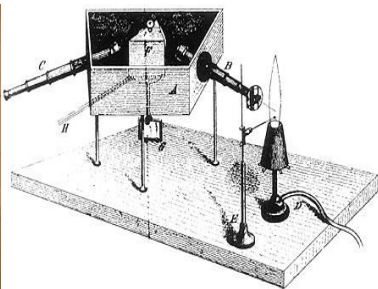


# BIOPHYSIK

## 7. Vorlesung

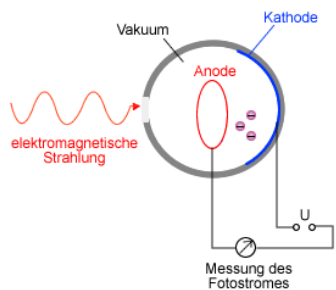
+ Rechnungsaufgaben

### Licht als Teilchenstrahlung, Spektroskopie

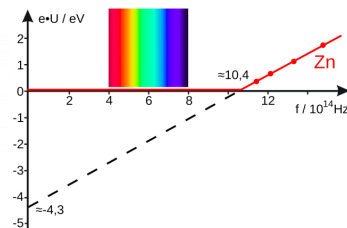
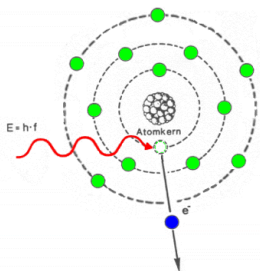


1

Der **Photoeffekt**: die auf die Materie einfallende Strahlung löst ein Elektron aus. Es gibt eine Grenzfrequenz, welche die Strahlung haben muss, um das Atom gerade zu ionisieren.



(äusserer Photoeffekt)



Interpretation: Teilchenstrahlung, Energiequantum: Photon

3

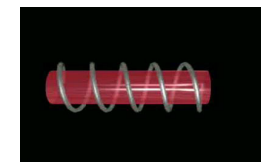
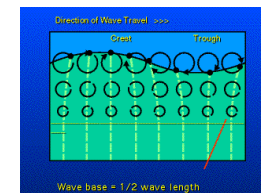
Experimente (z. B. Brechung) – Licht verhält sich wie eine Welle

Experimente (z. B. Photoeffekt) – Licht besteht aus Teilchen (Quanten)

Exakt: Quantenfeldtheorie

Annäherungsmöglichkeiten (Modelle):

- **Wellenmodell** ( Wellenoptik)
  - **Quantenmodell** (Quantenoptik, Photonentheorie)
- (Dualismus von Welle und Korpuskel)



## Licht als Teilchen

2

### Die Entdecker des Fotoeffekts



Heinrich Rudolf Hertz (\* 22. Februar 1857 in Hamburg; † 1. Januar 1894 in Bonn)



Wilhelm Ludwig Franz Hallwachs (\* 9. Juli 1859 in Darmstadt; † 20. Juni 1922 in Dresden)

4

$$\varepsilon = hf = h \frac{c}{\lambda} = A + E_{kin} = A + \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{Einstensche Gleichung}$$

$\varepsilon, f, \lambda$ : Energie, Frequenz, Wellenlänge des Photons

A: Austrittsarbeit (Ionisationsenergie),  $h$ = Plancksche Konstante

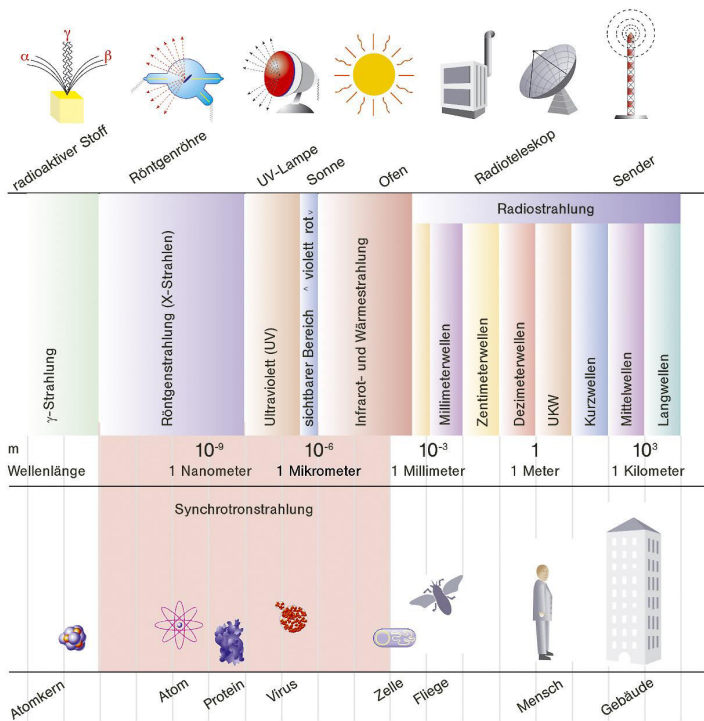
$$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2 : \text{kinetische Energie des ausgelösten Elektrons}$$

$$hf_{Gr} = A, \quad f_{Gr} = \frac{A}{h} \quad f_{Gr}: \text{Grenzfrequenz}$$

**Elektronenvolt** als Energieeinheit:

(elektrische Arbeit)=(Ladung)x(Spannung)

$$W = e \times 1 \text{ V} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \times 1 \text{ V} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$



