

Optoelektronische Messtechnik

Vorlesung | 1

Organisation | Optische Grundgrößen

LTI | Lichttechnisches Institut



Wissenschaftlicher Werdegang

- Studium der Elektrotechnik
 - Diplom an der Universität Karlsruhe (TH)
 - Diplomarbeit am LTI „Hg-freie“ Induktionslampen (2001)
- Promotion (2008)
 - Thema: “Ladungstransportmodell dielektrisch behinderter Entladungen“
 - Entwicklung einer Lampe auf dem Prinzip der dielektrische behinderten Entladung. Möglichkeit zur Schaffung eines leuchtenden Fensters. Konstruktionsprinzip ist der Umbau eines Vakuumfensters zu einer flächigen Leuchtstofflampe mit Xe als Leuchtgas. => Hg-frei.
 - Hierbei erster Kontakt mit optoelektronischer Messtechnik durch den Aufbau eines Messstandes zur Bestimmung des absoluten Strahlungsflusses vom VUV bis ins NIR. (150nm – 15000nm)

Aktuelle Aufgaben

■ Forschung

- Technologiebewertung der LED in der Allgemeinbeleuchtung
 - Lebensdauerabschätzung von LED Systemen und deren Betriebsgeräten
- Herausforderungen der Lichtmesstechnik durch LED
 - Einfluß der Temperatur
 - Spektraler Einfluß auf Unsicherheit
 - Räumliche Farb-Inhomogenität der Quellen

■ Lehre

- Optoelektronische Messtechnik
- Photometrie und Radiometrie
- Koordinator der Labore

■ Funktionen am LTI

- Leiter des Messlabors für Allgemeinbeleuchtung (Drehspiegel)
- Geschäftsführer des LTI

Allgemeine Informationen

■ Fragen

- Ich bin jederzeit für Fragen offen
- Daher gibt es keine spezielle Fragestunde

■ Kontakt

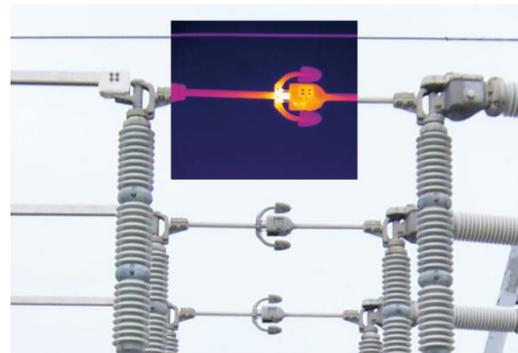
- Dr.-Ing. Klaus Trampert
- Tel.: 0721 608 – 47065
- Mail: Klaus.Trampert@kit.edu
- Geb.Nr. 30.34 – Raum 224
- Erreichbarkeit: Am Besten nach der Vorlesung oder per E-Mail.
- Wenn per Email innerhalb von 2 Tagen keine Reaktion, dann bitte nachfassen.

Unterlagen | Inhalt

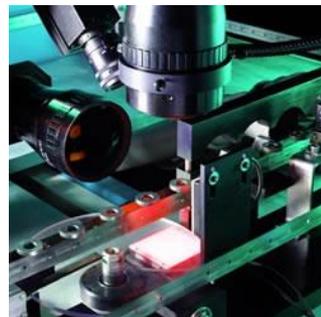
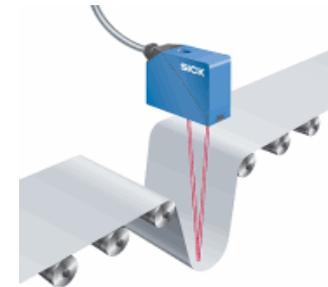
- Die Unterlagen werden in ILIAS zum Herunterladen bereitgestellt
- ILIAS erreichbar über die Vorlesungsseite des LTI
 - www.lti.kit.edu > Studium & Lehre > Vorlesungen > Optoelektronische Messtechnik > LINK zum ILIAS
 - Passwort SS2015 = *candela15*
- Die Vorlesung basiert auf denen der letzten Semester.
- Die Vorlesung wird im Laufe des Semesters angepasst.
- *Es gilt das gesprochene Wort*

Anwendungsbeispiele

- Optoelektronische Messtechnik findet sich fast überall
 - Digitalen Kameras
 - Entfernungsmesser
 - Prozessautomatisierung
 - Beleuchtungsstärkemesser
 - IR Thermographie
 - Fieberthermometern



Picture-in-Picture allows a clear overview of this high voltage installation.



