Allgemeine Radiologie

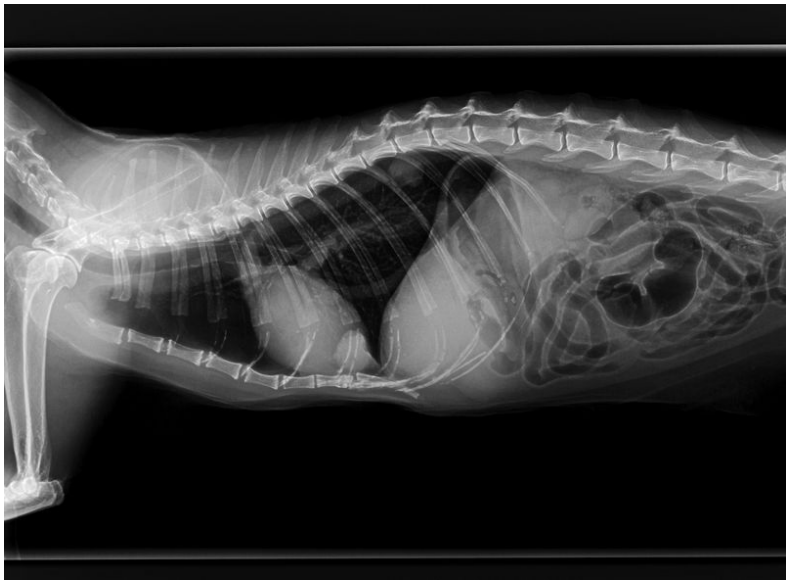
Physikalische Grundlagen - Teil 1

Dr. Kaija Spruck

Motivation

Was hat Radiologie mit Atomphysik zu tun?

Radiologie ist die Anwendung **elektromagnetischer Strahlen** und mechanischer Wellen zu diagnostischen, therapeutischen und wissenschaftlichen Zwecken.



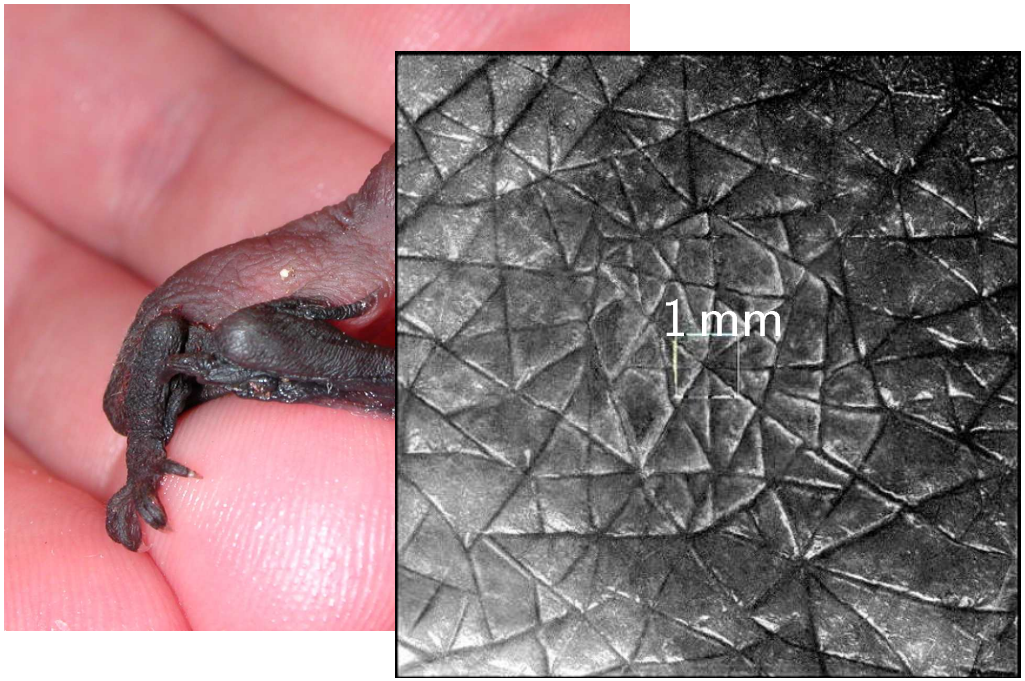
Auflösungsvermögen

Den Atomen auf der Spur..

Auflösungsvermögen

Den Atomen auf der Spur..

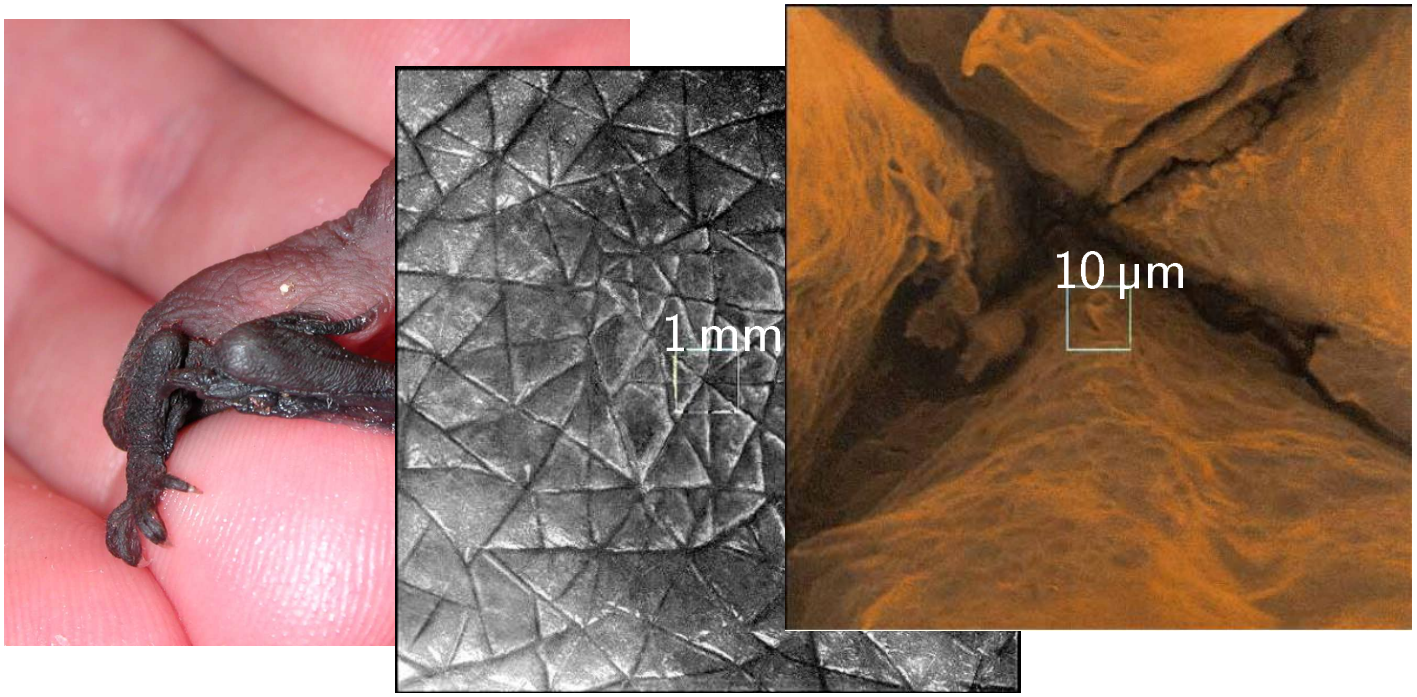
Lupe



Auflösungsvermögen

Den Atomen auf der Spur..

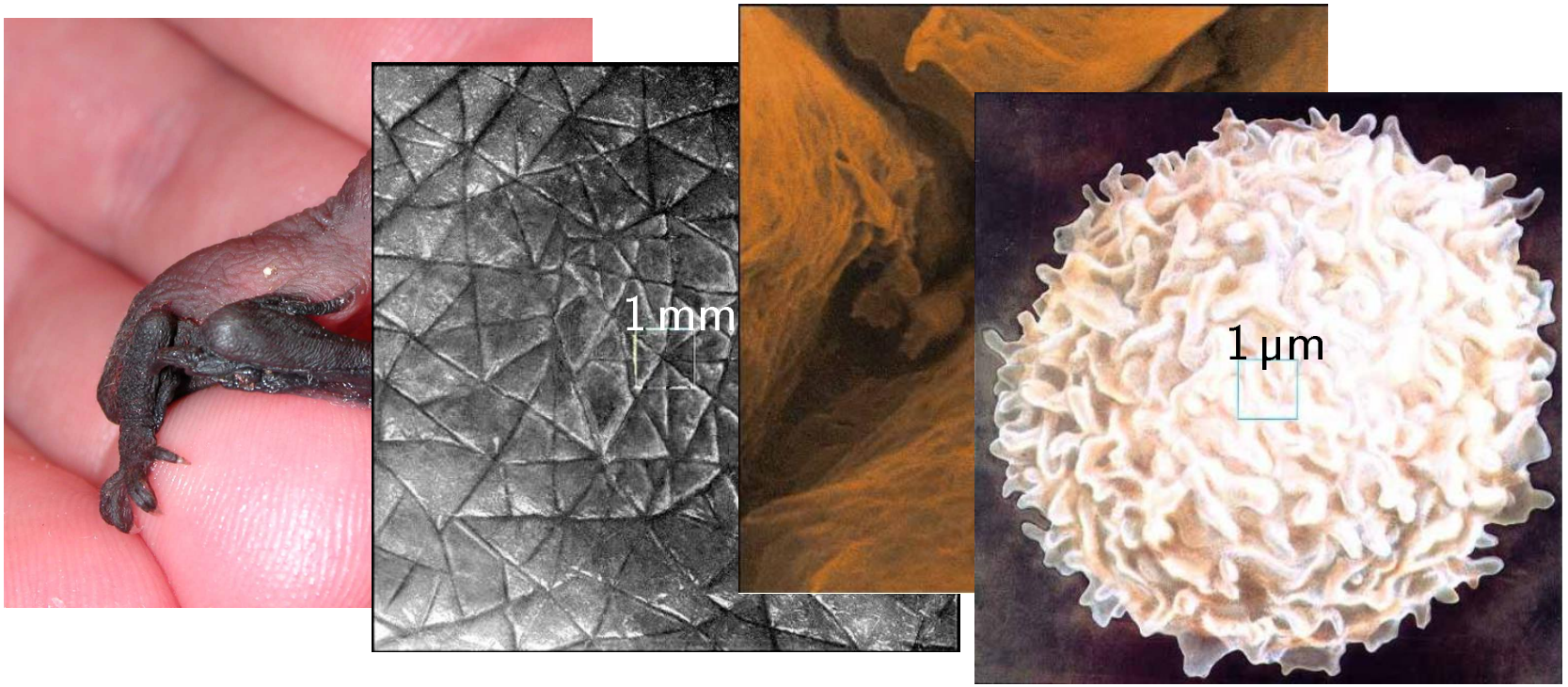
Lupe $\rightarrow$ Mikroskop



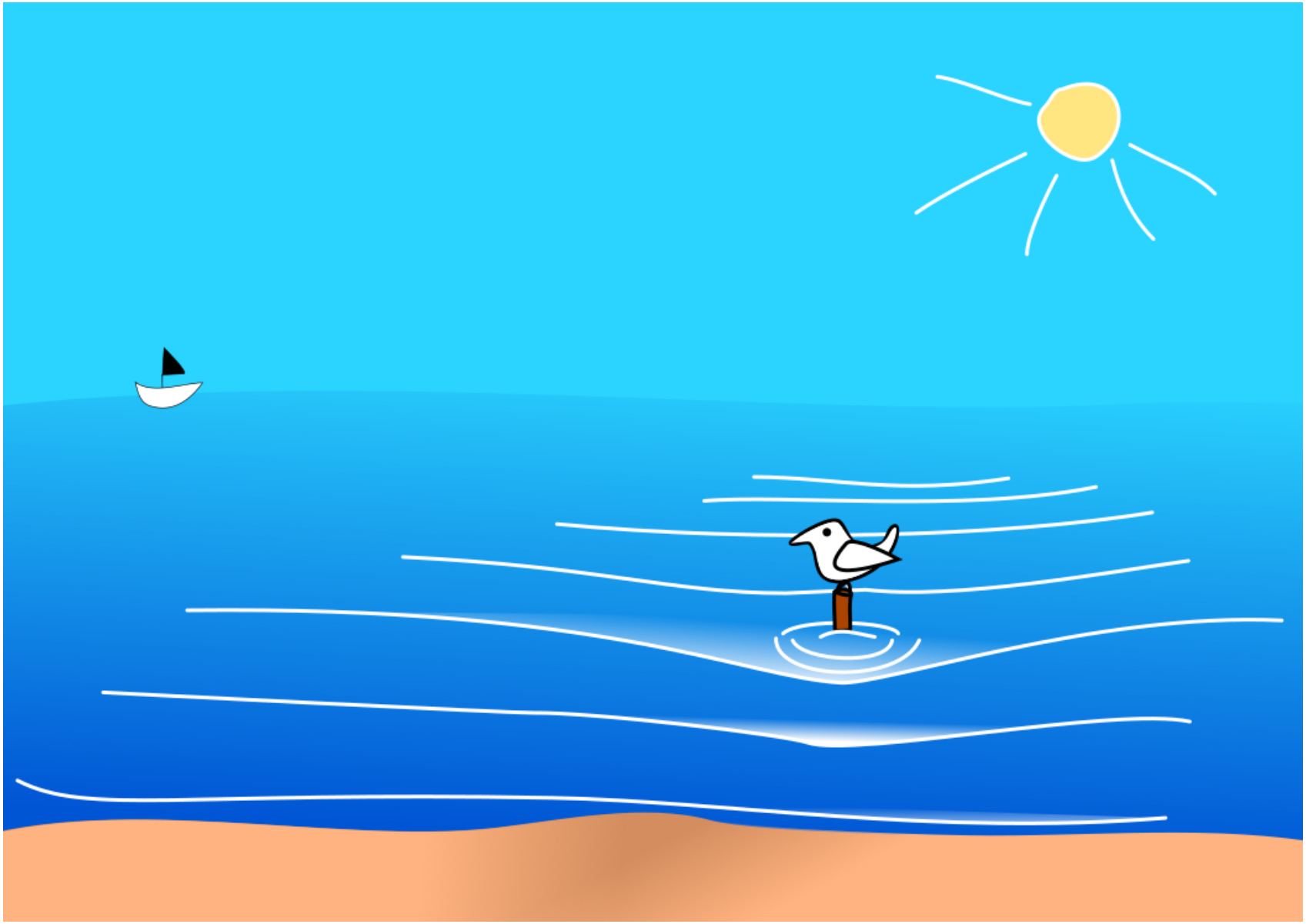
Auflösungsvermögen

Den Atomen auf der Spur..

