

Beleuchtung



Beleuchtung
Fotometrie/Radiometrie

Bildsensoren
Objektive

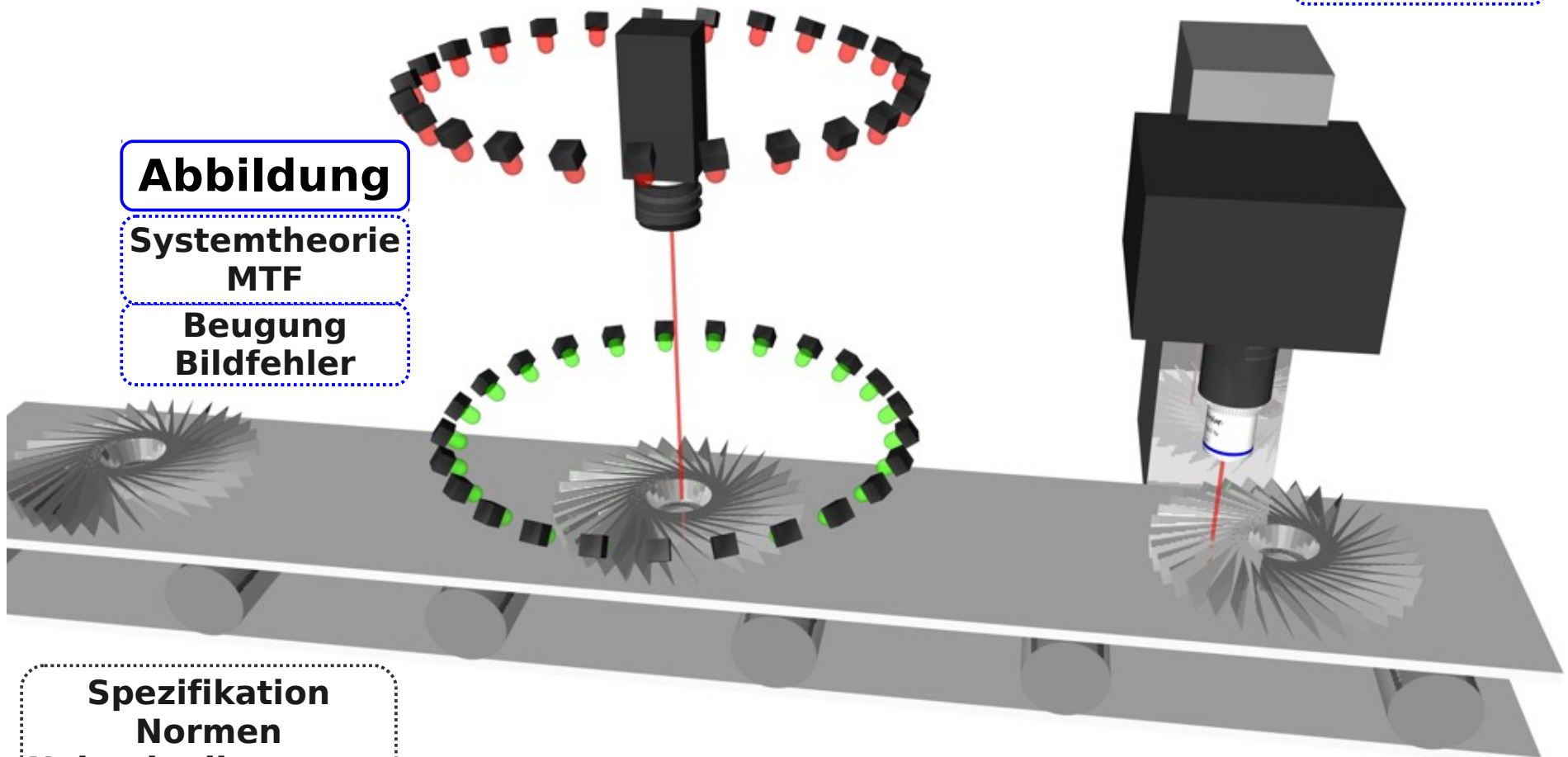
3D Erfassung

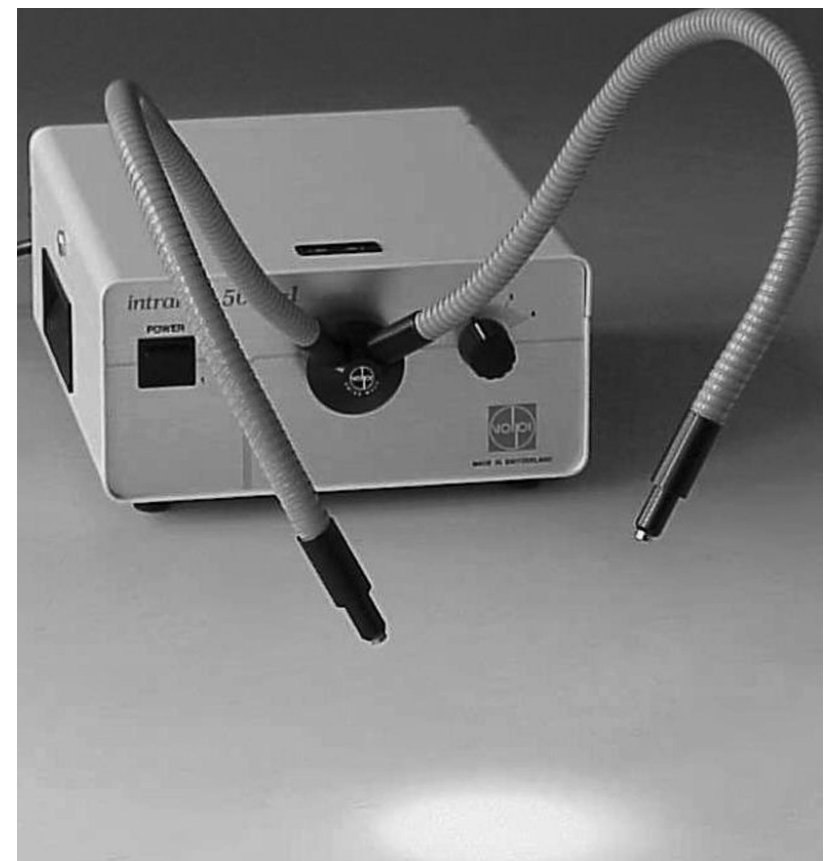
Abbildung

Systemtheorie
MTF

Beugung
Bildfehler

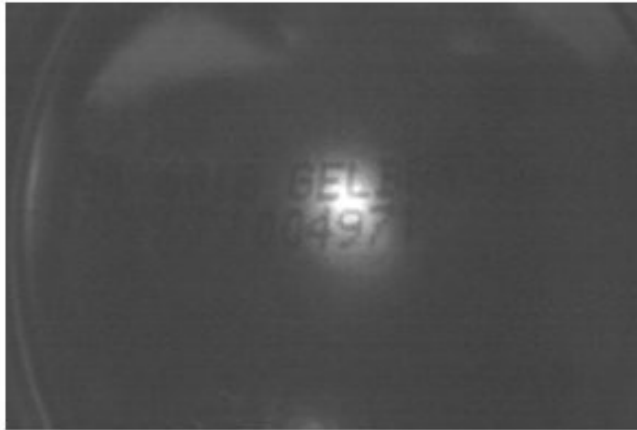
Spezifikation
Normen
Nebenbedingungen





FL series Lighting for Image Processing

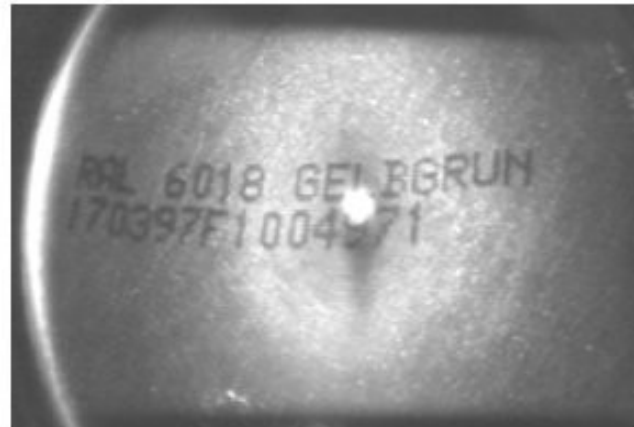
Die Beleuchtung ist oftmals entscheidend !



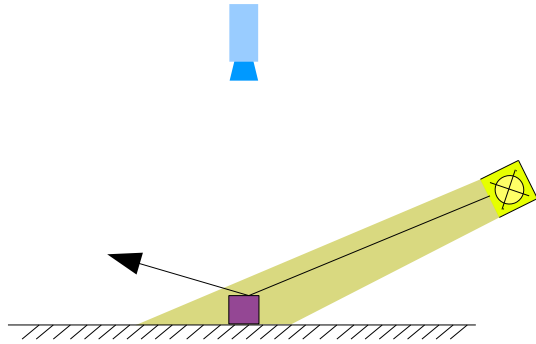
(a) homogene Beleuchtung 1



(b) homogene Beleuchtung 2



(c) angepasste Beleuchtung



Beleuchtungsgeometrien



Photometrie / Radiometrie



Lichtquellen

Vorneweg: Generelle Vorgehensweise

Maximiere Kontrast von Features

Minimiere Kontrast von ungewollten Features

Minimiere externe Einflüsse

Beachte Nebenbindungen

Manchmal geht es nur mit Mehrfachaufnahmen

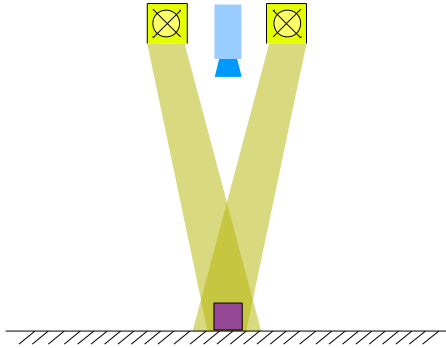


Tageslicht

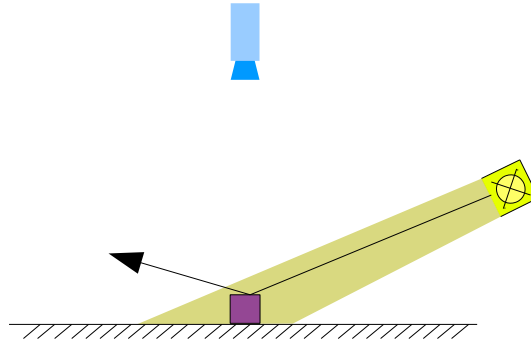


Nahes IR

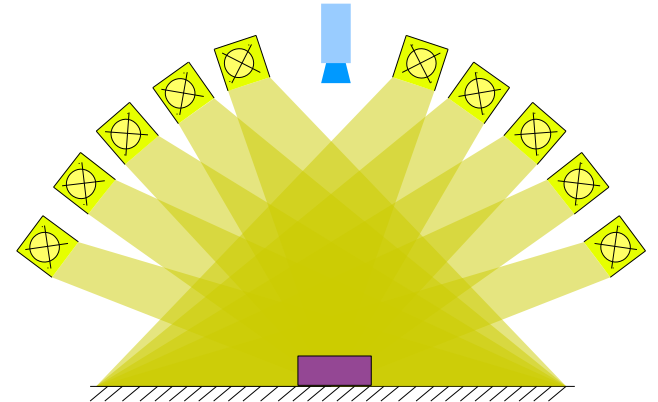
Beleuchtungsgeometrien



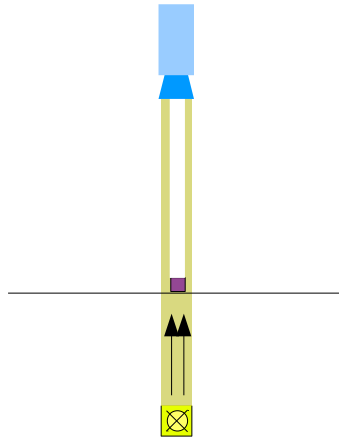
Gerichtetes Auflicht



Dunkelfeld

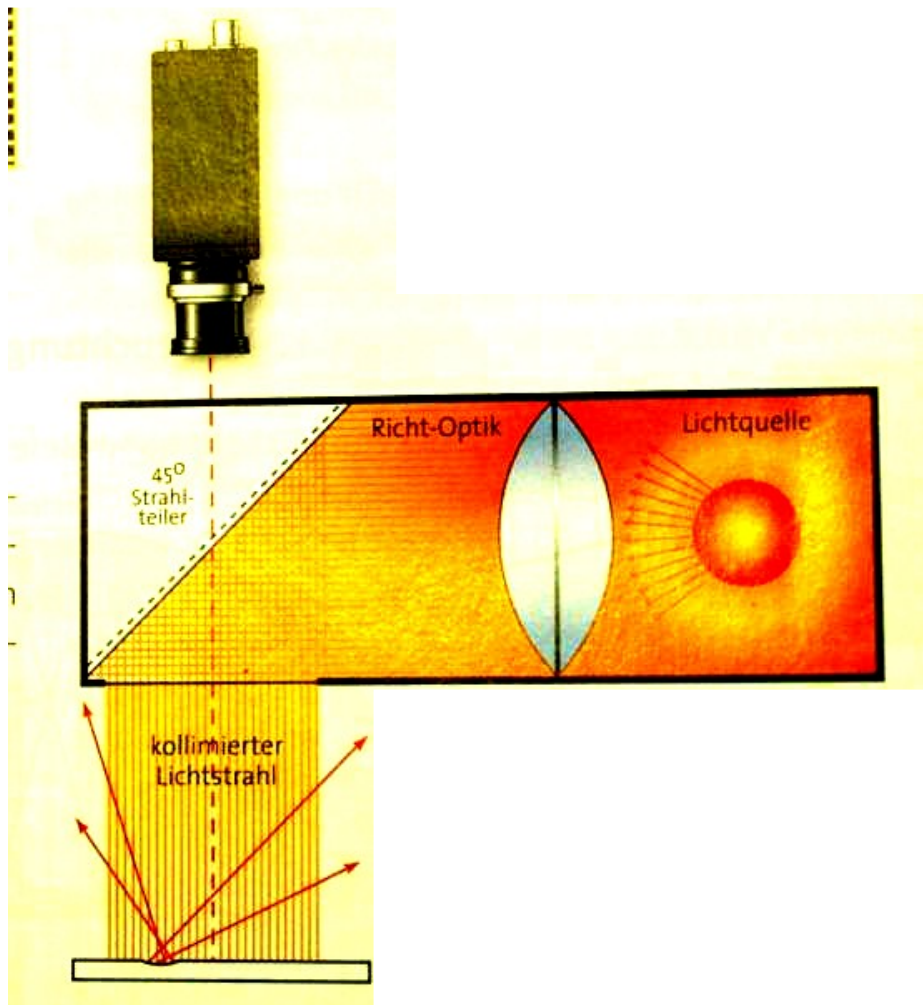


Diffuse Beleuchtung

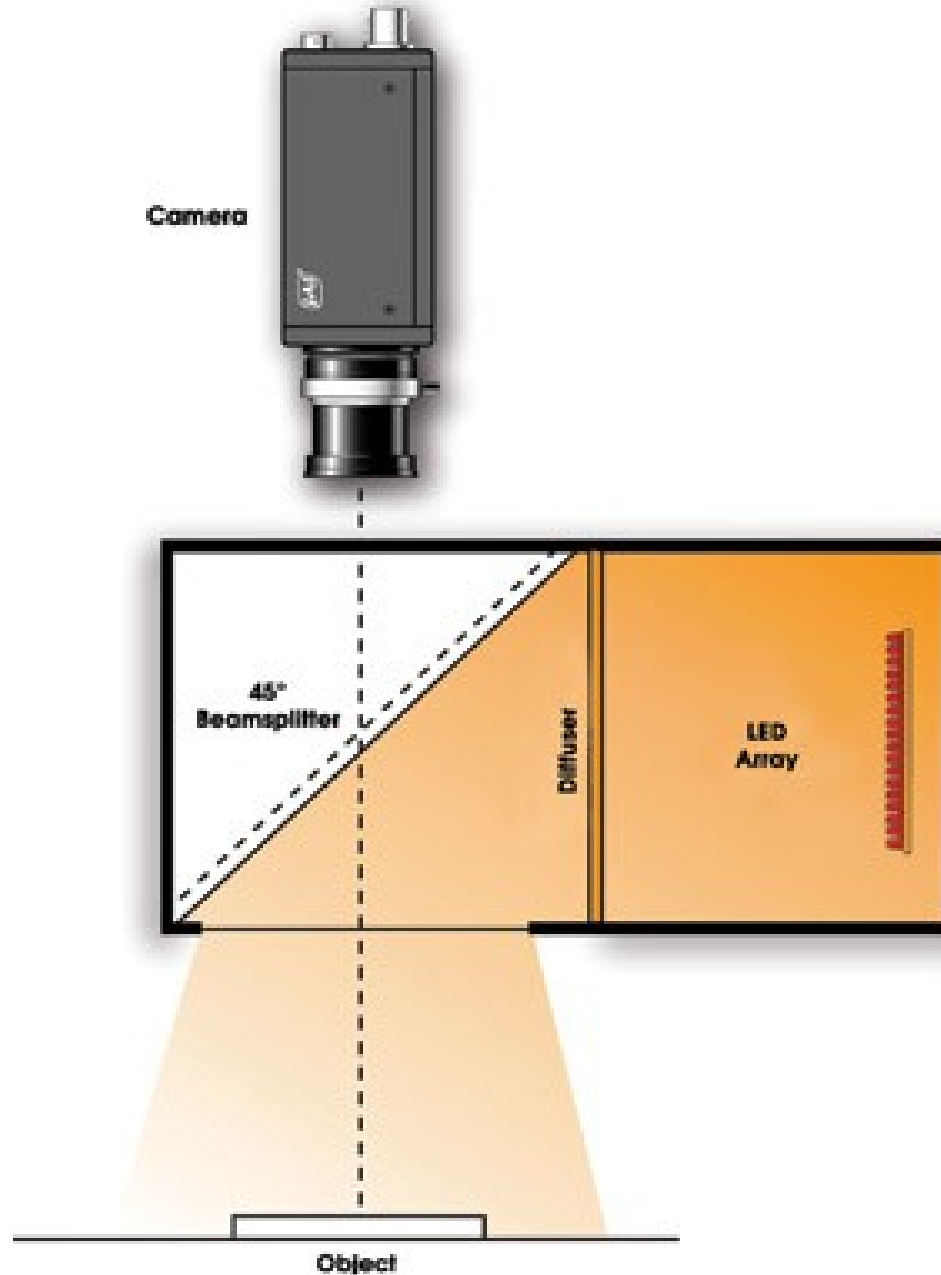


Durchlicht

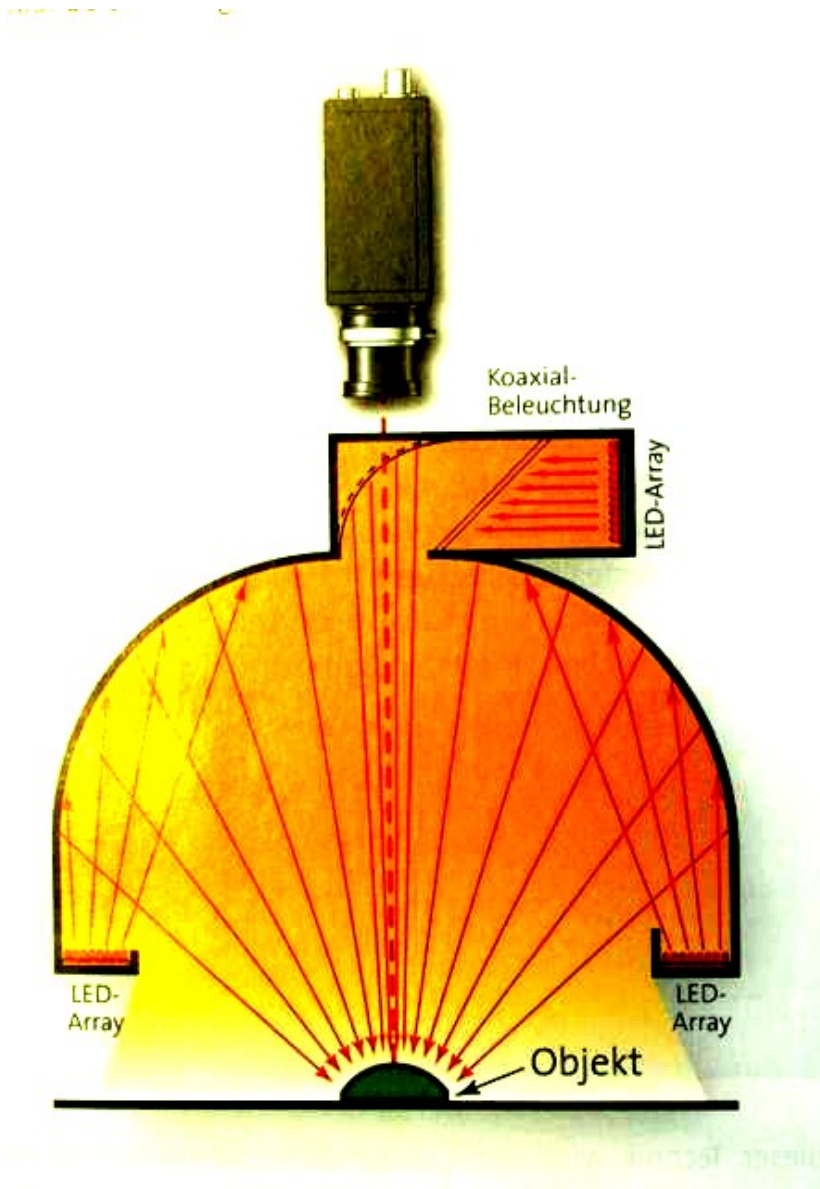
Koaxiales Auflicht



Auflicht: „Mittelmäßig“ gerichtet



Diffuse Beleuchtung durch Dom



koaxial

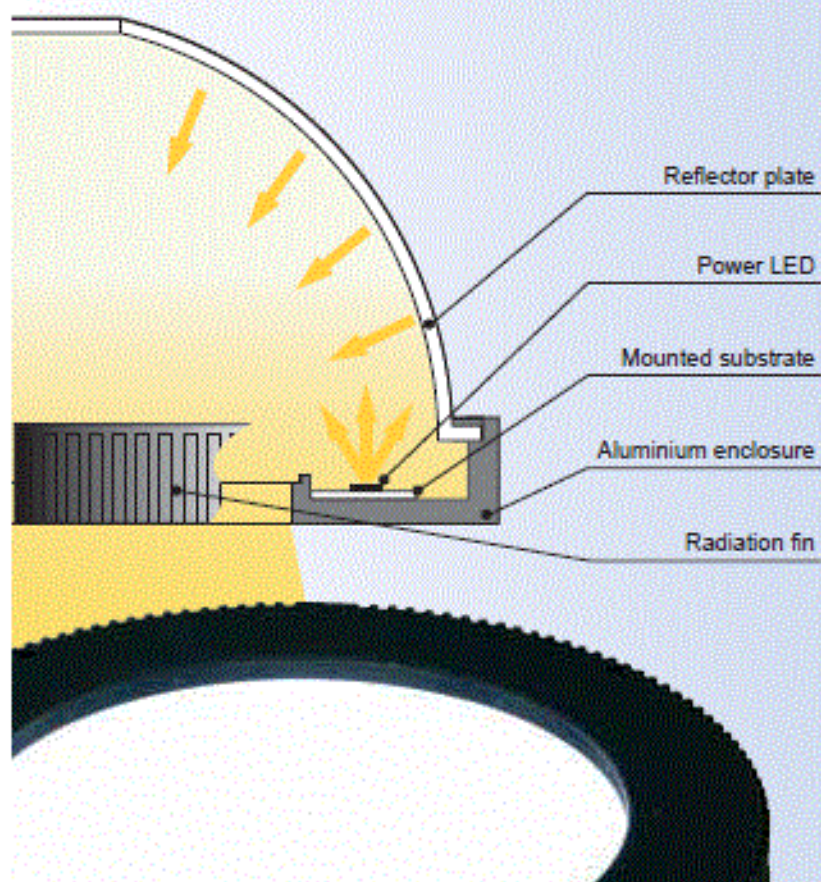


Dom

Achievement of high-luminosity uniform diffusion light

The use of power LEDs greatly enhances the light intensity compared with conventional dome lights. The unique illumination structure allows for a larger uniform area.

