

Medizinische Biophysik

Licht in der Medizin. Eigenschaften des Lichts, Emissionsspektrometrie

5. Vorlesung
07. 10. 2020

IV. Teilchencharakter des Lichtes

- a) Lichtelektrischer Effekt (Photoeffekt)
- b) Photon, Photonenenergie

V. Energietransport im Licht (in Strahlungen)

- a) Größen zur Beschreibung des Energietransports
- b) Strahlungsquellen mit verschiedener Geometrie

VI. Lichtemission

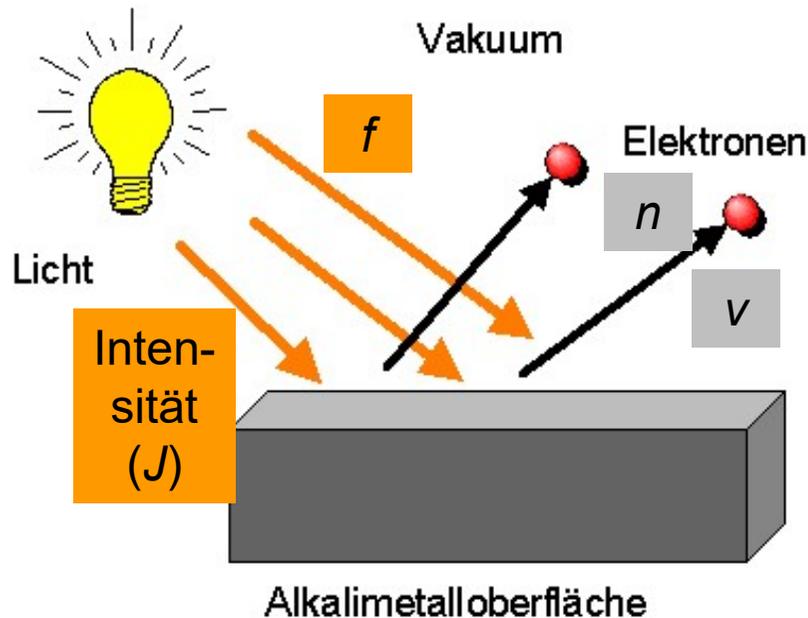
1. Emissionsspektrometrie

- a) Emissionsspektrum
- b) Messung des Emissionsspektrums –
Aufbau eines Spektrometers
- c) Monochromator
- d) Lichtdetektor

IV. Teilchencharakter des Lichtes

a) Lichtelektrischer Effekt (Photoeffekt)

$$c = \lambda \cdot f$$



Man variiert:

- die Frequenz (f) des Lichtes
- die Intensität (J) des Lichtes

Man beobachtet:

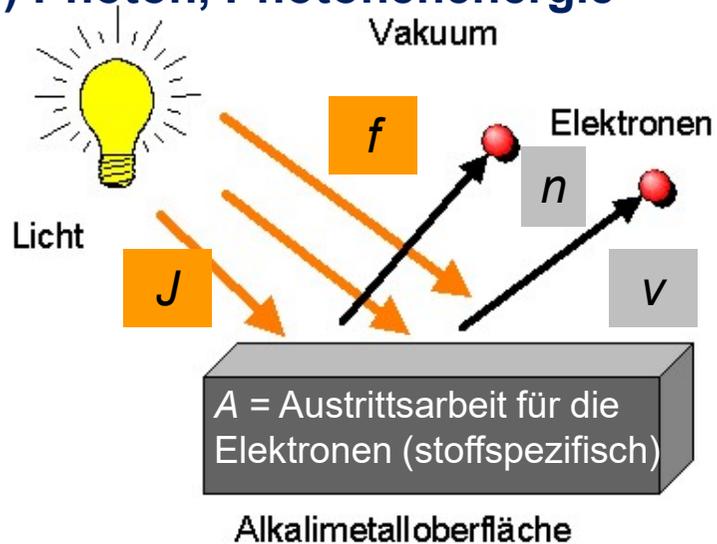
- die Zahl der ausgelösten Elektronen (n)
- die Geschwindigkeit der Elektronen (v)

Beobachtungen:

Es gibt eine minimale Frequenz (f_{\min}), für welche

- $f < f_{\min} \Rightarrow n = 0$, egal wie groß J ist;
- $f_{\min} \leq f \Rightarrow$ Elektronen werden ausgelöst
 - n wächst mit wachsender J
 - v wächst mit wachsender f

b) Photon, Photonenenergie



Ein Photon tritt in Wechselwirkung mit einem Elektron!

Es gibt eine minimale Frequenz (f_{\min}), für welche

- $f < f_{\min} \Rightarrow n = 0$, egal wie groß J ist;
- $f_{\min} \leq f \Rightarrow$ Elektronen werden ausgelöst
 - n wächst mit wachsender J
 - v wächst mit wachsender f

$$\varepsilon = h \cdot f$$

plancksche Konstante
 $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$

$$h \cdot f_{\min} = \varepsilon_{\min} = A$$

$$f < f_{\min} \Rightarrow h \cdot f = \varepsilon < A \Rightarrow \text{Kein Elektron wird ausgelöst}$$

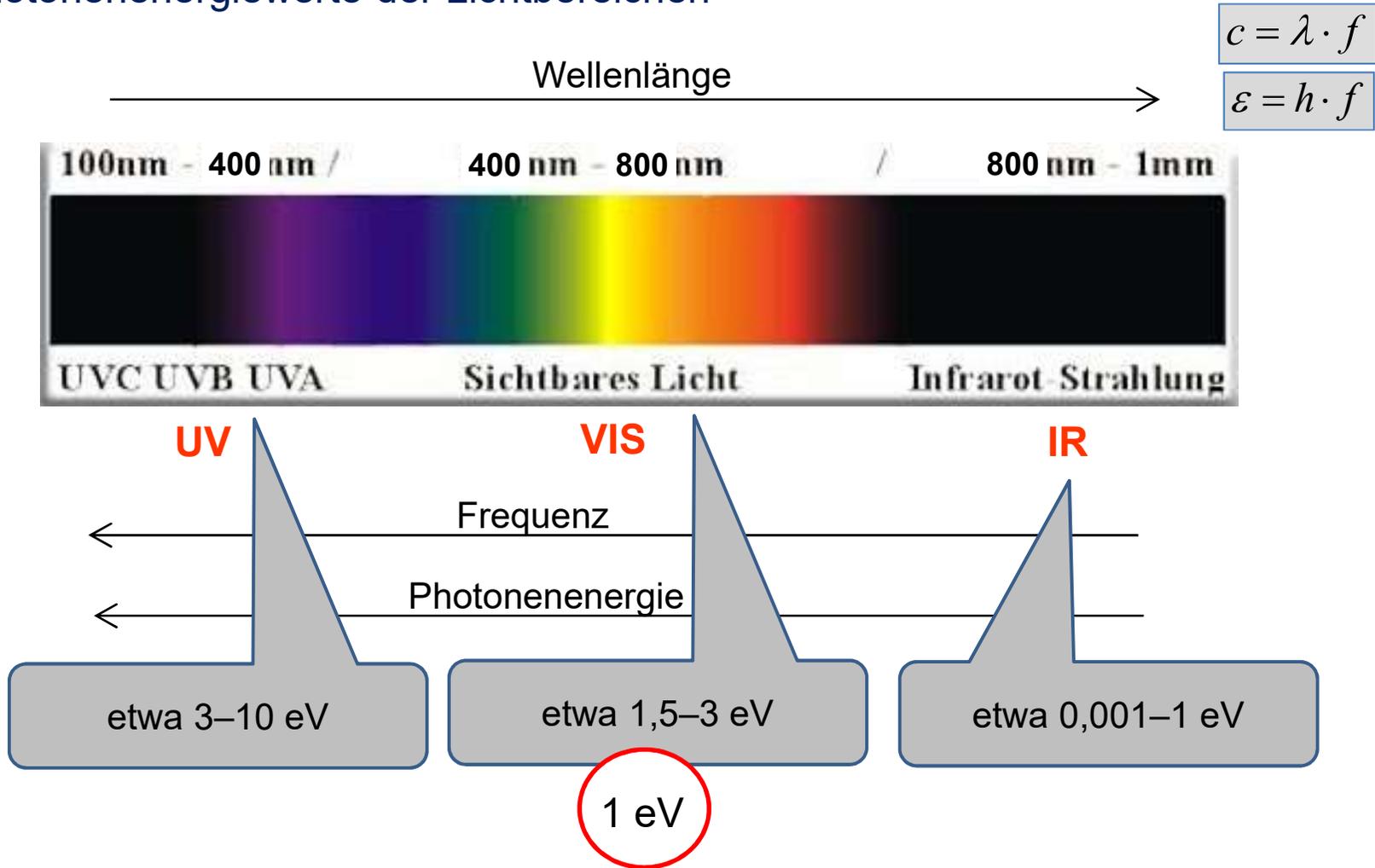
$$f_{\min} < f \Rightarrow A < h \cdot f = \varepsilon \Rightarrow \text{Elektron wird ausgelöst}$$

