

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

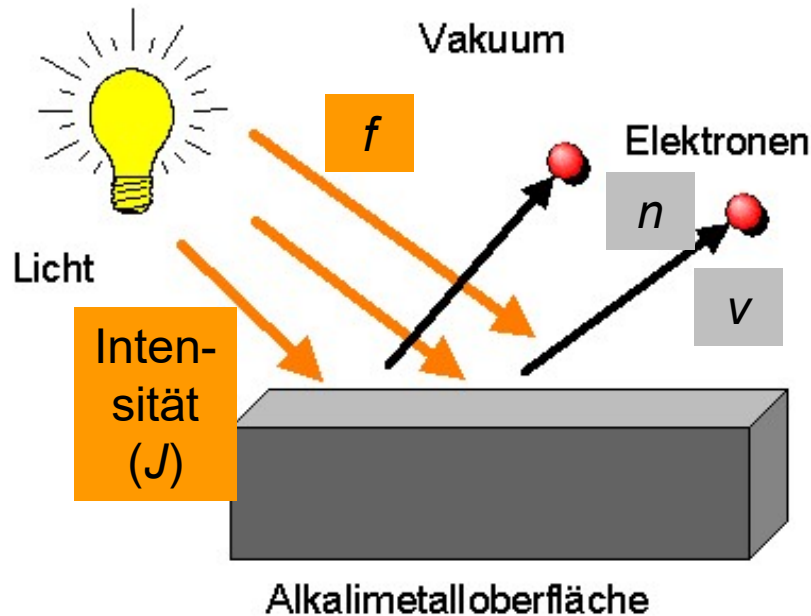
1. Emissionsspektrometrie

- 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:

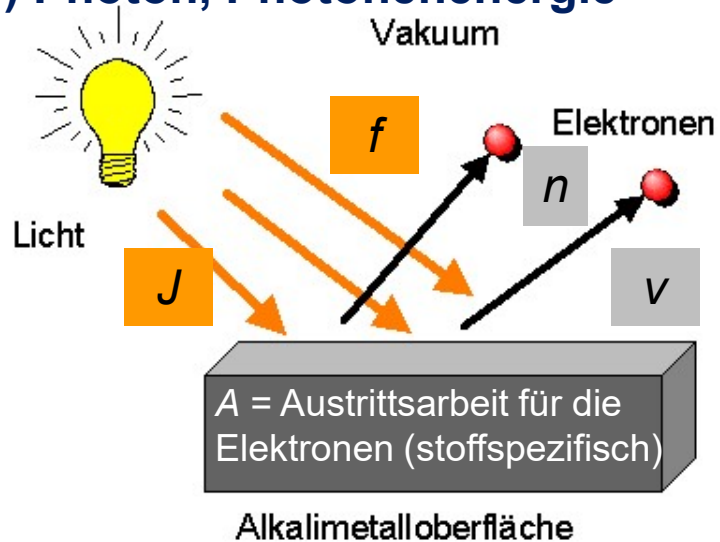
- die Zahl der ausgelösten Elektronen (n)
- die Geschwindigkeit der Elektronen (v)

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

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

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

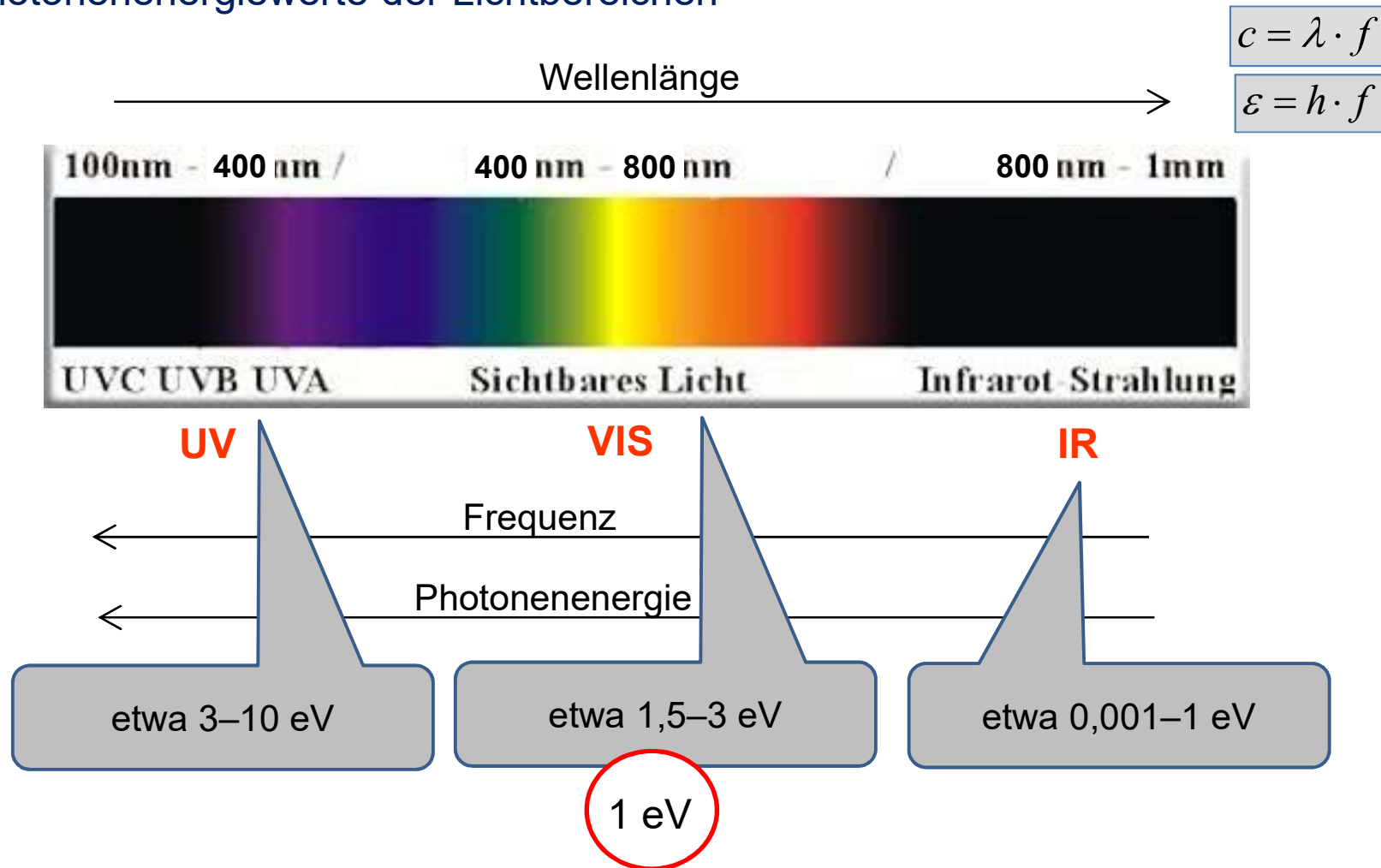
$$f_{\min} < f \Rightarrow A < h \cdot f = \varepsilon \Rightarrow \text{Elektron wird ausgelöst}$$

