen.

■ **Teil-Energiekennzahl Beleuchtung** (MJ/m²): Auf die Energiebezugsfläche (des gesamten Gebäudes) bezogener Elektrizitätsbedarf (1 kWh = 3,6 MJ).

■ **Geschossfläche** (m²): Bruttofläche inkl. Wände und Konstruktionsflächen

■ **Nettofläche** (m²): Nutzbare, vermietbare bzw. beleuchtete Fläche ohne Wände und Konstruktionsflächen.

■ **Energiebezugsfläche** (m²): Summe aller beheizten oder klimatisierten Geschossflächen in einem Gebäude. In Gebäuden ohne Parking beträgt die Nettofläche rund 80 % der Energiebezugsfläche.

■ **Grenzwerte** (kWh/m²) sind bei Neubauten einzuhalten und bei Umbauten anzustreben; sie entsprechen dem Stand der Technik und sind wirtschaftlich.

■ **Zielwerte** (kWh/m²) sind bei Neubauten anzustreben; sie ergeben sich durch optimale Kombination der besten am Markt erhältlichen Produkte.

■ **Projektwerte** (kWh/m²) sind die mit dem Berechnungsverfahren ermittelten **Energiebedarfswerte**.

■ **Objektwerte** (kWh/m²) sind im Gebäude gemessene **Energieverbrauchswerte**.

■ **Systemanforderung**: Anforderung an den Elektrizitätsbedarf des gesamten Gebäudes. Bei einer Bewertung anhand der Systemanforderung besteht planerische Freiheit bei der Auswahl und der Kombination von Komponenten (Lampen, Leuchten, Regelungen, Raumgestaltung). Energetisch gute und schlechte Anlagen können miteinander verrechnet werden. Die Kompensation erfolgt über die Flächengewichtung.

■ **Einzelanforderungen**: Anforderungen an Leuchten, bestehend aus Leuchtmittel, Betriebsgerät und Reflektor. Bei Einzelanforderungen besteht keine Kompensationsmöglichkeit. Bei Beleuchtungen gelten Einzelanforderungen nur in Verbindung mit Vorgaben an die Beleuchtungsstärke (gemäss Norm SN EN 12464).

■ **Elektrische Leistung**: Aufgenommene mittlere Leistung einer Leuchte (inkl. Betriebsgerät) bei Volllast im Dauerbetrieb während einer Viertelstunde. Die Summe aller installierter Leuchten in einem Raum, einer Nutzung oder im gesamten Gebäude

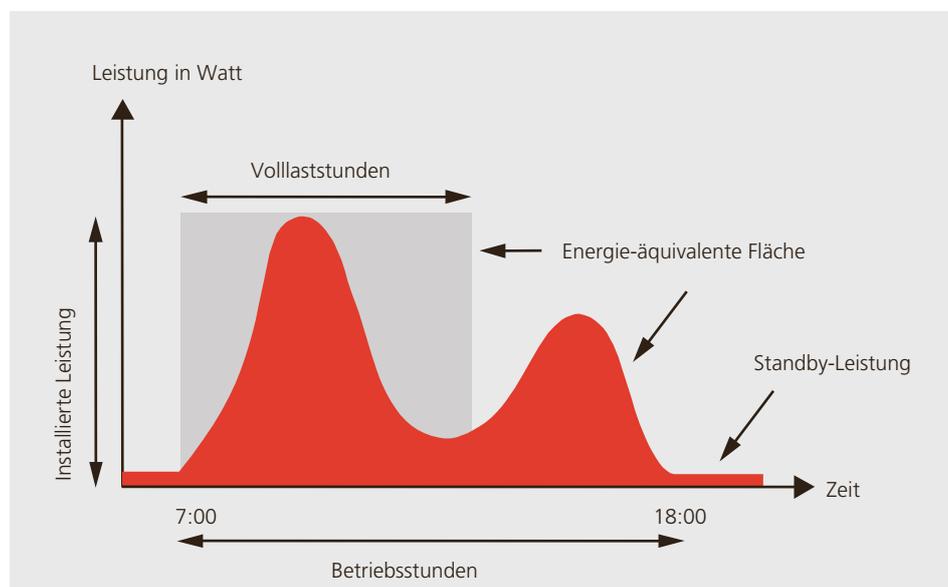


Abbildung 2.7:
Definition der Voll-
laststunden.

ergibt die installierte Leistung. Da selten alle Leuchten gleichzeitig brennen, ist die maximale gemessene Leistung in der Regel tiefer als die installierte Leistung.

■ **Volllaststunden:** Für eine einzelne, nicht dimmbare Leuchte entspricht die Volllaststundenzahl der Betriebszeit (Abbildung 2.7). Da selten alle Leuchten gleichzeitig brennen, ergibt sich, hochgerechnet auf eine Nutzung oder auf das gesamte Gebäude, eine mittlere Betriebsstundenzahl. Die Volllaststundenzahl ergibt sich aus dem Verhältnis von Energiebedarf und installierter Leistung. Die Volllaststundenzahl ist also in der Regel tiefer als die effektive Betriebszeit der einzelnen Leuchten.

■ **Raumindex:** Quantifiziert den Wandanteil eines Raumes, bezogen auf die Bodenfläche (Abbildung 2.8). Je höher der Raumindex, desto weniger Kunstlicht muss installiert werden, um ein erwünschtes Beleuchtungsniveau zu erreichen. Der lichtabsorbierende Wandanteil wird kleiner und die Leuchten können das Licht frei in den Raum abgeben. Der Wert liegt in der Praxis zwischen 0,5 und 5.

■ **Lichtstrom (Lumen):** Strahlungsleistung einer Lichtquelle, bewertet mit der Empfindlichkeit des menschlichen Auges auf definierte Lichtfarben.

■ **Beleuchtungsstärke (Lux):** Lichtstrom, der auf eine definierte Fläche, z. B. auf der Tischoberfläche, auftritt. In der Norm EN 12464 (Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen) sind für verschiedene Sehaufgaben mittlere Beleuchtungsstärken

(Wartungswerte) aufgelistet. Richtwerte zur Beleuchtungsstärke sind im Kapitel 7.3 zur EN 12464 zu finden.

■ **Richtwerte zur Beleuchtungsstärke** sind unter 2.4 zu finden.

■ **UGR-Wert:** Blendziffer, Mass für die Blendung. Verhältnis der Direktblendung durch Leuchten zur allgemeinen Raumhelligkeit respektive zur Leuchtdichte im Hintergrund. In der EU-Norm EN 12464 sind zulässige UGR-Werte aufgelistet. Je grösser der UGR-Wert, desto grösser ist die Wahrscheinlichkeit für Blendung. Das Verfahren des «Unified Glare Rating» (UGR) wurde von der CIE (Commission internationale de l'éclairage) entwickelt, um weltweit ein einheitliches System der Blendungsbewertung verfügbar zu machen. Im Gegensatz zum Söllner-Verfahren, das die Blendung durch einzelne Leuchten bewertet, ist die UGR-Formel geeignet, die Blendung einer Beleuchtungsanlage zu beurteilen. Der UGR-Wert ist ein raumspezifischer Wert, er kann auch als Kennwert für Leuchten dienen, wenn ein standardisierter Raum zugrunde gelegt wird; als Standard wird ein Raum mit den Abmessungen 12 m/24 m/3 m (Länge/Breite/Höhe) vorausgesetzt. Richtwerte für Blendziffern sind im Kapitel 7.3 zur EN 12464 zu finden.

Zusammenarbeit der Beteiligten

Die Beleuchtungsplanung in einem Gebäude spielt sich im Wesentlichen im Viereck Bauherrschaft (Besteller), Architekt, Fachplaner und Lieferant ab. Für die Effizienz einer Beleuchtungsanlage haben alle

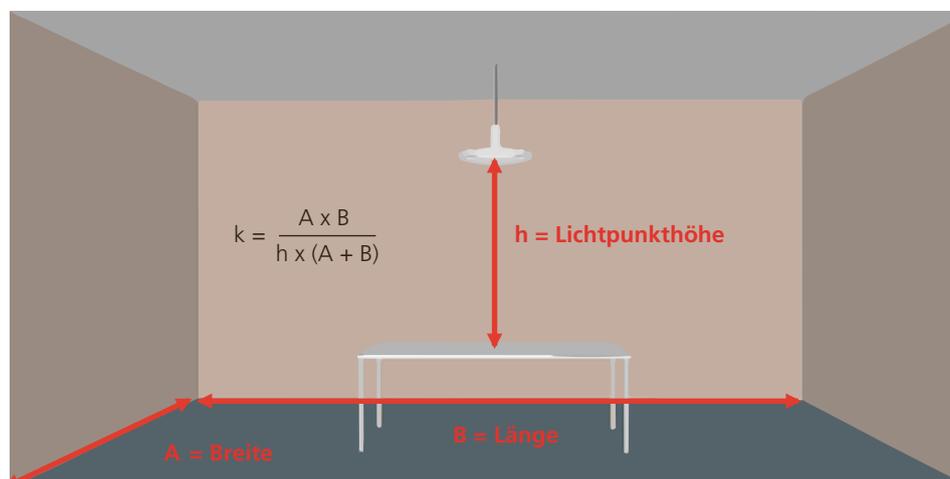


Abbildung 2.8: Definition des Raumindexes.

Beteiligte ihre Verantwortung. In der Praxis läuft der Prozess einer Beleuchtungsplanung häufig in einzelnen Schritten ab. Das hat zur Folge, dass der Fachplaner am Schluss des Planungsprozesses die Mängel der früheren Schritte mittels Regelungen beheben sollte, um eine effiziente Beleuchtung zu ermöglichen (Abbildung 2.9). Doch die Beleuchtungsplanung fängt früher an:

■ **Bauherrschaft:** Sie macht Vorgaben; diese sollten sich nicht gegenseitig widersprechen, z.B. Minergie-Standard für die Beleuchtung und Wände aus schwarzem Samt. Auch andere Anforderungen an Gestaltung und Funktionalität sowie unrealistischer Kostendruck sind keine guten Voraussetzungen für eine effiziente Beleuchtung.

■ **Architekt:** Die Raumhelligkeit, aber auch die Möglichkeiten der Tageslichtnutzung liegen in den Händen des Architekten und beeinflussen den Energieverbrauch für die künstliche Beleuchtung stark. Besonders heikle Punkte in Bezug auf die Energieeffizienz sind bei vielen architektonischen Entwürfen ungeeignete Sonnenschutzvorrichtungen (flächige Markisen statt variable Lamellen) und lichttechnisch suboptimale Sonderanfertigungen von Leuchten.

■ **Fachplaner:** In vielen Fällen macht der Elektroplaner die Auslegung der Beleuchtungsanlage. In anspruchsvollen Objekten ist es sinnvoll, einen spezialisierten Lichtplaner beizuziehen. Bei der Wahl der Leuchten ist die lichttechnische Beurteilung durch den Fachplaner wichtig – nicht nur in Bezug auf die Effizienz, sondern auch hinsichtlich einer guten Lichtverteilung und einer minimierten Blendung. Lichtregulierung – richtig geplant und montiert – bringt sehr viel; nicht selten fehlen bei der Lichtregelung aber das Geld und die Zeit für eine professionelle Umsetzung.

■ **Lieferant:** Er wird häufig neben der Lieferung der Leuchten und Komponenten auch für die (kostenlose) Planung herbeigezogen. Ob ein Verzicht auf die Leistung des Fachplaners zur optimalen Beleuchtungslösung führt, sollte gut überlegt werden.

■ **Der Fachplaner** ist zuständig für den Energienachweis. Wenn dieser den Anforderungen nicht genügt, reichen oft einfache Korrekturen bei der Installation nicht; nur die Hinterfragung der Wünsche der Bauherrschaft und der architektonischen Gestaltung können die Effizienz noch verbessern. Das funktioniert aber nur in einer interdisziplinären Zusammenarbeit.

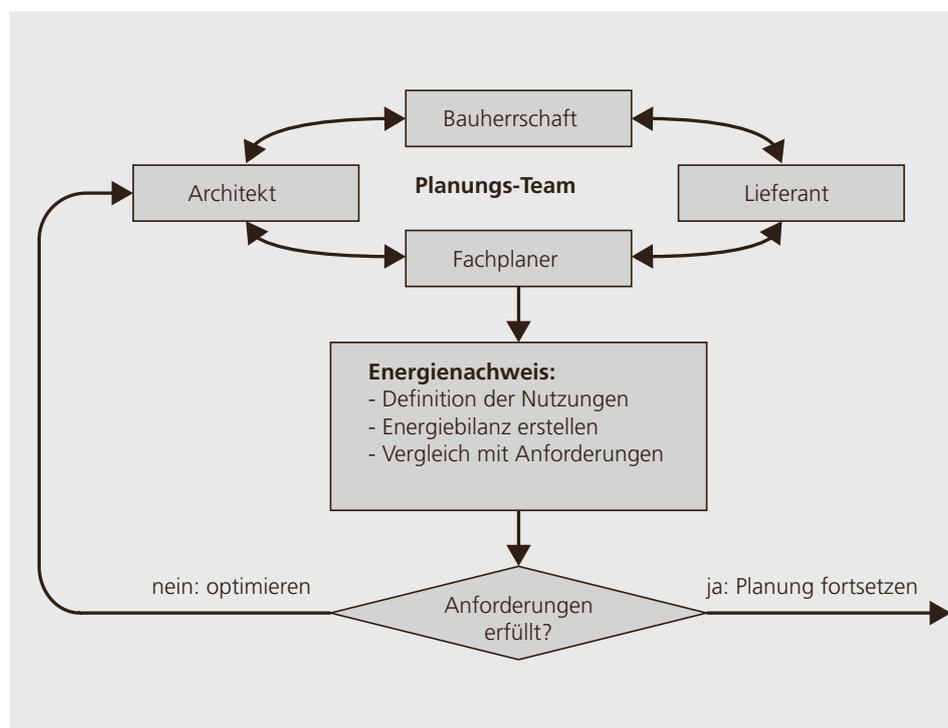


Abbildung 2.9:
Optimale Zusammenarbeit der Beteiligten auf gleicher Ebene.

Installierte Leistung

Die elektrische Anschlussleistung der Beleuchtung in einem Raum hängt von folgenden Einflussfaktoren ab:

- Beleuchtungsstärke in Lux (nach EN 12464)
- Planungsfaktor/Wartungsfaktor
- Leuchten-Licht-Ausbeute
- Reflexionsgrade (Raumwirkungsgrad)

Das Zusammenspiel der Faktoren zeigt Abbildung 2.10. Die Einheit «W/m²» ergibt sich, weil die Beleuchtungsstärke in «Lux» auch als «Lumen/m²» angegeben werden kann und für die Lichtausbeute der Lampe die Einheit «Lumen pro Watt» verwendet wird. Die übrigen Zahlen sind dimensionslos. Die Formel wird auch «Wirkungsgradverfahren» genannt und bildet die Basis für alle Lichtberechnungen – auch von komplexen Simulationen in Programmen wie Relux (www.relux.com) oder Dialux (www.dial.de/de/dialux).

Beleuchtungsstärke

Angaben zur Beleuchtungsstärke werden aus der Norm SN EN 12464 «Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen» für jeden typischen Raum entnommen (Tabelle 2.13, Seite 46 und Tabelle 7.1,

Seite 132). Eine Schweizer Bauherrschaft kann auch höhere oder tiefere Beleuchtungsstärken definieren. In Deutschland sind Minimalbeleuchtungsstärken für Arbeitsplätze in einer Arbeitsstätte als Richtlinie festgesetzt und lassen sich von Arbeitnehmern gesetzlich einfordern. Bei höheren Beleuchtungsstärken dürfen die Anforderungen für Standardnutzungen nach SIA 387/4 nicht angepasst werden, die erhöhte Beleuchtungsstärke muss durch eine effizientere Beleuchtung kompensiert werden.

Planungsfaktor/Wartungsfaktor

Mit dem Planungsfaktor wird die Ausleuchtungsbeleuchtungsstärke erhöht, um Alterung und Verschmutzung der Beleuchtung während ihrer Lebensdauer zu kompensieren. Als Standardwert hat sich 1,25 etabliert. Das heisst, die Basisbeleuchtungsstärke (z. B. 500 Lux) wird um 25 % erhöht (auf 625 Lux), um sicher zu sein, dass die Beleuchtung auch nach Jahren des Betriebs noch 500 Lux liefert. Es sind auch Argumente für höhere Planungsfaktoren zu hören, beispielsweise von 1,5, da Verschmutzung und Alterung in der Realität viel höher seien. Dem ist entgegenzuhalten, dass ein um 25 % höherer Pla-

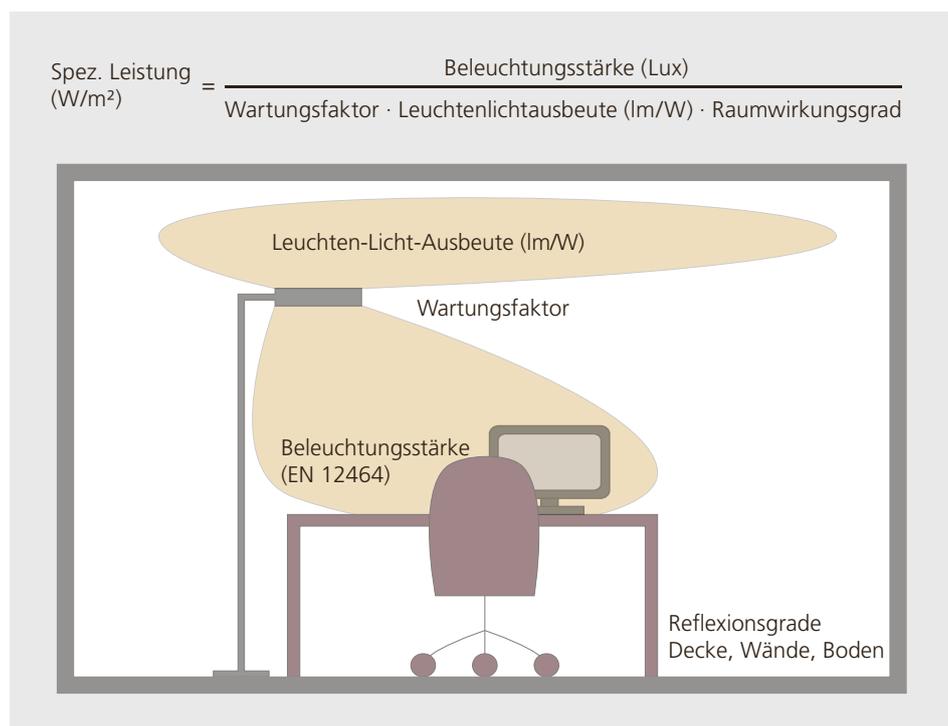


Abbildung 2.10: Zusammenspiel der Einflussgrößen für die elektrische Leistung.

nungsfaktor eine Energieverbrauchserhöhung von 25 % mit sich bringt, also eine regelmässige Wartung und Reinigung sich lohnt. Für SIA 387/4 und Minergie wird mit einem Planungsfaktor von 1,25 gerechnet. Ein höherer Planungsfaktor muss durch eine effizientere Beleuchtung kompensiert werden. In der Beleuchtungspraxis wird häufig der reziproke Wert des Planungsfaktors verwendet: Wartungsfaktor. Beim Wartungsfaktor wird typischerweise der Wert 0,8 verwendet. In der Formel steht der Wartungsfaktor im Nenner statt im Zähler (Planungsfaktor).

Leuchten-Licht-Ausbeute

Die Leuchten-Licht-Ausbeute ist das Mass für die Effizienz einer Leuchte. Sie beschreibt das Verhältnis zwischen dem Licht-Output einer Leuchte in Lumen und der aufgenommenen elektrischen Leistung in Watt. Zwischen dem elektrischen Anschluss und dem austretenden Lichtstrom werden durch Elektronik (Betriebsgerät) und Reflektor (Lichtlenkung/Entblendung) Verluste verursacht, welche die Effizienz einer Leuchte verringern. Mit hochwertigen Komponenten können diese Verluste minimiert werden.

Je nach Lampentyp, Leuchtenkategorie und Leistung variieren die Werte für die Leuchten-Licht-Ausbeute stark. In Tabelle 2.5 sind typische Werte aufgelistet. Am Markt werden auch Leuchten mit höheren

Effizienzwerten angeboten. Im Jahre 2018 bewegen sich die Maximalwerte z. B. für Stehleuchten bei 165 lm/W. Das Effizienzkriterium ist aber nicht das einzig wichtige: Gleichmässige Lichtverteilung und gute Entblendung müssen unbedingt mitberücksichtigt werden. Manchmal ist es sinnvoll, eine weniger effiziente Leuchte zu wählen, um eine optimale Ausleuchtung zu erreichen.

Raumwirkungsgrad

Der Wirkungsgrad des Raumes hängt vom Material der umgebenden Flächen und deren Farben ab. Aus Tabelle 2.6 wird deutlich, dass die Reflexionseigenschaften – die für die Helligkeit im Raum entscheidend sind – sehr stark durch das Material bestimmt sind. Während ein reinweisser Farbanstrich über 80 % des Lichts, das auf die Wände oder die Decke auftrifft, reflektiert, sind es bei einem rosa oder hellblauen Anstrich nur noch 50 %. Bei dunklen Anstrichen (z. B. dunkelrot) oder Sichtbetonwänden sinkt der Reflexionsgrad auf 20 % ab. Die Materialwahl und die Farbgebung beeinflussen die notwendige installierte Leistung für das künstliche Licht und die Möglichkeiten der Tageslichtnutzung sehr stark. Räume lassen sich grob in drei Kategorien einteilen (Tabelle 2.7).

■ Bei den Wänden ist zu beachten, dass im Reflexionsgrad die Möblierung inbegriffen ist; diese ist häufig dunkler als die Wände.

Lampentyp	Leuchtentyp	Systemleistung W	Lichtstrom lm	Leuchten-Licht-Ausbeute lm/W
LED	Stehleuchten	90	10800	120
	Pendelleuchten	40	4800	120
	Deckenleuchten	40	4800	120
	Downlight	20	2000	100
	Strahler/Spot	30	2400	80
	Wandleuchten	30	2400	80
	Tischleuchten	10	800	80
Leuchtstofflampen	Stehleuchten	120	9000	75
	Pendelleuchten	60	4500	75
	Deckenleuchten	40	2800	70
	Downlight	32	1600	50
	Wandleuchten	30	2100	70
Halogenlampen	Strahler/Spot	50	750	15

Tabelle 2.5: Typische Leuchten und ihre Leuchten-Licht-Ausbeute.

Der Reflexionsgrad beträgt bei üblicher Möblierung und hellen Wänden etwa 50 %.

■ Wenn Wände und Decke in Sichtbeton gehalten sind – oder in anderen wenig reflektierenden Materialien – dann gilt der Raum als dunkel.

■ Die Reflexionseigenschaft des Bodens ist weniger relevant für die nutzbare Beleuchtungsstärke.

Der Raumwirkungsgrad eines Raumes hängt von zwei weiteren Einflussfaktoren ab: der Raumgrösse (definiert durch den Raumindex) und der Abstrahlcharakteristik der Leuchten.

Der Vergleich der zwei Grafiken in Abbildung 2.12 illustriert den grossen Einfluss der Raumhelligkeit und der Abstrahlrichtung der Leuchten auf den Raumwirkungsgrad. Beispiel: Ein Raum mit den Abmessungen von 6 m/6 m/3 m hat einen Raumindex von 1.

■ Ist der Raum normal hell und mit direkt tiefstrahlenden Leuchten bestückt, hat der Raum einen Raumwirkungsgrad von über 80 %; d. h. 80 % des von der Leuchte abgestrahlten Lichts wird auf der Nutzenebene wirksam (Abbildung 2.12, links).

■ Ist der Raum dunkel (Sichtbeton oder ähnliche Materialien) und werden indirekt strahlende Leuchten eingesetzt, beträgt der Raumwirkungsgrad nur 25 % (Abbildung 2.12, rechts).

In dunklen Räumen sollten direkt strahlende Leuchten eingesetzt werden, damit die Beleuchtung einigermaßen effizient ist. In einem helleren Raum ist die Auswahl möglicher Leuchtentypen grösser. Auch eine Kombination von direkt und indirekt strahlenden Leuchten ermöglicht eine effiziente Beleuchtung. In normal hellen und hellen Räumen kann der Raumwirkungsgrad über 100 % steigen. Ein Perpetuum Mobile für Beleuchtung? Nein, der Raumwirkungsgrad kann in grossen Räumen mit hellen Decken über 100 % steigen, weil nicht die Beleuchtungsstärke an allen raumbegrenzenden Flächen als Beurteilungsgrösse dient, sondern lediglich der horizontale Boden (oder eine Tischfläche). Deckenlicht kann durch Reflexion den Boden unter Umständen so aufhellen, dass die Beleuchtungsstärke auf dem Boden höher wird als die Leuchte es bei reinem Direktlicht erreicht. Würde man den gesamten Raum als Bewertungsebene verwenden, könnte der Raumwirkungsgrad selbstverständlich niemals 100 % erreichen.

Ein interessantes Anschauungsobjekt zum Thema dunkle und helle Räume bieten die unterirdischen Ladenpassagen des Hauptbahnhofs Zürich. Im Tagesanzeiger vom 28. Juni 2018 stand geschrieben: «Das Einkaufszentrum Shop-Ville unter dem Zürcher Hauptbahnhof gilt als das am stärksten frequentierte Gebäude der Schweiz. Hier strömen täglich fast eine halbe Million Menschen durch. Im weitläufigen unterirdischen Shoppingcenter herrschen ganz unterschiedliche Lichtverhältnisse. Während die 2014 eröffnete Einkaufspassage Gessnerallee und die Halle Löwenstrasse in hellem Glanz erstrahlen,

Tabelle 2.6:
Reflexionseigenschaften von Farbanstrichen und Materialien.

Tabelle 2.7:
Reflexionsgrade von raumumgebenden Flächen in Abhängigkeit der Raumhelligkeit.

Farbanstrich	Material	Reflexionsgrad
reinweiss	Spiegel, Aluminium hochglänzend	über 80 %
weiss	Gips, Aluminium eloxiert	70 % bis 80 %
hellgelb	Aluminium/Chrom/ Kupfer poliert, Ahorn, Birke	60 % bis 70 %
weiss getönt	Holzfaserplatten crème, Nickel hochpoliert	50 % bis 60 %
hellgrau, rosa, hellgrün, hellblau	Kalkstein, Mörtel hell, Kalkputz, Marmor poliert	40 % bis 50 %
mittelgrau, rosa, hellgrün, hellblau	Eiche hell, Sperrholz roh, Sandstein	30 % bis 40 %
braun	Zement, Beton roh, Granit	20 % bis 30 %
dunkelblau, dunkelgrün, dunkelrot, dunkelgrau	Eiche dunkel poliert, Ziegel rot, dunkler Teppich	10 % bis 20 %
Samt (schwarz)		ca. 1 %

Raumhelligkeit	Decke	Wände	Boden
helle Räume	80 %	50 %	30 %
normal helle Räume	70 %	50 %	20 %
dunkle Räume	30 %	30 %	10 %

fristet die 1990 eröffnete Halle Landesmuseum buchstäblich ein Schattendasein – dort ist es markant düsterer. Das Innere der Läden und ihre Schaufenster spenden teils mehr Licht als die Leuchten oben an der Decke.»

Im neuen Teil wurde allerdings nicht mehr Licht installiert, sondern eine viel hellere Raumgestaltung umgesetzt. Abbildung

2.11 veranschaulicht die Hell-Dunkel-Unterschiede zwischen der Ladenpassage «Museumsstrasse» und der Ladenpassage «Durchgangsbahnhof» eindrücklich.



Abbildung 2.11:
Helle und dunkle
Räume der Laden-
passagen des
Hauptbahnhofs in
Zürich.
(Bild: Urs Jaudas)

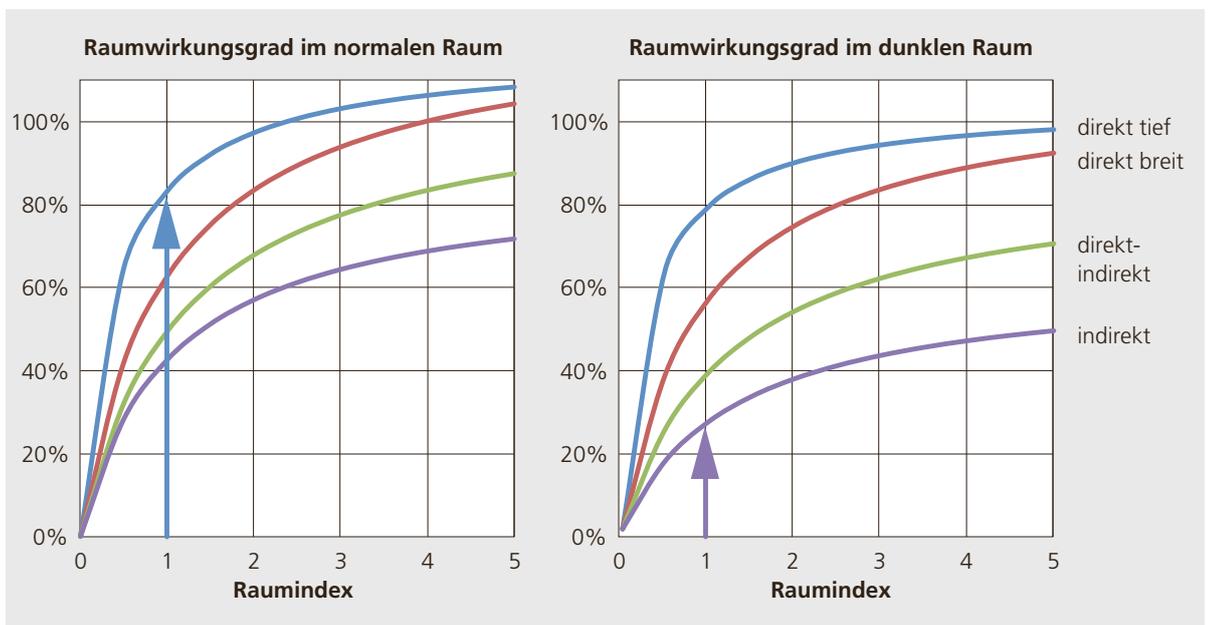


Abbildung 2.12:
Raumwirkungs-
grade im normalen
und im dunklen
Raum.

Beispielrechnung

Gemäss der Formel in Abbildung 2.10 lässt sich die installierte Leistung für einen Raum mit dem Wirkungsgradverfahren berechnen. Für ein Beispiel sei vorausgesetzt, dass alle Parameter in zwei Vergleichsräumen gleich sind, ausser der Raumhelligkeit und der Abstrahlrichtung der eingesetzten Leuchten. Die Raumwirkungsgrade lassen sich in Abbildung 2.12 ablesen.

Fazit: Ein dunkler Raum braucht – bei gleicher Ausrüstung mit denselben effizienten Leuchten – 3-mal mehr Energie als ein normal heller Raum (Tabelle 2.8).

Sofern der dunkle Raum – statt mit effizienten Leuchten – mit Halogenleuchten bestückt wird, ergibt sich ein extremes, aber durchaus praxisübliches Vergleichsbeispiel (Tabelle 2.9).

Mit dieser Ausrüstung braucht der dunkle Raum um den Faktor 24 mehr Energie als der normal helle Raum mit effizienter Beleuchtung.

Berechnung der Volllaststunden

Die Nutzung von Tageslicht hängt von vielen Faktoren ab. Für die Tageslichtberechnung nach SIA 387/4 gilt ein Modell, dass so einfach wie möglich ist, aber dennoch eine vertretbare Genauigkeit für die Prognose der Volllaststunden abgibt. Auf europäischer Ebene wurde mit der Norm EN 15193 (Energetische Bewertung von Gebäuden – Energetische Anforderungen an die Beleuchtung) ein deutlich komplexeres Modell erarbeitet, welches aber den Rahmen eines Beleuchtungsprojektes sprengt. Das SIA-Modell der Tageslichtnutzung basiert auf 9 Einflussfaktoren (Abbildung 2.13).

■ **Glasfläche:** Je grösser die Glasflächen, desto mehr kann Tageslicht eine künstliche Beleuchtung ersetzen. Ein Verhältnis von Glas- zu Bodenfläche von über 35 zu 100 ergibt im Jahresmittel keine weitere Reduktion des Kunstlichts, weil Wintertage und schlechtes Wetter die Nutzung von Tageslicht begrenzen (Abbildung 2.14).

■ **Transmissionsgrad des Glases:** Ein typischer Transmissionsgrad von hoch isolierenden Verglasungen liegt bei 70 %. Ein

	normaler Raum	dunkler Raum
Raumgrösse	6 m x 6 m x 3 m	
Beleuchtungsstärke	500 Lux	
Wartungsfaktor	0,8	
Leuchtentyp	direkt tief strahlend	indirekt strahlend
Lampentyp	LED-Deckenleuchte	
Lichtausbeute der Lampe	120 lm/W	
Raumwirkungsgrad	80 %	25 %
Installierte Leistung	6,5 W/m²	20,8 W/m²
Berechnung	$500 / (0,8 \cdot 120 \cdot 0,8)$	$500 / (0,8 \cdot 120 \cdot 0,25)$

Tabelle 2.8:
Berechnungsbeispiel 1 «Installierte Leistung».

	normaler Raum	dunkler Raum
Raumgrösse	6 m x 6 m x 3 m	
Beleuchtungsstärke	500 Lux	
Wartungsfaktor	0,8	
Leuchtentyp	direkt tief strahlend	indirekt strahlend
Lampentyp	LED-Deckenleuchte	Halogenspot
Lichtausbeute der Lampe	120 lm/W	16 lm/W
Raumwirkungsgrad	80 %	25 %
Installierte Leistung	6,5 W/m²	156,2 W/m²
Berechnung	$500 / (0,8 \cdot 120 \cdot 0,8)$	$500 / (0,8 \cdot 16 \cdot 0,25)$

Tabelle 2.9:
Berechnungsbeispiel 2 «Installierte Leistung».

tern ist besondere Beachtung zu schenken (Blendung, Wärmeeintrag).

■ **Raumreflexion:** Eine normale Raumhelligkeit entspricht den Standardwerten der Reflexionseigenschaften der gängigen Simulationsprogramme. Decke: 70 %, Wände: 50 %, Boden: 20 %. Helle Räume sind – abgesehen von Möblierung und Bodenbelag – ganz in Weiss gehalten. Dunkle Räume weisen z. B. Sichtbeton oder dunkle Farbanstriche (rot, blau, schwarz) auf.

■ **Sonnenschutz (Behang):** Die Art des Behangs (Lamellen oder Stoffbehang), die Helligkeit des Behangs (Farbe, Durchlässigkeit) und Umlenkoptionen haben einen Einfluss auf die Tageslichtnutzung. Es werden 5 Qualitätsstufen definiert.

■ **Sonnenschutz (Regelung):** Ob vollautomatische Steuerung mit Lamellennachführung (Stufe 1) oder manuelle Betätigung (Stufe 5) oder eine Zwischenlösung – auch bei der Regelung des Sonnenschutzes werden 5 Qualitätsstufen definiert.

■ **Balkontiefe:** Ein auskragender Balkon hat denselben Effekt wie ein Fenstersturz; er verringert die Eindringtiefe von Tageslicht. Bei Fenstersturz oder Balkon wird im Rechenmodell der jeweils grössere Einflussfaktor eingesetzt.

■ **Verschattung durch die Umgebung:** Umliegende Gebäude mit geringem Abstand, Bäume oder Berge mindern die Tageslichtnutzung. In Vereinfachung zur früheren Norm werden nur noch 3 Situationen unterschieden: innerstädtische Lage, freie und unverbaute Sicht auf dem Lande und alle Situationen dazwischen.

■ **Lichtregulierung (Tageslicht):** Je besser die erwähnten Rahmenbedingungen sind, desto mehr kann eine Lichtregelung herausholen. Die optimale Tageslichtregelung kombiniert den Tagelichtanteil perfekt mit zusätzlich notwendigem Kunstlicht, so-

dass immer gleich viel Licht im Raum vorhanden ist. Die ideale Lichtregulierung gibt es nicht, denn Sensoren reagieren mit Verzögerung, sind zum Teil ungünstig platziert oder nicht optimal eingestellt. Zudem haben auch Lichtregelungen einen Eigenstromverbrauch. Das Rechenmodell von SIA 387/4 berücksichtigt die – auch bei bester Planung und Ausführung – nicht ideale Abbildung zwischen effektiv vorhandenem Tageslicht und Kunstlichtbeimischung. Nach SIA 387/4 ergibt sich also meist eine geringere, aber oft praxisnähere Tageslichtnutzung als bei komplexen Tageslichtsimulationsprogrammen.

■ **Lichtregelung (Präsenz):** Die am häufigsten eingesetzten Lichtsensoren verbinden Tageslicht- und Präsenzerfassung in einem Gerät. Eine gute Präsenzerfassung und -regelung schafft ein grosses Sparpotenzial und senkt die Betriebszeiten je nach Anwendung erheblich. In Tabelle 2.10 sind die Einsparungen von Präsenzmeldern in Abhängigkeit von Nutzungsart (normal oder sporadisch), Regelungsart (voll- oder halbautomatisch) und Nachlaufzeit dargestellt.

■ **Halbautomatischer Betrieb (manuel on – auto off):** Die Präsenzmelder schalten automatisch ab; das Licht muss von Hand wieder eingeschaltet werden. Empfohlener Betrieb in Hauptnutzflächen (z. B. Büro, Schulzimmer)
Empfehlung Nachlaufzeit: 5 Minuten

■ **Vollautomatischer Betrieb (auto on – auto off):** Die Präsenzmelder schalten das Licht automatisch an und wieder aus. Empfohlener Betrieb in Nebennutzflächen (z. B. Korridore, Lager, WC etc.).
Empfehlung Nachlaufzeit: 1 bis 2 Minuten

Nachlaufzeit Präsenzmelder	Normale Präsenz		Sporadische Präsenz	
	Halb- automatisch	Voll- automatisch	Halb- automatisch	Voll- automatisch
1 Minute	–50 %	–40 %	–80 %	–70 %
2 Minuten	–40 %	–30 %	–70 %	–60 %
5 Minuten	–30 %	–20 %	–60 %	–50 %
15 Minuten	–20 %	–10 %	–50 %	–40 %

Tabelle 2.10: Einsparungen mit Präsenzmeldern.

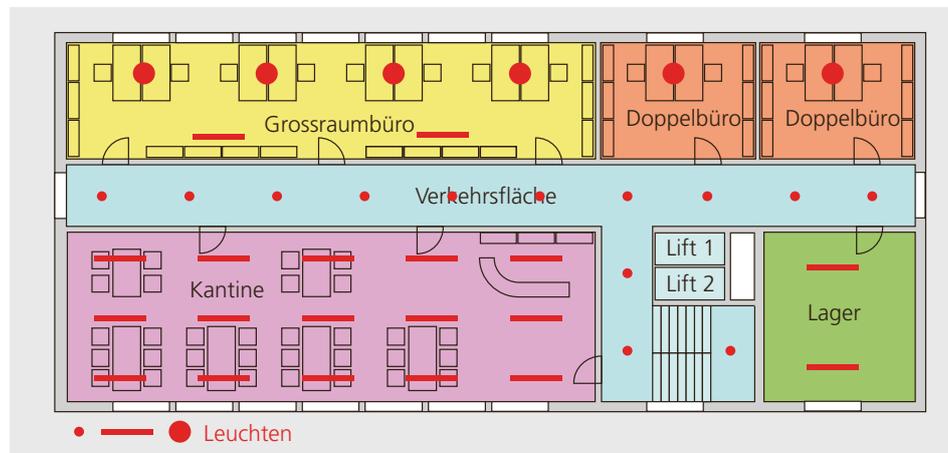
Berechnung des Energiebedarfs und Energiebilanz

Für jede Leuchte im Gebäude wird der Energiebedarf als Produkt von installierter Leistung und Volllaststundenzahl gerechnet. Damit die Übersicht gewahrt bleibt, werden die Energieverbrauchswerte der Leuchten nach Leuchtentypen, Räumen und Raumnutzungen differenziert und auf das Gesamtgebäude hochgerechnet. Den Nutzungen verschiedene Farben zuzuordnen, erweist sich als hilfreich (Abbildung

2.15). Die Differenzierung von Räumen nach Nutzungen kann relativ grosszügig gehandhabt werden; in der Regel reichen drei bis sechs verschiedene Nutzungen je Gebäude aus.

Die Energiebilanz nach SIA 387/4 (standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs) umfasst Leistungen, Volllaststunden und Energiebedarfswerte einzelner Raumgruppen, nach Nutzungen geordnet. Leuchten- und Raumwerte werden nicht dargestellt (Tabelle 2.11).

Abbildung 2.15:
Ein typisches Stockwerk eines Gebäudes, nach Nutzungen differenziert.



Raumgruppe	Nettofläche (m ²)	Nutzung	installierte Leistung (kW)	Volllaststunden (h/a)	Energiebedarf (MWh/a)
Doppelbüro 1.–4. OG	500	Gruppenbüro	8	750	6
Grossraumbüros	1000	Grossraumbüro	12	1250	15
Personalkantine 4.OG	500	Kantine	3,5	1000	3,5
Korridore UG, EG, OG	500	Verkehrsfläche	2,5	1000	2,5
Lager, Technik	500	Nebenräume	2,0	500	1,0
Gesamtgebäude	3000		28,0	1000	28,0

Tabelle 2.11:
Energiebilanz nach SIA 387/4 (Projektwerte).

Raumgruppe	Nettofläche (m ²)	Nutzung	Projektwert (kWh/m ²)	Grenzwert (kWh/m ²)	Zielwert (kWh/m ²)
Doppelbüro 1.–4. OG	500	Gruppenbüro	12	17,5	2,8
Grossraumbüros	1000	Grossraumbüro	15	19,1	7
Personalkantine 4.OG	500	Kantine	7	8,2	3,2
Korridore UG, EG, OG	500	Verkehrsfläche	5	4,9	0,7
Lager, Technik	500	Nebenräume	2	4,2	0,6
Gesamtgebäude	3000		9,3	12,2	3,6

Tabelle 2.12:
Energiebilanz und Vergleich der Projektwerte mit Grenz- und Zielwerten.

Bewertung des Energiebedarfs

Die berechneten Energiebedarfswerte (Tabelle 2.11) der einzelnen Raumnutzungen (Projektwerte) werden auf flächenspezifische Werte umgerechnet und den Anforderungen gegenübergestellt. Die Anforderungen nach 387/4 sind als Grenz- und Zielwerte definiert; diese werden nicht für ein ganzes Gebäude, sondern für die einzelnen Nutzungen im Gebäude angegeben (Tabelle 2.12). Aus den Anforderungswerten der einzelnen Nutzungen wird, über die Flächen gewichtet, die Anforderung für das Gesamtgebäude hochgerechnet. Auch die Anforderungswerte für die Nutzungen sind von der jeweiligen Raumgrösse und den Möglichkeiten der Tageslichtnutzung bestimmt. Im Prinzip lassen sich die Grenz- und Zielwerte berechnen, indem das reale Gebäude mit Ziel- respektive Grenzwert kompatiblen Komponenten ausgestattet wird. Um Rechenaufwand zu sparen, erfolgt die Berechnung anhand von repräsentativen Räumen, die stellvertretend für alle anderen Räume derselben Nutzung stehen. Um den Rechenaufwand zu mindern, empfiehlt sich der Einsatz eines Rechenprogrammes.

Beispiel: Der flächengewichtete Projektwert in Tabelle 2.12 wird wie folgt berechnet:

$$\text{Projektwert} = (12 \cdot 500 + 15 \cdot 1000 + 7 \cdot 500 + 5 \cdot 500 + 2 \cdot 500) / 3000 \text{ m}^2 = 9,3 \text{ kWh/m}^2.$$

Analog werden Grenz- und Zielwerte für das Gesamtgebäude berechnet.

Bewertet wird schliesslich der Projektwert des Gesamtgebäudes. Im Beispiel liegt dieser mit 9,3 kWh/m² zwischen dem Zielwert von 3,6 kWh/m² und dem Grenzwert von 12,2 kWh/m².

Standardnutzungen

Damit die berechneten Projektwerte mit den Anforderungen (Grenz- und Zielwerte) vergleichbar sind, gelten Standardnutzungen für 44 verschiedene Raumnutzungen (Tabelle 2.13 bis Tabelle 2.15).

Grenz- und Zielwerte SIA 387/4

Für jede Standardnutzung wird ein Grenz- und ein Zielwert berechnet, der sich aus der Multiplikation einer installierten Leistung und einer Volllaststundenzahl ergibt. Für die installierten Leistungen gelten die Standardwerte gemäss Tabelle 2.13, für Volllaststunden diejenigen aus Tabelle 2.14. Da gewisse Rahmenbedingungen von Gebäude zu Gebäude differieren (z. B. Glasfläche oder Raumgrössen), kommen in einem beliebigen Gebäude jeweils von Tabelle 2.15 abweichende Grenz- und Zielwerte zustande.

Standardnutzung	Raummasse			Höhe der Bewertungsebene (m)	Beleuchtungsstärke	
	Länge (m)	Tiefe (m)	Höhe (m)		Wartungswert (Lux)	Referenzwert (Lux)
Wohnen	3,5	4	2,2	0,05	150	150
Hotelzimmer	4	5	2,5	0,75	50	300
Empfang, Lobby	12	12	4	0,75	100	300
Einzel-, Gruppenbüro	6	6	3	0,75	500	500
Grossraumbüro	12	12	3	0,75	500	500
Sitzungszimmer	6	6	3	0,75	500	500
Schalterhalle, Empfang	12	12	4	0,05	200	300
Schulzimmer	10	7	3	0,75	500	500
Lehrerzimmer	6	6	3	0,75	300	300
Bibliothek	12	12	3	0,75	200	300
Hörsaal	12	12	3	0,75	500	500
Schulfachraum	10	7	3	0,75	500	500
Lebensmittelverkauf	20	20	4	0,05	300	750
Fachgeschäft	20	20	4	0,05	300	750
Verkauf Möbel, Bau + Garten	20	20	4	0,05	300	600
Restaurant	12	12	3	0,75	200	300
Selbstbedienungsrestaurant	20	20	3	0,75	200	300
Küche zu Restaurant	6	6	3	0,75	500	500
Küche zu SB-Restaurant	12	12	3	0,75	500	500
Vorstellungsraum	20	20	7	0,75	300	300
Mehrzweckhalle	20	20	7	0,75	300	300
Ausstellungshalle	20	20	7	0,75	300	600
Bettzimmer	6	6	2,5	0,75	100	300
Stationszimmer	6	6	3	0,75	300	500
Behandlungsräume	6	6	3	0,75	500	750
Produktion (grobe Arbeit)	20	20	7	0,75	300	300
Produktion (feine Arbeit)	20	20	7	0,75	500	500
Laborraum	10	7	4	0,75	500	500
Lagerhalle	20	20	7	0,05	300	300
Turnhalle	30	20	7	0,05	300	500
Fitnessraum	12	12	3	0,05	300	300
Schwimmhalle	20	20	7	0,05	300	300
Verkehrsfläche	10	2	2,5	0,05	100	100
Verkehrsfläche 24h	10	2	2,5	0,05	200	200
Treppenhaus	10	2	2,5	0,05	100	100
Nebenräume	4	5	2,5	0,05	100	100
Küche, Teeküche	4	5	2,5	0,75	200	200
WC, Bad, Dusche	4	5	2,5	0,05	200	200
WC	2	2	2,5	0,05	200	200
Garderoben, Duschen	6	6	3	0,05	200	200
Parkhaus	20	20	3	0,05	75	75
Wasch- und Trockenraum	6	6	3	0,05	300	300
Kühlraum	6	6	3	0,05	100	100
Serverraum	4	5	3	0,05	100	100

Tabelle 2.13: Standardvorgaben SIA 387/4 zur Ermittlung von installierten Leistungen. Für die Raummasse sind typische Werte angenommen; wenn möglich sollten im Projekt die effektiven Masse eines jeweils typischen Raumes verwendet werden. Die Referenzbeleuchtungsstärke ist zum Teil höher als der Wartungswert (nach EN 12464). Die Erhöhung berücksichtigt den Bedarf an Akzentbeleuchtung in bestimmten Nutzungen.

Standardnutzung	Nutzungsstunden				Glas- zu Bodenfläche (%)	Art der Nutzung
	Stunden Tag + Nacht	Tage pro Jahr (d)	Jahresgleich- zeitigkeit	Stunden pro Jahr (h)		
Wohnen	1 + 2	365	0,9	986	19 %	DP
Hotelzimmer	3 + 2	365	0,7	1533	18 %	DP
Empfang, Lobby	11 + 9	365	0,7	5110	20 %	DP
Einzel-, Gruppenbüro	11	261	0,8	2297	29 %	NP
Grossraumbüro	11	261	0,8	2297	15 %	NP
Sitzungszimmer	6	261	0,8	1253	29 %	NP
Schalterhalle, Empfang	11	261	0,8	2297	20 %	DP
Schulzimmer	11	261	0,7	2010	25 %	NP
Lehrerzimmer	11	261	0,7	2010	29 %	NP
Bibliothek	11	261	0,7	2010	15 %	NP
Hörsaal	11	261	0,7	2010	15 %	NP
Schulfachraum	11	261	0,7	2010	25 %	NP
Lebensmittelverkauf	11 + 5	313	0,8	4006	0 %	DP
Fachgeschäft	11 + 5	313	0,8	4006	0 %	DP
Verkauf Möbel, Bau+Garten	11 + 5	313	0,8	4006	0 %	DP
Restaurant	6 + 6	313	0,8	3005	15 %	NP
Selbstbedienungsrestaurant	7	313	0,8	1753	9 %	NP
Küche zu Restaurant	8 + 5	313	0,8	3255	29 %	DP
Küche zu SB-Restaurant	9	313	0,8	2254	15 %	DP
Vorstellungsraum	6 + 6	313	0,8	3005	0 %	DP
Mehrzweckhalle	11 + 5	313	0,8	4006	21 %	DP
Ausstellungshalle	11 + 5	313	0,8	4006	21 %	DP
Bettzimmer	11 + 3	365	0,8	4088	25 %	DP
Stationszimmer	11 + 13	365	0,8	7008	29 %	DP
Behandlungsräume	11	313	0,8	2754	29 %	DP
Produktion (grobe Arbeit)	11 + 13	261	0,8	5011	21 %	NP
Produktion (feine Arbeit)	11	261	0,8	2297	21 %	NP
Laborraum	11	261	0,8	2297	34 %	DP
Lagerhalle	11 + 13	261	0,8	5011	21 %	NP
Turnhalle	10 + 5	261	0,7	2741	21 %	NP
Fitnessraum	10 + 5	313	0,8	3756	15 %	NP
Schwimmhalle	10 + 5	313	0,8	3756	21 %	NP
Verkehrsfläche	11 + 2	365	0,8	3796	44 %	SP
Verkehrsfläche 24h	11 + 13	365	0,8	7008	44 %	SP
Treppenhaus	11 + 2	365	0,8	3796	44 %	SP
Nebenräume	11 + 2	365	0,8	3796	18 %	SP
Küche, Teeküche	11	261	0,8	2297	18 %	SP
WC, Bad, Dusche	11	261	0,8	2297	18 %	SP
WC	11	261	0,8	2297	44 %	SP
Garderoben, Duschen	11	313	0,8	2754	18 %	SP
Parkhaus	11	365	0,8	3212	0 %	SP
Wasch- und Trockenraum	11	365	0,8	3212	18 %	SP
Kühlraum	0,5	261	0,8	104	0 %	SP
Serverraum	0,5	365	0,8	146	0 %	DP

Tabelle 2.14: Standardvorgaben SIA 387/4 zur Ermittlung von Volllaststunden. Bei den Standardnutzungen zur Berechnung der Volllaststunden werden typische Werte für das Verhältnis von Glas- zu Bodenfläche angenommen; wenn möglich sollten im Projekt die effektiven Werte eines jeweils typischen Raumes verwendet werden.

NP: normale Nutzung, SN: sensible Nutzung, SP: sporadische Nutzung

Standardnutzung	Grenzwert SIA 387/4			Zielwert SIA 387/4		
	installierte Leistung (W/m ²)	Volllaststunden (h/a)	Elektrizitätsbedarf (kWh/m ²)	installierte Leistung (W/m ²)	Volllaststunden (h/a)	Elektrizitätsbedarf (kWh/m ²)
Wohnen	4,6	1000	4,6	3,0	750	2,3
Hotelzimmer	7,7	700	5,4	5,0	550	2,8
Empfang, Lobby	6,6	4100	27,1	4,3	3150	13,5
Einzel-, Gruppenbüro	12,5	1400	17,5	8,1	350	2,8
Grossraumbüro	9,8	1950	19,1	6,4	1100	7,0
Sitzungszimmer	12,5	750	9,4	8,1	200	1,6
Schalterhalle, Empfang	7,1	1450	10,3	4,6	700	3,2
Schulzimmer	11,0	1300	14,3	7,2	450	3,2
Lehrerzimmer	7,5	1150	8,6	4,9	250	1,2
Bibliothek	5,9	1500	8,9	3,8	700	2,7
Hörsaal	9,8	1700	16,7	6,4	950	6,1
Schulfachraum	11,0	1300	14,3	7,2	450	3,2
Lebensmittelverkauf	14,9	4000	59,6	9,7	4000	38,8
Fachgeschäft	14,9	4000	59,6	9,7	4000	38,8
Verkauf Möbel, Bau+Garten	12,0	4000	48,0	7,8	4000	31,2
Restaurant	5,9	2650	15,6	3,8	1600	6,1
Selbstbedienungsrestaurant	5,3	1550	8,2	3,4	950	3,2
Küche zu Restaurant	12,5	2450	30,6	8,1	1700	13,8
Küche zu SB-Restaurant	9,8	1900	18,6	6,4	1550	9,9
Vorstellungsraum	7,0	3000	21,0	4,5	3000	13,5
Mehrzweckhalle	7,0	2950	20,7	4,5	2000	9,0
Ausstellungshalle	13,9	3400	47,3	9,0	2800	25,2
Bettzimmer	6,8	1550	10,5	4,4	800	3,5
Stationszimmer	12,5	5750	71,9	8,1	4550	36,9
Behandlungsräume	18,8	1900	35,7	12,2	1150	14,0
Produktion (grobe Arbeit)	7,0	4150	29,1	4,5	2350	10,6
Produktion (feine Arbeit)	11,6	1700	19,7	7,5	750	5,6
Laborraum	12,8	1350	17,3	8,3	400	3,3
Lagerhalle	7,3	4150	30,3	4,7	2350	11,0
Turnhalle	11,3	2250	25,4	7,3	1250	9,1
Fitnessraum	6,4	3150	20,2	4,1	1800	7,4
Schwimmhalle	7,3	2800	20,4	4,7	1350	6,3
Verkehrsfläche	3,5	1400	4,9	2,3	300	0,7
Verkehrsfläche 24h	7,1	3000	21,3	4,6	1100	5,1
Treppenhaus	3,5	1400	4,9	2,3	300	0,7
Nebenräume	3,0	1400	4,2	1,9	300	0,6
Küche, Teeküche	5,1	850	4,3	3,3	150	0,5
WC, Bad, Dusche	6,0	850	5,1	3,9	150	0,6
WC	9,9	800	7,9	6,4	150	1,0
Garderoben, Duschen	5,7	850	4,8	3,7	200	0,7
Parkhaus	1,4	1600	2,2	0,9	800	0,7
Wasch- und Trockenraum	8,5	1100	9,4	5,5	300	1,7
Kühlraum	2,8	50	0,1	1,8	50	0,1
Serverraum	3,3	50	0,2	2,2	50	0,1

Tabelle 2.15: Grenzwerte und Zielwerte nach Standardnutzungen, geordnet nach SIA 387/4.

Bemerkung: In der gedruckten Norm von 2017 sind die Werte fehlerhaft, der SIA hat Mitte 2019 eine Korrigenda publiziert.

2.6 Minergie-Standard

Minergie ist seit 1998 der Schweizer Standard für Komfort, Effizienz und Werterhalt. Das Qualitätslabel für Neubauten und Modernisierungen umfasst alle Gebäudekategorien. Die Ziele sind höchster Wohn- und Arbeitskomfort, tiefer Wärme- und Stromverbrauch und langfristige Werterhaltung. Im Fokus stehen eine hochwertige Gebäudehülle, ein kontrollierter Luftwechsel, eine optimale Beleuchtung und eine effiziente Versorgung mit erneuerbaren Energien. Das Label umfasst die drei Standards Minergie, Minergie-P und Minergie-A sowie den Zusatz Eco. Dabei steht Minergie-P für Niedrigstenergie-Gebäude und Minergie-A für Plusenergie-Gebäude. Der Zusatz Eco lässt sich mit allen Standards kombinieren und bezeichnet Gebäude, bei denen auch bauökologische und gesundheitliche Aspekte berücksichtigt sind. Damit deckt Minergie wichtige Kriterien des nachhaltigen Bauens ab: Komfort, Werterhaltung, Energieeffizienz, Bauökologie und Gesundheit. Zwei Zusatzprodukte sichern die Qualität in Bau und Betrieb. Das Label eignet sich sowohl für innovative Pionierbauten wie auch für die breite Marktdurchdringung.

2017 erfolgte eine grundlegende Überarbeitung des Standards und neue Themen wurden integriert: Neben dem bisher be-

werteten Heizenergiebedarf wurden auch der Bedarf an elektrischer Energie und die Produktion von Elektrizität mittels Photovoltaik in die neue Minergie-Kennzahl aufgenommen. Ferner wurde ein Qualitätssicherungssystem für Bau und Betrieb von Minergie-Bauten sowie eine Monitoring-Pflicht für bestimmte Bauten eingeführt.

Zahlenspiegel (2018)

- 47 000 zertifizierte Gebäude – Wohnbauten: 88 %, Zweckbauten: 12 %
- Gesamtfläche: 54 Mio. m² – Wohnbauten: 63 %, Zweckbauten: 37 %
- 1,1 Millionen Nutzer und 1900 Fachpartner
- 12-köpfiger Vorstand aus Politik und Wirtschaft
- Geschäftsstellen in Basel, Sion und Bellinzona mit total ca. 20 Mitarbeitern
- Rund 28 Zertifizierungsstellen in den Kantonen (meist integriert bei den Energiefachstellen, zum Teil gemeinsam)
- 8 grosse Industriepartner (Leadingpartner)

Minergie-Kennzahl

Abbildung 2.16 zeigt das Zusammenspiel der Energieverbraucher und der Energieproduktion zur Minergie-Kennzahl und die Bewertung nach den Standards Minergie, Minergie-P und Minergie-A. Zu den Be-

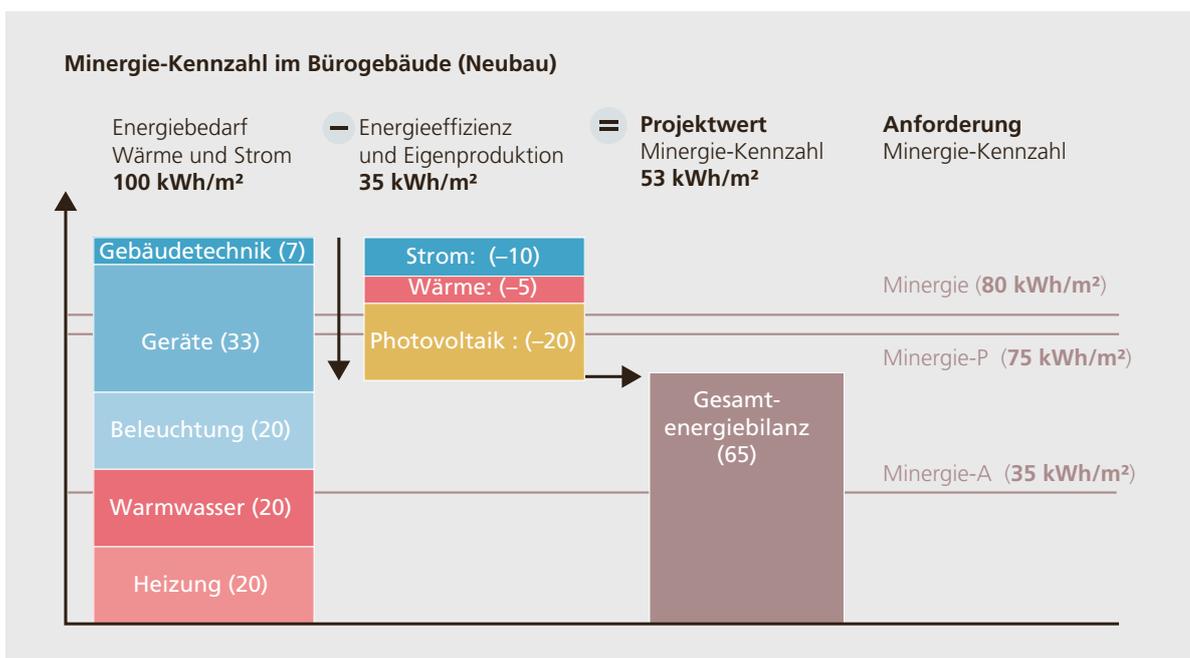


Abbildung 2.16: Berechnung der Minergie-Kennzahl und Referenzierung zur Anforderung an einem Beispiel. (Quelle: Minergie)

darfswerten für Wärme (Heizung und Warmwasser) werden die Standardwerte für Elektrizität (Beleuchtung, Geräte, Gebäudetechnik) dazu gezählt (mit Faktor 2 gewichtet) und es ergibt sich der totale Standardenergiebedarf von 100 kWh/m² für ein Bürogebäude. Durch Optimierungsmassnahmen bei der Elektrizität (im Moment ausschliesslich bei der Beleuchtung möglich) und der Wärme und durch Installation einer Photovoltaikanlage kann der Standardbedarfswert um 35 kWh/m² gesenkt werden und es wird eine Minergie-Kennzahl von 65 kWh/m² erreicht. Referenziert an den Anforderungen der drei Standards, ergibt sich ein Label für ein Minergie-P-Haus (75 kWh/m²). Zur Erreichung von Minergie-A müsste deutlich mehr Eigenproduktion eingeplant werden.

Minergie-Beleuchtung

Der Projektwert für die Beleuchtung wird grundsätzlich mit dem Rechenmodell der SIA 387/4 ermittelt. Die Beleuchtungsanforderung im Minergie-Gebäude leitet sich aus der Systemanforderung nach SIA-Norm 387/4 ab. Alle Bauten ab einer Fläche von 250 m² (mit gewissen Ausnahmen und ohne Wohnbauten) müssen auch die Zusatzanforderung an die Beleuchtung erfüllen. Das gilt gleichermaßen für alle Gebäudestandards: Minergie, Minergie-P, Minergie-Eco und Minergie-A. Die Anforderung für die Minergie-Beleuchtung liegt in der Mitte zwischen dem Grenz- und dem Zielwert (Abbildung 2.17).

2.7 Weitere Anwendungen der SIA 387/4

Die prominenteste Anwendung der SIA 387/4 findet im Rahmen des Minergie-Standards statt. Weitere Anwendungen in der kantonalen Gesetzgebung und bei Bundesförderprogrammen werden zunehmend wichtig.

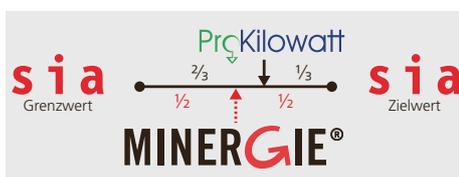
MuKE

Bei den «Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich» (MuKE) handelt es sich um das von den Kantonen gemeinsam erarbeitete «Gesamtpaket» energie-rechtlicher Mustervorschriften im Gebäudebereich. Sie bilden den «gemeinsamen Nenner» der Kantone. Mit den MuKE soll ein hohes Mass an Harmonisierung im Bereich der kantonalen Energievorschriften erzielt werden, um die Bauplanung und die Bewilligungsverfahren für Bauherren und Fachleute, die in mehreren Kantonen tätig sind, zu vereinfachen. Die Harmonisierung wird durch die Verwendung von gemeinsam erarbeiteten Formularen und Vollzugshilfen zusätzlich unterstützt. Aktuell sind die einzelnen Kantone damit beschäftigt, die Version von 2014 in den Vollzug zu übernehmen. Die SIA 387/4 ist Teil der MuKE: Als Anforderung gilt der SIA-Grenzwert. Weitere Infos: www.endk.ch/de/energiepolitik-der-kantone/muken

ProKilowatt

ProKilowatt – Wettbewerbliche Ausschreibungen – heisst das Förderprogramm des Bundesamts für Energie (BFE), um den Stromverbrauch in Haushalten, Industrie, Gewerbe und Dienstleistungsunternehmen zu senken. Es kommt ein Auktionsverfahren zum Zuge: Unterstützt werden die Stromeffizienzmassnahmen mit dem besten Kosten-Nutzen-Verhältnis. Mit dem 2010 lancierten nationalen Förderprogramm wurden bis Ende 2017 insgesamt 473 Projekte und Programme unterstützt und total 157 Millionen Franken Fördergelder ausbezahlt. Die erzielte Energieeinsparung beträgt 470 GWh. Projekte und Programme im Beleuchtungsbereich sind besonders beliebt und machen

Abbildung 2.17:
Definition der
Minergie-Anforderung
Beleuchtung
zwischen Grenz-
und Zielwert.



rund die Hälfte aller geförderten Projekte aus.

Für grössere Projekte können sich interessierte Bauherrschaften direkt bei ProKilowatt bewerben. Dazu werden jährliche Ausschreibungen durchgeführt. Für kleinere Projekte im Beleuchtungsbereich sind folgende Programme im Jahre 2019 aktiv:

- www.ffeled.ch: alle Zweckbauten ab 2000 m² beleuchtete Fläche (national)
- www.belhallen.ch: Industrie- und Sporthallen ab 2000 m² beleuchtete Fläche (national)
- www.minus60.ch: alle Zweckbauten unter 2000 m² beleuchtete Fläche (die Mehrheit der Kantone)
- www.senso70.ch: Nachfolgeprogramm von minus60 (ganze Schweiz)
- www.effiwatt.ch: alle Zweckbauten unter 2000 m² beleuchtete Fläche (Kantone, die nicht durch Minus60 abgedeckt werden)
- www.salvaluce.ch: alle Wohnbauten ab 2000 m² beleuchtete Fläche
- Weitere in speziellen Bereichen

Die Programme werden von privaten Trägerschaften im Auftrag von ProKilowatt beziehungsweise des Bundesamtes für Energie abgewickelt.

2.8 Berechnungs-Tools

Für Berechnung und Energienachweis nach SIA 387/4 stehen verschiedene Softwaretools zur Verfügung.

www.lighttool.ch

Das Online-Programm von Minergie ist auf Deutsch, Französisch und Italienisch verfügbar und kostenlos. Im Gegensatz zu kostenpflichtigen Tools ist es auf einfache Gebäude mit wenigen verschiedenen Nutzungen beschränkt. Die Erstellung eines Nachweises ist schnell und unkompliziert. Eine Einbindung in Beleuchtungssimulationen (ReluxEnergyCH) oder andere Energieberechnungen (Lesosai) ist nicht möglich. Die Nachweiserstellung erfolgt in 5 Schritten:

1. Allgemeine Angaben zum Gebäude (Adressen, Daten, Gebäudekategorie)
2. Erfassung der eingesetzten Leuchten
3. Erfassung der Räume oder Raumgruppen (Zuordnung zu Standardnutzung oder Spezialnutzungen)
4. Energienachweis: Automatische Erstellung der Energiebilanz und Vergleich mit den Anforderungen
5. PDF-Bericht mit allen relevanten Ein- und Ausgaben

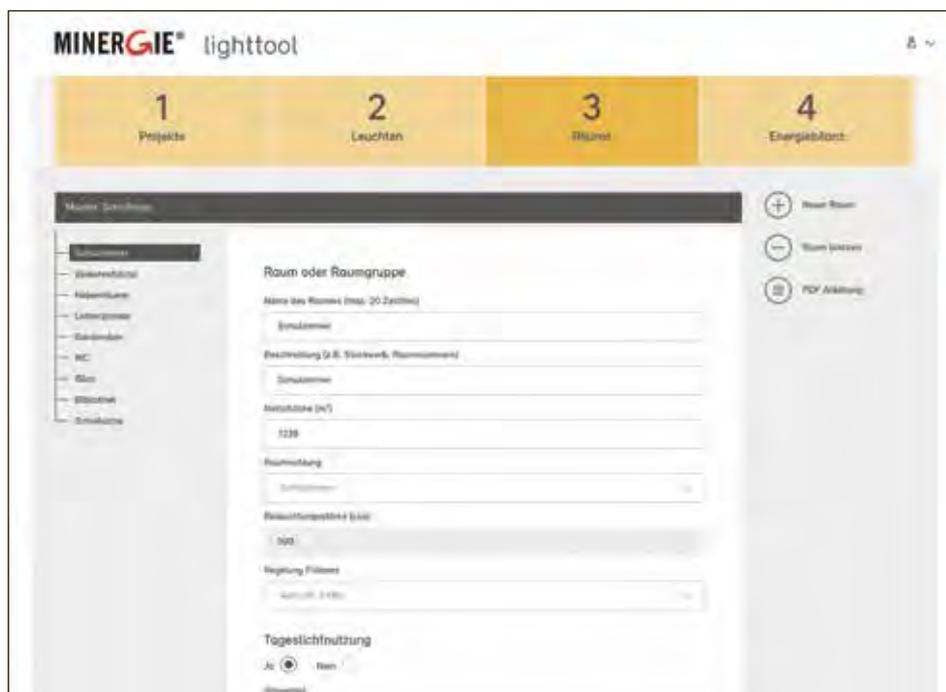


Abbildung 2.18:
Eine von vier Mas-
ken des Lighttools.

ReluxEnergyCH

Die Windows-Software ist Bestandteil des umfassenden Programms ReluxDesktop, mit dem Beleuchtungsplanungen von beliebig grossen Gebäuden durchgeführt werden können. Die Daten aus den Simulationen für die Beleuchtung können einfach in das Nachweistool übertragen werden. Die Planungssoftware wird von der Beleuchtungsindustrie finanziert und ist für Anwender kostenlos. Für das Energienachweistool wird eine jährliche Lizenz erhoben. ReluxEnergyCH ist für einfache und komplexe Gebäude geeignet: Es können beliebig viele Raumgruppen, Räume und Leuchtentypen erfasst werden. Als Ergebnis wird ein PDF-Bericht generiert, der die Energiebilanz und den Vergleich mit den Anforderungen (SIA-Grenzwert, SIA-Zielwert, Minergie) darstellt. Die Arbeit mit Relux-Desktop (oder mit dem deutschen Produkt Dialux) gehört zum Standard einer Beleuchtungsplanung:

- In einer Online-Datenbank stehen über 200 000 Leuchten von rund 100 Herstellern aus ganz Europa zur Verfügung. Sie wird laufend aktualisiert und erweitert.
- Räume können individuell gestaltet werden, mit hunderten verschiedenen Materialien, Möbeln, Türen, Fenstern und Leuchten. Die Räume können zwei- oder dreidimensional dargestellt und in alle Richtungen gedreht werden.

