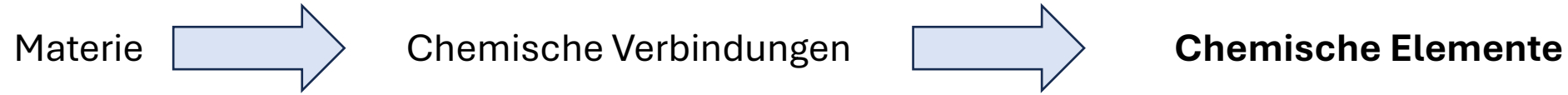




DER AUFBAU DER MATERIE ELEMENTARTEILCHEN & ATOMMODELLE

Der Aufbau der Materie – chemische Elemente



Stoffe, die sich auf chem. Wege nicht mehr in andere Stoffe aufspalten lassen

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

The Periodic Table of the Elements

Legend:

- alkali metals
- alkaline metals
- other metals
- transition metals
- lanthanoids
- actinoids
- metalloids
- nonmetals
- halogens
- noble gases

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.

(Gebaut 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



Sedimentieren

Absetzen von unlöslichen Stoffen in Flüssigkeiten durch unterschiedliche Dichten.

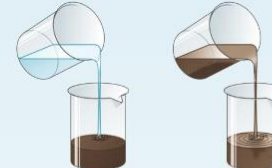
Beispiel:
Erde setzt sich in Wasser am Boden ab.



Dekantieren

Trennung von unlöslichen Stoffen in Flüssigkeiten durch unterschiedliche Dichten.

Beispiel:
Bei der Fettkanne schwimmt das Öl auf dem Wasser und wird nicht mit abgeegossen.



Extrahieren

Trennung von Stoffen mit Lösemitteln durch unterschiedliche Löslichkeit.

Beispiel:
Farb- und Geschmacksstoffe von Kaffepulver lösen sich im heißen Wasser.



Filtrieren

Trennung von Stoffen mit unterschiedlicher Partikelgröße mithilfe von Filterpapier.

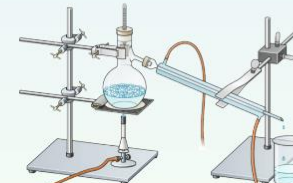
Beispiel:
Bei einem Sand-Wasser-Gemisch bleibt der Sand im Filterpapier. Das Wasser fließt durch.



Eindampfen

Trennung von in Flüssigkeiten gelösten festen Stoffen durch Erhitzen.

Beispiel:
Wenn Tuschwasser verdampft, bleibt nur der Farbstoff übrig.



Destillieren

Trennung von Flüssigkeiten durch unterschiedliche Siedetemperaturen.

Beispiel:
Alkohol siedet bei einer niedrigeren Temperatur als Wasser. Der Dampf wird in einem Kühler abgekühlt und als Destillat aufgefangen.



Zentrifugieren

Trennung von Stoffen unterschiedlicher Dichten mithilfe von schnellem Drehen.

Beispiel:
Dreht man ein Erde-Wasser-Gemisch, setzt sich die Erde schnell am Boden ab.



Adsorbieren

Trennung durch Anhaften eines Stoffes an einem Adsorptionsmittel.

Beispiel:
Die Farbstoffe in der Cola bleiben an der Aktivkohle haften.



Chromatografieren

Trennung von Stoffen durch unterschiedliche Haftfähigkeit an Papier.

Beispiel:
Verschiedene Farbstoffe haften an Papier unterschiedlich gut.

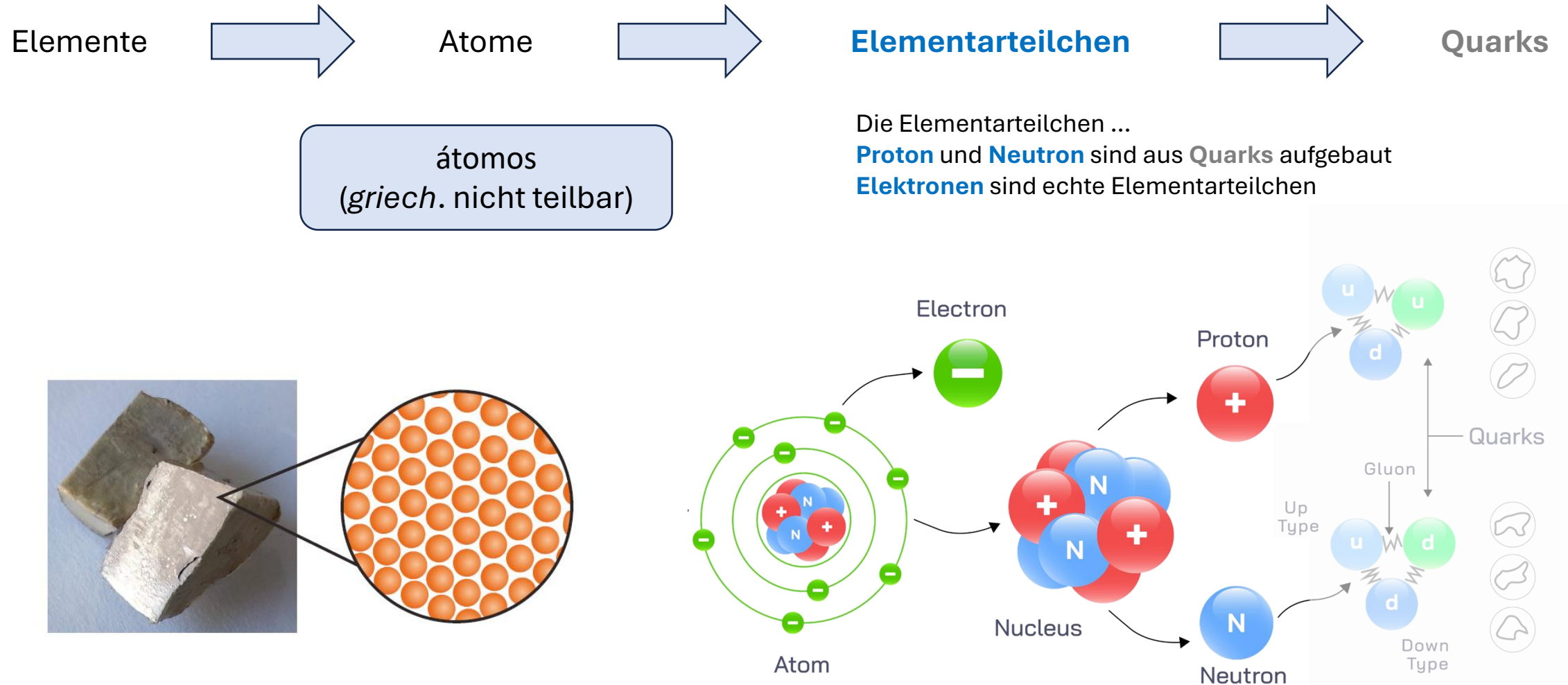
blickpunkt.



