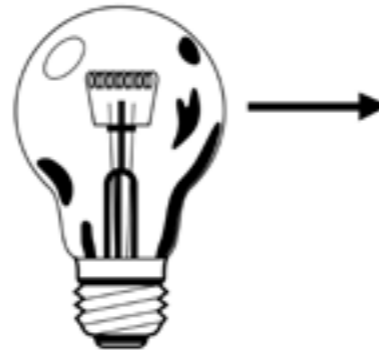


Die Lichtstärke I

Unter Lichtstärke versteht man die von einer Lichtquelle ausgehende Leuchtkraft.

Im Allgemeinen strahlt eine Lichtquelle nach verschiedenen Richtungen verschieden stark.



Bei der Glühbirne sieht man diesen Umstand recht deutlich, da sich die Lichtstärke nach der Form der Lampe richtet und sich das Licht verschiedenartig im Raum verteilt.

Die Lichtstärke gilt als Maß für die Intensität des Lichts in eine bestimmte Richtung, d.h. in einen kleinen Raumwinkel abgestrahlter Teil-Lichtstrom.

Im Gegensatz zum Lichtstrom, welcher die abgestrahlte Gesamtleistung beziffert.



Die Lichtverteilungskurve

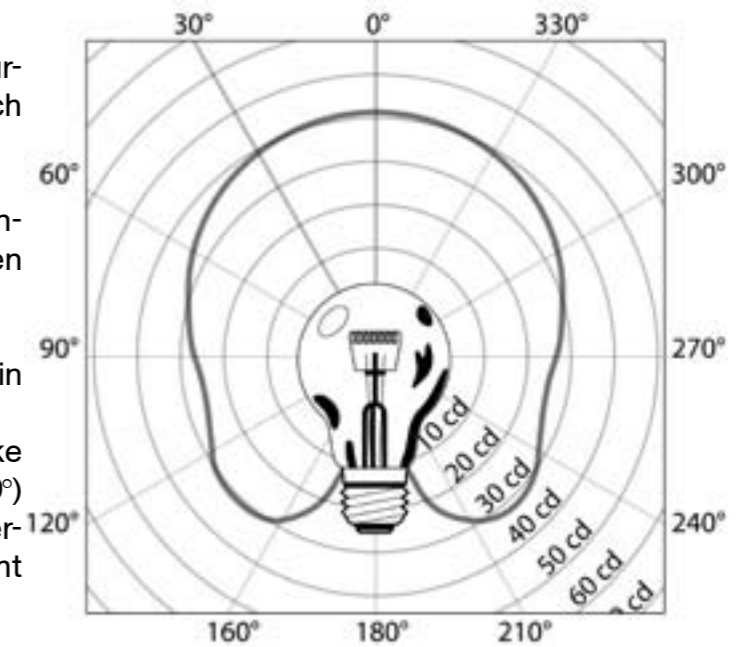
Dieses ist ein probates grafisches Mittel um die unterschiedlichen Lichtstärken einer Lampe, ihre Lichtverteilung, darzustellen.

2

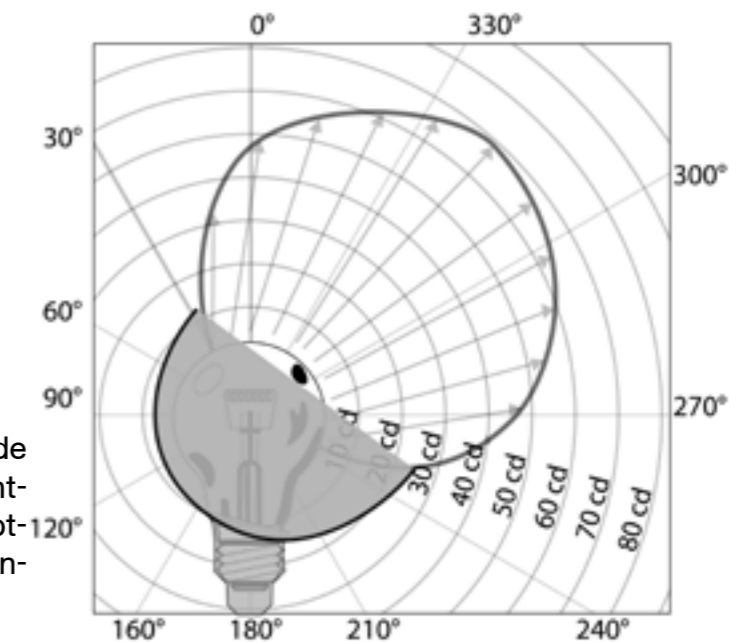
Hier ein Beispiel wie solche Lichtverteilungskurven in der Praxis vorkommen: dadurch lässt sich schnell jede Lampenart ablesen.

