



# Grundlagen von Licht und Beleuchtung

**PHILIPS**



## Unser Wissen für Ihren Erfolg

Dieses Buch wird von der Philips Lighting Academy (PLA) herausgegeben. Das Ziel der Philips Lighting Academy ist es, Ihnen Kenntnisse, Fähigkeiten und Hilfsmittel an die Hand zu geben, die Sie beim Umgang mit innovativen und hochwertigen Beleuchtungslösungen unterstützen.

Das Buch führt in die Grundlagen von Licht und Beleuchtung ein. Der Inhalt ist so aufgebaut, dass er auch für einen Personenkreis lesbar ist, der sich bisher mit dem Thema Licht noch nicht beschäftigt hat.

Wenn Sie jedoch lieber in Kursen die Grundlagen des Lichts vermittelt bekommen möchten, so schauen Sie doch einfach mal in unser umfangreiches Kursprogramm unter:

[www.philips.de/akademie](http://www.philips.de/akademie)

[www.philips.at/akademie](http://www.philips.at/akademie)

[www.philips.ch/akademie](http://www.philips.ch/akademie)

Hier finden Sie auch im Rahmen unserer Online-Akademie alle Online-Kurse zum Selberlernen.

Bitte bedenken Sie: Ihr Lernerfolg ist uns wichtig. Darum sind die Trainer der Philips Lighting Academy inhaltlich und didaktisch bestens geschult und richten sich gerne auch nach Ihren persönlichen Wünschen. Lassen Sie uns gemeinsam das Wissen in der Lichtbranche aufbauen. Gutes Licht kann das Leben schöner machen und zu Ihrem kommerziellen Erfolg beitragen.

Viel Spaß beim Lesen

Ihr

Dr. habil. Roland Heinz  
Philips Lighting Academy  
[akademie@philips.com](mailto:akademie@philips.com)



## Inhalt

6	<b>Vorwort – Was ist gute Beleuchtung?</b>
8	<b>Erster Teil: Licht</b>
10	1. Was ist Licht?
12	2. Verhalten
14	3. Farben
20	4. Quellen
28	5. Fotometrische Daten
30	<b>Zweiter Teil: Beleuchtung</b>
32	1. Sehen
36	2. Beleuchtungsqualität
44	3. Beleuchtungssysteme
46	4. Leuchten
48	5. Licht und Umwelt
52	<b>Anhang – Über Philips</b>





# Was ist gute Beleuchtung?

Die Beleuchtung spielt eine entscheidende Rolle hinsichtlich der Qualität unseres alltäglichen Lebens. Bei der Arbeit im Büro, in Produktionsstätten oder Logistikzentren sorgt gute Beleuchtung für zufriedene Mitarbeiter, Leistung, Komfort und Sicherheit. In Geschäften, Galerien und öffentlichen Bereichen schafft sie ein bestimmtes Ambiente und leistet sie einen Beitrag zur Betonung der architektonischen Umgebung. Daheim sorgt sie nicht nur für Licht bei unserer Hausarbeit, sondern erzeugt auch eine komfortable, einladende Atmosphäre, die das Leben in unseren Wohnungen angenehm macht.

Die Frage, was gute Beleuchtung denn nun eigentlich ausmacht, beschäftigt die Entwickler von Beleuchtungskonzepten und Anlagen seit jeher. Grundlegende Anforderungen wie Beleuchtungs-niveau, Kontrast, Lichtverteilung und Farbwiedergabe müssen für jede Situation im Allgemeinen und für die Aktivitäten, die darin stattfinden sollen, im Besonderen berücksichtigt werden.

Gute Beleuchtung geht jedoch weit über Wirtschaftlichkeit und Funktionalität hinaus. Sie soll die Räume, in denen wir leben, arbeiten oder uns aufhalten auch angenehm machen: kühl oder warm, sachlich oder ungezwungen, heiter oder erhaben oder jede nur erdenkliche Kombination von allem. In letzter Zeit wird dem emotionalen Einfluss der Beleuchtung als wichtiger atmosphäre-schaffender Faktor, der sich auf die Stimmung, das Wohlbefinden und die Gesundheit auswirkt, immer mehr Bedeutung beigemessen.

Die Kostenfrage sollte ebenfalls nicht vergessen werden. Leider gehört die Beleuchtungsanlage oft zu den letzten Posten, die berücksichtigt werden, wenn ein Etat für ein Bauprojekt aufgestellt wird, was häufig zur Folge hat, dass kostengünstigere Alternativen gewählt werden, damit die Gesamtkosten den finanziellen Rahmen nicht sprengen. Nicht selten ist das Ergebnis in einem solchen Fall schlicht inadäquat: nicht-optimale

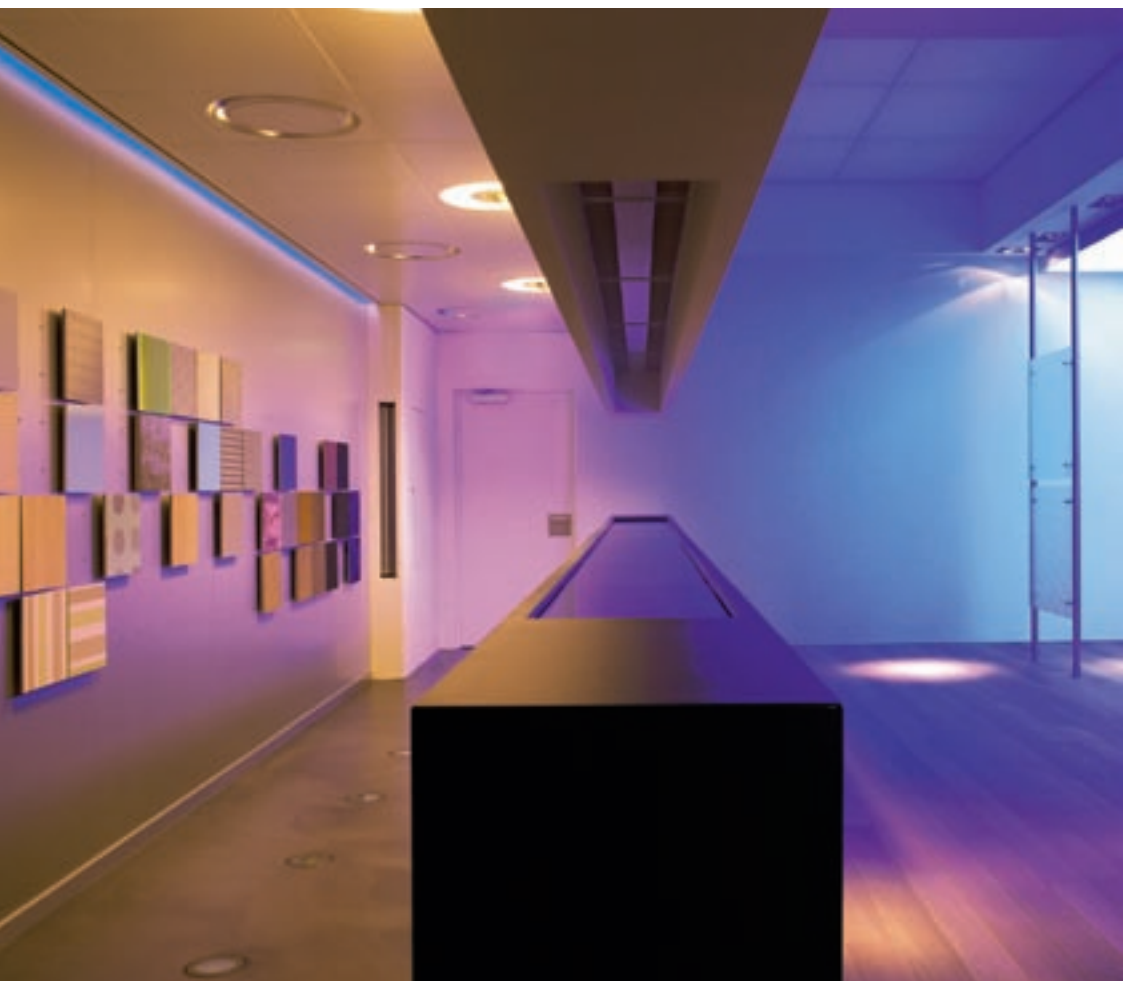
Beleuchtungsverhältnisse und verringerte Produktivität und Motivation der Mitarbeiter, die zu mehr Fehlern und Ausfällen führen oder – schlimmer noch – zu Unfällen. Eine vernünftige Erstinvestition für eine sorgfältig konzipierte Beleuchtungsanlage zahlt sich üblicherweise nicht nur in Form einer höheren Rendite aus, sondern auch in niedrigeren Gesamtbetriebskosten während der gesamten Lebensdauer.

Selbstverständlich entsteht eine gute Beleuchtung nicht von selbst. Sie erfordert die Abwägung verschiedener Faktoren und Umstände, die für jedes Projekt unterschiedlich sind. Ob es sich dabei jedoch um einen Teil eines komplett neuen Projekts oder um ein Renovierungskonzept handelt, um die besten Ergebnisse zu erzielen, ist es unbedingt erforderlich, eine derartige Anlage von Anfang an in enger Zusammenarbeit mit erfahrenen Experten für Beleuchtungsanwendungen zu planen und zu entwickeln.

Eine gute Beleuchtung ist Wissenschaft und Kunst zugleich – eine Kombination von Wissen aus den Bereichen Physik, Technik, Design, Physiologie und Psychologie. In dieser Broschüre bieten wir Ihnen einen kurzen Überblick über einige der Grundlagen. Allerdings können wir Ihnen mit dieser Broschüre nur erklären, was eine gute Beleuchtung ausmacht; wir können es Ihnen nicht zeigen. Und genau das ist der Punkt. Um den Wert einer guten Beleuchtung wirklich zu erfassen, muss man sie selbst sehen und erleben. Aus diesem Grund soll diese Broschüre Ihnen lediglich als Erinnerung an Ihre Kurse bei der Philips Lighting Academy dienen. Wir hoffen, sie wird Ihr Interesse an diesem faszinierenden Thema fördern.



**Theo van Deursen**  
President und CEO, Philips Lighting





# Erster Teil: Licht



# 1. Was ist Licht?

Licht ist eine Form von Energie, die als elektromagnetische Strahlung auftritt und eng mit anderen Arten der elektromagnetischen Strahlung wie Radiowellen, infraroter und ultravioletter Strahlung und Röntgenstrahlen verwandt ist.



Ein Regenbogen zeigt die Farbbestandteile des Tageslichts



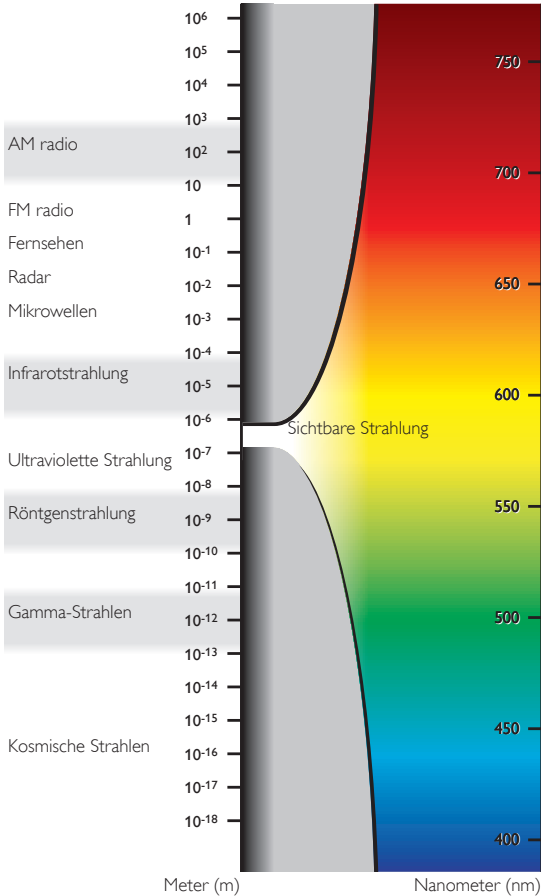
Radioteleskope sind in der Lage, elektromagnetische Wellen mit einer Wellenlänge zwischen 3 cm und 6 m zu empfangen

## Wellenlänge und Farbe

Der einzige Unterschied zwischen den jeweiligen Arten von Strahlung ist die Wellenlänge. Strahlen mit einer Wellenlänge zwischen 380 und 780 Nanometer\* stellen den sichtbaren Teil des elektromagnetischen Spektrums dar und werden somit als Licht bezeichnet. Das Auge nimmt die unterschiedlichen Wellenlängen innerhalb dieses Bereichs als Farben wahr – ein Verlauf von Rot über Orange, Grün, Blau bis hin zu violett, wobei sich die Wellenlänge entsprechend verringert. Außerhalb des roten Bereichs befindet sich der Bereich der infraroten Strahlung, die für das Auge nicht sichtbar ist, jedoch als Hitze wahrgenommen wird. Im Bereich der Wellenlängen außerhalb des violetten Bereichs des sichtbaren Spektrums bewegt sich die ultraviolette Strahlung, die für das menschliche Auge ebenfalls nicht sichtbar ist, jedoch bei Einwirkung zu Schädigungen der Augen und der Haut (wie bei einem Sonnenbrand) führen kann. Weißes Licht ist ein Gemisch aus sichtbaren Wellenlängen, was sich zum Beispiel mit Hilfe eines Prismas demonstrieren lässt, welches das weiße Licht in seine Farbbestandteile aufspaltet.