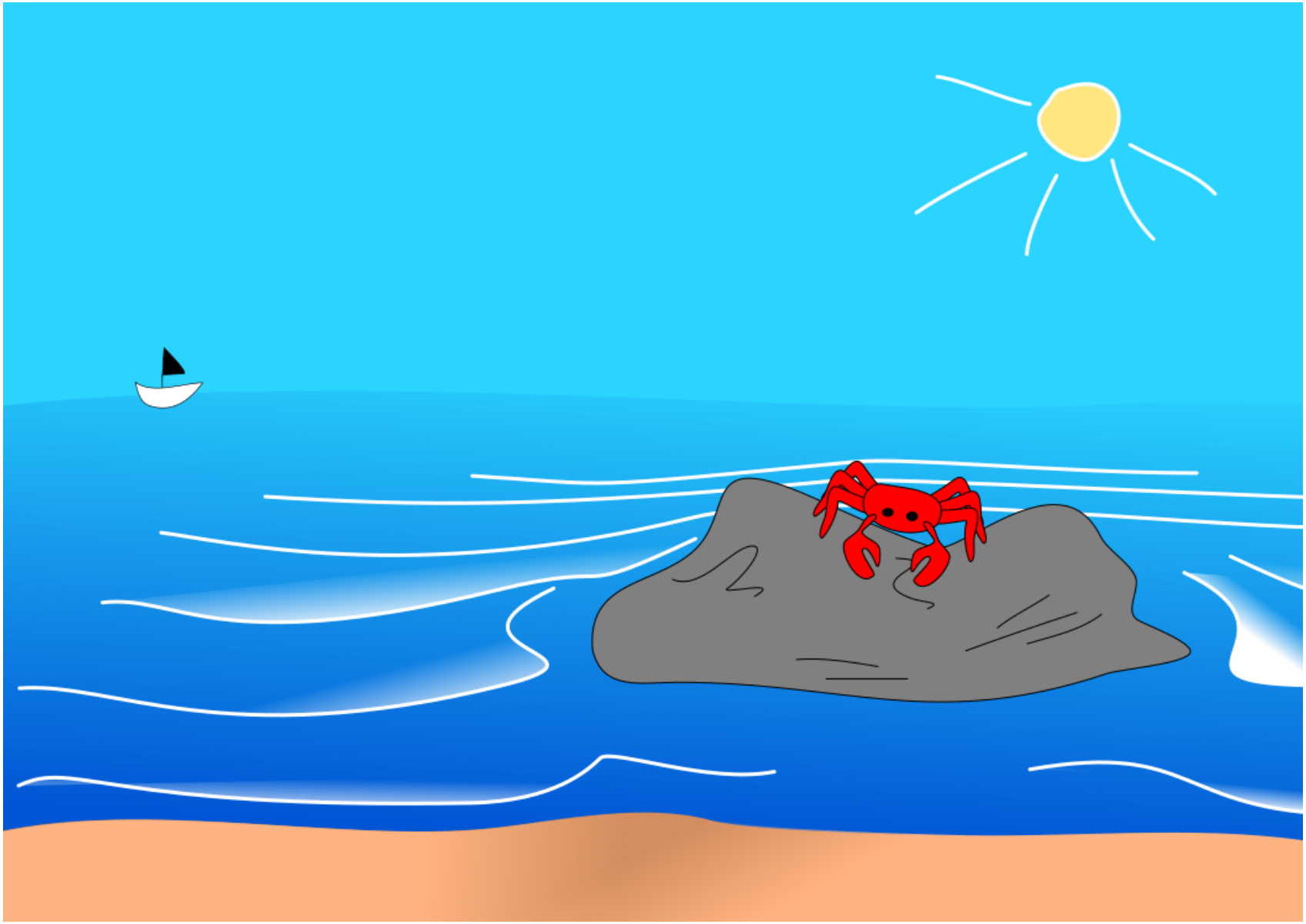
Lupe → Mikroskop → Super-Mikroskop



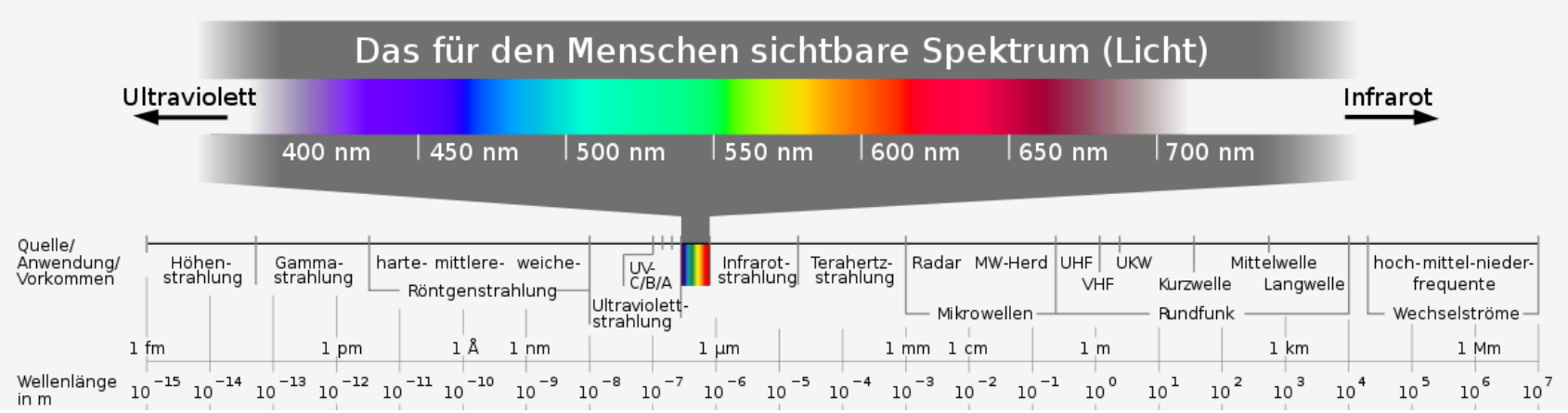
Zusammenhang zur Wellenlänge



Zusammenhang zur Wellenlänge



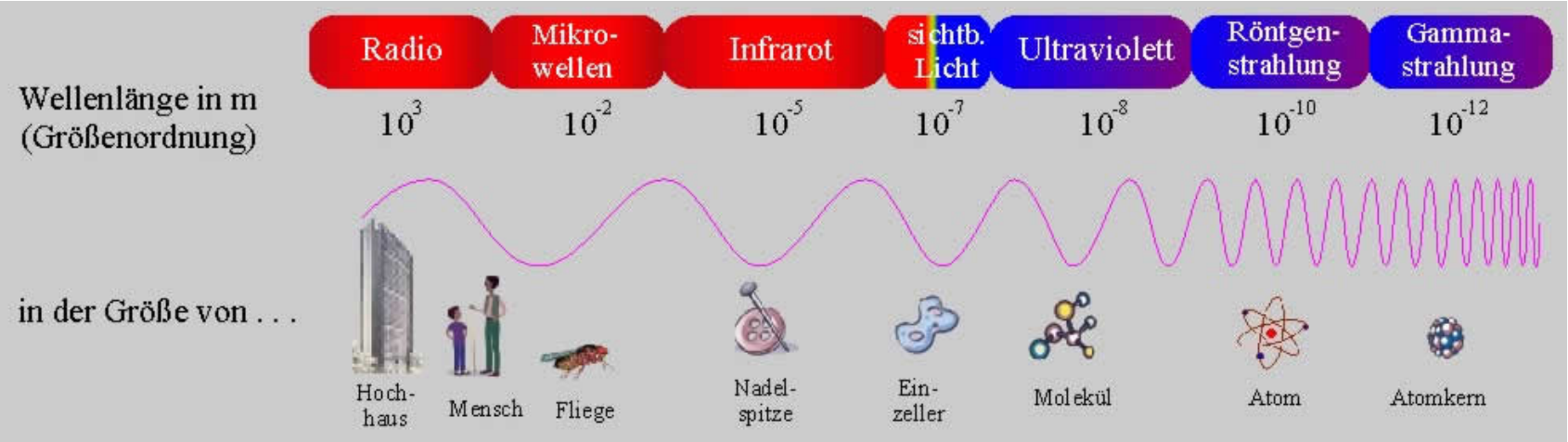
Das elektromagnetisches Spektrum



nach Horst Frank / Phrood / Anony - Horst Frank, Jailbird and Phrood, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3726606

Zusammenhang zur Energie

Kleinere Wellenlänge $\rightarrow$ bessere Auflösung
Zusammenhang zur Energie: $E \propto \frac{1}{\lambda}$



www.leifiphysik.com

Was ist hochenergetische Strahlung? Woher kommt sie? Und wie gefährlich ist sie?

$\rightarrow$ **Atomphysik und Strahlenbiologie**

Atommodell(e)

griechisch: átomos = unteilbar

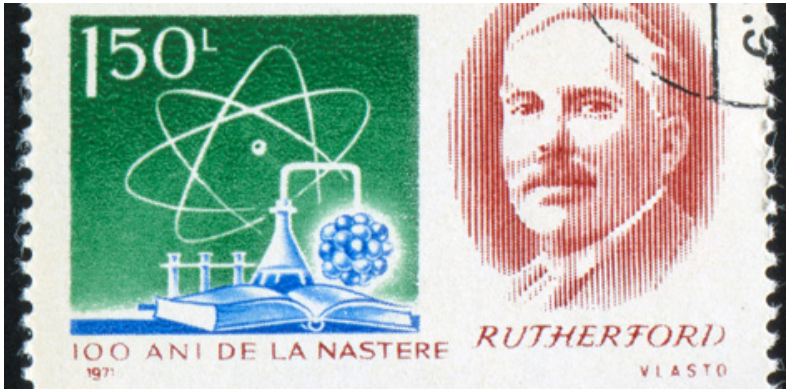
- Thomsonsches Atommodell (1903): Atome haben Struktur

www.baeckerei-pass.de

Atommodell(e)

griechisch: átomos = unteilbar

- Thomsonsches Atommodell (1903): Atome haben Struktur
- Rutherfordsche Atommodell (1911):
  Atom = Elektronen + Kerne

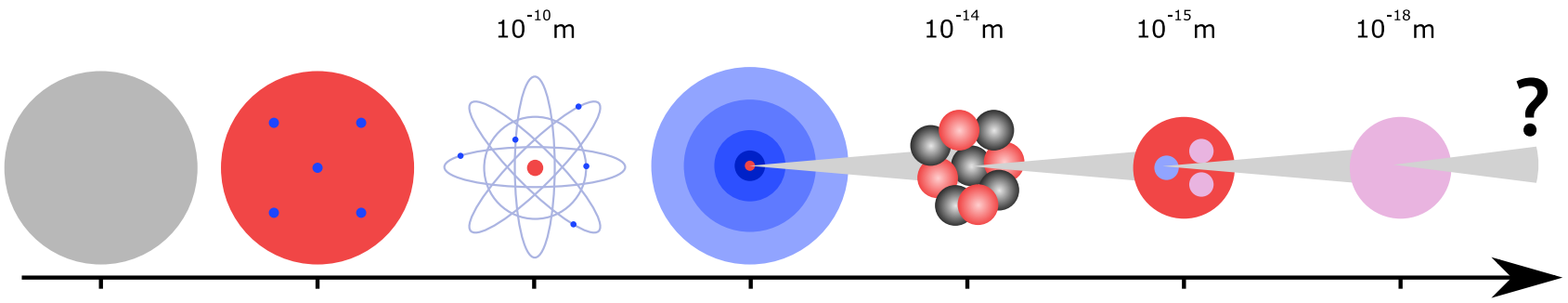


Atommodell(e)

griechisch: átomos = unteilbar

- Thomsonsches Atommodell (1903): Atome haben Struktur
- Rutherfordsche Atommodell (1911):
  Atom = Elektronen + Kerne
- Bohrsche Atommodell (1913):
  Elektronenschalen
  Energieabstrahlung

Atommodell(e)



1808 J.Dalton:
Atom als homogene
Massenkugel

1903 J. J. Thomson:
Rosinenkuchenmodell

1911 E. Rutherford:
Kern-Hülle-Struktur

1927 W. Heisenberg:
Orbitale

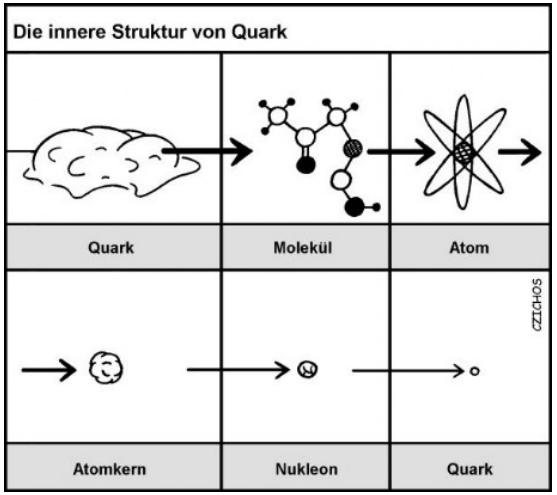
1920 E. Rutherford:
Kern besteht aus
Protonen und Neutronen

1964 M. Gell-Mann:
Nukleonen bestehen
aus Quarks

Aus was
bestehen
Quarks?

nach www.leifiphysik.com

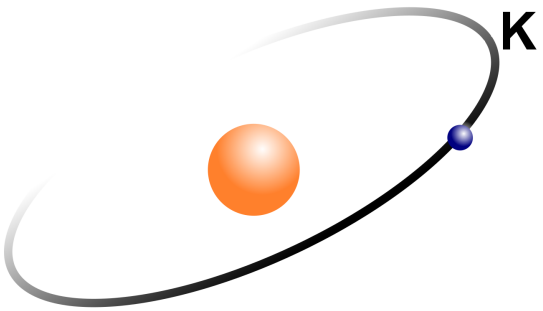
heute: subatomare Strukturen bekannt



www.joachim-czichos.de

Atomstruktur

- Atom ∅ ≈0,1 nm
- Atomkern (+)
- Elektronen (-) auf Bahnen
- Atom sind elektrisch neutral



$^{1}_{1}H$

Atomkern (Nukleonen)

Proton (+)

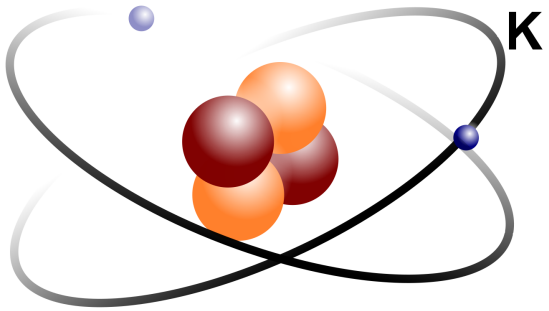
Neutron (n)

Atomhülle

- **Elektron (-)**

Atomstruktur

- Atom ∅ ≈0,1 nm
- Atomkern (+)
- Elektronen (-) auf Bahnen
- Atom sind elektrisch neutral



$^{4}_{2}He$

Atomkern (Nukleonen)

Proton (+)

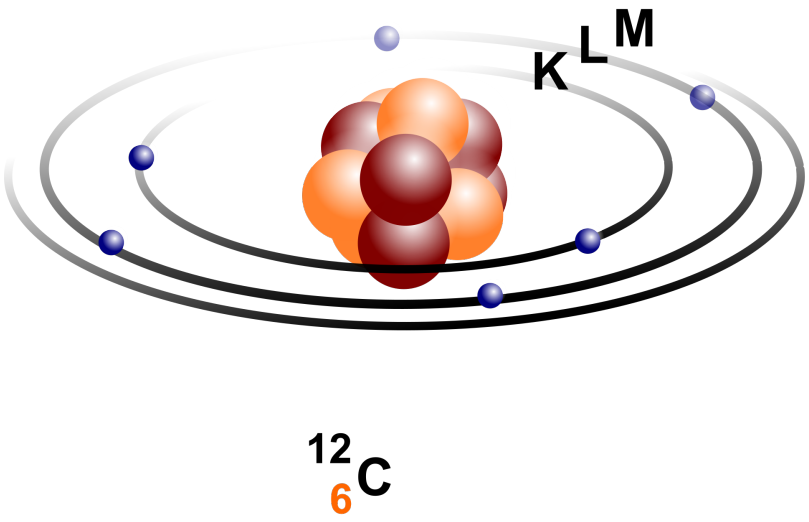
Neutron (n)

Atomhülle

Elektron (-)

Atomstruktur

- Atom ∅ ≈0,1 nm
- Atomkern (+)
- Elektronen (-) auf Bahnen
- Atom sind elektrisch neutral



Atomkern (Nukleonen)

Proton (+)

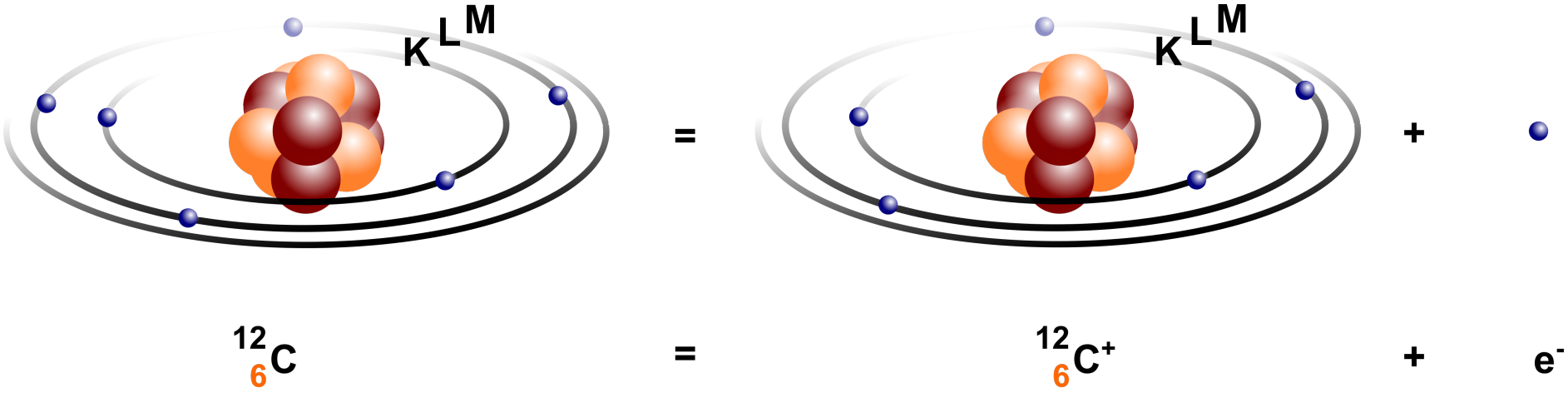
Neutron (n)

Atomhülle

Elektron (-)

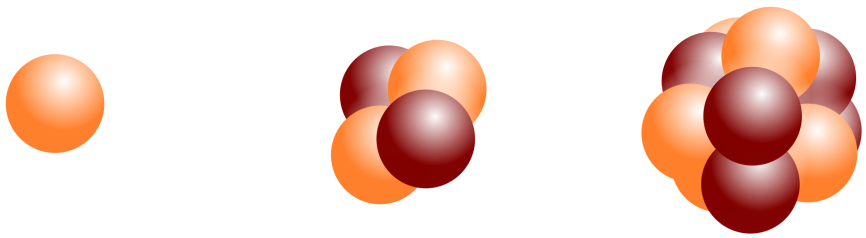
Atomstruktur

- Atom ∅ ≈0,1 nm
- Atomkern (+)
- Elektronen (-) auf Bahnen
- Atom sind elektrisch neutral



Atomstruktur

- Atom ∅ ≈0,1 nm
- Atomkern (+)
- Elektronen (-) auf Bahnen
- Atom sind elektrisch neutral



$^{1}_{1}H^{+}$ $^{4}_{2}He^{2+}$ $^{12}_{6}C^{6+}$

Massenzahl:

Anzahl Protonen (+)

+

Anzahl Neutronen (n)

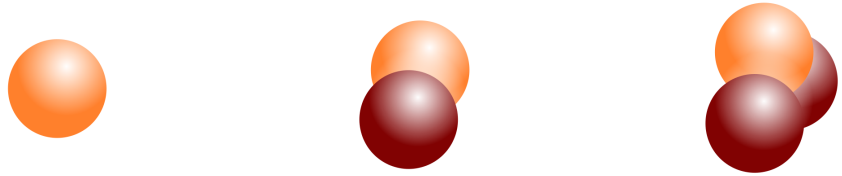
Kernladungszahl:

Anzahl Protonen (+)

Atomstruktur

- Atom ∅ ≈0,1 nm
- Atomkern (+)
- Elektronen (-) auf Bahnen
- Atom sind elektrisch neutral
- Kernladungszahl: Element

Proton **Deuteron** **Triton**



$^{1}_{1}H^{+}$ $^{2}_{1}H^{+}$ $^{3}_{1}H^{+}$

Protium **Deuterium** **Tritium**

Massenzahl:

Anzahl Protonen (+)

+

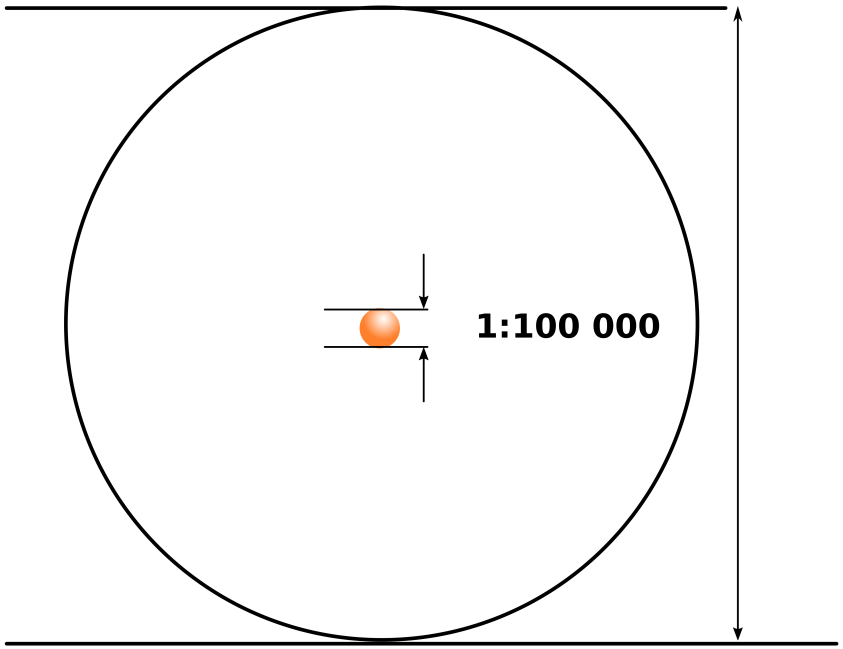
Anzahl Neutronen (n)

Kernladungszahl:

Anzahl Protonen (+)

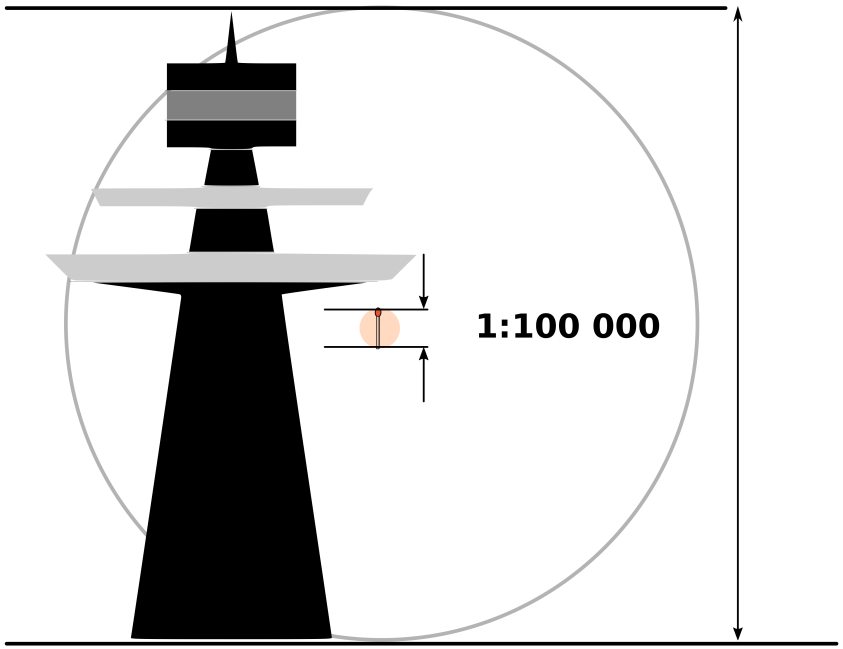
Atomstruktur

- Atom ∅ ≈0,1 nm
- Atomkern (+)
- Elektronen (-) auf Bahnen
- Atom sind elektrisch neutral
- Kernladungszahl: Element
- Atome sind nahezu "leer"
- 99.9% der Atommasse