Von der Mitte her sind in gleichen Abständen konzentrische Kreise, die die einzelnen Lichtstärken aufsteigend in Candela (cd) darstellen.

Das radiale Strahlenkreuz gibt die Richtung an, in der die Lichtstärke gemessen wird. Hier bei der Glühbirne tritt die größte Lichtstärke in der Strahlrichtung senkrecht nach oben auf (0°) und wird zur Seite hin schwächer, bis sie, selbsterklärend, bei 180° senkrecht nach unten kein Licht emittiert.



Setzt man der Lampe einen lichtabschirmende Holzspiegel auf, so wird die ursprüngliche Lichtverteilungskurve wesentlich geändert. Der Hauptlichtstrahl wird jetzt nach 45° nach oben gebündelt.



3

Text und Illustrationen: von ron
<http://www.don-ron.com>

don-ron@gmx.net

Die Maßeinheit für die Lichtstärke ist

Candela (cd)

(lat. Kerze, Talg-, Wachslicht)

Hefnerkerze, Stearinkerze

Im 19. Jhdt waren unterschiedliche Messarten für die Leuchtkraft üblich: Hefnerkerze, Stearinkerze, Walratkerze oder Neue Kerze.

Diese waren speziell in der Dicke und Höhe genormt, womit Vergleichswerte für die unterschiedlichen Stärken gegeben worden sind.

Wobei die Hefnerkerze (HK) im deutschsprachigen Raum am meisten Verwendung fand (Leuchtkraft war etwas kleiner als Candela).

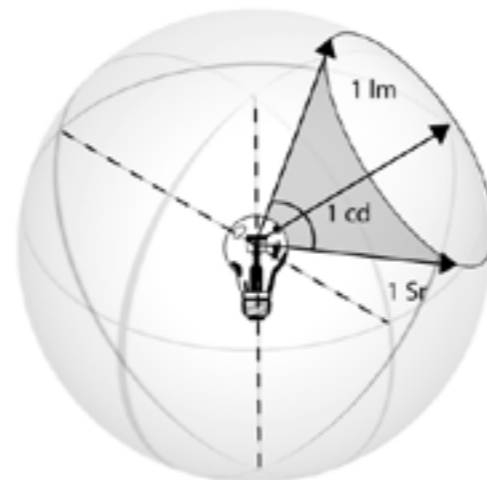


Seit den 50er Jahren des vorigen Jahrhunderts verwendet man die Einheit **Candela (cd)**, wobei die alten Berechnungsarten annähernd an dieses Maß herrankommen:

Eine isotrope Lichtquelle der Lichtstärke $I = 1$ Candela strahlt einen Lichtstrom von $d\Phi = 1$ Lumen pro Raumwinkel $d\Omega = 1$ Steradian aus.

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

$$1 \text{ cd} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ sr}}$$



Lichtquelle

Größte Lichtstärke in Candela (cd)

Stearinkerze (1cm)	1
Petroleumlampe	12
Glühlampe 15W	11
Glühlampe 66W	66
Glühlampe 100W	110
Leuchtstofflampe 36W	180 bis 330 (je nach Lichtfarbe)
Hochdruck-Quecksilberdampf Lampe (250W)	1150
Hochdruck-Quecksilberdampf Lampe (400W +Reflektor)	3800
Höchstdruck-Quecksilberdampfstrahler (1000W)	16500
Scheinwerfer Abgeblendet	440
Scheinwerfer Aufgeblendet	10.000 - 70.000 cd

