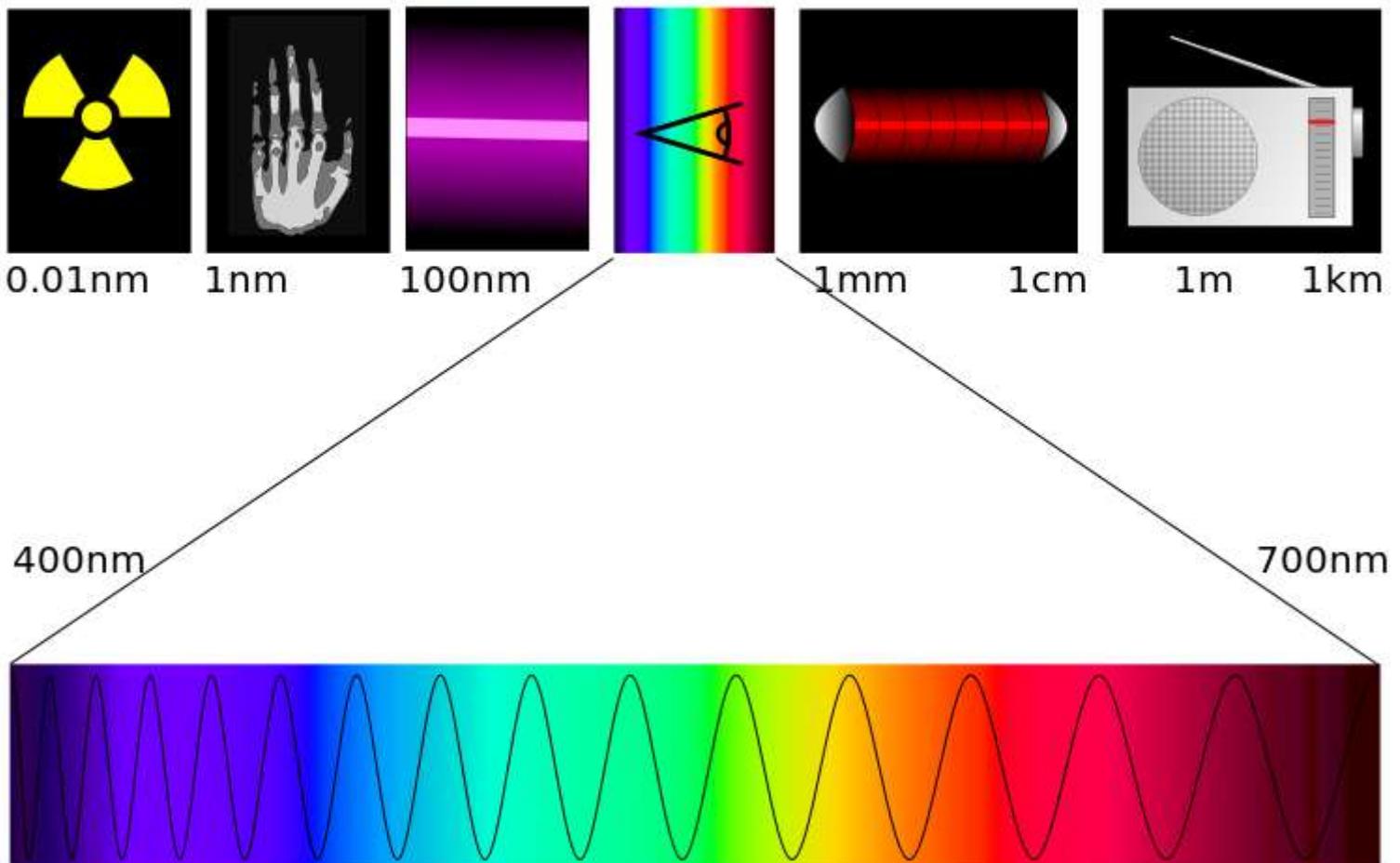


Beleuchtung in Haushaltsküchen

Die folgenden theoretischen Grundlagen, Texte, Bilder, Beispiele als auch Tabellen zitieren meist wörtlich die Quellen: www.wikipedia.de, www.ledshift.com, www.leuchtenzentrale.de/shop_content.php/coID/1054/Hilfe/Lichtlexikon und weitere.

Das Licht

Licht ist elektromagnetische Strahlung, die für den Menschen sichtbar ist. Dieser Teil des elektromagnetischen Spektrums reicht von etwa 380 nm bis 780 nm Wellenlänge. Dies entspricht Frequenzen von etwa 789 THz bis 384 THz. Eine genaue Grenze lässt sich nicht angeben, da die Empfindlichkeit des Auges an den Wahrnehmungsgrenzen nicht abrupt, sondern allmählich abnimmt. Die an das sichtbare Licht angrenzenden Bereiche der Infrarot- und Ultraviolettstrahlung werden häufig ebenfalls als *Licht* bezeichnet.

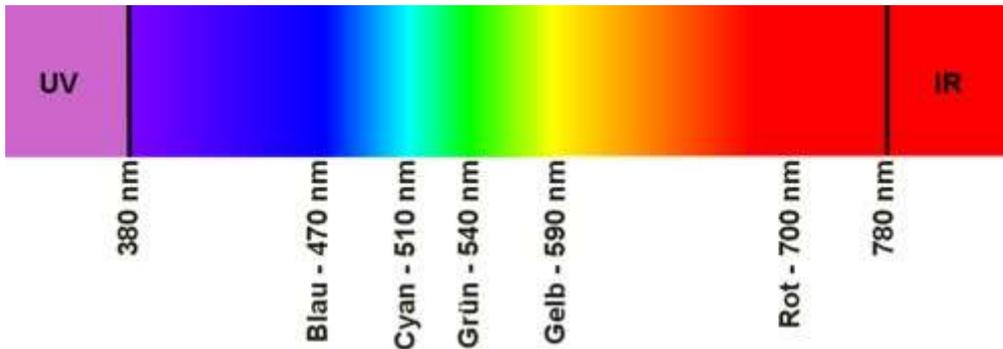


Farben des Lichts

Der Bereich sichtbaren Lichtes umfasst 380 nm bis 780 nm, wobei Licht mit 380 nm als Blau-Violett und Licht mit 780 nm als Rot empfunden wird. Dazwischen liegen die Farben:

- Rot: 700 nm
- Gelb: 590 nm
- Grün: 540 nm

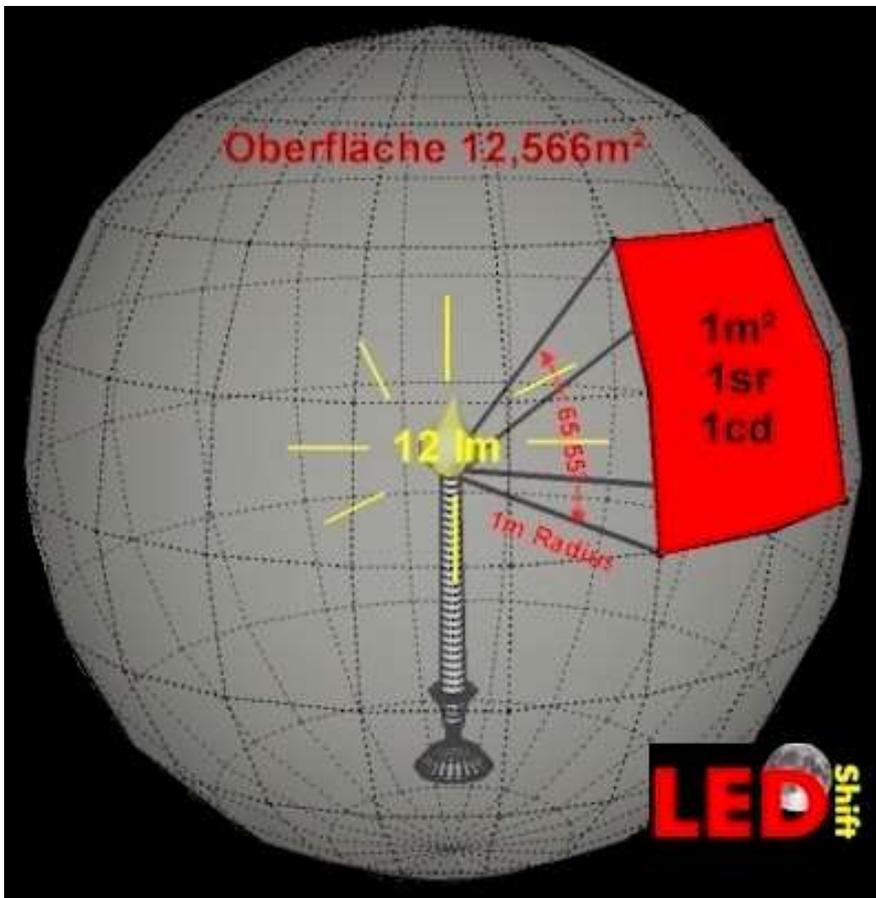
Cyan: 510 nm
Blau: 470 nm



Das Spektrum des sichtbaren Lichts

Licht mit Wellenlängen größer 780 nm nennt man Infrarot und kleiner 380 nm Ultraviolett. Trifft Licht einer Wellenlänge auf das Auge, kann die entsprechende Farbe erkannt werden. Mischungen von Licht verschiedener Wellenlängen erzeugen andere Farbeindrücke. Eine Mischung aus Licht aller Wellenlängen und gleicher Intensität sieht weiß aus. Außerdem fällt auf, dass es z.B. die Farbe Magenta nicht im Spektrum des Lichts gibt. Diese Farbe und deren Abstufungen werden nur durch die Mischung von Blau und Rot im Gehirn erzeugt.

Steradian oder Raumwinkel [sr]



Die Flamme einer Haushaltskerze emittiert rundherum (über die ganze Kugeloberfläche) in den sie umgebenden Raum einen gewissen Lichtstrom (lm, gesamte Lichtleistung, **unabhängig vom Winkel!**).

Wir ummanteln jetzt gedanklich die Kerze mit einer Kugel, die den Radius von 1m besitzt und deren Mittelpunkt die Flamme ist. Die Oberfläche dieser Kugel(der gesamte Raumwinkel) beträgt

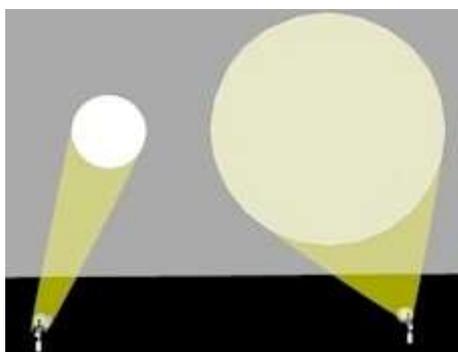
$$A = 4 * \pi * r^2 \text{ also } A = 4 * 3.14 * 1^2 = 12.566\text{m}^2$$

und stellt die oberste Grenze, also 360° des sr dar. Wir merken uns, der **grösstmögliche Raumwinkel ist 12.566**, entsprechend der Oberfläche einer Einheitskugel von 4*Pi.