Energieerhaltungssatz für den Photoeffekt:
$$\varepsilon = A + \frac{1}{2} m_{\text{Elektron}} v_{\text{Elektron}}^2$$

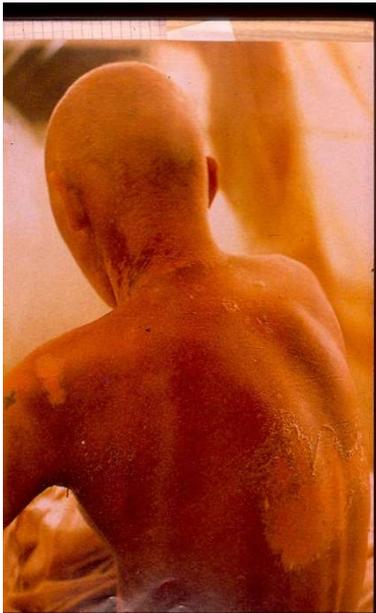
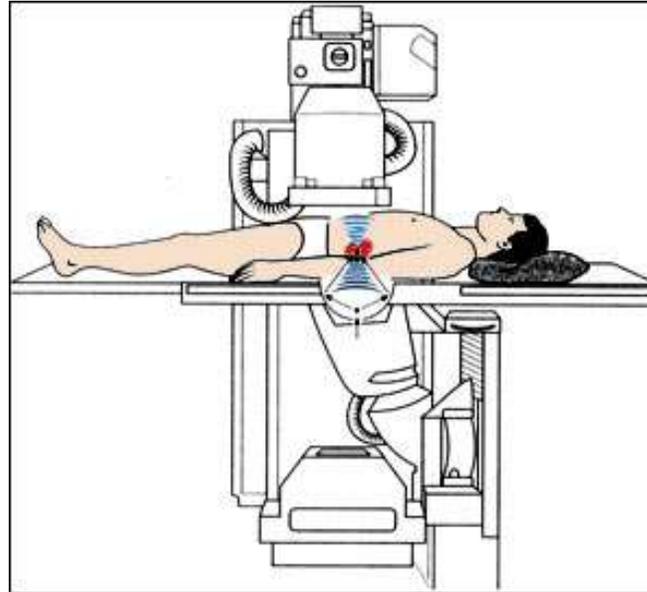
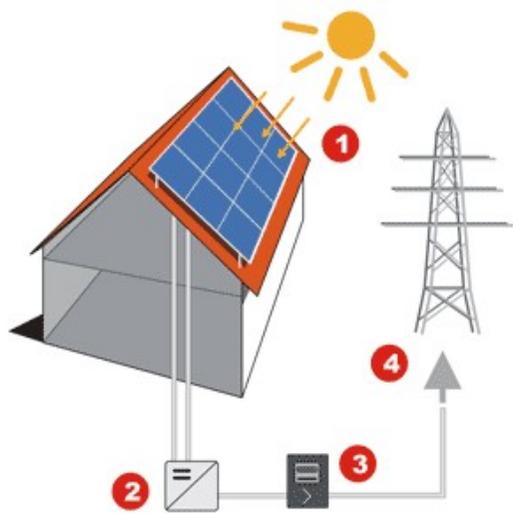
Bei zunehmender Intensität (mehr Photonen) werden mehr Elektronen ausgelöst.

Bei zunehmender Frequenz wird die kinetische Energie und v des Elektrons größer.

- Photonenenergie der Lichtbereiche



V. Energietransport im Licht (in Strahlungen)

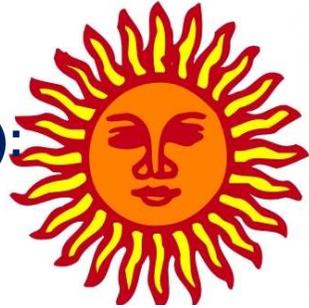


a) Größen zur Beschreibung des Energietransports:

„Teilnehmer“ der Strahlungsvorgänge

Strahlungsleistung (P):

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad (\text{W})$$



Strahlenquelle



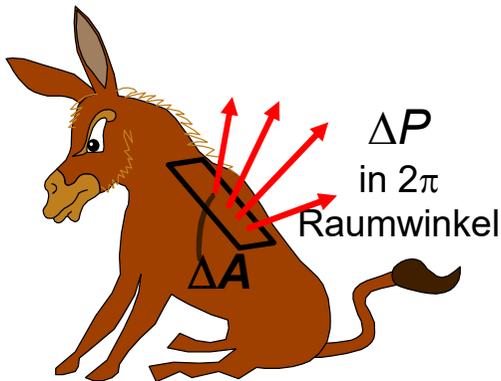
Strahlung



bestrahlter Körper

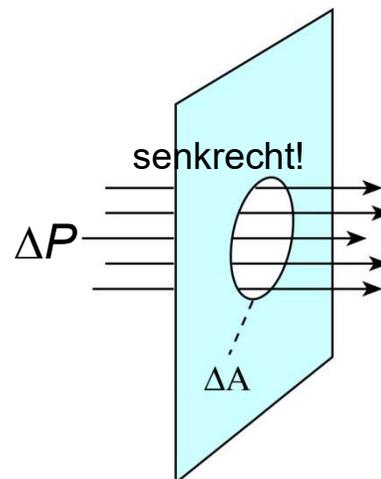
Spezifische Ausstrahlung (M):

$$M = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$



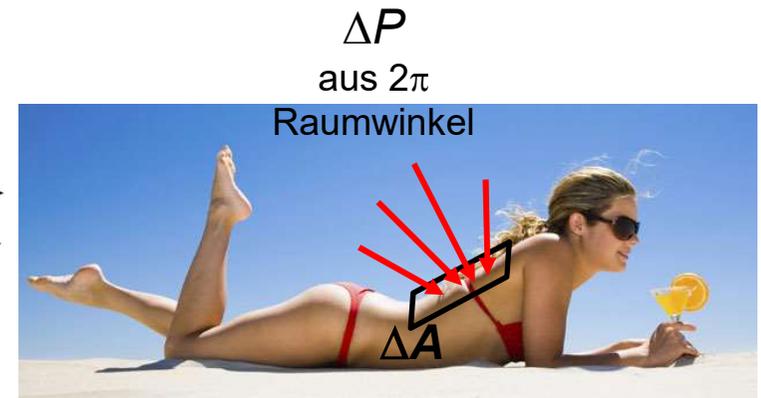
Strahlungsintensität (J):

$$J = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$

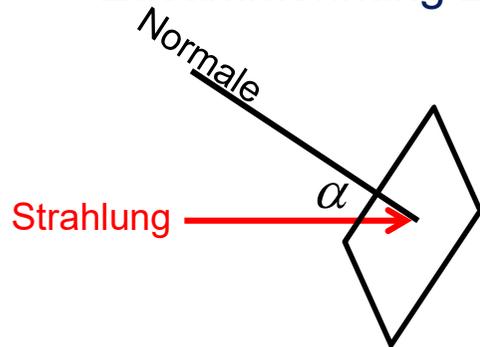


Bestrahlungsstärke (E):