4

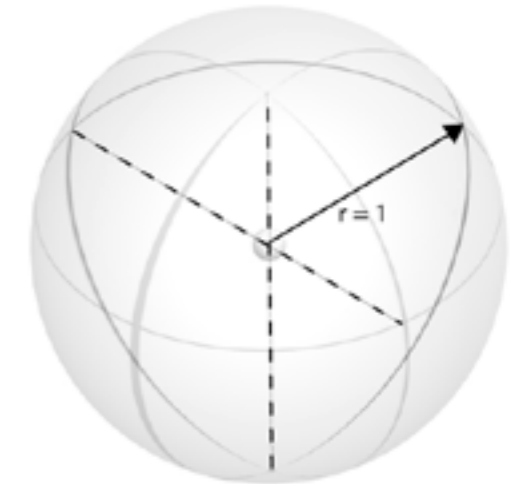
Kugelberechnung

Die Einheitskugel

In der Mathematik wird zur leichten Nachvollziehbarkeit die Einheitskugel verwendet, das heißt eine Kugel mit einem Radius von 1.

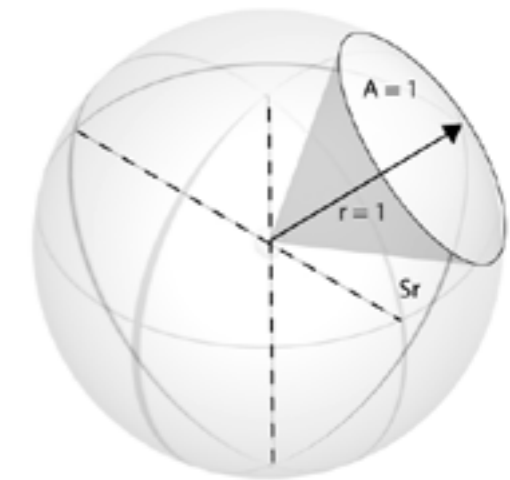
Dadurch wird jede weitere Kugelberechnung einfach, da meistens der Radius wegfällt.

Z.B. lässt sich die Oberfläche anstatt $4 \pi r^2$ nur als 4π schreiben, da $r^2 = 1^2 = 1$ bleibt.



Der Raumwinkel

Ein Steradian, die Einheit des Raumwinkels, ist der räumliche Winkel, der in 1 m Entfernung (einem Radius von 1) ein Kugelsegment von 1 m^2 bestreicht



Die Oberfläche

Eine Kugel von 1 m Radius hat eine Oberfläche von $(4 \pi) 12,56 \text{ m}^2$. Oder anders formuliert: eine Kugel besitzt einen Raumwinkel von 12,56 Steradianen (Sr).

Eine Lichtquelle die isotrop in alle Raumrichtungen strahlt, entspricht also der Einheitskugel und hat theoretisch bei einer Stärke von 1 Candela einen Gesamtlichtleistung von ca. 12,56 Lumen.

5

Text und Illustrationen: von ron
<http://www.don-ron.com>

don-ron@gmx.net

Der Lichtstrom (Phi Φ)

Die Lichtleistung

Der Begriff der Leistung ist hinlänglich bekannt: vom Motor, dessen Leistung in Ps ausgedrückt wird; bis zum Strom dessen Leistung in Watt angegeben wird. Technisch physikalisch gesehen ist es Arbeit, die in einer gewissen Zeit verrichtet wird. Man kann Arbeit dehnen und viel Zeit für sie aufwenden, oder sie schnell erledigen. Im ersten Fall ist die Leistung geringer als im letzten.

Licht leistet ebenso Arbeit:

- Anregung des Sehnervs
- Hervorrufen chemischer Veränderungen
- Erzeugung von Strom durch Fotozellen

Der Lichtarbeit entspricht eine Lichtleistung, man nennt sie Lichtstrom. Der Lichtstrom ist das Maß für das Licht, das eine Lampe in den ganzen sie umgebenden Raum verstrahlt. Dieses Lichtströmen gab der Leistung ihren Namen.