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

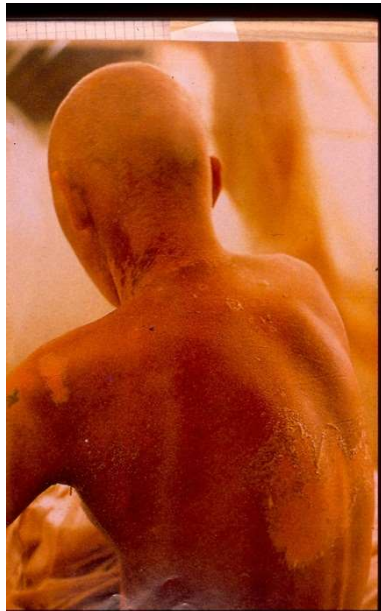
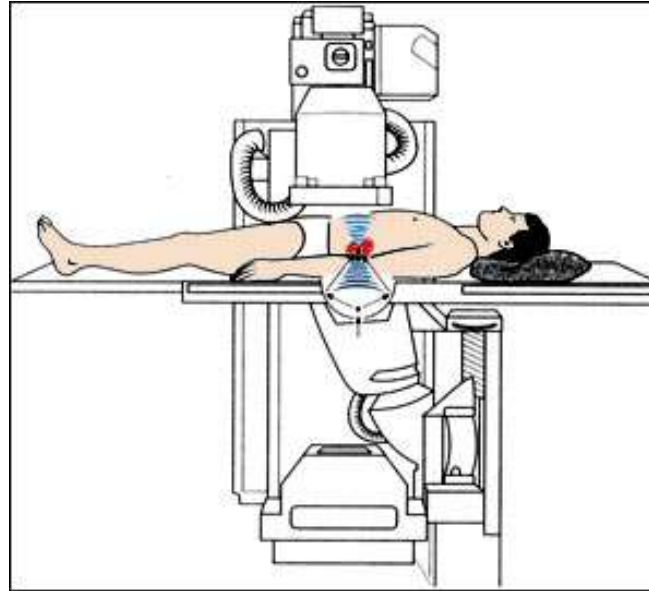
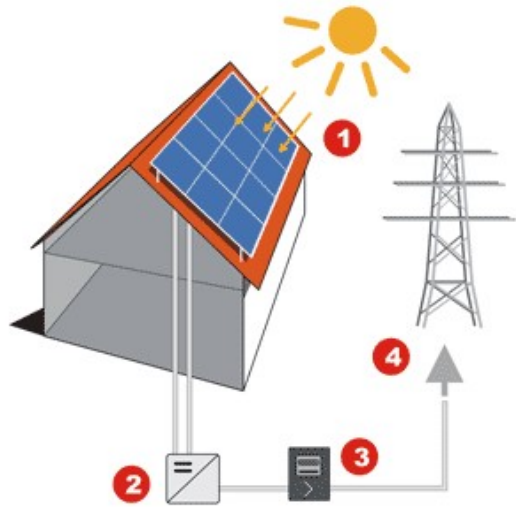
Bei zunehmender Intensität (mehr Photonen) werden mehr Elektronen ausgelöst.

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

- Photonenenergiewerte 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):**

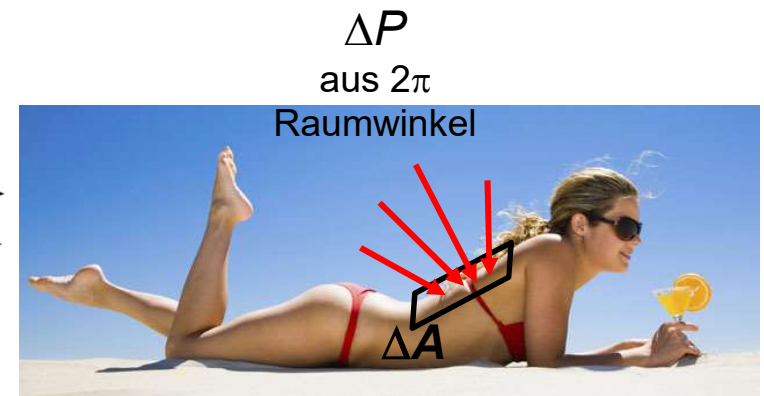
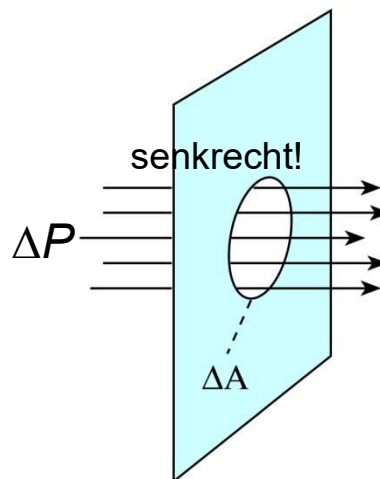
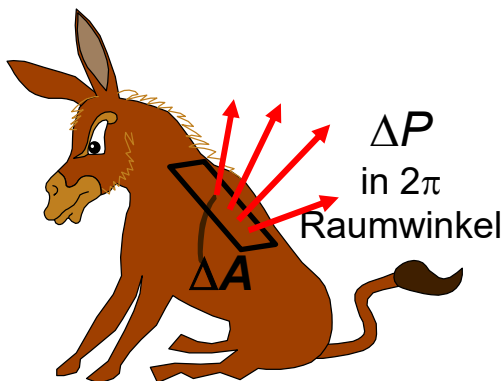
$$M = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$

**Strahlungsintensität
(J):**

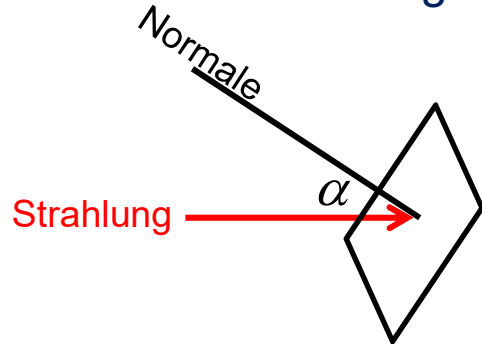
$$J = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$

**Bestrahlungsstärke
(E):**

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

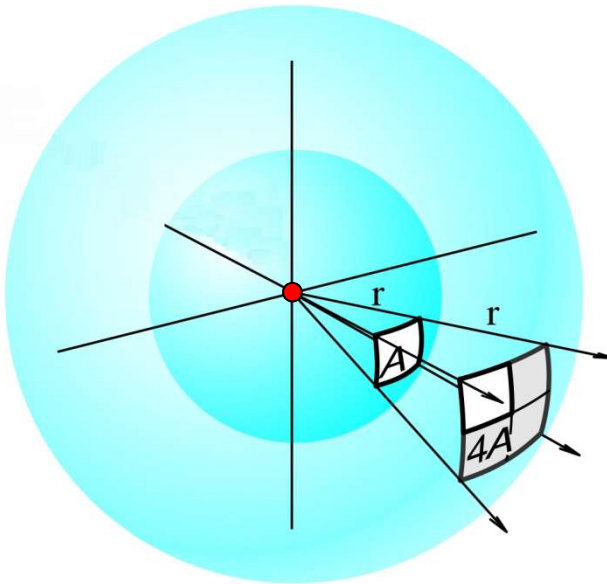


- Zusammenhang zwischen J und E :

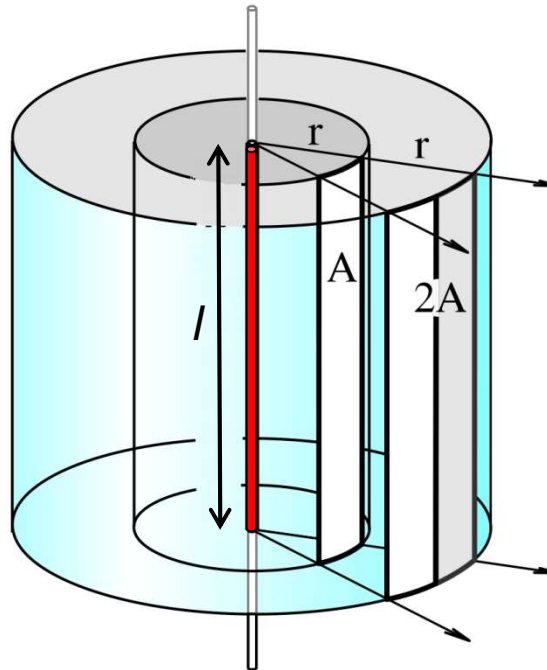


b) Strahlungsquellen mit verschiedener Geometrie:

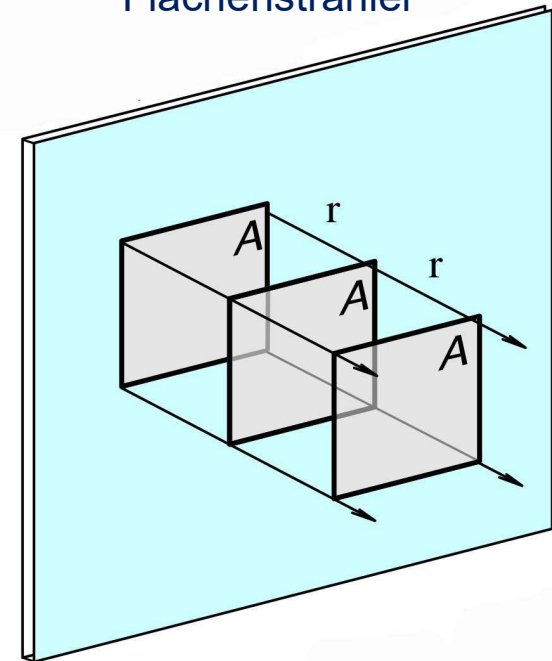
Punktstrahler



Linienstrahler



Flächenstrahler

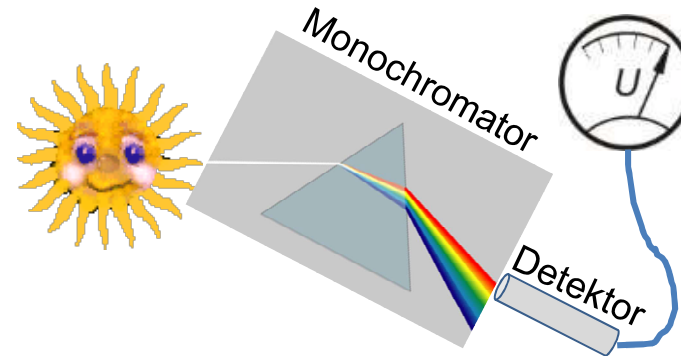


$J(r)$

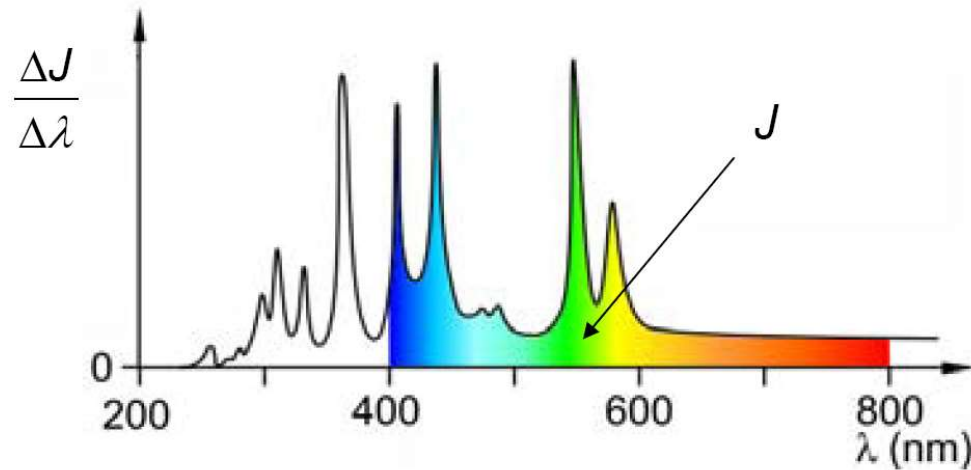
VI. Lichtemission

1. Emissionsspektrometrie

Analyse des emittierten
(ausgestrahlten) Lichts



a) Emissionsspektrum

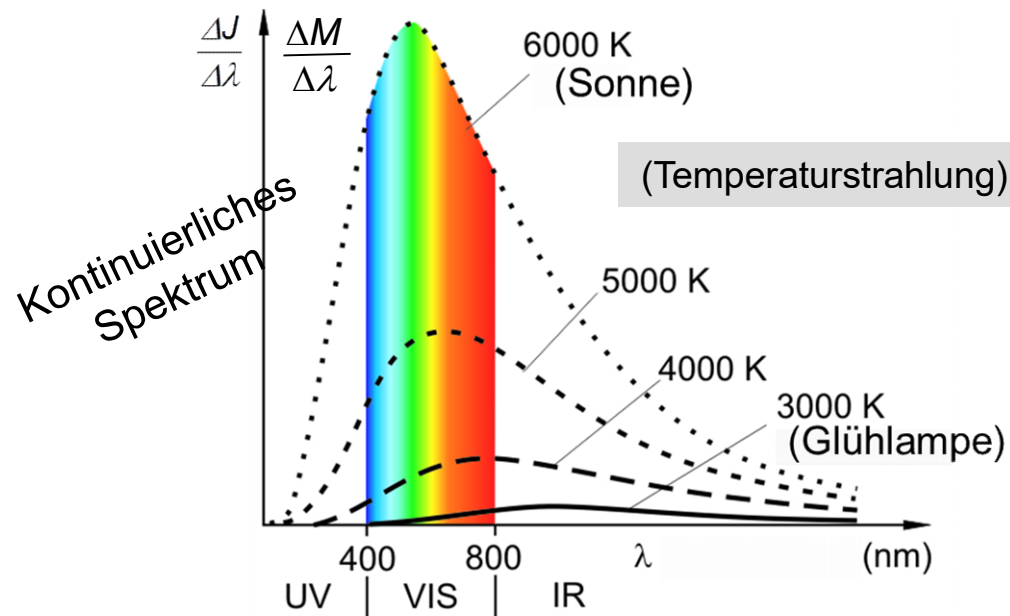
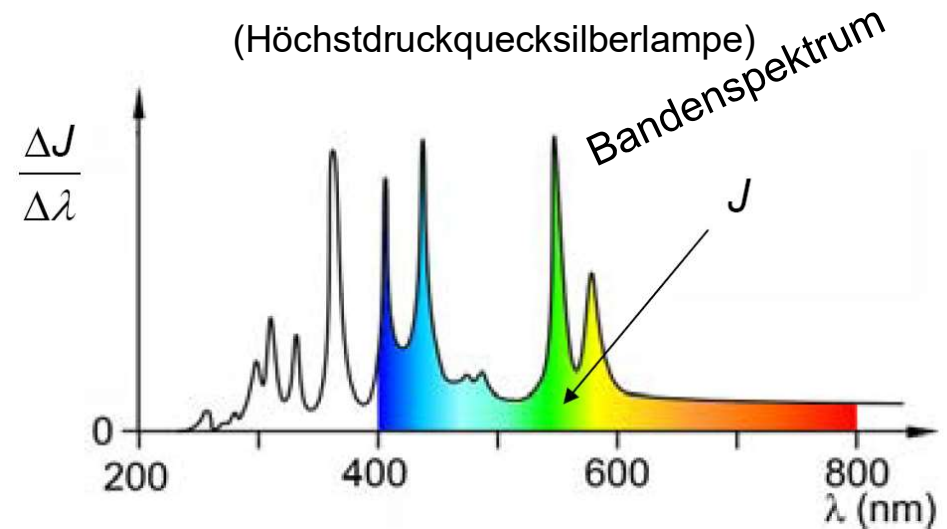
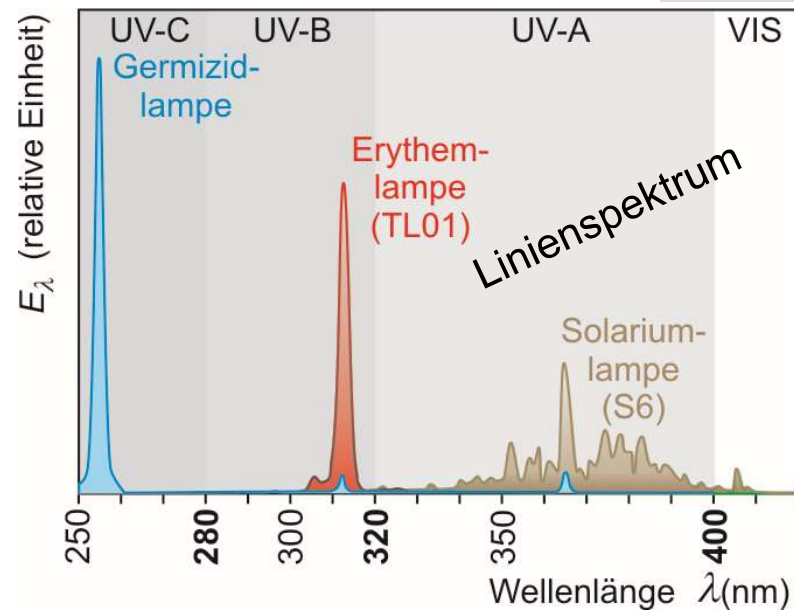