Wir zeichnen jetzt auf der Kugeloberfläche eine Fläche von **genau 1m²** (in der Praxis wäre dies eine gewölbte Kreisfläche). Verbinden wir nun die Eckpunkte der Fläche mit dem Lichtkern(punkt), schließen die Verbindungslinien einen Raumwinkel von 65,55° ein.

Diese 65,55° sind 1 Steradian [sr]

Man müßte jetzt 12,566 solcher Segmente "aneinander" reihen, um wieder auf die "volle Kugel" zu kommen.



Eine Lampe mit einem Abstrahlwinkel von z.B. 15 Grad leuchtet bei gleichem Abstand vor einer Wand, eine kleinere Fläche aus, aber dafür heller, als die gleiche Lampe mit einem Abstrahlwinkel von z.B. 120Grad.

Eine Lampe mit einem Abstrahlwinkel von z.B. nur 20°, besitzt einen sr von 0,0955 und man müßte schon 132 solcher Lichtsegmente (Lampen) wie eine Kugel aneinanderreihen, um auf den vollen Raumwinkel zu kommen(siehe Tabelle).

$$sr = 4 * \pi * (\sin * (X^\circ/4))^2$$

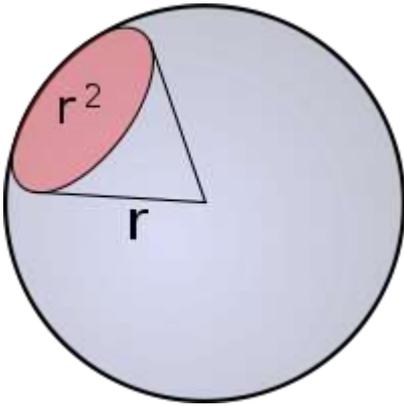
Abstrahlwinkel:	180°	170°	160°	150°	140°	130°	120°	110°	100°	95°	90°	85°	80°	75°	
Sr Faktor	6,2832	5,7356	5,1921	4,6570	4,1342	3,6278	3,1416	2,6793	2,2444	2,0383	1,8403	1,6507	1,4700	1,2984	
Abstrahlwinkel:	70°	65,55°	60°	55°	50°	45°	40°	35°	30°	25°	20°	15°	10°	5°	1°
Sr Faktor	1,1363	1,0003	0,8418	0,7099	0,5887	0,4783	0,3789	0,2908	0,2141	0,1489	0,0955	0,0538	0,0239	0,0060	0,00024

Spots verfügen oft über einen Abstrahlwinkel von 24... 50 Grad. Die meisten Möbeleinbauleuchten haben einen Abstrahlwinkel von 120 Grad. Lampen in Glühlampenform erreichen bis 360 Grad.

Die **beleuchtete Fläche (A)** errechnet sich aus dem **Abstand (r)** in Metern zum Quadrat und mit dem **Raumwinkel sr** multipliziert:

$$A = r * r * sr$$

Der Steradian (Einheitenzeichen: sr, Kurzform *Sterad*) dient zur Angabe der Größe eines **Raumwinkels**. Der Raumwinkel von 1 Steradian umschließt auf der Fläche einer **Kugel** mit 1 **m Radius** eine Fläche von 1 m². Der Raumwinkel einer gesamten Kugel beträgt 4π m²/m² = 4π sr.



Definition des Steradians (Raumwinkels)

Der Raumwinkel (Formelzeichen Ω) ist die Fläche einer Kugelkappe der Einheitskugel dividiert durch den Radius der Einheitskugel R im Quadrat. Letzteres ist notwendig, da die Fläche proportional zum Quadrat des Radius ist. Die Formel lautet daher:

$$\Omega = \frac{A_t}{R^2}$$

Beispiel

Der Raumwinkel eines Kegels, der aus einer Kugel mit Radius 3 m eine Teilfläche (A_t) von $13,5 \text{ m}^2$ ausschneidet, beträgt: $\Omega =$

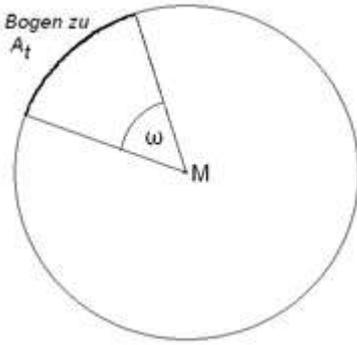
$$\frac{13,5 \text{ m}^2}{(3 \text{ m})^2} = \frac{13,5 \text{ m}^2}{9 \text{ m}^2} = 1,5 \text{ sr}$$

Bezieht sich der Raumwinkel auf einen Kreiskegel vom Kugelmittelpunkt aus, wie in der Abbildung unten (kanonischer Raumwinkel), so kann man ihn im Schnitt durch die Kugelmitte als ebenen Winkel ω betrachten. Aus der Beziehung für die Fläche der Kugelkappe des Kegels und dem Winkel ω lässt sich folgender Zusammenhang ableiten:

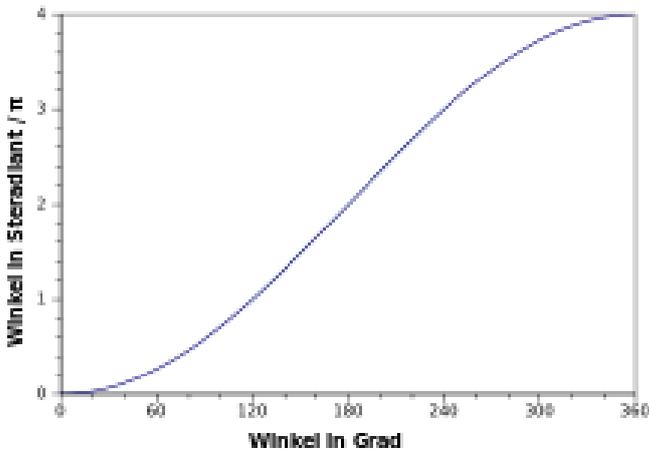
$$\Omega = 2\pi \left(1 - \cos \frac{\omega}{2}\right)$$

Die Werte mit ω von 0° bis 360° sind im Diagramm unten verzeichnet.

Der Öffnungswinkel ω eines Kegels, der den Raumwinkel 1 sr abdeckt, beträgt ca. $65,54^\circ$.



Raumwinkel auf die Ebene im Kugeldurchschnitt nieder gezeichnet



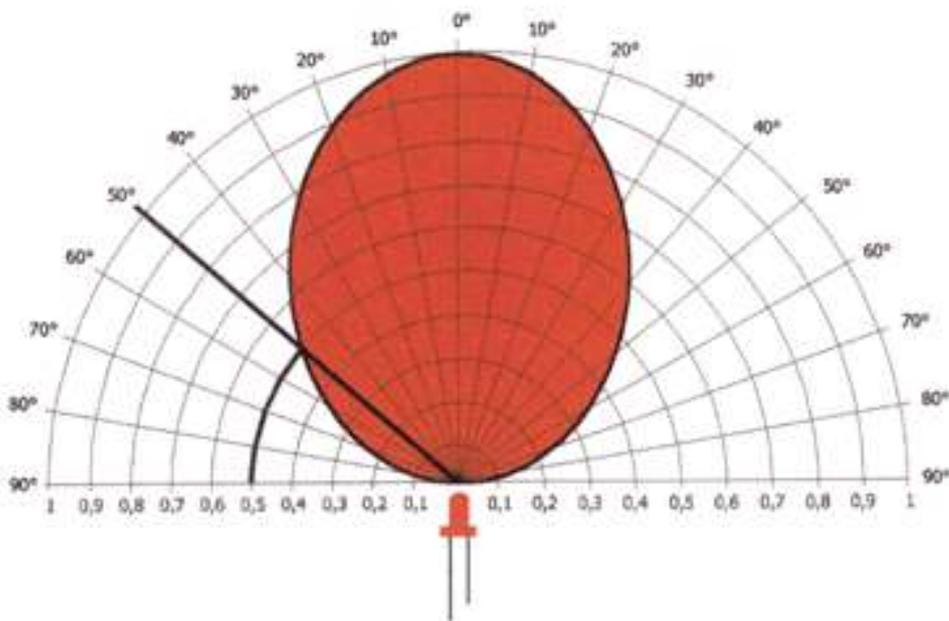
Zusammenhang zwischen Öffnungswinkel ω in Grad und Ω in Steradian (in Vielfachen von $\pi=3,1415..$) für einen symmetrischen Konus.

Der Abstrahlwinkel

Der Abstrahlwinkel bestimmt den Bereich, der von der Leuchte beleuchtet wird. Der Abstrahlwinkel gibt den Winkel an, mit dem das Licht eines Leuchtmittels nach vorne abgegeben wird. Er gibt an, wie groß bestimmte Flächen durch die Lampen ausgeleuchtet werden, üblich sind hier Bereiche zwischen 30 und 55 Grad. In der letzten Zeit kommen vermehrt auch Produkte mit größeren Abstrahlwinkeln auf den Markt, was bedeutet, dass ein größerer Bereich (z. B. ein Zimmer) ausgeleuchtet werden kann. Wenn man jedoch beispielsweise nur einen gewissen Punkt im Raum (wie z. B. ein Bild) beleuchten möchten, ist natürlich eine Lampe mit einem niedrigeren Abstrahlwinkel ausreichend.

Der Abstrahlwinkel bezieht sich somit auf die Streuung des Lichts und wird vornehmlich durch den Reflektor bestimmt. Je größer der Abstrahlwinkel einer Leuchte ist, desto weniger dieser Leuchten benötigt man, um eine bestimmte Fläche auszuleuchten. Der Winkel einer GU10 Leuchte beträgt meist 25 bis 50 Grad, eine Halogenlampe kommt normalerweise auf 40 bis 45 Grad. LED Strahler weisen einen Abstrahlwinkel von 45, 60 Grad oder deutlich höhere Grade auf. Für ein Raumlicht eignet sich eine Leuchte mit einem Abstrahlwinkel von gut 120°. Für Wegbereiche empfiehlt sich ein Winkel von 90°, während Sie zur Beleuchtung Ihres Arbeitsplatzes eine Leuchte mit einem Abstrahlwinkel von 60° verwenden sollten. Spots oder Strahler mit einem Abstrahlwinkel von etwa bis zu 30° ermöglichen eine gezielte Beleuchtung.