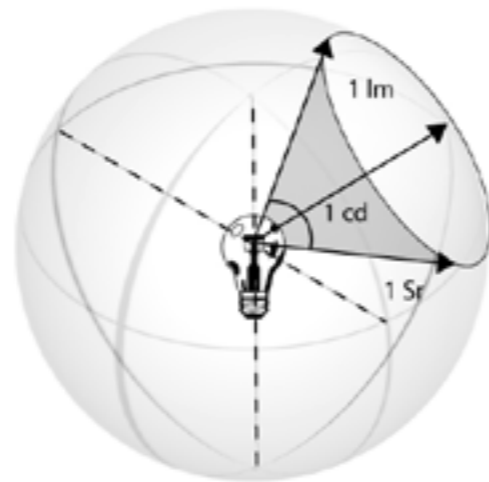
Die Maßeinheit ist das **Lumen (lm)**.

Der Lichtstrom ist kennzeichnend für die Leistungsfähigkeit (Strahlungsleistung) einer Lichtquelle.

1 Lumen (lm) ist der gesamte Lichtstrom, den eine Lichtquelle der Stärke 1 Candela (cd) in die Einheit des Raumwinkels, einem Steradianen (1 Sr), ausstrahlt.

$$\Phi = \Omega \cdot I$$

$$1 \text{ lm} = 1 \text{ sr} \cdot 1 \text{ cd}$$



Bei Fotolampen und Glühlampen gibt man meist den Gesamtlichtstrom an. Wobei, grob über dem Daumen gepeilt, der Wert meist dem Zehnfachen des Candela-Wertes entspricht.

Wir erinnern uns: Eine Kugel besitzt 12,56 Steradianen. Was bedeutet, dass eine isotrope Lichtquelle von 1 Candela eine Gesamtlichtleistung von 12,56 Lumen besitzt. Die sich in der Praxis ergebende ledigliche Verzehnfachung ist auf die Halterung der Lampe zurück zu führen, die ja kein Licht emittiert.

Vergleich der Leistungen

Der Wert des Lichtstroms hängt von der zugeführten elektrischen Leistung ab. Er wächst mit ihm, wie beim Ventilator der erzeugte Luftstrom wächst.

Dabei hat er aber gar nichts mit dem Strom zu tun, da Watt nicht mit ihm korreliert. Der Grund warum die Lichtleistung in Lumen angegeben wird und sich von der elektrischen Leistung unterscheidet, hängt mit der Empfindlichkeit des das Auges für Strahlen unterschiedlicher Wellenlängen zusammen.

Die abgegebene Leistung hängt auch von der Konstruktionsgüte der Lampe ab: je besser die Lampe, desto besser, d.h. größer ist das Verhältnis zwischen abgegebener und zugeführter Leistung - die Energieumwandlung „elektrischer Strom – Licht“ ist effizienter.

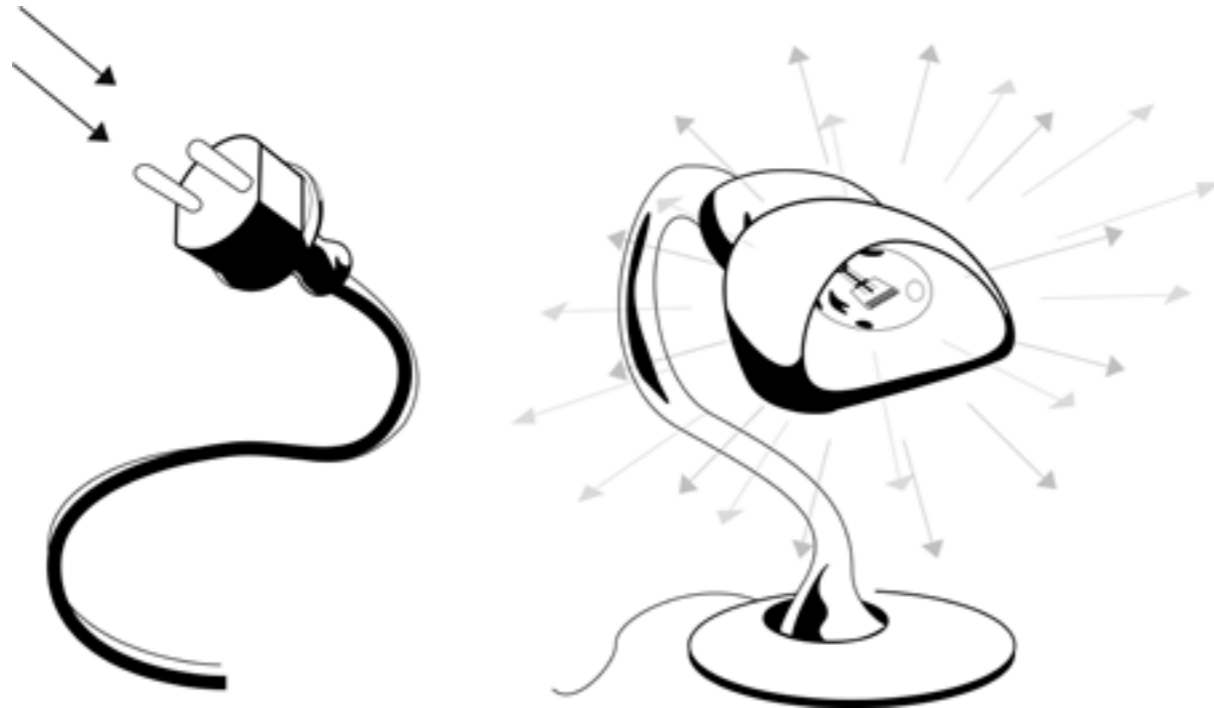
Lichtquelle	Lichtstrom in Lumen (lm)
Stearinkerze (1cm)	10
Petroleumlampe	120
Glühlampe 15W / 220V	130
Glühlampe 60W / 220V	740
Glühlampe 100W / 220V	1370
Glühlampe 200W / 220V	3100
Leuchtstofflampe 40 W / 32	1880
Leuchtstofflampe 60 W / 33	4400
Hochdruck-Quecksilberdampf Lampe (250W)	11500
Hochdruck-Quecksilberdampf Lampe (400W +Reflektor)	30000
Höchstdruck-Quecksilberdampfstrahler (1000W)	30000
Natriumdampf Lampe (200W)	21500