■ Die Beleuchtung lässt sich automatisch oder individuell planen.

■ Auf Knopfdruck wird die Lichtverteilung im Raum simuliert und auf unterschiedlichste Arten visualisiert: als Tabellen, Iso-lux-Grafiken, dreidimensionale Falschfarben-Darstellungen oder als fotorealistisches Rendering.

■ Wer es noch professioneller haben will, kann CAD-Pläne importieren und die Beleuchtung direkt in den Plänen des Architekten planen.

■ Auch Aussenbeleuchtungen und Tunnels sind im Programm enthalten.

ReluxDesktop bietet sehr viele Optionen und Darstellungsmöglichkeiten und ist intuitiv zu bedienen. Eine Schulung wird dennoch empfohlen.

Lesosai

Unter www.lesosai.com kann ein Computerprogramm zur umfangreichen Bilanzierung und Optimierung des Gesamtenergiebedarfs in Gebäuden erworben werden. Die Beleuchtung nach SIA 387/4 ist Teil der Software der Firma E4tech Sàrl mit Sitz in Lausanne.

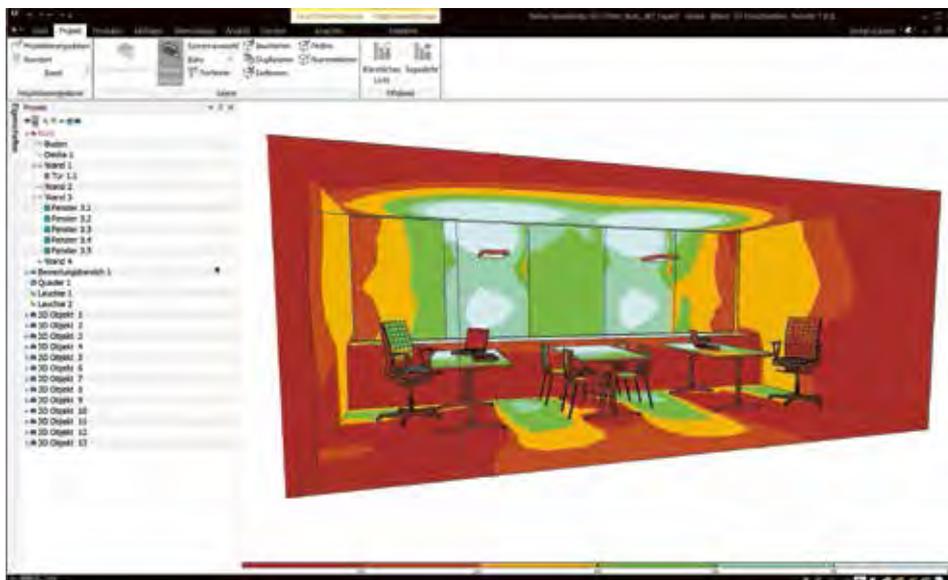


Abbildung 2.19:
Printscreen aus dem
Programm Relux-
Suite.

2.9 Beleuchtungs-Check für Zweckbauten

Zur Beurteilung einer bestehenden Beleuchtung in einem Gebäude eignet sich der Beleuchtungscheck wie im Folgenden beschrieben sehr gut. Grundlage des Checks bildet die Norm SIA 387/4. In der selben Norm sind Referenzwerte für den Vergleich der Energiebilanz verfügbar. Das erlaubt eine Abschätzung des Einsparpotenzials.

Vorgehen

1. Typische Räume auswählen
2. Leuchten erfassen
3. Beleuchtungsstärken messen
4. Blendung durch Leuchten beurteilen
5. Tageslichtsituation beurteilen
6. Lichtregelung prüfen
7. Energiebilanz erstellen

Typische Räume auswählen

In der Regel ist es nicht nötig, alle Räume in einem Gebäude zu erfassen, weil es meist sehr viele gleiche oder ähnliche Räume gibt. Die Berechnung und Bewertung erfolgt anhand von repräsentativen Räumen, zum Beispiel einem Schulzimmer oder einem Büro (Tabelle 2.16 und Abbildung 2.20).

Die Erfahrung zeigt, dass die drei bis fünf wichtigsten Nutzungen über 80 % des Stromverbrauchs für Beleuchtung ausmachen. Es ist daher von untergeordneter Bedeutung, welche Beleuchtungen z. B. in Lagern oder Toiletten installiert sind. In den Grundrissplänen des Gebäudes lassen sich die verschiedenen Nutzungen kolorieren. Von diesen typischen Räumen sind die Nettoflächen zu ermitteln. Selbstverständlich sind für eine Energiebilanz die Flächen der anderen Räume ebenfalls zu erheben.

Nutzung	Fläche typischer Raum (m ²)	Fläche aller Räume (m ²)
Schulzimmer	72	372
Büro	40	120
Korridor	50	352
Übrige Räume	–	80
Total		941

Table 2.16: Beleuchtete Flächen von typischen Räumen, Nutzungen und vom Gesamtgebäude.

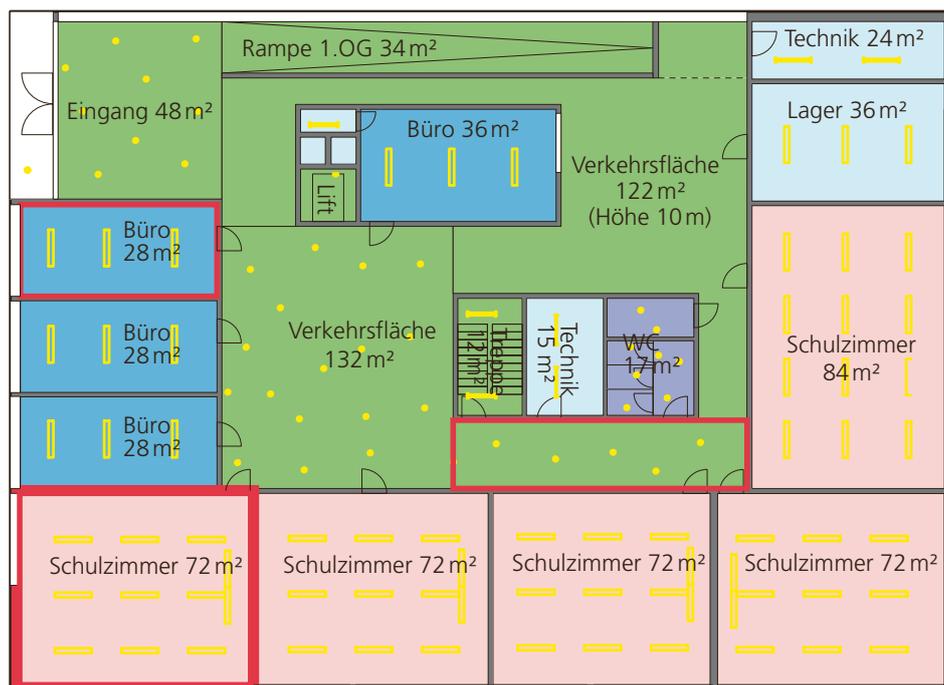


Abbildung 2.20: Grundriss eines Schulhauses mit markierten Nutzungen und typischen Räumen.

Leuchten erfassen

In jedem typischen Raum werden Fläche, Leuchenzahl und -leistungen erfasst und die spezifische installierte Leistung berechnet.

■ **Leuchten mit Leuchtstofflampen:** Die eingesetzten Leuchtmittel haben eine standardisierte Leistung, z. B. 28 Watt oder 58 Watt. Die Wattage ist auf dem Leuchtmittel aufgedruckt (gegebenenfalls muss die Abdeckung der Leuchte entfernt werden, damit die Lampe identifiziert werden kann). Zusätzlich zur Lampenleistung muss die Verlustleistung des Vorschaltgeräts hin-

zugezählt werden (plus ca. 10%), um die effektive Leistung der ganzen Leuchte zu erhalten. Beispiel: Eine Leuchte mit zwei Leuchtstoffröhren à 28 Watt und einer Verlustleistung des Vorschaltgeräts von 5 Watt hat eine Gesamtleistung von 61 Watt.

■ **Leuchten mit LED:** Die elektrische Leistung ist häufig nicht so einfach ermittelbar wie bei herkömmlichen Leuchten mit Leuchtstofflampen. Meist muss ein Datenblatt der Leuchte beschafft werden, um die Leistung zu bestimmen.

Tabelle 2.17 zeigt die Bilanzierung der Leistungen der eingesetzten Leuchten zum gesamten Projektwert für das Schulzimmer (1182 Watt). In Tabelle 2.18 wird der Projektwert bezogen auf die Leistung von 72 m² angegeben und mit den Anforderungen verglichen (vergleiche Tabelle 2.15: Spalten Spezifische Leistungen für Grenz- bzw. Zielwerte). Der Projektwert von 16,4 W/m² liegt deutlich über dem SIA-Grenz- und Zielwert.

Abbildung 2.21:
Typischer Schulraum
mit Installations-
grundriss.

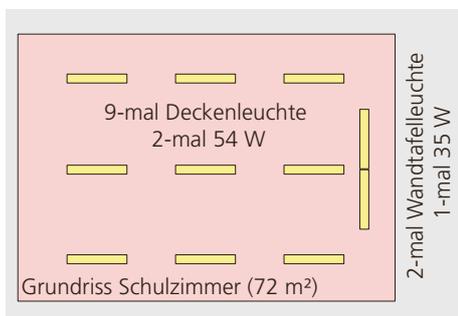


Abbildung 2.22:
Innenansicht des
gecheckten Schul-
zimmers.

Tabelle 2.17:
Leistungsbilanz im
typischen
Schulzimmer.

	Leuchtenkategorie	Systemleistung	Anzahl	Gesamtleistung
Leuchtentyp 1	Pendelleuchte	122 W	9	1098 W
Leuchtentyp 2	Wandtafel-Leuchte	42 W	2	84 W
Projektwert				1182 W

Tabelle 2.18:
Vergleich mit den
Anforderungen im
typischen
Schulzimmer.

	Fläche	Projektwert	Grenzwert	Zielwert
Schulzimmer	72 m ²	16,4 W/m ²	11,0 W/m ²	7,2 W/m ²

Beleuchtungsstärke messen

Mit einem Luxmeter sind die (horizontalen) Beleuchtungsstärken im verdunkelten Raum an verschiedenen Stellen zu messen (Abbildung 2.23). In Arbeitsräumen wird die Beleuchtungsstärke auf Tischhöhe, in allen übrigen Räumen auf dem Boden gemessen. Das Luxmeter sollte von guter Qualität sein und eine V-Lambda-Korrektur generieren (Farbempfindlichkeitsverteilung des menschlichen Auges).

■ Die volle Helligkeit erreichen Leuchtstofflampen erst nach mehreren Minuten. Eine Beleuchtung sollte demnach 15 Minuten vor der Messung in Betrieb sein. Bei LED-Beleuchtung muss keine Wartezeit einberechnet werden, die Leuchten geben sofort die volle Lichtmenge ab.

■ Der Raum sollte möglichst gut verdunkelt werden. Wenn dies nicht möglich ist, kann auch eine Differenzmessung durchgeführt werden. Zu diesem Zweck misst man an definierten Punkten die Beleuchtungsstärke mit und ohne Kunstlicht und subtrahiert die zwei gemessenen Werte voneinander. Bei zu grossem Tageslichteintrag ist diese Methode nicht empfehlenswert.

■ Die Messpunkte richten sich sinnvollerweise nach einem Raster (Abbildung 2.24).

■ Eine Messung soll an der hellsten Stelle, zum Beispiel in der Raummitte, erfolgen; ferner sollen Messungen ca. 1 Meter von der Wand entfernt erfolgen. 10 bis 15 Messpunkte pro Raum sind genügend.

■ Aus den Messergebnissen wird der Mittelwert gebildet und auf 50 Lux gerundet; eine genauere Angabe ist nicht zweckmässig.

■ Die gemessene Beleuchtungsstärke kann mit den entsprechenden Werten der Norm SIA 387/4 verglichen werden.

Blendung beurteilen

Für die Blendung gibt es gemäss der EN 12464 neben der Beleuchtungsstärke ebenfalls einzuhaltende Anforderungen. Diese zu messen, ist relativ aufwendig. Beim Beleuchtungscheck kann nur eine subjektive Beurteilung durchgeführt werden. Folgende Anhaltspunkte für erhöhte Blendung können beobachtet werden.

■ Kleine Leuchten mit geringer Leuchtfläche blenden stärker als Leuchten mit grosser Leuchtfläche.

■ Wenn der direkte Sichtkontakt in die Leuchte abgeschirmt ist, wird die Blendung reduziert.

■ Eine grosse Anzahl von Leuchten mit kleiner Leistung blenden weniger als wenige Leuchten mit hoher Leistung (z. B. in Turn- und andern Hallen wichtig)

Wichtig für die Beurteilung ist eine Betrachterposition, die der typischen Nutzung im Raum entspricht – wenn man auf den Boden liegt und senkrecht in die Leuchte schaut, blendet jede Leuchte!

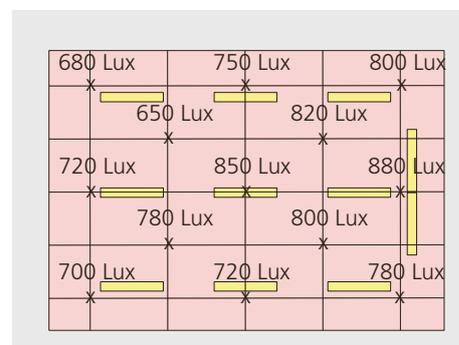


Abbildung 2.23 (links): Luxmeter zur Messung der Beleuchtungsstärke.

Abbildung 2.24 (rechts): Messraster für die Beleuchtungsstärke.

	Beleuchtungsstärke E			Gleichmässigkeit U_0
	E_{mittel}	E_{min}	E_{max}	$E_{\text{min}}/E_{\text{mittel}}$
Schulzimmer	750	650	850	0,88
Anforderung	500	–	–	mindestens 0,6

Tabelle 2.19: Anforderungen EN 12464 und SIA 387/4 an die Beleuchtungsstärke und Gleichmässigkeit.

Tageslichtnutzung beurteilen

Die Möglichkeit der Tageslichtnutzung – und die damit verbundene Einsparung bei der künstlichen Beleuchtung – hängt von zahlreichen Einflussfaktoren ab. In erster Näherung kann die Tageslichtnutzung auf der Basis von 5 Einflussfaktoren beurteilt werden. Das hier dargestellte Verfahren ist eine Vereinfachung des Beleuchtungsmodells nach SIA 387/4 und für Beleuchtung checks zweckmässig (Tabelle 2.20).

■ **Glas- zu Bodenfläche:** Verhältnis zwischen der Nettobodenfläche eines Raumes zur Nettoglasfläche der Fenster im Raum.

■ **Verschattung der Umgebung:** Steht das Gebäude im innerstädtischen Umfeld oder auf der freien Wiese – oder irgendwo dazwischen?

■ **Raumhelligkeit:** Helle Räume haben nebst weissen Wänden und Decken auch helle (und wenige) Möbel. Dunkle Räume weisen Wände in intensiven oder dunklen Farben, Sichtbeton oder Holz aus. Als «normal» kann alles dazwischen betrachtet werden.

■ **Art des Sonnenschutzes:** Der Behang kann aus aussenliegenden Storen bestehen (hell, mittel, dunkel) oder aussen- respektive innenliegenden Stoffmarkisen (hell, mittel, dunkel). Nicht immer ist ein Sonnenschutz zwingend nötig. Vor allem Räume gegen Norden oder Räume, bei denen das Direktlicht durch die Umgebung (Gebäude, Berge oder Bäume) teilweise abgeschirmt wird, können durchaus einen mittleren bis guten Sonnenschutz gewähren.

Einflussfaktor	Tageslichtwirkung		
	gut	mittel	gering oder keine
Fenster zu Bodenfläche	über 25 %	15 % bis 25 % X	unter 15 %
Verschattung durch Umgebung	freie Sicht	Sicht teilweise eingeschränkt X	innerstädtisch
Raumhelligkeit	hell	normal	dunkel X
Sonnenschutz Behang	helle Lamellen X	dunkle Lamellen oder helle Markisen	dunkle Markisen
Sonnenschutz Regelung	voll automatisiert, wetterabhängig	einfache Automatisierung X	manuell
Gesamtbewertung		X	

Tabelle 2.20:
Einfaches Beurteilungsraster für die Tageslichtnutzung.

Abbildung 2.25:
Sonnenschutz im Vergleich mit heller Lamelle (gut), Markise (mässige Wirkung) oder Rollo innen (ungünstig).
(Bilder: Schenker Storen AG, Stobag AG, JalouCity)



■ **Regelung des Sonnenschutzes:** Ist die Regelung des Sonnenschutzes voll automatisiert und wetterabhängig geregelt oder mit einfacher Regelung oder manuell (elektrisch oder mechanisch) bedienbar?

Eine einfache Gesamtbeurteilung kann mit Tabelle 2.20 durchgeführt werden. Die Mehrheit der zutreffenden Beurteilungen bestimmt den Gesamtwert.

Lichtregulierung prüfen

Die effektiven Volllaststunden einer Beleuchtung hängen von der individuellen Nutzung ab und sind daher von Projekt zu Projekt verschieden. Die Referenzwerte nach Norm SIA 387/4 basieren auf einem standardisierten Benutzerverhalten. Daraus lassen sich in Abhängigkeit von der Tageslichtsituation, der Art der Lichtsteuerung und der Nutzung vergleichbare Volllaststundenzahlen für den Projektwert ableiten. Dieser kann an den SIA-Grenz- und Zielwerten gemessen werden.

■ **SIA-Grenzwert:** Manuelle Steuerung von Tageslicht und Präsenz. Die Beleuchtung wird über Lichtschalter von Hand ein- und ausgeschaltet.

■ **SIA-Zielwert:** Präsenzregelung mit einer Nachlaufzeit von 5 Minuten und Tageslichtregelung durch Konstantlicht-Dimnung.

In der Praxis werden meistens kombinierte Tageslichtpräsenzsensoren eingesetzt, die das Licht in Abhängigkeit von Personen und Tageslicht ein- und ausschalten. Aktuell werden häufig sogenannte Passiv-Infrarot-Sensoren (PIR) eingesetzt (vergleiche Abbildung 2.26). Zunehmend kommen auch andere Sensortechniken zur Anwendung (z. B. Hochfrequenz oder Mikrowellen). Der typische Präsenzmelder hat 3 Einstellmöglichkeiten:

■ **Voll- oder halbautomatisch:** Bei vollautomatischem Betrieb wird die Beleuchtung ein- und ausgeschaltet (auto on-off); beim halbautomatischen Betrieb wird nur automatisch abgeschaltet, das Einschalten erfolgt von Hand (auto-off).

■ **Nachlaufzeit:** Zeitspanne zwischen der Detektierung von Personenabwesenheit und dem automatischen Abschalten der Beleuchtung.

■ **Beleuchtungsstärke:** Bei welcher gemessenen Lux-Zahl auf der Arbeitsfläche soll der Sensor ein Ein- bzw. Ausschaltsignal erhalten. Diese Messung (in einem kombinierten Tageslichtpräsenzsensoren) ist sehr ungenau, da die Platzierung der Sensoren meist auf Anwesenheitsmessung und nicht auf Tageslicht optimiert ist.

Tabelle 2.21 zeigt das Beurteilungsraster der Lichtregelung im Schulzimmer. Die

	Projektwert	SIA-Grenzwert	SIA-Zielwert
Präsenzregelung	Auto off	manuell	Auto-on-off
Nachlaufzeit	15 Minuten	–	5 Minuten
Tageslichtregelung	Auto off	manuell	Konstantlicht
Volllaststunden	750 h/a	1300 h/a	450 h/a
	Berechnung mit www.lighttool.ch	siehe Tabelle 2.15	siehe Tabelle 2.15

Tabelle 2.21: Beurteilungsraster für die Lichtregelung am Beispiel eines Schulzimmers.



Abbildung 2.26: Bauformen von Präsenzmeldern (meist in Kombination mit Tageslichtsensor).

Volllaststunden für die Grenz- und Zielwerte können der Tabelle 2.15 entnommen werden. Die Werte für den Objektwert können mit dem Onlinetool www.lighttool.ch berechnet werden.

Energiebilanz erstellen

Die ermittelten Werte eines typischen Schulraumes werden den Referenzwerten gegenübergestellt und eine Energiebilanz mit Einsparpotenzial erstellt (Tabelle 2.22).

■ **Spezifischer Energiebedarf:** Multiplikation der installierten Leistung mit der Volllaststundenzahl.

■ **Energiebedarf:** Multiplikation des spezifischen Energiebedarfs mit der Gesamtfläche des Gebäudes.

■ **Energieeinsparung:** Differenz zwischen Grenz- und Projektwert respektive Ziel- und Projektwert.

■ **Energiekosteneinsparung:** Energieeinsparung multipliziert mit dem Energiepreis (z. B. 20 Rp./kWh)

Für alle typischen Räume wird analog vorgegangen; danach lässt sich eine Gesamtbilanz und die Energieeinsparung für das Gebäude berechnen (Tabelle 2.23 und Tabelle 2.24).

Tabelle 2.22: Energieeinsparung in einem Schulzimmer im Vergleich zu Grenz- und Zielwert nach Norm SIA 387/4 (Beispiel).

Erfassungsschritt	Projektwert	Grenzwert	Zielwert
1. Typischer Raum	Schulzimmer: 72 m ²		
2. Installierte Leistung	16,4 W/m ²	11,0 W/m ²	7,2 W/m ²
3. Mittlere Beleuchtungsstärke	750 Lux	500 Lux	
4. Blendung	subjektiv i. O.	–	–
5. Tageslichtnutzung	mittel	mittel	gut
6. Lichtregelung + Volllaststunden	auto-off, 15 Min. 750 h/a	manuell 1300 h/a	auto-off, 5 Min. 450 h/a
Berechnung	Projektwert	Grenzwert	Zielwert
Spezifischer Energiebedarf	12,3 kWh/m ²	14,3 kWh/m ²	3,2 kWh/m ²
Gesamtfläche	alle Schulzimmer: 372 m ²		
Energiebedarf	4580 kWh/a	5320 kWh/a	1190 kWh/a
Energieeinsparung		–	–3390 kWh/a
Energiekosteneinsparung		–	ca. –680 Fr./a

Tabelle 2.23: Energiebilanz Beleuchtung für das ganze Gebäude.

Nutzung	Fläche (m ²)	Projektwert (kWh/a)	Grenzwert (kWh/a)	Zielwert (kWh/a)
Schulzimmer	372	12,3	14,3	3,2
Büro	120	15,0	17,5	2,8
Korridor	352	6,0	4,9	0,7
Übrige Räume	(80)	–	–	–
Total	844	10,1	10,8	2,1

Tabelle 2.24: Energieeinsparung in einem Gebäude als Vergleich von Projektwert und Grenz- und Zielwert nach Norm SIA 387/4.

Berechnung	Projektwert	Grenzwert	Zielwert
Energiebedarf	8500 kWh	9100 kWh	1800 kWh
Energieeinsparung		–	– 6700 kWh
Energiekosteneinsparung			– 1340 Fr.
Einsparung in 15 Jahren			–20 000 Fr.

2.10 Andere Gebäudelabel

Die Möglichkeiten, ein Gebäude durch ein Label zu qualifizieren, haben durch die grosse Auswahl stark zugenommen. Dabei spielt neben der Qualität auch das Marketing eine wichtige Rolle. Hauptkriterium ist bei vielen Labels der über die Flächen gemittelte Tageslichtquotient.

Dabei gibt es verschiedene Kriterien der Bewertung und auch Herangehensweisen, wie die Übersicht zeigt. Minergie-Eco berücksichtigt beispielsweise lediglich den Tageslichteintrag bezogen auf ein Gebäude, die Mobilität, wie das Gebäude erreicht werden kann, ist kein Kriterium. Somit dürfte in einer Stadt aufgrund des fehlenden Tageslichteintrags gar nicht mehr gebaut werden, trotz guter öffentlicher Erreichbarkeit.

Das Drei-Säulen-Prinzip (Ökologie, Ökonomie, soziokulturelle und funktionale Qualität)

Da die Schweiz als Mitglied von CEN vereinbart hat, EN-Normen als nationale Normen umzusetzen, müssen diese Normen berücksichtigt werden. Nicht zuletzt, weil sie im Streitfall von den Gerichten als «allgemein anerkannter Stand der Technik» herangezogen werden, auch wenn im Bauvertrag nichts vereinbart wurde.

Gebäudelabels und Standards hingegen sind freiwillig und verlangen je nach Ausprägung zusätzliche, über den Stand der Technik hinausreichende Massnahmen. Werden diese erfüllt, wird das Gebäude entsprechend ausgezeichnet. Ein gelabeltes Gebäude weist deshalb in der Regel einen höheren Standard auf als ein nicht gelabeltes Gebäude.

Beweggründe für einen Label-Antrag

- Attraktivität; Vermietbarkeit (Mieter, Firmen und Organisationen setzen ein Label voraus)
- Aufdecken von Nachhaltigkeitspotenzialen: Marktfähigkeit und Investitionssicherheit
- Strategiewerkzeug: Zielvorgaben, finanzielle Anreize, Vorbildfunktion, State of the Art
- Kommunikationsinstrument
- Bessere Hypothekar-Konditionen
- Höherer Wert der Immobilien bei geringer Mehrinvestition
- Geringere Betriebskosten
- Besseres Risikonmanagement
- Höhere Rendite
- Gesundere Wohn- und Arbeitsumgebung
- Vergleichbarkeit der Immobilien, wichtig z. B. bei Immobilienfonds

Damit zeigen sich wichtige Markteffekte:

■ «Gebäude mit einem Nachhaltigkeitszertifikat erzielen in den USA um rund 3 % höhere Mieten als herkömmlich errichtete Gebäude. Die Verkaufspreise für zertifizierte Objekte liegen um bis zu 16 % höher als für vergleichbare Gebäude.» (RICS)

■ Nach Einschätzung vieler Experten ist das Interesse an nachhaltigen Gebäuden deutlich gestiegen und wird weiter zunehmen.

■ W. Dorss (DGNB): «International agierende Unternehmen fragen zunehmend nachhaltige Mietflächen nach und sind bereit, dafür auch mehr zu zahlen.»

«Green Buildings» versus «nachhaltige Gebäude»

1. Generation: «Green Buildings»

■ Bewerten die «grüne Performance» (Fokus auf Umwelt und Energie)

Wirtschaft	Lebenszykluskosten; Betriebskonzept; Bauweise, Bauteile, Bausubstanz; Handelbarkeit; regionale Wertschöpfung
Umwelt	Primärenergiebedarf und Treibhausgasbilanz bei Erstellung, Betrieb, Mobilität; Abfallentsorgung und -wiederverwertung; Flora und Fauna; Versicherung und Retention
Gesellschaft	Städtebau und Architektur; Partizipation; hindernisfreies Bauen; Nutzungsflexibilität; Begegnungsräume (innen und aussen); subjektive Sicherheit, Wohlbefinden; Raumkomfort

*Tabelle 2.25:
Wichtige Kriterien
des nachhaltigen
Bauens.*

■ Gebäudezertifizierung basierend auf nur einer der drei Nachhaltigkeitssäulen (Umwelt).

Beispiele: Minergie, Geak, Gutes Innenraumklima

2. Generation: «nachhaltige Gebäude»

■ Umfasst ganzheitlich alle drei Säulen der Nachhaltigkeit (Wirtschaft, Umwelt, Gesellschaft) (Tabelle 2.25)

Beispiele: Breeam, Leed, DGNB, SNBS

Geak

Beim Gebäudeenergieausweis der Kantone (Geak) handelt es sich um ein schweizweit einheitliches Bewertungssystem, das Auskunft darüber gibt, wie effizient die Gebäudehülle und wie hoch der Gesamtenergiebedarf ist. Dabei wird eine Standardnutzung nach SIA vorausgesetzt. Der ermittelte Energiebedarf wird in Klas-

sen anhand der Energieetikette angezeigt. Die Einteilung geht von A bis G, wobei A für sehr energieeffizient und G für wenig energieeffizient steht. Die einheitliche Berechnungsmethodik ermöglicht einen Vergleich von Gebäuden. Der Geak dient so als zusätzliches Instrument für Miet- oder Kaufentscheidungen. Die Beurteilung erfolgt durch zertifizierte Geak-Experten.

Gutes Innenraumklima

«Gutes Innenraumklima» ist ein von einem privaten Büro lanciertes Label, das die Innenraumluftqualität von Neubauten oder sanierten Bestandsgebäuden bewertet. Zu diesem Zweck definiert es Anforderungen an das Innenraumklima, zugelassene Prüfstellen sowie die Organisation und die Durchführung der Raumluftmessungen.

Geak				
Energie				
Bewertungskategorien	Zertifizierungslevels	Mindestanforderungen	Zertifizierungsstrategie	Dachorganisation
Energie	Zertifiziert	Keine	Vorgegeben	Konferenz Kantonaler Energiedirektoren (EnDK), www.geak.ch

Gutes Innenraumklima				
Innenraumluftqualität				
Bewertungskategorien	Zertifizierungslevels	Mindestanforderungen	Zertifizierungsstrategie	Dachorganisation
Schadstoffbelastung im Innenraum	Zertifiziert	Keine	Vorgegeben	Bau und Umweltchemie AG, www.raumlufthygiene.ch

Breeam 2016 (Building Research Establishment Environmental Research Method)				
z. B. Systemvariante New Construction International				
Bewertungskategorien	Zertifizierungslevels	Mindestanforderungen	Zertifizierungsstrategie	Dachorganisation
<ul style="list-style-type: none"> • Energy • Health and Wellbeing • Innovation • Land Use • Materials • Management • Pollution • Transport • Waste • Water 	<ul style="list-style-type: none"> • Pass • Good • Very Good • Excellent • Outstanding 	Vorhanden	Innerhalb definierter Grenzen individuell wählbar	Building Research Establishment (BRE), www.breeam.com

Breeam

Die ursprünglich britische Building Research Establishment Environmental Assessment Method (Breeam) ist das weltweit erste Nachhaltigkeitszertifizierungssystem für Gebäude. Das System wird momentan in weltweit 77 Ländern angewandt und besitzt in Europa einen Marktanteil von 80 %. Es lässt sich auf die lokalen Klimabedingungen des Gebäudestandorts anpassen.

Leed

Leadership in Energy and Environmental Design (Leed) ist ein ursprünglich in den USA entwickelter, international anerkannter Green-Building-Standard, der nach eigenen Aussagen eine hochwertige, ökologische Bauweise für gesündere, umweltfreundlichere und profitablere Gebäude definiert. Wie Breeam ist Leed ein holistisches Zertifizierungssystem und basiert auf dem Triple-Bottom-Line-Framework der Nachhaltigkeit. Das Leed-Kernsystem wurde ab 1993 vom U.S. Green Building Council entwickelt. Ziele von Leed:

- Die Etablierung eines allgemeinen Green-Building-Standards

- Förderung eines integralen, ganzheitlichen Planungsansatzes
- Anerkennung umweltorientierter Werte innerhalb der Bauindustrie
- Anregung eines ökologisch orientierten Wettbewerbs
- Verbrauchersensibilisierung für die Vorteile des nachhaltigen Bauens
- Transformation des klassischen Baugewerbes

SNBS (Standard Nachhaltiges Bauen Schweiz)

Der SNBS wird vom Netzwerk Nachhaltiges Bauen Schweiz (NNBS) getragen. Der Standard bildet ein allgemein anerkanntes Verständnis des nachhaltigen Bauens in der Schweiz ab. Der Standard selbst steht als Instrument für eigene Bewertungen zur Verfügung. Mit der Version 2.0 ist ein Zertifizierungssystem hinzugekommen.

Der SNBS orientiert sich an der bundesrätlichen Strategie zur nachhaltigen Entwicklung der Schweiz. Er berücksichtigt bewährte Instrumente und Hilfsmittel wie SIA 112/1 «Nachhaltiges Bauen – Hochbau», die Konzepte von Minergie und eco-bau, aber auch neue und innovative Instrumente. So werden zum Beispiel im Be-

Leed v4 (Leadership in Energy and Environmental Design)				
z. B. Systemvariante New Construction & Major Renovation				
Bewertungskategorien	Zertifizierungslevels	Mindestanforderungen	Zertifizierungsstrategie	Dachorganisation
<ul style="list-style-type: none"> • Integrative Process • Location and Transport • Sustainable Sites • Water Efficiency • Energy and Atmosphere • Materials and Resources • Indoor Environmental Quality • Innovation • Regional Priority 	<ul style="list-style-type: none"> • Certified • Silver • Gold • Platinum 	Vorhanden	Innerhalb definierter Grenzen individuell wählbar	U.S. Green Building Council (USGBC), www.usgbc.org

SNBS (Standard Nachhaltiges Bauen Schweiz)				
z. B. Systemvariante Verwaltung				
Bewertungskategorien	Zertifizierungslevels	Mindestanforderungen	Zertifizierungsstrategie	Dachorganisation
<ul style="list-style-type: none"> • Gesellschaft • Wirtschaft • Umwelt 	Notensystem 1–6	Keine	Innerhalb definierter Grenzen individuell wählbar	Netzwerk Nachhaltiges Bauen Schweiz (NNBS) www.nnbs.ch

reich Umwelt bestehende Kernelemente von Minergie respektive Minergie-Eco hinsichtlich Bauökologie und Energieeffizienz übernommen und durch Kriterien zu Klima, Natur und Landschaft, Biodiversität und Mobilität erweitert.

- Ganzheitliche, aber auf die wesentlichen Punkte fokussierte Bewertung des nachhaltigen Bauens
- Einbezug der schweizerischen Planungs- und Baukultur
- Integration von bewährten Instrumenten und Labels der Schweiz
- An den Planungsprozess angepasster Aufwand für die objektspezifische Anwendung.

DGNB Swiss (Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen (Schweiz))

Das Nachhaltigkeitskonzept des DGNB-Systems verfolgt einen holistischen Zertifizierungsansatz und umfasst die sechs Themenfelder ökologische Qualität, ökonomische Qualität, soziokulturelle und funktio-

nale Qualität, technische Qualität, Prozess- und Standortqualität. Die Schweizer Variante wurde durch die DGNB Swiss adaptiert. Sie gewährleistet eine Übereinstimmung mit Normen und Merkblättern des SIA, eco-bau, 2000-Watt-Gesellschaft sowie weiteren Schweizer Instrumenten des nachhaltigen Bauens.

Die Bewertungen basieren auf dem gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes. Das DGNB-System bewertet nicht hauptsächlich einzelne Massnahmen, sondern die Gesamtpformance eines Gebäudes bzw. Stadtquartiers. Für die je nach Systemvariante ungefähr 50 Kriterien werden bis zu 10 Bewertungspunkte vergeben. Je nach Bewertung wird das DGNB-Zertifikat in Bronze (nur für Bestandsbauten), Silber, Gold oder Platin vergeben. Es können Neubauten und auch bestehende Bauten bewertet werden. Der Standort wird separat ebenfalls bewertet, hat aber auf die Labelvergabe keinen Einfluss.

DGNB v2015 (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen)

z. B. Systemvariante Büro- und Verwaltungsbauten

Bewertungskategorien	Zertifizierungslevels	Mindestanforderungen	Zertifizierungsstrategie	Dachorganisation
<ul style="list-style-type: none"> • Ökologische Qualität • Ökonomische Qualität • Soziokulturelle und funktionale Qualität • Technische Qualität • Prozessqualität • Standortqualität 	<ul style="list-style-type: none"> • Bronze • Silber • Gold • Platin 	Vorhanden	Innerhalb definierter Grenzen individuell wählbar	Schweizer Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft (SGNI), www.sgni.ch

Tabelle 2.26: Kriterien der Systeme im Vergleich.

System	Betriebsenergie	Graue Energie	Komfort/Innenraumklima	Materialisierung	Kosten/Wirtschaftl.	Gesellschaft/Soziales	Mobilität	Umgebung
Minergie	abgedeckt	nicht abgedeckt	teilweise abgedeckt	nicht abgedeckt	nicht abgedeckt	nicht abgedeckt	nicht abgedeckt	nicht abgedeckt
Minergie-P	abgedeckt	nicht abgedeckt	teilweise abgedeckt	nicht abgedeckt	nicht abgedeckt	nicht abgedeckt	nicht abgedeckt	nicht abgedeckt
Minergie-A	abgedeckt	abgedeckt	teilweise abgedeckt	nicht abgedeckt	nicht abgedeckt	nicht abgedeckt	nicht abgedeckt	nicht abgedeckt
Minergie (-P/-A) Eco	abgedeckt	abgedeckt	teilweise abgedeckt	abgedeckt	nicht abgedeckt	nicht abgedeckt	nicht abgedeckt	nicht abgedeckt
Geak	abgedeckt	nicht abgedeckt	nicht abgedeckt	nicht abgedeckt	nicht abgedeckt	nicht abgedeckt	nicht abgedeckt	nicht abgedeckt
Gutes Innenraumklima	nicht abgedeckt	nicht abgedeckt	abgedeckt	teilweise abgedeckt	nicht abgedeckt	nicht abgedeckt	nicht abgedeckt	nicht abgedeckt
Breeam NC Int. 2016	abgedeckt	abgedeckt	abgedeckt	abgedeckt	abgedeckt	abgedeckt	abgedeckt	abgedeckt
Leed NC v4	abgedeckt	abgedeckt	abgedeckt	abgedeckt	abgedeckt	abgedeckt	abgedeckt	abgedeckt
DGNB NBV2015	abgedeckt	abgedeckt	abgedeckt	abgedeckt	abgedeckt	abgedeckt	abgedeckt	abgedeckt
SNBS B/V	abgedeckt	abgedeckt	abgedeckt	abgedeckt	abgedeckt	abgedeckt	abgedeckt	abgedeckt

■ abgedeckt ■ teilweise abgedeckt ■ nicht abgedeckt

Lampen

3.1 Typologie der Lampen

Es gibt grundsätzlich drei verschiedene Methoden, um Licht für Leuchtmittel zu erzeugen: Temperaturstrahler, Entladungslampen und Leuchtdioden (LED). Jede der über 1000 verschiedenen am Markt erhältlichen Lampentypen lässt sich einer der drei Technologien zuordnen.

■ **Temperaturstrahler:** Ein Draht wird zum Glühen gebracht. Als Nebenwirkung der Hitze entsteht sichtbares Licht. Die zwei Hauptvertreter dieser Kategorie sind die Glühlampe und die Halogenlampe (eigentlich Halogenglühlampe). Auch die Kerze, die Gaslampe und die Sonne sind Temperaturstrahler.

■ **Entladungslampe:** Zwischen zwei Polen werden hintereinander schnelle Entladungen (Blitze) ausgelöst. Die Entladungslampe funktioniert nach dem Prinzip eines kontrollierten Gewitters. Bei den Entladungslampen unterscheidet man zwei Un-

terkategorien: Bei Leuchtstofflampen sind die «Blitze» ultraviolett und werden durch ein mit Leuchtstoffen beschichtetes Glas in sichtbares Licht umgewandelt. Sparlampen und Leuchtstoffröhren gehören dazu. Halogenmetалldampflampen und Natriumdampflampen (orange Strassenlampen) benötigen keine Leuchtstoffumwandlung. Entladungslampen sind 3- bis 10-mal effizienter als Temperaturstrahler.

■ **Leuchtdioden sind lichtemittierende elektronische Halbleiter-Elemente.** Sofern durch eine Leuchtdiode Strom in Durchlassrichtung fließt, strahlt sie Licht mit einer vom Halbleiterelement abhängigen Wellenlänge ab. Der Prozess entspricht jenem der Solarzellen, allerdings in umgekehrter Richtung. LED steht für light-emitting diode. LED-Lampen vereinen die Vorteile der Temperaturstrahler und diejenigen der Entladungslampen und weisen vergleichsweise wenige Nachteile auf.

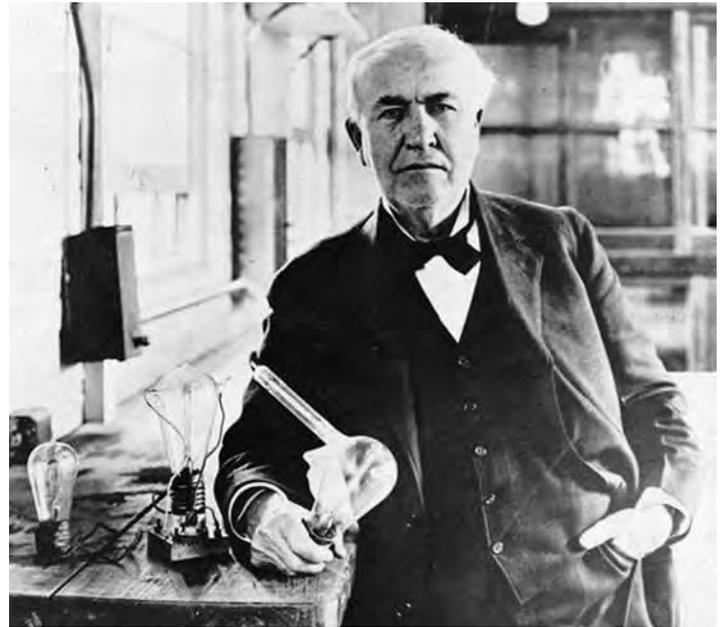
Kriterium	Glühlampe	Halogenlampe	Sparlampe	LED-Lampe
				
Energieeffizienz	10 bis 15 lm/W	15 bis 20 lm/W	40 bis 60 lm/W	80 bis 160 lm/W
Lebensdauer	1000 h	2000 h	6000 bis 15 000 h	15 000 bis 50 000 h
Zahl der Schaltzyklen	unbeschränkt	unbeschränkt	3000 bis 500 000	20 000 bis 1 Mio.
Anlaufzeit	sofort	sofort	20 s bis 180 s	sofort
Dimmbarkeit	ja	ja	wenige Modelle	viele Modelle
Farbwiedergabe CRI	100	100	80	50 bis 95
Oberflächentemperatur	über 200 °C	über 200 °C	bis 50 °C	bis 40 °C
Leistungsfaktor	1	1	0,5	0,3 bis 0,9
Entsorgung	Hausmüll	Hausmüll	Sondermüll	Elektroschrott
Anschaffungspreis	ca. 2 Fr.	ca. 4 Fr.	ca. 10 Fr.	ca. 5 bis 10 Fr.
Betriebsenergie (1000 lm, 10 000 Std.)	750 kWh 150 Fr.	600 kWh 120 Fr.	150 kWh 30 Fr.	75 kWh 15 Fr.
Herstellungenergie	1 kWh	2 kWh bis 3 kWh	2 kWh bis 3 kWh	2 kWh bis 3 kWh
Leistungsbereich	15 W bis 150 W	10 W bis 120 W	3 W bis 25 W	1 W bis 12 W
Wirkungsgrad Strom zu Licht	ca. 5 %	ca. 7 %	20 % bis 30 %	40 % bis 50 %
Verfügbarkeit	verboten	teilweise verboten	kaum mehr erhältlich	In 90 % der Fälle 1. Wahl

*Tabelle 3.1:
Von der Glühlampe
zur Retrofit-LED-
Lampe.*

Glühlampen und ihre Alternativen

In den letzten Jahren wurden die Glühlampen (vollständig) und später die Halogen-glühlampen (weitgehend) verboten und dem Handel entzogen. Sparlampen sind zum Teil noch erhältlich, wegen ihrer Nachteile gegenüber LED-Lampen aber kaum noch im Sortiment der Lampenanbieter. Für den Ersatz von Glühlampen, Halogenlampen oder Sparlampen gibt es also im Prinzip nur noch die Variante LED. In Tabelle 3.1 sind Kennwerte der vier Lampentechnologien zusammengestellt.

Abbildung 3.1:
Thomas Alva Edison
in seinem Lichtlabor
(ca. 1880).



3.2 Temperaturstrahler

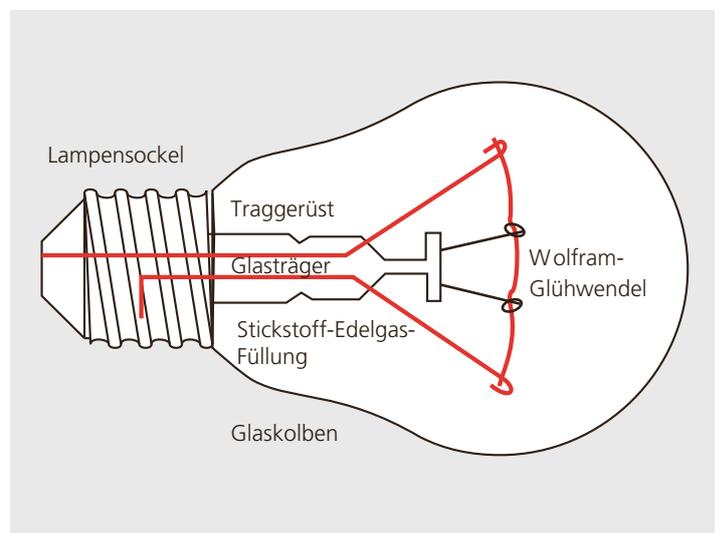
Glühlampen

Die wohl wichtigste Erfindung von Thomas Alva Edison (1847 bis 1931) war die Glühlampe (Kohlenfadenlampe) im Jahre 1879. Das Basispatent zur Lampe von Thomas Edison, Nr. 223.898 «Electric Lamp», wurde am 27. Januar 1880 ausgestellt. Vor Edison hatten sich zwar schon andere Erfinder mit der Herstellung von Glühlampen beschäftigt: Heinrich Göbel war es bereits in den 1850er-Jahren gelungen, die erste Glühlampe mit Kohleglühfaden herzustellen, ohne jedoch ein Patent anzumelden. Erst Edison hat es fertig gebracht, eine dauerhaft funktionstüchtige Glühlampe zu konstruieren, die mit der Gaslampe wettbewerbsfähig war. Die Vorteile gegenüber der Gaslampe waren die Flacker- und Geruchsfreiheit, die geringere Wärmeabgabe und das einfachere Ein- und Ausschalten. Die ersten Glühlampen brannten nur gerade 40 Stunden, aber bereits drei Jahre später ist es gelungen, Lampen herzustellen, die 1000 Stunden brannten. 1892 fusionierte Edison seine eigene Firma «Edison General Electric Company» mit der «Thomson Houston Company» zur «General Electric Company (GE)» – GE war Jahrzehnte lang neben Osram und Philips eine der drei dominierenden Lampenfirmen der Welt. Thomas Alva Edison gilt als Vater der Glühbirne. Nach seinem Namen werden heute noch die Sockel der Lampen benannt: Edison-Gewinde E14, E27 usw.

Abbildung 3.2:
Hinweisschilder im
New Yorker Hotel
del Coronado, 1888.



Abbildung 3.3:
Aufbau einer Glüh-
lampe.



Edisons Vermächtnis

Im Jahr 1888 wurde das neue Hotel del Coronado westlich von New York City mit elektrischer Beleuchtung ausgerüstet. Edison soll die Verkabelung des Hotels persönlich überwacht haben. Die Idee der elektrischen Beleuchtung war so unglaublich, dass in jedem Raum ein Schild neben den Gaslampen montiert wurde (Abbildung 3.2): «Dieser Raum ist mit elektrischem Licht von Edison ausgestattet. Versuchen Sie nicht, es mit einem Streichholz anzuzünden. Drehen Sie einfach den Schalter an der Wand bei der Tür. Die Verwendung von Elektrizität für die Beleuchtung ist nicht gesundheitsschädlich und führt zu keinen Schlafstörungen.»

Funktionsprinzip: Der aus einem gewendelten Wolframdraht bestehende Leuchtkörper sitzt mit seiner Halterung in einem gasdichten, in der Regel mit einem chemisch inaktiven Gas (meist Stickstoff-Argon-Gemisch) gefüllten Glaskolben. Ein Schraubsockel mit Nenndurchmessern von 14 mm oder 27 mm ermöglicht einen elektrischen Kontakt und die mechanische Befestigung des Glaskolbens in der Fassung. Der Wolframdraht wird durch «Kurzschluss» auf eine Temperatur von knapp 2000 °C erhitzt; dies entspricht einer Farbtemperatur von 2700 Kelvin (K). Nach rund 1000 Betriebsstunden schmilzt der Draht. Sinkt die elektrische Spannung unter 230 Volt (z. B. im Dimmbetrieb), nimmt die Lebensdauer zu – bei 200 Volt beträgt sie bereits 2000 Stunden, allerdings gibt die Glühlampe auch nur noch 60 % der vollen Lichtstärke ab. Bei Überspannung nimmt die Lebensdauer stark ab.

Halogenlampen

Die Halogenlampe heisst korrekterweise Halogenleuchtstofflampe und ist eine Weiterentwicklung der Glühlampe und somit ein Temperaturstrahler. Sie ist sehr kompakt gebaut und hat deshalb sehr hohe Glas- und Wendeltemperaturen. Die Gase (Halogene) im Innern des Brenners bewirken, dass die Wendel stärker als bei Glühlampen erhitzt werden kann, weshalb auch Lichtausbeute und Farbtemperatur höher sind. Halogenlampen bedingen hitzefeste

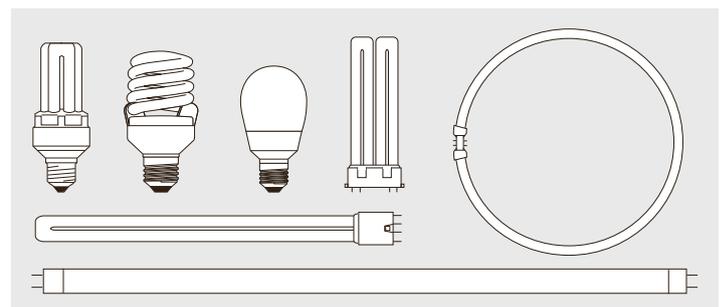
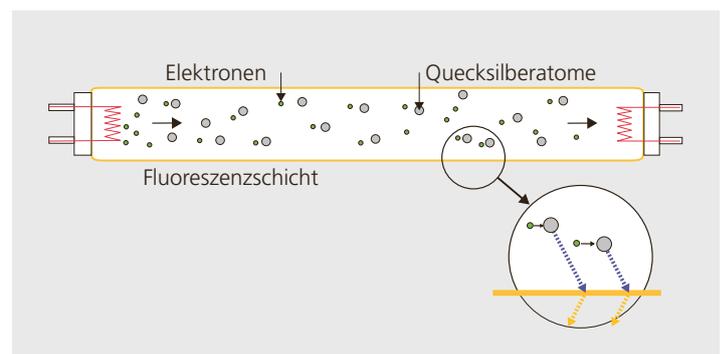
Fassungen und einen Quarzglaskolben. Die Effizienz der Halogenlampen ist höher, wenn der Glaskolben Infrarot reflektierend beschichtet ist. Die Wärmestrahlung wird dadurch auf die Wolframwendel reflektiert und erhitzt, sodass weniger elektrische Energie für die Erhitzung erforderlich ist. Das sichtbare Licht kann diese Infrarotbeschichtung ohne Verluste passieren, vergleichbar mit der Wärmeschutzbeschichtung bei Fenstergläsern. Halogenlampen haben dieselben Vor- und Nachteile wie Glühlampen.

3.3 Leuchtstofflampen

Die Leuchtstofflampen wurden in den 1930er-Jahren entwickelt, aber in Europa erst nach dem zweiten Weltkrieg in nennenswerten Stückzahlen hergestellt. Obwohl sich ihre Grundkonstruktion seitdem kaum geändert hat, haben sich ihre Eigenschaften in der Zwischenzeit wesentlich verbessert: Die Lichtausbeute beträgt bis 100 lm/W, die Lebensdauer rund 10 000 Stunden. Diese Entwicklung zu besseren Lampen war durch neue Leuchtstoffe und eine modifizierte Lampengeometrie möglich. Ab 1980 kamen Leuchtstofflampen mit sehr guten Farbwiedergabeeigenschaften (R_a 80 oder gar R_a 90) sowie Kompaktleuchtstofflampen auf den Markt.

Abbildung 3.4: Funktionsprinzip der Leuchtstofflampe.

Abbildung 3.5: Typische Leuchtstofflampen.



Einige Jahre später verbesserten elektronische Vorschaltgeräte (EVG) die Lichtqualität sowie die Lichtausbeute der Leuchtstofflampen. Die Auswahl an Kompaktlampen wurde immer grösser. Seit dem Jahr 2000 gibt es eine neue Generation von Leuchtstofflampen mit kleineren Massen (Durchmesser 16 mm), die speziell für den EVG-Betrieb ausgelegt sind und deshalb Wirkungsgrade von über 100 lm/W sowie kompaktere Leuchten mit präziser Lichtlenkung ermöglichen.

Funktionsprinzip: In einem mit Quecksilberdampf gefüllten Glasrohr werden bei Stromdurchgang die Atome durch Elektronenstöße angeregt, die dadurch UV-Strahlen aussenden. Diese Strahlung trifft an der Rohrwand auf eine Leuchtstoffschicht. Der Leuchtstoff absorbiert die UV-Strahlung und wandelt sie in sichtbare Strahlung um. Die spektrale Zusammensetzung des Lichts, also Lichtfarbe und Farbwiedergabe, hängt von der Zusammensetzung des Leuchtstoffes ab und ist somit variabel. In der Schweiz wird die Leuchtstofflampe häufig Fluoreszenzlampe genannt. Die Bezeichnung «Neonröhre» für diese Lampe ist jedoch falsch; Leuchtstoffröhren enthalten kein Neon.

Jede Leuchtstofflampe benötigt ein Vorschaltgerät, das die Lampe startet und den Lampenstrom überwacht. Bis ca. 1985 existierten nur schwere konventionelle Vorschaltgeräte (KVG) mit separatem Starter. Heute werden meist elektronische Vorschaltgeräte (EVG) verwendet; dank der höherfrequenten Taktung (rund 50 000 Entladungen pro Sekunde) flimmert eine neue Leuchtstofflampe nicht und der Lichtkomfort ist besser. Auch die Verluste sind bei elektronischen Vorschaltgeräten geringer als bei konventionellen Geräten. Drei Typen von Leuchtstofflampen sind besonders gebräuchlich: Leuchtstoffröhren, Kompaktleuchtstofflampen («zusammengefaltete Röhre») und Sparlampen (Kompaktleuchtstofflampen mit Schraubsockel und integriertem Vorschaltgerät). Von allen drei Typen gibt es zahlreiche verschiedene Bauformen.

Anwendungen: Die Leuchtstofflampen wurden als eigentliche Standardleuchtmit-

tel in den meisten Nichtwohnungsbauten (Büros, Schulen, Verkauf, Spitäler, Infrastrukturbauten, Fabriken) eingesetzt; sie sind 5- bis 10-mal effizienter als Temperaturstrahler und weisen Energieeffizienzwerte zwischen 50 und 100 lm/W aus. Wegen ihres diffusen Lichts sind sie als Akzentbeleuchtung nicht geeignet. In der Schweiz sind heute noch etwa 80 Millionen Leuchtstofflampen in Betrieb; diese machen 70 % aller Lampen aus.

3.4 Entladungslampen (Halogenmetaldampflampe)

Die Hochdruckentladungslampe wird heute noch für Laden- und Hallenbeleuchtung eingesetzt. Das Leuchtmedium zeichnet sich durch Kompaktheit, gute Richtbarkeit und gute Farbwiedergabe aus. Die fast punktförmige Lichtquelle erzeugt ein sehr brillantes Licht und wird auch in Autos eingesetzt. Durch den Einsatz von Keramikkolben ergibt sich eine lange Lebensdauer. Die Halogenmetaldampflampe ist nicht zu verwechseln mit der üblichen Halogenlampe, denn sie ist kein Temperaturstrahler, sondern eine Entladungslampe mit hohem Lampenwirkungsgrad. Nachteile dieser Leuchtmedium sind der hohe Preis sowie das Startverhalten. Die Lampe hat eine Startzeit von ca. 5 bis 10 Minuten. Die Hochdrucklampe wird häufig in Strahlern mit gebündeltem Licht eingesetzt. Dies ist möglich, weil die Hochdrucklampe einen sehr kleinen Brenner (Entladungsgefäss) und somit einen sehr kurzen, intensiven Lichtbogen hat. Durch die Kompaktheit dieses Leuchtmittels muss die direkte Einsicht unbedingt verhindert werden (Blendung). Für den Betrieb ist wie bei allen Entladungslampen ein Vorschaltgerät erforderlich.



*Abbildung 3.6:
Halogenmetall-
dampflampe 35 Watt,
3300 Lumen (Länge:
ca. 10 cm)*

Lampentyp	Leistung (W)	Lichtstrom (lm)	Systemleistung (W)	Lichtausbeute (lm/W)	Länge (mm)	Sockel
Röhre Typ T16 (Durchmesser 16 mm)	14	1350	17	79	549	G5
	21	2100	24	88	849	G5
	28	2900	32	91	1149	G5
	35	3650	39	94	1449	G5
	24	2000	26	77	549	G5
	39	3500	43	81	849	G5
	49	4900	55	89	1449	G5
	54	5000	60	83	1149	G5
	80	7000	88	80	1449	G5
Röhren Typ T26 (Durchmesser 26 mm)	18	1350	19	71	590	G8
	36	3350	36	93	1200	G8
	58	5200	55	95	1500	G8
Ringlampe Typ TC-C	22	1800	26	69	225	2GX13
	40	3200	45	71	299	2GX13
	55	4200	61	69	299	2GX13
Kompaktlampe 3-fach gefaltet Typ TC-T	13	900	14	64	90	GX24q-1
	18	1200	19	63	100	GX24q-2
	26	1800	27	67	115	GX24q-3
	32	2400	36	67	131	GX24q-3
	42	3200	47	68	152	GX24q-4
	57	4300	63	68	195	GX24q-5
	70	5200	76	68	235	GX24q-6
Kompaktlampe 2-fach gefaltet Typ TC-D	10	600	12	50	87	G24q-1
	13	900	14	64	115	G24q-1
	18	1200	18	67	130	G24q-2
	26	1800	27	67	149	G24q-3
Kompaktlampe 1-fach gefaltet Typ TC-L	7	400	9	44	114	2G7
	9	600	12	50	144	2G7
	11	900	14	64	214	2G7
	18	1200	19	63	217	2G11
	24	1800	27	67	317	2G11
	36	2900	39	74	411	2G11
	40	3500	45	78	533	2G11
	55	4800	61	79	533	2G11
	80	6500	86	76	565	2G11
	16	1600	18	89	317	2GX11
	22	2200	25	88	411	2GX11
	26	2600	29	90	533	2GX11
	28	2800	31	90	565	2GX11
Kompaktlampe 2-mal 1-fach gefaltet Typ TC-F	18	1100	19	58	122	2G10
	24	1700	27	63	165	2G10
	36	2800	39	72	217	2G10
Sparlampen	5	270	5	54	ca. 100	E14/E27
	7	380	7	54	ca. 110	E14/E27
	11	640	11	58	ca. 120	E14/E27
	14	820	14	59	ca. 130	E27
	18	1140	18	63	ca. 150	E27
	22	1440	22	65	ca. 180	E27

*Tabelle 3.2:
Die häufigsten
Leuchtstofflampen
im Überblick.*

3.5 Messen von Lampen

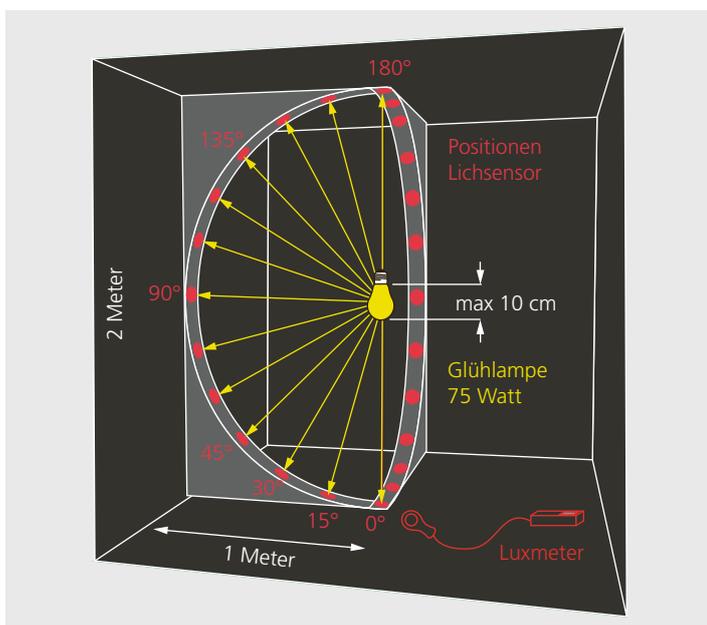
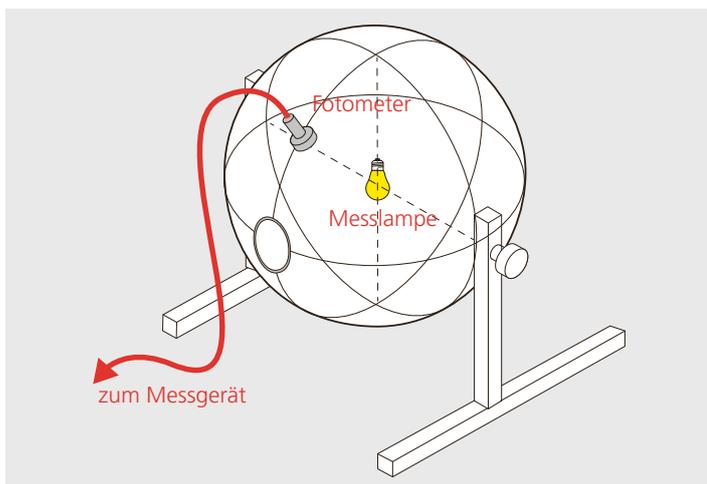
Der Lichtstrom eines Leuchtmittels lässt sich mittels der Ulbricht'schen Kugel messen. Ein Fotogoniometer misst neben dem Lichtstrom zudem die Lichtverteilung.

Ulbrichtkugel

Friedrich Richard Ulbricht aus Dresden erfand um 1900 die nach ihm benannte Kugel. Es handelt sich dabei um eine innen mattweiss gestrichene Hohlkugel mit einem Durchmesser von 1 bis 3 Metern, die zur Bestimmung des Gesamtlichtstroms einer in der Mitte aufgehängten Lichtquelle dient. Das von der Lichtquelle abgegebene Licht wird an der Kugeloberfläche mehrfach reflektiert, sodass die gestreute Strahlung nahezu ideal diffus ist. In der

Abbildung 3.7: Ulbricht'sche Kugel.

Abbildung 3.8: Einfacher Aufbau eines Goniometers zur Lampenmessung.



Kugeloberfläche befindet sich eine kleine Öffnung, in die eine Milchglasscheibe eingesetzt ist. Die Leuchtdichte auf diesem Scheibenelement ist proportional dem Gesamtlichtstrom. Mit einem Lichtsensor lässt sich die Leuchtdichte bestimmen.

Da mit der Ulbricht'schen Kugel nur Gesamtlichtströme von Lichtquellen gemessen werden können und nicht die Lichtstärke in die unterschiedlichen Abstrahlrichtungen, wird statt der Kugel häufig ein Fotogoniometer verwendet.

Fotogoniometer

Im Fotogoniometer wird die Lichtstärke einer Lichtquelle in alle Abstrahlrichtungen gemessen. Die Summierung der einzelnen Lichtstärken über den ganzen Raum ergibt die Lichtmenge. Zur Messung umkreist ein Lichtsensor die Lichtquelle nach einem vorgegebenen Winkelraster und liefert – je nach Messauflösung – bis zu 1752 Messpunkte und damit Werte von Lichtstärken. Aus den Messwerten lässt sich die räumliche Lichtverteilungskurve der Lichtquelle aufzeichnen; in der Praxis werden ein Längsschnitt und ein Querschnitt der Lichtverteilung dargestellt. Um hohe Messgenauigkeiten erreichen zu können, müssen strikte Anforderungen erfüllt sein:

- Der Raum ist weitgehend schwarz und nicht reflektierend.
- Die Raumlufttemperatur liegt mit kleiner Abweichung bei konstant 25°C.
- Die Lampe oder Leuchte darf vertikal, aber nicht horizontal gedreht werden.
- Die Distanz zwischen Lichtquelle und Sensor muss mindestens 10-mal grösser sein als die maximale Ausdehnung der leuchtenden Fläche der Lichtquelle. Für die Messung grösserer und asymmetrisch strahlender Lichtquellen (z. B. Leuchten mit Leuchtstoffröhren) führt die Distanzanforderung zu sehr grossen Messräumen, in denen die Einhaltung der übrigen Bedingungen sehr anspruchsvoll ist. Seit einigen Jahren kann dank hochpräziser Lichtsensoren und Computertechnik die Distanzanforderung gemildert werden. Mit einem Nahfeldgoniometer lässt sich die Messung in einem relativ kleinen Raum durchführen.

Konstruktion und Anwendung eines einfachen Goniometers

Wenn man kleine Lichtquellen (Lichtkörper weniger als 10 cm) mit vertretbarer Genauigkeit auf einfache Art und Weise ausmessen möchte, kann der in Abbildung 3.8 gezeigte Messaufbau, der einem Mini-Goniometer entspricht, verwendet werden.

■ Benötigt wird ein verdunkelter, nicht reflektierender Raum (mindestens 2 m auf 2 m auf 2 m).

■ Fertigung eines Halbbogens (oder 2, je einer für die Längs- und Quermessung) mit einem Radius von 1 Meter (analog eines halben Loopings einer Spielzeugautorennbahn) und vertikale Montage des Bogens.

■ Montageeinrichtung für Lampe in der Mitte des «Loopings». Möglichst keine Verschattung des Lichtstroms durch die Befestigung!

■ Elektrischer Anschluss für die Lampe

■ Befestigungspunkte für Luxmeter-Sensor mit 15° Winkelabstand. Wichtig: Die Befestigungspunkte müssen genau im rechten Winkel zum Zentrum der Lampe angebracht sein.

■ Bei einer Messdistanz zwischen Lichtquelle und Lichtsensor von 1 Meter entspricht die Lichtstärke in Candela (cd) der Beleuchtungsstärke in Lux (lx).

Messung in 6 Schritten

1. Messung der Beleuchtungsstärken an jedem der festgelegten Messpunkte, in der Abbildung total 13, mit einem Winkelabstand von 15°.

2. Drehung der Lichtquelle oder des Goniometers um 90° an der vertikalen Achse und Messung der Beleuchtungsstärken für alle 15°-Winkel in Querrichtung.

3. Mittelwertbildung der Messwerte von Längs- und Querrichtung

4. Mittelwertbildung der Luxwerte für die 12 Zwischenwinkel, also zwischen 0 und 15° → 7,5°, zwischen 15° und 30° → 22,5° etc. bis 172,5°

5. Für jeden Zwischenwinkel: Berechnung des beleuchteten Oberflächenteils der Kugel. $2\pi \cdot [\cos(\alpha_1 / 180 \cdot \pi) - \cos(\alpha_2 / 180 \cdot \pi)]$. π = Kreiszahl = 3,1416, z. B. für 7,5°:

Fläche = $2 \cdot 3,14 [\cos(165/180 \cdot 3,14) - \cos(180/180 \cdot 3,14)] = 0,21 \text{ m}^2$.

Schritt Winkel	Messwerte			Berechnung		
	1 Beleuchtungsstärke quer (lx)	2 Beleuchtungsstärke längs (lx)	3 Mittelwert (lx)	4 Winkelkorrigierter Mittelwert (lx)	5 beleuchtete Fläche (m ²)	6 Lichtstrom (lm)
0°	0	0	0	28	0,21	6
15°	55	57	56	62	0,63	39
30°	66	70	68	75	1,00	75
45°	83	81	82	83	1,30	107
60°	83	83	83	81	1,52	122
75°	79	77	78	77	1,63	124
90°	75	75	75	77	1,63	124
105°	77	79	78	81	1,52	122
120°	83	83	83	85	1,30	111
135°	86	88	87	88	1,00	88
150°	87	91	89	89	0,63	56
165°	86	87	88	87	0,21	19
180°	85	87	86			
				Total	12,56	993

Tabelle 3.3:
Berechnung des
Gesamtlichtstroms
einer 75-W-Glühlampe aus gemessenen 26 Luxwerten.

Die Summe aller Teilflächen ergibt die Kugeloberfläche des Einheitskreises mit einem Radius von 1 Meter. Wenn mit den gegebenen 15°-Winkeln gearbeitet wird, müssen diese Werte nicht neu berechnet werden.

6. Für jeden Zwischenwinkel: Berechnung des Lichtstromanteils. Beleuchtungsstärke, multipliziert mit der Oberfläche, z. B. 7,5°: $28 \text{ lx} \cdot 0,21 \text{ m}^2 = 6 \text{ Lumen (lm)}$. Die Summe aller Lichtströme ergibt den Gesamtlichtstrom der Lichtquelle.

3.6 Sparlampen

Sparlampen sind kompakte Leuchtstofflampen mit integriertem Betriebsgerät und einem Schraub- oder Bajonettsockel für den direkten Anschluss an das 230-Volt-Stromnetz. Sparlampen sind eine Bauform der Leuchtstofflampen. Es gibt sie in Leistungen zwischen ca. 3 Watt und 25 Watt. Da die technischen Anforderungen an Sparlampen bis 25 Watt geringer sind als bei Lampen höherer Leistung, sind vor allem Sparlampen mit geringer Wattage verbreitet.

Der Erfinder der Sparlampe

Häufig ist die Erfindung eines Produktes nicht eindeutig; Edison hat zwar die erste Glühlampe (um 1880) auf den Markt gebracht und diese auch patentieren lassen. Die erste funktionierende Glühlampe aber stammt von Heinrich Göbel (um 1850).

Bei der Sparlampe ist deren Erfindung auf den ersten Blick noch schwieriger zu personalisieren. Bereits in den 1920er-Jahren gelang es, durch Gasentladung und Leucht-

stoffbeschichtung sparsameres Licht zu erzeugen, allerdings mit sehr schlechter Lichtqualität. Um 1980 brachte Philips die erste kompakte Leuchtstofflampe mit integriertem Transformator und Schraubgewinde auf den Markt. Sie war geeignet, in einzelnen Fällen Glühlampen zu ersetzen – wegen ihrer Form und Grösse wurden sie auch Konfitüreglas-Lampen genannt.

Gemessen an der Qualität der modernen Sparlampen, welche in Bezug auf Lichtqualität und Grösse mit Glühlampen mithalten konnten, heisst der Erfinder Jürg Nigg. 1984 konstruierte und patentierte er in seiner Firma Arcotronic im Zürcher Stadtkreis 5 die erste Sparlampe mit Qualitätsniveau. Sofortstart, kein Flackern und Flimmern, sehr lange Lebensdauer sowie kompakte Masse und geringes Gewicht zeichneten Niggs Sparlampe aus.