Energie	Frequenz	Wellenlänge	Bezeichnung	Emissionsquelle
	30 Hz	$10^4$ km	niederfrequente Wellen	Generatoren der Industrie
	300 Hz	$10^3$ km	Langwellen	elektrische Generatoren
	3 kHz	$10^2$ km		
	30 kHz	10 km		
	300 kHz	1 km		
	3 MHz	100 m		
	30 MHz	10 m	Kurzwellen	
	300 MHz	1 m	Ultrakurzwellen	
	3 GHz	100 mm	Dezimeterwellen	
	30 GHz	10 mm	Zentimeterwellen	
	300 GHz	1 mm		
0.01 eV	3 THz	100 $\mu$ m	Infrarotstrahlen	Strahlung heisser Körper
0.1 eV	30 THz	10 $\mu$ m		
1 eV	300 THz	1 $\mu$ m		
10 eV	3 PHz	100 nm	sichtbares Licht	Energieumsatz in der Atomhülle
100 eV	30 PHz	10 nm	Ultraviolettstrahlung	
1 keV	300 PHz	1 nm	Röntgenstrahlen	Abbremsung von Elektronen im Kernfeld
10 keV	3 EHz	100 pm		
100 keV	30 EHz	10 pm		
1 MeV	300 EHz	1 pm		
10 MeV	$3 \times 10^{21}$ Hz	100 fm		
	$30 \times 10^{21}$ Hz	10 fm	Gammastrahlen	Energieumsatz im Atomkern
	$300 \times 10^{21}$ Hz	1 fm		
	$3 \times 10^{24}$ Hz	100 am	kosmische Strahlung	Elementarteilchen und deren Zerfallsprodukte
	$30 \times 10^{24}$ Hz	10 am		

Strahlung: Energie wird transportiert (Energiestrahlung)

Energie, E

$$[E] = \text{J (Joule)}$$

Energiestrom = Leistung

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

$$[P] = \text{W (Watt)}$$

(736 W = 1 Pferdestärken)

$\Delta E$ : die transportierte Energie während der Zeitspanne  $\Delta t$

Energiestromdichte = Leistungsdichte = Intensität  $[J] = \text{W/m}^2$

$$J = \frac{P}{A} = \frac{1}{A} \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

A: die Fläche (senkrecht zur Richtung der Strahlung)

ein Beispiel für Verteilung



$h$ : Körpergröße

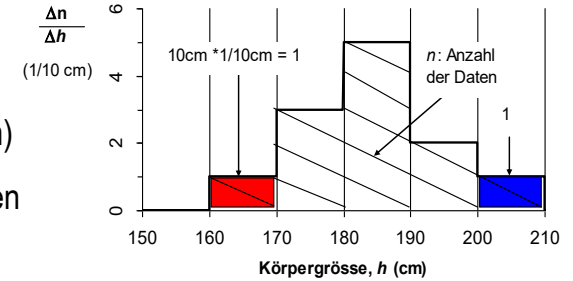
$H$ : akrobatische Höhe, kollektive Höhe, Gesamthöhe

## Spektrum als eine spezielle Häufigkeitsverteilung

(absolute) Häufigkeitsverteilung der Körpergröße

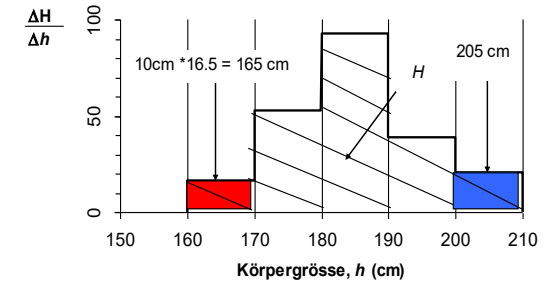
$\Delta h$ : Klassenbreite (jetzt 10 cm)

Fläche:  $n$ , Anzahl der Personen



**Spektrum** (spektrale Verteilung): wie bekommen wir etwas aus der Teilen (Quanten)

$H$ : akrobatische Größe, kollektive Größe

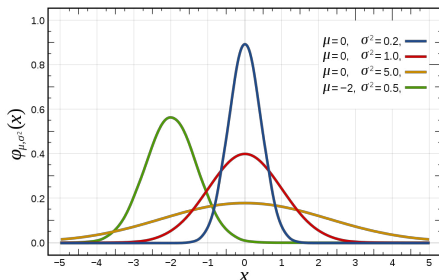


Ergänzungsmaterial

## Ein Beispiel: Die Normalverteilung

Die Abweichungen der Messwerte vieler natur-, wirtschafts- und ingenieurwissenschaftlicher Vorgänge vom Erwartungswert lassen sich durch die Normalverteilung gut beschreiben.

$$f(x | \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad -\infty < x < \infty.$$



Gaußsche Glockenkurve auf einem deutschen Zehn-Mark-Schein der 1990er Jahre

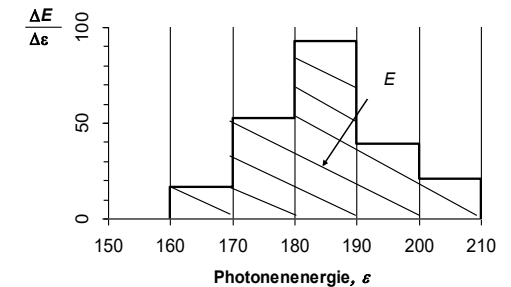


$$c(x, t) = \frac{1}{\sqrt{4\pi t}} e^{-\frac{x^2}{4t}}$$

Es kommt noch später bei der Diffusion (Vorlesung 14)