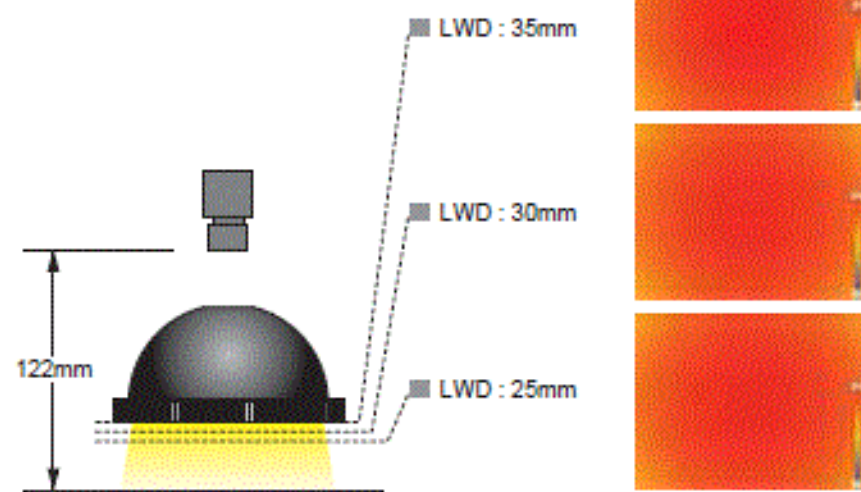
Cross section structure of HPD Series



Achievement of larger uniform areas

Enhanced light intensity and larger uniform area broaden the use of the lights to more diverse environments and applications.

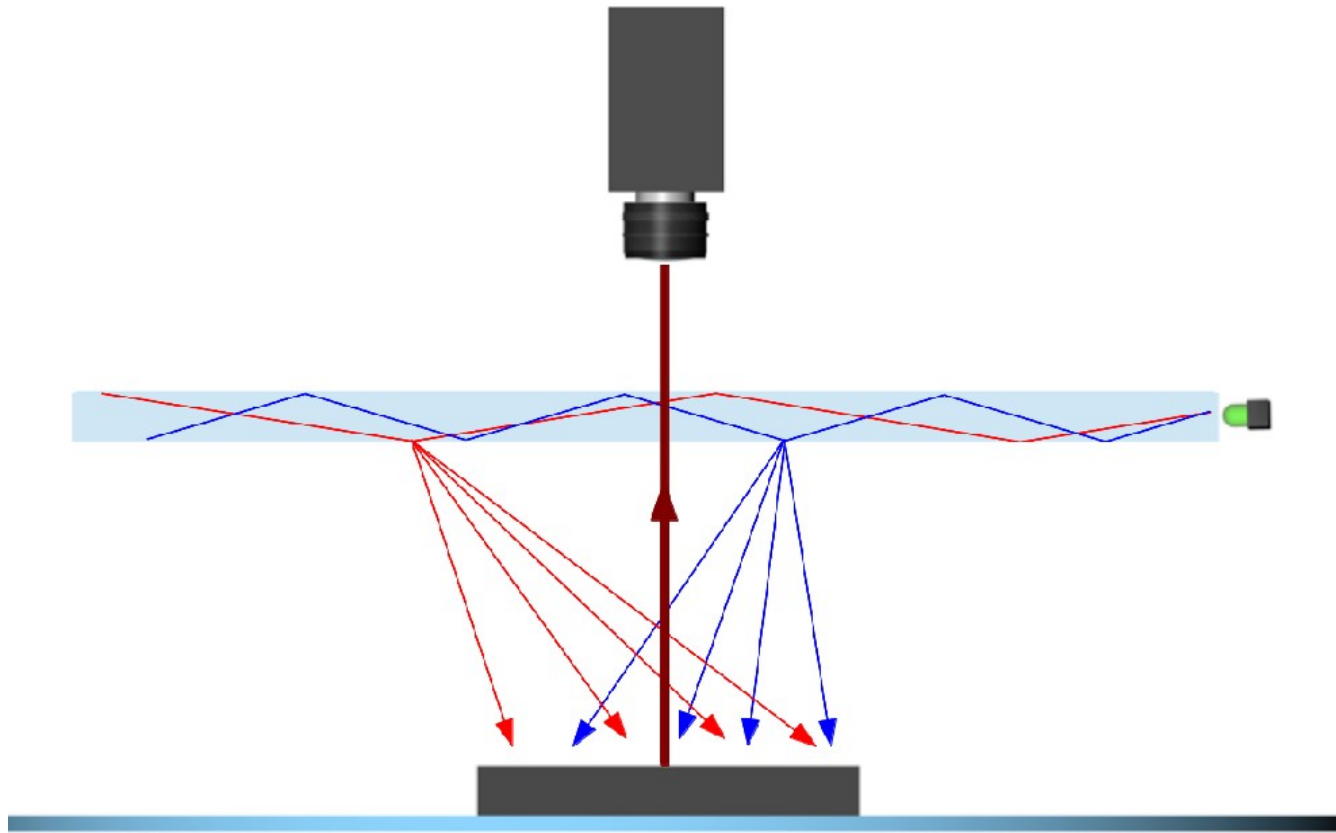
Uniformity data of HPD-150SW



* This shows the relative brightness distribution when the brightest area is set at 100. The data given here is intended for reference purposes only and is not intended to assure the quality of the product.

Measuring conditions	Camera	1/2 Inch CCD
	Lens	f12mm
	Macro ring	0mm
	WD	122mm
	Field (Y direction)	50mm
	Lighting	HPD-150SW
	LWD	25,30,35mm

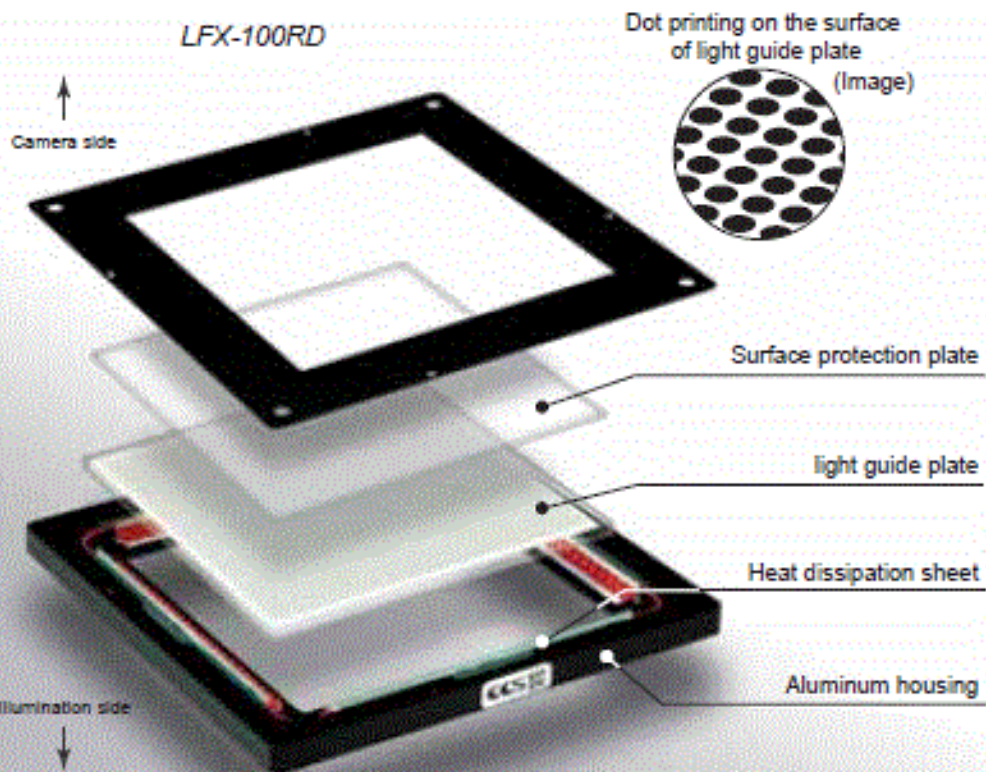
Diffuse Beleuchtung durch Flat-Dome



Unique lighting technology achieves uniform omni directional diffused light.

The special dotted-pattern reproduces the characteristics of a coaxial light or a dome light.

LFX-100RD

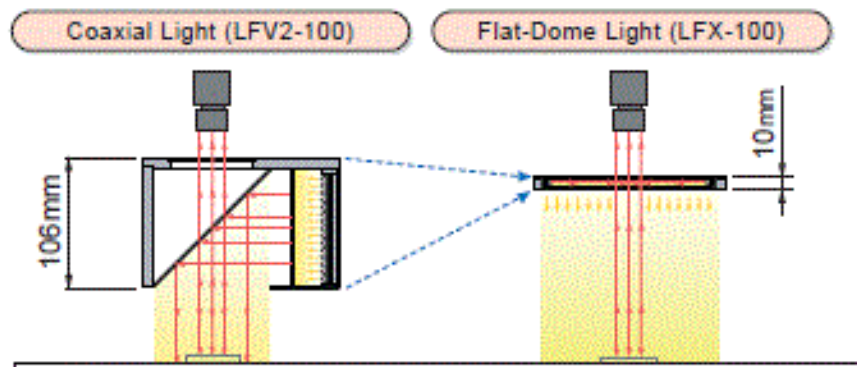


* Under certain conditions dots may be focused by lens or produce an interference pattern with reflections from some highly reflective surfaces. These effects are not defects and testing should be done to ensure this light is appropriate for your application.

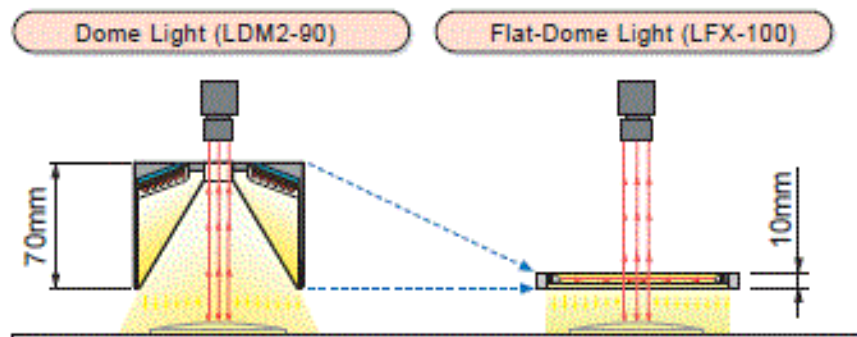
The LFX Series is a completely new type of light product enabled by CCS's cutting research and development capabilities. The pattern of dots on the surface of the light guiding diffuser plate controls light diffusion and transmission making uniform, omni-directional light possible.

Lightweight, thin design enables installation in constrained spaces.

The LFX-100 requires 96-mm less installation height than the comparable standard LFX2-100 coaxial light with the same light-emitting surface.

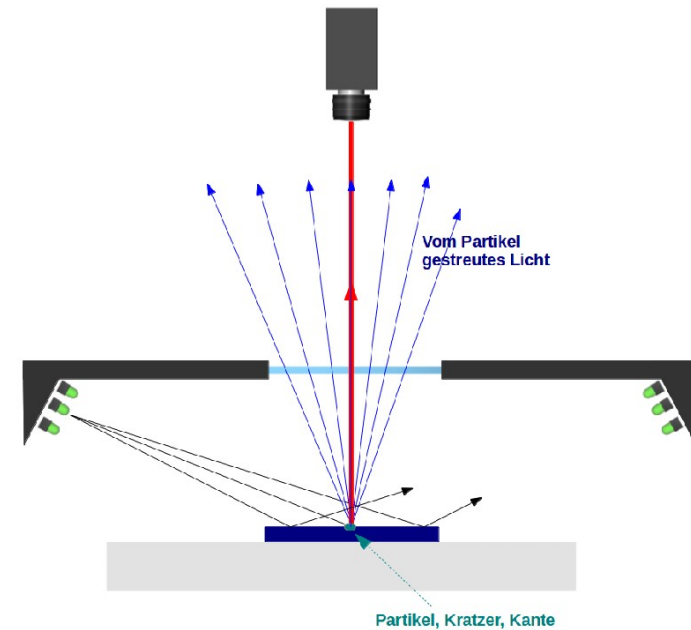
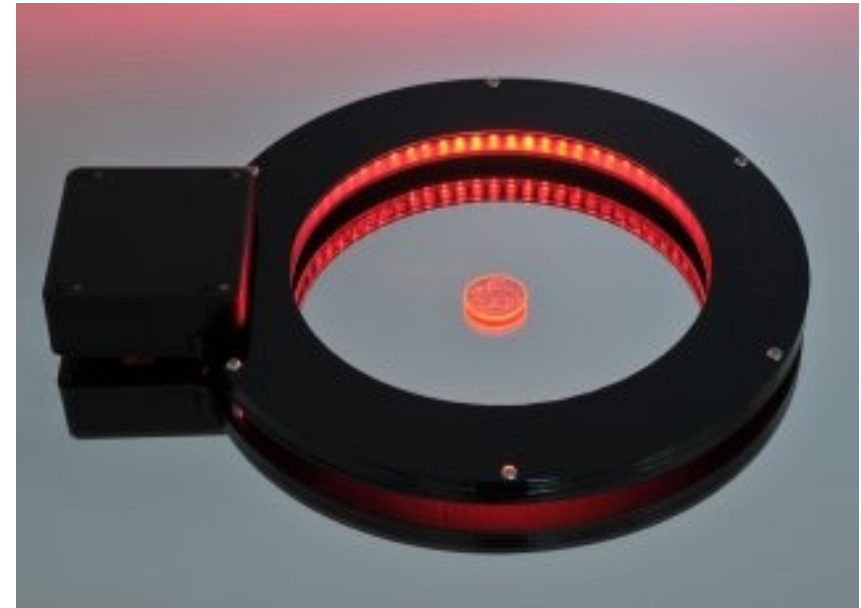
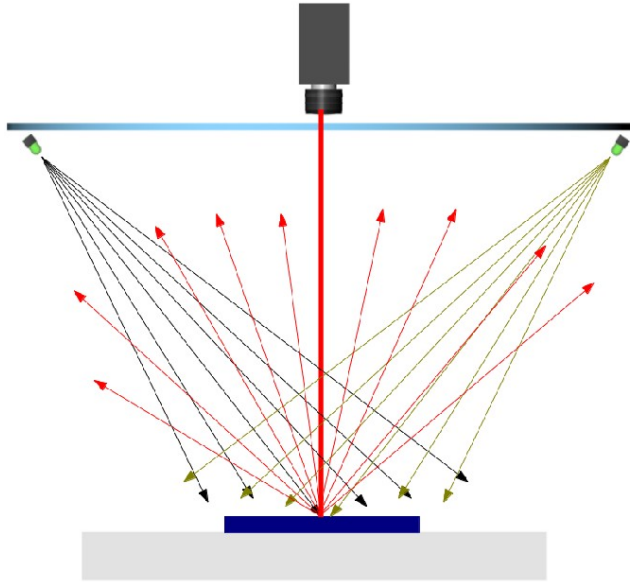


The LFX 100 requires 60-mm less installation height than the comparable standard LDM2-90 dome light with the same field of view.



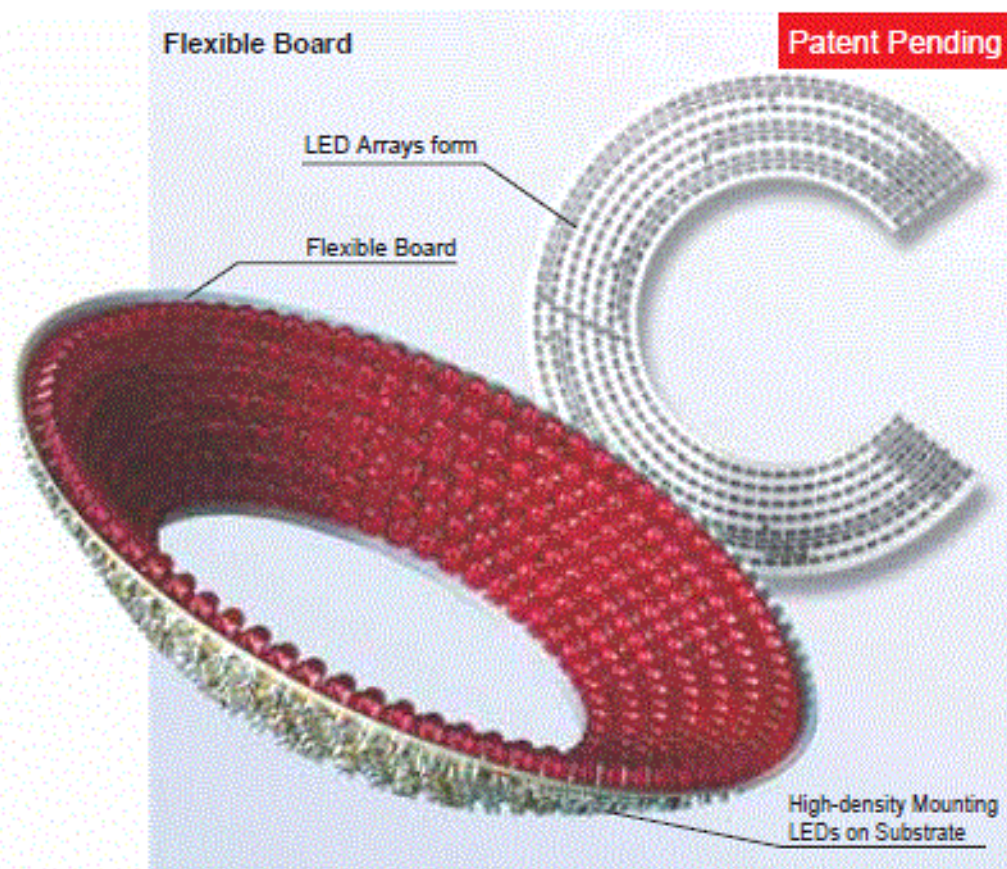
Compared to coaxial lights and dome lights, the flat-dome lights have achieved lightweight and compact design. The flat-dome lights are designed to require thickness of only 10 mm.

Ringbeleuchtung



Flexible Circuit Boards

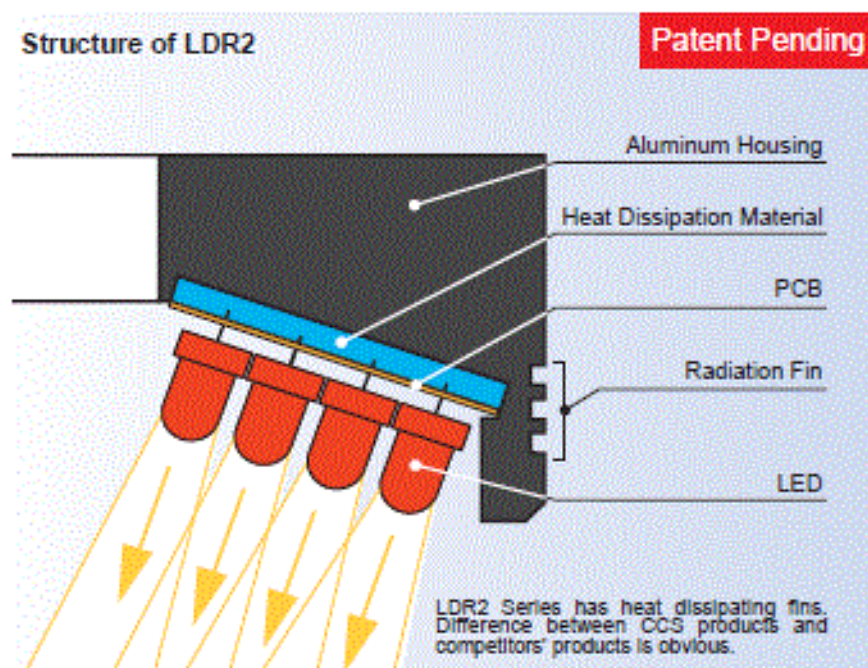
CCS has established a manufacturing method using flexible circuit boards. Using a flexible board makes it possible to improve product quality and increase manufacturing speed.



