
RC - 02

Definition der Radioaktivität

- **spontane Umwandlung instabiler Kerne unter Energieabgabe**
- **Energieabgabe erfolgt in Form ionisierender Strahlung**
 - * **direkt vom Atomkern aus**
 - * **indirekt durch die Kernumwandlung in der Elektronenhülle erzeugt**
- **spontaner exothermer Vorgang wird bezeichnet als:
radioaktive Umwandlung – radioaktiver Zerfall**
- **Arten der Umwandlungen:**
 - Alphaumwandlung
 - Betaumwandlung (β^- , β^+ , Elektroneneinfang)
 - Gammaübergänge (γ -Strahlung, Kernisomerie, innere Konversion, Mößbauer Effekt)
 - spontane Kernspaltung
 - spontane Nukleonenemission
 - spontane Emission schwerer Teilchen

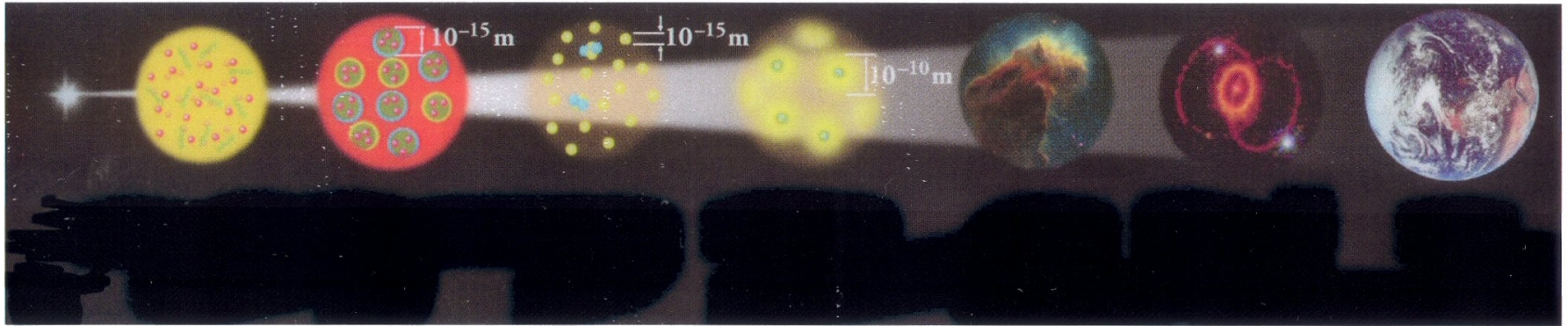
Radioaktivität

- **Eigenschaft vieler Stoffe, die in der Natur vorkommen**
- **Mensch hat kein Sinnesorgan zur direkten Wahrnehmung der Radioaktivität**
- **Phänomen der Radioaktivität erst Ende des 19. Jahrhunderts entdeckt**
- **entscheidende Auswirkungen auf Wissenschaft und Technik; auf Mensch und Umwelt**
- **„künstliche und natürliche“ Radioaktivität**

Verteilung der Elemente im Weltall und auf der Erde (Atom-%)

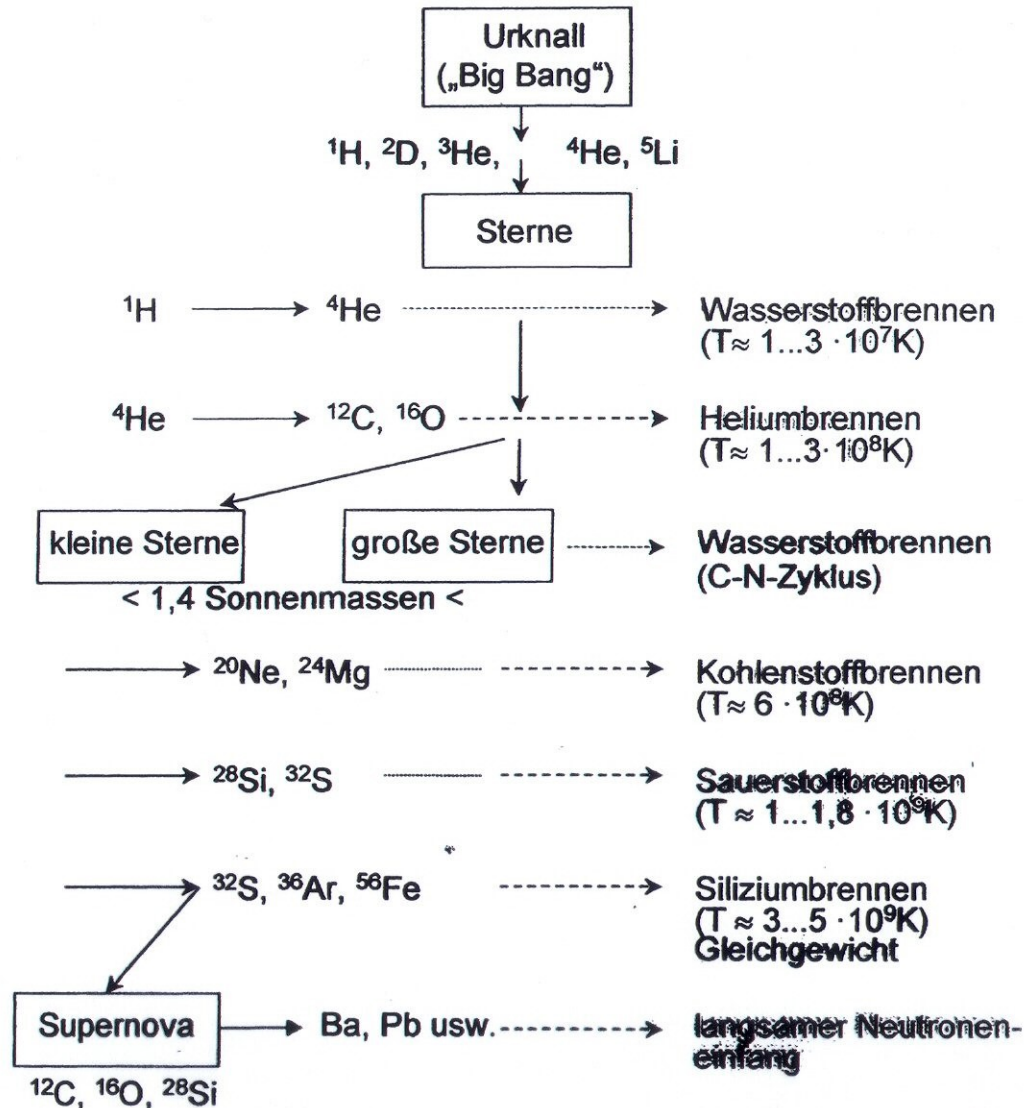
Z	Element	Weltall	Erde	Erdkruste	Hydrosphäre	Atmosphäre	Mensch
1	H	92,714	0,12	2,882	66,200		60,563
2	He	7,185					
3	Li			0,009			
4	Be						
5	B						
6	C	0,008	0,099	0,055	0,001	0,035	10,680
7	N	0,015	0,0003	0,007		78,03	2,44
8	O	0,050	48,880	60,425	33,100	21,0	25,67
9	F		0,0038	0,007			
10	Ne	0,020				0,002	
11	Na	0,0001	0,640	2,554	0,290		0,075
12	Mg	0,0021	12,500	1,784	0,034		0,011
13	Al	0,0002	1,300	6,251			
14	Si	0,0023	14,000	20,475			
15	P		0,14	0,079			0,13
16	S	0,0009	1,400	0,033	0,017		0,13
17	Cl		0,045	0,011	0,340		0,033
18	Ar	0,0003				0,933	
19	K		0,056	1,374	0,006		0,037
20	Ca	0,0001	0,46	1,878	0,006		0,23
21	Sc						
22	Ti		0,028	0,191			
23	V			0,004			
24	Cr			0,008			
25	Mn		0,056	0,037			
26	Fe	0,0014	18,870	1,858			
27	Co			0,001			
28	Ni	0,0001	1,400	0,003			
29	Cu			0,001			
30	Zn			0,002			
		99,999	99,998	99,999	99,994	99,998	99,999

Vom Big Bang zur heutigen Welt



Big Bang	Quark-Gluon Plasma	Protonen- & Neutronenbildung	Bildung von leichten Kernen	Bildung von neutralen Atomen	Bildung von Sternen	Ausbreitung von schweren Elementen	Heute
$T_{\text{Universum}}$	$> 10^{12} \text{ K}$	$> 10^{12} \text{ K}$	$> 10^9 \text{ K}$	4.000 K	20 K – 3 K	$< 20 \text{ K} - 3 \text{ K}$	3 K
Zeit	10^{-6} s	10^{-4} s	3 min	400.000 Jahre	$1 \times 10^9 \text{ Jahre}$	$> 1 \times 10^9 \text{ Jahre}$	$15 \times 10^9 \text{ Jahre}$

Kernaufbau- und Kernzerfallsreaktionen in Sternen



1.2 Periodensystem, Nuklidkarte, Kernaufbau, Kernstabilität

- Periodensystem, Nuklidkarte

Darstellungsvariante des Periodensystems I

Periodic Table of the Elements



Glenn T. Seaborg

atomic number atomic weight

symbol: black solid blue liquid red gas white synthetically prepared most stable isotope

name

alkali metals
alkaline earth metals
transitional metals
other metals
nonmetals
noble gases

1 H Hydrogen	2 He Helium																
3 Li Lithium	4 Be Beryllium																
11 Na Sodium	12 Mg Magnesium																
19 K Potassium	20 Ca Calcium	21 Sc Scandium	22 Ti Titanium	23 V Vanadium	24 Cr Chromium	25 Mn Manganese	26 Fe Iron	27 Co Cobalt	28 Ni Nickel	29 Cu Copper	30 Zn Zinc	31 Ga Gallium	32 Ge Germanium	33 As Arsenic	34 Se Selenium	35 Br Bromine	36 Kr Krypton
37 Rb Rubidium	38 Sr Strontium	39 Y Yttrium	40 Zr Zirconium	41 Nb Niobium	42 Mo Molybdenum	43 Tc Technetium	44 Ru Ruthenium	45 Rh Rhodium	46 Pd Palladium	47 Ag Silver	48 Cd Cadmium	49 In Indium	50 Sn Tin	51 Sb Antimony	52 Te Tellurium	53 I Iodine	54 Xe Xenon
55 Cs Cesium	56 Ba Barium	57 La Lanthanum	72 Hf Hafnium	73 Ta Tantalum	74 W Tungsten	75 Re Rhenium	76 Os Osmium	77 Ir Iridium	78 Pt Platinum	79 Au Gold	80 Hg Mercury	81 Tl Thallium	82 Pb Lead	83 Bi Bismuth	84 Po Polonium	85 At Astatine	86 Rn Radon
87 Fr Francium	88 Ra Radium	89 Ac Actinium	104 Rf Rutherfordium	105 Ha Hahnium	106 Sg Seaborgium	107 Ns Nielsbohrium	108 Hs Hassium	109 Mt Meitnerium	110 (271)	111 (272)	112 (277)	(113)	(114)	(115)	(116)	(117)	(118)

Lanthanide series

58 Ce Cerium	59 Pr Praseodymium	60 Nd Neodymium	61 Pm Promethium	62 Sm Samarium	63 Eu Europium	64 Gd Gadolinium	65 Tb Terbium	66 Dy Dysprosium	67 Ho Holmium	68 Er Erbium	69 Tm Thulium	70 Yb Ytterbium	71 Lu Lutetium
--------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	----------------------	----------------------	------------------------	---------------------	------------------------	---------------------	--------------------	---------------------	-----------------------	----------------------

Actinide series

90 Th Thorium	91 Pa Protactinium	92 U Uranium	93 Np Neptunium	94 Pu Plutonium	95 Am Americium	96 Cm Curium	97 Bk Berkelium	98 Cf Californium	99 Es Einsteinium	100 Fm Fermium	101 Md Mendelevium	102 No Nobelium	103 Lr Lawrencium
---------------------	--------------------------	--------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	--------------------	-----------------------	-------------------------	-------------------------	----------------------	--------------------------	-----------------------	-------------------------

