

# Medizinische Biophysik

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

5. Vorlesung  
06. 10. 2021

### 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

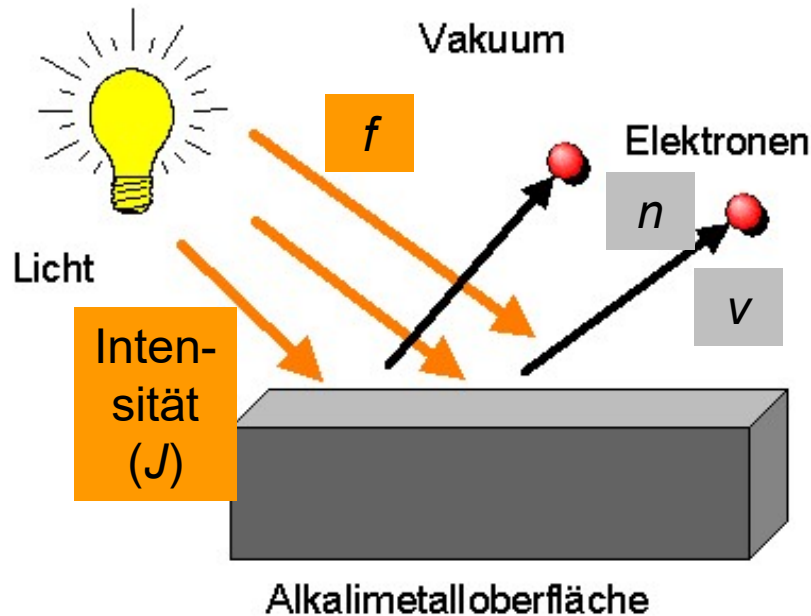
#### 1. Emissionsspektrometrie

- 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:

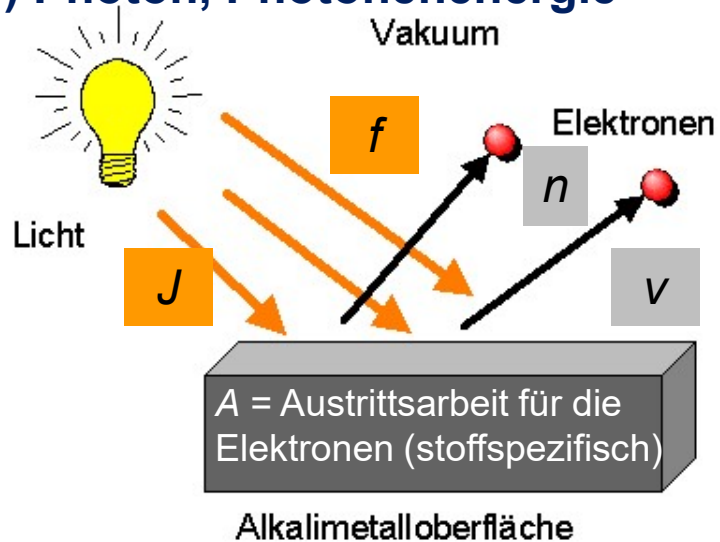
- die Zahl der ausgelösten Elektronen ( $n$ )
- die Geschwindigkeit der Elektronen ( $v$ )

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

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

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

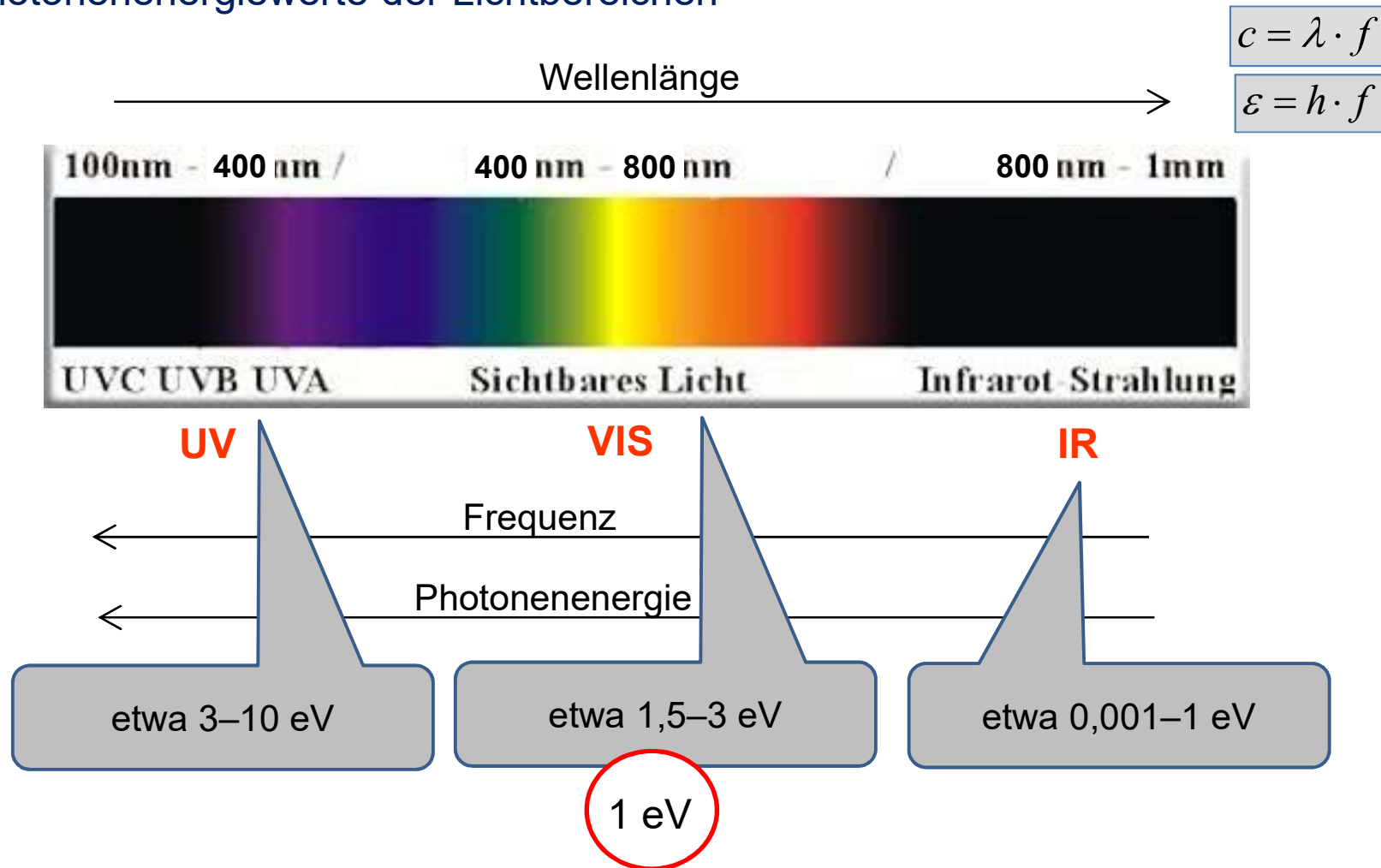
$$f_{\min} < f \Rightarrow A < h \cdot f = \varepsilon \Rightarrow \text{Elektron wird ausgelöst}$$