Using a flexible board makes it possible to adjust the outer diameter, inner diameter, illumination angle, and other characteristics to create an illumination system that is ideal for the object being illuminated.

Significantly Suppressing the Temperature Rise of LEDs

The LDR2 Series uses a special heat dissipating casing to prevent heat from building up in the LEDs and increase the life expectancy.

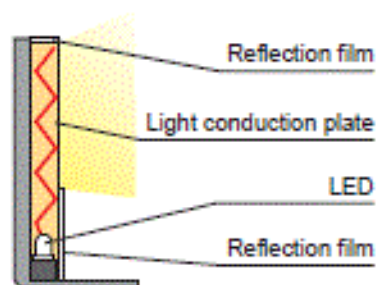
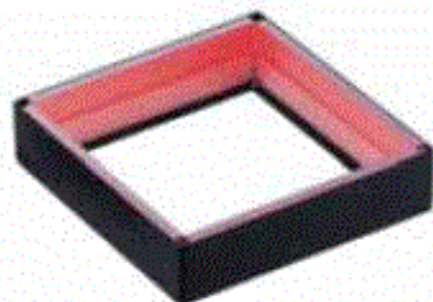


With conventional construction, LED lights were not able to efficiently dissipate heat due to the gap between the PCB and aluminum housing. By employing a special heat dissipating material between the PCB and the housing in the new CCS construction, heat generated from the LEDs can be more effectively conducted into the housing. This new design suppresses the temperature rise of the LEDs, providing stable images for a long period of time. (Refer to page 73.)

Diffused Lighting from Four Sides of the Square Case

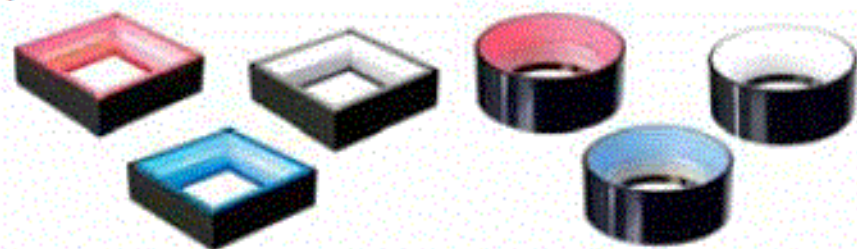
To capture the image of rectangular workpiece uniformly such as a BGA or QFP, the four corners of the workpiece would be too close to the lighting if a round array is used. For this type of application, the rectangular FPQ Series is ideal.

Example of image using FPQ



Selectable lighting colors for optimal images

White, blue, and green colors are supported along with red. By selecting the illumination color to match the material and color of the work, a higher level of detection precision is possible.



Even diffuse light enables optimal imaging.

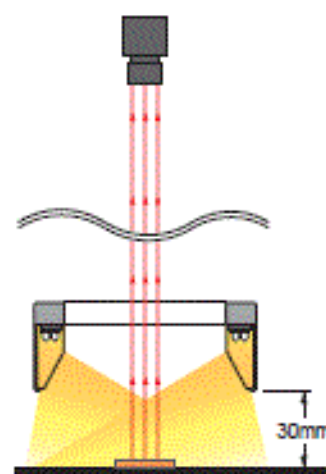
The image will vary depending on the distance between the workpiece and the light (light-workpiece distance = LWD) even when the light is the same.

It is key to successful image processing to find the best illumination according to the surface state and the content of inspection.

Inspection of engraved letters on metal surface

(Lighting: FPR-136)

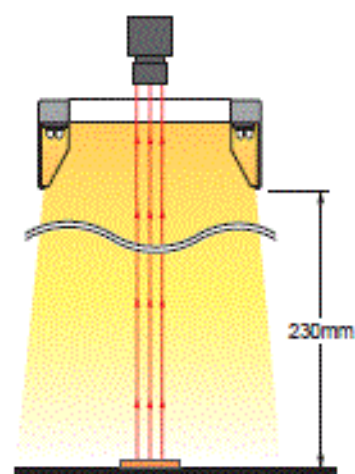
Imaging with LWD 30mm



Illumination from a low angle highlights the engraved letters white.



Imaging with LWD 230mm

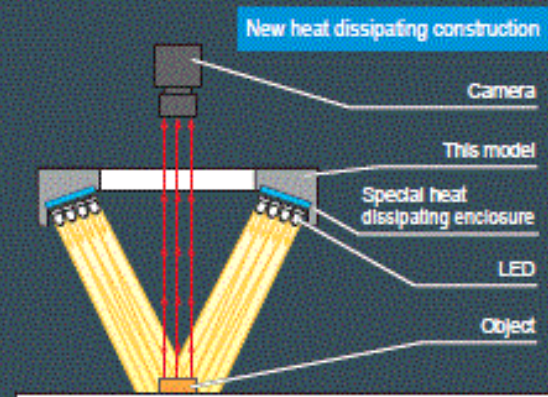


With diffuse light illuminated from LWD 230mm, the entire area is imaged in bright field.



Illumination Structure of LDR2-90

The flexible board is formed to the desired shape and a high-density LED array placed on the substrate. The light is concentrated at the center of the illumination system.

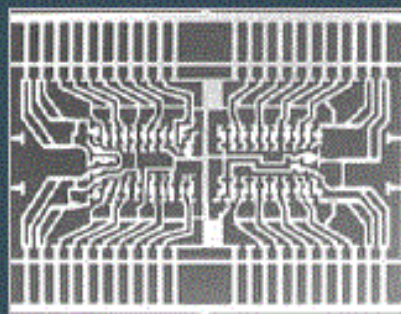


Examples of Ring Illumination Images

Lead Frame Inspection

The whole frame is illuminated from above using an LDR2 Series.

Standard Illumination



By decreasing the working distance of the illuminator, the silver plated sections of the lead frame become much more clear.

Using an LDR2 Series

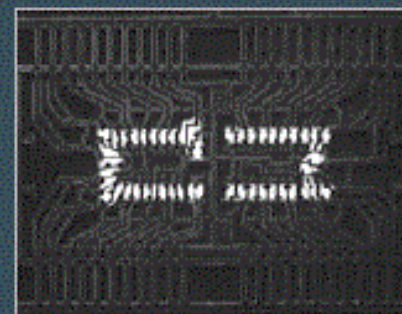


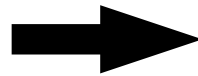
Image comparisons utilizing a polarizer

LED glare in the top half of the image distorts the image.

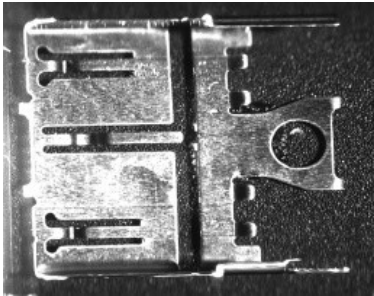
Using a polarizing plate and filter can eliminate this glare, as shown in the bottom half of the image.



Dunkelfeld

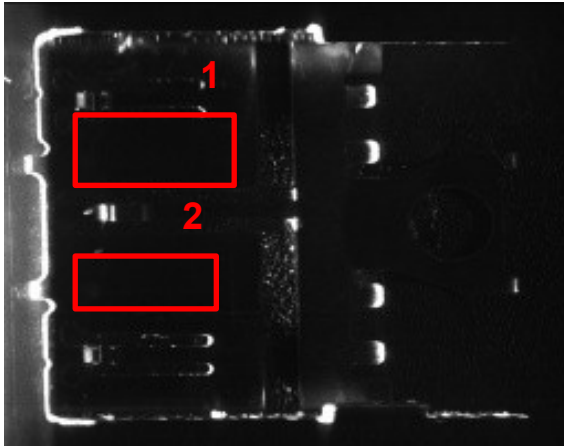


Beispiel: Detektion von Verschmutzungen



Hellfeld: ungeeignet !

verschmutzt sauber

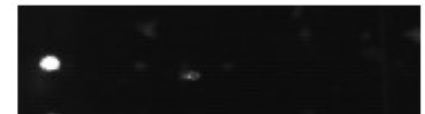
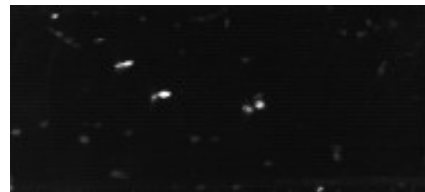
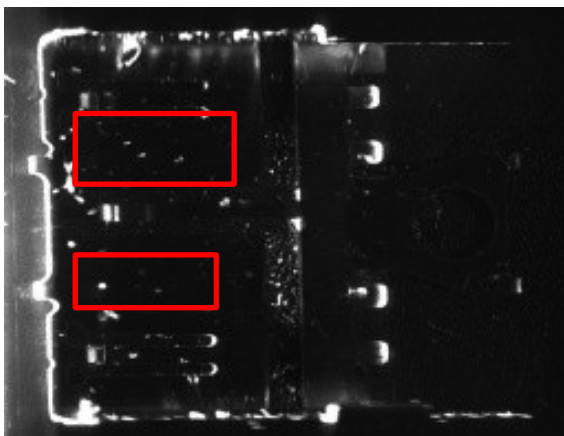


Dunkelfeld

ROI 1

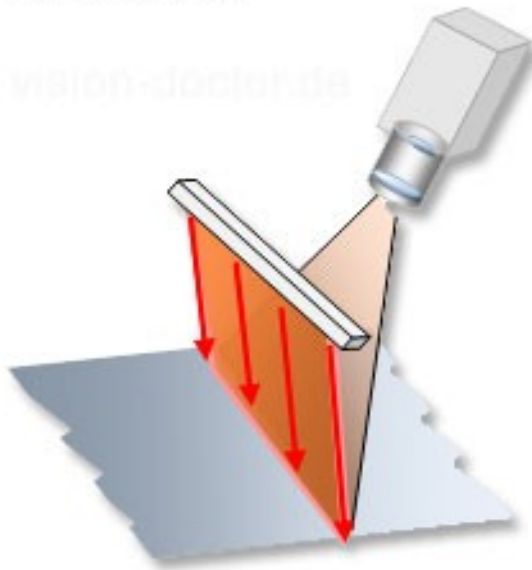


ROI 2



Auflicht-Beleuchtung
für Zeilenkamera

© vision-doctor.de

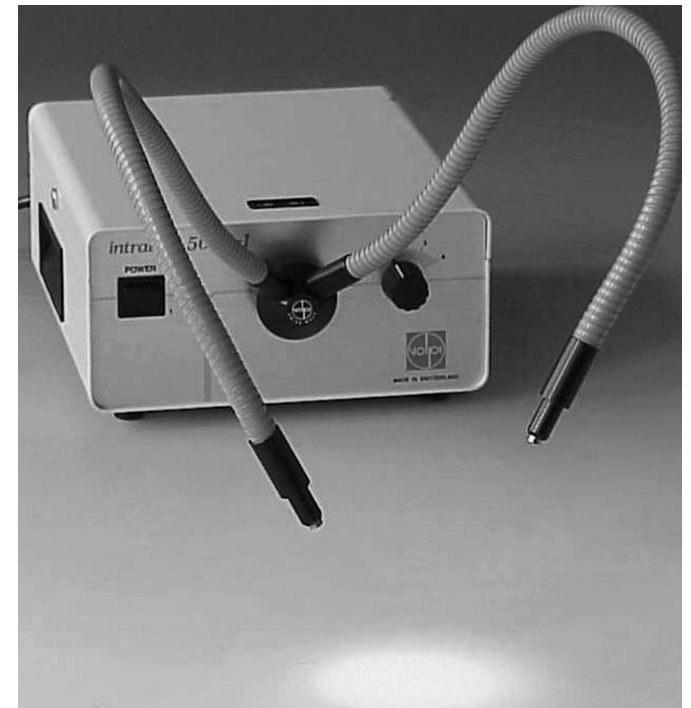
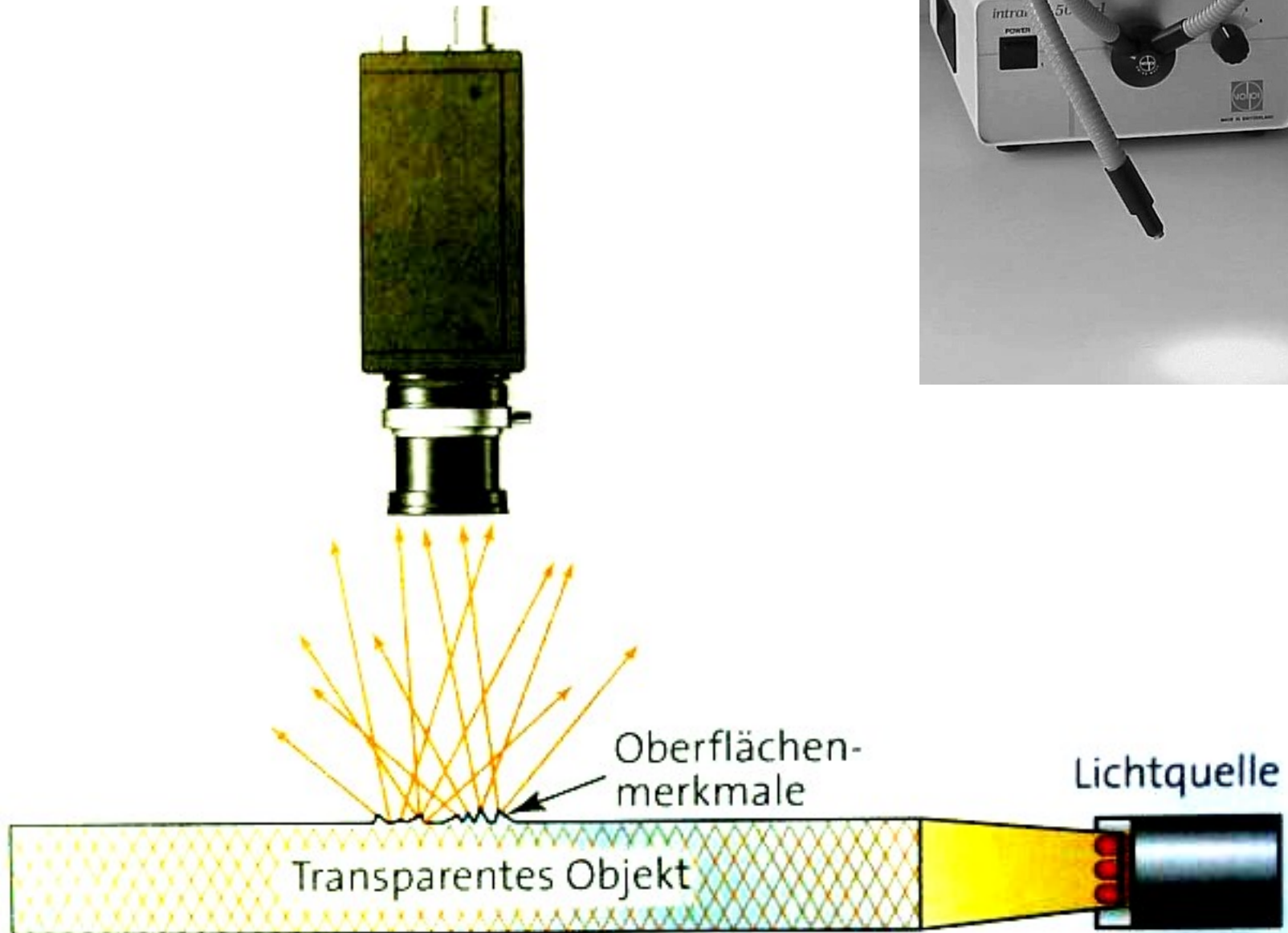


