

Auffrischkurs „Atommodelle und chemische Bindungsarten“

BSc Maschinenbau
BSc Biomedizinische Technik
BSc Wirtschaftsingenieurwesen

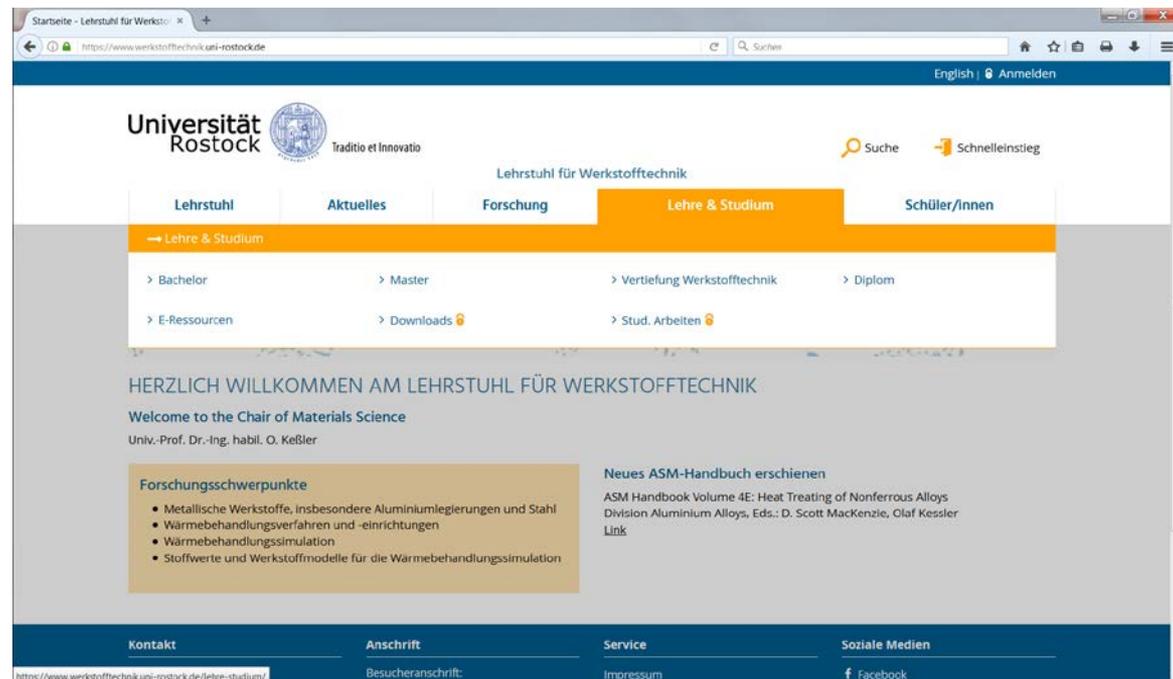
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. O. Keßler
Lehrstuhl für Werkstofftechnik

Kursunterlagen

Homepage Lehrstuhl für Werkstofftechnik

www.werkstofftechnik.uni-rostock.de

- Lehre & Studium
- Downloads
- Nutzer,
Passwort
ITMZ



The screenshot shows the homepage of the Chair of Materials Science at the University of Rostock. The page features a navigation menu with tabs for 'Lehrstuhl', 'Aktuelles', 'Forschung', 'Lehre & Studium', and 'Schüler/innen'. The 'Lehre & Studium' tab is active, displaying a list of links for 'Bachelor', 'Master', 'Vertiefung Werkstofftechnik', 'Diplom', 'E-Ressourcen', 'Downloads', and 'Stud. Arbeiten'. Below the navigation, there is a welcome message: 'HERZLICH WILLKOMMEN AM LEHRSTUHL FÜR WERKSTOFFTECHNIK' and 'Welcome to the Chair of Materials Science'. The page also includes a section for 'Forschungsschwerpunkte' (Research Focus) and a news item about a new ASM handbook. The footer contains contact information, address, service links, and social media icons.

Inhalt

Atommodelle

- Atom, Atomkern, Atomhülle, Proton, Neutron, Elektron
- Energieniveaus der Elektronen, Orbitalmodell
- Periodensystem der Elemente
- Metalle, Nichtmetalle, etc.