Definition – optoelektronische Messtechnik



- Optoelektronik verknüpft die optische mit der elektronischen Welt
- Optoelektronische Messtechnik
 - Anwendung optischer UND elektronischer Verfahren
 - Direkte Messung optischer Größen
 - Messung nicht optischer Größen mit optischen Methoden

Prinzipieller Aufbau eines Messsystems

Nun geht's los.

Strahlung

- Zu bewertende Optische Messgröße
- Bestrahlungsstärke, Lichtstärke, Laufzeit, etc...

EINGANG



Optik

- Beeinflussung der Strahlung auf optischer Ebene
- Spektrometer, Filter, Objektiv, Streuscheibe



Empfänger

- Umwandlung der optischen Strahlung in ein elektrisches Signal
- Diode, PM Tube, CCD, Transistor



Bewertung

- Extraktion des gesuchten Zusammenhangs aus der gemessenen Größe
- z.B. Bewertung des Spektrums mit aktinischer Wirkung

ERGEBNIS



Interpretation

- Elektrische Interpretation der Messdaten, d.h. Herstellung des Zusammenhangs zwischen elektrischem Signal und optischer Größe über eine Kalibrierung oder Umrechnung der Laufzeit in eine Wegstecke



Signalverarbeitung

- Umwandlung der elektrischen Größe z.B. U oder I in einen Messwert
- Multimeter, Messverstärker, Lock-In-Verstärker

MESSSYSTEM

Beschreibung von Licht



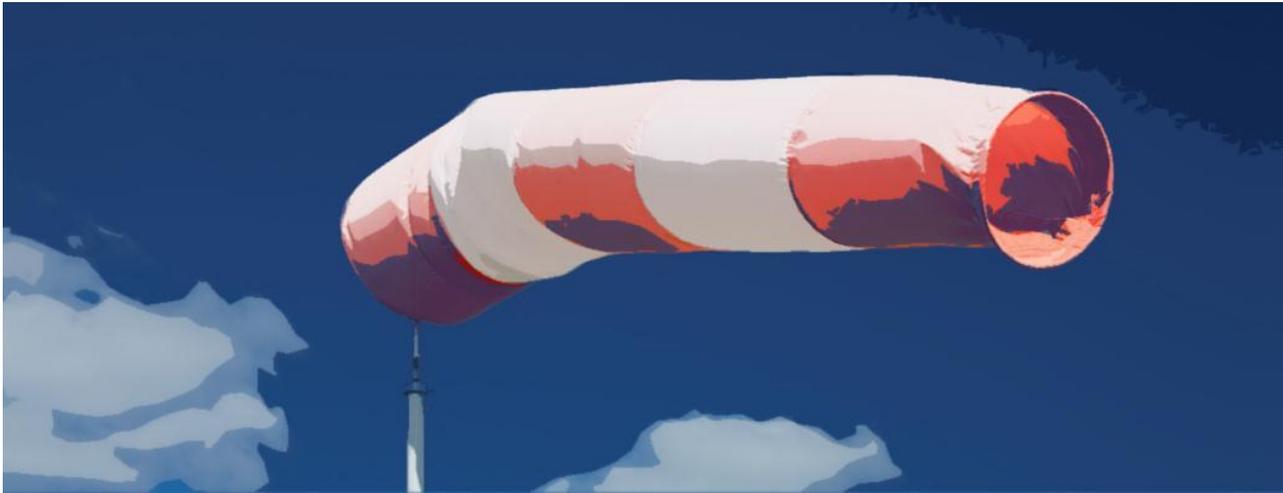
„Wie viel Licht darf's denn sein?“

Licht ist eine **vektorielle** Größe, d.h. sie hat eine Größe **und** eine Richtung

Zur Beschreibung einer lichttechnischen Größe benötigt man Informationen zu

- Größe (Menge)
- Zeitdauer
- **Richtung**

Beschreibung einer Raumrichtung



- Mathematisch notwendige Größen
 - Angabe des Bezugssystems
 - Lage der interessierenden Raumrichtung relativ zum Bezugssystem

Was in der Mathematik einfach ist, ist im realen Leben nur schwer zu realisieren.

- Was ist das Bezugssystem des Raumes?
- Was sind die drei Hauptachsen?

⇒ Andere Möglichkeiten zur Beschreibung?

Fragen der Lichttechnik



- Hilfe in der Lichttechnik:
Beschreibung mit
bezogenen Größen
 - Wie viel Licht kommt
aus der Leuchte?
 - Wie hell ist der
Leuchtturm in meine
Richtung?
 - Wie viel Licht trifft auf
den Tisch?
 - Wie hell ist der Monitor?