westermann
Immer auf den Punkt



Der Aufbau der Materie – Atome & Elementarteilchen



Der Aufbau der Materie – Atome & Elementarteilchen

Elemente



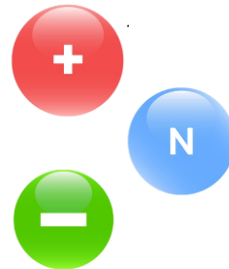
Atome



Elementarteilchen



Quarks



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

- Die **Ladungen** bezeichnen die **Elementarladung $e_0 = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$** . 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; $1 \text{ u} = 1,7 \cdot 10^{-24} \text{ g}$. 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 angegeben

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)

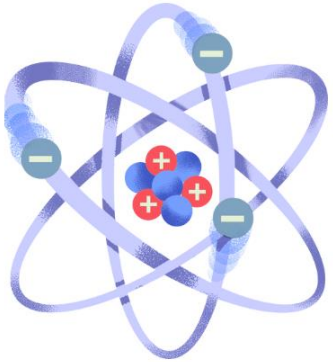
Elektronen:

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)

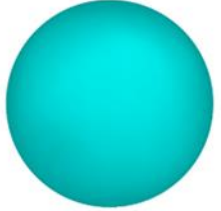
Bohrsches Modell (1913)

Elektronen auf festen Umlaufbahnen

Quantenmechanisches Modell (1920er)