Spektrumtypen:

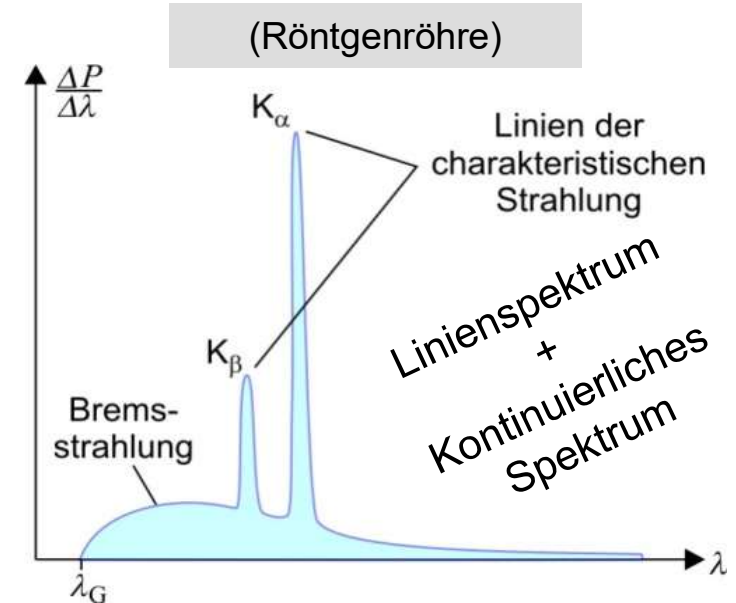
- Linienspektrum
- Bandenspektrum
- Kontinuierliches Spektrum

Beispiele:

(Lumineszenzlampen)

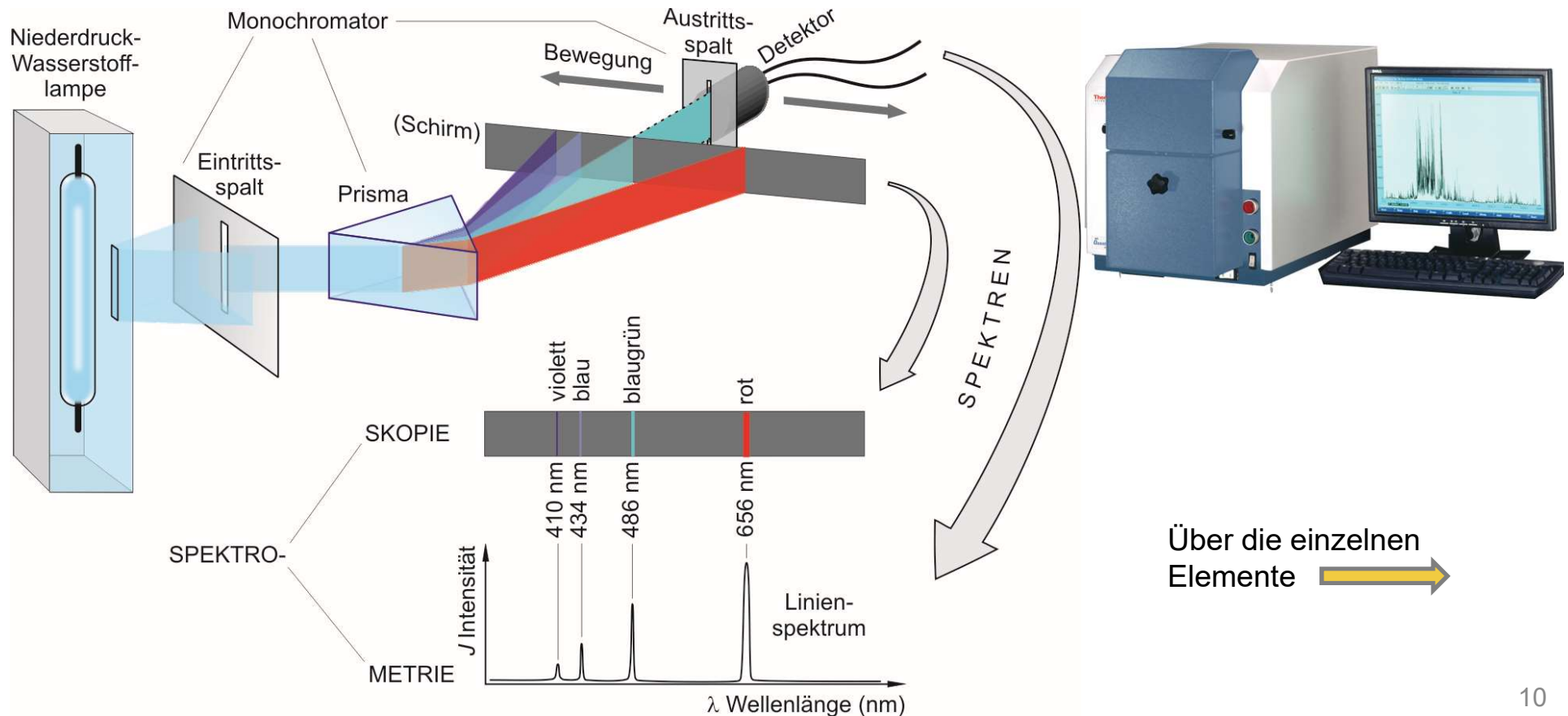
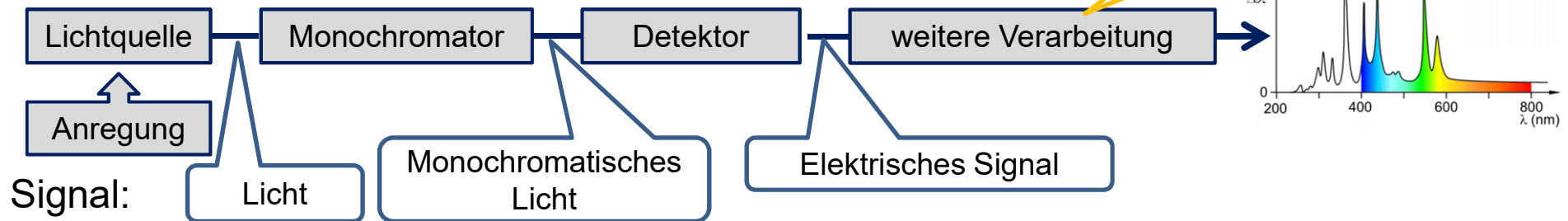