$$E = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$

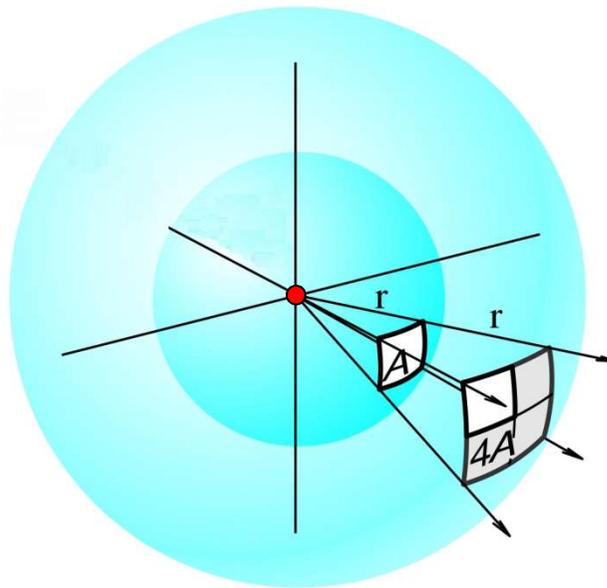


- Zusammenhang zwischen J und E : 

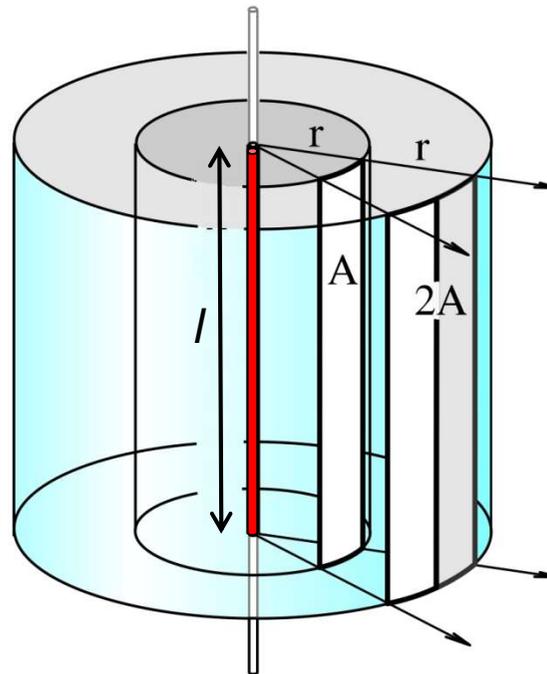


b) Strahlungsquellen mit verschiedener Geometrie:

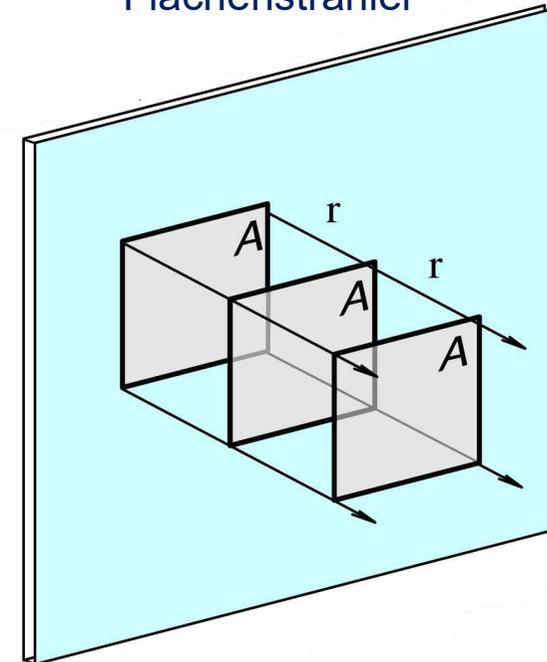
Punktstrahler



Linienstrahler



Flächenstrahler

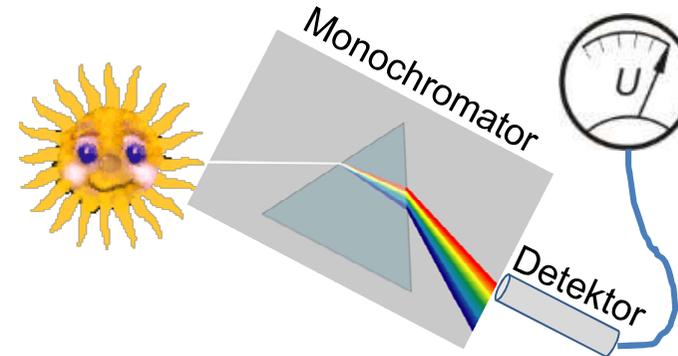


$J(r)$ 

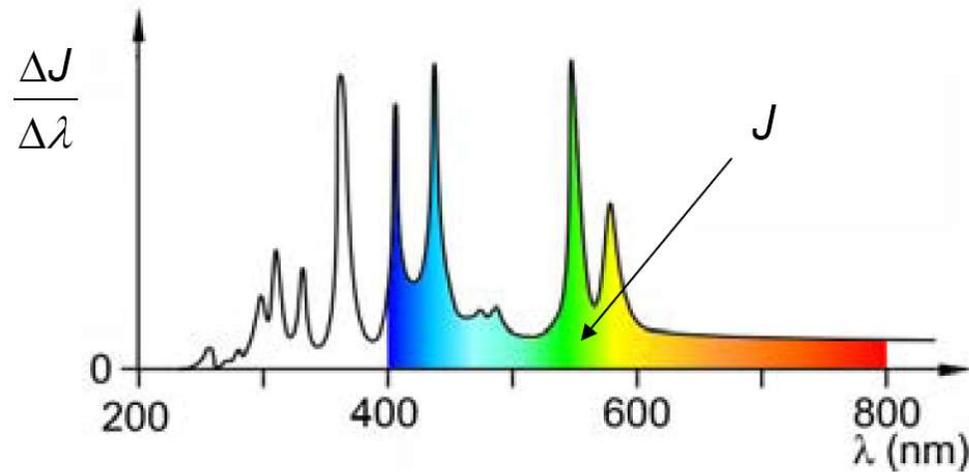
VI. Lichtemission

1. Emissionsspektrometrie

Analyse des emittierten
(ausgestrahlten) Lichts



a) Emissionsspektrum

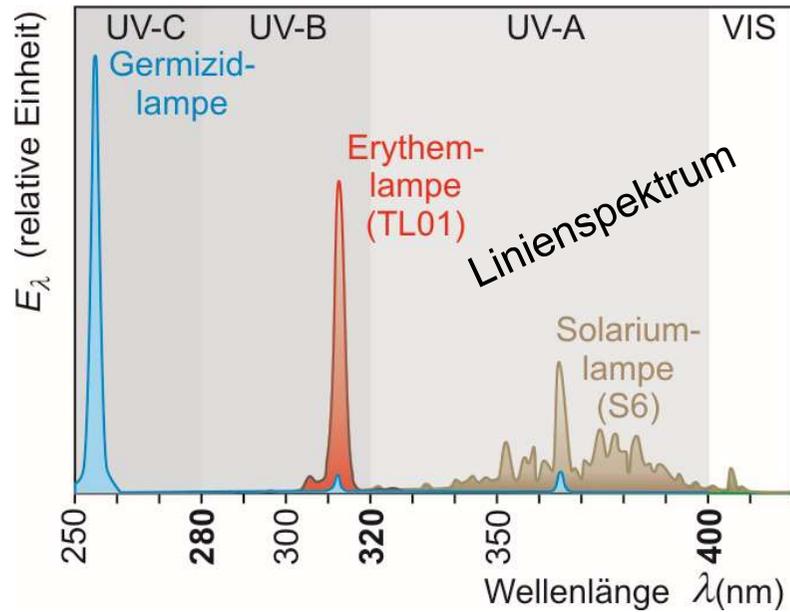


Spektrumtypen:

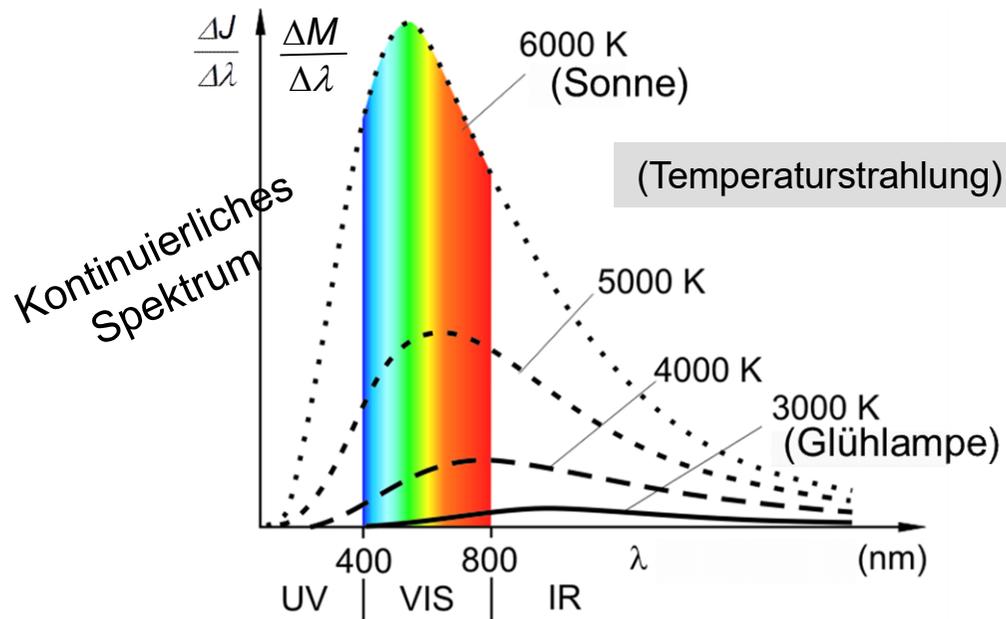
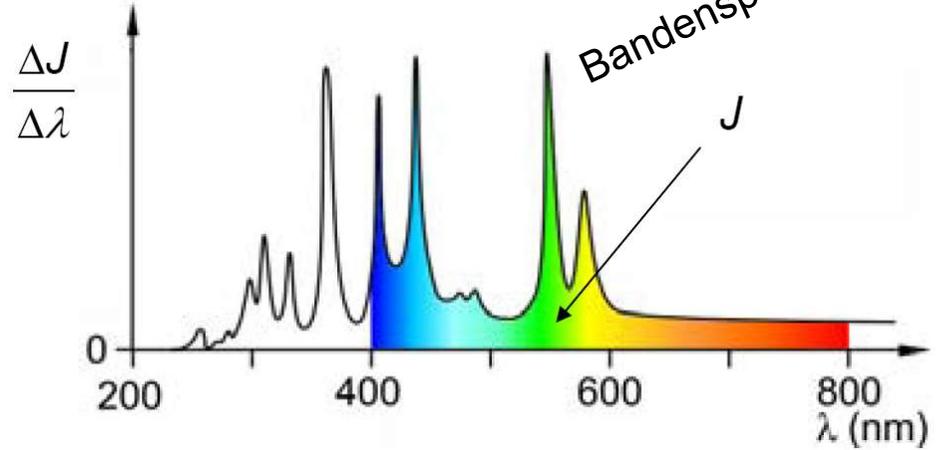
- Linienspektrum
- Bandenspektrum
- Kontinuierliches Spektrum

Beispiele:

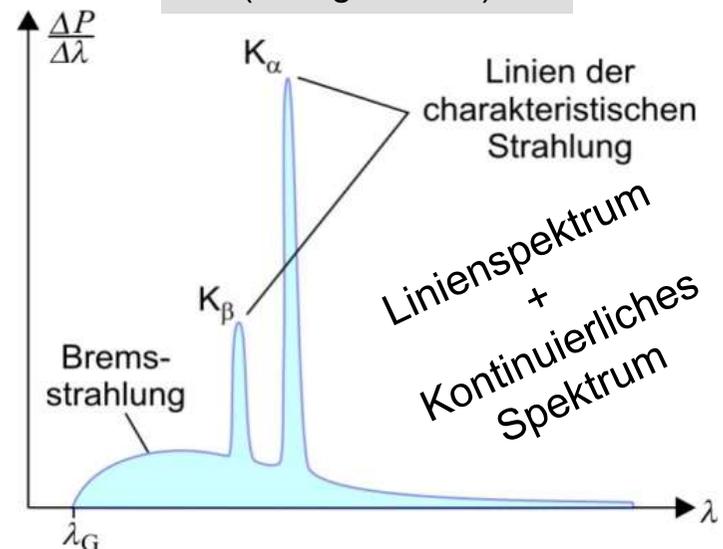
(Lumineszenzlampen)



(Hochdruckquecksilberlampe)

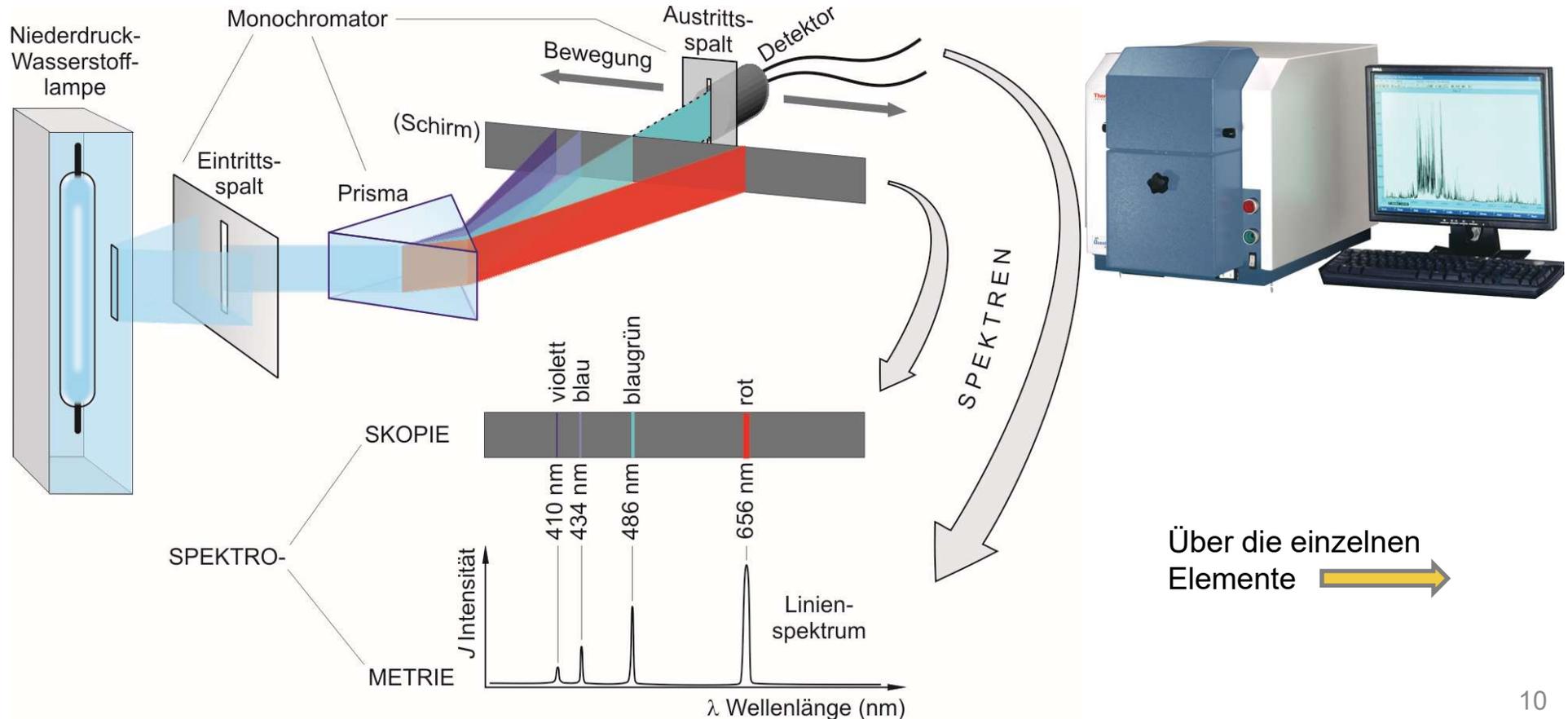
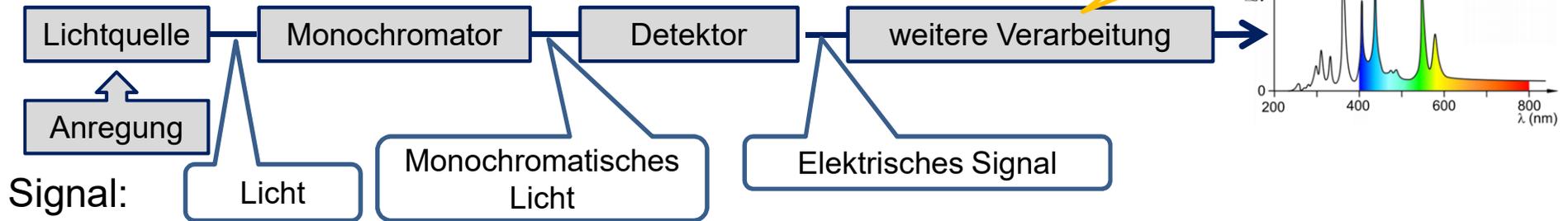


