

# Vortrag

## Beleuchtungsplanung unter quantitativen und qualitativer Güteigenschaften

**FRENGER SYSTEMEN BV  
Heiz- und Kühldecken GmbH**

am 10. Juni 2003



Dipl.-Ing. (TU) / Dipl.-Wirtschaftsing.(FH)  
Oliver D. Bind  
Troppauer Straße 11  
61440 Oberursel (Taunus)

Tel. 06171/587097  
FAX 06171/587208  
Email : O.Bind@ingenieurbuero-Bind.de  
<http://www.ingenieurbuero-bind.de>

Sachkundiger für Beleuchtung nach BGR 131  
Sicherheits- und Gesundheits-Koordinator nach der Baustellenverordnung

## Inhaltsverzeichnis

<b>EINE EINFÜHRUNG ZUM THEMA LICHT</b>	<b>3</b>
<b>WAS IST LICHT ?</b>	<b>5</b>
<b>SEHORIENTIERTE GÜTEEIGENSCHAFTEN</b>	<b>6</b>
<b>Beleuchtungsniveau</b>	<b>6</b>
Lichtstrom	7
Lichtstärke	7
Beleuchtungsstärke	8
Photometrische Entfernungsgesetz	9
Leuchtdichte	10
Beleuchtungsniveau am Beispiel Ballsporthallenbeleuchtung	11
<b>Blendung und Blendungsbegrenzung</b>	<b>11</b>
Physiologische Blendung	11
Psychologische Blendung	12
Direktblendung	12
Reflexblendung	13
Blendung am Beispiel Ballsporthallenbeleuchtung	14
<b>Lichtfarbe und Farbwiedergabe</b>	<b>14</b>
Lichtfarbe und Farbwiedergabe am Beispiel Ballsporthallenbeleuchtung	17
<b>WAHRNEHMUNGSORIENTIERTE GÜTEEIGENSCHAFTEN</b>	<b>17</b>
<b>Harmonische Helligkeitsverteilung</b>	<b>18</b>
<b>Orientierung im Raum</b>	<b>19</b>
<b>Charakterisierung der Architektur</b>	<b>19</b>
<b>ARCHITEKTONISCH, GESTALTERISCHE GÜTEEIGENSCHAFTEN</b>	<b>20</b>
<b>WIRTSCHAFTLICHKEIT</b>	<b>21</b>
Einsatz von wirtschaftlichen Lampen	21
Einsatz von wirtschaftlichen Vorschaltgeräten	21
Vermehrte Tageslichtnutzung	22
Beleuchtungserneuerung	22
<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>22</b>
<b>10 GEBOTE FÜR RICHTIGES UND GUTES LICHT</b>	<b>23</b>
<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>25</b>

### **Eine Einführung zum Thema Licht**

Ein Ingenieur oder Physiker beschreibt Licht als eine elektromagnetische Strahlung bei einer Wellenlänge zwischen 380 - 780 nm (visueller Bereich). Ein Architekt hingegen beschreibt Licht als Sinneserfahrung, die im Erleben der Architektur erfahrbar wird. Licht kann als warm oder kalt, scharf oder weich, hell oder dunkel, direkt oder diffus, ehrlich oder unehrlich, blendend oder glitzernd gesehen werden. Die kurze Gegenüberstellung der unterschiedlichen Sichtweisen von Licht von Ingenieur und Architekt soll exemplarisch zeigen, wie kontrovers Licht gesehen werden kann und auch gesehen wird. Die einen sehen Licht quantitativ die anderen qualitativ. Sie deutet aber auch die Vielschichtigkeit des Lichtbegriffes an. Beide Sichtweisen vernachlässigen jeweils einen Teil des Lichtes und sind somit nicht umfassend. Nur wenn die Wirkungsweise des Lichtes ganzheitlich verstanden wird, kann Licht gezielt eingesetzt und geplant werden. Licht kann dann zur Raumqualität erheblich beitragen.

Hierzu zwei Beispiele:

- Tageslicht ist vielmehr als die spektrale Zusammensetzung des Sonnenlichtes. Es ist unser Bezug zur Umwelt. Es ist Lebensspender. Es gibt den Tagesrhythmus und Jahreszyklus vor. Es bestimmt in weiten Bereichen unser Leben. Die Frage nach einer guten Lichtplanung darf daher das Tageslicht nicht außer Acht lassen. Mit Tageslicht ist hierbei nicht nur das Licht bei Tage gemeint, sondern die Möglichkeit den Bezug zur Außenwelt herstellen zu können. Dies gilt auch für den Nachtfall. Untersuchungen aus den USA haben gezeigt, dass die Akzeptanz einer Bürobeleuchtung bei Vorhandensein von geringem Tageslicht (kein nennenswerter Beleuchtungsstärkeanteil) höher war, als ohne Tageslichtanteil. Dieses Beispiel zeigt die unterschiedliche Akzeptanz einer Kunstbeleuchtungsanlage bei gleichem lichttechnischen Beleuchtungsdaten durch den Einfluss von Tageslicht.
- Eine Empfangshalle eines Bürogebäudes wird mit hochwertig wirkenden Leuchten ausgestattet, ein Lagerraum hingegen mit preiswerten funktionalen Leuchten. Wohlgermerkt mögen die lichttechnischen Eigenschaften beider Beleuchtungslösungen identisch sein, ihre Akzeptanz dagegen sehr unterschiedlich ausfallen. Die unterschiedliche Akzeptanz ist dabei durch die differierende Erwartungshaltung dem Raumambiente und der Raumfunktion gegenüber erklärbar. Die verschiedenen Beleuchtungskörper sind nur Teil und Ausdruck des Ambientes, bzw. der Raumfunktion.

Die Beleuchtung ist im Kontext der Nutzung zu sehen. Die Integration der Leuchte in ein Gebäude setzt einen gegenseitigen Austausch von Lichtplaner und Kunde im Planungsprozess voraus. Als Ergebnis erhält man ein Gesamtgebilde, welches schließlich in seiner Gesamtheit mit allen Sinnen wahrgenommen wird. Auf diesem Wege wird eine Beleuchtung hoher Qualität erreicht, wodurch sich die bestmögliche Akzeptanz des Ambientes im Raum beim Betrachter einstellt.

Die Güte und Qualität von Beleuchtungsanlagen wird also neben technischen Faktoren auch von subjektiven Faktoren beeinflusst. Die Güte einer Beleuchtung wird in der Regel durch folgende Güteigenschaften bewertet:

- Beleuchtungsniveau
- Helligkeitsverteilung
- Blendungsbegrenzung
- Lichtrichtung und Schattigkeit

- Lichtfarbe und Farbwiedergabe
- Flimmerfreiheit
- Wirtschaftlichkeit

Diese Merkmale sind in Richtlinien für die Beleuchtungsplanung und in Normen und Empfehlungen festgelegt. Bei der Anwendung derartiger Empfehlungen sind zwei Grundsätze besonders zu beachten:

Viele der in Normen festgelegten Verfahren zur Bewertung einzelner Güteigenschaften sind so angelegt, dass sie in der Praxis hinreichend leicht anwendbar sind. Sie berücksichtigen den Stand der Technik zum Zeitpunkt ihrer Entstehung und gelten daher im Grunde zunächst nur unter den dadurch gegebenen technischen Bedingungen. Der Fortschritt der Technik kann dazu führen, dass eine buchstabengetreue Anwendung von Empfehlungen nicht zu dem gewünschten Ergebnis führt. Aus diesem Grunde erfordert eine sachgerechte Anwendung, auch einfacher praxisgerechter Verfahren zur Bewertung der Güte der Beleuchtung, eine gründliche Kenntnis der Hintergründe für die Entstehung der Empfehlung.

Auch die Einhaltung von Normen und Empfehlungen garantiert noch nicht, dass die geplante Beleuchtungsanlage voll befriedigend ist. Gute Beleuchtungsanlagen müssen auch Kriterien erfüllen, die sich in diesen Regeln nicht festlegen lassen.

Lichtplanung ist die Planung der visuellen Umwelt des Menschen ihr Ziel ist die Schaffung von Seh- und Wahrnehmungsbedingungen die einerseits ein effektives Arbeiten andererseits aber Sicherheit und Wohlbefinden vermitteln. Sucht man nach Güteigenschaften für die Beleuchtung besonders von Innenräumen, so stößt man in der qualitativen Beleuchtungsplanung auf vier Hauptaspekte:<sup>1</sup>

1. den sehorientierten funktionalen Aspekt des Beleuchtens,
2. den wahrnehmungsorientierten Aspekt des Beleuchtens,
3. den architektonischen, gestalterischen Aspekt der Planung selbst und schließlich
4. die Wirtschaftlichkeit als den Aspekt des monetären Bereichs der Planung.

Der Schwerpunkt konventioneller, quantitativer Planung (auch : normtechnische Planung) liegt heute noch überwiegend auf der sehorientierten funktionalen Seite, diese Art der Planung orientiert sich an lichtphysikalischen Kriterien wie der räumlichen Verteilung von Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte (Helligkeitseindruck, Beleuchtungsniveau) und bezieht ihre Bedeutung und Rechtfertigung aus Normen und Richtlinien. Sie wird meist von den reinen Elektroplanern als einzigen Ansatz angewandt.

Andere Aspekte Beleuchtung können aber nur beachtet werden, wenn einerseits eine Erweiterung des Planungsansatzes auch, oder vor allem in Richtung wahrnehmungsorientierter und gestalterischer Planung erfolgt und eine quantitative Planung im Hinblick auf qualitative Kriterien oder Güteigenschaften erweitert wird, wie im folgenden näher erläutert wird. Der letztgenannte gestalterische Ansatz wird meist als einziger Ansatz von sogenannten „Lichtdesignern“ verfolgt, welche somit den medizinischen und sicherheitstechnischen Bereich der Beleuchtung ausblenden oder keine genügende Aufmerksamkeit schenken. Damit können dort ebenso „schlechte Planungen entstehen, wie bei Planungen von reinen Elektroplanern.

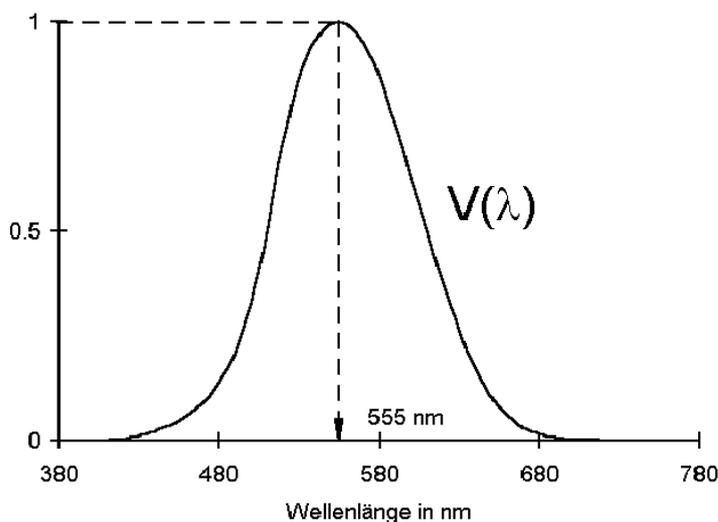
---

<sup>1</sup> H.Hofmann, Von der Quantität zur Qualität – Über neue Wege in der Architekturbeleuchtung, Tagungsband Licht 2000, Seite 752

### Was ist Licht ?

Als Licht wird die vom menschlichen Auge wahrnehmbare, sichtbare elektromagnetische Strahlung bezeichnet. Dabei handelt es sich um einen kleinen Ausschnitt aus dem gesamten elektromagnetischen Wellenlängenbereich, welcher neben dem sichtbaren Licht auch die Gamma-, Röntgen, UV-Strahlung sowie die Infrarotstrahlung, die Radiowellen usw. umfasst. Der Spektralbereich des sichtbaren Lichts reicht von 380 bis 750 nm (sprich: Nanometer) Wellenlänge. Innerhalb dieses Bereiches unterteilt sich das Spektrum in verschiedenen Farben von violett über blau, grün, gelb nach rot. Außerhalb dieses Bereiches kann das menschliche Auge keine Strahlung sehen. Die Hellempfindung hängt nicht nur von der Strahlungsleistung, also der Menge des in das Auge eindringenden Lichtes ab, sondern auch ganz entscheidend von seiner spektralen Zusammensetzung, Das menschliche Auge sieht nicht alle Bereiche des Spektrums gleich hell.

#### Die $V(\lambda)$ -Funktion



Die Lichtreize unterschiedlicher Wellenlängen erzeugen auch unterschiedlich starke Hellempfindungen im Auge. So liegt die maximale Empfindlichkeit für das Tagessehen bei 555 nm (grün), Zu den längeren (gelb, orange, rot) wie auch zu den kürzeren Wellenlängen (blau, violett) hin nimmt die Empfindlichkeit ab. Außerhalb des Bereichs von ca. 380 bis 780 nm ist sie gleich Null. Des weiteren unterscheiden sich die Empfindlichkeitsfunktion für den Tag und die Nachr.  $V(\sim)$  für Tagessehen = helladaptiertes Auge und  $V'(\sim)$  für Nachtsehen = dunkeladaptiertes Auge.

Für die Nacht ist die Empfindlichkeit leicht zu den kürzeren Wellenlängen (blau, violett) hin verschoben, so dass die in der Nacht vorherrschenden blauen Lichtanteile verstärkt wahrgenommen werden können.

Die Anpassung des Auges an die im Gesichtsfeld vorherrschende mittlere Leuchtdichte wird Adaptation genannt, Das menschliche Auge ist in der Lage, sich auf Leuchtdichtewerte im Bereich von  $10^{-9}$  cd/m<sup>2</sup> bis etwa  $10^5$  cd/m<sup>2</sup> einzustellen. Sind im Gesichtsfeld größere Flächen stark unterschiedlicher Helligkeiten vorhanden, dann verlangt dies vom Auge häufige Neuadaptation, was zu rascher Ermüdung führen kann. Eine Beleuchtungsanlage, die optimale Bedingungen für Sehen, Erkennen und Wohlbefinden schaffen soll, muss daher in Verbindung mit den Reflexionsgraden der Raumbegrenzungsflächen und der Raumeinrichtung auch für eine harmonische Helligkeitsverteilung sorgen.

Das menschliche Auge ist in der Lage, unterschiedlich weit entfernte Gegenstände scharf auf der Netzhaut abzubilden, Dieser Anpassungsvorgang des Auges heißt Akkumulation. Bei

unzureichenden Lichtverhältnissen (unter 100 lx oder starkem Nebel) ist die Akkumulationsfähigkeit des Auges herabgesetzt. Sie sinkt ebenfalls mit zunehmendem Alter ab etwa 40 Jahren.

### Sehorientierte Güteigenschaften

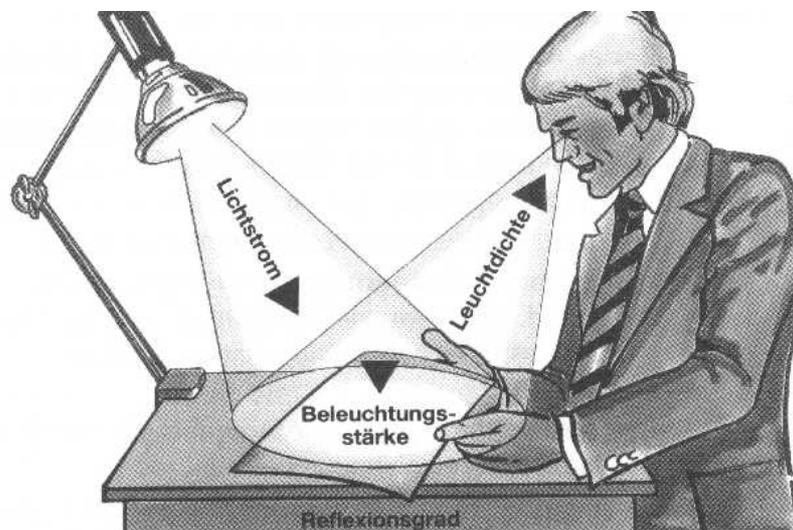
Bei sehorientierten Güteigenschaften geht man davon aus, dass eine Beleuchtung Güteigenschaften aufweist, deren Erkennen von lichtphysikalischen Größen abhängt. Solche Merkmale einer Sehaufgabe können z.B. ihre relative Größe oder räumliche Lage sein, ebenso die Frage, die Sehaufgabe ortsfest oder beweglich ist, ob kleine Details oder geringe Kontraste zu erfassen sind und inwieweit das Erkennen von Farben, Oberflächenstrukturen bzw. Geometrien die wesentlichen Merkmale der Sehtätigkeit sind.

Aus den typischen Merkmalen der Sehaufgabe, z.B. dem Erkennen von Symbolen und Zeichen, dem Unterscheiden von Farben und dem Auffinden von Details lassen sich wiederum Beleuchtungsbedingungen ableiten unter denen sich die Sehaufgabe lösen lässt.

Die Zusammenhänge zwischen dem Schwierigkeitsgrad der Sehaufgabe und den dafür erforderlichen lichtphysikalischen Werten sind inzwischen ausreichend erforscht und dokumentiert; diese Zusammenhänge bilden die Basis für beleuchtungstechnische Regelwerke und somit der Norm und dem Stand der Technik. Normenvorgaben sind derzeit bei der Planung von Beleuchtungsanlagen von zentraler Bedeutung.