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

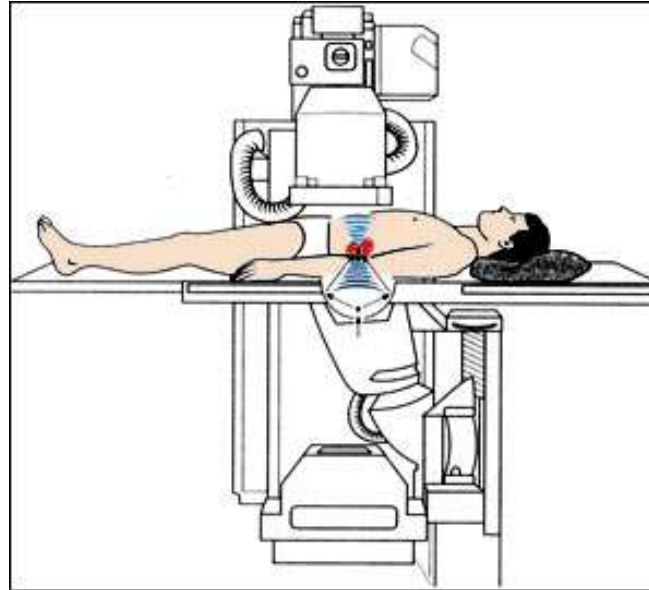
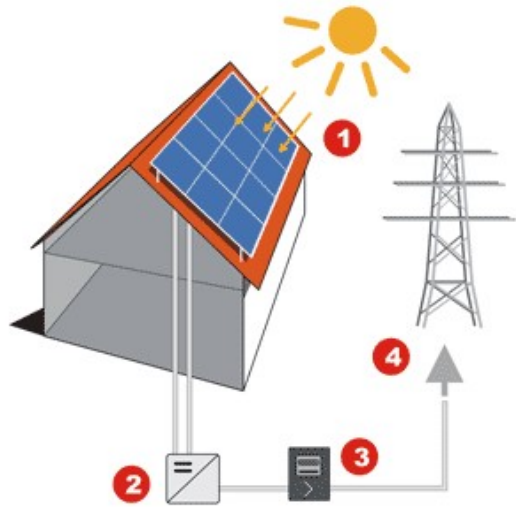
Bei zunehmender Intensität (mehr Photonen) werden mehr Elektronen ausgelöst.

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  
( $M$ ):**

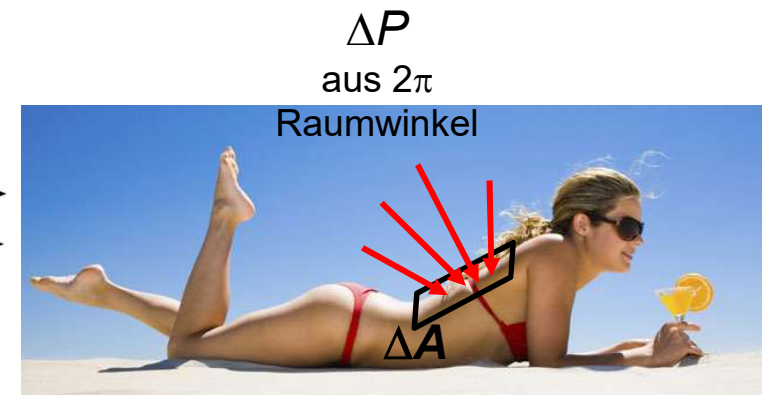
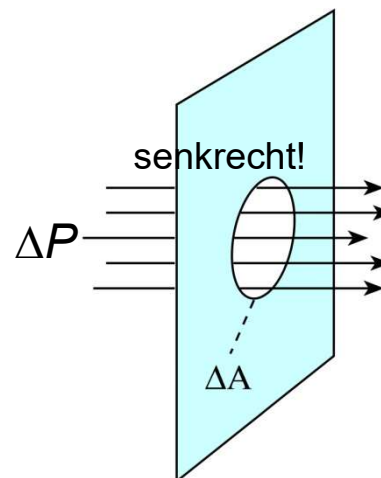
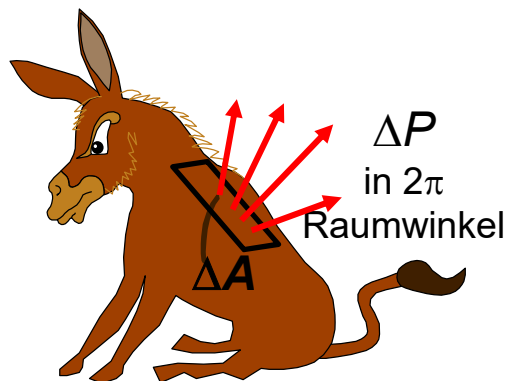
$$M = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$