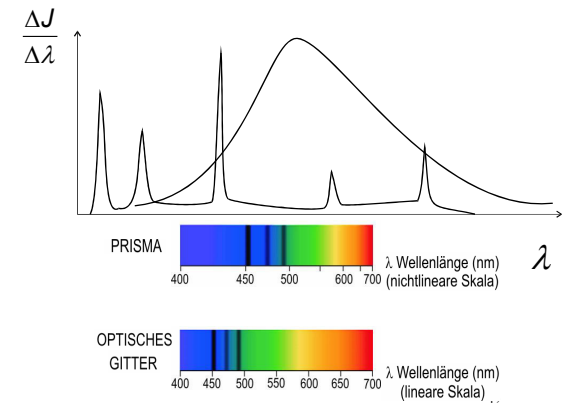
**Emissionsspektrum:**

wie verteilt sich die gesamte emittierte Energie über die Photonenenergien



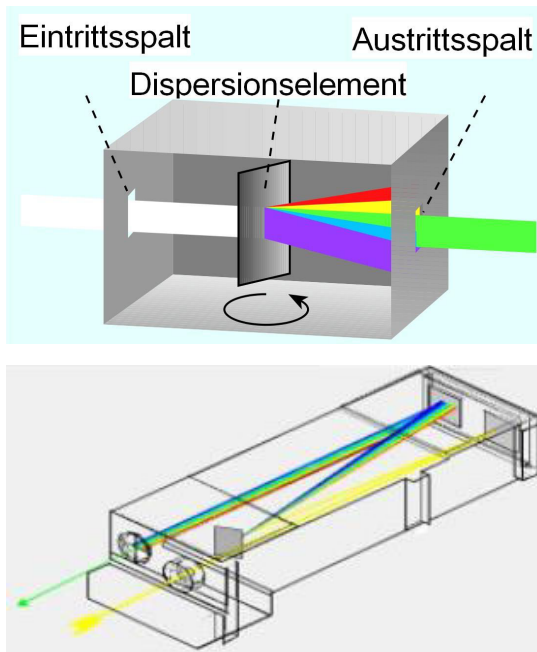
charakteristische Größe der Energietransport: **Intensität** (manchmal die Leistung)

Benützung der **Wellenlänge** ist bequemer als die der Photonenenergie



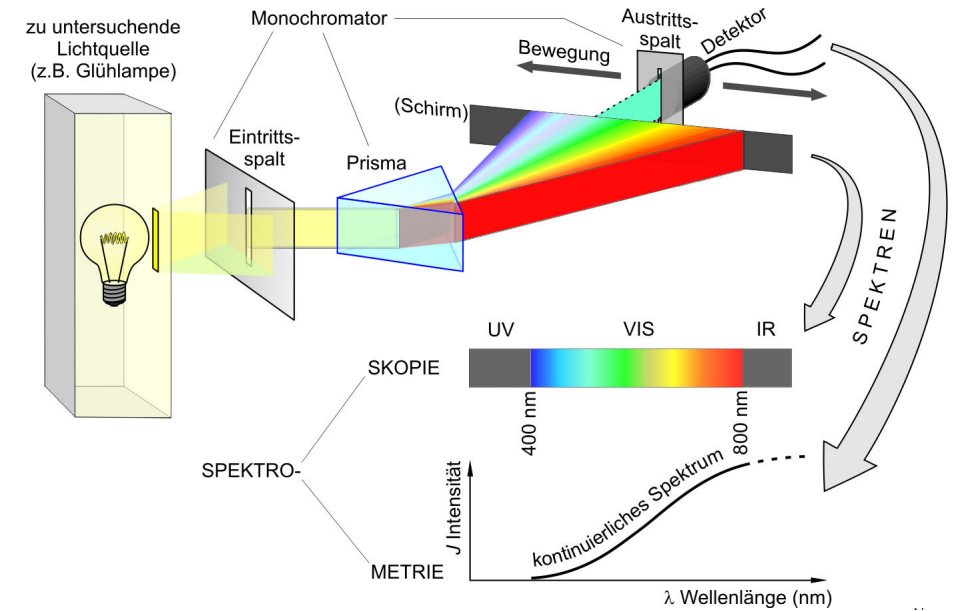
## Monochromator

Lichtquelle,  
**Eintrittsspalt**,  
 fokussierbarer Spiegel,  
**Dispersionselement**  
 (Amplitudengitter,  
 Prisma)  
**Ausgangsspalt**,  
 Detektor (SEV)

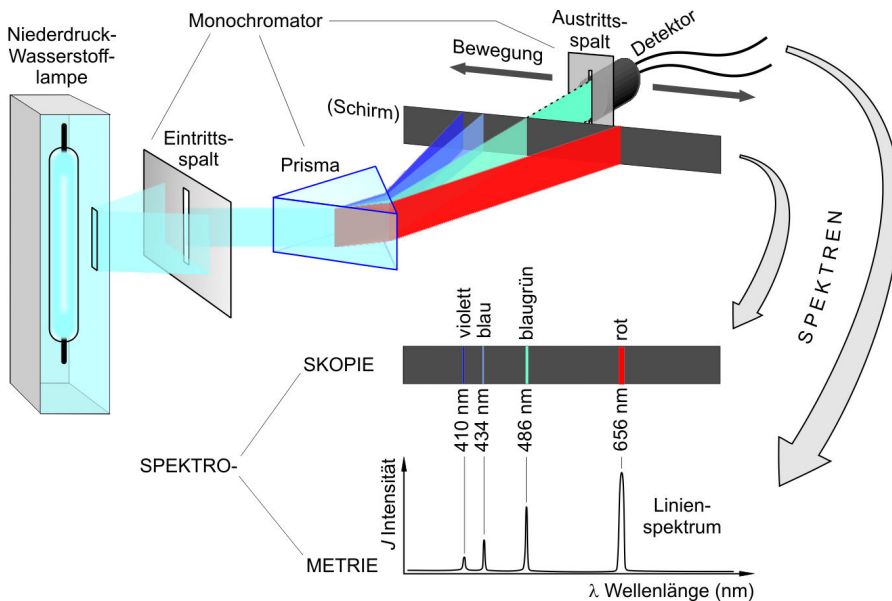


13

## Entstehung eines kontinuierlichen Spektrums mittels eines Prismenmonochromators bei einem Temperaturstrahler (z. B. Glühlampe)