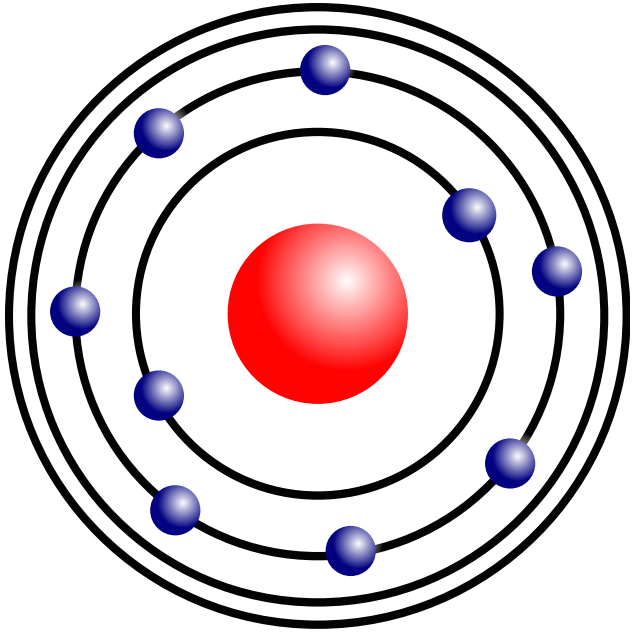
Atomstruktur

- Atom ∅ ≈0,1 nm
- Atomkern (+)
- Elektronen (-) auf Bahnen
- Atom sind elektrisch neutral
- Kernladungszahl: Element
- Atome sind nahezu "leer"
- 99.9% der Atommasse



Atommodell nach Nils Bohr

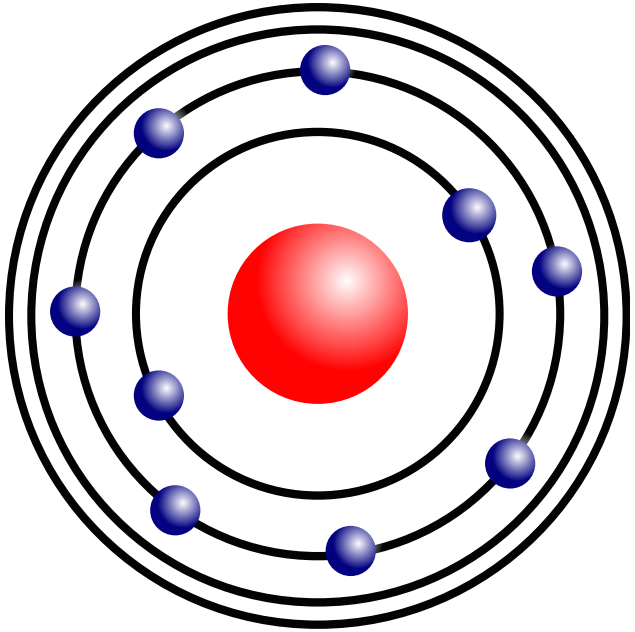
- K-Schale (1.), L-Schale (2.), M-Schale (3.), ...
- Besetzung: $2 \cdot n^2$
- Elektronen IMMER auf den Schalen



Natrium

Atommodell nach Nils Bohr

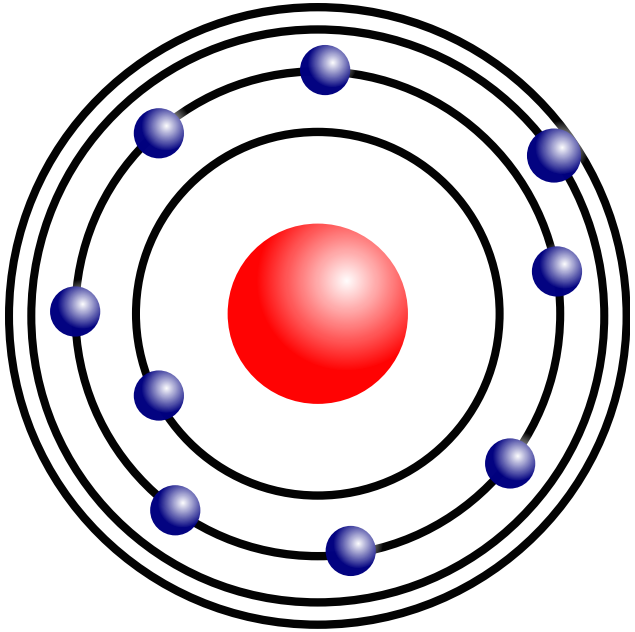
- K-Schale (1.), L-Schale (2.), M-Schale (3.), ...
- Besetzung: $2 \cdot n^2$
- Elektronen IMMER auf den Schalen
- Schalen = potentielle Energie



Natrium

Atommodell nach Nils Bohr

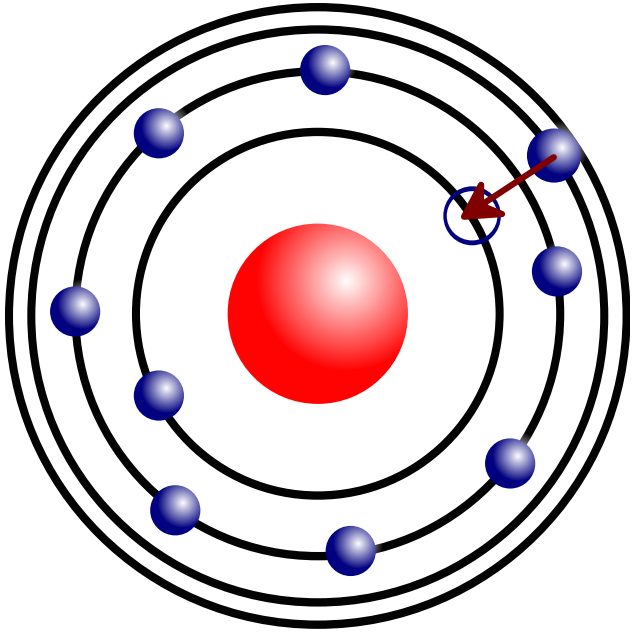
- K-Schale (1.), L-Schale (2.), M-Schale (3.), ...
- Besetzung: $2 \cdot n^2$
- Elektronen IMMER auf den Schalen
- Schalen = potentielle Energie



Natrium*

Atommodell nach Nils Bohr

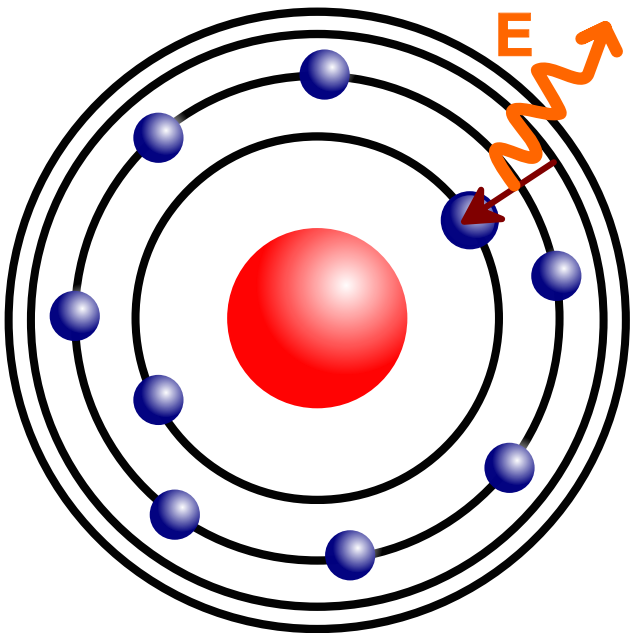
- K-Schale (1.), L-Schale (2.), M-Schale (3.), ...
- Besetzung: $2 \cdot n^2$
- Elektronen IMMER auf den Schalen
- Schalen = potentielle Energie



Natrium*

Atommodell nach Nils Bohr

- K-Schale (1.), L-Schale (2.), M-Schale (3.), ...
- Besetzung: $2 \cdot n^2$
- Elektronen IMMER auf den Schalen
- Schalen = potentielle Energie
- Energieerhaltung: Schalenübergänge setzen Energie frei / erfordern Energie



Natrium

Atommodell nach Nils Bohr

- K-Schale (1.), L-Schale (2.), M-Schale (3.), ...
- Besetzung: $2 \cdot n^2$
- Elektronen IMMER auf den Schalen
- Schalen = potentielle Energie
- Energieerhaltung: Schalenübergänge setzen Energie frei / erfordern Energie

Übergangsenergie

$$\Delta E = E_n - E_m = Z^2 \cdot R_y \cdot \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Photonen

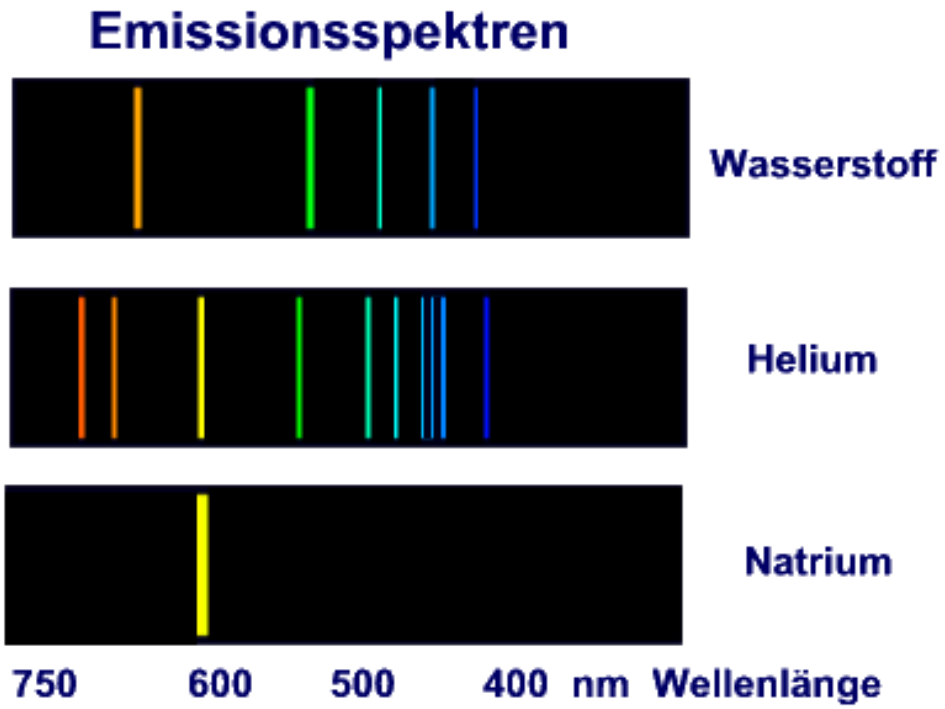
- Z ist Kernladungszahl
- R_y ist Rydbergenergie, 13,6 eV $= 2{,}18 \cdot 10^{-18}$ J
- Energie in Form von Photonen = elektromagnetische Strahlung
- $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1{,}0546 \cdot 10^{-34}$ J s
  $c = 2{,}9979 \cdot 10^{8}$ m/s

$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda} = h\nu$$

Übergangsenergie

$$\Delta E = E_n - E_m = Z^2 \cdot R_y \cdot \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Photonen



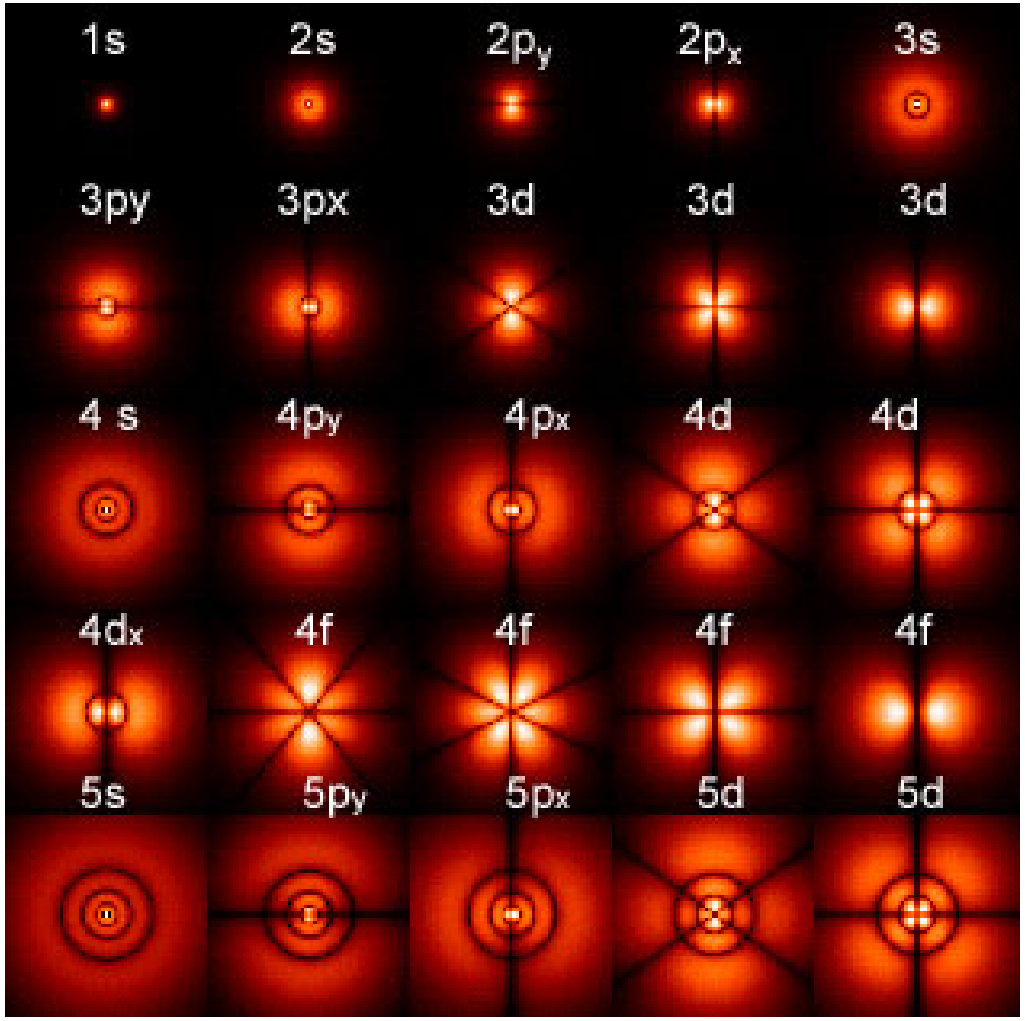
www.hmspeed.com

$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda} = h\nu$$

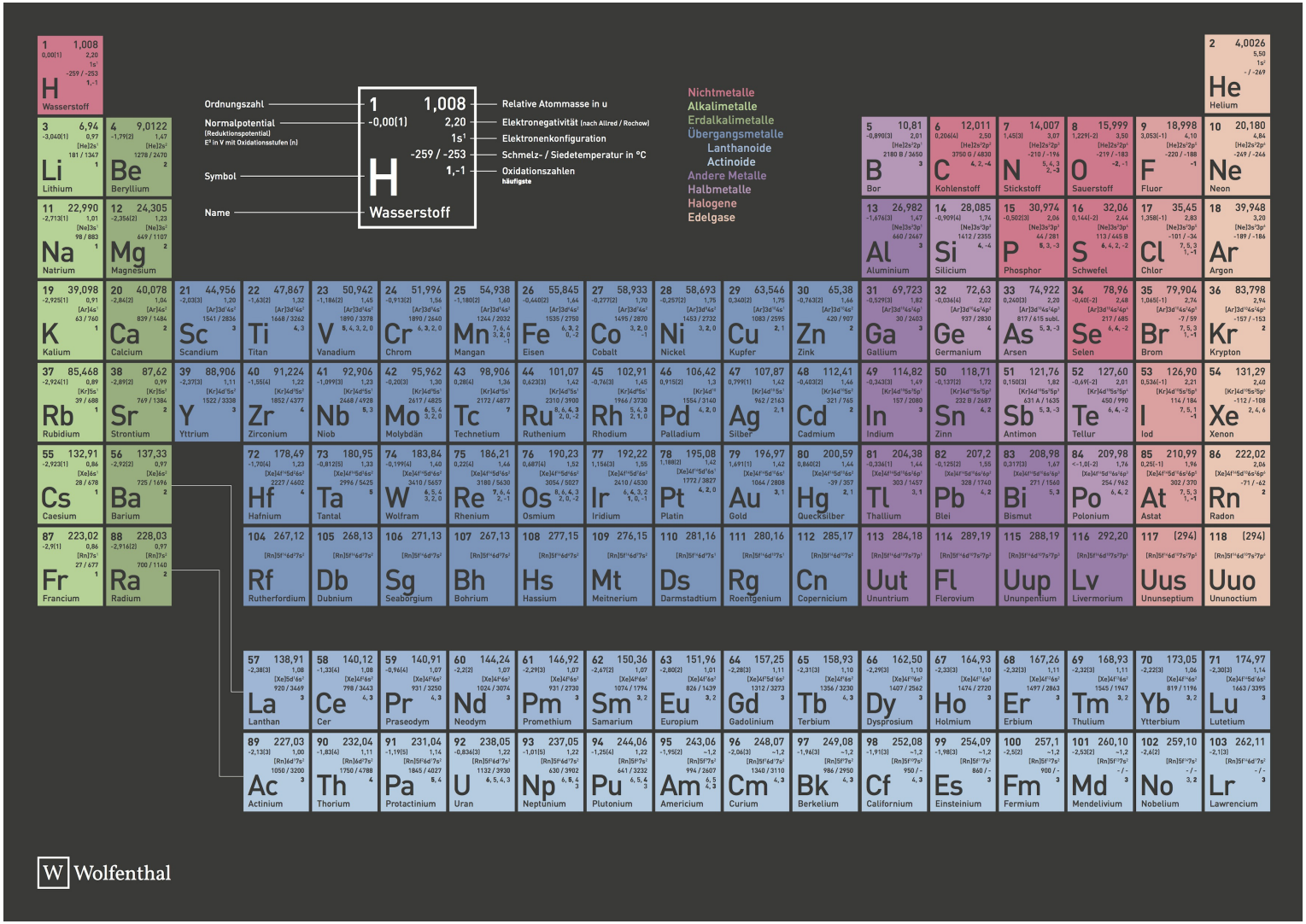
Übergangsenergie

$$\Delta E = E_n - E_m = Z^2 \cdot R_y \cdot \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Aufenthaltswahrscheinlichkeiten für Elektronen



Persiodensysten



Atommasse

Beispiel Kohlenstoff-12 (6 Protonen, 6 Neutronen):
Masse $\approx$ 12 mal Masse Proton ($\approx$ Masse Neutron)
$m_C \approx 12 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27}$ kg

Mol (Stoffmenge)

Bis 2019: 1 mol = Anzahl der Kohlestoffatome in 12 g von ^{12}C
Seit 2019: über N_A

Avogadro-Konstante (seit 2019 exakt)