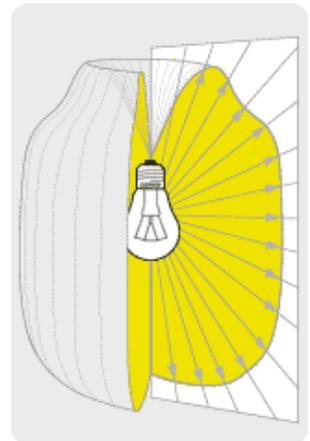
### Beleuchtungsniveau

Der typische Vertreter der sehorientierten Güteigenschaften ist das Beleuchtungsniveau. Die Leistungsfähigkeit des Auges hängt im wesentlichen von Helligkeitseindruck im Gesichtsfeld und deren Verteilung ab. Wenn man annimmt, dass das Beleuchtungsniveau ein wesentlicher Faktor zum Erreichen einer für die Nutzung eines Raumes erforderlichen Sehleistung ist, so wäre es folgerichtig, das Beleuchtungsniveau durch die Leuchtdichte zu kennzeichnen. Nun kann man in der Lichttechnik nur Beleuchtungsstärken messen. Die Leuchtdichte kann aber nur mit Hilfe des Reflexionsgrades der beleuchteten Flächen bestimmt werden. Im allgemeinen gibt es in einem Raum sehr viele beleuchtete Flächen. Daher wird beim Beleuchtungsniveau in der Normung, die Beleuchtungsstärke als Kennzahl verwendet.



### Lichtstrom

Der Lichtstrom beschreibt die photometrisch bewertete Strahlungsleistung, also die von einer Lichtquelle (Lampe) abgegebene gesamte Lichtleistung. Der Lichtstrom wird dabei bezogen auf den gesamten Raum. Alle weiteren photometrischen Größen lassen sich vom Lichtstrom über geometrische Beziehungen ableiten. Die Einheit des Lichtstromes ist Lumen [lm]. Die Angabe des Lichtstromes findet Verwendung bei der Charakterisierung von Lampen. Der Lichtstrom ist die Größe, die angegeben werden muss, um zu beschreiben, wie viel Licht von einer Lampe erzeugt wird. Die übliche Angabe "so hell wie eine 100W Lampe" ist unzureichend, da eine Glühlampe mit 100W = 1360 lm deutlich weniger Lichtstrom erzeugt als z.B. eine 100 W = 17000 lm Natrium-Lampe.



### Lichtstärke

Die Lichtstärke beschreibt den Lichtstromanteil, welcher in eine bestimmte Richtung ausgestrahlt wird. Sie bestimmt sich also aus dem Verhältnis des Lichtstromanteils zum dazugehörigen Raumwinkelelement.

Die Lichtstärke ist eine der Basiseinheiten der internationalen Einheitssysteme SI Einheit Candela cd. Die Lichtstärke einer Lampe ist aber nicht in jeder Richtung gleich. Werden die Lichtstärken im Raum um die Lampe herum erfasst, erhält man die Lichtstärkeverteilung, welche die lichttechnischen Eigenschaften einer Lampe oder Leuchte genau beschreibt. Die Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) ergibt sich in jeder Schnittebene durch den Lichtstärkeverteilungskörper. Zur Vergleichbarkeit wird bei Lichtstärkeverteilungskurven auf Candela pro 1000 lm (cd/klm) normiert. Sie ist die Basis für jede Lichtberechnung, da Sie die lichttechnischen Eigenschaften einer Leuchte charakterisiert.

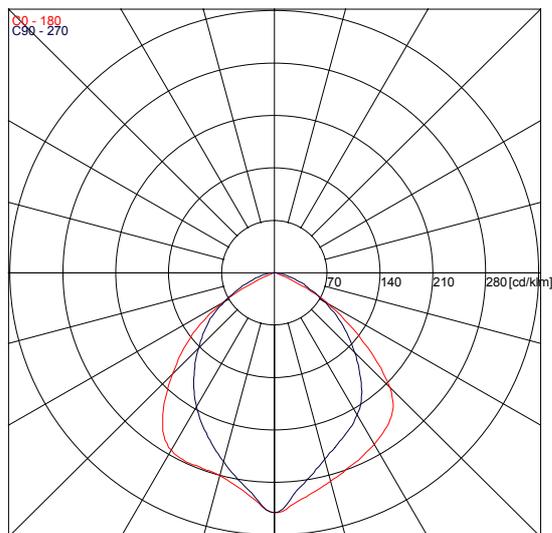
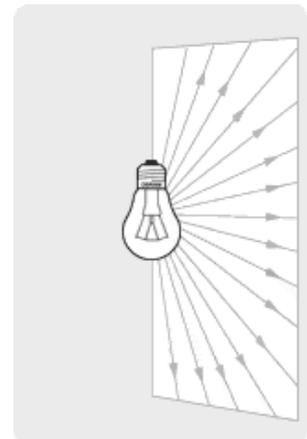
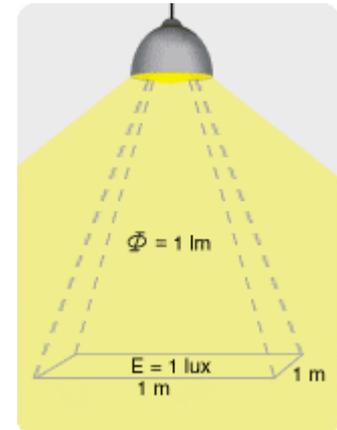


Abbildung Beispiel-LVK

### Beleuchtungsstärke

Die Beleuchtungsstärke nun, beschreibt die Menge des Lichtstroms, der auf eine gegebene Fläche auftrifft, somit ist sie ein Energiedichte. Genauer: Die Beleuchtungsstärke ist der Quotient aus Lichtstrom und beleuchteter Fläche. Fällt z.B. ein Lichtstrom von 1000 Lumen gleichmäßig auf eine Fläche von 5 m<sup>2</sup>, so ergibt das eine Beleuchtungsstärke von 200 Lux. Die Leistungsfähigkeit des Auges hängt entscheidend vom Beleuchtungsniveau im Sehfeld ab. Mit zunehmender Beleuchtungsstärke nimmt auch die allgemeine Leistungsfähigkeit zu, so dass die Produktivität steigt und die Fehlerhäufigkeit abnimmt. Die DIN definiert die Wertigkeit der Beleuchtungsstärke  $E_m$  als örtlichen und zeitlichen Mittelwert bei mittlerem Alterungszustand der Beleuchtungsanlage, der nicht unterschritten werden darf.



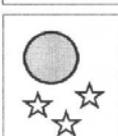
Die Angabe der Wertigkeit der Beleuchtungsstärke  $E_m$  bezieht sich stets auf die Lage der zu beleuchtenden Ebene. So gibt die horizontale Beleuchtungsstärke  $E_h$  das Beleuchtungsniveau auf einer waagerechten Nutzebene an, während sich die vertikale Beleuchtungsstärke  $E_v$  auf eine senkrechte Ebene bezieht. Sie kann im Einzelfall auch für ein z. B. um 70° zur Horizontalen geneigtes Zeichenbrett gelten.

Ohne Messgerät lässt sich bei Leuchtstofflampen anhand der Leistung pro Quadratmeter Grundfläche grob abschätzen, ob die geforderten Werte eingehalten werden: Bei 30 Watt Leistung in einer Höhe von 3 m sind näherungsweise 500 Lux eingehalten. Ältere Mitarbeiter benötigen eine höhere Beleuchtungsstärke. Das also erfordert individuelle Beleuchtungsverhältnisse.

Die zylindrische Beleuchtungsstärke  $E_z$  ist der über alle Richtungen um einen Punkt (an einer vertikalen Achse) gebildete Mittelwert der vertikalen Beleuchtungsstärken. In der Praxis wird  $E_z$  annähernd als Mittelwert der Vertikalbeleuchtungsstärke  $E_v$  in 4 aufeinander senkrechten Richtungen bestimmt.

Durch den Vergleich von zylindrischer und horizontaler Beleuchtungsstärke kann das Verhältnis zwischen diffusem und gerichtetem Licht grob beurteilt werden. Für eine angenehme Schattigkeit, die für das räumliche Sehen und eine gute Orientierung wichtig ist, sollen beide Lichtanteile in einem ausgewogenen Verhältnis vorhanden sein ( $E_z : E_h$  zwischen 0,3 und 0,7). Reines Direktlicht erzeugt harte Schlagschatten, während ausschließlich diffuse Beleuchtung zu eintöniger, flach wirkender Schattenlosigkeit führt.

Beispiele für Beleuchtungsstärken sind:

	● Sonniger Sommertag im Freien	ca: 100000lx
	● Bedeckter Himmel im Sommer	ca: 20000lx
	● Trüber Wintertag	ca: 3000lx
	● Sehr gute Arbeitsplatzbeleuchtung	ca: 1000lx
	● Normale Arbeitsplatzbeleuchtung	500lx
	● Lager, Durchgang, Parkhaus	100lx
	● Gute bis schwache Straßenbeleuchtung	30lx
	● Notbeleuchtung	1 lx
	● Vollmond	0,5 lx

### Photometrische Entfernungsgesetz

Das photometrische Entfernungsgesetz verknüpft die Beleuchtungsstärke E in einem Punkt auf der Nutzebene (Punktbeleuchtungsstärke) mit der Lichtausstrahlung einer Lichtquelle (Lichtstärke I) im Abstand r:

$$E = \frac{I(\alpha)}{r^2} * \cos \alpha$$

$\alpha$  steht dabei für den Einfallswinkel des Lichts, d. h. den Winkel zwischen der Richtung des einfallenden Lichtstrahls und der Senkrechten auf der beleuchteten Ebene.

Die Beziehung besagt, dass die Beleuchtungsstärke auf einer Fläche umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstands zwischen Lichtquelle und beleuchteter Fläche abnimmt, d. h. wird der Abstand der Lichtquelle zur Fläche verdoppelt, so reduziert sich die Beleuchtungsstärke auf ein Viertel. Dieses Gesetz gilt jedoch streng genommen nur für punktförmige Lichtquellen und Empfänger und mit ausreichender Genauigkeit erst ab einer gewissen photometrischen Grenzentfernung. Diese Entfernung hängt ab von:

- der größten Ausdehnung der Lichtquelle
- der räumlichen Lichtstärkeverteilung der Lichtquelle
- der Leuchtdichteverteilung auf der Oberfläche der Lichtquelle in der betrachteten Richtung
- der Größe der Lichteintrittsfläche des Photometerkopfs des Beleuchtungsstärkemessgerätes
- der räumlichen und örtlichen Empfindlichkeitsverteilung des Photometerkopfes

Die Beachtung der photometrischen Grenzentfernung ist besonders in der Lichtmesstechnik (Photometrie) von großer Bedeutung. Hier werden zur Bestimmung der Lichtstärkeverteilung einer Leuchte Beleuchtungsstärken gemessen und über das photometrische Entfernungsgesetz auf die Lichtstärken zurückgerechnet. Als Faustregel gilt: wenn der Messabstand  $r$  das zehnfache der größten Ausdehnung der Lichtquelle beträgt, bleibt der Fehler kleiner 1%.

### Leuchtdichte

Die Leuchtdichte ist diejenige lichttechnische Grundgröße, die vom menschlichen Auge wahrgenommen wird. Sie ist für den Helligkeitseindruck einer leuchtenden oder beleuchteten Fläche ausschlaggebend. Die Leuchtdichte  $L$  ist definiert durch die Lichtstärke  $I(\alpha)$  einer Fläche  $A$  in Richtung  $\alpha$ . Unterstellt man bei einer beleuchteten Fläche diffuse Reflexion (Lambertstrahler), so ergibt sich eine einfache Beziehung zwischen der Leuchtdichte  $L$ , der Beleuchtungsstärke  $E$  und der Reflexionsgrad  $\rho$  dieser Fläche:

$$L = \frac{1}{\pi} * E * \rho$$

Der Helligkeitseindruck eines Gegenstandes wird zwar vorwiegend von der Leuchtdichte bestimmt, trotzdem ist die Leuchtdichte kein absolutes Maß für das Helligkeitsempfinden. Flächen gleicher Leuchtdichte können bei unterschiedlicher Umgebungshelligkeit subjektiv unterschiedliches Helligkeitsempfinden hervorrufen. Die Leuchtdichte ist die physikalisch messbare Größe, während die Helligkeit die subjektive Empfindung einschließlich der Farbeindrücke beschreibt. Im Bereich des Tagessehens ist die Helligkeit ungefähr mit dem Logarithmus der Leuchtdichte proportional. Das Beleuchtungsniveau, also die Leuchtdichte die wir sehen, wird durch die Beleuchtungsstärke  $E$  und die Reflexionseigenschaften  $\rho$  der beleuchteten Fläche bestimmt. Je geringer die Reflexionsgrade sind und je schwieriger die Sehaufgabe ist, desto höher muss die Beleuchtungsstärke sein. Typische Beispiele für Reflexionsgrade sind z.B., weiße Wände 85 % oder helle Holzverkleidungen 50 %. rote Ziegelsteine haben nur einen Reflexionsgrad von 25 %.

Die Unkenntnis der Beziehungen zwischen Beleuchtungsstärke, Leuchtdichte und Reflexionsgrad kann dazu führen, dass ein Raum trotz des Erreichens der genormten mittleren Beleuchtungsstärke sehr dunkel oder unangenehm wirken kann. Das Wohlbefinden und die Sehleistung hängt also, rein quantitativ gesehen, ganz wesentlich neben den Leuchten, von der Farb- und Oberflächengestaltung des Raumes, also Reflexionsgraden ab.

### Beleuchtungsniveau am Beispiel Ballsportstättenbeleuchtung

Grundsätzlich ist sowohl die Horizontal- als auch die Vertikal-Beleuchtungsstärke wichtig. Normalerweise werden die Anforderungen an die Vertikal-Beleuchtungsstärke erfüllt, wenn für Sportler und Zuschauer eine ausreichende Horizontal-Beleuchtungsstärke vorhanden ist.

Ballsportarten, wie Handball, Basketball, Volleyball, Faustball, Fußball und Tennis sind meist Mannschaftssport. Die erforderlichen Spielflächen sind auch in der Halle größer als bei vielen anderen Sportarten, denn sie sollen mehreren Spielern ausreichende Bewegungsfreiraum bieten. Wichtig für den guten Überblick über das gesamte Spielfeld ist die gleichmäßige Ausleuchtung der Halle.

Mit der EN 12193 wurden diverse Sportarten zu einer Anwendungstabelle mit Klassen eingeteilt. Klasse I: Hochleistungswettbewerbe, Klasse II :regionale Wettbewerbe und Klasse III: kleine Wettbewerbe. Die Werte gelten als Mittelwerte für horizontale Bewertungsfläche 1,0 m über dem Sportfeld. Die Gleichmäßigkeit  $g_1$  beschreibt die minimalste zur mittleren Beleuchtungsstärke.

Klasse	horizontale Beleuchtungsstärke	Gleichmäßigkeit
I	750 Lux	0,7
II	500 Lux	0,7
II	200 Lux	0,5

Bei der Planung ist der Wartungswert der mittleren Beleuchtungsstärke im allgemeinen mit 1,25 zu multiplizieren.

### Blendung und Blendungsbegrenzung

Eine weitere Vertreterin der sehorientierten, quantitative Güteigenschaften ist die Blendung bzw. deren Begrenzung. Als Blendung werden Sehstörungen bezeichnet, die durch eine ungünstige Leuchtdichteverteilung und/oder zu hohe Leuchtdichtekontraste (Leuchtdichteunterschiede) im Gesichtsfeld entstehen. Diese können unterschiedlich vom Betrachter sein. Blendung ist nicht nur ein Problem der künstlichen Beleuchtung, sondern vor allem auch ein Problem der Tageslichtbeleuchtung (Stichwort: Sonnenschutz). Man unterscheidet zwei Arten von Blendung nach ihrer Wirkung:

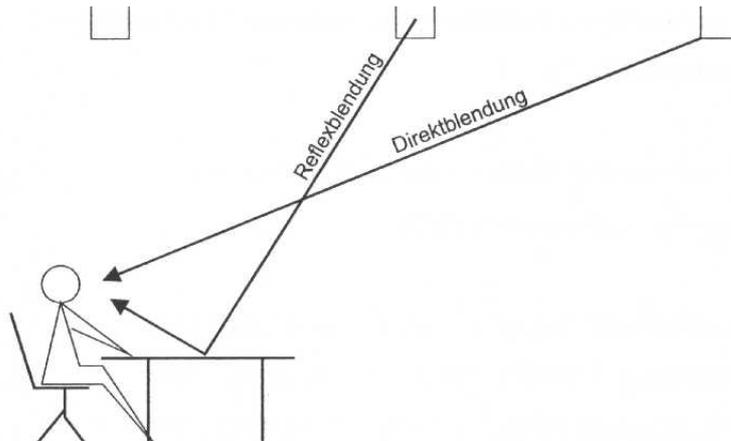
#### Physiologische Blendung

Blendung, die zur Herabsetzung des Sehvermögens führt (z. B. Unterschiedsempfindlichkeit und Formerkennung bei Blendung durch ein entgegenkommendes Auto bei Nacht). Bei einer ausgewogenen Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld adaptiert das Auge auf dessen Mittelwert. Eine zusätzliche Blendquelle (z.B. ungeschirmte Lampe hoher Leuchtdichte) im Blickfeld erzeugt im Augeninneren durch Streulicht einen "Schleier", wodurch das Adaptationsniveau angehoben wird und kleine Leuchtdichteunterschiede des Sehdetails unsichtbar werden können. Je höher die Leuchtdichte der Blendlichtquelle und je näher sie der Blickrichtung liegt, desto mehr blendet sie.

