

# Emissionsspektroskopie. Teilchencharakter des Lichtes.

**Balázs Kiss**

kissb3@gmail.com

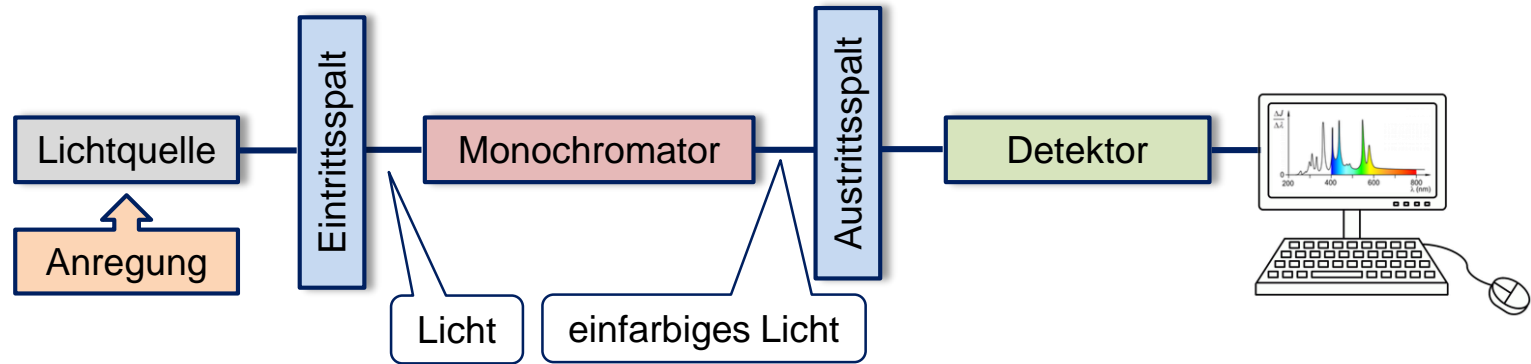


**Institut für Biophysik und Strahlenbiologie,  
Myofilament-Mechanobiophysik Forschungsgruppe,  
Semmelweis Universität**