$N_A = 6{,}022\,140\,76 \cdot 10^{23}\ 1/\mathrm{mol}$

Atomare Masseneinheit u

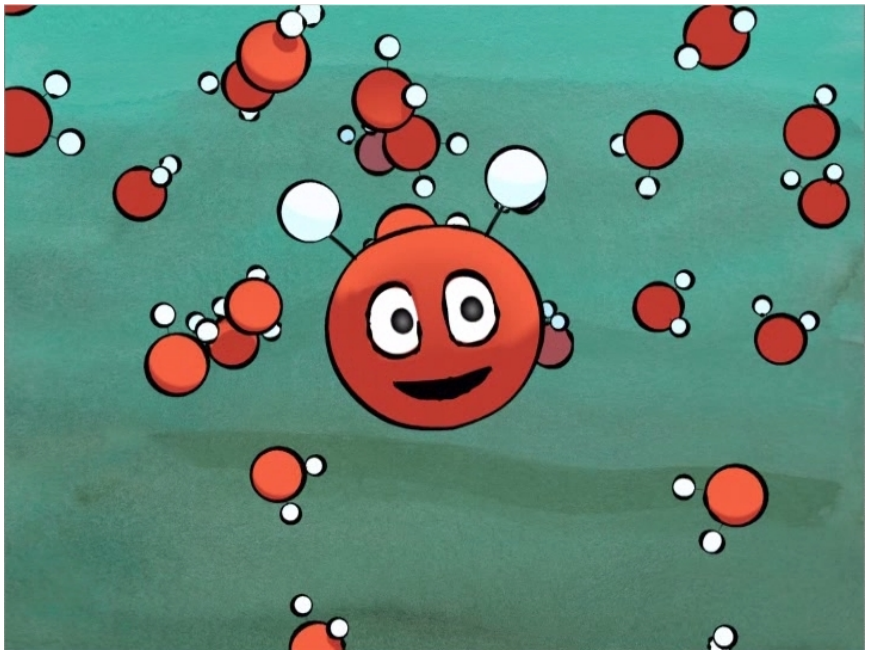
entspricht 1/12 der Masse von C^{12}, $\approx 1{,}66 \cdot 10^{-27}$ kg und damit der durchschnittlichen Masse eines Nukleons

Atommasse

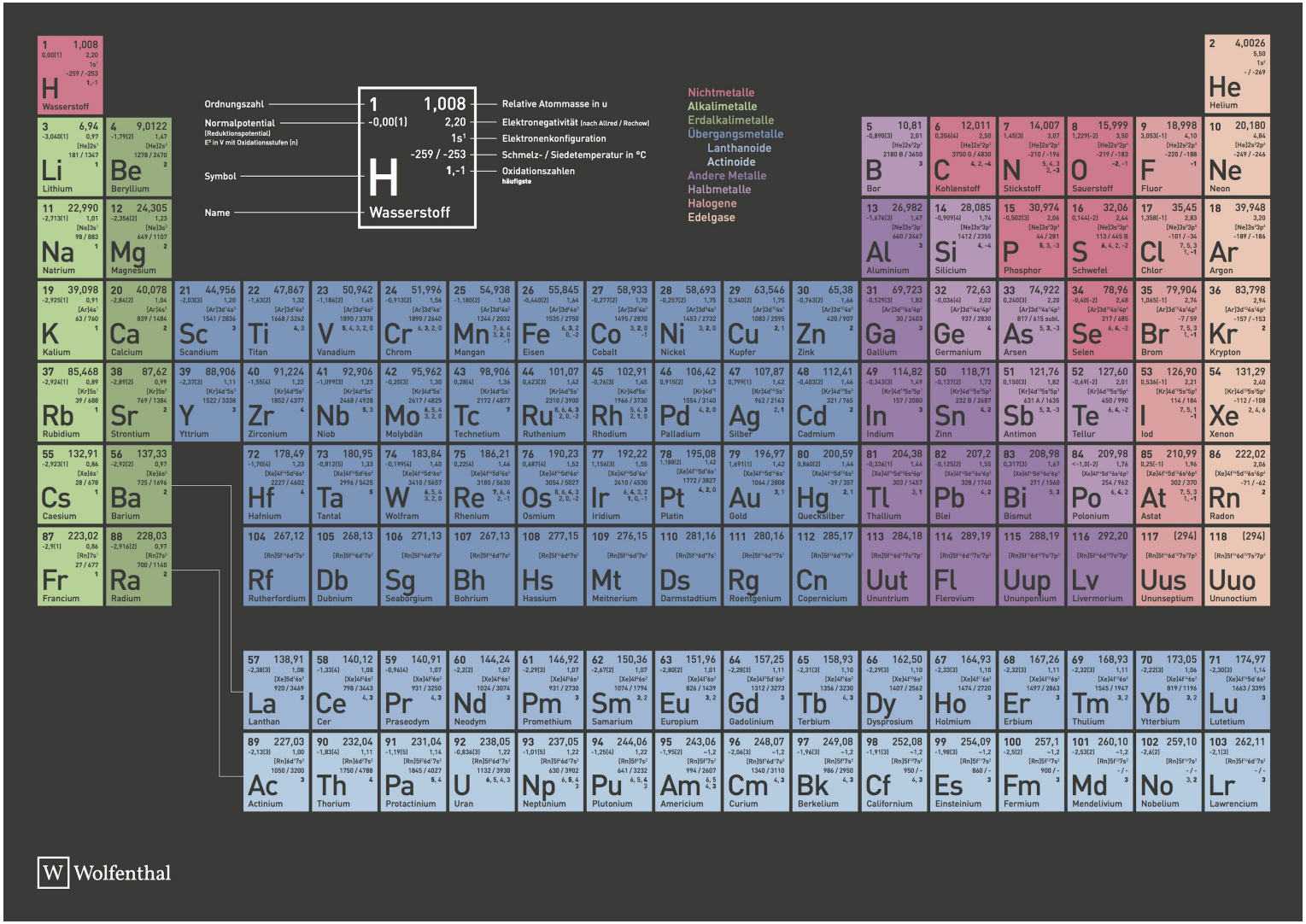
Molare Masse M: Beispiel Wasser

$$M_H \approx 1\,\mathrm{g/mol} \qquad M_O \approx 16\,\mathrm{g/mol}$$
$$M = 2 \cdot M_H + M_O \approx 18\,\mathrm{g/mol}$$

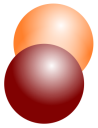
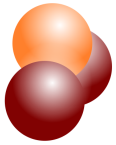
18 g Wasser enthält N_A $(6 \cdot 10^{23})$ Wassermoleküle!



Atommasse


Ordnungszahl
Normalpotential
(Reduktionspotential)
E° in V mit Oxidationsstufen (n)
Symbol
Name
1
1,008
-0,00(1)
2,20
1s¹
-259 / -253
1,-1
H
Wasserstoff
Relative Atommasse in u
Elektronegativität (nach Allred / Rochow)
Elektronenkonfiguration
Schmelz- / Siedetemperatur in °C
Oxidationszahlen
häufigste
Nichtmetalle
Alkalimetalle
Erdalkalimetalle
Übergangsmetalle
Lanthanoide
Actinoide
Andere Metalle
Halbmetalle
Halogene
Edelgase
Wolfenthal

Atommasse

Proton	Deuteron	Triton
		
$^{1}_{1}H^{+}$	$^{2}_{1}H^{+}$	$^{3}_{1}H^{+}$
Protium	Deuterium	Tritium

Massenzahl:

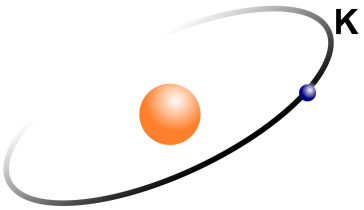
Anzahl Protonen (+)

+

Anzahl Neutronen (n)

Kernladungszahl:

Anzahl Protonen (+)



$^{1}_{1}H$

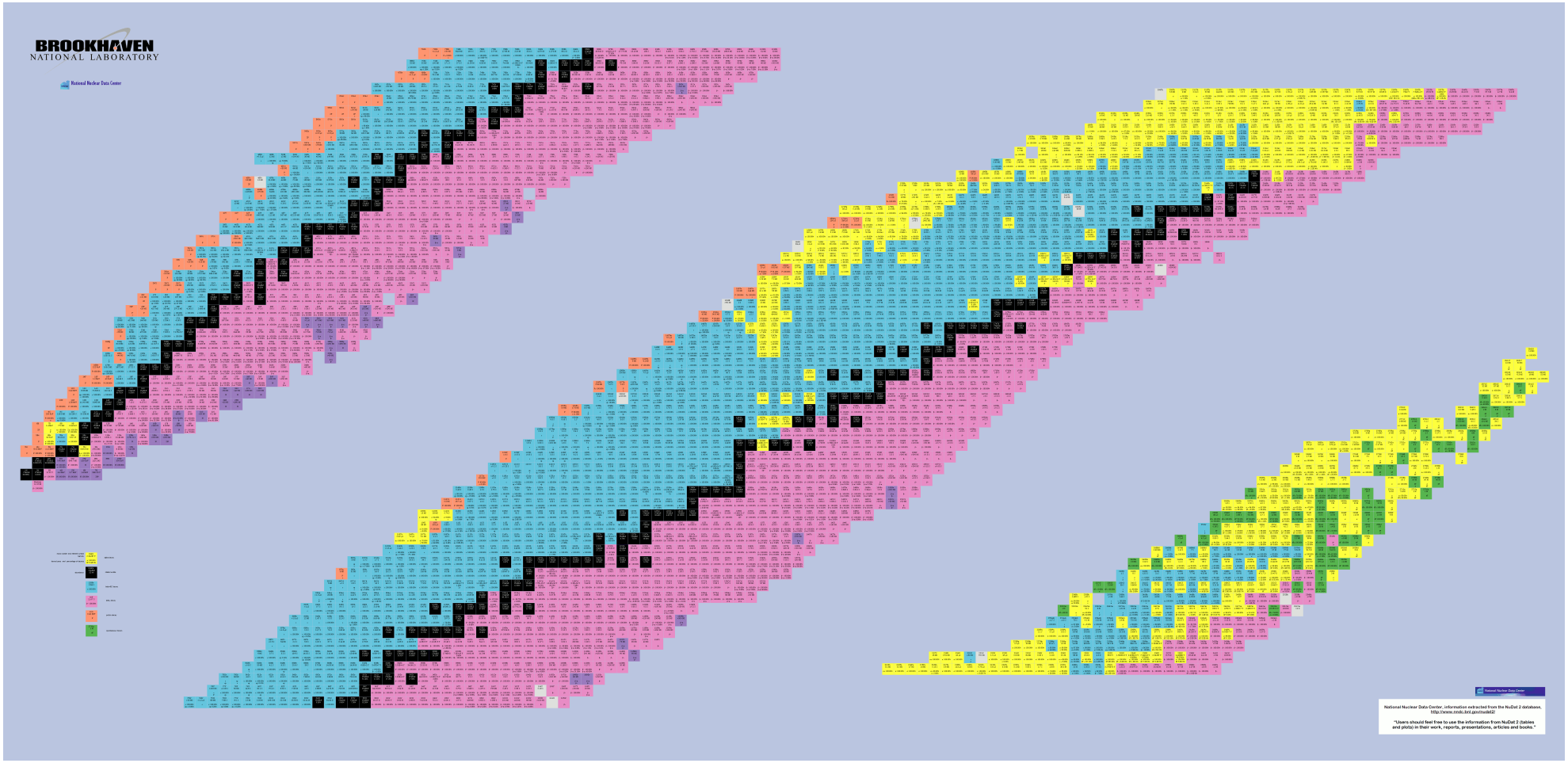
Atomkern (Nukleonen)

- **Proton (+)**
- **Neutron (n)**

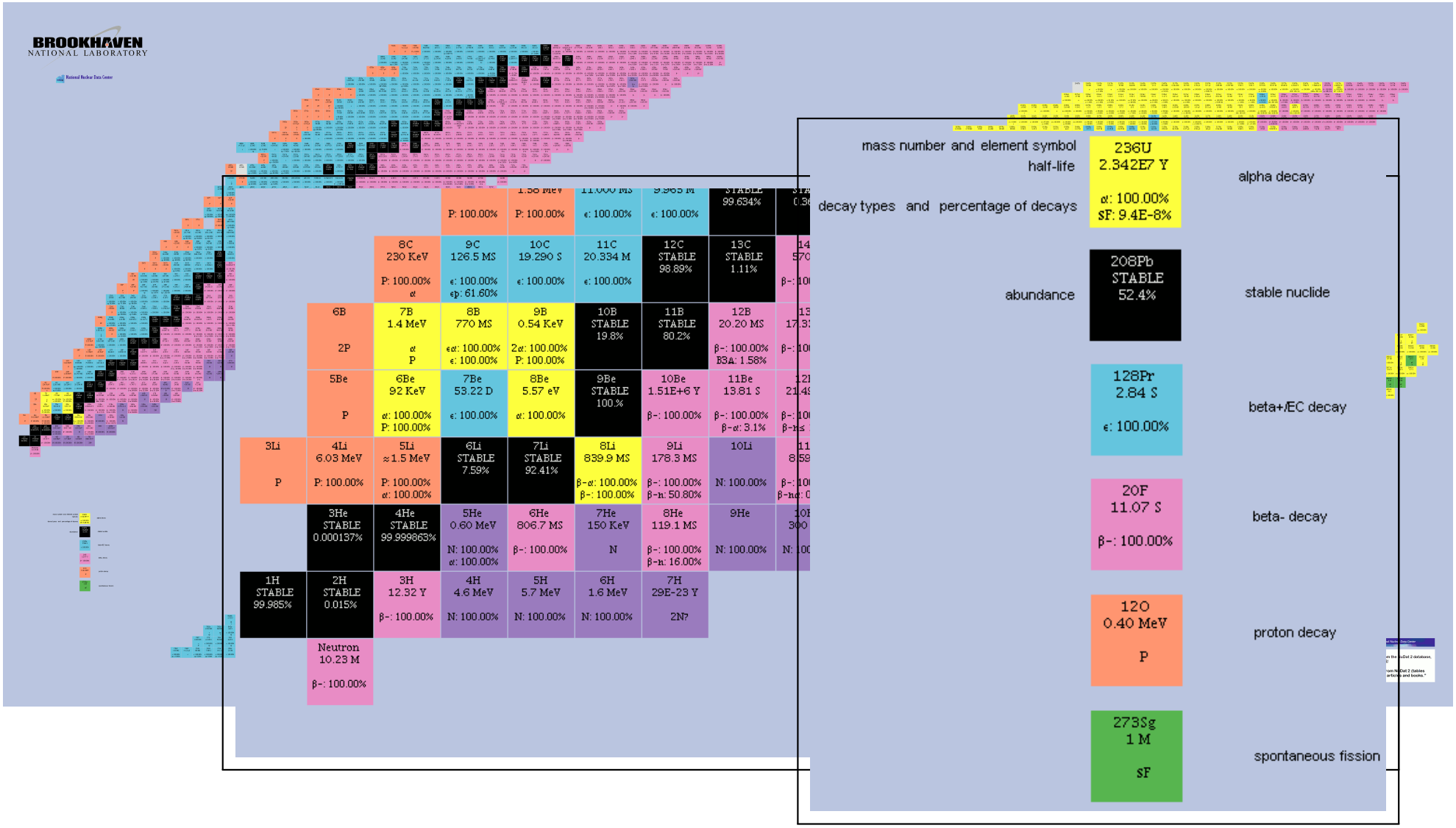
Atomhülle

- **Elektron (-)**

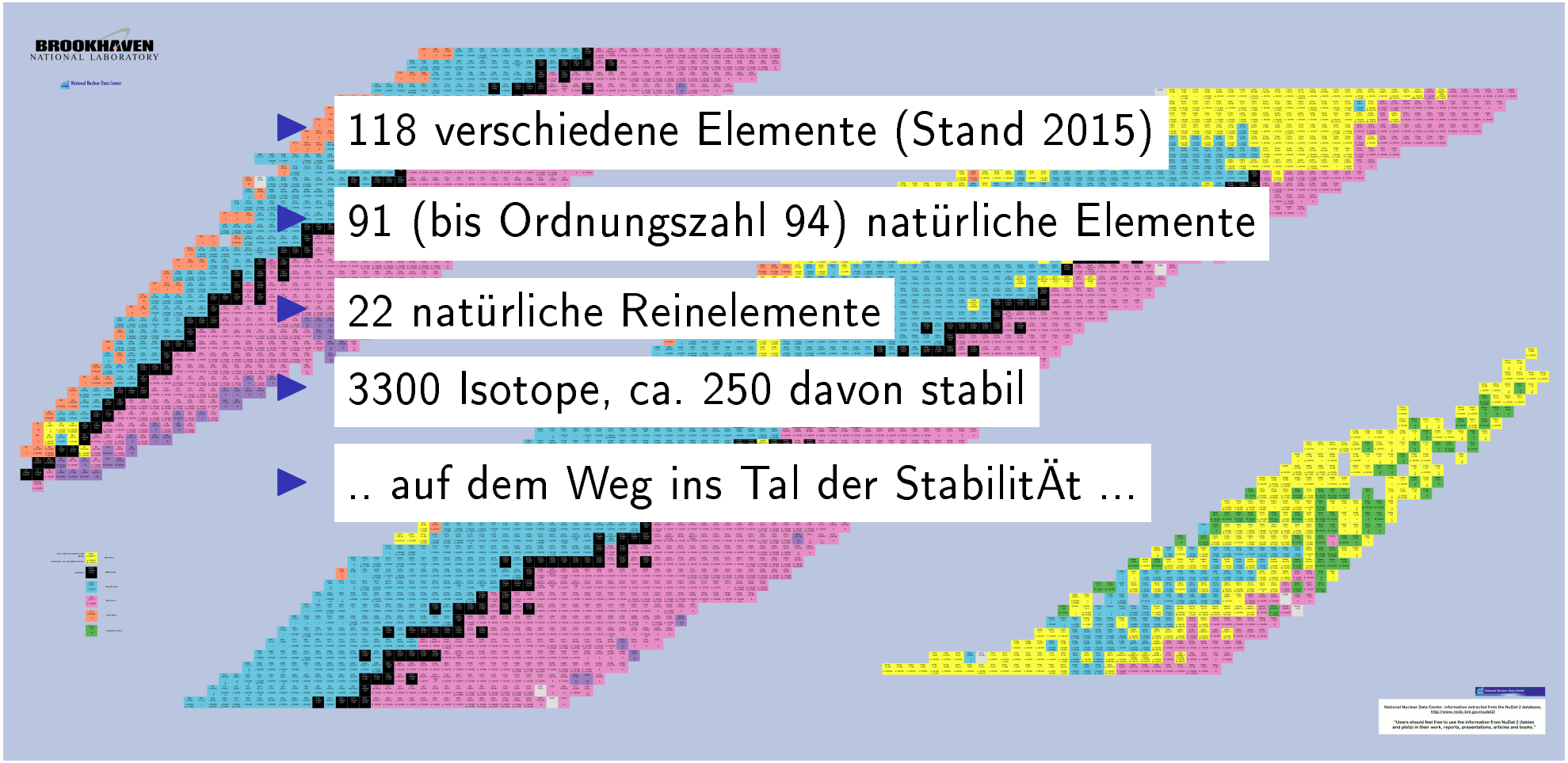
BROOKHAVEN Nuklidkarte



BROOKHAVEN Nuklidkarte



BROOKHAVEN Nuklidkarte



- 118 verschiedene Elemente (Stand 2015)
- 91 (bis Ordnungszahl 94) natürliche Elemente
- 22 natürliche Reinelemente
- 3300 Isotope, ca. 250 davon stabil
- .. auf dem Weg ins Tal der StabilitÄt ...