Wie viel Licht kommt aus der Leuchte?



- Angabe der gesamten Strahlungs-, bzw. Lichtmenge die durch eine Fläche tritt, ohne Angabe einer Richtung.
- Bezugsgröße: Vollraum
- Richtung: Vollraum
- Zeichen: Φ
- Strahlungsfluss [W]
- Lichtstrom / Lumen [lm]

Strahlungsfluss Φ



- Integration des Strahlungsflusses durch eine Bezugsfläche über den gesamten Vollraum

$$\begin{aligned}
 \Phi &= \iint_A E_e \cdot d\lambda \cdot dA \\
 &= \iint_A I_e \cdot d\lambda \cdot d\omega \\
 &= [W]
 \end{aligned}$$

Lichtstrom || Bestimmung



■ U-Kugel

- Optische Integration durch Reflexion
- Abhängig von der Kugeleigenschaft



■ Goniometer

- Mathematische Integration durch Abfahren einer Hülle
- Aufwändig

Wie hell ist der Leuchtturm in meine Richtung?



Lichtstärke / Strahlstärke

- Angabe der Lichtmenge aus einer **punktförmigen** Quelle in eine Raumrichtung.
- Im Normalfall hängt die Lichtstärke einer Quelle von der Richtung ab.
- Bezugsgröße: Raumwinkel
 - Siehe nächste Folie
- Richtungsangabe:
 - relativ zur Quelle
 - Lage der Quelle im Bezugssystem muss bekannt sein.
- Zeichen: I
- Einheit: cd (Candela) bzw. W/sr

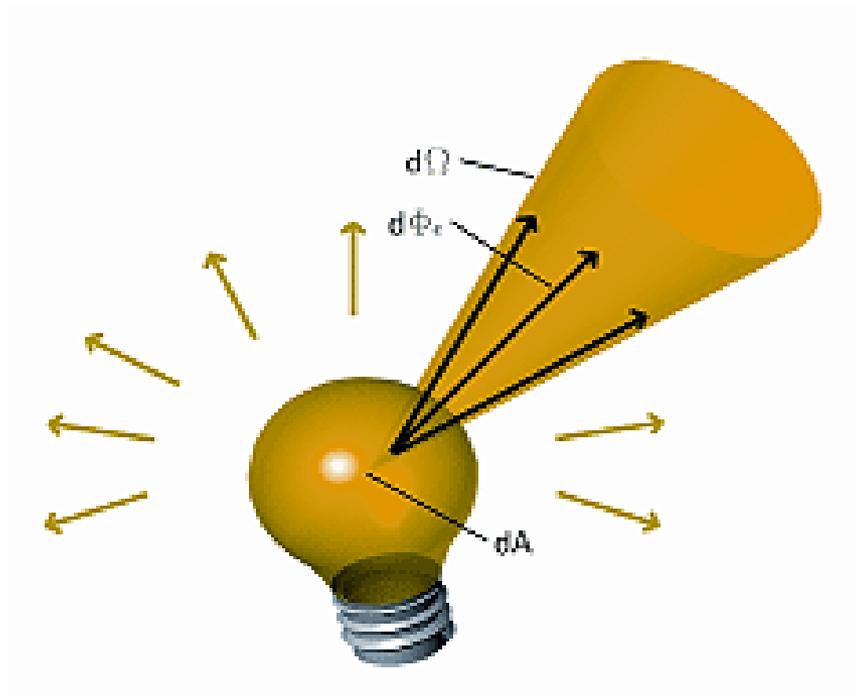
Strahlstärke I

Die Strahlstärke I beschreibt die Strahlungsleistung, die von einer Quelle in eine bestimmte Raumrichtung emittiert wird.

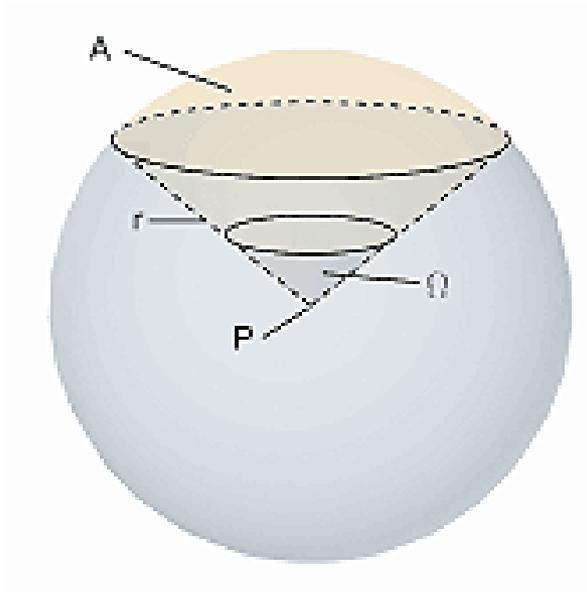
Die in Richtung des Raumwinkelements Ω abgegebene Strahlungsleistung Φ ist gegeben durch:

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} = \left[\frac{W}{sr} \right]$$

Im Normalfall hängt die Strahl- bzw. Lichtstärke von der Richtung ab.