(Röntgenröhre)



b) Messung des Emissionsspektrums

Aufbau eines Emissionsspektrometers:

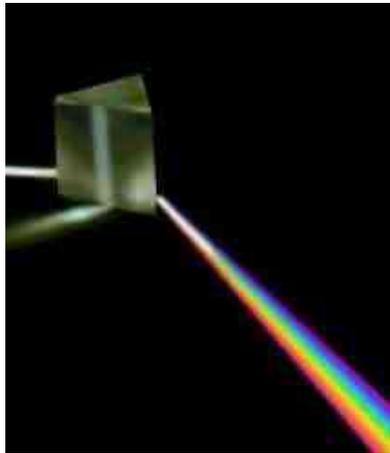


c) Monochromator

● Prisma

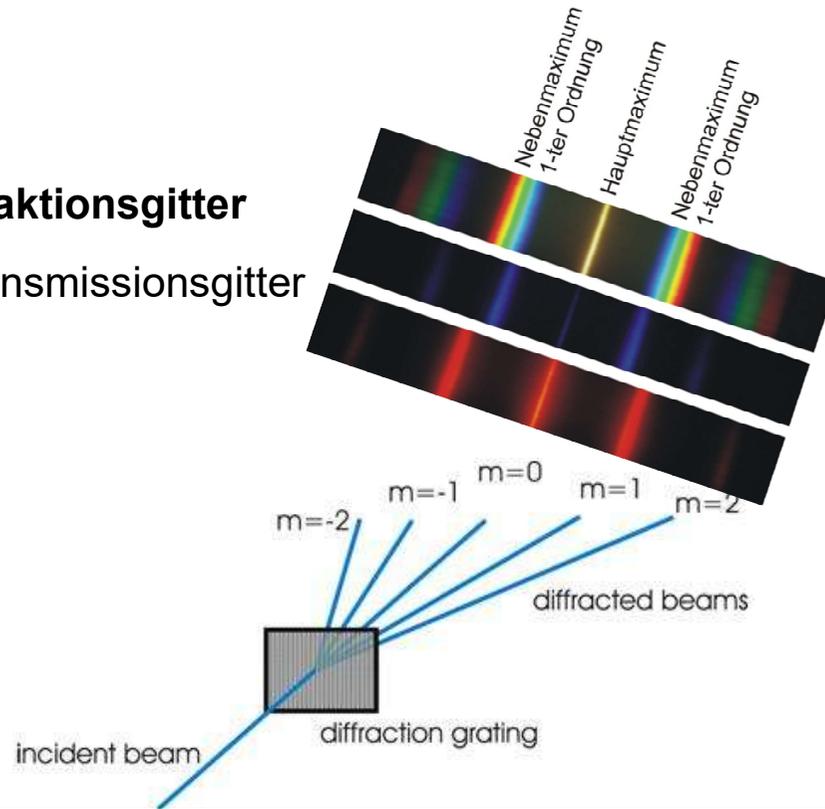
Funktionsprinzip:

Dispersion



● Diffraktionsgitter

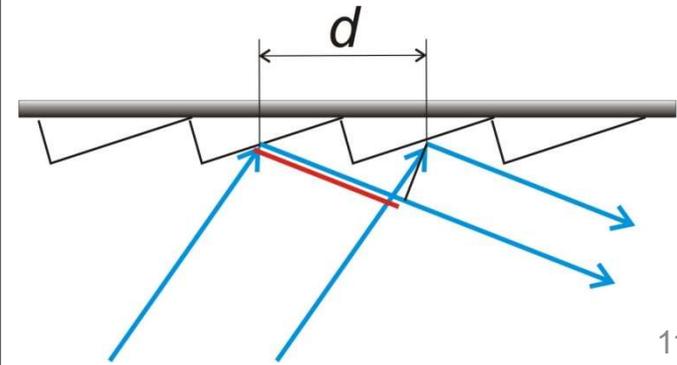
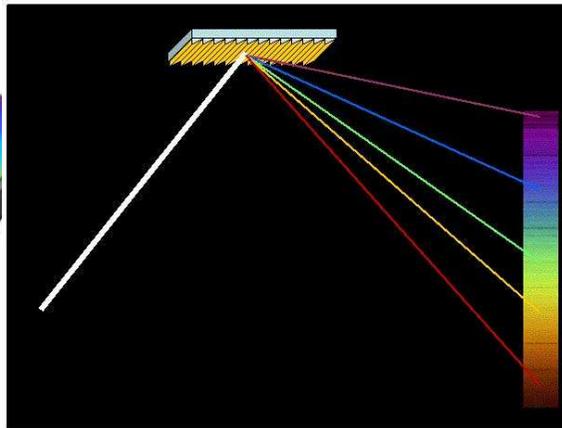
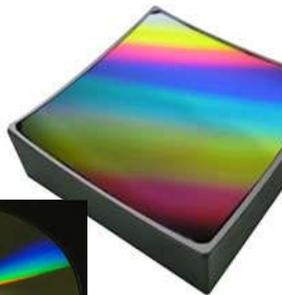
— Transmissionsgitter



— Reflexionsgitter

Funktionsprinzip:

Interferenz



Vergleich des Prismas und Gitters

● Prisma

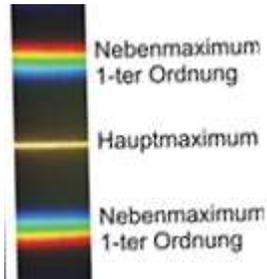


Nonlineare Aufspaltung
(ungleichmäßige Skaleneinteilung)



Intensitätsreich
(die ganze Strahlung ist zerlegt,)

● Transmissionsgitter

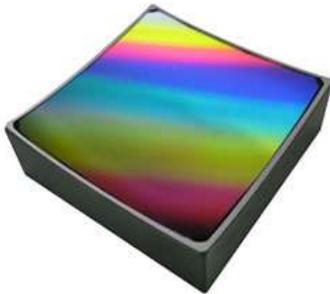


Lineare Skala
(gleichmäßige Skaleneinteilung)



Intensitätsarm
(nur Teil der Strahlung ist zerlegt,)