Elektronen bewegen sich in Orbitalen um den Kern

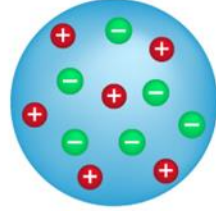
Der Aufbau der Materie – Atommodelle



1807

JHON DALTON

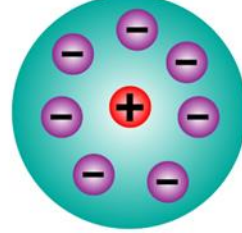
SOLID SPHERE MODEL



1897

J.J THOMSON

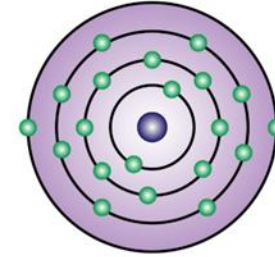
PLUM PUDDING MODEL



1911

ERNEST RUTHERFORD

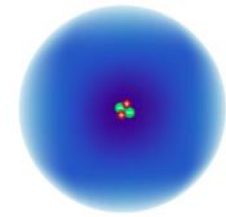
NUCLEAR MODEL



1913

NIELS BOHR

PLANETARY MODEL

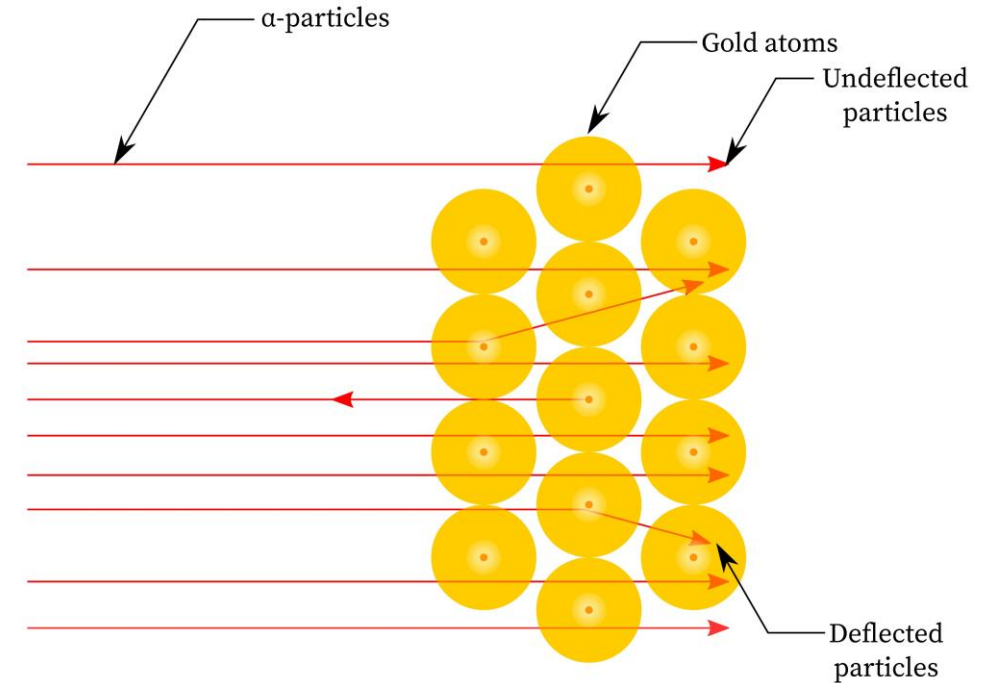
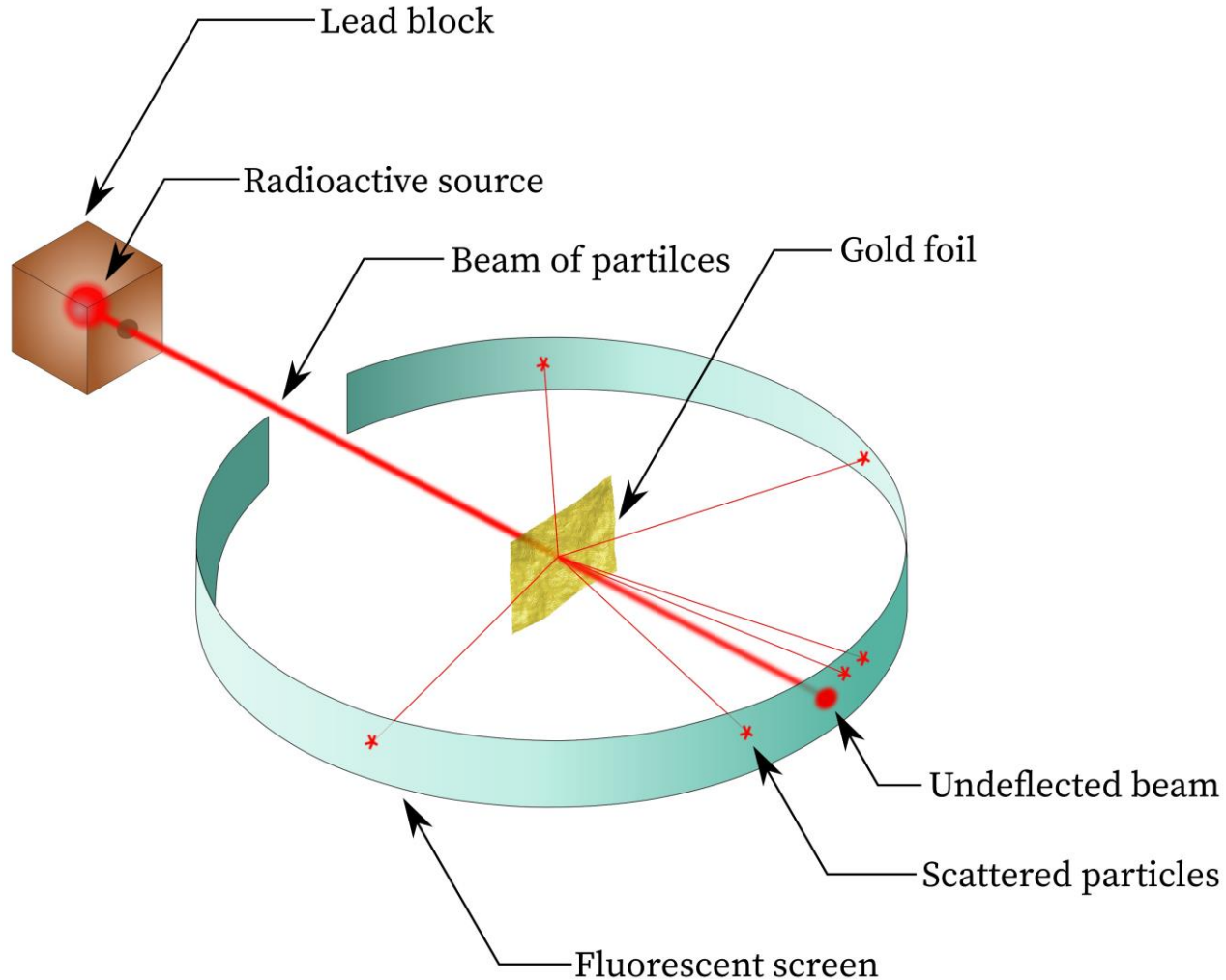


1926

ERWIN SCHRODINGER

QUANTUM MODEL

Rutherford'scher Streuversuch

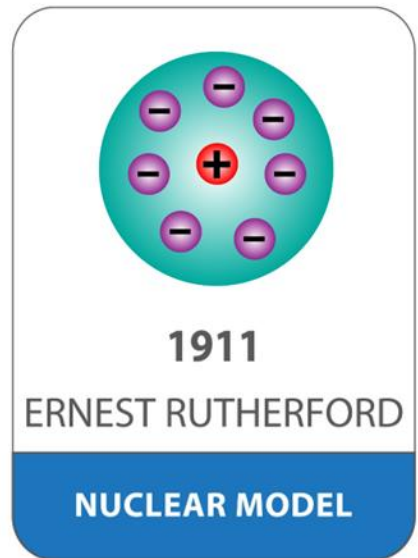


Protonen und Neutronen sind im **Atomkern** dicht gepackt (Größenordnung $\sim 10^{-15}\text{m}$)