- Mit Originalunterschrift von Glenn T. Seaborg, u.a. Entdecker des Pu

Darstellungsvariante des Periodensystems II

1 1A New Original												18											
		Alkali Metals		Actinide series						C Solid				18									
		Alkaline earth Metals		Other Metals		Br Liquid								He									
		Transition metals		Nonmetals		H Gas								4.002602									
		Lanthanide series		Noble gases						Tc													
1 H Hydrogen 1.00794		2 He Helium 4.002602										13 B Boron 10.811		14 C Carbon 12.0107		15 N Nitrogen 14.00644		16 O Oxygen 15.9994		17 F Fluorine 18.9984032		18 Ne Neon 20.1797	
3 Li Lithium 6.941		4 Be Beryllium 9.012182										13 Al Aluminum 26.981538		14 Si Silicon 28.0855		15 P Phosphorus 30.973761		16 S Sulfur 32.06		17 Cl Chlorine 35.4527		18 Ar Argon 39.948	
11 Na Sodium 22.989770		12 Mg Magnesium 24.3050		3 III A		4 IV A		5 V A		6 VI A		7 VII A		8 VIII A		9 IX A		10 X A		11 XI A		12 XII A	
19 K Potassium 39.0983		20 Ca Calcium 40.078		21 Sc Scandium 44.955910		22 Ti Titanium 47.867		23 V Vanadium 50.9415		24 Cr Chromium 51.9961		25 Mn Manganese 54.938049		26 Fe Iron 55.8457		27 Co Cobalt 58.933200		28 Ni Nickel 58.6934		29 Cu Copper 63.546		30 Zn Zinc 65.39	
37 Rb Rubidium 85.4678		38 Sr Strontium 87.62		39 Y Yttrium 88.90585		40 Zr Zirconium 91.224		41 Nb Niobium 92.90638		42 Mo Molybdenum 95.94		43 Tc Technetium (98)		44 Ru Ruthenium 101.07		45 Rh Rhodium 102.90550		46 Pd Palladium 106.42		47 Ag Silver 107.8682		48 Cd Cadmium 112.411	
55 Cs Cesium 132.90545		56 Ba Barium 137.327		57 to 71		72 Hf Hafnium 178.49		73 Ta Tantalum 180.9479		74 W Tungsten 183.84		75 Re Rhenium 186.207		76 Os Osmium 190.23		77 Ir Iridium 192.217		78 Pt Platinum 195.078		79 Au Gold 196.96655		80 Hg Mercury 200.59	
87 Fr Francium (223)		88 Ra Radium (226)		89 to 103		104 Rf Rutherfordium (261)		105 Db Dubnium (262)		106 Sg Seaborgium (263)		107 Bh Bohrium (262)		108 Hs Hassium (265)		109 Mt Meitnerium (266)		110 Uun Ununium (269)		111 Uuu Ununium (272)		112 Uub Unubium (277)	
						113		114 Uuq Ununquadium (285)		115		116 Uuh Ununhexium (289)		117		118 Uuo Ununoctium (293)							

Atomic masses in parentheses are those of the most stable or common isotope.

Web Page Design Copyright © 1997-1999 Michael O'Leary, <http://www.danah.com/periodic/>

Note: The subgroup numbers 1-18 were adopted in 1984 by the International Union of Pure and Applied Chemistry. The names of elements 110-118 are the Latin equivalents of those numbers.

57 La Lanthanum 138.9055	58 Ce Cerium 140.118	59 Pr Praseodymium 140.90768	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.92534	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93032	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93421	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.967
89 Ac Actinium (227)	90 Th Thorium 232.0381	91 Pa Protactinium 231.03688	92 U Uranium 238.0289	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (262)

Darstellungsvariante des Periodensystems III

Periodensystem der Elemente

																		VIII										
												III	IV	V	VI	VII												
1	H Wasserstoff																	2	He Helium	K								
2	3 Li Lithium	4 Be Beryllium											5 B Bor	6 C Kohlenstoff	7 N Stickstoff	8 O Sauerstoff	9 F Fluor	10 Ne Neon	L									
3	11 Na Natrium	12 Mg Magnesium	III a	IV a	V a	VI a	VII a	VIII a					I a	II a	13 Al Aluminium	14 Si Silicium	15 P Phosphor	16 S Schwefel	17 Cl Chlor	18 Ar Argon	M							
4	19 K Kalium	20 Ca Calcium	21 Sc Scandium	22 Ti Titan	23 V Vanadium	24 Cr Chrom	25 Mn Mangan	26 Fe Eisen	27 Co Kobalt	28 Ni Nickel	29 Cu Kupfer	30 Zn Zink	31 Ga Gallium	32 Ge Germanium	33 As Arsen	34 Se Selen	35 Br Brom	36 Kr Krypton	N									
5	37 Rb Rubidium	38 Sr Strontium	39 Y Yttrium	40 Zr Zirkonium	41 Nb Niob	42 Mo Molybdän	43 Tc Technetium	44 Ru Ruthenium	45 Rh Rhodium	46 Pd Palladium	47 Ag Silber	48 Cd Cadmium	49 In Indium	50 Sn Zinn	51 Sb Antimon	52 Te Tellur	53 I Iod	54 Xe Xenon	O									
6	55 Cs Cäsium	56 Ba Barium	57 La Lanthan	72 Hf Hafnium	73 Ta Tantal	74 W Wolfram	75 Re Rhenium	76 Os Osmium	77 Ir Iridium	78 Pt Platin	79 Au Gold	80 Hg Quecksilber	81 Tl Thallium	82 Pb Blei	83 Bi Bismut	84 Po Polonium	85 At Astat	86 Rn Radon	P									
7	87 Fr Francium	88 Ra Radium	89 Ac Actinium	104 Rf Rutherfordium	105 Db Dubnium	106 Sg Seaborgium	107 Bh Bohrium	108 Hs Hassium	109 Mt Meitnerium	110 Ds Darmstadtium	111 Rg Roentgenium	112 Cn Copernicium	113 Nh Nihonium	114 Fl Flerovium	115 Mc Moscovium	116 Lv Livermorium	117 Ts Tenness	118 Og Oganesson	Q									

58 Ce Cer	59 Pr Praseodym	60 Nd Neodym	61 Pm Promethium	62 Sm Samarium	63 Eu Europium	64 Gd Gadolinium	65 Tb Terbium	66 Dy Dysprosium	67 Ho Holmium	68 Er Erbium	69 Tm Thulium	70 Yb Ytterbium	71 Lu Lutetium
90 Th Thorium	91 Pa Protactinium	92 U Uran	93 Np Neptunium	94 Pu Plutonium	95 Am Americium	96 Cm Curium	97 Bk Berkelium	98 Cf Californium	99 Es Einsteinium	100 Fm Fermium	101 Md Mendelevium	102 No Nobelium	103 Lr Lawrencium

Nichtmetalle	Alkalimetalle	Lanthanoide
Erdalkalimetalle	Übergangsmetalle	
Metalle		
Halbmetalle	Actinoide	
Halogene		
Edelgase		

Ordnungszahl	Na ← Festes Element
Elementsymbol	H ← Gasförmiges Element
Elementname	Br ← Flüssiges Element
	Ra ← Radioaktives Element

- aktualisiert 6/2018

Entdeckung der Elemente

- **stabile Elemente:**

ein großer Teil der Lücken im PSE wurde noch im vergangenen Jahrhundert geschlossen

zuletzt wurden gefunden: Hafnium (Hf, 1922), Rhenium (Rh, 1925)

- **in der Natur vorkommende radioaktive Elemente:**

Uran (U, 1789), Thorium (Th, 1828),

Zerfallsprodukte des Urans und Thoriums:

Polonium (Po), Radon (Rn), Francium (Fr), Radium (Ra), Actinium (Ac), Protactinium (Pa)

- **künstliche Elemente:**

fehlte noch $Z = 43$ Technetium (Tc), $Z = 85$ Astat (At)

Herstellung durch Kernreaktionen: Neptunium (Np), Plutonium (Pu), Americium (Am) usw.

- **Synthese schwerster Elemente:**

z .B. Hassium, Roentgenium, Copernicium, E-114, E-116, E-118

Periodensystem



ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ

ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ

		Ti=50	Zr= 90	?=180.	
		V=51	Nb= 94	Ta=182.	
		Cr=52	Mo= 96	W=186.	
		Mn=55	Rh=104,4	Pt=197,4	
		Fe=56	Ru=104,4	Ir=198	
		Ni=59	Pd=106,4	Os=192	
		Cu=63,4	Ag=108	Hg=200	
H=1		Se= 9,4	Mg=24	Zn=65,2	Cd=112
	B=11	Al=27,4	?=68	U=116	Au=197?
	C=12	Si=28	?=70	Sn=118	
	N=14	P=31	As=75	Sb=122	Bi=210?
	O=16	S=32	Se=78,4	Te=126?	
	F=19	Cl=35,4	Br=80	I=127	
Li=7	Na=23	K=39	Rb=85,4	Cs=133	Tl=204
		Ca=40	Sr=87,4	Ba=137	Pb=207.
		?=45	Ce=92		
		?Er=56	La=94		
		?Yt=60	Di=95		
		?In=75,4	Tb=118?		

Д. Менделѣевъ

Suche nach einem Ordnungssystem für die bekannten Elemente:

- 1829 J.W. Döbereiner

Triadenregel

Element	Masse
Calcium	Ca 40,078 u
Strontium	Sr 87,62 u
Barium	Ba 137,327 u

Mittelwert von Ca und Ba = 88,5 u

Diese Erkenntnis wurde in seiner Arbeit „Versuch zu einer Gruppierung der elementaren Stoffe nach ihrer Analogie“ veröffentlicht. Er ordnete dabei 30 von damals 53 bekannten Elemente in

Dreiergruppen, den „**Triaden**“ an

- 1869 L. Meyer, D. Mendelejew

verwandtschaftliche Beziehungen in chemischen und physikalischen Eigenschaften,
Grundregeln der Veränderungen
bei schweren Elementen relativistischen Effekt beachten

- 1913 H. J. G. Moseley

freie Felder im PSE, Voraussagen möglich (für genaue Einordnung Moseleysches Gesetz wichtig)

- Kernladungszahl = Zahl der Protonen / Elektronen = Ordnungszahl

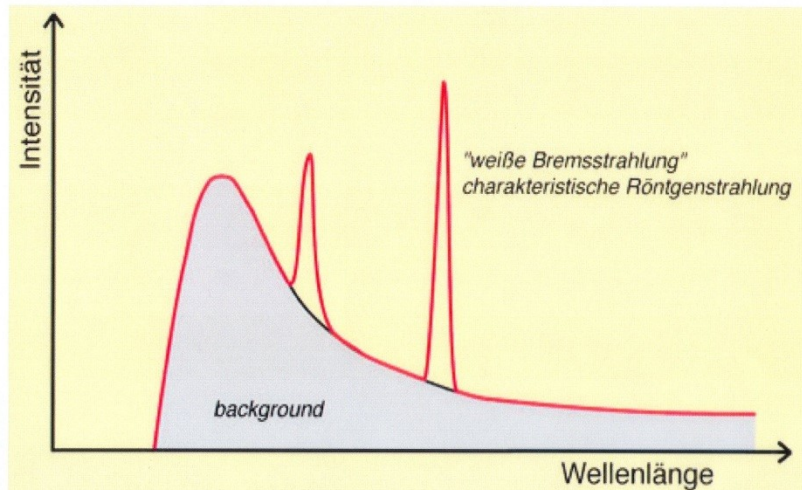
Moseleysches Gesetz (1913)

- Wurzel aus der Frequenz ν einer bestimmten Serie von Röntgenstrahlen proportional zur Ordnungszahl

$$\sqrt{\nu} = a (Z-b)$$
$$\Rightarrow \nu = a (Z-b)^2$$

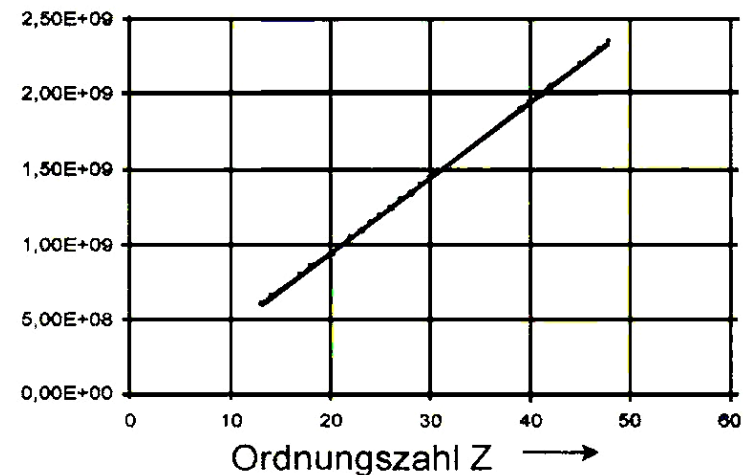
a, b Konstanten, b für Linien einer gegebenen Serie gleich (z. B. K_α)

Frequenz der abgegebenen Röntgenstrahlung ist proportional zum Quadrat der um 1 verringerten Kernladungszahl



$\sqrt{\nu}$

K_α Elektronenübergang L- zu K-Schale)



Der englische Physiker Henry Gwyn Jeffreys Moseley (1887-1915) war der erste, der den Zusammenhang zwischen Kernladungszahl Z eines Elementes (Ordnungszahl) und der für dieses Element kennzeichnenden Röntgenstrahlung erkannte.