Als Faustregel gilt, dass beispielsweise 40 Grad einen Lichtpunkt ca. 70 bis 75 cm bei einem Abstand von einem Meter ausleuchten. Bei zwei oder drei Meter erhöht sich die Fläche dementsprechend.



Abstrahlwinkel (Viewing angle)

Der Abstrahlwinkel $T_{0,5}$ Einheit [°] oder auch Halbwertswinkel, ist definiert als der Winkel zwischen den beiden Linien, die ausgehend von der LED- Spitze die Punkte mit 50% der Maximallichtstärke schneiden.

Diese Definition ist näherungsweise auf LED- Leuchtmittel und LED Lampen übertragbar.

Das Bild zeigt schematisch die Lichtstärke einer LED in Abhängigkeit des Raumwinkels. Diese LED hat einen Abstrahlwinkel von 100°. Engabstrahlende LED Leuchtmittel und LED Lampen haben bei gleichem Lichtstrom eine höhere Lichtstärke als solche mit großem Abstrahlwinkel.

Die Umrechnung zwischen dem Raumwinkel O [sr] und dem Abstrahlwinkel a [°] erfolgt nach der Gleichung:

$$O = 2\pi (1 - \cos a/2) \text{ oder } a = 2 \arccos (1 - (O/2\pi))$$



LED- Lampe mit 260 Grad Abstrahlwinkel

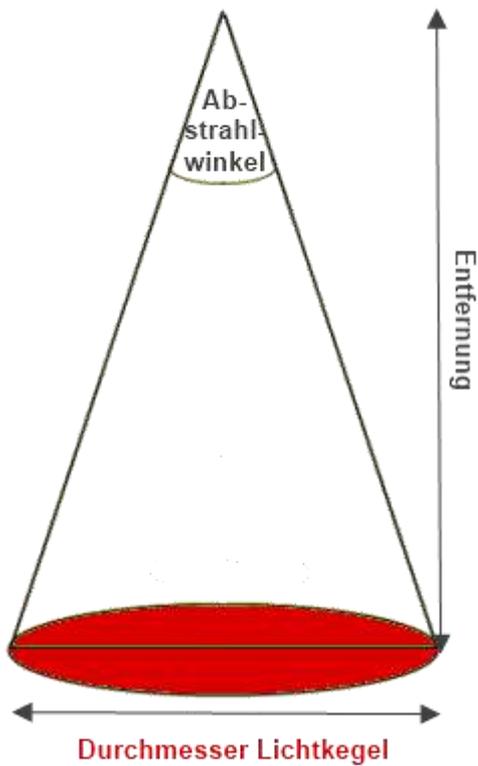


LED Hallenleuchte mit 150 Watt, tageslicht- weiss, ca. 16000 Lumen, 120° Abstrahlwinkel



LED Leuchtmittel L61: GU10 5 Watt 700cd, 28° Grad Abstrahlwinkel für punktuelle Spotbeleuchtung, warm-weiß (3000K)

Beleuchtungsflächen- Berechnung



Zur Berechnung, wie viele Lichtstrahler benötigt werden, um eine Fläche auszuleuchten, gibt es folgende Faustformel:

$$d = 2 \times (h \times \tan(90^\circ - \alpha))$$

h= Entfernung oder Abstand in m vom Leuchtmittel zur beleuchteten Fläche

α = bekannter Abstrahlwinkel des Leuchtmittels

d= Lichtkegel- oder Beleuchtungsflächen- Durchmesser in m

Beispiel:

Bei einer durchschnittlichen Deckenhöhe von 2,5m und einem Abstrahlwinkel von 60° ergibt sich dann z.B. folgende Rechnung:

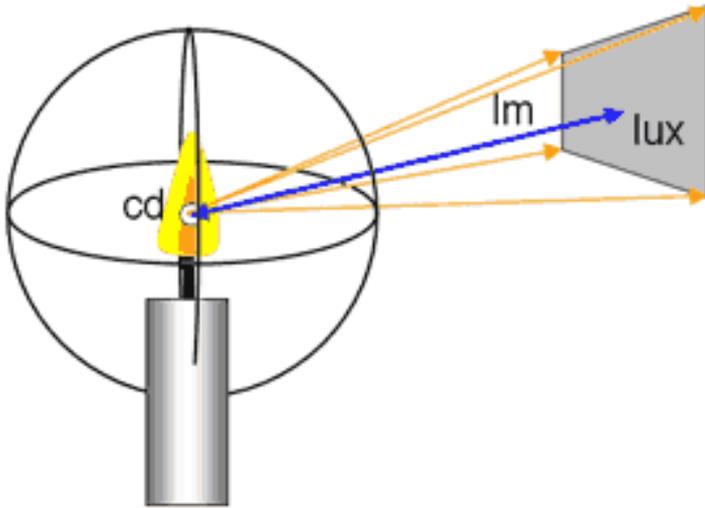
$$d = 2 * (2,5\text{m} * \tan(90^\circ - 60^\circ)) = 2 * (2,5\text{m} * \tan(30^\circ)) = 2,89\text{m}$$

$$\text{mit } \tan(30^\circ) = 0,57735$$

Diese Formel gibt keine Aussage zur Beleuchtungsstärke.

Helligkeit

Die Helligkeit einer Farbe sagt aus, wie stark die lichtempfindlichen Zellen in unserem Auge angesprochen werden. Dies hängt physikalisch von der Menge des Lichts ab, welches auf unser Auge trifft. Dafür gibt es physikalische Einheiten:



Lichtstärke [cd]

Die Lichtstärke ist die Strahlungsleistung einer Lichtquelle pro Raumwinkel, gewichtet mit der spektralen Helligkeitsempfindlichkeit des menschlichen Auges.

Eine Lichtquelle strahlt ihren Lichtstrom üblicherweise nicht in jede Richtung gleichmäßig aus. In der Mitte des Lichtstrahls ist die Intensität des Lichtstromes meistens größer als am Rand.

Ausgangspunkt ist die Lichtstärke einer Haushaltskerze. Die Lichtstärke wird in Candela [cd] gemessen. Eine Kerze leistet ca. 1 cd.

Ein Punktstrahler, der mit einer Leistung von 0,018 Watt Licht von der Wellenlänge 555 nm (entspricht grün) abstrahlt hat die Lichtstärke 1 cd.

Wenn LED Hersteller nur die Lichtstärke also **Candela (cd)** angeben, muß man die **cd** mit dem **sr** multiplizieren. Leider wird der sr, den man zur Lumenberechnung benötigt meistens nicht angegeben. (siehe sr Tabelle)

Formelzeichen: I_v

$$\text{lm} = \text{cd} * \text{sr}$$

$$\text{cd} = \text{lm} : \text{sr}$$

Misst man die Lichtstärke in Candela (engl. Candel) über den gesamten Raumwinkel (also 360°) in Sterad (sr), erhält man den Lichtstrom in Lumen (lm).

$$1\text{cd} = 12,566 \text{ lm}$$

Beispiel:

Raumwinkel [Grad]	Steradian [sr]	Lichtleistung [lm]	Lichtstärke [cd]
30	0,21	1000	4762
120	3,14	1000	318
180	6,28	1000	159

Unterstellt man gleiche Lichtleistung, dann nimmt für größer werdenden Raumwinkel die Lichtstärke schnell ab.

Lichtleistung [lm]

Die gesamte Lichtleistung, auch als Lichtstrom bezeichnet, einer Lichtquelle wird durch die photometrische Einheit Lumen (lateinisch für Licht, Leuchte) ausgedrückt. Für die Lichtleistung, oft auch als Helligkeit benannt, verwendet man die Abkürzung lm.

Die Lichtleistung berücksichtigt die Helligkeitsempfindlichkeit des menschlichen Auges. Zwei baugleiche Lichtquellen nimmt man als gleich hell wahr, wenn sie den gleichen Lichtstrom aussenden, unabhängig von ihrer Farbe.

Die Lichtleistung wird unabhängig von der Leuchtrichtung der Lichtquelle angegeben. Es ist also gleichgültig, ob die Lampe in alle Richtungen (360°) oder in einem Abstrahlwinkel von z.B. 60° ihre gesamte Helligkeit abgibt.

Ein Punktstrahler mit der Lichtstärke 1 cd sendet einen Lichtstrom von 12,57 lm in alle Richtungen aus. 1 lm ist der Lichtstrom, den eine Lichtquelle mit Lichtstärke 1 cd pro Raumwinkel 1 Steriadien abstrahlt. Die Oberfläche der Einheitskugel (Radius 1) beträgt 4π , was ungefähr 12,57 entspricht. Ein Steriadien ist der Raumwinkel, der die Fläche 1 auf der Kugel umschließt.

Mathematisches Formelzeichen: Φ

Beispiel 1

Eine Kerze hat eine Lichtstärke I_v von ca. 1 cd. Damit erzeugt sie einen Lichtstrom Φ von insgesamt 4π lm. Dies bedeutet, dass in 1 m Entfernung von der Kerze, ein Lichtstrom von 1 lm auf eine Fläche von 1 m^2 trifft. Eine Fläche mit $A=0,8 \text{ m}^2$ in 1,5 m Entfernung erfährt somit einen Lichtstrom von:

Oberfläche einer Kugel mit Radius 1,5 m:

$$A_{\text{Kugel}} = 4\pi r^2 = 4\pi \cdot 1,5^2 \text{ m}^2 = 28,28 \text{ m}^2$$

Lichtstrom auf der Fläche:

$$\Phi_{\text{Fläche}} = \frac{A_{\text{Fläche}}}{A_{\text{Kugel}}} \cdot \Phi_{\text{gesamt}} = \frac{0,8 \text{ m}^2}{28,28 \text{ m}^2} \cdot 12,57 \text{ lm} = 0,36 \text{ lm}$$

Beispiele für die Lichtleistung aus dem Jahr 2010

Leuchtmittel	ca. Lichtstrom lm
5W- Glühlampe	25 lm
25W- Glühlampe	230 lm
40W- Glühlampe	415 lm
60W- Glühlampe	710 lm
75W- Glühlampe	930 lm
100W- Glühlampe	1200 lm
7W- Energiesparlampe	350 lm
11W- Energiesparlampe	600 lm
14W- Energiesparlampe	900 lm
20W- Energiesparlampe	1200 lm
23W- Energiesparlampe	1500 lm
36W- T8 Leuchtstoffröhre	2300 lm
58W- T8 Leuchtstoffröhre	5200 lm
20W- NV- Reflektor- Halogenlam.	320 lm
50W- NV- Reflektor- Halogenlam.	930 lm
300W- HV- Halogenlampe (Stab)	5000 lm
1W- LED, weiß	18 lm
5,4W- LED, weiß	490 lm
3W- LED- Lampe mit E27- Fassung	240 lm
8W- LED- Lampe mit E27- Fassung	600 lm
8W- LED- Röhre	1100 lm
100W- High- Power- LED	8000 – 9000 lm

Beispiele für die Lichtleistung aus dem Jahr 2010

Leuchtmittel	Lumen,lm	lm/W	Lichtstärke,cd
Kerze 42W	12	0,3	1,00
Glühbirne 15W	100	6,6	7,96
Glühbirne 25W	200	8,0	15,92
Glühbirne 40W	400	10,0	31,83
Glühbirne 60W	700	11,6	55,71
Glühbirne 75W	900	12,0	71,62
Glühbirne 100W	1.350	13,5	119,37
Glühbirne 150W	2.000	13,3	159,16
Glühbirne 200W	3.000	15,0	238,74
LED Birne 9,5W	1.000	105,0	79,58

Beleuchtungsstärke [lux]

Die Beleuchtungsstärke und die ihr entsprechende Emittergröße werden in Lux ausgedrückt. Man betrachtet aber die Beleuchtungsstärke auch als Empfängergröße. Ihr Einheitenzeichen ist: lx = lm / m². Der Name leitet sich von der lateinischen Bezeichnung *lux* für *Licht* ab.

