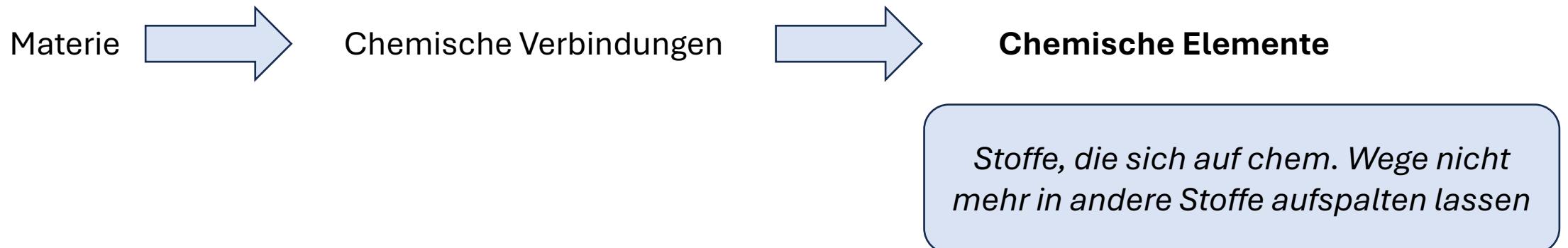
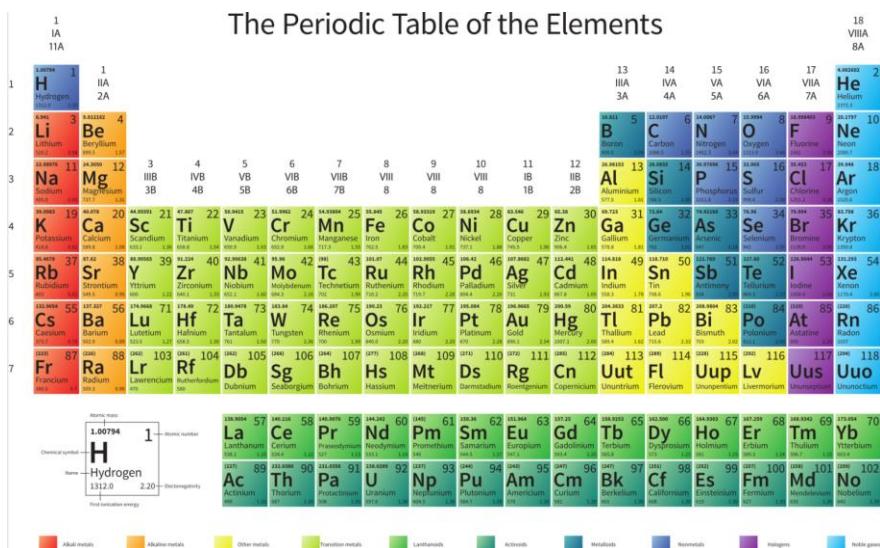


# DER AUFBAU DER MATERIE ELEMENTARTEILCHEN & ATOMMODELLE

# Der Aufbau der Materie – chemische Elemente



Elemente werden durch **Elementsymbole** im **Periodensystem** dargestellt.



**Frage:** Wobei handelt es sich um ein chemisches Element?

- Wasser
- Wasserstoff
- Bronze
- Blei

# Vom Stoffgemisch zu Reinstoffen und Elementen

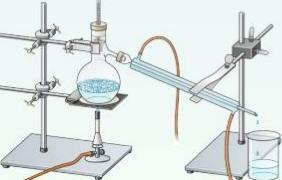
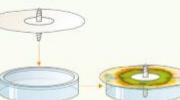


Justus Liebig's chemisches Laboratorium auf dem Seltersberg zu Gießen um das Jahr 1840.

(Erbaut vom Universitäts-Baumeister Hofmann im Herbst 1839.)

Von Wilhelm Trautschold (1815 – 1877) -  
Illustration in: "Bibliothek des allgemeinen und  
praktischen Wissens", Band 3, Deutsches  
Verlagshaus Bong u. Co., Berlin, 1912, Herausgeber  
Emanuel Müller-Baden (eigener Scan), Gemeinfrei,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=23862142>

# Präparative, physikalische Trennverfahren

<p><b>Sedimentieren</b> Absetzen von unlöslichen Stoffen in Flüssigkeiten durch unterschiedliche Dichten.</p> <p>Beispiel: Erde setzt sich in Wasser am Boden ab.</p> 	<p><b>Dekantieren</b> Trennung von unlöslichen Stoffen in Flüssigkeiten durch unterschiedliche Dichten.</p> <p>Beispiel: Bei der Fettkanne schwimmt das Öl auf dem Wasser und wird nicht mit abgegossen.</p> 	<p><b>Extrahieren</b> Trennung von Stoffen mit Lösemitteln durch unterschiedliche Löslichkeit.</p> <p>Beispiel: Farb- und Geschmacksstoffe von Kaffeepulver lösen sich im heißen Wasser.</p> <p style="text-align: right;">© Westermann Schulbuch Verlag</p>
<p><b>Filtrieren</b> Trennung von Stoffen mit unterschiedlicher Partikelgröße mithilfe von Filterpapier.</p> <p>Beispiel: Bei einem Sand-Wasser-Gemisch bleibt der Sand im Filterpapier. Das Wasser fließt durch.</p> 	<p><b>Eindampfen</b> Trennung von in Flüssigkeiten gelösten festen Stoffen durch Erhitzen.</p> <p>Beispiel: Wenn Tuschwasser verdampft, bleibt nur der Farbstoff übrig.</p> 	<p><b>Destillieren</b> Trennung von Flüssigkeiten durch unterschiedliche Siedetemperaturen.</p> <p>Beispiel: Alkohol siedet bei einer niedrigeren Temperatur als Wasser. Der Dampf wird in einem Kühler abgekühlt und als Destillat aufgefangen.</p> 
<p><b>Zentrifugieren</b> Trennung von Stoffen unterschiedlicher Dichten mithilfe von schnellem Drehen.</p> <p>Beispiel: Dreht man ein Erde-Wasser-Gemisch, setzt sich die Erde schnell am Boden ab.</p> 	<p><b>Adsorbieren</b> Trennung durch Anhaften eines Stoffes an einem Adsorptionsmittel.</p> <p>Beispiel: Die Farbstoffe in der Cola bleiben an der Aktivkohle haften.</p> 	<p><b>Chromatografieren</b> Trennung von Stoffen durch unterschiedliche Haftfähigkeit an Papier.</p> <p>Beispiel: Verschiedene Farbstoffe haften an Papier unterschiedlich gut.</p> 