\* Ein Nanometer ist ein Millionstel Millimeter

## EM Spectrum



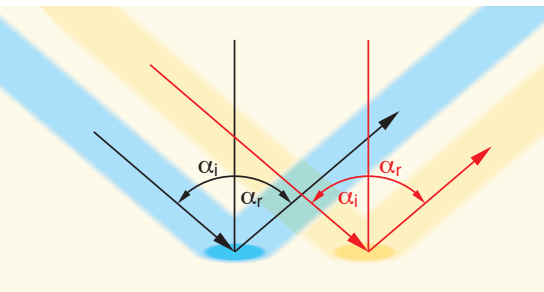
### Die Doppelnatur des Lichts

Die Definition von Licht als eine elektromagnetische Welle ist nur eine der möglichen Betrachtungsweisen von Strahlung, die einige seiner Eigenschaften, wie Brechung und Reflexion, erklärt. Andere Eigenschaften lassen sich jedoch nur mit Hilfe der Quantentheorie erklären. Diese beschreibt Licht als unteilbare Energiepakete, die als Quanten oder Photonen bezeichnet werden und sich wie Partikel verhalten. Mit Hilfe der Quantentheorie lassen sich Eigenschaften wie der fotoelektrische Effekt erklären.

# 2. Verhalten

## Reflexion

Sobald Licht auf eine Fläche trifft, gibt es drei Möglichkeiten: Es wird reflektiert, absorbiert oder durchgelassen. Häufig tritt auch eine Kombination von zwei oder sogar drei dieser Effekte auf. Die Menge an reflektiertem Licht ist von der Beschaffenheit der Oberfläche eines Körpers, dem Lichteinfallswinkel und der Spektralzusammensetzung des Lichts abhängig. Der Reflexionsgrad reicht von wenigen Prozenten bei sehr dunklen Flächen, wie z.B. schwarzem Samt, bis hin zu über 90% bei hellen Flächen wie weißer Farbe. Die Art und Weise, in der das Licht reflektiert wird, ist außerdem von der Ebenheit der Fläche abhängig. Rauhe Flächen diffundieren das Licht, indem sie es in alle Richtungen reflektieren. Hingegen reflektieren glatte Flächen wie die Oberfläche von stehendem Wasser oder poliertem Glas das Licht ohne Brechung, wobei sie wie ein Spiegel wirken. Ein Lichtstrahl, der in einem bestimmten Winkel zur Senkrechten auf eine Spiegelfläche trifft, wird im gleichen Winkel auf der anderen Seite der Senkrechten zurückgeworfen (in der gleichen Weise, wie eine Billard-kugel, die sich nicht dreht, vom Polster des Billardtisches zurückprallt). Es handelt sich dabei um das bekannte Gesetz der Reflexion, das wie folgt lautet:  
Einfallswinkel = Reflexionswinkel



Einfallswinkel = Reflexionswinkel

Spiegelnde Flächen sind besonders gut zur kontrollierten Lenkung von Lichtstrahlen geeignet. Gerundete Spiegelreflektoren werden allgemein zur Fokussierung von Licht, zur Streuung oder zur Erzeugung von parallelen oder divergierenden Lichtbündeln benutzt und unterliegen alle dem Gesetz der Reflexion.

## Absorption

Wenn die Oberfläche eines Materials nicht vollständig reflektiert oder das Material kein perfekter Überträger ist, wird ein bestimmter Lichtanteil absorbiert. Dieses Licht „verschwindet“ und wird in den meisten Fällen einfach in Wärme umgewandelt. Der Prozentsatz des Lichts, der von einer Fläche absorbiert wird (d.h. die Absorbanz) ist sowohl vom Einfallswinkel als auch von der Wellenlänge abhängig. Holz ist undurchlässig für sichtbares Licht. Bestimmte Materialien sind undurchlässig bei bestimmten Lichtfrequenzen und durchlässig bei anderen. Glas ist undurchlässig bei ultravioletter Strahlung unterhalb einer bestimmten Wellenlänge, doch transparent bei sichtbarem Licht.

## Transmission

Durchsichtige Materialien lassen einen bestimmten Teil des auf ihre Oberfläche einfallenden Lichts durch und der prozentuale Anteil des Lichts, der dabei übertragen wird, bezeichnet man als Lichtdurchlassgrad oder Transmissionsfaktor. Materialien mit einem hohen Lichtdurchlassgrad, wie klares Wasser und Glas, lassen nahezu alles Licht, das nicht reflektiert wird, durch. Materialien mit einem niedrigen Lichtdurchlassgrad, wie z.B. Papier, lassen nur einen kleinen Teil dieses Lichts durch.



Die irisierenden Farben der Schwanzfedern eines Pfauhahns werden durch Interferenzen des Lichts und nicht durch Pigmente verursacht.

### **Brechung**

Wenn ein Lichtstrahl von einem Medium in ein anderes mit einer anderen optischen Dichte einfällt (und in einem Winkel, der nicht senkrecht zur Fläche zwischen den beiden Medien verläuft), wird das Licht „gebrochen“. Dieses Phänomen wird als Brechung oder Refraktion bezeichnet und entsteht dadurch, dass sich die Geschwindigkeit des Lichts ändert, wenn es zwischen durchsichtigen Medien mit unterschiedlicher optischer Dichte hindurchgeht.

### **Interferenz**

Die wellenartige Beschaffenheit des Lichts führt auch zu dem interessanten Phänomen der Interferenz. Ein bekanntes Beispiel dafür ist ein in dünner Ölfilm auf der Wasseroberfläche einer

Pfütze. Oft zeigt der Ölfleck ein schillerndes Muster von Regenbogenfarben – sogar bei weißem Licht. Dies entsteht dadurch, dass verschiedene Teile des Ölfilms dafür sorgen, dass die jeweiligen Wellenlängen des weißen Lichts interferieren und unterschiedliche Wellenlängen (d.h. Farben) erzeugen. Abhängig von der Dicke des Ölfilms an der Stelle, an der die Interferenz auftritt, werden die unterschiedlichsten Farben erzeugt. Ähnliche Interferenzphänomene lassen sich bei Seifenblasen oder auf der Oberfläche einer CD wahrnehmen.

# 3. Farbe

Farbe ist die Art und Weise, in der wir verschiedene Wellenlängen des Lichts unterscheiden. Farben sind ein ziemlich kompliziertes Thema, da sie sowohl die Spektraleigenschaften des Lichts an sich und den spektralen Reflexionsanteil der beleuchteten Fläche als auch die Wahrnehmung des Zuschauers mit einbeziehen.

Die Farbe einer Lichtquelle ist von der spektralen Zusammensetzung des von ihr ausgestrahlten Lichts abhängig. Hingegen wird die scheinbare Farbe einer Fläche, die Licht reflektiert, durch zwei Eigenschaften bestimmt: Die spektrale Zusammensetzung des Lichts, von dem sie beleuchtet wird und die spektralen Reflexionseigenschaften der Fläche. Eine farbige Fläche erscheint farbig, weil sie Wellenformen selektiv reflektiert. Aus dem spektralen Reflexionsanteil von roter Farbe lässt sich zum Beispiel ableiten, dass diese einen hohen Anteil an roten Wellenlängen und wenige bis gar keine blauen Farbanteile aus dem Spektrum reflektiert. Ein rot lackierter Gegenstand erscheint jedoch nur dann rot, wenn das darauf einfallende Licht einen ausreichenden Anteil an roter Strahlung enthält, damit diese reflektiert werden kann. Hingegen erscheint ein solcher Gegenstand dunkel, wenn die Lichtquelle keine rote Strahlung enthält.

## Das Mischen von Licht in unterschiedlichen Farben

Wenn farbige Lichtbündel kombiniert werden, wird das Ergebnis immer heller als die einzelnen Farben sein, und wenn die richtigen Farben mit der richtigen Intensität gemischt werden, wird das Ergebnis ein weißes Licht sein. Dies wird als additive Farbmischung bezeichnet.

Die drei Grundfarben sind Rot, Grün und Blau-Violett. Sie werden als Primärfarben bezeichnet und durch die additive Mischung dieser Farben entstehen alle anderen Lichtfarben, einschließlich Weiß.

Also:

Rot + Grün = Gelb

Rot + Blau-Violett = Magenta (rötliches Lila)

Grün + Blau-Violett = Zyan (Himmelblau)

Rot + Grün + Blau-Violett = Weiß

Die Farben Gelb, Magenta und Zyan werden als Sekundär- oder Komplementärfarben bezeichnet, da sie aus Kombinationen von Primärfarben bestehen. Ein Farbfernsehgerät ist ein gutes Beispiel für additive Farbmischung, bei dem das Licht, das von dem roten, grünen und violett-blauen Phosphor auf dem Fernschirmschirm ausgestrahlt wird, kombiniert wird, um alle sichtbaren Farben sowie Weiß zu erzeugen.



Ein Farbfernsehgerät ist ein gutes Beispiel für additive Farbmischung, bei dem das Licht, das von dem roten, grünen und violett-blauen Phosphor auf dem Fernschirmschirm ausgestrahlt wird, kombiniert wird, um alle sichtbaren Farben sowie Weiß zu erzeugen.

## Subtraktive Farbmischung

Subtraktive Farbmischung tritt zum Beispiel auf, wenn Malfarben auf einer Palette gemischt werden. Das Ergebnis ist immer dunkler als die Originalfarben und wenn die richtigen Farben im richtigen Verhältnis zueinander gemischt werden, wird das Ergebnis Schwarz sein. Aus der subtraktiven Mischung von beliebigen primären Lichtfarben wird immer Schwarz entstehen, doch mit der subtraktiven Mischung sekundärer Lichtfarben lassen sich alle anderen sichtbaren Farben erzeugen.

Also:

Gelb + Magenta = Rot

Gelb + Zyan = Grün

Magenta + Zyan = Blau-Violett

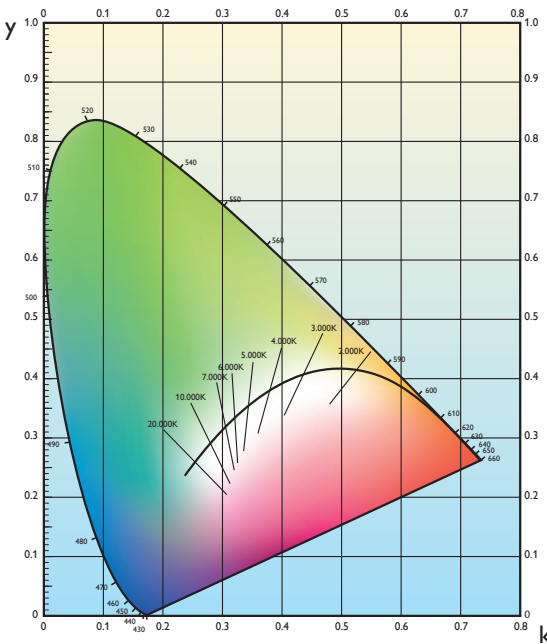
Doch: Gelb + Magenta + Zyan = Schwarz



Ein Beispiel für subtraktive Farbmischung sind etwa Druckerzeugnisse, bei denen die Sekundärfarben Gelb, Magenta und Zyan (sowie Schwarz) dazu benutzt werden, eine komplette Auswahl an Druckfarben zu erzeugen. Im Druckgewerbe werden daher Magenta, Gelb und Zyan als Primärfarben bezeichnet.

## CIE chromaticity diagram

Eine graphische Darstellung der für das menschliche Auge sichtbaren Lichtfarben bietet die CIE\* (Norm-) Farbtafel. Die gesättigten Farben Rot, Grün und Violett befinden sich an den Ecken des Dreiecks, die spektralen Zwischenfarben entlang der schrägen Seiten und Magenta am unteren Rand. Nach innen hin werden die Farben heller und gleichzeitig weniger intensiv. Die Mitte des Dreiecks, wo alle Farben zusammentreffen, ist weiß. Die numerischen Farbwerte sind entlang der winkelrechten X- und Y-Achse angegeben. Somit lässt sich jede Farbe anhand der X- und Y-Werte, die sogenannten Farbwertkoordinaten oder Farbörter, ermitteln. Auch befindet sich in diesem Dreieck der als Planckscher Kurvenzug oder Black Body Locus (BBL) bezeichnete Bereich, der durch eine Kurve dargestellt wird (siehe den nachstehenden Abschnitt über Farbtemperatur). Diese Kurve zeigt die Farbwertkoordinaten der von dem sog. Planckschen Strahler bei unterschiedlichen Temperaturen (K) abgegebenen Strahlung. Zum Beispiel entspricht der Farbort bei 1000K dem von roten Licht bei 610 nm.



\* CIE = Commission Internationale de l'Eclairage

## Farbwiedergabe

Obwohl Lichtquellen farblich gleich erscheinen können, bedeutet dies nicht notwendigerweise, dass alle von ihnen angestrahlten farbigen Flächen gleich aussehen. Zwei Lichtquellen, die ansonsten gleich weiß aussehen, können das Ergebnis unterschiedlicher Kombinationen von Wellenlängen sein. Und da die Fläche möglicherweise die jeweils darin enthaltenen Wellenlängen in gleichem Maße reflektiert, wird sich der Farbeindruck ändern, wenn sie einem anderen Licht ausgesetzt wird. Ein Stück rotes Tuch wird „wirklich“ rot aussehen, wenn man es bei einem weißen Licht betrachtet, das von einem kontinuierlichen Spektrum erzeugt wird. Unter einem gleich aussehenden weißen Gemisch aus gelbem und blauem Licht erscheint es jedoch grau-braun. Durch das Fehlen roter Wellenlängen gibt es auf dem Tuch kein Rot, das reflektiert und vom Auge wahrgenommen werden kann.

Farbwiedergabe ist ein wichtiger Aspekt der künstlichen Beleuchtung. In bestimmten Situationen sollten Farben so natürlich wie möglich, d.h. wie unter Tageslichtbedingungen wiedergegeben werden, während die Beleuchtung in anderen Fällen gerade einzelne Farben betonen oder ein

bestimmtes Ambiente erzeugen sollte. Es gibt jedoch auch viele Beleuchtungssituationen, in denen es nicht so sehr auf eine genaue und natürliche Farbwiedergabe ankommt, sondern vielmehr auf das Beleuchtungsniveau und die Lichtausbeute. Die Farbwiedergabe ist also ein entscheidendes Kriterium bei der Wahl von Lichtquellen für Beleuchtungsanwendungen.