Bei Niggs Lampe konnten Adapter (Gewinde mit integrierter Elektronik) und Leuchtstäbe sogar getrennt werden, was es ermöglichte, verschiedene Lichtstärken mit demselben Adapter zu betreiben. Da die Lebensdauer des Adapters zudem 5-mal länger war als die der Leuchtstäbe, ergab sich ein zusätzlicher ökologischer Nutzen. Die Industrie kopierte Niggs Sparlampe, verzichtete aber aus ökonomischen Überlegungen auf die Trennung von Leuchtstab und Adapter.



Abbildung 3.9: Jürg Nigg und seine Erfindung, der Sparlampen-Adapter (www.arcotronic.ch).

LED – Licht emittierende Dioden

4.1 Effizienzpfad LED

Licht emittierende Dioden (LED) sind Halbleiterelemente, deren Funktionsweise man aus der Elektro- und Computertechnik kennt. LED nutzen denselben physikalischen Effekt wie die Solarzelle; allerdings in umgekehrter Richtung: (Sonnen-) Licht in Gleichstrom – die LED verwandelt Gleichstrom in Licht. Bereits um 1960 wurden rote LED erfunden und als Leuchtanzeigen in Uhren und anderen Geräten eingesetzt. Zehn Jahre später folgten grüne und gelbe LED und erst in den 1990er-Jahren kamen blaue LED auf den Markt. Um das Jahr 2000 gelang es, durch Leuchtstoffbeschichtung mit blauen LED weisses Licht von guter Qualität zu erzeugen. Damit war der Grundstein für LED in der Raumbeleuchtung gelegt.

Die Energieeffizienz von LED erreicht heute in der praktischen Anwendung mit über 100 lm/W bereits die doppelte Effizienz gegenüber den herkömmlichen Leuchtstofflampen. Die besten LED-Lampen erreichen über 160 lm/W. Die Entwicklung ist noch nicht abgeschlossen; in den nächsten Jahren wird bei weissen LED nochmals eine Steigerung der Lichtausbeute bis über 200 lm/W erzielt werden. Die LED-Technik revolutioniert die Beleuchtung; vergleichbar mit dem Ersatz der Schallplatte durch CD.

Trends

Der Trend in der Beleuchtung wird in den nächsten Jahren ganz von LED bestimmt sein.

■ Die Energieeffizienz wird noch auf über 200 lm/W steigen.

■ Mit der LED-Technik steigen die Möglichkeiten der Beleuchtungsregelung stark an, weil sich LED – im Gegensatz zur Leuchtstofflampentechnik – schnell und einfach regeln lässt.

■ Der weitgehende Einsatz der Sensortechnik bringt einen zusätzlichen Beitrag zur Effizienzsteigerung – in ähnlichem Ausmass wie die Effizienzsteigerung der LED-Lampen und Leuchten.

Physik-Nobelpreis für LED-Erfindung

Der Durchbruch zur heutigen LED-Technik basiert auf der Erfindung der blauen LED im Jahre 1993. Zwanzig Jahre später, am 7. Oktober 2014, erhielten die japanischen Wissenschaftler Isamu Akasaki und Hiroshi Amano sowie der Amerikaner Shuji Nakamura den Physik-Nobelpreis für die Entwicklung der LED-Leuchtdioden.

Das Nobelpreis-Komitee verlieh ihnen die Auszeichnung für die Entwicklung von Dioden, die blaues Licht emittieren. Diese blauen Leuchtdioden (LED) sind Vorläufer der weissen LED. Da weltweit ein Viertel der Elektrizität für Beleuchtung verbraucht

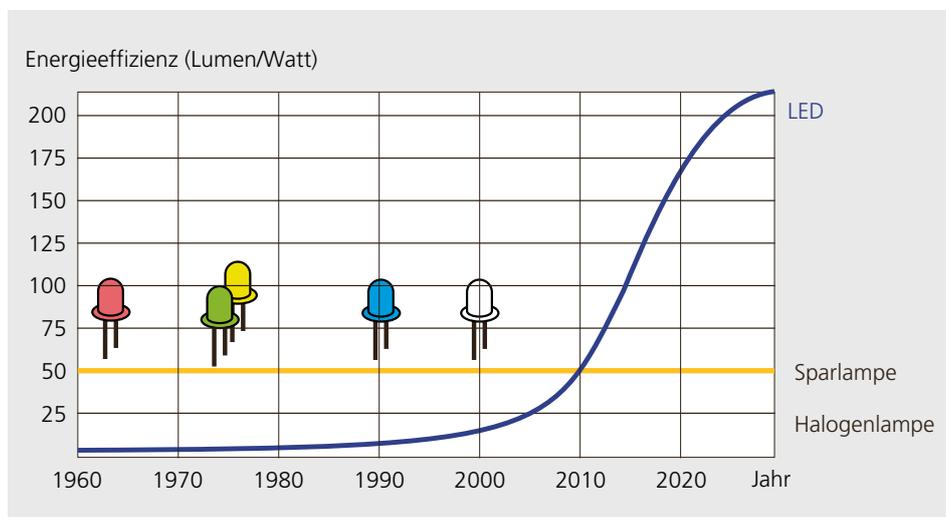


Abbildung 4.1: Entwicklung der Energieeffizienz von Leuchtdioden.

werde, würden energiesparende LED-Leuchtmittel zur Schonung der Rohstoffe beitragen, erklärte die Schwedische Akademie der Wissenschaften. Das Nobel-Komitee würdigte damit nach eigenen Worten eine «revolutionäre» Forschung zu neuen energieeffizienten und umweltfreundlichen Lichtquellen.

Organische LED (OLED)

Neben der konventionellen LED-Technik sind Arbeiten für OLED im Gange. OLED weisen gegenüber kristallinen LED Vor-, aber auch Nachteile auf:

■ **Vorteile:** weniger Materialbedarf, flächiges Licht auf dünnen Scheiben

■ **Nachteile:** geringerer Wirkungsgrad, kürzere Lebensdauer

In Zukunft lässt sich OLED-Licht wie eine Tapete auf Rollen kaufen und damit leuchtende Wände und Decken erstellen. Die Realisierung dürfte aber noch eine Weile auf sich warten lassen. Aktuelle OLED sind rund 10 cm auf 10 cm gross und haben eine Lichtausbeute, die mit 50 bis 80 lm/W deutlich hinter üblichen LED liegt.

Metalle der Seltenen Erden

Die Metalle der Seltenen Erden kommen in vielen technischen und elektronischen Geräten zum Einsatz, namentlich in Energiesparlampen, LED, Fernsehgeräten, LCD- und Plasmabildschirmen, Akkus, Brennstoffzellen, Auto-Katalysatoren, Russpartikelfiltern, Röntgenapparaten, Lasern, Glasfaserkabeln, Magneten, Elektromotoren, Flugzeugmotoren und Atomreaktoren. Die oft verwendete abgekürzte Be-

zeichnung «Seltene Erden» statt «Metalle der Seltenen Erden» ist missverständlich. Der Name stammt aus der Zeit der Entdeckung dieser Elemente und beruht auf der Tatsache, dass sie zuerst in seltenen Mineralien gefunden und aus diesen in Form ihrer Oxide (früher «Erden» genannt) isoliert wurden. Zu den Metallen der Seltenen Erden gehören folgende chemische Elemente der 3. Gruppe des Periodensystems: Scandium (Ordnungszahl 21), Yttrium (39), Lanthan (57), Cer (58), Praseodym (59), Neodym (60), Promethium (61), Samarium (62), Europium (63), Gadolinium (64), Terbium (65), Dysprosium (66), Holmium (67), Erbium (68), Thulium (69), Ytterbium (70) und Lutetium (71).

Die weltweit geförderte Menge lag im Jahr 2017 bei 130 000 t, davon 105 000 t in China, das damit den Markt dominiert. Bei der momentanen Abbauintensität reichen die Reserven für ca. 1000 Jahre.

Der Abbau von Seltenen Erden ist sehr kostenintensiv. Mittels Säuren werden die Metalle aus den Bohrlöchern gewaschen. Der dabei vergiftete Schlamm bleibt oft zurück und belastet die Umwelt erheblich.

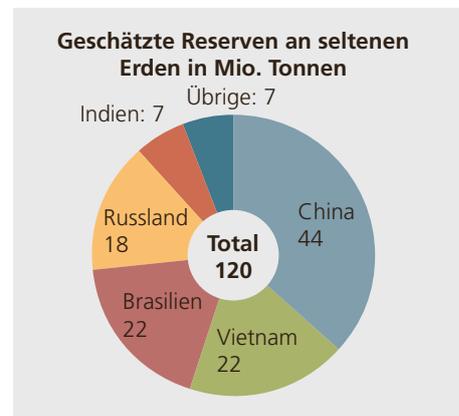


Abbildung 4.3: Geschätzte Reserven an seltenen Erden (in Mio. Tonnen).



Abbildung 4.2: Das Erfindertrio der blauen LED, Akasaki, Amano und Nakamura.

4.2 Merkmale der LED

Leuchtdioden haben im Vergleich zu früheren Leuchtmitteln eine Reihe von Vorteilen. Diese machen sie – zusätzlich zur höheren Energieeffizienz – noch interessanter.

■ **Keine Infrarot-Abwärme und kein Ultraviolettanteil im Lichtstrahl:** Vor allem in Verkaufsläden und in Museen ist dieser Umstand ein grosser Vorteil, werden doch die beleuchteten Waren und Exponate dadurch nicht beeinträchtigt.

■ **Kompakte Bauweise:** Dadurch können filigrane Lampen- und Leuchtenformen entwickelt werden, die auch bei sehr geringem Platzangebot eingesetzt werden können.

■ **Lange Lebensdauer:** Bei einer durchschnittlichen Betriebsdauer von 2000 Stunden pro Jahr leisten LED-Lampen während 20 bis 30 Jahre ihren Dienst. Voraussetzung für eine lange Lebensdauer ist eine gute Qualität der beteiligten Komponenten und eine ausreichende Kühlung.

■ **Sofortstart:** Im Gegensatz zu Leuchtstofflampen geben LED-Lampen nach dem Einschalten sofort die volle Lichtmenge ab.

■ **Gute Dimmbarkeit:** Die meisten LED-Lampen lassen sich dimmen. Im Gegensatz zu allen anderen Lichtquellen verlieren LED beim Dimmen nicht an Effizienz; einige Bauarten sind bei Teillast sogar noch effizienter.

■ **Farbmodulation:** Eine Spezialität von LED ist die Farbmodulation. Es kann prinzipiell jede gewünschte Farbe erzeugt werden, ob Weissstöne (warmweiss, kaltweiss) oder satte Farben wie Rot, Grün und Blau. Bei aufwendigen LED-Leuchten ist die Lichtfarbe nicht ab Fabrik vordefiniert, sie kann per Fernbedienung oder über ein Smartphone beliebig gewählt werden.

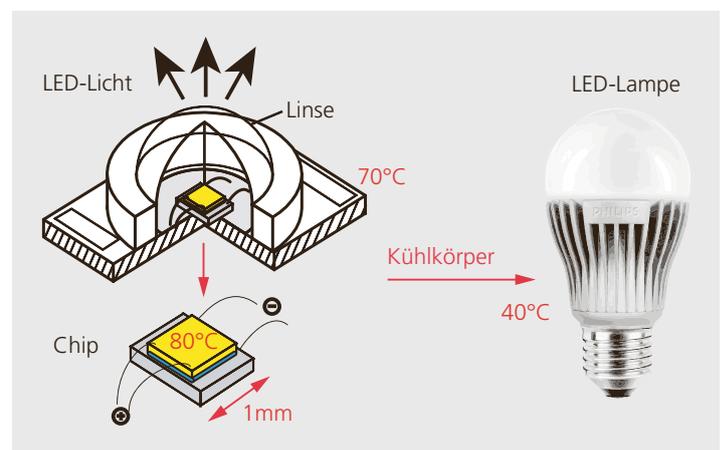
Lange Lebensdauer

Als Vorteil von LED wird meist die lange Lebensdauer erwähnt, welche die LED erst konkurrenzfähig zu andern Leuchtmitteln macht. Die Lebensdauer ist somit ein Schlüsselkriterium – aber auch eine Herausforderung beim Design und der Konstruktion einer LED-Lampe oder Leuchte. Zwar erreichen die heutigen LED-Module eine typische Lebensdauer von 30 000 bis

100 000 Stunden, allerdings nur, wenn das Temperaturmanagement stimmt und das nötige Betriebsgerät ebenfalls aus entsprechend guten Komponenten aufgebaut ist. Wärmeabgabe und Lebensdauer gehören bei LED zusammen; übersteigt die Chip-Temperatur eine bestimmte Grenze (z. B. 80 °C, je nach Typ), geht die Lebensdauer stark zurück. Lebensdauerückgang heisst bei den Leuchtdioden eine kontinuierliche Abnahme der Lichtabgabe; in der Regel bedeuten 50 000 Stunden Lebensdauer einen Rückgang der Lichtmenge um 30 %. Für LED-Leuchten ist keine einheitlich gebräuchliche Definition der Lebensdauer – sei es eine «Nennlebensdauer» oder eine «wirtschaftliche Lebensdauer» – etabliert. Stattdessen ist es üblich, die «mittlere Bemessungslebensdauer» auszuweisen, die sich auf einen spezifizierten Grad der Lichtstromdegradation bezieht. Die Bezeichnung L70 bedeutet z. B., dass die betreffende LED-Leuchte nach 50 000 Betriebsstunden noch mindestens 70 % ihres (im Neuzustand verfügbaren) Bemessungslichtstromes erzeugt.

Damit die LED-Lampe nicht überhitzt, braucht sie einen Kühlkörper. Dieser muss die Wärme, die auf der Rückseite des Chips entsteht, abführen – auf der Vorderseite, im Lichtstrahl, entsteht keine Wärme! Der Chip eines 1-Watt-Power-LED hat eine Fläche von ca. 1 mm²; diese kleine Fläche wird 80 °C und heisser. Um die Wärme abzuführen, ist eine Kühlfläche vom mehreren Quadratzentimetern notwendig. Man erkennt schnell, dass eine LED-Lampe mit 5 Watt, 10 Watt oder 30

Abbildung 4.4: Thermomanagement und Qualität des Betriebsgerätes bestimmen die Lebensdauer.



Watt eine grössere metallene Fläche braucht, damit der Chip nicht überhitzt. Wenn Leuchtdioden direkt in einer Leuchte integriert sind, ist der metallene Leuchtenkörper ideal zur Abführung dieser Wärme. Bei kompakten Spotlampen oder Retrofit-Lampen müssen dafür eigentliche Kühlrippen vorgesehen werden.

Neben der Wärmeabgabe ist auch die Qualität des Betriebsgerätes wesentlich für eine lange Lebensdauer. Sehr kleine Betriebsgeräte (in kleinen Lampen) sind grundsätzlich anfälliger auf Defekt als grössere. Letztlich kommt es aber auf die einzelnen Bauteile und deren Verarbeitung an. Von aussen sieht man einer Lampe nicht an, ob das Betriebsgerät gut ist, man ist also auf die Vertrauenswürdigkeit des Anbieters bzw. der Marke des Produktes angewiesen (Abbildung 4.4).

Farbmodulation bei LED

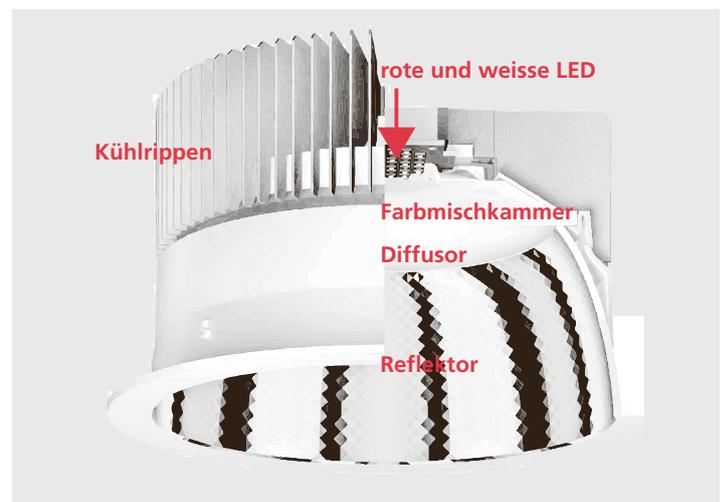
Eine herausragende Eigenschaft von Leuchtdioden ist die Möglichkeit, jede beliebige Lichtfarbe zu erzeugen, ohne dazu verlustbehaftete Filter zu verwenden. Besonders interessant ist diese Farbmodulation, wenn es darum geht, verschiedene Weissstöne zu erzeugen. Zwar lassen sich Weissstöne – wie alle anderen Farben – aus der Mischung der Grundfarben Rot, Grün und Blau (RGB) generieren. Wenn aber eine gute Farbwiedergabe gefragt ist, reicht die RGB-Mischung nicht aus. Bei der qualitativ hochwertigen Farbmischung werden als Basis meist kaltweisse LED verwendet. Diese werden mit gelben oder roten LED gepaart und das Licht der verschiedenfarbigen LED über einen Diffusor vermischt. Durch unterschiedliche Hellig-

keitsansteuerung der weissen und andersfarbigen LED werden verschiedene Weissstöne mit hohem Farbwiedergabeindex generiert. Vor allem bei Strahlern und Downlightern kommt dieses Verfahren zur Anwendung. Mit dem PAL-System von Regent (PAL: Perception Adaptive Lightsource) können mit dem erwähnten Verfahren alle Weissstöne zwischen 2700 und 6500 Kelvin bei gleichbleibender hoher Farbwiedergabequalität mit einer einzigen Lichtquelle erzeugt werden. Mittels eines einfachen Tasters können die Farben jederzeit verändert werden. Sollen zum Beispiel in einem Modegeschäft blaue Kleider verkauft werden, so wird der LED-Strahler auf kaltes Weiss eingestellt, was zur Folge hat, dass die blauen Farben intensiv leuchten. Sollen rote Strümpfe hervorgehoben werden, wird der LED-Strahler auf warmweiss eingestellt.

Auch für den Lebensmittelhandel ist der farbvariable LED-Strahler interessant. So können die verschiedenen Auslagen mit verschiedenen Farben zur Geltung ge-

Abbildung 4.5: Schnitt durch «Panos Infinity» von Zumtobel mit Cree-True-White-Technik.

Abbildung 4.6: Warmes, neutralweisses und kaltweisses LED-Licht aus derselben Leuchte (PAL-Technik, Regent).



bracht werden. Käse mit Käsegelb, Brot mit Semmelbraun, Fleisch mit Fleischrot und Fisch mit einem rosa-bläulichen Farbton. Diese Farbmanipulation der Lichtquellen zur Verkaufsförderung ist nicht neu, doch musste man bisher spezielle Filter einsetzen, die viel Licht schluckten. Mit LED funktioniert dies ohne Filter und ohne Effizienzverlust (Abbildung 4.6).

Eine weitere interessante Anwendung liegt bei der Mischung von kaltweissen und roten LED zur Erzeugung von warmweissen Licht mit hoher Effizienz. Allgemein sind warmweisse LED weniger effizient als kaltweisse (wegen der «dickeren» Leuchtstoffbeschichtung). Mischt man über einen Diffusor sehr effizientes kaltweisses LED-Licht mit ebenso effizientem roten LED-Licht, lässt sich warmweisses Licht von hoher Qualität und hoher Effizienz erzeugen. Ein Beispiel dafür sind die Downlighter «Panos Infinity» der Firma Zumtobel; die warmweissen Leuchten erreichen mit bis zu 77 lm/W und einem sehr guten Farbwiedergabeindex eine doppelt so hohe Energieeffizienz wie vergleichbare Downlighter mit Kompaktleuchtstofflampen (Abbildung 4.5).

4.3 Farbspektrum und Farbwiedergabe

Farbwiedergabe

Die Beurteilung der Licht- und Farbqualität von Lichtquellen richtet sich nach den Kriterien Farbspektrum, Farbtemperatur, Farbraum und Farbwiedergabeindex. Während die Aspekte der Lichtfarbe bei der Glühlampentechnik physikalisch bedingt und nur wenig beeinflussbar und bei Leuchtstofflampen zwar variabel, aber klar standardisiert sind, besteht bei LED ein unüberschaubares Angebot. Jede LED-Lampe gibt ein anderes Licht ab, sei es in Bezug auf Lichtfarbe, Farbtemperatur oder Farbspektrum. Dies macht einen Austausch einer defekten Lampe zu einer Herausforderung, sofern ein einheitliches (weisses!) Licht gewünscht ist und keine Christbaumbeleuchtung. Den Farbaspekten kommt deshalb bei der Anwendung von LED eine zentrale Bedeutung zu.

Farbspektrum

Die verschiedenen Lichtquellen, denen der Mensch ausgesetzt ist, haben unterschiedliche Farbzusammensetzungen. Zwar sind diese Kombinationen als weisses Licht wahrnehmbar, allerdings mit grossen Differenzen. Wenn man die Lichtquellen mit einem Farbspektrometer analysiert, werden diese Unterschiede evident. In den in den Abbildung 4.7 bis Abbildung 4.11 dargestellten Farbspektren ist die V-Lambda-Kurve überlagert, welche die Empfindlichkeit des menschlichen Auges auf die verschiedenen Farbtöne aufzeigt.

- Tageslicht hat ein lückenloses Farbspektrum; alle Farben von Blau über Grün, Gelb und Rot sind vorhanden. Der Blauanteil dominiert (Abbildung 4.7).
- Glühlampenlicht ist quasi das Gegenteil von Tageslicht; es hat zwar auch ein lückenloses Farbspektrum, es dominiert aber der Rotanteil im Licht (Abbildung 4.8).
- Das Licht von Sparlampen (und allen anderen Entladungslampen) hat ein lückenhaftes Farbspektrum. Die Grundfarben sind zwar vorhanden, verschiedene Zwischentöne sind aber schwach oder gar

nicht sichtbar. Für professionelle Anwendungen gibt es auch Leuchtstofflampen, deren Spektrum nur kleine Lücken ausweist. Diese Lampen sind am besseren Farbwiedergabeindex von 90 statt 80 bei normalen Sparlampen zu erkennen (Abbildung 4.9).

■ LED-Licht ist besser als Sparlampenlicht, das Spektrum ist vollständig. Zwischen Blau und Grün haben jedoch alle LED-Lampen ein «Loch im Spektrum»; dieses rührt von der Transformation der blauen LED mittels Leuchtstoffen ins sichtbare weiße Licht. Je kleiner dieses Loch ist, desto besser ist die Farbwiedergabe der LED-Lampe (Abbildung 4.10 und Abbildung 4.11).

Abbildung 4.7
(oben): Farbspektrum von Tageslicht.

Abbildung 4.8 (unten): Farbspektrum einer Glühlampe.

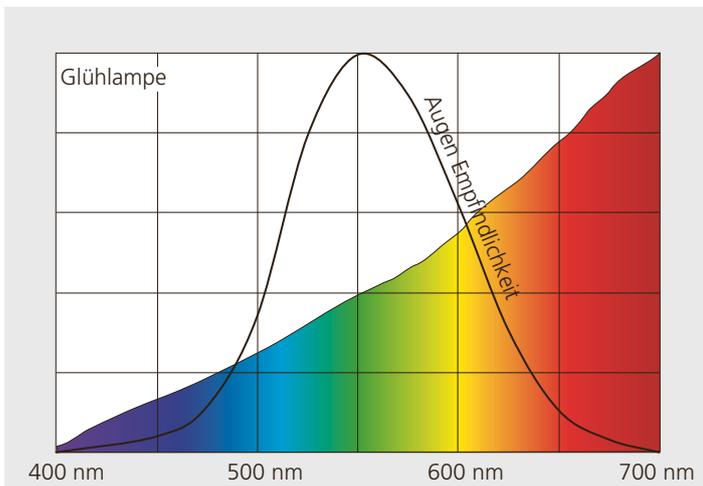
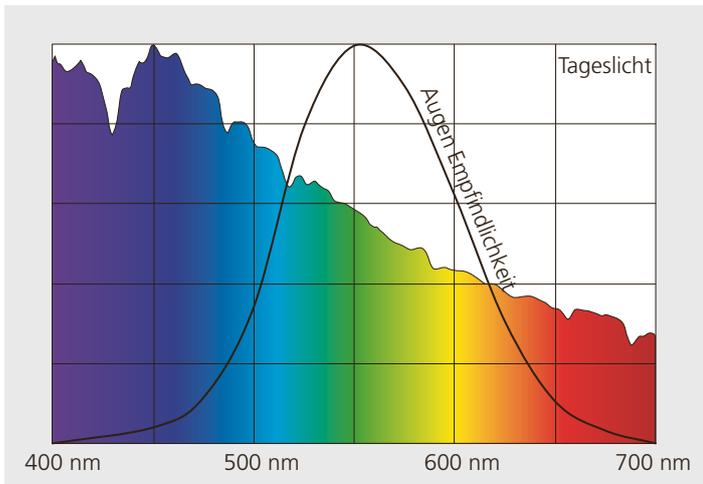
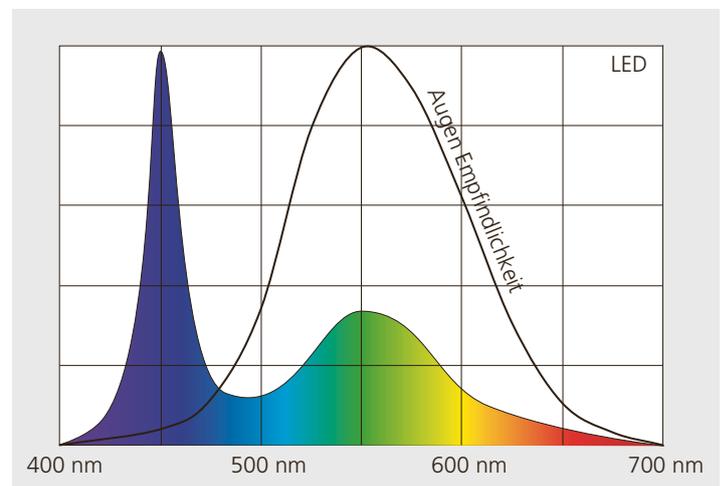
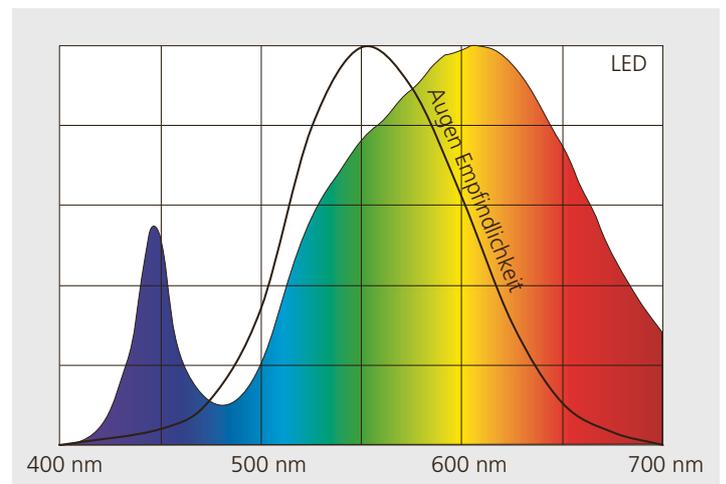
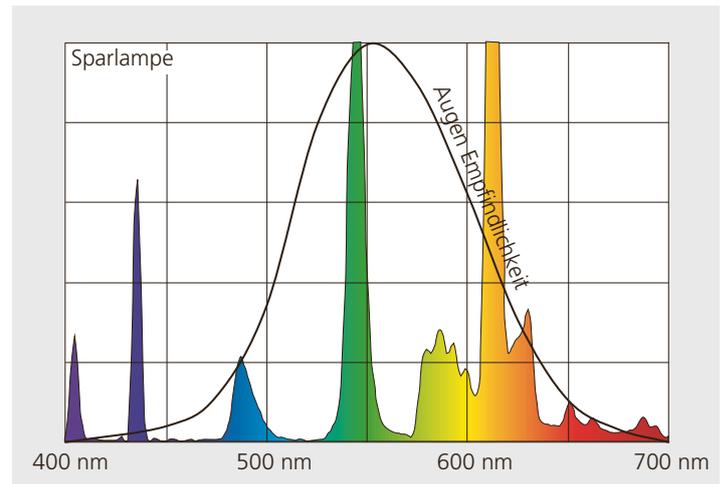


Abbildung 4.9
(oben): Farbspektrum einer Sparlampe.

Abbildung 4.10
(Mitte): Farbspektrum einer guten LED-Lampe (CRI = 90).

Abbildung 4.11 (unten): Farbspektrum einer schlechten LED-Lampe (niedriger CRI).



Farbtemperatur

Die Farbtemperatur gibt den «Weissegrad» einer Lichtquelle an. Dieser wird in Kelvin quantifiziert. (0 Kelvin = -273°C).

■ Der Wolframdraht einer Glühlampe wird auf 2700 Kelvin (also 2427°C) aufgeheizt und gibt dadurch sein typisches warmweisses Licht ab.

■ Auf der Sonnenoberfläche herrscht eine Temperatur von rund 6500 Kelvin. Man nennt diese Farbtemperatur also Tageslichtweiss.

■ Bei LED und Leuchtstofflampen können verschiedene Farbtemperaturen gewählt werden, die durch Beschichtung mit unterschiedlichen Leuchtstoffen erreicht werden. Mit der tatsächlichen Temperatur wie bei den Temperaturstrahlern hat die Farbtemperatur bei solchen Lampen aber nichts zu tun. In öffentlichen Gebäuden werden oft neutralweisse Lampen mit 4000 K eingesetzt.

■ Bei Leuchtstofflampen sind die Farbtemperaturen standardisiert (2700 K, 3000 K, 4000 K und 6500 K). Bei LED hingegen sind fast alle Farben zwischen 2500 K und 6500 K erhältlich. Eine Standardisierung fehlt noch.

Die Farbtemperatur ist kein Qualitätsmerkmal einer Lichtquelle. Im Volksempfinden wird kaltes Licht oft als schlechtes Licht interpretiert, obwohl die Farbwiedergabeeigenschaft nichts zu tun hat. Der Grund liegt bei der subjektiven Wahrnehmung: Das sehr kalte Licht der Sonne wird bei einer enormen Helligkeit abgegeben; dieselbe Farbtemperatur bei Zimmerhelligkeit empfinden aber vor allem Menschen in nördlichen Ländern als unangenehm. In südlichen Ländern geben z. B. tageslichtweisse Sparlampen kein Anlass zu Reklamationen. Warmes Licht entspricht der Farbe des Feuers; es wird vor allem von Menschen in kälteren Regionen der Erde als angenehm wohligh empfunden.

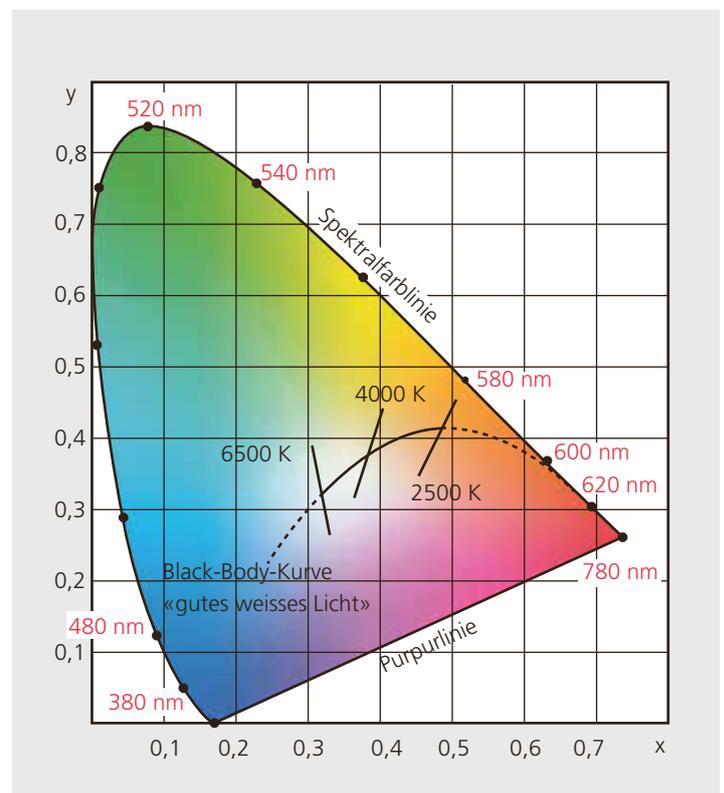
Mit einer interessanten Methode stellt die amerikanische LED-Firma Cree sicher, dass auch warmweisse LED-Lampen eine hohe Effizienz und einen hohen Farbwiedergabeindex (über 90) haben und gleichzeitig

eine genau definierte und stabile Farbtemperatur. Cree nimmt tageslichtweisse LED und mischt sie in einer Mischkammer mit roten LED zur gewünschten Farbtemperatur. Die unterschiedlichen Farbveränderungen der zwei LED-Farbtypen mit dem Alter werden über einen Sensor erfasst und über die eingebaute Elektronik ausgeglichen. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass jederzeit eine neue Leuchte mit der exakt gleichen Lichtfarbe zugebaut werden kann. Ein zentrales Problem der LED-Technik mit den vielen Farbnuancen in den Weisstönen wird so elegant gelöst.

Farbraum

Der Farbraum umfasst alle mit dem menschlichen Auge sichtbaren Farben des CIE-Normfarbsystem. Dieses wurde von der Internationalen Beleuchtungskommission (CIE – Commission Internationale de l’Eclairage) definiert, um eine Relation zwischen der menschlichen Farbwahrnehmung (Farbe) und den physikalischen Ursachen des Farbreizes (Farbvalenz) herzustellen. Effektiv handelt es sich um einen dreidimensionalen Raum nach Rösch aus dem Jahre 1928. In der Fläche lassen sich

Abbildung 4.12: Farbdreieck (Schuhsohle) mit den für das Auge sichtbaren Farben.



nur zwei Dimensionen darstellen (Abbildung 4.12). Alle technisch realisierbaren Farbreize, sowohl Lichtfarben als auch Körperfarben, liegen innerhalb der parabelartigen Farbfläche. Das Farbdreieck wird wegen seiner Form auch «Schuhsohle» oder «Hufeisen» genannt. Abhängig von der Beleuchtungssituation kann sich der Farbraum überall innerhalb des Hufeisens befinden. Technisch von Bedeutung ist die Black-Body-Kurve. Auf deren Verlauf sind die Farben als Temperatur eines idealen Strahlers (schwarzer Körper) in Kelvin angegeben. Für jede Lichtquelle kann ein Farbraum im xy-Koordinatensystem angegeben werden. Bei guten Leuchtmitteln liegt der Farbraum auf der Black-Body-Kurve z. B. bei $x = 0,45$ und $y = 0,41$ (Glühlampe).

Farbwiedergabeindex (R_a)

Die Farbwiedergabe-Eigenschaft einer Lichtquelle beschreibt die Qualität der Visualisierung von Objektfarben und wird als R_a -Index bezeichnet. Zur Bewertung der Farbwiedergabe verwendet man acht ungesättigte Farbtöne, vier gesättigte Farbtöne sowie ein spezielles Blattgrün und einen Farbton ähnlich dem der menschlichen Haut. Die Farbwiedergabe unter der zu bewertenden Lichtquelle wird für jedes dieser Farbmuster mit der beim Licht eines

Temperaturstrahlers ähnlichsten Farbtemperatur (also etwa gleicher Lichtfarbe) verglichen. Der höchste Wert von R_a ergibt sich mit 100, wenn die betrachtete Lampe praktisch nicht von der Bezugsquelle abweicht. Mit dieser Lampe beleuchtet, können alle Farben eines Gegenstandes erkannt werden und erscheinen einem Betrachter als «natürlich». Je mehr der Farbwiedergabeindex R_a von 100 nach unten abweicht, um so schlechter werden Farben auf beleuchteten Gegenständen wiedergegeben.

Als Farbwiedergabeindex R_a einer Lichtquelle (oder CRI für Color Rendering Index) wird in der Regel der Mittelwert der acht ungesättigten Farben angegeben. Liegt der Wert über 80, spricht man von einer guten Farbwiedergabe, über 90 von einer sehr guten. Die gesättigten Farben, der Hautton und das Blattgrün werden oft nicht verwendet, wobei diese vor allem bei LED-Lampen eine wichtige Rolle spielen. Der Wert 9 (gesättigtes Rot) sagt bei LED-Lampen aus, wie halogenähnlich die LED-Lampe ist; mindestens das gesättigte Rot sollte also bei LED speziell geprüft werden.

Abbildung 4.13:
Testfarben des Farbwiedergabeindex
(nach DIN 6169).

R_1	Altrosa	R_9	Rot gesättigt
R_2	Senfgelb	R_{10}	Gelb gesättigt
R_3	Gelbgrün	R_{11}	Grün gesättigt
R_4	Hellgrün	R_{12}	Blau gesättigt
R_5	Türkisblau	R_{13}	Rosa (Hautfarbe)
R_6	Himmelblau	R_{14}	Blattgrün
R_7	Asterviolett		
R_8	Fliederviolett		

4.4 Optimierte Lichtlenkung

Während im Büro Sehaufgaben wie Bildschirmarbeit oder Lesen im Vordergrund stehen, liegt der Fokus im Retailbereich auf attraktiver Warenpräsentation und damit auf Akzentuierung. In der Hotelwelt dagegen sind Atmosphäre und Ambiente gefragt. Die Antwort auf diese unterschiedlichen Aufgabenstellungen liegen in adäquaten Lichtverteilungen und Materialisierungen.

Bei den klassischen Leuchtmitteln bildeten speziell berechnete Reflektoren das Mass aller Dinge. LED mit ihrer miniaturisierbaren Grösse sowie der flächigen Abstrahlungscharakteristik bringen nicht nur Probleme, sondern auch Spielraum für neue Methoden der Lichtlenkung. Produkte mit Linsentechnik nehmen im Vergleich zu Leuchten in der klassischen Reflektortechnik zu. Die heutige Auslegung von Reflektoren und Linsensystemen kann als eigener Wissenschaftszweig der Optoelektronik bezeichnet werden.

Lichtlenkung mit Linsen

Je nach Ansatz und Technologie wird heute versucht, mittels Linsen die optische Qualität zu optimieren; gleichzeitig können damit Leuchten modular aufgebaut werden und zugleich auch Leuchten mit gerichtetem Licht in ihren Abmessungen minimiert werden. Licht bzw. der Strahlengang einer Lichtquelle ist nicht einfach zu kontrollieren. Je präziser die Systeme werden, umso besser werden die Wirkungsgrade und die Qualität der Ausstrahlung bzw. der Lichtverteilung, aber auch Fehler im Streubereich bzw. Probleme bei der Ein-

kopplung des Linsen-Led-Systems werden sichtbar und damit auch störend.

Mit LFO-Elementen kann der Lichtstrahl so gebündelt werden, dass sich sämtliche Lichtstrahlen in einem Punkt (Lochdurchmesser 8 mm) kreuzen, um dann in verschiedenen Lichtverteilungswinkeln weiterzulaufen (Abbildung 4.14). Damit sind Voraussetzungen für hochentblendete Lichtsysteme geschaffen.

Das System in Abbildung 4.15 ist bezüglich der Präzision in der Ausstrahlcharakteristik überzeugend, fällt jedoch in verschiedenen qualitativen Aspekten stark ab. So zeichnet ein reines Linsensystem immer eine quantifizierbare Leuchtdichte auf der Oberfläche der auskoppelnden Linse. Ein solches System müsste mit einem enormen Reflektor versehen sein, um weiterhin als Dark-Light-Leuchte wahrnehmbar zu sein. Da dieses System dann sehr gross würde, macht es keinen Sinn.

Die Effizienz leidet durch das zweimalige Aus- und Einkoppeln im doppelten Sinne.



Abbildung 4.14: Linsensystem LFO. (Quelle: Bartenbach)



Abbildung 4.15: Mittels Kollimator und Spherolitlinse kann eine präzise Ausstrahlcharakteristik erzielt werden. (Quelle: Erco)

LFO-Technik

LFO ist eine Abkürzung für Lens Focal Optic, eine von Bartenbach entwickelte Technik, bei der Lichtstrahlen von LED in einem nur 8 mm grossen Loch in der Decke, also sozusagen «Licht aus dem Loch» emittiert werden. Kernstück der LFO-Lösung ist eine Linse zur Bündelung der Strahlen. In einer LFO-Linse lassen sich zwei LED platzieren, was ein Wechsel in den Lichtfarben ermöglicht.

Jeder Materialübergang birgt Verluste, die sich multiplizieren. So resultiert durch Materialdurchgänge, z.B. 10 % Transmissionsverluste je Materialwechsel, ein Gesamtverlust von nahezu 20 %. Würde das Optikmaterial nur einmal durchlaufen, wären es nur 10 %. (Bei jedem Materialwechsel und Materialübergang werden ca. 4 % nicht transmittiert sondern reflektiert.) Somit wirkt sich der negative Effekt doppelt aus, da der erhöhte Materialaufwand mit einer grösseren Materialdämpfung korreliert.

Um verschiedene Lichtfarben in einem optischen System präzise zu mischen, sodass die Mischung unabhängig vom Anschneiden des Lichtkegels homogen bleibt, ist komplizierter als es vermuten lässt. So sind die wenigsten optischen Systeme in der Lage, ohne Farbmischeinheit ein über alle Zweifel einwandfreies Abbild zu generieren. Dies zeigt sich immer wieder in Streiflichtsituationen, wo Oberflächen unbarmherzig das ungenügend gemischte Licht in seine spektralen Ursprünge zerlegen und damit die eigentliche Absicht eines homogenen Bildes zerstören.



Abbildung 4.16:
Leuchte Squadro
mit sekundär eingespielter Freiform-
Reflektortechnik.
(Quelle: XAL GmbH)



Abbildung 4.17:
RMJ-Reflektor –
Microfacetten in
Freiformflächen.
(Quelle: Projekt-
leuchten GmbH)

Lichtlenkung mit Reflektoren

Reflektoren, vor allem die fortgeschrittene Freiform-Reflektortechnik (Microfacetten in Freiformflächen bzw. Freiformflächen in Freiformflächen), ermöglichen eine äusserst präzise Lichtlenkung. Der gestalterische Anspruch an Reflektoren ist durch ihre Grösse im Vergleich zu Linsensystemen einiges höher, im Blendungsverhalten sind sie entsprechend charakteristischer. Reflektoren mit sekundären Freiformflächen lassen zudem jede beliebige störende Blendung durch präzise Lichtlenkung wie beispielsweise einen longitudinalen Cut-Off zu (Abbildung 4.16). Eine weitere wichtige Entwicklung in der Freiform-Reflektortechnik bildet die Farbmischung innerhalb des Reflektors. Wie erwähnt, besteht diese Möglichkeit auch in Linsensystemen, allerdings verlustreicher. Die neueste Reflektorentwicklung der Firma Bartenbach zeigt einen Schulterabschluss von Reflektortechnologie und absolut homogener Farbmischung sowie gleichzeitig hohem Wirkungsgrad. Dabei wird über ein Viertelsegment der facettierten Freiformoptik ein Halbkreis abgebildet, was dazu führt, dass nicht 360° sondern 720° abgebildet werden. Damit entsteht eine absolut homogene Farbmischung. Die Facetten sind übrigens ebenfalls Freiformoptiken. Die Freiformsegmente sind in Freiformreflektoren eingebettet, was das System hochkomplex, aber auch höchst zuverlässig macht. Zudem ist ein solcher Reflektor praktisch nicht mehr kopierbar, da jede kleine Änderung zur Störung des Systems führt.

Hybride Lichtlenkung

Die Kombination von Linsen mit Reflektorsystemen werden Hybridsysteme genannt. Ihre Leistungsfähigkeit zeichnet sich dadurch aus, dass die positiven Qualitäten der Einzelsysteme kombiniert werden. Die entstehenden Leuchten sind streulichtarm, hocheffizient, präzise in der Lichtführung und extrem reduziert in der Blendung und Blendbegrenzung. Diese Leuchten wirken in der Art der Dark-Light-Technik, das heisst, dass sich das Licht auf dem Objekt oder Material entfalten kann, ohne sicht-

bar zu zeigen, woher der Lichtstrahl kommt.

Diffuse Systeme brauchen keine Reflektoren, da sie mit geringen Leuchtdichten auf grösseren Flächen ihren Einsatz finden.

Dass bereits geringstes Streulicht hohe Leuchtdichten verursacht, ist ein offenes Geheimnis. Darum muss die Präzision in optischen Systemen messerscharf sein. Das zeigt sich ebenfalls in der Farbwahl von Entblendungszylindern, die nicht einfach schwarz sind, sondern stumpf-matte Nanostrukturen aufweisen, wie zum Beispiel beim Maybach-Schwarz – das Non-plus-Ultra als Lichtschluckler.

4.5 LED-Innovationen

Neben den Entwicklungen auf dem LED-Markt, angefangen bei den Low-Power- und den Mid-Power-LED hinauf zu den High-Power- und Ultra-high-Power-LED in Varianten unterschiedlicher Lichtströme, Abstrahlcharakteristiken, Farbwiedergabequalitäten und Lichtfarben sind weitere Merkmale wie Gehäuseformen, Surface mounted Device (SMD), chip on board (COB), chip array SMD (CAS) verfügbar, die mangels Vereinheitlichung der Systeme durch die grossen Hersteller (Cree, Nichia, Citizen, Samsung, Lumiled) unterschiedlicher nicht sein könnten. Vereinfacht kann festgestellt werden, dass rund 30 Parameter präzise analysiert und entsprechend berücksichtigt werden müssen, um die gewünschte Lichtverteilung und Lichtqualität zu erhalten. Die Entwicklung der neuen miniaturisierten Chip-Scale-Package-LED (CSP) verlangen nach innovativer und neuer Denkweise, aber auch nach neuen Bestückungsautomaten, Linsensystemen, Werkzeugen etc.

Perfekte Farbwiedergabe

Einen extrem hohen Stellenwert genießt die Lichtqualität gegeben durch Lichtfarbe und vor allem durch die Farbwiedergabe. Die LED-Systeme sind nicht nur energieeffizienter, sie sind hinsichtlich Farbwiedergabe auch präziser. So wurde von Seoul Semi Conductor die SunLike-Linie vorgestellt, die mit realen Werten der Farbwiedergabe nach R_a (CRI), aber auch im neuen TMI-30-Verfahren sehr gut abschneidet und dem natürlichen Licht hinsichtlich der spektralen Verteilung fast gleichgestellt ist.

Die Abweichungen gegenüber dem natürlichen Verlauf des Sonnenlichts sind deutlich und werden auch immer diskutiert, obwohl die spektrale Verteilung gegenüber Entladungslampen bereits sehr gut ist. Mit dieser spektralen Lichtverteilung wird die Netzhaut bereits viel besser bedient als mit einer Leuchtstofflampe und man vergisst immer wieder die Tatsache, dass der gesamte Sehprozess eine Energiebilanz hat. Die primären Faktoren, die immer in Betracht gezogen werden, betref-

Abbildung 4.18:
LFO-Linsentechnik
kombiniert mit
Ablendreflektor.
(Quelle: Molto Luce
Trigga)

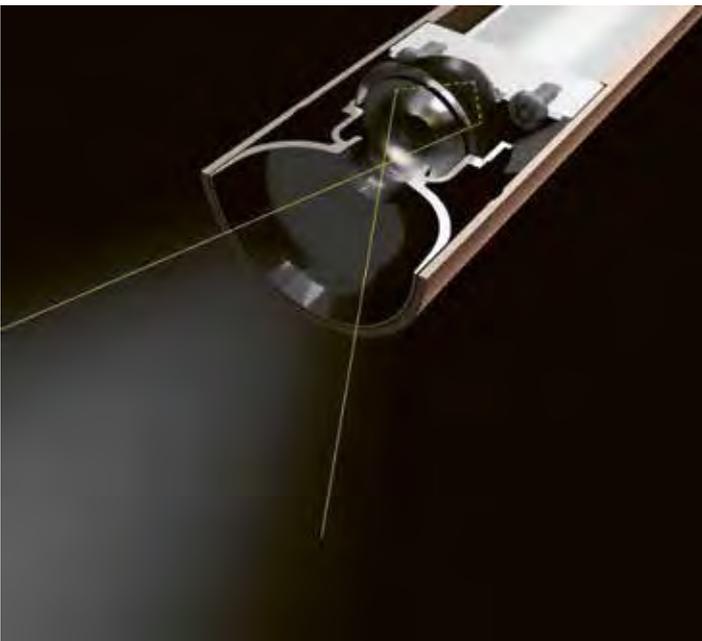


Abbildung 4.19: *Klassische spektrale Verteilung einer Blauentladung.* (Quelle: SSC Sunlike)

Abbildung 4.20: *Neue SunLike LED mit Purple Entladung.* (Quelle: SSC Sunlike)

Abbildung 4.21: *Die SunLike zeigt im Verhältnis zur klassischen LED sehr gute Werte und einen CRI von 97.* (Quelle: SSC Sunlike)

fen nur den Energieaufwand für die Erzeugung von Licht. Weit wichtiger aber ist dabei der sekundäre Prozess. Dabei geht es stets um die Lichtwirkung. Wir wissen, dass der Sehprozess über Lichtleistung, Blendung und Kontrast beeinflusst wird. Die Hirnleistung zur Wahrnehmung und Verarbeitung ist im Wesentlichen davon betroffen, deshalb kann dieser Energieaufwand nicht vernachlässigt werden. Zu beachten ist zudem die nichtvisuelle Wirkung, die ebenso mit Energie oder Müdigkeit zu tun hat.

Die neue SunLike besticht nicht nur durch die spektrale Ausgewogenheit, sondern auch durch die milden aber lesbaren Kontrastunterschiede sowie die Farbtiefe, die sich vor allem bei Bildern auswirken. Zudem wird der Sehprozess optimal unter-

stützt. Der Rotbereich ist im Verhältnis zu klassischen LED sehr gut, könnte aber im Vergleich zum Tageslicht noch stärker angeglichen werden. Es fällt dabei auf, dass gerade die Tiefenschärfe, die Dreidimensionalität und der Kontrast einen wesentlichen Unterschied machen.

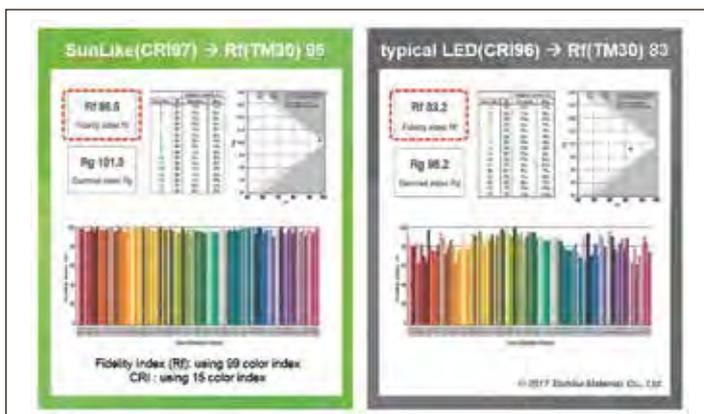
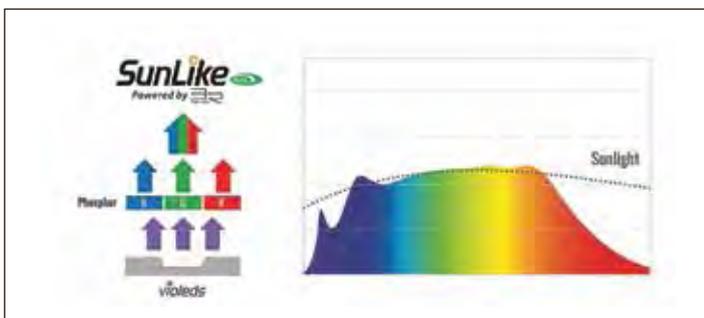
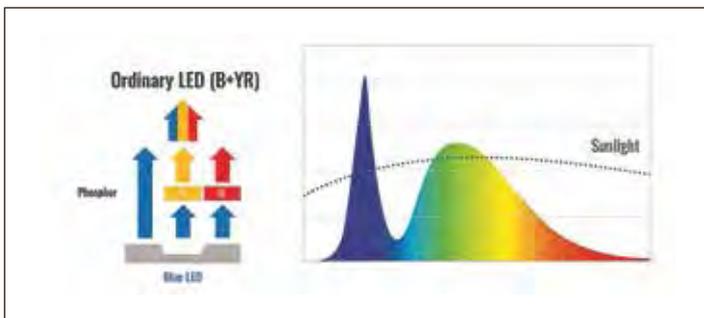
Neben Seoul Semi Conductors mit SunLike hat auch Nichia mit Optisolis eine ungeahnte Farb-Performance an den Tag gelegt. Nichia spricht bereits von Standard-Produkten, die die Farbpalette auf CRI über 95 festlegt. Zudem lässt das System auch ein Spektraldesign für eigene Bedürfnisse zu.

Neue Treiberttechnologien

Die Möglichkeiten, die LED mit verschiedenen Lichtfarben auf engstem Raum bieten, wecken nicht nur Begehrlichkeiten bei Kunden, sondern führen zu chronobiologisch gesteuertem Licht, das nicht nur zu besserer Arbeitseffizienz und Konzentrationsfähigkeit führt, sondern auch die Gesundheit und das Sehvermögen massgeblich unterstützen. Das Abbild auf der Netzhaut wird durch höhere Kontraste und ein ganzheitliches Lichtspektrum verbessert. Es fällt einem arbeitenden Menschen einfacher, den Sehprozess mit weniger Energie auszuführen und zur richtigen Zeit die richtige Lichtmenge im richtigen spektralen Bereich zu nutzen.

Die neuen Treiber sind mehrkanalfähig. Damit kann zum Beispiel ein Treiber bereits mit 2 Kanälen unterschiedliche Weisstone (z. B. 2200 K – 5000 K) ansteuern und fast jede beliebige Stimmung von Ambient bis hin zu Bürobeleuchtung abdecken.

Dimmung: Ältere Treiber haben gezeigt, dass keine Dimmung auf 0 % möglich ist. So war bei vielen handelsüblichen Geräten bei 10 % Schluss. Sie wurden normalerweise ohne Hinweis auf die Einschränkung als dimmbare Geräte verkauft. Vielfach wurde diese technische Einschränkung nur bei Nachfrage erwähnt, weil sie State of the art war. Diese PWM-Geräte (Pulsweiten-Modulation) konnten auch andere Probleme verursachen, wie Flackern in ungünstigen Dimmbereichen, Inkompatibilitäten im Zusammenhang mit falschen



technischen Spezifikationen oder Störungen bei Ansteuerung durch externe Busprotokolle wie DALI («hängen bleiben»). Bessere Treiber konnten dann bis 1 % dimmen, danach war häufig ein sprunghaftes Ausschalten das Resultat. Zudem zeigte sich auch die Problematik der LED, nämlich den undefinierten Zustand im tief gedimmten Bereich.

Wie Abbildung 4.22 zeigt, funktioniert die Hybrid-Dimmung als Kombination einer Amplitudendimmung und einer Pulsweitenmodulation auch im untersten Dimmbereich. Diese Geräte sind sowohl in 1-Kanal-Ausführung wie auch in Mehrkanal-Ausführung erhältlich.

Weitere Entwicklungen

■ Unico von XAL ist ein Cluster-Downlight, das Räume erstaunlich zu verändern mag. Das etwa 12 cm auf 12 cm grosse Einbaudownlight ist in 9 Segmente geteilt, die verschiedenartig bestückt werden können. Jedes dieser 9 Felder kann eine eigene Photometrie (Lichtverteilungskurve, LVK) mit unterschiedlichen Lichtfarben erzeugen. So lässt sich ein und derselbe Raum plastisch von punktueller Beleuchtung zu gleichmässiger Bodenbeleuchtung oder auch zur

raumaufspannenden Wandbeflutung verändern. Die Manipulation wird immer im Downlight ermöglicht.

■ Die von Lens Vector entwickelte Halbleiter-Flüssigkristalllinse kann den Ausstrahlungswinkel von 5° bis 60° verändern. Die veränderbare und steuerbare Linse hat ein enormes Potenzial.

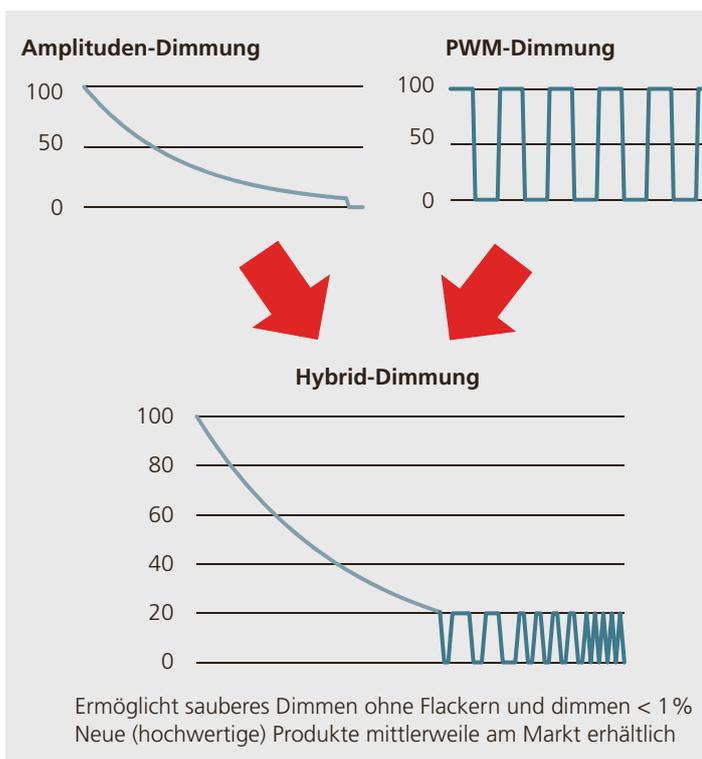
Abbildung 4.23
(oben): Unico von XAL. (Quelle: XAL GmbH)

Abbildung 4.24
(Mitte): Unico in Aktion. (Quelle: XAL GmbH)

Abbildung 4.25: Dynamic beam shaper von Lens Vector.



Abbildung 4.22:
Hybrid-Dimmung.
(Quelle:
Bartenbach)



4.6 LED-Fadenlampen im Test

Nachdem die ersten LED-Ersatzlampen für die bisherigen Glüh- und Halogenleuchtampen zu hohen Preisen, mit grossen Kühlkörpern versehen und in einer wenig ästhetischen Erscheinung auf den Markt kamen, kann man die heutigen Retrofit-LED-Lampen kaum mehr von Glühlampen unterscheiden. Unter der Bezeichnung LED-Filament- oder Fadenlampe sind sie zum praktischen Eins-zu-Eins-Ersatz für Glühlampen geworden. Abbildung 4.26 zeigt das sich wandelnde Erscheinungsbild der LED-Ersatzlampe. Ein Test im Auftrag von BFE (Bundesamt für Energie), EKZ (Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (ekz) und der Fernsehendung Kassensturz im Jahre 2016 untersuchte die Qualität der neuen LED-Filamentlampen.

Der Test

Im Handel sind sie unter der Bezeichnung Filamentlampen erhältlich, eine Ableitung vom englischen «filaments» für Fäden. Die 5 bis 10 mit LED bestückten Fäden sind konzentrisch in einen Glaskolben – ähnlich einer Glühlampe – eingebaut. Die zirka 30 roten und blauen Leuchtdioden pro Faden sind in Serie und jeweils 2 Fäden parallel geschaltet; die Strangspannung an einem Faden beträgt je nach Bauart zwischen 50 V und 80 V, die elektrische Leistung etwa 1 Watt (Abbildung 4.27). Daraus ergibt sich eine elektrische Lampenleistung von 5 W bis 10 W. Die Lichtfarbe ist we-

Abbildung 4.26: Das sich wandelnde Erscheinungsbild der LED-Ersatzlampe.

Verkaufsjahr	2010	2019
LED-Lampe		
Preis	70 Fr.	10 Fr.
Elektrische Leistung	12 Watt	6 Watt
Lichtstrom	806 Lumen	806 Lumen
Effizienz	65 lm/W, Klasse A	134 lm/W, Klasse A++
Gewicht	220 Gramm	30 Gramm

sentlich durch die Anteile an blauen und roten LED bestimmt. In Abbildung 4.28 ist ein Lichtspektrum mit dem typischen «Rot-Peak» beispielhaft dargestellt. Um das Lichtspektrum zu ergänzen, sind die knapp 40 mm langen Fäden fluoreszierend beschichtet, was die üblicherweise gelbliche Farbe der Fäden erzeugt. Die Energieeffizienz der Fadenlampen liegt um den Faktor 10 über jener von Glühlampen und ist doppelt so hoch wie jene von Energiesparlampen. Die Lampen sind also supereffizient, aber wie schneiden die Produkte bezüglich Farbwiedergabe, Nutzungsdauer und Schaltfestigkeit ab? Dazu gibt die Studie «LED-Filamentlampen im Test» Auskunft.

Grosse Unterschiede im Test

Auffallend sind die zum Teil grossen Abweichungen der deklarierten Werte zur Messung. Dies gilt besonders für das Kriterium der Nutzungsdauer respektive für den Rückgang des Lichtstromes während des

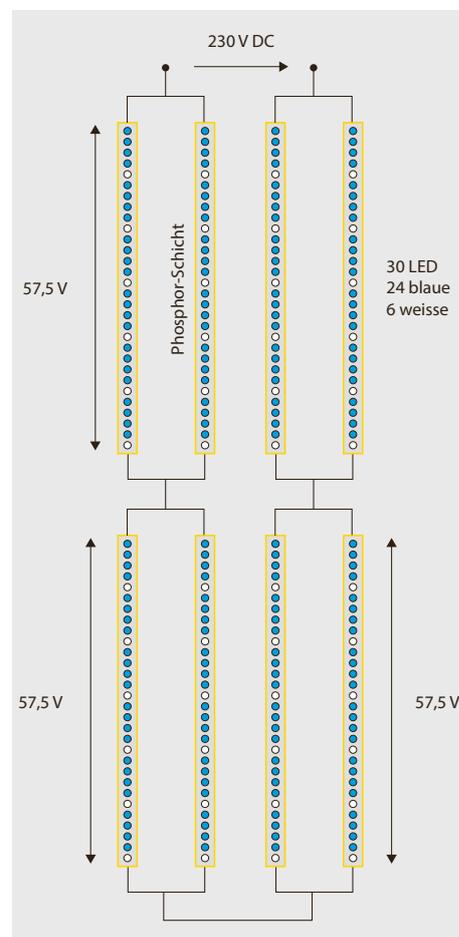
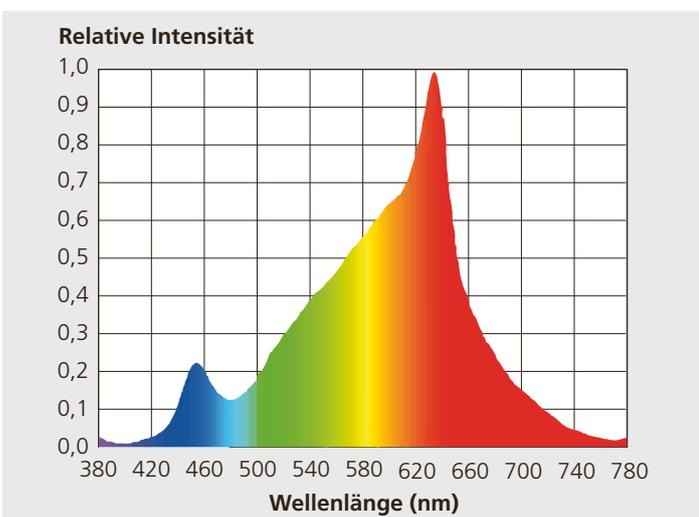


Abbildung 4.27: Vereinfachtes Schaltschema einer Filamentlampe: Die insgesamt 8 Leuchtfäden sind paarweise in Serie geschaltet. Die Betriebsspannung beträgt 57,5 Volt Gleichstrom, was einen Gleichrichter im Schraubsockel bedingt. In dieser Konfiguration leuchten im Betrieb 240 LED. (Quelle: Gasser, eLight)

Betriebes. Von allen 9 Produkten schneidet «Sylvania» am besten ab: höchste Energieeffizienz, sehr lange Nutzungsdauer und eine realitätsnahe Deklaration. Die Lampen von Megaman und Philips sind gut deklariert. Die guten Resultate werden bei der «Philips 7,5-Watt» durch die geringere Nutzungsdauer und bei der Megaman-Lampe durch die nur mittelmässige Effizienz etwas relativiert. Im Mittelfeld sind die Produkte Philips 9,5 W und Xnovum positioniert. Die LCC-Lampe von Xnovum war überwiegend falsch respektive lückenhaft deklariert, insbesondere bei wichtigen Eigenschaften wie der Farbwiedergabe. In der Technologie unterscheidet sie sich nur unwesentlich von anderen Filament-Modellen. Insofern ist die Bezeichnung LCC (Laser Crystal Ceramics) zumindest ungenau, wenn nicht sogar irreführend. Ungenügend waren – vor allem bezüglich Nutzungsdauer – die vier Produkte Segula (7 W und 8 W), Wiva und Onlux; sie sind heute nicht mehr im Handel.

Fazit: Der Test zeigt, dass die produktionstechnischen Voraussetzungen für gute Filamentlampen verfügbar sind. Bei den meisten Lampen reduziert sich allerdings der Lichtstrom stärker und schneller als die Deklaration vermuten lässt. Da diese Lampen häufig mit dem Argument einer langen Lebensdauer verkauft werden, ist diese Diskrepanz besonders störend.

Abbildung 4.28: Ein Farbspektrum einer Filamentlampe: Wellenlänge in nm und die entsprechende relative Intensität. (Quelle: Gasser, eLight)



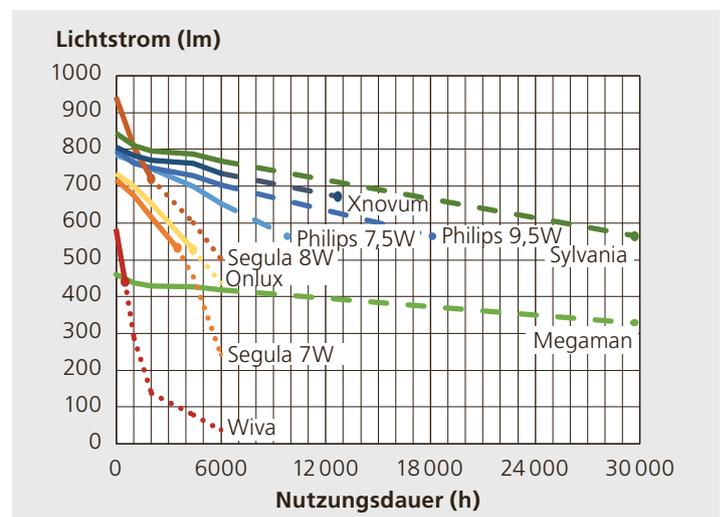
Kriterien der Bewertung

Die Messungen wurden durch das Prüf- und Zertifizierungsinstitut des VDE durchgeführt. Das Institut in Offenbach verfügt über die dafür notwendigen Messeinrichtungen. Die **Lichtstärken** in alle Richtungen (Lichtverteilungskurve) wurden mittels Fotogoniometer erhoben. Die **elektrische Leistung** lieferte ein Wattmeter, daraus resultierte die **Energieeffizienz** (Lumen je Watt). Der **Lichtstrom** – und damit die Nutzungsdauer – wurde mit der Ulbrichtkugel nach null, 1000, 2000, 4400 und 6000 Betriebsstunden gemessen.

Als **Nutzungsdauer** sind jene Betriebsstunden definiert, während denen der Lichtstrom der Lampe mindestens 70 % des deklarierten Wertes erreicht. In Abbildung 4.29 sind die grossen Unterschiede zwischen den Produkten erkennbar. Die beiden Lampen Sylvania und Megaman erreichten eine Nutzungsdauer von 30 000 Stunden, die «Wilva» brachte schon nach 500 Stunden nicht mehr die geforderten 70 % des deklarierten Lichtstromes. (In einem Haushalt entsprechen 10 000 Betriebsstunden etwa 10 Jahren.)

Farbwiedergabe: Bei allen Produkten mit einer Ausnahme ist der Farbwiedergabeindex mit 80 deklariert, die Messwerte liegen ausnahmslos zwischen 80 und 82. Auf der Packung der Xnovum-Lampe sind 94 vermerkt, was in Anbetracht des tatsächlichen Wertes als Falschdeklaration zu werten ist.

Abbildung 4.29: Lichtstrom der 9 Filamentlampen in Abhängigkeit der Nutzungsdauer. Die Werte über einer Nutzungsdauer von 6000 Betriebsstunden sind extrapoliert. Die fett markierten Punkte bezeichnen das Ende der Nutzungsdauer gemäss Prüfbedingungen: mindestens 70 % des deklarierten Lichtstromes während der Nutzungsdauer. Eine Falschdeklaration führt logischerweise zu einer Minderbewertung. Nur 2 Produkte erreichten die deklarierten Werte, die anderen 7 blieben unter den Erwartungen.



Farbtemperatur: Für die Lampe Wiva ist eine Farbtemperatur von 3000 Kelvin deklariert, alle anderen Produkte sind mit 2700 Kelvin bezeichnet. Die Messwerte liegen in einem Bereich zwischen 98 % und 104 % der Deklaration. Die Messungen der Farbwiedergabe und der Farbtemperatur erfolgten mit einem Farbspektrometer.

Die **Schaltfestigkeit** ist bei keinem Produkt kritisch; alle Lampen können deutlich häufiger – mehr als 200 000-mal – ein- und ausgeschaltet werden als dies die Deklaration vermerkt. Die Deklaration ist bei einigen Produkten fehlerhaft respektive unvollständig. Dies gilt vor allem für die Lampen von Segula und für die «Xnovum».

Fazit: Testsiegerin ist die Lampe Sylvania, insbesondere aufgrund der hohen Energieeffizienz von 140 lm/W und der langen Nutzungsdauer. Die Megaman-Lampe ist die einzige dimmbare Lampe im Test; die niedrigere Energieeffizienz ist also technisch bedingt. Die Philips 9,5 Watt ist in konventioneller LED-Technik gefertigt und diente im Test als Referenzprodukt.

Abbildung 4.30:
Testresultate der 9
Leuchtfaden-
lampen.