Dunkelfeld-Beleuchtung
für Zeilenkamera

© vision-doctor.de



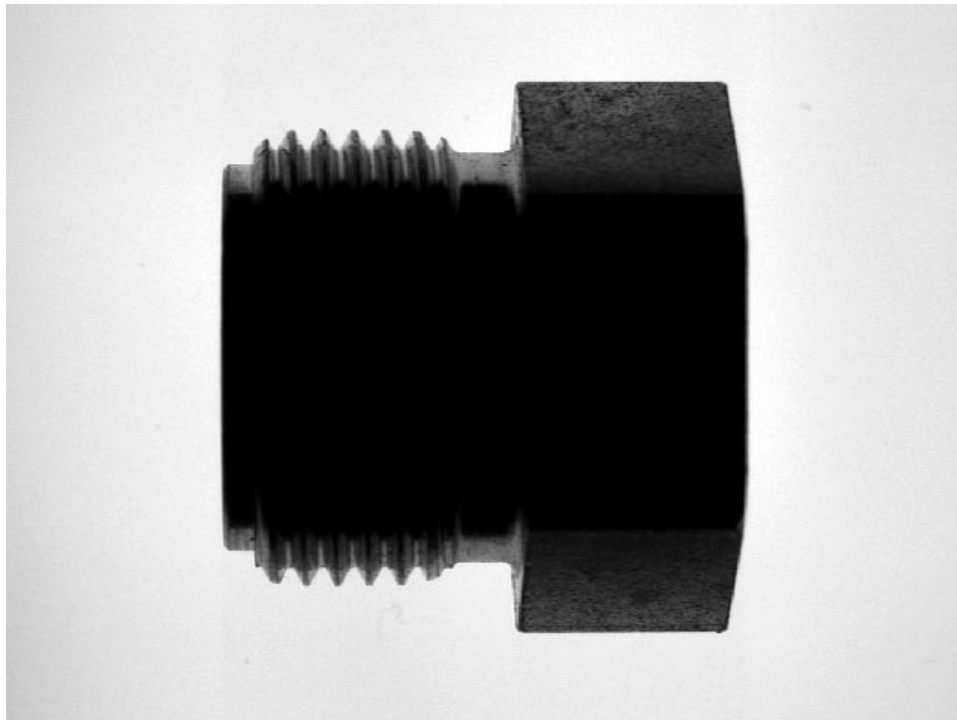
Dunkelfeld: Spezial



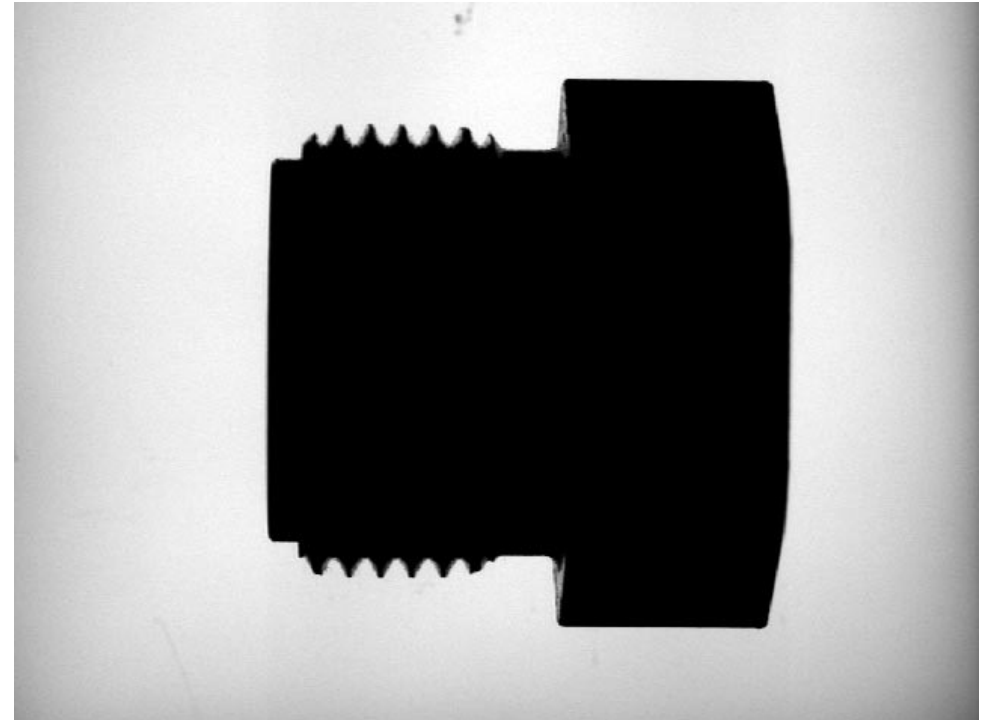
Telezentrische Beleuchtung

1% Falschausrichtung der Achsen von Beleuchtung und Abbildung noch OK

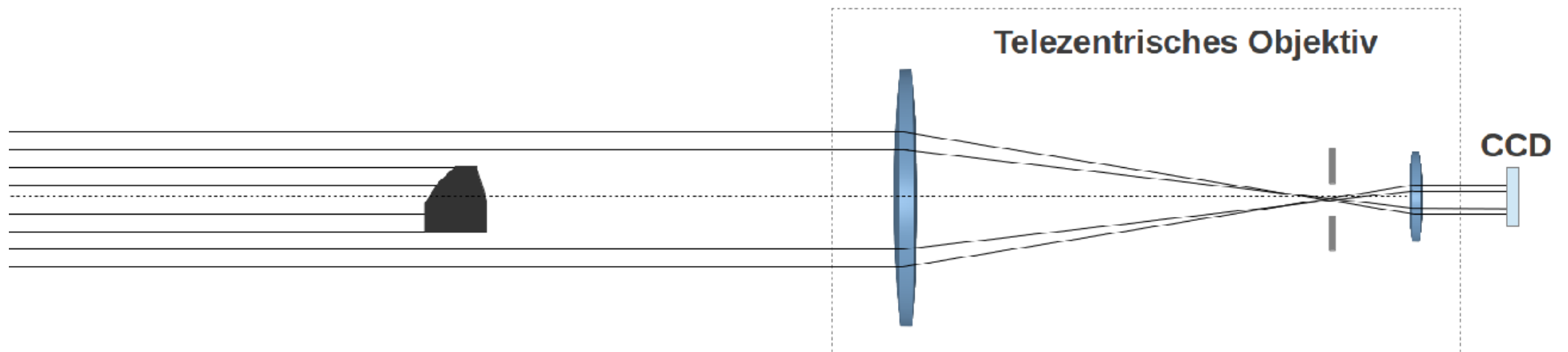
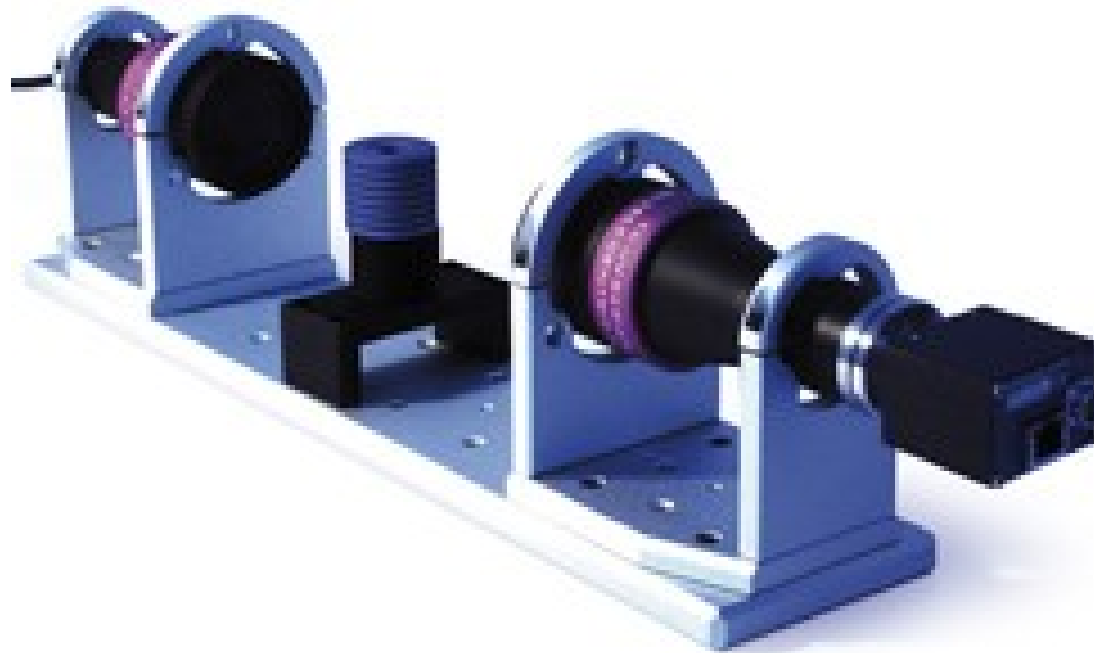
Objekt gekippt → natürlich trotzdem Fehlmessung in Durchlicht (trivial aber wichtig)



Direkt aufgelegt



Weit entfernt



Problem Fremdlicht

Variable Beleuchtung → Schlecht !

Möglichkeiten:

Fremdlicht abschirmen

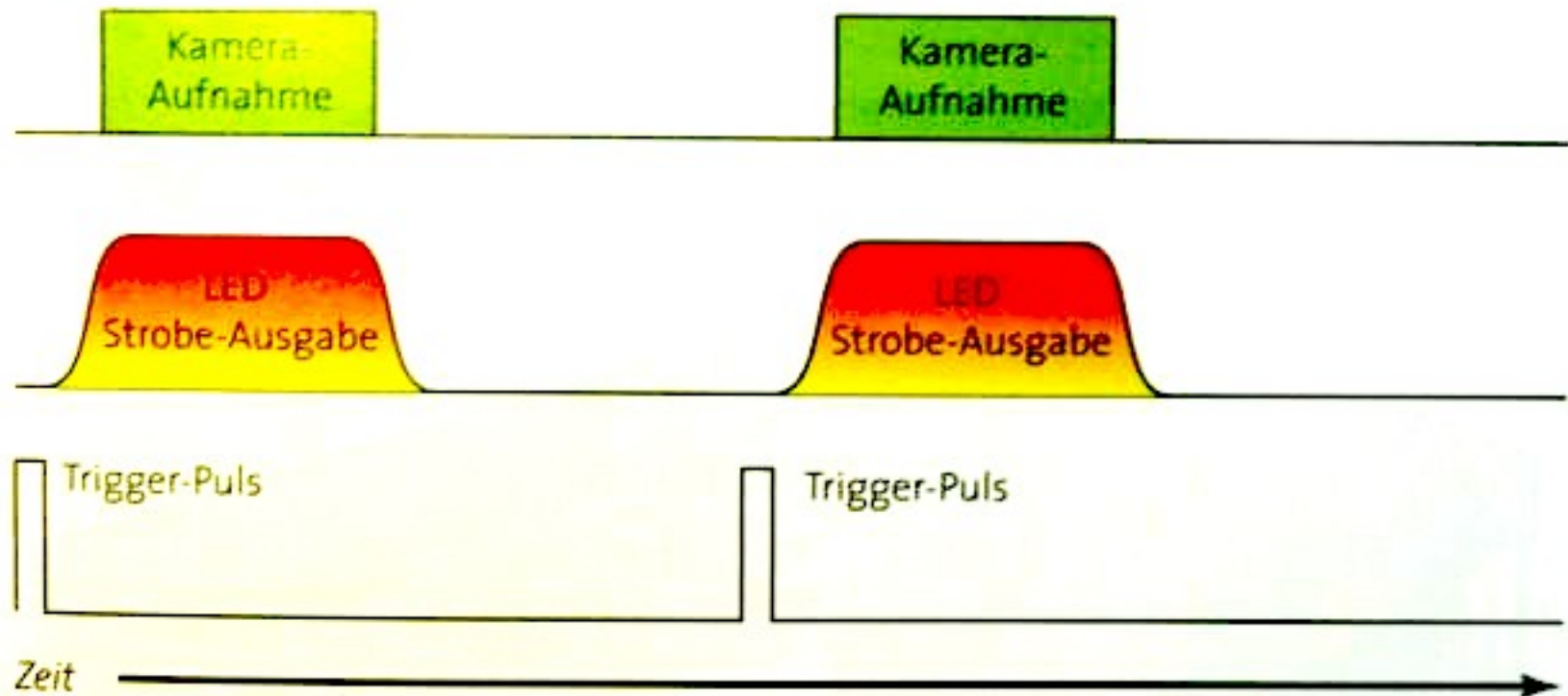
Mehr Hauptlicht

Gepulste Beleuchtung

Spektralbereich

**Geblitzt → kein Rolling Shutter verwenden !
(progressive Scan nehmen)**

Stärke Blitzlicht >> Stärke Umgebungslicht

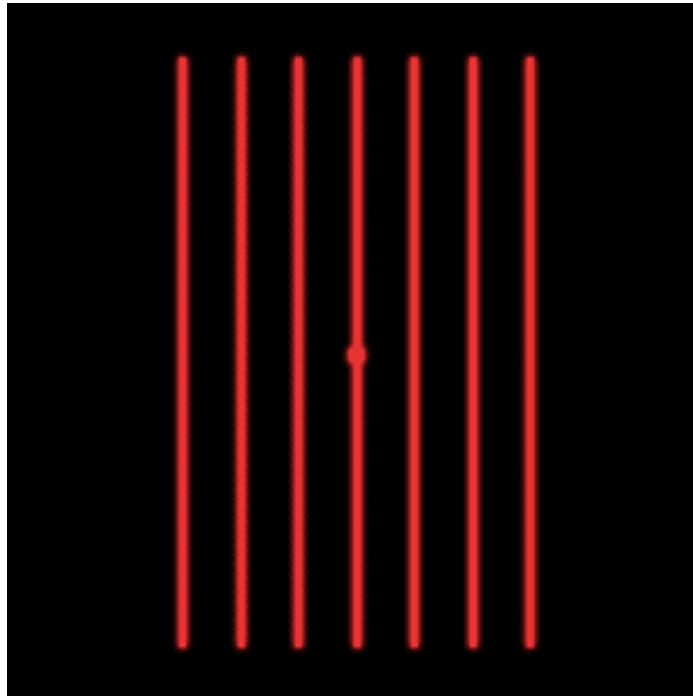


Beleuchtung mit kohärentem Licht (Laser):

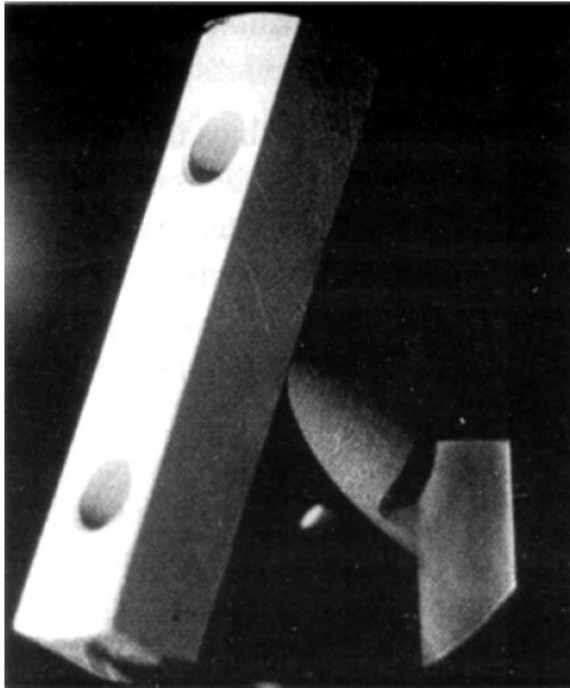
**Monochromatisch → perfekte Abschirmung
von Fremdlicht**

Perfekte Fokussierbarkeit

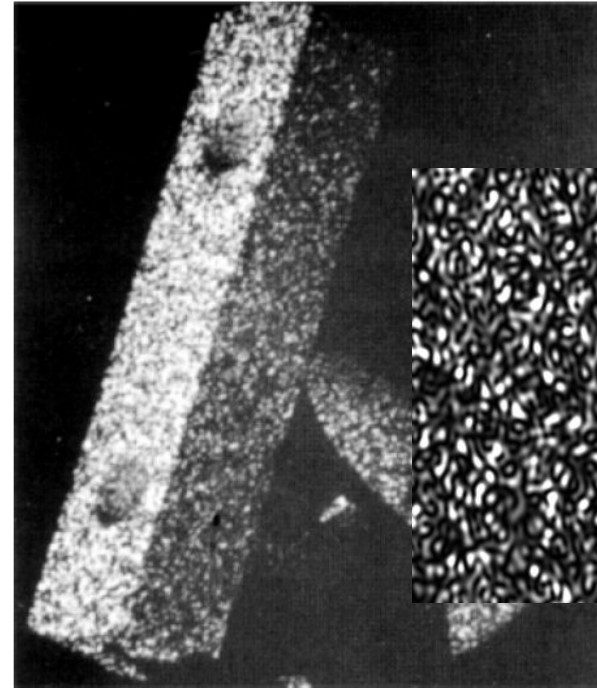
Perfekte Lichteffizienz



Kohärente Beleuchtung



Blendenzahl: $k=22$



Blendenzahl: $k=64$

Speckles



Inkohärent



Kohärent

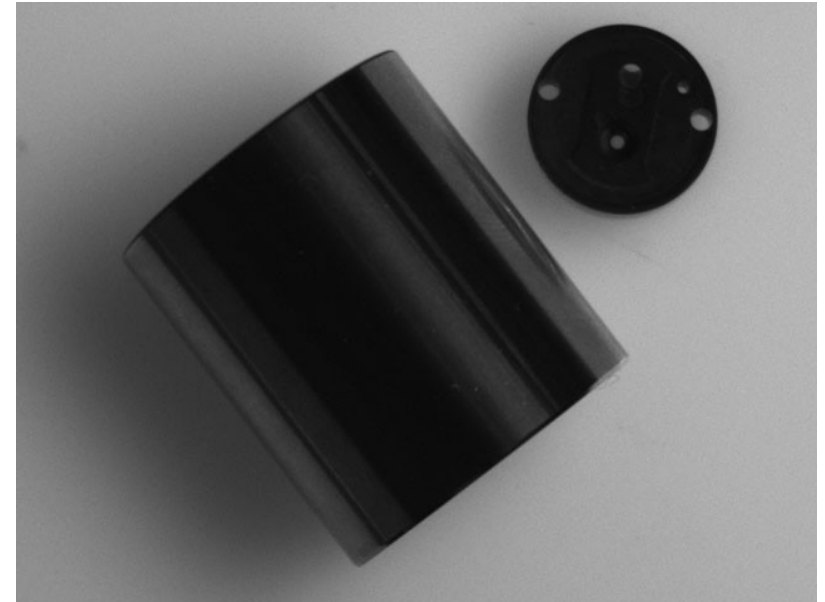
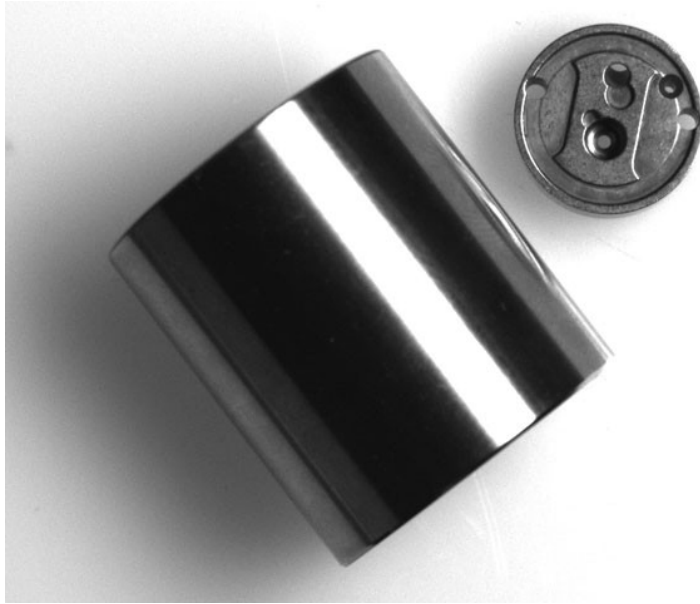
**+ effizient
+ komplexe
Lichtvert.
+ Kohärenz**

Abbildung einer Kante



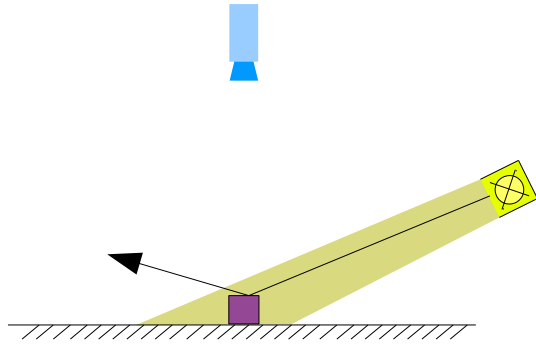
Polarisation

Vermeidung von ungewollten Reflexionen



Lastenheft:

- **Fremdlicht:**
 - **Stärke**
 - **zeitliche Variation (kurzzeit, langzeit)**
 - **spektrale Zusammensetzung**
- **Objekt: Reflektivität/Albedo**
- **Szene: auszuleuchtendes Gebiet**
- **Taktraten / Zuführungsgeschwindigkeiten**
- **Wärmeentwicklung (Objekt & Umgebung)**
- **Maximale Leistung**
- **EMV**
- **Explosionsschutz**
- **MTBF, Reparaturzeit**



Beleuchtungsgeometrien



Photometrie / Radiometrie



Lichtquellen

Optische Grundgesetze

Wo liegt der Bildpunkt ?

Paraxiale Optik
(Kollineation)

Wie sieht der Bildpunkt aus ?

Beugung
Aberration

Wie hell ist der Bildpunkt ?

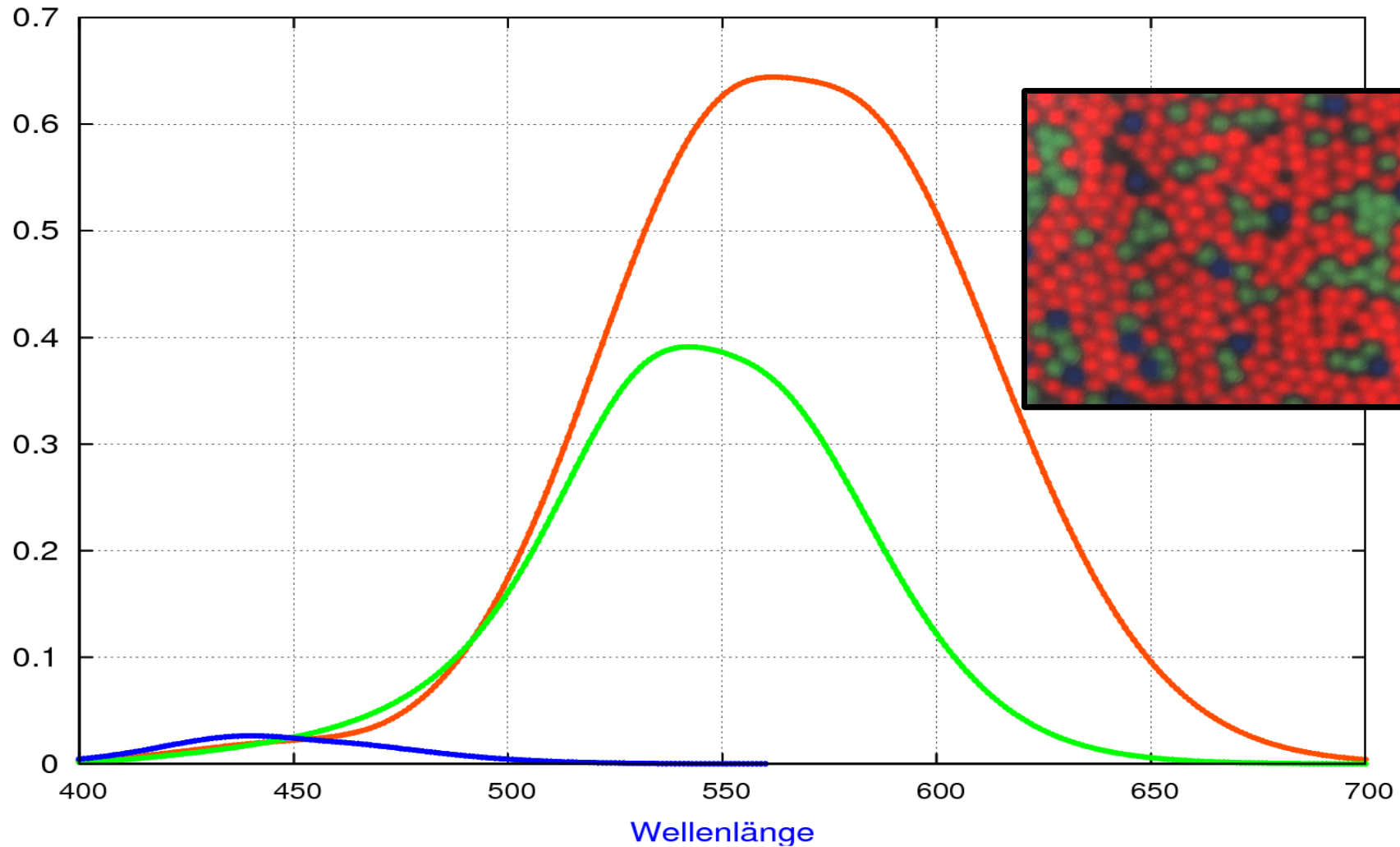
Photometrie
Radiometrie

Was heisst hier „hell“ ?