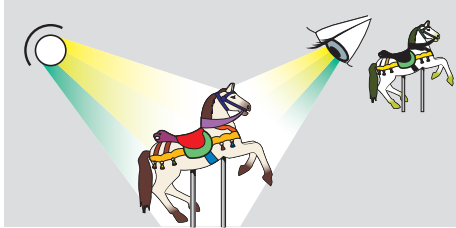
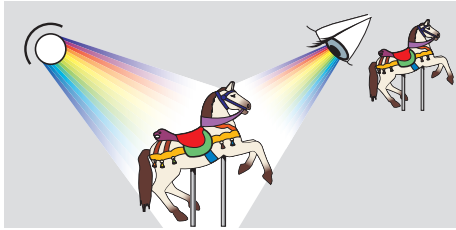
Für die Einteilung von Farben nach ihren Farbwiedergabeeigenschaften wurde der sogenannte Farbwiedergabeindex (CRI, auch mit Ra angegeben) eingeführt. Die Ra-Skala reicht von 50 bis 100. In der folgenden Tabelle wird die Bedeutung der Ra-Werte erläutert:

<b>Ra = 90 - 100</b>	Ausgezeichnete Farbwiedergabeeigenschaften
<b>Ra = 80 - 90</b>	Gute Farbwiedergabeeigenschaften
<b>Ra = 60 - 80</b>	Mittlere Farbwiedergabeeigenschaften
<b>Ra &lt; 60</b>	Mangelhafte Farbwiedergabeeigenschaften

## Metamerismus

Mit Metamerismus wird die Eigenschaft bestimmter farbiger Flächen bezeichnet, die bei unterschiedlichen Lichtquellen jeweils unterschiedliche Farbeindrücke vermitteln. Dies entsteht durch die Unterschiede in der Interaktion zwischen den Reflexionseigenschaften der Farbstoffe und der spektralen Zusammensetzung des Lichts. Ein Hersteller von Farben könnte zum Beispiel einen bestimmten Brauntönen in einer bestimmten Art und Weise mischen. Ein anderer Hersteller, der dies nachzumachen versucht, erzielt einen augenscheinlich gleichen Farbton mit Hilfe einer ganz anderen Formel. Diese beiden Farbtöne, die unter der einen Lichtquelle gleich aussehen, werden aufgrund der Unterschiede in der spektralen Zusammensetzung unter einer anderen Lichtquelle eindeutig von einander abweichen. Metamerismus lässt sich minimieren, indem ausschließlich Produkte von ein und demselben Lack- oder Farbstoffhersteller benutzt werden. Viele Hersteller reduzieren außerdem die Anzahl der Farbmittel, die zur Herstellung von Farben benutzt werden, um Metamerismusprobleme weitestgehend auszuschließen.





Diese beiden Abbildungen sollen das Prinzip der Farbwiedergabe erläutern. Im oberen Bild beleuchtet eine Lampe, die Licht mit allen Farben ausstrahlt, ein Karussellpferd. Das vom Karussellpferd reflektierte Licht fällt in das Auge des Betrachters ein und erzeugt in seinem Gehirn ein Bild, das ungefähr dem im oberen rechten Bildabschnitt entspricht. Im unteren Bild enthält das auf das Pferd einfallende Licht keine roten Strahlen. Dies bedeutet, dass von den roten Teilen des Pferdes kein Licht reflektiert werden wird und dass diese Teile für den Betrachter wie hier dargestellt dunkel erscheinen werden. Die beiden Bilder zeigen, dass das Spektrum der Lichtquelle eine wichtige Rolle dabei spielt, wie wir die Farben von Gegenständen wahrnehmen.



Glühlampe/Halogen



Niederdruck-Natriumdampf Lampe



Metall-Halogendampf Lampe

## Farbtemperatur

Obwohl weißes Licht aus einem Gemisch von Farben besteht, sind nicht alle weißen Farben gleich, da sie von ihren jeweiligen Farbbestandteilen abhängig sind. Somit wird ein Weiß mit einem höheren Rot-Anteil wärmer erscheinen und ein Weiß mit einem höheren Blau-Anteil wird hingegen kühler erscheinen. Um die unterschiedlichen Arten von weißem Licht einteilen zu können, wird das Konzept der Farbtemperatur angewandt, welche als der Farbeindruck eines perfekten Planckschen Strahlers bei bestimmten Temperaturen umschrieben wird. Dieses Konzept lässt sich am Besten anhand vertrauter thermaler Strahler wie der Glühfaden einer Glühlampe oder eines Eisenstabes erläutern. Wenn diese Materialien bis auf eine Temperatur von 1000 K erhitzt werden, wird ihr Farbeindruck rot sein, bei 2000-3000 K werden sie gelblich-weiß erscheinen, bei 4000 K neutral-weiß und bei 5000-7000 K kühl-weiß. Mit anderen Worten: je höher die Farbtemperatur, desto kühler wird der Farbeindruck des weißen Lichts. Die Farbtemperatur ist ein wichtiger Aspekt bei Beleuchtungsanwendungen. Die Wahl der Farbtemperatur wird von folgenden Faktoren bestimmt:

- *Ambiente*: Warm-Weiß schafft eine gemütliche, einladende Atmosphäre; Neutral-Weiß erzeugt eine sachliche, geschäftliche Atmosphäre.
- *Klima*: Einwohner kühlerer geographischer Regionen bevorzugen im Allgemeinen ein wärmeres Licht, während Einwohner (sub-) tropischer Zonen generell ein kühleres Licht bevorzugen.
- *Benötigtes Beleuchtungsniveau*. Intuitiv gehen wir von Tageslicht als natürliche Referenz aus. Ein warm-weißes Licht entspricht in etwa dem Tageslicht am Ende des Tages, bei einem niedrigeren Beleuchtungsniveau. Kühl-weißes Licht ist mit dem Tageslicht in der Tagesmitte vergleichbar. Dies bedeutet, dass bei der Innenbeleuchtung niedrige Beleuchtungsniveaus mit Hilfe von warm-weißen Licht geschaffen werden sollten. Wenn ein sehr hohes Beleuchtungsniveau erforderlich ist, sollte dies mit Hilfe eines neutralen oder kühl-weißen Lichts erzeugt werden.
- *Farbschema der Inneneinrichtung*. Farben wie Rot und Orange erscheinen vorteilhaft bei warm-weißem Licht, kühle Farben wie Blau und Grün erscheinen ein wenig satter bei einem kühl-weißen Licht.

### Beispiele verschiedener Farbtemperaturen

Lichtart	Farbtemperatur (K)
Kerzen	1900 – 2500
Lampen mit Wolfram-Glühfaden	2700 – 3200
TL-Leuchtstofflampen	2700 – 6500
Hochdruck-Natriumdampflampen (SON)	2000 – 2500
Metall-Halogenlampen	3000 – 5600
Hochdruck-Quecksilberdampflampen	3400 – 4000
Mondlicht	4100
Sonnenlicht	5000 - 5800
Tageslicht (Sonne + klarer Himmel)	5800 - 6500
Bewölkter Himmel	6000 - 6900

### **Kontinuierliche und diskontinuierliche Spektren**

Ein Lichtspektrum, in dem alle Wellenlängen vorhanden sind, wird als kontinuierliches oder Linienspektrum bezeichnet, das von Rot über Orange, Gelb, Grün, Blau bis hin zu Violett reicht. Weißes Licht, wie z.B. Tageslicht, besitzt ein solches Spektrum, genauso wie weißes Licht von sogenannten thermalen Strahlern, wie eine Kerzenflamme und der Glühfaden einer Glühlampe. Weißes Licht lässt sich jedoch auch mit Hilfe von zwei oder mehreren ausgewählten Wellenlängen erzeugen, während die übrigen Wellenlängen vollständig fehlen: Zum Beispiel durch das Mischen von Rot, Grün und Blau oder einfach von Blau und Gelb. Lichtquellen mit ausgewählten Wellenlängen besitzen ein sogenanntes diskontinuierliches Spektrum, wie zum Beispiel Gasentladungslampen.

Tageslicht am Mittag: ungefähr 6000K



Tageslicht bei Sonnenuntergang: ungefähr 2000K



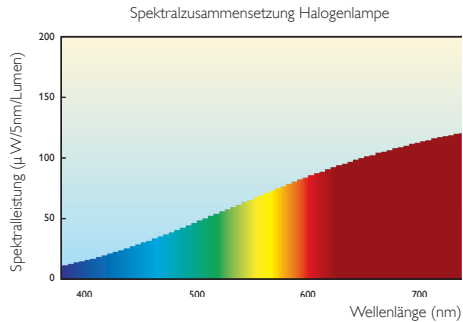
# 4. Quellen

Die Entwicklung der elektrischen Stromversorgung vor mehr als einem Jahrhundert hat die künstliche Beleuchtung revolutioniert. Sie hat dazu geführt, dass die Flamme als wichtigste künstliche Lichtquelle von der elektrisch erzeugten Beleuchtung abgelöst wurde. Seitdem wurde die Geschichte der elektrischen Beleuchtung durch einer Reihe bedeutender Innovationen gekennzeichnet. Als die ersten Glühlampen gegen Ende des 19. Jahrhunderts entstanden, betrug deren Lichtausbeute\* gerade einmal 3 lm/W – zum Vergleich: Bei heutigen Lampen beträgt sie inzwischen ungefähr 14 lm/W. In den dreißiger und vierziger Jahren des 20. Jahrhunderts wurde durch das Erscheinen von Gasentladungslampen und Leuchtstofflampen eine Lichtausbeute von ungefähr 30 bis 35 lm/W geboten. Dies stellte eine bedeutende Steigerung dar und noch heute ist die

Leuchtstofflampe eine der wirtschaftlichsten Quellen für weißes Licht, mit einer Lichtausbeute von bis zu 100 lm/W. Eine der neuesten Innovationen sind Lichtquellen mit Leuchtdioden (LEDs).

## Glühlampen

Bei der zweitältesten Art der elektrischen Beleuchtung, der Glühlampe, wird ein elektrischer Strom durch einen dünnen Faden (oder Wendel) mit einem hohen Widerstandswert geleitet, der heute ausnahmslos aus Wolfram besteht, wobei der Faden bis zur Glut erhitzt wird. Um den Glühfaden oder das Filament, wie die eigentliche Bezeichnung lautet, vor Oxidation zu schützen, befindet sich dieser entweder in einem luftleeren Glaskolben oder einem Kolben mit einer inerten Gasfüllung (normalerweise ein Gemisch aus Stickstoff und Argon). Die Verdampfung der Wolframatom des Glühfadens führt mit der Zeit zu einer Schwärzung der Innenseite des Kolbens und macht den Glühfaden dünner, bis er an seiner schwächsten Stelle bricht und die Lebensdauer der Lampe somit beendet ist.



Beispiele von Glühlampen und Halogenlampen

\* Lichtausbeute einer Lichtquelle = Gesamt-Lichtstrom einer Lichtquelle für jedes Watt an elektrischem Strom, das dieser Lichtquelle zugeführt wird (Lumen pro Watt, lm/W)

## Die Halogenglühlampe

In dem Bestreben, die Verdampfung des Glühfadens zu eliminieren und somit die Lebensdauer von Glühlampen zu verlängern, wurden mehrere Methoden entwickelt, von denen die Wolfram-Halogenlampe bisher eine der erfolgreichsten ist. Die Füllung dieser Glühlampe enthält ein Halogen (Bromin), das sich mit den Wolframatomaten, die vom erhitzten Glühfaden „losgekocht“ werden, verbindet. Da sich der Glaskolben einer solchen Lampe viel näher am Glühfaden befindet, sinkt die Temperatur der Füllung nicht unter 250° Celsius ab, wodurch eine Kondensation der Verbindung verhindert wird. Statt sich auf der Kolbeninnenseite abzulagern, bewegt sich die Wolfram-Halogenverbindung in einem Kreislauf, bis es auf den Glühfaden niederschlägt. Am Glühfaden wird die Verbindung dank der dort herrschenden Temperatur von 2800-3000° Celsius in seine Bestandteile getrennt, wonach die Wolframatomate auf dem Glühfaden zurückbleiben und die Halogenatomate in die Gasfüllung freigesetzt werden und ein neuer „Halogenzyklus“ entsteht. Dank des relativ geringen Volumens und der widerstandsfähigen Quarzwand lassen sich Halogenlampen sich bei hohem Druck betreiben, wodurch die Verdampfung des Glühfadens noch weiter reduziert wird. Dies erlaubt außerdem höhere Temperaturen, was eine gegenüber herkömmlichen Glühlampen um bis zu 45% höhere Lichtausbeute ermöglicht.

## Gasentladungslampen

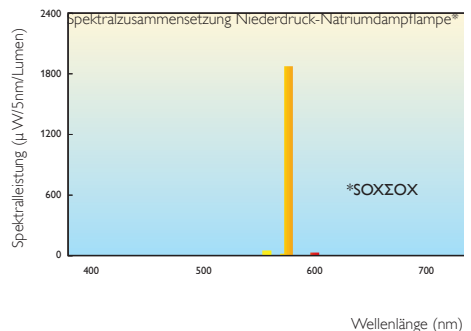
Bei einer Gasentladungslampe läuft ein elektrischer Strom durch ein Gas hindurch zwischen zwei Elektroden, die an den beiden Enden einer geschlossenen Glasröhre angebracht sind. Kollisionen von freien Elektronen und Gasatomen regen die Gasatome an, die dadurch auf ein höheres Energieniveau gebracht werden. Diese angeregten Atome fallen anschließend wieder auf ihr natürliches Energieniveau zurück und geben die entsprechende überschüssige Energiemenge in Form von Strahlung frei.

## Niederdruck-Natriumdampflampen

Bei einer Niederdruck-Natriumdampflampe wird die sichtbare Strahlung unmittelbar durch die Entladung von Natrium erzeugt. Sie strahlt den größten Teil der Energie im sichtbaren Bereich des Spektrums mit Wellenlängen von 589 und 589.6 nm ab (das charakteristische gelbe Natriumlicht). Bei der Zündung erzeugen Natriumdampflampen zunächst eine rote Farbe. Dies wird durch Neon verursacht, das ebenfalls ein Bestandteil der Gasfüllung ist und zum Auslösen des Entladungsprozesses dient. Diese Lampen müssen mit einer sehr effizienten Wärmeisolation versehen sein, da sie von sich aus nur sehr wenig Wärme produzieren. Die Lichtausbeute der Lampe ist sehr hoch.