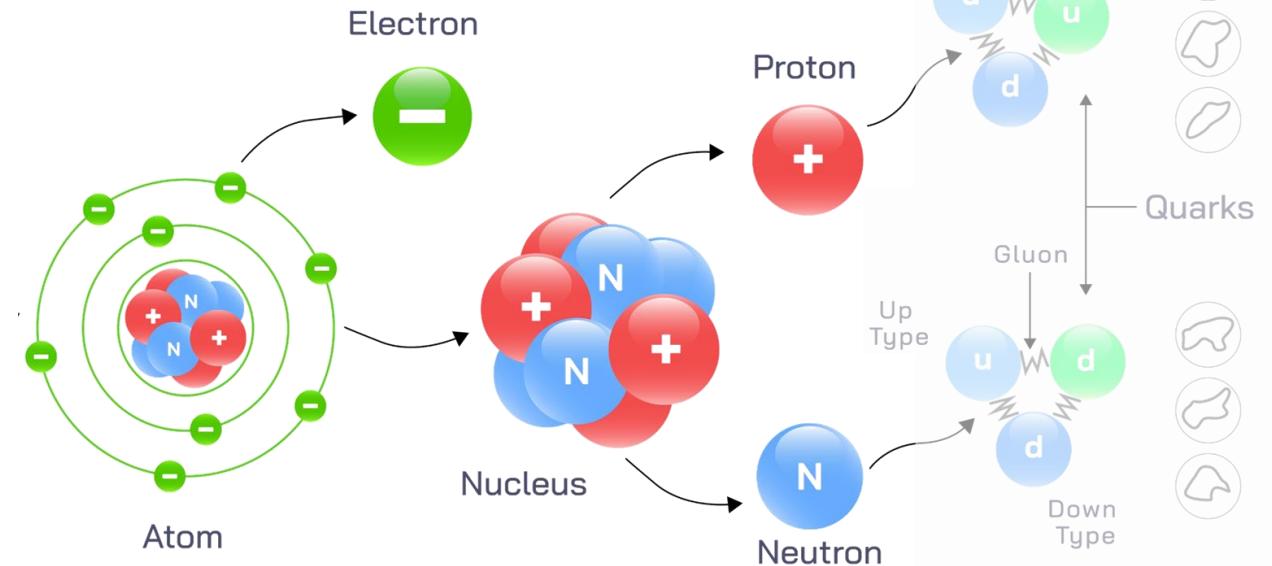
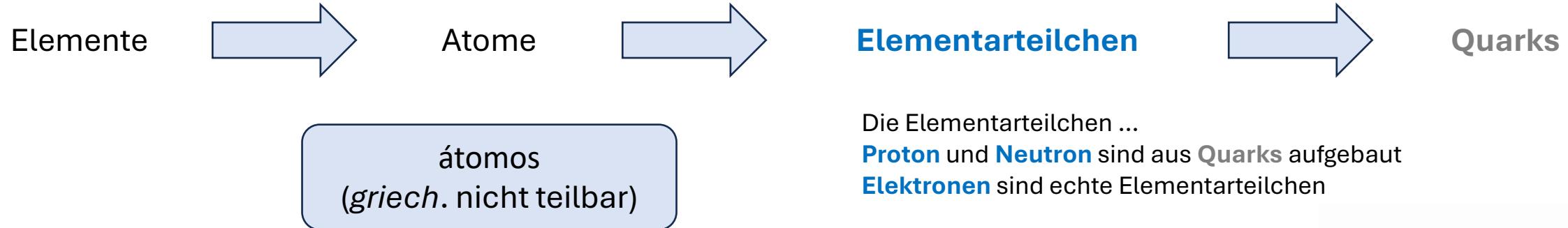
**blickpunkt.**



**westermann**  
Immer auf den Punkt



# Der Aufbau der Materie – Atome & Elementarteilchen



# Der Aufbau der Materie – Atome & Elementarteilchen

Elemente



Atome



Elementarteilchen



Quarks



Elementarteilchen	Ladung	Masse	Masse
Proton p <sup>+</sup>	+e	$1,67262 \cdot 10^{-27}$ kg	1 u
Neutron n <sup>0</sup>	0	$1,67493 \cdot 10^{-27}$ kg	1 u
Elektron e <sup>-</sup>	-e	$9,10938 \cdot 10^{-31}$ kg	1/2000 u

- Die **Ladungen** bezeichnen die **Elementarladung**  $e_0 = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C  
Sie ist die kleinste in der Natur vorkommende Ladungseinheit.  
Alle Ladungen sind ganzzahlige Vielfache der Elementarladung.
- Die **Massen** sind in der **atomaren Masseneinheit u** angegeben;  $1 \text{ u} = 1,7 \cdot 10^{-24}$  g  
Genau genommen beträgt die Masse eines Protons 1,00727 u und die Masse eines Neutrons 1,00866 u. Der Unterschied ist aber meist vernachlässigbar

# Chemische Elemente und ihre Elementarteilchen

Massenzahl  
Elementsymbol  
Protonenzahl

## Protonen:

Ein chemisches **Element** ist **durch** die **Protonenzahl** (Anzahl der Protonen) im Kern **eindeutig bestimmt**. Die Protonenzahl, **Kernladungszahl**, **Ordnungszahl** ist im Periodensystem für jedes Element angeben

## Neutronen:

Neutronen bilden mit den Protonen den Atomkern. Sie spielen eine entscheidende Rolle in der **Stabilität** der Atomkerne (siehe Isotope) Die Neutronenzahl ergibt sich aus der Massenzahl (Protonen + Neutronen)

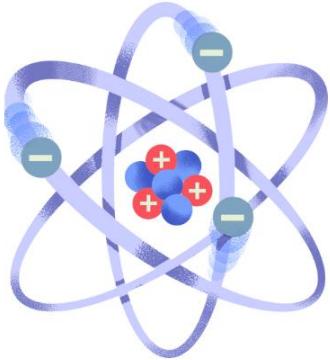
## Elektronen:

Elektronen sind für das chemische Verhalten von Elementen entscheidend. Da Atome nach außen hin elektrisch neutral sind gilt: Anzahl der Protonen = Anzahl der Elektronen

**Frage:** Wie viel Protonen, Neutronen, Elektronen haben folgende Atome:



# Der Aufbau der Materie – Atommodelle



## Dalton (1807):

Atome bestehen aus unteilbaren festen Kugeln (den Grundbausteinen der Materie)

## Thomsonsches Atommodell (1897)

Kathodenstrahlrohr-Experiment → Entdeckung des Elektrons (Rosinen-Modell)

## Rutherfordsches Atommodell (1911)

Streuexperiment → kleiner Atomkern und Elektronenhülle (Kern-Hülle-Modell)

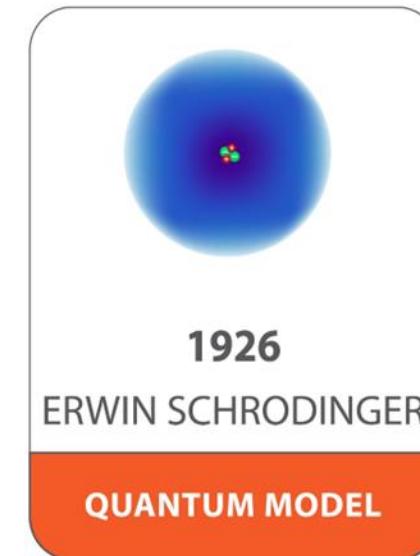
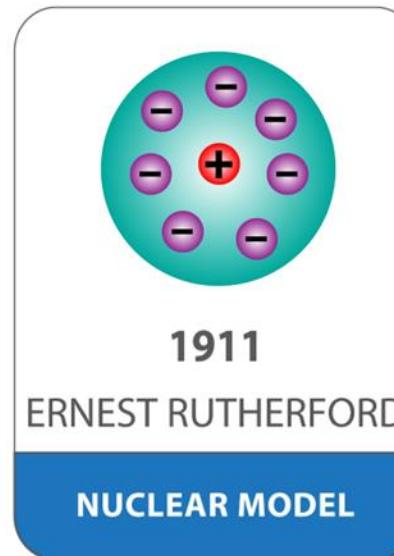
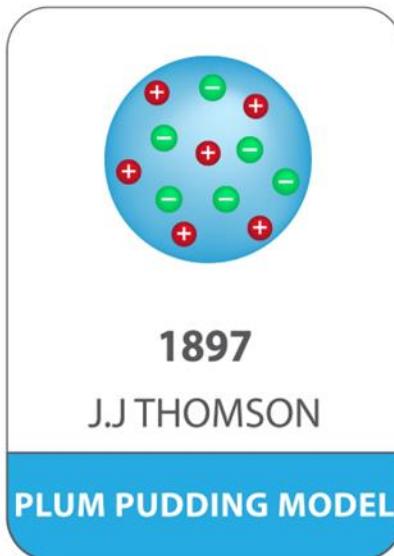
## Bohrsches Modell (1913)