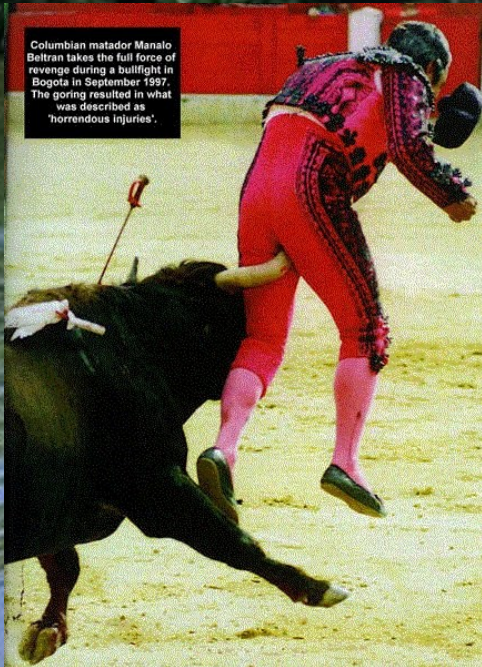
- „Hell“ für das menschliche Auge → „Fotometrie“
- „Hell“ so objektiv wie möglich → „Radiometrie“

Empfindlichkeit Auge: Farbe



Beachte: Eindruck erst nach Prozessierung durch Gehirn

**z.B. - korrekte Farbschätzung bei unterschiedlicher Beleuchtung
- Optische Farbtäuschung**

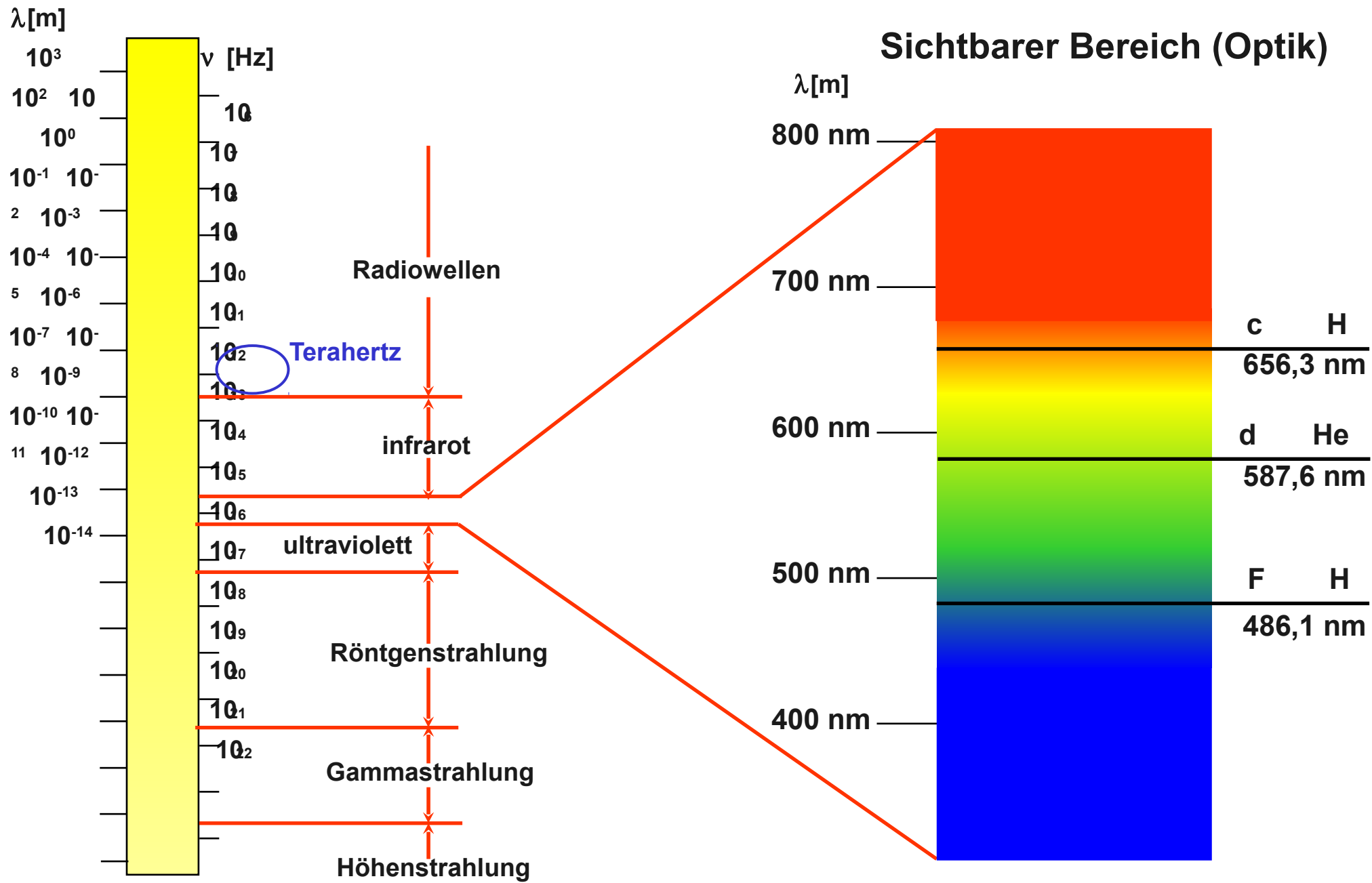


Wann nehme ich was ?

- „Empfänger“ = Mensch → Fotometrische Größen
(Empfindlichkeit Auge schon eingerechnet)
- „Empfänger“ = technisches System
(z.B. Kamera) →
 1. Radiometrische Größen
 2. Empfindlichkeit des Empfängers am Schluss einrechnen

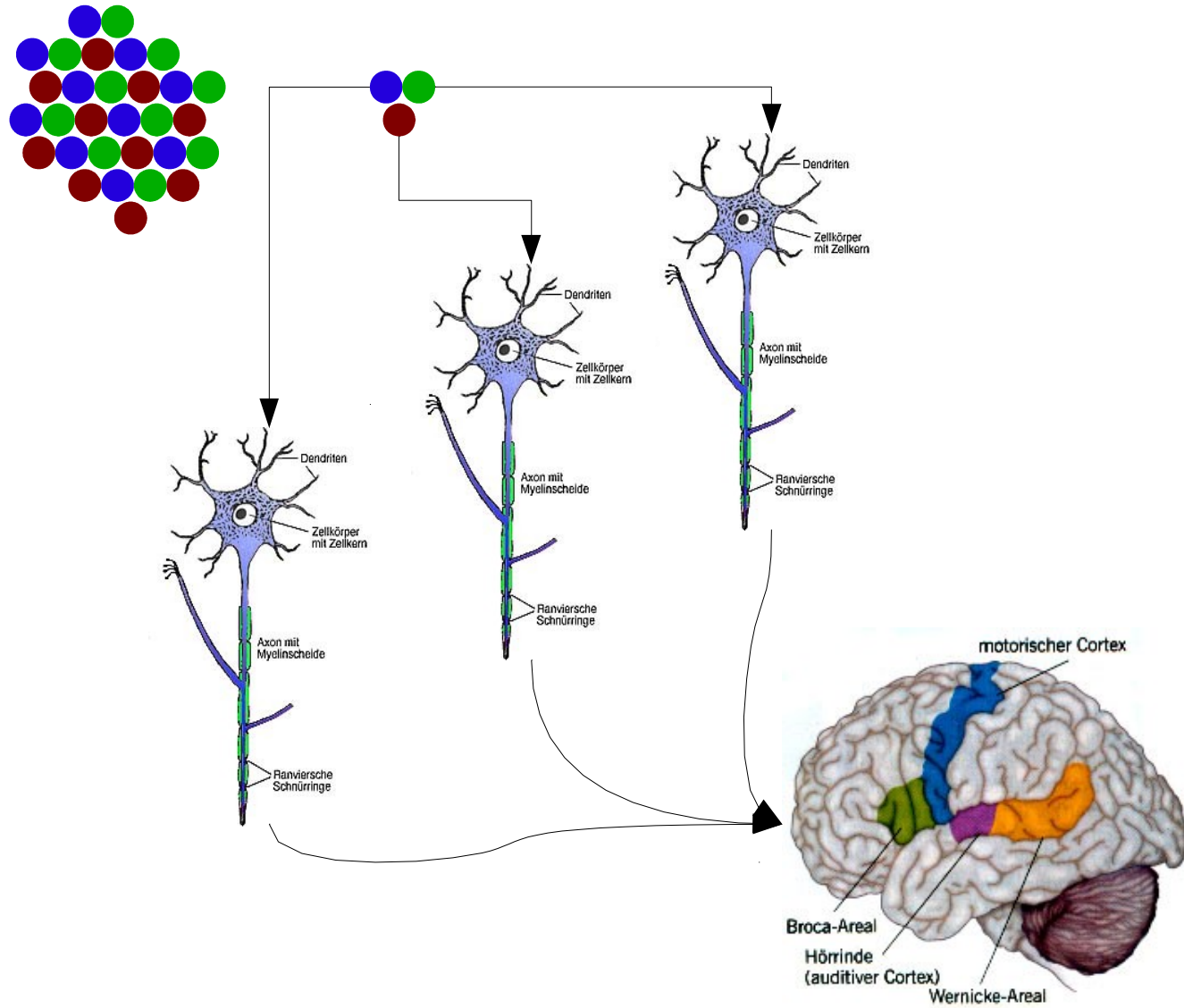


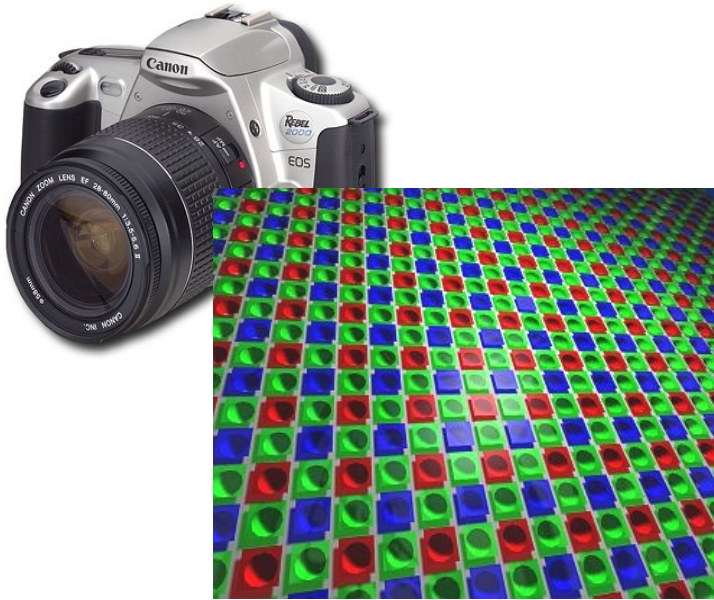
Spektrum elektromagnetischer Wellen



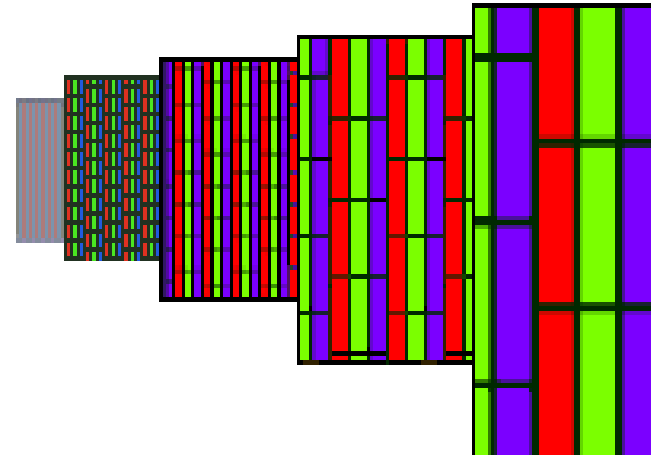
Farbwahrnehmung (Einfachmodell)

(Digitalkamera, Auge)

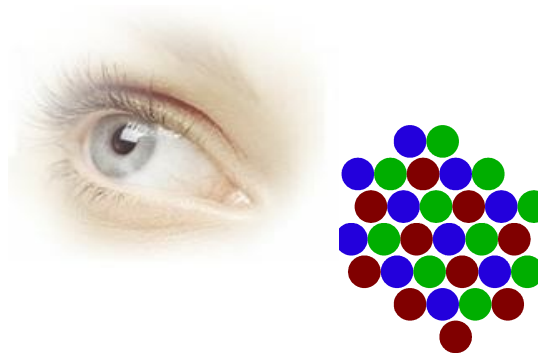




Bayer Maske



TV / Monitor



Auge



Zwischenstop

- **Licht = elektromagnetische Welle**
- **Farbe = Wellenlänge der Welle**
- **Menschliches Auge hat drei (RGB) Farbdetektortypen**
- **Farbe = Sinneseindruck**
- **Materialien „haben eine Farbe“ indem sie bestimmte Wellenlängen absorbieren**

$$E = h \nu$$

$$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

Beispiel:

Eine starke blaue LED ($\lambda = 480 \text{ nm}$) emittiert eine optische Leistung von 500 mW.

Pro Sekunde wird demnach eine Energie von 500 mJ emittiert.

Die Energie eines einzelnen blauen Photons beträgt: ???

Damit werden insgesamt ??? = Photonen pro Sekunden emittiert.

fotometrische Größe = $K(\lambda)$ · radiometrische Größe

Tagsehen: $K(\lambda) = K_m \cdot V(\lambda)$ mit $K_m = 683 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$

Nachtsehen: $K'(\lambda) = K'_m \cdot V'(\lambda)$ mit $K'_m = 1699 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$

Aufgabe:

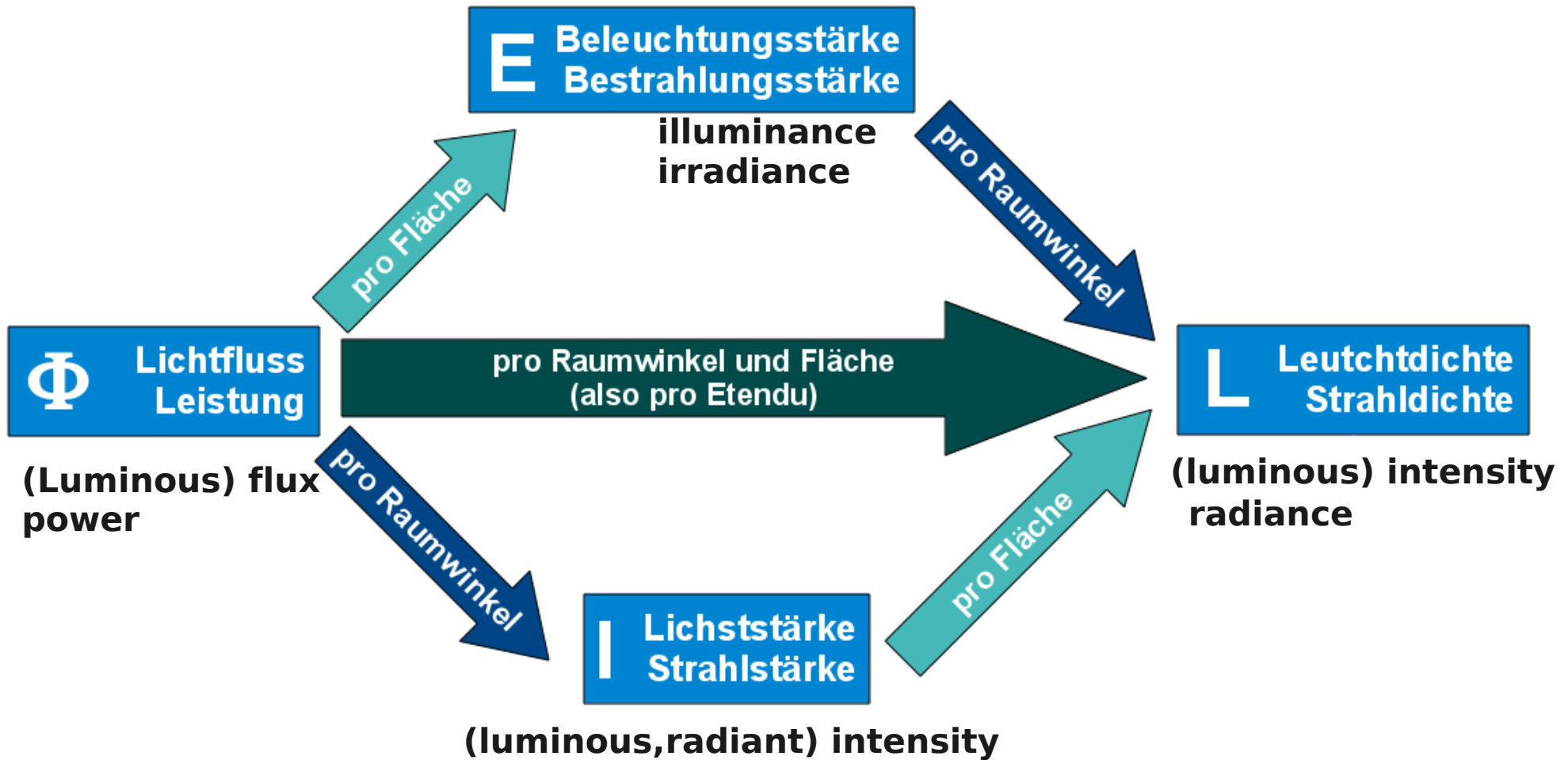
Ein LCD Projektor von Typ Sanyo PLV-30 hat einen Lichtfluss von 550 lm.

a.) Wieviel Watt Strahlungsleistung würde er emittieren, wenn er lediglich bei $\lambda = 550 \text{ nm}$ abstrahlt ?

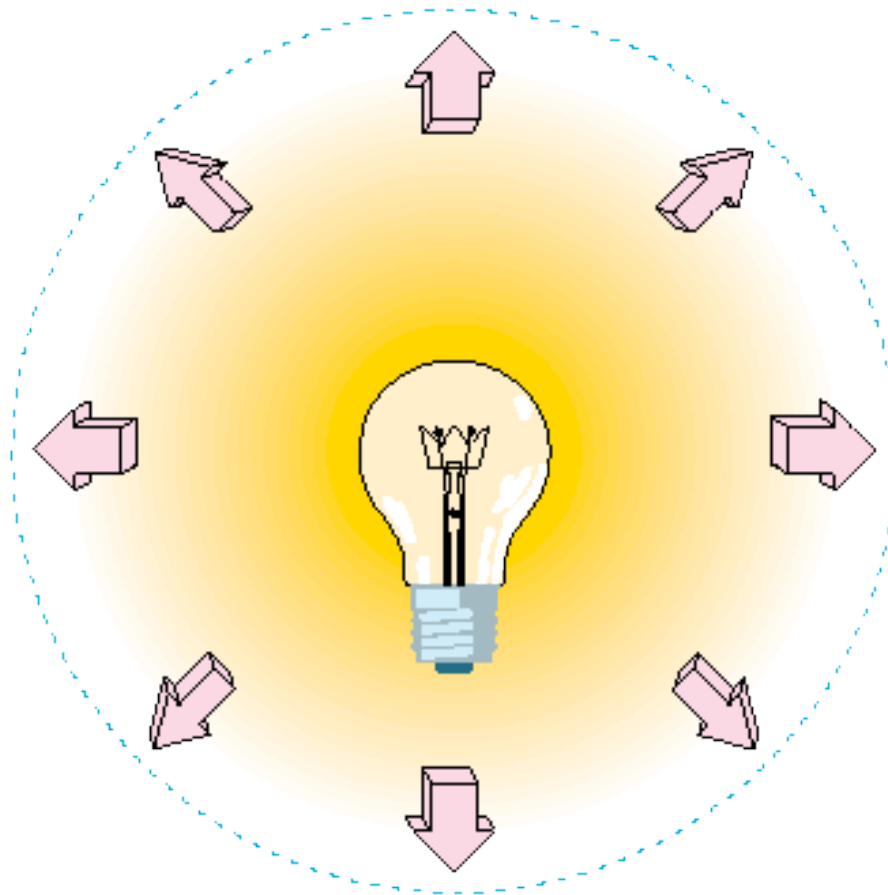
b.) Vergleichen Sie mit einer Wellenlänge von $\lambda_2 = 440 \text{ nm}$. ($V(440 \text{ nm}) = 0.023$)

c.) Das Objektiv des Projektors sei ein „3-Linse“. Berechnen Sie den Lichtverlust, der sich durch das Objektiv ergibt wenn unbeschichtete Linsen verwendet werden. (Hinweis: Reflexionsverlust an einer unbeschichteten Glas-Luft Grenze ca. 4%).





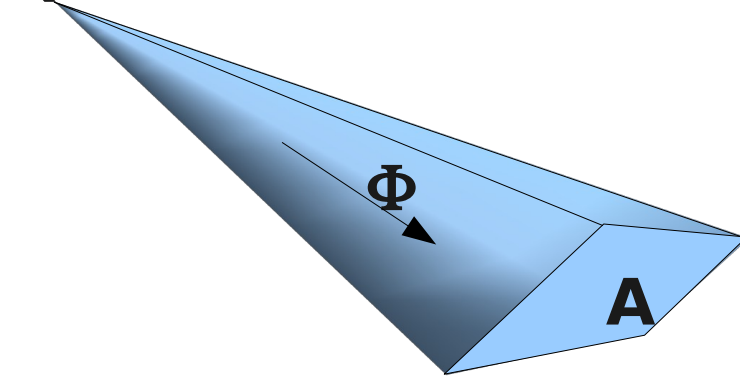
Strahlungsfluss (W) bzw. *Lichtfluss (lm)*



© 1996 Alex Ryer, International Light Inc. May be reproduced without permission.

Bestrahlungsstärke (W/m^2) bzw. **Beleuchtungsstärke** ($\text{lm/m}^2 = \text{lux}$)

Quelle



$$E = \Phi / A$$

$$E_e = \frac{d\Phi_e}{dA_E}$$

Aufgabe:

Auf ihre 2/3 Zoll CCD (8.8 x 6.6 mm) fällt ein Lichtfluss von 0.001 lumen.

a) Berechnen Sie die Beleuchtungsstärke in Lux.

**b) Berechnen Sie die Bestrahlungsstärke für $\lambda = 600 \text{ nm}$
 $V(600) = 0.63$**

ausgewählte Beleuchtungsstärken

1	Lux	gerade noch erkennbar
10^5	Lux	helle Sonne auf weißem Papier
50-100	Lux	für grobe Arbeiten
100-300	Lux	für feine Arbeiten
1000	Lux	für feinste Arbeiten
min. 100	Lux	für Leinwandprojektion

Aufgabe:

Empfindlichkeit CCD

Dalsa Piranha

1024 x 1024,
8/10 Bit, 50 dB
QE = 50%
Responsivity: 30 DN/ (nJ/cm²)

0.01 s Belichtung

**Wieviele Photonen brauche ich pro Pixel für
GW 255 ?**

Wie wird das Signal-Rausch-Verhältnis sein ?