Begrifflichkeiten

- **Isotope**: Kerne gleicher Ladungszahl (gleiches Element). Wasserstoff ${}^{1}_{1}\mathrm{H}$ und Deuterium ${}^{2}_{1}\mathrm{H}$
- **Isotone**: Kerne gleicher Neutronenzahl. ${}^{3}_{2}\mathrm{He}$ und Deuterium ${}^{2}_{1}\mathrm{H}$ haben $N = 1$
- **Isobare**: Kerne gleicher Massenzahl. ${}^{3}_{2}\mathrm{He}$ und Tritium ${}^{3}_{1}\mathrm{H}$ haben $A = 3$
- **Isomere**: Kerne mit gleichen Z und N auf unterschiedlichen Energieniveaus (gleicher Kern, angeregt)
- **Spiegelkern**: Kerne, bei denen Z und N vertauscht sind. ${}^{13}_{6}\mathrm{C}$ und ${}^{13}_{7}\mathrm{N}$

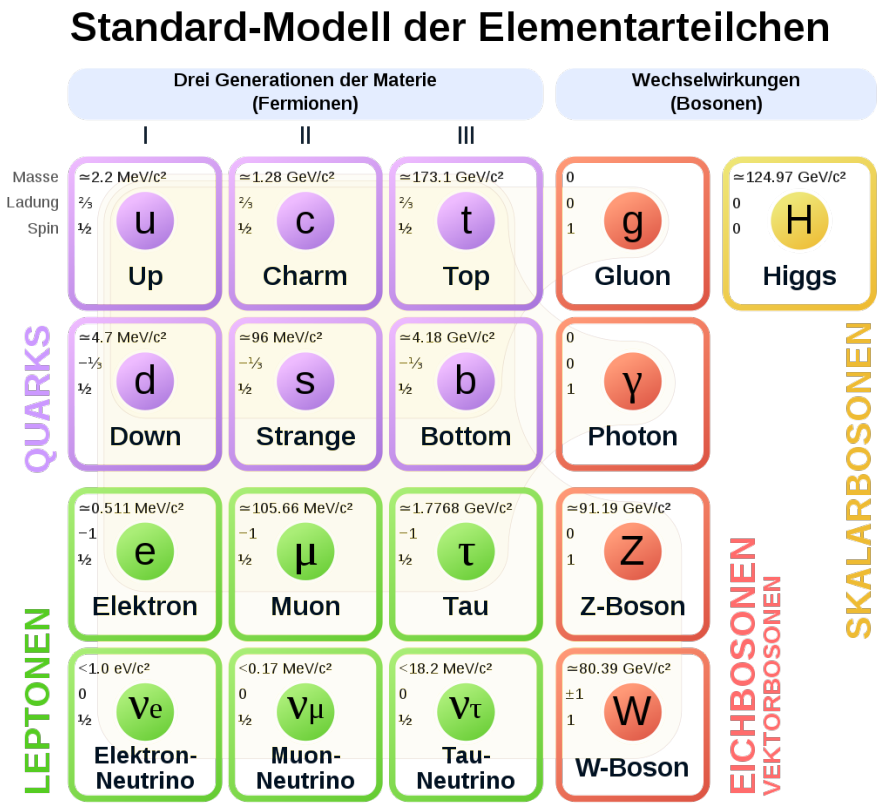
Zerfallsarten und Kernumwandlungen

- Radioaktivät (spontan)
  - α-Strahlung $\rightarrow$ Änderung Kernstruktur
  - β-Strahlung $\rightarrow$ Änderung Kernstruktur
  - γ-Strahlung $\rightarrow$ Änderung Kernenergie
- Innere Konversion $\rightarrow$ Änderung Kernenergie
- Elektroneneinfang $\rightarrow$ Änderung Kernstruktur
- Neutroneneinfang $\rightarrow$ Änderung Kernstruktur
- Protoneneinfang $\rightarrow$ Änderung Kernstruktur
- Kernfusion $\rightarrow$ Änderung Kernstruktur
- Kernfission $\rightarrow$ Änderung Kernstruktur

Teilweise konkurrierend und mit Folgeprozessen

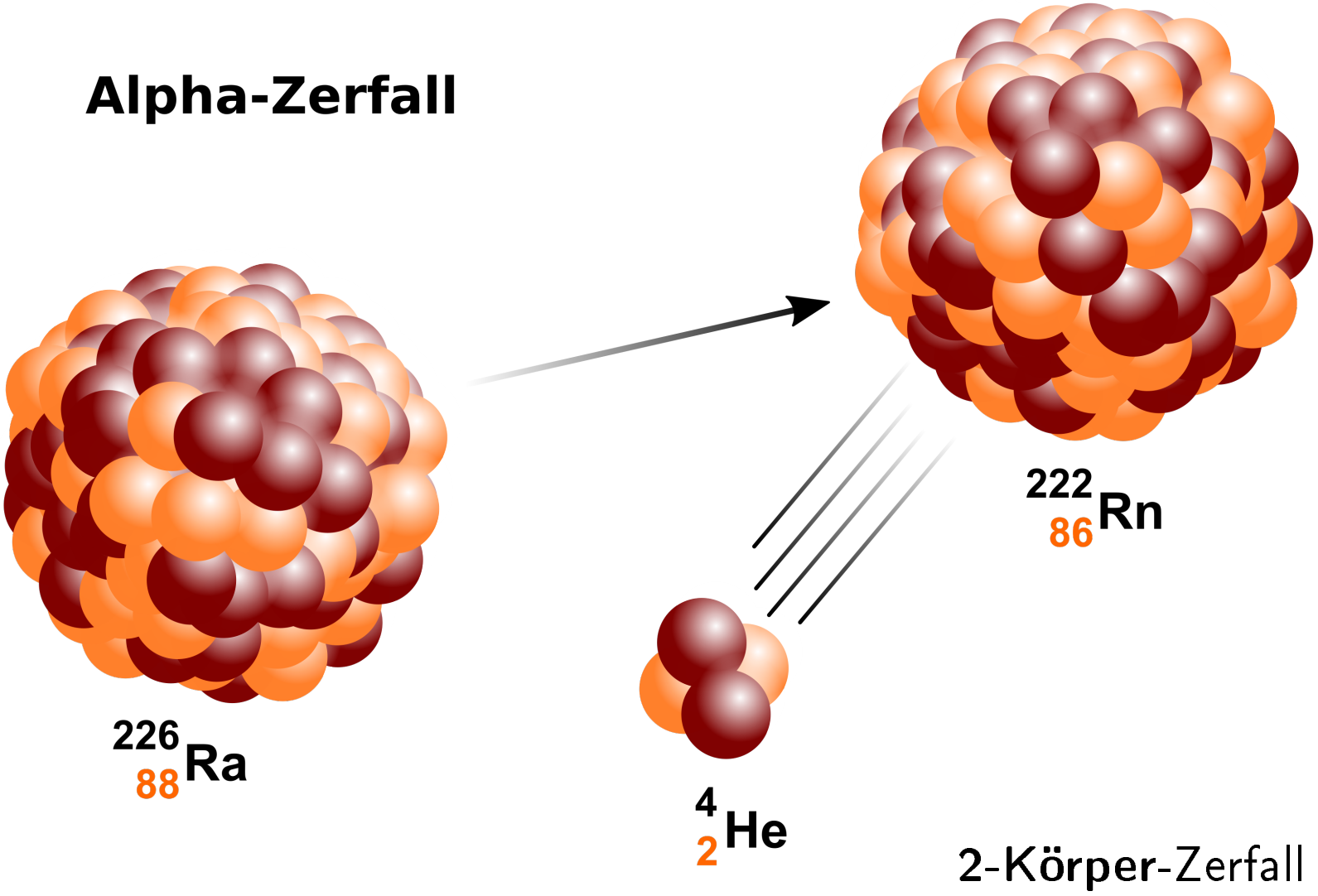
Rahmenbedingungen: Erhaltungssätze der Physik

- Energie/Masse
- (Dreh-)Impuls
- el. Ladung
- Baryonenzahl ("schwere" Teilchen wie Nukleonen, bestehen aus Quarks und gehören deshalb zu der Gruppe der Hadronen)
- Leptonenzahl (Elementarteilchen)
- ...

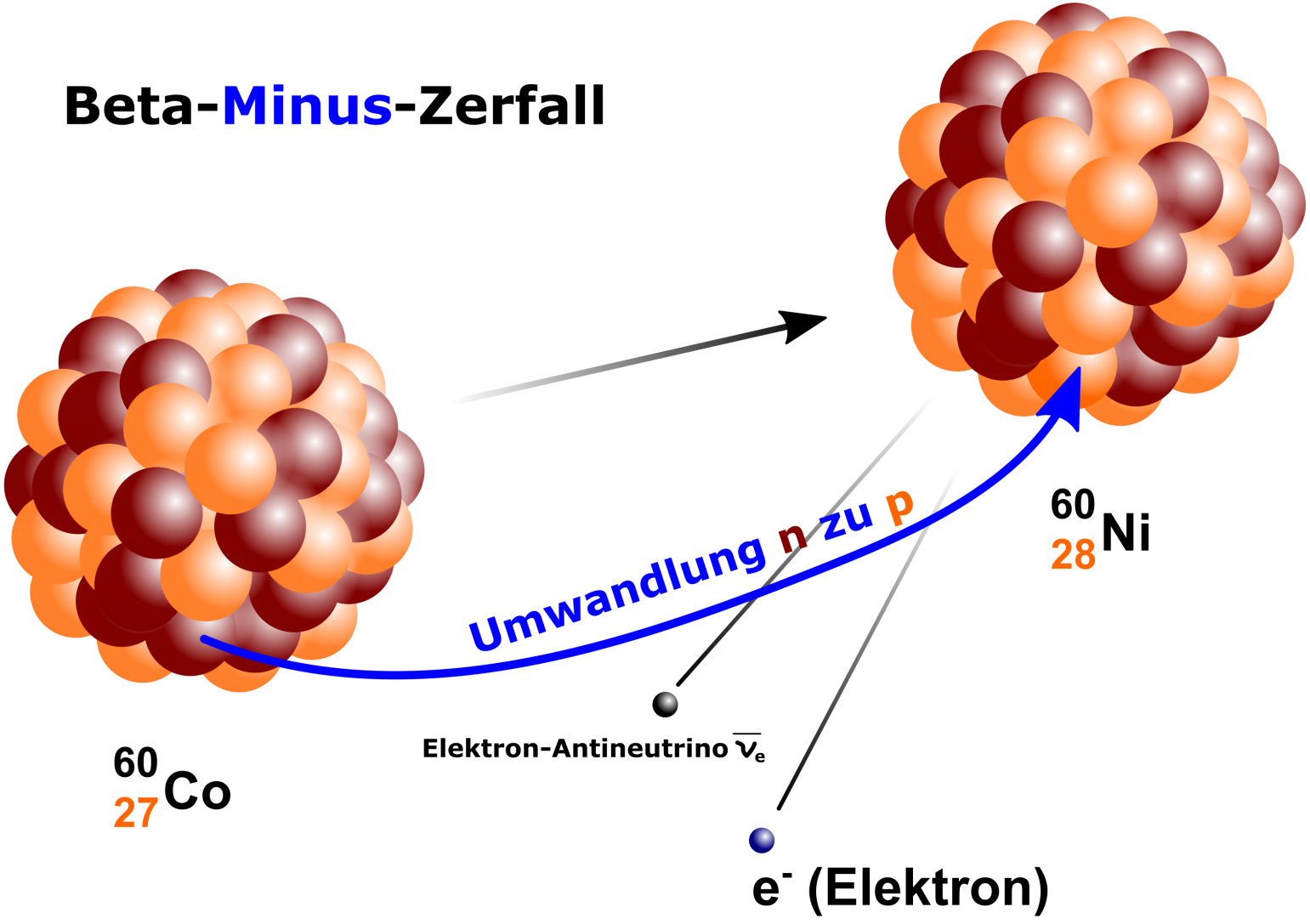


https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=11307906

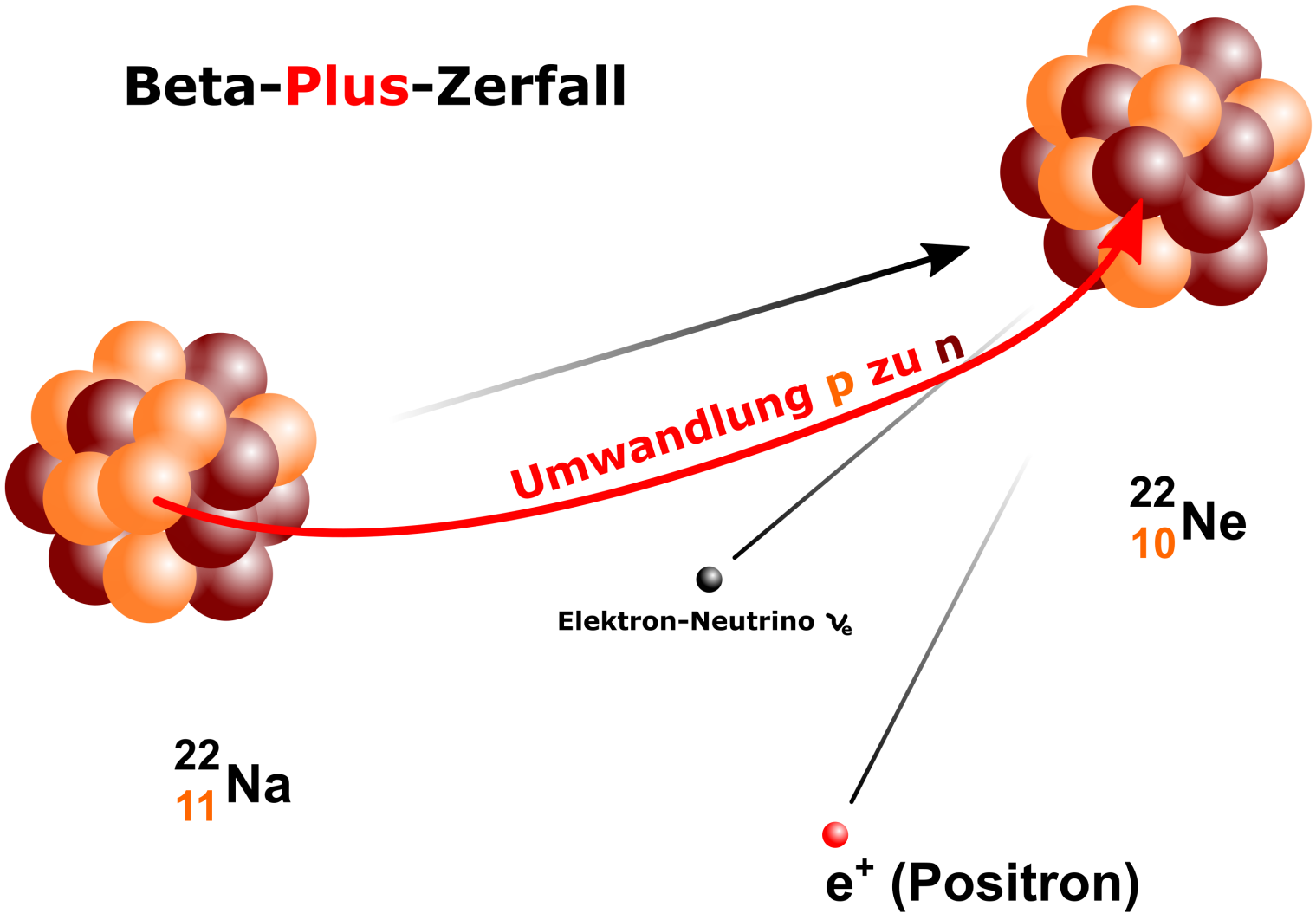
Radioaktivität



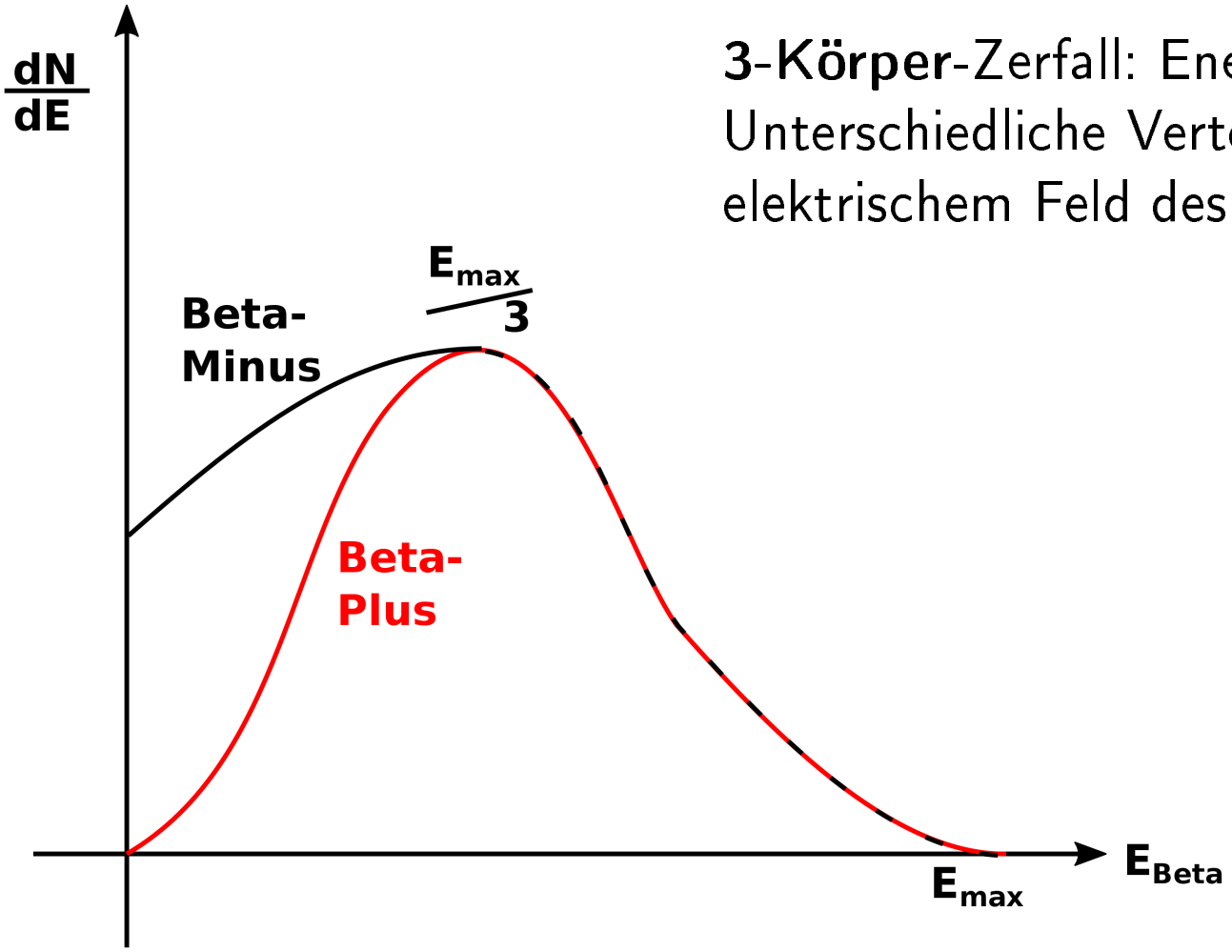
Radioaktivität



Radioaktivität



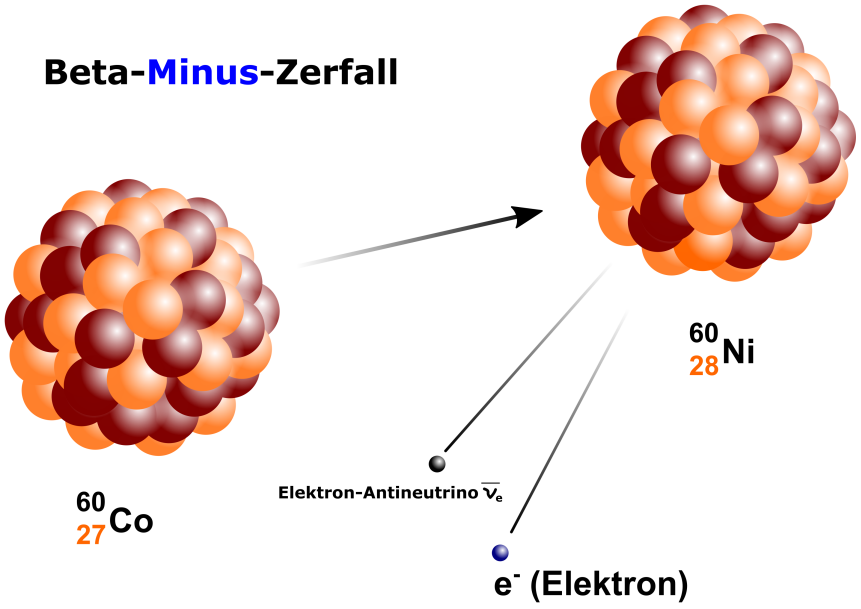
Radioaktivität

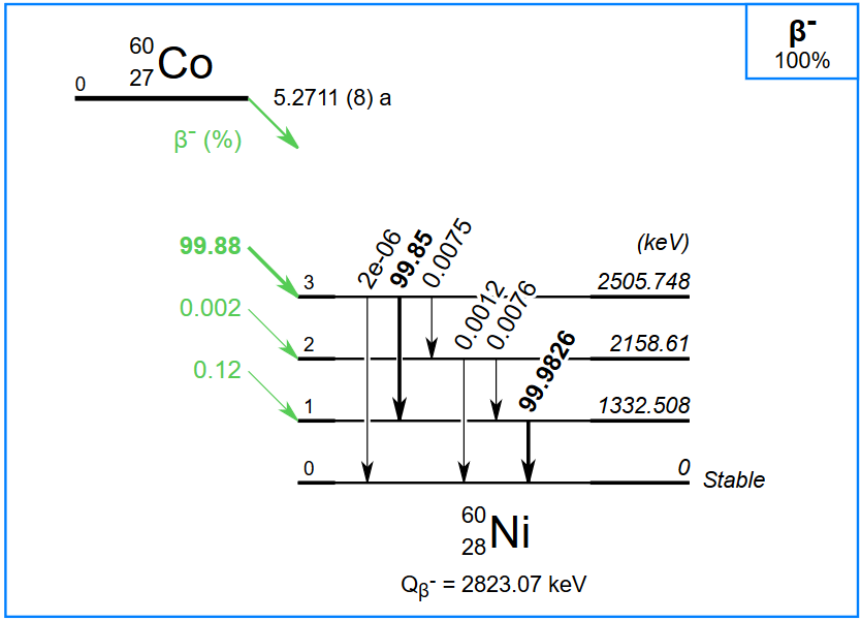


3-Körper-Zerfall: Energieverteilung
Unterschiedliche Verteilungen wegen elektrischem Feld des Kerns