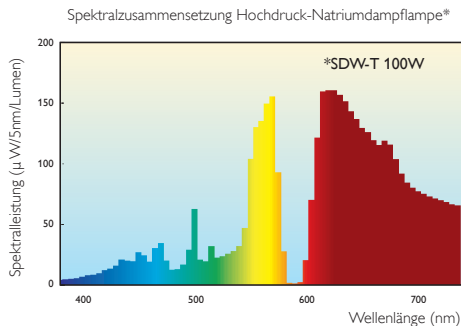


Beispiele von Niederdruck-Natriumdampflampen





Beispiele von Hochdruck-Natriumdampf lampen

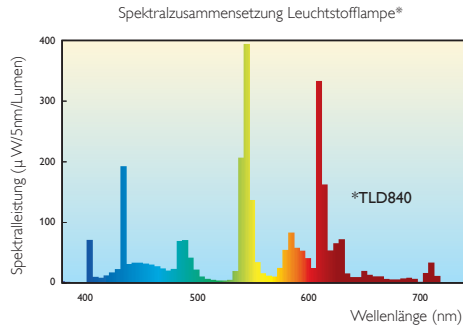


### Hochdruck-Natriumdampf lampen

Hochdruck-Natriumdampf lampen werden mit einem viel höheren Gasdruck betrieben, was im Vergleich zu Niederdruck-Natriumdampf lampen mehr interatomare Wechselwirkungen ergibt und ein breiteres Strahlungsmuster erzeugt. Die White SON (SDW-T) Lampe ist eine Natriumdampf lampen, die mit einem sehr hohen Druck arbeitet. Die charakteristische gelbe Strahlung wird vollständig absorbiert, so dass ein ausgesprochen warm-weißes Licht, mit einer starken Wiedergabe roter Farbanteile, entsteht.

### Leuchtstoff lampen

Bei der (Kompakt-) Leuchtstoff lampen handelt es sich im Prinzip um eine Niederdruck-Quecksilberdampf-Gasentladungslampe, wobei die Innenseite der Entladungsröhre mit einem Gemisch aus Leuchtstoffverbindungen – die als Phosphore bezeichnet werden – beschichtet ist, die dazu dienen, die unsichtbare ultraviolette Strahlung, die durch die Entladung des Quecksilberdampfes entsteht, in sichtbare Strahlung umzuwandeln. Da eine große Varietät an Phosphoren zur Verfügung steht, sind die Lampen in einer großen Auswahl verschiedener Farben und Farbwiedergaben erhältlich und werden hauptsächlich zur Allgemeinbeleuchtung benutzt.



Beispiele von Leuchtstofflampen



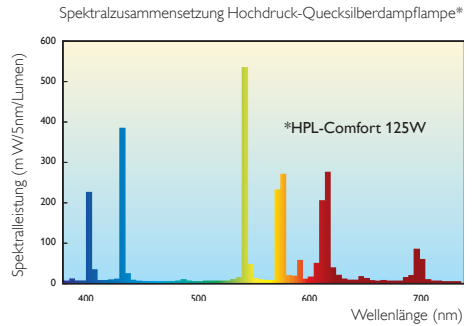
Beispiele von Kompakt-Leuchtstofflampen

### Phosphor coatings

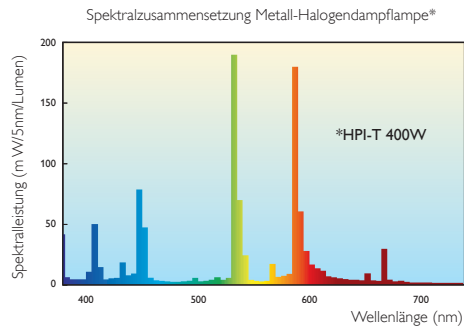
Bei Leuchtstofflampen handelt es sich um Niederdruck-Quecksilberdampf lampen, bei denen die Innenseite der Entladungsröhre mit Phosphoren beschichtet ist. Wenn die durch die Entladung des Quecksilberdampfes erzeugte ultraviolette Strahlung auf den Phosphor trifft, werden die Elektronen in den Phosphoratomen sprunghaft auf ein höheres Energieniveau gebracht. Anschließend fallen die Elektronen wieder auf ihr normales Niveau zurück und geben eine Strahlung mit Wellenlängen – innerhalb des sichtbaren Bereichs – ab, die größer als die der ursprünglichen ultravioletten Strahlung sind. Als wichtigste Faktoren, die für die Lichtcharakteristik einer Leuchtstofflampe entscheidend sind, gelten Art und Mischung der verwendeten Phosphore. Diese bestimmen die Farbtemperatur, Farbwiedergabe und Lichtausbeute der Lampe. Bestimmte Phosphore weisen ein Emissionsband auf, das nahezu das gesamte für das Auge sichtbare Spektrum umfasst, und erzeugen daher weißes Licht, wenn sie ohne Zusätze benutzt werden. Meistens jedoch wird eine Kombination von Phosphoren mit verschiedenen, komplementären Farbeigenschaften benutzt. Auf diese Weise lässt sich eine Kombination guter Farbeigenschaften mit einer sehr hohen Lichtausbeute erzielen, oder sogar ausgezeichnete Farbeigenschaften, wobei jedoch Einbußen bei der Lichtausbeute in Kauf genommen werden müssen.



Beispiele von Hochdruck-Quecksilberdampf lampen



Beispiele von Metall-Halogen dampf lampen



### Hochdruck-Quecksilberdampf lampen

Hochdruck-Quecksilberdampf lampen enthalten Quecksilberdampf, eingeschlossen in einer Quarz-Entladungsröhre (als Brenner bezeichnet), und werden bei einem Druck von 200 bis 1500 kPa betrieben. Man hat festgestellt, dass der Entladungsprozess bei diesem Druck einen Großteil seiner Energie innerhalb des sichtbaren Bereichs des Spektrums entlässt (im Gegensatz zur Niederdruck-Quecksilberdampf lampen, die hauptsächlich unsichtbare ultraviolette Strahlung erzeugt). Die Entladungsröhre, die ein bläulich-weißes Licht ausstrahlt, befindet sich in einem

Außenkolben aus Glas. Die Innenseite dieses Außenkolbens kann mit einem Leuchtstoffpulver beschichtet werden, das hauptsächlich zur Erzeugung von Strahlung im roten Bereich dient, mit Hilfe derer die Farbwiedergabe verbessert und der Lichtstrom um ungefähr 10% erhöht wird.

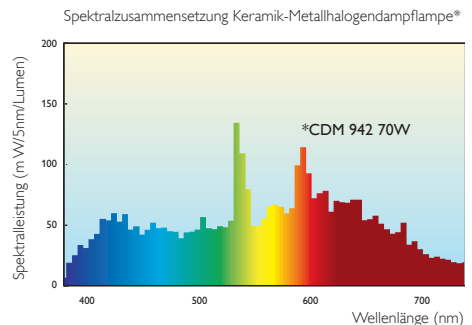




Beispiele von Keramik-Metallhalogendampflampen

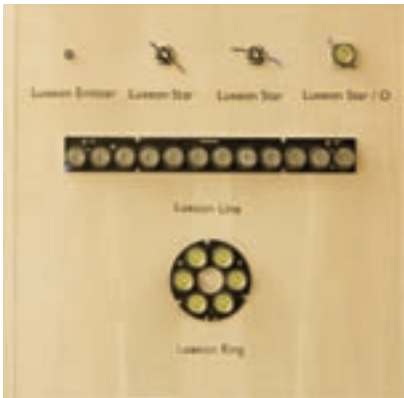
### Metall-Halogendampflampen

Metall-Halogendampflampen wurden aus der Hochdruck-Quecksilberdampflampe entwickelt, indem andere Metalle in der Form von Halogensalz dem Entladungsgas beigefügt wurden. Da jedes der Metalle sein eigenes charakteristisches Strahlungsmuster aufweist, hat dies zu einer erheblichen Verbesserung der Lichtausbeute und der Farbqualität geführt.

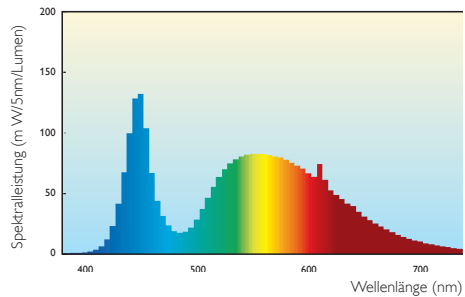


### Keramik-Metallhalogendampflampen

Eine der neuesten Entwicklungen ist die Keramik-Metallhalogendampflampe, die mit einer Entladungsröhre versehen ist, die statt aus Quarzglas aus einem keramischen Material hergestellt wird. Durch die Anwendung von Keramik kann die Lampe mit einer höheren Entladungstemperatur betrieben werden. Desweiteren lässt sich eine optimale Geometrie des Brenners erzielen. Diese beiden Innovationen haben zu einer erheblichen Verbesserung der Farbeigenschaften geführt.



Beispiele von Festkörper-Lichtquellen



## Festkörperbeleuchtung

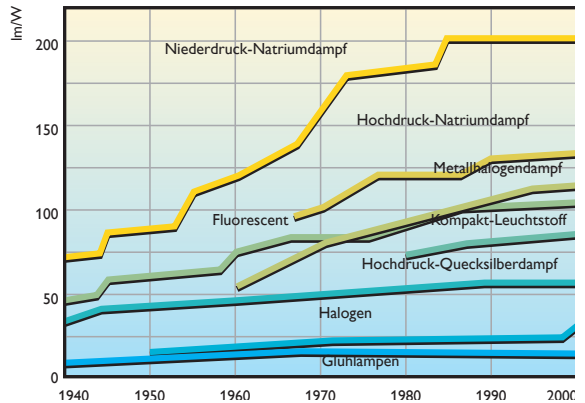
Die neueste Errungenschaft auf dem Gebiet der Beleuchtung ist die auf der Leuchtdiodentechnik (LEDs) basierende Festkörperbeleuchtung. Das Prinzip der Lichterzeugung entspricht dem der Gasentladungslampen, jedoch erfolgt die Entladung in diesem Fall in einem festen Material. Elektronen, die ihre Umlaufbahnen ändern, sorgen dafür, dass Atome „angeregt“ werden und anschließend in ihren natürlichen Zustand zurückfallen, wobei sie die überschüssige Energie in Form von Strahlung abgeben. Die LED-Technik gibt es bereits seit vielen Jahren, jedoch aufgrund des bescheidenen Lichtstroms und der monochromatischen Lichtqualität existierten lange Zeit nur wenige Anwendungsbereiche. Leuchtdioden wurden hauptsächlich als Signalanzeige in Steuertafeln und in der Verkehrsbeleuchtung eingesetzt. Vor Kurzem hat ein technologischer Durchbruch zu entscheidenden Fortschritten in der Leistungsfähigkeit geführt, zu denen die Erzeugung von weißem Licht gehört, was völlig neue Möglichkeiten für Anwendungen zur Akzent- und Allgemeinbeleuchtung geschaffen hat. Die wichtigsten Merkmale sind lange Lebensdauer, robuste Konstruktion, kleines Format und geringer Wartungsbedarf.

### Die Erzeugung von weißem Licht mit Hilfe von Leuchtdioden

Von Natur aus können LEDs ausschließlich monochromatische Farben erzeugen. Das heißt, dass für die Erzeugung von weißem Licht zwei oder mehr Farben miteinander kombiniert werden müssen. Eine der Lösungen für das Erzeugen von weißem Licht mit LEDs besteht darin, dass rote, grüne und blaue Halbleiterchips in einer einzigen Leuchtdiode zusammengefasst werden, oder dass separate rote, grüne und blaue LEDs sehr dicht aneinander angeordnet werden und die abgegebene Strahlung optisch gemischt wird. Eine der gängigeren Methoden nutzt jedoch stattdessen LEDs, die ein blaues Licht ausstrahlen und mit einer Phosphorbeschichtung versehen werden, die einen Teil des blauen Lichts in gelbes Licht umwandelt, woraus in der Folge weißes Licht entsteht. Diese weißen LEDs erzeugen Farbtemperaturen von 4500 bis 8000K. Durch die Anwendung mehrerer Phosphorbeschichtungen lässt sich das blaue Licht in weitere Farben umwandeln, wodurch sich der Farbwiedergabeindex auf einen Wert von über 80 verbessern lässt, was einem „Gut bis Ausgezeichnet“ entspricht.