Beleuchtung
Fotometrie/Radiometrie

Bildsensoren
Objektive

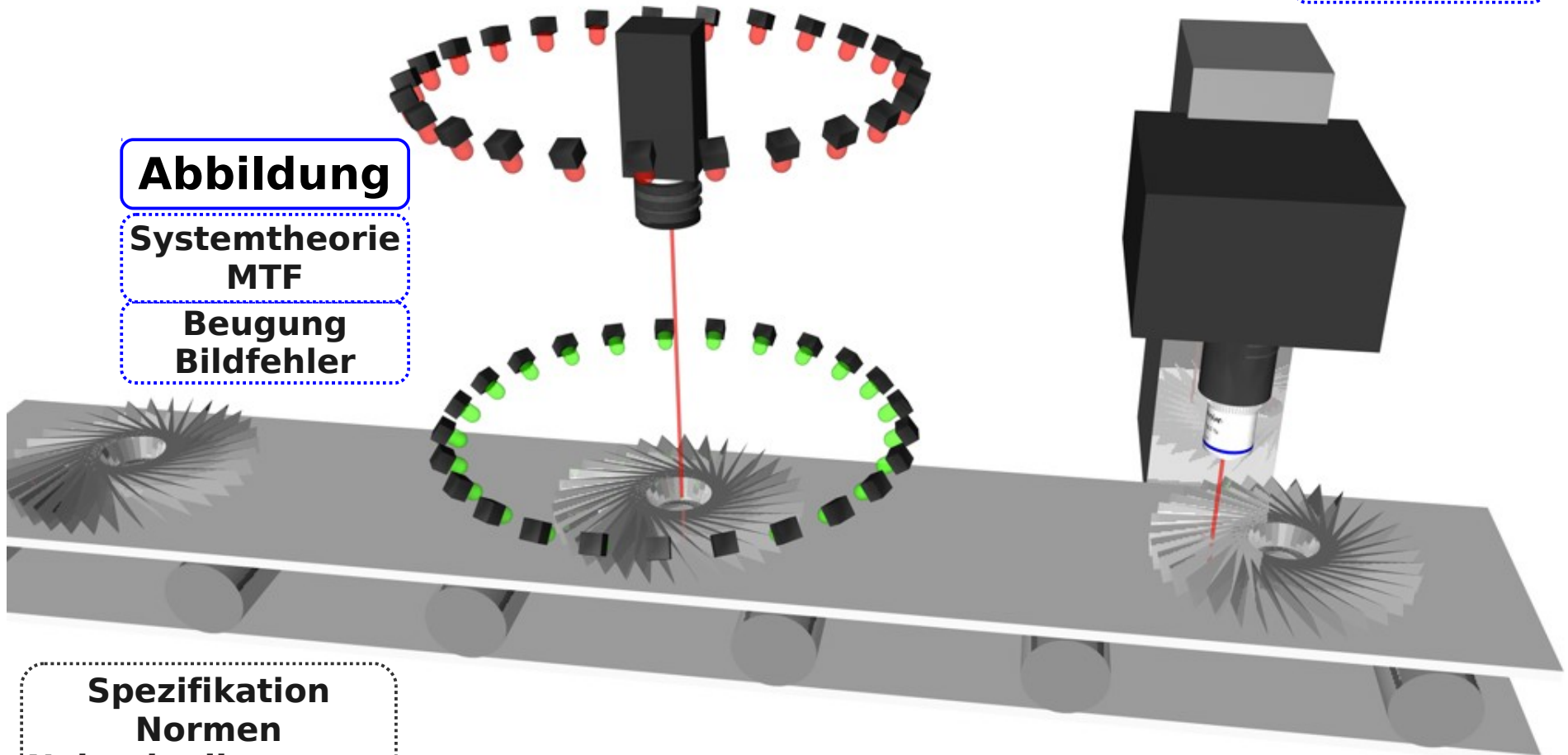
3D Erfassung

Abbildung

Systemtheorie
MTF

Beugung
Bildfehler

Spezifikation
Normen
Nebenbedingungen



Zusammenfassung

Unterschieden wird zwischen radiometrischen und photometrischen Größen

Tagsehen: $K(\lambda) = K_m \cdot V(\lambda)$ mit $K_m = 683 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$

$$E = \Phi / A$$

$$e_p = h \nu$$

Aufgabe:

Empfindlichkeit CCD

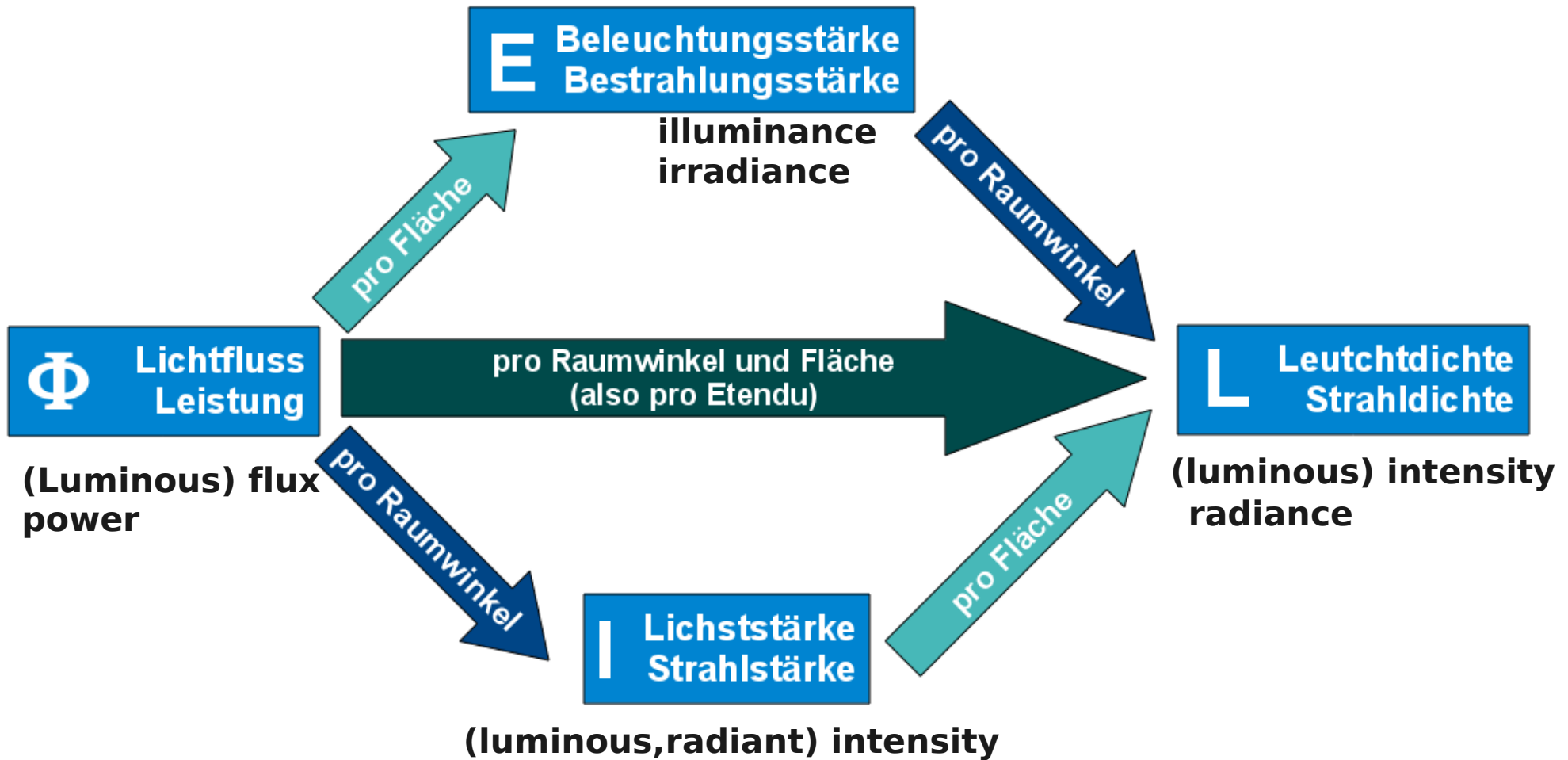
Dalsa Piranha

1024 x 1024,
8/10 Bit, 50 dB
QE = 50%
Responsivity: 30 DN/ (nJ/cm²)

0.01 s Belichtung

**Wieviele Photonen brauche ich pro Pixel für
GW 255 ?**

Wie wird das Signal-Rausch-Verhältnis sein ?



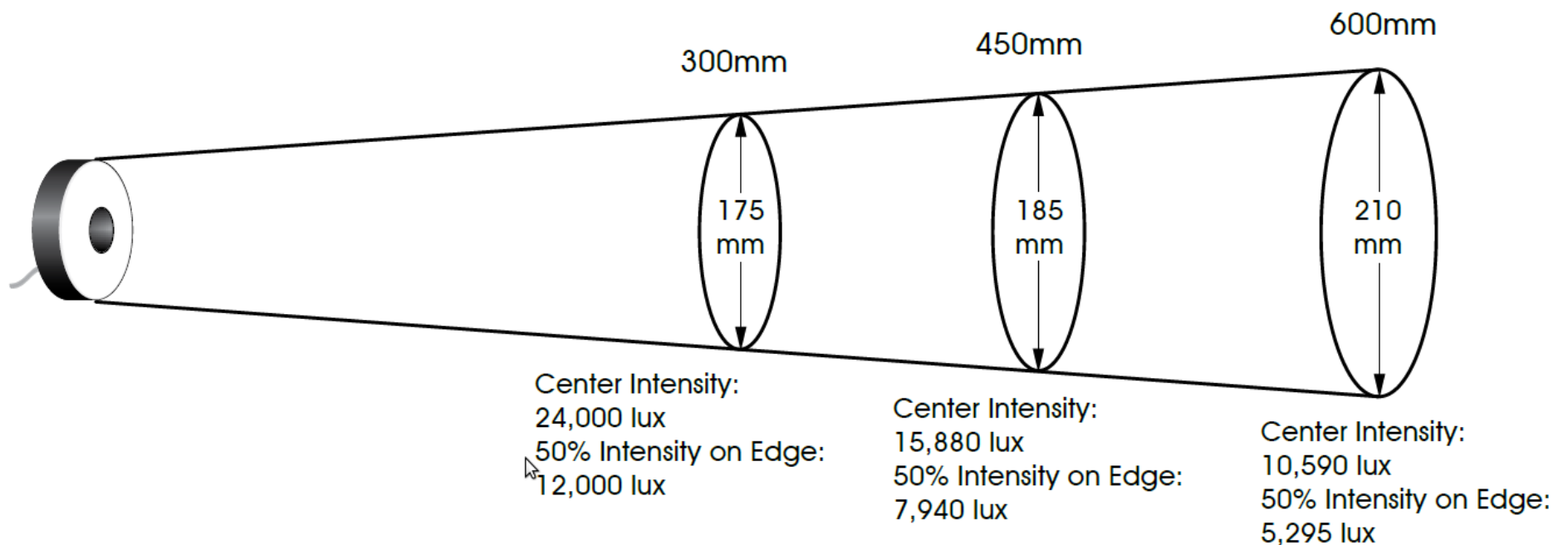
RL113

High Brightness LED Bright Field Ring Light

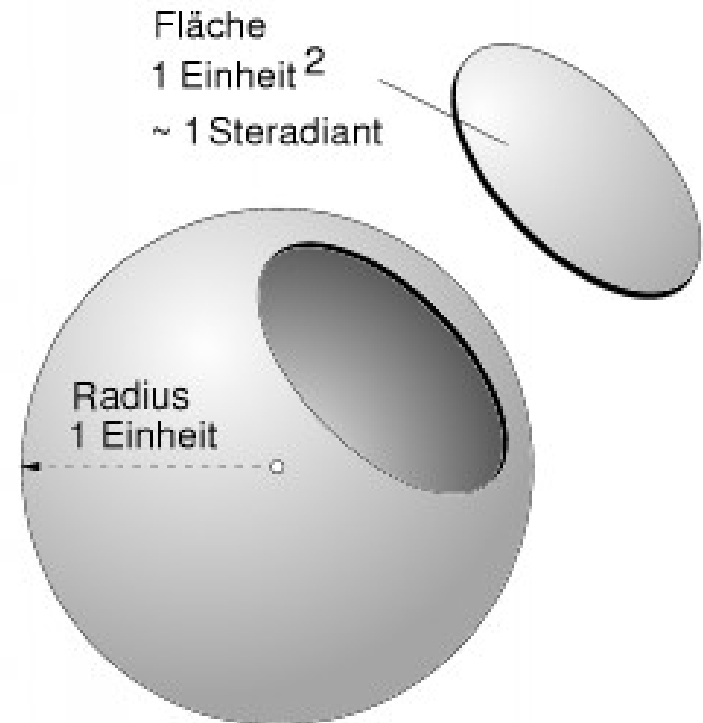
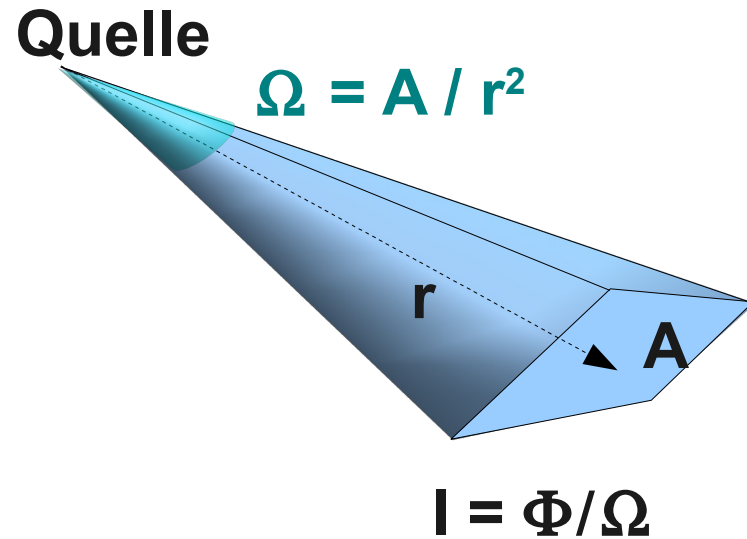
-  24,000 lux from 12"
-  High intensity from a long working distance
-  IP65 compliant design



Additional Information



Strahlstärke (W/sr) bzw. Lichtstärke (lm/sr = cd)



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

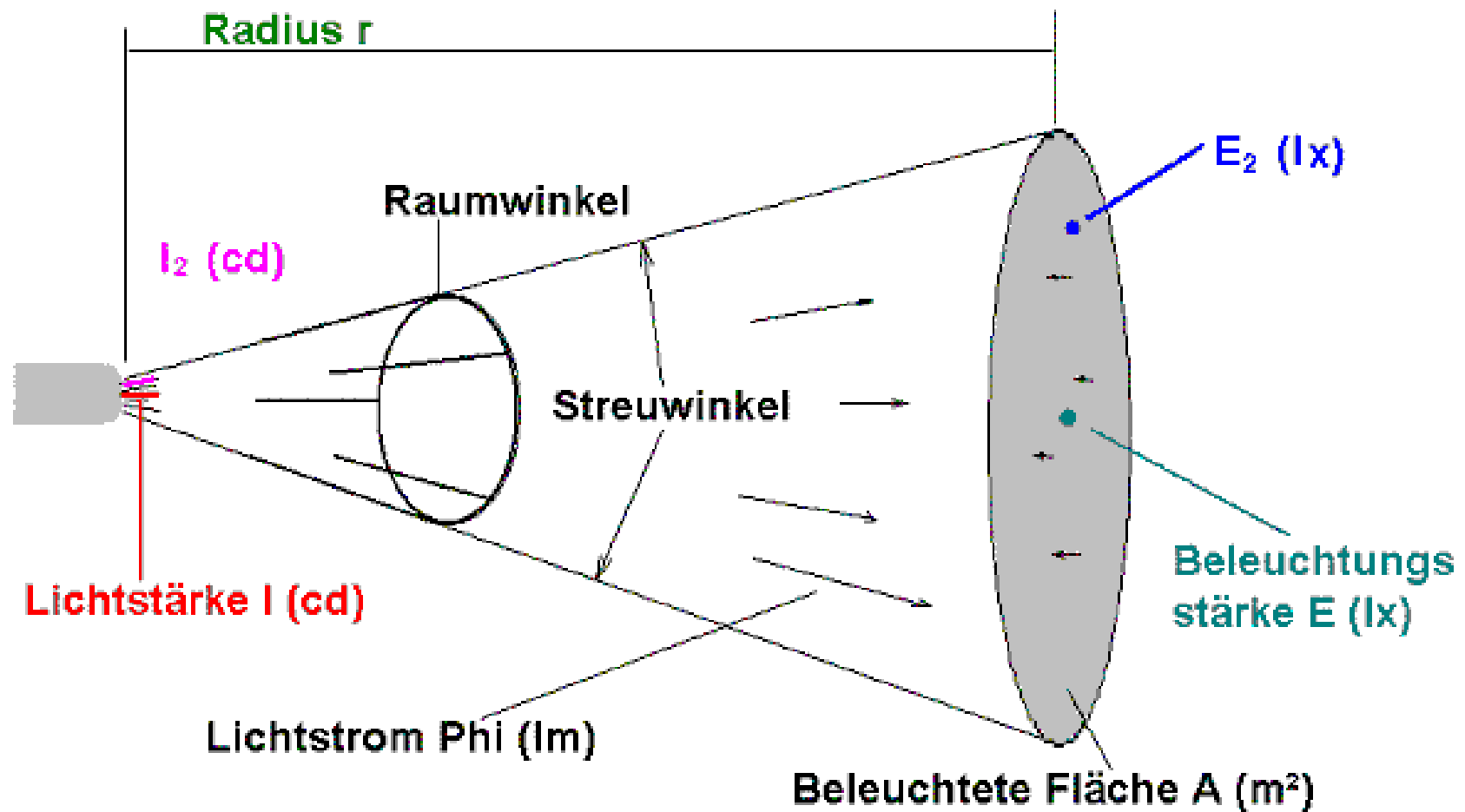
$$\Omega = 2\pi [1 - \cos(\alpha / 2)]$$

$$= \pi \sin^2(\alpha / 2)$$

Aufgabe:

**Ihre Lichtquelle hat eine Lichtstärke von 100 cd
Und beleuchtet ein Objekt im Abstand von 1 m.**

**Berechnen Sie die Beleuchtungsstärke auf dem
Objekt.**



Strahldichte [W/(m²sr)] bzw. Leuchtdichte (cd/m²)

- **Strahldichte L_e** : abgestrahlte Leistung pro Raumwinkel- und Flächeneinheit [W/(sr·m²)]

L_e bekannt: Strahlstärke I_e

$$I_e = \int_{\text{Strahlerfläche}} L_e dA = \int_{\text{Strahlerfläche}} L_e \cos \varepsilon dA_s \quad (9.16)$$

↳ **Strahlungsfluß in Raumwinkel Ω :**

$$\Phi_e = \int_{\text{Raumwinkel}} I_e d\Omega = \iint_{\substack{\text{Raumwinkel} \\ \text{Strahlerfläche}}} L_e \cos \varepsilon dA_s d\Omega \quad (9.17)$$

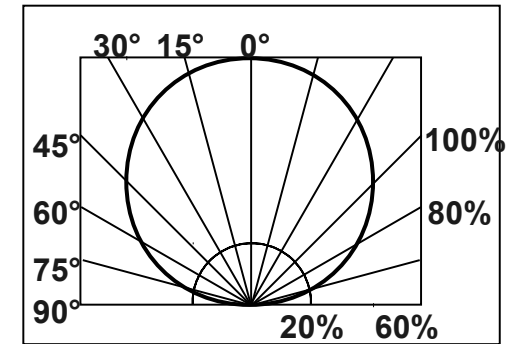
Lambert-Strahler

- Modell für eine ausgedehnte ebene Strahlungsquelle
- die Strahldichte L_e (9.15) des Lambert-Strahlers ist nicht von der Beobachtungsrichtung und vom Ort auf der Strahlerfläche abhängig

$$L_e = L_{e0} = \text{const.}$$

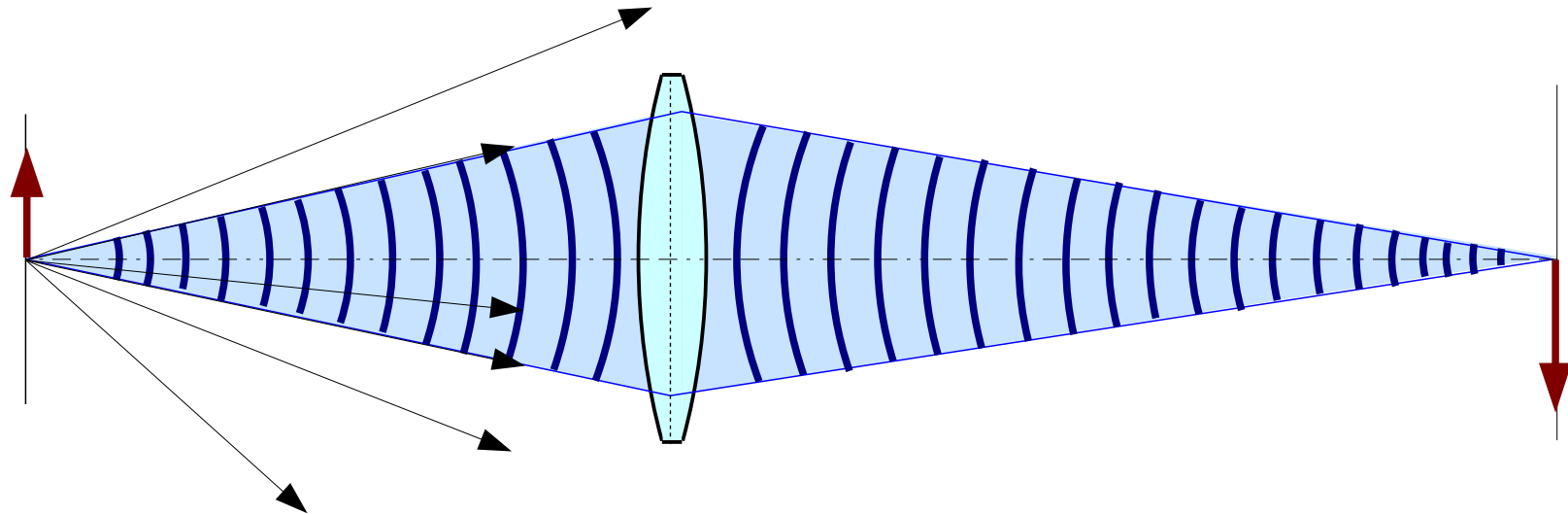
$$E = \pi L$$

$$I = I_0 \cos(\alpha)$$



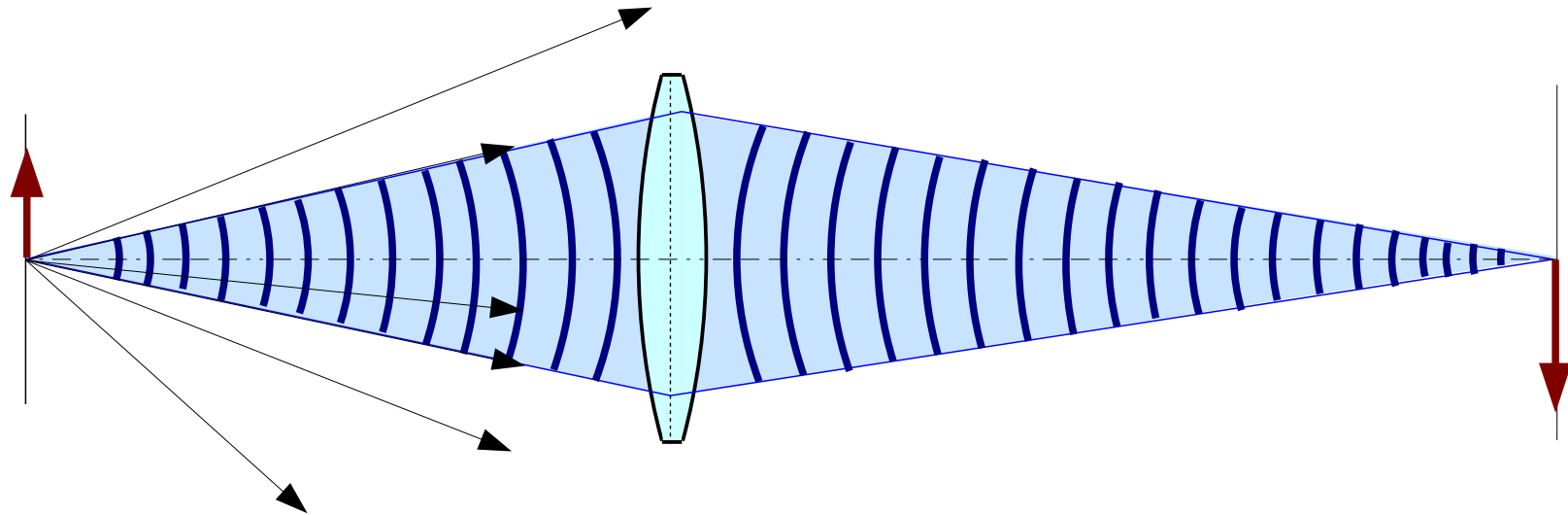
Beleuchtungsstärke bei gegebener Leuchtdichte

$$E_0 = \pi L \sin^2 \alpha' \cos^4(w')$$



Beleuchtungsstärke bei gegebener Leuchtdichte

$$E_0 = \pi L \sin^2 \alpha' \cos^4(w')$$



Beispiel: Das Objekt hat eine Helligkeit (Strahldichte) von $10 \text{ W/m}^2/\text{sr}$.