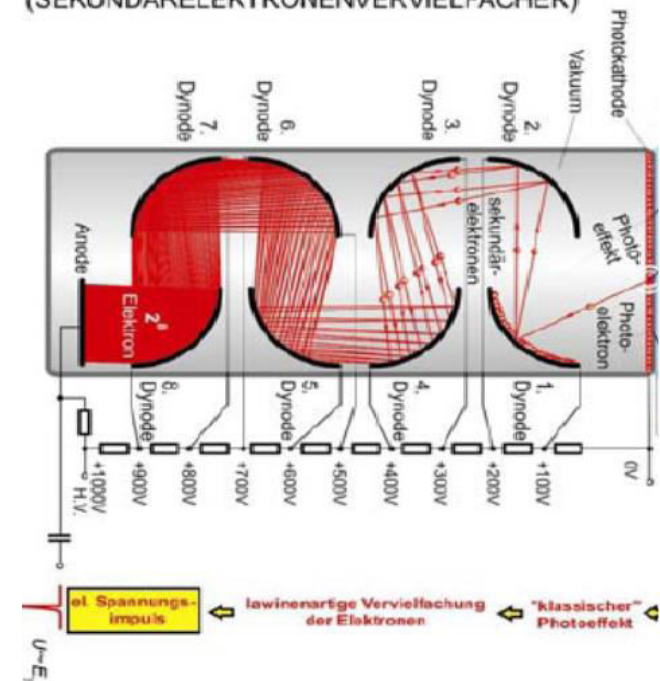


## Entstehung eines Linienspektrums mittels eines Prismenmonochromators bei mit elektrischem Strom angeregtem Niederdruck-Wasserstoffgas



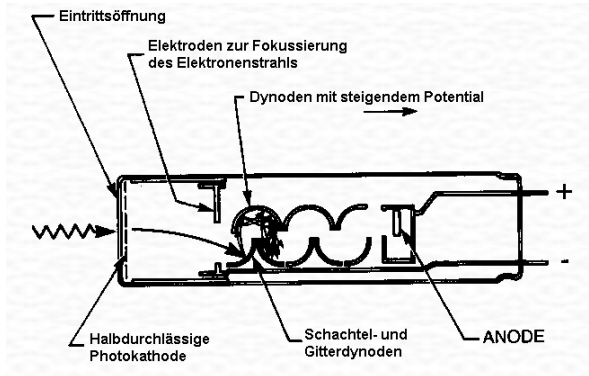
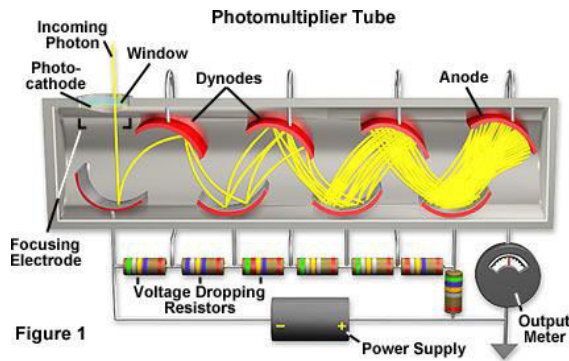
15

## PHOTOMULTIPLIERTOR (SEKUNDÄRELEKTRONENVERVIELFACHER)



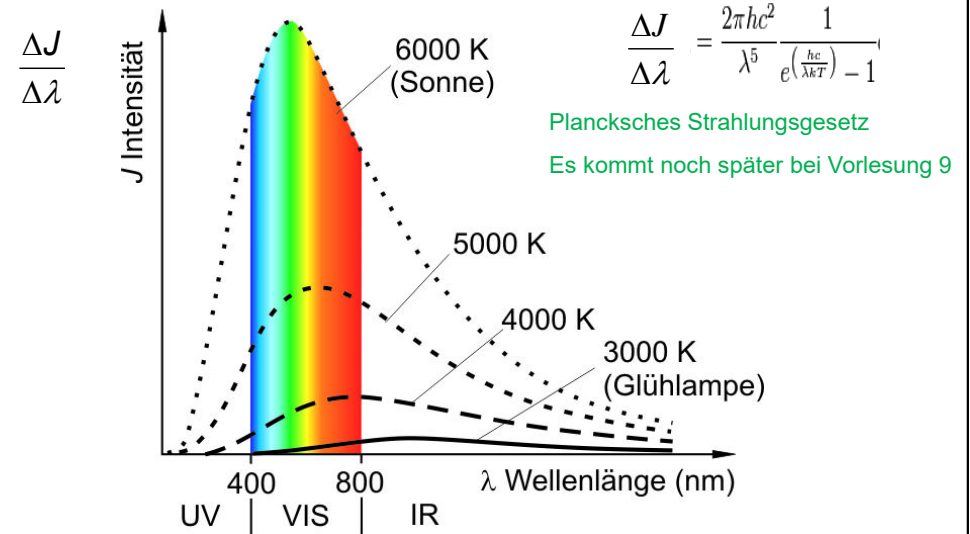
## Photodetektor

Beispiel: SEV  
(Sekundärelektronenvervielfacher) = PMT

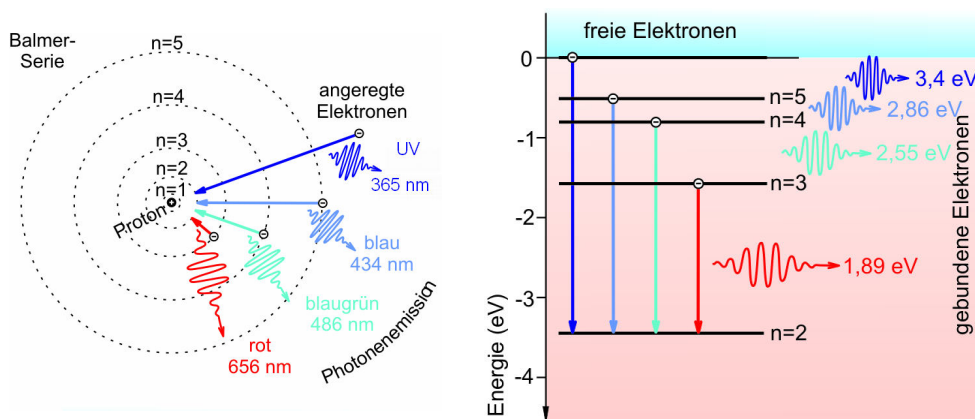


## Kontinuierliches Spektrum

erhitzte Festkörper und Flüssigkeiten, z. B. Sonne, Glühlampe  
(Siehe: Temperaturstrahlung, Thermographie)