die Lichtleistung steigt nicht im gleichen Maße an wie die elektrische Leistung. Lichtstrom bei 60W müsste dann nur viermal so groß sein wie von einer 15 W Birne und statt 730 lm 480 lm haben. Die abgegebene Lichtleistung nimmt viel schneller zu als die zugeführte elektrische Ladung.

Deshalb sagen Wattangaben nichts Konkretes über ausgehender Strom von Lichtenergie aus! Die Lampenart ist entscheidend. Der Lichtstrom einer z.B. 40W Glühlampe beträgt nur ein viertel gegenüber dem einer gleich starken Leuchtstofflampe.

Die Lichtausbeute

Im vorigen Abschnitt, beim Vergleich der Licht- und Stromleistung, hat man gut das Verhältnis der beiden Größen, der Leistungsaufnahme von elektrischem Strom, in Watt ausgedrückt, und ihrer Leistungsabgabe von Lichtquellen, d.h. des Lichtstroms, erläutert, dass in einem eigenem Wert zusammengefasst wird: das Maß der Lichtausbeute.



$$\text{Die Lichtausbeute} = \frac{\text{Lichtstrom}}{\text{elektr. Leistung}} = \frac{\Phi}{P} \text{ lm/W}$$

Ähnlich wie der Goldgräber sagt: „die Ausbeute beträgt 1 Kilo Gold pro Tonne“, so sagt der Lichttechniker: „die Ausbeute beträgt 1 Lumen pro Watt“

Die untenstehende Tabelle veranschaulicht die unterschiedlichen Lichtausbeuten je nach Lampenart. So unterscheidet sich eine Glühbirne erheblich von einer Leuchtstoffröhre, die ein viel höheres Licht-Strom-Verhältnis besitzt. Natriumdampflampen (Sie strahlen nur einfarbiges Licht aus) haben die höchste Ausbeute.

Lichtquelle in lm/W	Lichtausbeute
Kerzen	0,1 - 0,2
Petroleumlampen	0,2 - 0,3
Glühlampen (15W-200W)	10 - 20
Leuchtstofflampen (20W-65W)	40 - 70
Hochdruck-Quecksilberdampf Lampe	50 - 70
Natriumdampf- Hochdrucklampe	70 - 150
Natriumdampf- Niederdrucklampe	100 - 200

Auch bei den besten Lampen wird nur ein Bruchteil der zugeführten Leistung in Lichtstrahlung umgewandelt.