● Reflexionsgitter



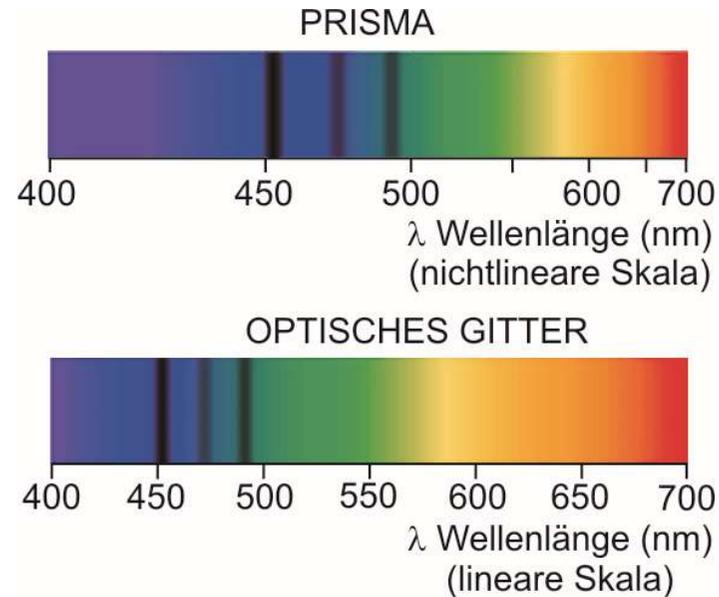
Lineare Skala
(gleichmäßige Skaleneinteilung)



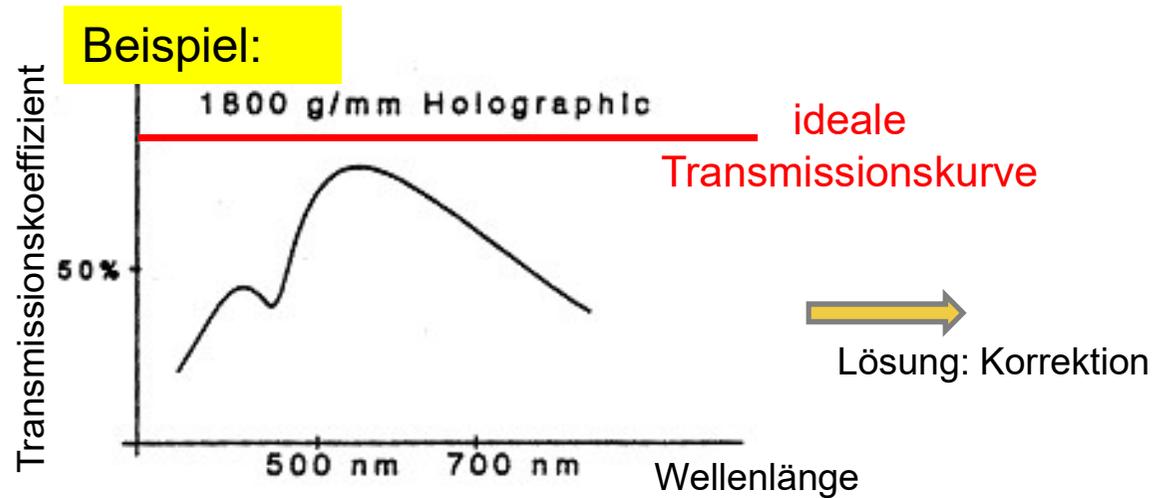
Intensitätsreich
(Großteil der Strahlung ist zerlegt,)

Technische Probleme bei den Monochromatoren:

- Wellenlängeskala (siehe oben)



- Transmissionskurve (Frequenzgang)

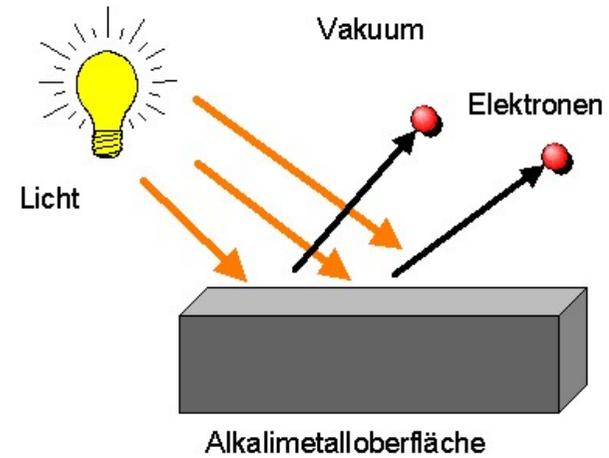


d) Lichtdetektor

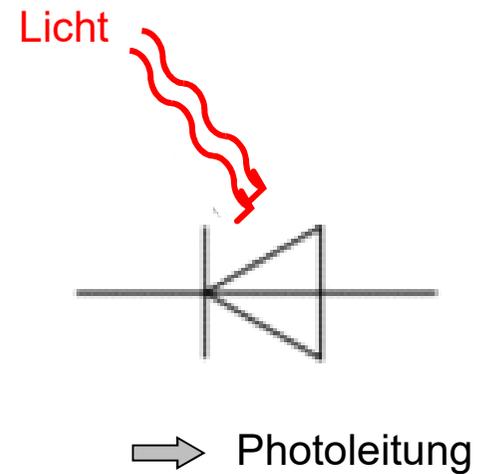
- Photozelle

- Photomultiplier (PM)
(Sekundärelektronenvervielfacher, SEV):

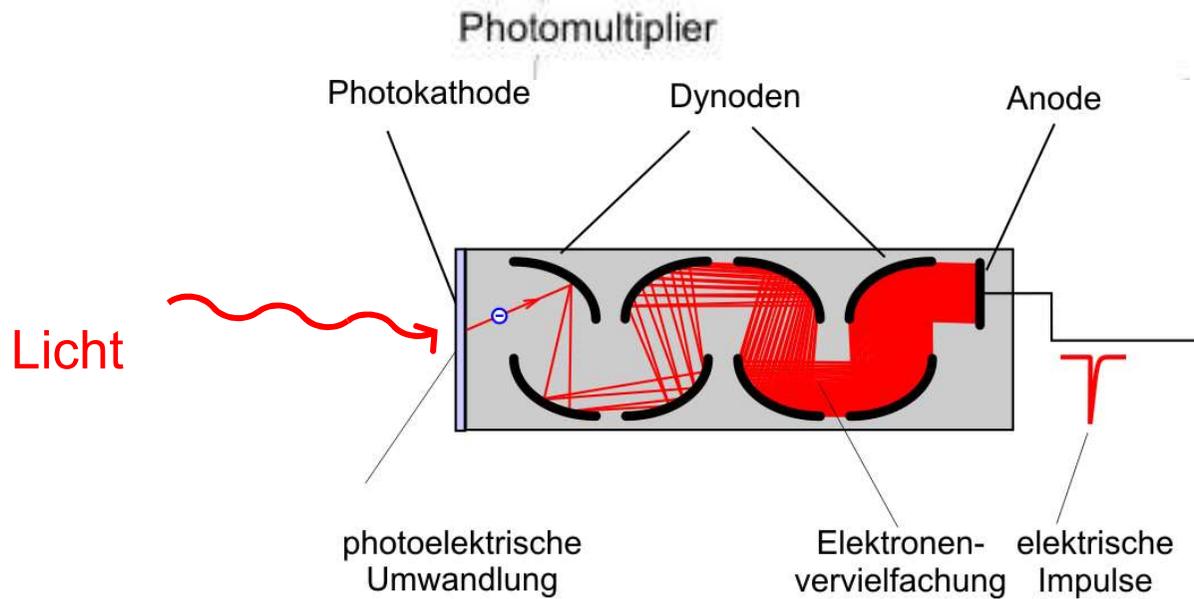
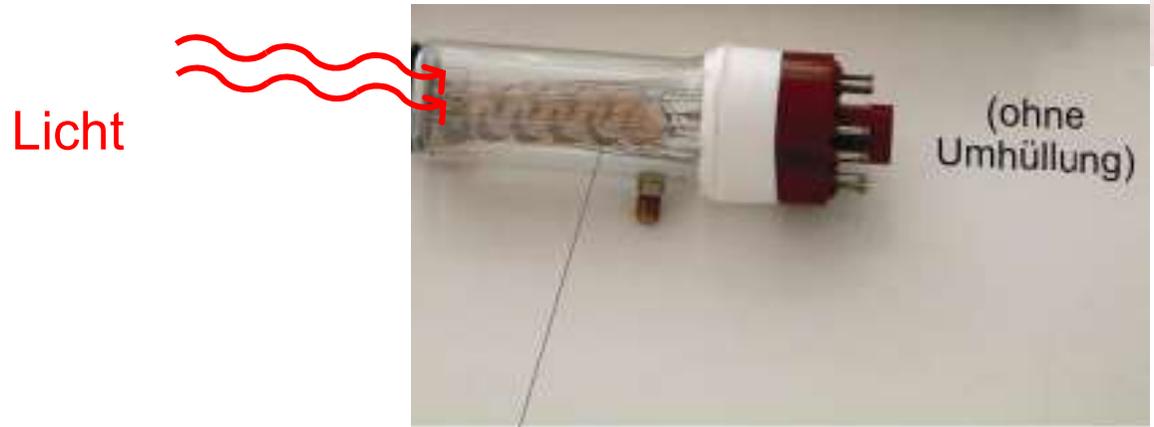
Prinzip:
äußerer
lichtelektrischer
Effekt