Leuchtfadenlampen: 9 Produkte im Test									
Produkt	Mega- man	Philips	Philips	Segula	Segula	Sylvania	Wiva	Xnovum	Onlux
Bezeichnung	Filament Lamp dimmbar	Deco Classic	LED-Stan- dard	LED Fila- ment Bulb	LED Fila- ment Bulb	LED Home- light	Wire LED	LCC	FiLux
Kaufpreis	27.40 Fr.	12.90 Fr.	8.50 Fr.	14.80 Fr.	19.80 Fr.	16.75 Fr.	14.95 Fr.	35.50 Fr.	9.90 Fr.
Elektrische Leistung									
Angabe	5,5 W	7,5 W	9,5 W	7 W	8 W	6 W	6 W	7 W	6,5 W
Messung	5,1 W	7,3 W	8,8 W	7,6 W	8,4 W	6,0 W	5,3 W	6,0 W	6,4 W
Lichtstrom									
Angabe	470 lm	806 lm	806 lm	760 lm	1050 lm	806 lm	630 lm	960 lm	690 lm
Messung	460 lm	786 lm	797 lm	718 lm	943 lm	844 lm	584 lm	807 lm	734 lm
Abweichung Lichtstrom	- 2 %	- 2 %	- 1 %	- 6 %	- 10 %	+ 5 %	- 7 %	- 16 %	+ 6 %
Energieeffizienz	85/90 lm/W	107/108 lm/W	85/91 lm/W	109/94 lm/W	131/112 lm/W	134/141 lm/W	105/110 lm/W	137/135 lm/W	106/115 lm/W
Farbwiedergabeindex R_a									
Angabe	80	80	80	80	80	80	80	94	80
Messung	81	82	81	81	80	81	81	80	80
Abweichung	+ 1 %	+ 3 %	+ 1 %	+ 1 %	+ 0 %	+ 1 %	+ 1 %	-15 %	+ 0 %
Farbtemperatur									
Angabe	2700 K	2700 K	2700 K	2700 K	2700 K	2700 K	3000 K	2700 K	2700 K
Messung	2720 K	2795 K	2806 K	2726 K	2776 K	2679 K	2937 K	2647 K	2722 K
Abweichung	+ 1 %	+ 4 %	+ 4 %	+ 1 %	+ 3 %	- 1 %	- 2 %	- 2 %	+ 1 %
Nutzungsdauer									
Angabe	15 000 h	15 000 h	25 000 h	15 000 h	15 000 h	15 000 h	15 000 h	35 000 h	25 000 h
Messung	29 700 h	9 800 h	18 100 h	3 500 h	1 800 h	29 700 h	500 h	12 700 h	4 500 h
Abweichung	+ 98 %	- 35 %	- 28 %	- 77 % *	- 88 % *	+ 98 %	- 97 % *	- 64 % *	- 82 % *
Gesamtbeurteilung	5,2	4,8	4,4	3,5	3,5	6,0	3,6	4,2	3,6

Anmerkungen: Werte mit grossen Abweichungen von den übrigen Messresultaten sind rot respektive grün bezeichnet.

* Die grossen Unterschiede zwischen Angabe und Messung basieren auf Falschdeklarationen, die mit den Produkten mitgeliefert wurden.

4.7 Irrtümer über LED

Zum Thema LED sind immer wieder Halb- oder Unwahrheiten zu hören. Einige Beispiele:

■ **Behauptung 1:** Die LED-Technik ist eine Erfindung des 21. Jahrhunderts.

Richtig ist: Die ersten LED kamen in den 1960er-Jahren auf den Markt. Sie waren rot, wenig effizient und wurden beispielsweise in Digitaluhren eingesetzt. Erst 40 Jahre später gelang es, auch weisse LED herzustellen.

■ **Behauptung 2:** LED erzeugen 90 % Licht, es entsteht keine Abwärme.

Richtig ist: Weisse Leuchtdioden können 30 % bis 50 % des elektrischen Stroms in Licht umwandeln, der Rest ist Wärme. Diese entsteht aber auf der Rückseite der leuchtenden LED-Fläche, deshalb ist der Lichtstrahl selber frei von Wärme.

■ **Behauptung 3:** LED sind effizienter als Leuchtstoffröhren.

Richtig ist: Die aktuelle Systemeffizienz von Leuchtdioden liegt zwischen 100 und 160 lm/W. Die besten Leuchtstoffröhren weisen eine Lichtausbeute von rund 100 lm/W auf. LED können aufgrund ihres stark gerichteten Lichts punktuell sehr hohe Lichtstärken erzeugen. Lichtstärke und Lichtmenge sind jedoch nicht gleichzusetzen: Der Wasserstrahl eines Gartenschlauches kann bei enger Düse sehr weit spritzen, auch mit geringer Wassermenge.

■ **Behauptung 4:** LED erzeugen kaltes, schlechtes Licht.

Richtig ist: Das Qualitätsspektrum der LED-Technik ist gross. Die besten LED haben eine Lichtqualität, die mit Halogenlicht vergleichbar ist. Diese LED sind weit verbreitet, aber der Betrachter kann sie oft gar nicht als LED identifizieren. Kaltes und minderwertiges LED-Licht kennen wir insbesondere von Taschenlampen und Velolampen.

■ **Behauptung 5:** Die Lebensdauer von LED ist fast unbegrenzt.

Richtig ist: Eine lange Lebensdauer (30 000 bis 100 000 Stunden) weisen LED nur bei hochwertiger Verarbeitung auf. Dazu gehört ein gutes Netzgerät (Stromwandler von 230 Volt Netzspannung zu niedervoltiger Gleichspannung) und eine

Konstruktion, welche die Wärmeabgabe des LED-Chips sicherstellt. Der Lampenkörper sollte metallisch sein und im Betrieb nicht heiss (nur handwarm) werden.

■ **Behauptung 6:** Weisse LED sind eine rot-grün-blaue Lichtmischung (RGB).

Richtig ist: Weisses LED-Licht lässt sich durch Mischung der Grundfarben erzeugen. Allerdings ist die Lichtqualität dann gering, weil wichtige Anteile im Farbspektrum fehlen. Gute weisse LED sind eine Kombination einer blauen LED mit einer speziellen Leuchtstoffbeschichtung, ähnlich wie bei Leuchtstofflampen.

■ **Behauptung 7:** LED-Beleuchtung ist nicht wirtschaftlich.

Richtig ist: Es hängt sehr von der Anwendung ab. Eine LED-Installation in einem Restaurant, Verkaufsladen oder Hotel mit rund 4000 Betriebsstunden pro Jahr amortisiert sich heute in etwa zwei bis vier Jahren. Bei anderen Anwendungen bewegen sich die Amortisationszeiten zwischen 4 Jahren (Industriehallen) und 10 Jahren (Beleuchtungen in Büros, Schulen, Heimen, etc.).

■ **Behauptung 8:** LED-Lampen lassen sich nicht dimmen.

Richtig ist: Im Gegensatz zu Glühlampen lassen sich nur LED-Lampen dimmen, die dafür geeignet sind. Da herkömmliche Halogenlampen-Dimmer meist nur für Lampen ab 20 Watt einsetzbar sind, können selbst dimmbare LED-Lampen (mit typischen Leistungen von 4 Watt bis 20 Watt) nur gedimmt werden, wenn mehrere zusammen betrieben werden.

■ **Behauptung 9:** LED erzeugen Elektrosmog wie Sparlampen.

Richtig ist: LED benötigen ein Vorschaltgerät, ähnlich wie Sparlampen. Im Gegensatz zu Sparlampen nutzen Leuchtdioden aber (fast) strahlungsfreien Gleichstrom, Sparlampen hochfrequenten Wechselstrom. Messungen der ETH Zürich belegen, dass LED-Lampen so strahlungsarm sind wie Glühlampen.

■ **Behauptung 10:** Die Herstellungskosten von LED sind sehr hoch.

Richtig ist: Die Herstellungskosten von LED betragen weniger als 5 % der Betriebsenergie während der Lebensdauer. Der



Abbildung 4.31: LED-Lampen mit der Bezeichnung «WarmGlow» leuchten auch im gedimmten Zustand so angenehm wie eine Halogenlampe.

Ausschuss bei der Fabrikation ist sehr gering: Über 90 % der produzierten LED-Chips kommen zum Einsatz; in dieser grossen Ausnutzungsrate liegt auch der Grund für die grossen Qualitätsunterschiede der verkauften Ware.

■ **Behauptung 11:** Das LED-Weiss ist von Lampe zu Lampe verschieden.

Richtig ist: Die Weissstönung bei warmweissen LED in Retrofitlampen für Haushaltsanwendungen kann je nach Hersteller variieren; so kann ein eher rötliches, gelbliches oder grünliches Weiss entstehen. Es empfiehlt sich, den Farbton einer Lampe vor dem Kauf im Geschäft durch Beleuchtung der Handfläche zu prüfen.

■ **Behauptung 12:** Defekte LED kann man in den Hausmüll werfen.

Richtig ist: LED-Lampen enthalten elektronische Bauteile. Am Ende ihrer (hoffentlich) langen Lebensdauer müssen sie wie der übrige Elektroschrott (Computer, Radio, Bügeleisen etc.) fachgerecht entsorgt werden. Im Gegensatz zu Sparlampen enthalten LED aber kein giftiges Quecksilber.

■ **Behauptung 13:** Die Energieeffizienz der LED wird noch stark steigen.

Richtig ist: Seit 2010 hat sich die Energieeffizienz der Leuchtdioden etwa verdoppelt. In den nächsten 10 Jahren wird eine weitere, aber weniger starke Steigerung um ca. 50 % erwartet. Dann stösst man für hochwertiges weisses Licht an die physikalischen Grenzen. Für farbiges LED-Licht sind die Steigerungspotenziale grösser.

■ **Behauptung 14:** Für jede Halogenlampe gibt es ein LED-Ersatzprodukt.

■ **Richtig ist:** Für eine Grosszahl der herkömmlichen Lampen gibt es LED-Ersatzprodukte, die sich nur wenig von den (originalen) Halogenlampen unterscheiden. Bei einigen Lampentypen (Halogen-Stublampen R7s oder Stifflampen) sind die Ersatzprodukte aber deutlich voluminöser, sodass ein Ersatz in manchen Fällen nicht möglich oder sinnvoll ist. Vergleiche dazu Abbildung 4.32.

■ **Behauptung 15:** Das Blaulicht der LED schadet der Gesundheit.

■ **Richtig ist:** Bei alltäglicher, normaler Benutzung ist der blaue Lichtanteil der handelsüblichen LED-Lampen ungefährlich. Blaues Licht ist aber grundsätzlich energiereicher als rotes und eine lange, direkte Bestrahlung – insbesondere ins Auge – ist bei langer Exponierung gefährlich. Das Tageslicht enthält sehr viel Blaulicht – deshalb ist der Himmel bei schönem Wetter blau.

■ **Behauptung 16:** Die Zukunft gehört den organischen LED (OLED).

Richtig ist: Mit organischen LED lassen sich leuchtende Flächen erzeugen. Die OLED-Technik steckt aber noch in den Kinderschuhen: Heute können erst OLED von einigen Quadratzentimetern Fläche hergestellt werden. Von der oft gehörten Vision, ganze Decken und Wände mit leuchtenden OLED zu tapezieren, ist die Industrie noch weit entfernt.

Abbildung 4.32:
Stablampe R7s als
Halogen- und LED-
Variante.



Leuchten

5.1 Profi- und Wohnleuchten

Die Begriffe «Lampe» und «Leuchte» werden häufig verwechselt. Effektiv entspricht die Lampe dem Leuchtmittel und mit Leuchte ist der Schirm über oder um das Leuchtmittel gemeint. Der Leuchtenmarkt umfasst den professionellen Markt, den «Heimmarkt» und einen kleinen Markt für Designerleuchten.

■ **Professionelle Leuchten** sind vor allem für Bauten und Anlagen der Dienstleistung und der Industrie bestimmt. Die Leuchten werden zum grössten Teil in Europa produziert. Auch in der Schweiz gibt es zahlreiche Firmen, die solche Leuchten entwickeln und herstellen, z. B. Baltensweiler, Belux, Fluora, Huco, Kaspar Moos, Licht + Raum, Mabalux, Neuco, Küttel, Prolux, Regent, Ribag und Tulux. Die professionellen Leuchten sind nach lichttechnischen Grundsätzen berechnet und konstruiert sowie in einem Lichtlabor ausgemessen. Sie werden nur über den Fachhandel oder über Planer und Installateure vertrieben. Da professionelle Leuchten meist in grösseren Stückzahlen verkauft werden, sind sie im Endpreis mit durchschnittlich 120 Fr. pro Leuchte weniger teuer als man aufgrund der Produktionsstandorte in Europa vermuten könnte. In der Schweiz werden jährlich ca. 3,5 Millionen professionelle Leuchten verkauft und installiert. Über 80 % der heute neu installierten Leuchten sind LED-Produkte.

■ **Heimleuchten** werden im Gegensatz zu den professionellen Leuchten meist in Fernost produziert und überwiegend von Grossverteilern importiert und vertrieben. Die Leuchten werden in der Regel nicht nach lichttechnischen Kriterien entwickelt, sondern als gefällige Objekte gestaltet. Heimleuchten werden meistens nicht ausgemessen, ihre Energieeffizienz ist eher zufällig, abgesehen vom Leuchtmittel, häufig eine schraub- oder steckbare Halogen- oder LED-Lampe. Der LED-Boom hat im Heimbereich später eingesetzt als im professionellen Markt; im Jahre 2017 wa-

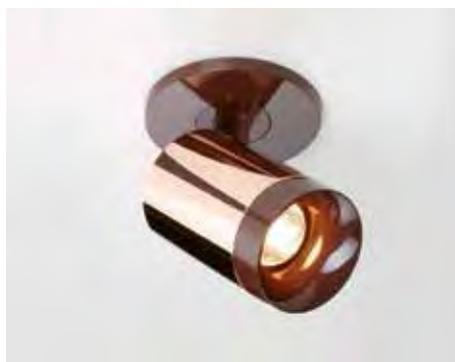


Abbildung 5.1: Stromsparende Wohnleuchten Tobias Grau (www.tobiasgrau.com).





Abbildung 5.2:
Stromsparende
Wohnleuchten von
Baltensweiler
(www.baltensweiler.ch).

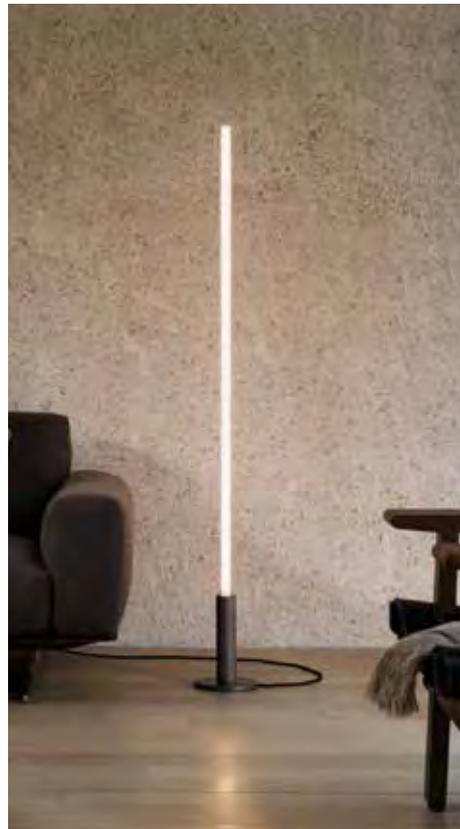
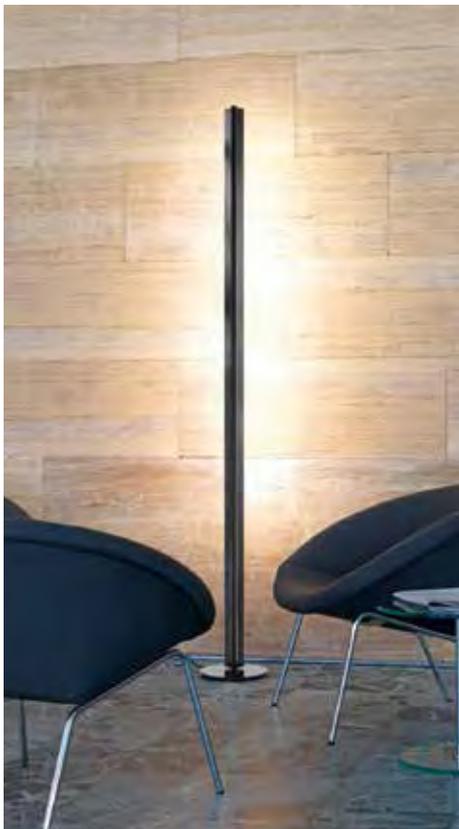


Abbildung 5.3
(linke Spalte):
Stromsparende
Wohnleuchten
von Belux
(www.belux.ch).

Abbildung 5.4
(rechte Spalte):
Stromsparende
Wohnleuchten
von Ribag
(www.ribag.ch).

ren rund die Hälfte der neu verkauften Leuchten mit LED-Technik ausgerüstet. Der durchschnittliche Leuchtenpreis im Wohnbereich liegt bei 40 Franken.

Da die Energieeffizienz von Leuchten auch in der privaten Wohnung von Bedeutung ist, hat die Fachhochschule Chur ein einfaches Messlabor aufgebaut, in welchem Heimleuchten ausgemessen werden. Die Grossverteiler Migros und Coop nutzen dieses Angebot.

www.htwchur.ch/forschung-und-dienstleistung/labore/beleuchtungslabor

■ **Designerleuchten** machen einen kleinen Nischenmarkt aus. Sie werden professionell konzipiert und eignen sich für Wohnungen sowie für repräsentative Räume in Hotels, Banken und Verwaltungen. Designerleuchten sind mit Preisen von über 500 Fr. teurer als Grossserienleuchten; sie sind im Möbel- und Elektrofachhandel erhältlich. Wichtige Hersteller von Designerleuchten sind, unter anderen Artemide, Baltensweiler, Belux, Tobias Grau oder Ribag.



*Abbildung 5.5:
Stromsparende
Wohnleuchten von
Philips, erhältlich
bei Lichtfach-
märkten.*



*Abbildung 5.6:
Stromsparende
Wohnleuchten
von Artemide
(www.artemide.ch).*

5.2 Typologie der Leuchten

Professionelle Leuchten sind nach lichttechnischen Kriterien ausgemessen und somit beurteilbar. Die primäre Aufgabe der Leuchte ist die Lichtlenkung. Zudem schirmt die Leuchte Raumabschnitte gezielt von der Beleuchtung ab. Vielfach ist damit ein Blendschutz (Entblendung) verbunden. Diese Fokussierung von Lichtstrahlen kann mit unterschiedlichen Mitteln – effizient oder ineffizient – erfolgen. Die häufigsten Konstruktionen zur Lichtlenkung sind Mattglasscheiben, Kunststoffprismen sowie verspiegelte oder matte Metallreflektoren. Mit der Lichtverteilkurve (LVK) wird die Abstrahlcharakteristik der Leuchten beschrieben, wobei je-

weils die Längs- und die Querrichtung grafisch abgebildet wird. Gemäss der Online-Leuchtendatenbank der Firma Relux (www.relux.com) sind etwa 250 000 verschiedene Leuchten am europäischen Markt erhältlich. Die für Innenräume am häufigsten verwendeten Typen lassen sich acht Kategorien zuordnen: Deckenanbauleuchten, Deckeneinbauleuchten, Downlights, Pendelleuchten, Strahler, Stehleuchten, Industrieleuchten und Wohnleuchten. In Abbildung 5.7 bis Abbildung 5.14 sind effiziente Beispiele aus der Liste der nach Minergie zertifizierten Leuchten (www.toplicht.ch) der acht Leuchtenkategorien, die Lichtverteilkurve und die wichtigsten Kennwerte dargestellt.

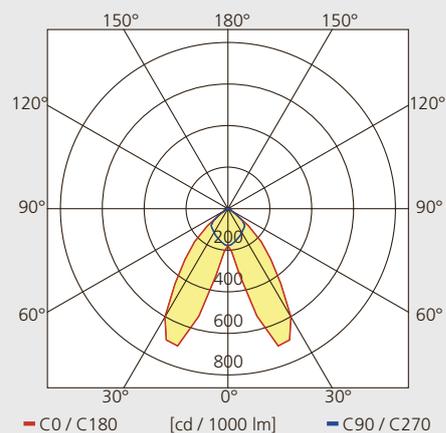


Abbildung 5.7:
Deckenanbauleuchte

- Name: Traq
- Hersteller: Regent Lighting
- Typ: LED
- Leistung: 49 W
- Lichtstrom: 7000 lm
- Effizienz: 143 lm/W
- Direktlicht: 100 %
- Farbwiedergabe $R_a > 80$
- Farbtemperatur 4000 K
- Minergie: Re-0202

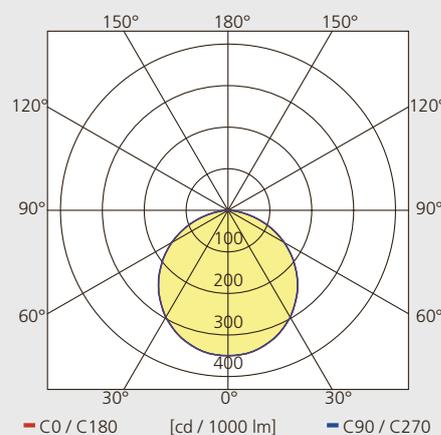
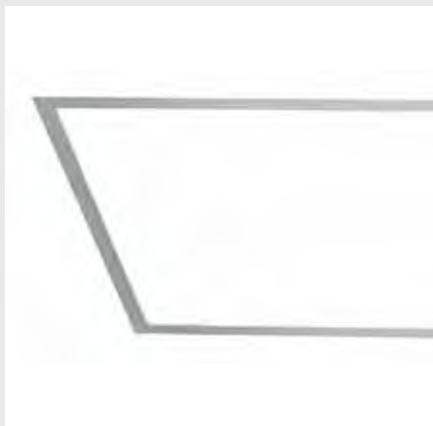


Abbildung 5.8:
Deckeneinbauleuchte

- Name: Opalis
- Hersteller: Fluora
- Typ: LED
- Leistung: 29 W
- Lichtstrom: 3100 lm
- Effizienz: 110 lm/W
- Direktlicht: 100 %
- Farbwiedergabe $R_a > 80$
- Farbtemperatur 4000 K
- Minergie: Flu-0017

Abbildung 5.9:
Downlight

- Name: Panos infinity
- Hersteller: Zumtobel
 - Typ: LED
 - Leistung: 19 W
- Lichtstrom: 2700 lm
- Effizienz: 138 lm/W
- Direktlicht: 100 %
- Farbwiedergabe R_a
> 90
- Farbtemperatur
3000 K
- Minergie: Zu-0779

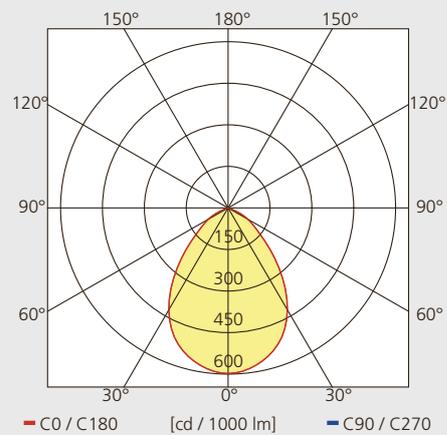


Abbildung 5.10:
Strahler

- Name: Matrix
- Hersteller: Regent Lighting
 - Typ: LED
 - Leistung: 24 W
- Lichtstrom: 2750 lm
- Effizienz: 115 lm/W
- Direktlicht: 100 %
- Farbwiedergabe R_a
> 80
- Farbtemperatur
4000 K
- Minergie: Re-0111

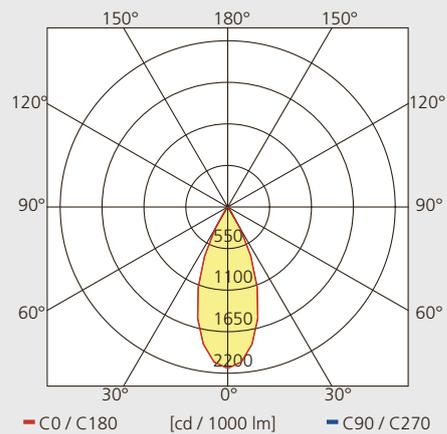
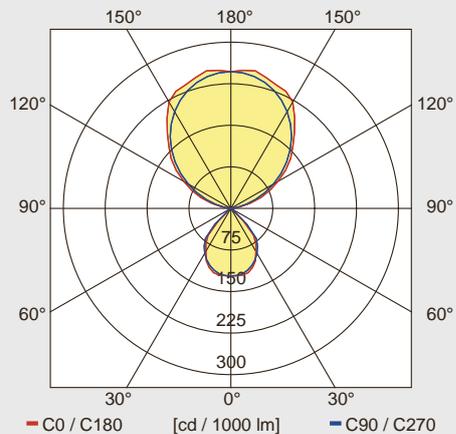


Abbildung 5.11:
Wohnleuchte

- Name: Fez
- Hersteller: Baltensweiler
 - Typ: LED
 - Leistung: 35 W
- Lichtstrom: 3200 lm
- Effizienz: 92 lm/W
- Direktlicht: 45 %
- Farbwiedergabe R_a
> 90
- Farbtemperatur
2700 K
- Minergie: Ba-0009



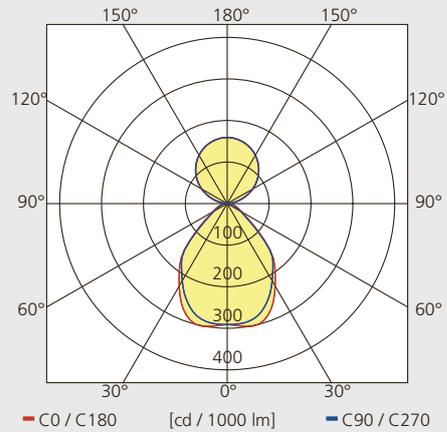


Abbildung 5.12:
Pendelleuchte

- Name: Eco E
- Hersteller: Neuco
- Typ: LED
- Leistung: 72 W
- Lichtstrom: 9400 lm
- Effizienz: 132 lm/W
- Direktlicht: 55 %
- Farbwiedergabe $R_a > 80$
- Farbtemperatur 4000 K
- Minergie: Ne-0083

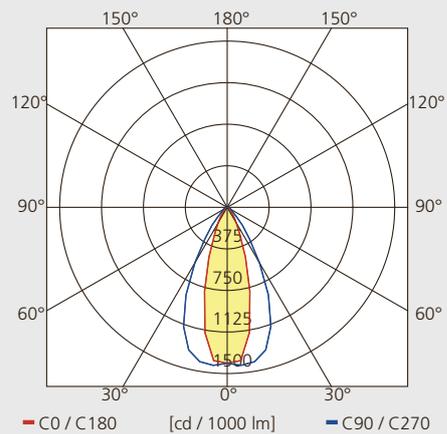


Abbildung 5.13:
Industrieleuchte

- Name: Craft
- Hersteller: Zumtobel
- Typ: LED
- Leistung: 138 W
- Lichtstrom: 21 200 lm
- Effizienz: 154 lm/W
- Direktlicht: 100 %
- Farbwiedergabe $R_a > 80$
- Farbtemperatur 4000 K
- Minergie: Zu-0785

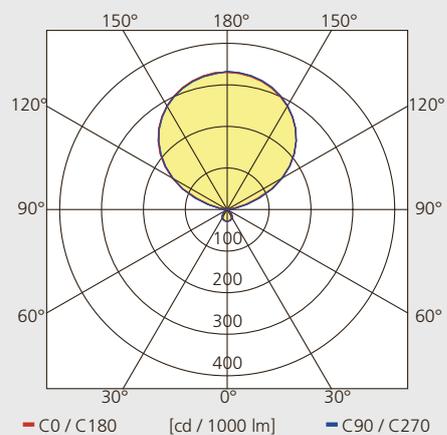


Abbildung 5.14:
Stehleuchte

- Name: Gottardo
- Hersteller: S-TEC electronics
- Typ: LED
- Leistung: 94 W
- Lichtstrom: 14 000 lm
- Effizienz: 148 lm/W
- Direktlicht: 5 %
- Farbwiedergabe $R_a > 85$
- Farbtemperatur 4000 K
- Minergie: S-Tec-0005

5.3 Messen von Leuchten

Die professionelle Messung der Lichtverteilung von Leuchten wird in einem Fotogoniometer vorgenommen. Die Funktionsweise des Goniometers ist in Abschnitt 3.5 beschrieben. Weil Leuchten aber deutlich grösser sind als Lampen und eine Messung, vor allem von Leuchtstofflampen, enorm diffizil ist, kommen für genaue Messungen nur sehr aufwendige und teure Messvorrichtungen zur Anwendung. Es sind drei Typen von Fotogoniometern im Einsatz:

■ **Drehspiegel-Fotogoniometer:** Die Lichtquelle dreht sich um die vertikale Achse. Der Fotometerkopf ist fest und sieht die Quelle über einen Drehspiegel, der sich um eine horizontale Achse dreht. **Vorteil:** sehr präzise Messmethode, auch bei stark temperatur- und lageabhängigen Lampentypen. **Nachteil:** aufwendige Mechanik, hohe Anforderungen an die Qualität des Spiegels und hohe Kosten. **Beispiel:** Metas Bern (Abbildung 5.16).

■ **Fotogoniometer mit beweglichem Sensor:** Die Lichtquelle dreht sich um die vertikale Achse, der Fotometerkopf bewegt sich um eine horizontale Achse mit dem Messobjekt. **Vorteil:** sehr präzise Messmethode, auch bei stark temperatur- und lageabhängigen Lampentypen. **Nachteil:** hoher Platzbedarf aufgrund der grossen Distanz zwischen Sensor und Objekt (bei Innenraumleuchten 10 m bis 15 m) und hohe Kosten. **Beispiel:** Zumtobel, Dornbirn (Abbildung 5.15).

■ **Nahfeld-Fotogoniometer:** Im Prinzip analog der Bewegung des Fotometerkopfes im Gerät mit beweglichem Sensor. Statt des Fotometers wird eine Digitalkamera eingesetzt. Die LVK wird aus den einzelnen Bildpunkten und der Geometrie des Raumes errechnet. **Vorteil:** präzise Messmethode und geringer Platzbedarf. **Nachteil:** hoher Kalibrieraufwand und relativ hohe Kosten. **Beispiel:** Regent Basel

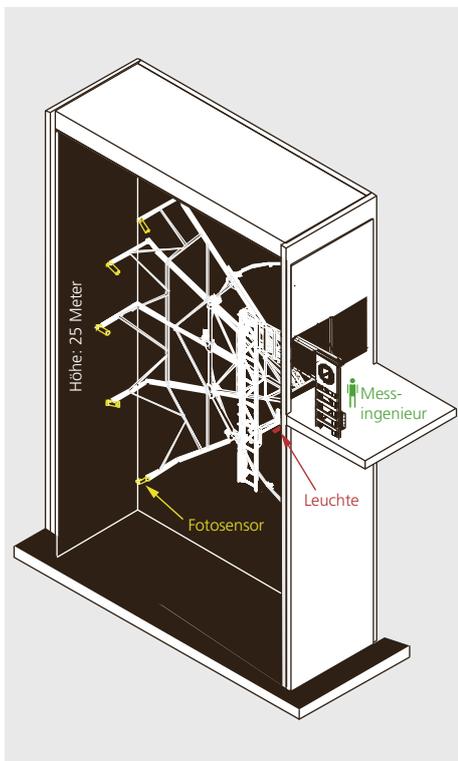


Abbildung 5.15:
Prinzip eines Fotogoniometers mit Bewegung des Fotometerkopfes (Zumtobel, Dornbirn).

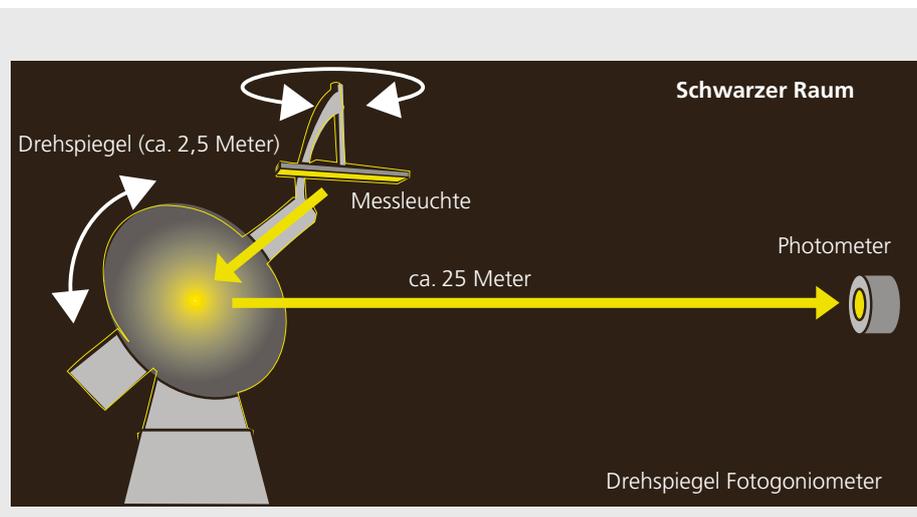


Abbildung 5.16:
Prinzip des Drehspiegel-Fotogoniometers (Metas Bern).

5.4 Minergie-Leuchten

Minergie-Leuchten zeichnen sich durch hohe Qualität und gute Energieeffizienz aus. Nur Leuchten, die von der zuständigen Stelle zertifiziert wurden, dürfen als Minergie-Leuchten bezeichnet werden. Das Label Minergie ist markenrechtlich geschützt. Die Schweizerische Agentur für Energieeffizienz S.A.F.E. ist die einzige autorisierte Zertifizierungsstelle. Damit Leuchten zertifiziert werden können, muss der Hersteller über ein ausgewiesenes Qualitätssicherungssystem (ISO 9000 oder vergleichbar) verfügen. Alle Leuchten müssen in einem akkreditierten Messlabor (nach EN ISO/IEC 17025) nach genau vorgegebenen Richtlinien (nach EN 13032) ausgemessen und dokumentiert werden. Nur von der Labelkommission für Minergie-Leuchten zugelassene Hersteller können Leuchten zertifizieren lassen.

Energieeffizienz einer Leuchte

Als Beurteilungsgrösse für die Energieeffizienz einer Minergie-Leuchte wird die Leuchten-Lichtausbeute verwendet. Diese ist definiert als Quotient des Gesamtlichtstroms und der Systemleistung einer Leuchte. Eine Leuchte besteht aus einem LED-Modul, einem Betriebsgerät und einem Reflektor zur Lichtlenkung und Entblendung. Einige Leuchten haben zusätzlich einen integrierten Lichtsensor. Das Produkt aus Lichtausbeute des LED-Moduls, Wirkungsgrad des Reflektors und Wirkungsgrad des Betriebsgerätes wird

auch als Leuchten-Effizienz-Faktor LEF bezeichnet, vergleiche Abbildung 5.17.

Anforderungen an den Leuchten-Effizienz-Faktor

Basis für die Definition der Anforderungen bildet die SIA-Norm 387/4: 2017 (Elektrizität in Gebäuden – Beleuchtung: Berechnung und Anforderungen), Kapitel 4.2 Einzelanforderungen. Die Anforderungen an Minergie-Leuchten sind abhängig von folgenden Einflussgrössen:

- Leuchtentyp
- Lichtstrom
- Lichtfarbe
- Farbwiedergabeindex

Für eine Stehleuchte mit einer Lichtfarbe von 4000 Kelvin und einem Farbwiedergabeindex von 80 ergibt sich in Abhängigkeit des Lichtstroms eine Minergie-Anforderung gemäss Abbildung 5.18.

Für andere Leuchtentypen, andere Lichtfarben bzw. Farbwiedergabeindizes ergeben sich von der Basisfunktion abweichende Anforderungen. Die verlangte Leuchten-Lichtausbeute wird mit dem aufgeführten Prozentsatz gemäss Tabelle 5.2 multipliziert.

Abbildung 5.19 zeigt die Entwicklung der Energieeffizienz der Minergie-Leuchten seit der Initialisierung im Jahre 2007. Der Mittelwert (blaue Säulen) ist um rund 70 %, der Bestwert (rote Linie) um 100 % gestiegen.

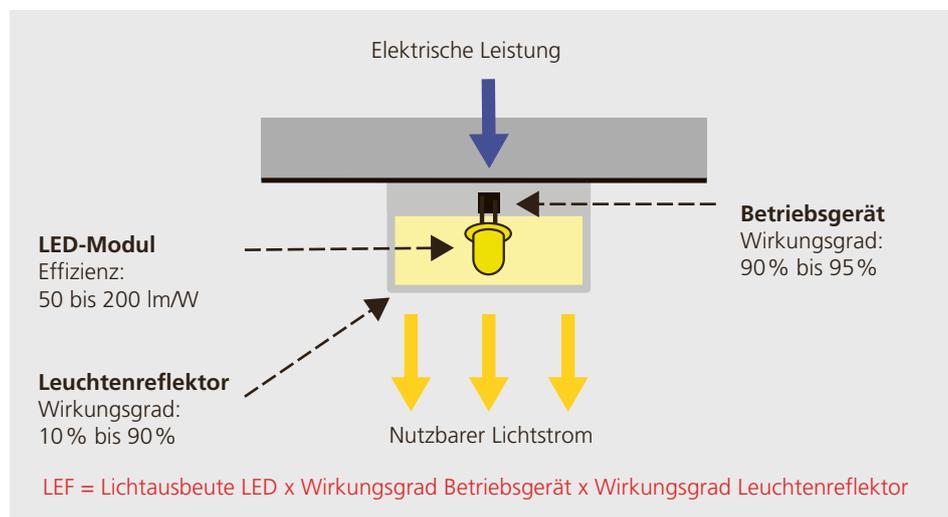


Abbildung 5.17:
Definition des
Leuchten-Effizienz-
Faktors LEF.

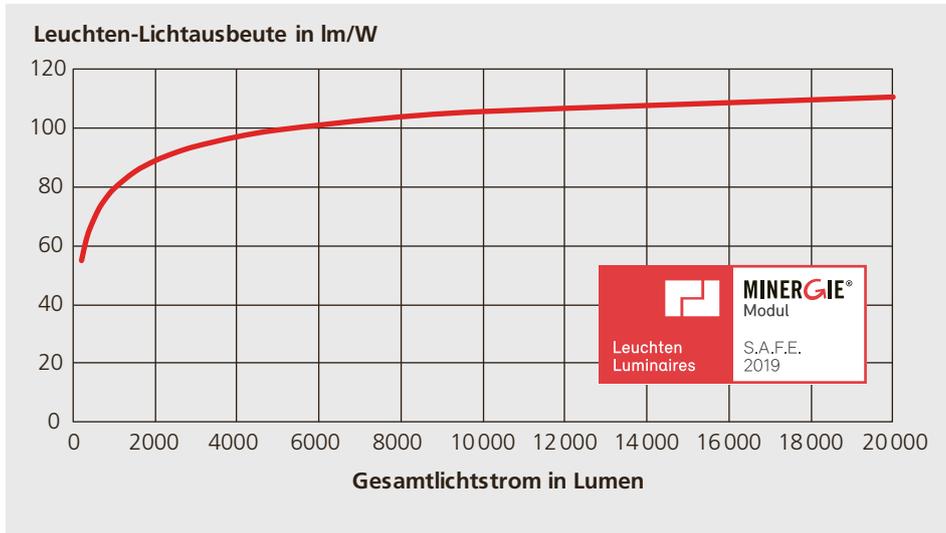


Abbildung 5.18: Minimalanforderungen an MinerGie-Leuchten (Basisfunktion).

Leuchtentyp	Farbwiedergabeindex R_a	Farbtemperatur in Kelvin	Korrektur der Basisfunktion
Deckenleuchten, Pendelleuchten, Stehleuchten	80	4000	100 %
	80	3000	95 %
	90	4000	90 %
	90	3000	86 %
Downlights, Nassraumleuchten, Strahler/Spots, Wallwasher, Wandleuchten, Wohnleuchten	80	4000	90 %
	80	3000	86 %
	90	4000	81 %
	90	3000	77 %
Industrieleuchten	–	–	110 %

Tabelle 5.2: Korrekturfaktoren in Abhängigkeit des Farbwiedergabeindex und der Farbtemperatur.

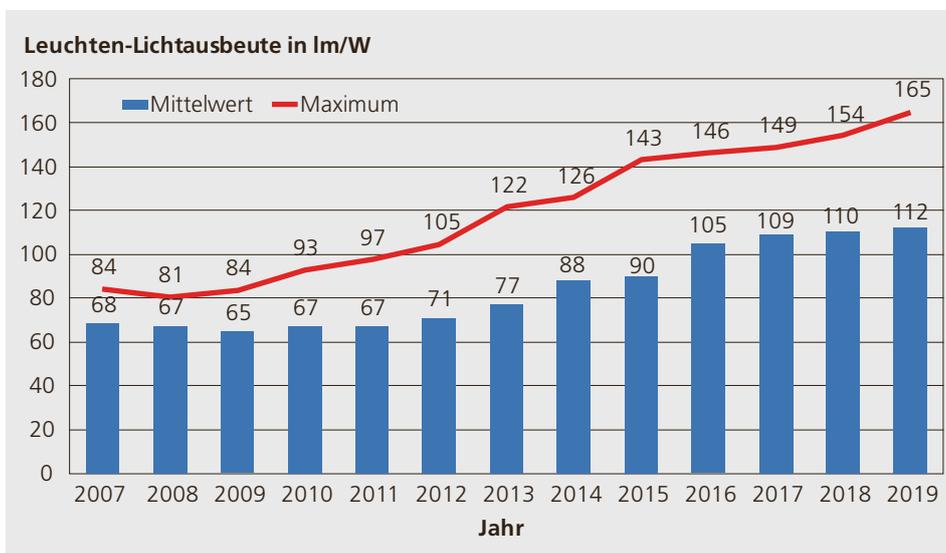


Abbildung 5.19: Entwicklung der Energieeffizienz der MinerGie-Leuchten seit der Initialisierung im Jahre 2007.

Leistung im Standby

Die elektrische Leistung im Standby muss deklariert werden. Er ist auf folgende Werte begrenzt:

- Ungeregelt und nicht dimmbare Leuchten: 0 W
- Dimmbare Leuchten: 0,5 W pro Betriebsgerät
- Integrierte Tageslicht- und Präsenz-Regelung ohne Kommunikation: 0,5 W. (Das Betriebsgerät wird über einen netzseitigen Sensor mit einem elektromechanischen oder elektronischen Schalter im Standby vom Netz getrennt.)
- Integrierte Tageslicht- und Präsenz-Regelung mit einfacher Kommunikation: 1,0 W. Das Betriebsgerät der Leuchte ist über ein Kommunikationssystem (wie z.B. DALI) mit einem Sensor bzw. Aktor verbunden. Die Befehle des Aktors versetzen die Leuchte über eine Kommunikationsleitung in verschiedene Betriebszustände (Vollbetrieb, gedimmter Betrieb, Standby). Das Betriebsgerät kann die Netzseite nicht aktiv ein- und ausschalten.
- Integrierte Tageslicht- und Präsenz-Regelung mit mehrfacher Kommunikation: 1,5 W. Das Leuchtensystem besteht aus mehreren Komponenten: Steuermodul, Betriebsgeräte und Sensoren bzw. Aktoren. Das Steuermodul verwendet ein oder mehrere Kommunikationssysteme (z.B. DALI, Modbus) zur Beeinflussung und Abfrage der angehängten Elemente. Dabei kann das Steuermodul die Versorgung der Betriebsgeräte, Sensoren und Aktoren aktiv zu- und abschalten.

Begrenzung der Blendung

- Es sind zwei UGR-Werte (Blickrichtung quer bzw. parallel zur Leuchtenachse) anzugeben. Abstufung in 5 Klassen: <13, <16, <19, <22, <25.
- Blendbegrenzung der Leuchte nach UGR im Standardraum für Minergie-Leuchten: höchstens 25 (Ausnahme: Spots, Strahler, Wallwasher).

Bemerkung: Sind die Raumabmessungen und die Reflexionsgrade zum Zeitpunkt der Planung nicht bekannt, so kann eine Referenzsituation zur Berechnung des

UGR-Wertes herangezogen werden. Als Referenzsituation sind die relativen Raumabmessungen $4 H/8 H$ eines mittleren Raumes bei der Reflexionsgradkombination $0,7/0,5/0,2$ festgelegt. Der Abstand der Leuchten beträgt $\frac{1}{4}$ der Lichtpunkthöhe ($S = 0,25$); (LiTG-Publikation Nr. 20).

Weitere Anforderungen

- Der Farbwiedergabeindex R_a (oder CRI) muss mindestens $R_a = 80$ betragen, ferner gilt die Anforderung für gesättigtes Rot $R_9 > 0$ ($R_a > 70$ bei Leuchten mit einer Farbtemperatur > 6000 K).
- Die minimale Lebensdauer (F50 nach IEC 62717 bzw. EC 62722-2-1) von Minergie-Leuchten muss 30000 h betragen. Innerhalb der ersten 3000 Stunden sind keine Ausfälle zulässig. Nach 6000 Stunden sind max. 10 % Ausfälle zulässig und der Lichtstromoutput muss mindestens 95 % des Anfangslichtstroms betragen.
- Bei einer LED-Leuchte mit variablen Farbtemperaturen wird diejenige mit der tiefsten Energieeffizienz (in der Regel warmweiss) angegeben; auch die Werte zur Energieeffizienz beziehen sich auf diese Farbtemperatur. Angaben zur Temperaturmodulation können im beschreibenden Text gemacht werden.
- Farborttoleranz (nach MacAdam) darf höchstens = 3 SDCM (Standardabweichung des Farbabweichs) betragen.
- Es gelten Anforderungen an den Leistungsfaktor gemäss der EU-Richtlinie 1194/2012.

Liste der Minergie-Leuchten auf www.toplicht.ch

Auf der Webseite www.toplicht.ch sind alle zertifizierten Minergie-Leuchten gelistet. Sie können nach Hersteller, Lampen- und Leuchtenkategorie, Leuchtenname, Leistung sowie dem Regelungstyp gefiltert werden. Eine Vergleichsoption ermöglicht es dem Anwender, ähnliche Leuchten verschiedener Hersteller hinsichtlich ihrer Auswahlkriterien zu vergleichen. Für jede Leuchte lassen sich durch Anklicken die Detaildaten beschaffen, alle Eulum-Dateien und das standardisierte Leuchten-datenblatt sind downloadbar.

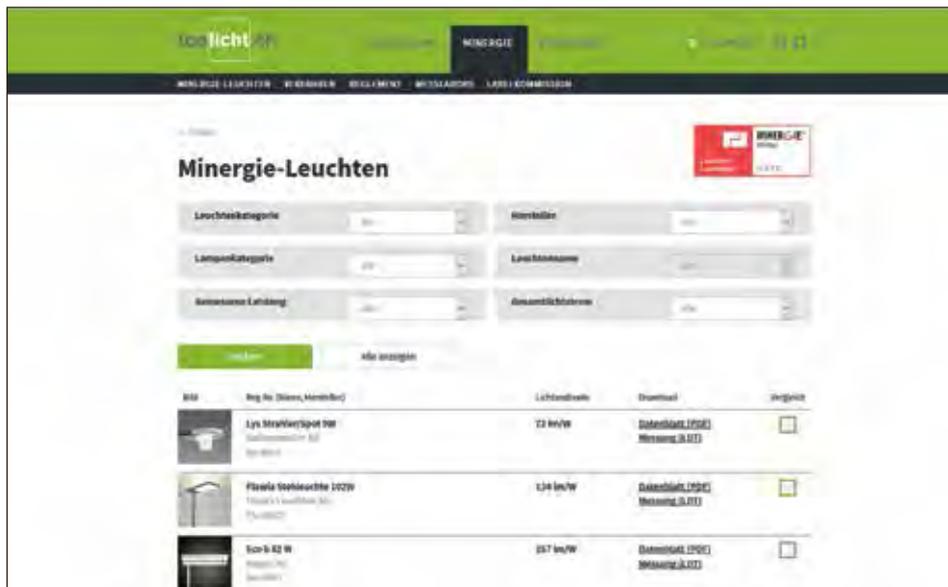


Abbildung 5.20:
Leuchtenliste auf
www.toplicht.ch.

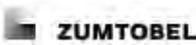


Leuchten
Luminaires

MINERGIE® -Leuchte

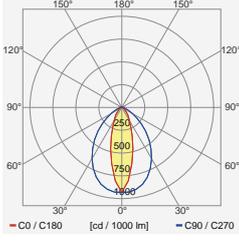
Reg. Nr. Zu-0786
Reg. Datum 28.02.2019

Vergl. www.toplicht.ch



Amphibia Nassraumleuchte 40W

LED-Feuchtraumwanneleuchte in Schutzart IP66 mit Drip-Edge-Effekt zur Minimierung von Schmutz und Staubablagerungen für höchste hygienische Anforderungen. Gesamtleistung: 39,8 W, mit LED-Konverter; Patentiertes InvisiClick für cliploses Montieren und Öffnen der Abdeckung, Abdeckung und Grundwanne aus Polymethylmethacrylate schlagfest, Temperatur und UV-beständig aus einem Stück gespritzt. LED-Lebensdauer 50000 h bis zu einem Lichtstromrückgang auf 90 % des Anfangswertes. Farbortoleranz (initial MacAdam): 3. Leuchten Lichtstrom: 6380 lm. Leuchten Lichtausbeute: 160 lm/W. Farbwiedergabe Ra > 80, Farbtemperatur 4000 K. Symmetrisch eng abstrahlende Leuchte (narrow beam). Montage über V2A Standard-Haltesedern an Decke, Wand oder Tragschiene. 5-polige Steckverbindungsklemme.. Umgebungstemperatur: -10°C bis +35°C. Zugelassen für den Einsatz in Innenbereichen in vertikaler und horizontaler Wandmontage (siehe Montageanleitung). Hinweis: Vor Spezifikation für den Einsatz in Umgebungsatmosphären mit chemischer Belastung, hoher oder kondensierender Luftfeuchtigkeit sowie großen Temperaturschwankungen nehmen Sie bitte Kontakt mit Ihrem Berater auf. Entspricht den Vorgaben internationaler Standards der Lebensmittelindustrie. Designed für BESA box. Zugelassen für den Einsatz in Umgebungen, in denen eine Ablagerung von leitfähigem Staub auf der Leuchte erwartet werden kann (EN 60598-2-24). Schutzklasse: SC1, 650°C Glührahtgeprüft, beständig gegen Ammoniak und Reinigungsmittel in der FOOD-Industrie. Leuchte halogenfrei verdradelt und sälkontrei, Schlagfestigkeit: IK03. Abmessungen: 1600 x 90 x 92 mm; Gewicht: 3.2 kg.


Leuchtenkategorie	Nassraumleuchte
Lampenkategorie	LED
Betriebsgerät	integriert
dimmbar	ja
Lichtregelung	keine
Artikelnummer(n)	42929267, weitere auf www.zumtobel.com/ch-de
Gemessene Leistung (Betrieb / Standby)	40 W / 0.2 W
Gesamlichtstrom 25°	6380 lm
Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)	160 lm/W (100 lm/W)
Anteil Direktlicht	94 %
Blendklasse UGR im Standardraum	<22 / <16 (längs/quer)
Max. Leuchtdichte über 65°	max. 89 cd/m²
Farbtemperatur	4000 K
Farbwiedergabeindex Ra	>80
Farbtoleranz nach MacAdams	3
Lebensdauer	100000 h
Messung	Zumtobel AG, 20.02.2018 / Scheffknecht Erich
EULUMDAT-Datei	42929267_(STD).ldt, original

Abbildung 5.21:
Zertifikat einer
Minergie-Leuchte.

Neben der Publikation von guten Leuchten dient die Webseite auch für die Registrierung von Leuchten, Herstellern und Messlabors. Die Zertifizierung neuer Leuchten erfolgt ausschliesslich online über dieses Portal (Abbildung 5.20).

Messlabors

Ein für Minergie-Zertifizierungen zugelassenes Messlabor muss bei der zuständigen staatlichen Stelle (in der Schweiz www.sas.ch) akkreditiert sein und folgenden Normen entsprechen:

- EN ISO/IEC 17025: Anforderungen an die Prüf- und Kalibrierlaboratorien
- SN EN 13032: Messung und Darstellung von fotometrischen Daten von Lampen und Leuchten, Teil 1: Messung und Datenformat, Teil 4: LED-Lampen, -Module und -Leuchten.
- Messungen eines autorisierten staatlichen Messlabors werden anerkannt, in der Schweiz das Bundesamt für Metrologie, www.metas.ch

Folgende Lichtmesslabors sind nach EN ISO/IEC 17025 akkreditiert und dürfen minergiekonforme Messungen durchführen:

- Bundesamt für Metrologie Metas, Bern-Wabern, www.metas.ch
- Dial GmbH, Lüdenscheid bei Frankfurt a. M. (D), www.dial.de
- Lichttechnisches Institut Karlsruhe der Universität Karlsruhe, Karlsruhe (D), www.lti.uni-karlsruhe.de, www.lti.kit.edu
- SZ Lichtlabor, Klinga bei Leibzig, www.szlichtlabor.de
- VDE Prüf- und Zertifizierungsinstitut GmbH, Offenbach, www.vde.com
- Zumtobel Lighting GmbH, Dornbirn (A), www.zumtobel.com
- Regent Beleuchtungskörper AG, Basel, www.regent.ch

Steuern und Regeln

6.1 Grundlagen

Wenn eine Beleuchtung bedarfsabhängig betrieben werden soll, kommen Steuerungen oder Regelungen zum Einsatz. Während bei einer Lichtregelung die Beleuchtungsstärke gemessen und als Feedback an die Regelelektronik zurückgemeldet wird, funktioniert die Lichtsteuerung ohne direkte Rückkoppelung (Abbildung 6.1). Zu den Lichtsteuerungen zählen Schaltuhren sowie Konstantlichtsteuerungen, bei denen der Lichtsensor ausserhalb des Raumes an der Fassade oder auf dem Dach installiert ist. Zu den Lichtregelungen gehören die Präsenz- und Tageslichtregelungen, bei denen die Sensoren im Raum installiert sind und die Anwesenheit von Personen oder die Verfügbarkeit von Tageslicht an die Regelung zurückgemeldet werden. Ob Regelung oder Steuerung – für ein Lichtmanagementsystem braucht es drei Elemente: einen Signalgeber (z.B. Tageslichtsensor), ein Kabel zur Signalübertragung (z. B. mit DALI-Protokoll) und eine Regel- bzw. eine Steuerelektronik. Aktuell werden über 85 % aller Beleuchtungsinstallationen ohne Lichtmanagementsystem direkt über ein Starkstromsignal (230 Volt) angesteuert, sei dies durch einen Bewegungs- oder Präsenzmelder oder durch eine andere einfache Steuerkomponente (z. B. Schaltuhr, Minuterie).

Signalübertragung

Der Sensor überträgt Informationen zur Anwesenheit von Personen und zur Tageslichtsituation zum Regler und von da zur Lichtquelle. Das erfolgt physisch mit einem Niederspannungssignal über eine einfache Steuerleitung. Damit Informationen von vielen Sensoren an unterschiedliche Regler und Lichtquellen über ein und denselben Draht übertragen werden können, werden die Signale adressiert. Üblicherweise erfolgt dies mit einem Übertragungs- oder Netzwerkprotokoll. So kommt das Signal für den Regler A oder die Leuchte B auch tatsächlich ans Ziel.

Die wichtigsten Netzwerkprotokolle:

- **DALI:** Digital Addressable Lighting Interface (Licht- und Storen)
- **KNX:** Abkürzung von Konnex (Verbindung): standardisiertes Bussystem der Gebäudeautomation
- **EIB:** Europäischer Installationsbus (allgemeine Haustechnikanlagen). Der KNX-Standard ersetzt heute EIB.
- **LON:** Local Operating Network (allgemeine Haustechnikanlagen)
- **Luxmate:** Netzwerklösung der Firma Zumtobel
- **Digitalstrom:** Haustechniksteuerung mit Datenübertragung übers Starkstromnetz
- **TCP/IP:** Transmission Control Protocol (Internet)

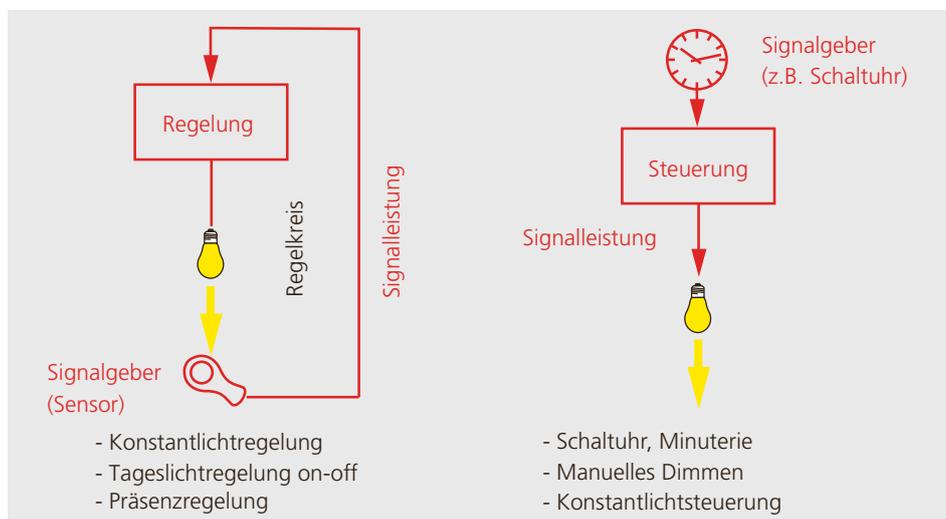


Abbildung 6.1: Unterschied zwischen Regeln und Steuern.

In der Lichttechnik ist DALI das verbreitetste Netzwerkprotokoll. DALI ist sehr einfach und unkompliziert aufgebaut und kann direkt zwischen Sensor, Schalter und elektronischem Vorschaltgerät (EVG) kommunizieren. Jedes Betriebsgerät, das über eine DALI-Schnittstelle verfügt, kann über DALI-Kurzadressen einzeln angesteuert werden. Durch einen bidirektionalen Datenaustausch kann ein DALI-Steuergerät (DALI-Gateway) den Status von Leuchtmitteln bzw. von Betriebsgeräten einer Leuchte abfragen respektive den Zustand setzen. DALI kann als «Inselsystem» mit maximal 64 Betriebsgeräten betrieben werden oder als Subsystem über DALI-Gateways (Abbildung 6.2) in Gebäudeautomationssystemen (KNX, LON).

DALI verwendet ein serielles, asynchrones Datenprotokoll mit einer Übertragungsrate von 1200 Bit/s bei einem Spannungsniveau von 16 V. Das Übertragungssystem ist unkompliziert und universell einsetzbar:

- Die 2-adrige Steuerleitung ist galvanisch getrennt und verpolungssicher.
- Der Standard setzt keine Bedingungen bezüglich der Art der eingesetzten Stecker, Klemmen und Leitungen.
- Die Leitungen können in fast beliebigen Topologien – also Stern, Linien- oder Baum-

strukturen – verlegt werden (ringförmige Verbindungen sind zu vermeiden).

- Die Leitungslänge zwischen zwei Systemkomponenten ist (abhängig vom Leitungsquerschnitt) auf 300 Meter begrenzt.
- Es sind keine Abschlusswiderstände am Ende einer Leitung notwendig.

Die Weiterentwicklung von DALI zu DALI-2 bringt einige Verbesserungen mit sich: erweiterte Anschlussmöglichkeiten, neue Funktionen, präzisere Spezifikationen und Behebung bekannter Fehler im bisherigen DALI-System. Der neue DALI-2-Standard normiert unter anderem die Sensorkommunikation in DALI-Systemen. Dies gewährleistet eine herstellerübergreifende Kompatibilität. DALI-2 erlaubt Sensoren, die erhobenen Sensordaten an übergeordnete Lichtmanagement-Systeme zu übermitteln. Somit können bis zu 64 Leuchten mit bis zu 64 Sensoren in maximal 16 Gruppen und 16 Szenen miteinander verknüpft werden.

Regel- und Steuerelektronik

Die Regel- und Steuerelektronik verarbeitet die Messwerte der Sensoren, die über die Signalleitungen eintreffen und schaltet ein Relais (Ein oder Aus) oder einen Dimmer (stufenlose Stromstärke). Bei den verbreiteten Bewegungs- und Präsenzmeldern mit tageslichtabhängiger Ein-Aus-Schaltung (PIR) ist die Steuerelektronik direkt im Sensor integriert (Abbildung 6.3).

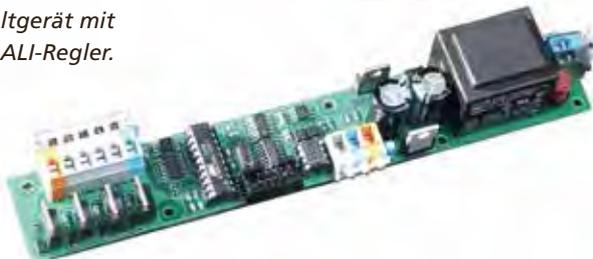
Lichtmanagementsystem

Mehrere Regelkreise oder Steuerungen zusammengefasst ergeben ein Lichtmanagementsystem (LMS). Es koordiniert die Sensoren und Betriebsgeräte der Leuchten und bildet die Schnittstelle zu einem übergeordneten Gebäudeautomationssystem oder zum Internet. Das Steuergerät (Gateway), das die einzelnen Regelungen zusammenfasst, ist meist in den Etagenverteilungen der Elektroversorgung installiert.

Abbildung 6.2:
Steuergerät (Gateway) für DALI-gesteuerte Geräte: Leuchten, Sensoren, Schalter.



Abbildung 6.3: Elektronisches Vorschaltgerät mit DALI-Regler.



6.2 Bewegungs- und Präsenzsensoren

Zur Erfassung der Anwesenheit von Personen (und allenfalls Tieren oder Fahrzeugen) kommen Präsenzsensoren bzw. Präsenzmelder zum Einsatz. Es werden aktuell vier verschiedene Technologien angeboten:

■ **Passiv-Infrarot-Sensor (PIR):** Reagiert auf sich bewegende Wärmequellen.

■ **Hochfrequenzsensor (5,8 GHz):** Erfasst Bewegung auch durch dünne Wände hindurch (z. B. in WC).

■ **Ultraschallsensor (40 kHz):** Erfasst auch Objekte im Raum ohne direkten Sichtkontakt zum Sensor (z. B. Sachbearbeiter hinter einer Büropflanze).

■ **Optischer Sensor (Kamera):** Kann neben der Anwesenheitsdetektion z. B. auch Personen zählen.

Präsenz- und Bewegungsmelder haben dieselbe Funktion, nämlich die Erfassung von Bewegung. Die Erfassungsgenauigkeit und damit der Anschaffungspreis machen den Unterschied: In Räumen mit grossen Bewegungen (also z. B. in Verkehrsflächen) reicht meist der günstige Bewegungsmelder. In Räumen mit kleinen Bewegungen (also z. B. Büro oder Schulzimmer) benötigt man einen Präsenzmelder. Der perfekte Präsenzmelder würde Personen auch ohne jede Bewegung erkennen können.

Passiv-Infrarot-Sensor (PIR)

Die meisten heute gebräuchlichen Bewegungsmelder funktionieren nach dem Prinzip der Infrarotmessung. Bewegt sich eine Wärmequelle im Erfassungsbereich des Sensors, erkennt der Melder diese und interpretiert sie als Anwesenheit einer Person oder eines Fahrzeuges im überwachten Raum. Jedes Lebewesen strahlt Wärme im Frequenzbereich der Infrarotstrahlung ab; diese ist für das menschliche Auge unsichtbar. Ein pyroelektrischer Sensor – Herzstück jedes Bewegungsmelders – empfängt diese Strahlung und wandelt sie in ein elektrisches Signal um, das einen Schaltkreis ansteuert. Dieser gibt einen Aus- oder Einschaltimpuls an den elektronischen Lichtschalter. Weil der Sensor kein

Signal aussendet, sondern nur empfängt, was bewegte Wärmequellen abstrahlen, bezeichnet man ihn als Passiv-Infrarot-Sensor (PIR-Sensor).

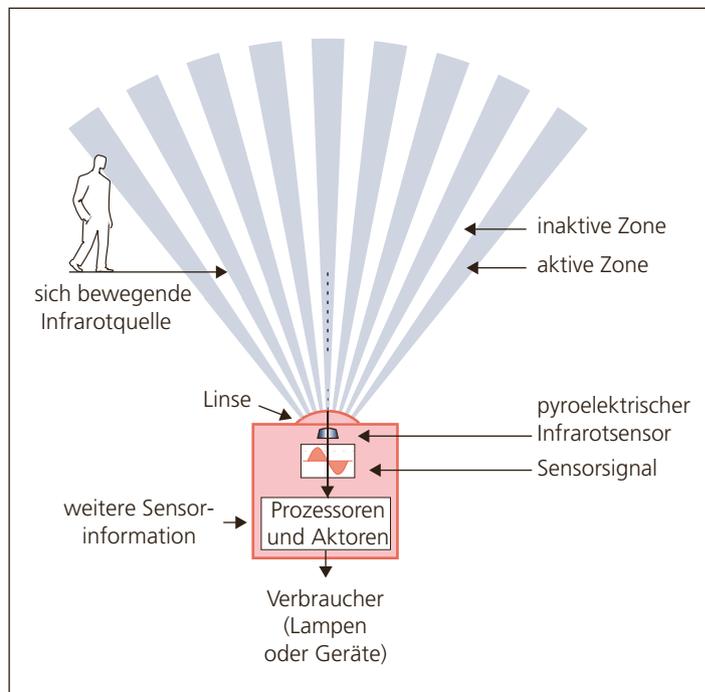
Da sich in einem Raum neben Personen meist auch noch Gegenstände befinden, die Wärme abgeben (z. B. Lampen, Heizkörper, Elektrogeräte), verfügen die Bewegungsmelder über ein optisches System, welches dafür sorgt, dass nur bewegte Infrarotquellen erfasst werden. Das optische System besteht aus einer sogenannten Multilinse, welche den Erfassungsbereich in aktive und nicht-aktive Zonen unterteilt. Sobald sich eine Wärmequelle von einem

Abbildung 6.5: Wirkungsweise von PIR-Bewegungs- und Präsenzmeldern. (Quelle: Swislux)

Abbildung 6.6: Infrarot-Abstrahlung eines Menschen: je wärmer, desto röter der Bereich im IR-Bild.



Abbildung 6.4: Beispiele von PIR: Wand-, Decken- oder Schaltermontage. (Quelle: Swislux)



aktiven in einen nicht-aktiven Bereich bewegt (oder umgekehrt), reagiert der Sensor und sendet die Information an die elektronische Schaltung weiter. Wird während einer definierten Zeit (z. B. 5 Minuten) kein Signal empfangen, interpretiert dies die Elektronik als «Abwesenheit von Personen» und gibt einen Ausschaltimpuls an die Beleuchtung oder andere Stromverbraucher wie Heizung, Lüftung, Klima und automatische Sonnenschutzsysteme. Der Einschaltimpuls erfolgt entsprechend umgekehrt.

Das Prinzip von Bewegungsmelder und Präsenzmelder ist dasselbe; die Empfindlichkeit und Erfassungsgenauigkeit der Präsenzmelder sind allerdings höher, so dass auch sehr kleine Bewegungen (z. B. von sitzenden Personen) empfangen werden können (Abbildung 6.5).

Vorteile von PIR

- Hochentwickelter Stand der Technik
- Klare Raumbegrenzung des Erfassungsbereichs
- Erfassungsbereich kann mit Abdeckclips und durch Richten der Linse eingegrenzt werden
- Ausgeprägte tangentielle Erfassung von Bewegung
- Sehr grosse Auswahl an Produkten und Anbietern

Nachteile von PIR

- Keine Erfassung, wenn Person verdeckt ist (z. B. hinter einer Pflanze oder einem Raumteiler)
- Mögliche Fehlschaltungen durch andere sich stark ändernde Wärmequellen (z. B. starke Lüfter)
- Die radiale Erfassung von Personen (Person bewegt sich auf den PIR zu) ist deutlich geringer als die Erfassung von tangentialen Bewegungen. Dies muss bei der Platzierung der Melder berücksichtigt werden.

In Korridoren werden PIR meist raummittig an der Decke installiert. Da sich Personen in Korridoren meist radial auf die PIR zu bewegen, ist die Detektion weniger effektiv, als sie bei einer wandseitigen Montage wäre.

Wichtige Punkte für die Planung und Installation von PIR-Anlagen

■ Welcher PIR-Melder macht Sinn? Es gibt eine Vielzahl von Varianten: für die Wand-, Decken- oder Schaltermontage. Welche Empfindlichkeit und welche Lichtregellogik ist notwendig? Die Industrie unterscheidet Präsenz- und Bewegungsmelder; das Prinzip bleibt das gleiche. Doch hinsichtlich der Erfassungsempfindlichkeit und der Lichtregellogik ist deren Funktion nicht identisch.

■ Standorte und Platzierung: was erfasst der PIR, was nicht? Der PIR-Melder muss so sorgfältig platziert werden wie ein Brandmelder! Der Anbieter Swisslux bietet auf www.swisslux.ch unter Downloads gutes und umfangreiches Hilfsmaterial zur richtigen Auswahl und Platzierung von Bewegungs- und Präsenzmeldern an.

■ Dürfen die PIR-Melder parallelgeschaltet werden? Oder werden die Melder als Master-und-Slave-Geräte installiert? (Master ist Hauptsensor und macht die Lichtmessung, Slaves sind Nebensensoren ohne Lichtmessung). Welche Sensoren sollen einzeln regeln (Master ohne Slave, Abbildung 6.9)?

■ Entfernung: Die Hersteller geben Erfassungsbereiche an; diese sollten als oberste Distanz betrachtet werden, die Empfindlichkeit von PIR nimmt mit der Entfernung stark ab. Bei der Planung von PIR-Meldern muss stets auf die Deklaration der Erfassungsbereiche des jeweiligen Herstellers geachtet werden (Abbildung 6.8).

■ Einjustierung und Funktionskontrolle: So aufwendig es auch ist, jeder PIR muss einjustiert und getestet werden. Die ausschlaggebenden Punkte für den Einspareffekt von Präsenzmeldern sind die **Nachlaufzeit** und die **Helligkeitsschwelle**. Zum einen also die Zeit zwischen der letzten Personenerfassung und dem Ausschaltimpuls für die Beleuchtung und zum anderen die Schwelle, bei welcher der Sensor

Tabelle 6.1: Typische Werte zur Einjustierung der PIR-Melder pro Anwendungsbereich.

Anwendung	Helligkeit	Nachlaufzeit
Aussenbereich	20 Lux	1 bis 2 Minuten
Durchgangsbereiche	150 Lux	2 bis 5 Minuten
Arbeitsbereiche	600 Lux	5 bis 7 Minuten
Sehintensive Tätigkeiten	1000 Lux	5 bis 10 Minuten

das Kunstlicht zuschaltet. Die in der Leuchtstofflampenwelt üblichen 15 Minuten sind so lang, dass das effektive Sparpotenzial von Präsenzmeldern in der Praxis bei weitem nicht ausgenutzt werden kann. Bei LED-Leuchten werden Nachlaufzeiten von 2 bis max. 5 Minuten empfohlen. Bei kurzen Nachlaufzeiten ist die optimale Positionierung des Sensors wichtig, um Fehlschaltungen zu vermeiden. Der Helligkeitsschwellwert ist abhängig von der Anwendung zu wählen (Tabelle 6.1.)