Elektronen auf festen Umlaufbahnen

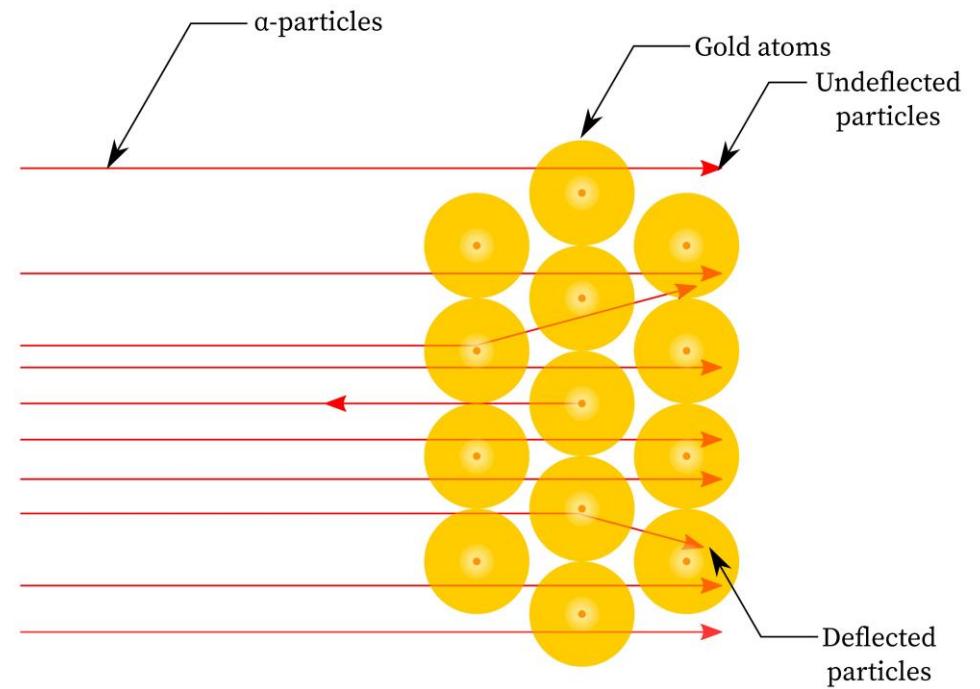
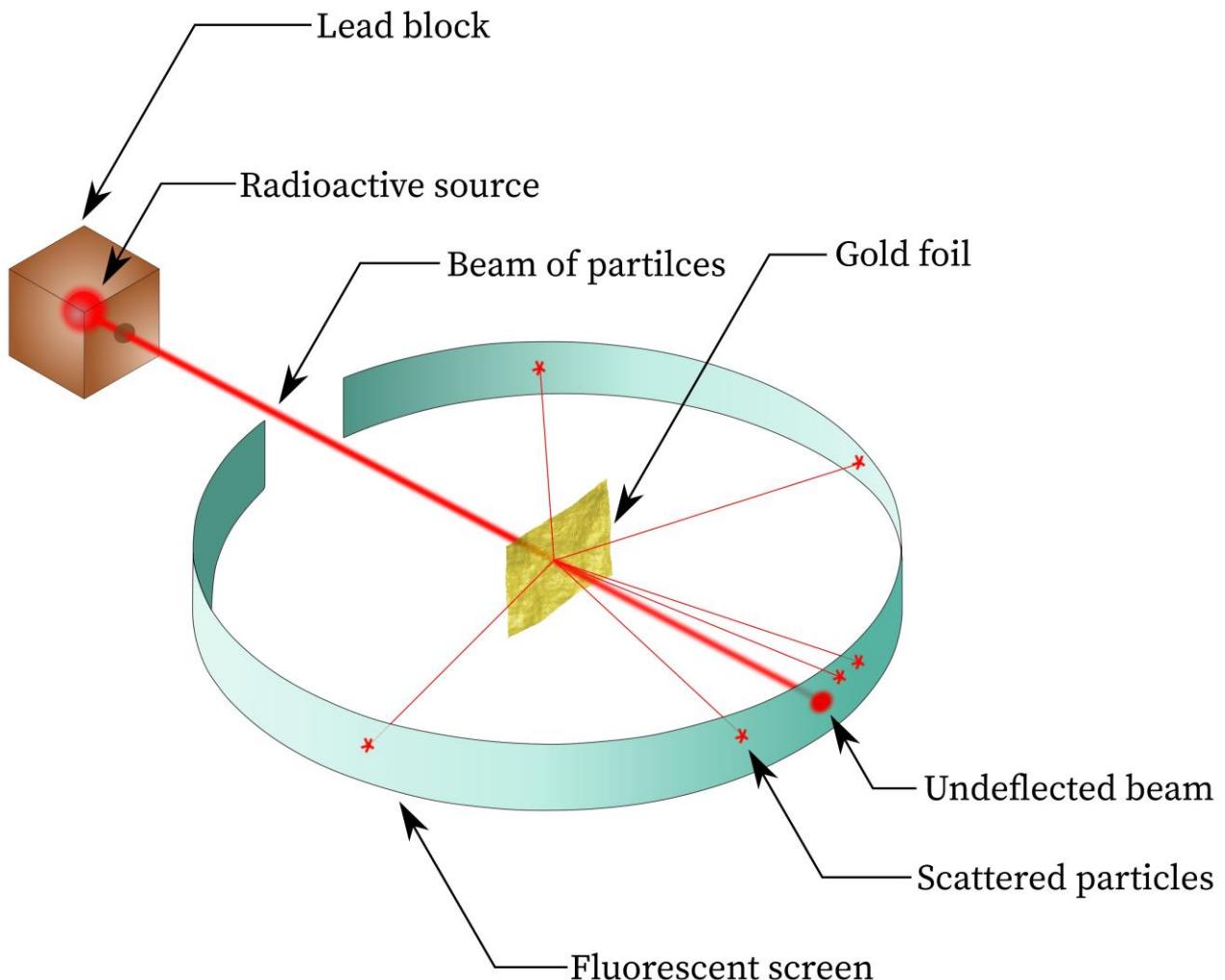
## Quantenmechanisches Modell (1920er)

Elektronen bewegen sich in Orbitalen um den Kern

# Der Aufbau der Materie – Atommodelle



# Rutherford'scher Streuversuch

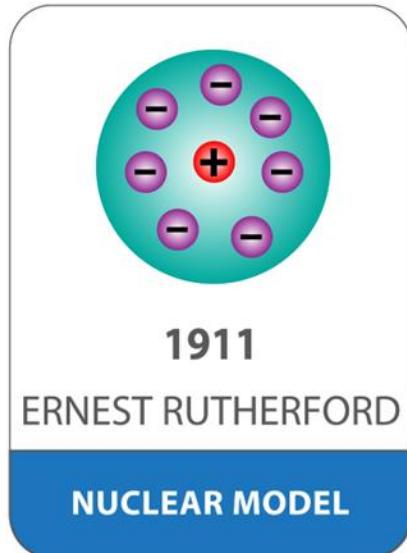


Protonen und Neutronen sind im **Atomkern** dicht gepackt (Größenordnung  $\sim 10^{-15}\text{m}$ )