Die Beleuchtungsstärke in lx ist der Quotient der Lichtstärke einer punktförmigen Lichtquelle in cd und dem Quadrat der Entfernung in m. Alternativ ist die Beleuchtungsstärke der Quotient aus einfallendem Lichtstrom im Verhältnis pro Element der Empfängergröße, also der Strahlungsleistung der Fläche.

Formelzeichen E_v

$$1 \text{ lx} = 1 \frac{\text{cd sr}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{lm}}{\text{m}^2}$$

Anders gesagt, die Beleuchtungsstärke gibt an, wie stark eine Fläche beleuchtet wird:

$$\text{Beleuchtungsstärke} = \frac{\text{Lichtstrom}}{\text{Fläche}}$$

Die Beleuchtungsstärke erhält einen praktischen Bezug, wenn eine einzelne Lichtquelle betrachtet wird, wie z. B. bei künstlicher Beleuchtung. Umgekehrt hat die Helligkeit im Freien praktisch nichts mit Entfernungen zu tun, da die Lichtquelle praktisch unendlich groß ist (Beispiel: Wolkendecke).

Die Beleuchtungsstärke wird mit dem Luxmeter gemessen oder in Simulationen berechnet, z. B. um festzustellen, ob eine Arbeitsfläche ausreichend ausgeleuchtet ist.

Beispiel 1

Die Lichtstärke einer Kerze beträgt 1 Candela (cd). Im Abstand von 2 m beträgt die Beleuchtungsstärke („Helligkeit“):

$$1 \text{ cd}/((2\text{m})^2) = 0,25 \text{ lm}/\text{m}^2 = 0,25 \text{ lx}$$

Ergebnis: Weiße Gegenstände, von einer Kerze im Abstand von ca. 1,8 m beleuchtet, erscheinen ungefähr so hell wie im Licht des Vollmonds.

Beispiel 2

Die Helligkeit einer isotrop strahlenden Lichtquelle betrage in 3 m Abstand 20 lx = 20 lm/m².

Der Raumwinkel einer 1 m² großen Fläche im Abstand von 3 m beträgt: 1/(3·3) sr = 1/9 sr.

Die Lichtstärke beträgt somit 20 lm/(1/9)sr = 20·9 lm/sr = 180 cd.

Integriert über den Gesamtraum beträgt der Lichtstrom 180 lm/sr · 4π sr = 180 · 4π lm = 2260 lm.

Beispiel 3

Umrechnen der Einheiten Candela, Lumen und Lux in Abhängigkeit vom Strahlungswinkel und der Entfernung.

Symbole:

I: Lichtstärke (Candela)

α: Öffnungswinkel (Grad)

Ω: Raumwinkel (Steradian)

Φ: Lichtstrom (Lumen)

A: Beleuchtete Fläche (m²)

r: Abstand zur Lichtquelle (m)

E: Beleuchtungsstärke (Lux)

Eine Leuchtdiode leuchtet mit einer Lichtstärke I von 6 cd innerhalb eines Lichtkegels von α=30°, entsprechend einem Raumwinkel von Ω=0,2sr. Außerhalb dieses Lichtkegels sei sie dunkel.

Der Lichtstrom Φ beträgt: Φ = I · Ω, also: Φ = 6 lm/sr · 0,2 sr = 1,2 Lumen

Die Fläche A, die die Leuchtdiode mit Ω = 0,2 sr im Abstand r ausleuchtet, beträgt: A = Ω · r². Beispielsweise beleuchtet sie im Abstand von 20 cm eine Fläche von 0,2 × 0,04 m² = 0,008 m².

Die Beleuchtungsstärke E beträgt E=Φ/A, siehe Tabelle: Im Abstand von 0,6 m beträgt die Beleuchtungsstärke 17 Lux.

Beispiel 4

Wir justieren eine 15 Grad LED auf eine Stativ, 50cm entfernt von einer weißen Wand. Um auf die beleuchtete Fläche zu kommen, müssen wir den Abstand der Lichtquelle, also 0,5m (immer in METERN rechnen) zum Quadrat

nehmen (wie bei dem Flächenmaß: Quadrat, also Länge mal Breite), in diesem Fall 0,5m x 0,5m und mit dem Raumwinkel (der Anteil einer vollen Kugeloberfläche) multiplizieren.

Bei 15 Grad wären der Raumwinkel 0,0538sr. Dies ergibt dann eine beleuchtete Fläche von 0,01345m². Wenn unsere LED z.B einen Lichtstrom vom 200lm hätte wären dies in LUX ausgedrückt, bei einem Abstand von 50cm: $200 / 0,01345\text{m}^2 = 14.879 \text{ lx}$.

Justieren wir aber die gleiche LED 5m vor die Wand würde dies ergeben: $5\text{m} \times 5\text{m} \times 0,0538\text{sr} = 1,345\text{m}^2$ Die Wand wäre auf eine Fläche von 1,35m² beleuchtet und dies mit einem Lichtstrom von 200lm. Also in LUX ausgedrückt, bei einem Abstand von 5m: $200 / 1,35\text{m}^2 = 148 \text{ LUX}$.

Beispiel 5

Gleiche Voraussetzungen wie vorher: LED mit 200lm aber bei einem Abstrahlwinkel von 120Grad. 120Grad haben einen Raumwinkel von 3,1416sr.

Bei einem Abstand von 0.5m würde eine Fläche von 0,785m² statt den vorigen 0,01345m² beleuchtet werden. Aber beim gleichen Lichtstrom von 200lm. Dies wären also $200 / 0,785 = 255 \text{ LUX}$. Also ein Vitrinenbeleuchter sollte sich für einen kleineren Abstrahlwinkel entscheiden.

Beispiel 6

Anhand dieses Bildes kann man die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Größen erklären. Das geschieht am besten wieder anhand eines Beispiels: Eine Kerze hat eine Lichtstärke I_v von ca. 1 cd. Damit erzeugt sie einen Lichtstrom Φ von insgesamt 4π lm. Dies bedeutet, dass in 1 m Entfernung von der Kerze, ein Lichtstrom von 1 lm auf eine Fläche von 1 m² trifft. Eine Fläche mit 0,8 m² in 1,5 m Entfernung erfährt somit einen Lichtstrom von ...
Oberfläche einer Kugel mit Radius 1,5 m:

$$A_{\text{Kugel}} = 4\pi r^2 = 4\pi \cdot 1,5^2 \text{ m}^2 = 28,28\text{m}^2$$

Lichtstrom auf der Fläche:

$$\Phi_{\text{Fläche}} = \frac{A_{\text{Fläche}}}{A_{\text{Kugel}}} \cdot \Phi_{\text{gesamt}} = \frac{0,8\text{m}^2}{28,28\text{m}^2} \cdot 12,57\text{lm} = 0,36\text{lm}$$

Beleuchtungsstärke der Fläche:

$$E = \frac{\Phi_{\text{Fläche}}}{A_{\text{Fläche}}} = \frac{0,36\text{lm}}{0,8\text{m}^2} = 0,44\text{lx}$$

Man kann die Rechnung noch vereinfachen:

$$E = \frac{4\pi \cdot I_v}{4\pi \cdot \text{Entfernung}^2} = \frac{I_v}{\text{Entfernung}^2} = \frac{1\text{cd}}{1,5\text{m}^2} = 0,44\text{lx}$$

Beispiel 7

Der von einem Scheinwerfer erzeugte Lichtstrom von 1 Lumen trifft auf eine Fläche von 1 Quadratmeter. Hierbei beträgt die Beleuchtungsstärke 1 Lux.

$$\text{Beleuchtungsstärke} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ m}^2}$$

$$\text{Beleuchtungsstärke} = 1 \text{ lx}$$

Im Bereich der praktischen Beleuchtungstechnik ist es sinnvoller, sich folgende Formel zu merken:

$$\text{Beleuchtungsstärke} = \frac{\text{Lichtstärke (cd)}}{\text{Abstand (m)}^2}$$

Nach dem "Fotometrischen Entfernungsgesetz" lässt sich die Beleuchtungsstärke ermitteln, indem man die Lichtstärke in Candela durch das Quadrat des Abstandes in Metern dividiert. Dies gilt jedoch nur dann, wenn das Licht im rechten Winkel auf die beleuchtete Fläche fällt.

