

Medizinische Biophysik

5. Vorlesung
04. 10. 2023

Licht in der Medizin. Eigenschaften des Lichts,
Emissionsspektrometrie, Temperaturstrahlung

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

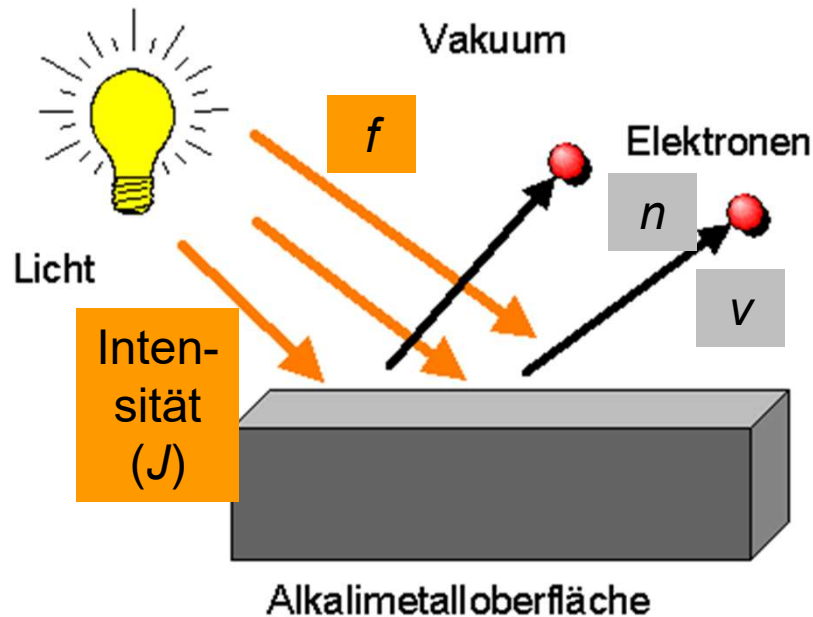
1. Emissionsspektrometrie

- 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:

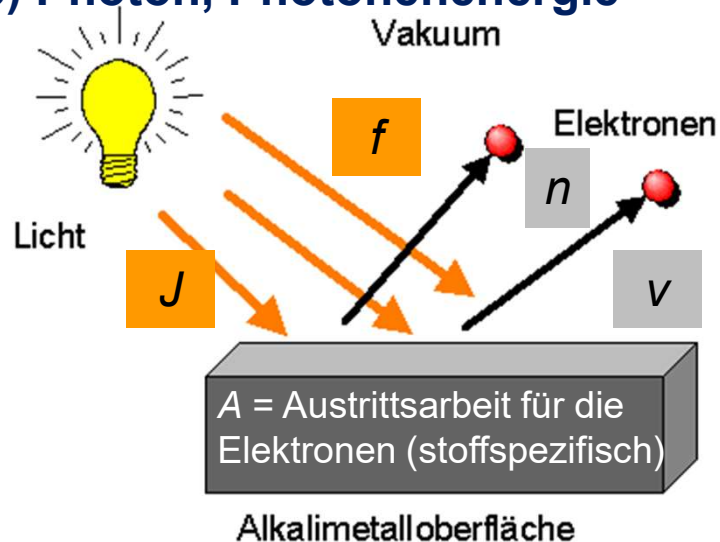
- die Zahl der ausgelösten Elektronen (n)
- die Geschwindigkeit der Elektronen (v)

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

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

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

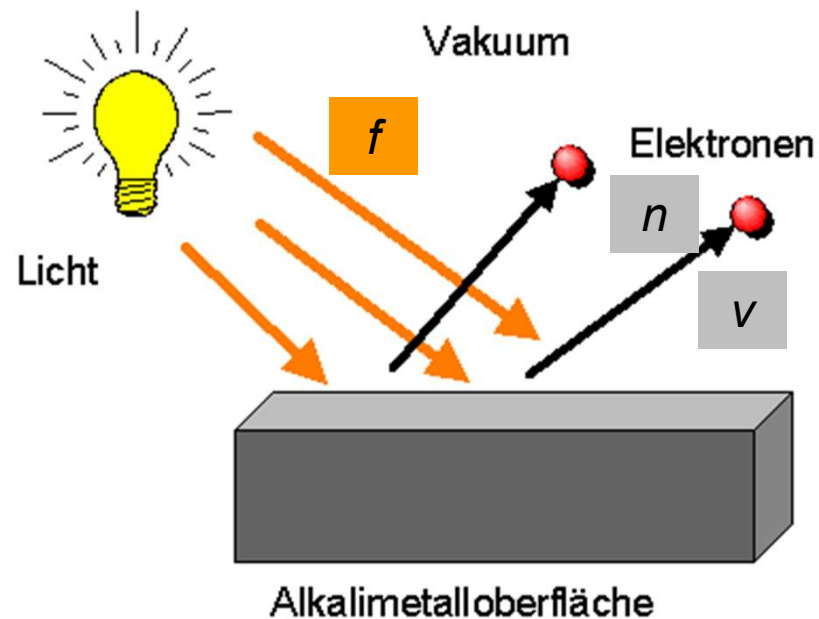
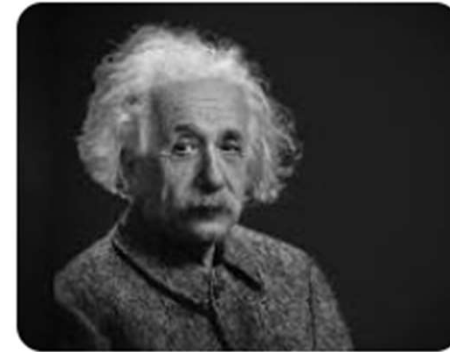
$$f_{\min} < f \Rightarrow A < h \cdot f = \varepsilon \Rightarrow \text{Elektron wird ausgelöst}$$