Elektronen bewegen sich in **Elektronenhülle** (Größenordnung  $\sim 10^{-10}\text{m}$ ) um den Atomkern

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

# Rutherford'sche Atommodell



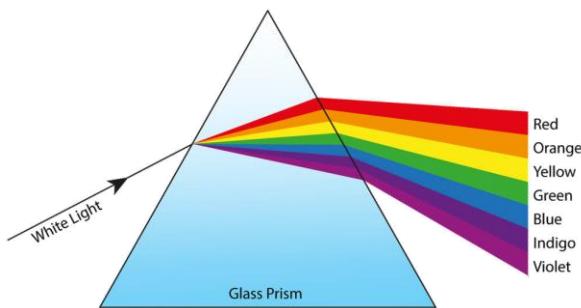
## Charakteristika des Atommodells

- Atom besteht aus kleinem, **positiv geladenem Kern** (Protonen und Neutronen)
  - starke Kernkraft im Inneren des Atomkerns** hält den Atomkern zusammen.  
Kernkraft ist auf sehr kurze Distanzen (Atomkern  $\sim 10^{-15}\text{m}$ ) stärker als die abstoßenden elektromagnetischen Kräfte zwischen gleichnamigen Ladungen
- Elektronen kreisen in großer, fast leerer Hülle um den Kern

## Grenzen des Atommodells:

- Elektronenverteilung und chemische Bindungen bleiben unerklärt
- Modell kann nicht erklären, warum Elektronen nicht in den Kern stürzen
- Keine Erklärung für diskrete Spektrallinien

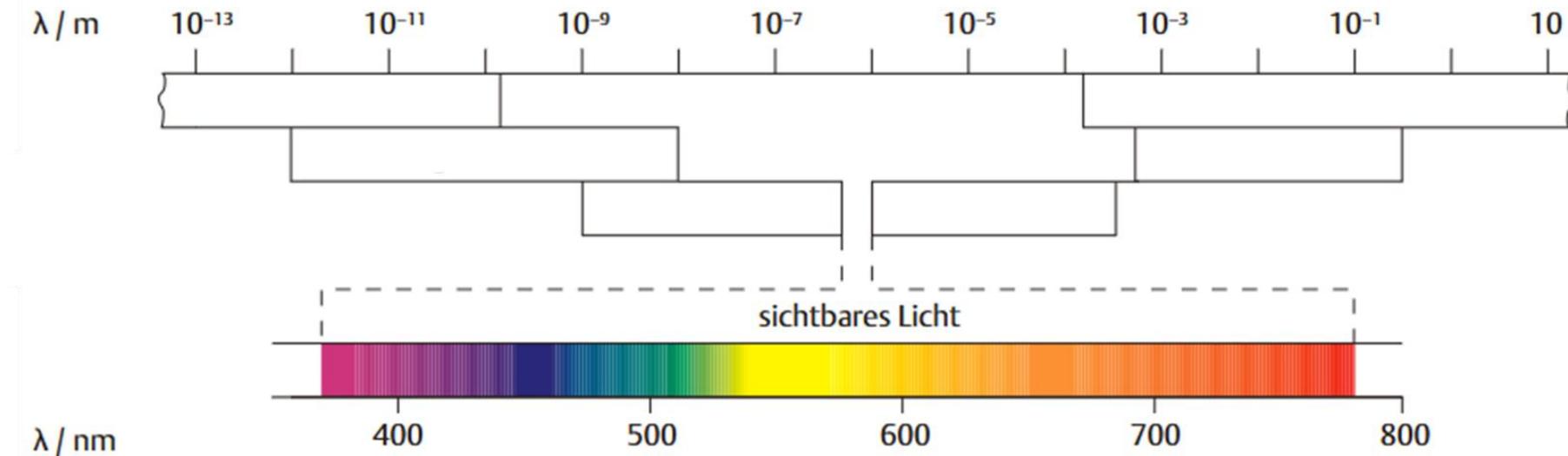
# Kontinuierliches Spektrum des Lichts



<https://www.flickr.com/photos/121935927@N06/13580411493>

- Wird sichtbares Licht in einem Prisma gebrochen, erhält man ein kontinuierliches Spektrum
- Nach Planck lässt sich die Energie der Strahlung berechnen  $E = h \cdot v$

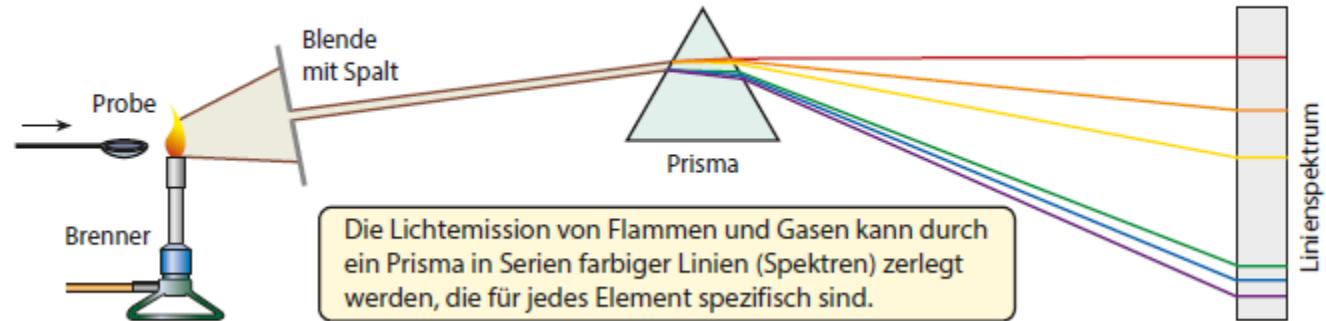
**Aufgabe:** Ordnen Sie die Bereiche des elektromagnetischen Spektrums nach zunehmender Wellenlänge:  
Röntgenstrahlung | Radiowellen | UV-Strahlung | Gammastrahlung | Infrarotstrahlung | Mikrowellen |



# Diskontinuierliches Spektrum von Atomen

## Beobachtung:

Wird eine Probe in einer Flamme verbrannt und das Licht in einem Prisma gebrochen, erhält man ein **diskontinuierliches Spektrum**



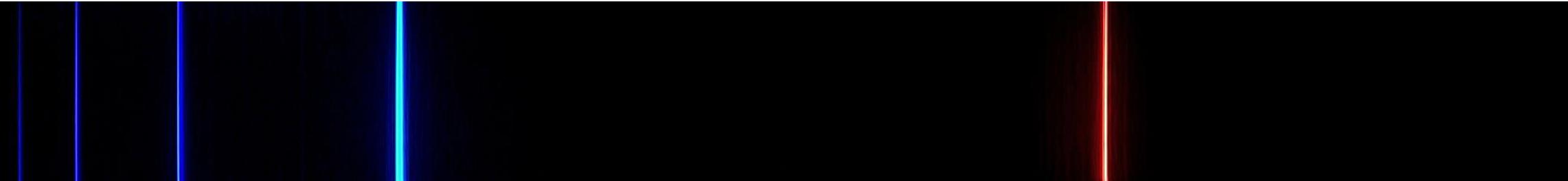
## Max Planck (1900)

Strahlung kann nur in definierten Portionen absorbiert oder abgegeben werden → **Quanten**

# Linienspektrum von Wasserstoff

- Werden Elemente in einer Flamme angeregt beobachtet man mithilfe eines Prismas ein **Linienspektrum**
- Linienspektren sind **charakteristische** Stoffeigenschaften der Elemente (→ **Atomemissionsspektroskopie AES**)