**Strahlungsintensität  
( $J$ ):**

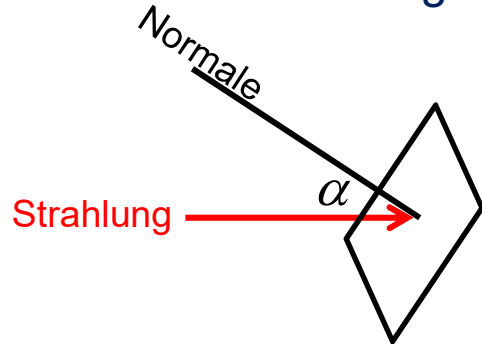
$$J = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$

**Bestrahlungsstärke  
( $E$ ):**

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

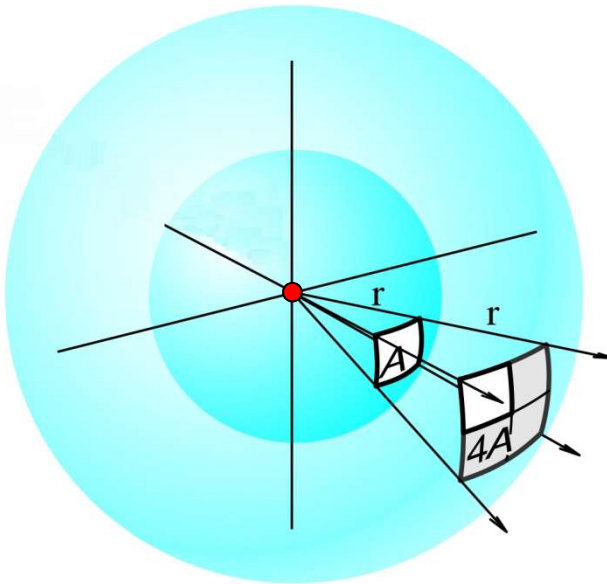


- Zusammenhang zwischen  $J$  und  $E$ :