Raumwinkel

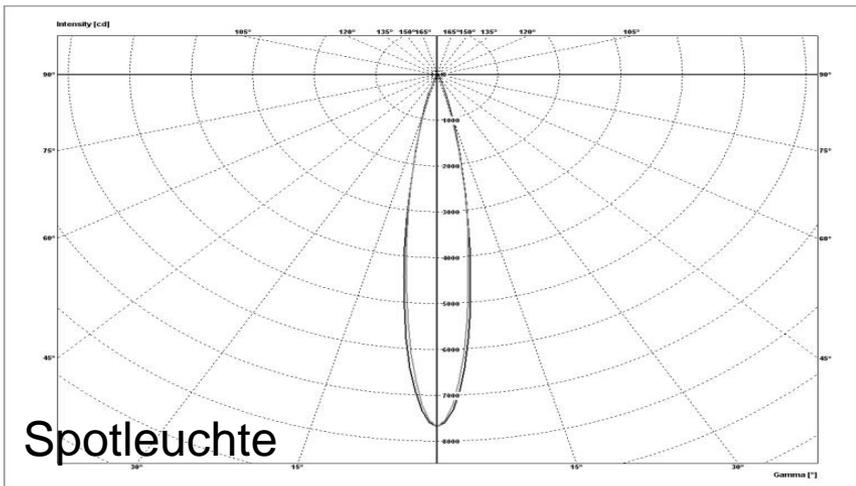
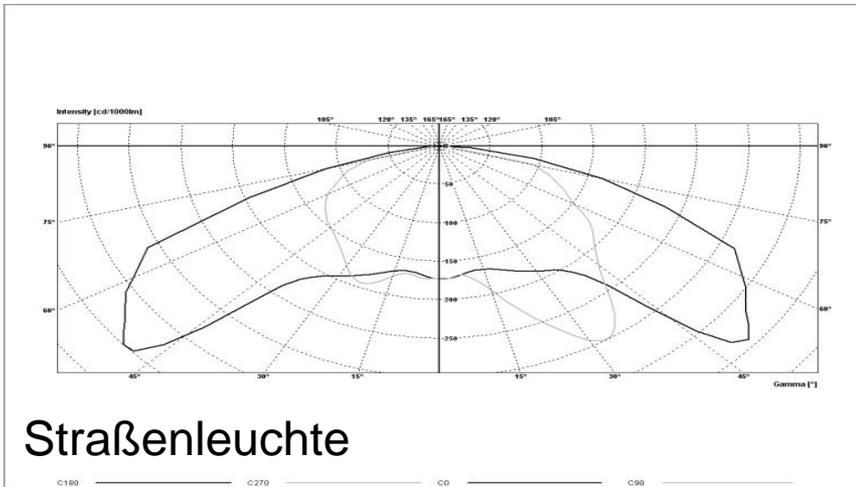


- Der Raumwinkel ω beschreibt das Blickfeld eines Beobachters.
 - Winkeldefinition im Raum
- Winkel wird definiert von einer begrenzenden Fläche A und deren Abstandsquadrat zum Beobachter