■ In Schulzimmern, kleinen Büros und Sitzungszimmern, soll der Präsenzmelder im sogenannten halbautomatischen Betrieb betrieben werden. So schaltet der PIR automatisch ab wenn keine Personen mehr im



Abbildung 6.7: Fernsteuerung zur Einstellung eines kombinierten Tageslichtpräsenzsensors. (Quelle: Swisslux)

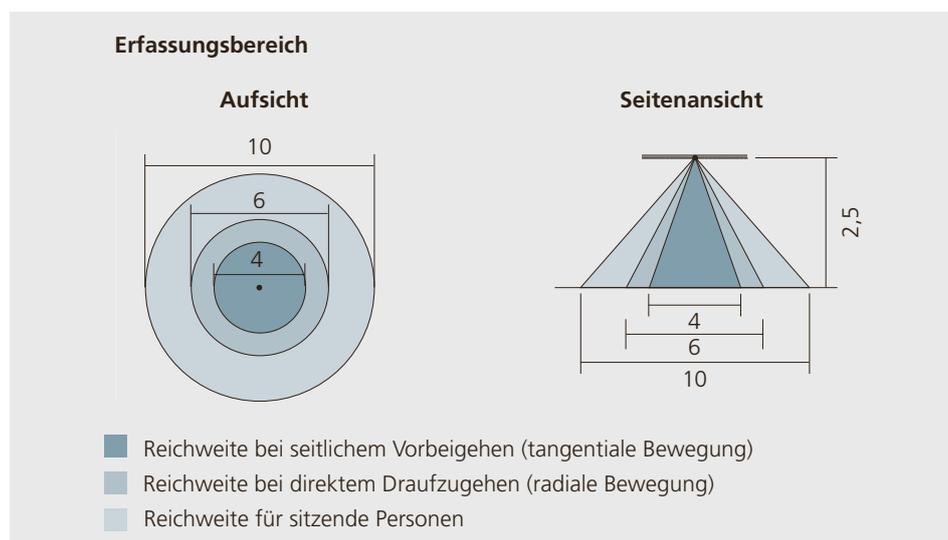


Abbildung 6.8: Deklarierte Erfassungsbereiche von PIR-Sensoren. (Quelle: Swisslux)

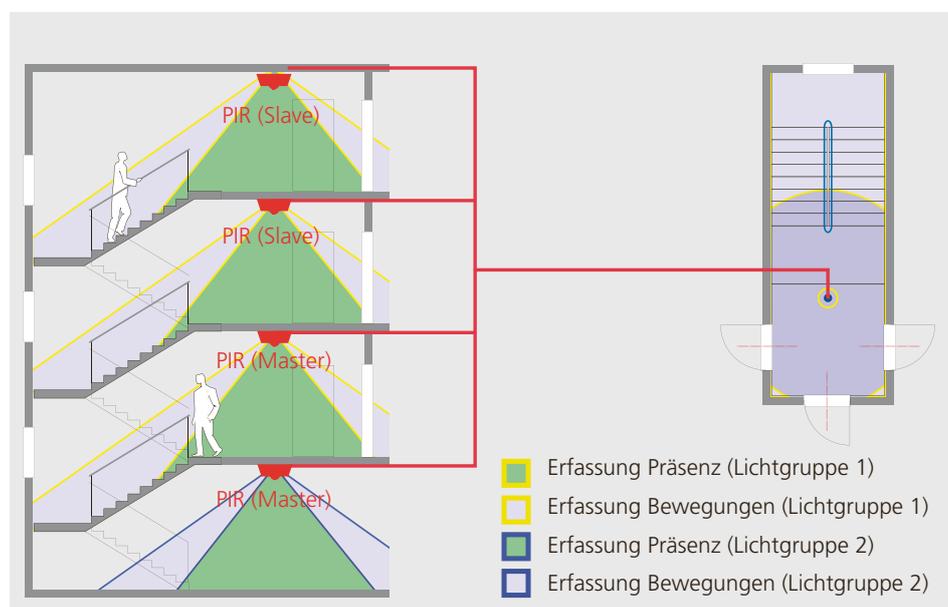


Abbildung 6.9: Planungsbeispiel PIR in Treppenhaus (Quelle: Swisslux)

Raum sind, muss jedoch immer von Hand eingeschaltet werden. Beim Halbautomat sind die Energieeinsparungen grösser, weil das Licht nur dann eingeschaltet wird, wenn Personen wirklich danach fragen.

Hochfrequenzsensor (HF-Sensor)

Im Unterschied zum passiven Infrarotsensor ist der Hochfrequenzsensor aktiv und sendet elektromagnetische Wellen im Gigahertz-Bereich aus. Die abgestrahlten Wellen reflektieren an den Gegenständen im Raum (Möbel, Geräte, Pflanzen, Personen) und werden zum Sensor zurückgeschickt. Ist der getroffene Gegenstand in Ruhe, hat die reflektierte Welle die gleiche Frequenz wie die abgestrahlte. Trifft die Hochfrequenzwelle auf eine sich bewegende Person, so verändert die reflektierte Welle die Frequenz. Diese veränderte Frequenz erkennt der Sensor als Bewegung. Analog dem Passiv-Infrarot-Sensor aktiviert die elektronische Schaltung einen Schaltimpuls, der die Beleuchtung oder andere Elektroverbraucher ein- und ausschalten kann. Da die elektromagnetischen Wellen eines HF-Sensors auch Glas, Holz und Leichtbauwände durchdringen, können in Innenräumen auch Bereiche erfasst werden, die für PIR unsichtbar sind. Bei sehr dünnen Wänden kann es aber auch vorkommen, dass Personen erfasst werden, die sich in einem anderen Raum oder einem Korridor befinden. Einige Hersteller arbeiten an «intelligenten» HF-Sensoren, deren Erfassungsbereiche präzise eingegrenzt werden können und die sich bewegende Gegenstände, die nicht erfasst werden sollen (z. B. Büsche, Bäume, Katzen), softwaremässig herausfiltern. Letztes ist vor allem beim Einsatz im Aussenbereich notwendig.

Vorteile von HF-Sensoren

- Bewegungserfassung auch hinter Zimmerpflanzen, Stellwänden und WC-Türen
- Hochempfindliche Erfassung auch von sehr kleinen Bewegungen
- Geeignet für radiale und tangentielle Erfassung

Nachteile von HF-Sensoren

- Anspruchsvolle Einstellung des genauen Erfassungsbereichs
- Erfassen auch bewegende Gegenstände, die keine Wärme abgeben (z. B. elektromechanisches Gerät, Vorhang im Wind)
- Noch kleines Sortiment an Typen

Es werden auch Sensoren angeboten, welche sowohl die PIR- als auch die HF-Technik nutzen; auf diese Weise werden die Vorteile von PIR und HF in einem Sensor kombiniert.

Unter dem Namen «True Presence» bietet die Firma Steinel einen HF-Sensor an, der so empfindlich ist, dass er selbst das Atmen von Personen detektieren kann. Eingesetzt in einem Hotelzimmer kann er z. B. detektieren, ob sich ein schlafender Gast im Zimmer aufhält und dieser nicht durch das Reinigungspersonal gestört werden soll. Denkbar ist, dass ein noch weiter entwickelter HF-Sensor sogar die Atmung von Patienten in einem Spitalzimmer zuverlässig detektieren kann.

Ultraschallsensoren (US-Sensor)

Eine dritte Variante der Präsenzerfassung funktioniert mit Ultraschall. Der integrierte Sensor sendet einen für das menschliche Ohr unhörbaren Ton bei einer Frequenz von 40 kHz aus. Die Ultraschallwellen umflessen quasi alle Gegenstände in einem Raum (wie bei einem Lautsprecher), ohne dass die Position des Sensors eine grosse Rolle spielt. Ähnlich wie beim HF-Sensor wird der Schall beim Auftreten auf Gegenstände reflektiert; bei ruhenden Gegen-

Abbildung 6.11: Ultraschall umfliesst alle Gegenstände in einem geschlossenen Raum. (Quelle: Steinel)

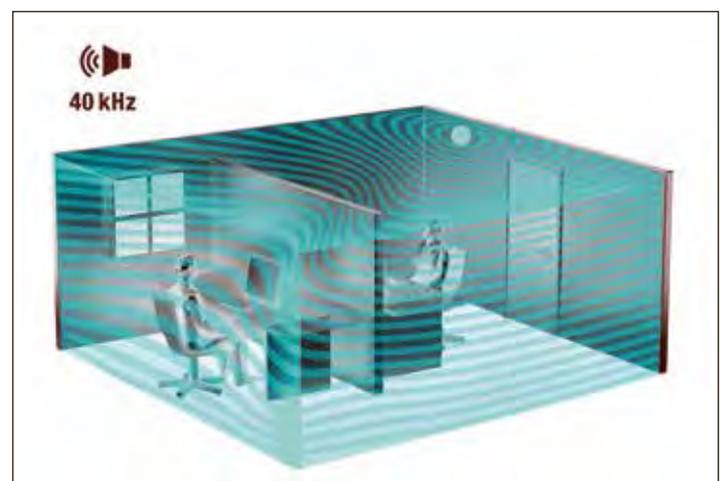


Abbildung 6.10: True-Presence-Sensor von Steinel.

ständen bleibt der zurückgeworfene Ton unverändert, bei bewegten Gegenständen ändert sich die Tonlage. Das Prinzip nennt man Dopplereffekt: Zu beobachten ist es z.B. bei einem Ambulanzfahrzeug. Bewegt sich ein Krankenwagen auf einen zu, ist der Sirenton höher als wenn sich das Fahrzeug entfernt.

Der Ultraschallsensor durchdringt keine Wände, kann aber z.B. bei nicht vollkommen geschlossenen WC-Anlagen unter der Türe «hindurchkriechen» und so auch Personen in der Toilettenkabine erfassen.

Die Prinzipien des US-Sensors und des PIR ergänzen sich in manchen Fällen gut; deshalb gibt es auch hybride Sensoren, welche beide Funktionen optimal miteinander verknüpfen.

Vorteile von US-Sensoren

- Erfassung von Bewegungen im ganzen Raum – aber nicht ausserhalb geschlossener Wände
- Geeignet für radiale und tangentielle Erfassung
- Geeignet für grossflächige Räumlichkeiten und Gänge

Nachteile von US-Sensoren

- Erfassen auch sich bewegende Gegenstände, die keine Wärme abgeben (z.B. elektromechanisches Gerät, Vorhang im Wind)
- Kleines Sortiment an Typen und wenige Anbieter

Optischer Sensor (Kamera)

Eine vierte, noch wenig eingesetzte Möglichkeit der Präsenzerfassung ist die optische über eine kleine Kamera, wie sie heute in jedem Smartphone eingesetzt wird. Die von einer Fotokamera aufgenommenen Bilder werden an einen kleinen sensorinternen Rechner weitergeleitet, welcher diese mittels Bildverarbeitung auf Anwesenheit von Personen analysiert. Damit dies funktioniert, muss eine Vielzahl von Personenbildern aus allen möglichen Betrachtungsrichtungen im Sensor abgespeichert sein. Der Computer des Sensors vergleicht dann die Aufnahmen mit den abgespeicherten Bildern und entscheidet,

ob Personen anwesend sind oder nicht. Der Vorteil dieses Systems ist, dass sich die Personen nicht bewegen müssen, um erkannt zu werden, und dass der Sensor auch die Anzahl der sich im Raum befindlichen Personen bestimmen kann. Optische Sensoren eignen sich vor allem auch zur Bewirtschaftung von Büros in Firmen mit flexiblen Arbeitsplätzen: Entsprechend vernetzt können optische Sensoren einem zentralen Leitsystem eines Gebäudes jederzeit melden, wo welche Arbeitsplätze frei sind und belegt werden können.

Dank der hohen Auflösung und Empfindlichkeit von optischen Kamerasensoren könnten diese neben der Personenerfassung auch die mögliche Tageslichtnutzung im Raum analysieren und die Beleuchtung tageslichtabhängig sehr viel genauer regeln als dies aktuell erhältliche Sensoren tun. In ferner Zukunft könnten Kamerasensoren neben der Lichtsteuerung eine Anzahl weiterer Aufgaben zur Überwachung und Bewirtschaftung von Gebäuden übernehmen; wichtige Fragen zum Schutz der so überwachten Personen müssen noch geklärt werden. Die zurzeit angebotenen Produkte übertragen keine Bilder, sondern lediglich die Information über die Anzahl der anwesenden Personen im Raum an das Gebäudeleitsystem.

Vorteile von optischen Sensoren

- Erfassung von Personen, die sich überhaupt nicht bewegen
- Bestimmung der Anzahl Personen in einem Raum
- Präzise Definition des Erfassungsbereichs
- Erfassung weiterer Informationen technisch möglich

Nachteile von optischen Sensoren

- Teure Installation
- Mögliche Fehlschaltungen bei ungenauer Personenerfassung
- Datenschutzrechtliche Fragen

6.3 Intelligente, vernetzte Leuchten

Seit die LED sich in der Masse der Anwendungen durchgesetzt hat, kommt einer Steuerung, die alle Möglichkeiten der Lichttechnik nutzt, noch grössere Bedeutung zu. So können je nach Anwendung alleine durch die Steuerung 30 % bis 80 % der Volllaststunden eingespart werden. Untersuchungen zeigen, dass der präzisen Erfassung der Anwesenheit von Personen, dem Tageslichteinfluss und einer der Anwendung entsprechend optimierten Einjustierung eine zentrale Bedeutung zukommt. Ferner ist für eine effiziente Lichtsteuerung wichtig, dass die Lichtgruppen möglichst klein sind. Dadurch erhöht sich die Effizienz des gesamten Systems.

Diese Anforderungen erfüllt ein Lichtmanagementsystem. Die Planung, Installation und Inbetriebnahme ist durch die meist zentrale Struktur der Steuerung und die vielen Möglichkeiten der Ausgestaltung aber komplex und aufwendig. Als Alternative zum Lichtmanagementsystem können sogenannte «intelligente» Leuchten eingesetzt werden: Das Konzept vereint hocheffiziente LED-Leuchten und ein Lichtmanagementsystem zu einer Komplettlösung. Solche Lösungen verfügen über eine Intelligenz für ein nach Tageslicht, Präsenz, Zeit, Ereignis und Logik gesteuertes Licht, eine Notlichtfunktion und allenfalls weitere Eingänge für externe Steuersignale. Dies erleichtert die Planung und Inbetriebnahme bedeutend, da die Installation jederzeit ergänzt, reduziert oder einzelne Leuchten ausgetauscht werden können. Die Leuchten lassen sich wahlweise per Funk oder Datendraht miteinander verbinden und sind somit für Neubauten und Renovationen geeignet. Mit diesem Beleuchtungskonzept brennt immer nur dort Licht, wo es gebraucht wird, und kurze Nachlaufzeiten sorgen für eine maximale Energieeffizienz. Je nach Anwendung gibt es vordefinierte Steuerprogramme, die zum Beispiel mit einer App individualisiert werden können.

Die Schwarmfunktion ist ein wichtiger Bestandteil einer Lösung mit intelligenten

Leuchten. Die linear- und flächenmässig kommunizierenden Leuchtengruppen sind zu einer Lichtmanagementeinheit zusammengeschlossen. Durch Gruppierung kann das Verhalten jeder Leuchte einzeln programmiert werden. Mehrere Steuerprogramme mit vordefinierten Beleuchtungsszenarien ermöglichen individuelle Schwarmfunktionen für verschiedene Einsatzbereiche. So wird zum Beispiel beim Betreten eines Treppenhauses nicht nur die jeweilige Etage ausgeleuchtet, es werden auch die angrenzenden Etagen erhellt. Analoges gilt für Parkgaragen, Korridore oder Grossraumbüros, in denen sich der Lichtschwarm mit der Person vom Start bis zum Ziel durch den Raum bewegt. Die angrenzenden Leuchten arbeiten mit reduzierter Helligkeit und tragen so zur optimalen Raumorientierung und einem guten Sicherheitsgefühl bei. Intelligente Leuchten unterscheiden sich von Sensorleuchten mit einfacher tageslichtabhängiger Ein-Aus-Schaltung, denen die zusätzliche und vernetzte Intelligenz fehlt. Bei intelligenten Leuchten reduziert sich der Aufwand bei der Planung, Montage und Inbetriebnahme, weil alle notwendigen Steuerfunktionen in der Leuchte integriert sind. Abbildung 6.12 illustriert das Prinzip des Lichtmanagementsystems mit intelligenten Leuchten am Beispiel des Systems «Trivalite» von Swisslux (siehe auch Kapitel 8.12 «Geschäftshaus Quadrolith»).

Kommentar zur Abbildung 6.12

1. Eine Person sitzt im Grossraumbüro. Die Beleuchtung an ihrem Arbeitsplatz ist im Vollbetrieb; die restlichen Leuchten sind auf Teillast (z. B. 10 %) gedimmt.
2. Eine zweite Person sitzt am Arbeitsplatz. Zwei Leuchten sind im Vollbetrieb.
3. Eine dritte Person sitzt an am Arbeitsplatz und eine vierte Person steht am Fenster. Es brennen 4 Leuchten voll im Raum.
4. Die vierte Person bewegt sich im Raum; die helle Beleuchtung folgt dieser Person durch den Raum.
5. Der Raum ist mit Tageslicht versorgt. Die Leuchten in Raummitte brennen, die fensterseitigen Leuchten sind aus.

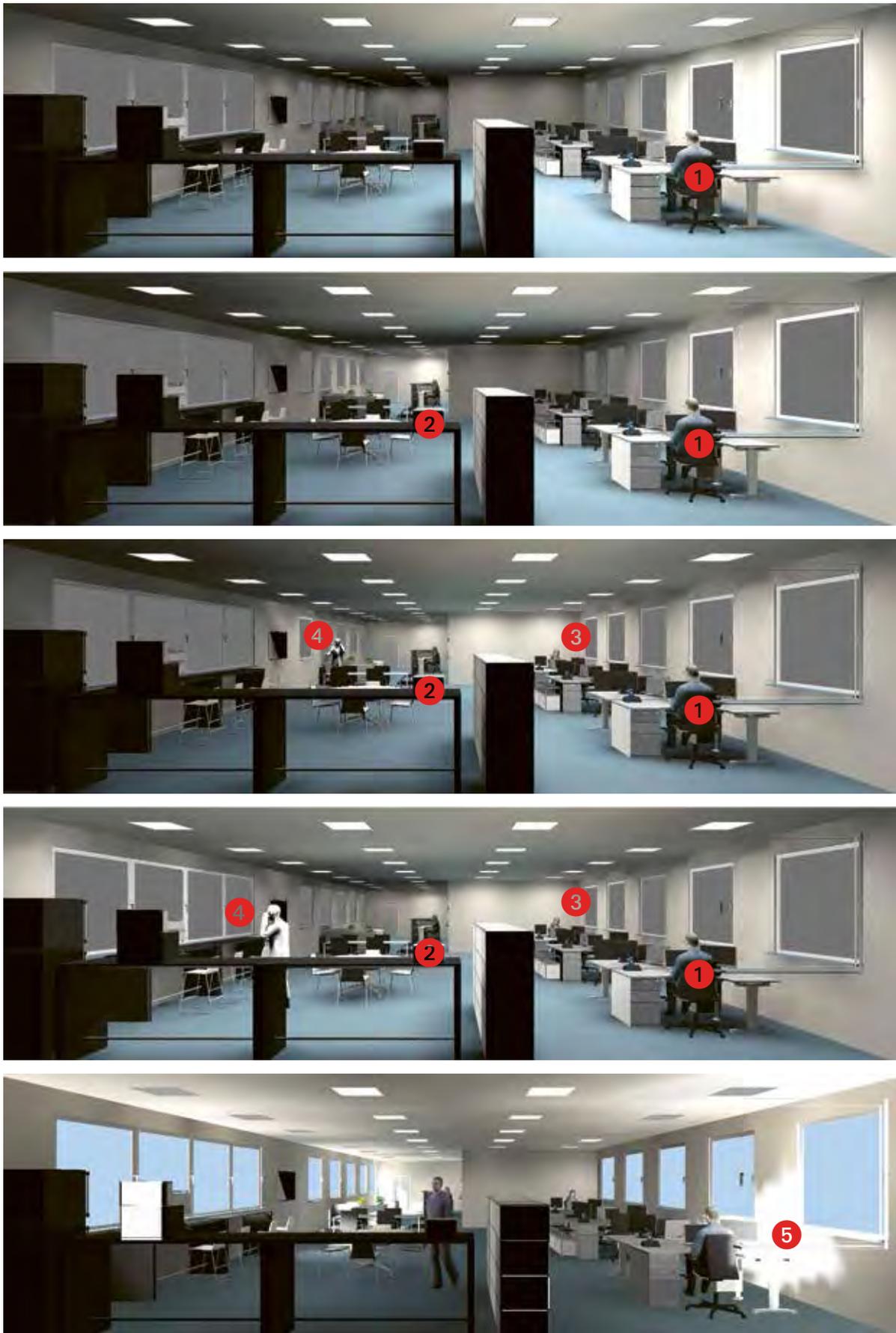


Abbildung 6.12:
Vernetzte intelligente Leuchten in
einem Grossraumbüro. (Quelle: Trivalite
von Swisslux)

6.4 Fotozelle für Tageslichterfassung

Für die Messung und Regelung von Kunstlicht in Abhängigkeit des Tageslichts werden Fotozellen eingesetzt; sie reagieren auf sichtbares Licht. Ihr Funktionsprinzip entspricht der Solarzelle: Fällt Licht auf den Sensor, erhöht sich der Stromfluss linear zur Intensität des Lichts (Abbildung 6.14). Über eine Regelelektronik wird dieser Stromfluss in ein Regulationssignal für die Abschaltung oder Dimmung einer Leuchte umgewandelt. Bei Lichtregelungen mit Präsenzerfassung ist der Fotosensor (als zusätzlicher Sensor!) oft direkt im Präsenzmelder integriert; die PIR sind in den meisten Fällen kombinierte präsenz- und tageslichtabhängige Regler. Die Erfassung des Tageslichts erfolgt allerdings ziemlich rudimentär, wie bei einer Fotokamera, die nur die Belichtungsmessung mit einer Bevorzugung der Bildmitte kennt und nicht einzelne Helligkeitsbereiche unterscheiden und interpretieren kann. Die Folgen sind – bei ungünstiger Positionierung der Sensoren – unerwünschte Regelungseffekte: Ist unterhalb des Sensors ein schwarzer Teppich, eine helle Tischplatte oder ein Gummibaum, der von Zeit zu Zeit umplatziert wird? Der Fotosensor interpretiert derartige Unterschiede sehr ungenau. In der Praxis ist es deshalb weit verbreitet, dass die Sensoren entweder nicht einjustiert und in der Werkeinstellung belassen werden, sodass man auf der sicheren Seite ist. So bringt eine tageslichtabhängige Regelung nicht viel.

Neben den in PIR integrierten Fotozellen für die Tageslichterfassung gibt es auch autonome Sensoren; sie liefern generell eine genauere Erfassung, da sie tageslichtgerecht installiert werden können. Vier Typen können unterschieden werden: Alle haben Vor- und Nachteile (Tabelle 6.2).

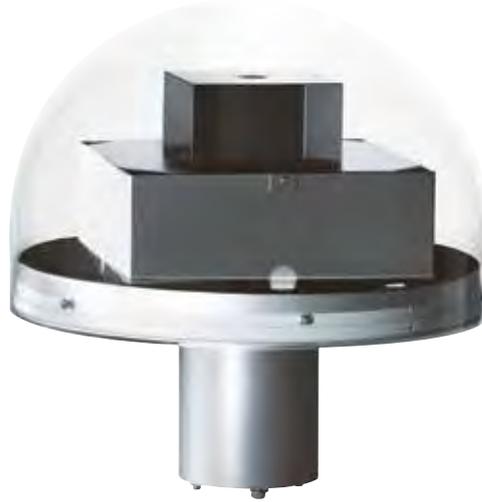


Abbildung 6.14: Dachsensor für Konstantlichtsteuerung. (Quelle: Zumtobel)

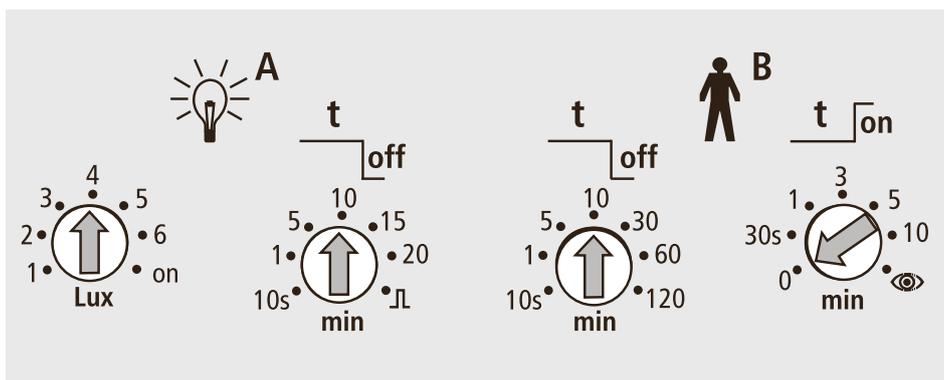


Abbildung 6.13: Einstell-Panel in kombiniertem Tageslichtpräsenzsensoren. (Quelle: HTS Theben)

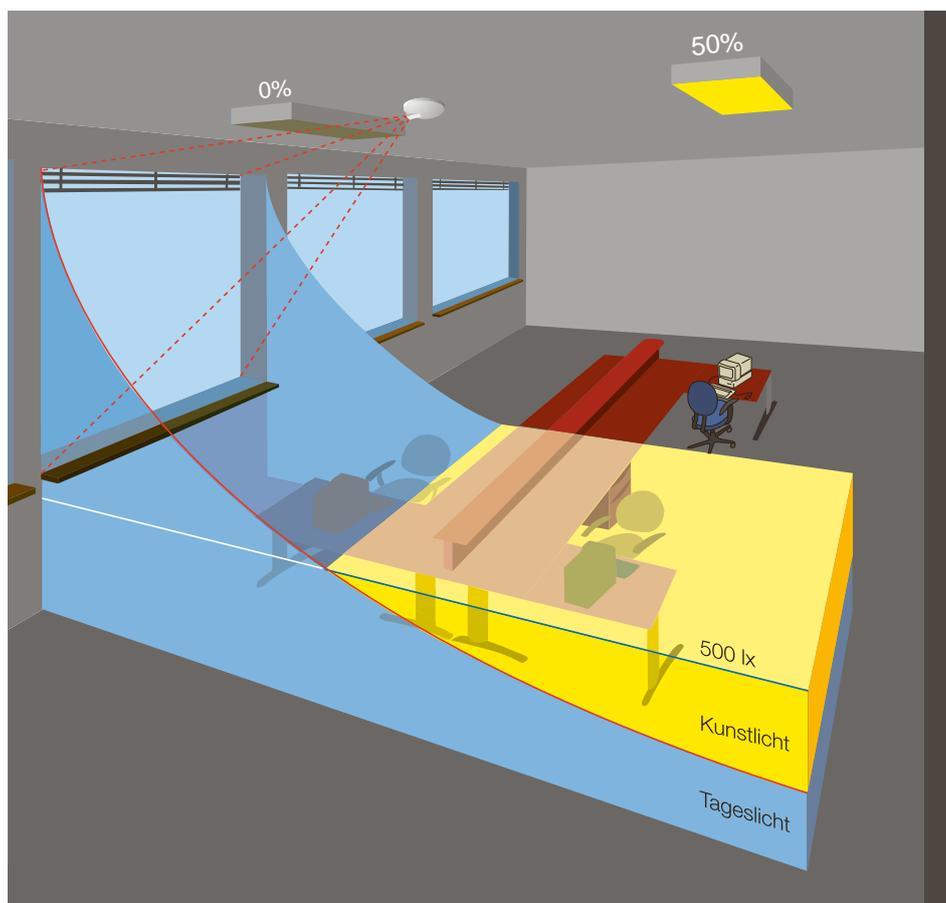


Abbildung 6.15: Schematische Darstellung einer Konstantlichtregelung. (Quelle: Zumtobel)

Sensortyp	Vorteil	Nachteil
Raumsensor	Lichtmessung mit Tages- und Kunstlichtanteil im betroffenen Raum und Regelung des Kunstlichts.	Keine Kombination mit Storensteuerung, Sensorpositionierung anspruchsvoll, bei Änderung der Einrichtung Neupositionierung nötig, pro Raum mindestens 1 Sensor nötig.
Fenster-sensor	Misst das Tageslicht unabhängig von der Raumeinrichtung, Sensorpositionierung relativ einfach.	Keine Kombination mit Storensteuerung, pro Raum mindestens 1 Sensor nötig.
Fassaden-sensor	Misst das effektive Tageslicht, gute Kombination mit Storensteuerung, nur wenige Sensoren nötig.	Nur Steuerung statt Regelung, aufwendige Programmierung jedes einzelnen Raumes im Gebäude nötig.
Dachsensorm	Misst den gesamten «Himmelszustand» und differenziert Direkt- und Diffuslicht. Gute Kombination mit Storensteuerung, nur ein einziger Sensor nötig.	Keine Regelung, sondern Steuerung, aufwendige Programmierung jedes einzelnen Raumes im Gebäude nötig.

Tabelle 6.2: Vor- und Nachteile von unterschiedlichen Positionen von Tageslichtsensoren.

6.5 Wirkung und Eigenenergieverbrauch

Zweifellos kann ein Lichtmanagementsystem (LMS) einen wesentlichen Beitrag zur Energieeffizienz eines Gebäudes leisten. Je nach Standort, Gebäude und Nutzung können gegenüber einer unregelmäßigen Beleuchtung 30 % bis zu 80 % Strom eingespart werden. Doch werden für ein umfassendes Lichtmanagementsystem auch zahlreiche Komponenten benötigt, die einen Eigenverbrauch an Energie haben. Und weil solche Systeme rund um die Uhr in Betrieb sind, kann dieser Eigenverbrauch in Abhängigkeit der eingesetzten Komponenten beträchtlich sein und einen Teil der Energieeinsparung kompensieren.

Beispiel eines LMS

In einem Schulhaus mit einer Fläche von 5000 m² sind total 1500 Leuchten mit einer durchschnittlichen Leistung von 40 Watt installiert. Es stehen drei Varianten zur Diskussion:

1. Das Schulhaus hat kein Lichtmanagementsystem. Gemäss Norm SIA 387/4 er-

gibt sich eine erwartete jährliche Volllaststundenzahl für die Beleuchtung von 1500 h/a.

2. Das Schulhaus besitzt ein Lichtmanagementsystem. Es werden dimmbare elektronische DALI-Vorschaltgeräte eingesetzt. Ferner 200 Sensoren zur Tageslicht- und Präsenzerfassung. Sensoren und Vorschaltgeräte werden in zwölf Steuergeräten zusammengefasst und die Steuergeräte über das Internet mit einer PC-Station zur Überwachung und Steuerung verbunden. Gemäss SIA 387/4 wird eine Reduktion der Stundenzahl von 30 % erwartet.

3. Das Schulhaus besitzt ein Lichtmanagementsystem. Es entspricht der Variante 2, es werden aber die besten Komponenten mit den geringsten Eigenenergieverbräuchen eingesetzt.

Das Modell zeigt, dass der Eigenverbrauch der für ein Lichtmanagementsystem notwendigen Komponenten – und es sind sehr viele! – entscheidend ist für den Einsparerfolg. Werden nur durchschnittliche Komponenten eingesetzt, schmilzt die erhoffte Einsparung gegen Null. Aber auch bei besten Komponenten vernichtet der

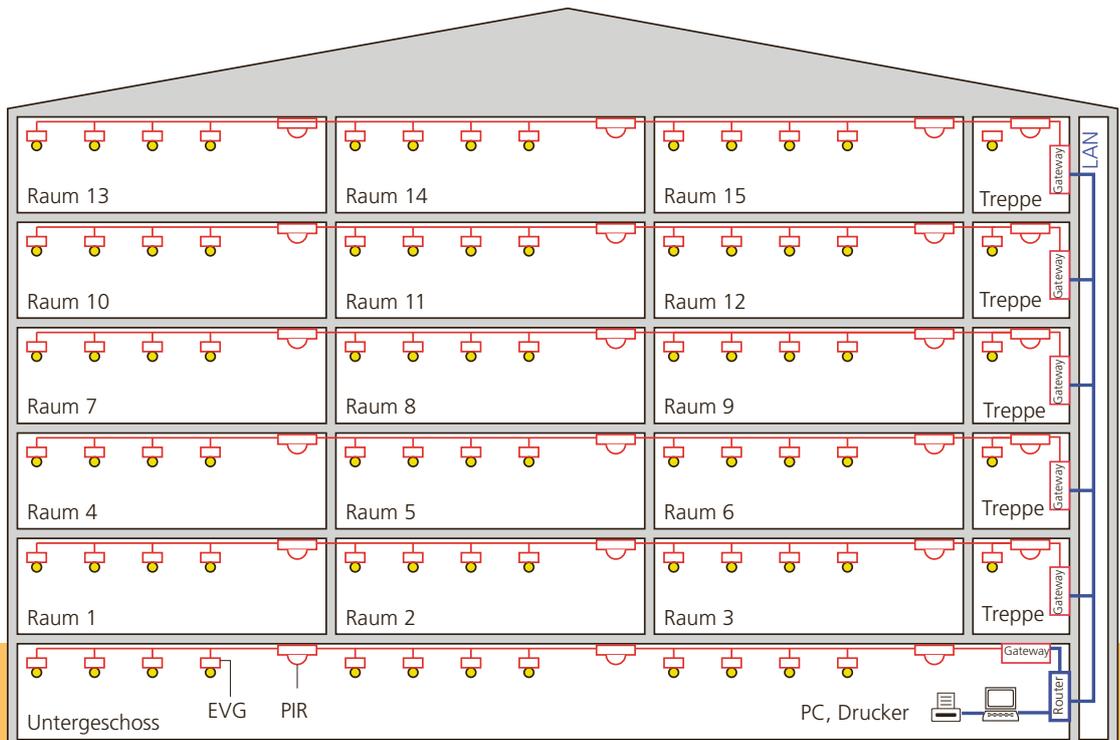


Abbildung 6.16:
Komponenten eines
Lichtmanagementsystems.

Eigenverbrauch der Komponenten gut 15 % der erwarteten Einsparung (Tabelle 6.3).

Die aufgezeigte Problematik lässt sich auch für andere technische Anlagen, die über ein Gebäudeautomationssystem überwacht und gesteuert werden, übertragen. Von den Herstellern wird der Eigenverbrauch zumeist marginalisiert. Mit dem heutigen Stand der Technik dürfte eine einfache Lichtregulierung ohne zentrale Erfassung deutlich bessere Resultate bezüglich Energieeffizienz liefern als komplexe Gebäudeautomationssysteme.

6.6 Messprojekt Sensorleuchten

Die grossen Einsparungen beim Einsatz von Sensor-LED-Leuchten wurden in einem Messprojekt, welches das Amt für Hochbauten der Stadt Zürich durchgeführt hat, eindrücklich belegt. Die Parkgarage der Wohnsiedlung Heuried umfasst 6 Parkdecks mit rund 360 Parkplätzen und insgesamt 7360 m² Fläche. Beleuchtet wurde die Garage mit offenen Leuchtstofflampen; Präsenzmelder schalteten das Licht bei Abwesenheit von Fahrzeugen und Personen nach ca. 15 Minuten ab. Messungen der alten Beleuchtung ergaben einen spezifischen Elektrizitätsverbrauch von 13,2 kWh/m²; dieser Wert liegt deutlich über dem Grenzwert der Norm SIA 387/4 von 2,2 kWh/m².

In einem Pilotprojekt wurde 2018 die Beleuchtung eines der sechs Parkdecks erneuert und mit Sensor-LED-Leuchten (Typ RS Pro 5100 von Steinel) ausgerüstet. Die Leuchten sind in vier Gruppen eingeteilt, jede zweite Leuchte hat einen integrierten Sensor. Bei Abwesenheit von Personen oder Fahrzeugen wird die Beleuchtung nach 1 Minute auf ein Restlicht von 10 %

	Lichtmanagementsystem (LMS)		
	Variante 1: Ohne LMS	Variante 2: LMS Standard	Variante 3: LMS optimal
Beleuchtete Fläche	5000 m ²	5000 m ²	5000 m ²
Anzahl Leuchten	1500	1500	1500
Mittlere Leistung pro Leuchte	40 W	40 W	40 W
Anzahl DALI-EVG	0	1500	1500
Verlustleistung pro DALI-EVG	0 W	1 W	0,2 W
Anzahl Sensoren	0	200	200
Leistungsaufnahme pro Sensor	0 W	4 W	1 W
Anzahl Steuergeräte	0	12	12
Leistungsaufnahme pro Steuergerät	0 W	15 W	10 W
Leistungsaufnahme Router	0 W	20 W	10 W
Leistungsaufnahme PC und Drucker	0 W	100 W	50 W
Gesamtleistung aller Leuchten	60,0 kW	60,0 kW	60,0 kW
Gesamtleistung des LMS	0,0 kW	2,6 kW	0,7 kW
Volllaststunden der Leuchten	1500 h/a	1050 h/a	1050 h/a
Volllaststunden des LMS		8760 h/a	8760 h/a
Energieverbrauch Beleuchtung	90 000 kWh/a	85 776 kWh/a	68 957 kWh/a
Energiekennzahl Beleuchtung	18,0 kWh/m ²	17,2 kWh/m ²	13,8 kWh/m ²
Erwartete Energieeinsparung mit LMS		-30 %	-30 %
Effektive Energieeinsparung mit LMS		-5 %	-25 %

Tabelle 6.3:
Vergleich der Varianten und deren Auswirkung auf den Energieverbrauch.

gedimmt und nach weiteren 15 Minuten ganz abgeschaltet – mit Ausnahme der 2 Leuchten bei den Eingängen, die auf 50 % Restlicht verbleiben. Die Messung der neuen Beleuchtung über eine Dauer von einem Monat ergab eine Energieeinsparung von 92 %. Der spezifische Elektrizitätsverbrauch beträgt noch 1,1 kWh/m². (Abbildung 6.17)

Ein wichtiger Aspekt der Erneuerung: Die Lichtverteilung und die gemessenen Beleuchtungsstärken der neuen Beleuchtung ist deutlich besser als bei der alten Beleuchtung, vergleiche dazu Abbildung 6.19 und Abbildung 6.20.

Die Stadt Zürich rüstet als Folge der Untersuchung nun die gesamte Parkgarage auf die neue Technologie um. Es kann eine jährliche Energieeinsparung von 92 MWh/a erzielt werden, was rund 14 000 Fr./a eingesparten Energiekosten entspricht.

Kommentar zu Abbildung 6.18

Die blaue Fläche entspricht einem typischen Tagesgang der alten Beleuchtung: bei einer Spitzenleistung von 3,21 kW und einer jährlichen Volllaststundenzahl von 5318 h/a ergibt sich ein gemessener Energieverbrauch von 17,1 MWh/a (eines von 6 Parkdecks). Die Bandlast (Standby = Betrieb ohne Nutzen) beträgt 400 Watt.

Abbildung 6.17:
Reduktion der Leistung um 58% und der Energie um 92%.

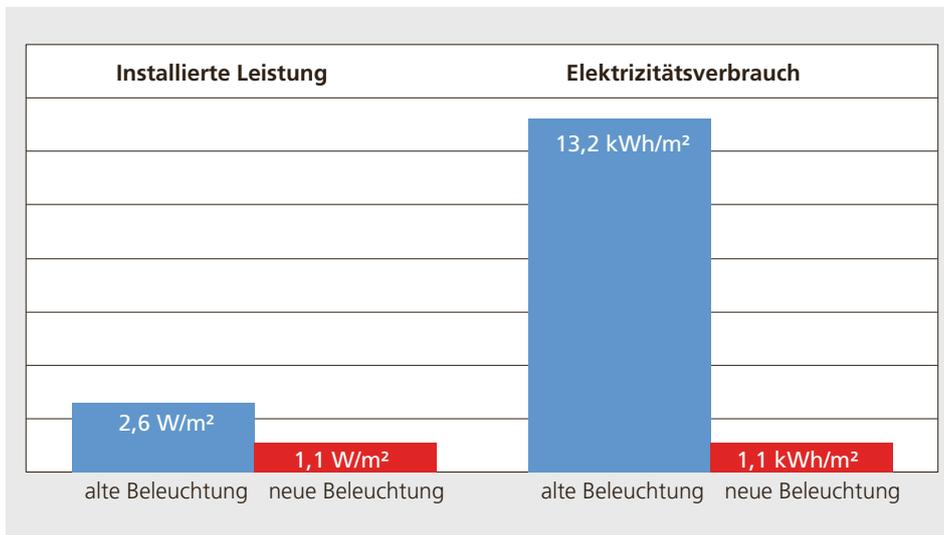
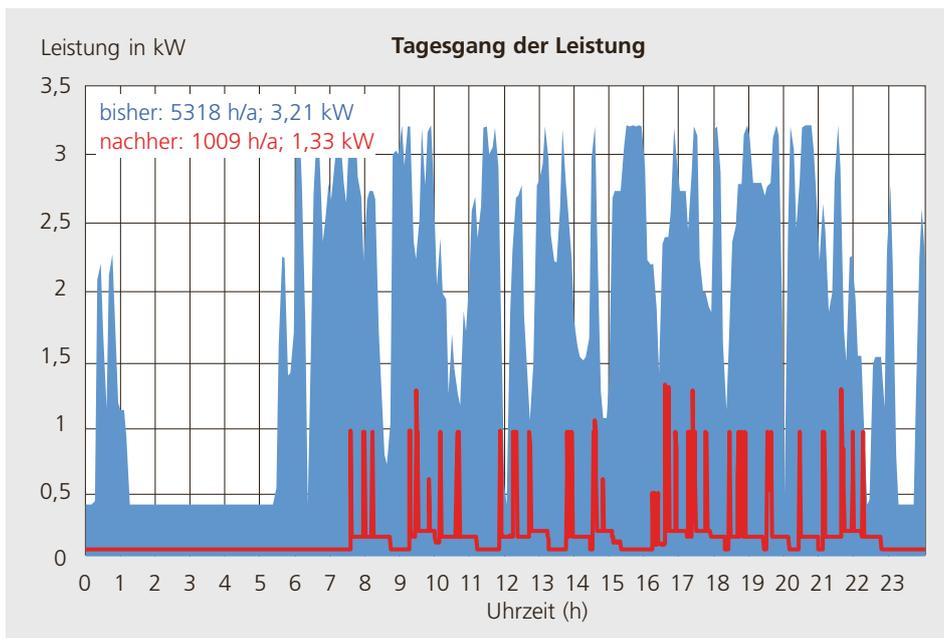


Abbildung 6.18:
Gemessener Tagesgang der Leistung vor und nach der Erneuerung.



Die rote Kurve ist die Messung eines typischen Tagesgangs der neuen Beleuchtung mit Sensor-LED-Leuchten. Die einzelnen Leuchtengruppen schalten nach nur einer Minute ohne Personen- oder Fahrzeugbewegung auf Grundlicht zurück. Der Standby beträgt nur noch 30 Watt. Bei maximal 1,33 kW und 1009 Volllaststunden ergibt sich ein gemessener Energieverbrauch von 1,34 MWh/a.

Die Gesamteinsparung beträgt 92 %, wobei davon 53 Prozentpunkte auf das Konto der Sensorik gehen und 39 Prozentpunkte der Effizienzsteigerung der Leuchten angerechnet werden können.

Die Messungen wurden über einen ganzen Monat durchgeführt, die einzelnen Tage unterscheiden sich nicht erheblich. Den Vergleich der Kennzahlen vor und nach der Erneuerung mit den Anforderungen von SIA und Minergie zeigt Tabelle 6.4.



Abbildung 6.19: Die Beleuchtung und die gemessene Beleuchtungsstärke vor der Erneuerung.



Abbildung 6.20: Die Beleuchtung und die gemessene Beleuchtungsstärke nach der Erneuerung.

Kommentar zu Tabelle 6.4

Der alte Zustand der Beleuchtung entspricht dem Stand der Technik zum Zeitpunkt der Installation im Vor-LED-Zeitalter: beste Leuchtstofflampen, elektronische Vorschaltgeräte und Bewegungsmelder. Dennoch wurde mit einem Projektwert von 13,9 kWh/m² nicht einmal der SIA-Grenzwert (10,2 kWh/m²) erreicht. Der Grund liegt darin, dass die Sensoren beim Einsatz von Leuchtstofflampen wegen der langen Ausschaltverzögerung kaum Wirkung erzielen können.

Die neue Beleuchtung ist effizient und verfügt über eine Sensorik, die der neuen LED-Technik gerecht wird. Deshalb sinken die Volllaststunden noch deutlicher als die installierte Leistung. Die Minergie-Anforderung (1,5 kWh/m²) wird bei einem gemessenen Projektwert von 1,1 kWh/m² klar erreicht; bis zum Zielwert ist noch eine kleine Differenz.

6.7 Korridorbeleuchtung mit LED (Pilotprojekt)

Das Hochhaus Werd in der Stadt Zürich wurde 2005 total saniert. Beim Umbau wurde speziell auf Nachhaltigkeit und Energieeffizienz geachtet, auch bei der Beleuchtung. So wurden die ersten Minergie-Stehleuchten eingesetzt, die für dieses Gebäude entwickelt wurden und halb so viel Strom brauchen wie damals übliche Stehleuchten. Auch die Korridorbeleuchtung wurde nach dem damals besten Stand der Technik realisiert. Das architektonische Konzept verlangte durchgehende Lichtbänder (Abbildung 6.21). Diese wurden mit den effizientesten Leuchtstoffröhren (35 Watt, Typ T5) bestückt; und weil die Lichtbänder bei Volllast mehr als die verlangten 100 Lux Beleuchtungsstärke lieferten, wurde eine konstante Dimmung der elektronischen Vorschaltgeräte auf rund 60 % des Lichtstromes programmiert. Mittels Bewegungsmeldern wurde zudem eine automatische Abschaltung der Korridorbeleuchtung bei Abwesenheit von Personen installiert (nach jeweils 10 Minuten).

Messungen zeigten später, dass die Personenfrequenz in den Korridoren so hoch ist, dass es mit der 10-minütigen Ausschaltverzögerung bei den Bewegungsmeldern nur zu sehr wenigen Abschaltungen kommt und die erhoffte Reduktion der Betriebszeiten dieser Beleuchtung mit

	Messung vor der Erneuerung (Mai 2015)	Messung nach der Erneuerung (Februar 2018)
Installierte Leistung		
Projektwert	2,6 W/m ²	1,1 W/m ²
SIA-Grenzwert	3,6 W/m ²	1,4 W/m ²
SIA-Zielwert	2,3 W/m ²	0,9 W/m ²
Volllaststunden		
Projektwert	5318 h/a	1009 h/a
SIA-Grenzwert	2835 h/a	1600 h/a
SIA-Zielwert	1740 h/a	800 h/a
Elektrizitätsverbrauch		
Projektwert	13,9 kWh/m ²	1,1 kWh/m ²
SIA-Grenzwert	10,2 kWh/m ²	2,2 kWh/m ²
SIA-Zielwert	4 kWh/m ²	0,7 kWh/m ²
Minergie-Anforderung	7,1 kWh/m ²	1,5 kWh/m ²

*Tabelle 6.4:
Vergleich der Kennzahlen vor und nach der Erneuerung mit den Anforderungen von SIA und Minergie.*

über 3000 Stunden pro Jahr bei weitem nicht erreicht wird. Da man Leuchtstofflampen wegen ihrer langsamen Aufstartzeit von mehreren Minuten aber nicht kürzer schalten sollte, gab es keine Möglichkeit, die Beleuchtungsregelung in den Korridoren zu optimieren.

Mit dem Einzug der LED-Technik steht nun neu eine Beleuchtungstechnik zur Verfügung, die viel rascher geregelt werden kann und die zudem keine Verluste bei der Dimmung aufweist – im Gegensatz zur Dimmung von Leuchtstofflampen. Mit einem Pilotprojekt in einem Korridor des Verwaltungszentrums Werd wollte das Amt für Hochbauten testen, wie viel Energie sich beim Ersatz eines 30 m langen Lichtbandes durch LED und gleichzeitiger Reduktion der Verzögerungszeiten bei den Bewegungsmeldern einsparen lässt.

Messungen

Es wurden zwei identische Korridore (30 m auf 2,4 m) während mehrerer Wochen mit je einem Energie- und Leistungsmessgerät ausgemessen (Abbildung 6.22). In beiden Korridoren herrschen dieselben Beleuch-

tungsstärken und Lichtverteilungen. Die zwei Beleuchtungen lassen sich kaum unterscheiden:

■ Korridor 1 mit Leuchtstofflampen und Präsenzmeldern mit 10-Minuten-Intervall

■ Korridor 2 mit LED-Licht-Linie und Präsenzmeldern mit 1-Minute-Intervall

Das Resultat ist beeindruckend. Die LED-Beleuchtung spart gegenüber der bisherigen Leuchtstofflampentechnik über 80 % elektrische Energie ein.

Abbildung 6.22: Energie- und Leistungsmessgerät mit Datenlogger für SD-Karte.



Abbildung 6.21: Innenansicht Verwaltungszentrum Werd mit Korridor.

- Einerseits reduziert sich die elektrische Leistung, weil LED im Gegensatz zu Leuchtstofflampen keine Dimmverluste ausweisen; im vorliegenden Fall von 5,9 W/m² (Leuchtstofflampen) auf 2,6 W/m² (LED).
- Andererseits reduzieren sich die täglichen Betriebszeiten aufgrund der kürzeren Schaltzeiten von durchschnittlich 13,2 h/d bei der Beleuchtung mit Leuchtstofflampen auf 5,7 h/d bei LED. Während die Leuchtstofflampen über die Bewegungsmelder lediglich 4-mal pro Tag ein- und ausschalten, sind es bei der LED-Beleuchtung über 100-mal.
- Daraus ergibt sich eine Reduktion der Energiekennzahl Beleuchtung für die Korri-

dorbeleuchtung von 19,5 kWh/m² auf 3,6 kWh/m², was einer effektiven Energieeinsparung von 81 % entspricht (Abbildung 6.23 und Abbildung 6.24). Es stellte sich auch die Frage, ob das häufige Ein- und Ausschalten das Personal beeinträchtigt. Systematische Befragungen dazu wurden zwar keine gemacht, aber es sind auch keine Reklamationen bekannt; offensichtlich bemerkten die Angestellten gar keine Änderung. Ergänzend dazu wurde versuchsweise eine zusätzliche Stufe in der LED-Beleuchtung eingefügt, bei der das Licht nicht völlig ausschaltet, sondern auf 15 % Lichtstrom bleibt. Durch dieses Komfortlicht, das den Effekt des häufigen Schaltens stark lindert,

Abbildung 6.23: Tagesgang der Leistung an einem typischen Werktag; der LED-Korridor braucht 81 % weniger Energie als der Korridor mit den Leuchtstofflampen.

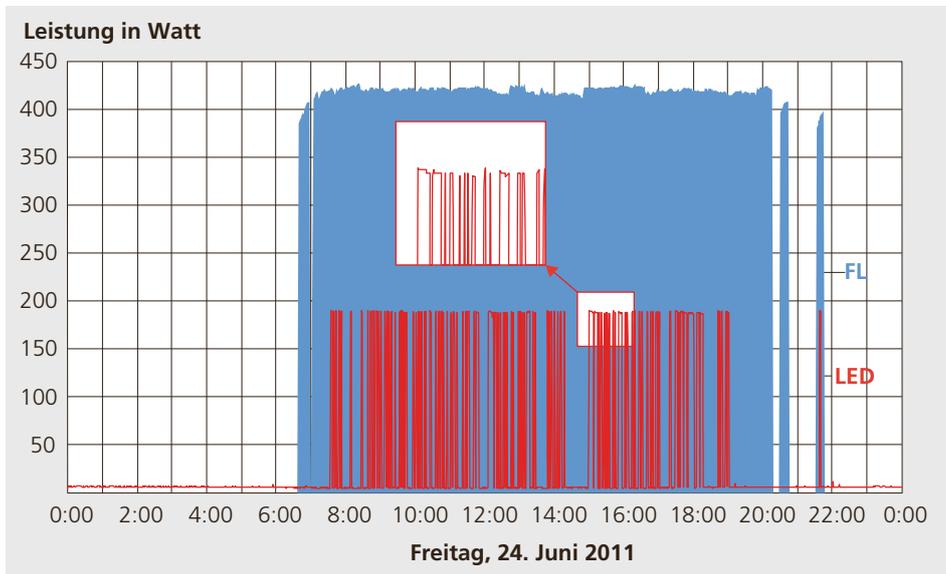
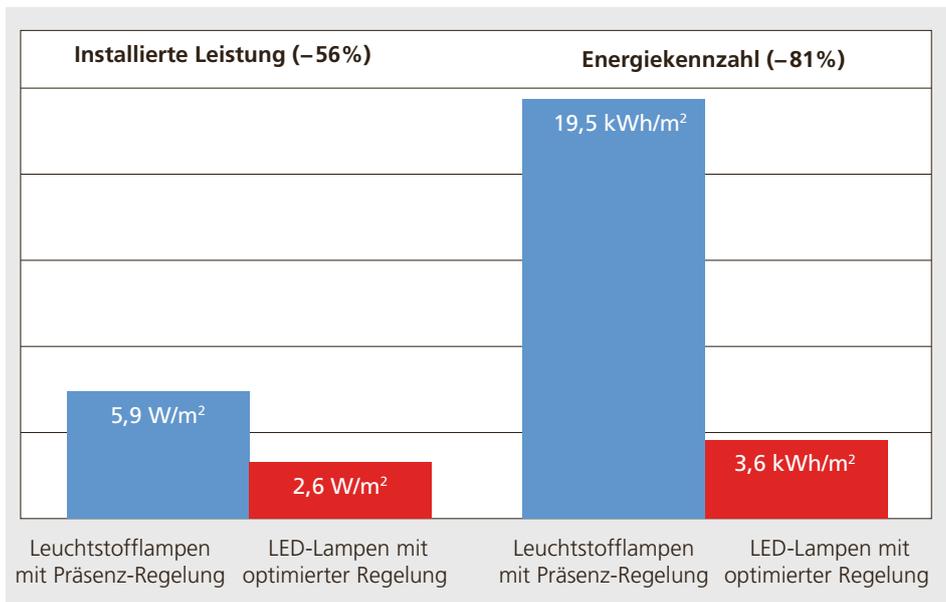


Abbildung 6.24: 81 % Einsparung beim Energieverbrauch und 56 % Einsparung bei der installierten Leistung.



geht die Einsparung zurück, allerdings nur geringfügig: Die Gesamteinsparung sinkt von 81 % auf 77 %.

Energiebilanz und Wirtschaftlichkeit

Hochgerechnet auf ein Jahr ergibt sich eine Reduktion der Energiekennzahl Beleuchtung von 19,5 kWh/m² (Grenzwert SIA: 19,0 kWh/m²) bei der bisherigen Beleuchtung mit Leuchtstofflampen auf 3,8 kWh/m² (Zielwert SIA: 7,5 kWh/m²) mit LED-Leuchten.

Es ergibt sich eine jährliche Stromeinsparung von 15,7 kWh/m² oder 3.10 Fr./m², das entspricht 7.50 Fr./a. pro Laufmeter Korridor. Da LED-Leuchten während der gesamten Nutzungszeit (15 Jahre) keine Ersatzlampen benötigen, mindern sich auch die Unterhaltskosten – erfahrungsgemäss um etwa den gleichen Betrag wie die Energiekosteneinsparung. Bei einer angenommenen Mehrinvestition von 100 Franken pro Laufmeter LED-Licht im Korridor ergibt sich also eine Amortisationszeit der LED-Beleuchtung von gut sechs Jahren.

Fazit

Dieses Resultat zeigt exemplarisch, dass die LED-Technik mit entsprechender Lichtregelung ein enormes Sparpotenzial aufweist gegenüber heute üblichen, als energieeffizient geltenden Korridorbeleuchtungen. Beachtenswert ist ausserdem, dass Lichtregelungen in heute üblichen Beleuchtungsanlagen in der Praxis meist viel weniger Einsparungen bringen als vermutet. Der Einsatz von LED bringt auch gestalterische Vorteile: Die unbeliebten «Schattenschnäuze» wie zwischen den Leuchtstofflampen sind bei LED-Lampen nicht vorhanden (Abbildung 6.25).

Abbildung 6.25: Übergang von einer Leuchte zur anderen: links Leuchtstofflampe, rechts LED (Leuchten: Slot von Zumtobel).

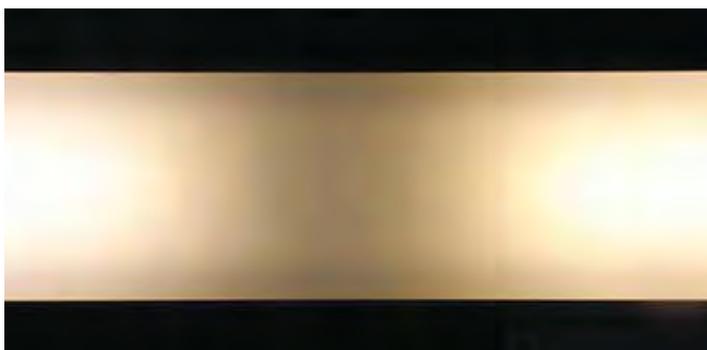


Tabelle 6.5: Energiebilanz LED versus FL.

	LED-Lampen	Kompaktleuchtstofflampen
max. Betriebsleistung	187 W	420 W
Betriebsstunden	1463 h/a	3343 h/a
Energieverbrauch	274 kWh/a	1404 kWh/a
Energiekennzahl	3,8 kWh/m ²	19,5 kWh/m ²
	0.80 Fr./m ² a	3.90 Fr./m ² a
Grenzwert SIA 380/4		19,0 kWh/m ²
Zielwert SIA 380/4		7,5 kWh/m ²
Anforderung Minergie		10,5 kWh/m ²

Planung und Optimierung

7.1 Grundlagen der Beleuchtungsplanung

Innenraum ist nicht gleich Innenraum. Um die Beleuchtung für Innenräume festzulegen, ist es erforderlich, die Nutzung und die Nutzenden zu kennen, die Sehaufgabe genau zu definieren und das Materialkonzept mit Oberflächenbeschaffenheit, Farbgestaltung, Glanzgrad etc. zu kennen. Die Dimensionen des Raumes müssen ebenfalls bekannt sein und innenräumliche Bezüge manifestieren sich wiederum im Beleuchtungskonzept.

Anforderungen im privaten Wohnen unterscheiden sich grundsätzlich von industriellen Standards. Im privaten Wohnen existieren zudem keine Normen. Im beruflichen Umfeld ist weitgehend alles geregelt.

Licht verleiht den Objekten Gestalt, setzt Raum und Form, Farbe und Oberfläche zueinander in Beziehung und macht sie wahrnehmbar. Licht selbst nimmt damit keine objekthaften Eigenschaften an. Es wird lediglich durch die «Berührung» mit der Oberfläche eines Gegenstandes sichtbar und damit auch spürbar. Es wird durch die Reflexion auf Flächen zum optischen Material.

Licht bestimmt unser Zeitempfinden und lässt uns den Tagesrhythmus und den Wechsel der Jahreszeiten erleben. Licht lässt aber auch die Nacht zum Tage werden. Das künstliche Licht macht uns vom Tageslicht unabhängig.

Licht ermöglicht es, Räume zu modifizieren, ohne sie physisch zu ändern. Licht kann Räume erweitern und verkleinern, Verbindungen schaffen oder Bereiche voneinander abgrenzen und den Oberflächen Farbe verleihen. Mehr noch: Licht lenkt den Blick, steuert unsere Wahrnehmung und beeinflusst unsere Aufmerksamkeit. Licht schafft somit Wahrnehmungshierarchien. Es kann aber auch Erinnerungen wecken, Assoziationen schaffen und Stimmungen auslösen.

Dass Licht nicht einheitlich handhabbar, sondern örtlich und zeitlich abhängig ist, zeigen uns kulturelle Aspekte. Einen äusserst wichtigen Stellenwert hat der Schatten oder auch die Dunkelheit oder Dunkelzone, die bewusst eingesetzt wird, um speziellen Raumzonen oder Räumen ihren eigenen Charakter zu geben.

Es ist möglich, die physikalischen Eigenschaften einer Beleuchtungssituation zu berechnen und zu messen, doch entscheiden letztlich ein äusserst komplexer Sehvorgang und die subjektive Wahrnehmung über den Erfolg eines Beleuchtungskonzeptes. Aus diesem Grunde kann sich die Lichtplanung nicht auf die technische Konzeption alleine beschränken. Sie muss die Wahrnehmung wie auch zunehmend wahrnehmungspsychologische Aspekte in die Überlegungen miteinbeziehen. Die Aufgabe besteht nun darin, die Lichtplanung als integralen Bestandteil eines architektonischen Gesamtentwurfes konzeptuell und thematisch so auszuführen, dass eine visuelle Umgebung entsteht, welche die Bedürfnisse und Tätigkeiten der Menschen berücksichtigt, ihr Wohlbefinden fördert und auf die Architektur eingeht, sodass sich die gewollte Lichtwirkung und damit einhergehend die Raumwirkung entfalten kann. Hauptkriterium für eine wahrnehmungsorientierte Lichtplanung kann nicht die Anzeige eines Messinstrumentes sein, sondern der Mensch und die Art und Weise, wie die Beleuchtung den visuellen Ansprüchen gerecht wird. Das Sehen ist ein informationsverarbeitender Prozess. Damit wird der visuellen Umgebung ein Inhalt zugesprochen, der mehr zu sein scheint als die reine Bespielung optisch wirksamer Flächen. Der «Zuschauer» ist damit nicht der passive Rezeptor, sondern der aktive Faktor im Wahrnehmungsprozess, der die Bilder seiner visuellen Umgebung aufgrund einer Vielzahl von Erwartungen, Erfahrungen und Bedürfnissen konstruiert. Aus Nachhaltigkeitsüberlegungen wurde zudem er-

sichtlich, dass die Effizienz einer Beleuchtung nicht in der Lampe, der Leuchte oder im Raum liegt, sondern im gesamten System Lampe (besser noch Lampe und Vorschaltgerät), Leuchte (Reflektoren, Optiken, Thermomanagement) und Raum (Art der Verbauung, Raumdimensionen und Oberflächenbeschaffenheit wie Reflexionsgrad und Glanzgrad) zu finden ist. Diese Erfahrung hat auch ein neues Verständnis für die Ablösung der Energieetikette zugunsten des Minergie-Labels für Beleuchtungskörper generiert, obwohl damit noch keinesfalls sichergestellt ist, dass das

gesamte System funktioniert. Moderne Berechnungstools wie Relux oder Dialux beziehen sich jedoch auf die Raumfaktoren ebenso wie auf verlässliche Leuchten-daten. Insofern hat die Zuverlässigkeit der Grunddaten sehr viel mit der Voraussage von Lichtqualität und Lichtquantität zu tun.

Neben Bedürfnisanalyse, Nutzwertanalyse, Wirtschaftlichkeitsanalyse und energetischer Analyse, die vielfach zur Entscheidungsfindung herangezogen werden, sind die eigentlichen Arbeitsschritte in der Lichtkomposition und deren Darstellung

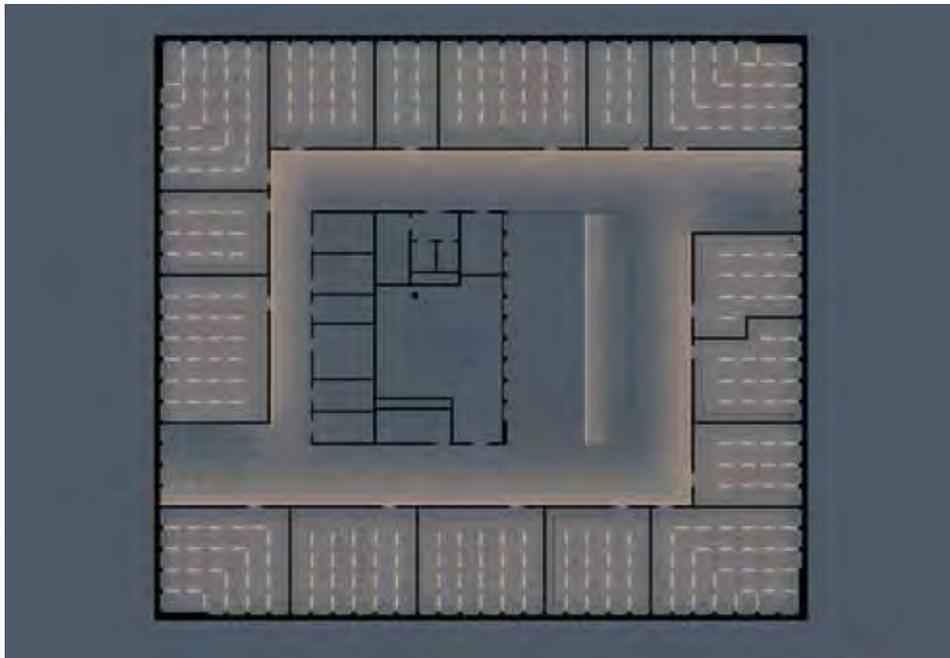


Abbildung 7.1:
Grauplan mit
eingezeichneter
Lichtführung.

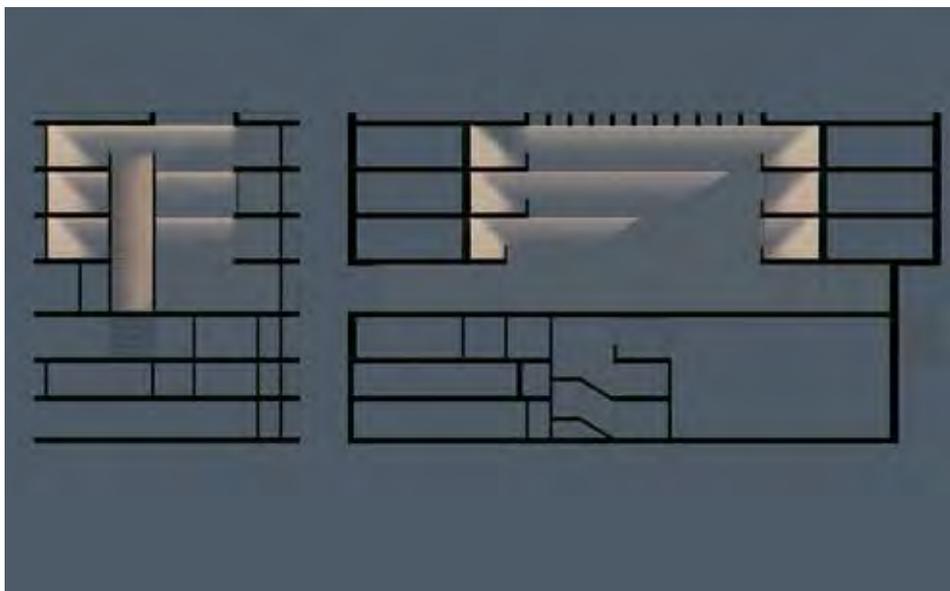


Abbildung 7.2:
Schnittdarstellung
der Lichtführung.

zu finden. Dabei können das Imagebild, ein Moodbord, lichttechnische und realistische Visualisierungen, räumliche Visualisierungen bis hin zur 3D-Darstellung, aber auch einfache Graupläne und Lichtpläne das richtige Medium sein, um ein Projekt dem Auftraggeber möglichst nachvollziehbar näherzubringen.

Der Phasenablauf gestaltet sich dabei ähnlich der Vorgabe SIA 108, Honorarordnung für Elektroplanung, wobei die Phasen Vorprojekt und Bauprojekt deutlich unterbewertet sind. Um einem Projekt gerecht zu werden, sind deutlich höhere Arbeitsleistungen in diesen zwei ersten Phasen gefragt. Kunstlicht ist sehr präzise planbar und steuerbar. Gleichmässigkeit, Schattigkeit, Modulation, Formfaktor, Gestaltgesetze, Qualität und Entblendung von Beleuchtungskörpern können genauestens eingesetzt und berechnet werden.

7.2 Beispiel einer Optimierung

Das Beispiel stammt aus dem Jahre 2008 und beschreibt den Optimierungsprozess einer Beleuchtungsanlage; die eingesetzten Produkte entsprechen nicht mehr dem aktuellen Stand der Technik.

Das Objekt ist ein Industriebau, dessen charakteristische Materialisierung und Raumhöhe (4,25 m) unterstrichen werden sollen. Der rohe Beton soll belassen und eine innere Wand dunkelrot gestrichen werden. Der Sonnenschutz ist normal und die Fenster raumhoch.

Das Gebäude als Ganzes (wir betrachten lediglich einen Büroausschnitt exemplarisch) soll nach Minergie-P-Kriterien ausgeführt werden. Installationen sind trotzdem einfach zu halten, die Beleuchtungsstärken sind nach Norm zu planen, Leuchten wenn möglich mit Minergie-Label. Zur Akzentuierung der hohen Räume sind indirektstrahlende Leuchten zu verwenden. Die Lichtverteilung im Raum kann mittels eines Beleuchtungsberechnungsprogramms quantifiziert werden.

Eine erste Beurteilung der Bürozone ist ernüchternd und die Grenzwerte können

Abbildung 7.3:
Grundriss des
Büroraumes mit
Kommunikations-
zone.

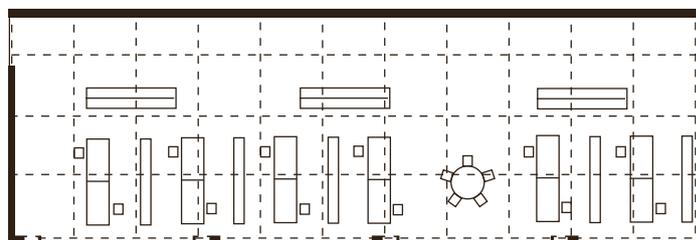


Abbildung 7.4:
Anordnung der Be-
leuchtungskörper
(Achtung: Zone für
Reflexblendung im
Bereich der «Über-
kopf-Beleuchtung»!).

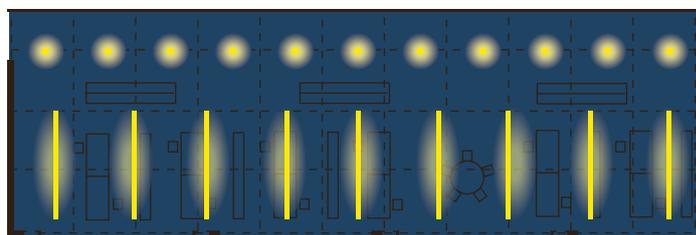
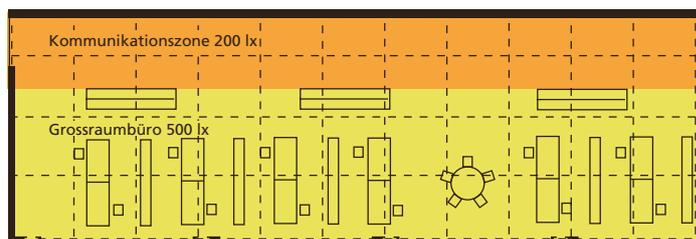


Abbildung 7.5:
Zuordnung der
Zonen gemäss
SIA 2024 (42 Stan-
dardnutzungen).