Theoretisch liegt das Höchstmaß an Lichtstrom, das bei einem Watt zugeführter elektrischer Leistung erreicht werden könnte bei 680 lm/W.

Bei der normalen Glühlampe besteht ein großer Teil der Verluste aus gleichzeitig abgestrahlter Wärmeenergie.

Wird Strom durch den Glühfaden einer Lampe geschickt, so setzt sich die Energie zunächst nur in Wärme um, mit zunehmender Temperatur wird der Faden erst rot-, dann weißglühend, er strahlt also Licht ab.

Die Lichtabstrahlung wächst schneller an als die Temperatur des Glühfadens.

Die Glühlampe ist um so wirtschaftlicher, je heißer der Glühfaden wird.

Dabei gibt es natürliche Grenzen, die die Lampe hindern über gewisse Temperaturen hinauszugehen.

Der Glühdraht einer 220 V Lampe hat einen größeren Widerstand, er ist länger und dünner als der von einer 110 V Birne und hat infolgedessen eine geringere mechanische Festigkeit.

Deshalb kann der 220 V Glühdraht nicht auf dieselbe Temperatur gebracht werden wie sein untervoltiger Nachbar.

Die Lichtausbeute von 220 V Glühbirnen liegt etwas niedriger.

Die Beleuchtungsstärke E

Trifft ein Lichtstrom auf eine Fläche, dann wird diese mehr oder weniger hell beleuchtet. Dahingehend spricht man von Beleuchtungsstärke.

Ihre **Einheit** ist das **Lux (lx)**

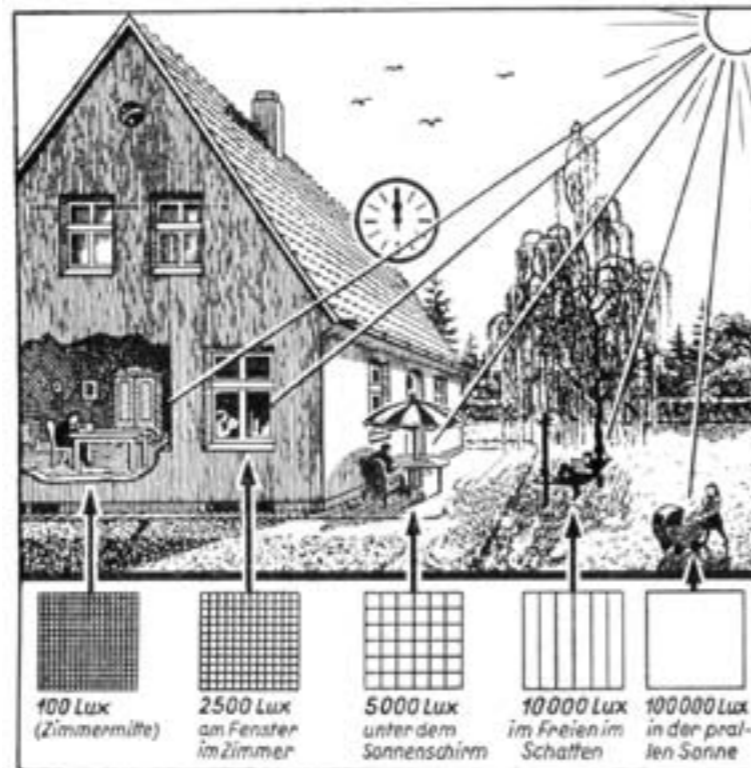
Die Beleuchtungsstärke von einem Lux ist gegeben, wenn eine Fläche von 1 m² mit einem Lichtstrom von 1 lm (Lumen) bestrahlt wird

$$E = \frac{\Phi}{A}$$

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

Beispiele typischer Beleuchtungsstärken in Lux

Sonniger Sommertag	100.000 lx
Bedeckter Sommertag	20.000 lx
Im Schatten im Sommer	10.000 lx
Operationsaal	10.000 lx
Beleuchtung TV-Studio	1.000 lx
Bürobeleuchtung	500 lx
Flurbeleuchtung	100 lx
Straßenbeleuchtung	10 lx
Gute Straßenbeleuchtung	20 - 30 lx
Mondlicht	0,25 lx
Sternklarer Nachthimmel	0,001 lx
Bewölkter Nachthimmel ohne Fremdlichter	0,0001 lx



Das Sonnenlicht gibt bei unseren Breitengraden mittags im Hochsommer eine Beleuchtungsstärke von 50.000 bis 100.000 Lux.