$$\omega = \frac{A}{r^2}$$

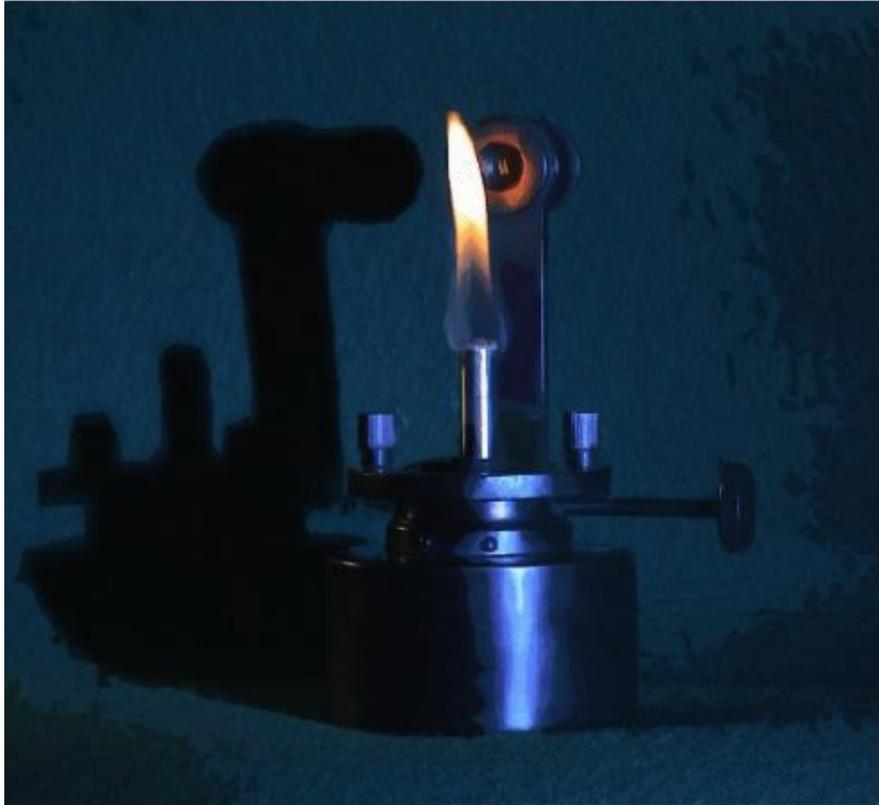
- Der Raumwinkel ω
 - ist dimensionslos
 - hat die Einheit Steradian (sr)
- Der Vollraum entspricht der Kugeloberfläche $4\pi r^2$
 - $\omega = 4\pi r^2 / r^2 = 4\pi \text{ sr} = 12.57 \text{ sr}$

Lichtstärkeverteilungskurve LVK



- Die Lichtstärke I einer Leuchte ist i.R. richtungsabhängig.
- Die Lichtstärkeverteilung gilt für eine punktförmige Quelle im Fernfeld.
- Die Lichtstärkeverteilung (LVK) beschreibt die geometrische Lichtverteilung der Leuchte unabhängig vom Abstand.
- In dem Polardiagramm einer LVK werden die Schnitte durch die Symmetrieachsen gezeichnet.
- LVK sind die Basisdaten für Lichtberechnungen
 - Europa = Eulumdat *.ldt
 - USA = IES *.ies

Ursprung der Candela



■ Candela

- lateinisch für *Kerze*
- Maß für die Lichtstärke
- Einheit cd
- Eine der SI Basis Einheiten
- Realisierung als Hefnerkerze
- 1 Hefnerkerze = 0,908 cd
- Definition von 1890 bis 1948

Sie ist definiert durch die Lichtstärke, die eine von dem Physiker Friedrich von Hefner-Alteneck entworfene Amylacetatlampe, die Hefnerlampe, bei 40 mm Flammenhöhe und 8 mm Dochtdurchmesser in horizontaler Richtung abstrahlt.

Quelle: ptb | Herr Lindner; wikipedia

Definition der Lichtstärke I [cd]