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

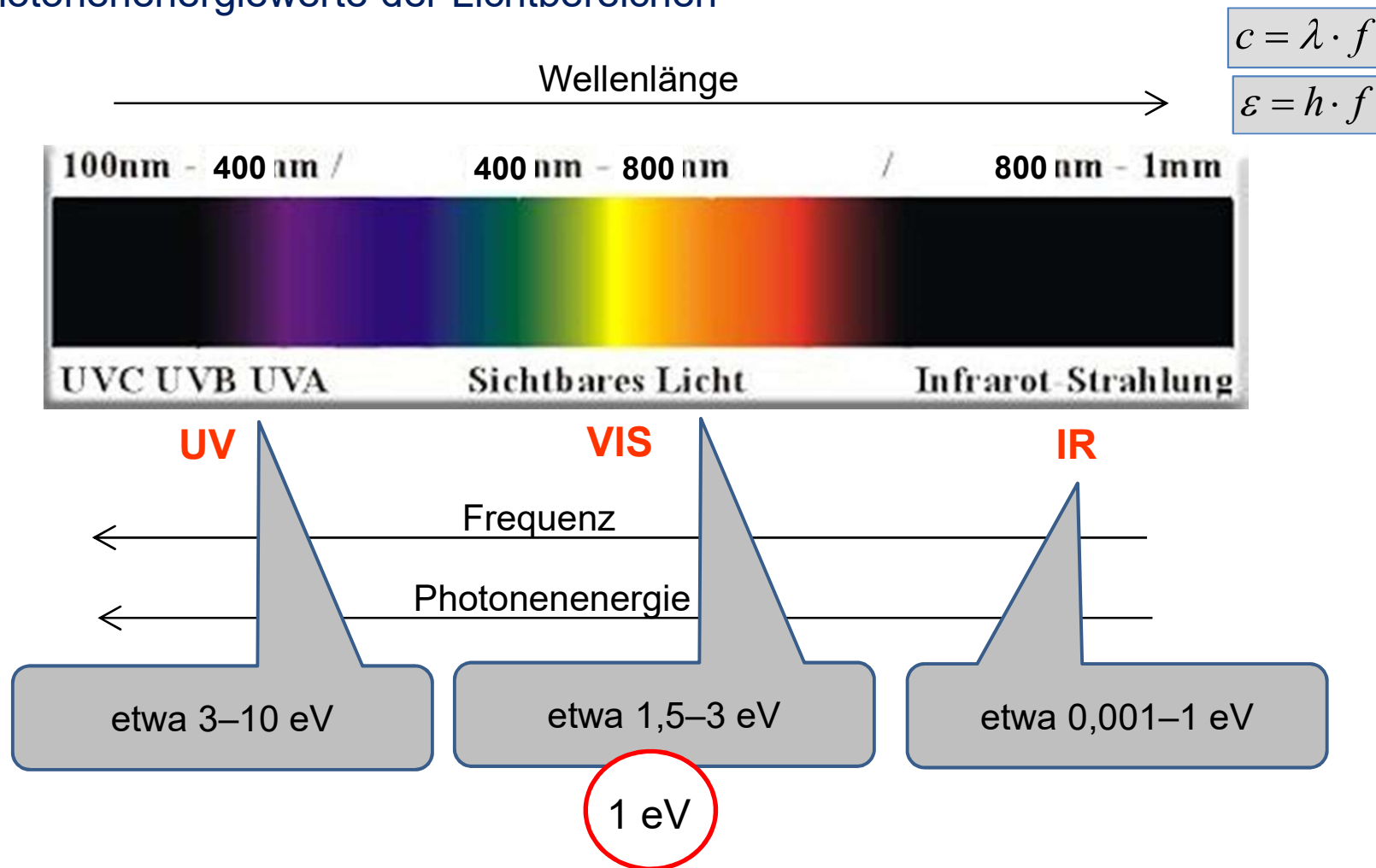
Bei zunehmender Intensität (mehr Photonen) werden mehr Elektronen ausgelöst.

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

On 9 November 1922, the Royal Swedish Academy of Sciences voted to award Albert Einstein the previously reserved 1921 Nobel Prize in Physics for “his services to theoretical physics, and especially for his discovery of the law of the photoelectric effect.”

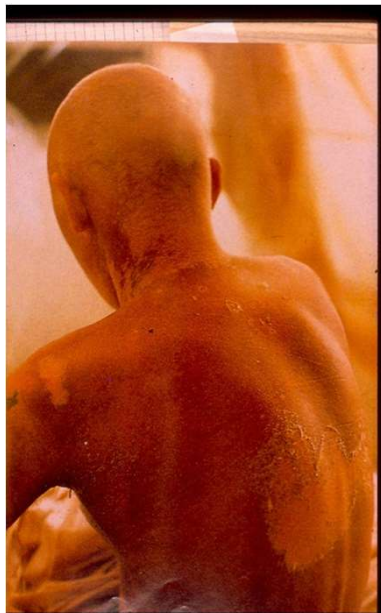
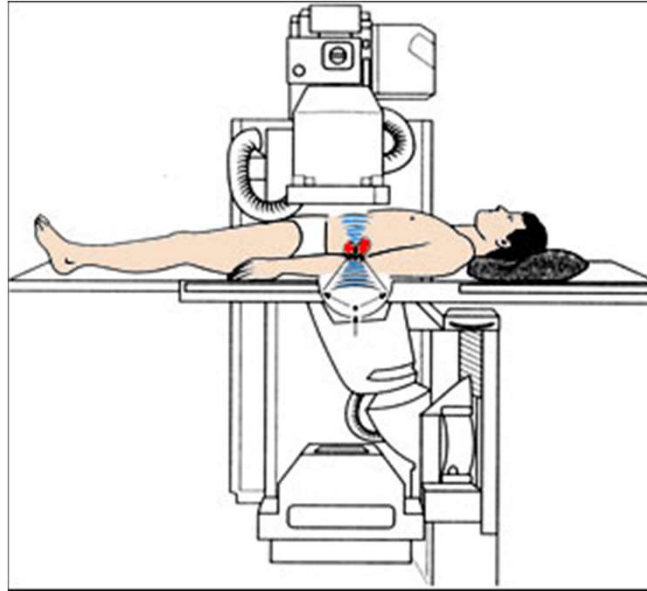
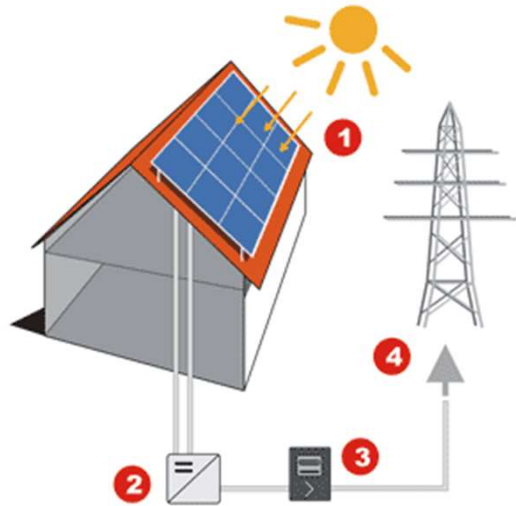