## Übersicht einiger typischer Lichtquellen

Lampentyp	Lichtstrom (lm)	Lichtausbeute (lm/W)	Farb- temperatur (K)	Farbwiedergabe- index (Ra)	Leistung (W)
Glühlampe/Halogen	60 – 48400	5 – 27	2700 – 3200	100	5 – 2000
Niederdruck-Natriumdampf	1800 – 32500	100 – 203	1700		18 – 180
Hochdruck-Natriumdampf	1300 – 90000	50 – 130	2000, 2200, 2500	10 – 80	35 – 1000
Hochdruck-Quecksilberdampf	1700 – 59000	35 – 60	3400, 4000, 4200	40 – 60	50 – 1000
Leuchtstoff	200 – 8000	60 – 105	2700, 3000, 4000, 6500	60 – 95	5 - 80
Kompakt-Leuchtstoff	200 – 12000	50 – 85	2700, 3000, 4000, 6500	80	5 – 165
Metall-Halogenendampf	5300 – 220000	75 – 140	3000, 4000, 5600	65 – 95	70 – 2000
Keramik-Metallhalogenendampf	1500 – 23000	68 – 95	3000 – 4200	80 – 95	20, 35, 70, 150, 250
LED	10 – 170	bis zu 50	3000 – 8000	bis zu 90	0,1 – (x)3W

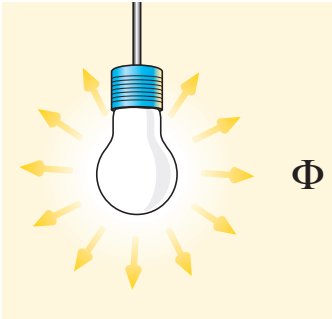


Entwicklung der Lichtausbeute ab 1970

$$\text{Lichtausbeute (lm/W)} = \frac{\text{Lichtstrom (lm)}}{\text{Eingangsstrom (W)}}$$

# 5. Photometrische Daten

Beleuchtungsfachleute benutzen vier photometrische Grundeinheiten zur quantitativen Lichtmessung:

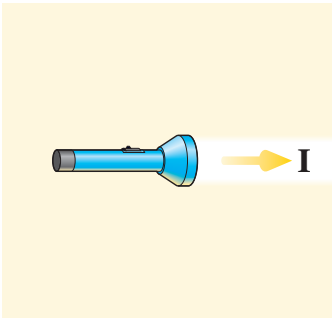


## Lichtstrom $\Phi$

Damit wird die gesamte pro Sekunde von einer Lichtquelle ausgestrahlte Lichtleistung bezeichnet. Die Einheit des Lichtstroms ist das Lumen (*lm*)

Beispiele:

- 75W Glühlampe: 900 lm
- 39W Leuchtstofflampe: 3.500 lm
- 250W Hochdruck-Natriumdampf Lampe: 30.000 lm
- 2000W Metall-Halogenlampen: 200.000 lm



## Lichtstärke $I$

Diese wird als der in einer bestimmten Richtung ausgestrahlte Lichtstrom definiert. Die Einheit der Lichtstärke ist die Candela (*cd*)

Beispiele (Bündelmitte):

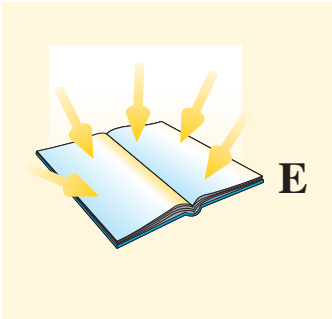
- 5W Fahrradlampe ohne Reflektor: 2,5 cd
- 5W Fahrradlampe mit Reflektor: 250 cd
- 120W Reflektor-Glühlampe: 10.000 cd
- Leuchtturm: 2.000.000 cd

### Messmethode für Lichtstrom

In Laboratorien wird diese normalerweise mit Hilfe eines Geräts gemessen, das als Ulbricht'sche Kugel bezeichnet wird. Es handelt sich dabei um einen kugelförmigen Hohlkörper, dessen Innenseite matt-weiß lackiert ist, damit diese perfekt mit der in seiner Mitte angebrachten Lichtquelle diffundiert. Die Beleuchtungsstärke an jeder beliebigen Stelle auf der Innenseite der Kugel verhält sich proportional zum Lichtstrom und über ein kleines Fenster in der Kugel lässt sich diese Beleuchtungsstärke messen.



Bilder: YFU

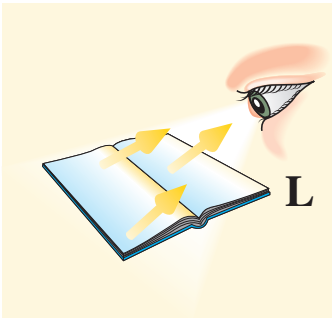


### Beleuchtungsstärke

Dies ist die Lichtmenge, die auf ein Flächenelement einer Oberfläche fällt. Die Einheit der Beleuchtungsstärke ist das Lumen/m<sup>2</sup> oder *Lux (lx)*

Beispiele:

- Sommer, am Mittag, bei klarem Himmel (Äquator): 100.000 lux
- Im Freien, bei stark bewölktem Himmel: 5.000 lux
- Kunstlicht, in einem gut beleuchteten Büro: 800 lux
- Vollmond, bei einer klaren Nacht: 0,25 lux



### Leuchtdichte

Damit wird das Licht bezeichnet, das von einem Flächenelement in eine bestimmte Richtung ausgestrahlt wird. Die Leuchtdichte wird ausgedrückt in cd/m<sup>2</sup> (aus der betreffenden Richtung gesehene Fläche).

Beispiele:

- Oberfläche der Sonne: 1.650.000.000 cd/m<sup>2</sup>
- Glühfaden einer klaren Glühlampe: 7.000.000 cd/m<sup>2</sup>
- Leuchtstofflampe: 5000-15.000 cd/m<sup>2</sup>
- Straßenbelag bei Kunstlicht: 0,5-2 cd/m<sup>2</sup>

### Messmethode für Beleuchtungsstärke

Seit mehreren Hundert Jahren gibt es verschiedene Instrumente, die als visuelle Photometer bezeichnet werden und mit Hilfe derer die Beleuchtungsstärke gemessen wird. Dazu werden die Beleuchtungsstärken, die von zwei Lichtquellen auf einem Schirm erzeugt werden, miteinander verglichen. Die meisten dieser Geräte wurden jedoch mittlerweile durch die sogenannten physikalischen Photometer abgelöst, die mit Hilfe elektrischer Messmethoden den elektrischen Strom oder die Spannung messen, die erzeugt wird, wenn Licht auf eine lichtempfindliche Zelle fällt (photoemissiv, photovoltaisch oder photoleitend).



Bilder: OPAL



# Zweiter Teil: Beleuchtung



Das menschliche Auge hat sich dahingehend entwickelt, dass es auf Wellenlängen des elektromagnetischen Spektrums zwischen 380 und 780 nm reagiert. Dieser Bereich von Wellenlängen nehmen wir als Licht wahr. Innerhalb dieses schmalen Wellenbereichs erleben wir alle sichtbaren Aspekte unserer Welt. Das Sehvermögen ist daher der wichtigste Sinn, den der Mensch besitzt und das Verständnis der Funktionsweise des Auges sowie der Art und Weise, in der das Gehirn auf die visuellen Reize, die es empfängt, reagiert, ist entscheidend, um verstehen zu können, welchen Einfluss das Licht auf unser Leben hat.

# 1. Sehen

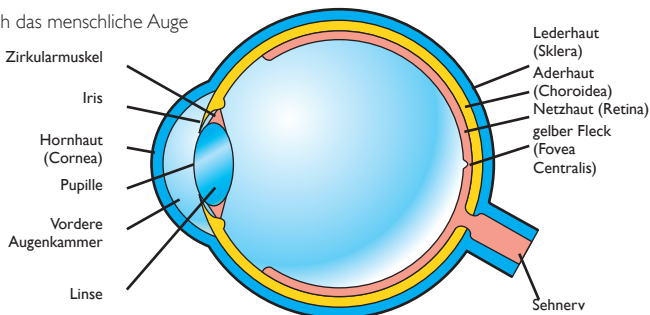
Das menschliche Auge ist ein kugelförmiges Organ, das dank eines Muskels imstande ist, sich in der Augenhöhle im Schädel zu bewegen. Es funktioniert nach dem gleichen Prinzip wie eine herkömmliche Kamera mit einer Linse, die ein invertiertes Bild einer Szene auf eine lichtempfindliche Fläche im hinteren Bereich projiziert. Diese Fläche, die als Retina oder Netzhaut bezeichnet wird, besteht aus über einhundert Millionen lichtempfindlicher Nervenenden. Diese übertragen Signale an das Gehirn, die dieses als visuelle Informationen interpretiert. Um ein Bild auf der Retina fokussieren zu können, ist die Linse des Auges in der Lage, sich durch Muskelspannung zusammenzuziehen, wobei sie sich stärker nach außen wölbt, um die Sehkraft zu verstärken. Dies wird als Akkomodation bezeichnet. Vor der Linse befindet sich die Iris, die sich wie die Blende einer Kamera öffnen oder schließen kann, um die Lichtmenge zu regulieren, die durch die Mitte der Iris, die als Pupille bezeichnet wird, in das Auge eintritt.

## Der Aufbau der Netzhaut: Stäbchen, Zapfen und lichtempfindliche Ganglienzellen

Bei den lichtempfindlichen Nervenenden, aus denen sich die Netzhaut zusammensetzt, unterscheiden wir zwei Formen, die als Stäbchen und Zapfen bezeichnet werden. Die Stäbchen sind weitaus zahlreicher vorhanden als die Zapfen und sind mehr oder weniger regelmäßig im hinteren Bereich des Auges verteilt, mit Ausnahme einer Stelle nahe der Augennachse, die als Fovea oder gelber Fleck bezeichnet wird. Die Stäbchen sind in Gruppen zu 100 mit dem Gehirn verbunden und äußerst licht- und bewegungsempfindlich. Es sind vor allem diese Stäbchen, die dem Auge seine hohe Empfindlichkeit verleihen. Sie sind jedoch nicht in der Lage, Farben zu unterscheiden.

Die Zapfen sind ebenfalls auf den hinteren Bereich des Auges verteilt. Ihre Dichte ist an der Fovea jedoch größer. Im Gegensatz zu den Stäbchen sind die Zapfen einzeln mit dem Gehirn verbunden, so

Querschnitt durch das menschliche Auge





dass sie weniger empfindlich auf die Intensität des Lichts reagieren. Wir unterscheiden drei Arten von Zapfen, deren Empfindlichkeit jeweils besonders auf rote, grüne und blaue Strahlung ausgerichtet ist, und die es uns ermöglichen, Farben wahrzunehmen. Personen, bei denen eine dieser Gruppen von Zapfen fehlt oder bei denen die Zapfen nicht normal funktionieren, leiden an einer teilweisen Farbenblindheit. Personen, bei denen zwei Arten von Zapfen fehlen, leiden an einer vollständigen Farbenblindheit und können nur Grautöne unterscheiden.

Neben Zapfen und Stäbchen ist die Netzhaut auch mit lichtempfindlichen Ganglienzellen versehen. Diese beeinflussen unsere biologische Uhr, die wiederum den Tages- und Jahreszeitenrhythmus einer großen Vielzahl unterschiedlicher physiologischer Prozesse reguliert, einschließlich des Hormonhaushalts des Körpers. Insbesondere das frühe Tageslicht synchronisiert die innere Uhr des Körpers mit der Umgebungszeit oder dem durch die Erdrotation verursachten 24-stündigen Hell-Dunkel-Zyklus. Ohne Licht würde die innere Uhr innerhalb eines Zeitraums von ungefähr 24 Stunden und 15 Minuten auf Freilauf schalten und in der Folge von Tag zu Tag in ständig zunehmendem Maße weiter von der Umgebungszeit abweichen. Dies würde zu



Leuchtdichtekontrast in Tunneln: Die Ausfahrt erscheint unter Umständen „weißer“ als sie in Wirklichkeit ist, da sie durch einen dunkleren Bereich im Sehfeld umgeben ist. Dies kann zu gefährlichen Adaptionsproblemen bei Verkehrsteilnehmern führen. Aus diesem Grund sind Tunnelausfahrten (und Einfahrten) häufig mit speziellen Beleuchtungslösungen versehen, um abrupte Kontrastwechsel zu vermeiden.

Symptomen führen, die denen eines Jetlag nach einer Reise durch mehrere Zeitzonen entsprechen.

### Adaptation

Adaptation ist ein Prozess, bei dem das Auge seine Lichtempfindlichkeit ändert. Dies erfolgt auf dreierlei Wegen: Anpassung der Iris, wobei die Größe der Pupille geändert wird, Anpassung der Empfindlichkeit der Nervenenden der Netzhaut und Anpassung der chemischen Zusammensetzung der lichtempfindlichen Pigmente in den Stäbchen und Zapfen. Die Helladaptation dauert weniger als eine Minute, die Dunkeladaptation benötigt jedoch 10 bis 30 Minuten.

### Kontrast

Als Kontrast wird der Unterschied zwischen der Leuchtdichte einer helleren Fläche und einer dicht danebenliegenden dunkleren Fläche eines Bildes bezeichnet. Man unterscheidet zwei Arten von Kontrast, die meistens gleichzeitig auftreten: Farbkontrast und Leuchtdichtekontrast. Letzterer wird meistens auch Kontrastverhältnis genannt, wobei es sich um das Verhältnis zwischen der höheren und niedrigeren Leuchtdichte des Bildes handelt. Die Fähigkeit des Auges, Leuchtdichtekontraste zu erkennen, ist vom Adaptionsgrad des Auges abhängig, der wiederum durch die allgemeine Leuchtdichte



Blendungen, die z.B. durch Autoscheinwerfer verursacht werden, können störend wirken und zu Überanstrengung der Augen, Kopfschmerzen und sogar Verschleierung führen.



Altersbedingte verminderte Akkomodationsfähigkeit

eines Bildes bestimmt wird. Daher erscheint zum Beispiel eine weiße Fläche vor einem schwarzen Hintergrund weißer und ein Tunnel, der in Wirklichkeit nicht richtig dunkel ist, erscheint dunkler, wenn er bei klarem Wetter von außen betrachtet wird. Die Ursache für derartige Kontraste liegt darin, dass das Auge nicht imstande ist, sich gleichzeitig an stark unterschiedliche Leuchtdichten anzupassen. Blendung entsteht durch Leuchtdichteniveaus innerhalb des Gesichtsfeldes, die erheblich über demjenigen Helligkeitsniveau liegen, an das sich die Augen angepasst haben. Dies kann störend wirken und in extremen Fällen zu Überanstrengung der Augen und Kopfschmerzen führen.