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

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

Rutherford'sche Atommodell



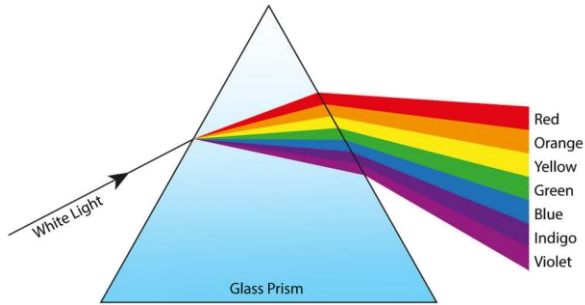
Charakteristika des Atommodells

- 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

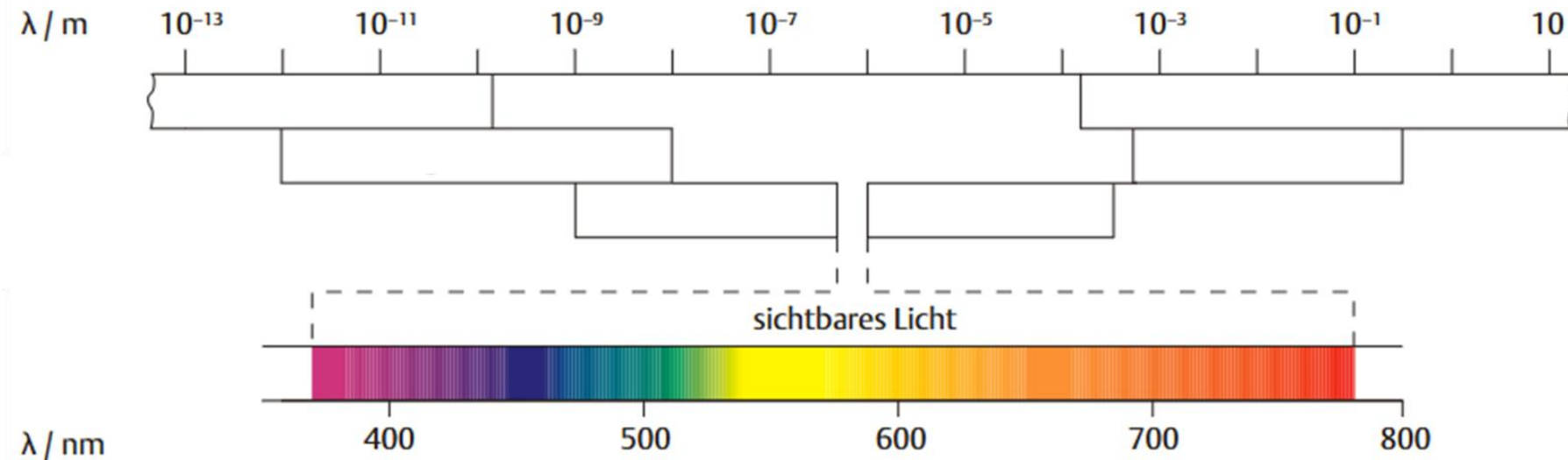


<https://www.flickr.com/photos/121935927@N06/13580411493>

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

Aufgabe: Ordnen Sie die Bereiche des elektromagnetischen Spektrums nach zunehmender Wellenlänge:

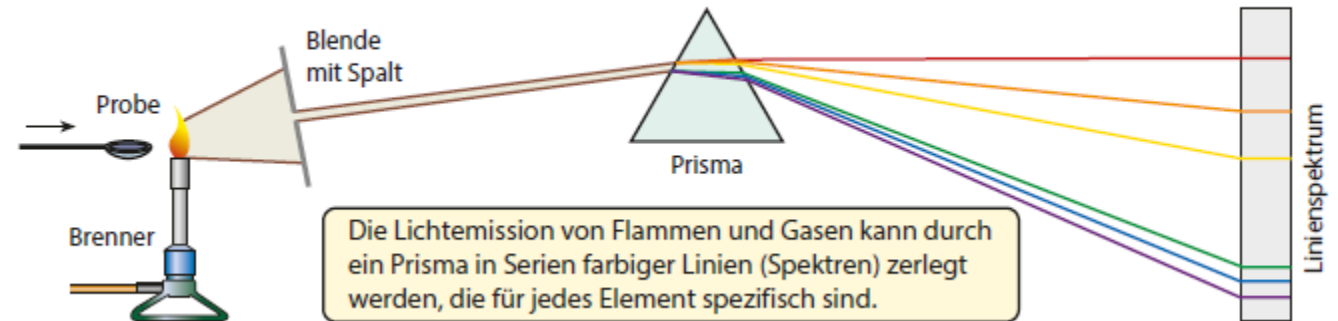
Röntgenstrahlung | Radiowellen | UV-Strahlung | Gammastrahlung | Infrarotstrahlung | Mikrowellen |



Diskontinuierliches Spektrum von Atomen

Beobachtung:

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



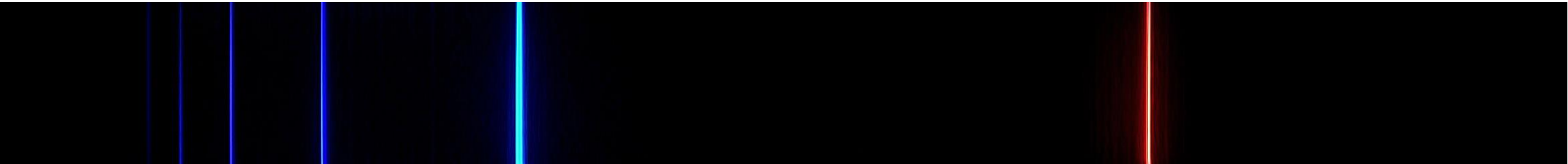
Max Planck (1900)