Beispiel 8

Laut Polardiagramm sendet eine Lampe in einem bestimmten Winkel eine Lichtstärke von 100 Candela aus. Die zu beleuchtende Fläche befindet sich in einem Abstand von 5 Metern. Die Beleuchtungsstärke beträgt in diesem Fall 4 Lux.

$$\text{Beleuchtungsstärke} = \frac{100 \text{ cd}}{5^2 \text{ m}}$$

$$\text{Beleuchtungsstärke} = \frac{100 \text{ cd}}{25}$$

$$\text{Beleuchtungsstärke} = 4 \text{ lx}$$

Angaben in Beleuchtungsstärke [Lux]

Lichtverhältnis:

Beleuchtungsstärke:

Mittagssonnenlicht im Sommer	100.000 Lux
Bedeckter Himmel im Sommer	10.000 ... 20.000 Lux
Regenwetter mit dunklen Gewitterwolken	1000 Lux
Bürobeleuchtung	500 Lux
Wohnzimmerbeleuchtung	200 Lux
Treppenhausbeleuchtung	100 Lux
Straßenbeleuchtung	10 Lux
Dämmerlicht nach Sonnenuntergang	1 Lux
Mitternacht bei Vollmond	0,2 Lux
Mondloser Sternenhimmel bei Nacht	0,0005 Lux

Lichtverhältnis

Beleuchtungsstärke:

5 mW Laserpointer, grün (532 nm), 3 mm Strahldurchmesser	427.000 lx
5 mW Laserpointer, rot (635 nm), 3 mm Strahldurchmesser	105.000 lx
Heller Sonnentag	100.000 lx
Bedeckter Sommertag	20.000 lx
Im Schatten im Sommer	10.000 lx
Operationssaal	10.000 lx
Bedeckter Wintertag	3.500 lx
Elite- Fußballstadion	1.400 lx
Beleuchtung TV-Studio	1.000 lx
Büro-/Zimmerbeleuchtung	500 lx
Flurbeleuchtung	100 lx
Straßenbeleuchtung	10 lx
Kerze ca. 1 Meter entfernt	1 lx
Vollmondnacht	0,25 lx
Sternklarer Nachthimmel (Neumond)	0,001 lx
Bewölkter Nachthimmel ohne Mond und Fremdlichter	0,00013 lx

Belichtungszeit [Sekunden]

Unter Belichtungszeit versteht man die Zeit, in der ein Objekt mit Licht einer gewissen Beleuchtungsstärke ausgesetzt wird. Die Zeit wird in Sekunden gemessen.

In der Fotografie wird das Formelzeichen [lx_s] verwendet.

Leuchtdichte [cd/cm²]

Die Leuchtdichte bezeichnet die von einer Oberfläche je Einheit der sichtbaren Fläche innerhalb eines bestimmten räumlichen Winkels abgestrahlte oder reflektierte Lichtmenge.

Mathematisches Formelzeichen: **L**

Maßeinheiten:

- bei beleuchteten Flächen: 1 Candela/m²

- bei Selbstleuchtern: 1 Candela/cm²

Die Leuchtdichte ist das Maß für den Helligkeitseindruck, den ein beleuchtetes (oder selbstleuchtendes) Objekt im menschlichen Auge erzeugt.

$$\text{Leuchtdichte} = \frac{\text{Lichtstärke (cd)}}{\text{Fläche (m}^2\text{)}}$$

Bei Selbstleuchtern (beispielsweise Wendeln von Glühlampen) würde die Maßeinheit 1 Cd/m² sehr große Zahlenwerte erzeugen. Daher verwendet man hier oft die Einheit 1 Cd/cm². Die Formel lautet dann:

$$\text{Leuchtdichte} = \frac{\text{Lichtstärke (cd)}}{\text{Fläche (cm}^2\text{)}}$$

Lebensdauer [Stunden]

Die Lebensdauer gibt die übliche, durchschnittliche Betriebsdauer der Leuchten dieser Art an.

Lebensdauer von Leuchtmitteln

[Stunden]	von	bis
LED	10.000	100.000
Energiesparlampen	4.000	19.000
Halogenlampen Niedervolt (Noname-Produkte)	500	2.000
Halogenlampen Niedervolt (Marken-Produkte)	2.000	4.000
T5 Leuchstofflampen		8.000
Glühlampen, herkömmlich E14 / E27		1.000

Lichtausbeute von Lampen [lm/W]

Die Lichtausbeute gibt an, wie effizient eine Lampe die aufgenommene elektrische Energie in Licht umsetzt. Angegeben wird der Lichtstrom, der pro Watt zugeführter Energie erzeugt wird. Je höher der Wert, desto besser. Man sollte deshalb möglichst Lampen mit hoher Lichtausbeute verwenden.

Maßeinheit: Lumen / Watt (lm/W)

Eine weiße Buchseite, von einer Kerze im Abstand von 2 m beleuchtet, erscheint ungefähr so hell wie im Licht des Vollmondes bei Mitternacht, also fürs Lesen ein bisschen zu schwach. Eine Kerze verbraucht ca. 42 Watt. Es ergibt sich ein sehr schlechtes lm/W Verhältnis von 0,3 lm/W.

Eine 100 W Glühbirne besitzt eine Lichtausbeute von nur 13 lm/W. Dies ist ebenfalls sehr schlecht. Der Rest der Leistung geht in Form von Wärme und nicht sichtbarer Leistung verloren.

Halogenlampen haben einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von etwa 25 lm/W. Bei HMI- Lampen liegt der Wirkungsgrad wesentlich höher, die Werte liegen hier zwischen 80 und 100 lm/W.

Typ	Lichtausbeute [lm/W]	Lebensdauer [h]	Ra	Startzeit
Glühlampe	5 .. 16	750 .. 1000	>90	Sofort
Halogenlampe ¹	14 .. 25	25 .. 4000	>90	Sofort
weiße Leuchtdiode	10 .. 100 ²	.. 100.000	90	Sofort
Energiesparlampe	35 .. 75	8000 .. 15000	>82	schnell
Leuchtstofflampe	50 .. 105	8000 .. 20000	80 .. 100	schnell
Kaltkathodenröhre	40 .. 80	30000 .. 50000	>90	schnell
Halogenmetaldampf	60 .. 100	9000 .. 15000	90	3 min ³
Hochdruck- Quecksilberdampf	30 .. 60	10000	45 .. 58	5 min ³
Natriumhochdruck	70 .. 150	20000 .. 32000	25 .. 40	8 min ³
Natriumniederdruck	100 .. 200	12000 .. 18000	25	15 min ³
Induktionslampe	80 .. 100	50.000 .. 100.000	80 .. 89	schnell

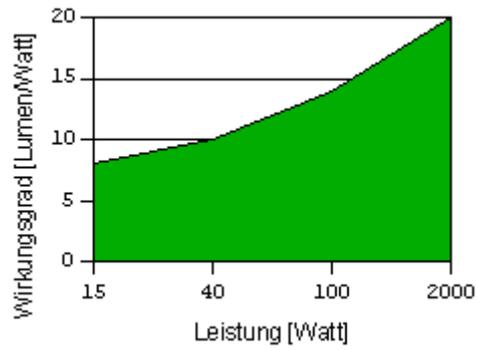
Allgemein ist die Lichtausbeute der meisten Leuchtmittel mit niedrigen Leistungen geringer als mit hohen Leistungen.

Beleuchtet man z.B. einen Raum mit vielen kleinen Glühlampen, so braucht man hierfür mehr Energie, als wenn man den Raum mit wenigen starken Glühlampen beleuchten würde.

Aus diesem Grund benötigen zum Beispiel auch Lichtschläuche mit Glühbirnchen sehr viel Energie, da dort viele kleine Glühbirnchen mit geringem Wirkungsgrad eingebaut sind.

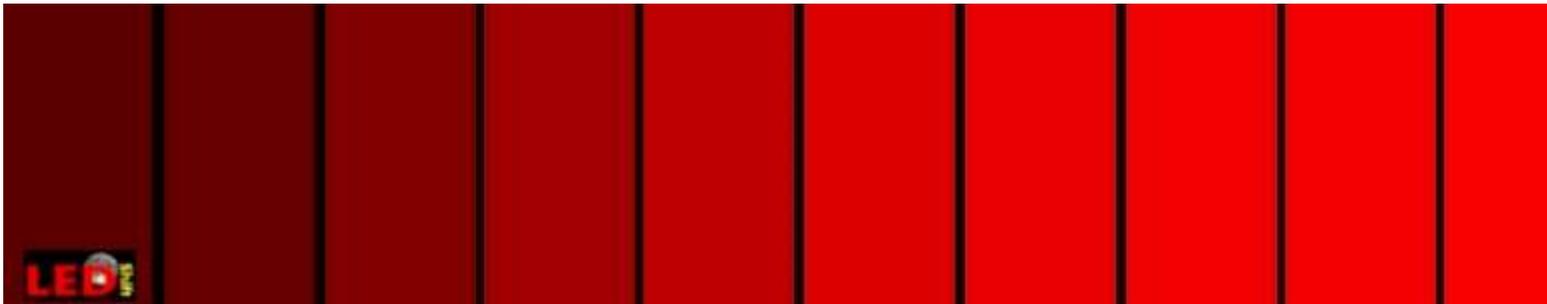
Hierzu eine kleine Tabelle mit Darstellung im Diagramm:

Leistung [Watt]	Lichtausbeute [Lumen pro Watt]
15 W	8 lm/W
40 W	10 lm/W
100 W	14 lm/W
2000 W	20 lm/W



Farben und ihre Wirkung auf die menschliche Stimmung

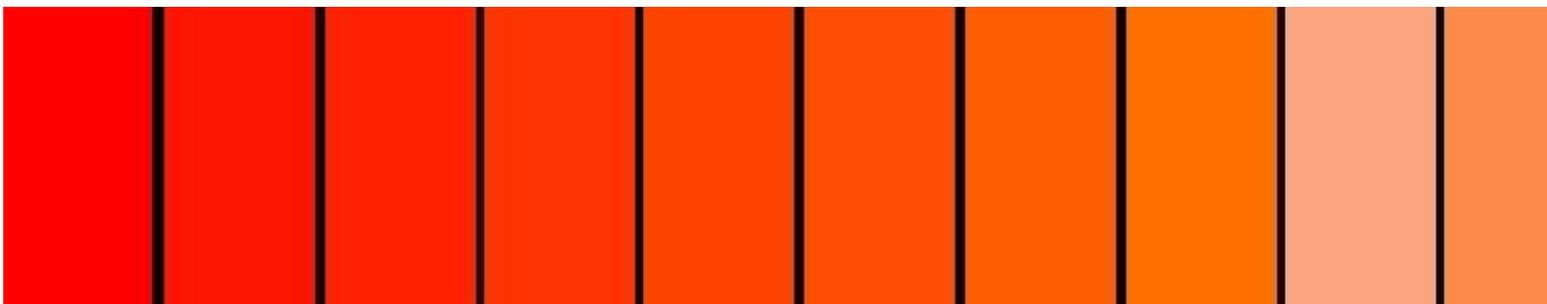
ROT



Rot

- + : Belebend, Weckt Energie, Stärkung der Sexualekraft, Aktivierend, Wärme, Liebe
zu viel Rot
- : Aggression, Schlafstörung, Aufdringlich, Lärm, Gefahr, Hitze