(Temperaturstrahlung)



b) Messung des Emissionsspektrums

Aufbau eines Emissionsspektrometers:

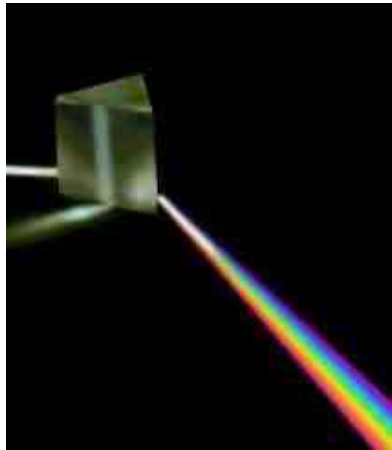


c) Monochromator

● Prisma

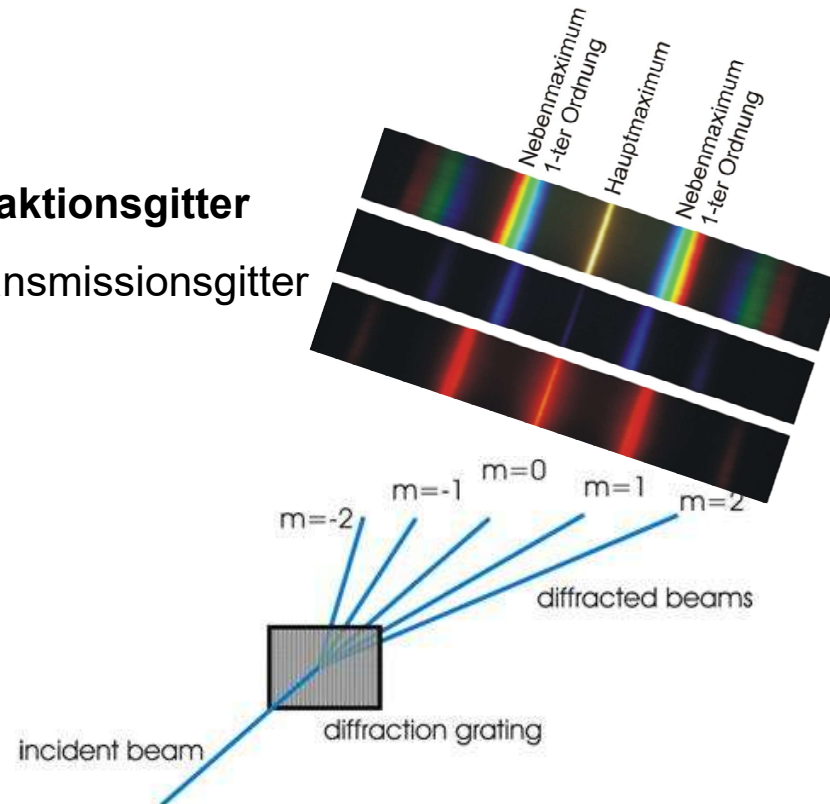
Funktionsprinzip:

Dispersion

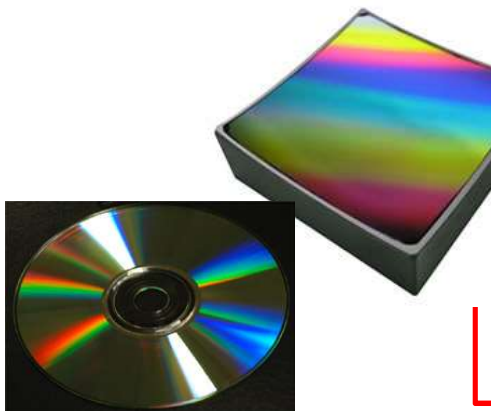
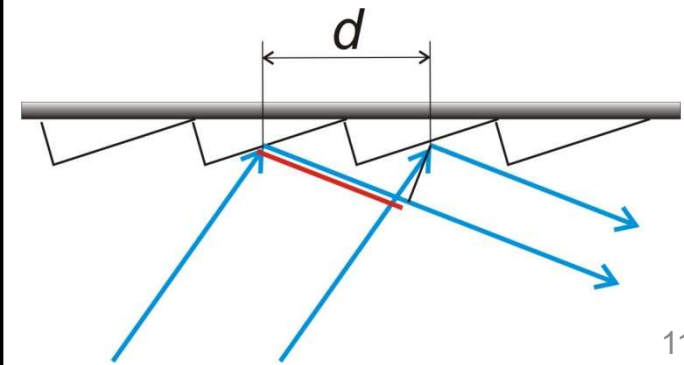
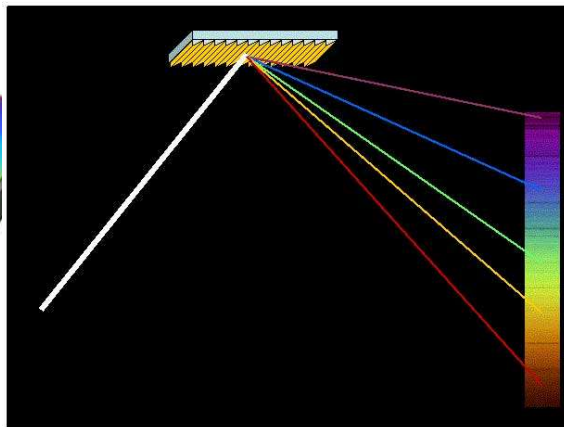


● Diffraktionsgitter

— Transmissionsgitter



— Reflexionsgitter Funktionsprinzip: **Interferenz**



Vergleich des Prismas und Gitters

● Prisma



Nonlineare Aufspaltung
(ungleichmäßige Skaleneinteilung)



Intensitätsreich
(die ganze Strahlung ist zerlegt,)

● Transmissionsgitter

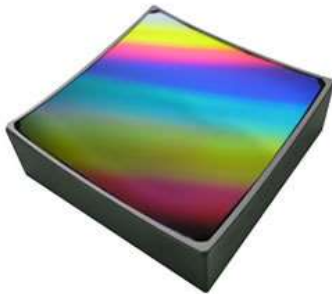


Lineare Skala
(gleichmäßige Skaleneinteilung)



Intensitätsarm
(nur Teil der Strahlung ist zerlegt,)

● Reflexionsgitter



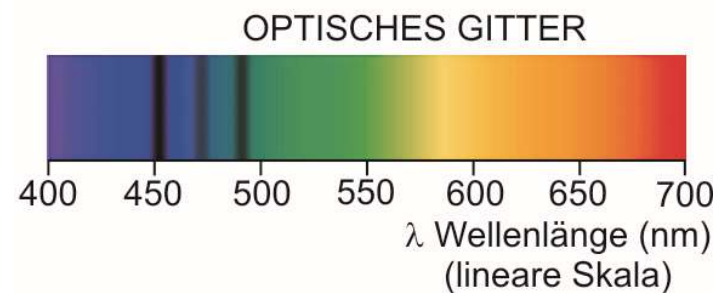
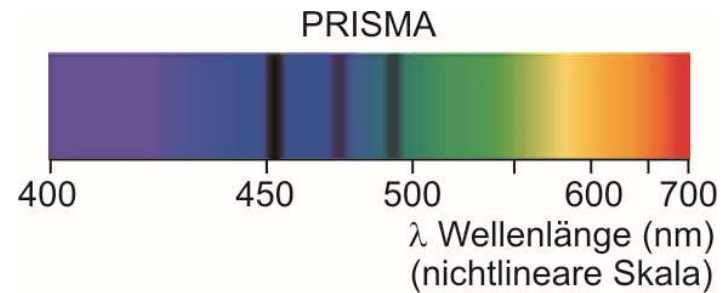
Lineare Skala
(gleichmäßige Skaleneinteilung)