## Emission von Wasserstoff

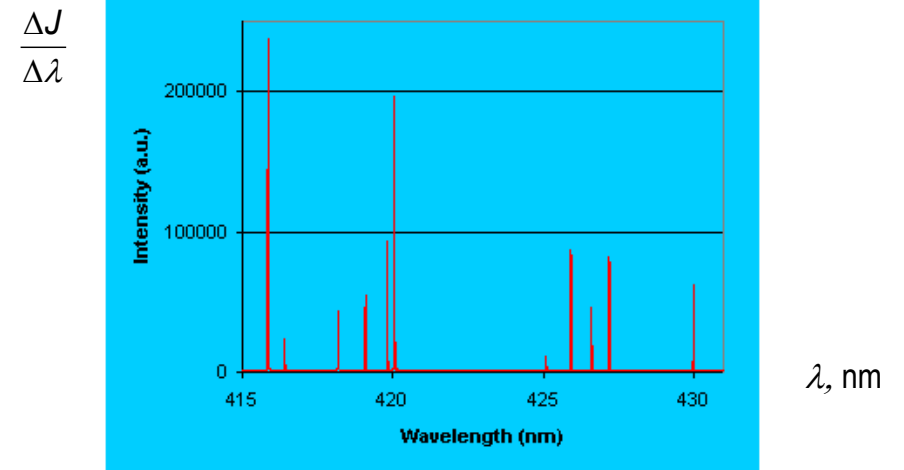


Die Atome des Niederdruck-Wasserstoffgases bewegen sich unabhängig voneinander. Entsprechend den Unterschieden der Energieniveaus emittieren sie Photonen bestimmter Wellenlängen, es entsteht ein Linienspektrum

## Linienspektrum

angeregte Atome, z. B. Na-Linie bei 590 nm

ein Teil des Emissionsspektrums von Argon Plasma

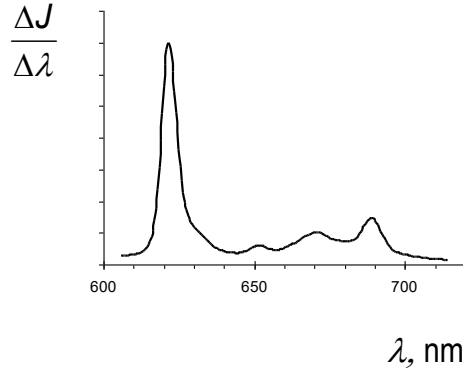
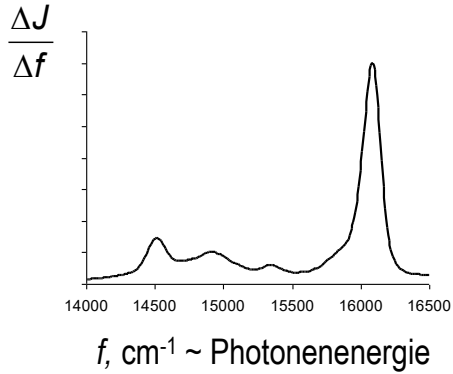


$\lambda$ , nm

## Bandenspektrum

(aus vielen sehr dicht liegenden Linien):  
angeregte Moleküle  
z. B. Mioglobin (ohne Eisen)

Molekülen haben zusätzliches  
Rotationsspektrum und  
Vibrationsspektrum was  
Atomen nicht haben 😊



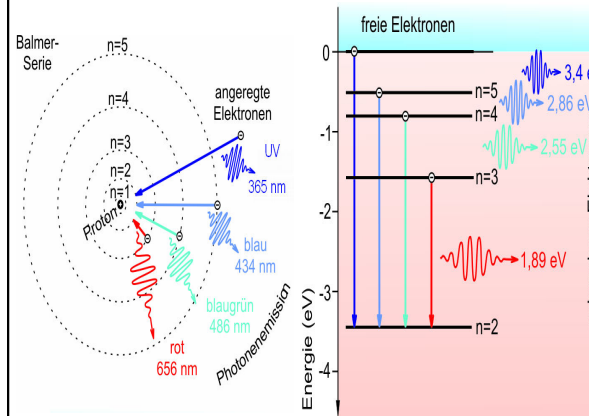
$$c = \lambda f$$

21

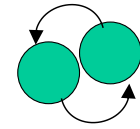
## Atome versus Moleküle

Atome haben Grundzustand,  
Angeregte Zustände und  
ionizations Zustände

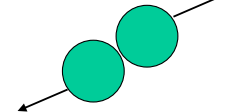
Molekülen haben zusätzlichen  
Rotationszustände und  
Vibrationszustände die die  
Atome nicht haben



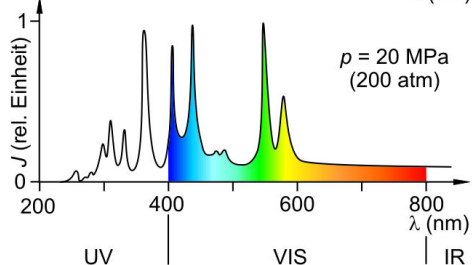
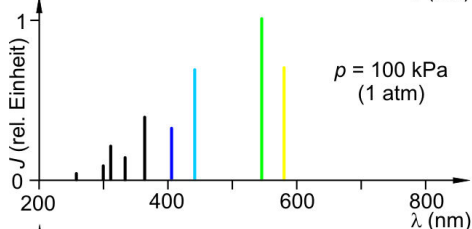
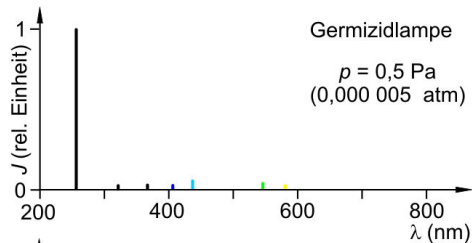
Rotationszustände:



Vibrationszustände:



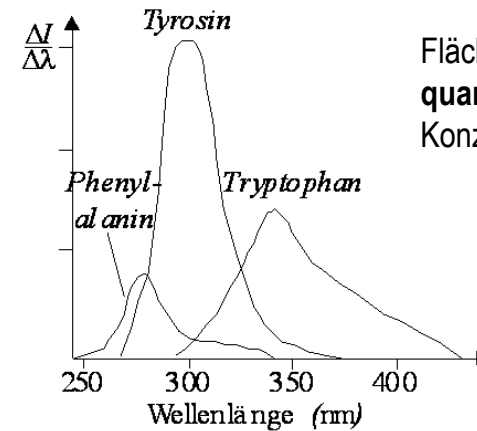
22



Spektrn von Niederdruck-,  
Hochdruck- und Höchstdruck-  
Quecksilberdampfampfen. Man  
beachte, dass die Spektrallinien  
mit zunehmendem Druck an Zahl  
zunehmen bzw. sich zu Banden  
verbreitern!