Kontrastierende Farben wirken ebenfalls aufeinander ein. Im Allgemeinen handelt es sich dabei um einen Effekt, bei dem unter Einfluss einer Fläche mit einer stark gesättigten Farbe eine andere Fläche einen Hauch der entsprechenden Komplementärfarbe aufweist. Zum Beispiel erscheinen gelbe Blumen vor einem blauen Hintergrund viel lebendiger als vor einem grauen Hintergrund. Eine rote Fläche erscheint gesättigter im Kontrast mit einer grünen Fläche. Diesen Effekt machen sich zum Beispiel Metzger zunutze, indem sie Fleisch auf einem Untergrund aus Salatblättern präsentieren, damit es frisch und rot aussieht. Das Phänomen der Farbkontraste ist besonders wichtig für Innenarchitekten und Beleuchtungsdesigner,

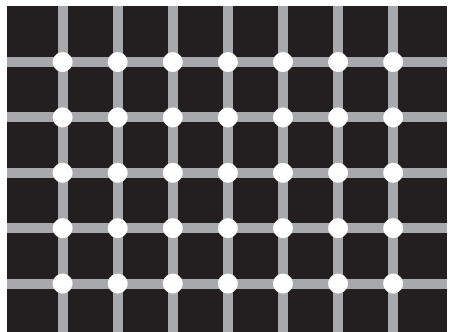
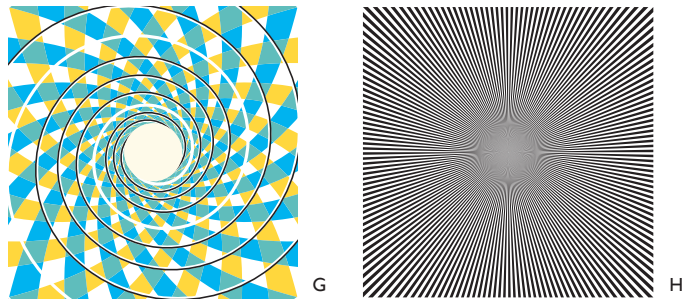
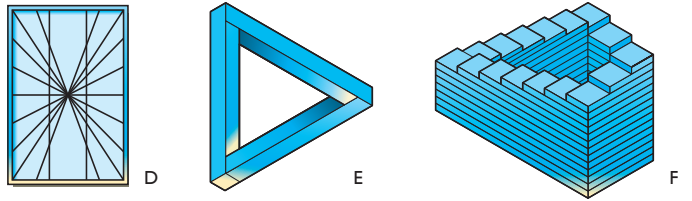
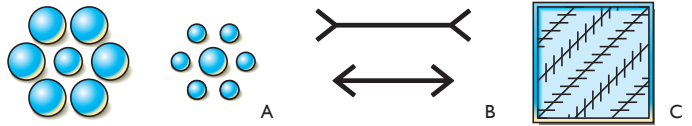
da es in entscheidendem Maße bestimmt, inwieweit Farbeffekte das Gesamtergebnis bereichern oder gerade verderben.

### **Altersbedingte Sehbeeinträchtigungen**

Das Sehvermögen geht mit steigendem Alter zurück, zunächst langsam und dann immer schneller infolge der Alterung des Gewebes, aus dem das Sehorgan besteht. Dazu gehören eine Trübung der Augenflüssigkeit sowie eine Verhärtung und Vergilbung der Linse. Die Verhärtung der Linse führt zu einer verminderten Akkomodationsfähigkeit, was bedeutet, dass es schwieriger wird, nahe Objekte (zum Beispiel Gedrucktes) zu unterscheiden, so dass das Tragen einer Lesebrille mit konvexen Gläsern notwendig wird. Außerdem führt die Vergilbung der Linse zur einer Verringerung der allgemeinen Sehempfindlichkeit, der Sehschärfe und der Kontrastempfindlichkeit. All dies wirkt sich in einer solchen Weise auf das Auge aus, dass ein Sechzigjähriger für ein und dieselbe Sehaufgabe (z.B. Lesen) mit dem gleichen Maß an Komfort und Effektivität unter Umständen bis zu 15 Mal mehr Licht benötigt als zum Beispiel ein Zehnjähriger.

### **Das Auge getäuscht**

Unser Gehirn hat gelernt, die Sehreize, die das Auge einfängt, als Darstellung der Welt um uns herum zu interpretieren und das angebotene Bild zu korrigieren. Die Welt beim Sonnenuntergang -rötliches Tageslicht- wird trotzdem in „normalen“ Farben wahrgenommen. Eine graue Fläche kann bei vollem Sonnenschein eine höhere Leuchtdichte haben als eine weiße Fläche im Schatten. Das Gehirn wird trotzdem keine Schwierigkeiten haben beiden Farbtöne zu unterscheiden, da es auch den Helligkeitseindruck des gesamten Bildes berücksichtigt. Bilder hingegen spielen dem Auge sehr wohl einen Streich, wie untenstehende Beispiele optischer Täuschungen beweisen.



Beispiele optischer Täuschungen:  
 A. und B. Täuschungen in Bezug auf  
 Größe, C. und D. Täuschungen  
 in Bezug auf Parallelität, E. und  
 F. perspektivische Täuschungen,  
 G. Täuschung in Bezug auf  
 Tiefenwirkung (scheinbare  
 Spirale), H. Täuschung in Bezug  
 auf Bewegung und I. Täuschung in  
 Bezug auf Helligkeitswahrnehmung  
 (die weißen Punkte enthalten  
 augenscheinlich schwarze Flecken).

# 2. Beleuchtungsqualität

Eine gute Qualität der Beleuchtung ist ein entscheidender Faktor, der unsere Fähigkeit, Aufgaben bei der Arbeit und daheim zu erfüllen, stark beeinflusst. Sie hat außerdem eine tiefgreifende Auswirkung auf unsere Stimmung und (wie neueste Forschungen belegen) unsere Gesundheit und unser Wohlbefinden. Sie umfasst verschiedene Kriterien, unter anderem Beleuchtungsniveau, Leuchtdichtekontrast, Blendungswirkung und räumliche Verteilung des Lichts, Farbe und Farbwiedergabe.

## a. Beleuchtungsniveau

Das Beleuchtungsniveau sollte jederzeit hoch genug sein, um eine ausreichende Sehleistung für die zu erfüllenden Aufgaben gewährleisten zu können. Forschungen haben ergeben, dass ein Anheben des Beleuchtungsniveaus von einem niedrigen oder mittleren Niveau auf ein hohes Beleuchtungsniveau zu einer Steigerung der Geschwindigkeit und Genauigkeit führt, mit der Objekte erfasst und erkannt werden. In einem Büro oder einer Fabrik ist die Sehleistung einer Person von der Qualität der Beleuchtung und der eigenen „Sehfähigkeit“ abhängig. In dieser Hinsicht ist das Alter ein wichtiges Kriterium, da sich die

Beleuchtungsanforderungen bei steigendem Alter ändern – ein Sechzigjähriger benötigt für eine bestimmte Sehaufgabe im Durchschnitt bis zu 15 Mal mehr Licht benötigt als ein Zehnjähriger. Darüber hinaus steigt die erforderliche Lichtmenge im Allgemeinen verhältnismäßig zu der Geschwindigkeit, mit der die visuelle Information präsentiert wird und verringert sich in Abhängigkeit von der Größe des betrachteten Gegenstands. Ein Tennisball ist zum Beispiel kleiner als ein Fußball und bewegt sich schneller. Folglich sind die für ein gutes Spiel erforderlichen Beleuchtungsniveaus für Tennis höher als für Fußball. Und ein Fertigungsprozess, bei dem es auf die Erfassung winziger Objektdetails ankommt, erfordert höhere Beleuchtungsstärken als ein Prozess, bei dem die visuellen Anforderungen weniger hoch sind.

## b. Leuchtdichtekontrast

Leuchtdichtekontrast oder Leuchtdichtenverteilung innerhalb des Sehfeldes ist ein außerordentlich wichtiges Kriterium für die Beleuchtungsqualität. Wenn die Leuchtdichtekontraste zu niedrig sind, bietet das Ergebnis einen langweiligen und matten Anblick, ohne interessante Stellen. Zu hohe Kontraste lenken ab und führen zu Adaptions-

Squash erfordert ein hohes Beleuchtungsniveau.



schwierigkeiten der Augen, wenn diese von einem visuellen Ziel zu einem anderen wechseln. Ausgewogene Kontraste ergeben eine harmonische, befriedigende und komfortable visuelle Szene. Bei der Innenbeleuchtung gilt die Faustregel, dass das Leuchtdichtekontrastverhältnis (Verhältnis zwischen höchster und niedrigster Leuchtdichte) innerhalb des Sehfeldes nicht höher als 3 und nicht niedriger als  $1/3$  sein sollte.

### c. Blendungsbegrenzung

Blendung ist der Effekt, der durch Helligkeitsniveaus innerhalb des Sehfeldes verursacht wird und erheblich über dem Niveau der Helligkeit liegt, an das sich die Augen angepasst haben. Dies kann zu einer Verringerung der Sehleistung und zu einer Beeinträchtigung des Sehkomforts führen. Eine zu starke Blendung kann sogar zu Beschwerden wie Verschleierung, überanstrengte Augen und Kopfschmerzen führen. Daher ist es wichtig, die Blendung zu begrenzen, um Fehler, Ermüdungserscheinungen und Unfälle zu vermeiden. Das Maß an Blendungsbegrenzung ist sehr stark von der optischen Qualität der Leuchten in Kombination mit den verwendeten Lampentypen abhängig. Dank der größeren Abmessungen besitzen Leuchtstofflampen eine höhere Leuchtdichte als Hochdruck-Gasentladungslampen und ist es einfacher, die Blendungswirkung bei solchen Lampen zu begrenzen.



Für das Schachspiel werden keine hohen Beleuchtungsniveaus benötigt.



Durch zu niedrige Leuchtdichte-  
kontraste entsteht ein langweiliges  
Ambiente.



Zu viele Leuchtdichtekontraste  
führen zu Adaptionsschwierigkeiten.



Ausgewogene Leuchtdichtekontraste  
schaffen das richtige Ambiente.

#### **d. Räumliche Verteilung des Lichts**

Ein wichtiges Kriterium für die Beleuchtungsqualität ist die Art und Weise, in der sich das Licht im Raum verteilt, da dies die Muster der erzeugten Beleuchtungsstärken bestimmt. Die auf die Innenbeleuchtung anwendbaren Beleuchtungsstärkeempfehlungen lassen sich nach mehreren Methoden implementieren. Lichtquellen können anhand eines Systems der sogenannten diffusen Allgemeinbeleuchtung recht gleichmäßig verteilt werden. Sie können mit Hilfe der direktionalen Beleuchtung in bestimmten Bereichen konzentriert oder im gesamten Raum verteilt werden, indem eine Kombination der beiden genannten Systeme angewandt wird.

#### **e. Farben und Farbwiedergabe**

Ein Gegenstand erscheint farbig aufgrund der Tatsache, dass er nur einen Teil des Wellenbereichs des darauf einfallenden Lichts reflektiert. Die Art und Weise, in der die Farben um uns herum wiedergegeben werden, ist daher in erheblichem Maße von der Farbzusammenstellung der Beleuchtung abhängig. Eine gute Farbwiedergabe ist wichtig, wenn Gegenstände mit ihrem „wahren“ farblichen Erscheinungsbild präsentiert werden sollen. Im Allgemeinen sollte die für einen Innenraum verwendete Beleuchtung so gewählt werden, dass vertraute Gegenstände (z.B. Nahrungsmittel, Getränke, Personen) angenehm und natürlich erscheinen. Durch die richtige Wahl der Lichtquelle (mit einer Farbwiedergabe von mindestens Ra 80) lassen sich Probleme ohne großen Aufwand vermeiden. Dennoch gibt es auch Situationen, in denen die Farbwiedergabe kaum oder gar keine Bedeutung hat. Ein Beispiel dafür ist Straßenbeleuchtung, deren wichtigste Aufgabe es ist, die Straße und die darauf befindlichen Objekte für den Verkehrsteilnehmer deutlich wahrnehmbar zu machen, wobei die Farben von Flächen praktisch keine Rolle spielen.

## Beleuchtung und Wirtschaftlichkeit

Die Qualität der Beleuchtung ist in allen Fällen unvermeidlich verbunden mit dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit, da man sich bei neuen Büro- und Industriegebäudeprojekten sowie bei Renovierungen häufig dazu verleiten lässt, die Beleuchtung an letzter Stelle zu platzieren. Dies kann dazu führen, dass man sich wegen Etatsbeschränkungen für die Installation einer kostengünstigeren Beleuchtungsanlage entscheidet, was jedoch wiederum eine qualitativ minderwertige Beleuchtung, unzufriedene Mitarbeiter und einen Produktivitätsrückgang zur Folge haben kann.

Die Entscheidung für eine kostengünstige Beleuchtung kann auch dazu führen, dass man „am falschen Ende spart“. Während der gesamten Lebensdauer einer durchschnittlichen Beleuchtungsanlage werden die Kosten für den Stromverbrauch bei weitem höher sein als die Anfangskosten für die Installation oder die Wartungskosten. Wenn man eine Beleuchtungsanlage also ausschließlich aufgrund der Installationskosten wählt, so wird dies in Bezug auf die Betriebskosten nicht zwangsläufig die wirtschaftlichste Lösung darstellen. Die Anwendung der effizientesten Lichtquellen hingegen, bei denen es sich nicht unbedingt um die kostengünstigste Lösung handeln wird, ergibt in den meisten Fällen die niedrigsten Gesamtkosten.