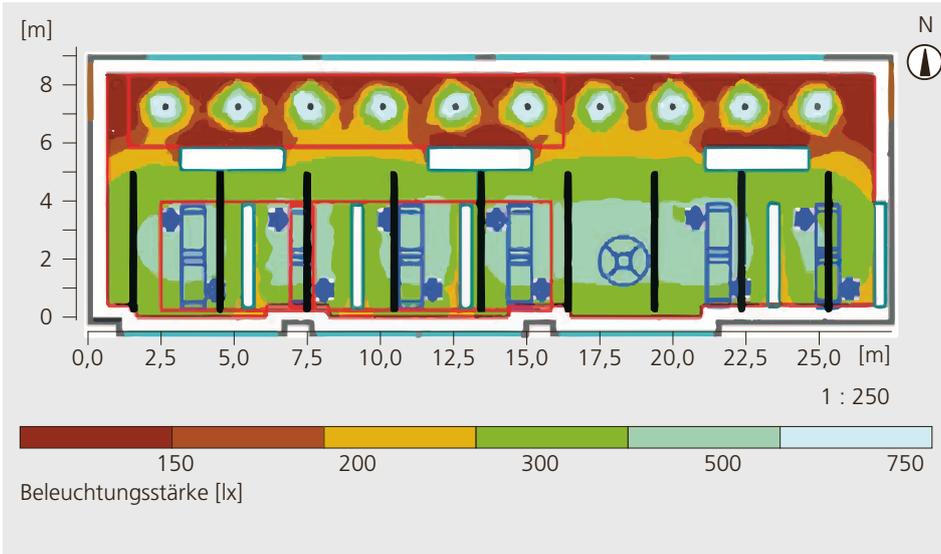


Abbildung 7.6:
Falschfarbendarstellung der Beleuchtungsberechnung mit Beleuchtungsstärkeeskala.

Abbildung 7.7:
Pendelleuchte (links) und Strahler für Kommunikationszone (rechts); Datenblätter von Leuchten mit Minergie-Label können direkt auf www.toplicht.ch heruntergeladen werden.

MINERGIE-LEuchte
Reg.-Nr. Zu-0049-d
Reg.-Datum 11.07.2008

Claris 2 Pendelleuchte 2x49W MC ID dimmbar

Pendelleuchte Direktindirekt mit Comfort-Raster 2 x 49W, für T16, Tochterleuchte für DALI-Ansteuerung mit digital dimmbarem elektronischem Vorschaltgerät, Gehäuse aus kantigem abgestuften Aluminium-Strangpressprofil, Abmessungen 1500mm x 150mm x 50mm, Profilleuchtehöhe 34mm, Umlaufender symmetrischer Rahmen Breite 40mm, auf Gehängung geschliffen, Titan pulverbeschichtet, Lichtlenkung mit Zellenrastertechnologie, einzelne Rastermodule aus hochwertigem Verbundwerkstoff geschlängelt vakuumbedampft mit Reinstantium, mit Schutzschicht aus SiO₂ Indirektleuchte Absichtstrahlstärke (4-36) mit beidseitig abgewinkeltem, beidseitig Lichtverteilung, Bleidosen in abgestufter Gehäuseform LxBxH 100 x 70 x 32, Gewicht: 4,7 kg www.zumtobel.ch/42158824

Leuchtenkategorie	Pendelleuchte
Lampenkategorie	Leuchtstoffleuchten
Artikelnummer	42158824
Eigenschaften_Vorschaltgerät	EVG digital Tridonic onedial
Verwendete Messlampe	T16/49
Anzahl Lampen pro Leuchte	2
Gemessene Leistung	110 W
Gesamtlichtstrom 25° (Lumen)	8600
Standard-Leistung	0,5 W
Indirekte Lichtregelung	Dimmung
Leuchtenbetriebswirkungsgrad	89 %
Anteil Direktlicht	37 %
Abstrahlung	direkt/indirekt strahlend
Blendklasse UGR im Standardraum	<16 (=16 (Blickpaar))
Max. Leuchtstärke über 65°	max. 978 cd/m ²
Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)	89 lm/W (85 lm/W)
Original- oder abgeleitete Messung	Abgeleitet
Messdatum_Messstelle	
EULUMDAT-Datens	D24728UA.ltr
Messort	METAS, Bern-Webern

ERCO Parscan Strahler
für Halogen-Metalldampf Lampen

72 136.000 Weiß (RAL9003)
HIT-CE 01W (12 33000)
EVG
Spotrefektor

Produktbeschreibung
Gehäuse: zerlegbar gefrästes Aluminium, pulverbeschichtet, zum Lampeneinsatz drehbar 0°-90° schwenkbar Fallsicherung: In der Zündzeit integrierter Auslöser Aluminiumguss, pulverbeschichtet, am 3-Phasen-Adapter 300° drehbar. Eine Schraube zum Fixieren des Dreh- und Neigungsmechanismus ist mit integriertem Lichtschutz versehen.
Elektronische Energiequelle: ERCO 3-Phasen-Adapter Kurztorschutz.
Schutzglas: Beschützung: Aluminiumguss, schwarz pulverbeschichtet, Aufhänger für Zubehör.
Spotrefektor: Aluminium, überlackiert, hochglanzend.
Gewicht: 3,00 kg

Hm [m]	ESd [°]	D [m]
1	33270	0,16
2	8318	0,33
3	3687	0,47
4	2079	0,61
5	1331	0,75

HIT-CE 35W (12 33000)
40000-03

Montage:
ERCO 3-Phasen-Stromschleife
Hilfs-3-Phasen-Stromschleife
Montagel 3-Phasen-Stromschleife
L-Phasen-Perleleuchte

Abbildung 7.8:
Chancenloser Versuch, Minergie zu erreichen.

Grenzwert	25,7 kWh/m ²	
Minergie-Wert	14,0 kWh/m ²	
Projektwert	26,3 kWh/m ²	
	Büro	Kommunikation
Beleuchtungsstärke	460/530 lx	290 lx
Leuchte	2/49 W (106 W)	Erco Parscan 1/35 W (45 W)
Präsenzerfassung	nein	nein
Tageslichtregulierung	nein	nein
Raumreflexionen	dunkel	dunkel
Storessystem	Stoffstoren	–

SIA-380/4-Tool Beleuchtung

Objekt	
Projekt	Waha AG Industriezone 9 8050 Zürich
Projekt-Typ	Neubau
Projektstand	Projekt
Bauherr	Waha AG
Architekt	Martin Mutschmeyer architekten Zürich
Elektroplanung	Amstein + Walther AG Zürich
Beleuchtungsplanung	Amstein + Walther AG Zürich
Ersteller Nachweis	Amstein + Walther AG Zürich
Datum	09.11.2008

Zusammenfassung

Flächen	
	Vorprojekt
Nettofläche	255 m ²
Energiebezugsfläche (EBF)	280 m ²
Faktor Nettofläche zu EBF	0,91

Systemanforderungen

Vorprojekt	Projektwert	Grenzwert	MINERGIE	Zielwert
kWh/m ²				
MJ/m ²				
MWh	26,3	25,7	14,0	10,1
kWh/m ²	86,0	84,1	45,8	33,0
MJ/m ²	6,7	6,6	3,6	2,6
MWh				

MINERGIE ECO Vorprojekt: Projekt: 94%

MINERGIE grün = erfüllt rot = nicht erfüllt

Definition MINERGIE Beleuchtung

Grenzwert	Zielwert
3/4	1/4

MINERGIE ↑

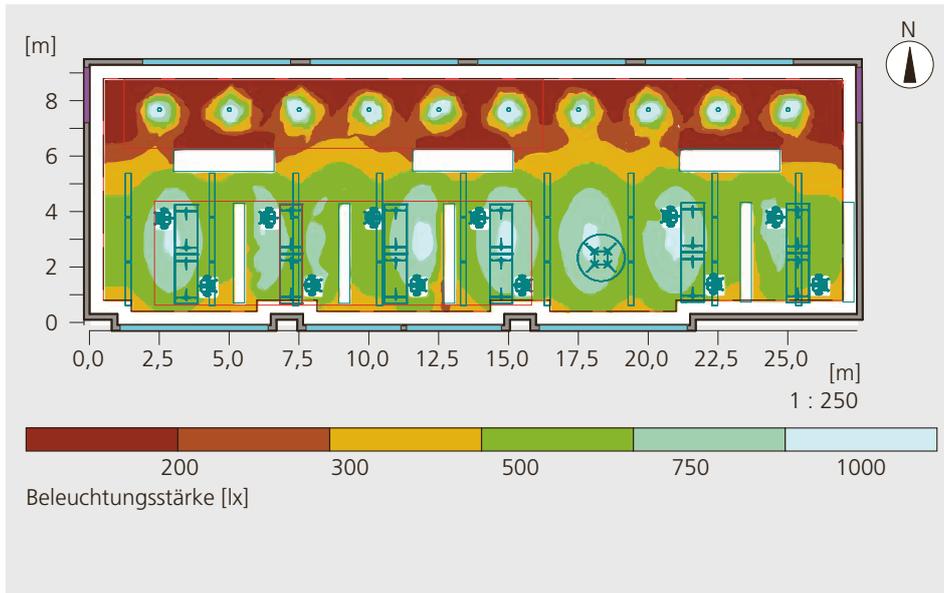


Abbildung 7.9:
Die neu berechnete Lichtverteilung zeigt trotz geringerer Leistung höhere Beleuchtungsstärken an den Arbeitsplätzen.

Abbildung 7.10:
Die Leuchte auf der linken Seite ist für den vorliegenden Fall dank anderer Lichtverteilung besser geeignet als die Leuchte mit Minergie-Modul-Auszeichnung (rechts). Selbstverständlich könnte auch die Leuchte links nach Minergie zertifiziert werden.

Arano

TPS642 2xTL5-35W/840 HFO CB-WH SMS ALU
Pendelleuchte mit DLC-Hochspannungslampe, silber color, Beschleunigung: direkt (100%) - indirekt (100%) - strahlend; flache Gehäuse aus abstrahlen Alu-Licht; mit regulierbaren DALI-DALI und TL5-Lampen zu (200W); mit Doppel-Selbstreinigung und Anstrichkatalysator

Phosphorarmes DLC-Hochspannungslampe mit 3D-Lamellen aus überbeschichteten Resinmaterialien, Rundkörpergehäuse nach DIN EN 12464-1 (L < 200 oder bei 80%)

Lieferung inklusive Leuchtmittel, Selbstreinigung und Anstrichkatalysator im Metallgehäuse.
Schutzklasse I, Schutzart IP 20, ENEC 05, F-Zeichen, CE-Zeichen

Technische Daten

Beleuchtung: 2 x TL5-35W
Lichtflut: 840
Lichtstrom: 6600 lm
Umsatz: Halbraum: 70,0%
Beleuchtungsleistung: 99,0%
Anschlussleistung: 77,0 W
Verschaltbarkeit: HF ballastlos
Maße (L x B x H): 1552 x 206 x 45 mm
Gewicht: 5,5 kg

Lichtstärkeverteilung

Blendungsbegrenzung

Philips GmbH
Unternehmensbereich Lighting - Professional Lighting Solutions
Tel: +49 (0) 180-888-200 | info@philips.com

© 2010-03-29 11:24:05 Das Foto zeigt einen Entwurf für die Produktentwicklung und entspricht nicht immer dem Details der Produktentwicklung

PHILIPS

MINERGIE®-Leuchte
Reg.-Nr. Zu-0049-d
Reg.-Datum 11.07.2008

ZUMTOBEL

Claris 2 Pendelleuchte 2x49W MC ID dimmbar

Pendelleuchte Direkt/Indirekt mit Comfort-Raster 2 x 49W, für T16, Tochterleuchte für DALI-Ansteuerung mit digital dimmbarem elektronischem Vorschaltgerät, Gehäuse aus kantigem abgestuften Aluminium-Strangpressprofil, Abmessungen 1500mm x 1500mm x 50mm, Profillochweite 34mm, Umlaufender symmetrischer Rahmen Breite=40mm, auf Gehung geschnitten, Titan pulverbeschichtet, Lichtlenkung mit Zellenraster-Technologie, einzelne Rastermodule aus hochwertigem Verbundwerkstoff gleichmäßig rekumbentgedrückt mit Reflexaluminium, mit Schutzschicht aus SiO₂. Indirekte Abstrahlcharakteristik (84.36) mit bauförmiger, breiter Lichtverteilung, Balдахin in abgestufter Gehäuseform LxBxH 100 x 70 x 32, Gewicht 4,7 kg www.zumtobel.ch/42158524

Leuchterkategorie Pendelleuchte
Lampenart Leuchtdioden
Antriebsnummer 42158524
Einzelnetzes Vorschaltgerät EVS digital Tridonic one4all
Verwendete Messlampe T1649
Anzahl Lampen pro Leuchte 2
Gesamte Leistung 110 W
Gesamtlumenstrom 25° (Lumen) 8600
Standby-Leistung 0,5 W
Integrierte Lichtregelung Dimmung
Leuchtenbetriebswirkungsgrad 89 %
Anteil Direktlicht 37 %
Abstrahlung direkt/indirekt strahlend
Blendklasse UGR im Standardraum <16 (<16 (längs/quadr.)
Max. Leuchtdichte über 60° max. 978 cd/m²
Leuchtdichtebegrenzung (Anforderung) 69 lm/W (65 lm/W)
Original- oder abgeleitete Messung Abgeleitet
Messdatum, Messingenieur 02/07/2010, JB
EULUMDAT-Datei METAS, Bern/Wabern
Messlabor METAS, Bern/Wabern

Abbildung 7.11:
Der Projektwert ist bedeutend besser geworden. Immer noch ungenügend, aber auf gutem Wege.

Grenzwert	25,7 kWh/m ²	
Minergie-Wert	14,0 kWh/m ²	
Projektwert	15,5 kWh/m ²	
	Büro	Kommunikation
Beleuchtungsstärke	460/530 lx	290 lx
Leuchte	2/49 W (106 W)	Erco Parscan 1/35 W (45 W)
Präsenzerfassung	ja	nein
Tageslichtregulierung	ja	nein
Raumreflexionen	dunkel	dunkel
Storensystem	Stoffstoren	-

SIA-380/4-Tool Beleuchtung

Objekt

Projekt: Waha AG
Industriezone 9
8050 Zürich

Projekt-Typ: **Neubau**

Projektstand: **Projekt**

Bauherr: Waha AG

Architekt: Martin Musarmeyer architekten Zürich

Elektroplanung: Amstein + Walther AG
Zürich

Beleuchtungsplanung: Amstein + Walther AG
Zürich

Ersteller Nachweis: Amstein + Walther AG
Zürich

Datum: 09.11.2008

Zusammenfassung

Flächen

	Vorprojekt	Projekt
Nettofläche		255 m ²
Energiebezugsfläche (EBF)		280 m ²
Faktor Nettofläche zu EBF		0,91

Systemanforderungen

Vorprojekt	Projektwert	Grenzwert	MINERGIE	Zielwert
kWh/m ²				
MJ/m ²				
MWh	15,5	25,7	14,0	10,1
kWh/m ²	50,8	84,1	45,8	33,0
MJ/m ²	4,0	6,5	3,6	2,8
MWh				

MINERGIE ECO: Vorprojekt: **grün = erfüllt** Projekt: **rot = nicht erfüllt**

Definition MINERGIE Beleuchtung

Grenzwert ← 3/4 MINERGIE ↑ 1/4 Zielwert

knapp eingehalten werden. Potenzial ist vorhanden, aber wer macht den ersten Schritt? Der Architekt, der das Tageslicht- und Farbkonzept erstellt hat? Der Elektroplaner, der aus Kostengründen weder Bewegungsmelder noch Tagelichtsensor einplant? Der Lichtplaner, der ein einfacheres Konzept mit höherer Effizienz anstreben sollte? Selbstverständlich braucht es vereinte Kräfte und keinen falschen Stolz, um zum Ziel zu gelangen.

Wie weiter?

Es ist ersichtlich, dass der Grenzwert nur knapp eingehalten werden kann, daher sind nun Optimierungsmassnahmen notwendig. Wichtig dabei ist, dass alle offen sind, auch die Bauherrschaft. Nicht alleine der Fachplaner, der den Nachweis führt, ist verantwortlich, sondern alle am Prozess Beteiligten. Aufgrund der Auswertung des Nachweises kann bereits sehr direkt definiert werden, in welche Richtung und mit welchem Potenzial korrigiert werden kann. Bei einem gemeinsam mit dem Elektroplaner geführten Gespräch wird die Bauherrschaft über die Mehrkosten informiert. Aufgrund der Reduktion der Volllaststunden willigt diese ein, Tageslichtsensoren und Präsenzmeldern zu installieren. Weitere Gespräche folgen. Der Architekt ist bereit, die Decke weiss zu streichen, anstelle sie roh zu belassen. Damit steigt die Deckenreflexion von 30 % bis 40 % auf über 80 %. Die eingesetzte Leuchte ist bereits nach Minergie zertifiziert. Was also kann da noch verbessert werden?

Abbildung 7.12: Nun wird die Anforderung erfüllt bzw. sogar übertroffen. Mit einer zusätzlichen Dimmung könnten weitere Einsparungen gemacht werden.

Abbildung 7.13: Das ursprüngliche Konzept.

Abbildung 7.14: Das optimierte Konzept.



Grenzwert	25,7 kWh/m ²	
Minergie-Wert	14,0 kWh/m ²	
Projektwert	9,4 kWh/m ²	
	Büro	Kommunikation
Beleuchtungsstärke	710/620 lx	290 lx
Leuchte	2/35 W (75 W)	Erco Parscan 1/35 W (45 W)
Präsenzerfassung	ja	nein
Tageslichtregulierung	ja	nein
Raumreflexionen	normal	dunkel
Storesystem	Stoffstoren	–

SIA-380/4-Tool Beleuchtung

Objekt		Zusammenfassung																	
Projekt	Waiba AG Industriestrasse 9 8050 Zürich	Flächen																	
Projekt-Typ	Neubau	Nettofläche	Vorprojekt 255 m ² Projekt 255 m ²																
Projektstand	Projekt	Energiebezugsfläche (EBF)	280 m ²																
Bauherr	Waiba AG	Faktor Nettofläche zu EBF	0,91																
Architekt	Martin Mutermeier architekten Zürich	Systemanforderungen																	
Elektroplanung	Amstein + Walther AG Zürich	Vorprojekt	Projektwert																
Beleuchtungsplanung	Amstein + Walther AG Zürich	Grenzwert	MINERGIE Zielwert																
Ersteller Nachweis	Amstein + Walther AG Zürich	<table border="1"> <tr> <th></th> <th>kWh/m²</th> <th>MJ/m²</th> <th>MWh</th> </tr> <tr> <td>Vorprojekt</td> <td>30,6</td> <td>84,1</td> <td>45,5</td> </tr> <tr> <td>Projekt</td> <td>9,4</td> <td>25,7</td> <td>14,0</td> </tr> <tr> <td>Grenzwert</td> <td>25,7</td> <td>70,5</td> <td>37,0</td> </tr> </table>			kWh/m ²	MJ/m ²	MWh	Vorprojekt	30,6	84,1	45,5	Projekt	9,4	25,7	14,0	Grenzwert	25,7	70,5	37,0
	kWh/m ²	MJ/m ²	MWh																
Vorprojekt	30,6	84,1	45,5																
Projekt	9,4	25,7	14,0																
Grenzwert	25,7	70,5	37,0																
Datum	09.11.2008	<table border="1"> <tr> <th></th> <th>MINERGIE</th> </tr> <tr> <td>Vorprojekt</td> <td>60%</td> </tr> <tr> <td>Projekt</td> <td>100%</td> </tr> </table>			MINERGIE	Vorprojekt	60%	Projekt	100%										
	MINERGIE																		
Vorprojekt	60%																		
Projekt	100%																		
		Definition MINERGIE Beleuchtung																	
		<table border="1"> <tr> <td>Grenzwert</td> <td>← 314</td> <td>114 →</td> <td>Zielwert</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">MINERGIE ↑</td> </tr> </table>		Grenzwert	← 314	114 →	Zielwert	MINERGIE ↑											
Grenzwert	← 314	114 →	Zielwert																
MINERGIE ↑																			

Es zeigt sich, dass bei der Raumhöhe durch den zurückgelegten Weg indirekt viel Licht verloren geht. Der Direktanteil der Lichtverteilung könnte verbessert und der Indirektanteil lediglich zur Deckenaufhellung benutzt werden. Diese Strategie funktioniert in vielen Fällen. Das Licht muss zur Sehaufgabe gebracht werden. Gesucht ist eine Leuchte, die für diesen Zweck eine bessere Lichtverteilung ermöglicht.

Statt einem Indirektanteil von 70 % sollte die gesuchte Leuchte den Hauptteil des Lichtstromes nach unten abgeben. Das verkürzt den Lichtweg direkt und je nach dem kann dabei auch die Leistung der Beleuchtung reduziert werden.

Weitere Beispiele

Untersuchungen in Spitälern haben gezeigt, dass die Energie für Beleuchtung hauptsächlich in der Verkehrsfläche gebraucht wird. Das hat damit zu tun, dass meistens Leuchtstofflampen oder Kompaktleuchtstofflampen in Gebrauch sind, die zwar schalt- und dimmbar sind, aber aus Rücksicht auf ihre Lebensdauer nach dem Einschalten mindestens 20 bis 30 Minuten in Betrieb sind. Zudem sind vielfach auch die Präsenzmelder nicht in der Lage, präzise zu detektieren. Bewegungsmelder sind teuer und das führt dazu, dass man so wenige wie möglich einsetzt. Dasselbe Bild zeigt sich auch bei Büro- und Verwaltungsgebäuden.

Untersuchungen haben gezeigt, dass zum Beispiel in Kommunikationszonen (Korridor) gut und gerne 90 % der Energie eingespart werden könnten, wenn die Schaltungen sofort und nicht zeitverzö-

gert (Lebensdaueroptimierung) erfolgen. LED-Leuchtmittel sind beispielsweise dafür geeignet. Die Hürde liegt wohl noch bei den Preisen von Steuerungen und schnellen Sensoren. Eine einfache Lösung besteht darin, dass jede Leuchte so intelligent wäre, selbst zu detektieren, ob sich ein menschliches Wesen in der Nähe befindet oder nicht. Diese Intelligenz könnte so weit gehen, dass sich Leuchten zu Gruppen zusammenschließen, um eine Gruppierung von Leuten zu beleuchten. Sobald sich einzelne Personen oder die Gruppe bewegt, reagieren die Sensoren. Damit würde das Licht dem Menschen folgen und nur da wirksam sein, wo sich jemand aufhält oder bewegt. Zumindest für den Korridorbereich eine wichtige Voraussetzung.

Da jede Nutzung einen anderen Fokus beziehungsweise eine andere Sehaufgabe hat, muss man Fallunterscheidungen vornehmen. Dabei bleiben die Anforderungen an den Raum häufig dieselben, wenn auch unterschiedlich ausformuliert. So ist das Bedürfnis nach Übersicht und nach Klärung der Raumbegrenzungsflächen häufig gegeben.

Das Human-Sensitiv-Lighting-Konzept ist noch visionär, wird aber zunehmend realistischer in der Umsetzung. Im Wesentlichen geht es darum, dass wir heute die richtigen Lichtquellen zur Verfügung haben, dass aber Steuerungselemente noch nicht diesen technischen Stand aufweisen. Vorbehalte gegenüber Vernetzung tun ihr Übriges dazu.



Abbildung 7.15: Konventionell beleuchteter Korridor (oben) und Umsetzung des Human-Sensitiv-Lighting-Konzepts (unten).

7.3 Lichtnorm SN EN 12464-1: 2013

Während die Norm SIA 387/4 die energetischen Anforderungen für Beleuchtungen beschreibt und bewertet, ist die SN EN 12464-1 (Ausgabe 2011) für die lichttechnischen Aspekte relevant. Die SN EN 12464-1 «Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen» bildet die Haupt- und Basisnorm für Lichtanwendungen (SN = Schweizer Norm, EN = Europäische Norm). Die Norm umschreibt im Wesentlichen die Kriterien der Beleuchtungsplanung anhand des Sehkomforts, der Sehleistung und der Sicherheit. Beleuchtungsstärken, Gleichmässigkeiten, Unterscheidung von unmittelbarer Sehaufgabe und Umgebung, Leuchtdichte und Kontrastverhältnisse etc. sind die Themen. Ein zentraler Punkt bildet die Vermeidung von physiologischer und psychologischer Blendung. Bei einer Blickrichtung oberhalb der Horizontalen lässt sich das Söllner-Diagramm nutzen (Abbildung 7.16). Es zeigt die Beurteilung einer Leuchte unabhängig von ihrer Positionierung. In der DIN 5031-1 «Beleuchtung mit künstlichem Licht» werden Grenzkriterien dafür definiert.

In der Normierung hat jedoch das UGR-Verfahren die Methode nach Söllner abgelöst. Für eine präzisere Beurteilung ist es immer noch sinnvoll, sowohl Söllner als auch UGR zu verwenden. Das «Unified Glare Rating (UGR)» ist ein von der Internationalen Beleuchtungskommission CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) entwickelter Index zur weltweit vereinheitlichten Bewertung der Blendung. Bei dieser Methode werden Leuchten und Raum in Kombination beurteilt und festgehalten, ob und wie viel Blendung vorhanden ist und zwar in Abhängigkeit des Standortes des Beobachters. Selbst eine Leuchte, die nach Söllner-Grenzkurvenverfahren blenden würde, kann – richtig im Raum angeordnet – für einen Betrachter blendfrei sein. Das Grenzkurvenverfahren bezieht sich lediglich auf die Leuchte. Das UGR-Verfahren bezieht den gesamten Raum mit ein, unterliegt aber trotzdem gewissen Einschränkungen in seiner Gültigkeit. Die Grenzen des UGR-Verfahrens sind insbesondere zu beachten bei:

- Leuchten mit hohem Indirektanteil (über 65 %)
- Grosse Lichtquellen und leuchtende Decken (Raumwinkel über 0,1 sr; Faustformel: leuchtende Fläche misst mehr als 1 m²). Dabei steht sr für Steradian.

Söllner-Diagramm MODULISA 950

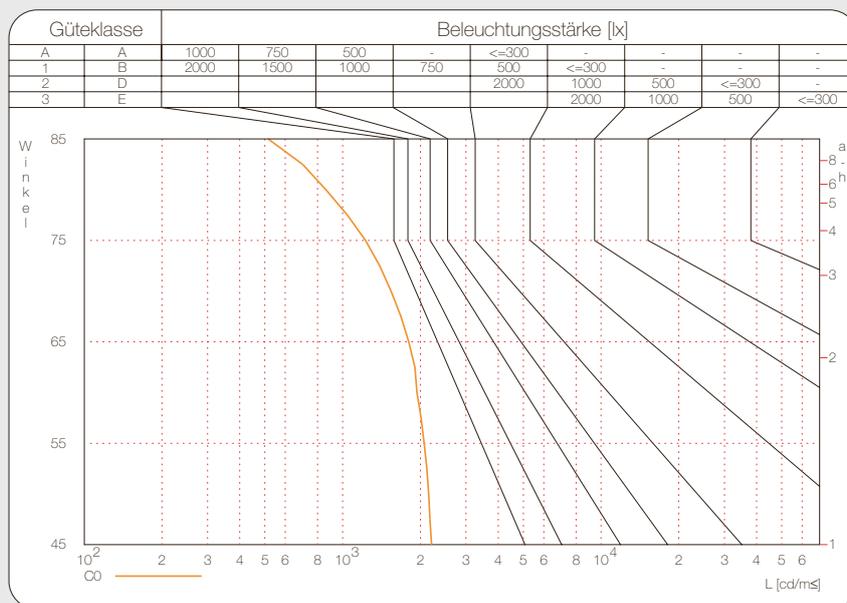


Abbildung 7.16: Grenzkurvenverfahren nach Söllner (Söllner-Diagramm).

Dies ist vor allem dadurch begründet, dass die Leuchtdichte der Blendquelle den Adaptationszustand des Auges umso stärker beeinflusst, je grösser die Abmessungen der Blendquelle sind. Dadurch nimmt der Einfluss der Hintergrundleuchtdichte, die eine wesentliche Grösse in der UGR-Formel darstellt, auf die Blendwirkung ab.

Da mit der Begrenzung für das UGR-Verfahren für grosse Lichtquellen keine Vorstellung einer realen Leuchtengrösse verbunden ist, schlägt das CIE-Komitee 3.01 «Glare from small and large sources» vor, grosse Leuchten durch eine Ausdehnung von über 1,5 m² zu definieren. Alternativ wird als untere Grenze für grosse Lichtquellen eine Belegung der Decke mit Leuchten (Ceiling Coverage «CC») von CC über 0,15 vorgeschlagen. CC entspricht dem Anteil der leuchtenden Leuchtenfläche an der gesamten Deckenfläche. Da somit die Blendwirkung grosser Lichtquellen nur noch in geringem Masse von ihrem Positionsindex, vom Raumwinkel oder von ihrer Hintergrundleuchtdichte abhängen, ist es gerechtfertigt, die Blendung für grosse Lichtquellen in erster Näherung durch ihre Leuchtdichte zu beschreiben und durch die Festlegung eines maximal zulässigen Wertes zu begrenzen. In DIN 5035 wurde ein Grenzwert von 500 cd/m² empfohlen. Für Bildschirmarbeitsplätze mit den entsprechenden Bildschirmen geht die neue SN EN 12464-1 bis auf eine Leuchtdichte von 3000 cd/m² für Leuchten im Raum.

Sehr kleine Lichtquellen (Raumwinkel unter 0,0003 sr)

Gemäss Riccoschem Gesetz wird bei kleinen Lichtquellen die Hellempfindung nicht mehr durch die Leuchtdichte, sondern direkt durch die auf der Pupillenebene erzeugte Beleuchtungsstärke bestimmt.

Diese Blendwirkung kann sich sowohl in niedrigen wie auch in hohen Räumen ergeben. In niedrigen Räumen können die flachen Beobachtungswinkel dazu führen, in hohen Räumen die direkte Einsicht in Leuchtmittel mit hohen Lichtströmen.

Blendung und damit Störungen im Sehprozess können als psychologische Blendung wie auch als physiologische Blendung

in Form von Schleierreflexion oder Reflexblendung vorkommen. Die psychologische Blendung ist dabei eine subjektiv empfundene Beeinträchtigung, ohne dass sich messbare Kontraststörungen zeigen müssen. Generell muss dem Kapitel Blendung und Blendbegrenzung höchste Achtsamkeit geschenkt werden. Vielfach wird diesbezüglich aus Unwissenheit und mit Fokus auf die Kosten eine hohe Lichtqualität verunmöglicht.

Neueste Entwicklungen zeigen aber auch, dass extrem gut entblendete Lichtquellen trotz minimiertem Lichtaustritt keine Blendung verursachen.

Insbesondere sei damit auch erwähnt, dass ein System jeweils auf Regelverstösse oder Auffälligkeiten hin geprüft werden muss.

Beleuchtung im Innenraum; die wesentlichen Änderungen zur Ausgabe 2002

- Die Bedeutung des Tageslichts wurde so berücksichtigt, dass die Beleuchtungsanforderungen unabhängig von der Tageszeit, also bei künstlichem Licht, Tageslicht oder auch in Kombination anwendbar sind.

- Anforderungen an minimale Beleuchtungsstärken für Wände und Decken

- Anforderungen an zylindrische Beleuchtungsstärken und ausführliche Angaben bezüglich Modellierung

- Die Gleichmässigkeit der Beleuchtungsstärke wird den Sehaufgaben und Tätigkeiten einzeln zugewiesen.

- Definition eines «Hintergrundbereiches» mit entsprechenden Beleuchtungsanforderungen

- Definition eines Beleuchtungsstärkerasters in Übereinstimmung mit EN 12464-2

- Neue Leuchtdichtegrenzwerte für Leuchten, die sich in Flachbildschirmen spiegeln können.

Nutzungen	Beleuchtungsstärke (Lux)
Operationssaal	1000
Büro, Sitzungszimmer, Schulzimmer, Hörsaal, Turnhalle (Wettkampf), Küche, Behandlungszimmer, Werkstatt (feine Arbeit)	500
Lehrerzimmer, Verkauf (ohne Akzentbeleuchtung), Mehrzweckhalle, Stationszimmer, Werkstatt (grobe Arbeit), Turnhalle (Schulbetrieb)	300
Schalterhalle, Bibliothek, Restaurant, Kantine, Treppenhäuser, Korridore (Spital), WC, Garderoben	200
Bettzimmer (ohne Untersuchung), Korridore, Nebenräume	100
Parkhaus	75
Wohnen, Hotelzimmer	50

Nutzungen	UGR
Sehr feine Arbeiten	unter 16
Büro, Schulzimmer, Bettzimmer	unter 19
Verkauf, Restaurant, Turnhalle	unter 22
Verkehrsfläche, WC, Parkhaus, Nebenräume	unter 25
Aussenbereich	über 25

UGR-Grenzwert	Güteklasse LiTG/CIE DIN 5035-1	Urteil	Zugehörige Art der Arbeit
16	A/A	Blendung zwischen nicht vorhanden und merkbar	Sehr anspruchsvolle Sehaufgabe
19	1/B		Aufgabe mit hohem visuellem Anspruch
22	2/C	Blendung merkbar	Aufgabe mit mittlerem visuellem Anspruch
25	3/D		Aufgabe mit niedrigem visuellem Anspruch
28	–/E	Blendung zwischen merkbar und störend	Nicht ständig besetzte Arbeitsplätze für Aufgaben mit niedrigem visuellem Anspruch

Weiterhin gelten:

■ **Zylindrische Beleuchtungsstärke:** Vertikale Beleuchtungsstärke als Grundlage für visuelle Kommunikation und Erkennbarkeit

■ **Modelling:** Faktor für Ausgewogenheit zwischen diffusem und gerichtetem Licht

■ **Lichtfarbe:** Ist normalerweise abhängig von Stimmung und Kultur, kann sich aber auch zeitlich ändern und für bestimmte Aufgaben wichtig sein. Ihre Wahrnehmung ist subjektiv. Ein interessanter Aspekt ist die Steuerung und damit verbunden die Tiefenschärfe des Auges, die im Blaubeereich über 5300 K besser funktioniert als im warmweissen Bereich unter 3300 K. Letztlich kann die Lichtfarbe auch auf Objekte abgestimmt werden, um zum Beispiel einer Holzoberfläche den typischen Holzcharakter abzugewinnen.

■ **Farbwiedergabe:** Für die Zuordnung von Materialien, zur Wahrnehmung von Hautpigmenten oder auch zur qualitativen Beurteilung von Produkten kann die Farbwiedergabe wesentlich sein. Ebenso beeinflusst sie die Sehleistung und die Empfindung. Deshalb soll Licht vollwertig sein, möglichst das gesamte Spektrum abbilden und nicht nur einzelne ausgewählte Farben gut wiedergeben.

■ **Flimmern und stroboskopische Effekte** sind heute aufgrund der eingesetzten Vorschaltgeräte weitgehend eliminiert. Im industriellen Umfeld von Materialkontrollen und Qualitätsbeurteilungen sind die Frequenzen jedoch präzise abzuklären, da sie gerade im hochfrequenten Bereich auch Gefahrenquellen bilden. Im Tunnel sind die kritischen Flimmerfrequenzen als Flicker bekannt. Sie sind durch Gruppenbildung bei den Leuchten und durch Schutzmassnahmen bei den Galerien in der Wirkung zu mindern. Die kritischen Frequenzen liegen zwischen 4 Hz und 15 Hz.

■ **Wartungsfaktor:** Der frühere Planungsfaktor wurde durch Neudefinition in der Beleuchtungsnorm durch den Wartungsfaktor abgelöst. Er ist weit umfassender, da verschiedene Parameter wie Lampenlichtstromwartungsfaktor, Lampenlebensdauerfaktor sowie Leuchten- und Raumboflächenwartungsfaktor zusammen einen Wartungsfaktor definieren. Damit ist

Tabelle 7.1: Beleuchtungsstärken nach Norm SN EN 12464.

Tabelle 7.2: Empfohlene Blendziffern nach Norm SN EN 12464 (UGR-Werte).

Tabelle 7.3: Die Festlegung der visuellen Blendbegrenzung basiert auf statistischer 2/3-Mehrheit von zufriedenen Probanden. LiTG = Lichttechnische Gesellschaft CIE = Commission Internationale de L'éclairage DIN = Deutsches Institut für Normung

auch die Philosophie, dass Licht nicht mehr nur das Resultat einer Lampe ist, sondern vielmehr ein gesamtes System beschreibt, das räumlich über die Oberflächen und die eingesetzten Leuchten eine Wirkung erzielt, präziser definiert. Der Wartungsfaktor von 0,8 kann bei Minergie-Anforderungen eingesetzt werden, wenn davon ausgegangen werden kann, dass diese Räume mindestens jährlich gereinigt werden.

■ **Der Planer** hat demzufolge den Wartungsfaktor und entsprechende Annahmen anzugeben, die Beleuchtungseinrichtung entsprechend der Sehaufgabe festzulegen und einen nachvollziehbaren umfassenden Wartungsplan zu erstellen.

■ **Energieeffizienzanforderungen:** Aufgrund der energiepolitischen Diskussion um die Zukunft der Energieversorgung sind Effizienzanforderungen und die Nutzung erneuerbarer Energien hochaktuell. Die europäische Norm SN EN 15193 zur energetischen Bewertung von Beleuchtungen in Gebäuden ist zwar sehr umfassend und lässt auch verschiedene Berechnungsverfahren zu (einfache Berechnungsmethode, aufwendige Berechnungsmethode und Messung), aber da Vergleiche nicht üblich sind (Benchmarking), ist die Akzeptanz bislang in der Schweiz eher gering. Dazu kommt, dass die Minergie-Anforderung nach SIA 380/4 validiert ist und sich vergleichen lässt.

Überarbeitung der Norm EN 12464-1

Die europäische Norm EN 12464-1 bestimmt seit November 2002 die Anforderungen an die Beleuchtung von Arbeitsplätzen. 2011 wurde eine überarbeitete Norm herausgegeben, die Unzulänglichkeiten und Falschinterpretationen aufweist. Zudem verbreiteten sich LED immer stärker. Diese Norm ist immer noch gültig und wird derzeit überarbeitet. Bis 2020 sollte sie in Kraft treten.

Was wird neu?

■ Die Lampe wird durch die Lichtquelle ersetzt. Dabei ist die LED seit der Jahrtausendwende im Lichtbereich im Vormarsch und hat sich durch ihre Möglichkeiten der Energieoptimierung, der spektralen Vertei-

lung und weiteren positiven Eigenschaften deutlich Marktanteile gewonnen.

■ Vorgaben für die nicht visuelle Wirkung des Lichts sowie Raumhelligkeiten werden eingefügt. Die Veränderbarkeit des Lichts sowie der Einfluss des Tageslichts werden dabei hervorgehoben. Neue Wege zum Beleuchtungsentwurf sollen damit ange-regt werden.

■ Der Wartungswert der Beleuchtungsstärke wird dahingehend präzisiert, dass er nicht mehr als Zielwert der Planung funktioniert, sondern vielmehr als kritischer unterer Wert erkannt wird. Damit ist einerseits der Weg offen, die Normwerte kritisch zu hinterfragen, aber natürlich auch, um höhere Werte zu ermöglichen, z. B. für kritische Sehaufgaben oder um kostenintensive Fehler zu vermeiden.

■ Aufgrund der LED-Vielfalt wird der Abschirmwinkel mit zusätzlichen Parametern definiert, um die maximalen Leuchtdichten sowie den direkten Einblick auf das Leuchtmittel zu präzisieren.

■ Das UGR-Verfahren an sich birgt viele missverständliche Interpretationsmöglichkeiten. Teils aus Unkenntnis oder aus Desinteresse wird es nicht oder fehlerhaft angewendet. Hier soll Abhilfe geschaffen werden, indem nicht mehr die Formel direkt angewendet, sondern mittels Tabellen gearbeitet wird. Zudem wird der Verweis auf Blendung durch Tageslicht gemacht.

■ Der neue Abschnitt Design Considerations liefert eine Vorgehensweise, wie die Beleuchtung des Bereichs, der Sehaufgabe und des Raums, aber auch wie der Betrieb der Beleuchtung erfolgen soll.

■ Die Tabellen in Abschnitt 5 finden seit jeher am meisten Beachtung. Das, weil sie einfach und nachvollziehbar sind, aber auch, weil sie sich direkt anwenden lassen. Dort sollen nun auch alle Informationen zu finden sein, die bei der Planung einer Beleuchtungsanlage zu beachten sind.

7.4 Neue Tageslichtnorm EN 17037

Tageslicht in Gebäuden erhält mit der EN 17037 eine adäquate und aktualisierte Norm, welche die alte DIN 5034 aus dem Jahre 1935 ablöst. 85 Jahre sind vergangen, bis dem Tageslicht ein höherer Stellenwert zukommt. Das hat einerseits damit zu tun, dass sich das Wissen um Tageslicht nicht ändert und technischen Fortschritt nicht mitmachen muss. Trotzdem hat sich natürlich der Umgang mit Tageslicht auch aufgrund technischer Fortschritte stark verbessert und sich wegen der Energieoptimierung eine wichtige Position gesichert. Bis zu 90 % unserer Zeit verbringen wir heutzutage in geschlossenen Räumen und über 80 % unserer Sinneseindrücke erleben wir durch unsere Augen. Die Bedeutung des Lichts auf Gesundheit, Fitness, Konzentrationsfähigkeit und Komfort wurden zu lange unterschätzt und aufgrund von Energieanforderungen missachtet. In der europäischen Norm EN 17037 «Daylight of Buildings», die in der Schweiz als SN EN 17037 «Tageslicht in Gebäuden» übernommen wird, gibt es europaweit anwendbare Empfehlungen für die Tageslichtversorgung und die Tageslichtqualität.

Nicht alle Inhalte der SLG-Richtlinie «Innenraumbeleuchtung mit Tageslicht», der Schweizer Norm SIA 387/4 wie auch der Deutschen Norm DIN 5034 «Tageslicht in Innenräumen» werden durch die SN EN 17037 abgedeckt. Sie ist auf alle Räume anwendbar, die für längere Zeiträume und regelmässig genutzt werden. Die Norm gibt Empfehlungen in jeweils drei Stufen für folgende vier Kriterien (Abbildung 7.17):

- Tageslichtverfügbarkeit
- Sichtverbindung nach Aussen (Aussicht)
- Blendungsbewertung
- Mindestbesonnung (Sonnenlicht-Exposition)

Die Empfehlungsniveaus lassen sich für die Planung und Berechnung, aber auch für die Überprüfung der Tageslichtbedingungen anwenden. Da es derzeit keine

Zuordnung der jeweiligen Raumnutzungen zu den Empfehlungsniveaus gibt, ist es möglich, durch die am Bau Beteiligten objektbezogene Anforderungen für die Tageslichtnutzung zu vereinbaren.

1. Tageslichtverfügbarkeit

Seit langem wird der Einfluss von Tageslicht auf den Gebäudeenergiebedarf unter dem Begriff der relativen Nutzbelichtung – «Tageslichtautonomie» – bewertet. Die SN EN 17037 bezieht unter dem Begriff «Tageslichtzufuhr» auch die Verfügbarkeit von Tageslicht über die Zeit in die Bewertung ein. Ein Raum gilt nach SN EN 17037 als ausreichend mit Tageslicht versorgt, wenn eine Zielbeleuchtungsstärke über einen definierten Teil einer Bezugsebene für mindestens die Hälfte der Tageslichtstunden erreicht wird. Das entspricht einer relativen Nutzbelichtung («Tageslichtautonomie») von 50 %. Dies lässt sich entweder durch eine detaillierte Simulation mittels validierter Software, auf der auch die Ansätze in energetischen Normungen (SIA 387/4) basieren, oder durch ein in der SN EN 17037 vorgegebenes vereinfachtes Verfahren auf Basis des Tageslichtquotienten nachweisen.

Beim vereinfachten Nachweisverfahren sind, abhängig von der geografischen Lage und vom Klima, Mindesttageslichtquotienten vorgegeben, wobei von ausschliesslich diffuser Himmelsbeleuchtung und ausschliesslich verglasten Fassaden-

*Abbildung 7.17:
Die vier Beurteilungskriterien der Tageslichtnorm SN EN 17037.
(Quelle: Minergie)*



öffnungen ausgegangen wird. Dies soll sicherstellen, dass gewünschte Beleuchtungsstärkewerte, z. B. 300 lx, alleine durch Tageslicht über eine Mindestzeit von 50 % der Tageslichtstunden und über einen Mindestanteil von 50 % der Nutzfläche erreicht werden (Abbildung 7.18). Für die Schweiz gelten für vertikale Fassaden Zieltageslichtquotienten DT («Target Daylight Factor») von 1,9 % für eine gewünschte Beleuchtungsstärke von 300 lx (D300), 3,1 % für 500 lx (D500) und 4,7 % für 750 lx (D750). Für Dachoberlichter gelten 1,4 % (D300), 2,3 % (D500) und 3,5 % (D750). Der bisherige Mindestwert von 0,9 % für Räume mit vertikalen Fassaden nach DIN 5034 findet in der neuen Norm keine Berücksichtigung mehr. In dem vereinfachten Modell nach SN EN 17037 hängt die «Tageslichtzufuhr» hinsichtlich der Fassadenparameter ausschliesslich vom Transmissionsgrad der eingesetzten Verglasung ab. Form und Wirkung des Sonnen- und Blendschutzes wird nicht beachtet.

Probleme: Gerichtetes Sonnenlicht fehlt. Sonnen- und Blendschutz wird nicht beachtet.

Wichtige Punkte

- Auf geografische Unterschiede eingehen (gleiche Innenraumbeluchtungsstärken vorgeben).

- Drei Tageslicht-Niveaus vorgeben: mindestens; mittel; hoch (für alle Kriterien).
- Zeitgemässe Berechnungsmethoden verwenden (anstelle von Grafiken und Formeln), z. B. Ganzjahres-Simulationen (stündlich).
- Tageslichtquotient ist nicht mehr zeitgemäss.

Quotient und Autonomie

Der Tageslichtquotient D (häufig auch TQ) ist das Verhältnis der Horizontal-Beleuchtungsstärke an einem bestimmten Punkt im Raum zur Horizontal-Beleuchtungsstärke im Aussenraum. Typische Werte des Tageslichtquotienten liegen zwischen 2 % und 12 %.

Die Tageslichtautonomie gibt den Anteil der Nutzungsstunden an, während denen ein Arbeitsplatz ausreichend mit Tageslicht versorgt ist. Wie der Tageslichtquotient ist die Tageslichtautonomie durch den Standort des Arbeitsplatzes innerhalb eines Raumes bestimmt, vor allem von der Raumtiefe. Die Tageslichtautonomie in einem Raum beträgt typischerweise zwischen 10 % und 90 %.

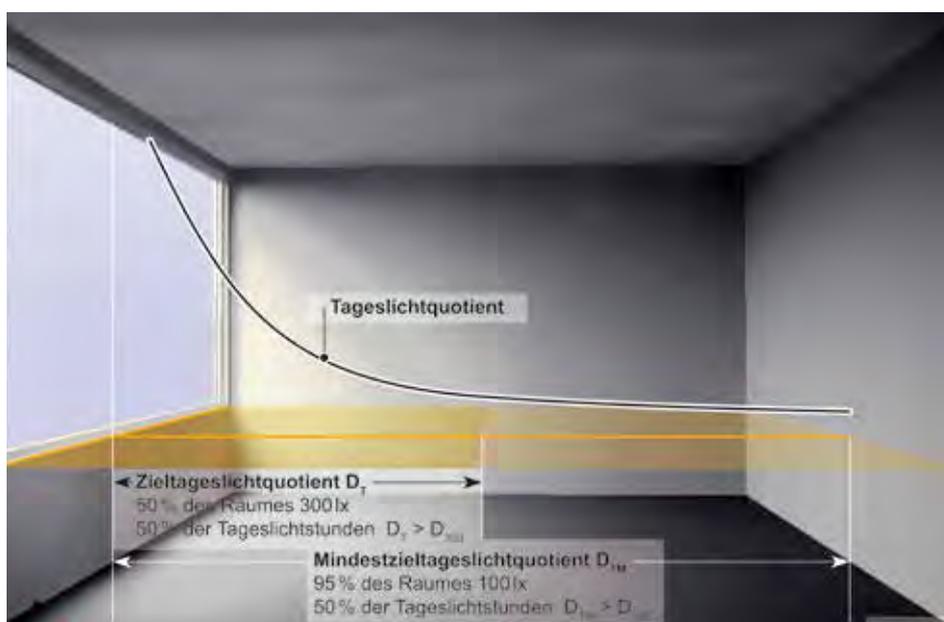


Abbildung 7.18: Konzept der Tageslichtverfügbarkeit («Tageslichtzufuhr») nach EN 17037. (Grafik: Fraunhofer IBP)

2. Ausblick

Für bestimmte Beobachterpositionen im Gebäude kann der Ausblick zukünftig als Funktion eines horizontalen Sichtwinkels, einer Aussensichtweite und der Art der sichtbaren Umgebung («No-Skyline, No-Ground-Line-Konzept») mit den Empfehlungsstufen «minimum, mittel, hoch» klassiert werden (Abbildung 7.19).

Hierbei sind der horizontale Sichtwinkel und die Aussensichtweite Bewertungskriterien, die von der Grösse und der Positionierung der Fassadenöffnung abhängen. Ein grosser Fensterflächenanteil wirkt sich in der Bewertung generell positiv aus.

Wichtige Punkte

- Tageslichtverfügbarkeit → Tageslichtautonomie
- Beleuchtungsstärke (lx) mindest → mittel → hoch (300 Lux – 500 Lux – 750 Lux)
- Sichtverbindung nach geometrischen Winkelvorgaben (für Himmel, Boden, Verbauung)
 - 14°, Boden
 - 28°, Boden und Himmel oder Verbauung
 - 54°, Boden und Himmel und Verbauung

3. Sonnenlichtexposition

Für Räume gibt die Norm Mindestempfehlungen für die Sonnenlichtexpositionen. Die Bezugspunkte liegen in der

Fensterebene (Abbildung 7.20). Die Bewertung erfolgt unabhängig von der eigentlichen Fenstergrösse.

Die Mindestbesonnung bei klarem Tag zwischen dem 1. Februar und dem 21. März auf der Position der Innenseite des Fensters gemäss Abbildung 7.20 muss bei geringer Besonnung durchschnittlich 1,5 Stunden, bei normaler Besonnung 3 Stunden und bei guter Besonnung 4 Stunden betragen.

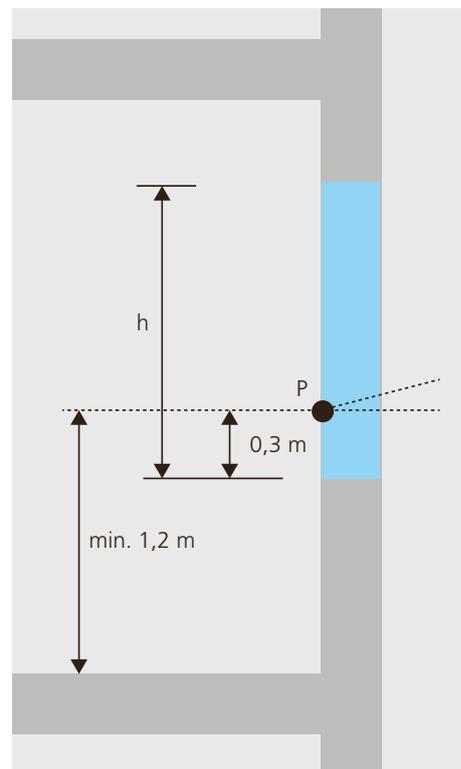
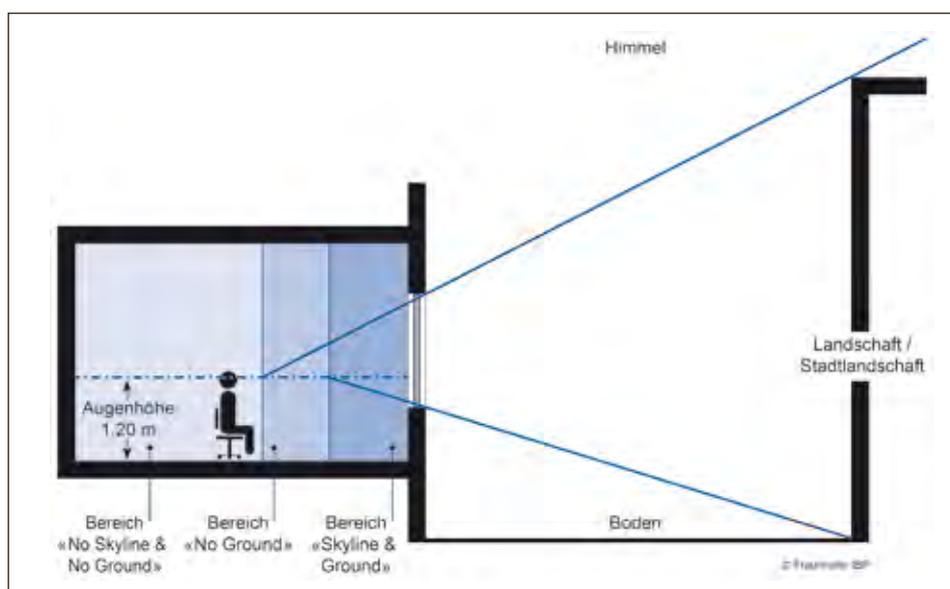


Abbildung 7.20: Schnitt, um die Bezugspunkte für die Bewertung der Sonnenlichtexposition bzw. deren Höhe auf der Scheibennenseite festzulegen.

Abbildung 7.19: Darstellung des «No-Skyline, No-Ground-Line-Konzepts» zur vereinfachten Einstufung eines Ausblicks nach EN 17037. (Grafik: Fraunhofer IBP)



4. Schutz vor Blendung durch Tageslicht

Für Räume, in denen gelesen, geschrieben oder Anzeigergeräte genutzt werden, wird empfohlen, Abschattungsvorrichtungen zu verwenden. Zur Beurteilung der Blendenschutzwirkung wird die sogenannte Daylight Glare Probability (DGP) verwendet. Das Verfahren betrifft damit vornehmlich den Sonnen- und den Blendschutz. Bei Gläsern können lediglich «Verglasungen mit geringer Transmission» oder «elektrochrome Verglasungen», die im geschalteten Zustand nur noch sehr geringe Lichttransmissionswerte aufweisen, bewertet werden. Für Gläser mit höherer Lichttransmission wird davon ausgegangen, dass sie keinen ausreichenden Blendschutz sicherstellen können.

Blendungsbewertung: Daylight Glare Probability (DGP) in 95 % der Nutzungszeit DGP kleiner als 0,45 – 0,40 – 0,35.

Trends – Produkte

■ **Okasolar Sonnenschutz:** Okasolar 3D ist ein Isolierglas mit einem dreidimensional geformten hochreflektierenden Sonnenschutzraster im Scheibenzwischenraum. Die Geometrie des Sonnenschutzrasters ist für den Einsatz im Dach optimiert. Direkte solare Einstrahlung wird zu jedem Zeitpunkt, unabhängig vom Sonnenstand, verhindert. Dadurch wird der Wärmeein-

trag in das Gebäudeinnere wirkungsvoll reduziert. Gleichzeitig gelangt ein Großteil an diffusem Tageslicht von der nördlichen Hemisphäre in den Innenraum. Hierdurch ergeben sich eine gleichmäßige Lichtverteilung im Innenraum sowie ein deutlich geringerer Helligkeitswechsel als bei direkter Sonneneinstrahlung. Durch sein dreidimensional geformtes hochreflektierendes Sonnenschutzraster bietet Okasolar 3D:

- Leistungsfähiger Sonnenschutz
- Reduzierung des Wärmeeintrags
- Niedriger g-Wert
- Hohe Lichttransmission
- Partielle Durchsicht nach Norden
- Homogenes Erscheinungsbild ohne Fugen und Stöße
- Ausreichend Tageslicht und Reduzierung von Kunstlicht
- Wartungs- und Störungsfreiheit
- Gute Recyclebarkeit

■ **Das BASF-System «Skynative 0X»** zur Tageslichtführung wurde mit Unterstützung von Bartenbach und spek Design erarbeitet. Das Projekt hatte zum Ziel, Tageslicht mit möglichst geringen Verlusten tief ins Gebäudeinnere zu bringen. Im Unterschied zu herkömmlichen Tageslichtsystemen, die vorwiegend mit Umlenklamellen oder Ähnlichem arbeiten, setzt sich Skynative aus drei aufeinander abgestimmten Komponenten zusammen: Eine spezielle, in die Fassade integrierte Folie mit Mikrostrukturen führt das Sonnenlicht in

Abbildung 7.23: Tageslicht verbessert die Leistung und fördert das Wohlbefinden. Dieser Lösungsansatz stellt Tageslicht für alle Arten von Gebäuden und Teilen zur Verfügung, in denen es früher dunkel war, auch in Untergeschossen. (Quelle: BASF/spek Design)

Abbildung 7.21:
Okasolar 3D – Iso-
lierglas mit drei-
dimensionalem
Sonnenschutzraster.
(Quelle: Okalux
GmbH)



Abbildung 7.22:
Lamellenheliostat.
(Quelle:
Bartenbach)

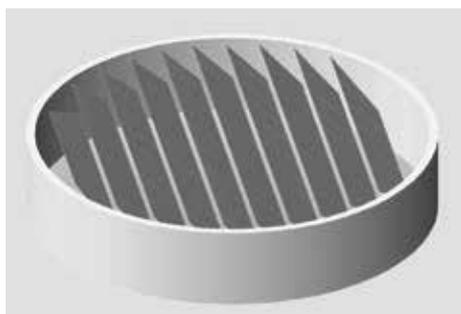




Abbildung 7.24:
Tageslichtsystem
«Skynative OX».
(Quelle: BASF)



Abbildung 7.25:
Prototyp «Skynative
OX» bei Bartenbach.
Aussenansicht und
Bild im Innenraum.
(Quelle: BASF;
Bartenbach)



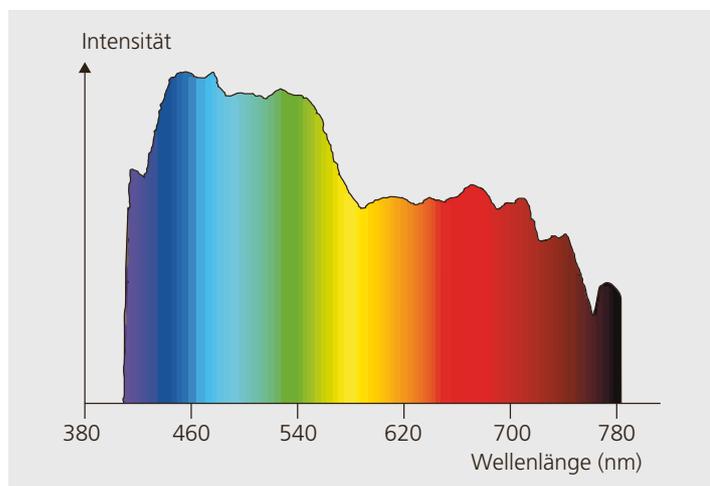
Abbildung 7.26:
Prototyp «Skynative
OX», Bilder im In-
nenraum. (Quelle:
BASF; Bartenbach)



Abbildung 7.27:
Auch bei diffuser
Tageslichtstimmung
ermöglicht der Pro-
totyp «Skynative
OX» eine tolle Ta-
geslichtnutzung
(siehe Bild rechts).
(Quelle: BASF;
Bartenbach)

einen hochreflektierenden Lichtschacht. Dieser lenkt das Licht möglichst verlustfrei über spezielle Leuchten in die Räume. Die Leuchten sind zusätzlich mit LED-Lampen ausgestattet, die Licht bereitstellen, wenn kein oder zu wenig Tageslicht verfügbar ist. Das System wurde an einem Gebäude ohne Tageslichtöffnungen oder Sichtverbindungen nach aussen getestet. Dank einem 12 m langen Tageslichttunnel wirkt das Gebäudeinnere lebhaft und erreicht zum Messzeitpunkt eine Beleuchtungsstärke von über 500 Lux (Abbildung 7.25). In einem Raum wurde zusätzlich ein künstliches Fenster in Form eines Bildschir-

Abbildung 7.28: Das Spektrum des eingekoppelten und in den Raum transportierten Tageslichts weist praktisch ohne Abstriche einen reinen spektralen Verlauf auf. (Quelle: BASF; Bartenbach)



mes, der per Videokamera die Aussenwelt aufnimmt, eingebaut. Diese visuelle Kopplung zur realen Aussenwelt wird vor allem im asiatischen Raum bevorzugt (Abbildung 7.26, rechtes Bild).

Bürobauten, Spitäler oder auch im Einfamilienhaus am Hang – dem System sind praktisch keine Grenzen gesetzt, um in tiefe Räume vorzustossen. Die Räume leben das Aussenklima mit und transportieren das sich ändernde Tageslichtspektrum ins Gebäudeinnere. Hugo Kükelhaus, der sich bereits in den 1950er-Jahren über die biologisch-dynamische Wirkung von Tageslicht Gedanken machte, hätte seine wahre Freude daran.

Die Fassadenebene bleibt dabei unverseht und die lichtführenden Kanäle können sowohl in Neubauten wie auch bei Erneuerungen angewendet werden. Wichtig ist, dass Skynative frühzeitig eingeplant wird, am besten schon bei der Entwurfsplanung. Erstaunlicherweise funktioniert das System nicht nur bei Sonnenschein. Auch an trüben Tagen im Januar konnten erstaunliche Resultate erzeugt werden (Abbildung 7.26). Im Gegensatz zu fast allen Kunstlichtquellen verhält sich die Tageslichttube im Spektralverhalten besonders gut (Abbildung 7.28 und Abbildung 7.29).

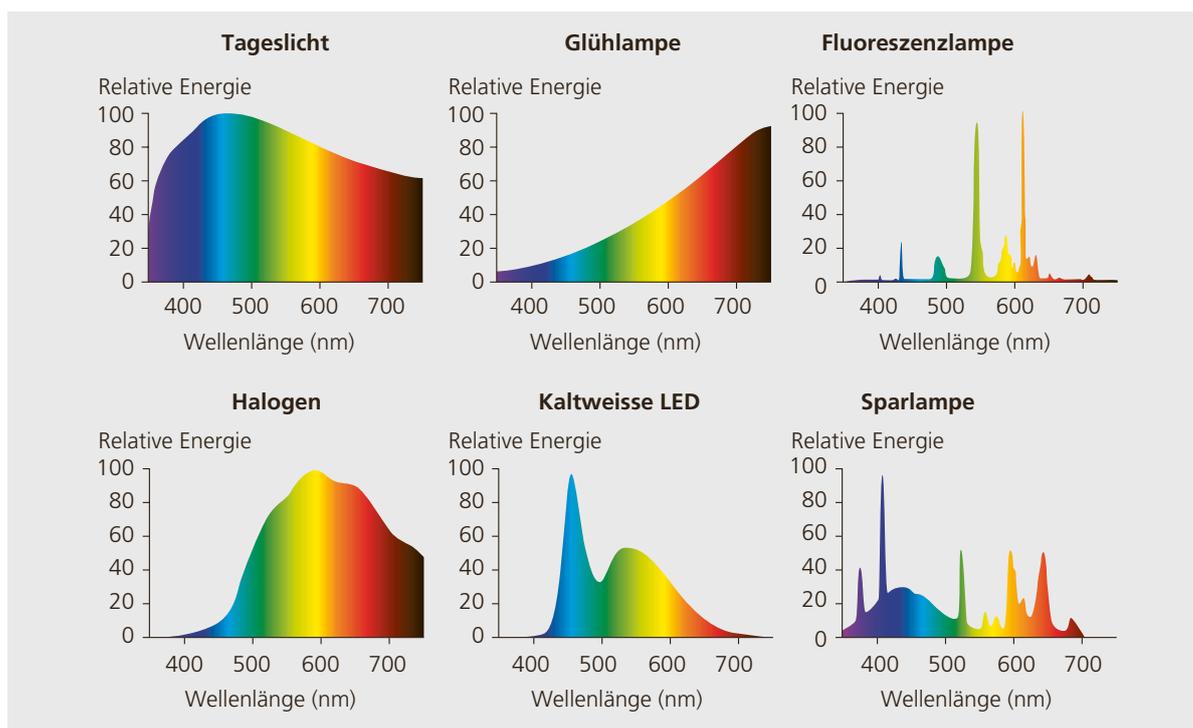


Abbildung 7.29: Sämtliche Kunstlichtquellen weisen Lücken und damit Nachteile gegenüber dem Tageslichtspektrum auf.

7.5 Betriebsoptimierung in bestehenden Bauten

Für die Erneuerung einer bestehenden Beleuchtung sind vier Varianten möglich:

1. Ersatz von Leuchtmitteln
2. Leuchtenersatz
3. Lichtregelung installieren oder bestehende Lichtregelungen optimieren
4. Planung einer Minergie-Beleuchtung

Die Investitionskosten der Massnahmen sind sehr unterschiedlich. Oft ist nicht die günstigste Variante die wirtschaftlichste.

Beispiel einer Detail-Analyse: In einem Schulzimmer kann der Strombedarf durch folgende Massnahmen auf das Niveau des SIA-Zielwertes gesenkt werden:

■ Ineffiziente Leuchten durch effiziente mit einer niedrigeren Lampenleistung und höheren Lichtausbeute ersetzen (Massnahme Nr. 8 in Tabelle 7.5).

■ Die manuellen Schaltungen durch Präsenzmelder, kombiniert mit Tageslichtsensoren, ersetzen (Massnahme Nr. 17).

■ Als Sonnenschutz aussenliegende, verstellbare und helle Lamellen installieren (Massnahme Nr. 22).

Gesamtplanung nach Minergie: Bei einer Gesamtsanierung kann meist durch ein neues Beleuchtungskonzept die effizienteste Lichtlösung gefunden werden, insbesondere in Räumen, in denen für Leuchten eine neue Positionierung möglich ist.

Ersatz von Leuchtmitteln (Retrofit)

Massnahmen 1 bis 6 in Tabelle 7.5. Eine ineffiziente Lampe (Leuchtmittel) wird 1 zu 1 durch eine effiziente mit gleichem Sockel ersetzt. Bei Lampen mit Sockeltypen gemäss Abbildung 7.30 und Abbildung 7.31 ist diese Massnahme möglich.

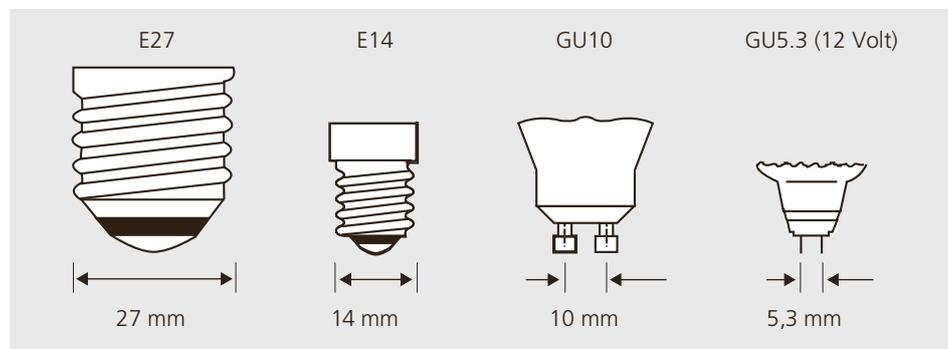


Abbildung 7.30:
Sockeltypen von
Retrofitlampen.

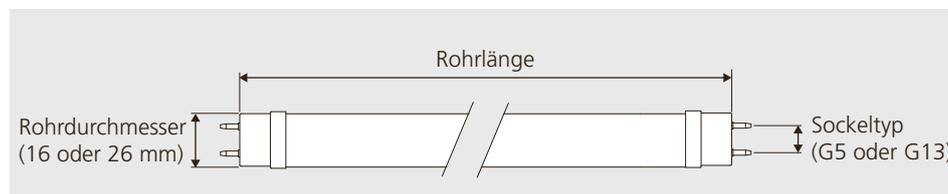


Abbildung 7.31:
Verschiedene
Sockel, Längen und
Durchmesser bei
LED-Ersatzröhren.

Rohrdurchmesser (Bezeichnung)	Sockel	Betriebsgerät	Rohrlänge (mm)
26 mm (T8)	G13	EVG oder KVG	1500
			1200
			600
16 mm (T5)	G5	EVG	1449
			1149
			549

Tabelle 7.4: Ersatz
von Leuchtstoff-
röhren durch LED-
Tubes.

Hinweise

- Für dimmbare Glüh- und Halogenlampen gibt es spezielle Ersatz-LED-Lampen.
- Dimmbare LED-Lampen sind erhältlich; die Mindestleistung des eingesetzten Dimmers ist zu beachten. Es gibt spezielle Dimmer für niederwattige LED-Lampen.
- Unbedingt die Abmessungen beachten: Einige LED-Lampen sind grösser als die zu ersetzenden Glüh- oder Halogenlampen.
- Bei LED-Tubes ist zu beachten, dass es verschiedene Typen für Leuchten mit konventionellen (KVG) bzw. elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) gibt.

Leuchtensersatz

Massnahmen 8 bis 12 in Tabelle 7.5. Wenn die Leuchtmittel wegen ungeeigneten Sockeln oder Betriebsgeräten nicht ersetzt werden können, kommt der Ersatz von Leuchten in Frage; oft kann die neue Leuchte am selben Ort platziert werden, sodass ein grösserer Installationsaufwand entfällt.

■ Rein indirekt strahlende Leuchten sind meist sehr ineffizient, weil das Licht über eine mehr oder weniger helle Decke und grössere Distanz reflektiert wird. Eine optimale Beleuchtung ist in den meisten Fällen direkt strahlend, mit einem Indirektanteil zur Raumaufhellung.

■ Überdimensionierte Beleuchtungen sind keine Seltenheit. Weil das menschliche Auge so konstituiert ist, dass es ein riesiges Helligkeitsspektrum (Sonnentag: 100 000 Lux, Mondnacht: 0,2 Lux) verarbeiten kann, auf kleine Helligkeitsunterschiede aber relativ unempfindlich reagiert

(600 Lux sind für einen Menschen objektiv nicht von 500 Lux zu unterscheiden), sollten Beleuchtungsanlagen nicht überdimensioniert werden. Denn 600 Lux statt 500 Lux bedeuten 20 % mehr Energieverbrauch, ohne dass das in der Regel wahrnehmbar ist.