23

## Information aus dem Emissionsspektrum



Fläche unter der Kurve:  
**quantitative Analyse**  
Konzentrationsbestimmung

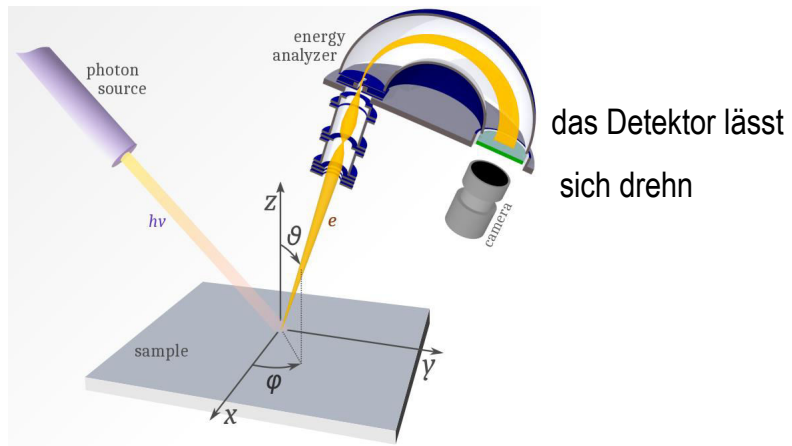
Lumineszenzspektrn von  
aromatischen  
Aminosäuren

(Rontó-Tarján, Abb. 4.15)

Position der Spitze: **qualitative Analyse**  
Substanz, Zusammensetzung, Struktur!

24

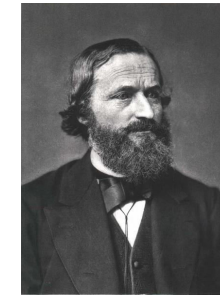
## Die verbesserung von Spektroskopie ist die winkelaufgelöste Spektroskopie



engl. *angle-resolved photon-emission spectroscopy*

25

## Die Erfinder des Spektroskops

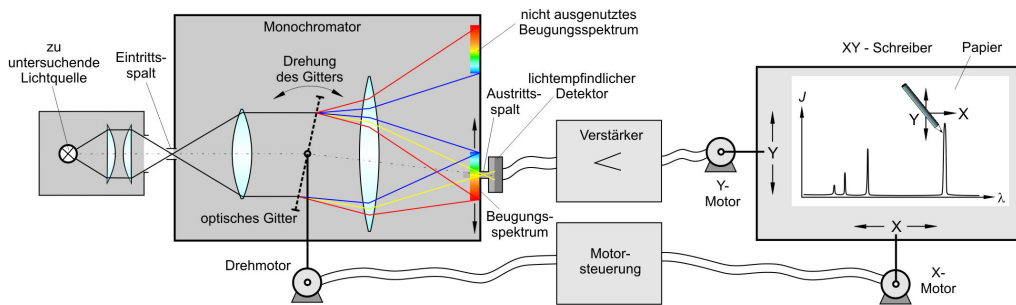


Robert Wilhelm Eberhard Bunsen (\* 30. März 1811 in Göttingen; † 16. August 1899 in Heidelberg)

Gustav Robert Kirchhoff (\* 12. März 1824 in Königsberg (Preußen); † 17. Oktober 1887 in Berlin)