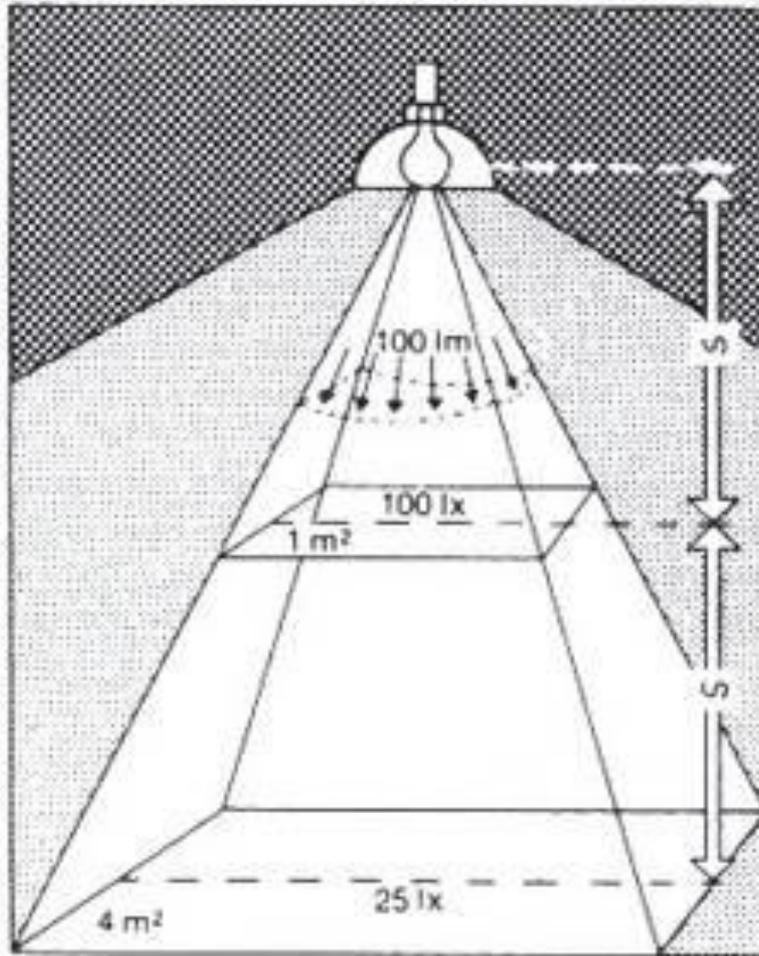
- Die Candela ist die Lichtstärke in einer bestimmten Richtung einer Strahlungsquelle, die monochromatische Strahlung der Frequenz $540 \cdot 10^{12}$ Hz aussendet und deren Strahlstärke in dieser Richtung $(1/683)$ Watt durch Steradian beträgt.
- Kennwerte
 - $540 \cdot 10^{12}$ Hz \approx 555 nm
 - $V(555\text{nm}) \equiv 1$
 - $K_m \equiv 683 \text{ lm/W}$

Wie viel Licht trifft auf den Tisch?



- Angabe einer Lichtmenge bezogen auf eine Fläche.
- Bezugsgröße: Fläche
 - Fläche muss nicht eben sein. Üblich sind Ebene, (Halb-)Zylinder, Kugel
- Richtung: Normale der Fläche.
 - Achtung, die Lage der Fläche im Raum muss bekannt sein. Hier z.B. Tischhöhe und Richtung (horizontal)
- Zeichen E
- Bestrahlungsstärke [W/m^2]
- Beleuchtungsstärke [lux]

Bestrahlungsstärke E

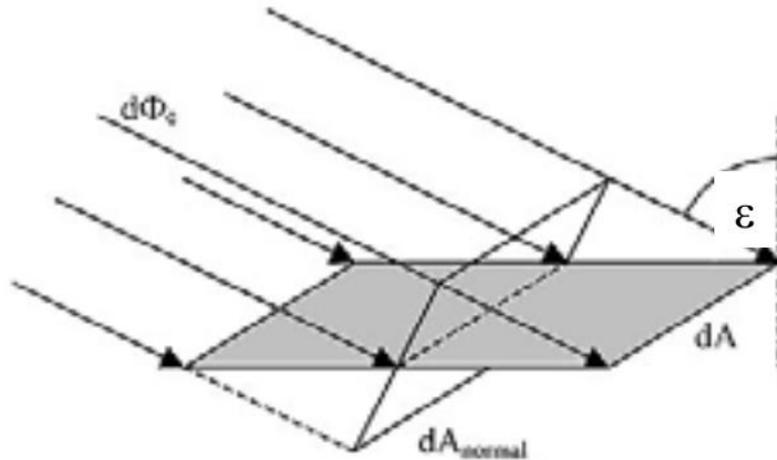


- Die Bestrahlungsstärke E beschreibt den Strahlungsfluss Φ aus dem gesamten Raum durch eine bestimmte Fläche A

$$E = \frac{\Phi}{A} = \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

- Fläche ist zu definieren in
 - Größe
 - Form
 - Lage

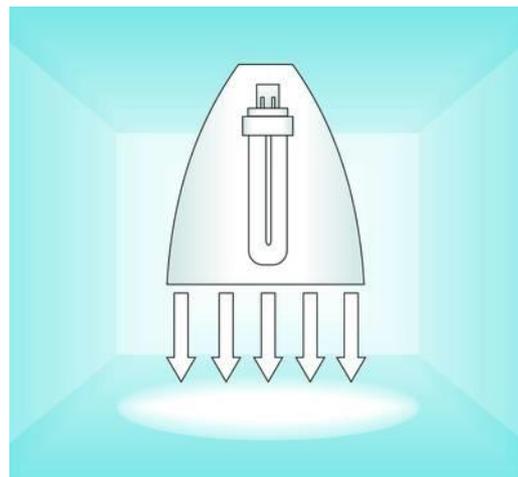
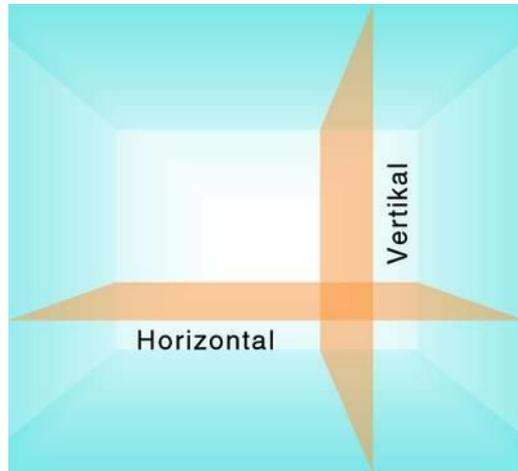
Projizierte Fläche