Lichtregelungen installieren oder optimieren

Massnahmen 13 bis 22 in Tabelle 7.5. Lichtregelungen können unter optimalen Bedingungen sehr hohe Einsparungen bringen. In vielen Fällen sind die Rahmenbedingungen aber nicht optimal: zu wenig nutzbares Tageslicht, falsche Platzierung von Sensoren, keine Einregulierung von Sensoren und schliesslich ein hoher Eigenverbrauch der Regelung.

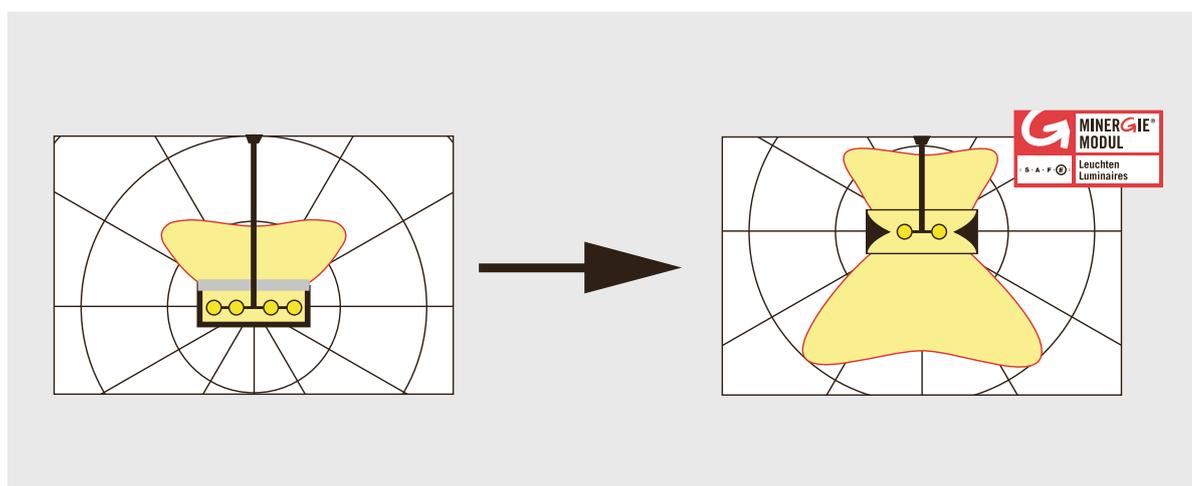


Abbildung 7.32: Nicht ideale und optimale Lichtverteilung.

Nr.	Massnahmen	Nutzen
1	Klassische Glüh- und Halogenleuchtampen durch LED-Lampen ersetzen. Leistungen von 100 Watt, 75 Watt, 60 Watt, 40 Watt oder 25 Watt werden durch LED-Lampen mit ca. 10 % der Glühlampenleistung ersetzt. Gewindetypen: E27 oder E14.	++
2	Glühlampenspots durch LED-Spots ersetzen. Leistungen von 100 Watt, 75 Watt, 60 Watt, 40 Watt oder 25 Watt werden durch LED-Spots mit ca. 10 % der Glühlampenleistung ersetzt. Gewindetypen: E27 oder E14.	++
3	Halogenspots durch LED-Spots ersetzen. Interessant vor allem für die weit verbreiteten Spots vom Typ «PAR 50» mit Sockeln GU5.3, GU10, E27 und E14. 50 Watt Halogen entsprechen ca. 5 Watt LED.	+++
4	Sparlampen im Aussenraum ersetzen durch LED-Lampen. Normale Sparlampen sind für den Aussenraum nicht geeignet.	+
5	Leuchtstoffröhren (26 mm Durchmesser) mit konventionellen Vorschaltgeräten (KVG) durch LED-Tubes ersetzen. Für den Ersatz einer 58-Watt-Röhre wird eine LED-Leistung von ca. 24 Watt benötigt, bei 36-Watt-Röhren ca. 16 Watt. Beachte: die Abstrahlcharakteristik von LED-Tubes ist – im Gegensatz zu den Leuchtstoffröhren – meist einseitig; dieser Umstand erhöht einerseits die Lichteffizienz im Raum, führt andererseits aber zu einer veränderten Ausleuchtung. Der Starter der Leuchtstofflampe wird durch ein mitgeliefertes Kurzschluss-Element ersetzt.	+++
6	Leuchtstofflampen mit elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) durch LED-Tubes ersetzen. Beachte: Es müssen andere Typen verwendet werden als bei konventionellen Vorschaltgeräten! Es muss kein Starter ersetzt werden, das bisherige Vorschaltgerät (EVG) bleibt in Betrieb. Es werden sowohl EVG-LED-Tubes für 16 mm (T5) als auch 26 mm (T16) Röhren angeboten. Die Einsparung liegt bei über 50 %.	++
7	Überflüssige Leuchten entfernen. Manche Leuchten brennen ohne Nutzen oder es ist im Raum viel zu hell. Dann sollten einzelne Leuchten ausser Betrieb genommen werden.	++
8	Decken- und Wandleuchten 1 zu 1 ersetzen. Eine ineffiziente Leuchte durch eine effiziente mit einer niedrigeren Lampenleistung und höherer Lichtausbeute (mindestens 100 lm/W) ersetzen.	++
9	Downlights mit LED einbauen. In vielen Fällen können herkömmliche Downlights mit Kompaktleuchtstofflampen durch LED-Downlights mit einem Drittel der Leistung ersetzt werden.	++
10	Lichtbänder mit Leuchtstoffröhren durch LED ersetzen. In der Decke eingelassene Leuchtstoffröhren (ca. 30 W bis 50 W pro Meter) durch LED-Lichtleisten ersetzen (5 W bis 15 W pro Meter)	+++
11	Stehleuchten erneuern. Ältere Stehleuchten mit 4-mal 55 W Kompaktleuchtstofflampen können durch LED-Stehleuchten mit 80 W bis 120 W und ca. 30 % Direktlichtanteil ersetzt werden.	+++
12	Tischarbeitsleuchten durch LED ersetzen. Glüh- oder Halogenlampen durch Tischarbeitsleuchten mit LED ersetzen (ca. 10 W bis 15 W LED pro Arbeitsplatz).	++
13	Getrennte Leuchtengruppen. Die einfachste Lichtregelung ist die Aufteilung einer Beleuchtungsanlage auf mehrere «Lichtgruppen». Statt einem Schalter sind dann beispielsweise zwei bis vier Schalter installiert.	+
14	Zeitschaltuhren einbauen. Effizient und günstig ist es, mittels Schaltuhr die Beleuchtung über Mittag oder am Abend abzuschalten.	+

*Tabelle 7.5:
Effizienzsteigerungen von Beleuchtungen – die Massnahmen.*

Nr.	Massnahme	Nutzen
15	Minuterie einbauen. In Räumen mit kurzen Aufenthaltszeiten sind Minuterien (automatische Abschaltung nach 5 bis 15 Minuten) empfehlenswert.	++
16	Bewegungsmelder installieren. In Korridoren, Garderoben, Lagern und ähnlichen Räumen mit längeren Zeiten ohne Personenverkehr sollten Bewegungsmelder eingebaut werden, bei Räumen mit Tageslicht kombiniert mit Helligkeitssensoren. Bevorzugte Schaltung: automatisch Ein und Aus (auto on/off). Die Nachlaufzeit (Zeit zwischen der letzten Detektion von Bewegung und dem Ausschaltimpuls des Melders) soll in Verkehrsflächen auf max. 2 Minuten eingestellt werden.	+++
17	Präsenzmelder installieren. In Büros und Schulzimmern sollten manuelle Schaltungen durch Präsenzmelder (bei Räumen mit Tageslicht kombiniert mit Helligkeitssensoren) ersetzt werden. Bevorzugte Schaltung: automatisch Aus, manuell Ein, d. h. das Licht geht nicht automatisch an, sondern muss durch Knopfdruck aktiviert werden. Die Nachlaufzeit (Zeit zwischen der letzten Detektion von Bewegung und dem Ausschaltimpuls des Melders) soll in Arbeitsräumen auf max. 5 Minuten eingestellt werden.	++
18	Bestehende Lichtregelung justieren. Das Lichtniveau ist häufig falsch oder nicht eingestellt oder die Nachlaufzeiten sind zu lange, sodass es zu keiner Abschaltung kommt. In konkreten Projekten konnte die Energieeinsparung durch Reduktion der Nachlaufzeit von 15 Minuten auf 2 Minuten verdreifacht werden.	+++
19	Vernetzte Sensorleuchten. Leuchten mit integrierten Sensoren und Kommunikationsfunktion mit andern Leuchten können das Licht gezielt und vorausschauend genau dort brennen lassen, wo es benötigt wird und in anderen Zonen abschalten oder stark dimmen. Geeignet v. a. in Parkgaragen, Treppenhäusern und Verkehrsflächen.	+++
20	Vorhandene Lichtsensoren umplatzieren. Aus architektonischen Gründen werden Lichtsensoren häufig falsch positioniert, sodass die gewünschten Schaltungen ausbleiben. Eine Neuplatzierung sollte strikt unter dem Gesichtspunkt der optimalen Tageslicht- respektive Personenerkennung erfolgen.	+
21	Konstantlichtregelungen. Im LED-Zeitalter ist der Effekt der Konstantlichtregelung deutlich grösser als in der Welt der Leuchtstofflampen. Zu beachten ist der Eigenstromverbrauch durch die zum Teil komplexen Regelungsanlagen.	++
22	Sonnenschutz optimieren. Der optimale Sonnenschutz ist aussenliegend, bedarfsgerecht verstellbar (Lamellen) und hell. Eine automatische Steuerung ist noch besser, sofern sie funktioniert. Vor allem innen liegende Markisen oder Vorhänge sind für die Tageslichtnutzung ungeeignet.	+++

7.6 Wirtschaftlichkeit

Mehrere Angebote einholen: Es ist empfehlenswert, mehrere Unternehmerangebote einzuholen, die Preisunterschiede können gross sein. Das günstigste Angebot ist aber oft nicht das beste. Zuverlässigkeit, Garantiezeit und Beständigkeit des Lieferanten sollten ebenfalls als Auswahlkriterien dienen. Besondere Vorsicht ist bei den vielen neuen Anbietern von LED-Leuchten angezeigt.

«Fantasie»-Preise in den Katalogen: Die Katalogpreise für Lampen, Leuchten und Zubehör sind Preise für Einzelstücke. Bereits bei mittleren Stückzahlen werden Rabatte von 20 % bis 40 % gewährt. Bei grossen Bestellungen bieten die Lieferanten bis zu 70 % Rabatt. Beispiel: Eine Grossbank bezahlte für 500 Stehleuchten, die gemäss Katalog über 1300 Fr. kosten, nur gerade 400 Fr. pro Stück.

Komplizierte Installationen machen es teuer: Sobald Elektroinstallationen verändert werden, kann es schnell teuer werden. Eine Lampe oder Leuchte 1 zu 1 zu ersetzen oder eine mobile Leuchte (Steh- oder Tischleuchte) einzusetzen, kann günstiger kommen, selbst wenn das Produkt teurer ist, weil der Installationsaufwand entfällt. Bei der Nachrüstung von Lichtsensoren ist es empfehlenswert, diese an Orten bestehender Kabelanschlüsse zu platzieren oder direkt in die Schalterdose einzubauen.

*Tabelle 7.6:
Einfache Wirtschaftlichkeitsrechnung
für einen Beleuchtungsersatz in einer
Industriehalle.*

	Alte Beleuchtung	Neue Beleuchtung
Nutzung	Industriehalle	
Fläche	7000 m ²	
Anzahl Leuchten	650	340
Leistung der Leuchten	112,0 W	106,0 W
Gesamtleistung	72,8 kW	36,0 kW
Spezifische Leistung	10,4 W/m ²	5,1 W/m ²
Jährliche Volllaststunden	3200 h/a	3200 h/a
Jährlicher Energieverbrauch	233 MWh/a	115 MWh/a
Energiepreis	150 Fr./m ²	150 Fr./m ²
Jährliche Energiekosten	34 944 Fr./a	17 299 Fr./a
Einsparung Energiekosten		17 645 Fr./a
Investitionskosten		80 000 Fr.
Spez. Investitionskosten		11.4 Fr./m ²
Amortisationszeit		4,5 Jahre

Beispiele Wirtschaftlichkeitsrechnung

Tabelle 7.6 und Tabelle 7.7 zeigen zwei (reale) Beispiele zum Ersatz von Beleuchtungsanlagen in einer Industriehalle bzw. einem Schulhaus.

■ **Industriehalle:** Mit einer Investition von 11.4 Fr./m² kann eine Energieeinsparung von 118 MWh/a (das sind 51 % des ursprünglichen Verbrauchs) erzielt werden. Die Investition amortisiert sich in 4,5 Jahren. Die Beleuchtung ist sehr einfach und hat keine Lichtregulierung.

■ **Schulhaus:** Die Investition beläuft sich auf 80 Fr./m². Die Energieeinsparung beträgt 54 MWh/a und amortisiert sich in knapp 50 Jahren. Dazu muss gesagt werden, dass die alte Beleuchtung aufgrund der Totalsanierung des Gebäudes ohnehin ersetzt werden musste. Die neue Beleuchtung erfüllt höchste Ansprüche bezüglich Lichtqualität und ist durchgängig präsent- und tageslichtabhängig geregelt.

Die Beispiele illustrieren exemplarisch die grossen Unterschiede bei den Investitionskosten für eine neue Beleuchtungsanlage. Diese liegen zwischen 10 Fr./m² und 80 Fr./m² (Leuchten, Planung und Installation). Auch Werte von 5 Fr. oder 200 Fr. sind möglich.

*Tabelle 7.7:
Einfache Wirtschaftlichkeitsrechnung
für einen Beleuchtungsersatz eines
Schulhauses.*

	Alte Beleuchtung	Neue Beleuchtung
Nutzung	Schulhaus	
Fläche	5000 m ²	
Anzahl Leuchten	720	600
Leistung der Leuchten	78,0 W	50,0 W
Gesamtleistung	56,2 kW	30,0 kW
Spezifische Leistung	11,2 W/m ²	6,0 W/m ²
Jährliche Volllaststunden	1500 h/a	1000 h/a
Jährlicher Energieverbrauch	84 MWh/a	30 MWh/a
Energiepreis	150 Fr./m ²	150 Fr./m ²
Jährliche Energiekosten	12 636 Fr./a	4500 Fr.
Einsparung Energiekosten		8136 Fr.
Investitionskosten		400 000 Fr.
Spez. Investitionskosten		80.0 Fr./m ²
Amortisationszeit		49,2 Jahre

■ **Optimierte Tageslichtnutzung:** Mit besserer Tageslichtnutzung liesse sich nicht nur der Strom für die künstliche Beleuchtung senken, sondern auch ein wichtiger Beitrag zur Volksgesundheit leisten. Trotz der enormen Bedeutung fehlt dem Tageslicht die «Lobby». Durch gute Kombination von effizienten Leuchten, Tageslichtsensoren und optimaler Tageslichtnutzung (auch durch gute Sonnenschutzmassnahmen) kann ein weiteres grosses Effizienzpotenzial bei der Beleuchtung ausgeschöpft werden.

■ **Genauere Planung:** Das «digitale Licht» (LED und moderne Sensoren sind Kinder der digitalen Welt) erfordert eine bessere Planung als bisher. Überdimensionierte Beleuchtungsanlagen und nicht funktionierende Lichtregelungen waren in der trägen Leuchtstoff- und Halogenlampen-Welt halbwegs erklärbar. In der LED-Welt ist eine exakte Dimensionierung und Regelung möglich und erforderlich. Das Potenzial ist auch in diesem Bereich gross.

Nimmt man alle möglichen Massnahmen zusammen, zeigen sich zwei Szenarien für den Absenkpfad der Beleuchtung. Abbildung 7.34 zeigt die Verbrauchsentwicklung mit und ohne unterstützenden Massnahmen – diese sind v. a. in den Bereichen Sensorik, Tageslicht und Planung sehr nötig. Ohne Beeinflussung könnte der Energieverbrauch für Beleuchtung bis ins Jahr

2050 von heute rund 7 TWh/a auf ca. 4,5 TWh/a sinken, mit flankierenden Massnahmen auf rund 2 TWh/a. Das Ziel der Vereinbarung von Davos sind 3,5 TWh/a bis ins Jahr 2025. Das ist sehr ambitioniert und technisch realisierbar – es kommt auf den Umsetzungswillen an.

Auf jeden Fall kann festgehalten werden, dass in keinem anderen Bereich der Elektrizität eine so grosse Menge an Energie mit verhältnismässig geringem Aufwand eingespart werden kann.

Energieverbrauch für Beleuchtung (CH)

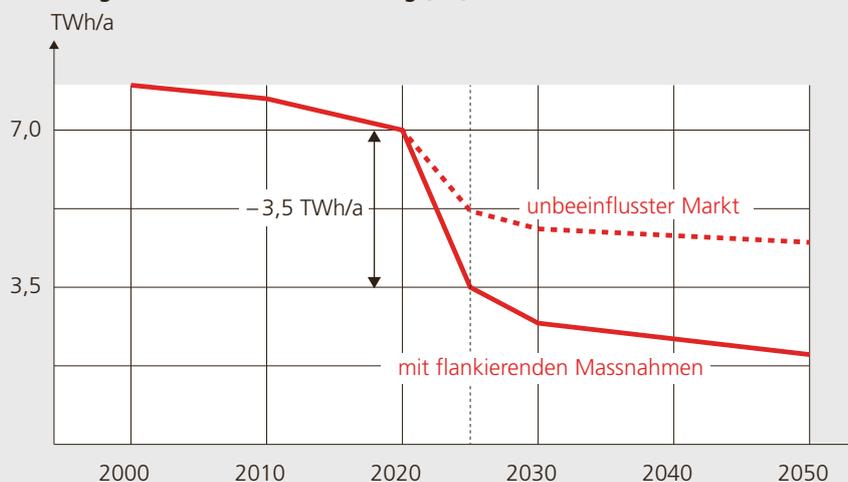


Abbildung 7.34:
Absenkpfad Be-
leuchtung mit und
ohne flankierende
Massnahmen.

7.8 Nutzung der Dunkelheit

Grenzbereiche des Lichtspektrums sind problematisch. Zu hohe UV- und IR-Exposition können schaden. Zu hohe Lichtintensitäten (Laser) oder bestimmte Spektren können die Netzhaut schädigen. Insofern kann Licht im falschen Gebrauch durchaus Schaden anrichten. Wie sieht es aber mit der Dunkelheit aus? Wir machen uns die Nacht immer mehr zum Tag, mutieren zur 24-Stunden-Gesellschaft. Seit den 1950er-Jahren wurde der natürliche Schlaf um ca. 2 Stunden reduziert. Wir sind nicht mehr erholt, leben über die Verhältnisse des Körpers, gönnen ihm, den Augen und damit auch dem Hirn immer weniger Erholung bei gleichzeitig visueller Übersättigung. Es wäre also erstrebenswert, die Nacht wirklich dunkel zu belassen, den Sternenhimmel wieder sichtbar zu machen und dafür den Schlaf zu schützen. Den Himmel nehmen wir nie mehr so wahr, wie das vielleicht noch irgendwo im Zentrum von Australien oder in der Sahara möglich ist. Die Umgebungsleuchtdichten sind meist so gross, dass Sterne einfach ausgeblendet werden.

Lichtverschmutzung

Die Auswirkungen des künstlichen Lichts auf die Umwelt wurden in den letzten Jahren zunehmend thematisiert. Die Problematik basiert darauf, dass Licht im Übermass eingesetzt wird und sich zunehmend störend auf die Umwelt auswirkt. Als Lichtverschmutzung (aus dem Englischen Light Pollution) wird die künstliche Aufhellung des Nachthimmels und die störende Auswirkung von Licht auf Mensch und Natur bezeichnet.

Auf Satellitenaufnahmen der Nasa kann man das in den Nachthimmel abgegebene Streulicht gut erkennen. In den grossen Ballungszentren von Europa ist die Lichtverschmutzung stark ausgeprägt, vor allem in Grossbritannien, Deutschland und Italien. Die Schweiz leidet ebenfalls unter Lichtverschmutzung.

Für Aussenbeleuchtungen formuliert die Organisation Dark-Sky Regeln, die im Nebeneffekt helfen, Strom zu sparen:

■ **Regel 1:** Fragen Sie sich grundsätzlich bei jeder Beleuchtung im Aussenraum, ob diese tatsächlich notwendig ist.

■ **Regel 2:** Beleuchten Sie von oben nach unten. So vermeiden Sie, dass Licht in die Atmosphäre abstrahlt.

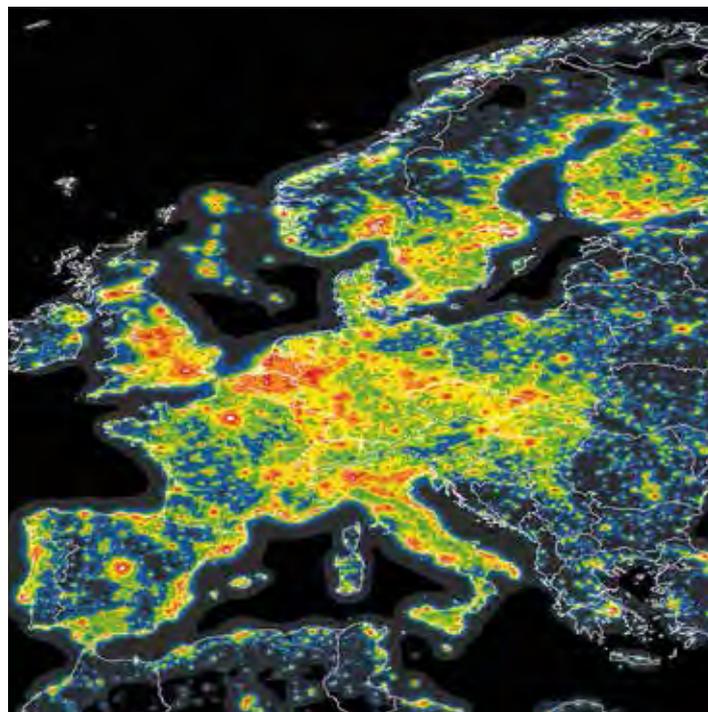
■ **Regel 3:** Achten Sie darauf, dass die Lampen abgeschirmt sind. Optimal ist es, wenn der Leuchtkörper nicht sichtbar ist.

■ **Regel 4:** Wählen Sie die richtige Beleuchtungsstärke. Und achten Sie darauf, dass die Beleuchtungsart der Situation angepasst ist.

■ **Regel 5:** Die wenigsten Lampen müssen die ganze Nacht hindurch brennen. Begrenzen Sie die Beleuchtungsdauer zeitlich sinnvoll.

Abbildung 7.35: Lichtverschmutzung über Europa.

Abbildung 7.36: Dunkelheit wird zum Luxusgut, auch bei uns.



**Dunkelheit wird
zum Luxusgut.**

Praxisbeispiele

8.1 Schulhaus Leutschenbach

Zürichs leuchtende Lernwerkstatt

Das Schulhaus Leutschenbach ist spektakulär: Innerhalb einer ringsum verglasten, turmartigen Stahlkonstruktion sind die Räume übereinander geschichtet. Korridore, wie man sie aus traditionellen Schulen kennt, gibt es nicht mehr. Die Schule versteht sich als Werkstatt und Labor.

Die Wahrnehmung der Umgebung ist durch die vollflächige Verglasung bis in den Kern des Gebäudes erlebbar. Die Innenwände bestehen aus geformtem Profilitglas. Die davon umschlossenen Räume variieren in Grösse, Ausdehnung und Höhe und sind unterschiedliche Ausbildungen des gleichen architektonisch räumlichen Gesamtkonzepts. Die schimmernden, lichtdurchlässigen Wände trennen die Räume akustisch, ermöglichen

zugleich jedoch subtile optische Verbindungen: Tageslicht gelangt bis tief ins Innere des Gebäudes und auch die Bewegungen der Schüler zeichnen sich schemenhaft durch das Glas ab.

Die übererdigen Geschosse sind alle mit entblendeten Rasterleuchten belichtet. Die Leuchte ist in der oberen Zone der wellenförmigen Sichtbetondecke eingebaut. Als integrierter Bestandteil der Decke ist der Leuchteppich mit der Grundstruktur des Gebäudes verwoben und verschwindet in der Perspektive. Das gleichmässige Leuchtenraster zieht sich über alle Bereiche und ist in Zonen mit tieferer Beleuchtungsstärke reduziert.

Eine gleichmässige, ruhige Lichtstimmung lenkt nicht vom grosszügigen Ausblick in die städtische Umgebung ab. Keine Oberflächen mit erhöhter Leuchtdichte stören die Wahrnehmung im Gebäude. Und wie

Objekt

Schulanlage
Leutschenbach
Saatlenfussweg 3,
Zürich-Schwamendingen

Bauherrschaft

Stadt Zürich, Amt
für Hochbauten

Architekt

Christian Kerez AG
8045 Zürich

Lichtplaner

Amstein + Walthert
8050 Zürich

*Abbildung 8.1:
Das Schulhaus Leutschenbach mit dem Sockelgeschoss, drei Obergeschossen mit Schulzimmern, dem Bibliothek- und Mediathek-Geschoss sowie der Turnhalle.*



auf einer diffusen Lichtwolke gleich, scheint das Schulhaus zu schweben. In der Dämmerung leuchtet es wie eine riesige Laterne über dem neuen Stadtteil Leutschenbach. Die Komplexität der Struktur mit der Lichtführung zu vereinen, konnte keine Absicht sein. Die Zunahme der Stockwerkshöhen hingegen, dieses Auflösen der Pression im Erdgeschoss nach oben, der Versuch, mittels einheitlicher Lichtführung diese Selbstverständlichkeit

der Nutzung und Ausbildung zu zeigen, ist faszinierend. Keine Trennung von Unter- und Oberstufe, einheitliche Leuchtmittel, gut entblendete Leuchten, Minergie-Aspekte, Projektraum etc. waren Themen der Spielwiese Licht. Das Zurücktreten der Leuchten durch Entblendung und Integration in den oberen Teil der wellenförmigen Sichtbetondecke lässt das Gebäude einerseits durch die Materialien, aber auch durch die Lichtführung kristallin und



Abbildung 8.2:
Schnitt durch das
Schulhaus Leut-
schenbach.

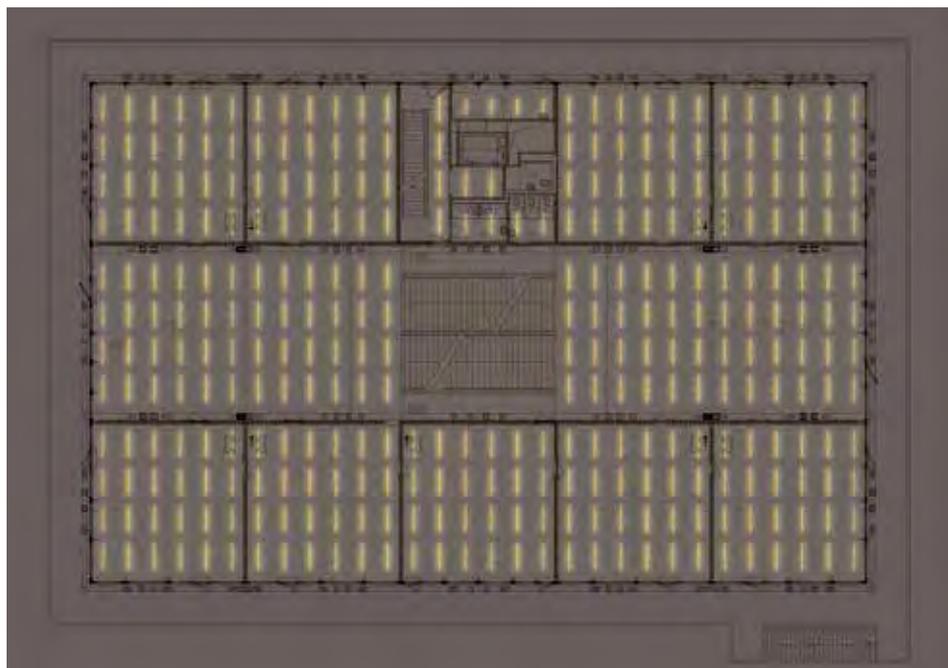


Abbildung 8.3:
Grundriss 1. Ober-
geschoss, Schulhaus
Leutschenbach, mit
den Positionen der
Leuchten.

gleichförmig erscheinen. Gegensätze, die sich auch in Lichtführung und Statik wiederfinden und sich trotzdem unterstützen. Das gleichförmig hohe Lichtniveau ermöglicht auch in der Kommunikationszone einen Schulbetrieb mit Projektunterricht.

Projektbeschreibung

Unter Federführung des Amtes für Hochbauten der Stadt Zürich wurde 2002/2003 ein zweistufiges Wettbewerbsverfahren für den Neubau eines Primar- und Oberschulhauses durchgeführt, welches das Architekturbüro Christian Kerez gewann. Mit insgesamt 22 Klassenzimmern, einer Doppelsporthalle, Mediathek, Bibliothek, Mehrzwecksaal, Mensa, Kindergarten und einer Reihe von Werkstätten und Spezialräumen handelt es sich um das (nach der Schule Im Birch) zweitgrösste Schulhaus der Stadt. Christian Kerez hatte die Jury mit einem ungewöhnlichen Konzept überzeugen können: Während das umfangreiche Raumprogramm üblicherweise in einzelne Volumina gegliedert und nebeneinander angeordnet wird, verdichtete er es hier zu einem kompakten Baukörper, so dass die Freifläche des neu entstehenden, sich zwischen Andreasstrasse und Hagenholzstrasse aufspannenden Andreasparcs nur in geringem Masse tangiert wird. Als 30 Meter hoch aufragendes Gebäude korreliert es mit den benachbarten Wohngebäuden, setzt einen Gegenakzent zu den kleinteilig strukturierten Wohnbebauungen aus den Nachkriegsjahrzehnten in Schwamendingen und wirkt als Zeichen des urbanistischen Aufbruchs im Zürcher Norden.

Ungewöhnlich ist aber nicht nur die Stapelung sämtlicher Räume in einem einzigen Bauwerk, sondern auch die Anordnung der Funktionsbereiche. Die Doppelturnhalle, zumeist ebenerdig oder in den Boden vertieft angelegt, bildet den oberen Abschluss des Gebäudes. Einen stützenfreien, in seinen Abmessungen vorgegebenen Raum mit den übrigen Geschossen zu überbauen, hätte Probleme bei der Lastabtragung ergeben. Daher entschieden sich Architekt und Tragwerksplaner zu der umgekehrten Lösung. Den statischen

Kern des Gebäudes bildet das als hinter die Fassaden zurücktretende Fachwerkkonstruktion ausgebildete vierte Obergeschoss, dessen Last über sechs Stützen in die Betonbox des Untergeschosses eingeleitet wird. Wie auf einem Tisch steht die Sporthalle auf dem vierten Obergeschoss. Zugleich aber sind die drei Schulgeschosse als Stahlgerüstkonstruktion von dieser Ebene abgehängt. So ergibt sich eine Rhythmisierung und funktionale Differenzierung des Volumens: Die Erdgeschoss- und Eingangsebene mit Mensa und Schülerclub wird vom Block der drei Klassenebenen, das vierte Obergeschoss mit Multifunktionshalle, Bibliothek und Mediathek von der annähernd gleich proportionierten Box der Sporthalle überfangen.

Die gegenläufige Treppenerschliessung in der Mitte ermöglicht kurze und voneinander getrennte Verbindungen für die Primar- und die Oberstufe. Die Klassenzimmer selbst, vom Grundriss her annähernd quadratisch, sind parallel zur nördlichen und südlichen Längsfront angeordnet. Die von den Treppen erschlossenen Bereiche dazwischen lassen sich im Einklang mit aktuellen pädagogischen Konzepten für den Projekt- und Gruppenunterricht verwenden; Korridore als reine Erschliessungszonen gibt es in der Schulanlage Leutschenbach nicht. Eine mehrfache Funktion übernehmen auch die um die Schulgeschosse ringsum vorgelagerten Balkonzonen: Sie können als Fluchtwege genutzt werden, fungieren als Verschattungselemente, dienen aber auch als Aufenthaltsbereiche und unterstützen somit die Flexibilität der Raumnutzung. Neue Wege beschrift

Kenndaten Beleuchtung

Die Beleuchtung ist auf Basis der Richtlinien Gebäudetechnik, den Schulhausrichtlinien AHB, den Richtlinien BASPO und der Norm SN/EN 12464-1 mit Wartungsfaktor 0,8 geplant worden.	
Fertigstellung	2009
Beleuchtete Fläche	9 220 m ²
Energiebedarf für Beleuchtung	73 MWh/a
Projektwert Beleuchtung	7,9 kWh/m ²
Minergie-Zertifizierung	2009

Kenndaten Kosten

BKP 233 Leuchten und Lampen	600 000 Fr.
-----------------------------	-------------

Christian Kerez schliesslich auch bei der Materialisierung. Von den Treppenkernen und der Box des Untergeschosses (mit Werkräumen und Technikbereichen) abgesehen, gibt es keine klassischen opaken Wände mehr.

Die Abgrenzung der Klassenzimmer untereinander und zu den Aufenthaltsbereichen in der Geschossmitte hin erfolgt durch Konstruktionen aus transluzentem Industrieglas, sogenanntem Profilit. Entstanden ist eine informelle, urban anmutende Lernlandschaft mit Ateliercharakter – jenseits der Muffigkeit traditioneller Schulstuben. Und in der Dämmerung leuchtet das Schulhaus von innen wie eine riesige Laterne über dem neuen Stadtteil Leutschenbach. (Quelle: Amt für Hochbauten Stadt Zürich)



Abbildung 8.4:
Erdgeschoss.



Abbildung 8.5:
Blick aus der
Turnhalle.

8.2 Kongresszentrum Davos

Ensemble aus Holz, Beton und Licht

Der Haupteingang zur Talstrasse gibt dem Kongresszentrum Raum für eine grosszügige Vorfahrt und eine würdige Eingangssituation. Die einladende Geste des geneigten Daches, welches sich bis in den Empfangsbereich erweitert, wird mit Einzeleuchten in Reihen platziert nachgezeichnet. Die Lichtbänder des Vordaches setzen sich im Innenraum fort und binden die Raumgefüge durch die trennende Glashaut zusammen. Die mit den freistrahrenden Leuchten erzeugte diffuse Lichtstimmung setzt sich in der angrenzenden langgestreckten Wandelhalle fort. Durch die hellen Raumbooberflächen und Addition der Leuchten wird die Decke in der Perspektive zur leuchtenden Fläche. Ergänzend zu dieser Grundbeleuchtung

sind tiefstrahlende Downlights zwischen den Lichtbändern platziert. Die unregelmässige Platzierung der Downlights wechselt mit der Strenge der Lichtbänder. Freigesetzte Lichtschwerpunkte kontrastieren mit der diffusen gleichmässigen Ausleuchtung. Die durchgehende Wand in der Wandelhalle kann für Ausstellungen mit Wandfluterspots ausgeleuchtet werden. Diese Wandscheibe öffnet sich im Bereich der ehemaligen Bühne zum neuen Foyer, dem alten Plenarsaal von Ernst Giseler. In diesem Bereich wurde auch das bestehende Lichtkonzept belassen. Über die grosszügige Treppe und durchs Foyer gelangt man zum neuen Plenarsaal. Dieser wird von der imposanten Wabendecke brückenähnlich überspannt. Die hell erleuchteten Waben lassen die Deckenkonstruktion schwerelos erscheinen; die Rippen werden zum schwebenden, dekorati-

Objekt

Erweiterungsbau
Kongresszentrum
Davos
7270 Davos Platz

Bauherrschaft

Landschaft Davos
Gemeinde

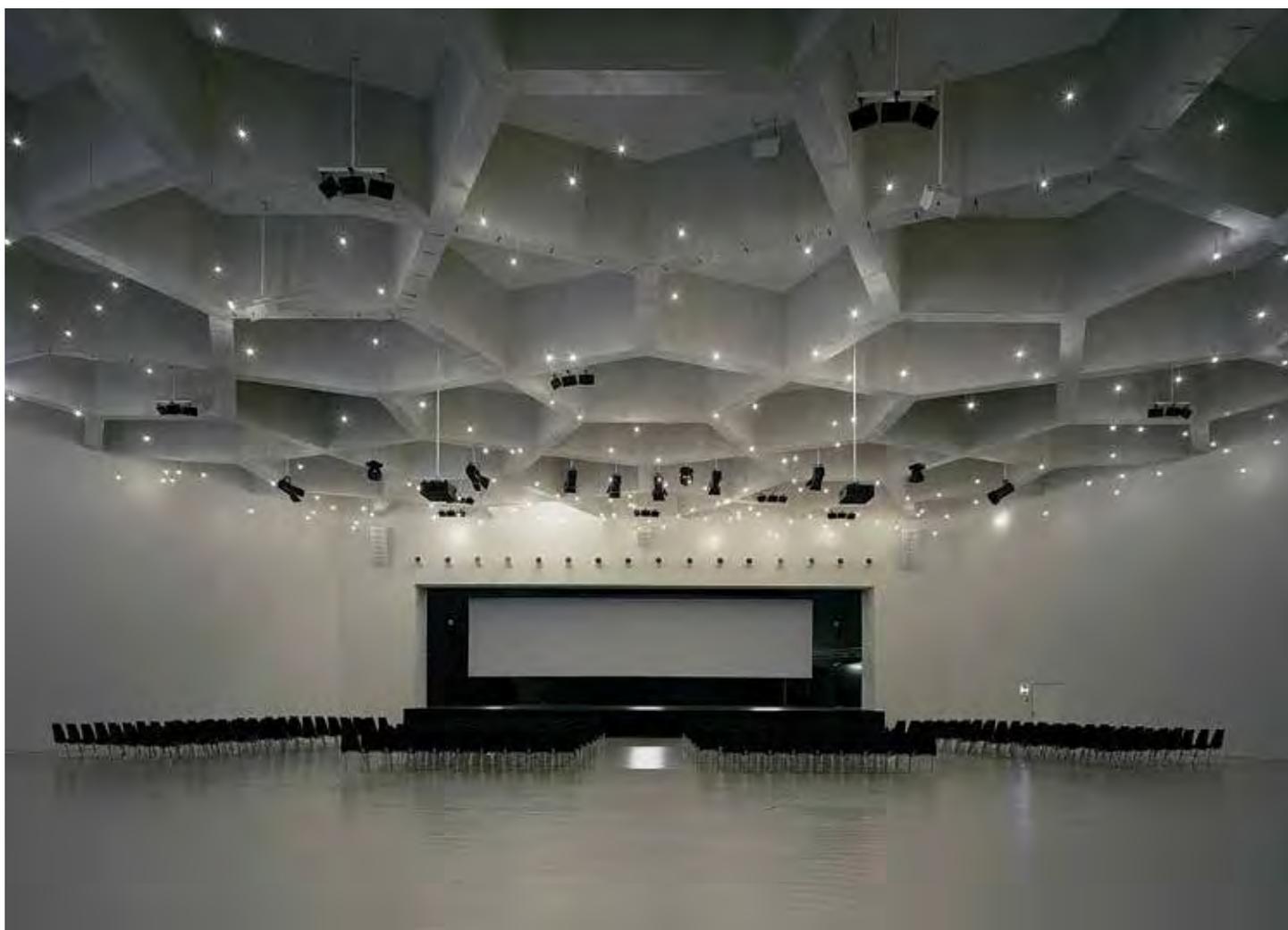
Architekt

Degelo Architekten
4052 Basel

Lichtplaner

Amstein + Walthert
8050 Zürich

Abbildung 8.6:
Der neue Plenarsaal
des Davoser
Kongresszentrums.



ven Ornament. Unter die Rippenebene sind Lichtpunkte gependelt, welche, einem Sternenhimmel gleich, den Raum mystisch inszenieren.

Alle Leuchten sind in ihrer Bauart und in ihrem Einbau aufs Mindeste reduziert. Die freistrahrenden Fluoreszenzleuchten sind randlos deckenbündig eingebaut. Nur die Lampe ragt aus der Decke. In den Konferenzzimmern wird diese Leuchte um ein weisses Raster ergänzt, um im Kontext mit dem Raum die notwendige Entblendung zu gewährleisten. Die Wirkung von «Licht aus dem Loch» wurde für die engstrahlenden, in der Decke versenkten Downlights gesucht. Die filigranen Lichtpunkte im Plenarsaal sind als gependelte Stableuchten mit freistrahrenden Niedervolt-Halogenlampen konstruiert. Die anfängliche Idee, diese Leuchten in LED-Technik auszuführen, wurde im Laufe der Planung aufgrund der EMV-Störausstrahlung und der Störung der abhörsicheren Dolmetscheranlage fallen gelassen. Alle Leuchten sind regulierbar ausgeführt und sind eingebunden in verschiedene vorprogrammierte Lichtszenen. Die Lichtszenen erlauben, je nach Tageszeit und Anlass entsprechend, den Raum von schattenlos hell bis zu dramatisch dynamisch zu inszenieren.

Der Anspruch, verschiedenste Lichtstimmungen, die vor allem auch Raumstim-

mungen erzeugen, mit möglichst vielen Nutzeranforderungen in Übereinstimmung zu bringen, führte in der Auseinandersetzung mit den Räumlichkeiten und den Architekten zur eigentlichen Lichtlösung. Finanzieller Rahmen, vertikale Beleuchtungsstärken zur Sicherstellung des Sehkomforts in den Kommunikationszonen, Festlichkeit und feierliche Atmosphäre, Verschiedenartigkeit und Mehrzweck mussten erfüllt werden. Das Resultat zeigt den Spagat, allen diesen Anforderungen gerecht zu werden. Im Nachhinein scheint eine Logik klar zu sein. Der Prozess, der dazu führt, beinhaltet immer eine mehr oder minder aufwendige Optimierung. Gewollte Eindrücke überlagern sich mit überraschenden Effekten. Ein solches Bauwerk birgt immer wieder mehr Überraschungen als Absichten.

Ein neues Wahrzeichen für Davos

Davos hat eine lange Tradition als Kongressort. Albert Einstein eröffnete 1928 die Davoser Hochschulkurse, die die intellektuelle Elite Europas nach Davos brachten. Ende der 50er-Jahre fanden dann die ersten Medizinkongresse statt. Weitsichtige Davoser entschieden 1967, ein Kongresshaus zu bauen, das schrittweise zum Kongresszentrum ausgebaut wurde. 2008 gewannen Degelo Architekten aus Basel

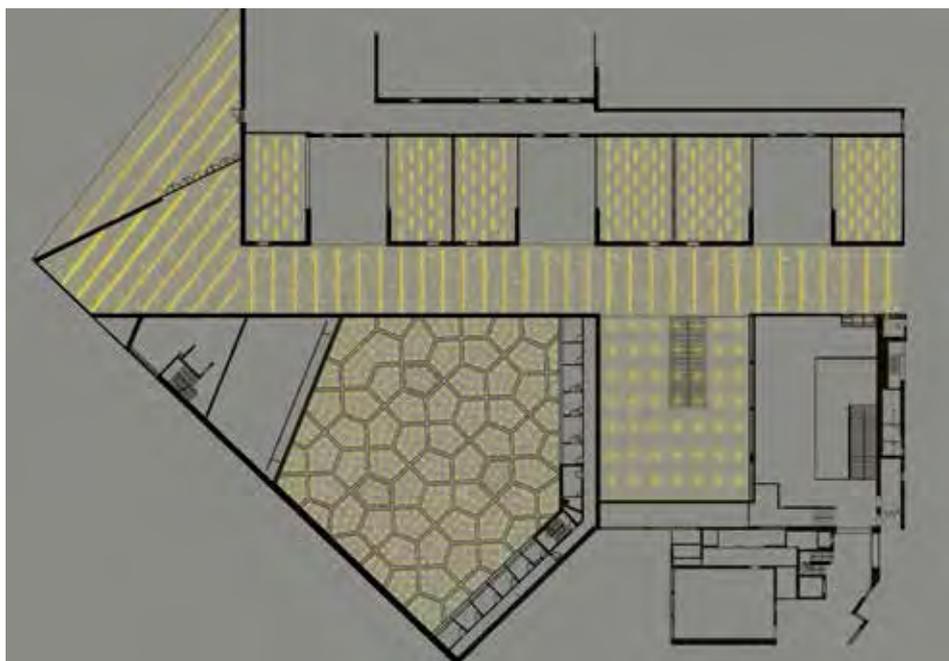


Abbildung 8.7:
Grundriss Kurpark-
geschoss.



Abbildung 8.8:
Neue Vorfahrt Kon-
gresshaus Davos.

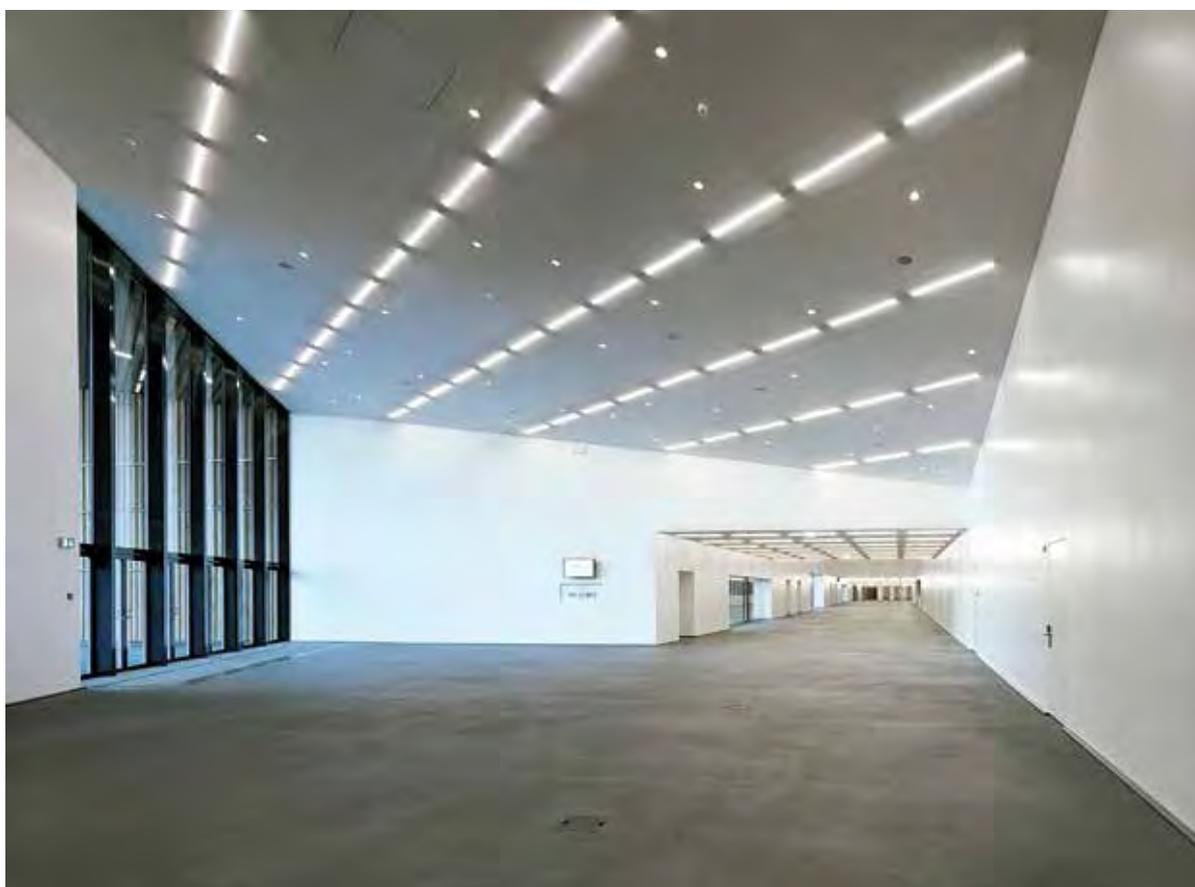


Abbildung 8.9:
Eingangshalle mit
Blick in Wandel-
halle Kongresszent-
rum Davos.

den Wettbewerb für das erweiterte Kongresszentrum, dank dem Davos seine Position als führender Kongressort der Alpen ausbauen kann.

Architektur widerspiegelt die internationale Bedeutung

Die Erweiterung des Kongresshauses Davos bindet den vorhandenen zerfaserten Gebäudekomplex wieder zu einer Einheit zusammen, der in den grosszügigen Kurpark eingebettet wird. Der Haupteingang wird zur Talstrasse verlegt. Denn dort wird dem Kongresszentrum für eine grosszügige Vorfahrt und eine würdige Eingangssituation Raum gegeben. Den eigentlichen Ausgangspunkt der Erweiterung bildet der alte Plenarsaal von Ernst Gisel.

Als Foyer des neuen Kongresssaales wird dieser einer angemessenen Nutzung zugeführt und kann in seiner Qualität erhalten bleiben. Das Prinzip des um ein Geschoss erhöhten Zugangs und des tiefer gelegten Saales wird weitergeführt. Von der unteren Ebene des Foyers betritt man den neuen Saal mit optimaler Grundrissgeometrie. Das Kongresshaus funktioniert sowohl als Einheit mit einem leistungsfähigen Eingangsbereich für Grossanlässe, als auch mit drei autonomen Teilen, die ent-

koppelt und völlig unabhängig voneinander betrieben werden können. Die Materialisierung mit Lärchenholz und Sichtbeton unterstützt das Zusammenwachsen der Gebäude zu einem Ensemble. Damit widerspiegelt sich die internationale Bedeutung des Gebäudes auch in seiner äusseren Erscheinung.

Kenndaten Beleuchtung

Die Beleuchtung ist auf Basis SN/EN 12464-1 mit Wartungsfaktor 0,8 geplant worden.

Wandelhalle und Empfang

Beleuchtungsstärke	Em 450 Lux
Fläche	1100 m ²
Fluoreszenz-Leuchten 82 x 31 W + 160 x 39 W = 8782 W	
Halogen-Leuchten 152 x 38,5 W = 5852 W	
entspricht	13 W/m ²

Saal

Mittlere Beleuchtungsstärke	300 Lux
Fläche	1390 m ²
Halogen-Leuchten 307 x 10 W = 3070 W	
Pendelleuchten 750 x 26 W = 19500 W	
Fluoreszenz-Leuchten 25 x 39 W = 975 W	
entspricht	17 W/m ²

Kenndaten Kosten

BKP 233 Leuchten und Lampen	780000 Fr.
Fertigstellung	2010

8.3 Technorama Winterthur

Ein roter Faden führt durchs Gebäude

Aus der Not eine Tugend entwickeln. So könnte man den Planungsprozess für das Technorama Winterthur bezeichnen. Die Absichten und Voraussetzungen seitens Bauherrschaft und auch Architekten waren schnell einmal formuliert. Der Kostendruck war gross. Die Vorstellung, für einmal keine Leuchten in der Decke zu haben, führten mit der gewählten Materialisierung schnell dazu, sie in die Wände zu integrieren. Einerseits wird der Rhythmus damit klar lesbar und die dahinterliegende Technik zwar sichtbar. Aber gerade dieser Aspekt ist in einem Technorama gewollt. Die für den Umbau gewählten Materialien lehnen sich in ihrer Einfachheit und Zurückhaltung an das bestehende Gebäude

*Abbildung 8.10:
Lichtwirkung der in
der Zwischenschicht
eingebrachten
Leuchtstofflampen
nach innen und
ausseren.*

an und nehmen dessen industriellen Charakter auf. Die Tragstruktur des überstehenden Foyerkanals ist aus Beton, während dessen Fassaden mit transluzenten Scobalit-Sandwich-elementen verkleidet sind. Der Eintritt in den als Vordach dienenden Kanal erfolgt stufenweise: Der äussere Abschluss ist mit einem Industrierolltor versehen, während ein zurückversetzter, seitlich aufrollbarer Industrierolllvorhang aus weissem und transparentem Kunststoff zusammen mit einem Wärmeevorhang als Windfang den eigentlichen Zutritt ins Gebäude gewährleistet. Die seitlichen Verkleidungen der Anlieferungsrampe sind aus Scobalit-Lichtelementplatten. Dieses Spiel mit den Materialien und der Präsentation der Technik ist eine Thematik, die der Absicht des Technoramas entspricht. Es ist auch der Versuch, mit

Objekt

Neugestaltung Eingangsbereich und Restaurant, Technorama
8404 Winterthur

Bauherrschaft

Stiftung Technorama, Winterthur

Architekten und Bauleitung

Dürig & Rämi AG
8004 Zürich

Lichtplaner

Amstein + Walther
8050 Zürich



minimalen Mitteln den grösstmöglichen Effekt zu erzeugen. Alle Massnahmen sind einfach und wurden in Zusammenarbeit mit den Architekten erarbeitet. Es handelt sich um hinterleuchtete Scobalit-Platten, unterleuchtete Raumkörper, aufgeständerte Garderobenhalter. Allesamt Massnahmen, die eine schwächere oder stärkere Wirkung haben, aber zusammen etwas Neues und Selbstverständliches entstehen lassen, das schon immer so hätte sein können.

Die Abbildungen zeigen die transluzente Lichtwellplatten-Fassade des Raumkanals, die mit Leuchtstofflampen hinterleuchtet sind, deren Licht sich im roten Epoxidharzboden spiegelt; die Fassaden der Kassen-Rondelle sind mit farbigen Leuchtstofflampen bestückt, deren Licht sich farbig an der abgehängten Decke aus Streckmetall-Paneeelen und am Boden reflektieren; die Sitzbänke, im Bild in der Garderobe, sowie die Ausstellungsmöbel im Shop sind bodennah mit weissen Lampen und roter Kunststoffabdeckung bestückt, sodass sie im Raum zu schweben scheinen; schliesslich sind die Regale im Shop mit glänzenden Silber- und Schwarztönen gestrichen.

Analyse

Das Technorama in Winterthur wurde 1975 bis 1979 geplant und 1982 eröffnet. Das Museum, das mit 250 000 Besuchern pro Jahr eine der meist besuchten festen Ausstellungen der Schweiz ist, zählt zu den weltweit führenden Science Centers, in dem die Besucher mittels Experimenten auf spielerisch-lehrreiche Art unmittelbare Erfahrungen mit Phänomenen von Natur und Technik machen können. Seine stetig wachsenden Besucherzahlen (Verdoppelung zwischen 1993 und 1999!, bis zu 3 000 Besucher an Regen-Sonntagen!) haben eine Neugestaltung des Eingangsbe-

reichs und Anpassungen der Besucherinfrastruktur dringend notwendig gemacht, so dass im Frühling 2000 ein Wettbewerb für die baulichen Veränderungen ausgeschrieben wurde. Dürig & Rami gewannen den Wettbewerb und wurden mit der Planung des Umbaus beauftragt.

Gebäude aus den 60er- und 70er-Jahren haben vielfach keinen guten Ruf – man verbindet mit ihnen überbetonte und überstrapazierte Rationalität und Funktionalität und sagt ihnen vielfach auch Mängel im Konstruktiv-Technischen nach, da sie in der Nachkriegshochkonjunktur auf die Schnelle entstanden sind. Das Technorama ist vor dem Museumsboom der 80er-Jahre entstanden und ähnelt eher einem sachlich-nüchternen Industrie- oder Gewerbebau als einem Museum.

Es ist jedoch konstruktiv solide gebaut und funktioniert als Behausung für die Technorama-Ausstellungen. Deshalb beschränken sich die von den Architekten vorgeschlagenen Eingriffe im Eingangsbereich, dem Restaurant, der Orientierung innerhalb des Gebäudes sowie der funktionellen und räumlichen Beziehung des Hauses zu den Aussenräumen auf ein Minimum.

Eine minimale, aber präzise architektonische Massnahme sowie die Verlagerung des Restaurants von seiner zentralen an eine periphere Lage lösen die funktionalen Infrastrukturprobleme rund um den Eingang des Technoramas auf einmal: Ein neuer, längsgerichteter und durchgehender Raum-Kanal als zentrale Erschliessungsachse. Die komplizierte Eingangslösung vor dem Umbau wurde durch einen geschickten und intelligenten Flächen-transfer gelöst, indem das Restaurant verschoben wurde. Diese Verschiebung hat zur konsequenten Klärung der Eingangssituation mit Garderobe und Shop auf der einen und Treppenhäuser und Restaurant auf der anderen Seite des zentral eingeschobenen Raumkanals geführt. Die Positionierung des Kanals ermöglicht vielfältigste räumliche Verknüpfungen und Sichtbeziehungen zwischen Kanal und den entlang einer Strasse angedockten Einrichtungen und Räumlichkeiten. Der Raumkanal verbindet den Vorplatz der Ein-

Kenndaten Beleuchtung

Energiebezugsfläche (EBF)	1121 m ²
Messwert Beleuchtungsstärke	275 Lux
Energieverbrauch Beleuchtung	10,21 kWh/m ² a

Kenndaten Kosten

BKP 23 Elektroanlagen	626 232 Fr.
-----------------------	-------------

gangszone mit dem rückseitigen Ausgang zum Park. Er ist gleichzeitig Foyer, Eingang, Pausenraum, Kommunikationsort, Orientierungshilfe und Wiedererkennungsmerkmal als Treffpunkt. Das Technorama erhält dadurch eine neue, zentrale Mitte als einprägsames und attraktives Zeichen, das mit seinem rot eingefärbten Boden aus Epoxidharz gleichzeitig ein heiterer Willkommensgruss für die Besucher und herausragendes Merkmal des neuen Technoramas ist. Der rote Teppich erweitert sich

als roter Kunstrasen auch auf den anliegenden Innenhof, der mit seiner grossflächigen Verglasung zwischen den beiden Versorgungskernen den neuen Foyerkanal belichtet. Der Innenhof wird somit zu einer dreigeschossigen räumlichen Erweiterung des Foyerkanals.

Der rote Teppich dehnt sich auch auf den linksseitig anliegenden Garderobenbereich und den Shop sowie auf den gegenüberliegenden Innenhof aus. Die zentrale Positionierung des Foyerkanals ermöglicht

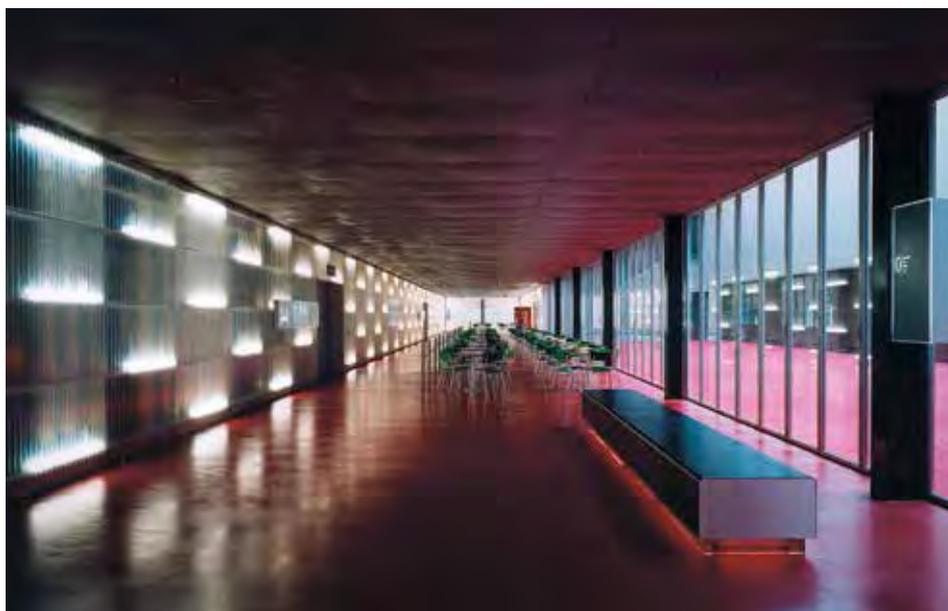


Abbildung 8.11:
Neuer zentraler
Verteilkorridor im
Technorama.

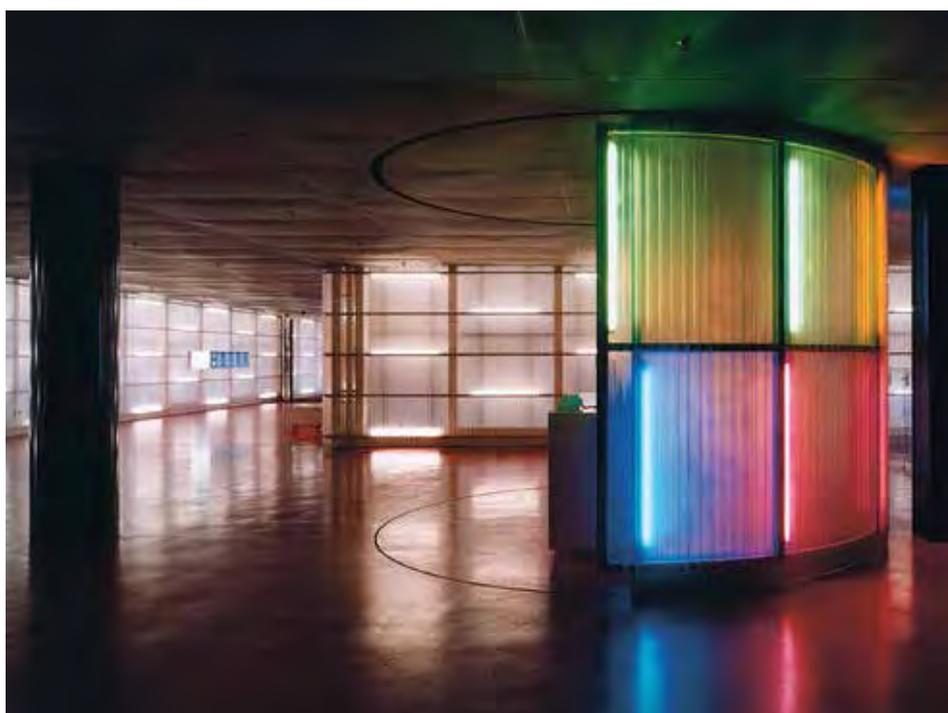


Abbildung 8.12:
Zusatzkasse in der
Eingangshalle.

vielfältigste räumliche Verknüpfungen und Sichtbeziehungen zwischen Kanal und Kasse-Garderobe, Shop, Ausstellungsräumen und Hof. Das von Klaus Architekten, Mettmensstetten ausgeführte, neue Restaurant mit seinem Garten-Aussenbereich befindet sich rechts vom Eingang, peripher auf der Sonnenseite.

Der rote Foyerraum verbindet die beiden bestehenden Treppenhäuser zu einem gut funktionierenden, internen Erschliessungssystem und stellt einen attraktiven Durchblick zwischen dem Eingang und dem rückseitigen Park her.

Der Foyerkanal schiesst an beiden Enden zeichenhaft aus dem Baukörper heraus, den Eingang am Vorplatz sowie den parkseitigen Ausgang markierend. Er verbindet somit die zentralen Aussenräume des Technoramas: Vorplatz, Innenhof und rückwärtige Erschliessung zum Park.

Grundlagen

Durch den minimalen volumetrischen und infrastrukturellen Eingriff beschränken sich äusserliche Veränderungen am Haus auf ein Minimum. Es drängen sich auch keine massgeblichen Veränderungen an den Fassaden auf, da sie belichtungs- und witterungstechnisch den momentanen Ansprüchen voll genügen und eine umfassende Fassaden-Renovation mit einer besseren thermischen Dämmung in einigen Jahren weit wirkungsvoller gestaltet werden kann. Die bestehende, je nach Lichteinfall gold-schwarz schimmernde Industrieblech-Fassade soll auch nicht verändert werden, da sie zum unverwechselbaren äusseren Merkmal des Technoramas geworden ist und in ihrer Zurückhaltung auf die Wichtigkeit und Bedeutung des Inhalts des Museums verweist – der Inhalt ist der Star und nicht die Hülle.

Die Eingangsfassade wurde vom amerikanischen Künstler Ned Kahn aus Kalifornien gestaltet. Seine Skulptur Wind Vail, was Windsegel bedeutet, besteht aus 40 000 quadratischen Aluminium-Plättchen, die frei schwingend in einem riesigen, 75 m auf 15 m messenden, der Eingangsfassade vorgelagerten Aluminiumrahmen aufgehängt sind. Die Plättchen bewegen sich im

Wind und rufen dadurch verschiedenste Lichtreflektionen hervor, ähnlich der Spiegelung des Lichts in sich bewegendem Wasser. Die Konzeption der Eingangsfassade lehnt sich an den spielerisch-phänomenologischen Inhalt der Ausstellungen im Technorama an.

Der Umbau des Technoramas lehnt sich in seiner Einfachheit und seiner Detaillierung mit günstigen, industriell vorgefertigten Materialien nicht nur an den industriellen Charakter des Gebäudes an. Er widerspiegelt vielmehr auch die experimentelle Verspieltheit und den phänomenalen Charakter der Exponate im Science Center. Die gewählten Materialien spielen förmlich mit Licht- und Spiegeleffekten, glänzenden Oberflächen und starken Farbtönen.

8.4 Kantonsbibliothek Liestal

Leuchtturm für Bücher

Die gelbgrünen Böden und Möbel bilden einen bewusst gestalteten Kontrapunkt zu den warmen Brauntönen der hölzernen Tragstruktur. Leuchtstofflampen erzeugen einen Lichtteppich, der sich gleichmässig über die Geschossebenen legt. Wer das Gebäude betritt, taucht ins Licht. Beim Verlassen geht der Besucher aus dem Licht heraus. Ein Effekt, welcher durch die asymmetrische Anordnung der Deckenleuchten zwischen den alten Balken erzeugt wird. Die einfachen Leuchtstofflampen sind nicht in der Mitte des Rechtecks von Primär- und Sekundärstruktur der Balken montiert, sondern am Rand. Damit entsteht ein Lichtspiel, welches beim Betreten des Raumes die Leuchten zeigt, sichtbar werden lässt und sie beim Verlassen des Raumes im Verborgenen verschwinden lässt. Zudem entsteht innerhalb eines Deckenfeldes ein Lichtverlauf, der dem Betrachter die Orientierung im

Raum im Unterbewusstsein verankert. Diese Lichtthematik wurde einem Kirchenkonzept von Rudolf Schwarz entlehnt. Das Konzept der Beleuchtung ist bestechend einfach: Pro Geschoss sind offene Balkenleuchten in einem regelmässigen Raster an der Decke montiert. Das diffusweiche Licht der Leuchtstofflampen wird direkt in den Raum verteilt. Durch diese einfache Anordnung konnte eine extrem homogene Lichtverteilung bei sehr hoher vertikaler Beleuchtungsstärke erreicht werden. Die Analyse der Sehaufgabe und der kommunizierte Kompromiss erlaubte es, das Kriterium der Ergonomie weniger stark zu gewichten: Offene Leuchten werden in vielen Fällen nicht eingesetzt, da sie den Betrachter blenden können. Die Sehaufgabe in der Freihandbibliothek wird jedoch durch das Auffinden von Büchern und das Lesen definiert. In beiden Fällen ist die Blickrichtung parallel oder eher nach unten geneigt. Somit entzieht sich das Auge der eigentlichen Blendproblematik. Das Resultat ist eine homogene Lichtverteilung

Objekt

Kantonsbibliothek
Baselland
4410 Liestal

Bauherrschaft

Bau- und Umweltschutzdirektion
Kanton Basel-Landschaft, Hochbauamt
4410 Liestal

Architektur und Bauleitung

Liechti Graf
Zumsteg
5201 Brugg

Lichtplanung

Amstein + Walthert
8050 Zürich

Abbildung 8.13:
Ansicht der Kantonsbibliothek bei Dämmerung.



mit homogener vertikaler Beleuchtungsstärke. Messungen an den Bücherregalen haben gezeigt, dass der berechnete durchschnittliche Beleuchtungsstärkewert von 200 Lux weit überschritten wird.

Die Fensternischen sind abends mit zusätzlichen Einbauleuchten seitlich des Fensters erhellt. Ein Lichtband am unteren Rand der Nische betont die Struktur der Kastenfenster nachts. Bei Dunkelheit wird zudem der Glasaufbau zum strahlenden Leuchtturm. Zwei Werfer mit je 150 W Leistung erhellen die weiße Decke so, dass keine direkte Strahlung nach aussen gelangt.

Dank dem einfachen Aufbau der Balkenleuchte ohne Diffusor konnte ein gerechter Wirkungsgrad der Leuchten zwischen 95 % und 105 % erreicht werden. Dies war umso wichtiger, als der Bauherr anstelle der üblichen 200 Lux eine höhere Beleuchtungsstärke von 300 Lux forderte. Zudem erschwerten die dunklen Holzdecken die Beleuchtungssituation, da sie nur wenig Licht reflektieren. Hinzu kommt, dass durch die schmalen Kastenfenster nur wenig Tageslicht in die Räume gelangt.

Während das Dachgeschoss dank des Glasaufbaus tagsüber hell genug ist, müssen das erste und zweite Obergeschoss immer künstlich beleuchtet werden. Trotz des Lichthofes fällt nur wenig Tageslicht aus dem Dachgeschoss in die unteren Etagen, da das Licht seitlich in die gläserne Laterne einfällt. Die Decke des Glasaufbaus ist lichtundurchlässig.

Die ersten Simulationen der Beleuchtungssituation zeigten, dass die geforderte Lichtstärke von 300 Lux mit der geplanten Bestückung nicht überall erreicht werden konnte. Zusätzliche Leuchten zu installieren war nicht möglich, da der nach Minergie zulässige Energieverbrauch mit der geplanten Bestückung bereits erreicht wurde.

Analyse

Im Jahr 1998 schrieb die Bau- und Umweltschutzdirektion des Kantons Basel-Landschaft einen Architekturwettbewerb aus. Bei der Neugestaltung des historischen Gebäudes sollten die Tragwerkstruktur und die Dachform erhalten blei-

ben. Das Architekturbüro von Peggy Liechti, Andreas Graf und Lukas Zumsteg entschied den Wettbewerb für sich mit einem Konzept, bei dem Alt und Neu zu einer unzertrennbaren Gesamtheit verschmelzen. Der Glasaufbau überhöht die ursprünglich markante Dachform. Die Architekten umhüllten das Gebäude bis auf die Höhe des ersten Geschosses mit Biberschwanzziegeln und liessen damit einen kubischen Dachkörper entstehen, der auf den Sockelbau aufgesetzt wirkt. Die mit breiten Kupferblechen gefassten Kastenfenster verstärken die skulpturale Wir-

Abbildung 8.14:
Korridor (Kantonsbibliothek Liestal).