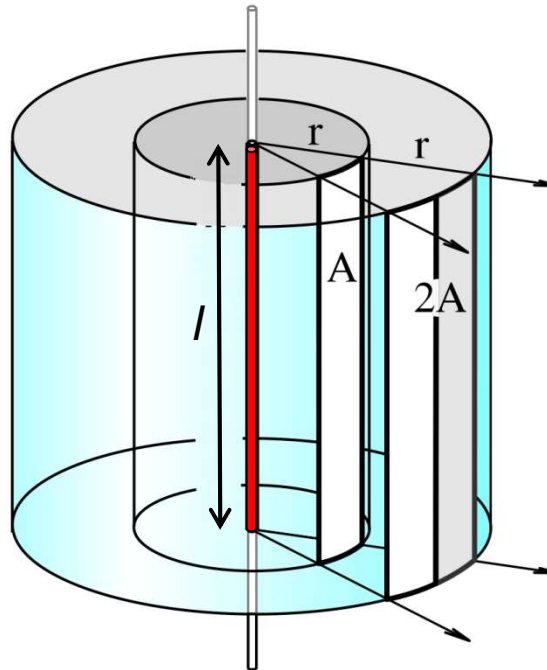


## b) Strahlungsquellen mit verschiedener Geometrie:

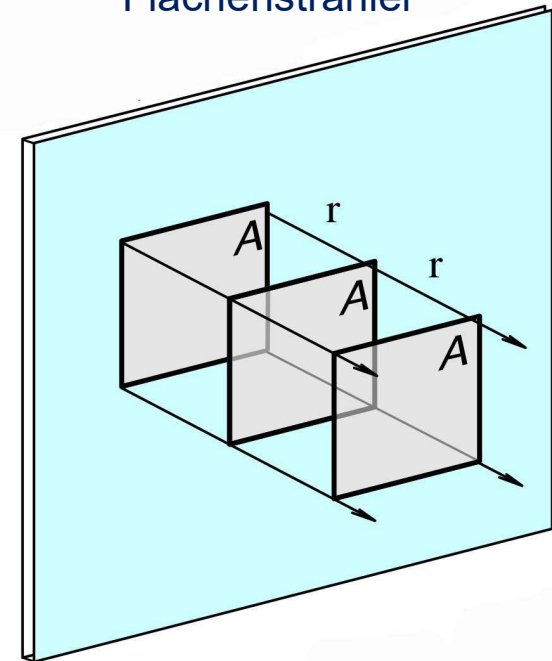
Punktstrahler



Linienstrahler



Flächenstrahler



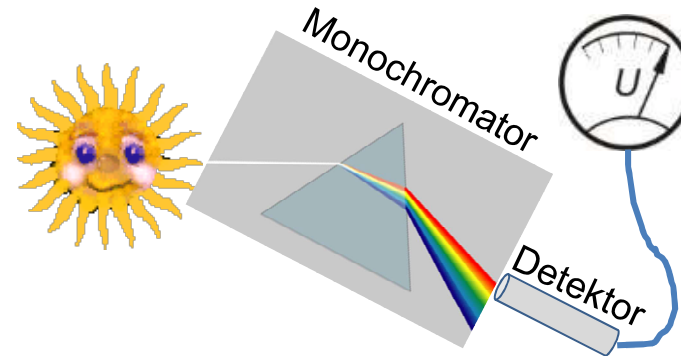
$J(r)$



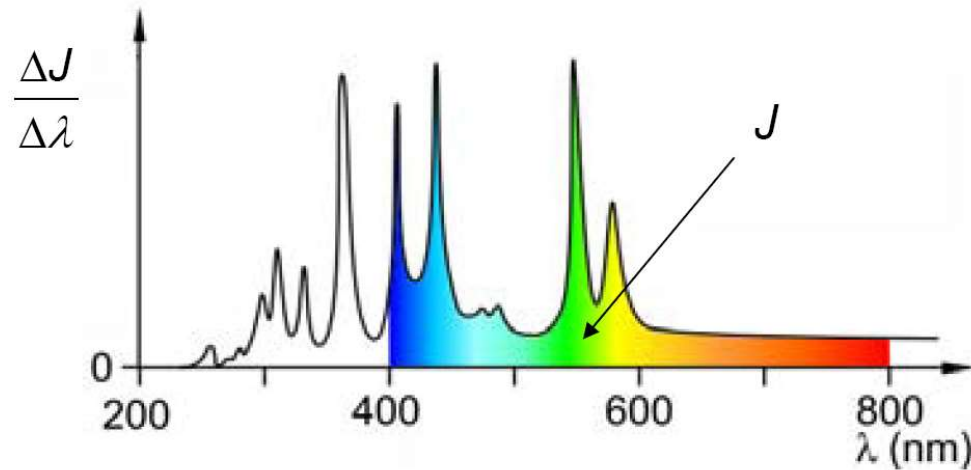