$$A_{projiziert} = A * \cos \varepsilon$$

- E ist die Lichtmenge welche auf eine Fläche A trifft.
- Die vom Licht „gesehene Fläche“ $A_{Projiziert}$ ist gleich der projizierten Fläche $A * \cos \varepsilon$
- ε ist der Winkel zwischen der „Lichttrichtung“ und der Richtung der Fläche (Flächennormale)

Bestrahlungsstärken Arten



- Eben
 - Gängige Fläche
 - Angabe der Ausrichtung mit Index H oder V
- (Halb-)Zylindrisch
 - Für Ausleuchtung von Objekten wichtig. (Museum)
 - Ausleuchtung von Gesichtern (Straße)
- (Halb-)Sphärische
 - Empfängerfläche = Kugel
 - Sonneneinstrahlung

Wie hell ist der Monitor?



- Angabe der Lichtmenge von einem Flächenelement in Richtung der Betrachtung
- Bezugsgröße:
 - Größe der ausstrahlenden Fläche (z.B. Pixel)
 - und Raumwinkel der Betrachtungsrichtung
- Richtung relativ zur Quelle
- Größen
 - Strahldichte [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{sr})$]
 - Leuchtdichte [cd/m^2]

Optische Grundgrößen

Wie viel
Licht kommt
aus der
Leuchte?

Angabe der
gesamten
Menge die durch
eine Fläche tritt,
ohne Angabe
einer Richtung.

Strahlungsfluss
[W]
Lichtstrom
[lm]

Wie hell ist
der
Leuchtturm
geradeaus?

Angabe einer
Lichtmenge aus
einem Punkt in
eine
Raumrichtung.

Strahlstärke
[W/sr]
Lichtstärke
[cd]

Wie viel
Licht trifft auf
den Tisch?

Angabe einer
Lichtmenge
bezogen auf
eine Fläche.