### Psychologische Blendung

Blendung, die allein unter dem Gesichtspunkt der Störfmpfindung bewertet wird. Das Sehvermögen wird nicht merklich herabgesetzt. Bei längerem Einwirken führt psychologische Blendung aber zu Ermüdung, Herabsetzung der Leistung und geringerem Wohlbefinden.

Alle Verfahren zur Begrenzung der Direktblendung, z.B. das Grenzkurvensystem nach Söllner oder das neue UGR-Verfahren, berücksichtigen lediglich die psychologische Blendung, nicht aber die physiologische Blendung.

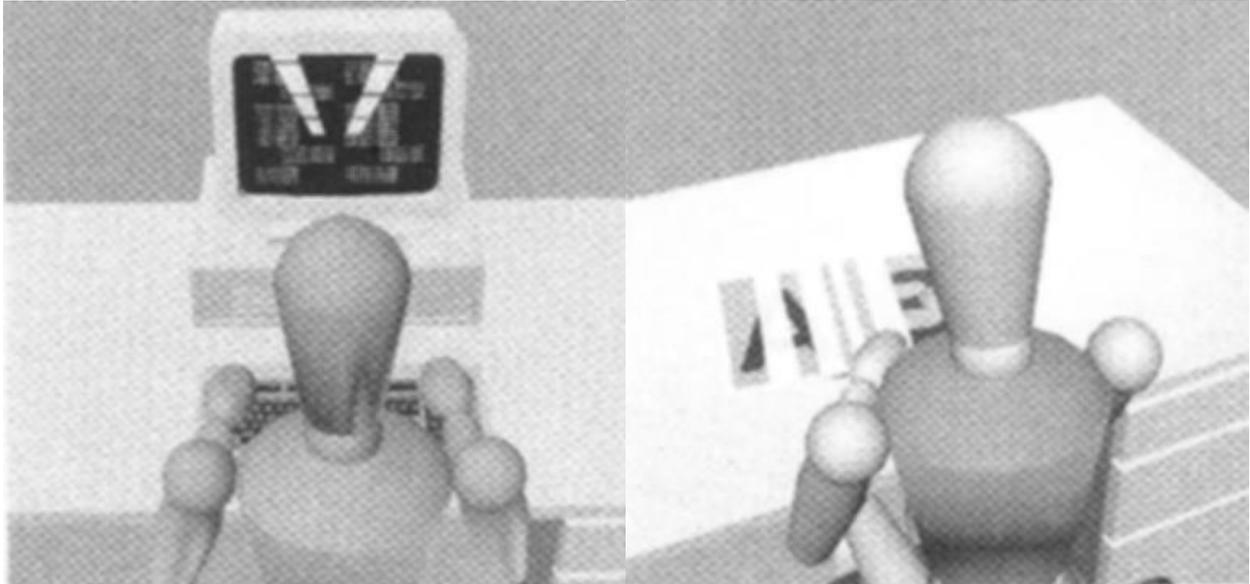


Blendung kann dabei auf zweierlei Art hervorgerufen werden:

#### Direktblendung

Blendung, die unmittelbar durch Lichtquellen hervorgerufen wird. Ihr Ausmaß hängt ab von der Leuchtdichte und Größe der gesehenen leuchtenden Flächen aller im Blickfeld befindlichen Leuchten sowie von der Leuchtdichte des Hintergrunds.

Direktblendung gilt als ausreichend begrenzt, trotz einer möglichen Adaptation und ohne Berücksichtigung des Umfelds, wenn die mittlere Leuchtdichte der Leuchten im, für die Blendung kritischen Winkelbereich von  $45^\circ$  bis  $85^\circ$ , die Werte der Leuchtdichtegrenzkurven nicht überschreitet (Abbildung 4). Dies sind etwa  $200 \text{ cd/m}^2$ , zum Vergleich: eine 1,50 m lange Leuchtstoffröhre hat als freistrahrende Lichtleiste eine Leuchtdichte von etwa  $10000 \text{ cd/m}^2$  in jeder Richtung. Zur Beurteilung der von einer Beleuchtungsanlage ausgehenden Gefahr von Direktblendung und speziell der psychologischen Blendung wurde das UGR-Verfahren entwickelt. Der UGR-Verfahren beschreibt den Grad der Direktenblendung durch Leuchten einer Beleuchtungsanlage im Innenraum nach einer Tabellenmethode. Als Beispiel: der UGR-Wert an Büroarbeitsplätzen darf höchstens 19 sein.



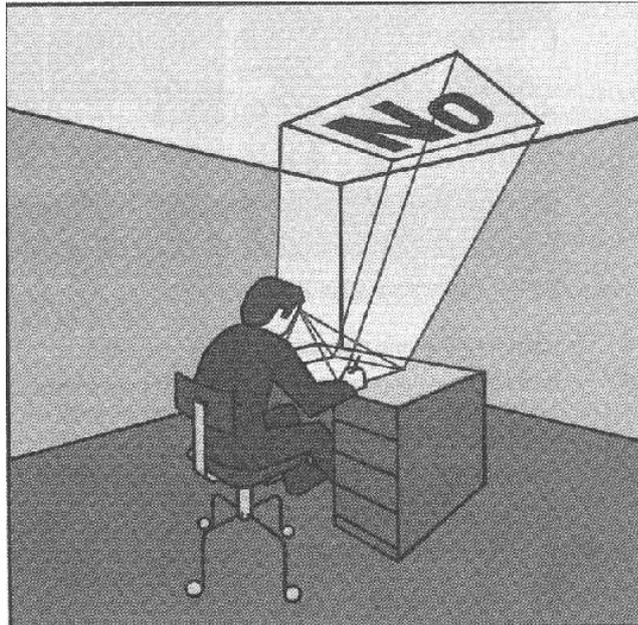
### Reflexblendung

Blendung und Kontrastminderung, die durch spiegelnde Reflexion von leuchtenden Objekten, z.B. auf glänzendem Papier oder Bildschirmoberflächen, verursacht wird. Die Lichtreflexe führen im allgemeinen zu einer Beeinträchtigung des Kontrastsehens, so dass z.B. die Zeichenerkennung auf bedrucktem Papier erschwert wird. Diese Art der Blendung wird meist zu sehr unterschätzt.

Reflexblendung kann durch folgende Maßnahmen vermieden oder verringert werden:

- sorgfältige Anordnung von Leuchten oder Fenster und Arbeitsplätzen zueinander,
- Leuchtdichtebegrenzung der Leuchten oder Fenstern zur Vermeidung von Lichtreflexen auf dem Sehobjekt,
- Verwendung von matten, diffus reflektierenden oder entspiegelten Oberflächen am Arbeitsplatz, diffuse Lichteinstrahlung durch Beleuchtungslösungen mit hohem Indirektanteil oder höheren Vertikalbeleuchtungsstärken.

Allgemein kann man für Arbeitsplätze sagen, dass direkt über dem Arbeitsplatz sich keine Leuchte befinden sollte. Arbeitsplätze mit Computerbildschirmen stellen hinsichtlich der Beleuchtung besondere Anforderungen. Dies bezieht sich speziell auf die Leuchtdichteverteilung im Raum sowie auf die Begrenzung der Direkt- und der Reflexblendung.



Die Leuchtdichtevertelung ist u.a. abhängig von den Reflexionsgraden, Glanzeigenschaften und Farben der Flächen am Arbeitsplatz und im Raum. Sie sollen so gewählt werden, dass keine allzu hohen Leuchtdichteunterschiede (Kontraste) oder störende Spiegelungen heller Flächen auftreten können. Bezüglich der Direktblendung durch Leuchten ist zu beachten, dass bei der Bildschirmarbeit die Hauptblickrichtung üblicherweise nahezu horizontal ist, während bei anderer Büroarbeit der Blick oft stärker nach unten geneigt wird. Reflexblendung rührt von der Spiegelung heller, glänzender Flächen an glänzenden Oberflächen her. Da die Spiegelung winkelabhängig ist, hat die Anordnung von Arbeitsplätzen und Leuchten einen entscheidenden Einfluss.

### Blendung am Beispiel Ballsporthallenbeleuchtung

Da Lichtquellen in der Regel die größten Leuchtdichten aufweisen, sind sie zur Vermeidung von Direktblendung in den von Sportlern und Zuschauern bevorzugten Blickrichtungen abzuschirmen. Zum Schutz vor Blendung beim Blick auf hohe Bälle sollten die Leuchten für das Volleyballfeld nicht in dem Bereich der Decke montiert sein, der sich direkt über dem Spielfeld befindet. Auch über Basketballkörben sollten in einem Radius von vier Meter keine Leuchten montiert sein.

Reflexblendung kann durch Spiegelung heller Flächen, z.B. von Leuchten oder Fenstern auf den Boden, entstehen. Bei glänzenden Böden können von Leuchten herrührende Reflexstreifen als solche stören oder das Erkennen von Markierungslinien erschweren. In Mehrzweckhallen kann es daher Zweckmäßig sein, zwei separate Beleuchtungsanlagen einzurichten: Eine für den Sportbetrieb und eine für gesellschaftliche Anlässe.

### Lichtfarbe und Farbwiedergabe

Die für allgemeine Beleuchtungszwecke verwendeten Lichtquellen geben im allgemeinen „weißes“ Licht ab. Was für den Laien doch sehr verblüffende ist, unterscheiden sich die Lichtfarben und Farbwiedergabe derartiger Lichtquellen für weißes Licht unter Umständen erheblich.

Als Lichtfarbe wird die Farbart eines Selbstleuchters, also einer Lichtquelle (Lampe), bezeichnet (im Gegensatz zur Körperfarbe eines Objektes, die nur durch Bestrahlung entsteht). Die Lichtfarbe ergibt sich aus der spektralen Zusammensetzung (Spektrum) des ausgesandten Lichts. Die Farbart einer Lichtquelle wird mit der Farbe des sog. "Schwarzen" oder Planckschen Strahlers verglichen und ist beschrieben durch die ähnlichste Temperatur. Niedrige Farbtemperaturen sind roten Farbarten zuzuordnen. Mit steigender Temperatur wird die Farbart weiß und dann blau. Die Farbtemperatur wird in Kelvin (K) angegeben.

Nach DIN EN und CIE gibt es eine Einteilung der technischen Lichtquellen nach ihrer Lichtfarbe. Sie erscheinen alle dem menschlichen Auge als weiß, ein Unterschied wird erst im direkten Vergleich deutlich. Die Sehleistung wird durch diese verschiedenen Lichtfarben nicht direkt beeinflusst.

Bezeichnung nach DIN	Kürzel	Farbtemperatur	Farberscheinung
Warmweiß	WW	< 3300K	Warm
Neutralweiß/Universalweiß	NW	3300K-5300K	Mittel
Tageslichtweiß	TW	> 5300K	Kalt

Soll die Beleuchtung nicht unbehaglich kalt wirken, so sollte man tageslichtweiße Lampen, wenn das Beleuchtungsniveau hoch ist. Im Prinzip gibt es jedoch keine sachliche Begründung für die Bevorzugung bestimmter weißer Lichtfarben. Sicher ist nur, dass eine weiße Fläche mit warmweißer Farbe rötlicher als mit tageslichtweißer Lichtfarbe wirkt.

Die Farbwiedergabe soll darüber Aufschluss geben, wie "richtig" eine Körperfarbe (Wände, Decken, Möbel, Objekte) bei künstlicher Beleuchtung dem Betrachter gegenüber dem Sonnenlicht erscheint. Sie ist ein wichtiges Gütekriterium. Sie hat erst einmal nichts mit der Lichtfarbe selbst zutun. Obwohl die Farbwiedergabe von weiß, natürlich von der Lichtfarbe abhängt. Lampen, speziell Leuchtstofflampen, können bei gleicher Lichtfarbe verschiedene Farbwiedereigenschaften haben. Im allgemeinen Farbwiedergabeindex (Ra) werden die Abweichungen zusammengefasst, beim Vergleich von diversen Testfarben unter der zu kennzeichnenden Lichtart und einer Bezugsbeleuchtung. Eine Vereinfachung stellt die Kennzeichnung der Farbwiedereigenschaften von Lichtquellen nach DIN mit Farbwiedergabestufen, dar. Es sind sechs Farbwiedergabestufen definiert, denen Bereiche des allgemeinen Farbwiedergabeindex nach folgender Tabelle zugeordnet sind:

Bezeichnung	Farbwiedergabestufe	Farbwiedergabeindex Ra
Sehr gut	1A	Ra > 90
	1B	Ra 80 - 90
Gut	2A	Ra 70 - 80
	2B	Ra 60 - 70
Weniger gut	3	Ra 40 - 60
	4	Ra < 20 - 40

Je nach Art des Raumes und der Tätigkeit sind in Normen Stufen der Farbwiedergabe gefordert. Generell bedeutet die Farbwiedergabestufe 1A höchste Farbwiedergabequalität, wie sie bei der Farbprüfung/Farbkontrolle, aber z.B. auch in Sanitärräumen erforderlich ist. In allgemeinen ist die Stufe 1B vollkommen ausreichend. In variablen, nutzbaren Räumen oder z.B. bei Grafikern sollte man die Stufe 1A wählen.

## Beleuchtungsplanung unter quantitativen und qualitativer Güteigenschaften

Entscheidend für die Qualität der Farbwiedergabe in einer Beleuchtungsanlage ist die Wahl der Lampen. Temperaturstrahler wie Glühlampen haben sehr gute Farbwiedergabeeigenschaften aber eine warmweiße (rötliche) Lichtfarbe, während Leuchtstofflampen in verschiedenen Qualitätsstufen erhältlich sind. Hier eine Übersicht über Farbwiedergabeeigenschaften einzelner Lampenarten

Farbwiedergabestufe	sehr gut		gut		Weniger gut	
Alte Bezeichnung	1A	1B	2A	2B	3	4
Farbwiedergabeindex Ra neu	Ra >90	Ra 80 - 90	Ra 70 - 80	Ra 60 - 70	Ra 40 - 60	Ra <20 - 40
Glühlampen	X	X				
Kompakt-Leuchtstofflampen	X	X				
Leuchtstofflampen	X	X	X	X	X	
Quecksilberdampf-Hochdrucklampen				X	X	X
Halogen-Metaldampflampen	X	X	X	X		

Neben diesen gängigen Lichtfarben und Farbwiedergaben gibt es natürlich noch Sonderformen. Lampen für Körperfarben, Pflanzen, Aquarien und Vollspektrumlampen. Bei einer herkömmlichen Lampe kommt nur ein eingeschränktes Lichtspektrum zum Einsatz. Sie erzeugt primär Helligkeit. Vollspektrumlicht dagegen gibt das mittägliche Tageslicht in etwa wieder. Es berücksichtigt sowohl UV-, wie auch Infrarotanteile, daher sollten Vollspektrumlampen meist als Indirektbeleuchtung angewendet werden. Ein blendfreier und gleichmäßig ausgeleuchteter Raum entspannt die Augen und verhindert Ermüdungserscheinungen. Bekanntlich beeinflussen Farben das Wohlbefinden. Vollspektrumlampen lassen Farben natürlich und klar erscheinen, so wie Tageslicht. Ihr Einsatz wird vor allem in Räumlichkeiten, die wenig oder kein Tageslicht haben empfohlen.

Neben Lichtfarbe, Farbwiedergabe, Stärke und Verteilung des beleuchtenden Lichtes ist die Farbgebung im Raum für seine Gesamtwirkung d.h. für die stimmungsmäßige Beeinflussung des Menschen, maßgebend. Bei der Mannigfaltigkeit der möglichen Farben und Vielzahl der vorhandenen Einflussgrößen ist es nicht möglich, feste Richtlinien für die farbige Raumgestaltung anzugeben. Trotzdem sind im Folgenden eine Reihe von Aussagen möglich:

Unter Lichtquellen mit warmer Lichtfarbe und guten Farbwiedergabe-Eigenschaften werden auch die warmen Körperfarbe günstig beurteilt. Der geringe Anteil an kurzwelliger blauer Strahlung in diesen Lichtquellen führt jedoch dazu, dass kalte Farben mehr oder weniger „getötet“ werden, z.B. blaugrün, blau, purpur. Bei neutralweißen Lichtquellen werden alle Farben gleichwertig beurteilt. Lampen dieser Gruppe können deshalb als solche mit sicheren Lichtfarben bezeichnet werden.

Als Farben der Raumbegrenzungsflächen werden weiß oder helle Farben von sehr geringer Sättigung bevorzugt, sogenannte Pastellfarben. Hier kann man deshalb von sicheren Wandfarben sprechen. Auch werden sehr dunkle Hintergrundfarben akzeptiert, dagegen werden Farben mittlerer Sättigung und Helligkeit am wenigsten vom Betrachter geschätzt. Während für den Hintergrund Farben von sehr geringer Sättigung bevorzugt werden, sind für Objekte stärker gesättigte Farben vorrangig. Farben von Lebensmitteln werden allgemein unter warmen Licht günstiger beurteilt als unter kälterem Licht.

Trotzdem wird eine farbige Umwelt im Raum nur dann wirklich befriedigt, wenn sie lebendig und abwechslungsreich gestaltet wird. Jedoch führt in benachbarten Räumen das Wiederholen der gleichen farbigen Gestaltung, auch wenn sie sich einmal als gut, gefällig und zweckmäßig erwiesen hat, leicht zur Eintönigkeit oder Überdruß.