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

Linienpektrum von Wasserstoff

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

Linienpektrum 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

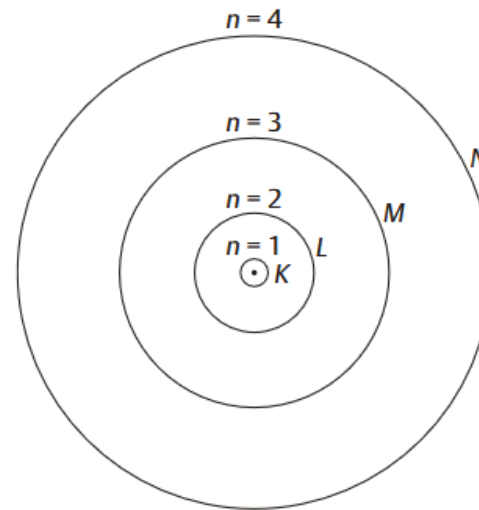
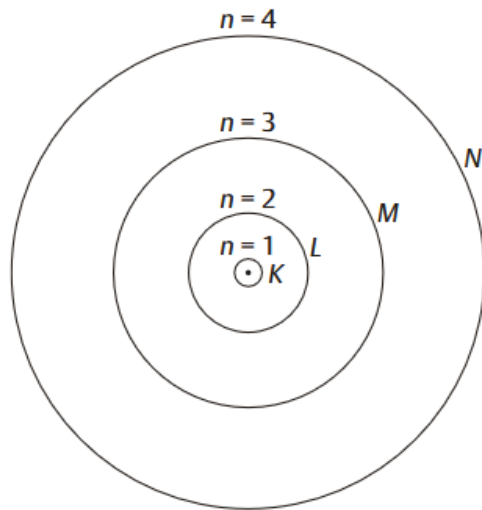
Elektronen bewegen sich nicht willkürlich in Elektronenhülle

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

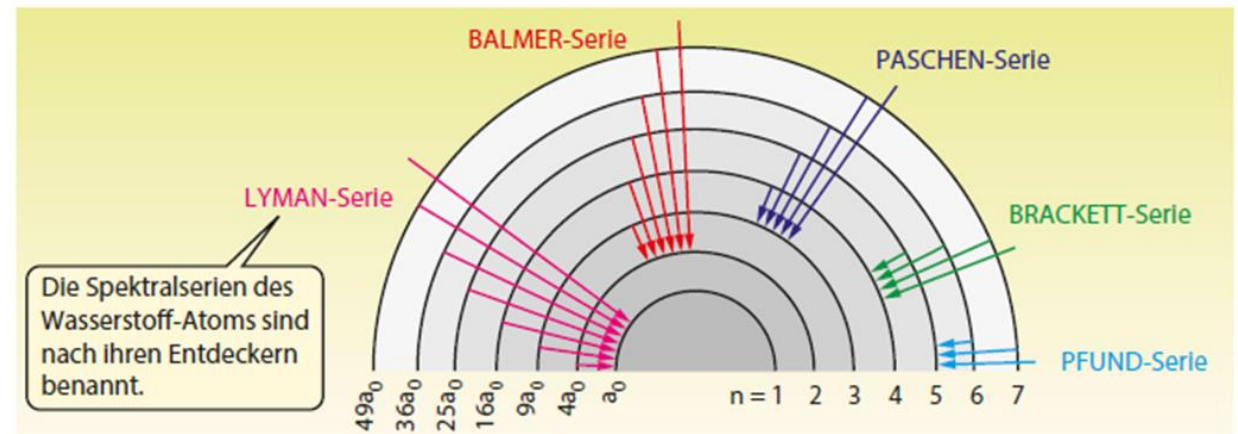
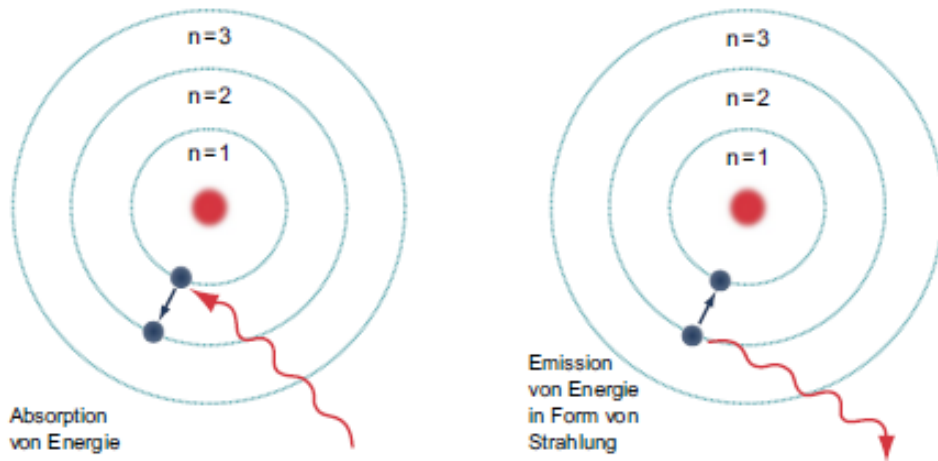
Jede Bahn besitzt ein **diskretes Energieniveau**

Besetzung der Schalen am Beispiel von Helium und Schwefel



Bohr'sches Atommodell

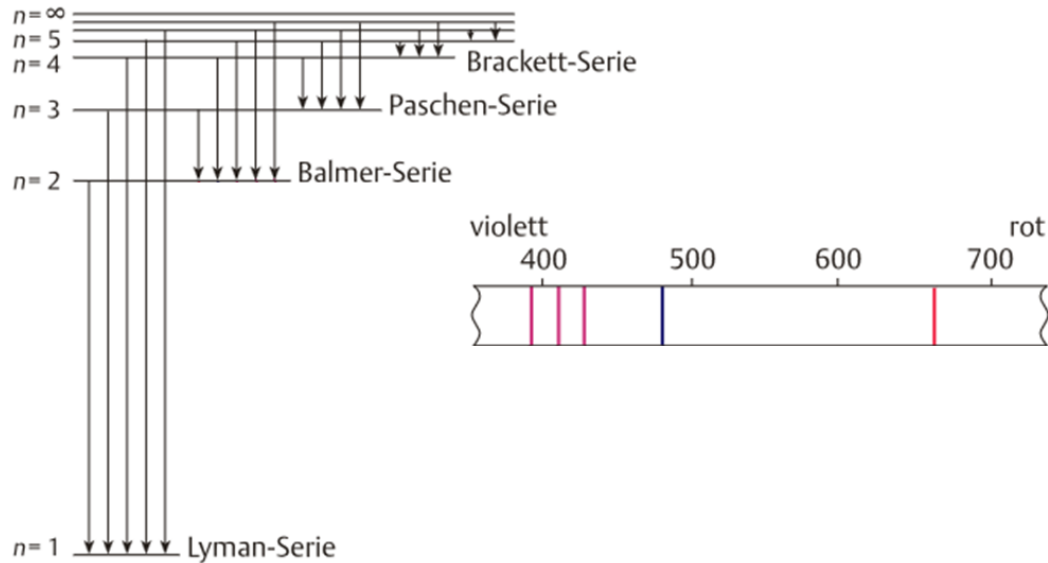
Elektronen können durch Aufnahme von Energie in eine Kreisbahn höherer Energie und durch Abgabe von Energie zurückkehren