- Photonenenergiewerte der Lichtbereiche



UVC 100-280 nm
 UVB 280-320 nm
 UVA 320-400 nm

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



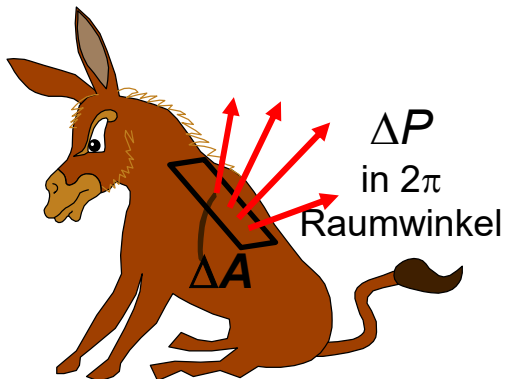
Strahlung



bestrahlter
Körper

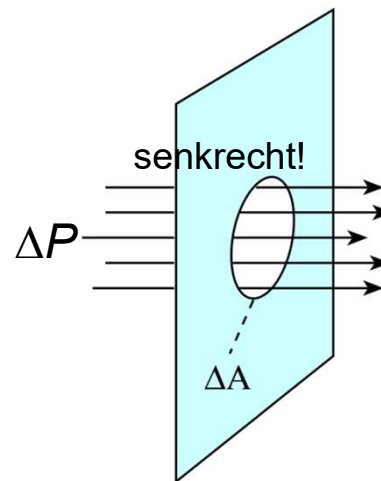
**Spezifische Ausstrahlung
(M):**

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



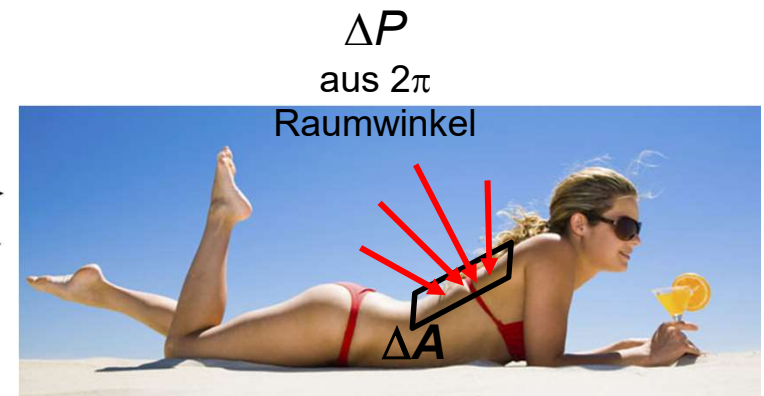
**Strahlungsintensität
(J):**

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

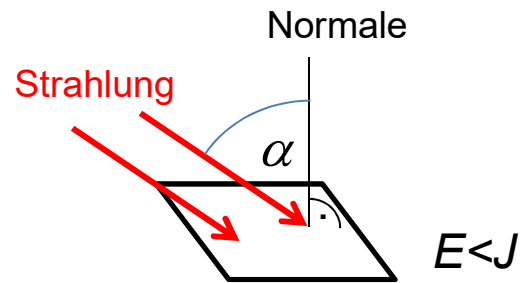
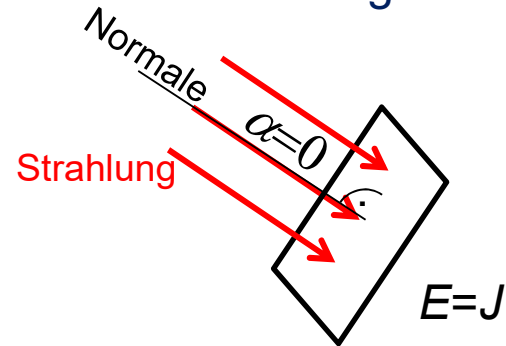


**Bestrahlungsstärke
(E):**

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

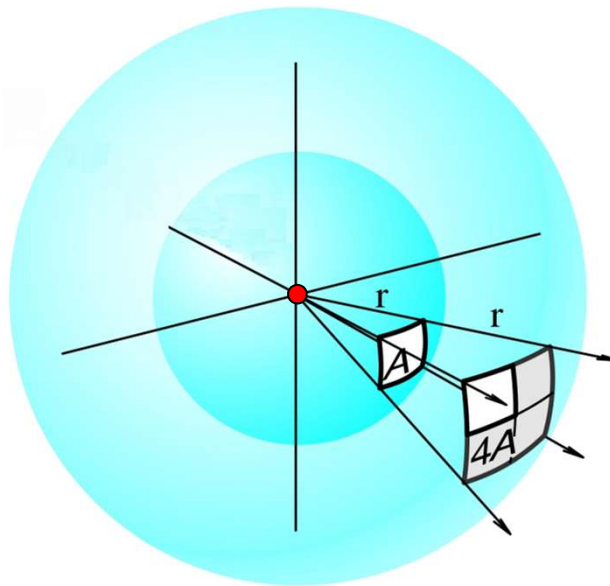


- Zusammenhang zwischen J und E :

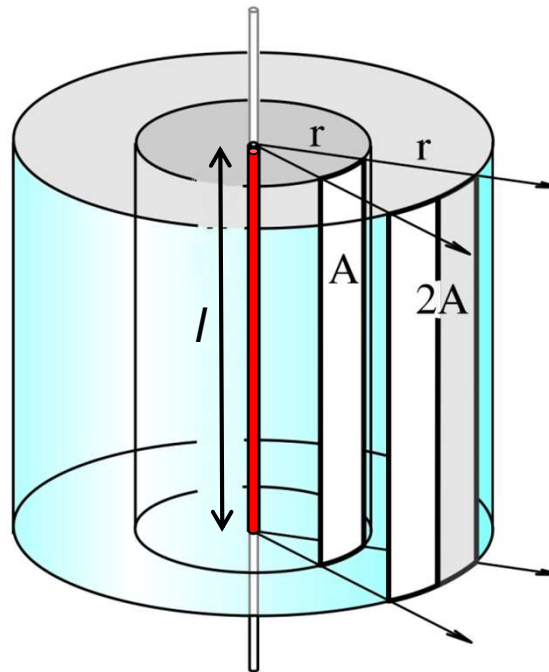


b) Strahlungsquellen mit verschiedener Geometrie:

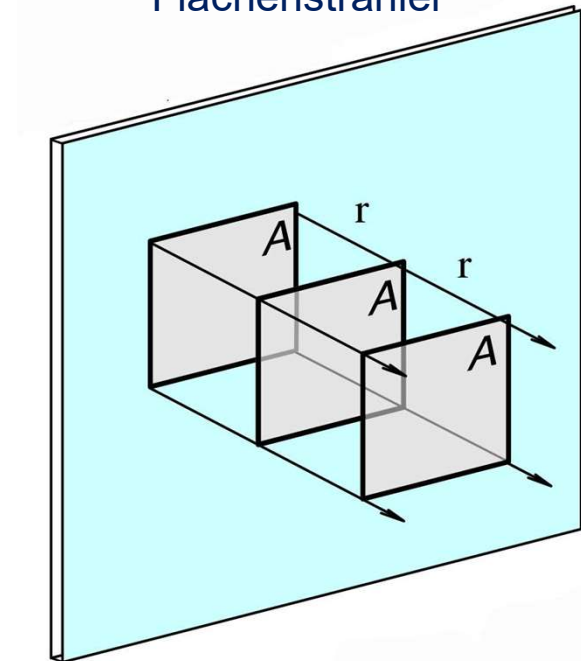
Punktstrahler



Linienstrahler



Flächenstrahler

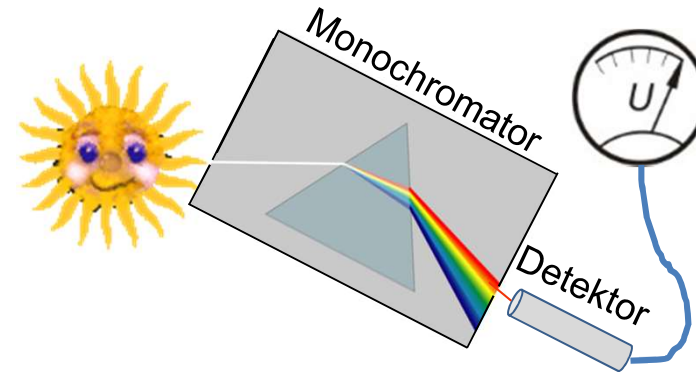


$J(r)$

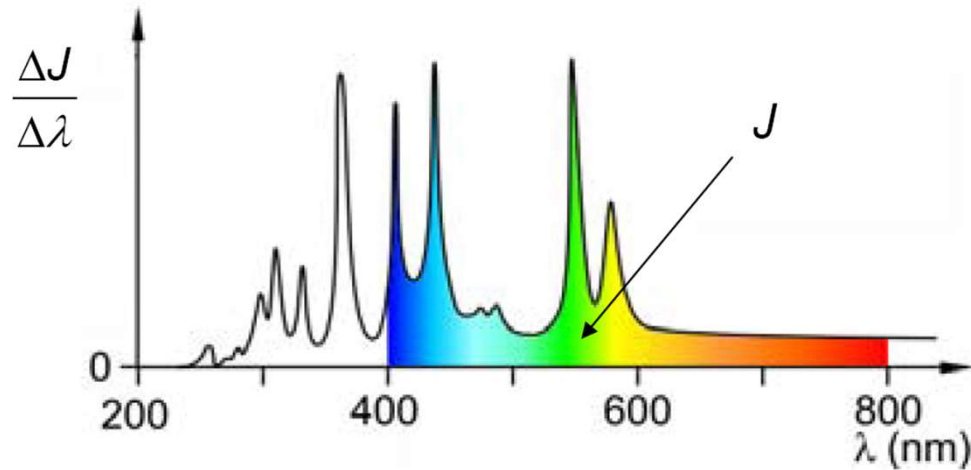
VI. Lichtemission

1. Emissionsspektrometrie