Eine sorgfältig konzipierte Beleuchtungsanlage bietet außerdem eine optimale Beleuchtung an den Stellen, an denen sie benötigt wird, wobei die auszuführenden Aufgaben gebührend berücksichtigt und die architektonischen Merkmale an entsprechender Stelle betont werden. Gleichzeitig wird sich eine solche Anlage kosteneffektiv betreiben lassen, da sie nicht mehr Licht erzeugt, als benötigt wird. Bei industriellen Anwendungen zum Beispiel, bei denen eine gute Farbwiedergabe nicht unbedingt notwendig ist, würde die Wahl von

## Flimmern

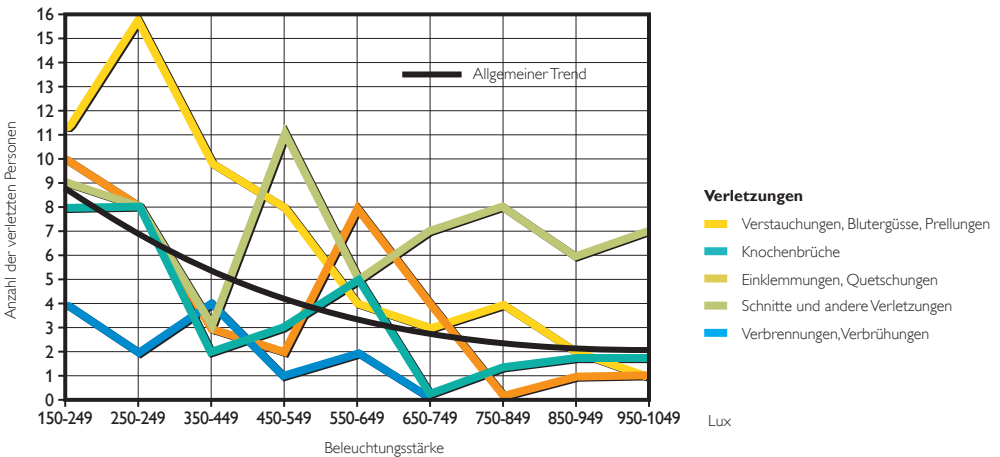
Ein Qualitätskriterium, das in Normen mit Bezug auf den Betrieb von Lampen nur selten erwähnt wird, ist die Netzfrequenz. Häufig beschwerten sich Benutzer über Kopfschmerzen, die durch das Flimmern oder Flackern von Leuchtstofflampen verursacht werden, die mit herkömmlichen Vorschaltgeräten (50 Hz) betrieben werden. Hingegen tritt bei Leuchtstofflampen, die mit modernen elektronischen HF-Vorschaltgeräten (ungefähr 30 kHz) betrieben werden, dieses Phänomen des Flimmerns nicht auf und man hat festgestellt, dass Kopfschmerzen nachweislich viel weniger häufig vorkommen, wenn elektronische Vorschaltgeräte benutzt werden. Selbstverständlich werden elektronische Hochfrequenz-Vorschaltgeräte auch empfohlen, weil sie wirtschaftlicher arbeiten und eine längere Nutzlebensdauer der Lampen ermöglichen, im Vergleich zu Lampen, die mit herkömmlichen Vorschaltgeräten betrieben werden.

Lampen mit einem Farbwiedergabeindex von Ra 90 eine unnötige Verschwendung darstellen, während Lampen mit einem Farbwiedergabeindex von Ra 80 ausreichend sind. Die ideale Beleuchtungslösung ist somit diejenige, die speziell auf die Anforderungen des Kunden zugeschnitten ist und bei der alle Faktoren berücksichtigt werden.

### Beleuchtung am Arbeitsplatz

Gute Beleuchtung bei der Ausführung einer Tätigkeit und am Arbeitsplatz ist auch für eine optimale Leistung bei (Seh-)Aufgaben von entscheidender Bedeutung, insbesondere angesichts eines ständig steigenden Durchschnittsalters der Bevölkerung. Forschungen mit Bezug auf die Quantität und Qualität der Beleuchtung in den vergangenen Jahrzehnten haben ergeben, dass eine Verbesserung der Beleuchtungsqualität von einem niedrigen oder mittleren auf ein höheres Niveau die Geschwindigkeit und Genauigkeit erhöht, mit denen Gegenstände erfasst und erkannt werden können.

Das Unfallrisiko am Arbeitsplatz wird ebenfalls verringert, wenn ein stärkeres Bewusstsein von potentiell gefährlichen Situationen besteht, und wenn die Stimmung, Aufmerksamkeit und Gesundheit von Industriearbeitern durch qualitativ hochwertige Beleuchtung gefördert werden. Dieser Effekt kann gar nicht stark genug betont werden, da ein niedrigeres Aufmerksamkeitsniveau bei den Mitarbeitern und ein hohes Ermüdungsniveau eine beträchtliche Anzahl von Unfällen verursachen. Neben der Auswirkung auf die Sehleistung und die Unfallhäufigkeit, hat die Beleuchtung auch einen starken Einfluss bei der Schaffung einer stimulierenden Arbeitsumgebung. Heutzutage werden der Raumaufteilung und der Gestaltung der Inneneinrichtung verstärkte Aufmerksamkeit geschenkt, doch die Beleuchtung spielt ebenfalls eine wichtige Rolle. Während sie einerseits in der Lage ist, die positiven Elemente eines Design zu betonen, kann die Beleuchtung andererseits gerade von solchen Elementen ablenken, zum Beispiel durch eine verringerte Farbwiedergabe oder durch Blendwirkungen.



Anzahl von Unfällen bei unterschiedlichen Arbeitsaufgaben in der Industrie als Funktion des Beleuchtungsniveaus (insgesamt 347 Unfälle untersucht). (Völker, S., Rüschemschmidt, H., und Gall, D., "Beleuchtung und Unfallgeschehen am Arbeitsplatz", Zeitschrift für die Berufsgenossenschaften, (1995).]



## Beleuchtungsrichtlinien

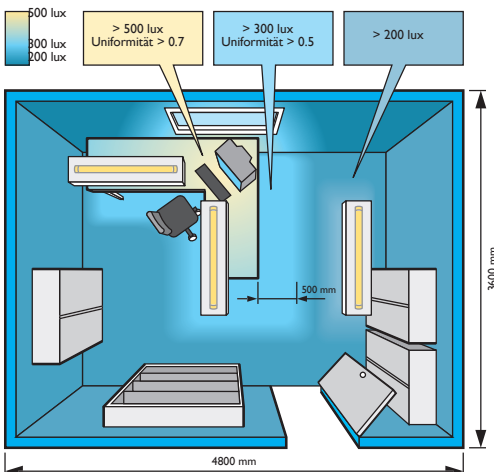
Die Beleuchtungsanforderungen für Räume und Aktivitäten für Arbeitsstätten in Innenräumen sind in der europäischen Norm EN12464-1 Beleuchtung von Arbeitsstätten des Europäischen Normenausschusses (CEN) verfasst. Die Norm, die seit September 2002 in Kraft ist, gilt als einheitliche europäische Norm für alle Mitgliedsstaaten der EU und tritt an die Stelle der jeweiligen nationalen Richtlinien. Die Norm beinhaltet Vorgaben für Beleuchtungsanlagen für nahezu jede in einem Innenraum untergebrachten Arbeitsstätte und die dazugehörigen Bereiche mit Bezug auf Quantität und Qualität der Beleuchtung. Ferner

enthält sie Empfehlungen für eine einwandfreie Beleuchtungspraxis.

## Europäische Norm EN1264-1 für Büroräume

Die europäische Norm EN12464-1 führt vier grundlegende Qualitätsparameter für Aufgaben und Aktivitäten in Innenräumen auf: Stabiles Beleuchtungsstärkeniveau (Em), Uniformität (Emin/Eav), Blendungsbegrenzung (UGR) und Farbwiedergabe (Ra). Die untenstehenden Werte stellen einen kurzen Auszug der Beleuchtungsanforderungen für den Anwendungsbereich der Bürogebäude dar.

Büroräume		
Art der Einrichtung, Aufgabe oder Aktivität	Beleuchtungsstärke	Blendungsbegrenzung
Ablage, Kopieren usw.	300	19
Schreiben, Tippen, Lesen, Datenverarbeitung	500	19
Technisches Zeichnen	750	19
CAD-Arbeitsplätze	500	16
Konferenz- und Sitzungsräume	500	19
Empfang	300	22





Die Verschiedenheit industrieller Anwendungen ist enorm. Die untenstehende Tabelle, die nur als Beispiel dienen soll, vermittelt einen Eindruck von den Beleuchtungsanforderungen nach EN12464-1 für die elektrische Industrie. Normtabellen sind für alle relevanten Industriebereiche verfügbar.

<b>Elektrische Industrie</b>			
<b>Art der Einrichtung, Aufgabe oder Aktivität</b>	<b>Beleuchtungsstärke</b>	<b>Blendungsbegrenzung</b>	<b>Farbwiedergabe</b>
Kabel- und Drahtherstellung	300	25	80
<b>Wickeln:</b>			
- große Spulen	300	25	80
- mittelgroße Spulen	500	22	80
- kleine Spulen	750	19	80
Imprägnieren von Spulen	300	25	80
Galvanisieren	300	25	80
<b>Montagearbeiten:</b>			
- Schwer, z.B. Transformatoren	300	25	80
- Mittel, z.B. Schalttafeln	500	22	80
- Fein, z.B. Telefone	750	19	80
- Präzision, z.B. Messgeräte	1.000	16	80
Elektronikwerkstätten, Prüfung, Abgleich	1.500	16	80



# 3. Beleuchtungssysteme

Eine Beleuchtungsanlage erfüllt weitaus mehr Aufgaben als nur die des Sichtbarmachens unserer Umgebung, um effizient und sicher arbeiten zu können. Heutzutage wird die Beleuchtung auch als eine Möglichkeit zur Schaffung einer angenehmen Atmosphäre in Innenräumen in ihrer Allgemeinheit betrachtet und als Mittel, mit dem sich komfortable Bedingungen für Leben und Arbeit realisieren lassen. Die Beleuchtung betont die funktionalen

und dekorativen Qualitäten des Raums und seine Proportionen. Sie dient nicht nur zur Verbesserung der visuellen Wahrnehmung, sondern auch zur Bestimmung der emotionalen Atmosphäre: Kühl oder warm, sachlich oder beschwingt, heiter oder erhaben. Darin liegt die Aufgabe des Beleuchtungsdesigners, die durch die Schaffung von Systemen für eine komfortable und anregende Beleuchtung erfüllt wird.



## Allgemeinbeleuchtung

Allgemeinbeleuchtung erzeugt ein einheitliches Beleuchtungsstärkeniveau in einem großen Bereich. In bestimmten Räumen, wie z.B. Schränken, Lagerräumen, Betriebsräumen und Garagen, reicht eine einzige Leuchte oder Leuchtengruppe für die gesamte erforderliche Beleuchtung aus. Diese Innenbereiche befinden sich normalerweise dort, wo die Gestaltung und das Erscheinungsbild des Raumes gegenüber den auszuleuchtenden Gegenständen zweitrangig ist und Kosten einen entscheidenden Faktor darstellen. Gefordert sind hier vor allem eine gute allgemeine Lichtverteilung und eine primär horizontale Beleuchtung ohne Schatten.



## Architekturbeleuchtung

Architekturbeleuchtung zielt auf die Betonung der Merkmale und der kennzeichnenden Elemente des Raums an sich ab, wie z.B. Wände, Decken, Fußböden usw., statt der darin befindlichen Gegenstände. Leuchten für Architekturbeleuchtung erzeugen im Allgemeinen nur bescheidene Mengen an Licht und werden häufig auch wegen ihres eigenen Erscheinungsbildes gewählt, wobei zusätzliche Leuchten für die Allgemeinbeleuchtung des Raums oder Arbeitsplatzbeleuchtung eingesetzt werden.

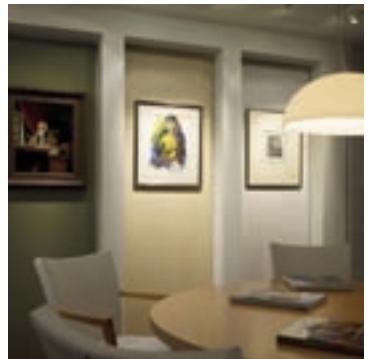
### **Arbeitsplatzbeleuchtung**

Wie der Name bereits vermuten lässt, dient die Arbeitsplatzbeleuchtung zum Aufhellen spezifischer ausgewiesener Arbeitsbereiche wie Schreibtische und Theken. Arbeitsplatzbeleuchtung verringert die Abhängigkeit von der allgemeinen Deckenbeleuchtung und bietet eine bessere Beleuchtungsqualität für bestimmte Aufgaben, wobei die Beleuchtung direkt auf die Arbeitsfläche ausgerichtet ist. Die meisten Arbeitsplatzleuchten erzeugen ein gebündeltes Licht und sind lokal angeordnet.



### **Akzentbeleuchtung**

Akzentbeleuchtung wird dazu benutzt, bestimmte Merkmale in einem Raum zu betonen, wie zum Beispiel Kunstgegenstände in Museen und Sonderangebote in Geschäften. Diese Art von Beleuchtung sollte keine allzu starken Helligkeitskontraste erzeugen.



### **Umgebungsbeleuchtung**

Umgebungsbeleuchtung (Neudeutsch: „Ambient Lighting“) wird zum Schaffen einer Stimmung oder Atmosphäre in Wohn- oder Arbeitsräumen benutzt. Es handelt sich üblicherweise um eine Kombination von Allgemein-, Architektur-, Arbeitsplatz- und Akzentbeleuchtung, mit der eine ausgesprochen eigenständige Atmosphäre in einem Raum geschaffen wird.



# 4. Leuchten

Obwohl die Lampe die primäre Lichtquelle darstellt, werden Reflektoren und Lamellen benötigt, um das Licht zu verteilen und an die gewünschte Stelle zu lenken. Die Leuchte erfüllt genau diese Funktionen. Die Leuchte kann außerdem zur Abschirmung der Blendwirkung und zum Schutz der Lampe dienen. Sie enthält Elemente zur Verteilung, Filterung und Umwandlung des von einer Lampe ausgestrahlten Lichts und umfasst alle Bauteile, die zur Befestigung und zum Schutz der Lampe(n) und zum Anschluss an die Stromversorgung benötigt werden.

Leuchten, die für Gasentladungslampen entwickelt wurden, enthalten außerdem ein elektrisches Vorschaltgerät oder Geräte zur Zündung und Steuerung der Lampe und zur Aufrechterhaltung der elektrischen Sicherheit. Dabei kann es sich um elektromagnetische oder, wie heutzutage üblicher, elektronische Vorschaltgeräte handeln, die kompakter und leichter sind und entscheidende Vorteile in Bezug auf Regelung, Energieeinsparung, Lichtqualität und Zündverhalten bieten. Der weite Bereich der Leuchten lässt sich in verschiedene Kategorien aufteilen, von denen jede für ein eigenes spezielles Einsatzgebiet vorgesehen ist. Diese sind nachstehend aufgeführt.