Bindungsarten

- Ionenbindung
- Kovalente Bindung
- Metallische Bindung
- schwache Bindungen

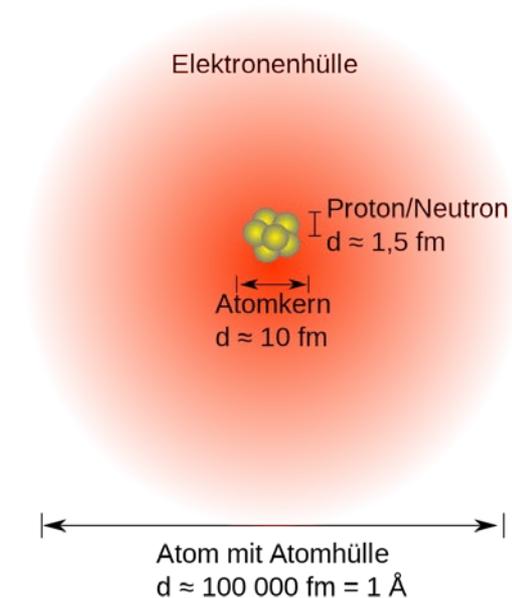
Atommodelle

- Dalton (1803)
Alle Stoffe bestehen aus kleinsten Teilchen, die nicht weiter zerlegt werden können. Alle Atome desselben Elementes sind in Größe und Masse gleich. Sie unterscheiden sich in diesen Eigenschaften von den Atomen anderer Elemente
- Rutherford (1911)
Jedes Atom besteht aus Z Elektronen und Z positiven Ladungen. Die positive Ladung des Atoms und fast die gesamte Masse des Atoms sind in einem sehr kleinen Volumen im Zentrum des Atoms (Atomkern) komprimiert.
- Bohr (1913)
Es existieren stationäre Elektronenbahnen, bei denen der Drehimpuls gleich einem ganzzahligem Vielfachen von $h/2\pi$ ist. Beim Übergang von einer Bahn höherer Energie E_2 zu einer mit niedriger E_1 entsteht Licht mit der Frequenz $hf = E_2 - E_1$.
- Quantenmech. Modell, Orbitalmodell (1928), De Broglie, Heisenberg, Schrödinger, ...
Energieniveaus der Elektronen abhängig von Quantenzahlen, räumliche Verteilung der Aufenthaltswahrscheinlichkeiten (Orbitale)

Wolfgang Demtröder, Experimentalphysik 3, Springer 2010
Jürgen Eichler, Physik für das Ingenieurstudium, Springer, 2014

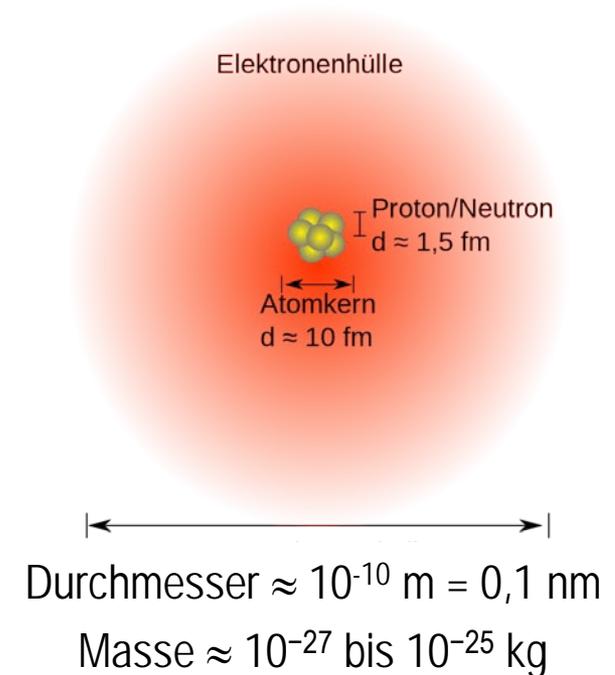
Atomkern und Atomhülle

- Atome bestehen aus Atomkern und Atomhülle
- Atomkern besteht aus Protonen und Neutronen
- Anzahl Protonen bestimmt Atomart, chem. Element
→ Ordnungszahl Z
- Anzahl Neutronen \approx Anzahl Protonen
(bei geringen Anzahlen Protonen)
- Elektronen bewegen sich in der Atomhülle
- Anzahl Elektronen = Anzahl Protonen