*02. Oktober 2024.*

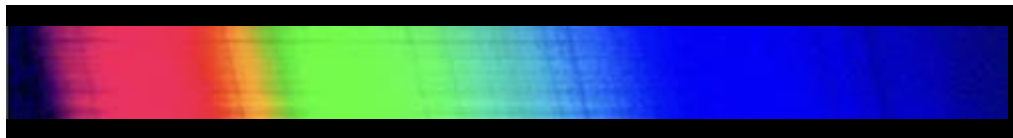
# Emissionsspektroskopie

ZUR  
ERINNERUNG



## Monochromator:

### Prisma



- **Dispersion:** blau wird stärker gebrochen, als rot
- nichtlinear

### Reflexionsgitter

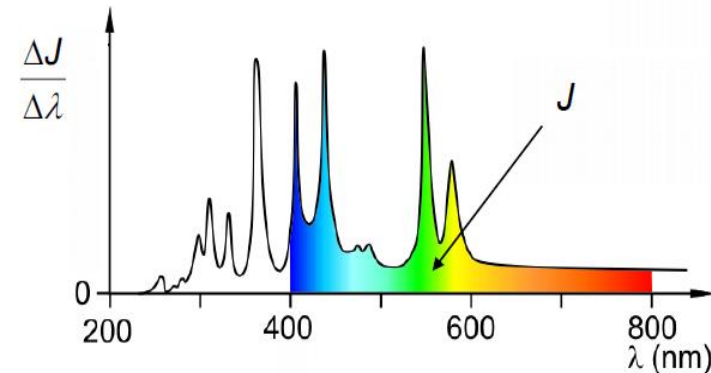


- **Diffraktion:** rot wird stärker gebeugt, als blau
- (quasi)linear

## Spektrum:

- Wellenlängenfunktion der (ausgestrahlten) Intensität

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



# Spektrum

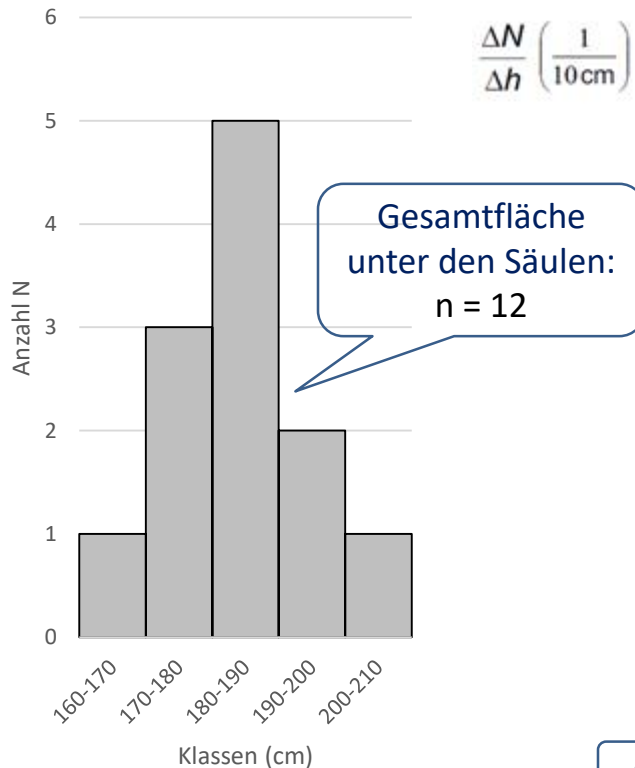
## Verteilung der Teilchenenergie-Werte

Beispiel: Körpergrößewerte in cm

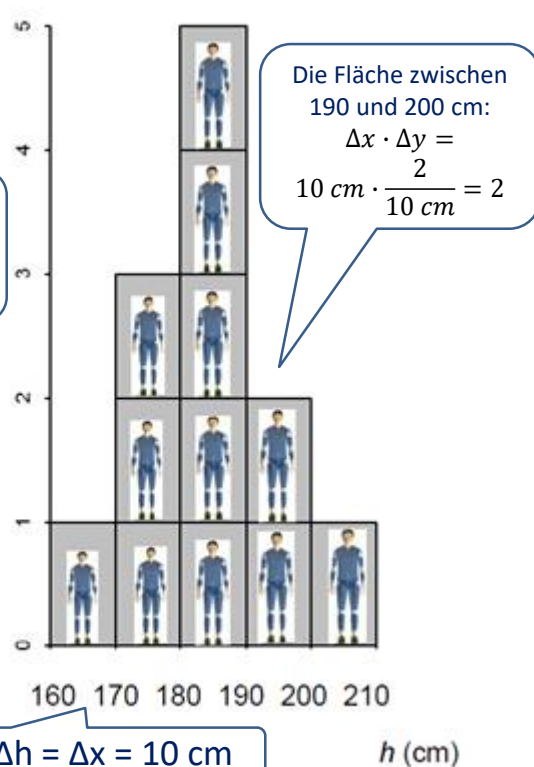
162, 170, 174, 177, 181, 181, 185, 186, 189, 193, 197, 202