Radioaktivität: γ-Zerfall

- keine Kernumwandlung
- keine Teilchenstrahlung
  $\rightarrow$ Photonenstrahlung
- Folgezerfall aus anderen Kernumwandlungen

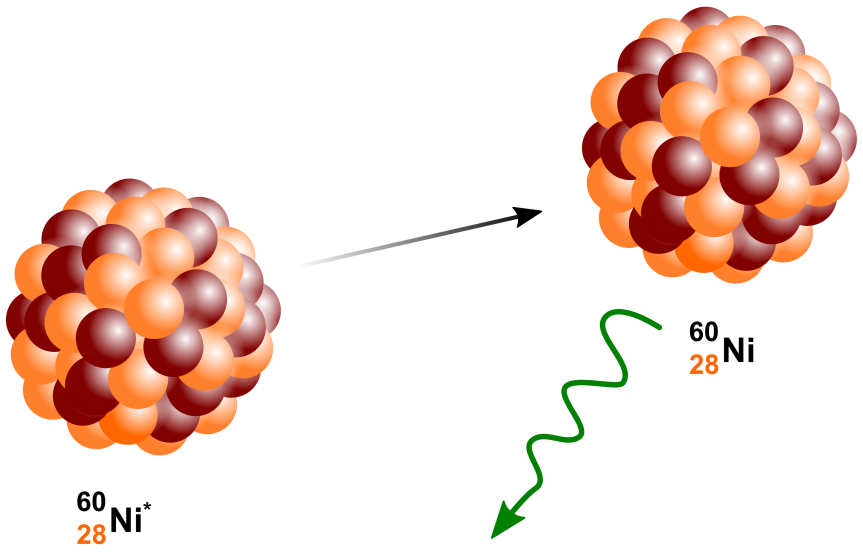


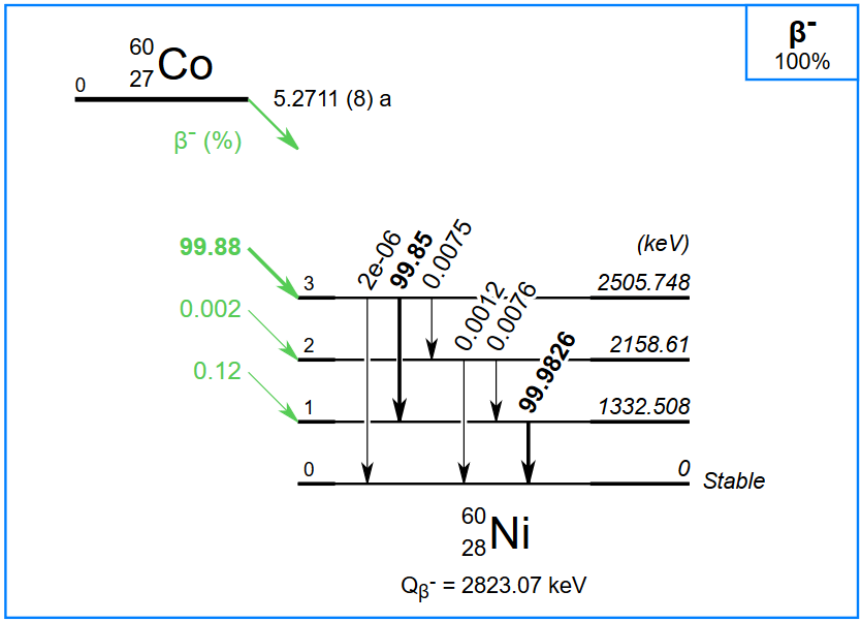


http://www.nucleide.org/Laraweb

Radioaktivität: γ-Zerfall

- keine Kernumwandlung
- keine Teilchenstrahlung
  $\rightarrow$ Photonenstrahlung
- Folgezerfall aus anderen Kernumwandlungen
- **2-Körper**-Zerfall

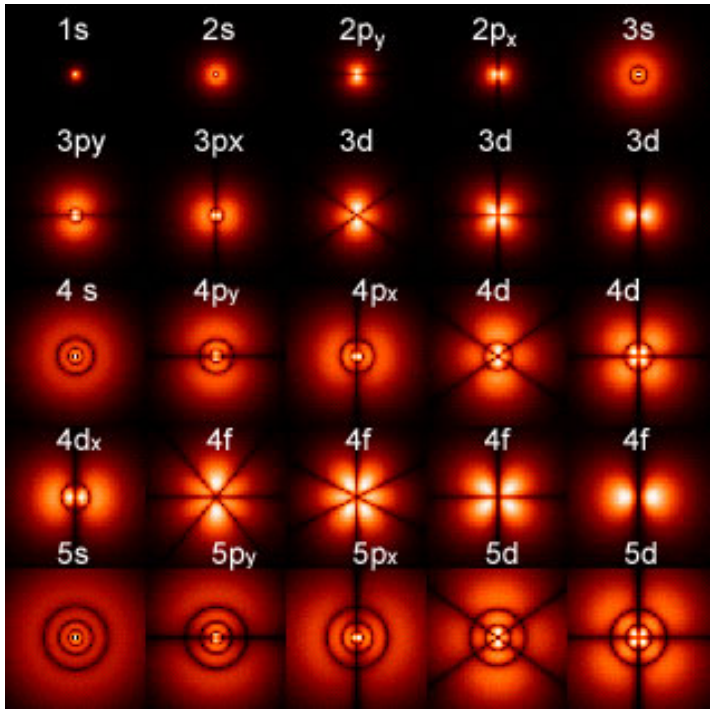


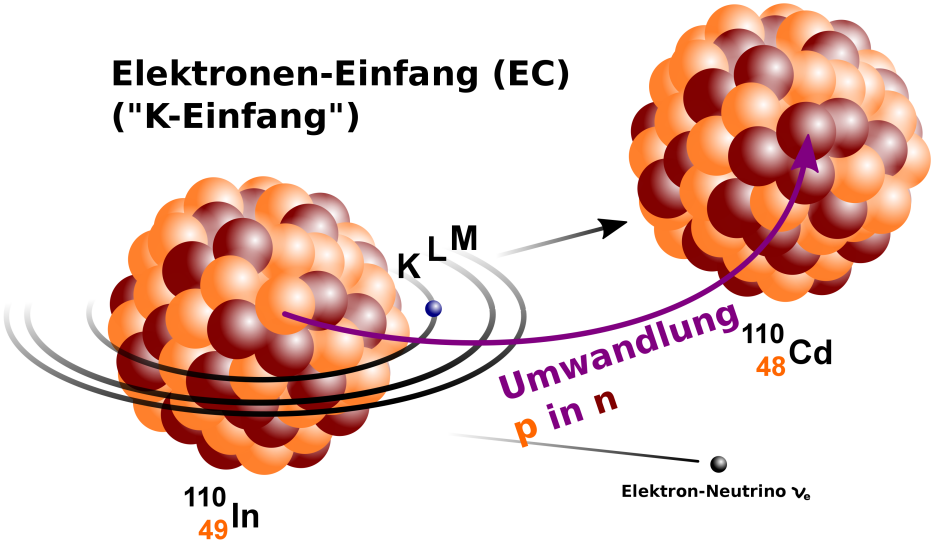


http://www.nucleide.org/Laraweb

Elektroneneinfang

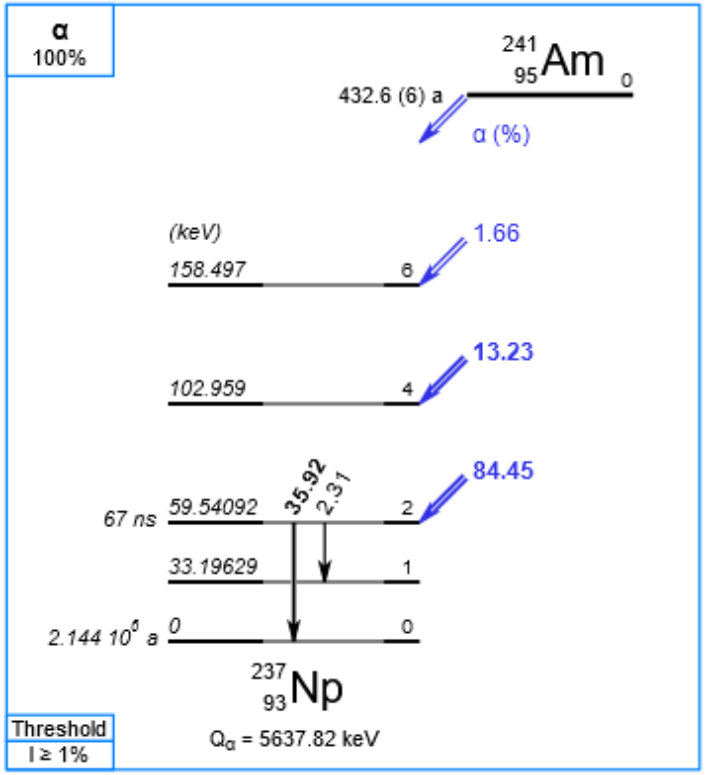
- Konkurrenzprozess zum Beta-Plus-Zerfall
- an verschiedenen Schalen möglich
- Folge: "Loch" in innerer Schale
  $\rightarrow$ X-Rays



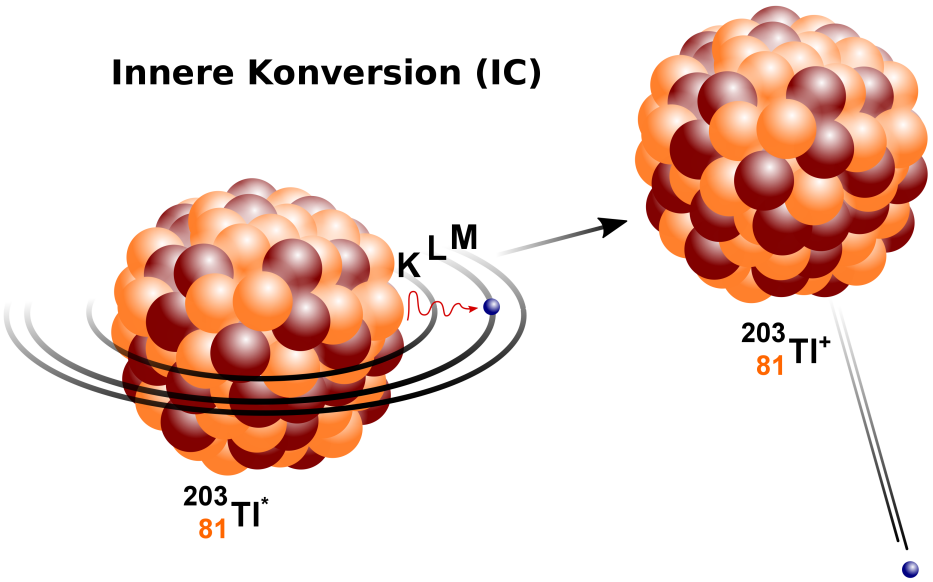


Innere Konversion

- Konkurrenzprozess zum Gamma-Zerfall
- an verschiedenen Schalen möglich
- Folge: "Loch" in innerer Schale
  $\rightarrow$ X-Rays



http://www.nucleide.org/Laraweb



Aktivität

Zerfälle pro Zeit

$$A = \frac{\Delta N}{\Delta t} \qquad |A| = 1/\mathrm{s} = 1\,\mathrm{Bq}$$

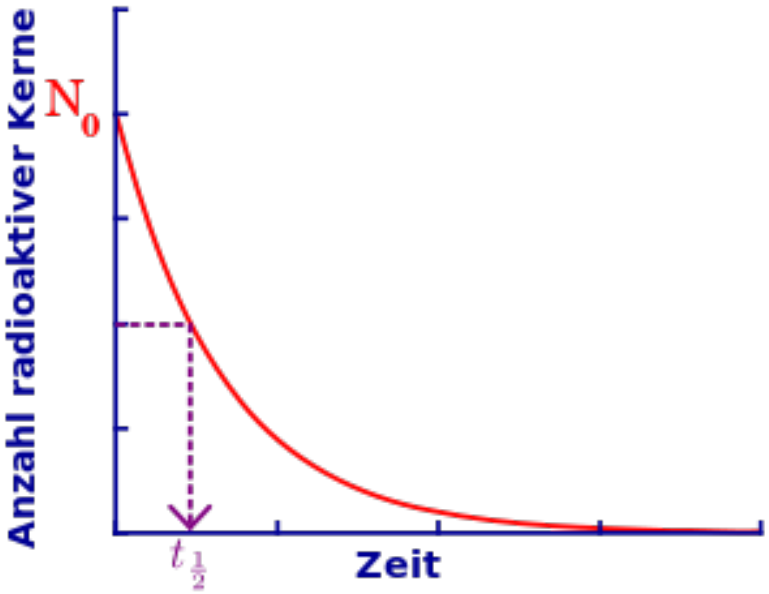
Veraltete Einheit:

$$1\ \mathrm{Ci}\ = 3{,}7 \cdot 10^{10}\,\mathrm{Bq}$$

Zerfälle sind *Zufallsereignisse* und lassen sich für einen einzelnen Kern nicht voraussagen.

Anzahl der noch-nicht-zerfallenen Atomkerne

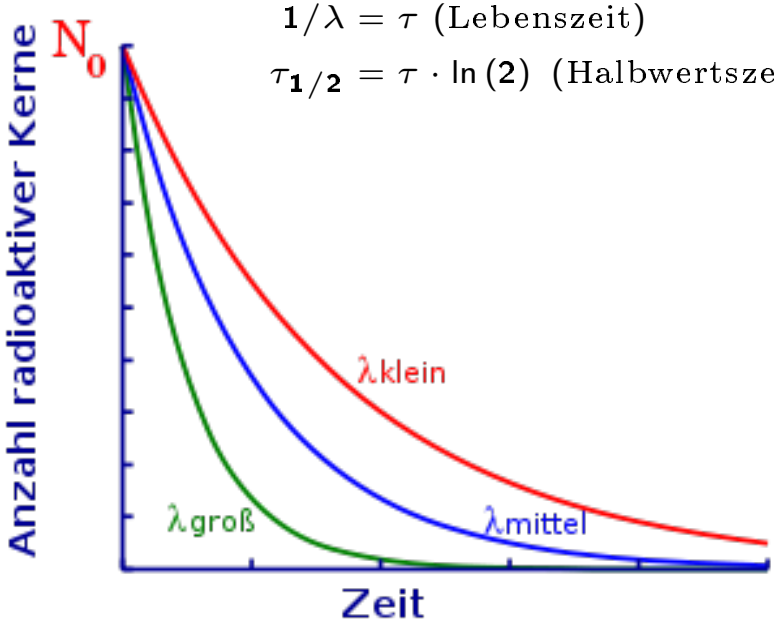
$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$



λ (Zerfallskonstante)

$1/\lambda = \tau$ (Lebenszeit)

$\tau_{1/2} = \tau \cdot \ln(2)$ (Halbwertszeit)



Radiocarbonmethode

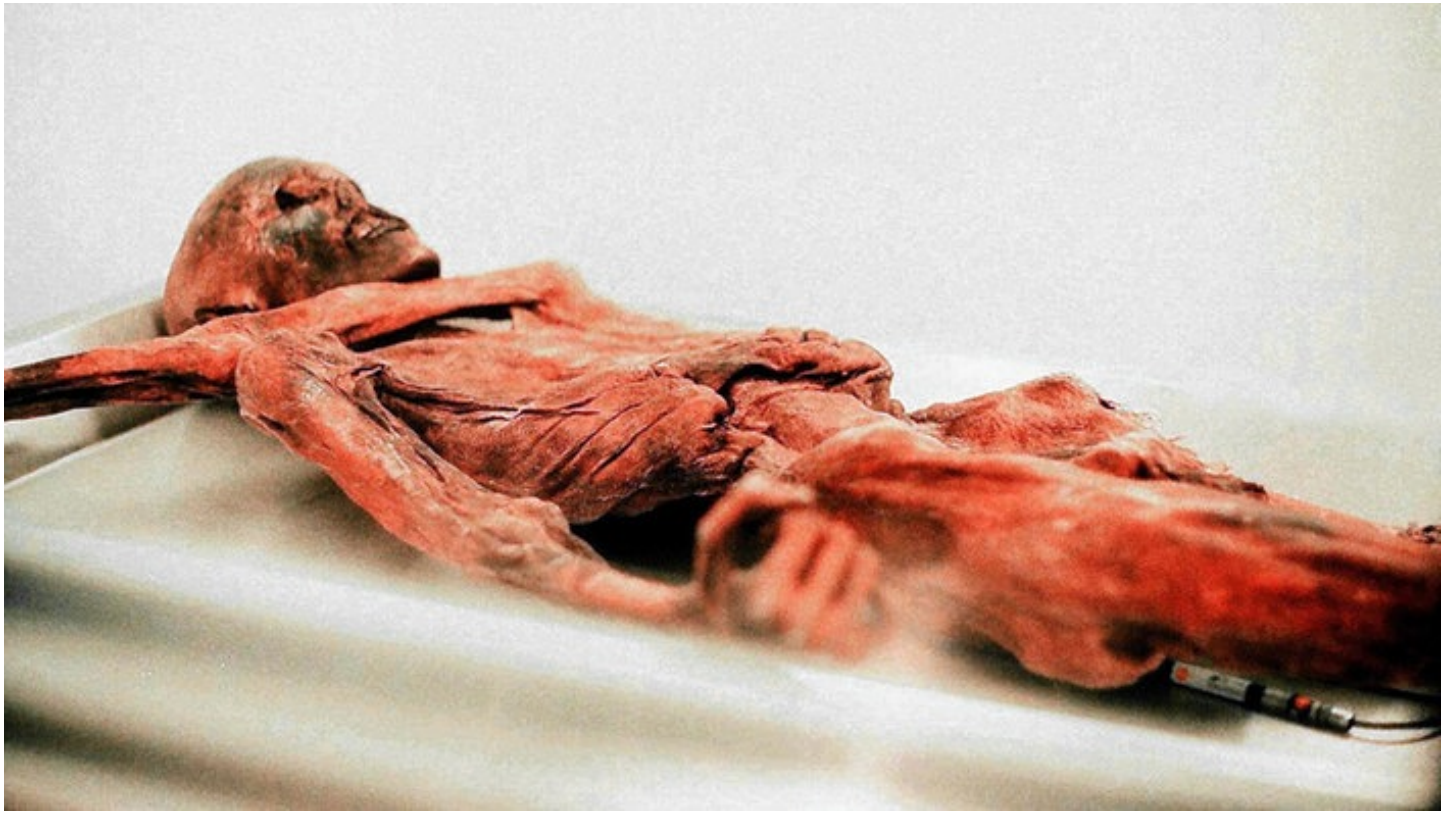
- ^{14}C ist instabil = radioaktiv
- ^{14}C wird ständig in der oberen Atmosphäre neu gebildet
- Anteil in der Luft ca. $10^{-10}\%$
- tote Organismen nehmen keinen neuen ^{14}C auf