### **Lichtfarbe und Farbwiedergabe am Beispiel Ballsportstättenbeleuchtung**

Die Lichtfarbe der Lampe spielt bei der Sportstättenbeleuchtung meistens eine untergeordnete Rolle, d.h. es können Lampen der Lichtfarben warmweiß, neutralweiß und tageslichtweiß frei verwendet werden. Die Farbwiedergabe-Eigenschaften der Lampe sollte bei Anlagen für Wettkämpfe mindestens 2A ( $R_a \geq 70$ ) entsprechen. In Anlagen für ausschließlichen Trainingsbetrieb genügen auch Lampen der Stufe 3 ( $R_a \geq 60$ ). Durch gutes Mischen des Lichts verschiedener Lichtquellen lassen sich beabsichtigte Änderungen oder Verbesserungen der Farbwiedergabe ermöglichen.

### **Wahrnehmungsorientierte Güteigenschaften**

Die oben genannten quantitative, lichttechnische Güteigenschaften reichen aber grundsätzlich nicht aus, um den Bedarf an visueller Information bzw. die Güte halbwegs vollständig zu beschreiben. Über den, aus der jeweiligen Tätigkeit hergeleiteten quantitativen Lichtbedarf hinaus, gibt es noch einen weiteren Lichtbedarf der aus dem natürlichen Wunsch resultiert, ständig visuelle Informationen aus dem individuellen Umfeld aufzunehmen. Während also durch die Schaffung optimaler Beleuchtungsbedingungen z.B. im Sehfeld um zuverlässiges Arbeiten zu ermöglichen, hängt von der Befriedigung des visuellen Informationsbedarfs, also dem individuelle Wohlbefinden ab.

Im Bereich des funktionalen Sehfeldes können wir uns an fundierten Planungswerte der quantitativen Lichtplanung, also der Beleuchtungsstärke, Blendung usw. orientieren, diese fehlen im Bereich der Wahrnehmung weitestgehend. Es ist nämlich sinnlos, die komplexe Wahrnehmungswelt auf einzelne Seh Aufgaben zu reduzieren, um daraus Schlüsse für die lichttechnische Dimensionierung des Wahrnehmungsfeldes herzuleiten.

Um die Rolle von Beleuchtung beim Wahrnehmungsprozess besser verstehen zu können gilt es Gesetzmäßigkeiten der Wahrnehmung aufzuspüren.<sup>2</sup>

Ein für den Laien verblüffender Wahrnehmungsmechanismus besteht darin, dass der Mensch aus wechselnden Helligkeitsverteilungen auf der Netzhaut zwischen konstanten Objekteigenschaften von Reflexionsgrad bzw. Farbe und veränderbaren Eigenschaften wie der Leuchtdichteverteilung bzw. Beleuchtungssituation unterscheiden kann. Diese spezielle Wahrnehmungsleistung wird in der Psychologie als Phänomen der Helligkeits- und Farbkonstanz bezeichnet. Hierzu gehört auch der sogenannte Helmholtz-Kohlrausch-Effekt, bei dem bunte Beleuchtung, bei gleicher Leuchtdichte, heller empfunden wird als unbunte (weiß-grau-schwarz).

Für den Bereich der qualitativen Lichtplanung ist das Konstanzphänomen besonders bedeutend. Zeigt es doch, dass für die Wahrnehmung unserer Umwelt die lichtphysikalische Größen eine relativ geringe Rolle spielen, bzw. dass sie sich nicht unabhängig von den Wahrnehmungsinhalten betrachten lassen.

---

<sup>2</sup> ebenda, Seite 763

Die Fähigkeit auf Grund der Konstanzleistung die visuelle Umgebung bei unterschiedlichen Beleuchtungsverhältnissen und damit unabhängig von Leuchtdichten spontan zu erkennen, zeigt sich, wenn uns Räume sowohl bei Kerzenschein als auch bei Tageslicht als identisch erscheinen. Andere Beispiele zeigen, dass bei unterschiedlichen Lichtfarben das Erkennen einer Oberflächenfarbe auf Grund von Konstanzleistung möglich ist. Unter blauem Himmel, wie unter direktem Sonnenlicht sehen Körperfarben grundsätzlich gleich aus.

Daraus erkennt man, dass auf Grund des Konstanzphänomens Beleuchtungsverhältnisse beim Wahrnehmen unserer gegenständlichen Welt ausgeblendet werden und Licht zum Medium der Wahrnehmung, aber nicht zum quantifizierbaren Inhalt des Sehens wird.

Diese Tatsache zeigt wie Fragwürdigkeit es ist, allgemein gültige quantifizierbare Beleuchtungsregeln außerhalb des unmittelbaren Ortes der Sehaufgabe zu definieren. Bereits eine allgemeine, situationsunabhängige Leuchtdichtedefinition für das Auftreten psychologischer Blendung (siehe oben) scheitert an der mangelnden Einbeziehung des Informationsgehalts der Blendquelle, nicht das Fenster mit Ausblick auf die besonnte Landschaft mit relativ hoher Leuchtdichte blendet, sondern - trotz geringerer Leuchtdichte - die Opalglasscheibe, falls sie den Ausblick verwehrt.

Es wäre falsch, aus diesen Sachverhalten auf eine geringe Bedeutung der Planung, einer wahrnehmungsorientierten Beleuchtung zu schließen. wahrnehmungsorientierte Beleuchtung wird zwar weniger durch Beleuchtungsstärken und Leuchtdichten beschrieben als vielmehr durch gestalterische Parameter der Beleuchtung, die dafür verantwortlich sind, dass räumliche Strukturen erkannt, Raumzonen gegliedert, Räume erweitert werden, dass Blicke gelenkt die visuelle Aufmerksamkeit gerichtet und damit die Wahrnehmung gesteuert wird.

Welches sind nun die spezifischen Merkmale, die an die Güte einer wahrnehmungsorientierten Beleuchtung gestellt werden ?

Von den Beleuchtungsverhältnissen eines Raumes hängen Befindlichkeit der Nutzer und damit die Akzeptanz der Raumsituation ab. Besonders in weniger vertrauter Umgebung sucht man nach visueller Orientierung, dabei kann Beleuchtung helfen, die Informationsflut eines Raumes zuordnen. Eine exakte Beschreibung dessen, was Beleuchtung, ist nicht möglich, dafür ist das Zusammenspiel von Licht, Raum und Wahrnehmung zu komplex. Zumindest versagt der herkömmliche sehorientierte Ansatz völlig. Die Zahl der Beleuchtungslösungen ist so vielfältig, wie die der architektonischen Gestaltungsvarianten. Trotzdem gibt es Gütekriterien, nach denen sich eine qualitative Beleuchtungsplanung orientieren sollte.

### **Harmonische Helligkeitsverteilung**

Große Leuchtdichteunterschiede (Helligkeitsunterschiede) im Gesichtsfeld beeinträchtigen die Sehleistung und das Wohlbefinden und müssen daher vermieden werden. Das gilt sowohl für Innenraumbeleuchtung als auch im Außenbereich. Die Leuchtdichte im nahen Arbeitsbereich, z.B. einer Schreibtisch-Arbeitsfläche sollte nicht kleiner als ein Drittel der Leuchtdichte eines auf der Fläche liegenden Dokumentes. Das Leuchtdichteverhältnis von Sehaufgabe und ausgedehnten Flächen im entfernteren Umfeld sollte nicht mehr als 5:1 betragen (ältere Studien sagen auch 1:10). Zu geringe Leuchtdichteunterschiede ergeben einen gleichförmig monotonen Raumeindruck, der ebenfalls als unangenehm empfunden wird. Im Sinne von Sicherheit durch rechtzeitiges Erkennen von Hindernissen, ist eine gute örtliche Gleichmäßigkeit der Leuchtdichte wichtig.

### **Orientierung im Raum**

Wahrnehmungsorientierte Lichtplanung unterstützt in diesem Zusammenhang die Orientierung und verbessert die Informationsstruktur eines Raumes. Es werden mit Licht und Beleuchtung Wege markiert. Leuchtenanordnungen und Helligkeitsmuster weisen Wege, kennzeichnen Anlaufpunkte und definieren Raumzonen, vertikale Beleuchtungsstärken oder akzentuierende Beleuchtung auf den Raumbegrenzungen differenzieren Räume, heben Strukturen hervor und machen Materialeigenschaften wie Glanz, Transparenz und Textur sichtbar.

### **Charakterisierung der Architektur**

Auch Raumfunktion und Nutzungsart lassen sich über eine qualitative Lichtplanung kommunizieren. Die Beleuchtung einer Produktionshalle wird sich – nicht nur quantitativ-deutlich von der eines Kirchenraumes unterscheiden und das Licht eines Supermarktes von dem einer Hotellobby. Hier spielen kulturelle Konventionen und Erwartungshaltungen ebenso eine Rolle wie formal architektonische Regeln.

Generell lassen sich Raumklima und Raumcharakter durch Leuchtentyp und architektonische Anordnung sowie durch Lichtqualität und Lichtführung verdeutlichen.

### **Wie kann dies in die Planungspraxis umsetzen ?**

Im Bereich der wahrnehmungsorientierten Planung spielt folglich die klassische sehorientierten Lichtgrößen nicht die dominierende Rolle. Es sind andere Kriterien, die hier in den Vordergrund der Planung treten. Die Entscheidung für einen bestimmten Lampentyp wird in der Regel von wirtschaftlichen Kriterien, aber auch durch die geplante Lichtwirkung bestimmt dies trifft auf Beleuchtungswirkungen, wie Brillanz und Modellierung, aber auch auf Lampeneigenschaften wie Farbwiedergabe und Lichtfarbe zu.

Die Auswahl von Leuchten richtet sich einerseits nach der Auswahl des Lampentyps, die Vorentscheidung für einen Lampentyp engt also die Leuchtauswahl ein. Generell sind in einer qualitativ orientierten Planung Beleuchtungswirkung und Sehkomfort die wichtigsten Auswahlkriterien, denen formale Kriterien und Effizienzkriterien unterzuordnen sind: wenn es gilt eine Wandfläche gleichmäßig zu beleuchten, kann allein die Leuchtenfunktion und nicht der Wirkungsgrad ein Auswahlkriterium der Leuchte sein. In diesem Zusammenhang sind Leuchten Werkzeuge und für jede Beleuchtungsaufgabe gilt es das passende Werkzeug zu finden. Auch die Entscheidung für eine architektonisch integrierte Beleuchtung nimmt Einfluss auf die Leuchtauswahl, ebenso die Entscheidung für den Montageort, sei es die Wand oder die Raumdecke.



Unterschiedliche Beleuchtungsarten schaffen unterschiedliche Eindrücke, dabei verändert sich auch der Charakter des Lichtes. Wird ausschließlich direktem Licht beleuchtet, entstehen harte Schatten, wie auf dem linken Bild zusehen ist, welche Objekte und deren Details schlechter erkennbar machen. Die verhältnismäßig dunkle Decke erscheint optisch sehr niedrig.

Die reine Indirektbeleuchtung, zusehen im Bild in der Mitte, dagegen erzeugt eine schattenarme Lichtatmosphäre, die häufig einen monotonen wirkt. Rein indirekte, diffuse Beleuchtung wie lässt die Konturen verschwimmen zu Lasten gut erkennbarer Formen.

Die Kombination aus direkter und indirekter Beleuchtung, so wie im Bild ganz rechts zusehen, bringt eine ausgewogene Schattigkeit mit. Dadurch sind Form und Oberflächenstrukturen der Architektur, der Menschen und der Gegenstände klar und deutlich erkennbar. Die Mischung aus direktem und indirektem Licht lässt durch die ausgewogene Schattenbildung Formen gut erkennen und schafft ein lebendiges, sympathisches Gesicht wie auf dem rechten Bild. Angenehm beleuchtete Wände und Arbeitsflächen vermitteln einen offenen, freundlichen und interessanten Raumeindruck. Daraus resultieren folgende Konzepte.

### **Architektonisch, gestalterische Güteigenschaften**

Zusätzlich zu einem wahrnehmungsorientierten Lichtkonzept stellt sich bei der Beleuchtungsplanung die Forderung, Strukturen und charakteristische Merkmale einer Architektur durch die gestalterische Wirkung von Beleuchtungswirkung und Leuchten zu verdeutlichen. Gesucht werden dabei Konzepte, welche die Formensprache eines Gebäudes, seine Gestaltungsmerkmale und Raumgliederungen formal aufnehmen verstärken.

Beleuchtungsanlagen sind als Teil des architektonischen Gesamtentwurfs zu sehen, die auch über Form und Anordnung Einfluss auf die Akzeptanz einer Raumsituation nehmen. Beleuchtung definiert sich dabei formal als gestalterisches Element durch Leuchten- und Anordnungsgeometrie. Es liegt in der planerischen Verantwortung des Architekten, unter Berücksichtigung von wahrnehmungspsychologischen „Gestaltgesetzen“ Leuchtenformen, Leuchtenanordnung und deren Lichtwirkung so aufeinander abzustimmen, dass Architektur nicht nur betont, sondern möglichst auch an Aussagekraft gewinnt. Hierzu kann der Planer nur eine Hilfestellung geben. Letztendlich bleibt es dem Architekten überlassen, wie sein Entwurf architektonisch in Szene gesetzt werden soll.

### **Wirtschaftlichkeit**

Die Wirtschaftlichkeit lässt sich nicht ohne weiteres in eines der oben beschriebenen Aspekte einordnen. Wirtschaftlichkeit trägt nur entfernt etwas zur Sehorientierung und Wahrnehmungsorientierung bei. Zur Architektonische, gestalterischen Aspekt sowieso nicht.

Als Wirtschaftlichkeit wird heute hauptsächlich die Minimierung der Kosten der Beleuchtungsanlage betrachtet. Zur Ermittlung dieser Kosten existierte früher eine Norm (DIN 5035) Hierzu werden die Anschaffungskosten, Energiekosten, Lampenkosten und Instandhaltungskosten inklusive Reinigungskosten ermittelt. Es wird aber zunehmend schwieriger diese Kosten über die gesamte Lebensdauer zu ermitteln (z.B. ist es schwer die Energiekosten in den nächsten 5 Jahren zu schätzen). Somit lässt sich Wirtschaftlichkeit auch nicht eindeutig quantifizieren. Einige Merkmale sind auch qualitativ zu sehen.

Daher wird hier nur auf einige Faktoren eingegangen, wie man die Wirtschaftlichkeit und daher die Kosten senken kann bzw. den Nutzen bei weniger Einsatz maximieren kann.

#### **Einsatz von wirtschaftlichen Lampen**

Neue Lampenentwicklungen schaffen immer höhere Lichtausbeuten, bei gleichzeitiger Verbesserung des visuellen Komforts. Hier sind besonders die farbverbesserten Natriumdampf-Hochdrucklampen und die immer kleiner werdenden Kompakt-Leuchtstofflampen mit Stift- und Schraubsockel zu nennen (Energiesparlampen). Daneben haben sich bereits die Halogen-Metallampfen durchgesetzt, die brillantes Licht bei ebenfalls sehr hoher Effizienz bieten, z.B. hohe Lichtausbeute. Schalzhäufigkeiten und verfügbare Lichtfarben, erlauben dabei meist den problemlosen Ersatz der herkömmlichen Lampen. Die höheren Erstinstallationskosten rechnen sich durch eine längere Lebensdauer (z. B. 8-fach bei der Kompakt-Leuchtstofflampe) und dem deutlich geringeren Stromverbrauch bei gleichem oder sogar höherem Lichtstrom.

#### **Einsatz von wirtschaftlichen Vorschaltgeräte**

Elektronische Vorschaltgeräte bieten Energieersparnis und eine höhere Wirtschaftlichkeit. Die Vorteile sind vielfältig, besonders im Bereich der Leuchtstoff- und Kompakt-Leuchtstofflampen:

- geringerer Eigenverbrauch (nur noch ca. 10% der Lampenleistung, d. h. ca. 30% weniger Energieverluste gegenüber konventionellen Vorschaltgeräten),
- besserer Wirkungsgrad der Lampe (ca. 10% Energieeinsparung gegenüber konventionellen Vorschaltgeräten),
- längere Lampenlebensdauer durch flackerfreien Warmstart (ca. 30 - 50% länger),
- geringerer Lichtstromrückgang über die Lebensdauer,
- erhöhte Schalzhäufigkeit (Faktor 3),
- niedrigere Lampenersatz- und Wartungskosten,
- geringere Heizlast; dadurch Entlastung der Klimaanlage,
- Abschaltautomatik zur Vermeidung des energieaufwendigen Flackerns am Lebensdauerende
- dimmen und steuern gegenüber konventionellen Vorschaltgeräten möglich.

Ein sparsamer und bewusster Umgang mit Energie wird beim Einsatz eines Lichtsteuersystems deutlich. Ein intelligentes Lichtsteuerungssystem ermöglicht die Einsparung von bis zu 80% der Stromkosten für Beleuchtung. Nicht allein ein automatisches Ein- und Ausschalten, sondern ein

stufenloses, individuelles, tageslichtabhängiges Steuern jeder einzelnen Leuchte im Gebäude wird durch modernste Elektronik ermöglicht.