**Linienspektrum von Wasserstoff:**



Quelle: Wikipedia, Balmer Serie

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = 3,289 \cdot 10^{15} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \text{Hz}$$

Mathematische Beschreibung der gemessenen Frequenzen

# Bohr'sches Atommodell

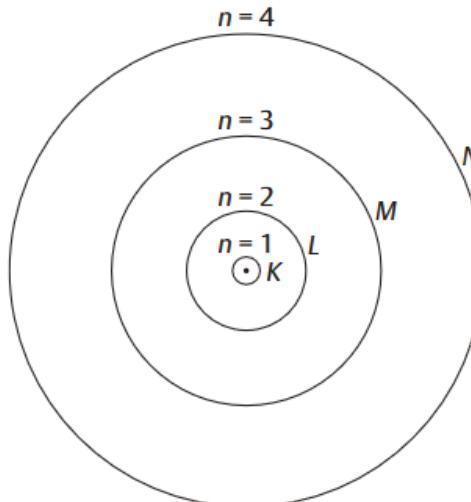
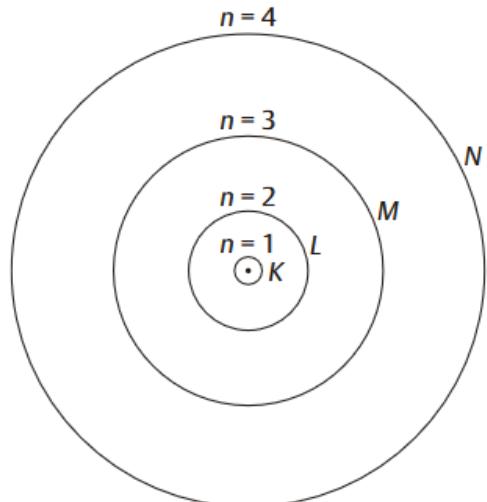
Elektronen bewegen sich nicht willkürlich in Elektronenhülle

Elektronen bewegen sich auf **stabilen Kreisbahnen** um den Kern

Kreisbahnen werden mit den Buchstaben **K, L, M, N,...** oder  **$n = 1,2,3,4,\dots$**  bezeichnet

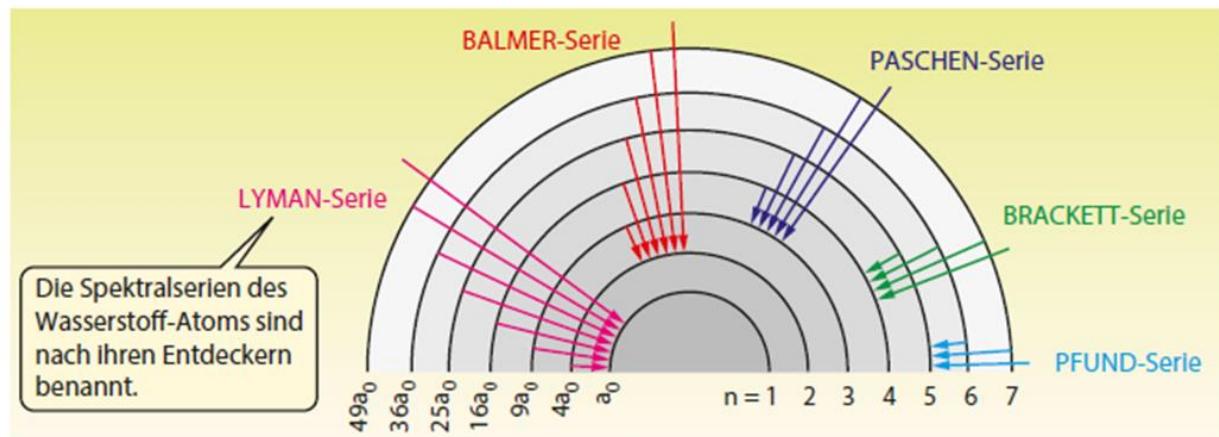
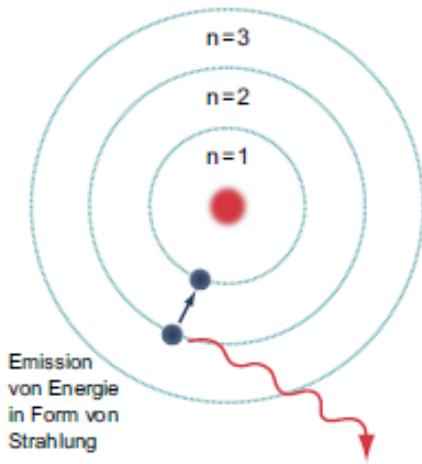
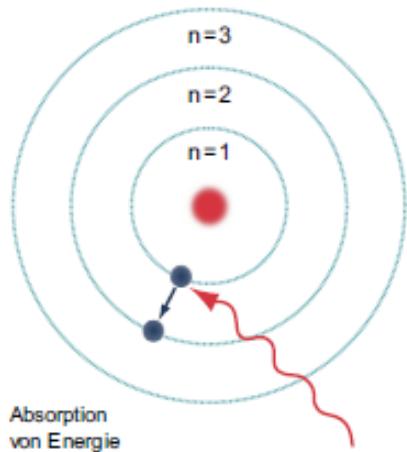
Jede Bahn besitzt ein **diskretes Energieniveau**

Besetzung der Schalen am Beispiel von Helium und Schwefel



# Bohr'sches Atommodell

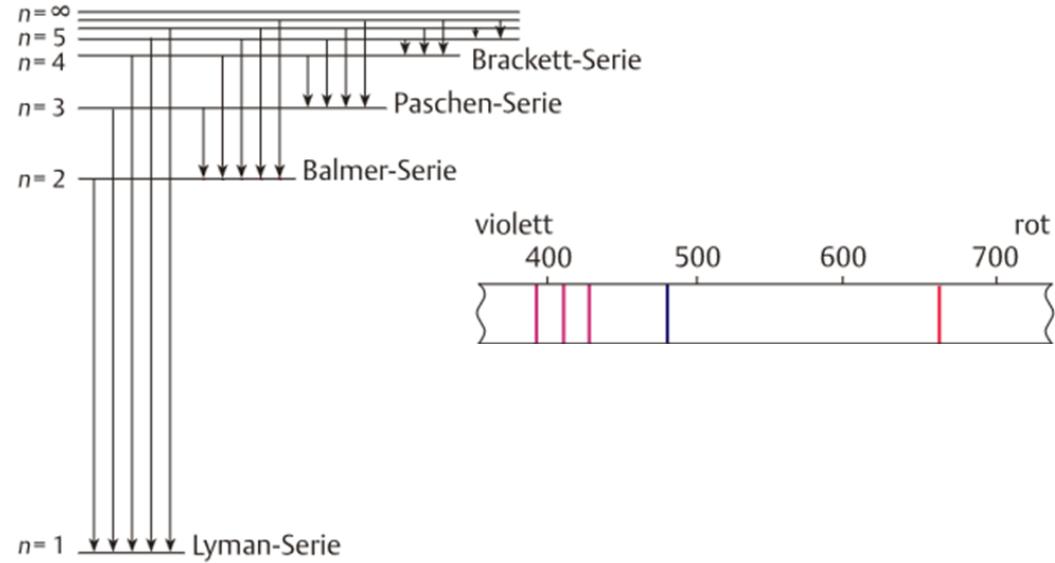
Elektronen können durch Aufnahme von Energie in eine Kreisbahn höherer Energie und durch Abgabe von Energie zurückkehren