26

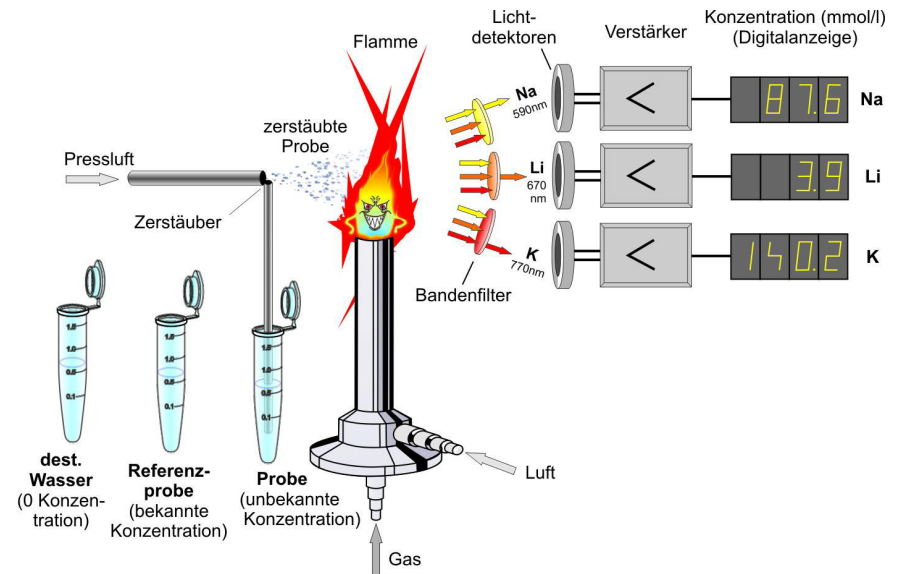
## Messung des Emissionsspektrums



Prinzipieller Aufbau des Spektrometers und Aufzeichnung des Spektrums

27

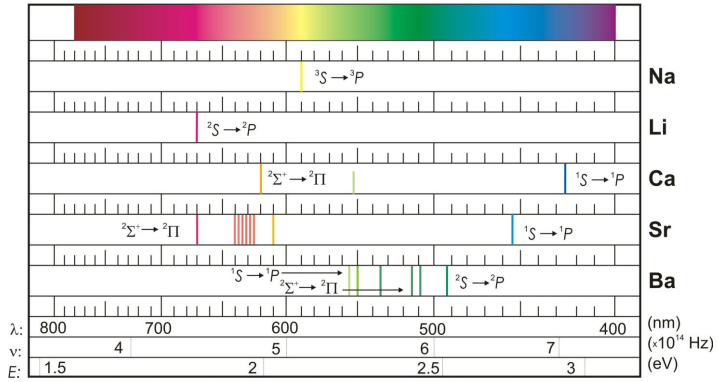
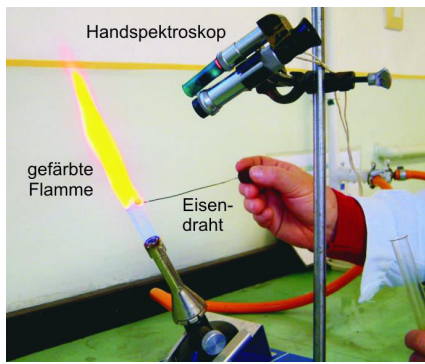
## Quantitative Analyse



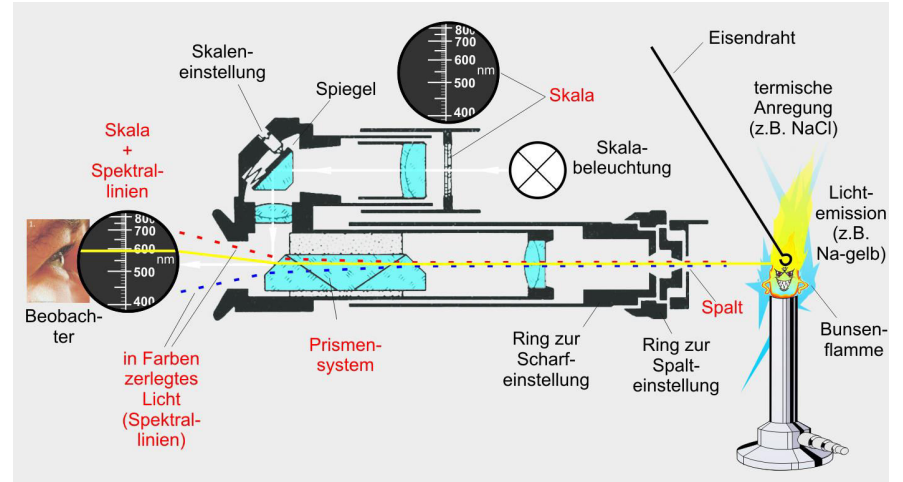
Prinzipieller Aufbau des Flammenphotometers

28

# Flammenfärbung

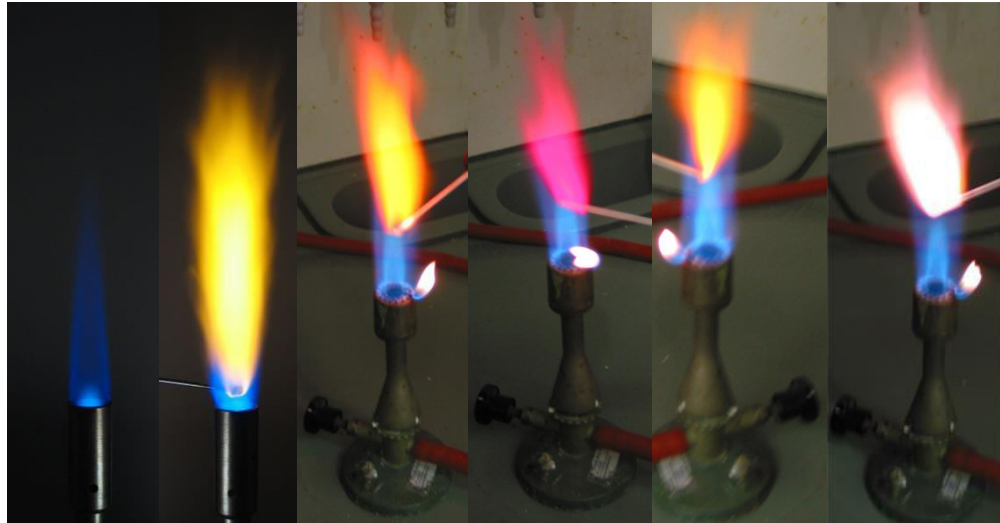


# Qualitative Analyse



Aufbau des Handspektroskops

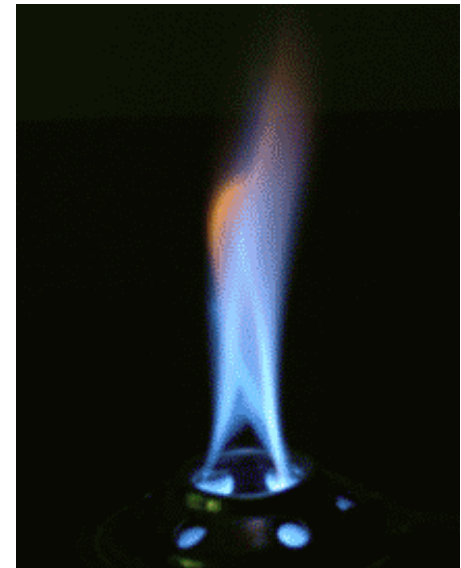
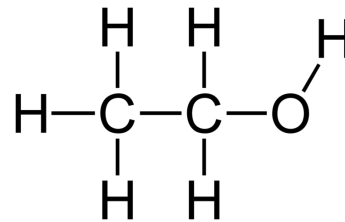
# Flammenfärbung