$n = 12$

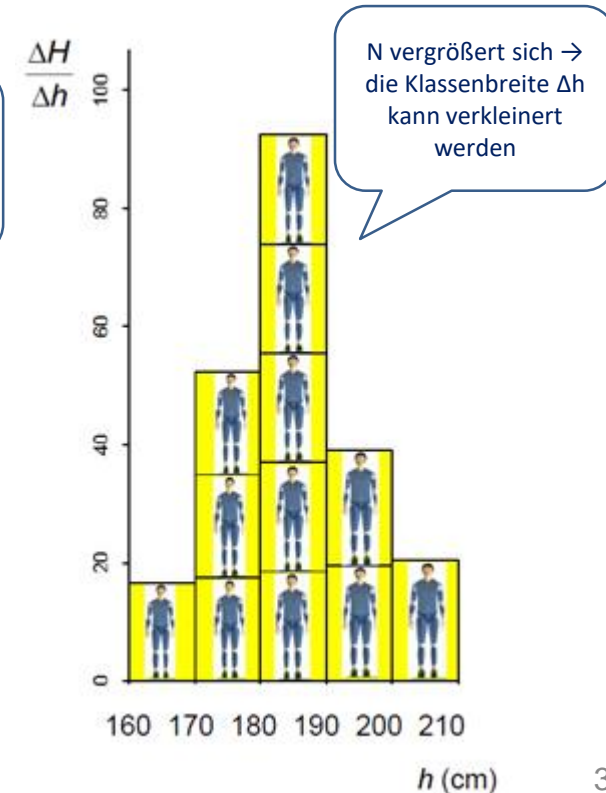
### Häufigkeitsverteilung



### Häufigkeitsdichte



### Spektrum



# Emissionsspektrum

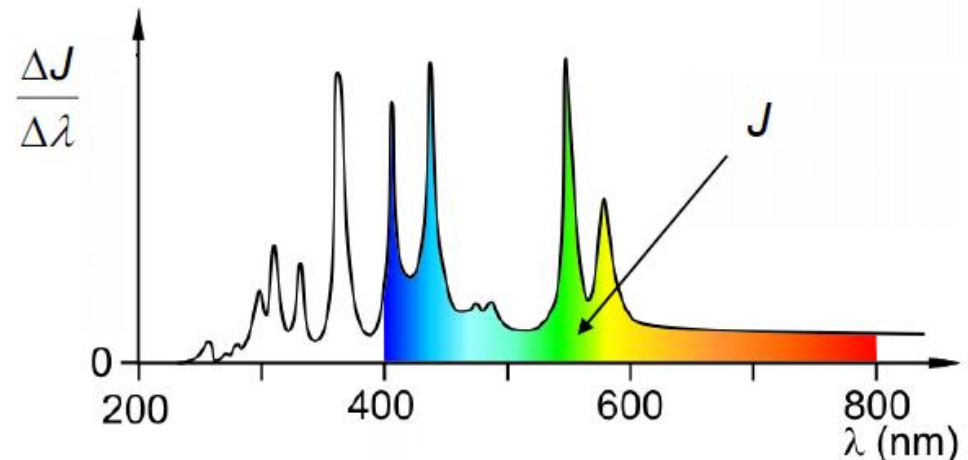
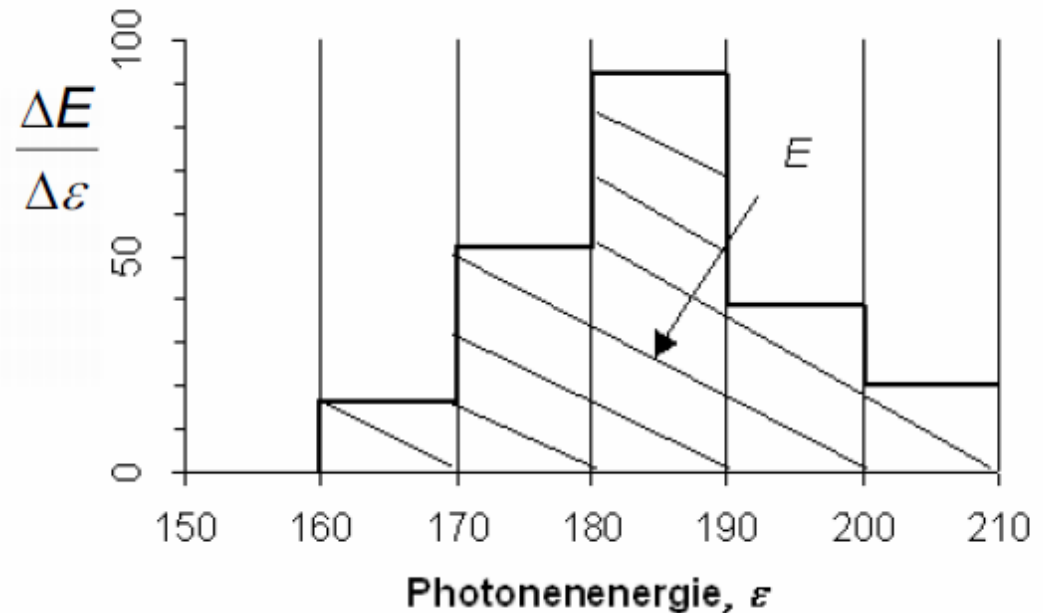
- wie sich die **gesamte emittierte Energie ( $E_{\text{gesamt}}$ ) auf die einzelnen Photonenenergien ( $\varepsilon_{\text{Photon}}$ ) verteilt wird:**

$$E_{\text{gesamt}} = N \cdot \varepsilon_{\text{Photon}}$$

Praktische Größen des Energietransports:

- Intensität (J)
- **spezifische Ausstrahlung (M)**

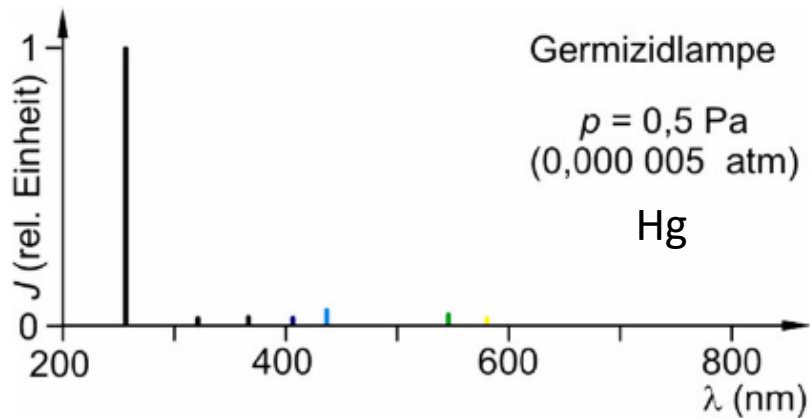
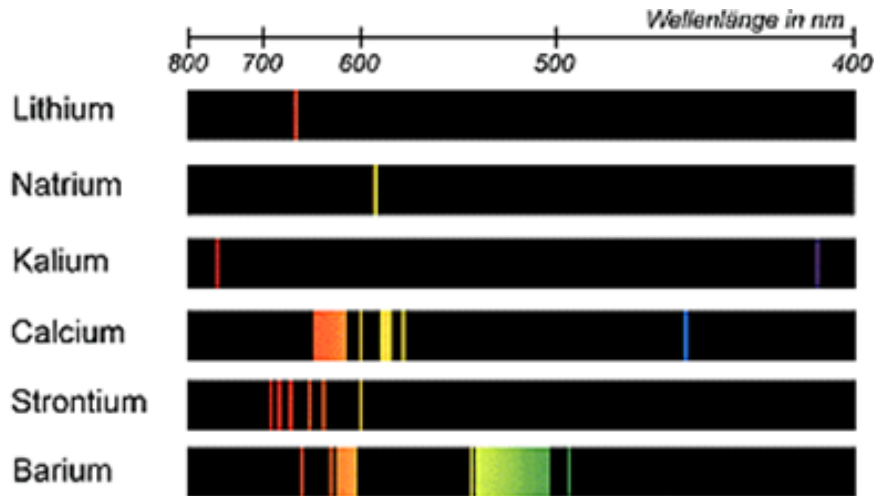
Anwendung der **Wellenlänge** (auf der X-Achse) ist praktischer als die Nutzung der Photonenenergie.



# Emissionsspektrum - Lumineszenzstrahler

## Bei Atomen (unter Niederdruck):

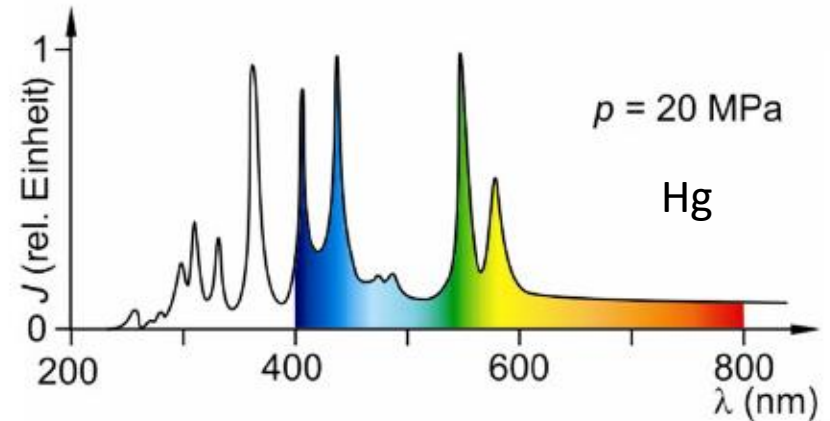
- Linienspektrum



## Bei Molekülen

## Bei Atomen (unter Hochdruck):

- Bandenspektrum



- Stokes-Verschiebung



# Emissionsspektrum - Temperaturstrahler

## 3 Gesetze:

- kirchhoffsches Gesetz
- **Stefan-Boltzmann Gesetz**
- **wiensches Verschiebungsgesetz**