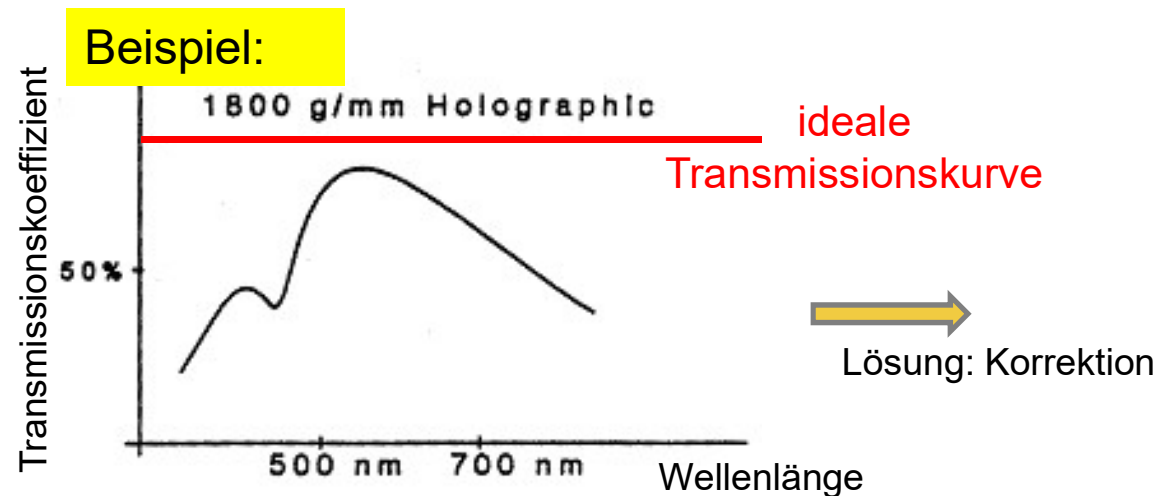
Intensitätsreich
(Großteil der Strahlung ist zerlegt,)

Technische Probleme bei den Monochromatoren:

- Wellenlängeskala
(siehe oben)



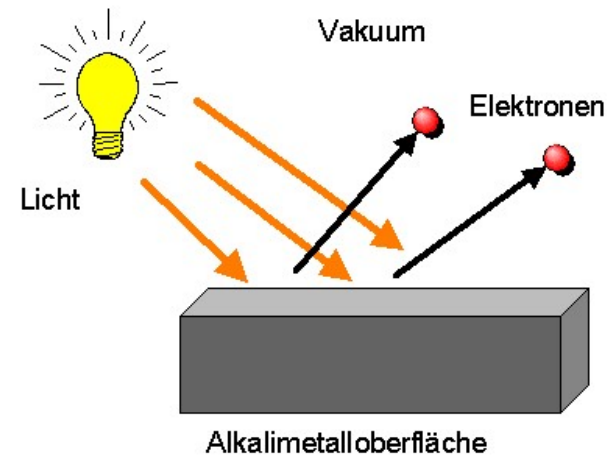
- Transmissionskurve
(Frequenzgang)



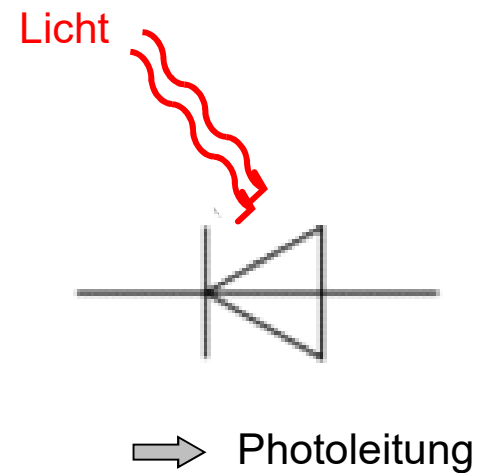
d) Lichtdetektor

- Photozelle
- Photomultiplier (PM)
(Sekundärelektronenvervielfacher, SEV):

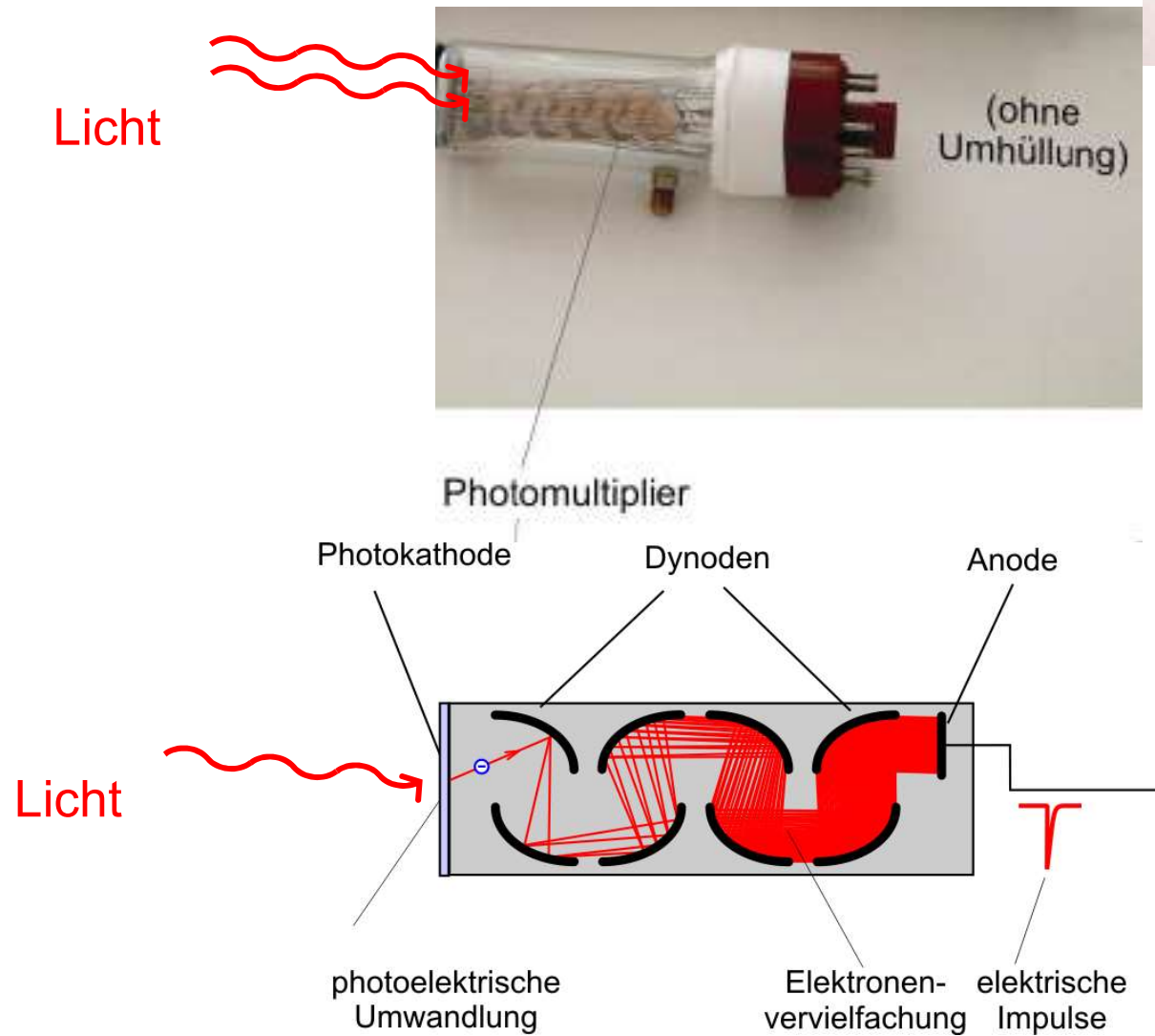
Prinzip:
äußerer
lichtelektrischer
Effekt