Mit einer Blendenzahl von 5 bilden Sie das Objekt ab.

Berechnen Sie die Bestrahlungsstärke on-axis auf dem CCD-Chip.

Kameraempfindlichkeit

**Ideal: Angabe einer Energiemenge pro Fläche/Pixel,
 Die zu einem gewissen Grauwert (DN) führt**

Oft (Überwachungskameras):

1 lux @ K=5

Formeln / Zusammenfassung

Radiometrie	Photometrie	Formel	Einheit Radiom.	Einheit Fotom.
Strahlungsfluss	Lichtfluss	Φ	W	lm
Strahlstärke	Lichtstärke	$I = \Phi / \Omega$	W / sr	lm / sr = cd
Strahldichte	Leuchtdichte	$L = I / A_n$	W / (sr m ²)	cd / m ²
Bestrahlungsstärke	Beleuchtungsstärke	$E = \Phi / A$	W / m ²	lm / m ² = lx

Raumwinkel

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

$$\Omega = 2\pi [1 - \cos(\alpha/2)]$$

$$= \pi \sin^2(\alpha/2)$$

$$K_M = 683 \text{ lm / W}$$

$$c = 3.0 \cdot 10^8 \text{ m / s}$$

$$h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

$$E_0 = \pi L \sin^2 \alpha'$$

$$E = E_0 \cos^4 \omega'$$

$$E = h\nu$$

$$c = \lambda\nu$$

$$X = X_e K_M V(\lambda)$$

- Beim Durchgang durch perfektes optisches System ist L konstant.
- Der Lichtleitwert $G = A \Omega$ bleibt in diesem Fall auch konstant.
- Eine diffuse Fläche strahlt gemäß $I = I_0 \cos \varphi$ ab.

Einige Hausnummern:

100 W Birne	1.4 klm
2000 W Birne	40 klm
Neonröhre, 40 W	3200 lm

Sonnenschein	bis 100.000 lx
Vollmond	0.25 lx
Neumond	0.01 lx

V(λ)

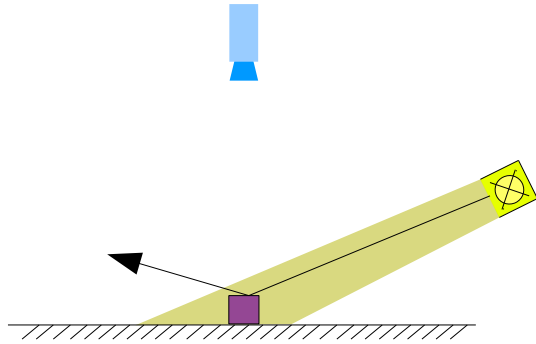
420 nm	0.004
460 nm	0.06
480 nm	0.139
500 nm	0.323
555 nm	1
600 nm	0.631
660 nm	0.061
700 nm	0.004



Aufgabe: Empfindlichkeit CCD

Objekt wird mit 100 lx beleuchtet mit LED rot ($V = 0.33$)

- a) Welche Bestrahlungsstärke ?**
- b) Probe reflektiert nach Lambert mit 50% des einfallenden Lichts. Berechne die Strahldichte.**
- c) Abbildungsoptik (wegen Tiefenschärfe und Aberration) mit $K=5$
Berechne Bestrahlungsstärke auf CCD**
- d) Belichtungszeit (wegen Vibrationen): 0.01 s
Welche Empfindlichkeit brauche ich ?**
- e) Wieviele Photonen pro Pixel ?**
- f) Schätzen SNR**



Beleuchtungsgeometrien

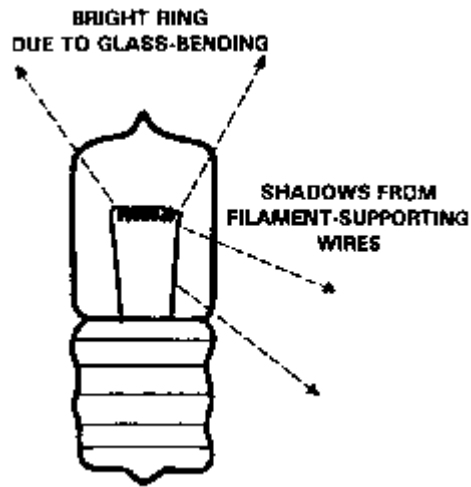


Photometrie / Radiometrie



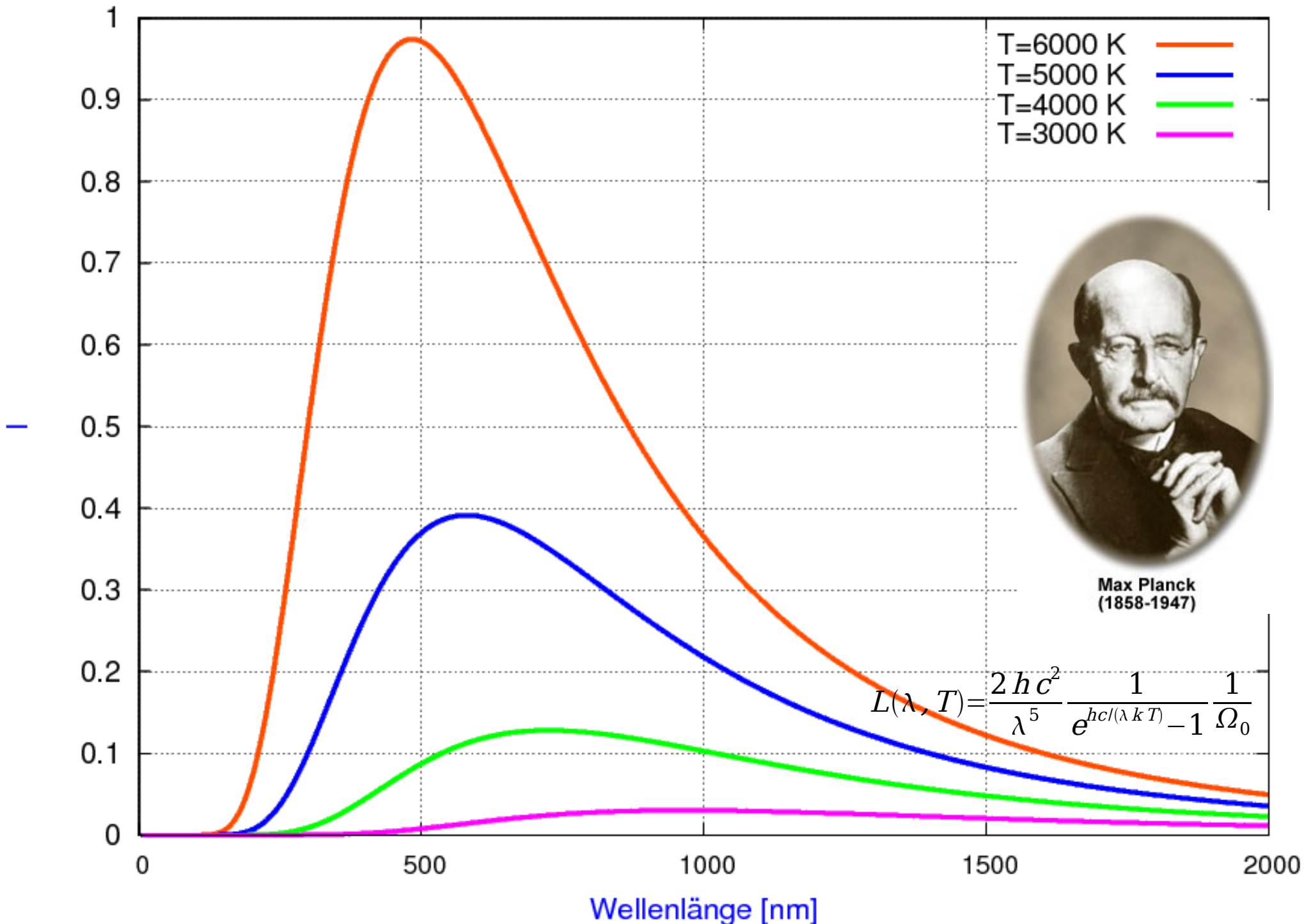
Lichtquellen

Glühbirnen



Lichtausbeute Halogen: 35 lm
Lichtausbeute Glühbirne: 10.

Thermische Strahler



Halogen

Preiswert

Kontinuierliches Spektrum

Kein Pulsbetrieb

Gutes, stabilisiertes Netzteil sonst

Fluktuation

Wärmeentwicklung

Vibrationsanfällig

300 - 2000 Stunden (starker Leistungsabfall)

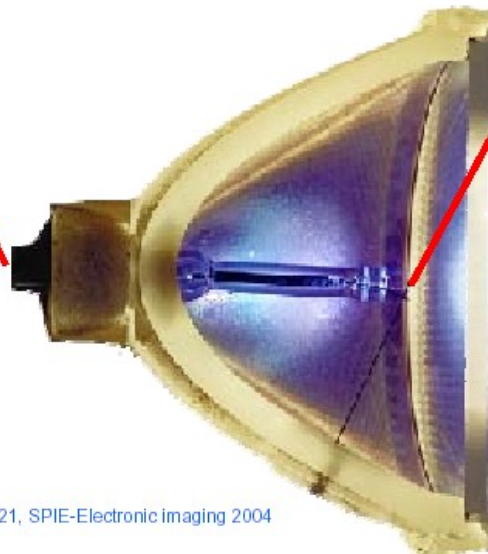
Philips UHP-Lampensystem: Anwendung in Projektoren



**Hg-Entladung bei 1mm
Elektrodenabstand**

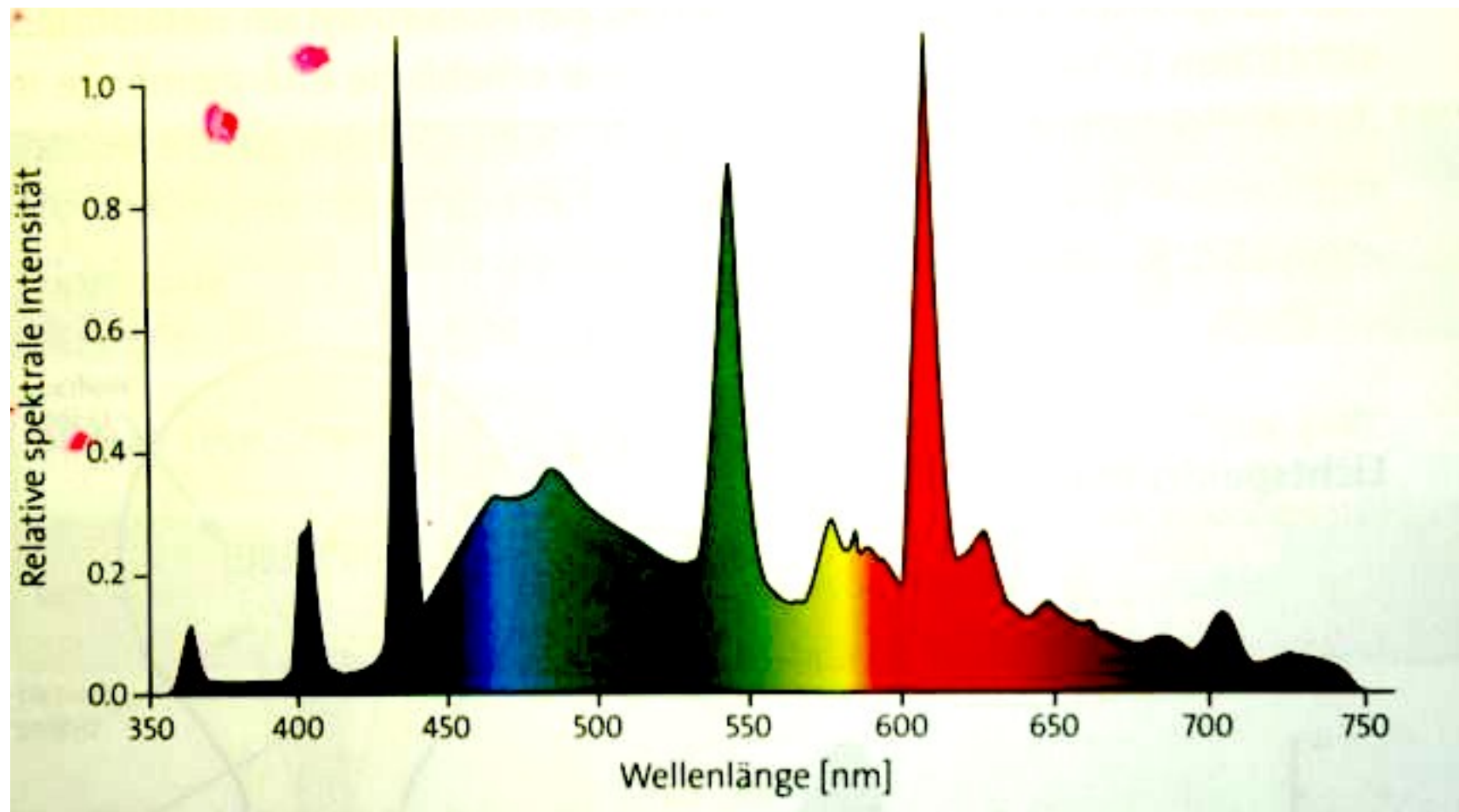


**Quarzbrenner bei
100-250 Watt**



**eingepaßt in Reflektor
für kollimierte Beleuch-
tung**

60 - 100 lm/W



Gasentladung, z.B. Xenon, UHP

Blitzbar (bis 1 μ s, 200 Hz)

Dann extrem hohe Leuchtdichten (250.000 cd)

Breites Spektrum

Lebensdauer: 10^8 Blitzzyklen

Blitzen $\rightarrow$ evtl. EMV Probleme

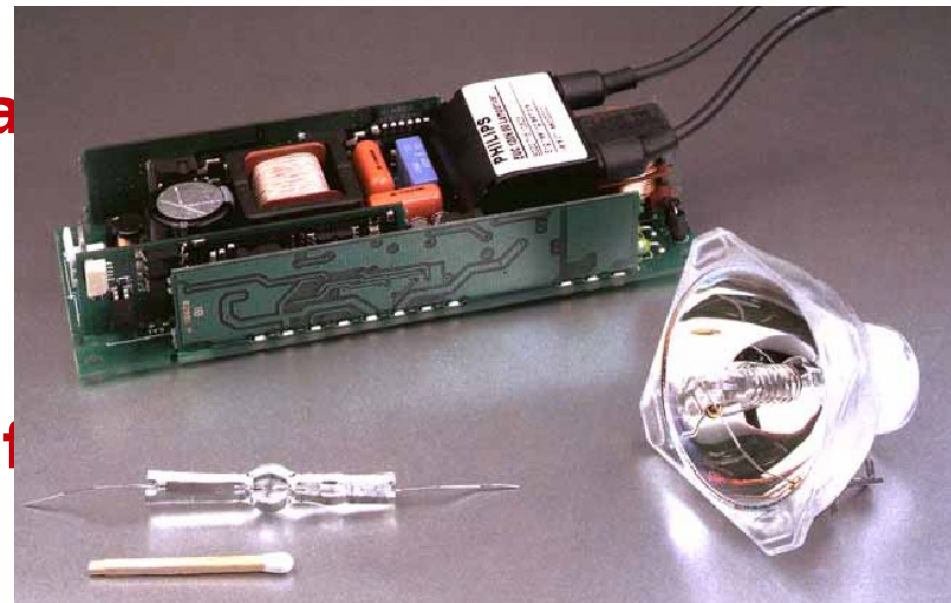
Blitz zu Blitz Variation: Typisch 10 %

Glas unter hohem Druck

$\rightarrow$ Explosionsgefahr

Teure Elektronik

Unflexibles Housing mit Ref



LED

Preiswert

Robust und verlässlich

Vibrationsunempfindlich

Leuchtstark

Lebensdauer bis 100.000 Stunden

Geringe Temperaturdrift (Ausnahme Weiß), ca. 0 bis 0.4% / K

Pulsbar (bis 1 μ s)

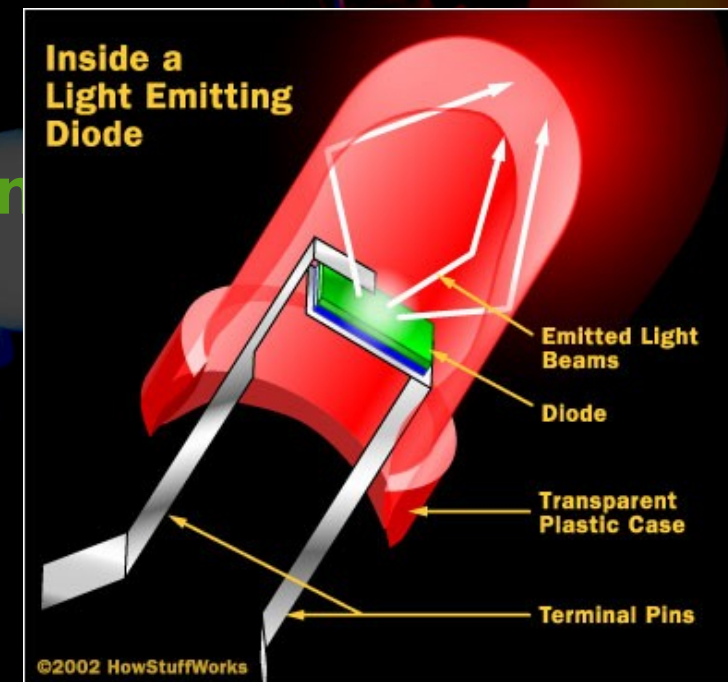
Einfache, problemlose Elektrik (kein

Monochrom

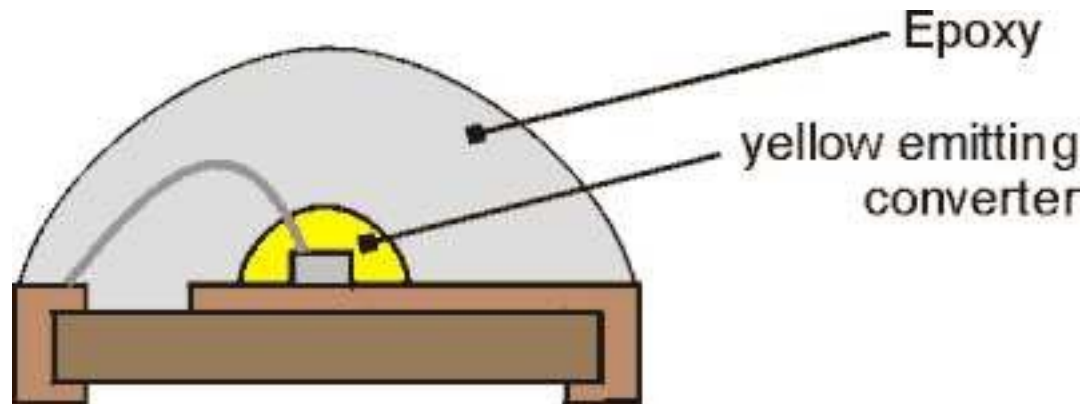
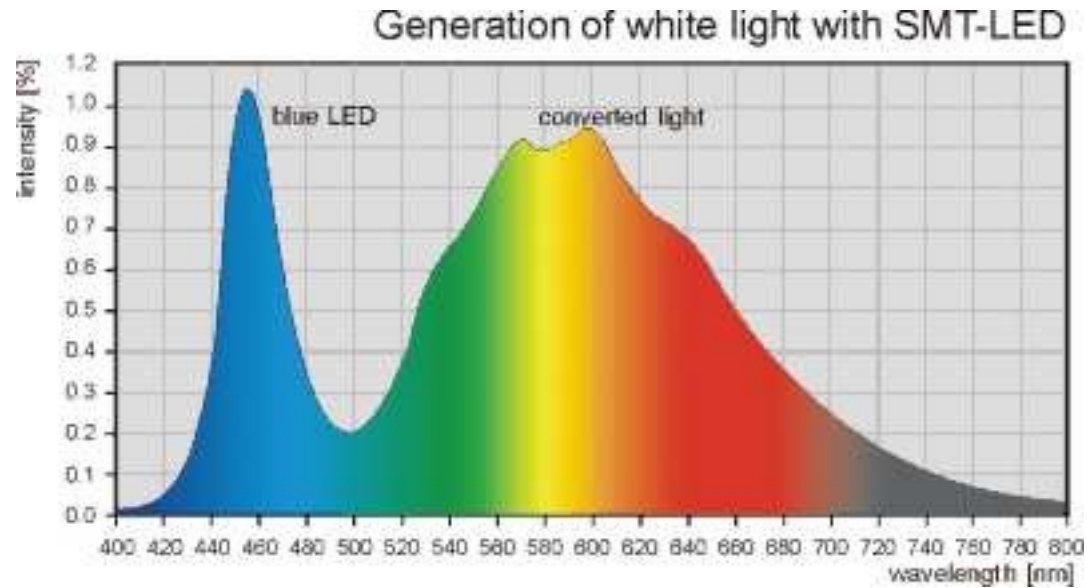
Keine Wartung notwendig