- (Halbleiter) Photodiode:

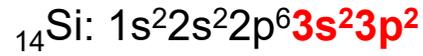


Photomultiplier (PM) (Sekundärelektronenvervielfacher – SEV):



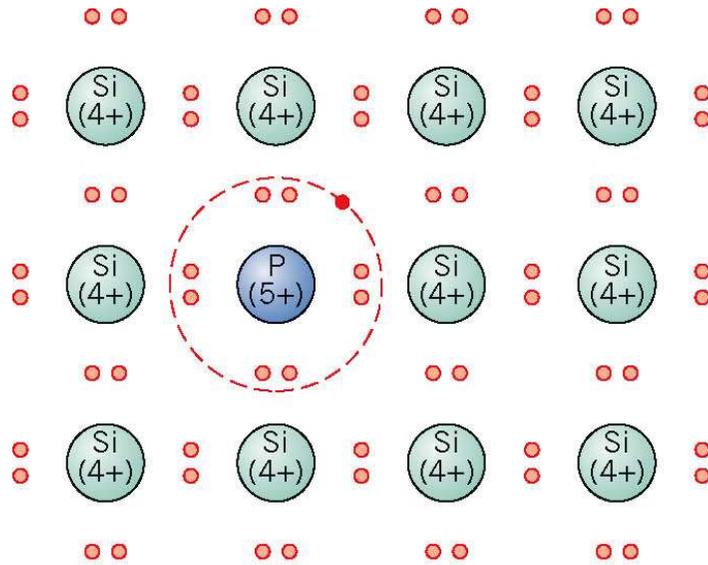
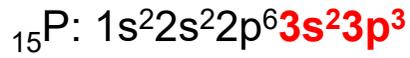
▪ Dotierte Halbleiter

Grundkristall z.B. Si



n-Halbleiter

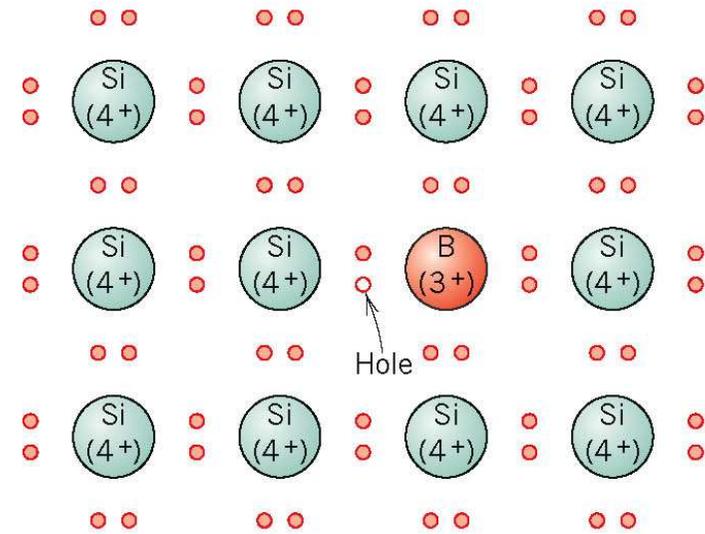
z. B. + P



Elektronenleitung
(*n*-Leitung)

p-Halbleiter

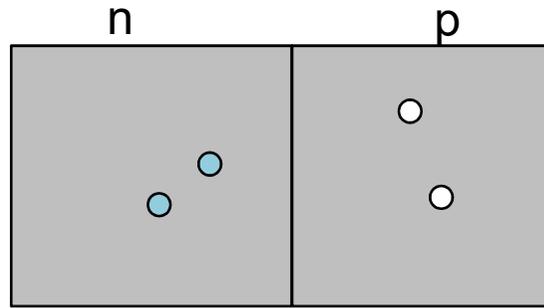
z. B. + B



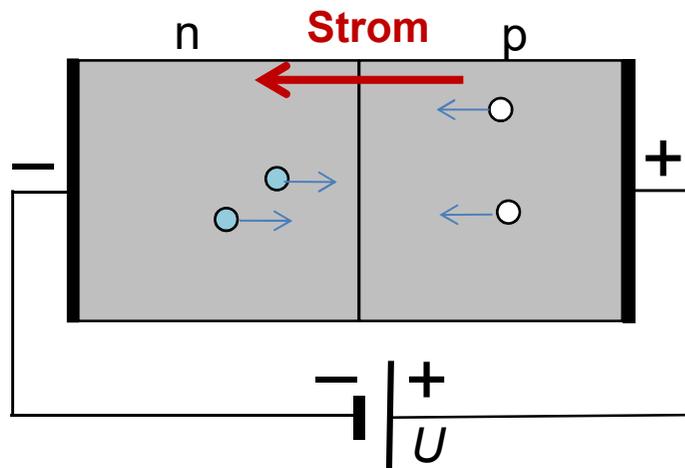
Löcherleitung
(*p*-Leitung)

- Anwendungen der dotierten Halbleiter

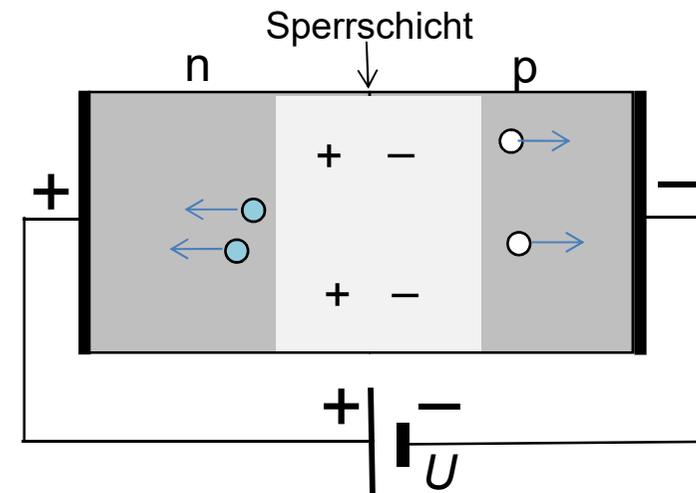
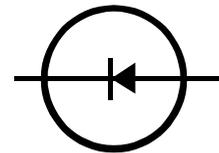
- Halbleiterdiode