Anzahl ^{14}C im toten Organismus

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

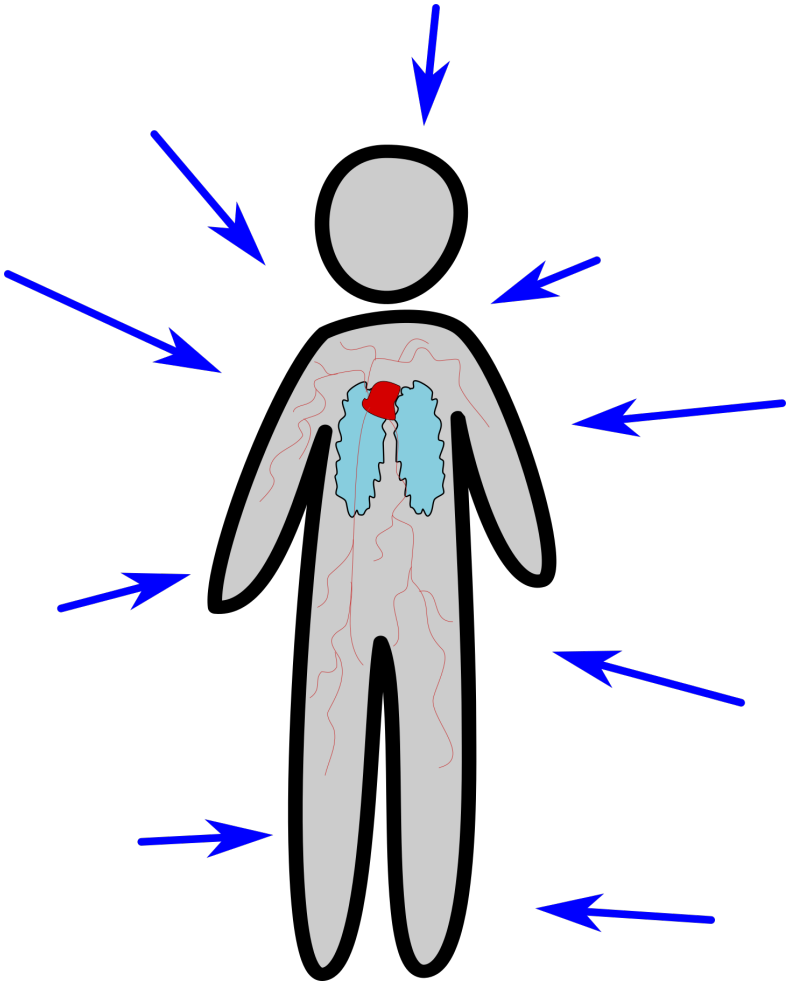
bei bekannter Lebenszeit $\tau = 5730 \pm 40$ a

Radiocarbonmethode



dpa Picture-Allianse / epa Ansa Ravanelli

Radioaktivität eines Menschen



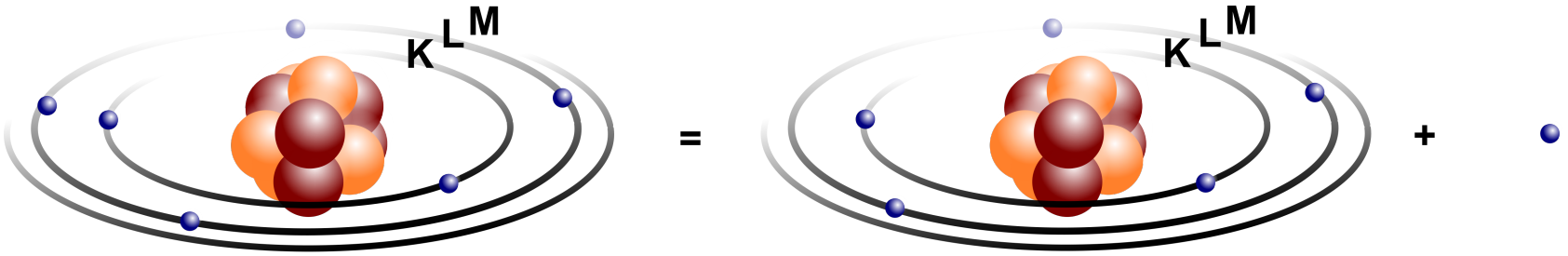
ca. 9000 Bq
davon 4500 Bq von ^{40}K, 3800 Bq von ^{14}C

- Luft (z.B. Radon, Zerfallsreihen, ^{14}C)
  $\rightarrow$ Lunge, Blutbahn
- Nahrung (z.B. Zerfallsreihen, ^{40}K, ^{14}C, ^{87}Rb)
  $\rightarrow$ Gewebe, Nerven, Blutbahn
- äußere Exposition (Folgeprodukte der Kosmische Strahlung, Terrestrische Strahlung, Zerfallsreihen)
  $\rightarrow$ Haut

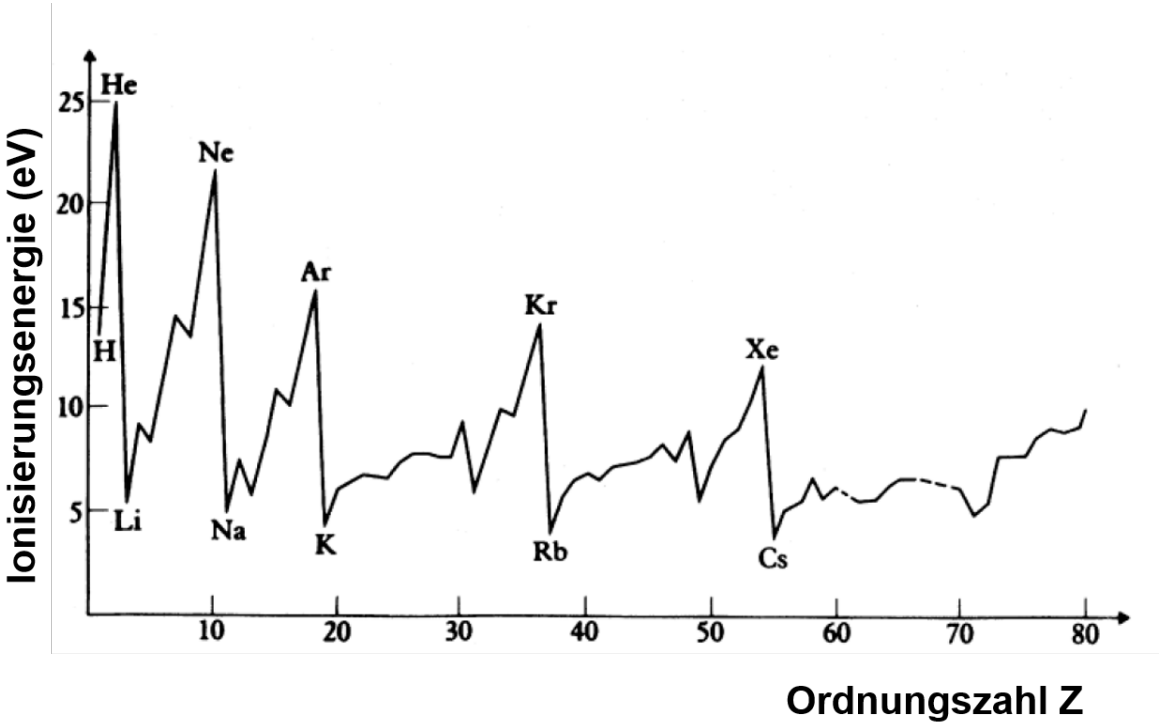
Strahlenarten

- **Wirkung**: ionisierend $\leftrightarrow$ nicht-ionisierend
- **Art**: Teilchen-Strahlung $\leftrightarrow$ Elektromagnetische Strahlung
- **Quelle**: natürlich $\leftrightarrow$ künstlich

Ionisierende Strahlung



$^{12}_{6}C$ = $^{12}_{6}C^{+}$ + e^{-}



Ionisierende Strahlung

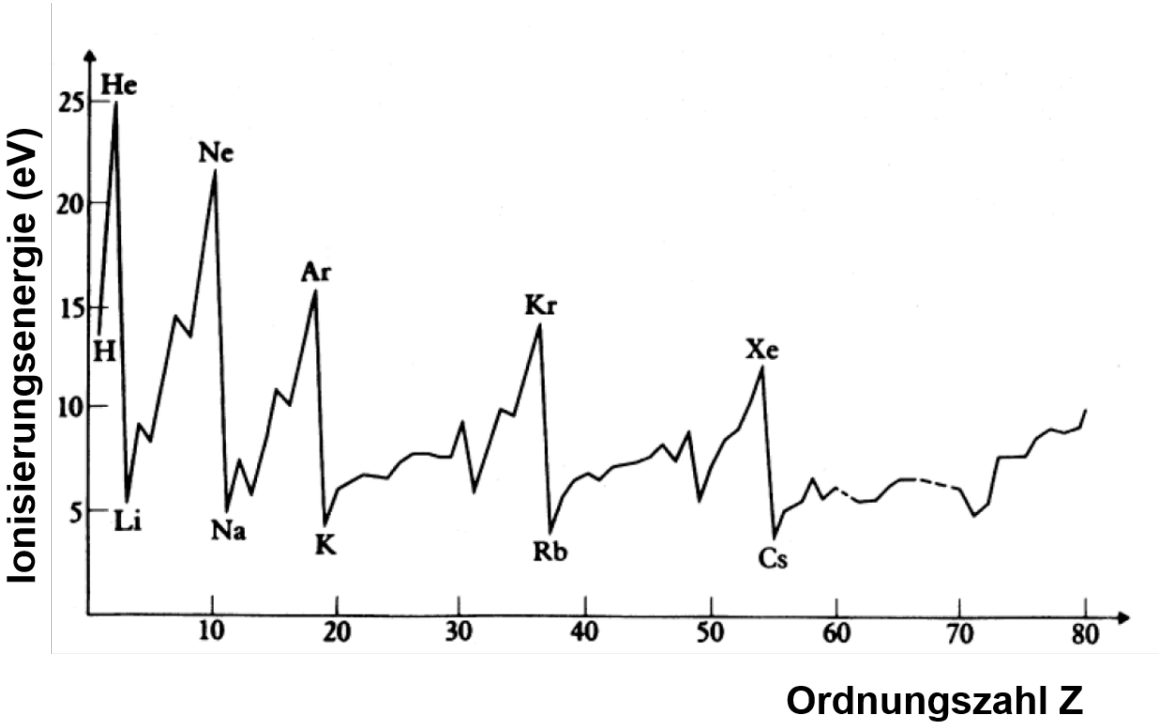
Energie größer ca. 5 eV bzw. $8 \cdot 10^{-19}$ J

Wellenlänge (el.mag. Strahlung)
kleiner ca. 250 nm

Energie

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Benötigte Energie gilt für alle Arten der Strahlung!



Ionisierende Strahlung

Energie

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Energie größer ca. 5 eV bzw. $8 \cdot 10^{-19}$ J

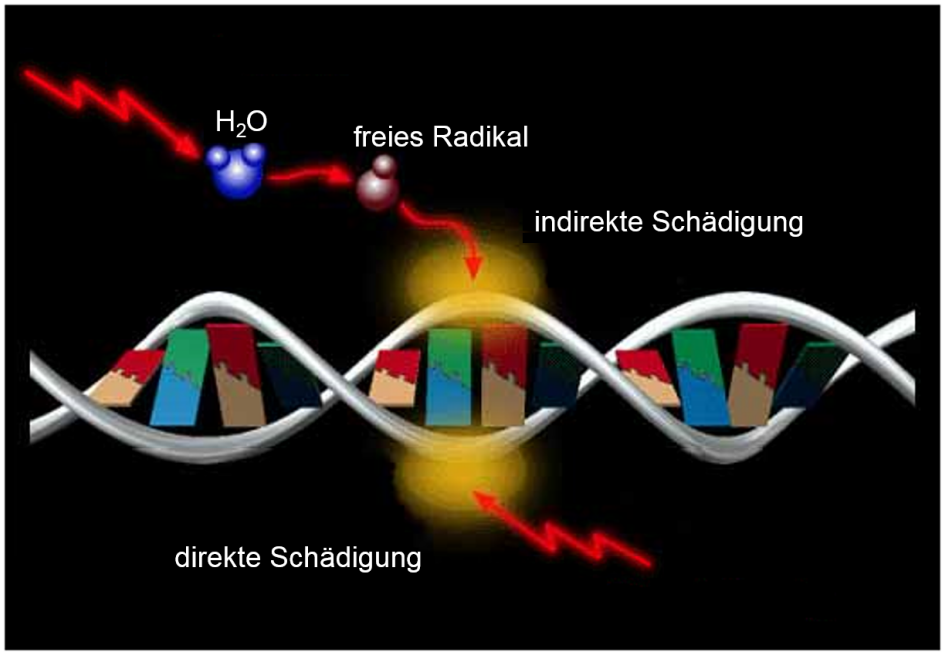
Wellenlänge kleiner ca. 250 nm

gilt für alle Arten der Strahlung!

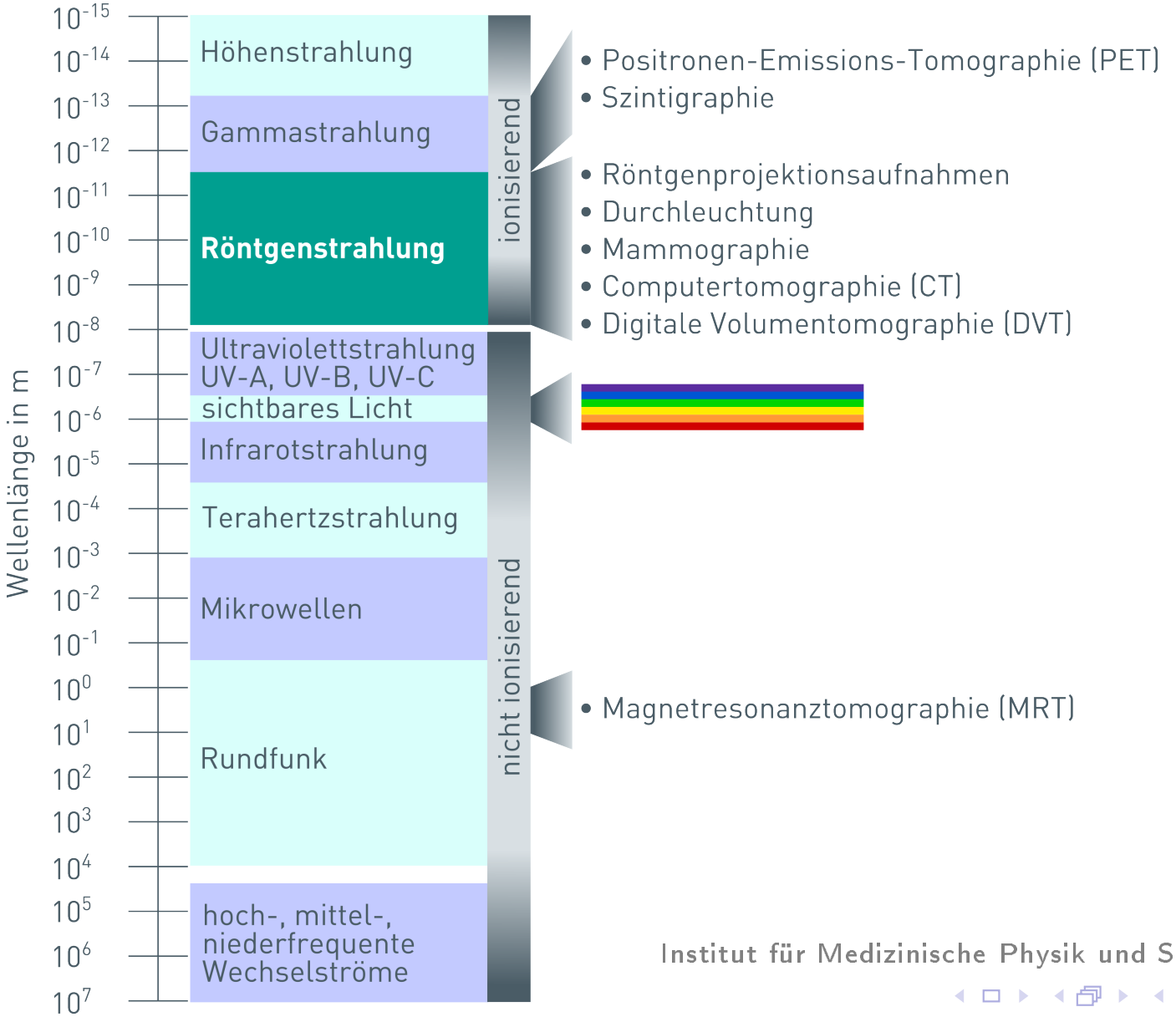
direkte Zellschäden → z.B. Strahlenkrankheit

DNA-Schäden → erhöhte Krebswahrscheinlichkeit

Einsatz ionisierender Strahlung nur wenn unumgänglich!