Analyse des emittierten
(ausgestrahlten) Lichts



a) Emissionsspektrum

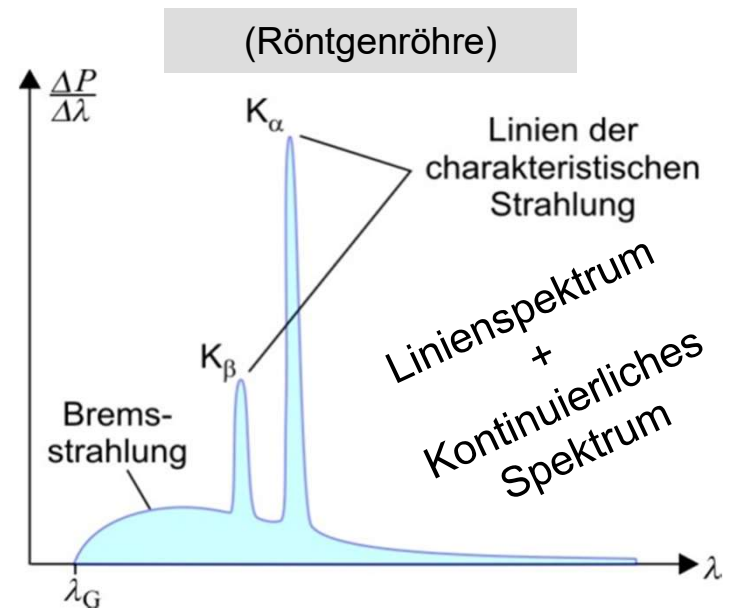
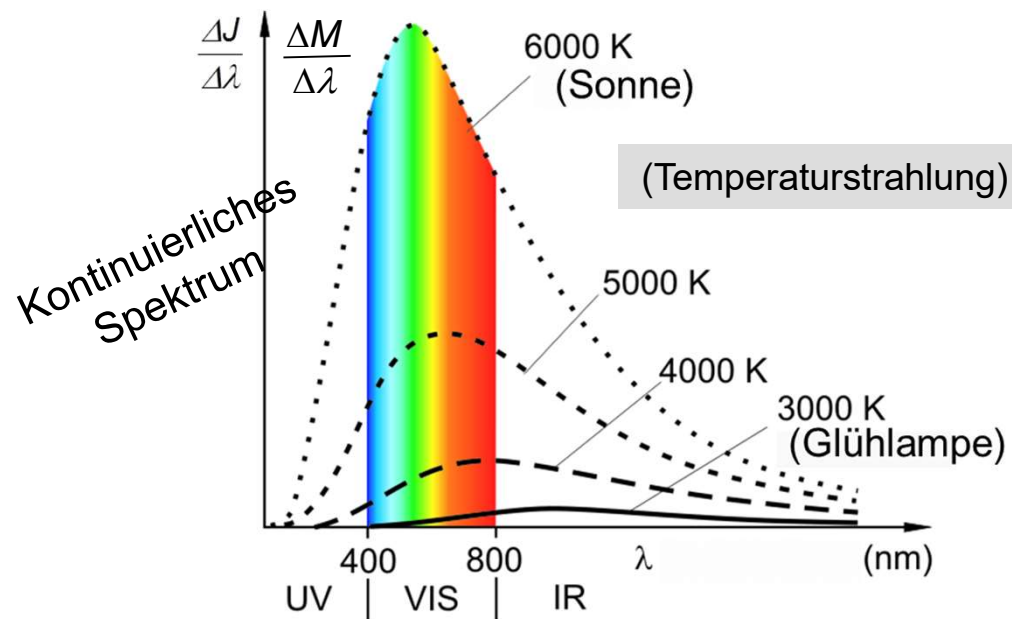
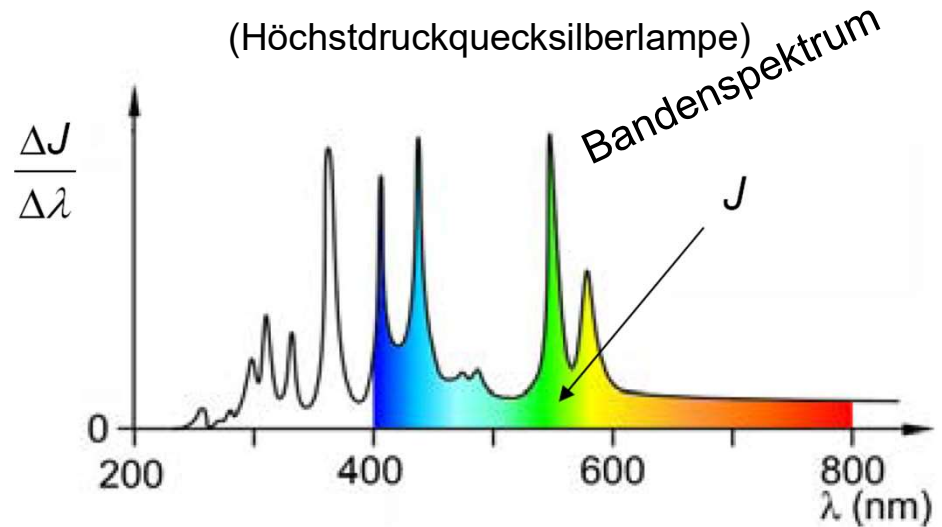
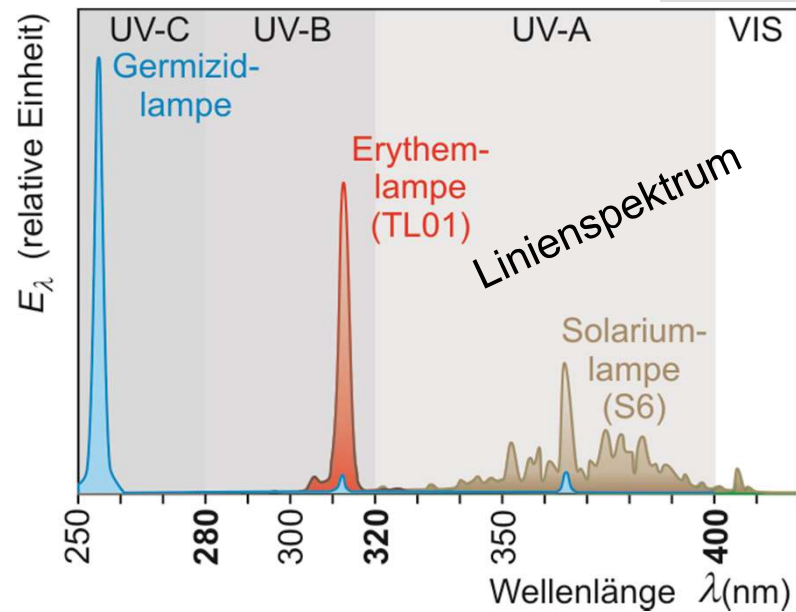


Spektrumtypen:

- Linienspektrum
- Bandenspektrum
- Kontinuierliches Spektrum

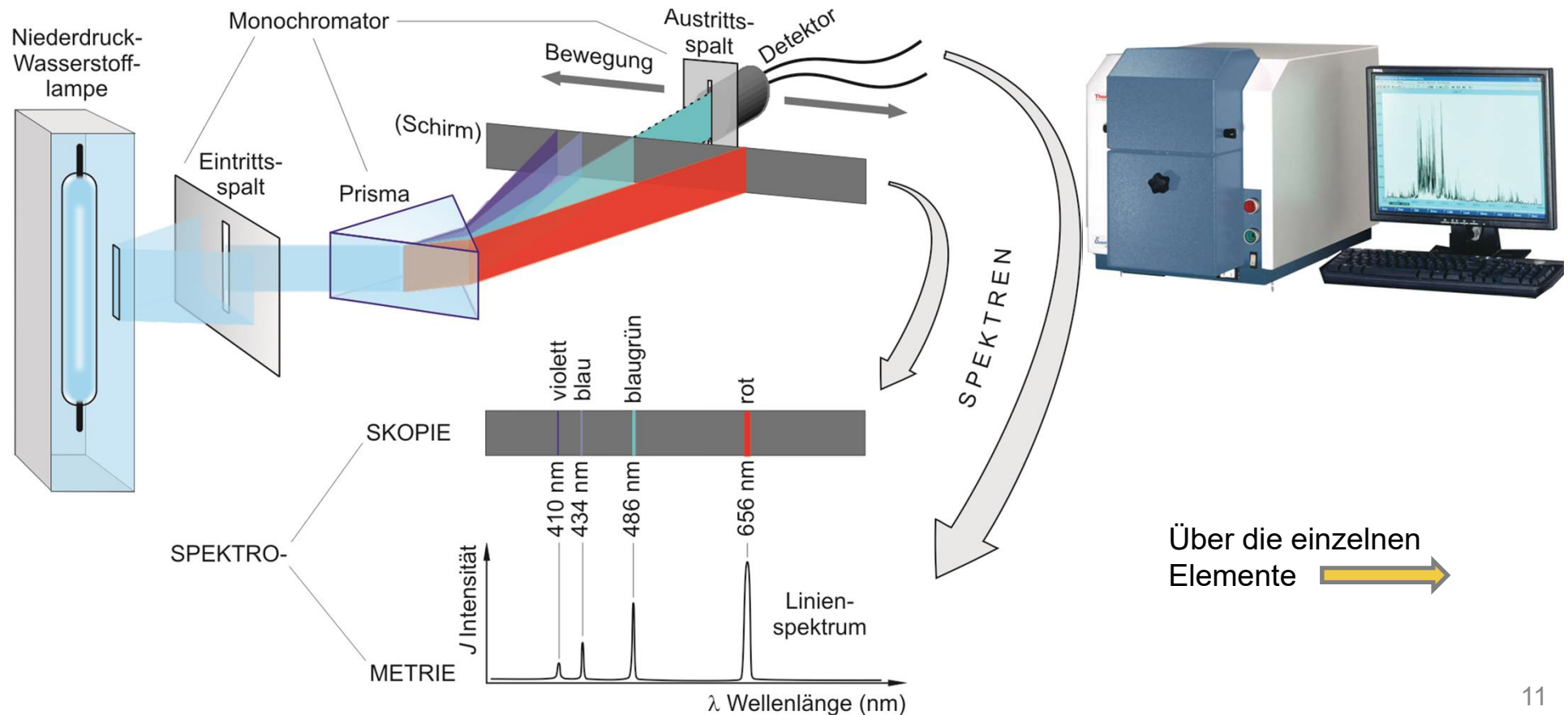
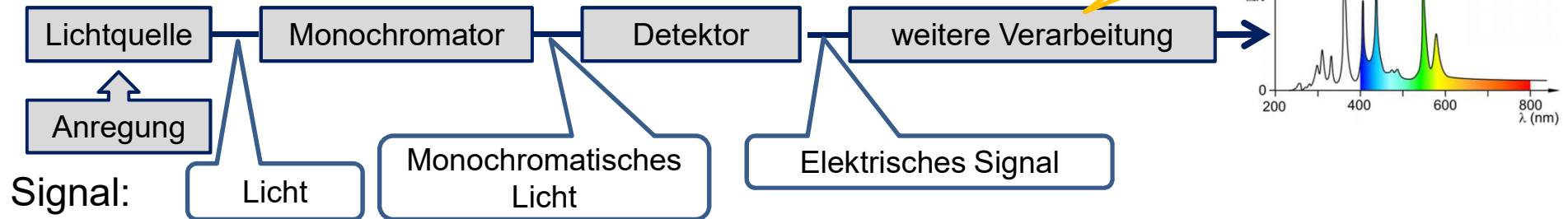
Beispiele:

(Lumineszenzlampen)



b) Messung des Emissionsspektrums

Aufbau eines Emissionsspektrometers:

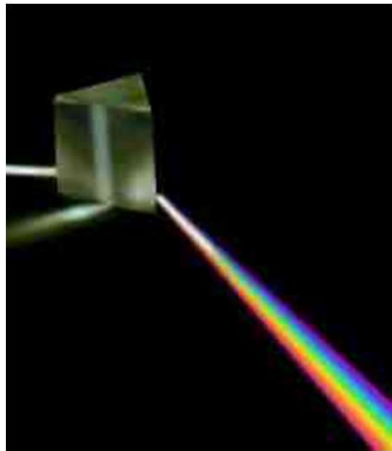


c) Monochromator

● Prisma

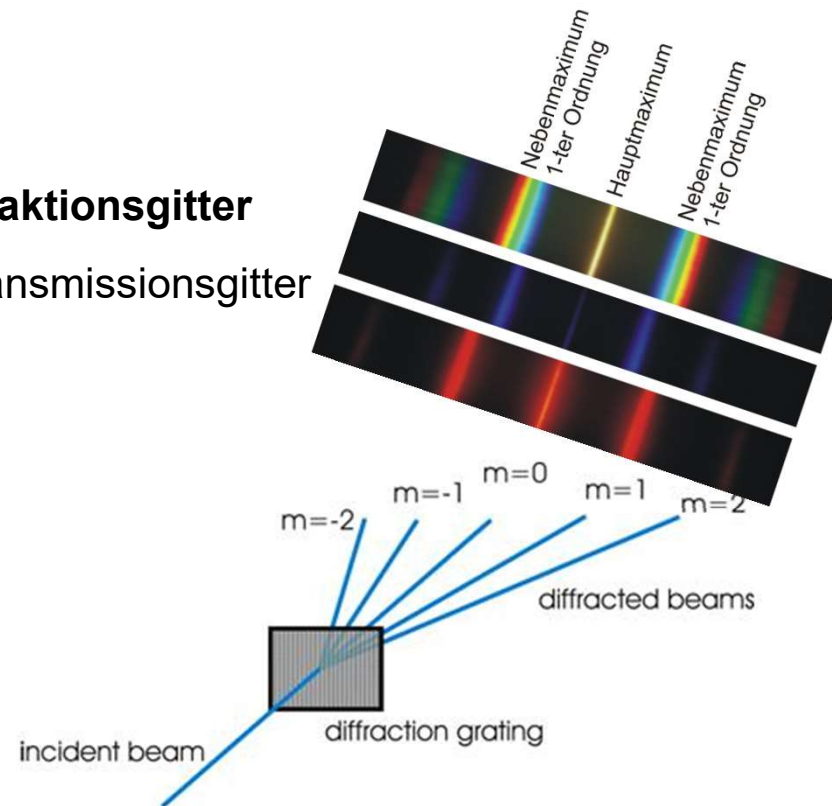
Funktionsprinzip:

Dispersion



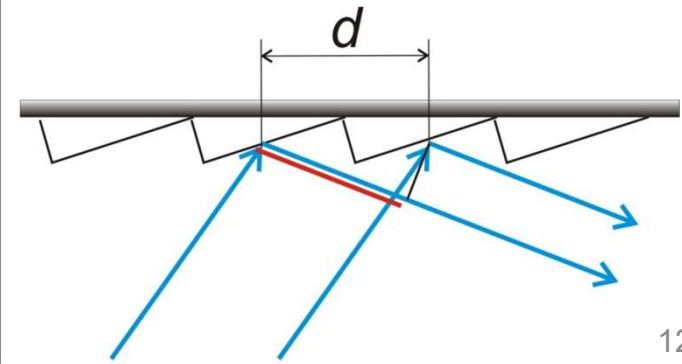
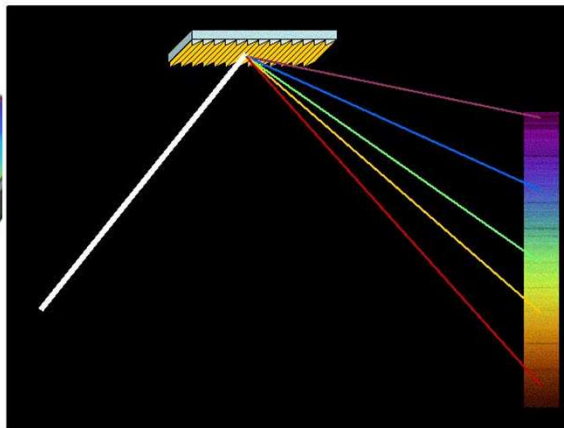
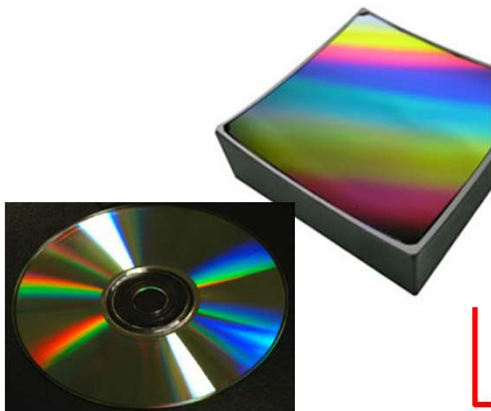
● Diffraktionsgitter

— Transmissionsgitter



— Reflexionsgitter

Funktionsprinzip: **Interferenz**



Vergleich des Prismas und Gitters

● Prisma

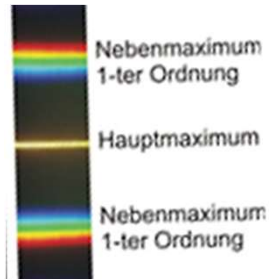


Nonlineare Aufspaltung
(ungleichmäßige Skaleneinteilung)



Intensitätsreich
(die ganze Strahlung ist zerlegt)

● Transmissionsgitter

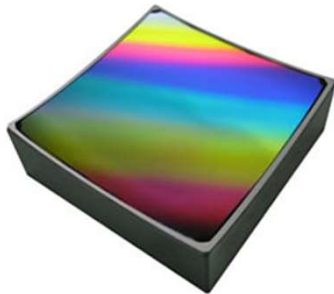


Lineare Skala
(gleichmäßige Skaleneinteilung)



Intensitätsarm
(nur Teil der Strahlung ist zerlegt)

● Reflexionsgitter



Lineare Skala
(gleichmäßige Skaleneinteilung)

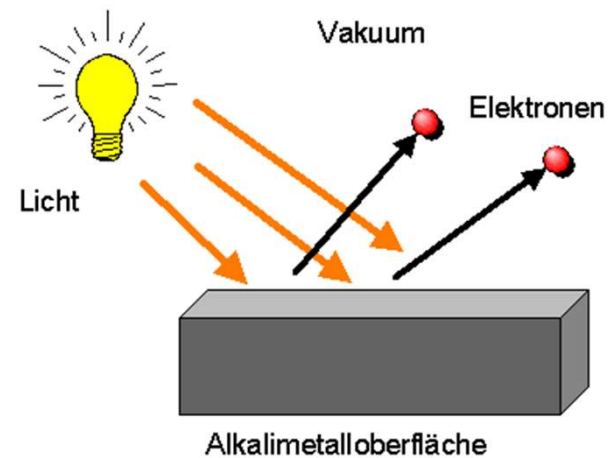


Intensitätsreich
(Großteil der Strahlung ist zerlegt)