● Elektron
○ Loch

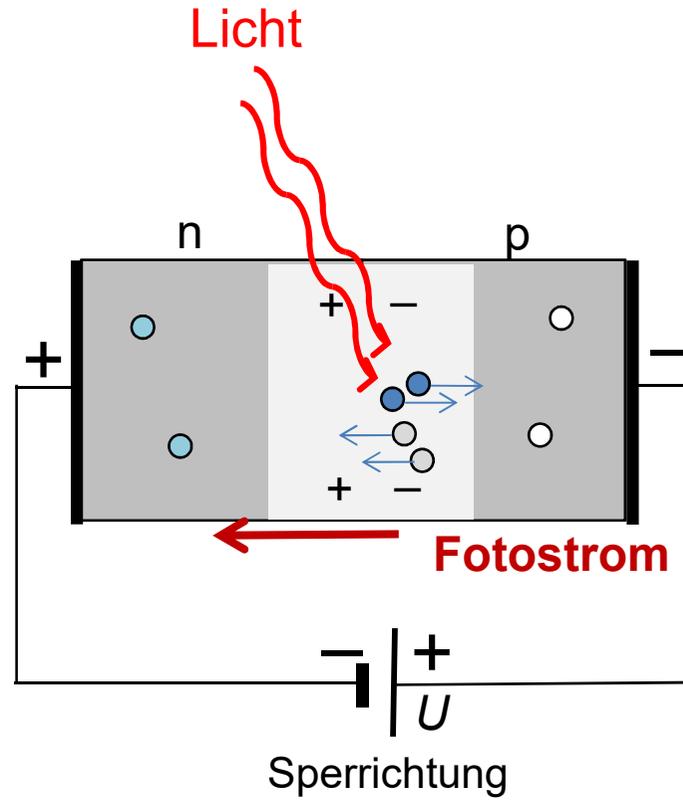


Durchlaßrichtung



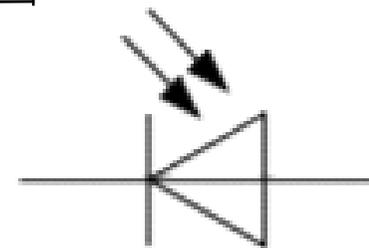
Sperrichtung

➤ Photodiode



Als Wirkung des einfallenden Photons entstehen:

- Angeregtes freies Elektron
- freies Loch

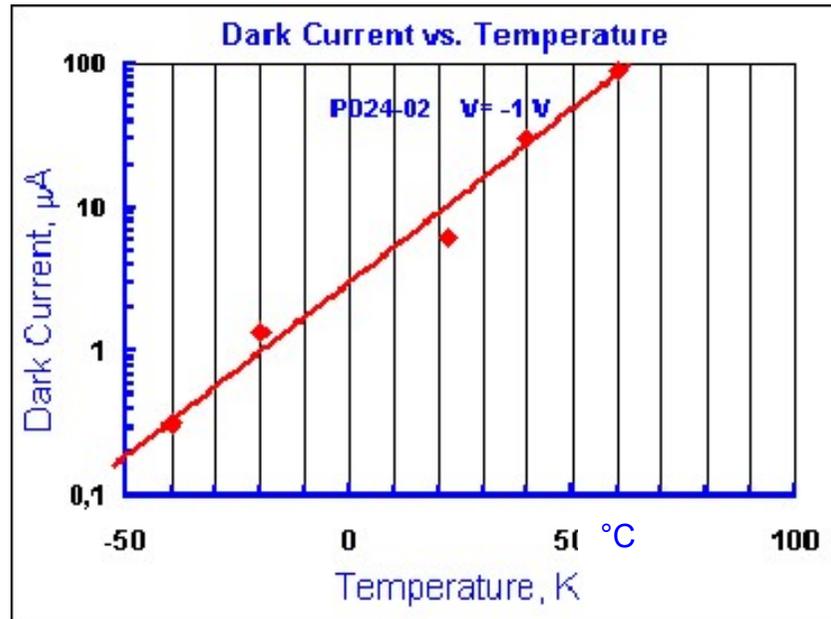


Stromstärke ~ Lichtintensität

(Nicht zu verwechseln mit den lichtemittierenden Dioden ➡ siehe Leuchtdioden, LED)

Technische Probleme bei den Lichtdetektoren:

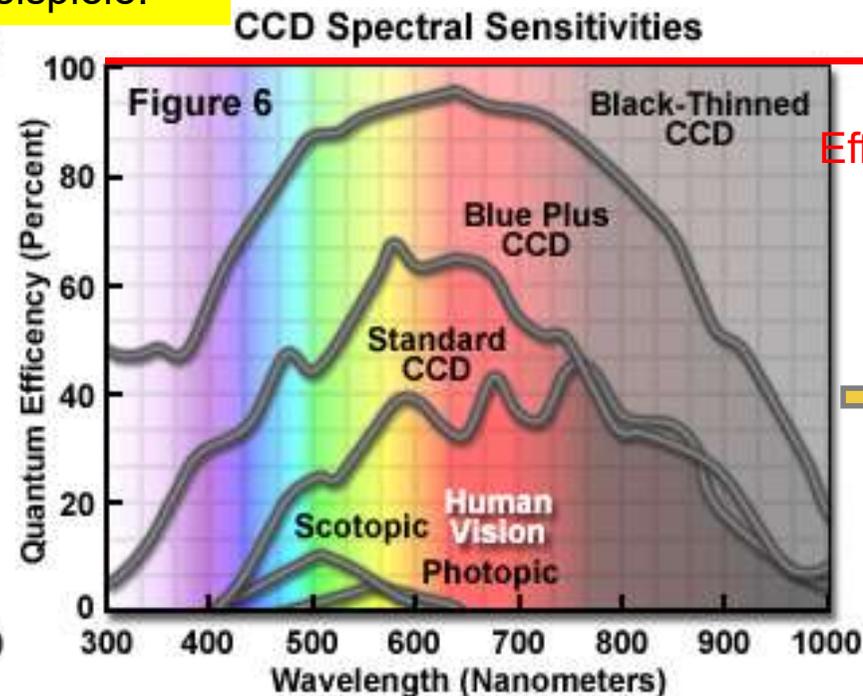
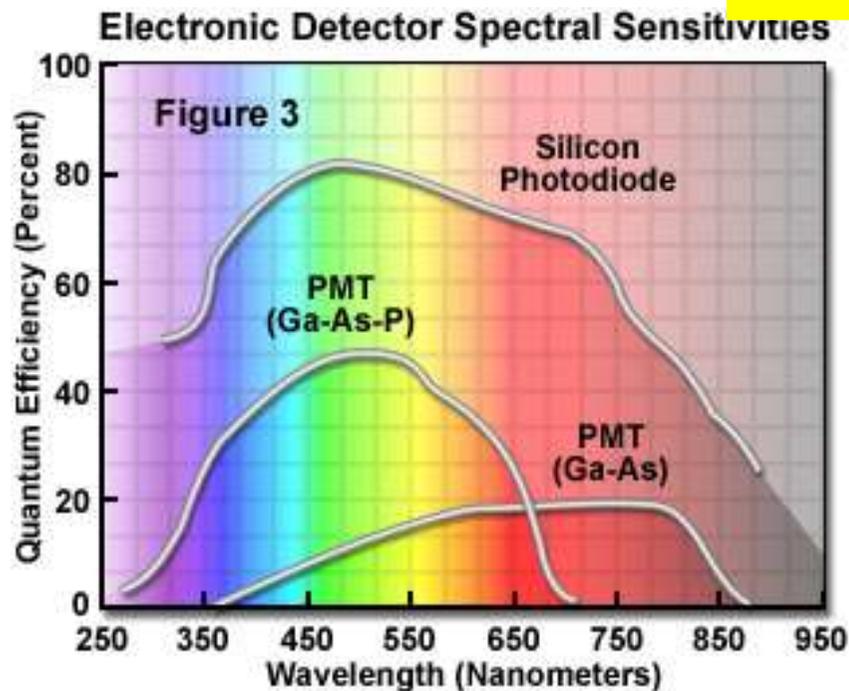
- Dunkelstrom/Rauschen



→ Lösung: Abkühlen

- Effizienzkurve (Empfindlichkeitskurve)

Beispiele:



ideale Effizienzkurve

→ Lösung: Korrektur

Hausaufgaben: Aufgabensammlung

2.1, 3-5, 7, 8, 40, 42, 45