Energieniveaus der einzelnen Schalen:

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

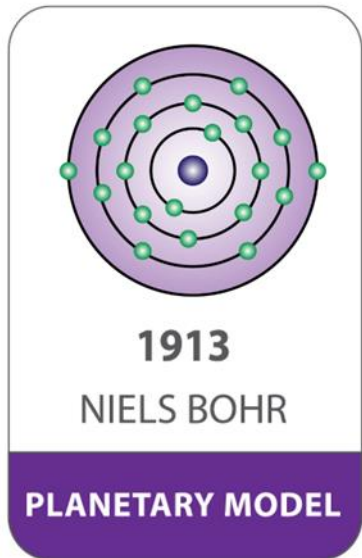
Bohr'sches Atommodell



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“

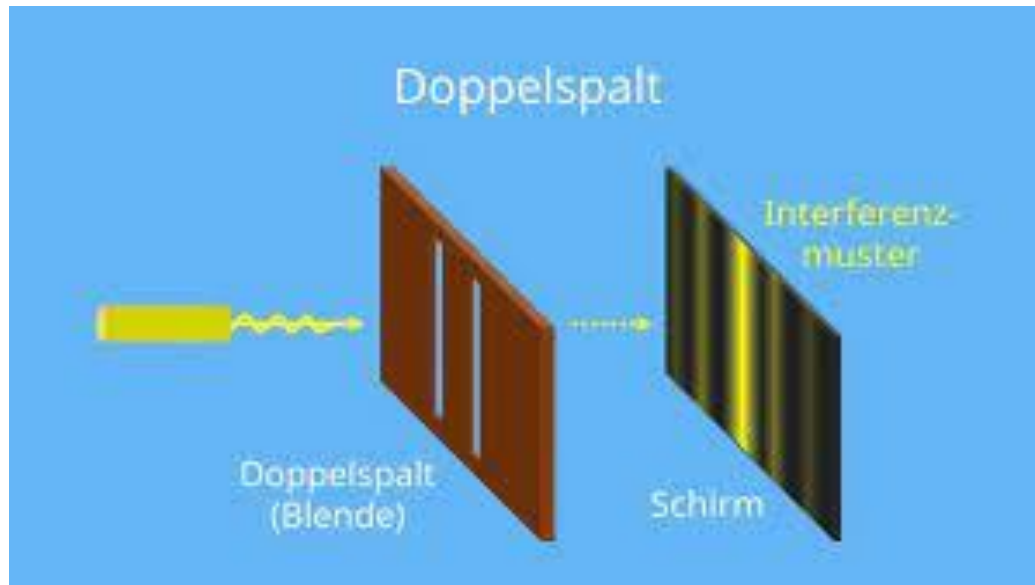
Grenzen des Atommodells:

- 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**.

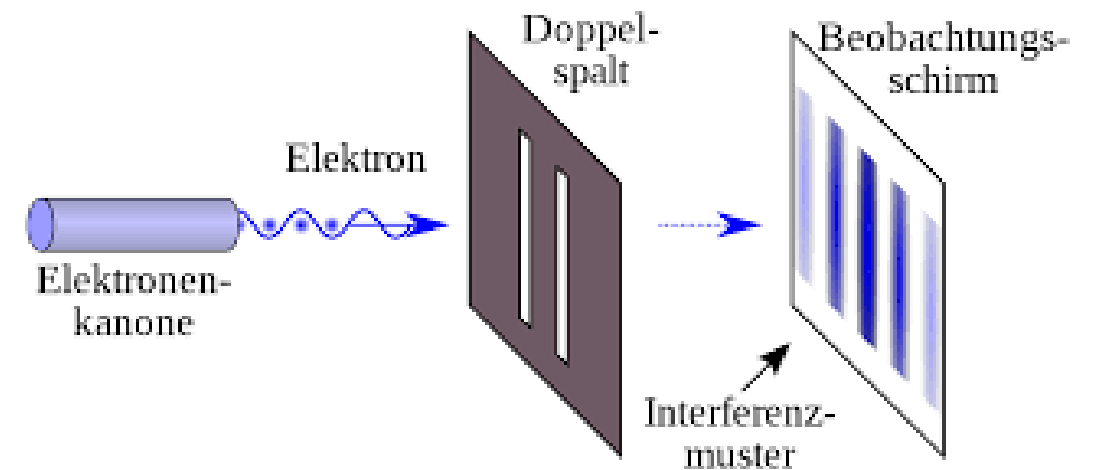
Hier zeigt das Licht seine Wellennatur.



Elektronen werden auf einen Doppelspalt geschossen.

Es zeigt sich ein **Interferenzmuster**.

Hier zeigt sich die Wellennatur der Elektronen.