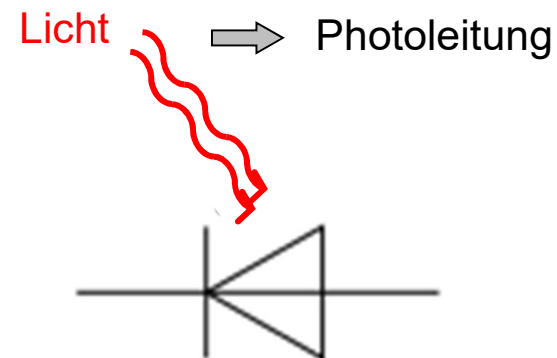
d) Lichtdetektor

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

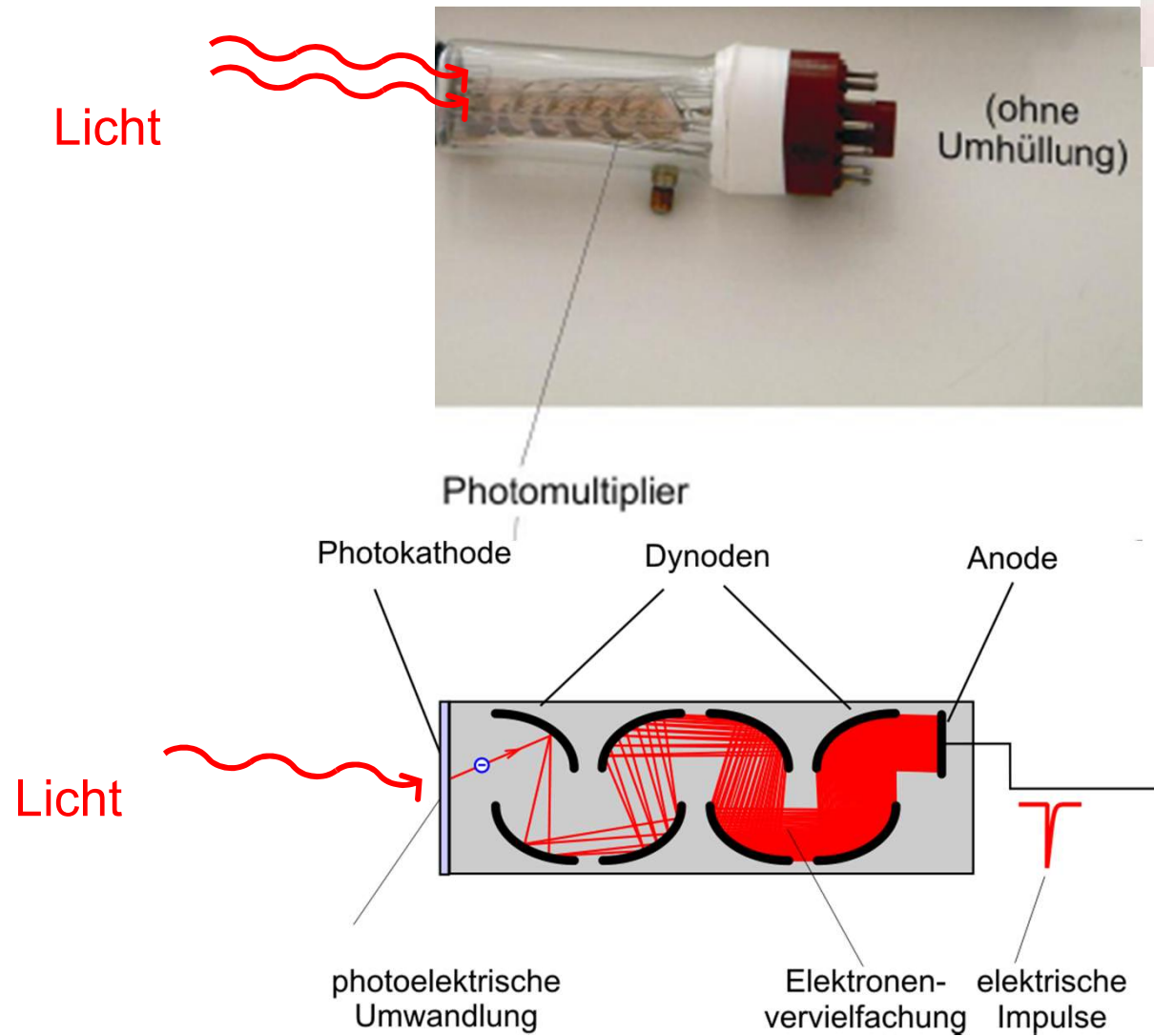
Prinzip:
äußerer
lichtelektrischer
Effekt



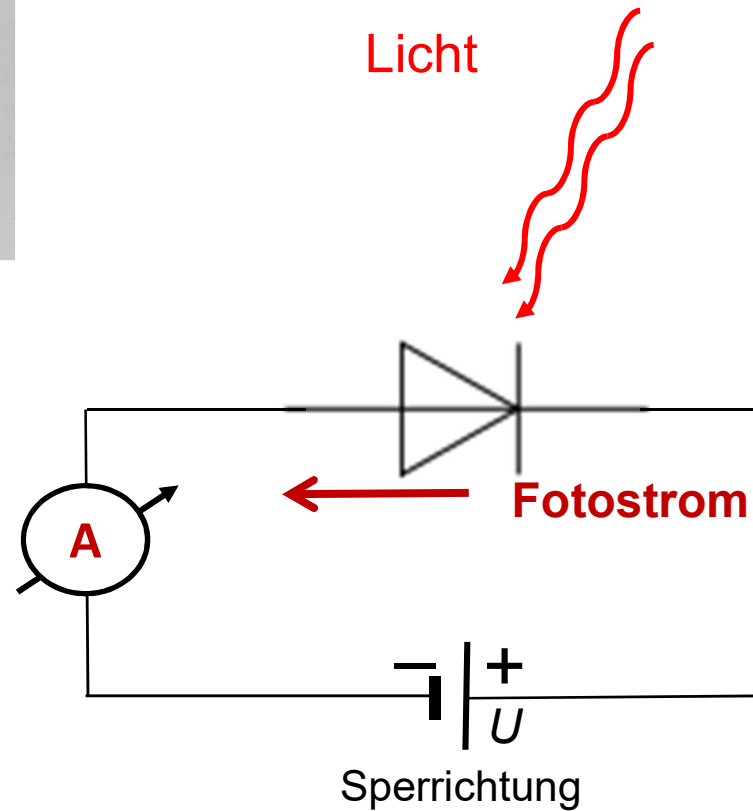
- (Halbleiter) Photodiode:



Photomultiplier (PM) (Sekundärelektronenvervielfacher – SEV):



➤ Photodiode



Als Wirkung des
einfallenden
Photons entstehen:

freie
Ladungsträgern
zB. Bewegbare
Elektronen

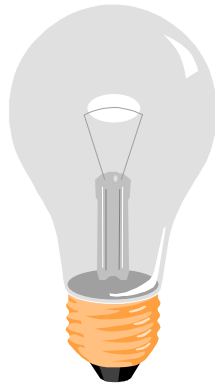
Stromstärke \sim Lichtintensität

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

Typen der Lichtemission: Lichtquellen

„warmes“ Licht

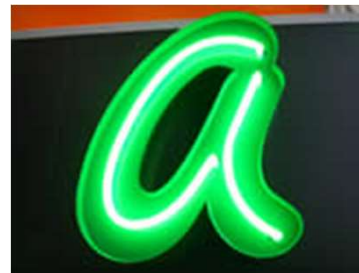
kontinuierliches Spektrum



Temperaturstrahler

„kaltes“ Licht

Linien- oder Bandenspektrum



Lumineszenzstrahler

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