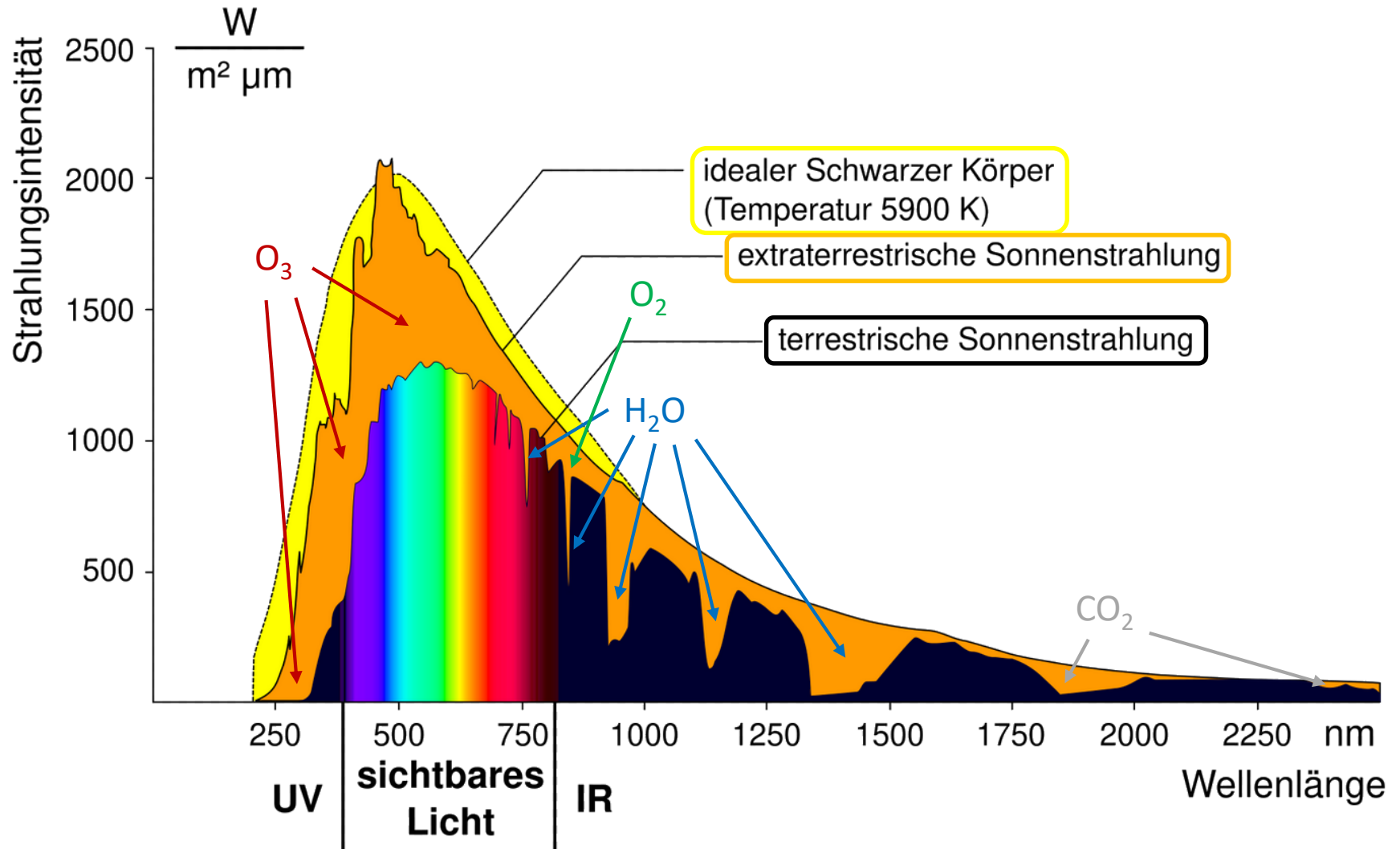
## Notabene:

- gesamte ausgestrahlte Intensität:  
**Flächenstück unter der  $M(\lambda)$  Kurve**
- **$\lambda_{\max}$** : Wellenlänge bei der maximalen Ausstrahlung

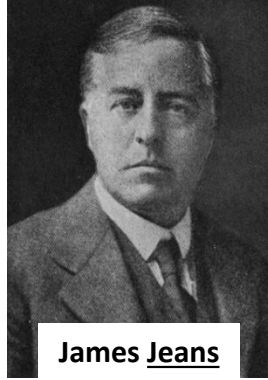
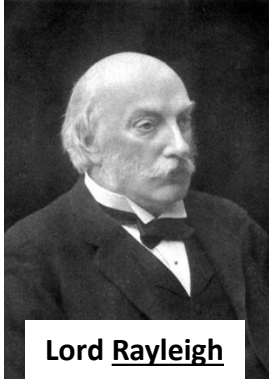