Periodizität

Relativistischer Effekt:

- Nicht mehr klare Periodizität der Eigenschaftsänderungen mit steigender Ordnungszahl

Isotopie

**Untersuchung der natürlich vorkommenden Elemente führte zur Erkenntnis, dass ein Element in Form von verschiedenen Atomarten auftreten kann
(Massenunterschied, Ausnutzung zur Trennung)**

- 1913 Vorschlag von F. Soddy:
Atomarten haben gleichen Platz im PSE ➞ Isotop (auf gleichem Platz)
- z. B. Zinn (Sn) hat 10 stabile, 18 instabile (radioaktive) Isotope
- „natürliche Reinelemente“ eine stabile Atomart: Be, F, Na, Al, P, I

Beispiel:

Fe (Eisen)

- Relative Atommasse: 55,847

- Natürliche Häufigkeit:

^{52}Fe	5,82 %
^{56}Fe	91,18%
^{57}Fe	2,10%
^{58}Fe	0,28%

- Bekannt insgesamt: 24 Isotope

Kennzeichnung der Atomarten

- verschiedene Atomarten, die sich durch Massen- oder Ordnungszahl unterscheiden = Nuklide

- IUPAC-Regel



E = Elementsymbol **A** = Massezahl, Nukleonenzahl **Z** = Ordnungszahl

- zur Charakterisierung von radioaktiven Nukliden noch wichtig:

Halbwertszeit, Art und Energie der Strahlung

- Schema des PSE zum Eintrag aller Nuklide unzureichend:

Übergang zur Nuklidkarte

Status: ca. 270 stabile Nuklide und über 2000 instabile Nuklide bekannt

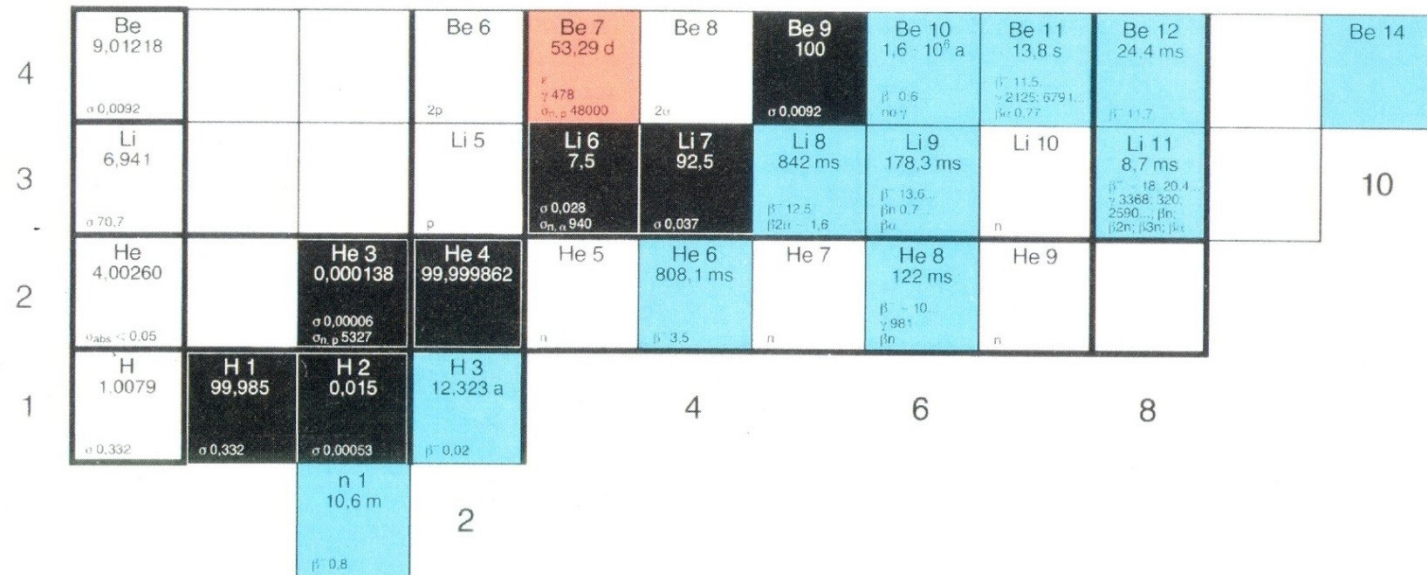
Nuklidkarte

es hat sich als zweckmäßig erwiesen, alle Nuklide im Z (Ordinate), N (Abszisse) Diagramm aufzutragen



Z = Protonenzahl

N = Neutronenzahl ($N = A - Z$)




Ablesbare Angaben in Nuklidkarte

- Elementsymbol
- Nukleonenzahl
- Häufigkeit in der Natur
- Charakteristik der radioaktiven Umwandlung
- Einfangquerschnitt

Stabil 

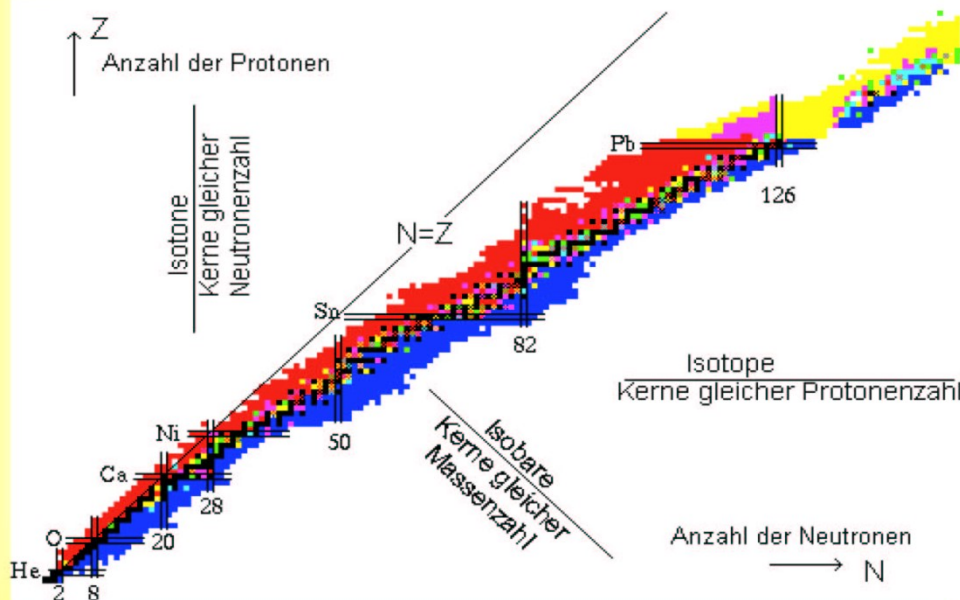
β^- 

β^+ 

α 

84	207Po 5.80 H α: 99.98% α: 0.02%	208Po 2.898 Y α: 100.00% ε: 4.0E-3%	209Po 102 Y α: 99.52% ε: 0.48%	210Po 138.376 D α: 100.00%	211Po 0.516 S α: 100.00%	212Po 0.299 μS α: 100.00%	213Po 3.72 μS α: 100.00%	214Po 164.3 μS α: 100.00%	215Po 1.781 MS α: 100.00% β-: 2.3E-4%	216Po 0.145 S α: 100.00%	217Po 1.53 S α	218Po 3.098 M α: 99.98% β-: 0.02%	219Po >300 NS β-	220Po >300 NS β-		
	206Bi 6.243 D ε: 100.00%	207Bi 32.9 Y ε: 100.00%	208Bi 3.68E+5 Y ε: 100.00%	209Bi STABLE 100% β-: 100.00% α: 1.3E-4%	210Bi 5.012 D β-: 100.00% α: 1.3E-4%	211Bi 2.14 M α: 99.72% β-: 0.28%	212Bi 60.55 M β-: 64.06% α: 35.94%	213Bi 45.59 M β-: 97.80% α: 2.20%	214Bi 19.9 M β-: 99.98% α: 0.02%	215Bi 7.6 M β-: 100.00%	216Bi 2.25 S β-: 100.00%	217Bi 98.5 S β-: 100.00%	136		138	
82	205Pb 1.73E+7 Y ε: 100.00%	206Pb STABLE 24.1%	207Pb STABLE 22.1%	208Pb STABLE 52.4%	209Pb 3.253 H β-: 100.00%	210Pb 22.20 Y β-: 100.00% α: 1.9E-6%	211Pb 36.1 M β-: 100.00%	212Pb 10.64 H β-: 100.00%	213Pb 10.2 M β-: 100.00%	214Pb 26.8 M β-: 100.00%	215Pb 36 S β-: 100.00%					
	204Tl 3.78 Y β-: 97.10% ε: 2.90%	205Tl STABLE 70.476%	206Tl 4.200 M β-: 100.00%	207Tl 4.77 M β-: 100.00%	208Tl 3.053 M β-: 100.00%	209Tl 2.20 M β-: 100.00%	210Tl 1.30 M β-: 100.00% β-h: 7.0E-3%	211Tl >300 NS β-	212Tl >300 NS β-							
80	203Hg 46.594 D β-: 100.00%	204Hg STABLE 6.87%	205Hg 5.14 M β-: 100.00%	206Hg 8.15 M β-: 100.00%	207Hg 2.9 M β-: 100.00%	208Hg 41 M β-: 100.00%	209Hg 35 S β-: 100.00%	210Hg >300 NS β-								
	123	125	127		129		131	132	134							

Die Nuklidkarte



Schreibweise:
(X=Elementsymbol)



Stabiles
Nuklid

C 12 ← Elementsymbol und Nukleonenzahl
98,89 ← Isotopenhäufigkeit in Atom prozent

β^- - Zerfall
(Negatronen)

Sr 90 ← Elementsymbol und Nukleonenzahl
28,5a ← Halbwertszeit
 β^- 0,5 ← maximale β^- -Energie in MeV
 γ - ← γ -keine

β^+ - Zerfall
(Positronen)
Elektroneneinfang

Sm 142 ← Elementsymbol und Nukleonenzahl
72,4m ← Halbwertszeit
 ϵ ← Elektroneneinfang
 β^+ 1,0 ← maximale β^+ -Energie in MeV

α - Zerfall

Am 241 ← Elementsymbol und Nukleonenzahl
433a ← Halbwertszeit
 α 5,4 ← α -Energie in MeV
 γ 60 ← γ -Energie in keV

Spontaner Zerfall

Fm 244 ← Elementsymbol und Nukleonenzahl
3,3ms ← Halbwertszeit
sf ← Spontane Spaltung (fission)

Kern zeigt
verschiedene Zerfälle
mit gleicher Häufigkeit

Bi 212 ← Elementsymbol und Nukleonenzahl
60,55m ← Halbwertszeit
 α 6,05 ← α -Energie in MeV
 β^- 2,03 ← β^- -Energie in MeV
 γ 0,727 ← γ -Energie in keV

Nuklidkarte (Nuklideinteilung)

- Isotope:

gleiche Protonenzahl, ungleiche Nukleonenzahl

$Z = \text{const.}$, parallel zur N-Achse, chemisch gleich, Unterschiede in Nukleonenzahl, Kernvolumen, Kerndrehimpuls, mag. Dipolmoment

$^{20}_{10}\text{Ne}$, $^{21}_{10}\text{Ne}$ usw.