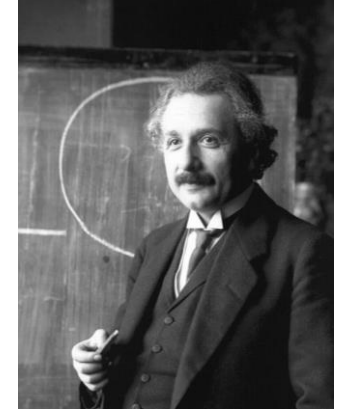
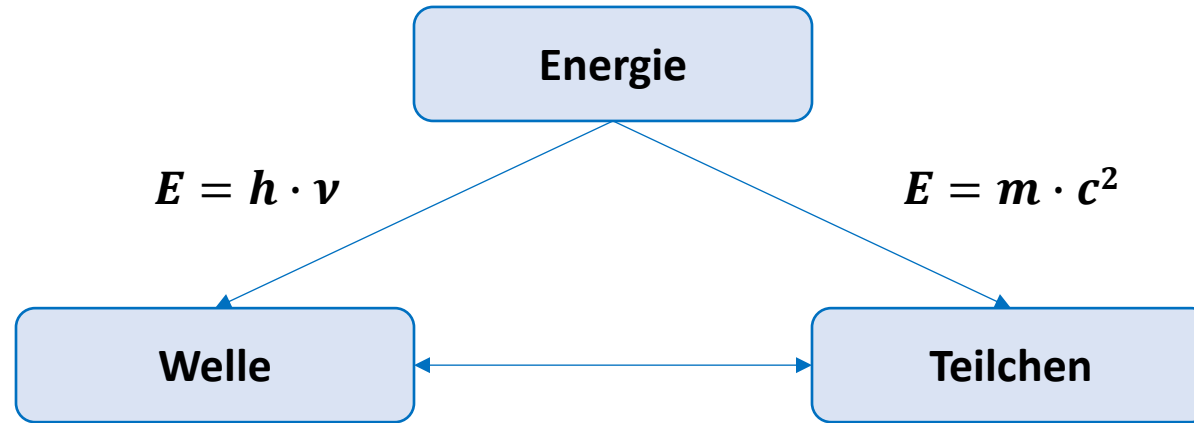


Welle-Teilchen Dualismus



Max Planck
Elektromagnetische Wellen
transportieren Energie

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



Nach **Einstein** sind Masse
und Energie dasselbe

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



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

Quantenmechanisches Atommodell

Wellenmechanik – de Broglie: Beschreibung eines Elektrons als Welle

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

$$E = h \cdot \nu = m \cdot c^2 \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{h}{p}$$

Heisenberg'sche Unschärferelation:

Man kann nicht gleichzeitig Ort und Impuls exakt bestimmen

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

Schrödinger Gleichung

Schrödinger beschreibt Elektronen als Wellen mit Wellenfunktion ψ - 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

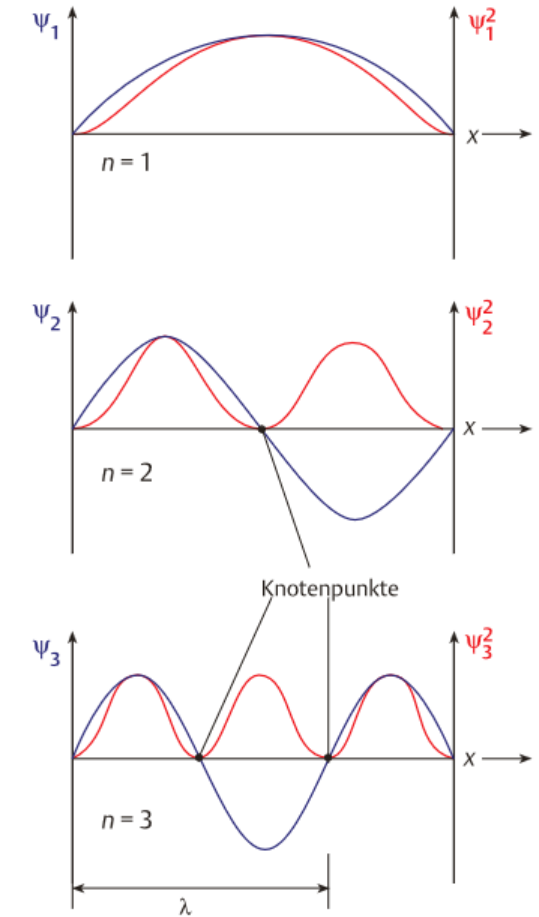
Elektronen verhalten sich wie stehende Wellen (Bsp: stehende Welle einer Gitarrensaite)

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

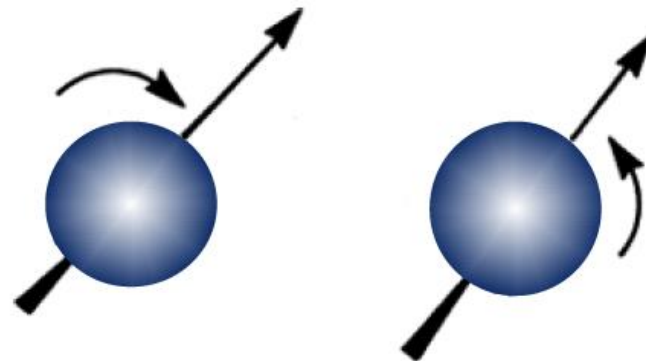
$$\psi_n = \sin \pi \cdot n \cdot x$$



Mortimer C. E., Chemie : das Basiswissen der Chemie. Thieme; 2019.