In den Frühjahrs und Herbstmonaten (März, September) beträgt die Tagesbeleuchtungsstärke nachmittags um 3 durchschnittlich 13.000 lx, während im Dezember um dieselbe Uhrzeit nur etwa 2.000 lx gemessen werden können.

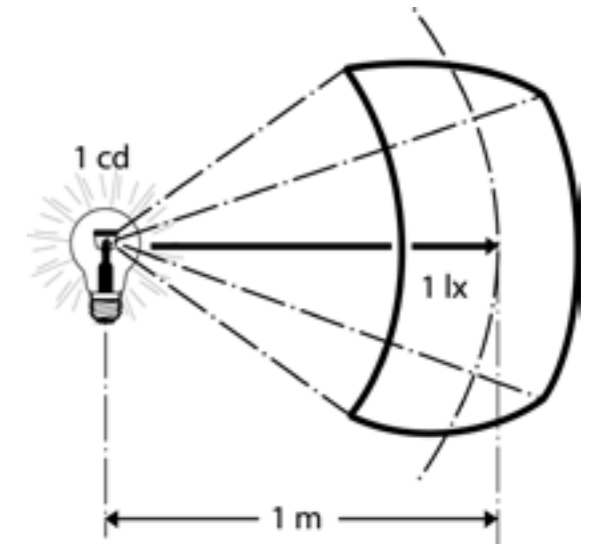
10

Das Entfernungsgesetz

Die Definition der Beleuchtungsstärke kann auch anders gesehen werden, denn 1 Lumen bedeutet auch einen Teillichtstrom von 1 cd (Candela) der im Raumwinkel von 1 Sr (Steradian) ausgestrahlt wird.

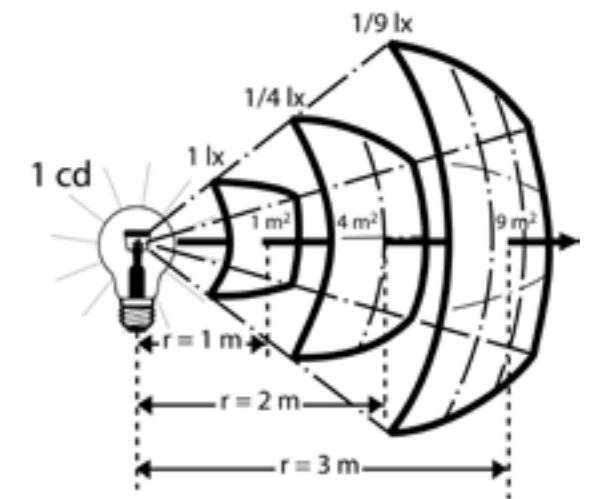
Also kann man auch sagen diese Lichtquelle (kleiner Ausdehnung) mit der Lichtstärke von 1 cd (Candela) erzeugt bei senkrechten Lichteinfall auf eine Fläche in 1 m Abstand die Beleuchtungsstärke von 1 Lux, dadurch wird eine Fläche mit 1 m² begrenzt.

Bei dieser Konstellation von 1 Meter Abstand und senkrechtem Lichteinfall erzeugt eine Lichtstärke von X Candela genau X Lux!



Wenn der Abstand dieser Lichtquelle vergrößert wird, dann nimmt die Beleuchtungsstärke schnell ab, und zwar zum Quadrat der Entfernung. Denn je größer der Abstand von der Lichtquelle wird, desto größer wird auch das Volumen, dass in der Lichtkugel auszufüllen sein wird.

In der zweifachen Entfernung verteilt sich die gleiche Lichtmenge auf die vierfach vergrößerte Fläche, bei dreifachen auf die neunfache Fläche. Was zur Folge hat, dass das Licht bei doppelter Entfernung nur noch 1/4 der ursprünglichen Lichtenergie vorhanden wäre. Bei dreifacher nur noch 1/9.



Text und Illustrationen: von ron
<http://www.don-ron.com>

don-ron@gmx.net

11