- Isotone:

gleich Neutronenzahl, unterschiedliche Protonenzahl

$N = \text{const.}$, parallel zur Z-Achse

^3_1H , ^4_2He , ^5_3Li

- Isobare:

Nuklide mit Atomkernen gleicher Nukleonenzahl

$N + Z = \text{const.}$, Diagonalreihen

$^{17}_7\text{N}$, $^{17}_8\text{O}$, $^{17}_9\text{F}$

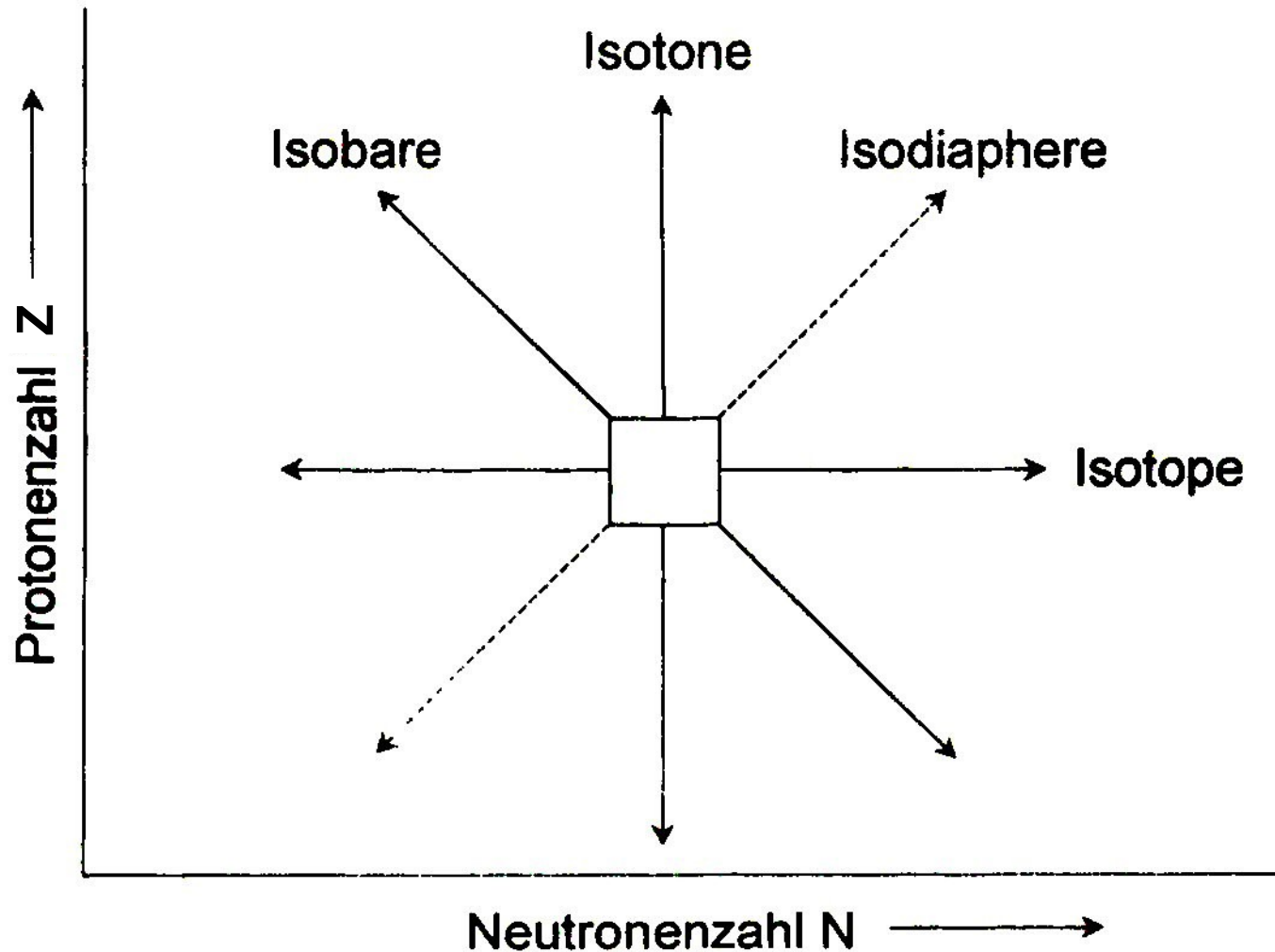
- Isodiaphere:

Nuklide, deren Kerne den selben Neutronenüberschuss haben

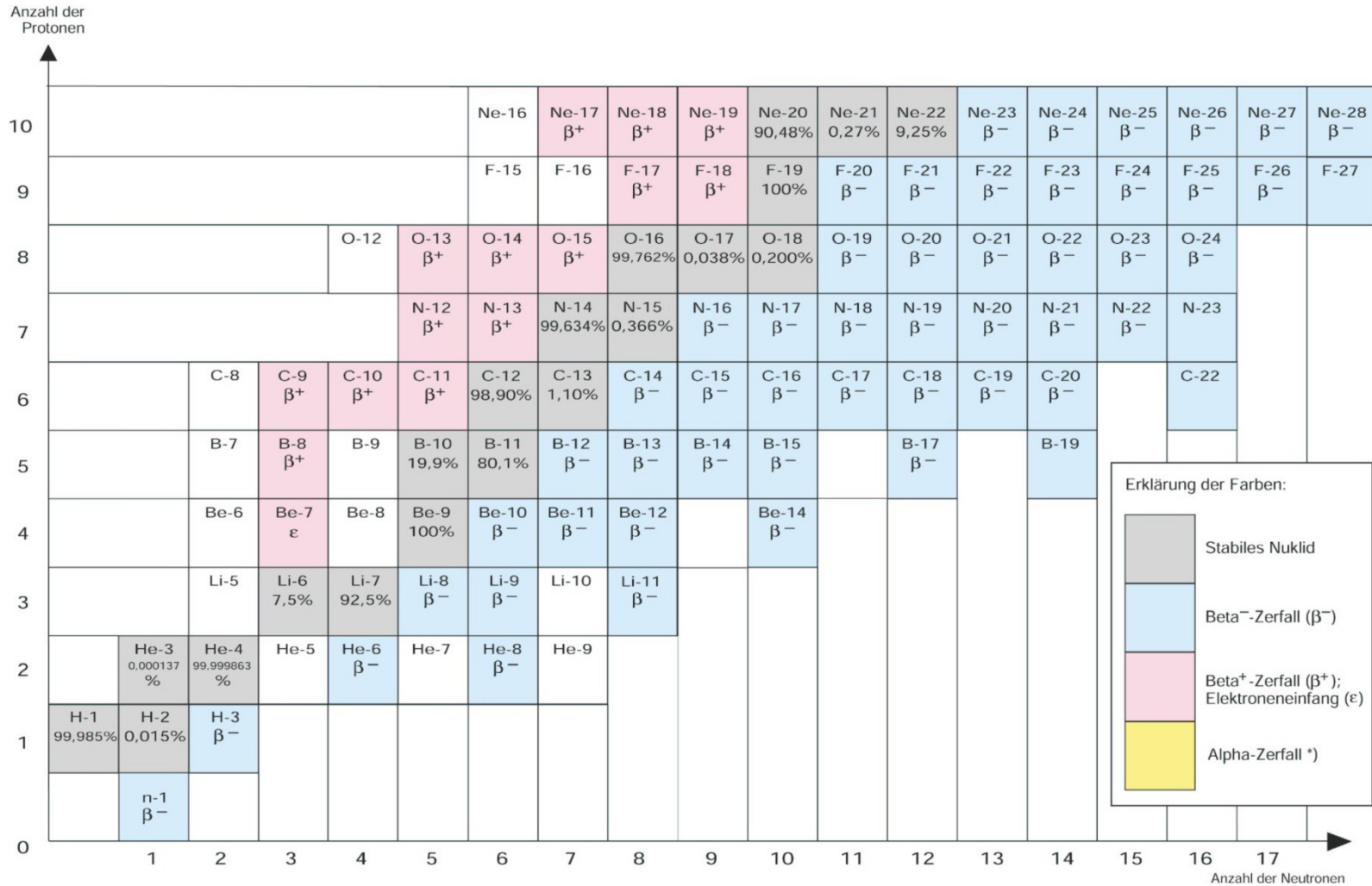
$N - Z = \text{const.}$, Diagonalreihen

^7_3Li , ^9_4Be , $^{15}_7\text{N}$

Anordnung der Isotope, Isotone, Isobare, Isodiaphere in der Nuklidkarte



Nuklidkarte



*Kommt in diesem Teil der Nuklidkarte nicht vor.

- Kernaufbau und Kernstabilität

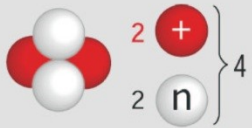
Kernaufbau

- Atome haben Durchmesser von etwa 10^{-10} m, Atomkern 10^{-14} m (Rutherford'sches Streuexperiment)
- positiv geladener Kern und Elektronenhülle
Ladungsausgleich im Grundzustand
- Differenz zwischen Neutronen- (N) und Protonenzahl (Z)
= Neutronenüberschuss (NS)

$$NS = N - Z = A - 2Z$$

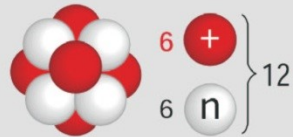
A = Massenzahl, Nukleonenzahl

Aufbau der Atomkerne im Modell



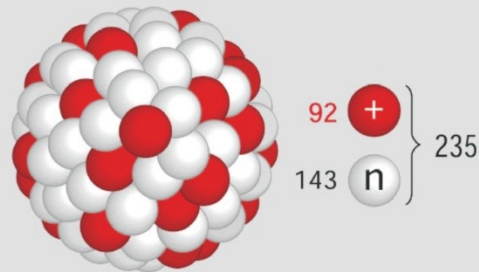
${}^4_2\text{He}$

Kern eines
Heliumatoms



${}^{12}_6\text{C}$

Kern eines
Kohlenstoffatoms



${}^{235}_{92}\text{U}$

Kern eines
Uranatoms

Massenzahl:

Gesamtzahl der
Protonen und
Neutronen

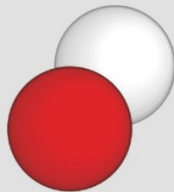
**Kernladungs-
zahl:**

Anzahl der
Protonen



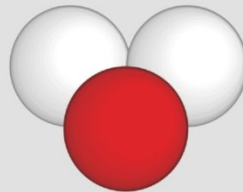
Proton

${}^1_1\text{H}$



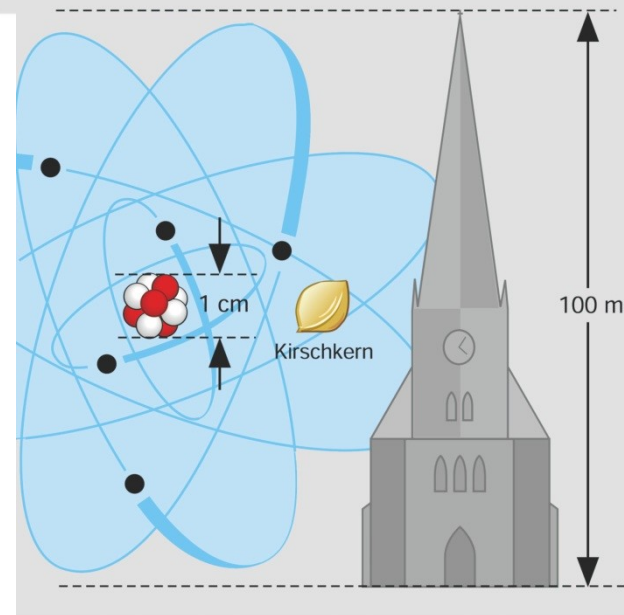
Deuteron

${}^2_1\text{H}$



Triton

${}^3_1\text{H}$



Quelle:

Veranschaulichung Atomkern

Kernmasse

- Massen der Atome liegen in der Größenordnung von 10^{-27} kg (H) bis 10^{-25} kg (schwere Kerne)
- um Rechnen zweckmäßiger zu gestalten wurde anstelle der absoluten die relative Atommasse eingeführt
- die relative Atommasse gibt an, wie viel größer die Ruhemasse eines Nuklids als die atomare Masseneinheit (u) ist
- als atomare Masseneinheit (u) wird der 12. Teil der Ruhemasse eines Atoms des Nuklids $^{12}_6\text{C}$ definiert:

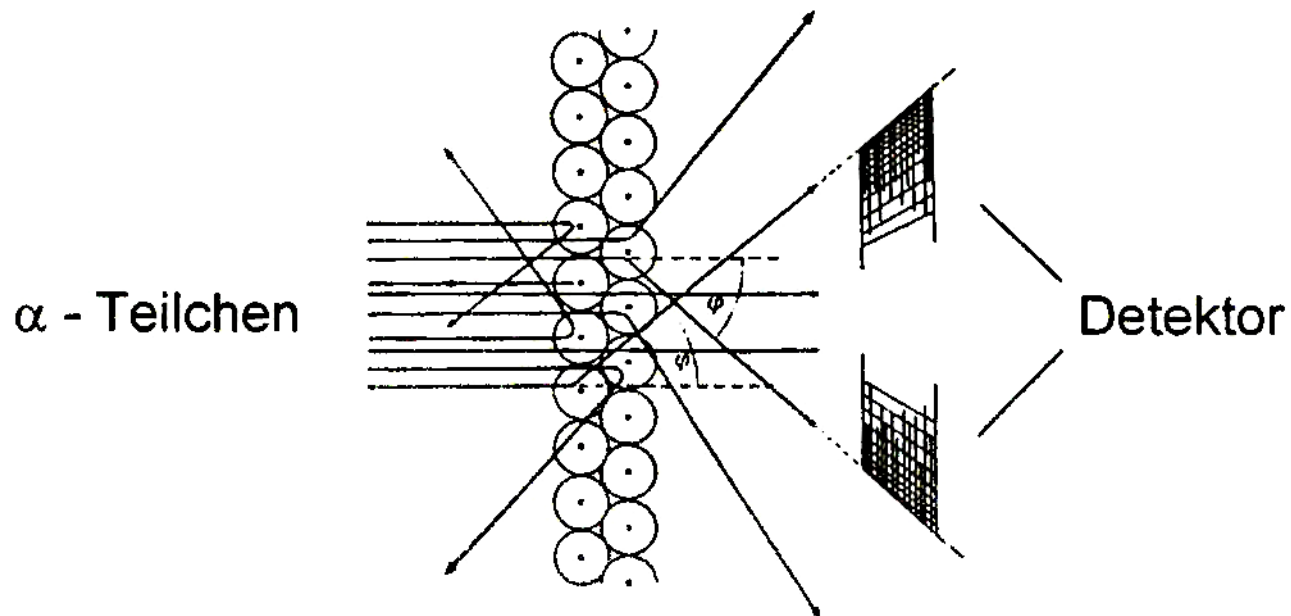
$$m_u = 1/12 m_a(^{12}_6\text{C}) = 1 \text{ u}$$

- Umrechnung zwischen atomarer Masseneinheit und SI Einheit:

$$1 \text{ u} = 1,66654 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

Rutherfordsches Streuexperiment (1911)

- Streuung eines eng gebündelten α - Strahl an dünnen Goldfolien

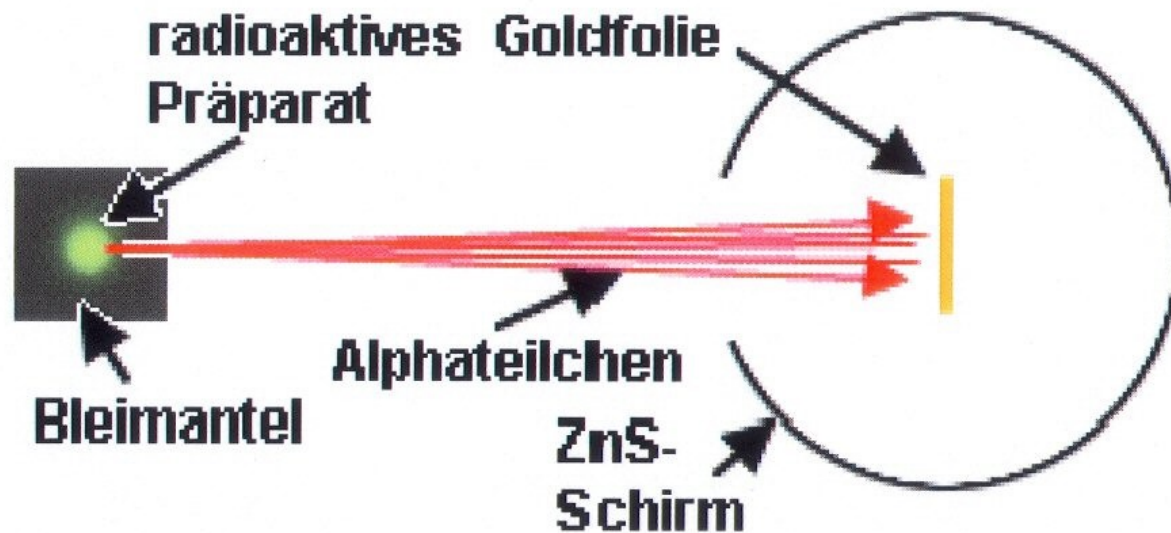


Goldfolie 6 Atome / nm 0,00004 cm

Rutherford'scher Streuversuch I

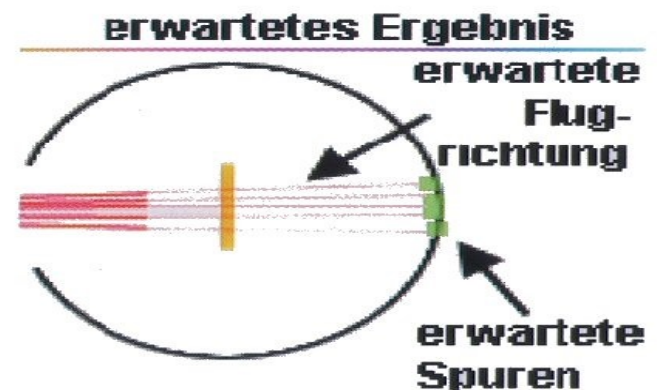
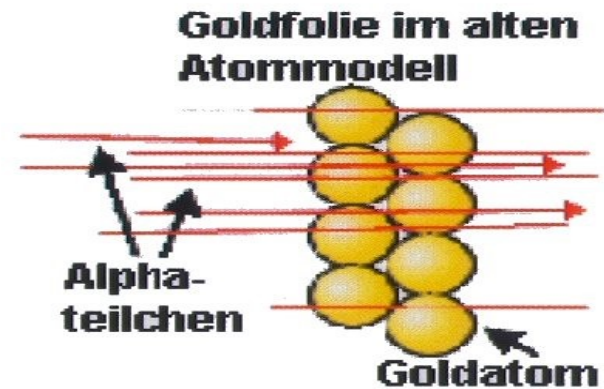
Lord Ernest Rutherford (engl. Physiker, 1871 – 1937) wollte 1911 die innere Struktur von Goldatomen untersuchen. Dazu ließ er schnelle Alphateilchen eines radioaktiven Präparats auf eine wenige mm dünne Goldfolie (Target) fallen. Um die Goldfolie herum wurde ein Zinksulfid – (ZnS) beschichteter Detektorschirm gedreht, der durchgelaufene oder abgelenkte Teilchen registriert.

Ein Alphateilchen verursacht auf dem ZnS-Schirm einen kleinen Lichtblitz, der durch ein Mikroskop mit bloßem Auge erkannt werden kann.



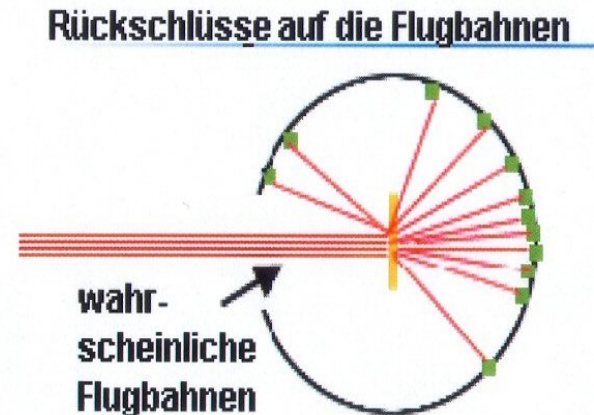
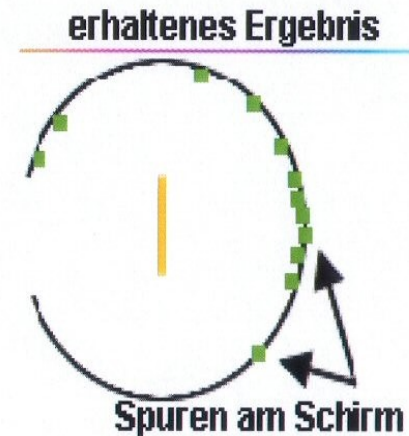
Rutherford'scher Streuversuch II

Im damaligen Atommodell (Thomson) stellte man sich Atome noch als strukturlose, homogene Kugeln vor. Danach sollten die Alphateilchen beim Durchlaufen der Goldfolie zwar langsamer werden, ihre Richtung aber fast ungestört beibehalten.



Rutherford'scher Streuversuch III

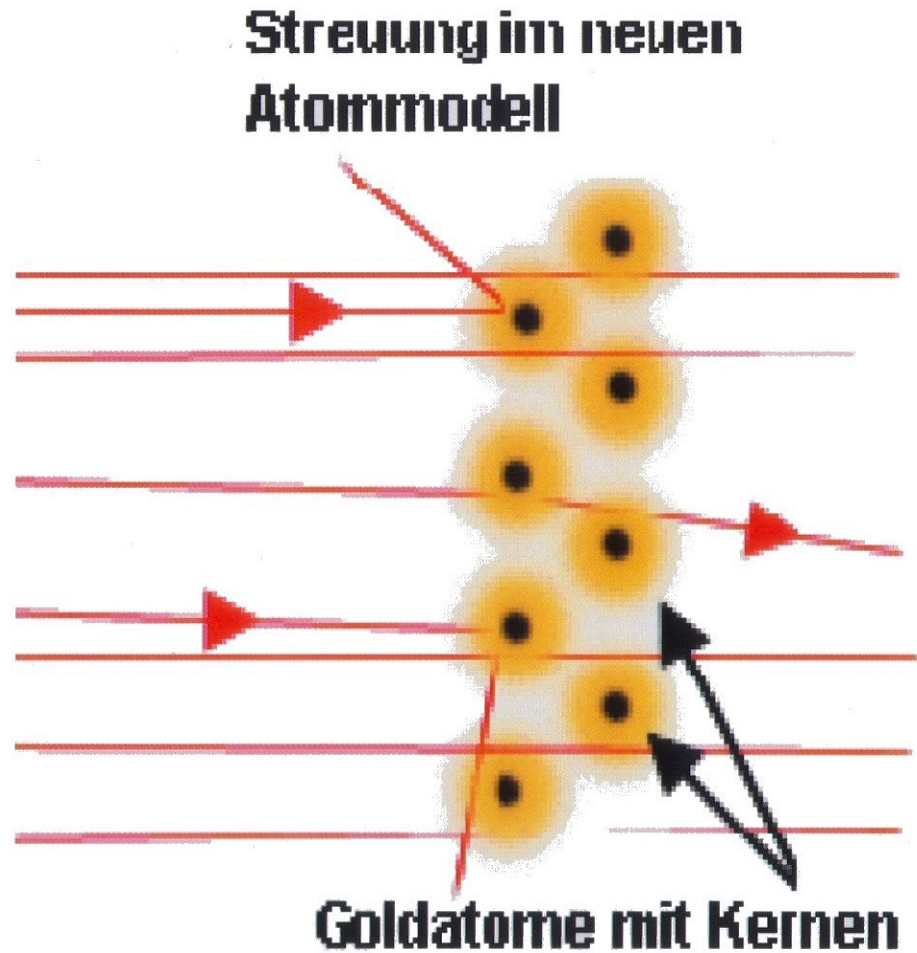
Das Ergebnis des Experiments war sehr überraschend. Die meisten Lichtblitze auf dem Detektorschirm zählte man zwar im erwarteten Bereich, es gab aber auch viele, die sich völlig außerhalb der Erwartungen befanden.