ORANGE



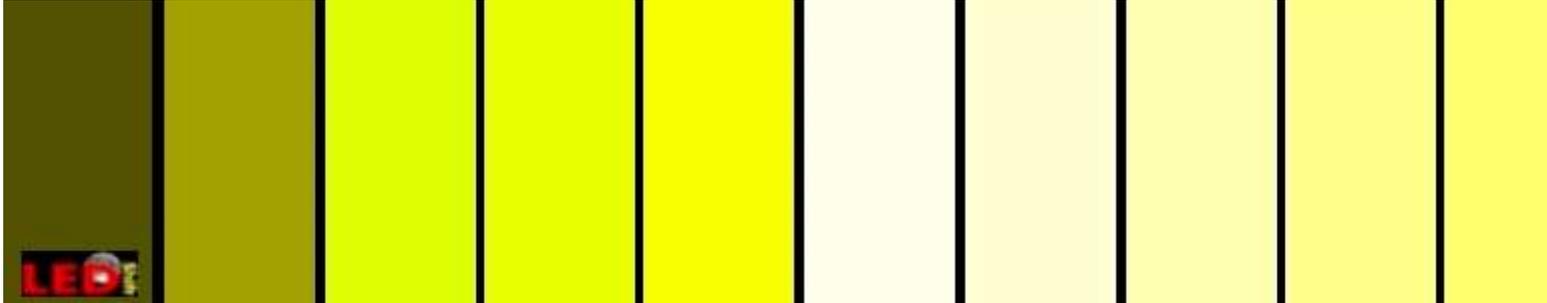
Orange

- + : Kreativität, Neuanfang, Appetit anregend, positives Denken, Wärme, Aktivität

zu viel Orange

- : Gleichgültigkeit, Übertreibung

GELB



Gelb

+ : Stimmungsteigernd, Konzentrationsfördernd, Kommunikativ, Stress abbauend, gegen Moskitos

zu viel Gelb

- : Nervosität, Überschätzung, Neid

GRÜN



Grün

+ : Weltoffen, Erholung, Frieden, Aufbruch, Geborgenheit, Frische, Beruhigend, Hoffnung

zu viel Grün

- : Einsamkeit, Eintönigkeit, Dämonisch, Gift

Türkis



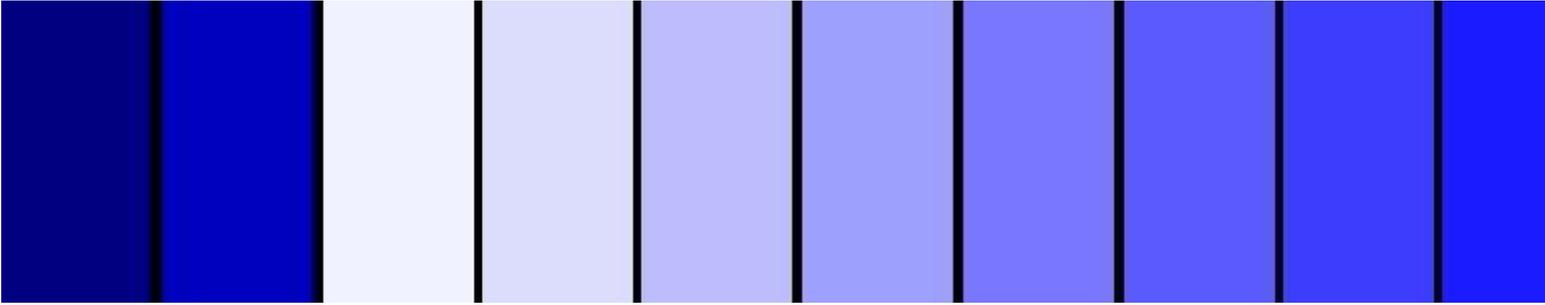
Türkis

+ : Erfrischend, Einklang, Kühlend, Klarheit, Sauber

zu viel Türkis

- : Distanziertheit, Entscheidungsschwäche, Kälte

BLAU



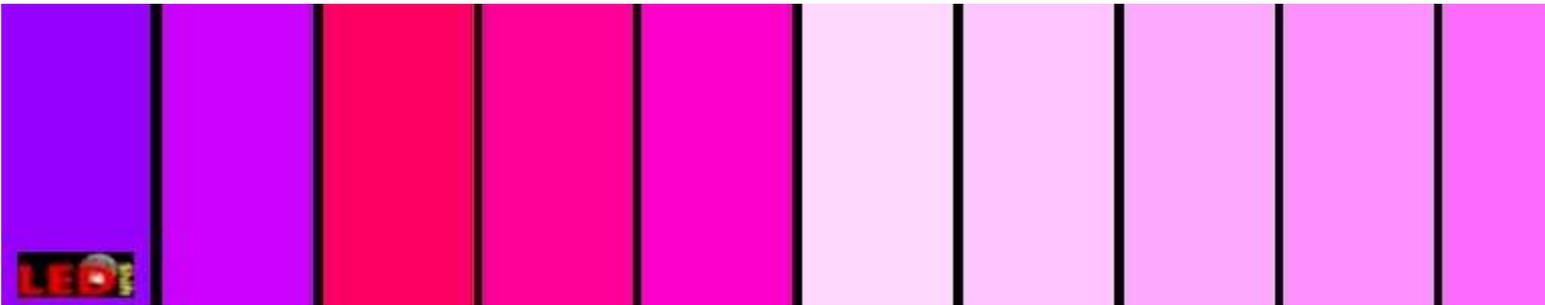
Blau

+ : Ruhe, Kühlend, Loslassen, Meditativ, Harmonie, Freundschaft, Blutdruck senkend

zu viel Blau

- : Selbstüberschätzung, Konzentrationsschwäche, Weltfremdheit, Kälte

VIOLETT



Violett

+ : Lebensfreude, Spirituell, Energie, Appetit zügelnd

zu viel Violett

- : Kraftraubend, Arroganz

Beispiel:

Es kommen Freunde zum Essen und danach wird gemütlich zusammengesessen.

WEISSE Hauptbeleuchtung + Orange in der Nähe vom Esstisch + helles Gelb an der Decke

Beispiel:

Es ist drückend heiß, du kommst komplett fertig von der Arbeit und willst einfach nur entspannen.

WEISSE Hauptbeleuchtung gedimmt + helles Grün gedimmt an der Wand + helles Blau an der Decke

Beispiel:

Du möchtest jemanden verführen

Weisse Hauptbeleuchtung (später gedimmt :)), Rot gedimmt an der Wand, Orange an der Decke

Beispiel:

Du hast ein Vorstellungsgespräch und bereitest dich mental darauf vor.

WEISSE Hauptbeleuchtung gedimmt, ORANGE an der Wand, ROT an der Decke

Beispiel:

Es ist dir kalt, regnerisch und du fühlst dich lustlos.

WEISSE Hauptbeleuchtung, ORANGE an der Wand, VIOLETT gedimmt an der Decke

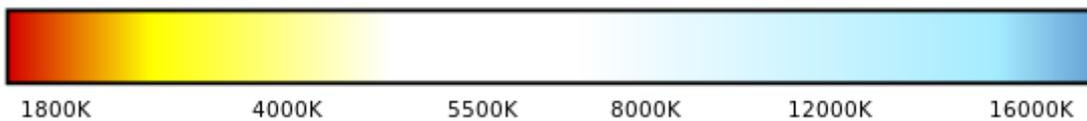
Beispiel:

Du bist gerade auf Diät und fühlst dich irgendwie nervös.

WEISSE Hauptbeleuchtung gedimmt, helles GRÜN gedimmt an der Wand, VIOLETT an der Decke

Die Farbtemperatur [Kelvin]

Die Farbtemperatur ist ein Maß für den Farbeindruck einer Lichtquelle.



Die Einheit der Farbtemperatur ist Kelvin (K).

Charakteristische Lichtfarben nach DIN 5035

Lichtquelle	Farbtemperatur in Kelvin	Farbtemperatur in Mired
Warmweiß	unter 3300 K	über 303 MK ⁻¹
Neutralweiß	3300-5000 K	303-200 MK ⁻¹
Tageslichtweiß (auch Kaltweiß)	über 5000 K	unter 200 MK ⁻¹

Daraus wird das Mired (=MK⁻¹) als das Millionenfache des Kehrwertes der Kelvin-Angabe abgeleitet.

Die Farbtemperatur von mittlerem Sonnenlicht beträgt 5500 Kelvin, es ist der Ton eines Sonnentages bei klarem Himmel am Vor- oder Nachmittag.

Tageslichtfilme sind so sensibilisiert, dass sie bei Farbtemperaturen um 5500 K eine für das menschliche Auge korrekte Farbwiedergabe erfüllen. Kunstlichtfilme entsprechen je nach Typ einer Farbtemperatur von 3100 bis 3400 K.

Charakteristische Farbtemperaturen

Lichtquelle	Farbtemperatur
Kerze	1500 K
Natriumdampfampe (SON-T)	2000 K
Glühlampe (40 W)	2600 K
Glühlampe (60 W)	2700 K
Glühlampe (100 W)	2800 K
Halogenlampe (Hochvolt, Eco-Halogen, 30–60 W)	2700-2800 K
Glühlampe (200 W)	3000 K
Halogenlampe (Niedervolt)	3000-3200 K
Sonnenaufgang, Sonnenuntergang	3200 K
Fotolampe Typ B, Halogenglühlampe	3200 K
Fotolampe Typ A bzw. S, Spätabendsonne kurz vor Dämmerungsbeginn	3400 K
1 Stunde vor der Dämmerung (Europa)	3400 K
Leuchtstofflampe (Kaltweiß)	4000 K
Xenon-Lampe, Lichtbogen	4500–5000 K
Morgensonne-/Abendsonne, D50-Lampe (Druckerei)	5000 K
Vormittags-/Nachmittagsonne	5500 K
Elektronenblitzgerät	5500–5600 K
Mittagssonne, Bewölkung	5500–5800 K
Bedeckter Himmel	6500–7500 K
Nebel, starker Dunst	7500–8500 K
Blauer (wolkenloser) Himmel auf der beschatteten Nordseite, kurz nach Sonnenuntergang oder kurz vor Sonnenaufgang, <i>Blaue Stunde</i>	9000–12.000 K
Klares blaues, nördliches Himmelslicht	15.000–27.000 K

Auswahl des Weiß- Farbtons je nach Anwendung

Für die Lichtplanung der eigenen Wohnung sollte man eher warm weißes Licht (ca. 2.700K) verwenden um eine gemütliche und angenehme Atmosphäre zu schaffen. Eine Dimmungsmöglichkeit sollte man für seine Hauptbeleuchtung ebenfalls unbedingt in Betracht ziehen. Auf einfache Weise kann so die Stimmung gezielt verändert und jede Menge an Stromkosten gespart werden. Es ist auch erwiesen, dass wenn man im Winter mehr warm weißes Licht verwendet Heizkosten sparen kann, da einem der Raum wärmer vorkommt.