Energieniveaus der einzelnen Schalen:

$$E_n = h \cdot \nu_n = 6,62608 \cdot 10^{-34} Js \cdot 3,289 \cdot 10^{15} \left( \frac{1}{n^2} \right) Hz$$

# Bohr'sches Atommodell

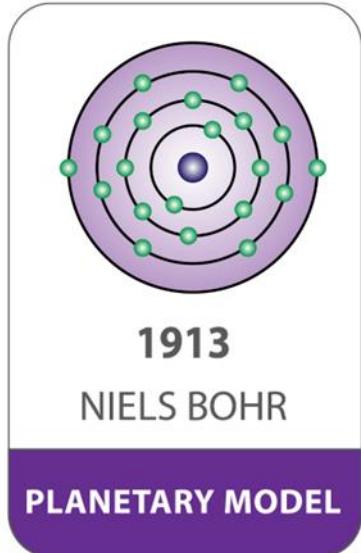


**Frage:** Wie lässt sich die freigesetzte Energie bei den Elektronenübergängen im Wasserstoffatom berechnen?

**Frage:** Wie lässt sich die **Ionisierungsenergie** von Wasserstoff berechnen?

Hinweis: Die Ionisierungsenergie entspricht einem Elektronenübergang vom Grundzustand auf eine unendlich weit entfernte Schale

# Bohr'sches Atommodell



## Charakteristika des Atommodells

- Elektronen kreisen auf festen Kreisbahnen (Schalen mit diskreten Energieniveaus) um den Atomkern
- Elektronen geben innerhalb einer Kreisbahn keine Energie ab
- Elektronen können durch Auf-/Abgabe diskreter Energiewerte zwischen Schalen „springen“

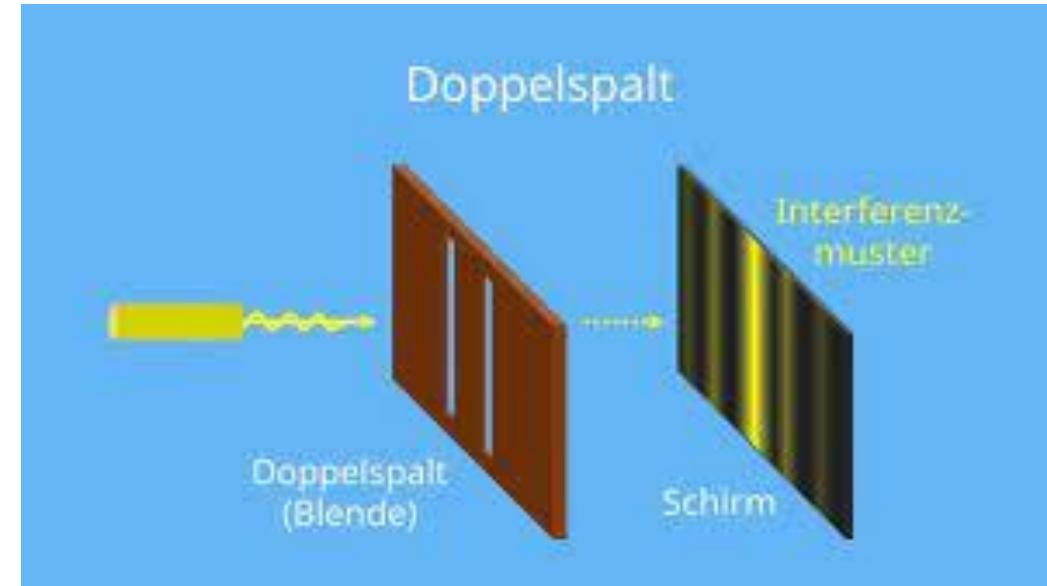
## Grenzen des Atommodells:

- Gilt nur exakt für Wasserstoff (Ein-Elektronen-System) bei
- Erklärt chemische Bindungen
- Feste Elektronenbahnen widersprechen der Unschärferelation und quantenmechanischen Erkenntnissen

# Die Wellennatur der Elektronen

**Licht** (elektromagnetische Strahlung) zeigt an einem Doppelspalt **Interferenz**.

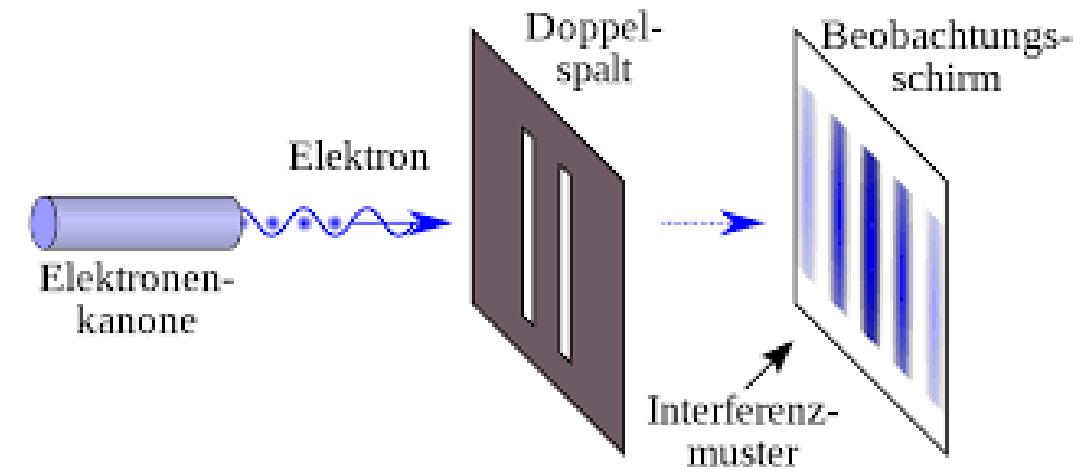
Hier zeigt das Licht seine Wellennatur.



**Elektronen** werden auf einen Doppelspalt geschossen.

Es zeigt sich ein **Interferenzmuster**.

Hier zeigt sich die Wellennatur der Elektronen.



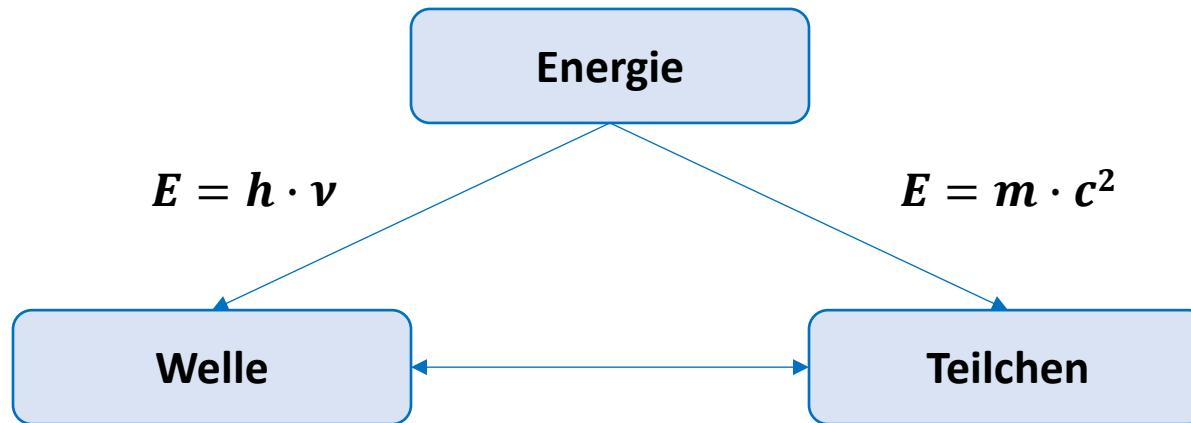
# Welle-Teilchen Dualismus



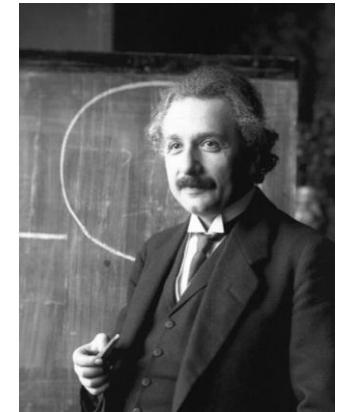
**Max Planck**

Elektromagnetische Wellen  
transportieren Energie

Planck – Konstante:  
 $h = 6,62608 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$