Rutherford'scher Streuversuch IV

Ergebnis:

Neues Atommodell



Folgerungen aus Rutherford'schem Experiment

- Streuung im großen Winkel nur durch einzigen elastischen Streuprozess (keine Mehrfachstreuung)
- nur durch ein starkes elektrisches Feld verursacht (Einfluss der Elektronen vernachlässigbar)
- die positive Ladung und fast die gesamte Masse des Atoms ist konzentriert im Atomkern
- Streuformel:
Die Zahl der gestreuten α – Teilchen nimmt mit dem Quadrat der Kernladungszahl Z der bestrahlten Substanz zu

Kernradius

- wichtigste Methode der Bestimmung von Kernradien

Streuung von schnellen Neutronen, Protonen, α – Teilchen

- **Ableitung empirischer Beziehung:**

Radius

$$R = r_0 \sqrt[3]{A}$$

$$r_0 = 1,4 \times 10^{-15} \text{ m}$$

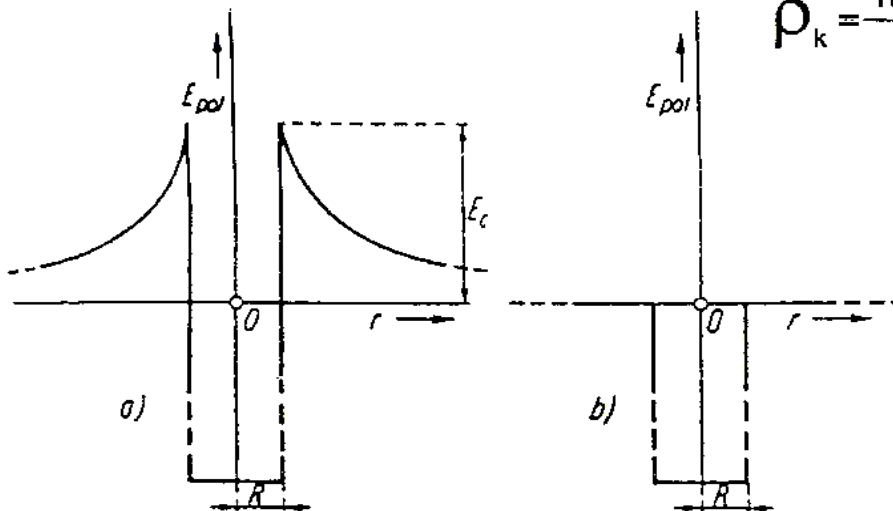
$$^{209}\text{Bi}: r = 1,4 \times 10^{-15} \times 209^{1/3} = 8,3 \text{ fm}$$

Dichte

$$r_0 \approx 1,4 \text{ fm}$$

$$m_N \approx 1,67 \times 10^{-27} \text{ Kg}$$

$$\rho_k = \frac{m_N A}{V} = \frac{3 m_N}{4 \pi r_0^3} \approx 1,5 \times 10^{17} \text{ Kg/m}^3$$



Potentielle Energie eines positiv geladenen Teilchen a und eines ungeladenen Teilchen b in der Nähe eines Atomkerns (r von Mittelpunkt zu Mittelpunkt gerechnet)

Atomkern

- gebildet von Nukleonen (Protonen Z und Neutronen N)
- im Unterschied zu gebundenen Neutronen im Kern, zerfallen freie Neutronen:



- deshalb Masse des Nukleons ist kleiner als die der freien Protonen und Neutronen (Zusammenhang Massendifferenz und Bindungsenergie)
- Nukleonenzahl (Massenzahl) $A = Z + N$
- Atom ist aufgebaut aus Neutronen, Protonen und Elektronen, andere Elementarteilchen und Antiteilchen erscheinen als Produkte der Kernzerfälle, Wechselwirkung mit hochenergetischen Teilchen z. B.

Bindungsenergie

- Messungen ergaben, dass die Masse des Atomkerns (m_K) stets kleiner ist als die Summe der bildenden Nukleonen ($m_{P,N}$)
- Fehlbetrag = **Massendefekt**

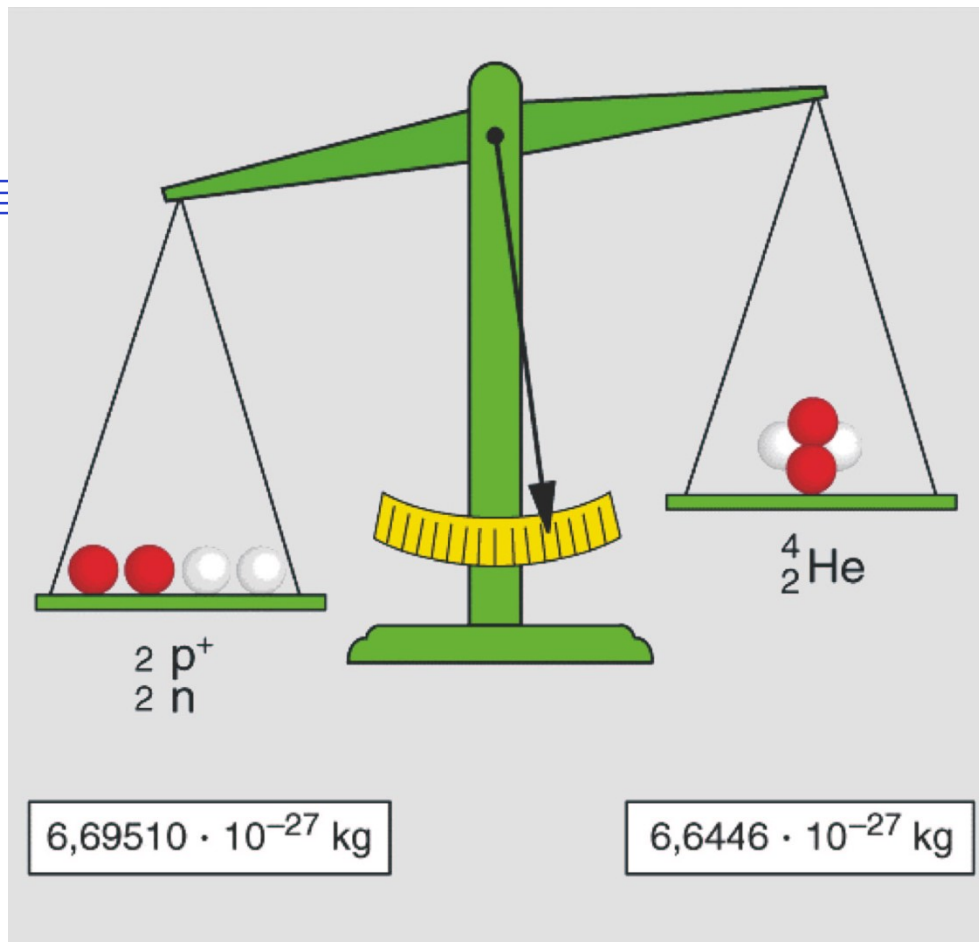
$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - m_K(^A_ZX)$$

- die dem Massendefekt (Δm) äquivalente Energie ist Maß für „Festigkeit“ der Nukleonenbindung = **Bindungsenergie**

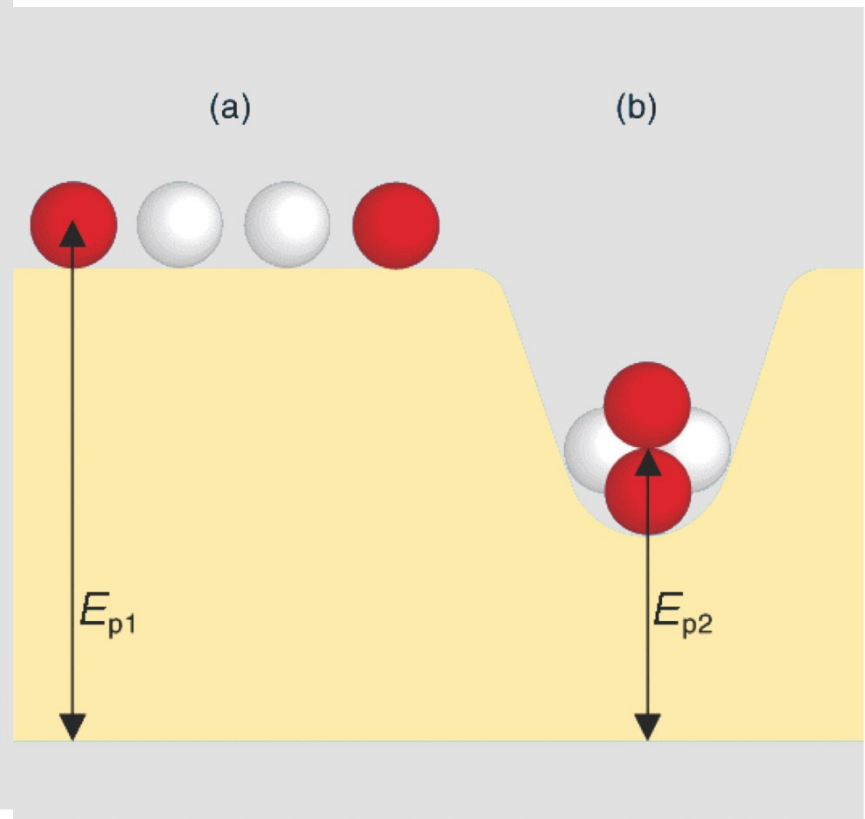
$$E_B(^A_ZX) = \Delta mc_0^2$$

- weitere Größe ist die mittlere Bindungsenergie je Nukleon (f)

$$f = E_B(^A_ZX) / A$$



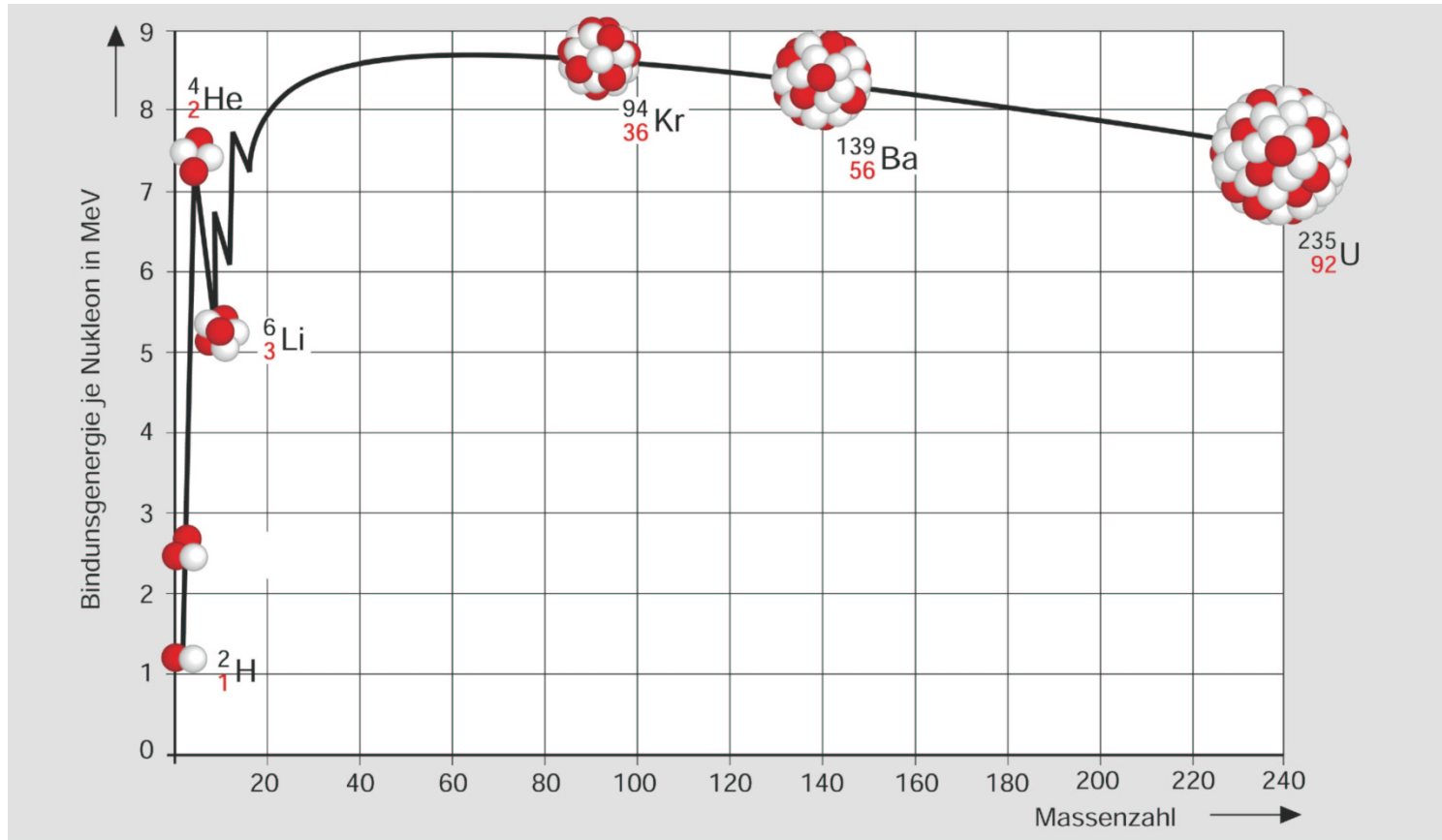
***Entstehung eines Atomkerns
aus Nukleonen ergibt Masseverlust***



***Durch Energieabgabe entsteht
stabilere Einheit***

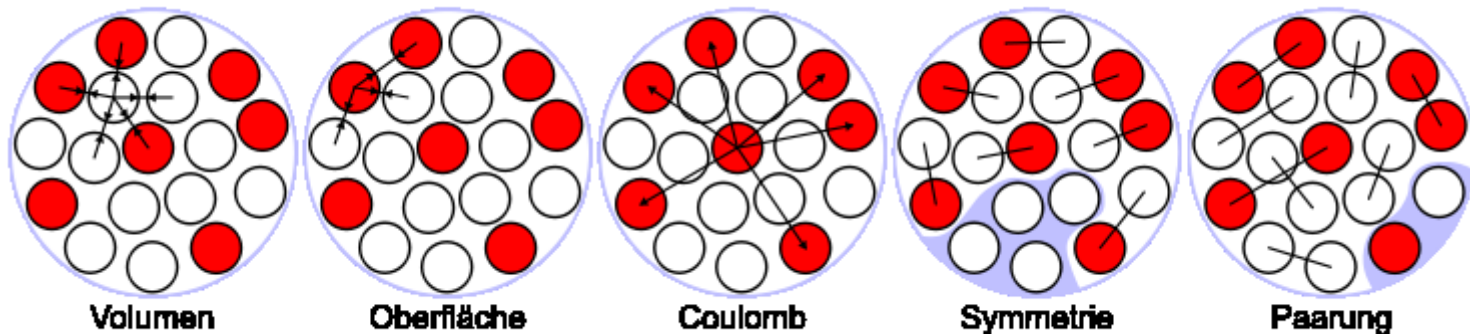
Zusammenhang Massendefekt - Bindungsenergie