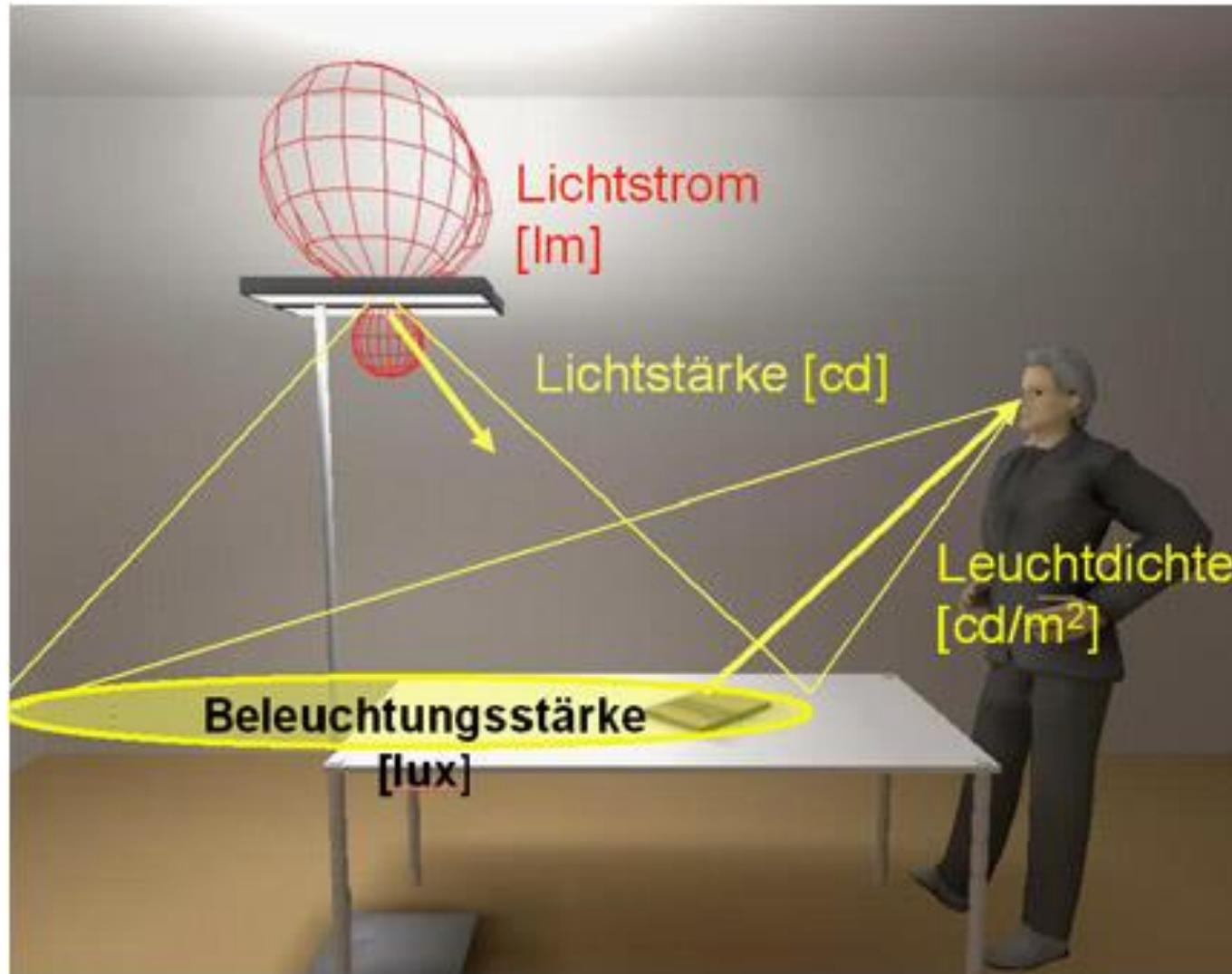
Bestrahlungs-
stärke [W/m²]
Beleuchtungs-
stärke [lux]

Wie hell ist
der Monitor?

Angabe der
Lichtmenge von
einem
Flächenelement
in Richtung der
Betrachtung.

Strahldichte
[W/m² sr]
Leuchtdichte
[cd/m²]

Zusammenfassung | Visuell



Optische Grundgrößen | Zusammenfassung

Bezug	Vollraum	Fläche	Raumwinkel	Raumwinkel und Fläche
Bezeichnung physikalisch	Strahlungsfluss	Bestrahlungsstärke	Strahlstärke	Strahldichte
Bezeichnung lichttechnisch	Lichtstrom	Beleuchtungsstärke	Lichtstärke	Leuchtdichte
Einheit	Lumen (lm)	Lux (lx)	Candela (cd)	Candela / m ² (cd/m ²)
Zeichen	Φ	E	I	L
Formel	$\Phi = \iint I_e \cdot d\lambda \cdot dA = [W] \quad E = \frac{d\Phi}{dA \cdot \cos \varepsilon} = \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad I = \frac{d\Phi}{d\Omega} = \left[\frac{W}{sr} \right] \quad L = \frac{d\Phi}{d\Omega \cdot dA \cdot \cos \varepsilon} = \left[\frac{W}{sr \cdot m^2} \right]$			

- Die optischen Grundgrößen sind bezogene Größen. Bei optischen Messungen wird somit immer eine Größe gemessen, die einen Mittelwert über der Bezugsgröße /-fläche des Empfängers darstellt.
- Bei quantitativen optischen Messungen muss daher immer die Bezugsgröße, d.h. das Empfängerfeld angegeben sein. Dies wird i.R. über allgemeine Definitionen oder die Messbedingungen bestimmt. (DIN, CIE,)

Optische Grundgrößen

- Die optischen Grundgrößen sind bezogene Größen, d.h. die Angabe der Menge (Quantität) erfolgt immer spezifisch.
- Angeben wird daher immer nur der Mittelwert über die Bezugsgröße. Z.B. Bei einem Beleuchtungsstärkemessgerät ist der Messwert der Mittelwert über die Messfläche.
- Bei quantitativen optischen Messungen muss immer die Bezugsgröße klar definiert sein. In realen Messungen kann die Messgröße vom Messbereich abhängen, wenn der Messbereich nicht konstant ausgeleuchtet ist.
- Aus diesen Gründen hängt in der optischen Messtechnik in der Regel das Ergebnis von den verwendeten Geräten ab. Diese werden daher in der Regel in Messvorschrift mitbestimmt.

Die Messmethode beeinflusst das Ergebnis!