Nach **de Broglie** (1892 – 1987) können alle bewegten  
Teilchen auch Welleneigenschaften aufweisen.  
(Materiewellen)



Nach **Einstein** sind Masse  
und Energie dasselbe

Von Ferdinand Schmutz -  
<https://web.archive.org/web/20071026151415/http://www.anzenbergergallery.com/en/article/134.html>, Gemeinfrei,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=33786836>

# Quantenmechanisches Atommodell

**Wellenmechanik – de Broglie:** Beschreibung eines Elektrons als Welle

Auch Teilchen, die sich nicht mit Lichtgeschwindigkeit bewegen, lässt sich eine Wellenlänge zuordnen

$$E = h \cdot \nu = m \cdot c^2 \quad \xrightarrow{\hspace{1cm}} \quad \lambda = \frac{h}{p}$$

**Heisenberg'sche Unschärferelation:**

Man kann nicht gleichzeitig Ort und Impuls exakt bestimmen

$$\Delta x \cdot \Delta(m \cdot \nu) \geq \frac{h}{4\pi}$$

**Schrödinger Gleichung**

Schrödinger beschreibt Elektronen als Wellen mit Wellenfunktion  $\psi$  - mathematische Beschreibung für die Dynamik. Die Wellenfunktion beschreibt den quantenmechanischen Zustand eines Systems über Zeit und Raum.

$$i\hbar \frac{\partial \psi(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = \hat{H}\psi(\mathbf{r}, t)$$

# Quantenmechanisches Atommodell

## Schrödinger Gleichung

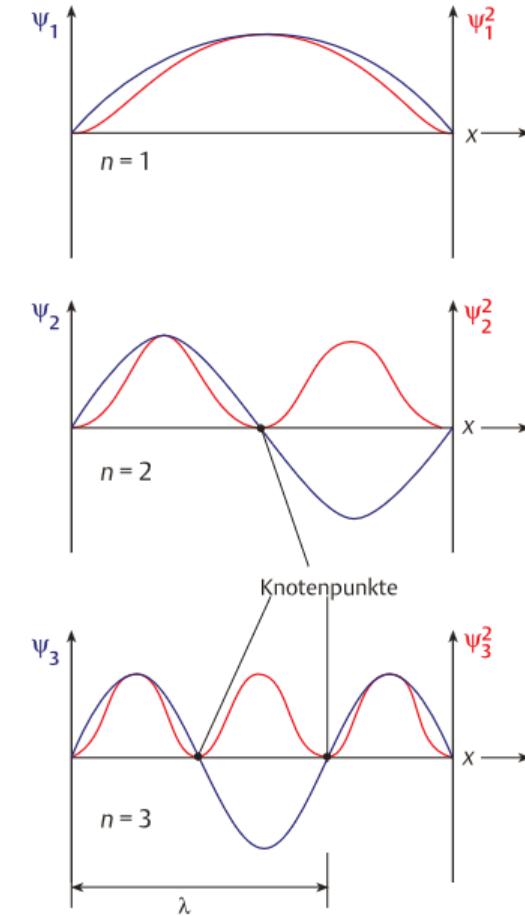
Elektronen verhalten sich wie stehende Wellen (Bsp: stehende Welle einer Gitarrensaite)

Die Lösungen der Gleichung ermöglicht die Berechnung von Wahrscheinlichkeiten für den Aufenthaltsort und weitere quantenmechanische Eigenschaften.

## Quantenzahlen:

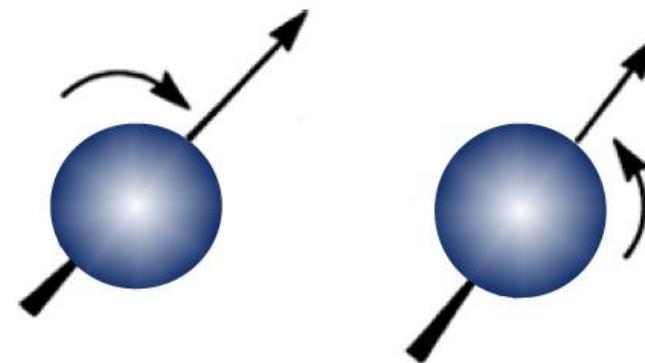
Hauptquantenzahl	Hauptenergiestufen Niveau des Elektrons	n
Nebenquantenzahl	Form des Orbitals / Orbitaltyp (s, p, d, f)	l
Magnetquantenzahl	Räumliche Orbital Orientierung	m
Spinquantenzahl	Spinrichtung des Elektrons	s

$$\psi_n = \sin\pi \cdot n \cdot x$$



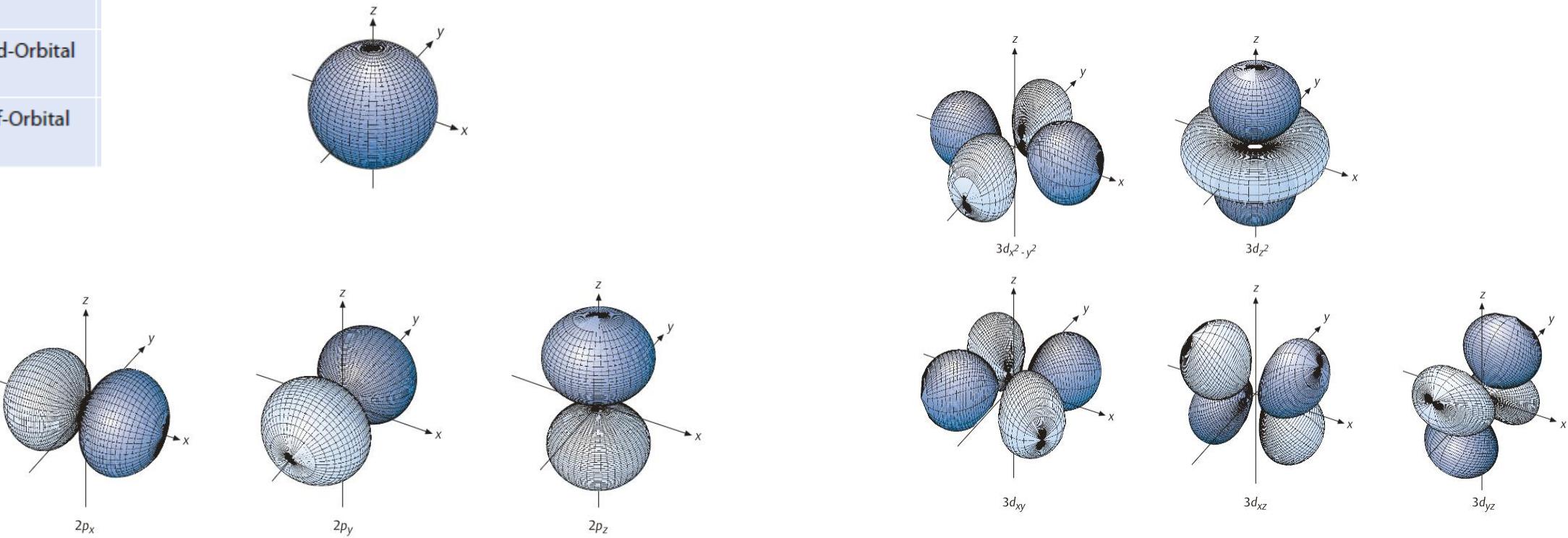
# Spinquantenzahl: Der Spin der Elektronen