Bindungsenergiekurve (Darstellungsbeispiel)



Bindungsenergiekurve

- für alle Atomkerne mit Nukleonenzahlen zwischen 30 und 150 beträgt die **mittlere Bindungsenergie je Nukleon ca. 8,5 MeV**,
- die halbempirische **Bethe-Weizsäcker-Formel** spiegelt gut den



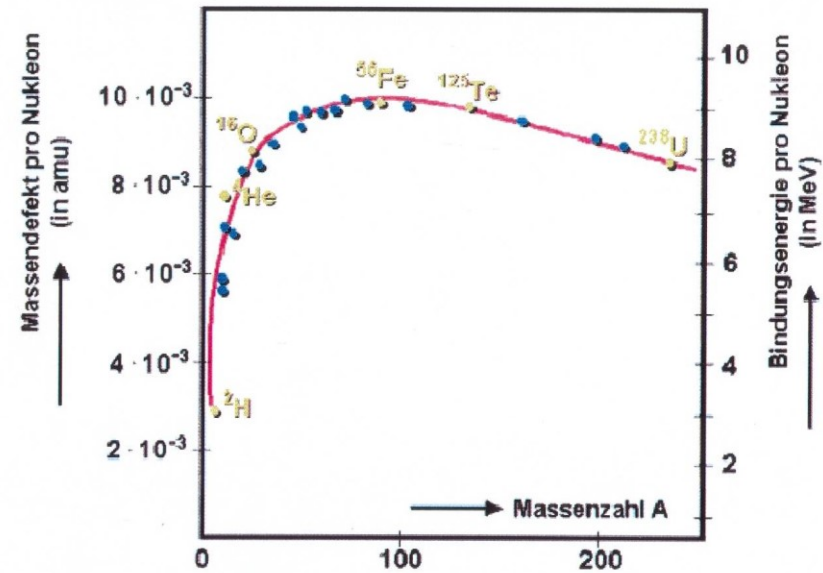
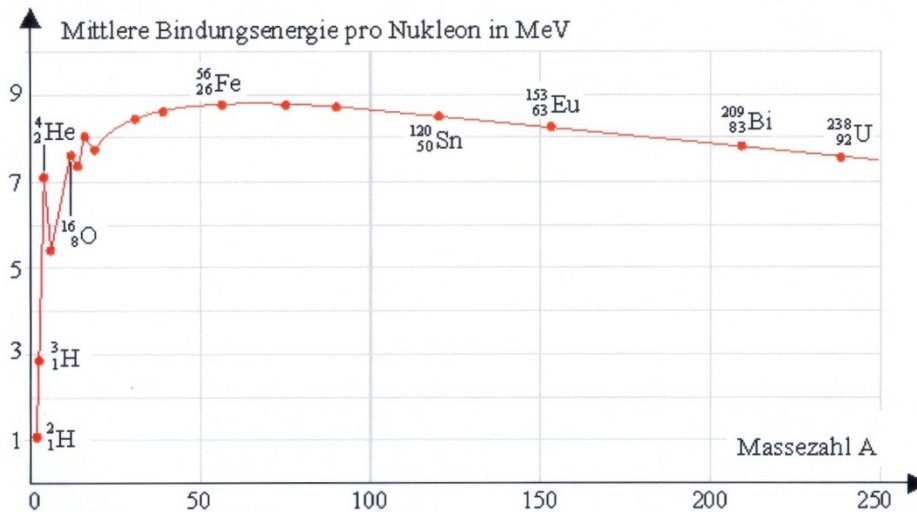
- Bindungsenergie des Atomkerns proportional zur Anzahl der Nukleonen, andere Terme berücksichtigen Oberflächeneffekte, Coulomb-Wechselwirkung, Symmetrieeffekte, Paarung

A: Nukleonenzahl (Massenzahl), Z: Protonenzahl, N: Neutronenzahl

$$E_B(^A_ZX) = a_1A - a_2A^{2/3} - a_3Z^2A^{-1/3} - a_4(N-Z)^2A^{-1} + \delta$$

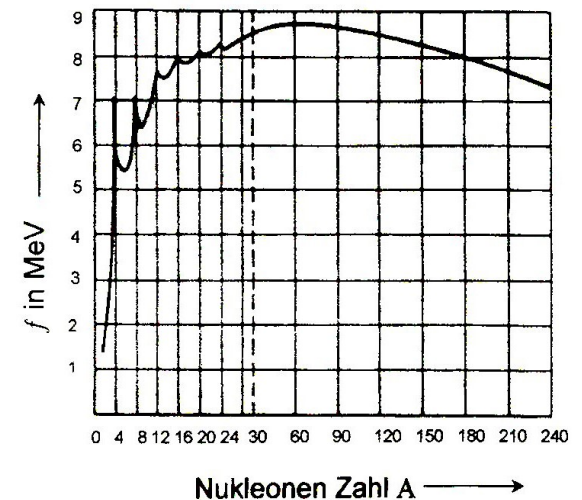
δ : $a_5A^{-3/4}$ für Z und N gerade/ 0 für A ungerade/ $-a_5A^{-3/4}$ für Z und N ungerade

- Konstanten a (MeV) durch Vergleich der Formel mit gemessener Bindungsenergie



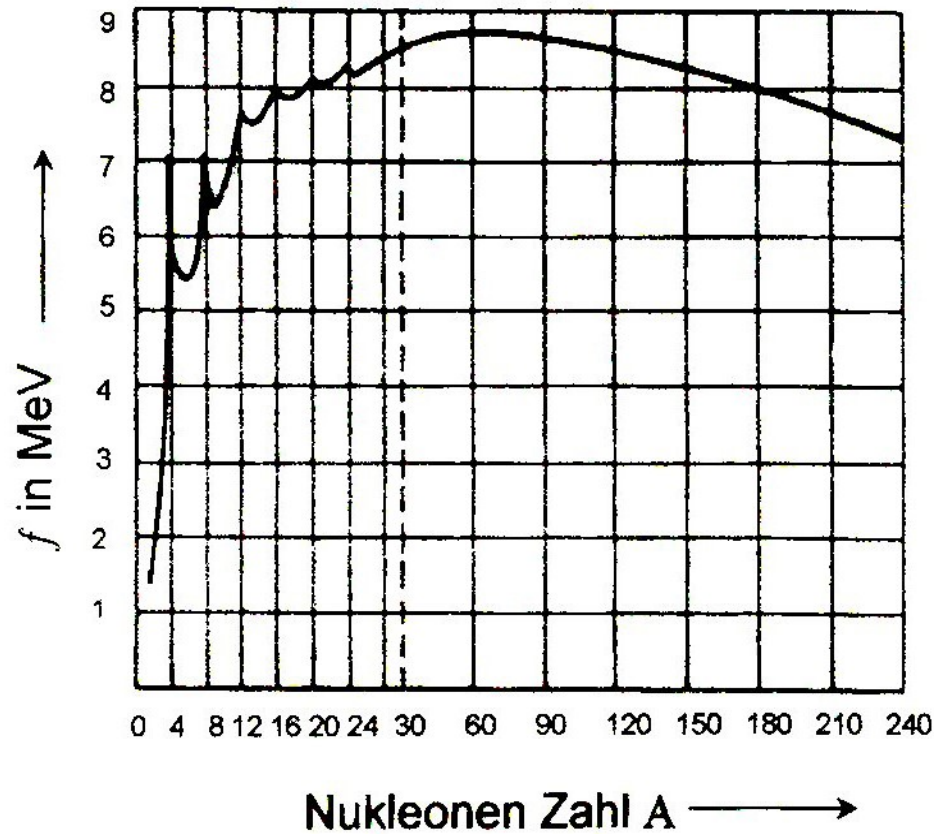
Abfall der Kurve zu leichten und schweren Kernen hin lässt Schluss zu, dass Kernbindungsenergie auf zwei Wegen freigesetzt werden kann, exotherme Vorgänge:

- * Verschmelzung leichter Atomkerne
- * Spaltung schwerster Atomkerne



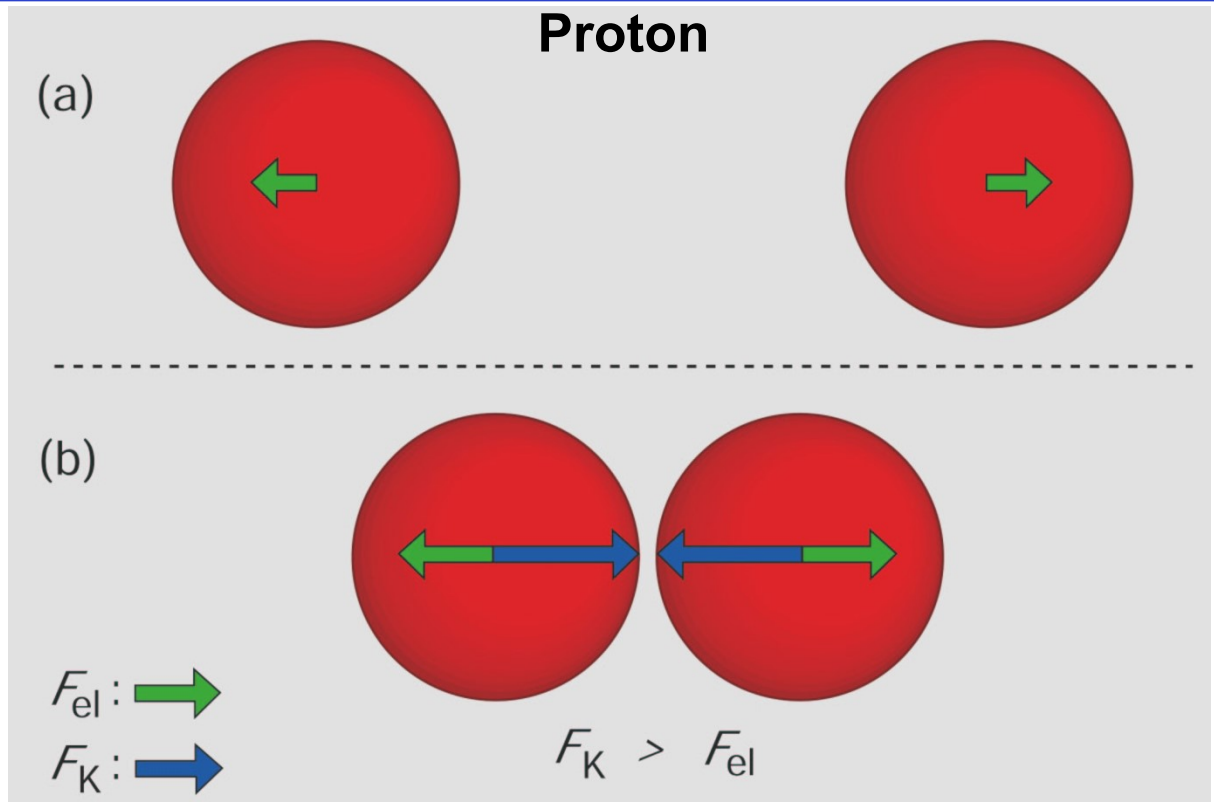
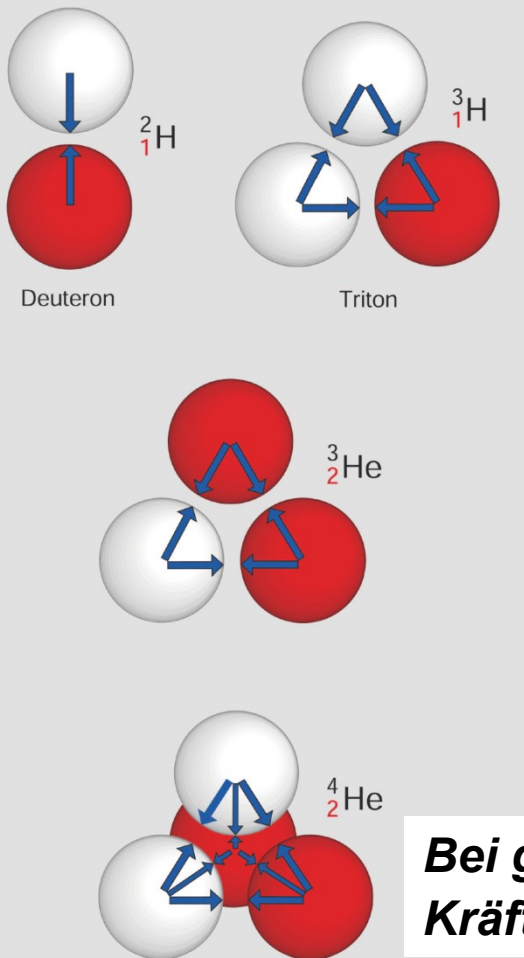
Bindungsenergiekurve (Darstellungsbeispiel)