### **Vermehrte Tageslichtnutzung**

Jede visuelle Aufgabe erfordert eine gewisse Grundhelligkeit, um fehlerfrei und gefahrlos erfüllt werden zu können. Wo das Tageslicht nicht ausreicht, muss in der Regel Kunstlicht zur Ergänzung eingesetzt werden. Häufig steht jedoch das Kunstlicht zu sehr im Mittelpunkt, so dass es den ganzen Tag über eingeschaltet bleibt, obwohl die Aufgabe es gar nicht erfordert oder das Tageslicht wird ungenutzt "ausgesperrt" durch Rollos und Jalousien. Ein Weg zurück zum Tageslicht erhöht nicht nur den visuellen Komfort durch erhöhte Akzeptanz und Leistungsbereitschaft, sondern hilft effektiv Stromkosten einzusparen. Hier bietet ein Lichtmanagementsystem durch seinen Tageslichtrechner ideale Möglichkeiten der stufenlosen Kombination beider Lichtquellen, des Kunst- und des Tageslichts. Diverse Tageslichtlenksysteme an den Fenstern bieten häufig kombinierte Elemente zur Sonnenabschattung einerseits und Lichtlenkung in die Raumtiefe andererseits. Eine daran angepasste künstliche Beleuchtung kann viel Energie sparen und schafft gleichzeitig eine natürlichere Lichtumgebung.

### **Beleuchtungserneuerung**

Bei der Erneuerung von bestehenden, veralteten Beleuchtungsanlagen können die aufgeführten Aspekte je nach den Möglichkeiten genutzt werden. Es bietet sich die Chance einer deutlichen Verbesserung der Wirtschaftlichkeit, welche überschaubare Amortisationszeiten zulassen. Je älter die Anlage ist, desto größer ist der erzielbare ökologische und wirtschaftliche Vorteil. Der Komfortgewinn durch eine angenehmere Beleuchtungssituation ist dabei noch gar nicht eingerechnet.

## **Zusammenfassung**

Lichtplanung im umfassenden Sinn hat einen großen Einfluss auf die Akzeptanz einer architektonischen Umgebung. Sie unterstreicht die Idee des Architekten, sie fördert das menschliche Wohlbefinden des Nutzers und sie unterstützt und ermöglicht das funktionale Sehen durch die Bemessung der lichtphysikalischer Größen, zur Durchführung spezifischer Seh Aufgaben. Nur wenn dies alles erreicht ist kann man von einer guten Beleuchtung sprechen. Dies zu zeigen war das Ziel dieses Vortrags.

Neben konkreten Nutzungsfunktion der Beleuchtung muss sich eine qualitativ, wahrnehmungsorientierte Beleuchtungsplanung mit visuellen Informationsbedürfnissen und Erwartungshaltungen befassen. Diese lassen sich pauschal in keine Norm fassen. Ein reines Abarbeiten der Normung und der in der Norm geforderten Güteigenschaften garantiert keine gute Beleuchtung. Man darf aber auch nicht den Fehler machen, die funktionalen Güteigenschaften weniger zu beachten. Dies gilt natürlich auch für rein gestalterische, architektonische Merkmale.

Planungsziel muss es deshalb auch immer sein, das gesamte Wahrnehmungsumfeld adäquat zu beleuchten, die charakteristischen Eigenschaften von Raum und Raumobjekten angemessen zu inszenieren und zielgerichtet Wahrnehmungshierarchien aufzubauen.

Beleuchtung definiert sich schließlich als ein formalgestalterisches Element, so wohl durch die Geometrie der Leuchten, als auch durch deren Anordnung. Die Beleuchtungsanlage selbst wird zum Architekturdetail und trägt zum Gesamtbild einer Architektur bei.

### 10 Gebote für richtiges und gutes Licht

Gutes Licht wird benötigt, um optimale Sehbedingungen in Räumen zu erreichen. So sind bei der Planung von Beleuchtungsanlagen eine Reihe von Einflussfaktoren zu beachten, die in einem komplexen Zusammenspiel die Qualität der Beleuchtung bestimmen. Einflussfaktoren guter Beleuchtung sind hier als „10 Gebote für richtiges Licht“ zusammengestellt. Sie sollen wichtige Hinweise geben für die Gestaltung von Beleuchtungslösungen, die den Bedürfnissen des Menschen bestmöglich angepasst sind und die besonders günstige Arbeitsbedingungen schaffen.

#### 1. **Ausreichend hohes Beleuchtungsniveau**

Die Leistungsfähigkeit des Auges hängt entscheidend vom Beleuchtungsniveau im Sehfeld ab: Mit zunehmender Beleuchtungsstärke nimmt auch die allgemeine Leistungsfähigkeit zu, die Motivation steigt und die Fehlerhäufigkeit sinkt.

#### 2. **Harmonische Helligkeitsverteilung**

Eine ausgewogene Verteilung der Leuchtdichten auf den verschiedenen Flächen macht einen Raum interessant. Zu niedriger aber auch zu hoher Kontrast wirkt dagegen anstrengend und ermüdend.

#### 3. **Angepasste Blendungsbegrenzung**

Blendung in Innenräumen ist selten so stark, dass sie die Sehleistung erheblich herabsetzt, aber sie kann stören und zu erhöhter Anstrengung der Augen führen.

#### 4. **Gute Kontrastwiedergabe**

Wir nehmen Objekte in unserer Umwelt durch ihren Kontrast zum jeweiligen Hintergrund wahr. Eine Beleuchtungsanlage besitzt gute Kontrastwiedergebeeigenschaften, wenn auch auf glänzenden Unterlagen keine störenden Reflexe auftreten können. Dann bleibt z. B. Schrift auch auf glänzendem Papier gut lesbar.

#### 5. **Richtige Lichteinfallrichtung**

Die Lichteinfallrichtung beeinflusst zum einen die Kontrastwiedergabe, denn sie bestimmt, in welcher Richtung gegebenenfalls Reflexe auftreten. Andererseits hat sie Einfluss auf die Schattenbildung, die uns das räumliche Sehen ermöglicht, aber auch durch Schlagschatten Störungen und Gefahren auslösen kann.

#### 6. **Angenehme Schattigkeit**

Schatten verstärken das räumliche Sehen und erleichtern die Orientierung. Richtige Schattenbildung entsteht durch eine zweckmäßige Mischung von diffusem und von gerichtetem Licht.

#### 7. **Angemessene Lichtfarbe**

Im Verlauf eines Tages variiert die Lichtfarbe der Tageslichts. Auch künstliches Licht kann in

verschiedenen Farbtönen erzeugt werden und so unterschiedliche Beleuchtungszwecke und Stimmungen unterstützen.

### **8. *Natürliche Farbwiedergabe***

Nur Spektralfarben, die im Licht enthalten sind, können von Gegenständen ins Auge reflektiert werden. Mit der Farbwiedergabe wird beschrieben, wie gut unter Kunstlicht die natürlichen Farben eines Gegenstands wiedergegeben werden.

### **9. *Wirkungsvolle Lichtatmosphäre***

Licht wirkt auf die Stimmung und das Wohlbefinden des Menschen. So entsteht der subjektive, eher unbewusste Eindruck eines Raumes und seines Lichts. Die Bedeutung einer angenehmen Lichtatmosphäre auch im Arbeitsraum wird in neuerer Zeit zunehmend erkannt. Neben der Beachtung aller in den übrigen Geboten aufgezählten, zum großen Teil mess- und bewertbaren Größen, ist bei der Beleuchtungsplanung in diesem Punkt Erfahrung im Zusammenspiel aller Faktoren und viel Gefühl für gutes Licht von entscheidender Bedeutung.

### **10. *Günstiger Energieverbrauch***

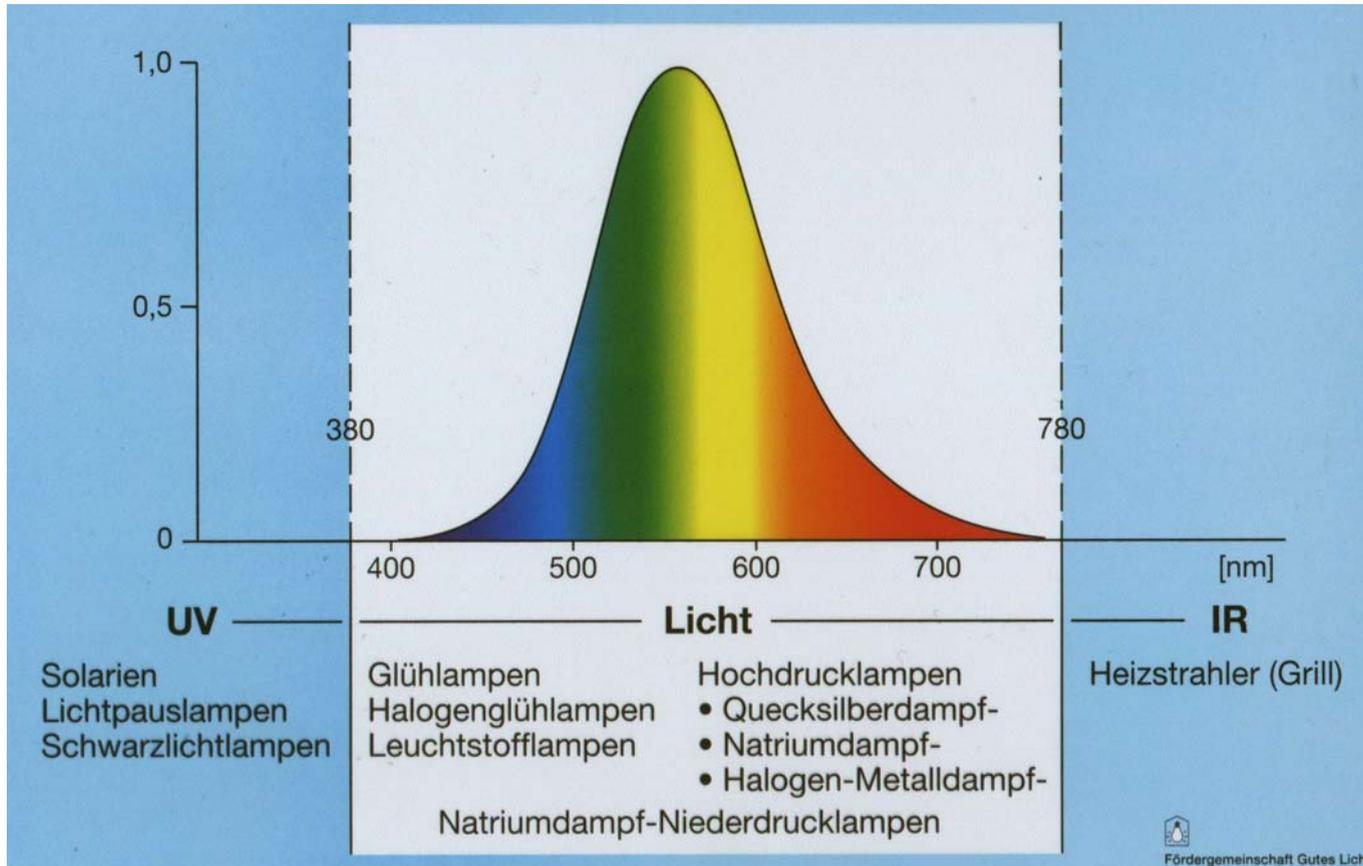
Eine unbedingte Forderung bei der Planung einer modernen Beleuchtungsanlage ist, mit Energie sparsam und bewusst umzugehen. Die diversen Möglichkeiten hierzu ergeben sich jedoch nicht nur bei der Errichtung einer neuen Beleuchtungsanlage, sondern auch bei der Sanierung einer alten Anlage.

### **Literaturverzeichnis**

- Handbuch der Beleuchtung, SLG, LTAG, LiTG, NSW Verlag Ecomed sehr umfangreich, Standardwerk der Licht- und Beleuchtungstechnik
- ERCO-Handbuch der Lichtplanung, R. Ganslandt/ Hofmann Vieweg-Verlag Handbuch der Architekturbeleuchtung
- Beleuchtungsplanung Lichttechnik Elektrotechnik, TRILUX-Lenze GmbH Anwenderbuch.
- Tagungsband Licht 2000 in Goslar
- Publikationen der Fördergemeinschaft Gutes Licht Heft 8 (<http://www.fgl.de>)
- Zeitschrift LICHT Pflaume-Verlag
- Zeitschrift HIGHLIGHT
- DIN EN 12464-1 Beleuchtung mit künstlichem Licht (neu für DIN 5035 Teil 1)
- DIN EN 12193 Beleuchtung von Sportstätten
- Alles rund um Lampen und Leuchten, ein Verzeichnis alle Lampen- und Leuchtenhersteller, sowie ein Ansprechpartner bei allen Fragen zum Thema Licht findet man bei <http://www.on-light.de>

# Beleuchtungsplanung unter qualitativen und qualitativen Güteigenschaften

# Was ist Licht ?



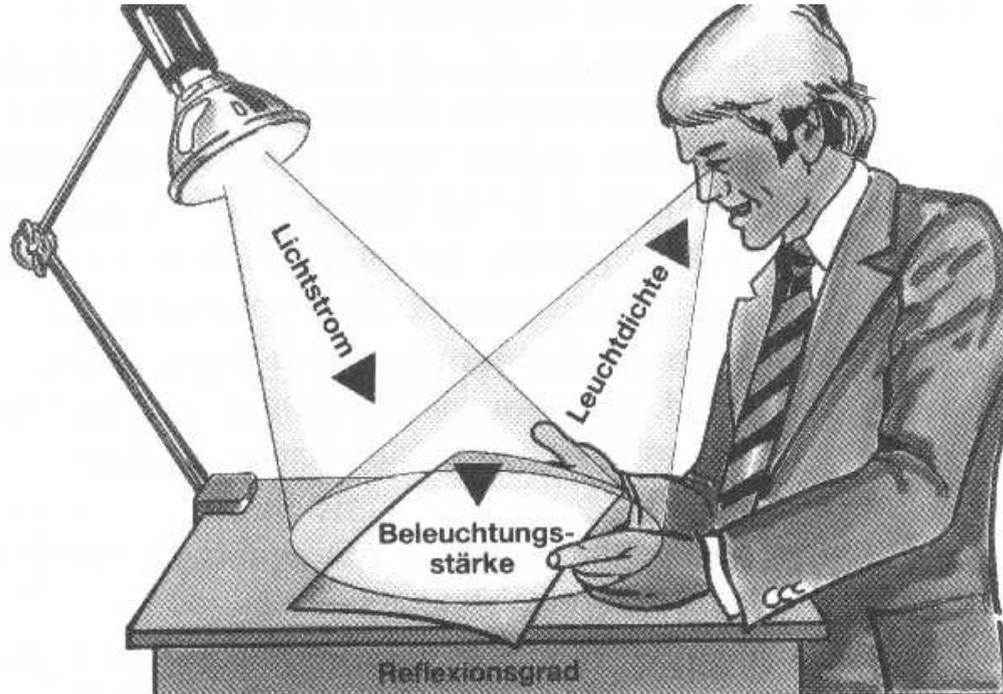
# Gütemerkmale von Beleuchtung

- Sehorientierte funktionale Gütemerkmale
- Wahrnehmungsorientierte Gütemerkmale
- Architektonische gestalterische Gütemerkmale
- Wirtschaftlichkeit

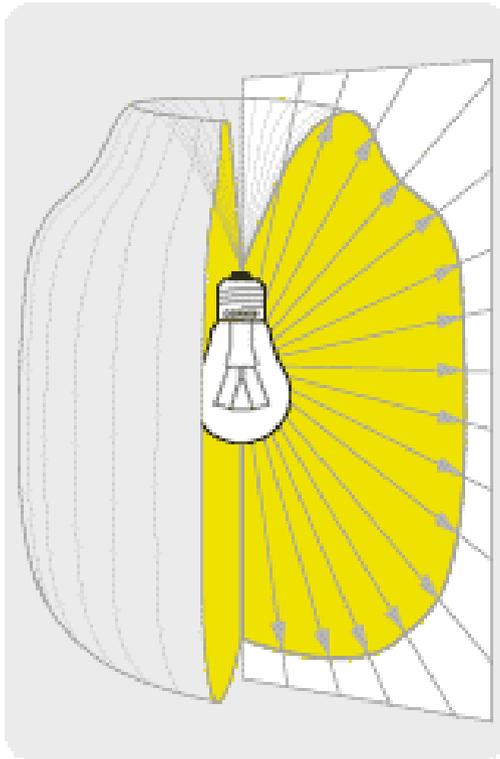
# Beleuchtungsniveau



# Beleuchtungsniveau



# Lichtstrom



Photometrisch bewertete  
Strahlungsleistung eine Quelle  
 $\Phi$  Einheit : Lumen [lm]

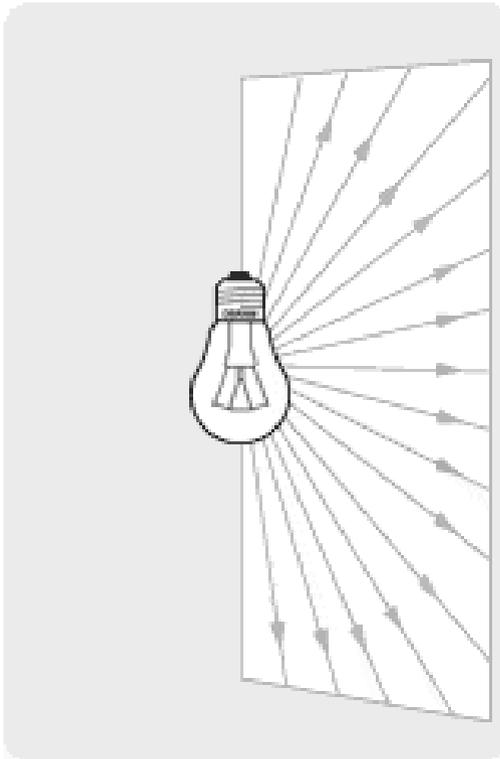
Beispiele:

100 W Glühlampe = 1360 lm

100 W Natriumlampe = 17000 lm

54 W Leuchtstofflampe = 5200 lm

# Lichtstärke



Lichtstrom einer Quelle  
in eine bestimmte Richtung  
I Einheit : Candela [cd]

$$I = \frac{d\phi}{d\Omega}$$

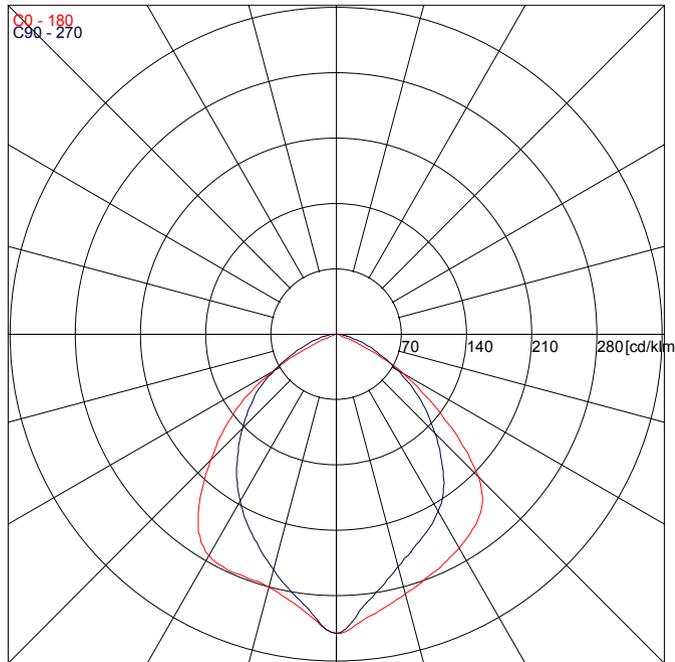
Beispiele:

100 W Glühlampe = 100 cd

100 W Natriumlampe = 1350 cd

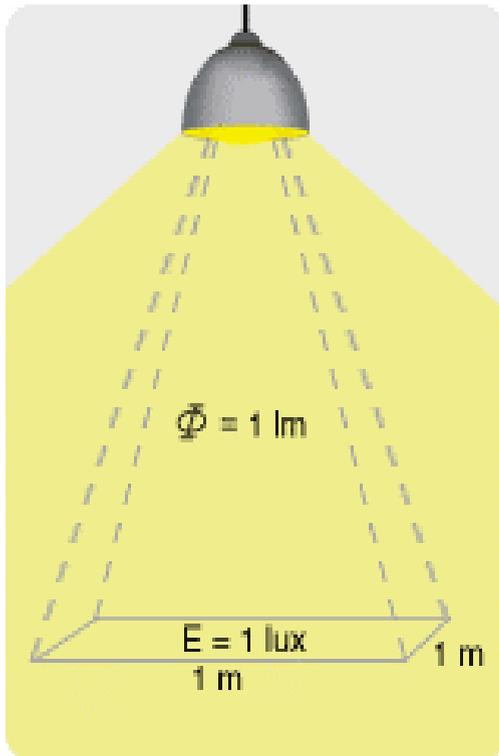
54 W Leuchtstofflampe = 400 cd

# Lichtstärkeverteilung



Verteilungsdiagramm der Lichtstärke. Hiermit werden Leuchten lichttechnisch charakterisiert.

# Beleuchtungsstärke



Lichtstrom der auf eine  
bestimmte Fläche fällt  
E Einheit : Lux [lx]

$$E = \frac{d\phi}{dA}$$

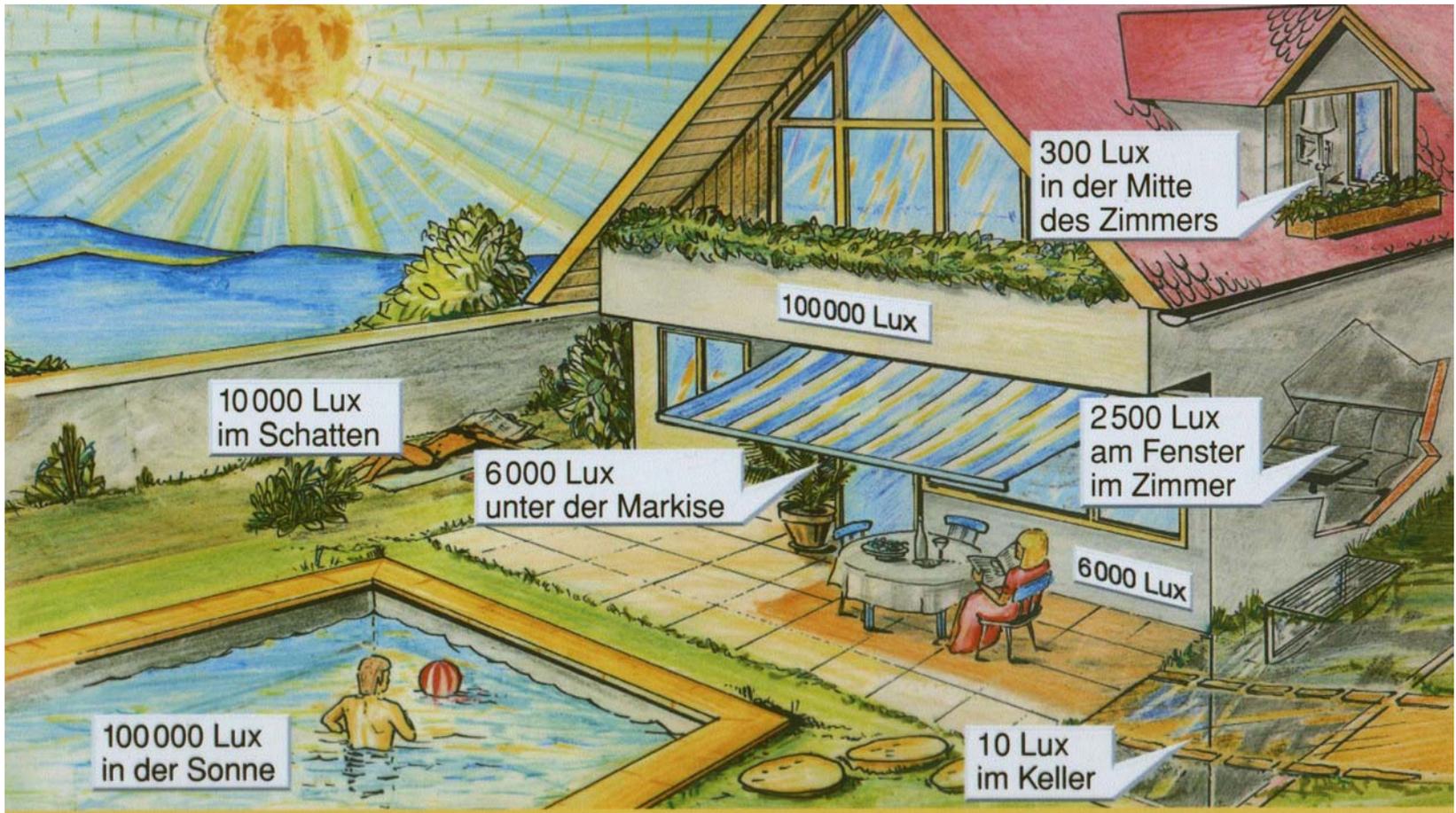
Beispiele:

Bürobeleuchtung = 500 lx

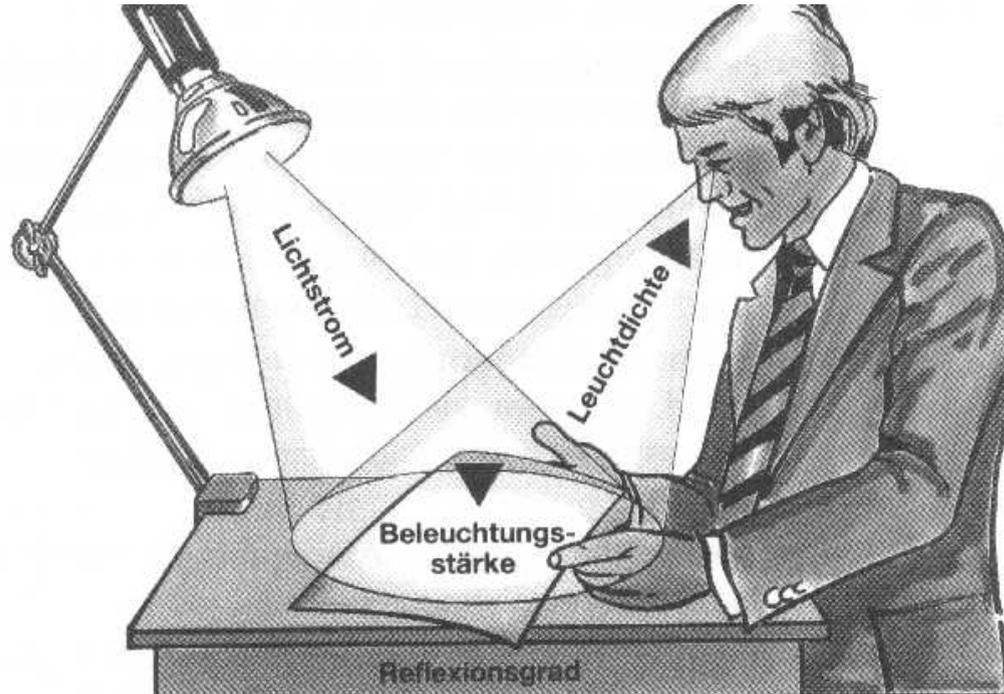
Heller Tag = 100.000 lx

Vollmond = 0,1 lx

# Beispiele für Beleuchtungsstärken



# Beleuchtungsniveau



# Leuchtdichte



Leuchtdichte erzeugt den  
Helligkeitseindruck im Auge  
L Einheit : Candela/m<sup>2</sup> [cd/m<sup>2</sup>]

$$L = \frac{1}{\pi} * E * \rho$$

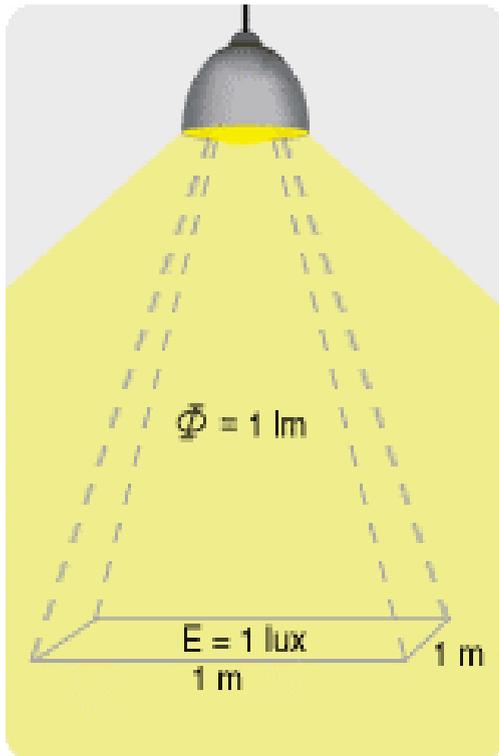
Beispiele:

weiße Wandfläche = ca. 100 cd/m<sup>2</sup>

Kerze = ca. 7.500 cd/m<sup>2</sup>

Blauer Himmel = ca. 5.000 cd/m<sup>2</sup>

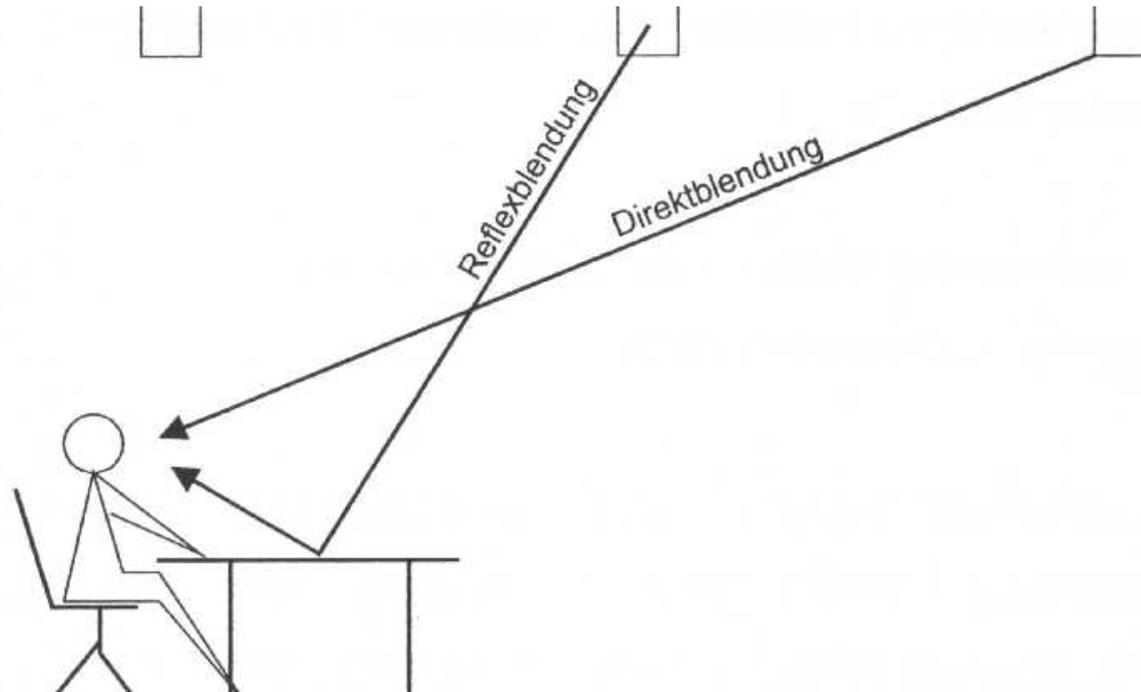
# Photometrisches Entfernungsgesetz



Das photometrische Entfernungsgesetz verknüpft Lichtstärke mit der Beleuchtungsstärke

$$E = \frac{I(\alpha)}{r^2} \cos(\alpha)$$

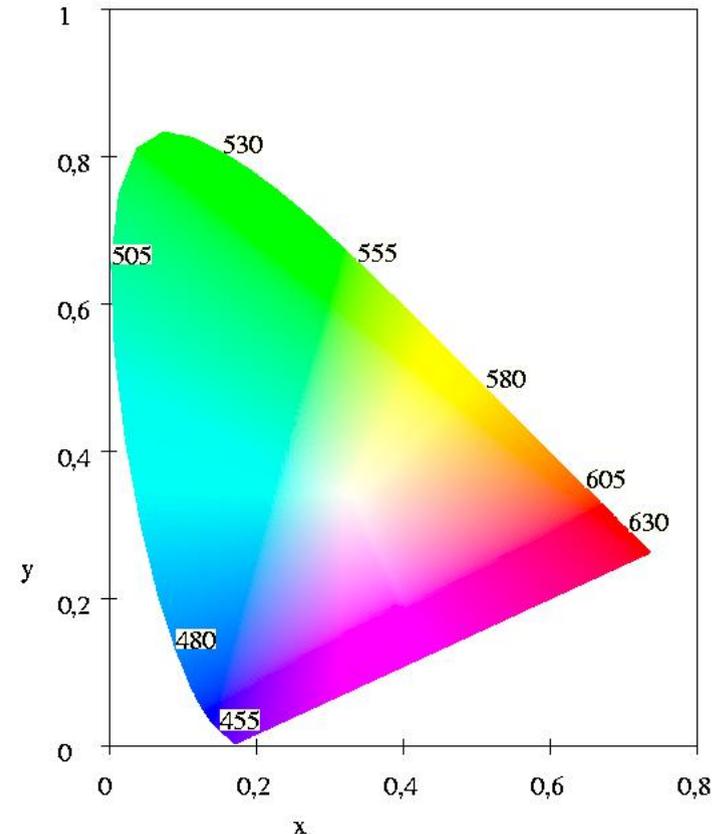
# Blendung



# Lichtfarbe und Farbwiedergabe

Bezeichnung	Farbwiedergabestufe	Farbwiedergabeindex Ra
Sehr gut	1A	Ra > 90
	1B	Ra 80 - 90
Gut	2A	Ra 70 - 80
	2B	Ra 60 - 70
Weniger gut	3	Ra 40 - 60
	4	Ra < 20 - 40

DIN-Bezeichnung	Farbtemperatur	Farberscheinung
Warmweiß	< 3300K	Warm
Neutralweiß	3300K-5300K	Mittel
Tageslichtweiß	> 5300K	Kalt



# Wahrnehmungsorientierte Gütemerkmale

- richtige Lichtrichtung
- Harmonische Helligkeitsverteilung
- Orientierung im Raum
- Charakterisierung der Architektur