# VI. Lichtemission

## 1. Emissionsspektrometrie

Analyse des emittierten  
(ausgestrahlten) Lichts



### a) Emissionsspektrum



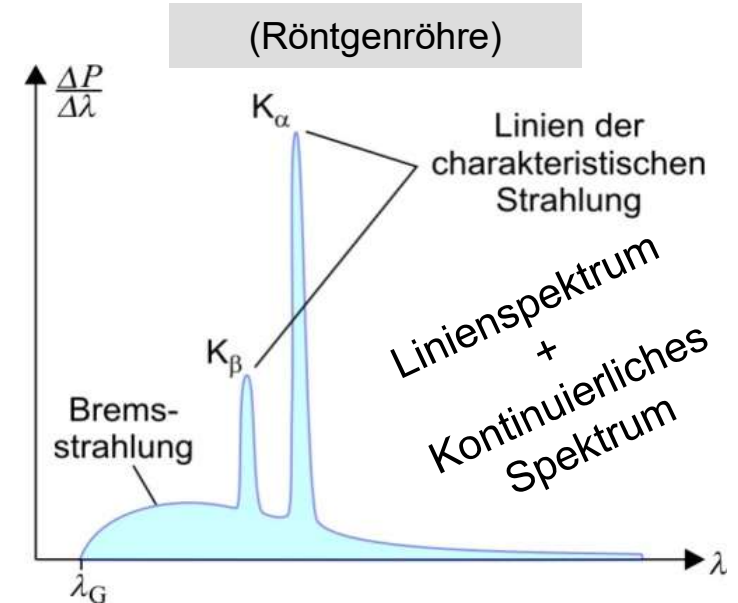
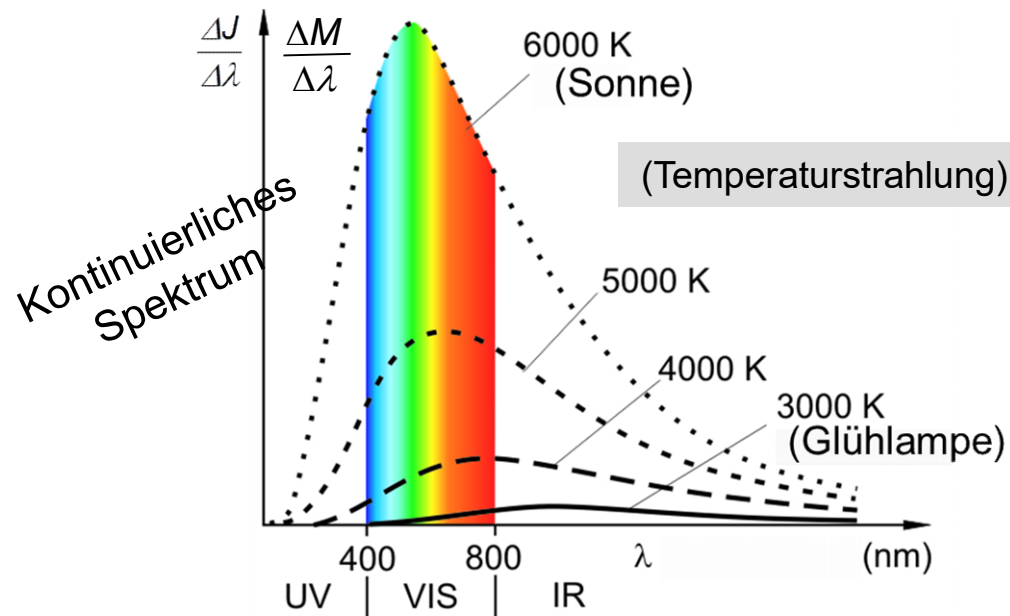
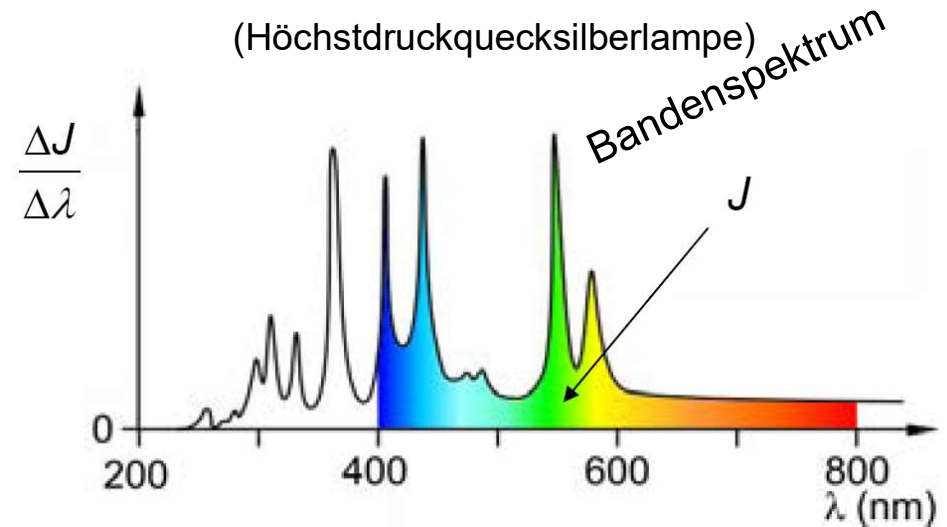
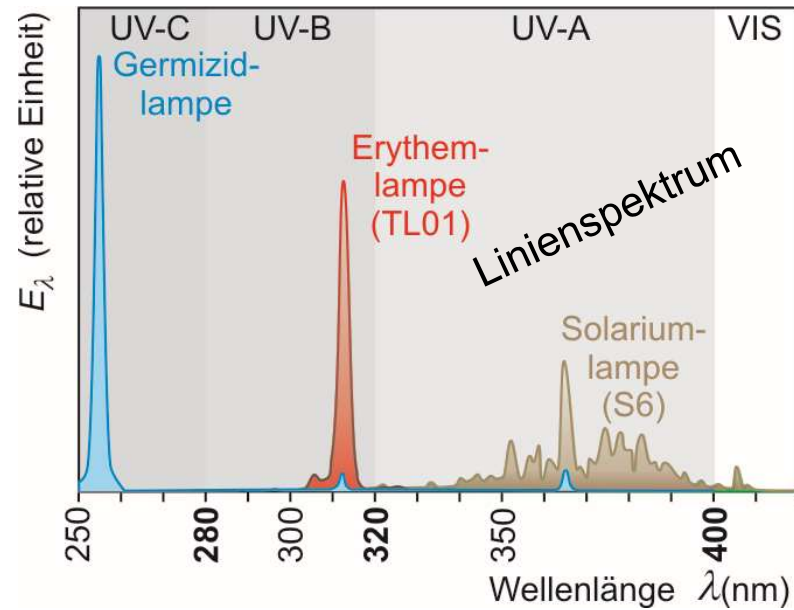
Spektrumtypen:

- Linienspektrum
- Bandenspektrum
- Kontinuierliches Spektrum



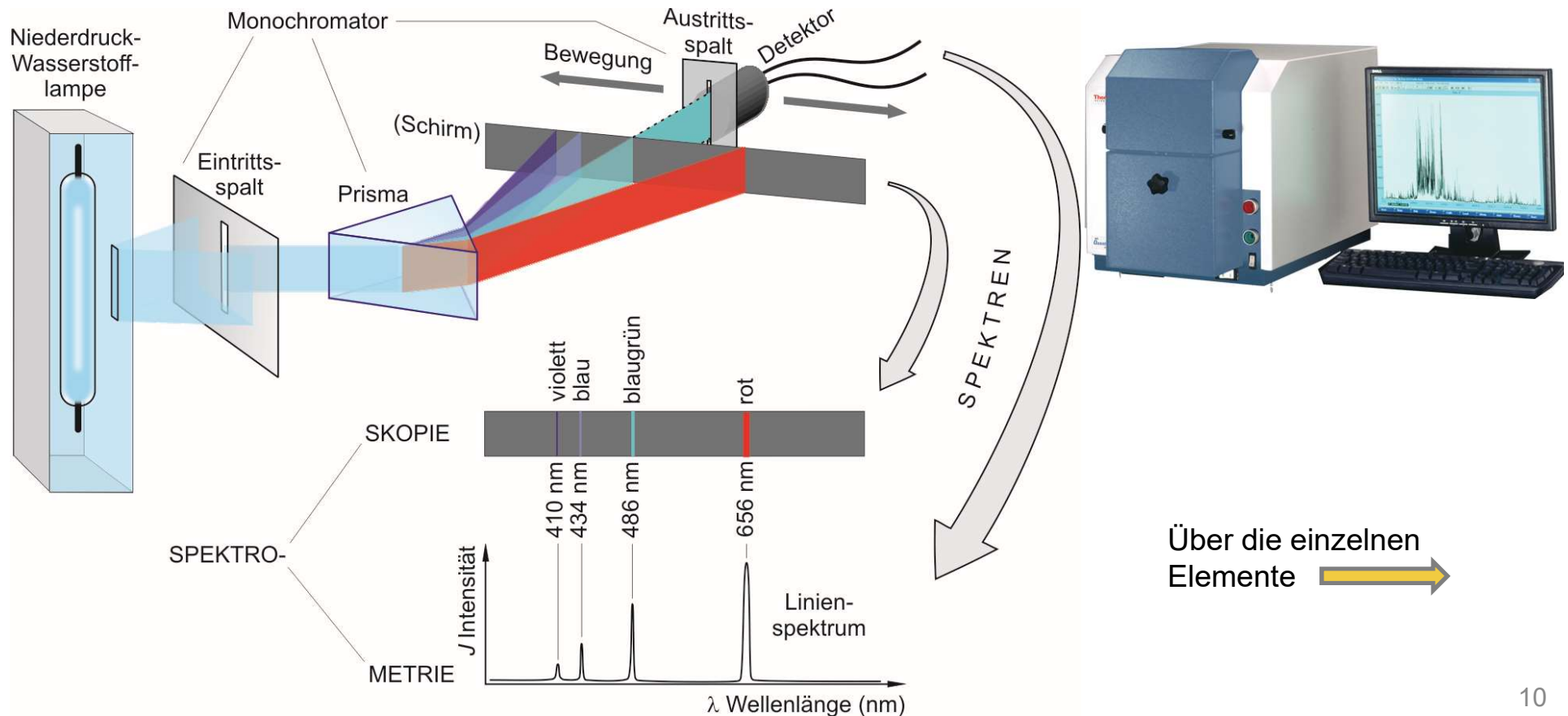
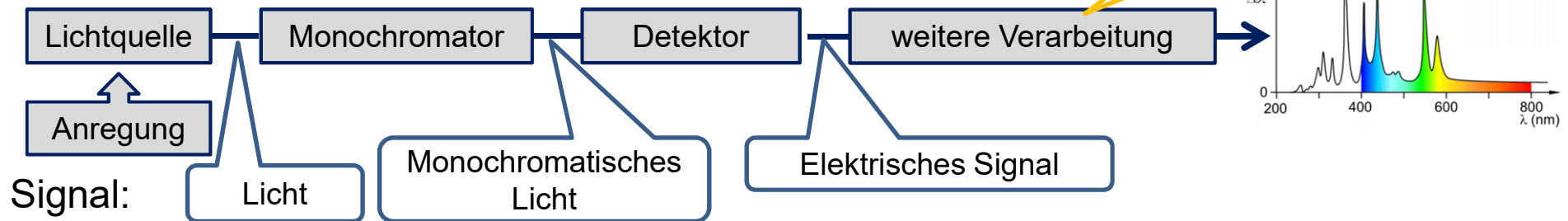
## Beispiele:

(Lumineszenzlampen)



## b) Messung des Emissionsspektrums

Aufbau eines Emissionsspektrometers:



## c) Monochromator

### ● Prisma

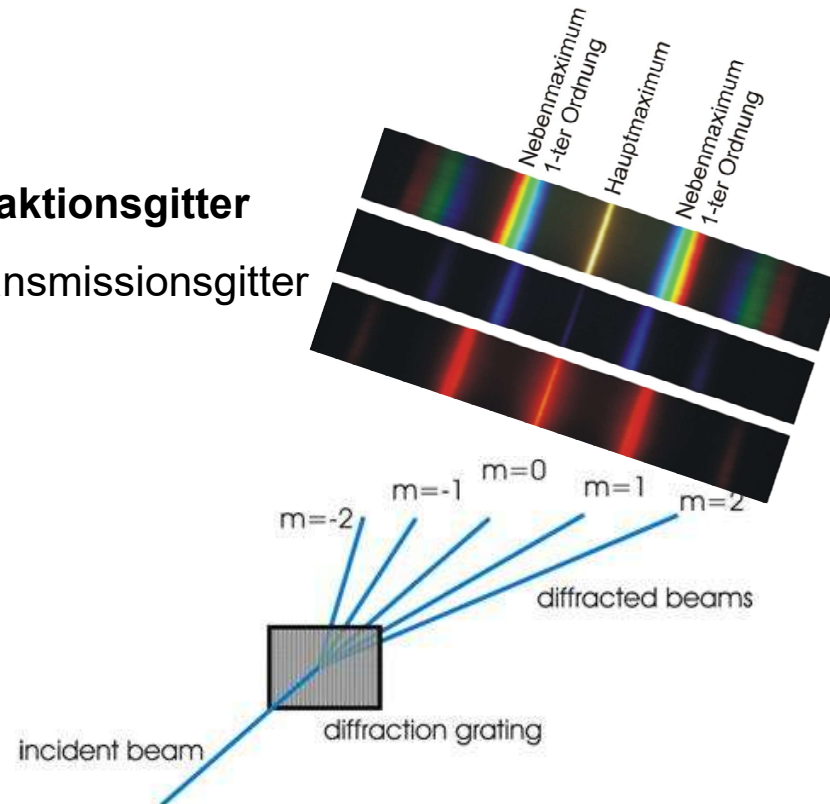
Funktionsprinzip:

**Dispersion**

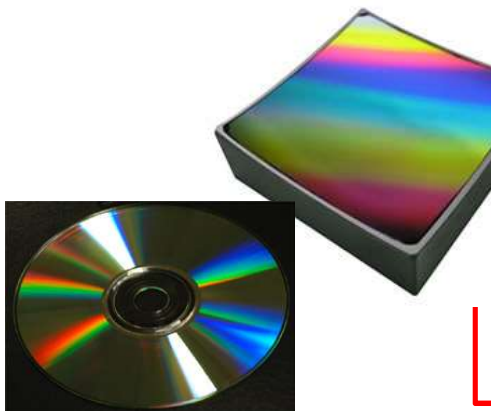
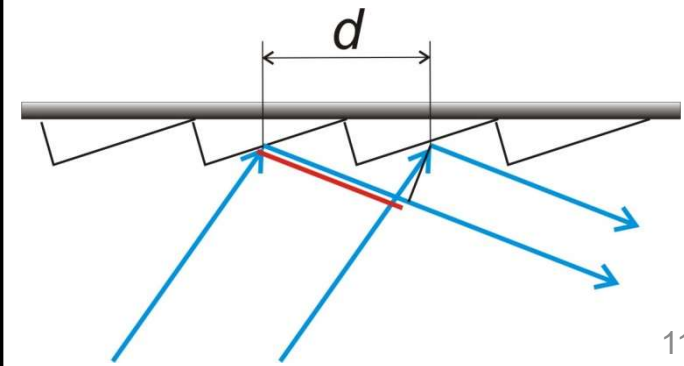
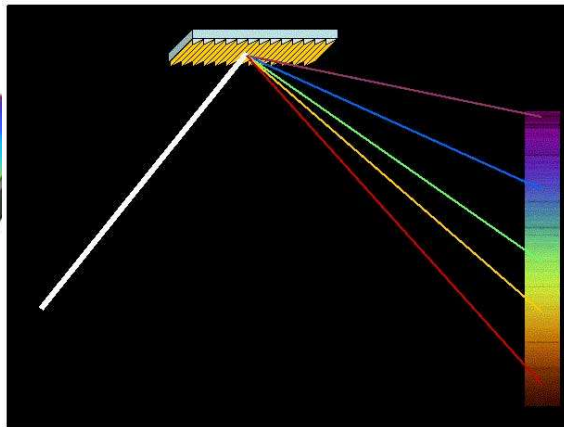


### ● Diffraktionsgitter

— Transmissionsgitter



— Reflexionsgitter Funktionsprinzip: **Interferenz**



## Vergleich des Prismas und Gitters

### ● Prisma



Nonlineare Aufspaltung  
(ungleichmäßige Skaleneinteilung)



Intensitätsreich  
(die ganze Strahlung ist zerlegt)

### ● Transmissionsgitter

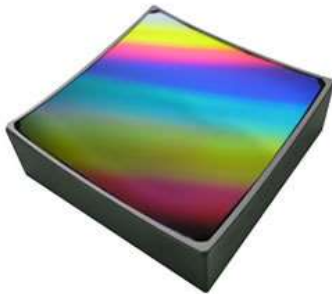


Lineare Skala  
(gleichmäßige Skaleneinteilung)



Intensitätsarm  
(nur Teil der Strahlung ist zerlegt)

### ● Reflexionsgitter



Lineare Skala  
(gleichmäßige Skaleneinteilung)

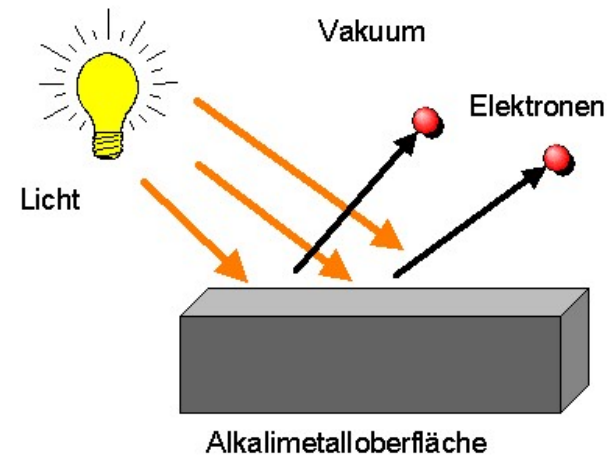


Intensitätsreich  
(Großteil der Strahlung ist zerlegt)