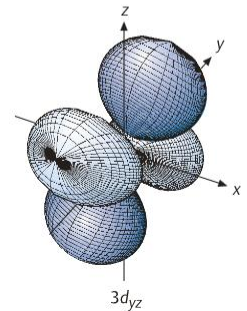
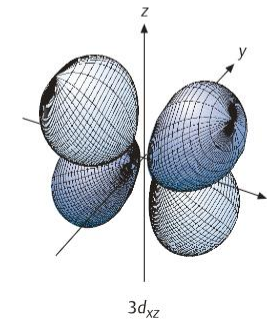
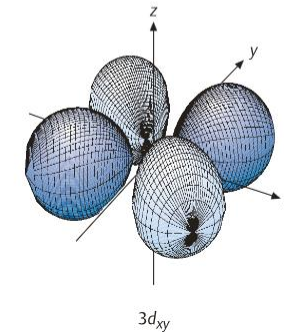
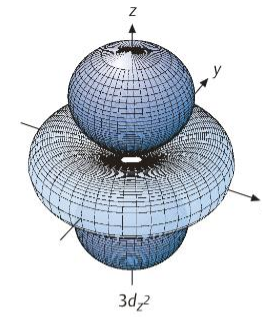
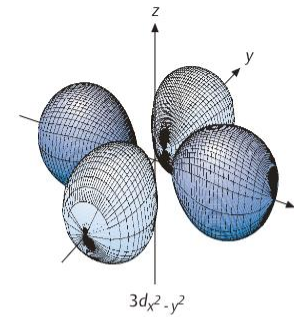
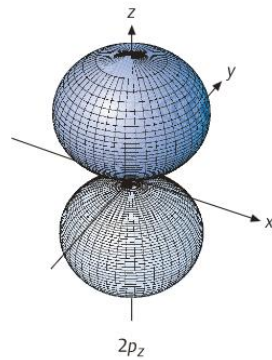
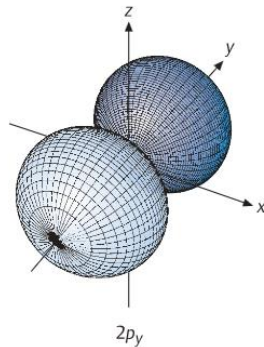
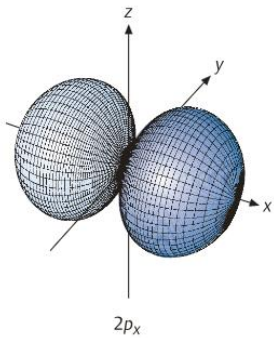
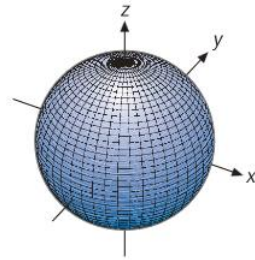
Spinquantenzahl: Der Spin der Elektronen

- 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)

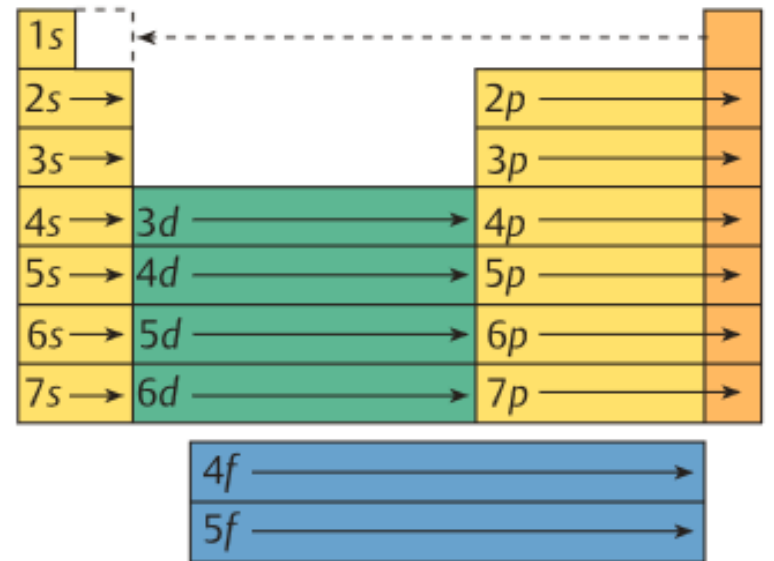
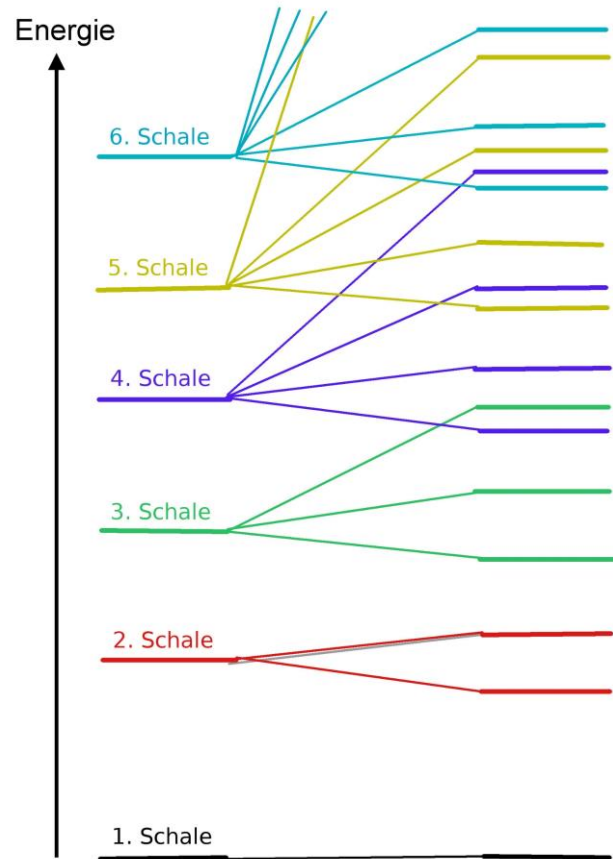
Hund'sche Regel der max. Multiplizität: Entartete Orbitale werden zunächst einfach besetzt

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

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



Edelgase
 Übergangsmetalle
 Hauptgruppen-
elemente
 Lanthanoide und
Actinoide

Abweichungen der Regel: besondere Stabilitäten

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

Cr: $3d^4 4s^2$ erwartete Elektronenkonfiguration
 $3d^5 4s^1$

Cu: $3d^9 4s^2$ erwartete Elektronenkonfiguration
 $3d^{10} 4s^1$

Pt: $4d^8 5s^2$ erwartete Elektronenkonfiguration
 $4d^9 5s^1$

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?