# Emissionsspektrum der Sonne

Sonne: annähernd ein absolut Schwarzer Körper

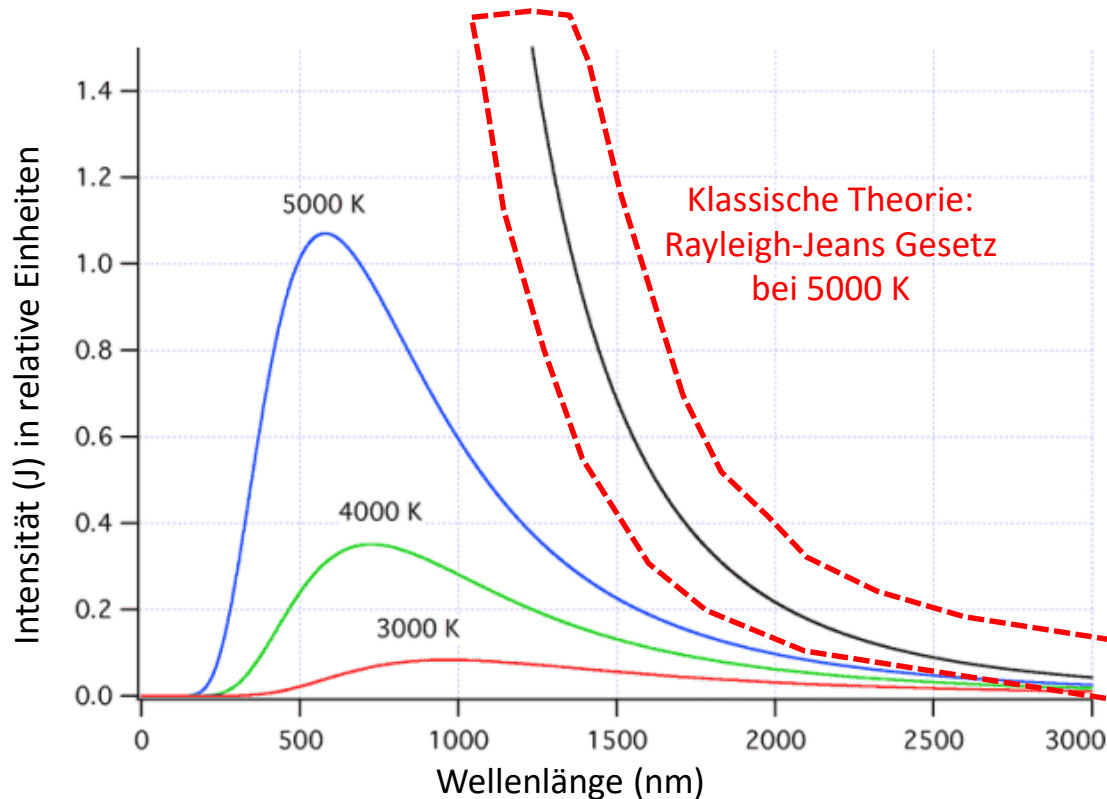


# Die „ultraviolette Katastrophe“

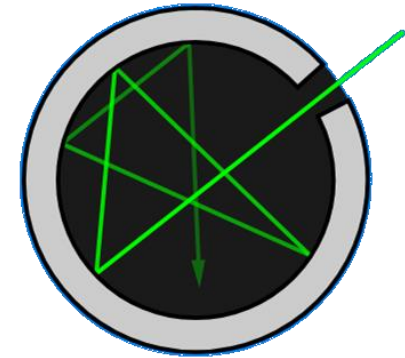


$$J = \frac{2 \cdot f^2 \cdot k_B \cdot T}{c^2} = \frac{2k_B T}{\lambda^2} \quad \frac{1}{x^2} \text{ Funktion}$$

Boltzmann-Konstante:  $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ , s. später



Der absolut schwarze Körper war schon damals bekannt...

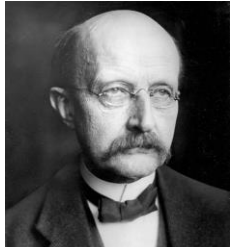


?

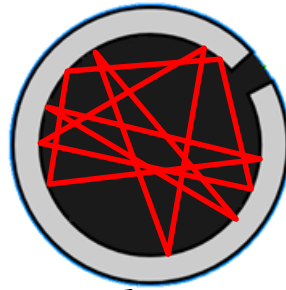


# Photon, Photonenenergie

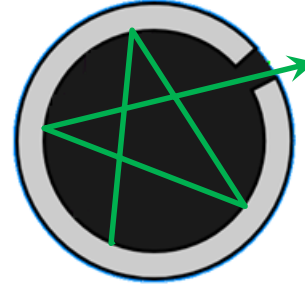
## Erklärung:



Max Planck

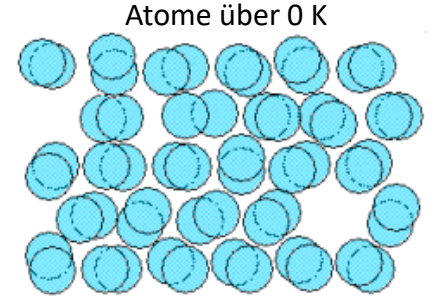


Wann kann die Strahlung aus dem Körper austreten?



$$\varepsilon = n \cdot konst \cdot f$$

$n \in \mathbb{Z}$



schwingende Dipole → EM-Strahlung

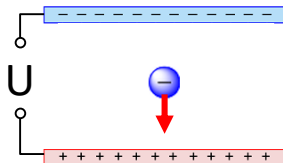
- **Lichtteilchen = Lichtquanten = Photonen**

- **Photonenenergie ( $\varepsilon$ ):**  $\varepsilon = h \cdot f$      $\varepsilon = h \cdot \frac{c}{\lambda}$