Alterung bei weiß

Exemplarstreuung bei weiß



Weiße LEDs



Bis zu 55 lm/W

Laser

Extrem monochromatisch

Höchste Leuchtdichte

Hohe Effizienz

Klein

Modulierbar



Kohärent → Interessante und effizienz, aber

Speckles

Augenschutz

Zu Beachten zum Spektralbereich

Kameraempfindlichkeit

Reflektanz des Objekts (Features)

Transmission typischer Objektive: 400-900 nm

UV → direkt oder per Fluoreszenz

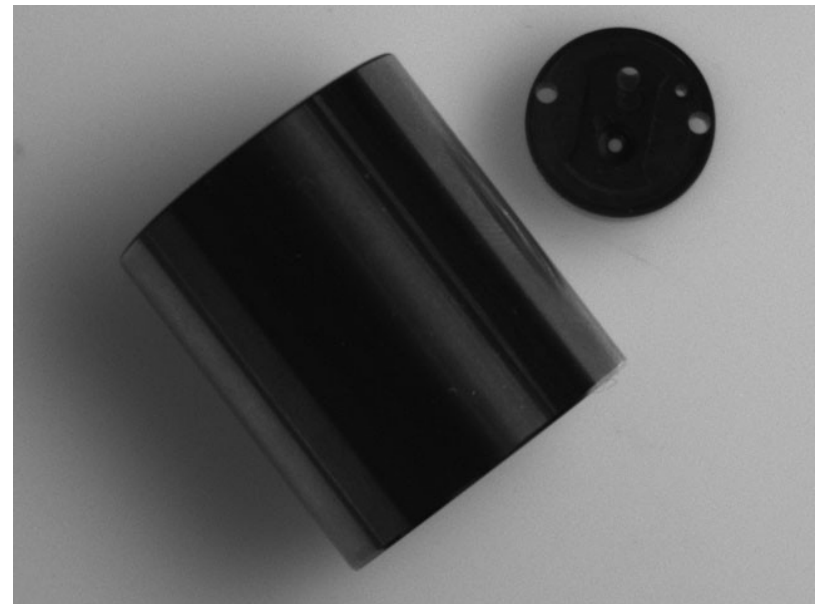
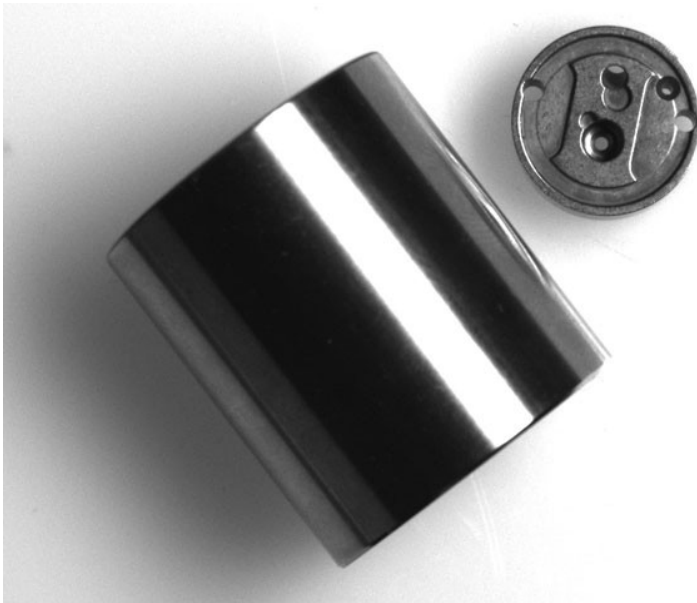
IR kann nützlich sein, um Umgebungslicht zu reduzieren

Polarisation

Reflexe Metall

Reflexe an Dielektrika

Visualisierung von Merkmalen, die Polarisation ändern.



Filter

NDF ($D = \log 1/T$)

Farbfilter

Interferenzfilter: Beachte Einfluss des Winkels !

**Beachte: optischer Einfluss von
Planparallelplatte
Vorsicht Überhitzung**

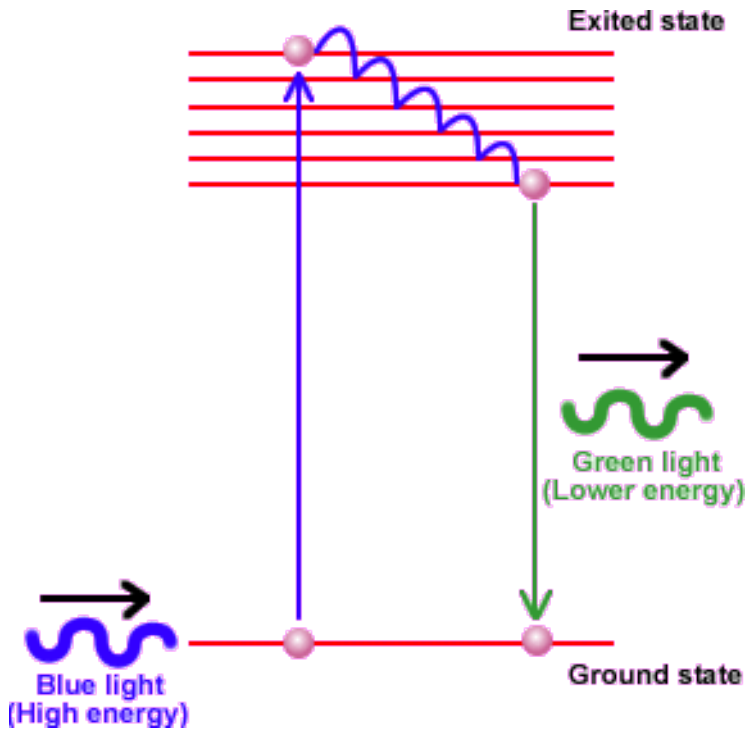


Fluoreszenz



Teil des Lichts (UV und blau) wird in andere Spektralbereiche transformiert.

**Abregung (unter Lichtaussendung
in weniger als 10^{-6} s**



Typisch: „Weissmacher“ im Wasc

**Viele Stoffe
fluoreszieren:**

- Bakterien
- Böden
- Mineralien

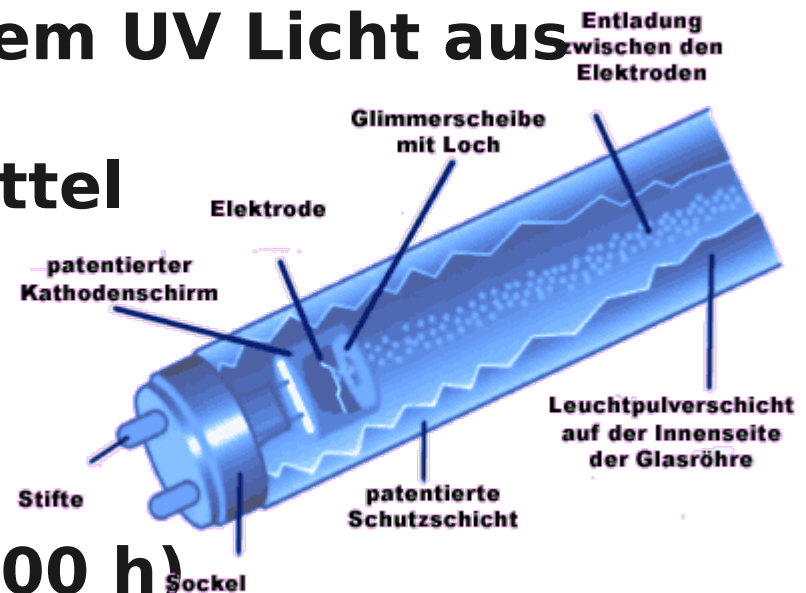


Leuchtstoffröhre (Gasentladungslampen)

Teilevakuiertes Rohr, an gegenüberliegenden Enden Spannung (bei „Neonröhre“ mehrere kV), Elektronenstöße

Hg Plasma strahlt dann vor allem UV Licht aus

Dann Fluoreszenz an Leuchtmittel



- Lange Lebensdauer (bis 60.000 h)
- Lichtausbeute: 100 lm/W

Stromsparlampen: elektrisches Vorschaltgerät meist in höherer Druck, 60 lm/W

Hochdrucklampen, Metalldampf lampen (XBO, HBO, 100)
kurzer Lichtbogen → Elektroden müssen heiss sein.

Fluoreszenz

Sehr preiswert

Sehr effizient

Ausleuchtung großer Bereiche

5000 - 10000 Stunden Lebensdauer

Relativ homogen

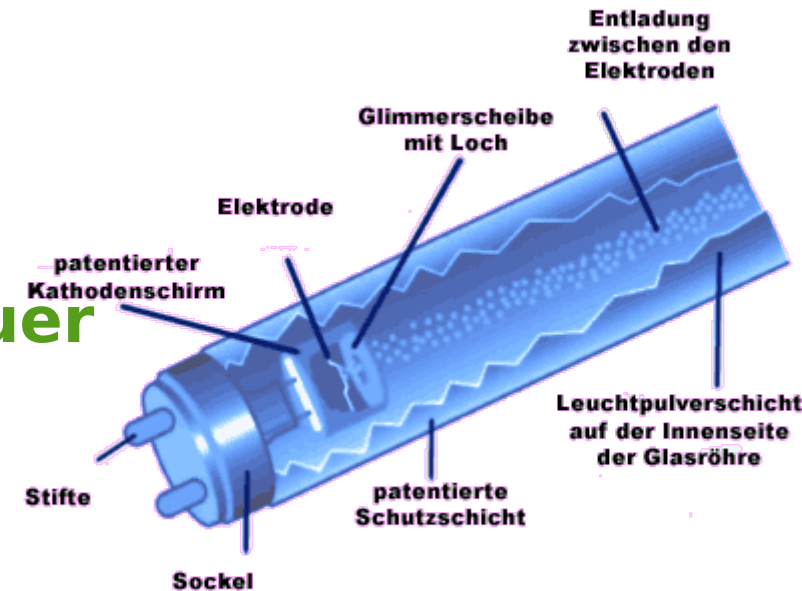
Diskretes Spektrum

Unflexible Bauform

Kein Blitzbetrieb

Evtl. Probleme mit Flickering

Starke Temperaturdrift → Warmlaufen
notwendig



Checkliste Lichtquelle

**Grundgrößen: Radiometrisch oder photometrisch angegeben
(Bedeutung für die Praxis ist komplex!)**

Geometrie

(räumliche) Abstrahlcharakteristik

(spektrale) Abstrahlcharakteristik

gepulster Betrieb

Polarisation ?

Homogenität

Leuchtfläche

Farbtemperatur

Ansteuerung

Empfindlich gegen Erschütterung

Kühlung / Temperaturbereich

Preis

Effizienz

Sicherheit

Alterung und Lebensdauer

passende Optik erhältlich

Variation von Device zu Device

Hitzeentwicklung

Leistung, Strahldichte, Strahlstärke

Programmierbar

Triggerung

Spannung, Leistung, EMV

Schutz gegen Verpolung usw.

Wasserempfindlichkeit

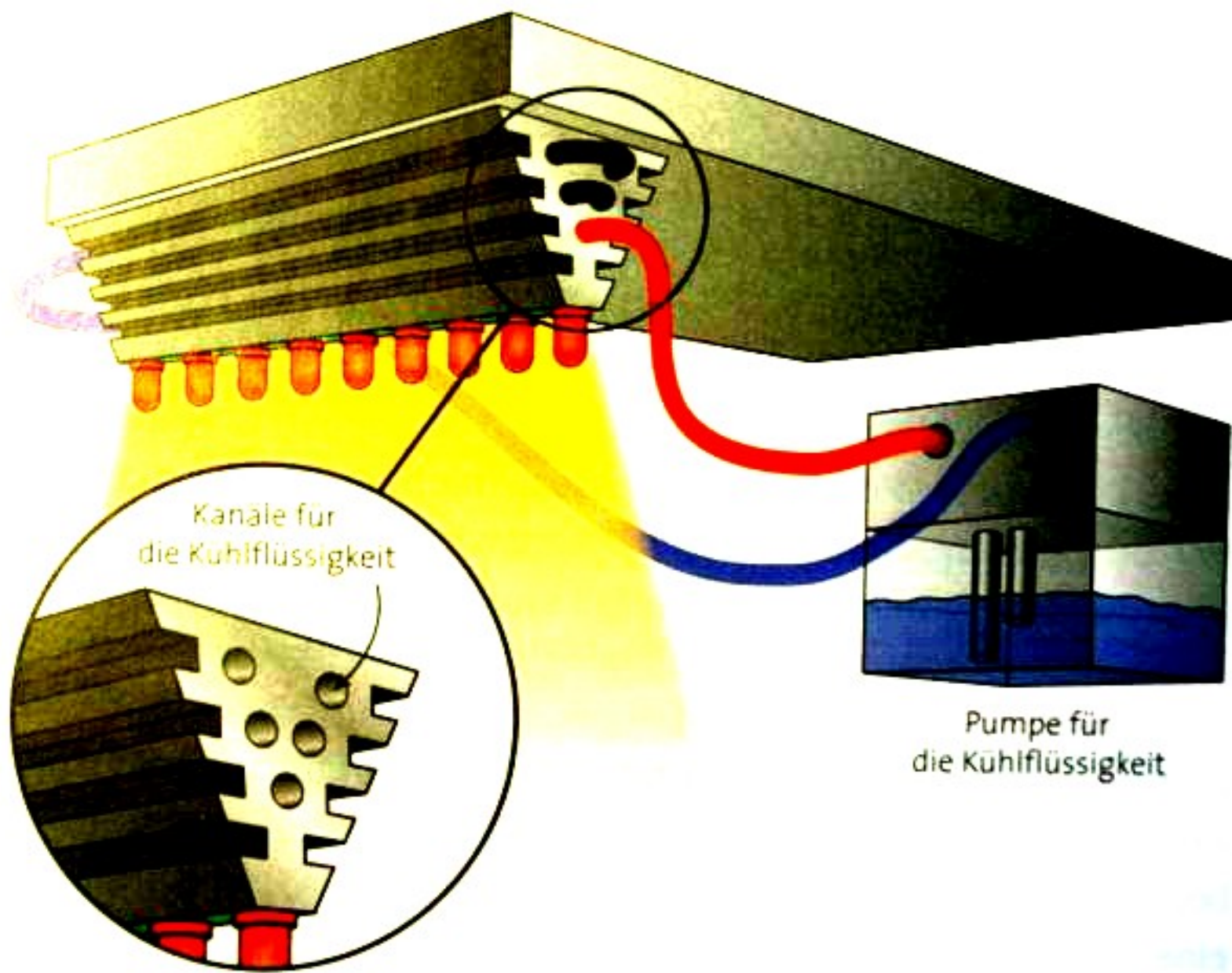
Explosionsgefahr → Sekundärschäden



Rippen vergrößern
die Oberfläche

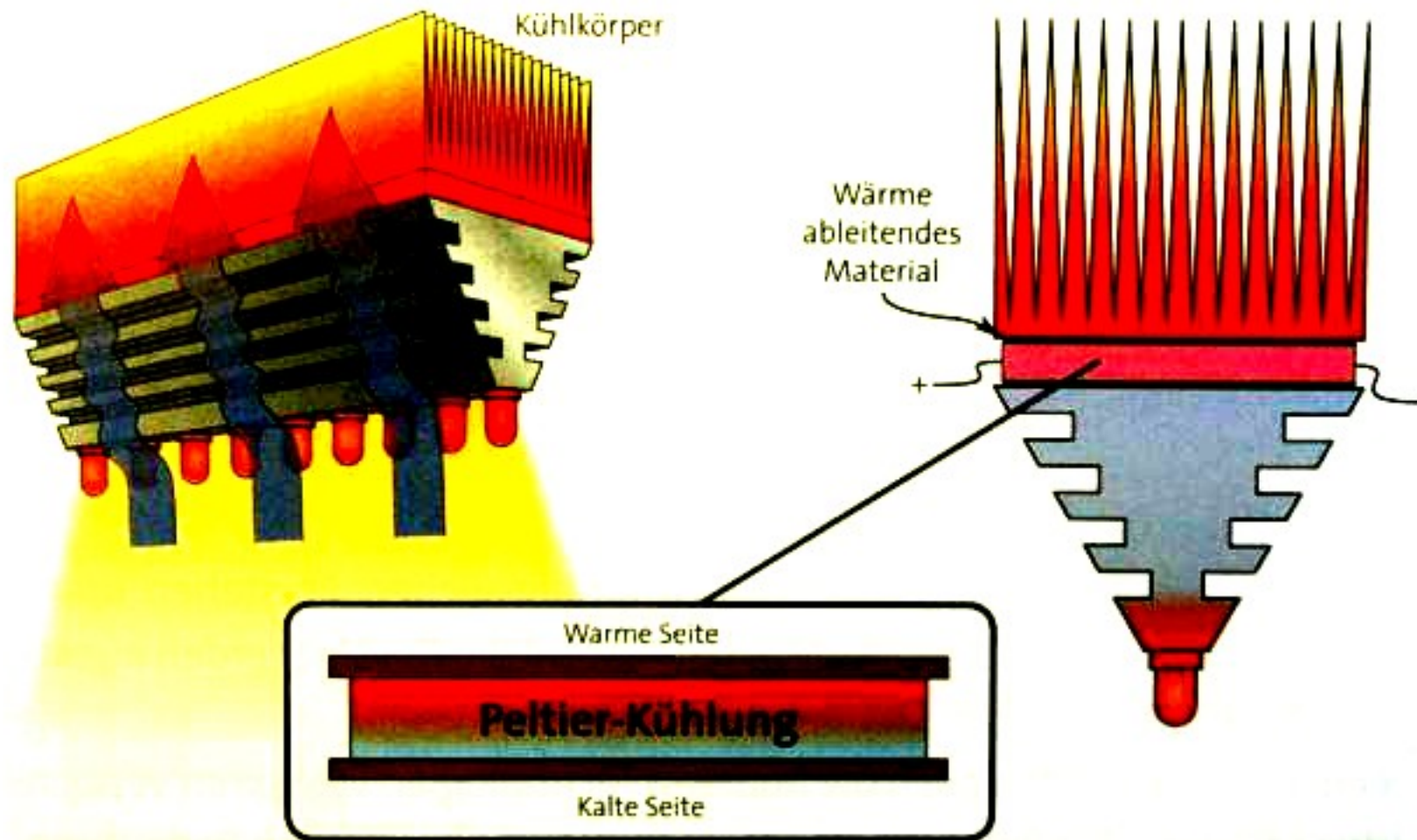
Eine Metallplatte leitet
die Wärme von den LEDs ab

Besserer Luftstrom um die
Beleuchtungs-Einheit



Kanäle für
die Kühlflüssigkeit

Pumpe für
die Kühlflüssigkeit



Typische Quellen

Leuchtstoffröhren

- + sehr effizient**
- + auch für große Bereiche**
- + sehr preiswert**
- + versch. Farbtemperaturen**
- Lampengeometrie**
- Kein Blitzen**

Metall dampf

- + extrem hell**
- + sehr hohe Farbtemperatur**
- + versch. Farbtemperaturen**
- + Lampengeometrie**
- + Blitzen möglich (Variation)**
- diskretes Spektrum**
- starke Kühlung nötig**
- teuer (auch Ansteuerung)**

Halogen

- + preiswert**
- + hell**
- + kontinuierliches Spektrum**
- geringe Effizienz & viel Hitze**
- geringe Lebensdauer, schlechte Alterung**

LED

- + effizient**
- + preiswert**
- + Geometrie**
- + Hohe Lebensdauer**
- Spektrale Charakteristik**

< Glasfaserzuführung >