- (Halbleiter) Photodiode:

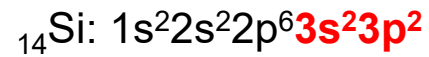


Photomultiplier (PM) (Sekundärelektronenvervielfacher – SEV):



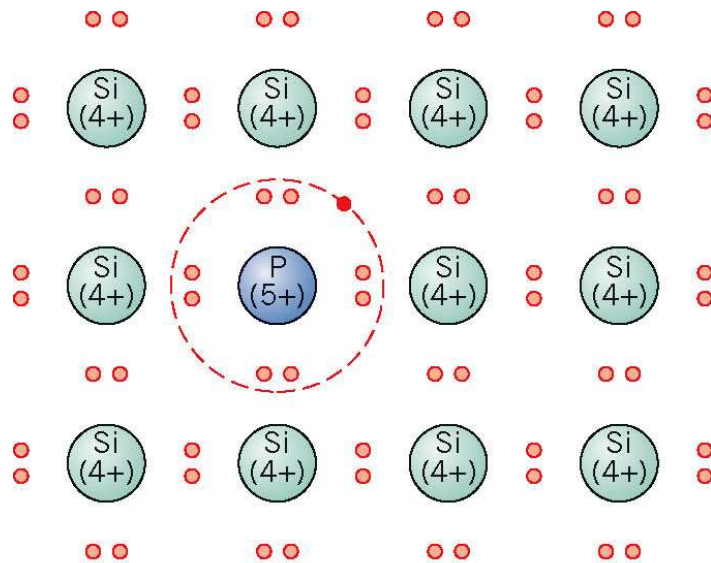
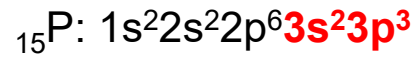
- Dotierte Halbleiter

Grundkristall z.B. Si



n-Halbleiter

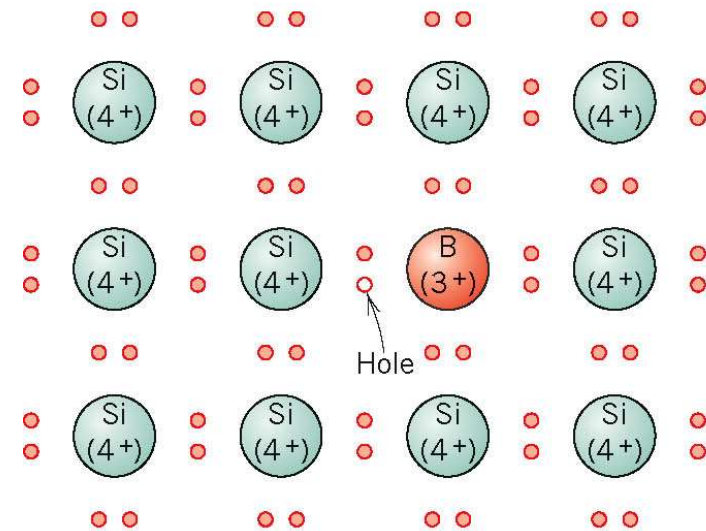
z. B. + P



Elektronenleitung
(n-Leitung)

p-Halbleiter

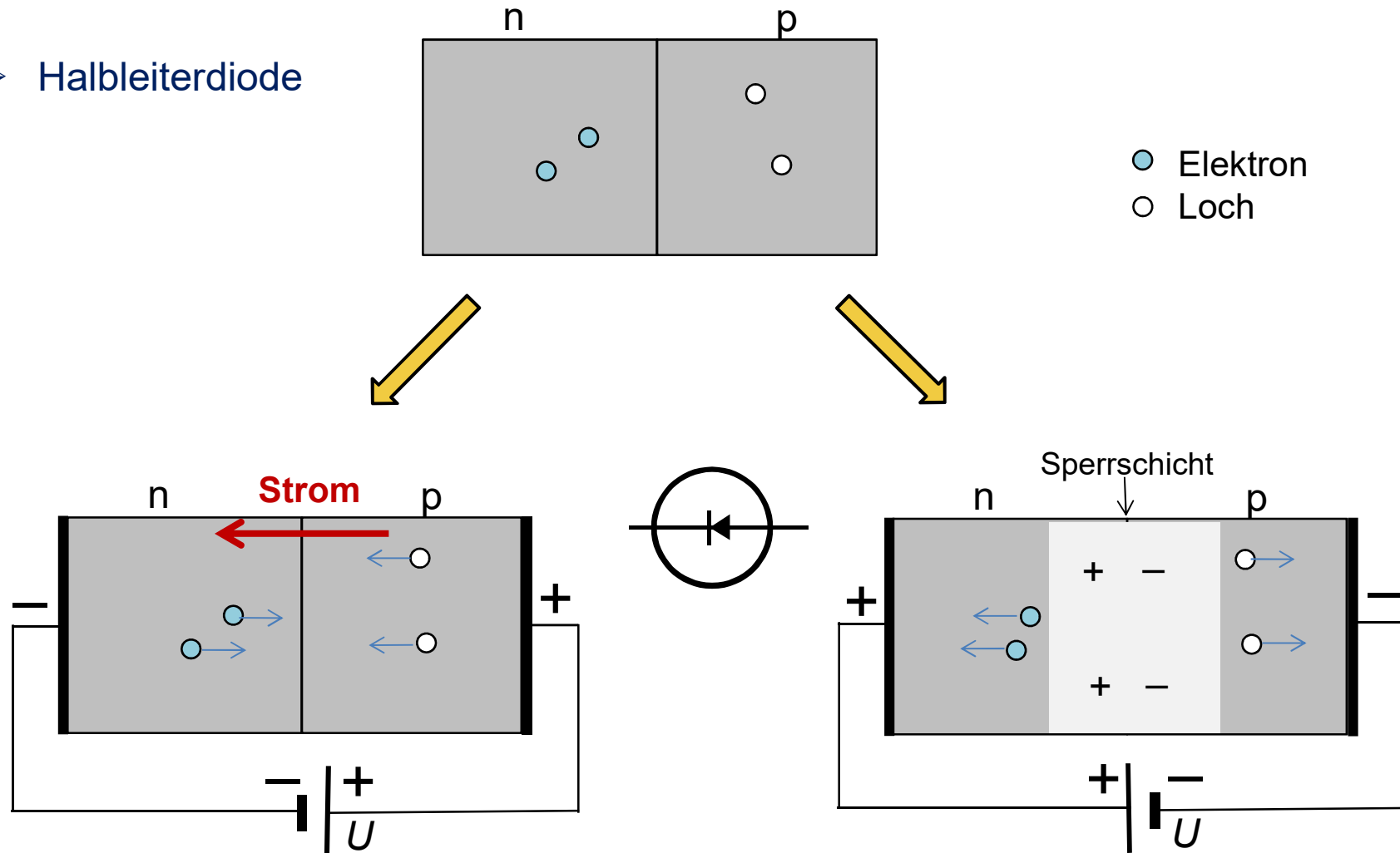
z. B. + B



Löcherleitung
(p-Leitung)