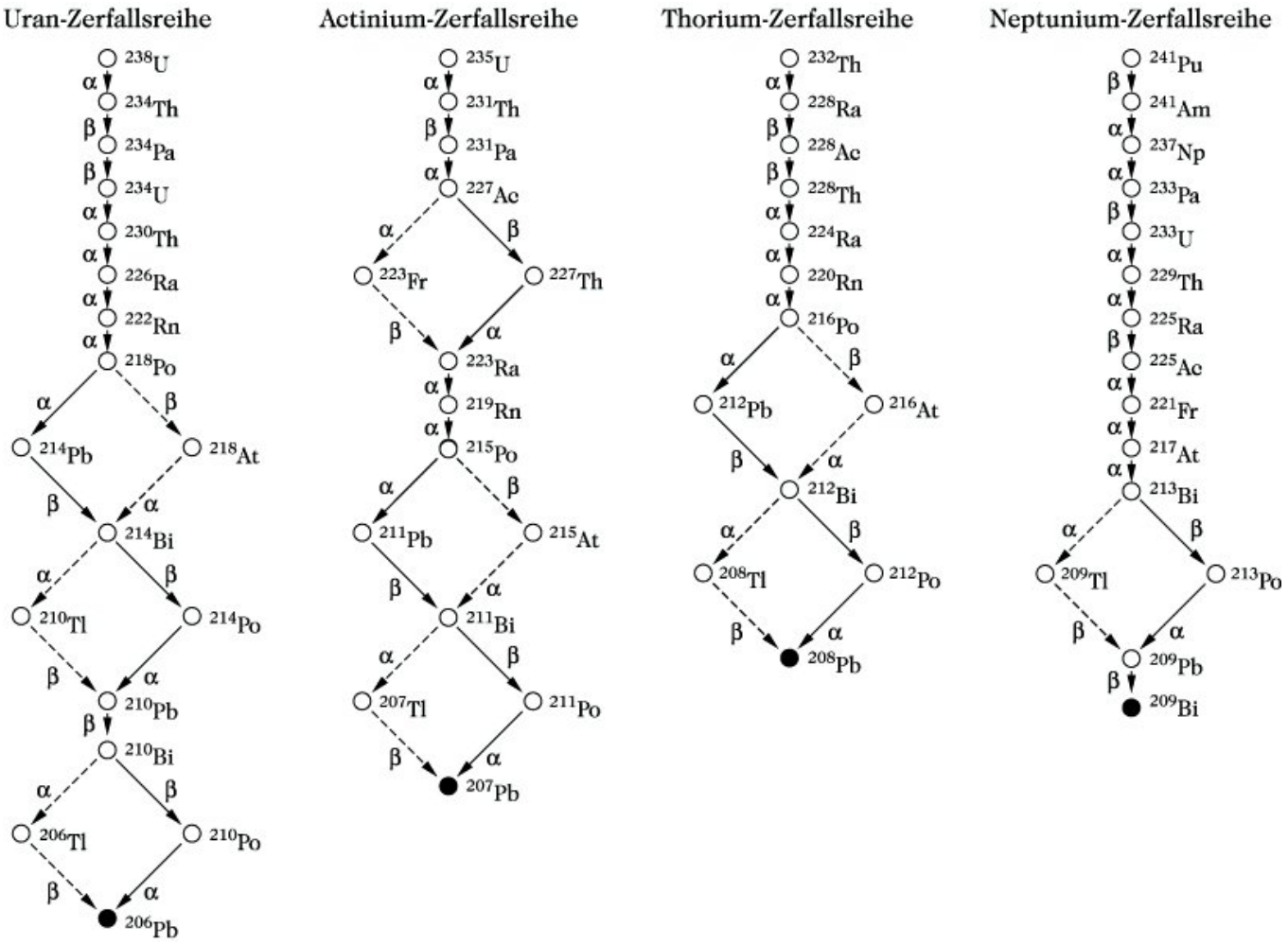
Elektromagnetische Strahlung



Teilchen-Strahlung

- α, $\beta^{\pm}$-Strahlung aus Kernzerfällen (ionisierend)
- Neutronen, Protonen, Elektronen (energieabhängig)
- Ionenstrahlung (Ionentherapie, Forschung) (Therapie: immer)

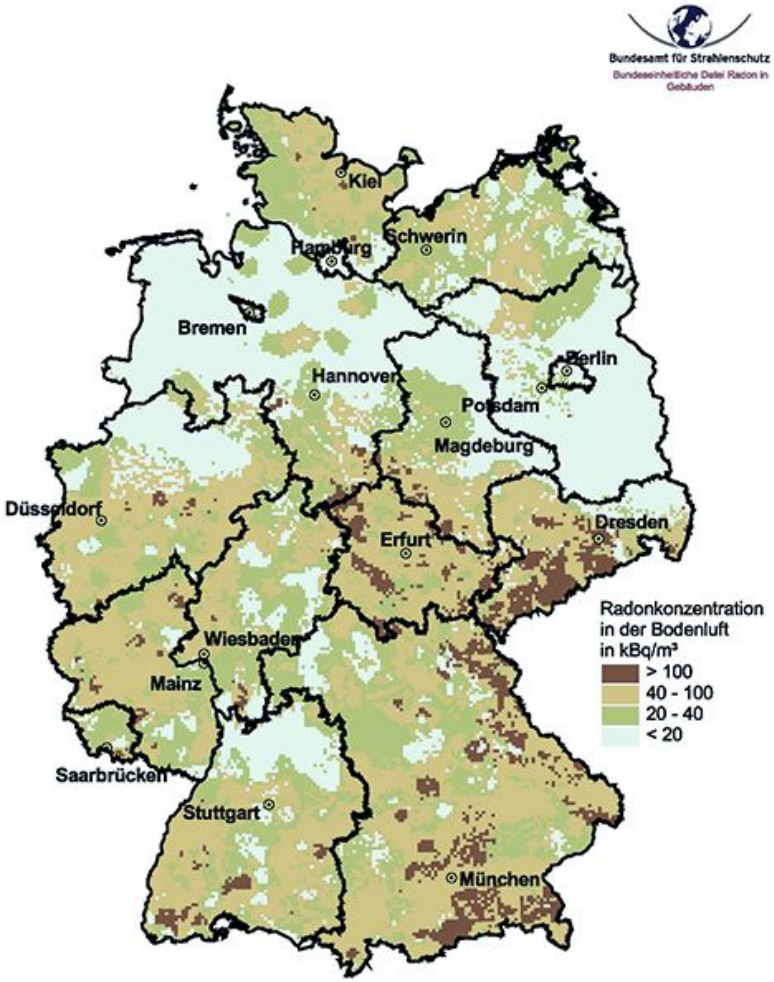
Natürliche Strahlenquellen: Zerfallsreihen



www.spektrum.de

Natürliche Strahlenquellen: Radon

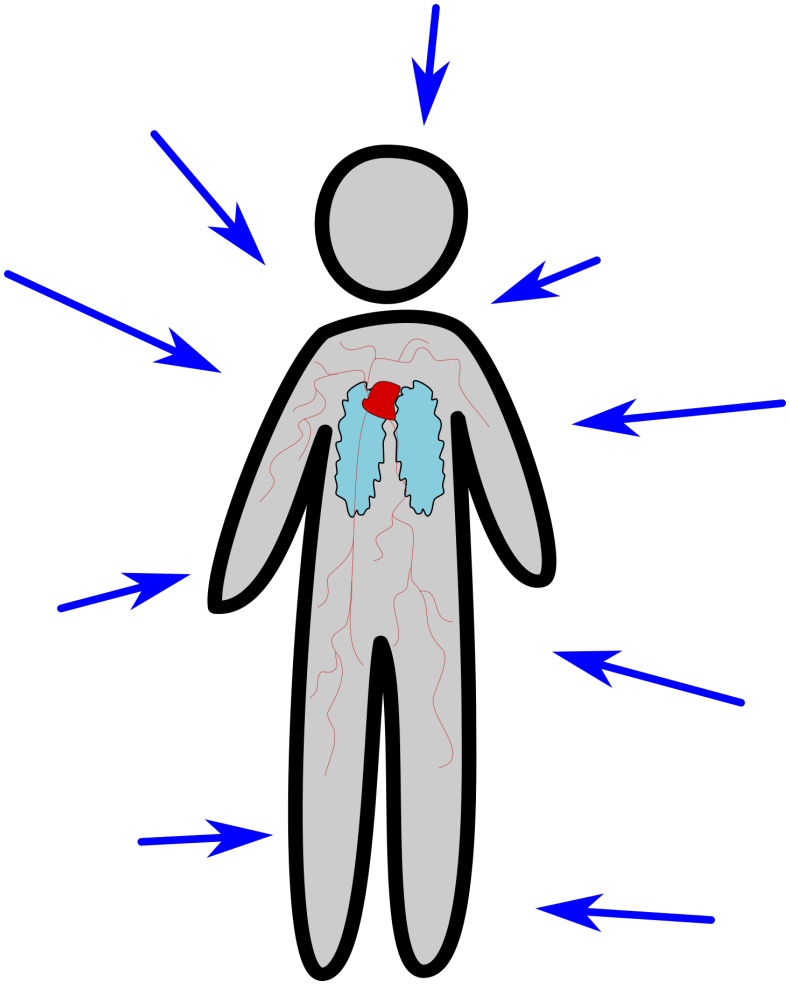
Bundesamt für Strahlenschutz



Natürliche Strahlenquellen

- Luft (z.B. Radon, Zerfallsreihen, ^{14}C)
- Nahrung (z.B. Zerfallsreihen, ^{40}K, ^{14}C, ^{87}Rb)
- äußere Exposition (Folgeprodukte der Kosmische Strahlung, Terrestrische Strahlung, Zerfallsreihen)

Natürliche Strahlenquellen

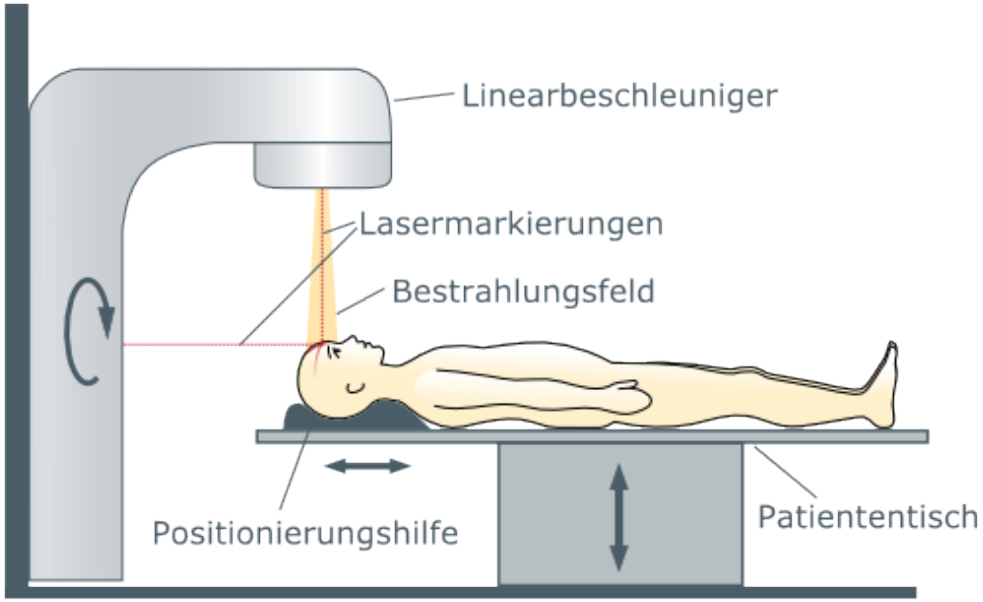


ca. 9000 Bq
davon 4500 Bq von ^{40}K, 3800 Bq von ^{14}C

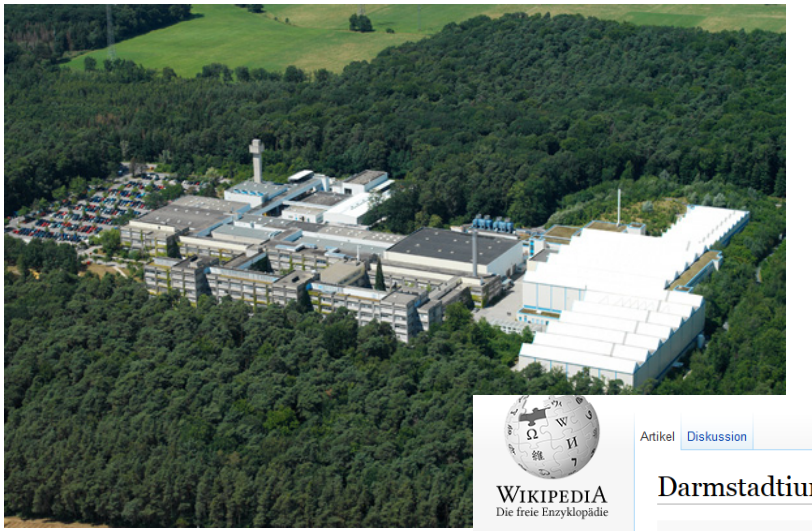
- Luft (z.B. Radon, Zerfallsreihen, ^{14}C)
  $\rightarrow$ Lunge, Blutbahn
- Nahrung (z.B. Zerfallsreihen, ^{40}K, ^{14}C, ^{87}Rb)
  $\rightarrow$ Gewebe, Nerven, Blutbahn
- äußere Exposition (Folgeprodukte der Kosmische Strahlung, Terrestrische Strahlung, Zerfallsreihen)
  $\rightarrow$ Haut

Künstliche Strahlenquellen

- Medizin (Röntgendiagnostik, Nuklearmedizin, Strahlentherapie)



Künstliche Strahlenquellen



www.helmholtz.de

- Medizin (Röntgendiagnostik, Nuklearmedizin, Strahlentherapie)
- Forschung

Wikipedia
Die freie Enzyklopädie

Hauptseite
Themenportale
Von A bis Z
Zufälliger Artikel

Mitmachen
Artikel verbessern
Neuen Artikel anlegen
Autorenportal
Hilfe
Letzte Änderungen
Kontakt
Spenden

Werkzeuge
Links auf diese Seite
Änderungen an verlinkten Seiten
Spezialseiten
Permanenter Link
Seiteninformationen
Wikidata-Datenobjekt
Artikel zitieren

Artikel | Diskussion | Lesen | Bearbeiten | Quelltext bearbeiten | Versionsgeschichte | Suchen

Darmstadtium

Dieser Artikel behandelt das chemische Element Darmstadtium, für das danach benannte *Darmstädter Wissenschafts- und Kongresszentrum darmstadtium* siehe Darmstadtium (Kongresszentrum).

Darmstadtium („Eka-Platin") ist ein ausschließlich künstlich erzeugtes chemisches Element mit dem Elementsymbol Ds und der Ordnungszahl 110. Es zählt zu den Transactinoiden (7. Periode, D-Block). Das Element gehört zur 10. IUPAC-Gruppe im Periodensystem der Elemente und damit zur Nickelgruppe.

Inhaltsverzeichnis [Verbergen]
1 Geschichte
2 Sicherheitshinweise
3 Verschiedenes
4 Einzelnachweise
5 Weblinks
6 Siehe auch

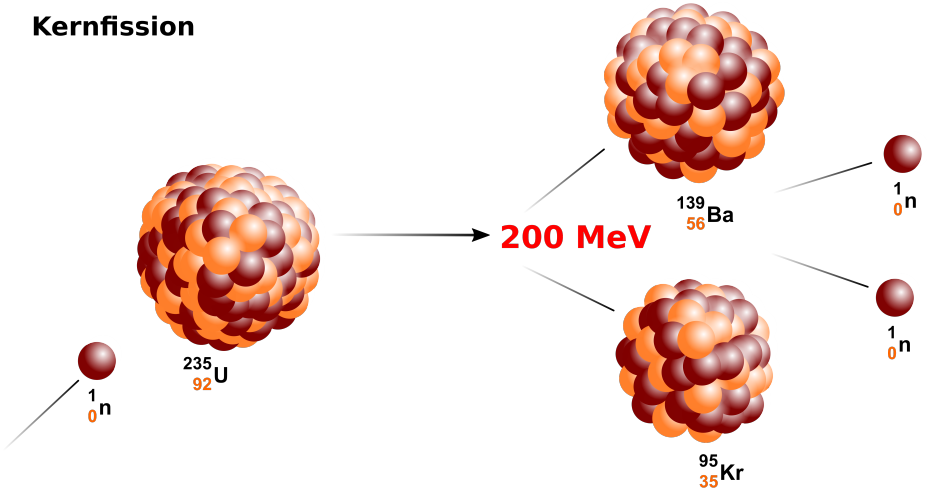
Eigenschaften	
[Rn] $5f^{14}$ $6d^{8}$ $7s^{2}$[1]	$_{110}$Ds
Periodensystem	
Allgemein	
Name, Symbol, Ordnungszahl	Darmstadtium, Ds, 110
Serie	Unbekannt
Gruppe, Periode, Block	10, 7, d
CAS-Nummer	54083-77-1
Atomar	
Atommasse	281 u
Elektronenkonfiguration	[Rn] $5f^{14}$ $6d^{8}$ $7s^{2}$[1]
Physikalisch	
Isotope	

Geschichte [Bearbeiten | Quelltext bearbeiten]

Darmstadtium wurde erstmals am 9. November 1994 bei der Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) in Darmstadt von Peter Armbruster und Gottfried Münzenberg, unter der Leitung von Sigurd Hofmann hergestellt. Das neue Element wurde durch Fusion eines Blei- und eines Nickel-Ions künstlich erzeugt. Der Kern des Isotops ^{269}Ds entstand durch

Künstliche Strahlenquellen

- Medizin (Röntgendiagnostik, Nuklearmedizin, Strahlentherapie)
- Forschung
- Kerntechnische Anlagen

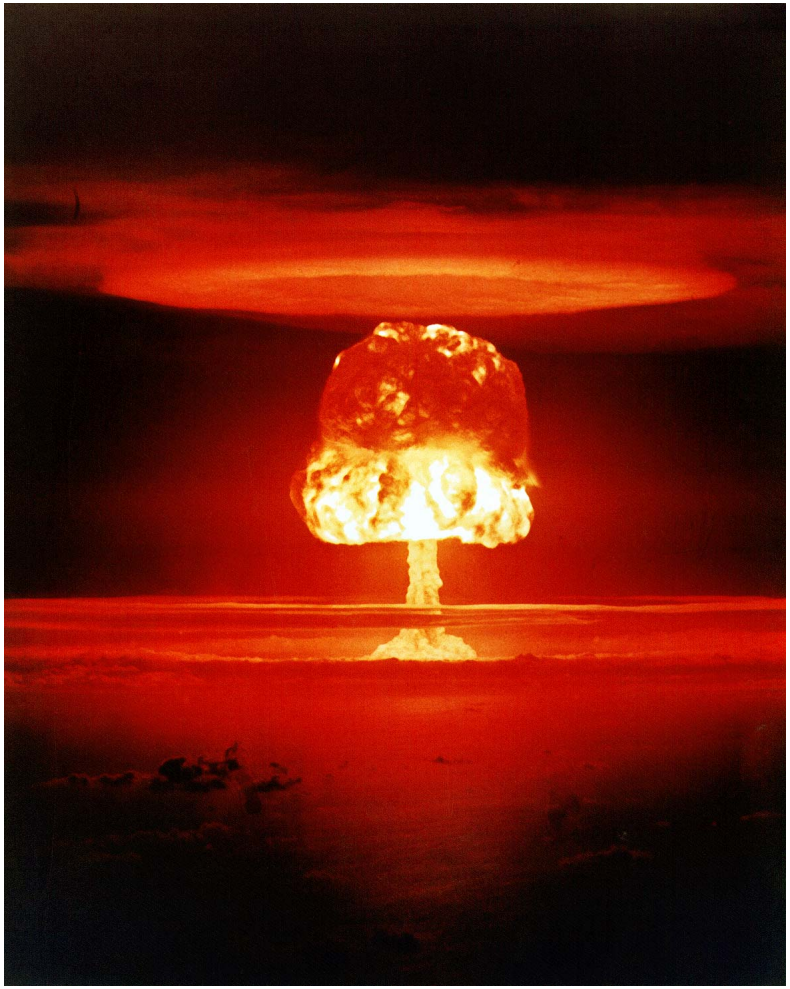


Künstliche Strahlenquellen

www.worlddestruction.net

- Medizin (Röntgendiagnostik, Nuklearmedizin, Strahlentherapie)
- Forschung
- Kerntechnische Anlagen
- Katastrophen (Tschernobyl, Fukushima)

Künstliche Strahlenquellen



National Nuclear Security Administration

Nevada Site Office Photo Library

- Medizin (Röntgendiagnostik, Nuklearmedizin, Strahlentherapie)
- Forschung
- Kerntechnische Anlagen
- Katastrophen (Tschernobyl, Fukushima)
- Atombomben (Hiroshima, Nagasaki,..)