# Lichtrichtung



Direkt beleuchtet



indirekt beleuchtet



Direkt/Indirekt beleuchtet

# Wirtschaftlichkeit

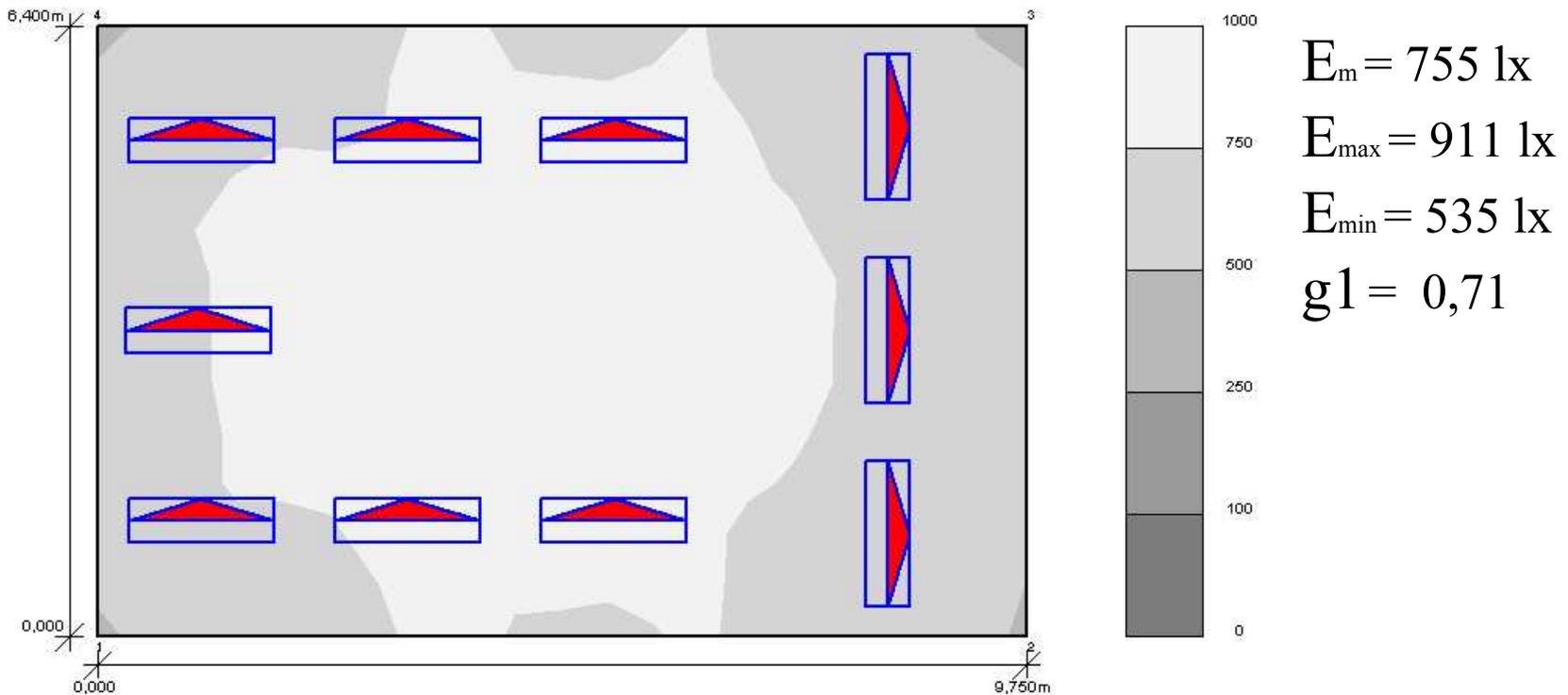
- Einsatz von wirtschaftlichen Lampen
- Einsatz von wirtschaftlichen Vorschaltgeräte
- Einbeziehung des Tageslichts
- Berücksichtigung der Raumflächen bei der Planung

# Beleuchtung einer Squashhalle

- Hallengröße 9,75m x 6,40m, Höhe 6,10m
- DIN EN 12193 fordert:  $E_m = 750 \text{ lx} / g_1 = 0,70$
- Der Ball ist sehr klein, bezogen auf das Spielfeld
- Ball bewegt sich sehr schnell, ca. 200 km/h
- Flugbahn ist durch vertikale Flächen sehr komplex
- Spieler müssen sehr schnell den Standort und Blickrichtung wechseln

# Beleuchtung einer Squashhalle

Gewählte Leuchte: 10 Stück Frenger 20358002 / 3x49 W

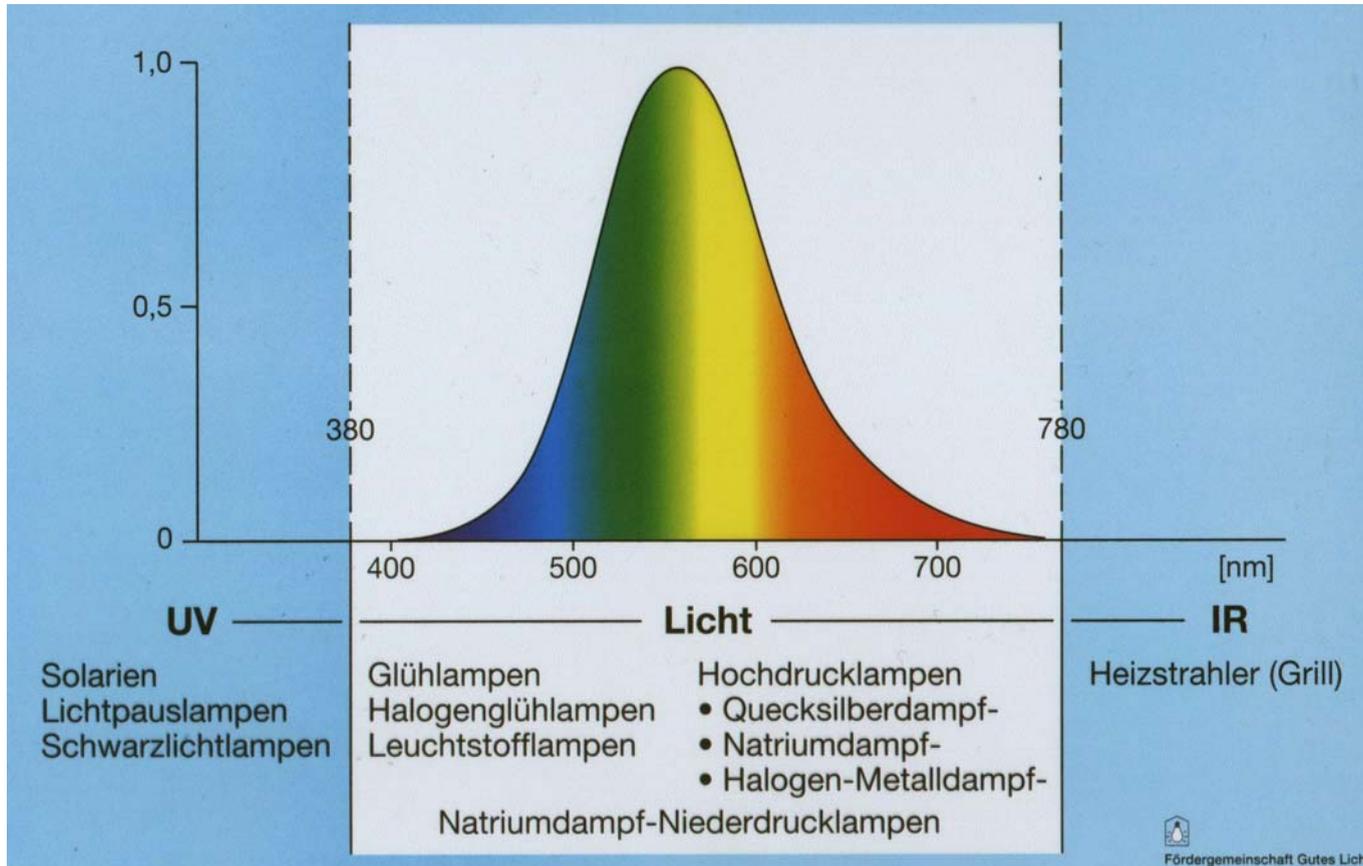


# 10 Gebote für richtiges und gutes Licht

- Ausreichend hohes Beleuchtungsniveau
- Harmonische Helligkeitsverteilung
- Angepasste Blendungsbegrenzung
- Gute Kontrastwiedergabe
- Richtige Lichteinfallrichtung
- Angenehme Schattigkeit
- Angemessene Lichtfarbe
- Natürliche Farbwiedergabe
- Wirkungsvolle Lichtatmosphäre
- Günstiger Energieverbrauch

# Beleuchtungsplanung unter qualitativen und qualitativen Güteigenschaften

# Was ist Licht ?



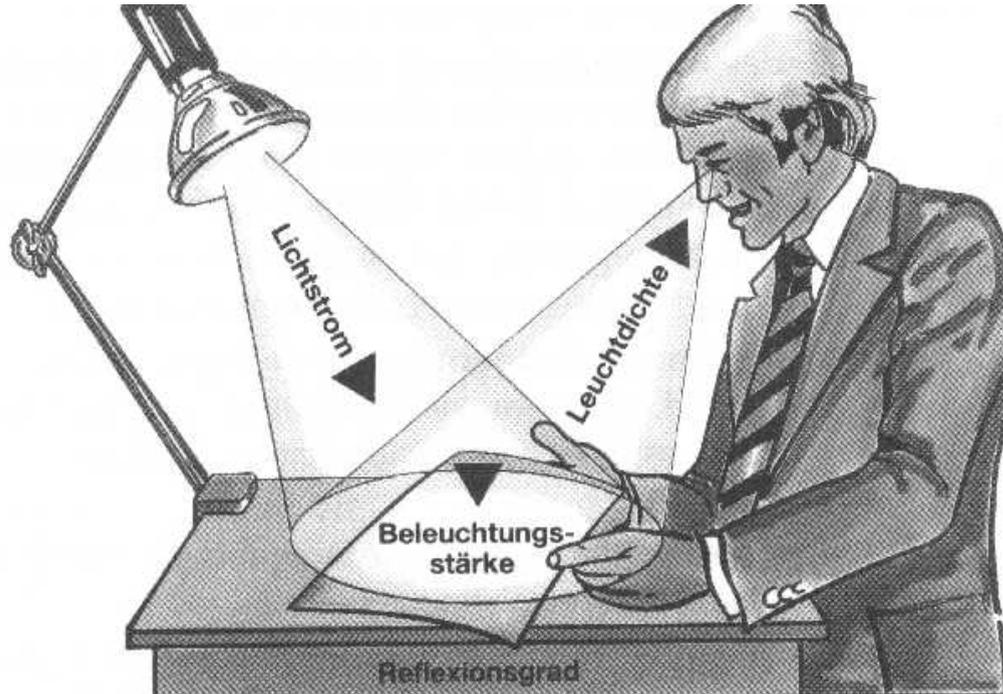
# Gütemerkmale von Beleuchtung

- Sehorientierte funktionale Gütemerkmale
- Wahrnehmungsorientierte Gütemerkmale
- Architektonische gestalterische Gütemerkmale
- Wirtschaftlichkeit

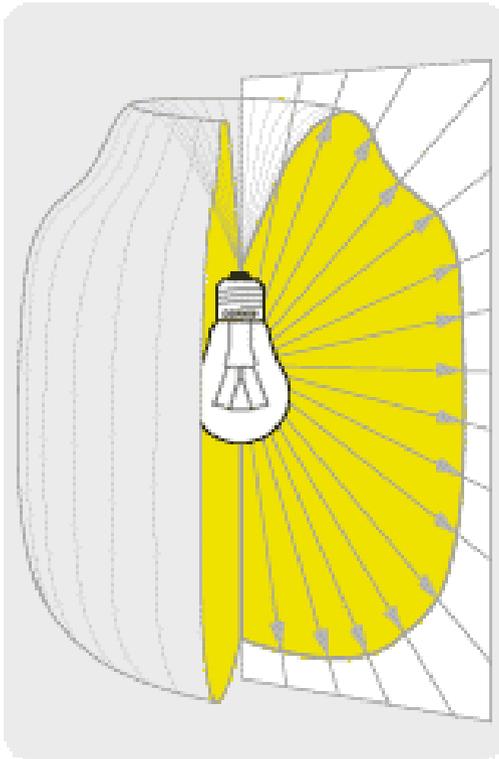
# Beleuchtungsniveau



# Beleuchtungsniveau



# Lichtstrom



Photometrisch bewertete  
Strahlungsleistung eine Quelle  
 $\Phi$  Einheit : Lumen [lm]

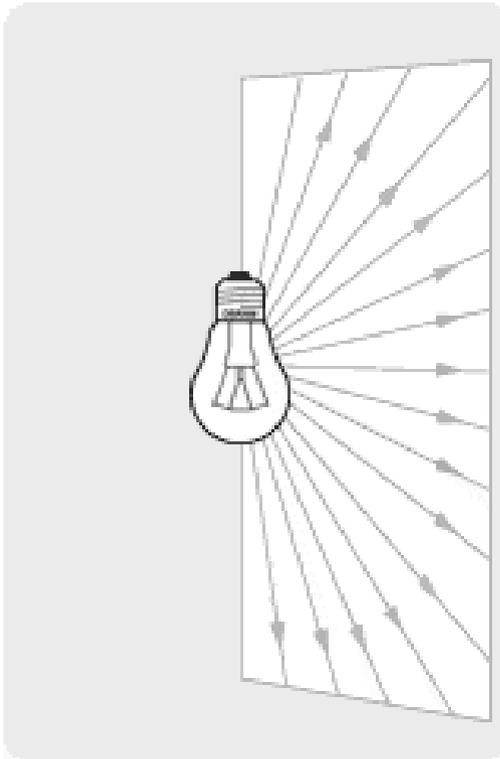
Beispiele:

100 W Glühlampe = 1360 lm

100 W Natriumlampe = 17000 lm

54 W Leuchtstofflampe = 5200 lm

# Lichtstärke



Lichtstrom einer Quelle  
in eine bestimmte Richtung  
I Einheit : Candela [cd]

$$I = \frac{d\phi}{d\Omega}$$

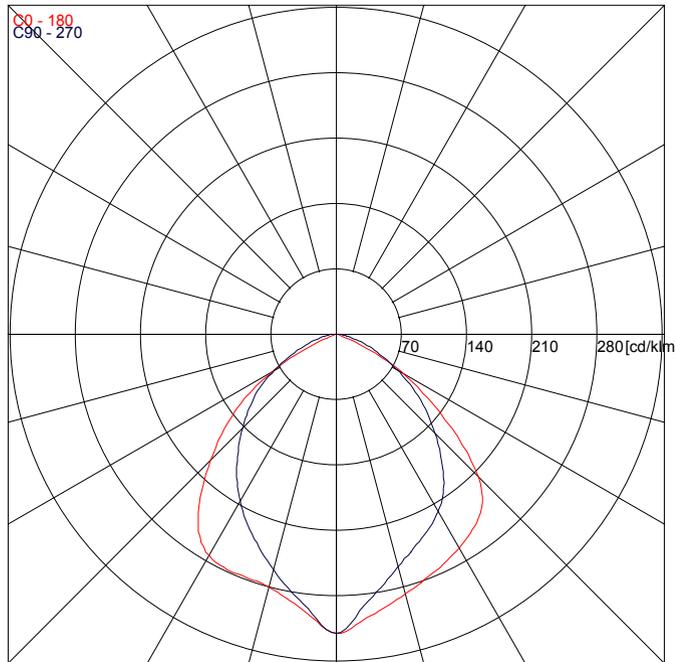
Beispiele:

100 W Glühlampe = 100 cd

100 W Natriumlampe = 1350 cd

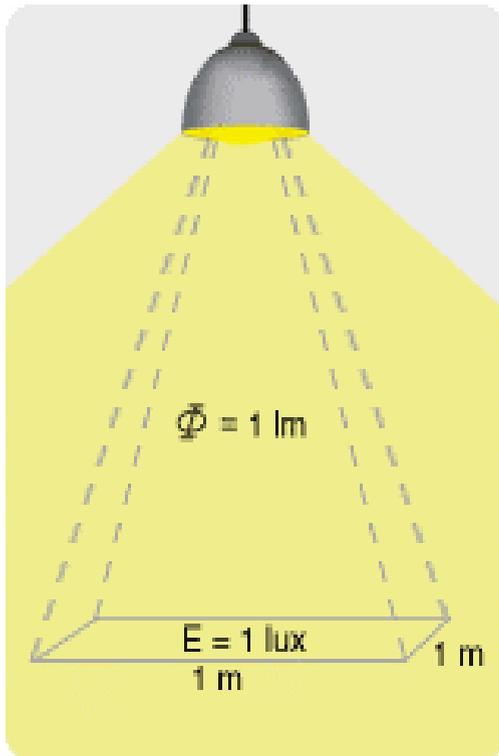
54 W Leuchtstofflampe = 400 cd

# Lichtstärkeverteilung



Verteilungsdiagramm der Lichtstärke. Hiermit werden Leuchten lichttechnisch charakterisiert.