- Unter dem **Elektronenspin** kann man sich die Rotation des Elektrons um seine Achse vorstellen. (Quantenmechanische Deutung des Elektronenspins ist unanschaulich)
- Das Elektron kann im Urzeigersinn oder gegen den Urzeigersinn um seine Achse rotieren.
- Die Rotation wird durch die **Spinquantenzahl s** ( $+1/2$  oder  $-1/2$ ) beschrieben.
- Der **Spin der Elektronen** ist wichtig, da er **für die magnetischen Eigenschaften der Stoffe verantwortlich** ist



# Orbitaltypen und Orientierung

$l=0$	s-Orbital
$l=1$	p-Orbital
$l=2$	d-Orbital
$l=3$	f-Orbital



# Die Besetzung von Orbitalen

## Pauli Prinzip:

Zwei Elektronen unterscheiden sich in mindestens einer Quantenzahl

Ein Orbital kann mit max. 2 Elektronen besetzt sein (gepaarte Elektronen mit entgegengesetztem Spin)

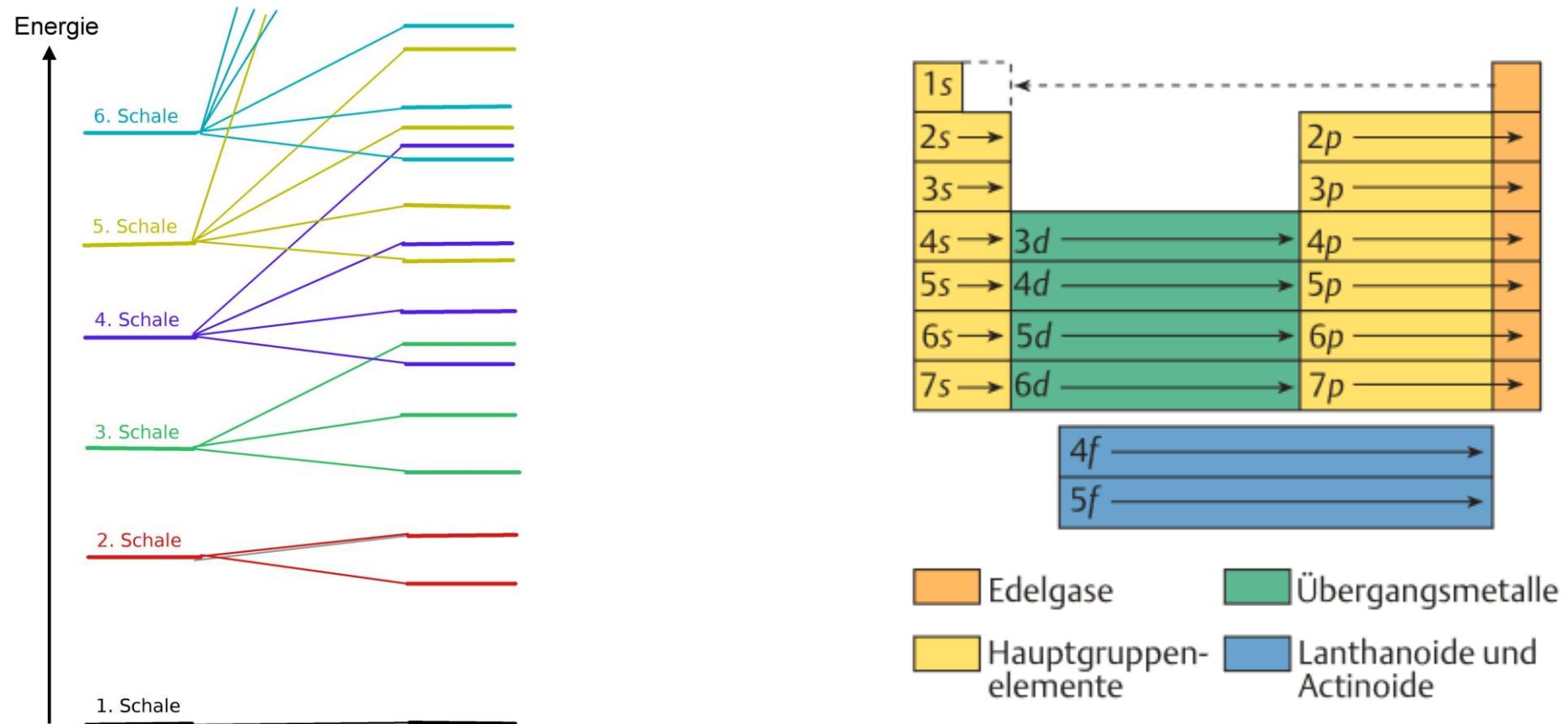
**Hund'sche Regel** der max. Multiplizität: Entartete Orbitale werden zunächst einfach besetzt

Atom	Orbitaldiagramm			Konfigurationsbezeichnung
	1s	2s	2p	
<sup>1</sup> H	↑			1s <sup>1</sup>
<sup>2</sup> He				1s <sup>2</sup>
<sup>3</sup> Li				1s <sup>2</sup> 2s <sup>1</sup>
<sup>4</sup> Be				1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup>
<sup>5</sup> B				1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>1</sup>
<sup>6</sup> C				1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>2</sup>
<sup>7</sup> N				1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>3</sup>
<sup>8</sup> O				1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>4</sup>
<sup>9</sup> F				1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>5</sup>
<sup>10</sup> Ne				1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup>

**Aufgabe:** Bestimmen Sie die **Elektronenkonfiguration** der nebenstehenden Atome und zeichnen Sie die Elektronen in das Orbitaldiagramm

# Orbitale im Periodensystem

Die Reihenfolge, in welcher Orbitale besetzt werden, hängt von Orbitalenergie ab



# Abweichungen der Regel: besondere Stabilitäten

Abweichungen durch Stabilität von **halb- und vollbesetzten Unterschalen**:

Cr:       $3d^4 \ 4s^2$     erwartete Elektronenkonfiguration

3d   4s

Cu:       $3d^9 \ 4s^2$     erwartete Elektronenkonfiguration

3d   4s

Pl:       $4d^8 \ 5s^2$     erwartete Elektronenkonfiguration

4d   5s

# Zusammenfassung / Lernzielkontrolle

1. Welche Elementarteilchen gibt es und welche Eigenschaften haben diese?
2. Wie ist der Zusammenhang zwischen Wellenlänge, Frequenz, Lichtgeschwindigkeit und Energie?
3. Was besagt das Bohr'sche Atommodell?
4. Was ist ein Linienspektrum, wie lässt es sich erklären?
5. Was versteht man unter Welle-Teilchen-Dualismus?
6. Was besagt das Quantenmechanische Atommodell?
7. Welche Quantenzahlen gibt es und was sagen sie aus?
8. Wie lässt sich die Elektronenkonfiguration bestimmen?