Na Sr Li Ca K

# Spiritusflamme und Spektrum

Ethylalkohol





# Schlussbemerkungen für Spektroskopie 1

## Klassifizierung:

### 1) Spektroskopiearten nach Wellenlängen und untersuchten

#### Eigenschaften

Nächste Folie

### 2) Liste mit Spektroskopiearten und -methoden in der Analytik

Sind mindestens 45 verschiedene Art

Z.B.: Winkel aufgelöste Photoelektronenspektroskopie (ARPES)

Mehr auf:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Spektroskopie>

33

EM-Strahlung	Wellenlänge	untersuchte Eigenschaft	Spektroskopische Methode
Radiowellen	100 m...1 m	Änderung des Kernspinzustandes	Kernresonanzspektroskopie(NMR, auch Hochfrequenzspektroskopie)
Mikrowellen	1 m...1 cm	Änderung des Elektronenspinzustandes oder Hyperfeinzustandes	Elektronenspinresonanz(ESR/EPR), Ramsey-Spektroskopie (Atomuhren)
Mikrowellen	10 cm...1 mm	Änderung des Rotationszustandes	Mikrowellenspektroskopie
Terahertzstrahlung	1 mm...100 $\mu$ m	Änderung des Schwingungszustandes	Submillimeterwellenspektroskopie
Infrarotstrahlung	1 mm...780 nm	Änderung des Schwingungszustandes	Schwingungsspektroskopie (Infrarotspektroskopie(IR), Reflexionsspektroskopie und Ramanspektroskopie Ultrakurzzeit-Spektroskopie)
sichtbares Licht UV-Strahlung	1 $\mu$ m...10 nm	Änderung des Zustandes der äußeren Elektronen	UV/VIS-Spektroskopie(UV/Vis), Reflexionsspektroskopie, Fotoleitungsspektroskopie, Fluoreszenzspektroskopie; Ultrakurzzeit-Spektroskopie Atomspektroskopie Vergleich mit Frequenzkamm
Röntgenstrahlung	10 nm...100 pm	Änderung des Zustandes der Rumpfelektronen	Röntgenspektroskopie (XRS); Elektronenspektroskopie; Auger-Elektronen-Spektroskopie(AES);
Gammastrahlung	100 pm...1 pm	Änderung des Kernzustandes (Anordnung der Nukleonen)	Gammastrahlungsspektroskopie

34

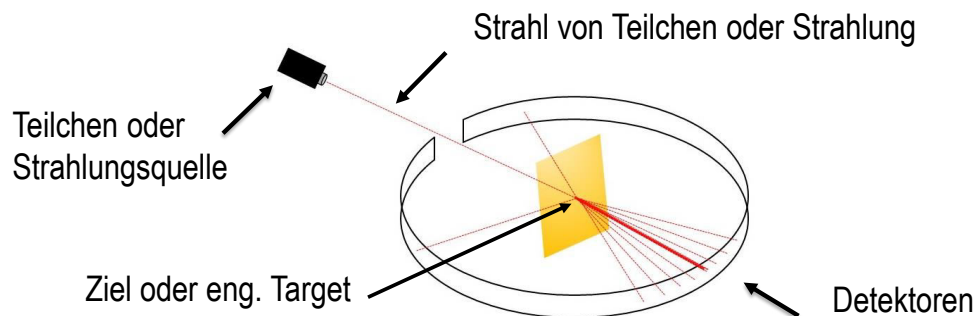
# Schlussbemerkungen für Spektroskopie 2

## Klassifizierung

Spektroskopieren können wir auch mit Teilchen

(Elektron, Positron, Alpha, Neutron, Pion und so weiter)

Ein schematisches Bild:



35

# Zusammenfassung

**Licht als Teilchenstrahlung, Photoeffekt,**

**Spektroskopie**

*Nützliche youtube videos:*

[Einführung in die Infrarotspektroskopie](#)

<https://www.youtube.com/watch?v=rkaEbO0shgs>

[optische Spektroskopie](#)

[https://www.youtube.com/watch?v=hthihCv0j\\_s](https://www.youtube.com/watch?v=hthihCv0j_s)

[Flammenfärbung](#)

[https://www.youtube.com/watch?v=FMwt\\_5J6i5Q](https://www.youtube.com/watch?v=FMwt_5J6i5Q)

36

## Berechnungsaufgaben

<https://www.leifiphysik.de/optik/beugung-und-interferenz/aufgabe/newtonsche-ringe>

<https://www.leifiphysik.de/optik/beugung-und-interferenz/aufgabe/versuch-von-pohl-abitur-1993-lk-a3-3>

<https://www.leifiphysik.de/optik/beugung-und-interferenz/aufgabe/dicke-eines-haares>

<https://www.leifiphysik.de/optik/beugung-und-interferenz/aufgabe/antireflexbeschichtung>

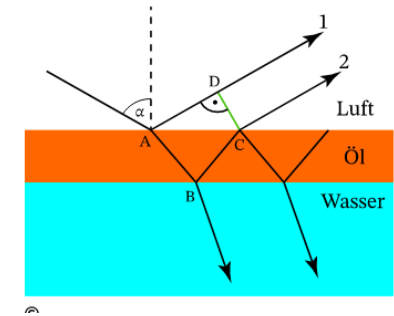
<https://www.leifiphysik.de/optik/beugung-und-interferenz/aufgabe/oel-auf-pfuetze-abitur-2005-lk-a2-3>

37

## Berechnungsaufgabe

<https://www.leifiphysik.de/optik/beugung-und-interferenz/aufgabe/oel-auf-pfuetze-abitur-2005-lk-a2-3>

$$\Delta s = 2 \cdot d \cdot \sqrt{n^2 - (\sin \alpha)^2}$$



c) Auf einer Wasserpfütze hat sich Öl mit der Brechzahl  $n = 1,20$  in einer  $560 \text{ nm}$  dicken Schicht ausgebreitet.

Berechne, für welche Einfallswinkel grünes Licht der Wellenlänge  $510 \text{ nm}$  unterdrückt wird. (9 BE)

38

*Vielen Dank für ihre*



*Aufmerksamkeit!*

Fragen, Bemerkungen, Kommentare?