Die Farbe Gelb steigert die Konzentrationsfähigkeit. So besteht z.B. die Möglichkeit, neben dem weißen Licht gelbes Spotlicht an die Wand zu leuchten.

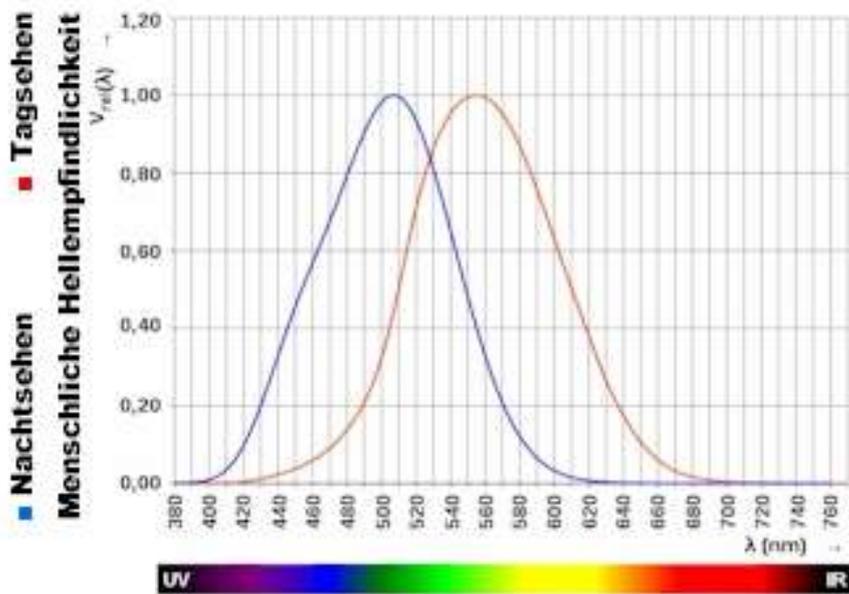
In Wohn- und Schlafzimmerschränken kombiniert man warmes Licht mit ca. 3000 – 3500 K mit warmen Holztönen.

Weißes Licht mit Farbtemperaturen bis ca. 4.000K wird als neutrales Weiß empfunden. Diese Farbtemperatur eignet sich sehr gut z.B. für Büroräume, Küchen, Vorzimmer, Empfangshallen und Badezimmer. Diese Lichtfarbe ist für alle Räume wo gearbeitet wird oder man für eine Tätigkeit genügend Licht benötigt, zu empfehlen.

Speziell für die Küche ist diese Farbtemperatur zu empfehlen, da viele Köche die eine höhere Farbtemperatur wählten, mit der Farbwiedergabe (CRI) nicht zufrieden waren. Fleisch, Fisch, Schalentiere und einige Obst und Gemüsesorten bekommen bei zu hohen Farbtemperaturen einen "Blaustich".

An Orten, wo man sich tagsüber aufhält, z.B. Büros, Küche, Hauswirtschaftsräume, plant man kühles Licht mit ca. 5500K.

Tageslicht Weiß ab 5.500K fällt bereits in die kälteren Farbtemperaturen. Sie werden z.B. in Büroräumen, Lagerhallen, Tankstellen, Straßenbeleuchtungen und Außenbeleuchtungen verwendet. Kältere Farbtemperaturen setzt man ein, wo starke Kontraste gewünscht sind.



Helligkeitsempfinden

Nimmt man beispielsweise eine grüne und eine rote Lampe, welche dieselbe Strahlungsleistung abgeben, nimmt das menschliche Auge beide Farben als unterschiedlich hell wahr. Das Grün erscheint um ein Vielfaches heller als das Rot. Die Augenempfindlichkeit des Auges hängt von der Wellenlänge des Lichts ab.

Diese Abhängigkeit der Hellempfindlichkeit von der Wellenlänge ist in sogenannten Hellempfindlichkeitskurven von der CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) für einen Standard-Beobachter festgehalten. Es gibt mehrere solcher Kurven für verschiedene Lichtverhältnisse (Dämmerung, Mittagssonne, usw.). Die obige Abbildung zeigt die Hellempfindlichkeitskurve für Tageslicht.

Das Maximum der menschlichen Helligkeitsempfindlichkeit liegt bei ungefähr 550 nm, also bei grünem Licht. Bei rotem Licht ist die Hellempfindlichkeit um mehr als den Faktor 10! geringer. Somit wird rotes Licht (Wellenlänge ca. 650 nm) als viel dunkler wahrgenommen als das grüne Licht (Wellenlänge ca. 550 nm), obwohl sie physikalisch die gleiche Strahlungsleistung vorliegt.

Farbwiedergabeindex CRI - Color Rendering Index

Bei weissen Lampen sollte man auch auf den Farbwiedergabe Index (CRI) achten. Meist wird er auch als Ra angegeben. Der CRI und Ra gibt darüber Auskunft mit welcher Qualität, Farben von beleuchteten Objekten wiedergegeben bez. reflektiert werden.

Bei Wohn- und Arbeitsplatzbeleuchtungen sollte der CRI oder Ra über 80 liegen. Wer seine Wohneinrichtung recht "bunt" gestaltet hat, z.B. mit Designermöbel u.s.w., dann sollte der CRI oder Ra bei 90 liegen.

Hier sollte man auch noch den CRI- Wert erwähnen, der die Farbwiedergabe von beleuchteten Objekten angibt.

Der CRI- Wert kann nur zwischen 0 und 100 liegen.

CRI = 90-100 Ausgezeichnete Farbwiedergabe

CRI = 80-90 Gute Farbwiedergabe

CRI = 65-80 Mittlere Farbwiedergabe

CRI = kl. 60 Mangelhafte Farbwiedergabe

Alles über 95 gilt als sehr gute Farbwiedergabe, alles unter 70 als schlecht. Das heißt, je höher der CRI- INDEX ist,

desto natürlicher und angenehmer werden Farben von dem beleuchteten Objekt wiedergegeben und vom menschlichen Auge empfunden.

Sonnenlicht hat z.B. den CRI- Wert von 100. "Warm" Weiße Lampen mit einer Farbtemperatur von 3000K besitzen einen CRI von ca. 80. (RA 830)

Wenn z.B. eine RA Index, auf der Leuchtenverpackung von RA 927 steht, bedeutet die erste Zahl, hier die 9, einen Farbwert 90 von 100. Das heißt: alle Farben werden nahezu optimal wiedergegeben. Die 27 gibt die Farbtemperatur an.

LUX – Vergleichswerte, um die richtige Helligkeit für die gewünschte Situation zu finden:

Lesen:	500 LUX mit CRI 80
Wohnzimmer allgemein:	100-200 LUX mit CRI 80
Esstisch:	500 LUX mit CRI 90
Küche Arbeitsfläche:	500-700 LUX mit CRI 90
Gemütliche Sitzgruppe:	150-200 LUX mit CRI 80
Stiegenhaus:	100 LUX mit CRI 70
Bad Spiegel:	500 LUX mit CRI 80
Bad:	100-200 LUX mit CRI 80
Möblierte, hochwertige Badräume	300 LUX mit Ra 80 ... 90
Allgemeinbeleuchtung Büro	300 ... 500 LUX mit Ra 88 ... 100

Der allgemeine Farbwiedergabeindex Ra

Oft wird im Datenblatt von Leuchtmitteln nur der **Ra Wert** (allgemeiner Farbwiedergabeindex) angegeben. Beim Ra werden nur die ersten 8 Testfarben zur Berechnung mit einbezogen. Der Ra kann also, obwohl er nur 8 CRI Vergleichswerte in seine Berechnung mit einbezieht, ebenfalls den Wert 100 erreichen.

Dieser wäre dann Ra 100.

Schwachstellen des allgemeinen Farbwiedergabeindex Ra:

Wer jedoch glaubt, mit dem Ra Index den Stein der Weisen für die optimale Beleuchtung gefunden zu haben, wird ein wenig enttäuscht werden.

Beispiel:

Du kaufst dir im Supermarkt einen super schönen, rot leuchtenden Apfel. Zu Hause angekommen, schaut er aber auf einmal nicht mehr so super schön und leuchtend rot aus.

Die Intensität der Farben ist zwar von der Farbtemperatur abhängig, jedoch spielt auch die Beleuchtungsstärke und Homogenität der Spektralverteilungskurve eine große Rolle. Wer z.B. eine Kompaktleuchtstofflampe mit warm weissem Licht und einem Ra 82 für seine Wohnraumbelichtung verwendet, wird seinen Apfel leider nicht so super schön rot leuchtend essen müssen.

Für Obst Beleuchtungen im Supermarkt werden oft sehr starke gold-gelbe Lichtfarben mit ca. 2.500K ("extra" warm weiß) verwendet, die die Rot- und Orangetöne von Obst verstärken und es besonders attraktiv und frisch erscheinen lassen. Aber auch Fleischwaren werden deswegen gerne mit starkem, "extra" warm weissen Licht mit geringen blau-grünen und ausgeprägten, roten Bandbreiten beleuchtet, um das Fleisch für den Kunden optisch "aufzupeppen". Die Farben von Lachs, Thunfisch oder Krabben werden bei dieser "Lichtzusammenstellung" ebenfalls optimal betont.

Leuchtmittel:	Index Ra
Sonnenlicht, Tageslicht, Glühlampen	ca. 100
Halogenlampe	> 90
LED, weiß (ww, 3000K)	80...90
LED, weiß (cw, 5500K)	70...95
Energiesparlampen für Haushalt	80...90
Leuchtstofflampe, weiß	70...84
Leuchtstofflampe	50...90
Kompaktleuchtstofflampen	80...90
Quecksilberdampf-Hochdrucklampe	45...50
Halogen-Metall dampflampe	60...95
Natriumdampf-Hochdrucklampe Straße	18...30
Natriumdampf-Hochdrucklampe Tunnel	< 20

Jetzt werden sicher einige einwenden, was die da schreiben widerspricht sich ja völlig. Die Kompaktleuchtstofflampe besitzt ja einen Ra von 82, also eine gute Farbwiedergabe und ist außerdem noch warm weiß.

14 Testfarben

- R1 Altrosa
- R2 Senfgelb
- R3 Gelbgrün
- R4 Hellgrün
- R5 Türkisblau
- R6 Himmelblau
- R7 Asterviolett
- R8 Fliederviolett
- R9 Rot gesättigt
- R10 Gelb gesättigt
- R11 Grün gesättigt
- R12 Blau gesättigt
- R13 Rosa (Hautfarbe)
- R14 Blattgrün

Hier werden wir gleich sehen, warum der Ra einige Schwachstellen besitzt. Z.B. liegen die 8 Testfarben alle im Pastellbereich und besitzen einen weichen Remissionsverlauf (das von einem Körper zurückgeworfene Licht, welches mit den Farbmitteln im Körper in Wechselwirkung stand).