# Beleuchtungsstärke



Lichtstrom der auf eine  
bestimmte Fläche fällt  
E Einheit : Lux [lx]

$$E = \frac{d\phi}{dA}$$

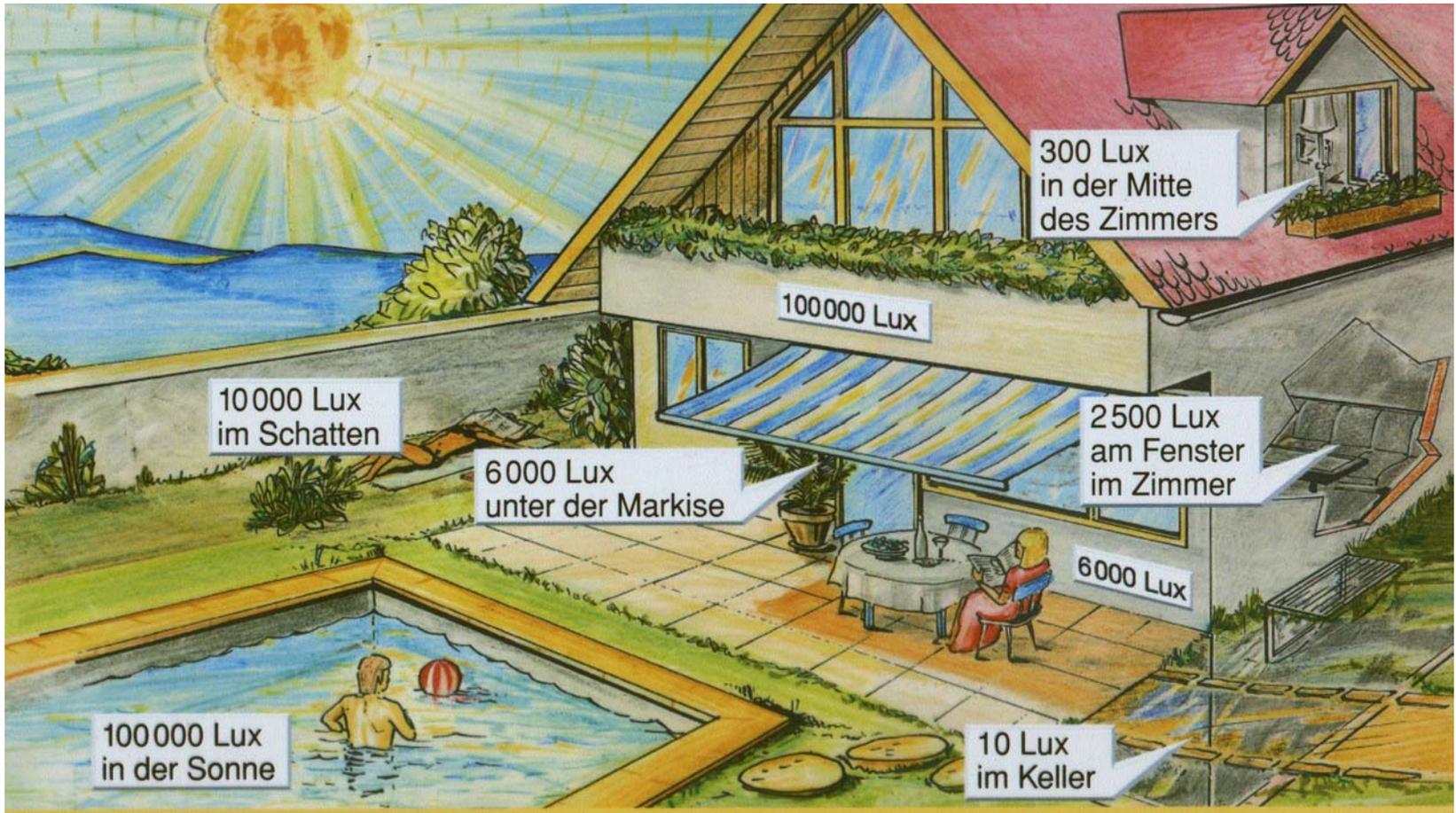
Beispiele:

Bürobeleuchtung = 500 lx

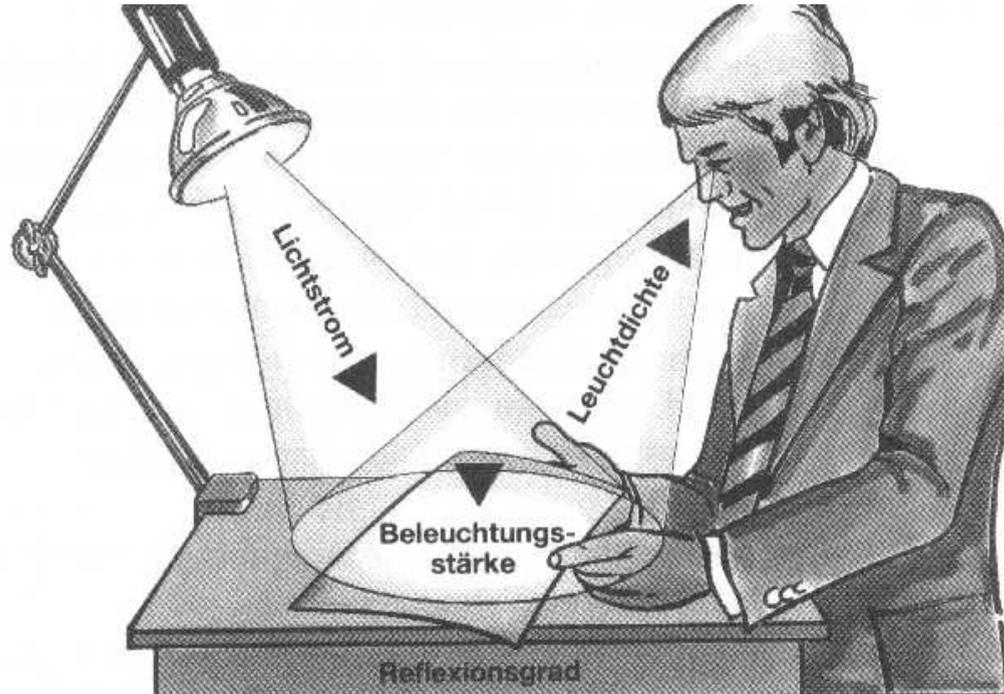
Heller Tag = 100.000 lx

Vollmond = 0,1 lx

# Beispiele für Beleuchtungsstärken



# Beleuchtungsniveau



# Leuchtdichte



Leuchtdichte erzeugt den  
Helligkeitseindruck im Auge  
L Einheit : Candela/m<sup>2</sup> [cd/m<sup>2</sup>]

$$L = \frac{1}{\pi} * E * \rho$$

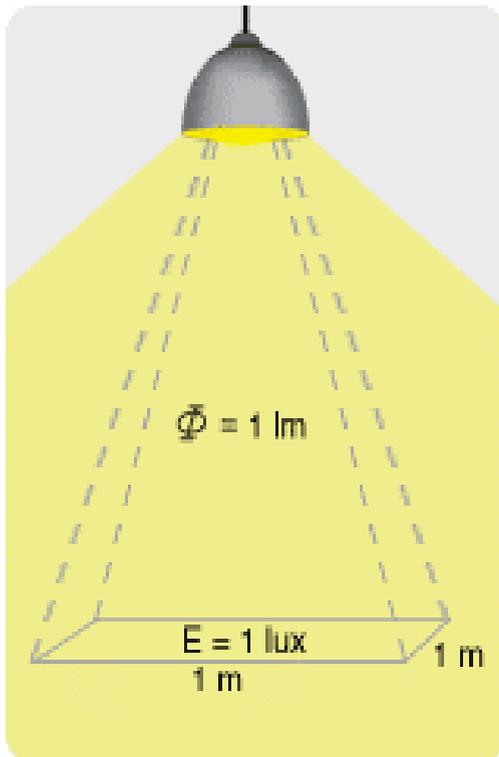
Beispiele:

weiße Wandfläche = ca. 100 cd/m<sup>2</sup>

Kerze = ca. 7.500 cd/m<sup>2</sup>

Blauer Himmel = ca. 5.000 cd/m<sup>2</sup>

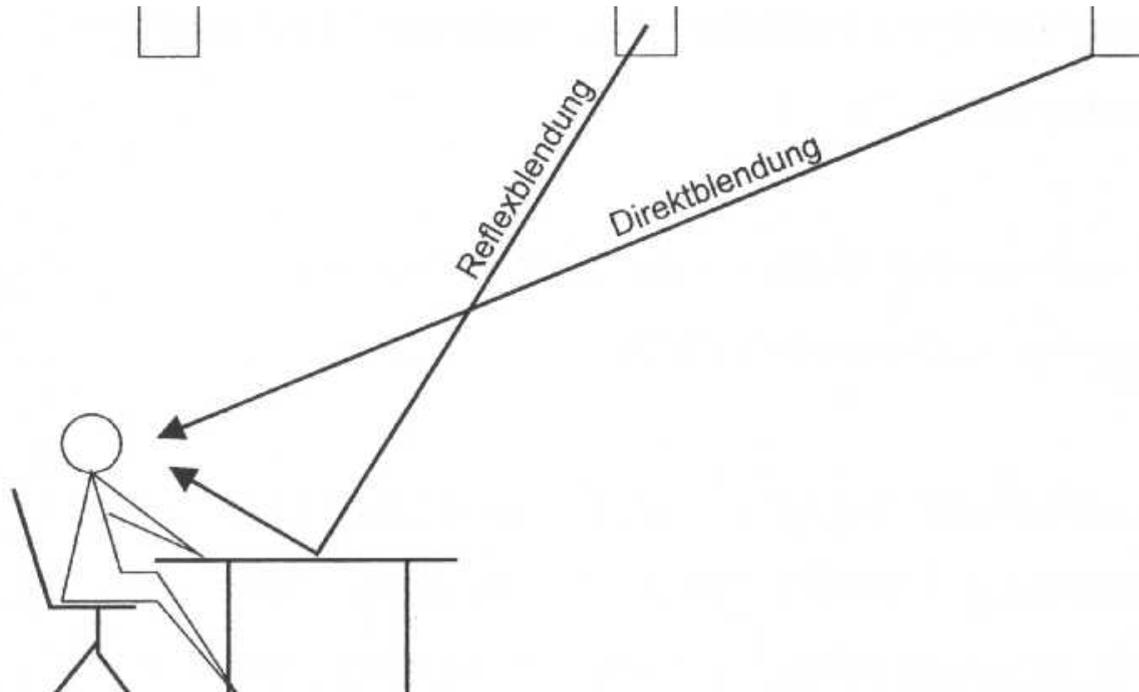
# Photometrisches Entfernungsgesetz



Das photometrische Entfernungsgesetz verknüpft Lichtstärke mit der Beleuchtungsstärke

$$E = \frac{I(\alpha)}{r^2} \cos(\alpha)$$

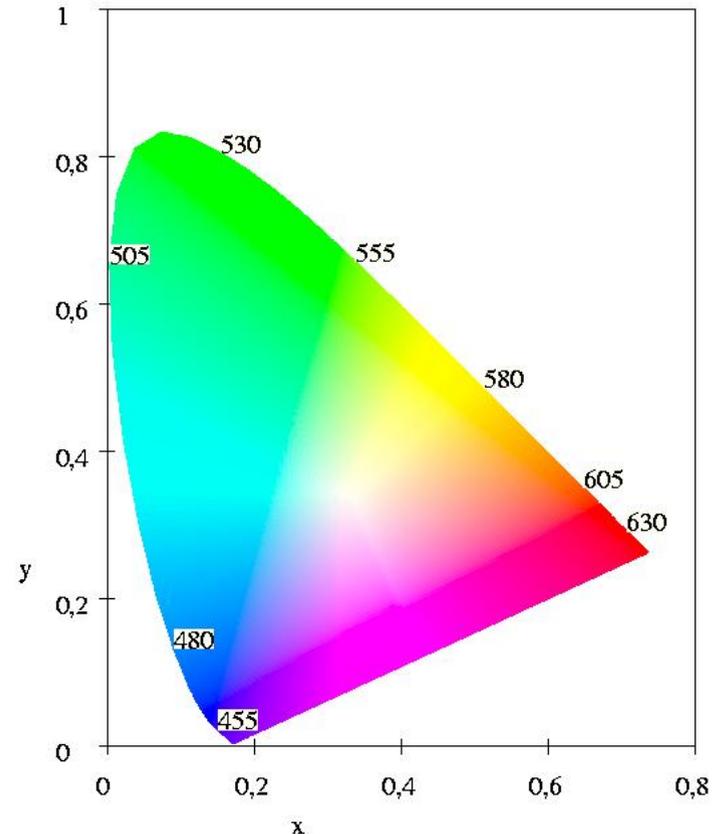
# Blendung



# Lichtfarbe und Farbwiedergabe

Bezeichnung	Farbwiedergabestufe	Farbwiedergabeindex Ra
Sehr gut	1A	Ra > 90
	1B	Ra 80 - 90
Gut	2A	Ra 70 - 80
	2B	Ra 60 - 70
Weniger gut	3	Ra 40 - 60
	4	Ra < 20 - 40

DIN-Bezeichnung	Farbtemperatur	Farberscheinung
Warmweiß	< 3300K	Warm
Neutralweiß	3300K-5300K	Mittel
Tageslichtweiß	> 5300K	Kalt



# Wahrnehmungsorientierte Gütemerkmale

- richtige Lichtrichtung
- Harmonische Helligkeitsverteilung
- Orientierung im Raum
- Charakterisierung der Architektur

# Lichtrichtung



Direkt beleuchtet



indirekt beleuchtet



Direkt/Indirekt beleuchtet

# Wirtschaftlichkeit

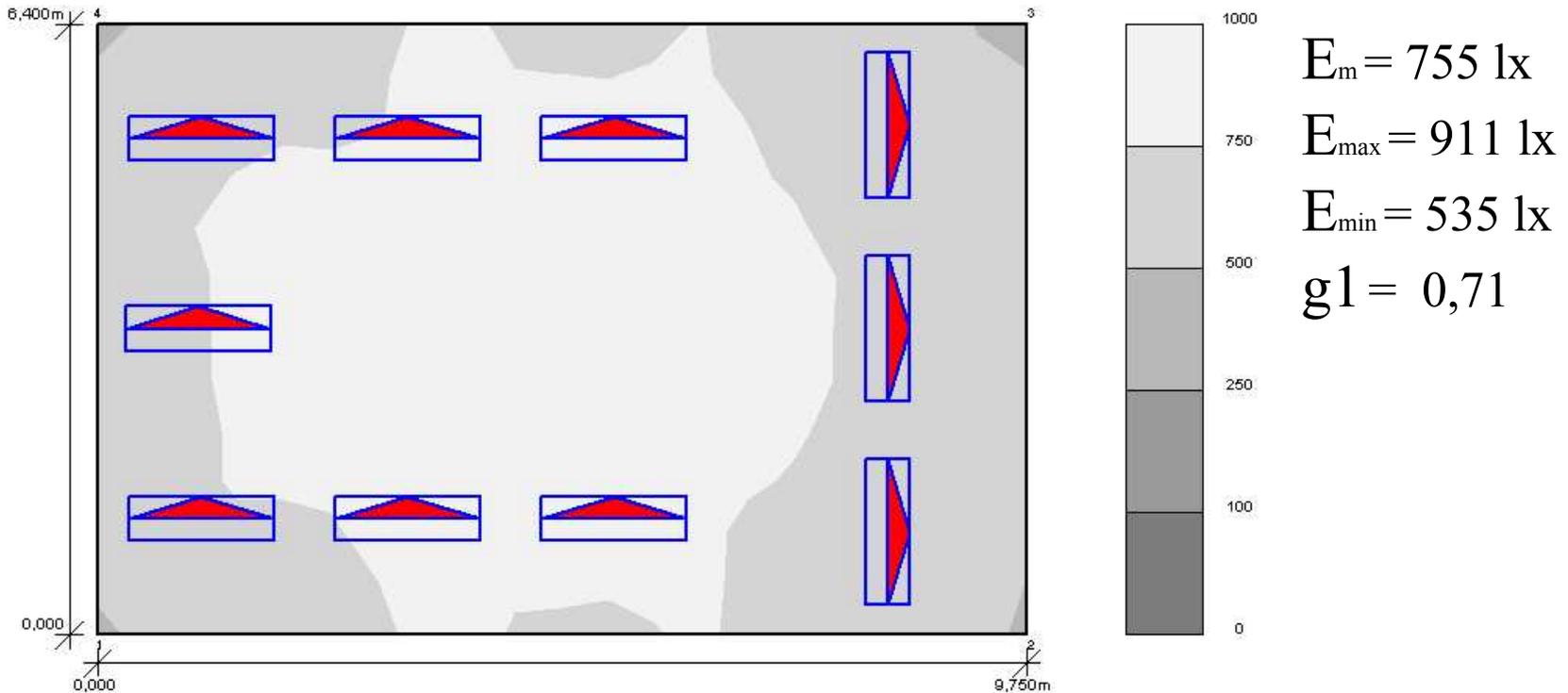
- Einsatz von wirtschaftlichen Lampen
- Einsatz von wirtschaftlichen Vorschaltgeräte
- Einbeziehung des Tageslichts
- Berücksichtigung der Raumflächen bei der Planung

# Beleuchtung einer Squashhalle

- Hallengröße 9,75m x 6,40m, Höhe 6,10m
- DIN EN 12193 fordert:  $E_m = 750 \text{ lx} / g_1 = 0,70$
- Der Ball ist sehr klein, bezogen auf das Spielfeld
- Ball bewegt sich sehr schnell, ca. 200 km/h
- Flugbahn ist durch vertikale Flächen sehr komplex
- Spieler müssen sehr schnell den Standort und Blickrichtung wechseln

# Beleuchtung einer Squashhalle

Gewählte Leuchte: 10 Stück Frenger 20358002 / 3x49 W



# 10 Gebote für richtiges und gutes Licht

- Ausreichend hohes Beleuchtungsniveau
- Harmonische Helligkeitsverteilung
- Angepasste Blendungsbegrenzung
- Gute Kontrastwiedergabe
- Richtige Lichteinfallrichtung
- Angenehme Schattigkeit
- Angemessene Lichtfarbe
- Natürliche Farbwiedergabe
- Wirkungsvolle Lichtatmosphäre
- Günstiger Energieverbrauch