Kenndaten Beleuchtung

Energiebezugsfläche (EBF)	4028 m ²
Geforderte vertikale Beleuchtungsstärke	300 Lux
Messwert Beleuchtungsstärke	300 Lux

Energieverbrauch Beleuchtung

Projektwert	15,3 kWh/m ² a
Minergie-Anforderung	15,6 kWh/m ² a
Zielwert SIA 30/4	12,8 kWh/m ² a
Grenzwert SIA 380/4	23,8 kWh/m ² a

Kenndaten Kosten

BKP 233 Lieferung Leuchten und Lampen	340 000 Fr.
---------------------------------------	-------------

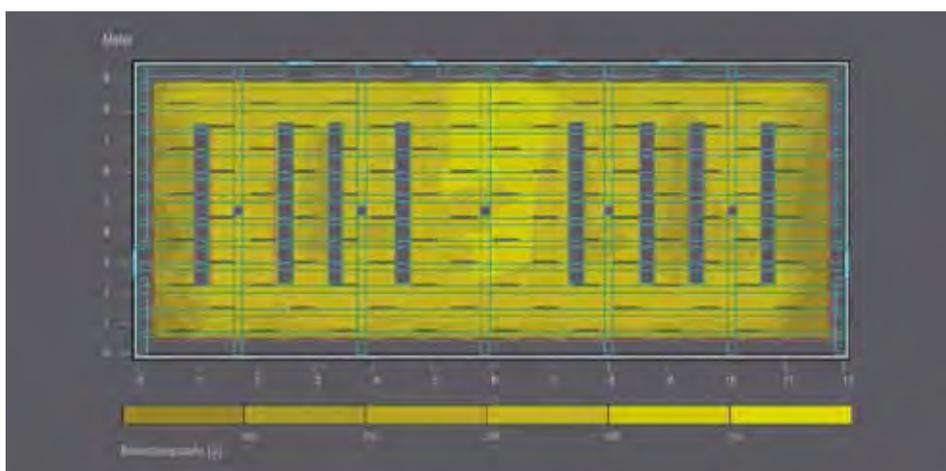


Abbildung 8.15:
Beleuchtungs-
stärkeverteilung
(Kantonsbibliothek
Liestal).



Abbildung 8.16:
Cafeteria in der
Kantonsbibliothek
Liestal.



Abbildung 8.17:
Ausleihe in der
Kantonsbibliothek
Liestal.

kung. Der Gebäudesockel ist grau verputzt und öffnet sich gegen den Platz mit einem grossen Fensterband. Zentrum im Innern des Gebäudes ist ein grosszügiger Lichthof, der mit der Haupttreppe und den gläsernen Liften die Geschosse verbindet. Im Erdgeschoss lädt eine Cafeteria zum Verweilen, im ersten Obergeschoss bietet eine Leseterrasse Raum zum Studieren der Bücher. Auf insgesamt vier Geschossen bietet die Freihandbibliothek 80 000 Bücher und

Medien an. Rund um die hölzerne Tragstruktur stehen die Bücherregale, die im Einklang mit den restlichen Möbeln in gelbgrüner Farbe leuchten. In den Fenster-nischen laden Leseplätze die Besucher ein, sich mit Büchern oder Zeitschriften zurück-zuziehen. In den beiden Untergeschossen sind die Buchmagazine und die Bibliotheksverwaltung untergebracht.

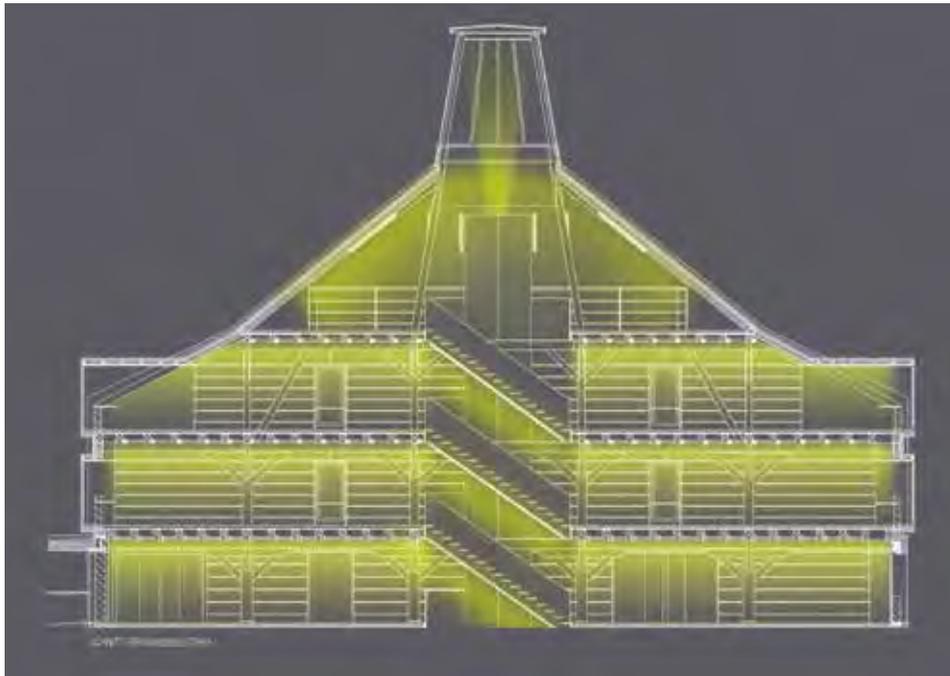


Abbildung 8.18:
Schnitt.

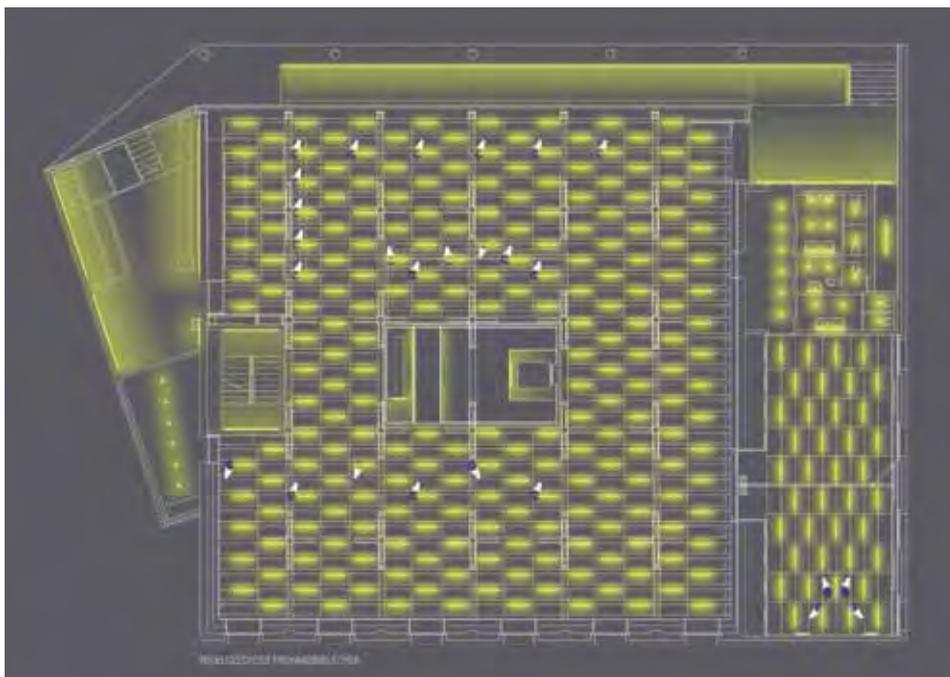


Abbildung 8.19:
Grundriss Erdge-
schoss.

8.5 Messehalle Dornbirn

Schwarz-roter Monolith

Von der Haushaltmesse über Kunstmessen bis zum extravaganten Firmen-Event: Messehallen müssen zahlreiche Funktionen erfüllen und unterschiedliche Veranstaltungen beherbergen. Sie müssen zwar in erster Linie funktional sein, aber trotzdem für etwas Besonderes stehen, um sich von anderen Veranstaltungsorten zu unterscheiden. Um die Entwicklung des Messe-Areals in Dornbirn geordnet zu gestalten, beauftragten die Messeverantwortlichen 2012 die Vorarlberger Architekten Dietrich Untertrifaller, einen Masterplan für die Westachse des Dornbirner Messegeländes zu erstellen.

*Abbildung 8.20:
Die elliptischen Einschnitte verleihen dem Gebäude strukturelle Eleganz.
(Quelle: Faruk Pinjo)*

Den Wettbewerb für die Hallen 9, 10, 11 und 12 gewannen 2014 Marte.Marte Architekten mit einem monolithischen Bau von 170 Meter Länge, fast 70 Metern Breite und 16,50 Meter Höhe, der die vier

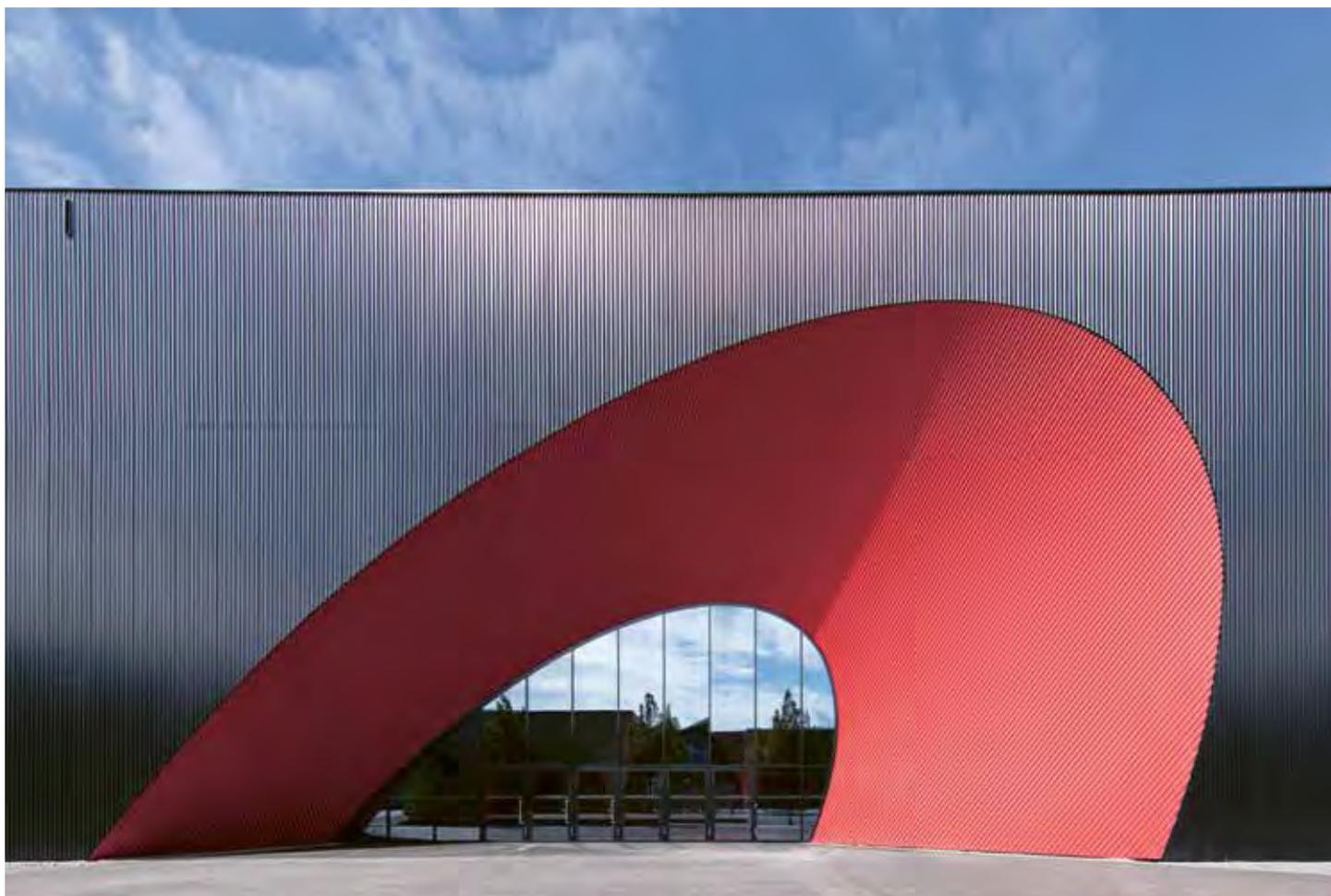
Hallen in einer überdimensionalen Box unterbringt. Bekannt sind die Architekten aus Feldkirch vor allem für ihre ausdrucksstarken Bauten aus Beton. In Dornbirn überzeugten sie aber hauptsächlich mit dem Material Holz. Die elliptischen Einschnitte, welche Eingänge und Höfe definieren, erzeugen eine skulpturale und elegante Orientierung. Für den einprägsamen Ausdruck sorgt jedoch in erster Linie das stringente Farbkonzept. Außen: Strukturiertes Schwarz mit den erwähnten elliptischen Einschnitten in Rot. Innen: Schwarz für die grossen Hallen, sattes Rot für die Foyers und die kleineren Veranstaltungsräume. Elliptische Bögen in den roten Foyers erinnern an Arkaden und verleihen dem Raum vor allem durch die dominante Farbe einen besonderen Wiedererkennungswert. Dies bringt aber auch spezielle Herausforderungen für das Lichtkonzept mit sich, da ansprechende Raum-Lichtstimmungen in monochromatischen Räu-

Bauherrschaft
Messe Dornbirn

Architektur
Marte.Marte Architekten, Feldkirch, Vorarlberg

Lichtplanung
Bartenbach lighting design, Aldrans, Tirol

Lichtsysteme
Zumtobel, Tecton
Balanced White,
Panos infinity



men schwierig zu erzielen sind. Da geht es um Nuancen der Farbtöne und der Oberflächenstruktur und um deren Reflexionsgrade, um ein optimales Erscheinungsbild zu erzeugen. «Der Maler testete unzählige Schwarztöne, um zu einem zufriedenstellenden Ergebnis zu kommen», erläutert Robert Müller. Müller hat die Architekten als Projektleiter von Bartenbach lighting design bei der Farb- und Materialwahl im Hinblick auf die Lichtwirkung beraten. Die sichtbaren Teile der 4,5 Meter hohen Leimbinder-Fachwerkträger, welche die Hallen an den Breitseiten überspannen, wurden zum Beispiel gebürstet, um ihren Glanzgrad abzumildern und das Reflexionsverhalten entsprechend anzupassen.

*Abbildung 8.21:
Die grossen Räume
zeichnen sich durch
speziell entwickel-
tes Schwarz aus, die
kleinen durch satte
Rottöne. (Quelle:
Faruk Pinjo)*

Das vorhandene Kunstlichtkonzept wurde auf Anraten von Bartenbach lighting design auf LED-Leuchten mit Tunable-White-Technik abgeändert. Die Lichtfarbe kann an den jeweiligen Event angepasst wer-

den. Für Abendveranstaltungen steht also gemütliches Kerzenlicht zur Verfügung. Betritt man Messen untertags, kann wahlweise kaltweisses Licht mit dem Tageslicht draussen korrespondieren. Für die Raumtiefenwirkung wurden die Wände entsprechend berücksichtigt. Insgesamt unterstützt das Lichtkonzept die schlichte Eleganz des schwarz-roten Riesen optimal. Und wie der Bau selbst wechselt das Lichtkonzept zwischen Zurückhaltung und perfekter Inszenierung.





Abbildung 8.22:
Das Lichtkonzept ermöglicht eine Anpassung der Lichtfarbe an den jeweiligen Event. (Quelle: Faruk Pinjo)

8.6 Irische Nationalgalerie

Bauherrschaft

OPW – The Office
of Public Works
Ireland

Nutzerin

National Gallery of
Ireland, Dublin

Architektur

Heneghan Peng
Architects, Dublin

Lichtplanung

Bartenbach lighting
design, Aldrans,
Tirol (A)

Denkmalschutz

Blackwood Associ-
ates Architects

Hightech im historischen Gebäude

Nach umfangreichen Sanierungsarbeiten präsentieren sich der Dargan- und der Milltown-Flügel der National Gallery of Ireland in Dublin als tageslichtdurchflutete Orte der Kunst. Auffällig ist der neue, mit Glas überdachte Innenhof zwischen zwei historischen Bauten. Sean Rainbird, Direktor der Irischen Nationalgalerie, ist sehr zufrieden mit seinem renovierten Haus. Kein Wunder, immerhin hatte er vor der Instandsetzung unter anderem mit undichten Dächern zu kämpfen. Besucher erinnern sich noch an die Eimer, die das Regenwasser auffingen, das gelegentlich durch die Dächer tropfte. Auf die Frage, über welchen Aspekt des restaurierten Museums er sich am meisten freut, nennt er allerdings das Tageslicht, das nun die Räume durchflutet. «Die Qualität des Lichts gibt dir ein grossartiges Gefühl und macht aus dir einen aufmerksameren Besucher, wenn du die Kunst betrachtest», betont er.

Zu sehen gibt es genug in der Nationalgalerie, die 1864 als eines der ersten öffentlichen Museen europaweit eröffnete. Über 16300 Kunstwerke – von der frühen Renaissance bis zur modernen Kunst, von internationalen genauso wie von irischen Künstlern – umfasst die Sammlung. 650 Objekte werden in den neuen Ausstellungensräumen präsentiert, darunter Werke von Tizian, Rembrandt, Vermeer, Van Gogh, Goya, Monet oder Picasso und von irischen Grössen wie William Orpen, Mary Swanzy oder Jack B. Yeats. Dafür, dass das Haus am Merrion Square im Herzen von Dublin jetzt wieder einen würdigen Rahmen für die umfangreiche Sammlung bietet, haben Heneghan Peng Architekten aus Dublin gesorgt.

Für die Tages- und Kunstlichtplanung zeichnet Bartenbach lighting design verantwortlich. Die Restaurierung der historischen Gebäude ist Teil eines Museums-Masterplans, der die Galeriebauten aus unterschiedlichen Epochen ordnet und ebenfalls von Heneghan Peng stammt. Im Zuge der Renovierung wurden die histori-

schen Oberlichter in den Museumsräumen mit einem Sonnenschutzraster versehen. Das Mikroraster verhindert direkte Sonneneinstrahlung, leitet aber das Tageslicht in das Gebäudeinnere. Darunter befindet sich Streuglas an der Decke der Räume. Diese kontrollierte Tagesbelichtung genügt auch konservatorischen Vorgaben. Die Lux-Stunden, denen die Gemälde ausgesetzt sind, werden übers Jahr kumuliert und berechnet. In Ausnahmefällen, etwa bei der Ausstellung besonders empfindlicher Exponate, können die Oberlichter auch geschlossen werden. Komplette Verdunkelung ist also möglich. Im Normalbetrieb können Besucher das Tageslicht, die Wetterveränderungen auch im Inneren des Museums miterleben. Der UV-Transmissionsgrad der neuen Glashaut beträgt unter 0,01 %. Der g-Wert vermindert sich gegenüber der historischen Verglasung um rund 80 % auf 0,14. Die Wärmeübertragung wird auch um beinahe 70 % reduziert.

In den Galerieräumen mit Oberlicht ist Kunstlichtzuschaltung tagsüber im Normalbetrieb nicht notwendig. Verdunkelt sich der Himmel draussen unerwartet stark, wird das Kunstlicht automatisch zugeschaltet. Neben dem innovativen Tageslichtsystem waren die Museumsräume in unterschiedlichen Farben eine Herausforderung für die Lichtplanung. Zu den verschiedenen Farben der Wände berieten die Lichtplaner bezüglich Remissionsgraden. Das Kunstlichtsystem basiert auf LED-Technik, die Galerie erhält so ein beinahe wartungsfreies und langlebiges Lichtsystem. Die Stromschienen für die Wallwasher und Spotlights fügen sich optimal in das historische Ambiente ein. Die Lichtfarbe kann zwischen 2700 K und 3500 K auf die Exponate, die Wandfarbe und den Raum abgestimmt werden, denn die Raumstimmung erzeugt das Licht hauptsächlich über die Remission der farbigen Wände. Einen Lichtschacht und Hinterhof zwischen den beiden historischen Bauten des Milltown- und Dargan-Flügels wandelten die Architekten in einen lichtdurchfluteten Skulpturenhof um. Sie legten Ziegel- und Steinmauern sowie grosszügige Galerie-

Fenster frei, die auch die Belichtung der Galerieräume unterstützen. Sonnenschutzglas überspannt den rund sieben Meter breiten neuen Innenhof. Abends wird er mittels LED-Werfern an den Wänden beleuchtet, die auf Reflektoren im Glasdach strahlen. Eng- und weitstrahlende Werfer sorgen für Grundbeleuchtung genauso wie für Zonierungen. Gleichzeitig strukturieren diese Reflektoren das Glasdach.



*Abbildung 8.24
(rechts): Einen Lichtschacht und Hinterhof verwandelten die Architekten und Lichtplaner in einen lichtdurchfluteten Skulpturenhof.
(Quelle: Marie Louise Halpenny für Heneghan Peng Architects)*

*Abbildung 8.23
(unten): Dank der Oberlichter wird tagsüber nur sehr selten künstliche Beleuchtung benötigt. (Quelle: Marie Louise Halpenny für Heneghan Peng Architects)*



8.7 Lakeside Luzern

Ein Minergie-Hotel

Das Büro Rüssli Architekten hat den Wettbewerb für das Lakeside-Gebäude in Luzern gewonnen. Noch im Rohbau war unklar, wer Mieter und wer Käufer werden wird. Schliesslich wurde ein Hotel in eine für Verwaltungsbauten geeignete Hülle eingebaut – ein Minergie-Hotel! Die Ansprüche waren also sehr hoch, und das zu einer Zeit, in der noch keine marktfähigen LED-Komponenten verfügbar waren. Tatsächlich waren Kritiken zu hören, dass mit den strengen energetischen Vorgaben keine behaglichen Lichtstimmungen generiert werden könnten. Zudem waren aufgrund der HLKS-seitigen Vorinstallation für Büroflächen die energetischen Aspekte der Beleuchtung genau vordefiniert.

Das eigentliche Lichtkonzept ist eine Mischung aus raumbegrenzender Lichtführung, dekorativen Leuchten und Akzentspots mit sonnenähnlicher Ausstrahlungscharakteristik. Eine Beleuchtung, wie wir sie in der Natur vorfinden: Heller Hori-

zont mit diffusen Kontrasten durch das «Bewölkungsbild» und gerichtetem Licht der Akzentstrahler als Ersatz für die Solarstrahlung. Die Lichtstimmungen sind durch den Lichtplaner bestimmt. Doch notwendig ist eine sorgfältige Einregulierung, denn in der Beleuchtung von Räumen sind Nuancen entscheidend. Dadurch wird jeder Raum einzigartig. Beispielsweise eine Balance zwischen diffusem und gerichtetem Licht ist anzustreben. Oder: wie sieht eine Stimmung im Raum aus, wenn sich das Wetter draussen ändert? Wenn es dunkel wird? Am Tag wirkt ein Bezug von innen nach aussen, in der Nacht ist es umgekehrt. Dieselben Aufgaben stellen sich in Schulungsräumen und in Konferenzsälen. Das Prinzip wiederholt sich, die Grundzutaten sind stets ähnlich – doch die Dosierung ändert!



Abbildung 8.25:
Restaurant im
Minergie-Hotel
Lakeside.

8.8 Floyd Gebäude, JTI Headquarter Genf

Neues Wahrzeichen für Genf

Die Zentrale von Japan Tobacco Industries (JTI) steht als markantes Volumen am Ufer des Genfersees. Die Inspiration für den Entwurf dieses architektonischen Wahrzeichens von Genf fanden die Architekten von SOM London einerseits in der umgebenden Landschaft, dem See und den Alpen, andererseits beeinflussten sie die Markenwerte von JTI.

Um offene und flexible Räume zu schaffen, identifizierten sie drei räumliche Typologien: Landschaft, Gemeinschaftsräume und Büros. Für das Lichtkonzept von Bartenbach Lighting Design war die Unterscheidung dieser Raumtypologien wichtig. Neben dem Kunstlicht spielte auch das Ta-

geslicht eine grosse Rolle: Wesentliche Themen waren die optimale Versorgung des transparenten Baus mit Tageslicht und die Vermeidung von Blendung und Erwärmung. Genauso wichtig war es, die Transparenz von innen nach aussen zu gewährleisten, um die Blicke auf den See entsprechend zu inszenieren. Bei der Fassade, die aus versetzten gläsernen Dreiecken besteht, war neben Entblendung und Sonnenschutz essenziell, das Sonnenlicht mit möglichst unverfälschten Spektren in den Innenraum zu bringen. Die vierschichtigen Gläser und die Fassadestruktur aus den versetzten Dreiecken und den entsprechenden Stützen machten umfangreiche Berechnungen und Modellstudien notwendig. Im Innenraum reflektieren glänzende Materialien an der Decke und helle Böden das Tageslicht und bringen es

*Abbildung 8.26:
Transparenz zeichnet den markanten Neubau von JTI in Genf aus. (Quelle: Hufton and Crow)*



in die Tiefe des Raums, ohne zu blenden. Innenliegende, variable Screens dienen als Sonnen- und Blendschutz.

Im Inneren des Gebäudes verbindet eine so genannte «durchgehende Landschaft» die unterschiedlichen Räume. Neben den Grossraumbüros sind dies 66 Tagungsräume, 31 gemeinschaftliche Arbeitsbereiche und 23 Kaffeetheken sowie ein Auditorium, ein Fitnesscenter und ein Restaurant. Diese durchgängige Route wird von Kunstinstallationen begleitet und mit warmweissem Licht (2700 bis 3000 Kelvin) als Leitsystem beleuchtet. In den Grossraumbüros sind die Aurilux-Lichtsysteme jeweils in die Schattenfugen zwischen den Aluminiumpaneelen integriert. Durch einen 1,2 cm breiten Schlitz dringt das Licht mit 4000 Kelvin. In den Korridoren und im Restaurant finden sich Downlights. Die voluminöse Erscheinung des gesamten Gebäudes sollte nicht durch die Beleuchtung gestört werden, deshalb werden nur Wände, die quer und nicht parallel zur Fassade stehen, angestrahlt. Diese «leuchtenden Flächen» unterstützen die Wahrnehmung als Volumen.

Abbildung 8.27: Helle Materialien reflektieren das Licht in den Grossraumbüros. (Quelle: Hufton and Crow)

Aussen ist das Gebäude an den Ecken jeweils «angehoben» und so auch durchlässig. Die Gebäudeecken werden mit Lichtlinien und der hinterleuchteten, abge-

hängten Decke aus perforiertem Blech in Szene gesetzt und sind dadurch als Öffnungen für die Wegführung erkennbar. Auch in den oberen Kanten der Pflanzbeete finden sich Lichtlinien. Wie im gesamten Gebäude wird auch auf den beiden Dachterrassen die Beziehung zum See besonders betont. Die Beleuchtung befindet sich deshalb nur an der vom See abgewandten Wand.

Abbildung 8.28: In den Korridoren und Treppengebieten sind Downlights in die Decke eingelassen. (Quelle: Hufton and Crow)



8.9 Schulhaus Bläsi

Optimierung der Minergie-Beleuchtung reduziert den Strombedarf um 30 % und erreicht den SIA-Zielwert

Die Beleuchtungen in den öffentlichen Bauten der Stadt Zürich werden grundsätzlich nach dem Minergie-Standard umgesetzt – in Neubauten und Instandsetzungen. Wenn eine Zertifizierung des ganzen Gebäudes beispielsweise aufgrund von denkmalpflegerischen Vorgaben nicht machbar ist, wird die Beleuchtung, wenn möglich dennoch Minergie gerecht ausgeführt. Die Erneuerung des Schulhauses «Bläsi» ist ein gutes Beispiel hierfür.

Das aus dem Jahre 1907 stammende Gebäude wurde 2015 total erneuert. Dabei wurde auch die gesamte Beleuchtung neu geplant und ausgeführt. Die Leuchten sollten der typischen früheren Schulzimmer-Beleuchtung mit abgependelten, rundlichen Deckenleuchten ähnlich sein – aber selbstverständlich den heutigen Vorgaben an Beleuchtungsstärke, Lichtverteilung und Entblendung entsprechen.

Energetische Vorgabe war der Minergie-Standard für Beleuchtung – aber nicht nur auf dem Papier. Eine saubere Inbetriebnahme von Leuchten und Sensorik sowie eine anschliessende Messung des Energieverbrauchs waren fester Teil der Beleuchtungserneuerung.

Erstellung des Energienachweises

Der Energienachweis wurde bereits in einer frühen Planungsphase erstellt. Im Verlaufe von Planung und Ausführung wurde er aktualisiert und schliesslich auch nach der Inbetriebnahme auf den tatsächlichen Stand der effektiv realisierten Anlage gebracht. Dieses Vorgehen der mehrfachen Aktualisierung des Energienachweises ist sinnvoll, wenn man eine maximale Optimierung der Beleuchtungsanlage haben möchte – aber in der Tat nicht Standard in vielen Bauabläufen. Der im letzten Kapitel dargestellte Nachweis gibt die Betriebsphase des Schulhauses Bläsi wieder: Die Energiekennzahl des (realisierten) Projektwertes liegt mit $6,2 \text{ kWh/m}^2$ deutlich niedriger als die Minergie-Anforderung von $13,3 \text{ kWh/m}^2$ – die konsequente Optimierung hat es möglich gemacht.

Auftraggeber

Stadt Zürich, Amt für Hochbauten

Architekten

Horisberger Wagen Architekten GmbH

Elektroplaner

Walter Salm, Meier & Partner AG

Messungen

elicht GmbH



Abbildung 8.29: Aussenansicht des erneuerten Schulhauses Bläsi in Zürich-Höngg.

Inbetriebnahme der Leuchten mit optimierter Beleuchtungsstärke

Das Gebäude ist zu einem grossen Teil mit Pendelleuchten (Typ Arno) der Firma Licht+Raum ausgerüstet. Mit einer elektrischen Leistung von 53 Watt und einem Lichtstrom von 6800 Lumen erreicht diese eine Leuchtenlichtausbeute von 123 lm/W. Da die Positionierung der einzelnen Leuchten architektonischen und lichttechnischen Gegebenheiten Rechnung tragen muss, ergeben sich je nach Raum stark unterschiedliche Beleuchtungsstärken. Da nun aber die Leuchten mit dimmbaren Vorschaltgeräten ausgerüstet wurden, konnte bei der Inbetriebnahme jede Leuchte individuell eingestellt werden, so dass die notwendige – aber keine erhöhte – Beleuchtungsstärke entsprechend der Nutzung (Schulzimmer, Korridor, Lehrerzimmer, Mehrzweckraum) erreicht wird. Mit dieser Einjustierung der Leuchten auf die effektiv notwendige Beleuchtungsstärke konnte die installierte Leistung von 16,8 kW auf 10,9 kW gesenkt werden, was einer Energieeinsparung von 35 % entspricht.

Inbetriebnahme der Sensoren mit verkürzten Ausschaltverzögerungen

Im ganzen Gebäude sind kombinierte Tageslicht-Präsenzmelder installiert. In den Verkehrszonen (Korridore, WC, Nebenräume) sind diese vollautomatisch eingestellt, d.h. das Licht löscht bei genügend Tageslicht bzw. Absenz von Personen automatisch ab – und schaltet sich bei zu wenig Tageslicht und Anwesenheit von Personen von selber wieder ein. In den Schulzimmern ist die Beleuchtung halbautomatisch; d.h. nur die Abschaltung erfolgt mit der Regelung – die Einschaltung muss manuell vorgenommen werden. Wesentlicher Effizienzfaktor ist die Abschaltverzögerung beim Wegfall der Personenpräsenz oder bei genügend Tageslicht. Während diese Verzögerungszeit in den meisten Gebäuden auf 15 Minuten eingestellt ist, wurde sie im Schulhaus Bläsi auf 5 Minuten reduziert. Der Einspareffekt beträgt rund 20 %. Würde auf 2 Minuten reduziert, lägen nochmals 20 % drin!



Abbildung 8.30:
Innenansicht eines
Schulzimmers mit
Pendelleuchten
«Arno».

Fazit Optimierung

Durch die Justierung der Leuchten auf die richtige Beleuchtungsstärke und die Einstellung der Lichtsensoren mit verkürzter Ausschaltverzögerung reduziert sich der Energieverbrauch für Beleuchtung um über 50 % – konkret im Schulhaus Bläsi von 13,3 kWh/m² auf 6,2 kWh/m². Die Messung soll belegen, ob die Berechnung auch in der Praxis realisiert werden kann!

Messungen des realen Energieverbrauchs – kein Performance Gap!

Damit die Berechnungen und Optimierungen des Energiebedarfs auf ihren echten Energieverbrauch hin überprüft werden können, wurde ein separater Energiezähler für die Beleuchtung installiert. Da die Stromnetze in Gebäuden in der Regel nicht nach Verbrauchergruppen aufgeteilt werden, bedeutete die separate Führung der Stromleitungen für die Beleuchtung im

Schulhaus Bläsi einen installationstechnischen Mehraufwand.

Während eines ganzen Jahres wurde der Energieverbrauch für die Beleuchtung kontinuierlich aufgezeichnet; im 5-Minuten-Takt abgespeichert ergaben sich so rund 100 000 Messwerte, die ausgewertet und interpretiert werden mussten. In der Abbildung sind Wochenwerte dargestellt – gut ersichtlich der Energieverbrauchsrückgang während den Schulferien, ferner die saisonalen und witterungsbedingten Unterschiede.

Der Vergleich zwischen Berechnung und Messung zeigt ein erstaunliches Ergebnis: Messung und Berechnung sind über das Jahr gesehen praktisch identisch – es gibt keinen Performance Gap. Mit dieser Genauigkeit ist das sicher ein Zufall – dennoch darf wohl die Aussage gewagt werden, dass das Rechenmodell der Norm SIA 387/4 eine gute Genauigkeit erreicht und für Minergie und den gesetzlichen Vollzug tauglich ist.

Tabelle 8.1: Vergleich Messung – Berechnung

		Messwert	Rechenwert
Energieverbrauch	MWh/a	10,2	10,1
	kWh/m ²	3,9	3,9
Installierte Leistung	kW	8,4	10,9
	W/m ²	3,2	4,2
Volllaststunden	h/a	1220	922
Beleuchtete Fläche	m ²	2597	2597

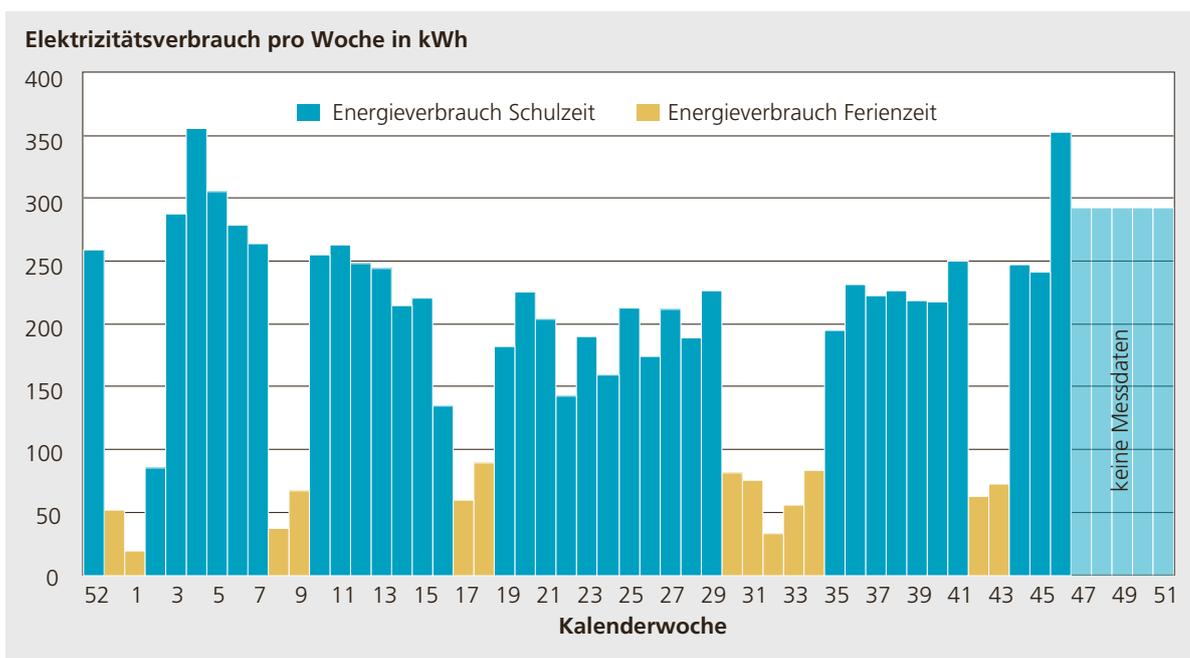


Abbildung 8.31: Messung des Elektrizitätsverbrauchs für Beleuchtung im Schulhaus Bläsi.

8.10 Bürohaus Altstätten

Standort, Bauherrschaft und Architektur

Göldinpartner Architekten AG
9450 Altstätten

Elektroplaner

Projekt AG
9435 Heerbrugg

Beleuchtung

Zumtobel Licht AG
8050 Zürich

Variable Beleuchtung und optimierte Tageslichtsteuerung

Das 4-stöckige Bürohaus der Göldinpartner Architekten wurde 2017 fertiggestellt und liegt direkt am Bahnhof von Altstätten (St. Gallen). Es ist 32 Meter lang und – gegeben durch die Lage zwischen Geleisen und Strasse – lediglich 6 Meter breit. Im Erdgeschoss befindet sich der Empfang und das Treppenhaus zu den Büros, sonst ist der Raum offen und wird als Parkplatz genutzt. Im ersten und zweiten Stock arbeiten die Architekten. Im kleinen Aufbau im dritten Stock befindet sich ein grosszügiger Aufenthaltsraum mit Terrasse und Ausblick auf die Berge des Appenzellerlandes.

Das Gebäude ist in Sichtbeton gebaut, der auch den Innenräumen seinen Charakter gibt. Für das Beleuchtungskonzept war das eine Herausforderung, denn Sichtbeton absorbiert relativ viel Licht, zumal keine Einbauleuchten vom Konzept her vorgesehen waren. Die gewählte Lichtlösung ist eine Mischung aus Pendelleuchten über den Arbeitsplätzen sowie präzise positionierte Aufbau-Strahler, welche die Wände und Exponate beleuchten. Die Pendelleuchten mit ihrem direkt-indirekten Lichtanteil besitzen sämtliche Eigenschaften einer hervorragenden Arbeitsplatzleuchte und vermeiden zudem Höhleneffekte, wie sie eine rein direkt-strahlende Leuchte erzeugt hätte. Die Strahler

sind für die vertikalen Flächen zuständig, die die recht schmalen Räume breiter und grosszügiger erscheinen lassen.

Um den verschiedensten Arbeitssituationen gerecht zu werden, können die modular aufgebauten Pendelleuchten individuell angesteuert werden (Abbildung 8.35). Die Leuchten sowie Jalousien sind zusätzlich in eine tageslichtabhängige Lichtsteuerung eingebettet, die mit Hilfe generierter Daten, über einen Tageslichtmesskopf ausserhalb des Gebäudes, für eine immer gleichbleibende Beleuchtungssituation sorgen kann. Unter Mitwirkung des Lichtmanagementsystems Litecom infinity wurde somit eine energieeffiziente Lichtlösung ermöglicht bei höchstem Nutzerkomfort.

Die Energiebilanz nach SIA 387/4 zeigt, dass der Minergie-Standard für Beleuchtung mit dem Wert von 9,8 kWh/m² mehr

Abbildung 8.33: Büro Lichtkonzept: Pendelleuchten/ Aufbaustrahler. (Bild Zumtobel)



Abbildung 8.32: Gebäudearchitektur, geprägt durch Lage zwischen Bahngleisen und Strasse. (Bild: Zumtobel)



als erfüllt wurde und damit sogar unter der strengeren Anforderung des Bundesförderprogrammes «ProKilowatt» liegt (Tabelle 8.2).

Eingesetzte Leuchten

- Pendelleuchte Sequence infinity, 105 W/ 9650 lm (Minergie-Leuchte)
- Strahler Arcos xpert, 30 W/2000 lm
- Lichtbandsystem Tecton basic, 36 W 6200 lm (Minergie-Leuchte)

Abbildung 8.34: Variable Steuerung des Direkt- und Indirekt-Lichts.

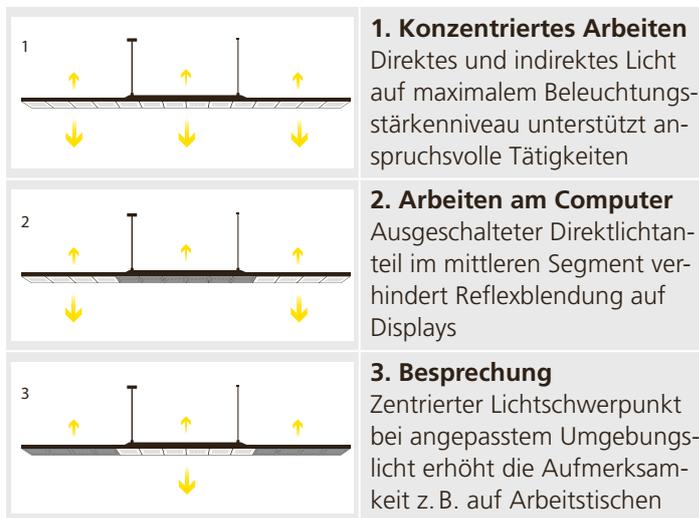
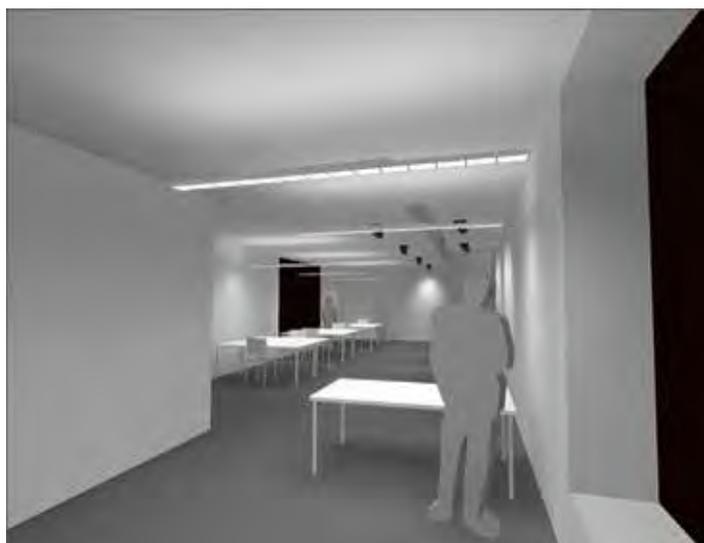


Abbildung 8.35: Beleuchtungssimulation Büro. (Bild: erzeugt mit Software Dialux)



Raum	Fläche	Standardnutzung	Objektwert in kWh/m ²	Anforderungen in kWh/m ²			
				SIA-Grenzwert	Minergie	Pro-Kilowatt	SIA-Zielwert
Planung	156 m ²	Grossraumbüro	10,9	19,0	13,1	11,1	7,1
Besprechung	22 m ²	Sitzungszimmer	2,2	9,4	5,5	4,2	1,6
Empfang	38 m ²	Empfang	6,2	9,6	5,9	4,7	2,2
Bibliothek	16 m ²	Bibliothek	12,1	11,8	8,6	7,5	5,4
Archiv	35 m ²	Spezialnutzung	12,7	27,4	18,2	15,1	8,9
Gesamtergebnis	267 m ²		9,8	17,5	11,8	9,9	6,1

Grün: die Anforderungen sind erfüllt

Rot: die Anforderungen sind nicht erfüllt.

Es gilt das Gesamtergebnis. Raumgruppen mit weniger effizienter Beleuchtung werden in Relation zu Räumen mit optimaler Effizienz gesetzt.

Tabelle 8.2: Energiebilanz nach SIA 387/4.

8.11 Bürohaus Pully

Objekt

Immeuble administratif «Pallin»
1009 Pully

Bauherrschaft

Chappuis et
Delarive SA
1009 Pully

Architekt

CCHE Architecture
et Design SA
1000 Lausanne 16

Beleuchtung (Einheit der Bauherrschaft)

Régent Appareils
d'éclairage SA
1052 Le Mont-sur-
Lausanne

Neues Lichtkonzept für die Bürobeleuchtung

Für die Realisierung einer Bürobeleuchtung bieten sich grundsätzlich zwei Konzepte an – beide haben ihre Vor- und Nachteile:

- Stehleuchten
- Deckenleuchten

Die Variante Stehleuchte hat den Vorteil der flexiblen Einrichtung des Büros. Unabhängig davon, wo die Pulte stehen, die Beleuchtung kommt mit und die optimale Ausleuchtung der Arbeitsplätze ist sichergestellt. Es müssen keine Leitungen und Anschlüsse an der Decke installiert werden. Nachteile der Stehleuchten sind die «Verständigung» des Raumes, was vor allem bei Einzelplatzlösungen störend sein kann. Die Kabelzuführungen am Boden können unerwünschte Behinderungen darstellen.

Mit Deckenleuchten kann leicht eine regelmässige Ausleuchtung des Raumes erreicht werden. Keine Kabel oder Ständer beeinträchtigen das Bild und die Bewegung im Raum. Die Installation ist aufwän-

diger als bei Stehleuchten. Nachteilig kann sein, dass durch Möblierung oder eine unregelmässige Decke (z. B. mit heruntergehängten Elementen wie z. B. Schallschutz oder Lüftungskanäle) die Lichtverteilung beeinträchtigt werden kann und einzelne Arbeitsplätze unter Umständen zu wenig Licht erhalten. Zusätzliche Tischleuchten müssen dann die Grundbeleuchtung ergänzen.

Als dritte neue Variante bietet die Firma Regent nun eine Up-Light-Leuchte an. Die Blumenvasenförmige Leuchte wird auf den Bürotisch gestellt und das Licht wird senkrecht nach oben an die Decke gewor-

Abbildung 8.37:
Büro mit den
Stream Uplight-
Leuchten.
(Bild: Regent)



Abbildung 8.36:
Aussenansicht des
Bürohauses Pallin in
Pully. (Bild: Regent)

fen und von dort auf den Bürotisch und in den restlichen Raum reflektiert. Es ergeben sich zwei Vorteile gegenüber einer Stehleuchten-Lösung:

■ Keine Ständer und Sockel im Raum, die den Weg versperren und das Raumbild stören.

■ Und noch wichtiger: Der zugehörige Lichtsensor wird wie eine Computermaus direkt an der Leuchte eingesteckt. Damit ist vor allem die Lichtmessung für Tageslicht am richtigen Ort, nämlich auf der Tischoberfläche. Die üblichen Deckenlichtsensoren messen nämlich die Tageslichtsituation in vielen Fällen falsch, denn sie sehen nur

die Reflexion des Tageslichtes – und diese kann je nach Helligkeit der Möbel ganz unterschiedlich sein und falsche Tageslichtinformationen an die Lichtregulierung liefern.

Das total 3483 m² grosse Bürogebäude «Pallin» in Pully hat 5 Stockwerke und teilt sich in zwei Baukörper bzw. neun Gebäudeeinheiten auf. Im Frühling 2019 wurde das Gebäude nach Minergie zertifiziert.

In einer der neuen Gebäudeeinheiten realisierte die Bauherrschaft «Chappuis et Delarive SA» die Beleuchtungsvariante mit den Uplight-Leuchten «Stream» der Firma Regent. Insgesamt 18 Leuchten beleuchten eine Bürofläche von rund 320 m². Die Leuchten sind präsenz- und tageslichtabhängig reguliert. Da die Büros eine sehr hohe Tageslichtnutzung ausweisen, ist der Energiebedarf für die Beleuchtung relativ klein und erreicht die Minergie-Anforderung problemlos. Die Planung der Beleuchtung wurde mit der Software Relux Desktop durchgeführt; die Simulation zeigt eine sehr gleichmässige Lichtverteilung auf den Arbeitsplätzen bei einer mittleren Beleuchtungsstärke von 556 Lux (Wartungsfaktor: 0,8).

Kenndaten Beleuchtung	
Beleuchtungsstärke (Em) Arbeitsplätze	560 Lux (min. 410 Lux, max. 650 Lux)
Beleuchtungsstärke (Em) Raum	390 Lux
Installierte Leistung	7,96 W/m ²
Volllaststundenzahl (nach SIA 387/4)	423 h/a
Spezifischer Energiebedarf	3,4 kWh/m ²
Anforderung Minergie	10,2 kWh/m ²
Grenzwert SIA 387/4	17,3 kWh/m ²
Zielwert SIA 387/4	3,0 kWh/m ²
Leuchtentyp	Uplight «Stream» von Regent
Leistung	143 Watt
Gesamtlichtstrom	17 000 Lumen
Effizienz	119 lm/W
Minergie-Nr.	VD-2121 (April 2019)

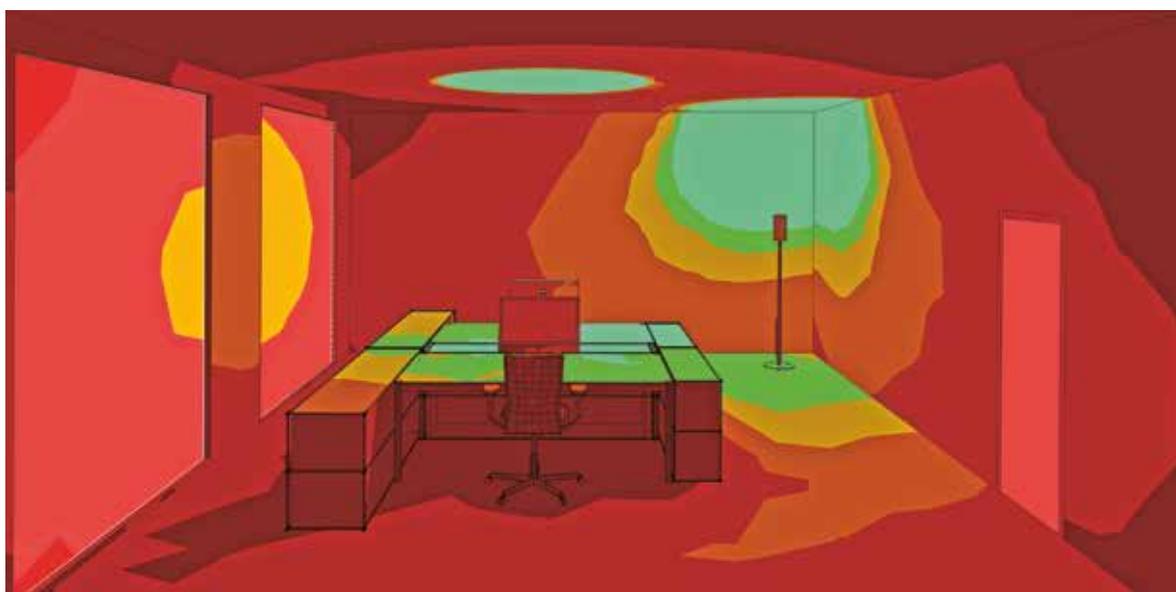


Abbildung 8.38: Beleuchtungssimulation Büro. (Bild: erzeugt mit Software Relux Desktop)

8.12 Geschäftshaus Quadrolith

Objekt Intelligente Leuchten vereinen

Geschäftshaus
Quadrolith
6340 Baar

Bauherrschaft

Alfred Müller AG
6340 Baar

Architektur

Axess Architekten
6300 Zug

Licht- & Elektro- planung

Thomas Lüem
Partner AG
6340 Baar

Beleuchtung (intelligente Leuchten)

Swisslux AG
8618 Oetwil
am See

Leuchte, Sensoren und Lichtmanagement
Goldfarbene, vertikale Metallbänder strukturieren die Fassade der beiden repräsentativen Geschäftsgebäude Quadrolith in Baar im Kanton Zug. Die U-förmigen Bauten bieten auf sechs Geschossen und 27 000 m² Geschäftsfläche Platz für insgesamt 1000 Arbeitsplätze. Die geringe Gebäudetiefe von knapp 20 m und die raumhohen Fenster gewährleisten eine grosse Raumeffizienz und hervorragende Lichtverhältnisse.

Die Bauherrin Alfred Müller AG bietet mit Quadrolith flexibel nutzbare Mietflächen für moderne Bürokonzepte an einem sehr fragten Standort. Für das Baarer Immobilienunternehmen ein Erfolgsprodukt: Kurz vor der Fertigstellung der ersten Etappe hat sie bereits alle Flächen im hochwertigen und prominent gelegenen Neubau vermietet.

Die Bauherrin erwartete auch bezüglich der Beleuchtung Effizienz und Flexibilität. Deshalb hat der Planer entschieden, in allen allgemein zugänglichen Verkehrszo-

nen intelligente Leuchten einzusetzen. Jede Leuchte ist mit einem eigenen Sensor ausgerüstet, der die Bewegung von Personen im Raum erfasst. Die Leuchten sind untereinander via Funk oder Draht vernetzt. Dadurch kann nicht nur die Leuchte an der jeweiligen Position einer Person automatisch aktiviert, sondern auch die Gehrichtung der Person erkannt werden. Die im Eingangsbereich installierten grossformatigen runden Einbauleuchten werden beim Durchschreiten «vorausgehend» eingeschaltet, so dass das Licht den Weg in Richtung Treppenhäuser und Aufzüge weist.

Das eingesetzte Beleuchtungssystem Trivalite der Firma Swisslux enthält verschiedene Lichtsteuerprogramme, welche die Mieter per Smartphone-App jederzeit auf ihre individuellen Bedürfnisse anpassen können. Dank Schwarmintelligenz läuft das Licht über mehrere Leuchten mit, wenn jemand durch den Korridor, das Treppenhaus oder den Eingangsbereich geht und erlischt, wenn es nicht mehr benötigt wird. Dabei schaltet die Beleuchtung nicht nur ein und aus, sondern reguliert die Helligkeit in Abhängigkeit des Umgebungslichts und nutzt auf diese Weise das vorhandene Tageslicht optimal.



Abbildung 8.39: Der goldene Quadrolith in Baar von aussen.
(Bild: Swisslux)

Das sanfte Hochfahren der Beleuchtungsstärke wird von den Nutzern zudem als sehr angenehm empfunden.

Seit dem Technologiewandel durch die LED-Leuchten wurde die Lichterzeugung gegenüber der Halogentechnik um über 400 % effizienter. LED-Leuchten sind zudem beinahe verlustfrei dimmbar und haben eine enorme Schaltfestigkeit. Dadurch rückt die auf die Anwendung adaptierte Beleuchtungssteuerung und die dadurch erzielte Energieeffizienz ins Zentrum. Beleuchtungslösungen, welche die Vorteile der LED voll ausschöpfen und für alle am Projekt Beteiligten einfach bleiben, sind bis heute jedoch spärlich auf dem Markt vertreten.

Hier setzt Trivalite von Swisslux an: Das Resultat ist eine intelligente, auf das Wesentliche reduzierte Leuchte mit integriertem Lichtmanagement, die einzeln oder mit mehreren Leuchten im Schwarm funktioniert. Die Komplettlösung reduziert den Planungsaufwand auf ein Minimum und der Architekt kann die Gestaltung der Gebäudestruktur geradlinig und ohne externe störende Schnittstellen wie Taster, Schalter oder Sensoren umsetzen. Die Installation und Inbetriebnahme der intelligenten Leuchten ist einfach: Jede Leuchte

ist nach der Installation sofort betriebsbereit. Die Wahl des Steuerprogramms und individuelle Einstellungen erfolgen über die Smartphone-App.

Wie ein Referenzbeispiel des Hauptsitzes einer grossen Firma in Bern zeigt, konnten die Volllaststunden im Vergleich zur alten Installation mit intelligenten Leuchten, alleine durch die bedarfsgerechte Steuerung, um 60 % reduziert werden (Abbildung 8.40).

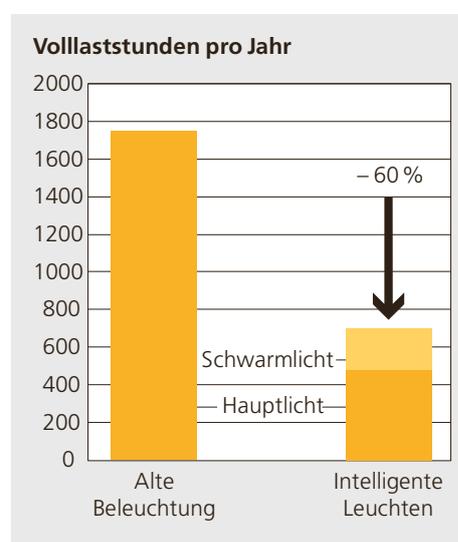


Abbildung 8.40: Energiebilanz mit und ohne intelligente Leuchten.



Abbildung 8.41: Die intelligenten Leuchten erhöhen das Sicherheitsempfinden. Dank Schwarmverhalten läuft das Licht über mehrere Leuchten mit. (Bild: Swisslux)

Anhang

9.1 Autoren

Stefan Gasser, dipl. Elektroingenieur ETH, bis 1996 Bereichsleiter für rationelle Stromnutzung bei der Amstein+Walthert AG, seit 1996 selbstständiger Energieberater und Leiter von Forschungs-, Entwicklungs- und Umsetzungsprojekten für den effizienten Stromeinsatz in Beleuchtungen für diverse Auftraggeber (Bundesamt für Energie, Stadt Zürich, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Minergie, ProKilowatt, Coop, diverse Banken, weitere). Mitglied der SIA-Kommission SIA 387 (Elektrizität in Gebäuden) und Autor der Norm SIA 387/4 (Beleuchtung).



Daniel Tschudy, dipl. Architekt ETH, Nachdiplomstudium Lichttechnik an der Technischen Universität Ilmenau, 1996, MBA University of Southern Queensland (2010), Partner und Mitglied der Geschäftsleitung der Amstein+Walthert AG, später Reflexion AG. Director Consulting bei Bartenbach Lighting Design. Zahlreiche Projekte für Lichtgestaltung in Bauten und Anlagen sowie für Normierung und Energieeffizienz, Vorstandsmitglied der SLG und Delegierter bei CEN. Seit 2019 Geschäftsführer der Schweizerischen Lichtgesellschaft (SLG).



Einige Beiträge stammen von **Gabriel Baltenweiler**, Designer und Hersteller von hochwertigen Leuchten im gleichnamigen Familienunternehmen, seit 1951 in Ebikon bei Luzern.

9.2 Weiterführende Infos

Hersteller von Leuchten, Lampen und Betriebsgeräten (Auswahl)	
Website	Beschreibung
zumtobel.ch	Die österreichische Firma ist seit 1966 in der Schweiz tätig und heute Marktführerin.
regent.ch	Grosser Schweizer Anbieter für Leuchten und Beleuchtung.
tulux.ch	Traditionelle Schweizer Firma für Leuchten im professionellen Bereich, seit 1948.
baltensweiler.ch	Das seit 60 Jahren tätige Schweizer Familienunternehmen ist spezialisiert auf effiziente Leuchten für hohe Designansprüche.
belux.ch	Ebenfalls eine Schweizer Leuchtenfirma mit Designerleuchten für Wohn- und Geschäftsräume.
ribag.com	Schweizer Leuchtenfirma mit grossem Angebot an Officeleuchten.
lighting.philips.ch	Das Schweizer Internetportal des holländischen Lampen- und Leuchtenhersteller.
osram.ch	Der ehemalige Lampengigant hat sich auf das Geschäft mit Autolampen, LED-Module, Betriebsgeräte, Regelungen und Leuchten zurückgezogen.
ledvance.ch	Der chinesische Anbieter hat das Lampengeschäft von Osram übernommen und darf das Label «Osram» für eine bestimmte Zeit verwenden.
ledcity.ch	Anbieter von qualitativ hochwertigen LED-Ersatzröhren (LED-Tubes) mit integrierten Sensoren für sehr kurze Nachlaufzeiten.
tridonic.com	Hersteller von Betriebs- und Steuergeräten für Entladungslampen und LED.
Sensoren und intelligente Leuchten (Auswahl)	
swisslux.ch	Anbieter von Präsenz- und Bewegungsmeldern der Firma BEG-Luxomat und eigen entwickelten intelligenten Leuchten (www.trivalite.ch)
steinel.de	Hersteller von Präsenz- und Bewegungsmeldern nach verschiedenen Technologien (PIR, HF, Ultraschall, Kamerasensoren) und Sensorleuchten
nevalux.swiss	Vertriebspartner von Steinel in der Schweiz und Berater für Sensoren und intelligente Leuchten
theben-hts.ch	Anbieter von Präsenz- und Bewegungsmeldern
sensnorm.ch	Vereinigung der Sensoranbieter
knx.ch	Der weltweite Standard KNX für die Gewerke übergreifende Steuerung von Heizung, Beleuchtung, Jalousien, Belüftung, Multimedia und Sicherheitstechnik.
Messen und Simulieren	
Website	Beschreibung
metas.ch	Das professionelle Schweizer Messlabor für Lampen und Leuchten. Detaillink: metas.ch/metasweb/Fachbereiche/Optik_und_Faseroptik/Lichtmesslabor
relux.com	Gebührenfreie Software (Relux-Desktop) zur Simulation von Beleuchtungsanlagen mit riesiger Leuchtendatenbank. Integration des Beleuchtungsnachweises SIA 387/4 über Plug-In.
dialux.de	Die europäische Konkurrenz zur Schweizer Firma Relux bietet ebenfalls eine gebührenfreie Software zur Simulation von Beleuchtungsanlagen.
jeti.com	Hersteller von Messgeräten für spektrale Farbmessungen von Lichtquellen.
technoteam.de	Messgerätehersteller für professionelle Lichtmesstechnik.
konicaminolta.ch	Die beste Wahl für Beleuchtungsstärkemessgeräte (Luxmeter) sowie Leuchtdichtemessgeräte.
smart-instruments.ch	Die Firma Lucet in Bern bietet kompakte Spektrometer an, die via Smartphone-App bedient und ausgelesen werden können.
lighttool.ch	Kostenloses Onlinetool zur Erstellung der Energiebilanz für Beleuchtung nach SIA 387/4 und Minergie.

Verbände und Organisationen (Auswahl)	
Website	Beschreibung
fvb.ch	Der Fachverband der Beleuchtungsindustrie wird von massgebenden Herstellern von technischen Leuchten, Komponenten und Lichtquellen getragen.
slg.ch	Schweizer Licht Gesellschaft: Verein mit rund 400 Mitgliedern. Bietet umfassende Weiterbildungsangebote und schafft Richtlinien für diverse Lichtenwendungen.
sia.ch	Der Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein erarbeitet Normen und Standards für Bauten und Anlagen, u. a. die SIA 387/4, elektrische Energie in Gebäuden – Beleuchtung.
minergie.ch	Minergie ist ein Qualitätslabel für energieeffiziente Gebäude. Die Marke wird von der Wirtschaft, den Kantonen und dem Bund gemeinsam getragen.
litg.de	Deutsche Lichttechnische Gesellschaft.
cie.co.at	Internationale Beleuchtungskommission CIE mit Sitz in Wien. Übergeordnete Organisation der Lichtgesellschaften in den beteiligten Ländern.
cenelec.eu	Europäisches Komitee für die Normung im elektrotechnischen Bereich.
zvei.org	Deutscher Zentralverband der Elektrotechnik- und Elektronikindustrie.
zhagastandard.org	Zhaga erarbeitet Standard-Spezifikationen von LED-Komponenten.
Informationsplattformen	
Website	Beschreibung
toplicht.ch	Informationsplattform für effiziente Beleuchtung mit zahlreichen Dokumenten zum Downloaden und einer Liste aller nach Minergie zertifizierten Leuchten für Dienstleistungs- und Industriebauten. Eine Webseite der Schweizerischen Agentur für Energieeffizienz S.A.F.E.
lightbank.ch	Plattform für Förderprogramme im Bereich Beleuchtung von Prokilowatt (www.prokw.ch).
effeled.ch	Nationales Förderprogramm für effiziente Beleuchtung in grösseren Zweckbauten (ab 2000 m ²).
senso70.ch	Nationales Förderprogramm für effiziente Beleuchtung in kleineren Zweckbauten (bis 2000 m ²).
salvaluce.ch	Nationales Förderprogramm für effiziente Beleuchtung in Wohnhäusern (ab 2000 m ²).
faktor.ch	Informationen zum nachhaltigen Bauen, Verlagsprodukte.
darksky.ch	Organisation, die sich für die Reduktion der Lichtverschmutzung einsetzt. Mitglied der «International Dark-Sky Association» (IDA).
on-light.de	Deutsche Internetplattform mit Adressportal und Informationen zum Thema «Licht im Netz».
lichtnet.de	Internetseite der Fachzeitschrift «Licht» – der grössten Lichtzeitschrift im deutschsprachigen Raum.

9.3 Schlagwortverzeichnis

A

Abstrahlcharakteristik 93
Abstrahlwinkel 19, 20, 30
Anlaufzeit 31
Assoziation 7

B

Balkontiefe 43
Bedarfsgerechte Steuerung 181
Beleuchtungs-Check 53
Beleuchtungsplanung 123
Beleuchtungsstärke 21, 35, 37, 46
Beleuchtungsstärke messen 55
Beleuchtungsstärkeverteilung 163
Beleuchtungssteuerung 181
Berechnung des Energiebedarfs 44
Betriebsoptimierung 140
Bewegungsmelder 105
Bewertung des Energiebedarfs 45
Biologische Wirkung 8
Black-Body-Kurve 78
Blaulicht 15, 16, 88
Blendziffer 35

C

Candela 19
CCD-Bildsensor 114
CIE-Normfarbsystem 77
CRI – Color Rendering Index 78

D

Dachsensoren 112
DALI 104
Deklarationspflicht 30
Designerleuchten 92
Drehspiegel-Fotogoniometer 96

E

Effizienzklassen 27
Einzelanforderungen 34
Elektromagnetische Strahlung 6
Elektronisches Vorschaltgerät EVG 66
Elektrosmog 87
EN 12464 34, 55, 130, 133
EN 15193 33, 41, 133
Energiebezugsfläche 34
Energieeffizienz 11, 71
Energieetikette 27

Energie- und Leistungsmessgerät 119
Energy Saver 31
EN ISO/IEC 17025 98
Entladungslampen 66
EPBD – EU-Gebäuderichtlinie 33
Eulum-Datei 97

F

Farbdreieck 77
Farbkonsistenz 32
Farbmodulation bei LED 74
Farbraum 77
Farbspektrum 75
Farbtemperatur 76, 77
Farbwiedergabe 31, 75
Farbwiedergabeindex 78
Fenstersturz 42
Filamentlampen 84
Fotogoniometer 68
Fototoxizität 16
Fotozelle 112
Frühausfallrate 31

G

Gesamtenergiebilanz 24
Glas- zu Bodenfläche 41, 56
Grauplan 124
Grenzkurvenverfahren 130
Grenzwerte SIA 387/4 34, 45, 48

H

Halogenlampen 65
Halogenlampenverbot 29
Halogenmetalldampflampen 66
Heimleuchten 89
Hellempfindung 7
Herstellungsenergie 87
Hochfrequenzsensor (HF-Sensor) 108
Human Centric Lighting 12
Human-Sensitiv-Lighting-Konzept 129

I

Installierte Leistung 37
Intelligente Leuchten 110, 180

K

KNX-Standard 103
 Konstantlichtregelung 113
 Konventionelles Vorschaltgerät KVG 66

L

Lampenlebensdauerfaktor 30
 Lampentyp 67
 Lebensdauer von LED 73
 LED – Licht emittierende Dioden 63, 71
 Leistungsfaktor 32
 Leuchtdichte 22
 Leuchten-Effizienz-Faktor LEF 98
 Leuchtersatz 141
 Leuchtstofflampen 65, 161
 LFO-Technik 79
 Lichtausbeute 38, 67
 Lichtbänder 118
 Lichtführung 124
 Lichtlenkung 79
 Lichtmanagementsystem 104, 114
 Lichtnorm SN EN 12464-1 130
 Lichtpunkthöhe 35
 Lichtregulierung 43, 57, 141
 Lichtstärke 19, 97
 Lichtstrom 20, 35, 67
 Lichtstromerhalt 31
 Licht-Vereinbarung von Davos 145
 Lichtverschmutzung 147
 Lichtverteilungskurve LVK 93
 Lichtverteilung 127
 Lichtwirkung 123
 Lighttool 51, 58
 Linsensystem 79
 Look-up-Wahrnehmung 9
 Lumen 20
 Lux 21
 Luxmeter 55

M

Marktstatistik 25
 Maxwell 6
 Messlabors 102
 Metalle der Seltenen Erden 72
 Metas 102
 Minergie-Beleuchtung 50
 Minergie-Kennzahl 49
 Minergie-Leuchten 98, 128

Minergie-Modul 127

Minergie-Standard 49

N

Nachlaufzeit 43, 57, 106, 110, 143
 Nahfeld-Fotogoniometer 96
 Neonröhre 66
 Neue Tageslichtnorm EN 17037 134
 Nichtvisuelle Effekte 11
 Nobelpreis 71
 Norm EN 15193 41
 Norm SIA 387/4 33
 Normung 41, 97, 98, 125

O

Oberlichter 42
 OLED 72, 88
 Optimierung 125
 Optischer Sensor (Kamera) 109

P

PAL-Technik 74
 Passiv-Infrarot-Sensor (PIR) 105
 Photopisches Maximum 11
 Planungsfaktor 37
 Präsenzmelder 57
 Präsenzsensoren 105
 Professionelle Leuchten 89
 Projektwerte 34
 ProKilowatt 50

R

Raumhelligkeit 39
 Raumindex 35
 Raumreflexion 43
 Raumwirkung 123
 Raumwirkungsgrad 38
 Reflexionsgrad 39
 ReluxEnergy 52
 Retrofit 140

S

Schaltzyklen 31
 Schlaf-Wach-Rhythmus 12
 Schutz vor Blendung 137
 Sehaufgabe 161
 Sehen 7
 Sehvermögen 9

Seltene Erden 72
SIA 108 125
SIA 2024 125
Signalübertragung 103
Sockeltypen 140
Söllner-Diagramm 130
Sonnenlichtexposition 136
Sonnenschutz 43, 56
Sparlampen 66
Sparpotenzial 24, 43, 53, 58, 107, 121
Stäbchen 8
Standardnutzungen 45
Systemanforderung 34
Systemleistung 67

T

Tagelichtsensor 128
Tageslichtautonomie 135
Tageslichtnutzung 55
Tageslichtquotient 135
Tageslichtverfügbarkeit 134
Teil-Energiekennzahl Beleuchtung 34
Temperaturstrahler 63
Thermomanagement 124
Toplicht 100
Transmissionsgrad 41
Treibertechnologie 82
True-Presence 108
True-White-Technik 74
Typische Räume 53

U

UGR-Verfahren 130
UGR-Wert 35
Ulbrichtkugel 68
Ultraschallsensoren (US-Sensor) 108
Unterhaltskosten 144

V

Verschattung 43
Visuelle Prozesse 8
V-Lambda-Kurve 21
Volllaststunden 35, 128

W

Wahrnehmen 7
Wahrnehmungsprozesse 8
Wartungsfaktor 37
Wellenlänge 6
Winterdepression 12
Wirtschaftlichkeit 121, 144

Z

Zapfen 8
Zertifikat 101
Zielwerte SIA 387/4 34, 45, 48
Zirkadianer Rhythmus 14
Zündzeit 31