Bindungsenergie je Nukleon (f) als Funktion der Nukleonenzahl (A) für stabile Atomkerne



Maßstabsänderung bei $A = 30$

Stabilität und Kerntypen



Bei größerer Entfernung wirken nur abstoßende elektrische Kräfte, bei geringer Entfernung werden die Kernkräfte wirksam

***Kernkräfte wirken
nur bei benachbarten
Kernteilchen***

Stabilität und Kerntypen

- 112 Elemente bisher bekannt, nur 81 haben stabile Isotope

$^{209}_{83}\text{Bi}$ ist das schwerste stabile Isotop (...*Publikation (2003): HWZ $1,9 \times 10^{19}$ Jahre*)

daraus folgt: $^{209}_{82}\text{Pb}$

- ca. 2000 Nuklide bekannt, davon ca. 275 stabil, andere radioaktiv
- Atomkerne können entsprechend ihrer Neutronen- und Protonenzahl in vier Z, N-Typen eingeteilt werden:

- * **gerade Nukleonenzahl:**

gg – Kerne

uu – Kerne

- * **ungerade Nukleonenzahl:**

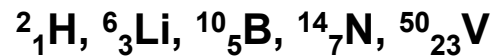
gu – Kerne

ug – Kerne

Verteilung der stabilen Nuklide

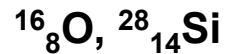
Z	N	A	Kerntyp	Anzahl
g	g	g	gg	162
g	u	u	gu	55
u	g	u	ug	50
u	u	g	uu	5

- stabile uu Nuklide:



- gg-Nuklide besonders stabil und auf der Erde sehr häufig:

in Erdrinde 75 Masse%



Magische Zahlen

- bei Protonen oder Neutronenzahlen

$$Z = 2, 8, 20, 28, 50, 82$$

$$N = 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126$$

treten viele stabile (besonders stabile) Nuklide auf, dies resultiert aus dem Schalenmodell

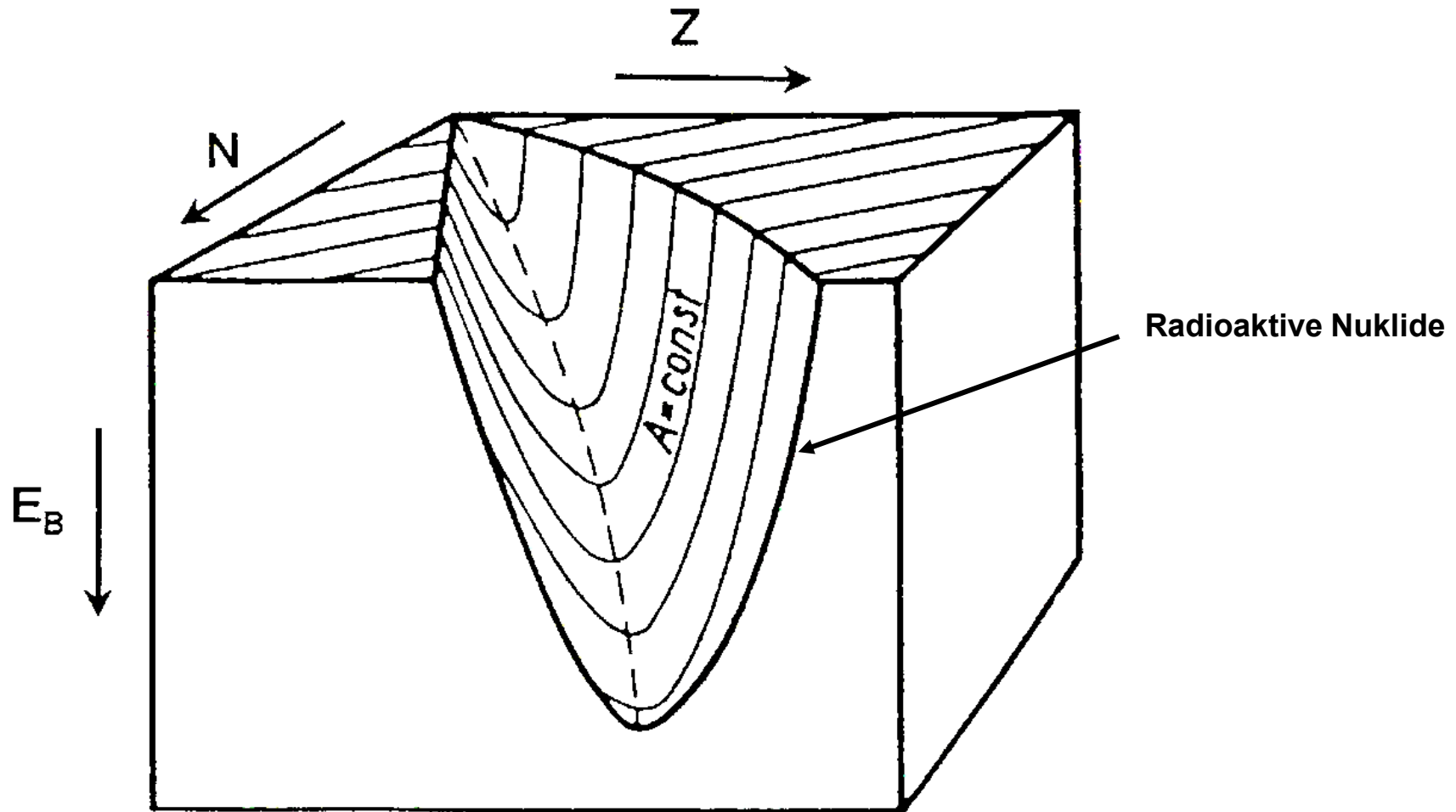
- ungewöhnlich hohe Stabilität haben die doppelt magischen Kerne:



- Vorhersage:



Schalenabschlüsse für $Z = 114$ und $N = 184$ vorhergesagt
gruppieren sich um doppelt magischen Kern ${}^{298}_{114}\text{X}$

Bindungsenergiefläche der Atomkerne



- auf Talsohle liegen stabile Nuklide mit großer Bindungsenergie

Regeln

- **1. Isobarenregel von J. Mattauch:** 
bei ungerader Nukleonenzahl A gibt es maximal nur ein stabiles Nuklid
- **2. Isobarenregel von J. Mattauch:**
bei gerader Nukleonenzahl A gibt es meistens zwei, seltener drei stabile isobare Nuklide, deren Ordnungszahlen sich um zwei Einheiten unterscheiden
- **Astonsche Isotopenregel:** 
bei ungerader Ordnungszahl Z gibt es höchstens zwei stabile Nuklide, bei geradem Z dagegen oft wesentlich mehr
Ausnahme: Tc ($Z = 43$), Pm ($Z = 61$), Elemente $Z > 83$ haben nur instabile Nuklide

Definitionen

- Isotope:

gleiche Protonenzahl, ungleiche Nukleonenzahl

$Z = \text{const.}$, parallel zur N-Achse, chemisch gleich, Unterschiede in Nukleonenzahl, Kernvolumen, Kerndrehimpuls, mag. Dipolmoment

$^{20}_{10}\text{Ne}$, $^{21}_{10}\text{Ne}$ usw.

- Isotone:

gleich Neutronenzahl, unterschiedliche Protonenzahl

$N = \text{const.}$, parallel zur Z-Achse

^3_1H , ^4_2He , ^5_3Li

- Isobare:

Nuklide mit Atomkernen gleicher Nukleonenzahl

$N + Z = \text{const.}$, Diagonalreihen

$^{17}_7\text{N}$, $^{17}_8\text{O}$, $^{17}_9\text{F}$

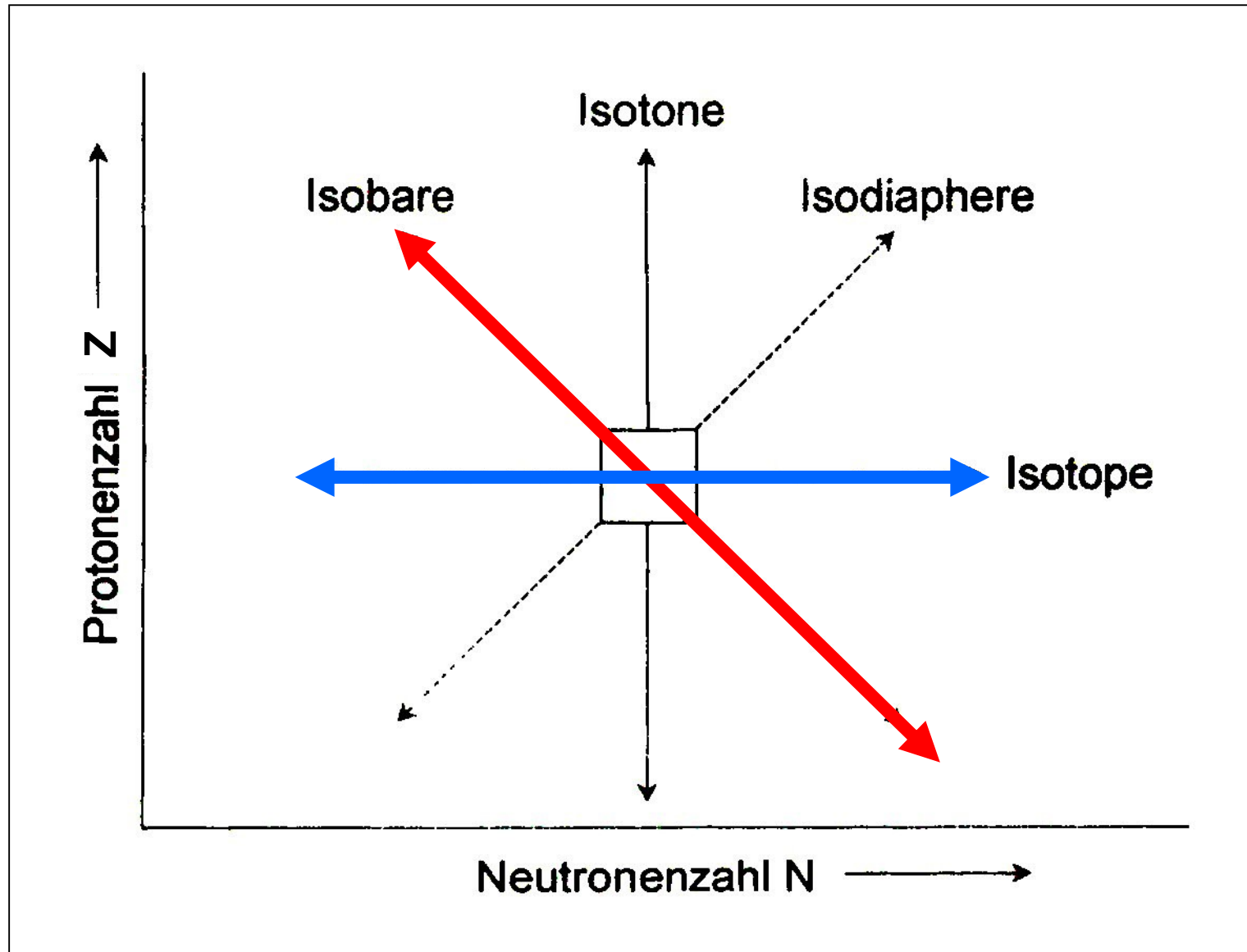
- Isodiaphere:

Nuklide, deren Kerne den selben Neutronenüberschuss haben

$N - Z = \text{const.}$, Diagonalreihen

^7_3Li , ^9_4Be , $^{15}_7\text{N}$

Anordnung der Isotope, Isotone, Isobare, Isodiaphere in der Nuklidkarte



Hinweis:
bis hier RC_2013_02