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



- **Elektronenvolt (eV) Skala:  $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$**



$$E_{\text{el}} = Q \cdot U$$

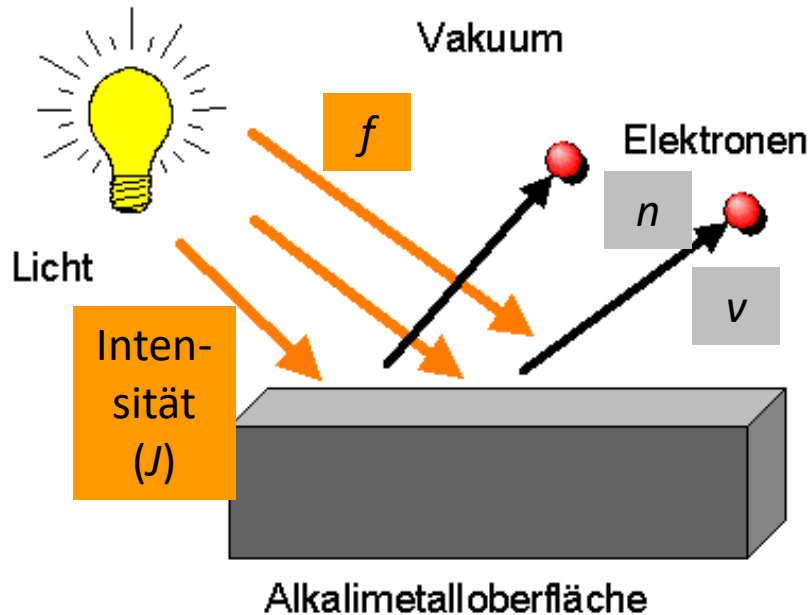
$$E_{\text{el}} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1 \text{ V} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

0,001 - 1 eV    1,5 - 3 eV    3 - 10 eV

Wellenlänge	Abkürzung	Bezeichnung
100–280 nm	UV-C*	(fernes UV)
280–315 nm	UV-B	(Dorno-Strahlung)
315–400 nm	UV-A	(nahes UV)
400–420 nm	VIS	Violett
420–490 nm		Blau
490–540 nm		Grün
540–600 nm		Gelb
600–760 nm		Rot
0,76–1,4 μm	IR-A	(nahes IR)
1,4–3 μm	IR-B	(mittleres IR)
3–1000 μm	IR-C	(fernes IR)

# Teilchencharakter des Lichtes

## Lichtelektrischer Effekt (Photoeffekt)



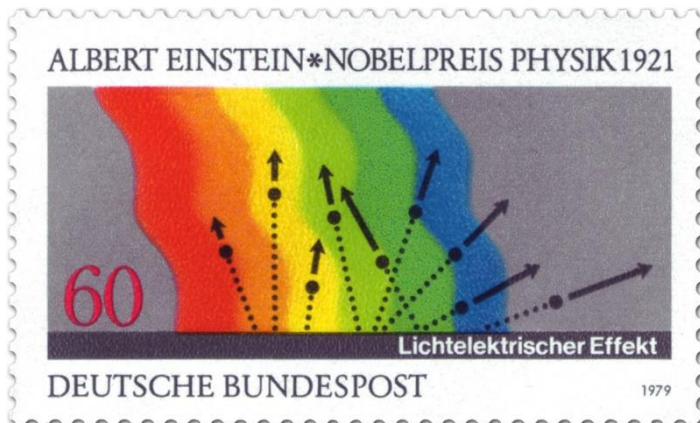
### Man variiert:

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

### Man beobachtet:

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

Ein Photon tritt in Wechselwirkung  
mit einem Elektron!



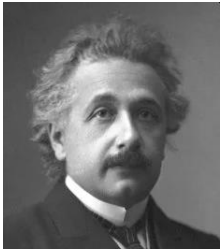
### Beobachtungen:

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

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

# Photon, Photonenenergie

## Erklärung:

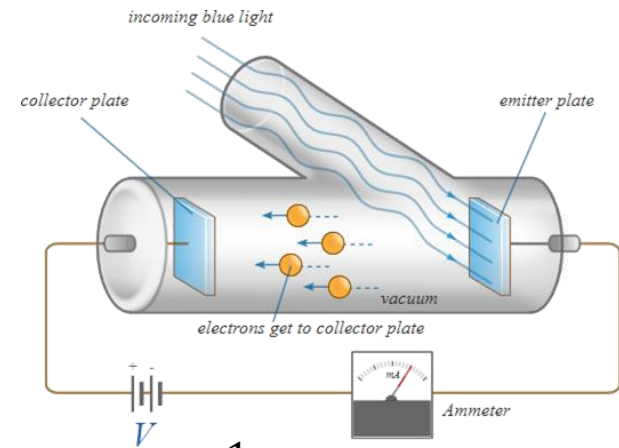


Albert Einstein



## Animation #1: Photoeffekt - Erklärung

## Animation #2: Photoeffekt - Versuche



$$f_{\min} < f$$

**Elektron  
wird ausgelöst**

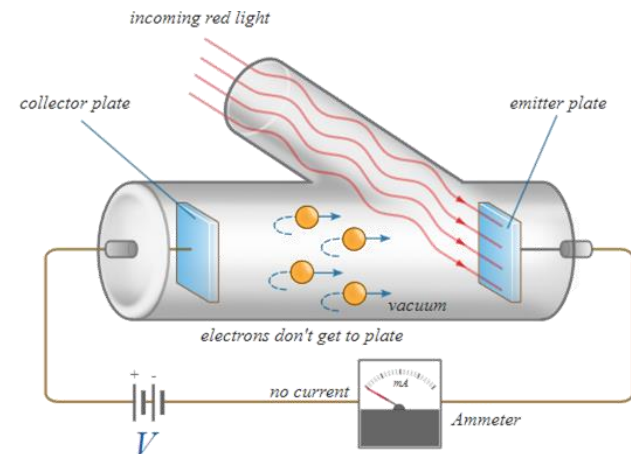
Energieerhaltung:  $\varepsilon = A + \frac{1}{2} \cdot m_{\text{Elektron}} \cdot v_{\text{Elektron}}^2$

$$h \cdot f_{\min} = \varepsilon_{\min} = A \quad \text{Austrittsarbeit}$$



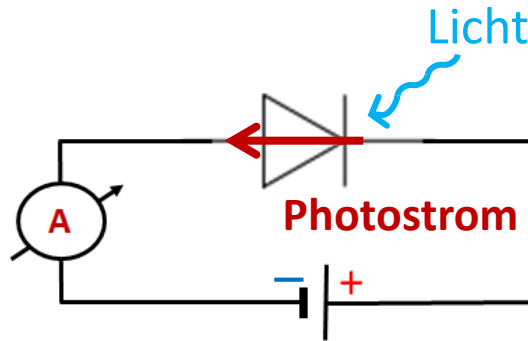
$$f < f_{\min}$$

**Kein Elektron  
wird ausgelöst**

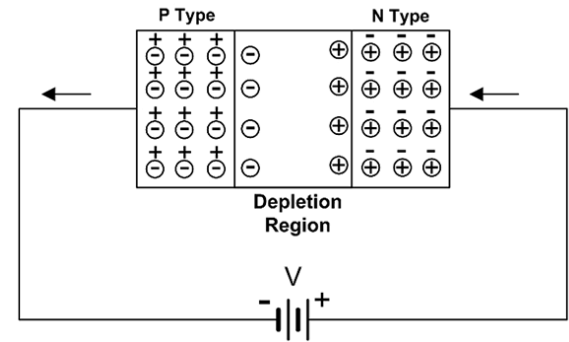


# Lichtdetektoren

## Photodiode:

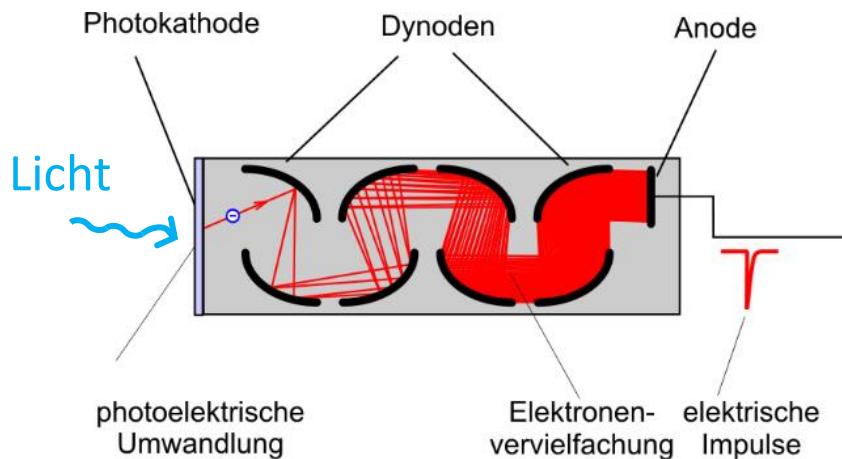


Diode in Sperrichtung geschaltet



**Innerer lichtelektrischer Effekt**

## Photomultiplier (PM) oder Sekundärelektronenvervielfacher (SEV):



**Äußerer lichtelektrischer Effekt**



**Photokathoden**

# Hausaufgaben

## Aufgabensammlung

2.40, 42, 45, 47, 49, 51, 53

10.4, 6

## Feedback