## Leuchtentypen:

- Einbauleuchten
- Strahler/Scheinwerfer
- Anbauleuchten
- Dekorative Leuchten
- Pendelleuchten
- Freistehende Leuchten
- Uplights
- Schienenleuchtensysteme
- Downlights



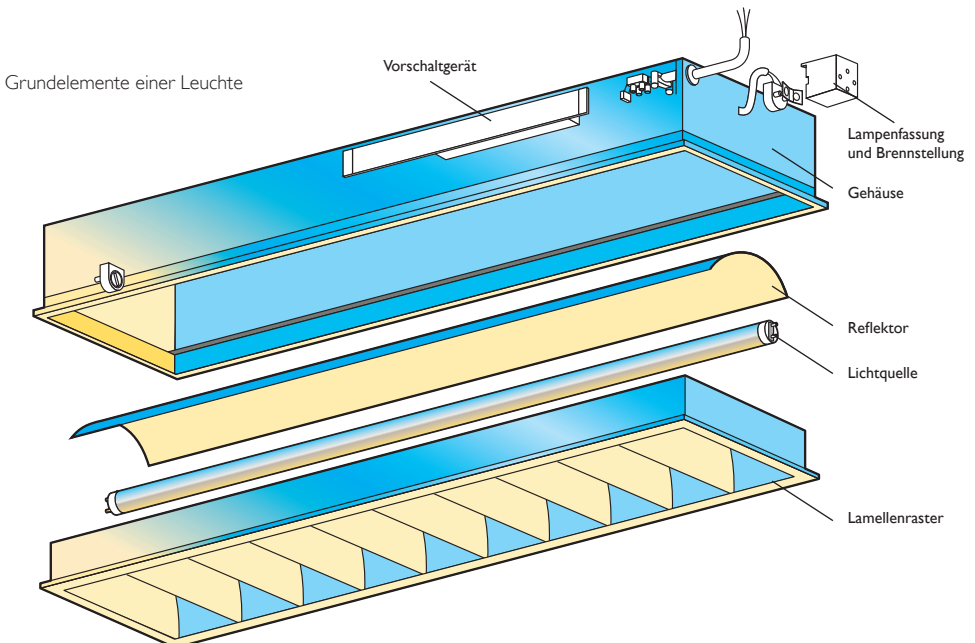
Beispiele einer Einbau- (o.) und einer Pendelleuchte (u.)

Das Styling und die Konstruktion des Leuchtgehäuses spiegeln die Aufgabe wider, für die es entworfen wurde und reichen von Zweckmäßigkeit für industrielle Beleuchtung bis hin zu stilvollem Design für exklusive Geschäfte und Architekturbeleuchtung.

### Sicherheit

Leuchten müssen (wie übrigens auch Lampen, Vorschaltgeräte und Regeleinheiten) internationalen und europäischen Sicherheitsrichtlinien entsprechen, die von offiziellen staatlich Organen aufgestellt wurden. Dazu gehören strenge Normen und Standards für die jeweiligen Leuchtenklassen in Bezug auf elektrische Sicherheit, elektromagnetisches Störverhalten, Schlagfestigkeit und Eindringenschutz, Brennbarkeit, UV-Strahlung und so weiter.

Ein befugter Mitarbeiter der Herstellerfirma oder deren bevollmächtigter Vertreter muss eine sogenannte Konformitätserklärung vorlegen, die neben anderen erforderlichen Angaben die Spezifikationen enthält, denen das Produkt entspricht. Wenn der Hersteller über die Einrichtungen verfügt, die es ihm ermöglichen, selbst eine vollständige Prüfung gemäß der entsprechenden Richtlinien durchzuführen, steht ihm dieses Recht zu. Eine von einem Drittlabor durchgeführte Prüfung ist nicht obligatorisch, dürfte jedoch sicherer sein, wenn es darum geht, die Einhaltung der Normen zu bestätigen. Der Hersteller ist im juristischen Sinne voll haftbar für alle Schäden, die auf die Nichteinhaltung der Normen bei seinen Produkten zurückzuführen sind.



# 5. Licht und Umwelt

Die Auswirkung der Beleuchtung auf die Umwelt gewinnt immer mehr an Beachtung. Zielwerte für die Reduzierung von Treibhausgasen, die Reduzierung bzw. der Verzicht auf umweltschädigende Substanzen wie Quecksilber und Blei sowie das obligatorische Recycling gebrauchter Lampen sind gesetzlich vorgeschrieben. Aufgrund von notwendigen Investitionen in erneuerbare Energien und die Knappheit von Erdöl ist mit einem Anstieg der Elektrizitätskosten zu rechnen. Große Endverbraucher haben zudem das Thema Nachhaltigkeit in ihre Unternehmensstrategie und ihre Umweltmanagementsysteme aufgenommen. Die guten Neuigkeiten sind, dass Philips Produkte entwickelt hat, die aktuelle und zukünftig geltende Richtlinien erfüllen und somit zur Senkung der Betriebskosten beitragen. Tatsächlich profitiert jeder vom Kauf "grüner" Produkte. Sie erzielen höhere Gewinnspannen, der Endverbraucher hat niedrigere Beleuchtungskosten und für die Gesellschaft ergibt sich eine niedrigere Umweltverschmutzung.

## Nachhaltigkeit – Der Schlüssel für unsere Zukunft

An unser Nachhaltigkeitspolitik zeigt sich unser Engagement für die Zukunft. Mit all unseren Beleuchtungslösungen schaffen wir ein Gleichgewicht zwischen gesellschaftlichen (Sicherheit, Wohlbefinden), wirtschaftlichen (niedrigste Betriebskosten) und



Philips ist laut dem Dow Jones Nachhaltigkeitsindex in den Jahren 2004 und 2005 Marktführer in Bezug auf nachhaltige Unternehmensführung.

ökologischen (Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen, minimaler Quecksilberanteil) Anforderungen. Unser Ziel ist es, die weltweiten Ressourcen zu schützen, so dass auch unsere Kinder und Enkel noch den gleichen Lebensstandard wie wir genießen.

Philips ist laut Dow-Jones-Nachhaltigkeitsindex in den Jahren 2004 und 2005 Marktführer in Bezug auf nachhaltige Unternehmensführung.

## MASTER – Vollständige Einhaltung von aktuellen und zukünftig geltenden Umweltrichtlinien

Die Wahl der richtigen Lampe aus unserem Produktfolio wird davon bestimmt, welche individuellen Bedürfnisse ein Kunde hat und ob er an kurzfristigen oder langfristigen Kosteneinsparungen interessiert ist.

Für Kunden, die langfristig an möglichst niedrigen Gesamtbetriebskosten sowie an qualitativ hoher technischer und ökologischer Leistung in Bezug auf Lichtqualität, Verlässlichkeit über die gesamte Lebensdauer und Einhaltung von aktuellen und zukünftigen Umweltrichtlinien interessiert sind, stellen unsere MASTER-Lampen die bestmögliche Wahl dar.

## Was ist eine gute ökologische Leistung?

Wir definieren die ökologische Leistung unserer Produkte auf sechs Gebieten, um sie anschaulicher zu gestalten:

- Energieeffizienz zur Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Kraftwerken
- Eine lange und zuverlässige Lebensdauer zur Reduzierung des Abfallvolumens
- Reduzierung bzw. Verzicht auf umweltschädigende Substanzen über gesetzliche Richtlinien hinaus




- Leichte, einfache und recycelbare Verpackung zur Reduzierung von Abfall und Transport
- Möglichkeit des Aufwärts-Recycling von wieder verwertbaren Komponenten zur Verwendung in ähnlichen Produkten
- Miniaturisierung der Produkte zur Verringerung von Gewicht und Materialbedarf

### Green Flagship-Produkte

MASTER-Produkte, die in einer oder mehreren dieser Umweltfreundlichkeitskategorien besonders gut abschneiden, werden als Green Flagship-Produkte bezeichnet.

Beim Kauf von Green-Flagship-Produkten können Ihre Kunden sicher gehen, dass sie die umweltfreundlichsten Produkte in diesem Produktbereich gewählt haben.

Green-Flagship-Produkte zeichnen sich durch das  Symbol und eine außergewöhnlich gute Leistung in den verschiedenen Umweltfreundlichkeitskategorien aus.

### Philips senkt den Quecksilbergehalt auf ein branchenweit einmaliges Niveau

Dies ist unsere Reaktion auf die zukünftig geltende europäische Richtlinie für die Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe („Restriction on Hazardous Substances“, RoHS, ab 1.07.2006 in Kraft). Die folgenden gefährlichen Stoffe sind nach In-Kraft-Treten dieser Richtlinie der Europäischen Union nicht mehr zulässig:

- Blei
- Quecksilber
- Cadmium
- Sechswertiges Chrom
- Polybromierte Biphenyle (PBB)
- Polybromierte Diphenylether (PBDE)



## Green Flagship-Produkte

Ein Green Flagship-Produkt übertrifft Konkurrenz- und Vorgängermodelle oder andere Produkttypen für dasselbe Anwendungsgebiet in mindestens einer dieser wichtigsten Umweltfreundlichkeitskategorien und ist in den restlichen Kategorien mindestens genauso gut:



Energieeffizienz



Zuverlässigkeit während der Lebensdauer



Gefährliche Substanzen



Verpackung



Recyclingfähigkeit



Gewicht

Diese Richtlinie erstreckt sich auf alle Beleuchtungsprodukte, einige Anwendungen sind jedoch hiervon befreit.

Gefährlicher Stoff	Anwendungen	Wert
Quecksilber	Energiesparlampen	< 5 mg
	Gerade Leuchtstofflampen für die allgemeine Beleuchtung	
	• Standardfarben	< 10 mg
	• 80 Farben, normale Lebensdauer	< 5 mg
	• 80 Farben, lange Lebensdauer	< 8 mg
	Leuchtstofflampen für spezielle Zwecke:	Befreit
	Hochdruckentladungslampen:	Befreit
Blei	Glas in elektronischen Komponenten (z. B. Starter):	Befreit
	Glas in Leuchtstoffröhren:	Befreit
	Lötlmittel, hohe Schmelztemperatur (Blei > 85 %):	Befreit
	Elektronische Bestandteile aus Keramik (z. B. Treiber):	Befreit

Philips ist bei der Reduzierung des Quecksilbergehalts schon immer mit gutem Beispiel vorangegangen. Alle unsere Leuchtstofflampen werden den in der EU-Richtlinie zur Verwendung gefährlicher Stoffe festgelegten Beschränkungen gerecht, und alle Leuchtstofflampen der MASTER-Serie übertreffen diese sogar. Wir haben unsere Kenntnisse im Hinblick auf den Quecksilberanteil und -verbrauch genutzt, um neue Maßstäbe zu setzen. Seit September 2005 hat

Philips neue Produkte auf den Markt gebracht, bei denen der Quecksilbergehalt auf ein Rekordminimum reduziert wurde. Zudem haben wir weitere Stoffe vermieden, hierzu zählen beispielsweise Blei in Glas und radioaktive Materialien in Startern und Zündungen, selbst wenn diese von der EU-Richtlinie zur Verwendung gefährlicher Stoffe befreit waren. You can recognise these best in class products by the following:

Auf dem Produkt:



Green flagship product

Auf der Verpackung:



Minimaler Quecksilbergehalt



Minimaler Quecksilbergehalt



Bleifrei



Frei von radioaktiven Substanzen



# Anhang - Über Philips

Die niederländische Royal Philips Electronics ist einer der größten Elektronikkonzerne weltweit und der größte in Europa. Der Umsatz 2005 betrug 30 Milliarden Euro. Das Unternehmen ist weltweit Marktführer bei Farbfernsehgeräten, Lichtsystemen, Elektrorasierern, Medizinischer Diagnostik und Patienten-monitoring sowie One-Chip-TV-Produkten. 164.500 Mitarbeiter in über 60 Ländern sind in den Bereichen Beleuchtung, Unterhaltungselektronik, Haushaltsgeräte, Halbleiter und Medizinische Systeme tätig. Die Philips Aktie ist unter anderem an den Börsen in New York (Symbol: PHG), London, Frankfurt und Amsterdam notiert.

Philips Licht, ein Unternehmensbereich der Philips Electronics und die Nummer Eins auf dem globalen Beleuchtungsmarkt, ist bestrebt, auf der Grundlage eines eingehenden Verständnisses ihrer Bedürfnisse, Wünsche und Ziele, das Leben von Menschen mit effektiven und attraktiven Beleuchtungslösungen zu verbessern.

Das Unternehmen möchte von allen Interesseninhabern als Schrittmacher in der Beleuchtungsindustrie, als bester Geschäftspartner und als verantwortungsbewusster Aktivbürger; der einen Beitrag zur Aufrechterhaltung der gesamten Gesellschaft leistet, anerkannt werden.

Die Produkte des Unternehmensbereichs sind weltweit vertreten: Nicht nur in nahezu allen Haushalten, sondern auch in einer großen Vielzahl von professionellen Anwendungen, zum Beispiel in 30 Prozent der Büros, 65 Prozent der wichtigsten Flughäfen der Welt, 30 Prozent der Krankenhäuser, 35 Prozent der Kraftfahrzeuge und 55 Prozent aller wichtiger Fußballstadien (zum Beispiel acht von zwölf Stadien bei der Fußball-WM in Deutschland).

Zu der Produktpalette gehört ein komplettes Programm an Glüh- und Halogenlampen, normalen und Kompaktleuchtstofflampen, Hochdruck-Gasentladungslampen und Speziallampen, Beleuchtung auf der Grundlage von Leuchtdioden (LEDs), Leuchten, Vorschaltgeräten, Beleuchtungselektronik und Autolampen.







**Philips Lighting Application Centre**

Mathildelaan 1, Gebäude EEE

NL-5611 BD Eindhoven

Niederlande

[www.philipslighting.com](http://www.philipslighting.com)

**©2008 Koninklijke Philips Electronics N.V.**

Alle Rechte vorbehalten. Vollständige oder teilweise Vervielfältigung nur mit schriftlicher Genehmigung des Copyright-Inhabers.

Die Angaben in diesem Dokument sind weder Angebots- noch Vertragsbestandteile, sie werden nach bestem Wissen und Gewissen zur Verfügung gestellt und können ohne vorherige Ankündigung geändert werden. Der Herausgeber übernimmt keinerlei Haftung für Folgen der Nutzung dieser Angaben. Die Veröffentlichung dieser Angaben beinhaltet oder verleiht keinerlei patentrechtliche Lizenz oder anderweitige gewerbliche oder geistige Eigentumsrechte.

Dokument-Bestellnummer: 3222 635 58551