Deswegen werden bei Leuchtmittel die für spezielle Anwendungen bestimmt sind, wie z.B. im Druckereigewerbe bei Normlicht Bedingungen, in Galerien oder Schauvitrienen auch andere Farbwiedergabeindizes angegeben. Der R9 ist z.B. für gesättigtes Rot zuständig.

Kompaktleuchtstofflampe 12W warm Weiss:

Ra	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
82	98	95	50	88	88	82	88	68	2	50	78	43	92	65

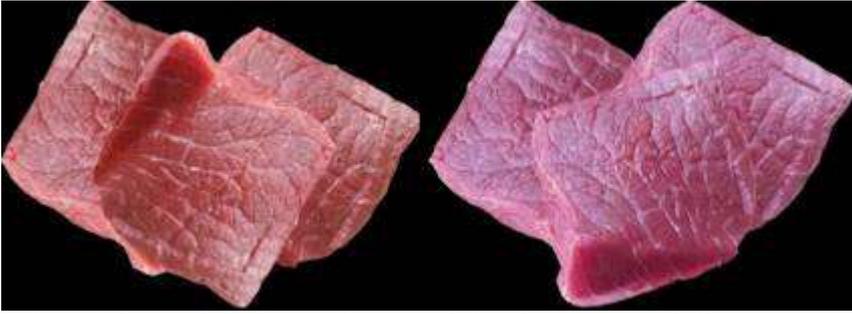
Werden die ersten 8 Ri Werte addiert und dann durch 8 dividiert, kommt zwar bei der oben

Dieses Video ist zwar für Video Filmer gedacht, zeigt aber sehr gut die Schwachstellen des CRI auf. Hier wird die R96a Methode zur CRI Bestimmung verwendet.

angeführten Kompaktleuchtstofflampe ein Ra von 82 heraus, betrachtet man jedoch den R9 Index, der für gesättigtes Rot zuständig ist, kann davon ausgegangen werden, dass der Wert 2 eine sehr schlechte rote Farbwiedergabe verspricht. Der R9 Wert ist jedoch im Ra nicht berücksichtigt.

Aber auch bei Gelbgrün (R3), Violett (R8), gesättigtem Gelb (R10), gesättigtem Blau (R12) und auch bei blattgrün Farben, wir man keine wahre Freude beim Betrachten verspüren. Rosa und orangene Farben sollten aber sehr gut wiedergegeben werden. Also nächstes Mal lieber eine Orange, statt einen roten Apfel kaufen ;) Wenn man die Ausschläge der Spektralanalysekurve von dieser Lampe betrachtete, wäre bei orange ein sehr starker und bei rot fast kein "Ausschlag" zu finden.

Da das Auge ja bekanntlich mitisst, sollten auch Köche bei dem "Arbeitsfeld" ihrer Küchenbeleuchtungen besonders darauf achten eher wärmere, lichtstarke Weißtöne mit einem hohen R9 und einem Ra über 80 zu verwenden, da Köche die eine höhere Farbtemperatur wählten, mit der Farbwiedergabe, besonders bei Fleisch oder Obstwaren, nicht zufrieden waren.



Mit welchem Fleisch würdest Du lieber kochen? Bei diesen Aufnahmen wurde dasselbe Fleisch verwendet, nur bei verschiedenen Farbtemperaturen dargestellt.

nicht nur neue und mehr Testfarben verwendet, sondern auch sechs Bezugsleuchtkörper, den D65, D50 und schwarze Körper bei Farbtemperaturen von 4200 K, 3450 K, 2950 K und 2700 K, statt den zwei Bezugsleuchtkörpern bei der Ra Methode. Die R96a Methode setzte sich aber teils wegen der Widersprüche zwischen Forschern und Herstellern nicht allgemein durch und muß ausdrücklich erwähnt werden, wenn sie verwendet wird.

Dieser Effekt ist einerseits auf die Metamerie (unterschiedlich zusammengesetzte Lichtspektren können, obwohl ganze Bandbreiten fehlen, den gleichen Farbeindruck hervorrufen) zurückgeführt werden, andererseits auch durch geringere spektrale Anteile einiger Bandbreiten im Beleuchtungsspektrum, wie beim Beispiel mit dem Apfel verdeutlicht.

R96a Methode:

Kritik wurde beim Ra laut und so wurde ein anderes Bestimmungsverfahren, die R96a Methode entwickelt. Hier wurden unter anderem

Einbaumöglichkeiten von Leuchten in Küchenmöbeln

Einbauleuchten

- Nischenbeleuchtung
- Eingebaute Leuchten in Unterböden von Unterschränken
- Baldachine
- Borde
- Tablarböden
- Regalböden
- Nischenüberbauten
- Eckkarusselle in Unterschränken
- Darstellung von Lieblingsstücken in Glasschränken
- zwischen Glasscheiben in Glasbodenleuchten
- in Kästen, Frontauszügen
- Spot, brilliant Spot
- Sockelbeleuchtung
- Arbeitsplattenkanten
- Vertikaler oder horizontaler Einbau an / vor Vorderkanten von Stollen
- Innerhalb von Elektrogeräten

Anbauleuchten

- Stableuchten horizontal oder vertikal auf Spiegeln von Badmöbeln
- Stableuchten vertikal neben Spiegeln von Badmöbeln
- Einzelleuchte vor Spiegeln, Bildern, Möbelverzierungen, Absätzen,
- Stableuchten vor Vitrinen, Schaukästen, Schaufenstern
- Vorderkanten von Konstruktions- und Einlegeböden, z.B. Ausleuchtung Wäschefach

Alu- Lichtrahmen als Anbauleuchten

- Alu- Rahmen beleuchtet, außen beidseits Glas als Boden

Aufbauleuchten

- Aufbau auf Oberböden von Schränken, vor Spiegeln

Lichtlinien

Unterbauleuchten

Glasbodenleuchten

- Hinterleuchtung Schmalflächen von Glasböden

Bettleseleuchten

Wand- und Deckenleuchten

Ziele von Leuchten

- allgemeine Raumbeleuchtung
- Arbeitsplatzbeleuchtung
- Form- und Farbgebung der Möbeloberfläche oder besondere Merkmale des Möbelstückes hervorheben
- allgemeines Illuminieren von Möbeln
- Lese- oder Orientierungsleuchten für Nachtkonsolen in Schlafzimmern

Formen von Leuchten

- Linienleuchten
- Eckige Leuchten
- Runde Leuchten

Praxisempfehlungen

- Abstrahlwinkel auf Arbeitsplatten in Nische zwischen Unter- und Oberschränken
 - ausreichend 120 Grad, Ziel allgemeine Flächenbeleuchtung
- Abstrahlwinkel in Glasschränken zur Punktbeleuchtung mit Spot
 - 20 ... 40 Grad oder Flächenbeleuchtung ausreichend 120 Grad
- Abstrahlwinkel Glasschränken Punktbeleuchtung mit Spot
 - 20 ... 40 Grad zur Dekorationsbeleuchtung
- Abstrahlwinkel zur allgemeinen Raumbeleuchtung
 - ausreichend 120 Grad, besser bis 360 Grad
- Beleuchtungsstärke auf Arbeitsplatten in Nische zwischen Unter- und Oberschränken
 - ausreichend 1000lx bis sehr gut 2400lx
- Beleuchtungsstärke allgemeine Innenbeleuchtung in Glasoberschränken
 - 1000lx
- Beleuchtungsstärke Dekorationsbeleuchtungen in Glasschränken
 - ausreichend 3000lx bis sehr gut 9600lx
- Beleuchtungsstärke von Kranzböden und Balachinen zur allgemeinen Raumbeleuchtung
 - ausreichend 300lx, zu empfehlen mindestens 500lx
- Beleuchtungsstärke auf Küchentischen allgemeine Raumbeleuchtung, zum Essen, Lesen, Schreiben
 - ausreichend 500lx bis sehr gut 2400lx
- Lichtleistung [lm]: Geschickte Planung > kleine Lichtleistung > kleiner Stromverbrauch > hohe Lichtausbeute bzw. Effektivität

- Hohe Lebensdauer für Lampen zur allgemeine Raumbeleuchtung, über Arbeitsplatten, über Küchentischen auswählen
- Farbtemperatur zur allgemeinen Innenbeleuchtung von Glasschränken und Dekorationsbeleuchtung
 - warmes weißes Licht mit ca. 2700 K für eine gemütliche / angenehme Atmosphäre (hoher Gelbanteil)
- Farbtemperatur auf Arbeitsplatten in Nische zwischen Unter- und Oberschränken, auf Küchentischen zum Essen / Lesen / Schreiben, sonstige allgemeine Raumbeleuchtung
 - neutral weißes Licht mit ca. 3300 ... 4000 K für farbrichtige Wiedergabe von Lebensmittelfarben (Fleisch, Obst, Gemüse), gute Kontrastwiedergabe, Orte mit hohem Lichtbedarf; Möbeleinbauleuchten geben oft neutral weißes Licht ab
- Qualität der Farbwiedergabe auf Arbeitsplatten in Nische zwischen Unter- und Oberschränken
 - $R_a \geq 90$
- Qualität der Farbwiedergabe in Glasschränken zur allgemeinen Innenbeleuchtung
 - $R_a \geq 90$
- Qualität der Farbwiedergabe zur Dekorationsbeleuchtung
 - $R_a \geq 90 \dots 100$
- Qualität der Farbwiedergabe auf Küchentischen zum Essen / Lesen / Schreiben, sonstige allgemeine Raumbeleuchtung
 - $R_a \geq 90$
- Qualität der Farbwiedergabe allgemeine Sitzgruppen und allgemeine Raumbeleuchtung
 - $R_a \geq 80 \dots 88$

Auswahl wirtschaftlicher Lampen

Ausgangspunkt ist die Festlegung des Verwendungszwecks der Lampe. Im Folgeschritt wählt man eine Lampe nach Zweckeignung (z.B. Lichtfarbe, Lebensdauer) aus. Nun stellt man den Anschaffungspreis und die laufenden Betriebskosten der Lampealternativen gegenüber. Die einmaligen als auch laufenden Kosten werden in einer Zusammenfassung zu Lampenkosten je Betriebsstunde transparent. Unter Berücksichtigung aller Faktoren ist nun eine wirtschaftliche Lösung auszuwählen.