- Anwendungen der dotierten Halbleiter

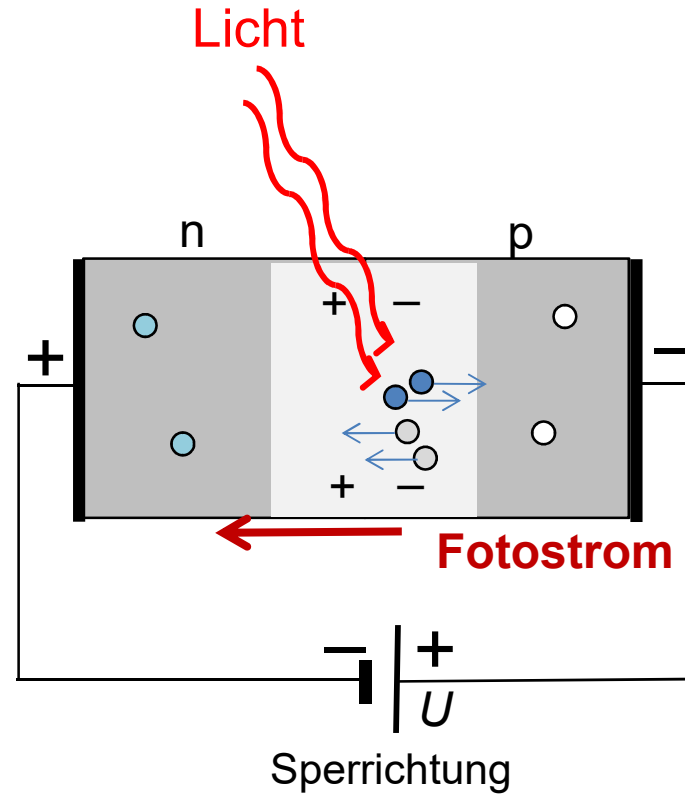
- Halbleiterdiode



Durchlaßrichtung

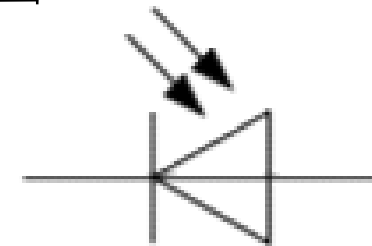
Sperrrichtung

➤ Photodiode



Als Wirkung des einfallenden Photons entstehen:

- Angeregtes freies Elektron
- freies Loch

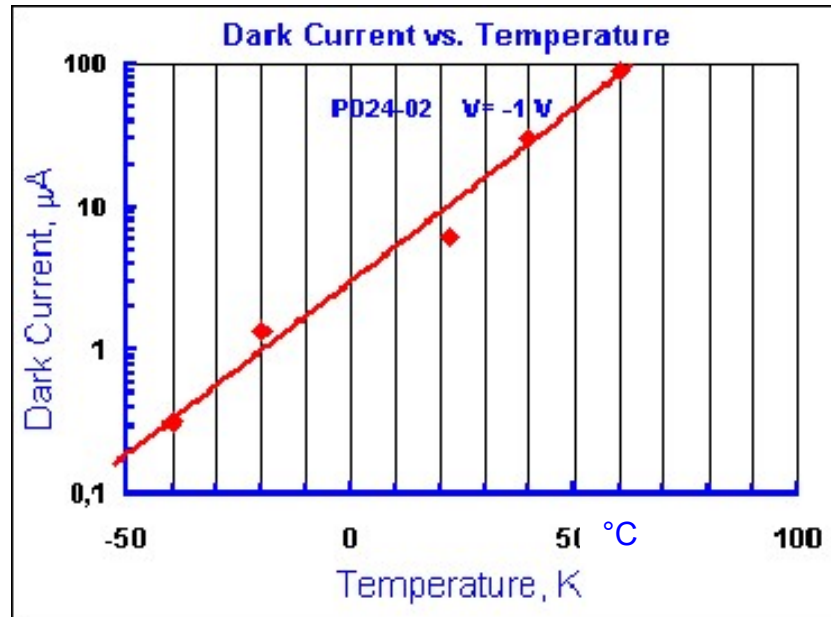


Stromstärke \sim Lichtintensität

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

Technische Probleme bei den Lichtdetektoren:

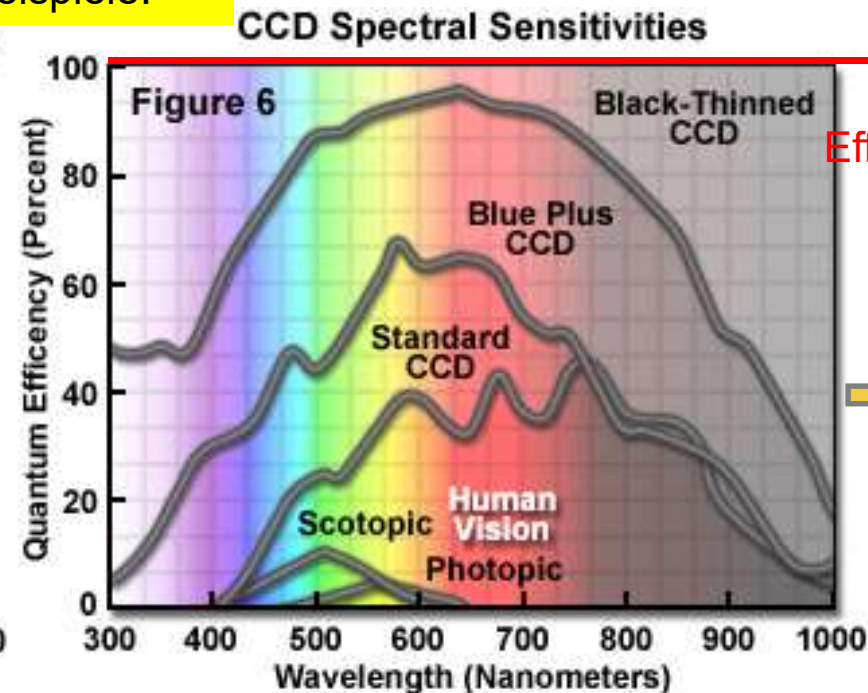
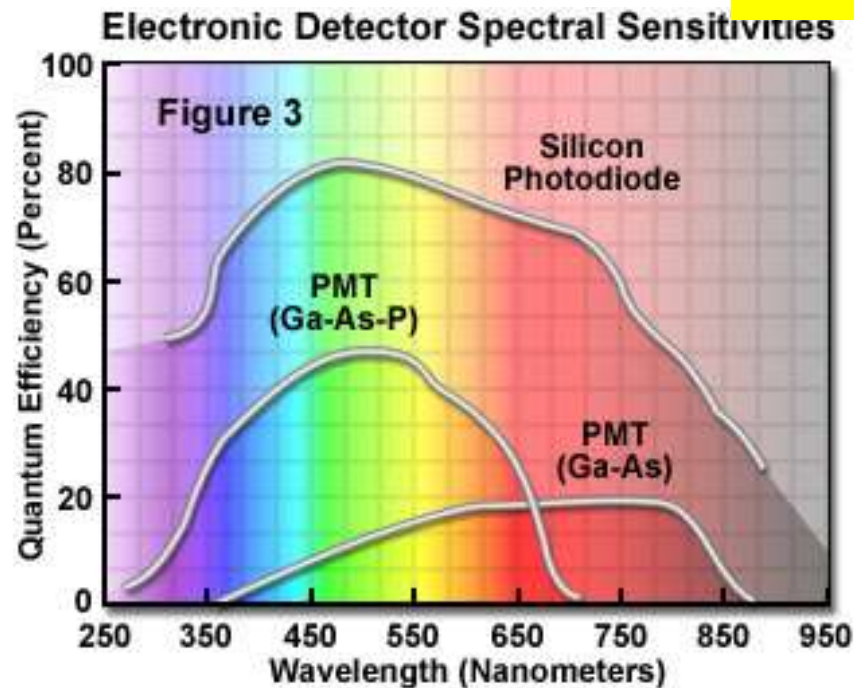
- Dunkelstrom/Rauschen



→
Lösung:
Abkühlen

- Effizienzkurve (Empfindlichkeitskurve)

Beispiele:



ideale
Effizienzkurve

→
Lösung:
Korrektion

Hausaufgaben: Aufgabensammlung
2.1, 3-5, 7, 8, 40, 42, 45