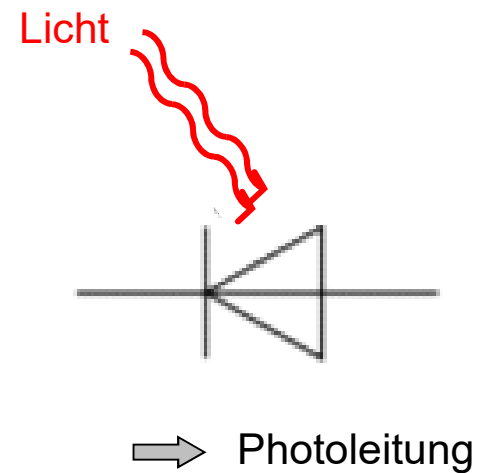
## d) Lichtdetektor

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

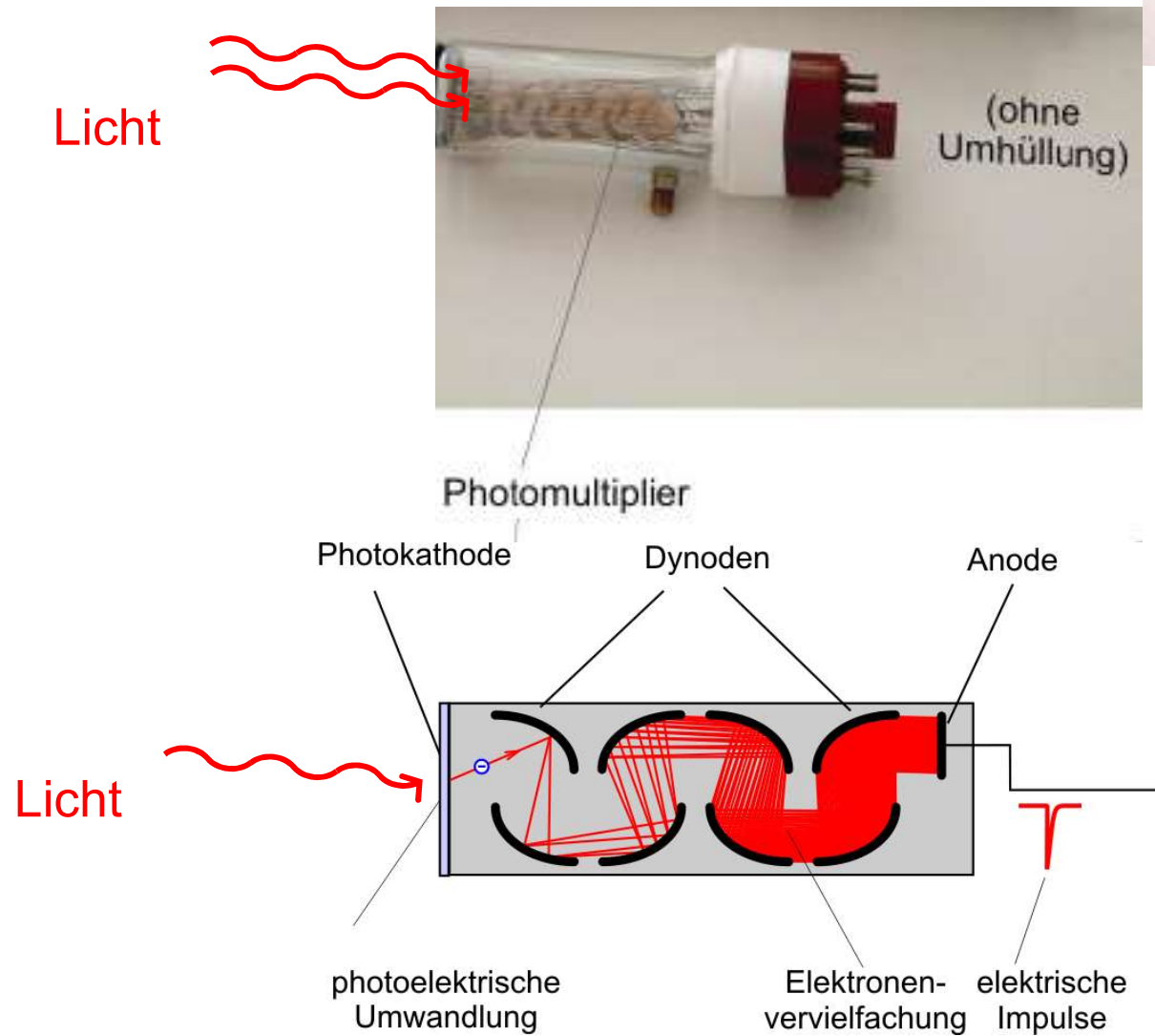
Prinzip:  
äußerer  
lichtelektrischer  
Effekt



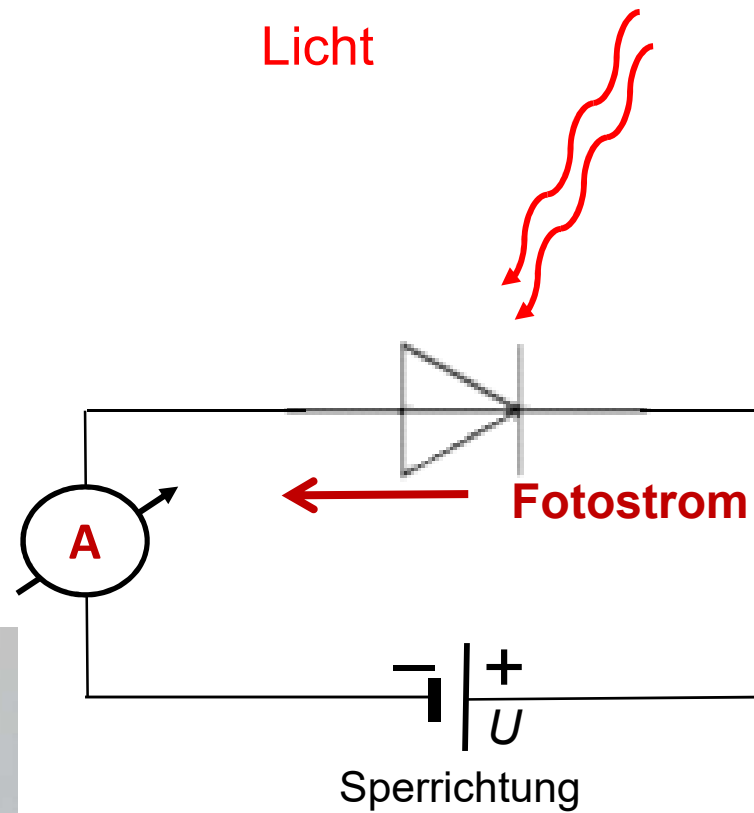
- (Halbleiter) Photodiode:



# 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)



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