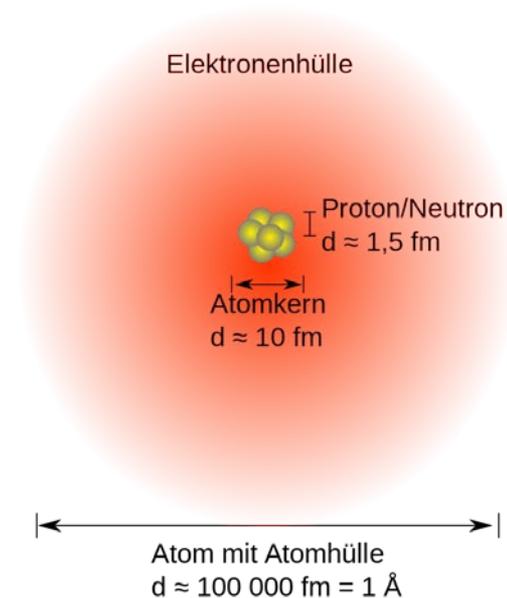
Proton, Neutron, Elektron

- Proton (p^+)
 Durchmesser $\approx 1,7 \cdot 10^{-15} \text{ m} = 1,7 \text{ fm}$
 Masse $\approx 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
 Ladung $\approx +1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C (1+)}$
- Neutron (n)
 Durchmesser $\approx 1,7 \cdot 10^{-15} \text{ m} = 1,7 \text{ fm}$
 Masse $\approx 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
 Ladung neutral
- Elektron (e^-)
 Durchmesser punktförmig
 Masse $\approx 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
 Ladung $\approx -1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C (1-)}$

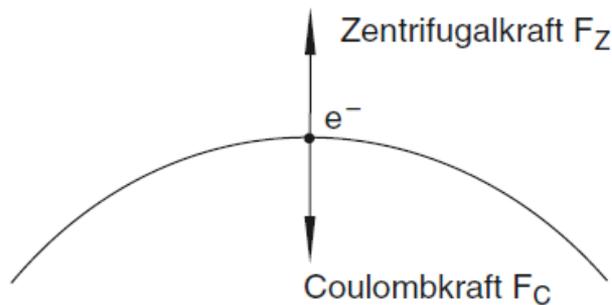


Atomkern und Atomhülle

- Atomkern dominiert Atommasse
- Bei gleicher Anzahl Protonen unterschiedliche Anzahlen Neutronen möglich (Isotope)
- Bsp. Kohlenstoff
Isotop ^{12}C , 6 p⁺, 6 n, stabil, ca. 99% natürlich
Isotop ^{13}C , 6 p⁺, 7 n, stabil, ca. 1% natürlich
Isotop ^{14}C , 6 p⁺, 8 n, instabil, radioaktiv
- Protonen, Neutronen bestehen aus weiteren kleineren Bausteinen → Elementarteilchen
- Atomhülle dominiert Atomvolumen und chemisches Verhalten



Bohr'sches Atommodell, Wasserstoffatom



Kern



$$F_C = F_Z$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} = \frac{m_E v^2}{r}$$

Quantelung des Drehimpulses
ganzzahliges Vielfaches des
Planck'schen Wirkungsquantums h

$$2\pi r = n\lambda = n \frac{h}{m_E v}$$

Hauptquantenzahl $n = 1, 2, 3 \dots$

Bahn-
radius

$$r_n = \frac{h^2 \epsilon_0}{\pi m_E e^2} n^2$$

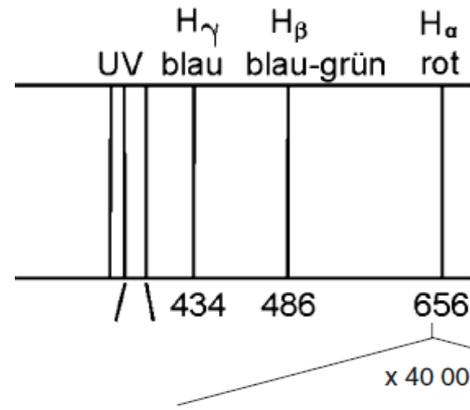
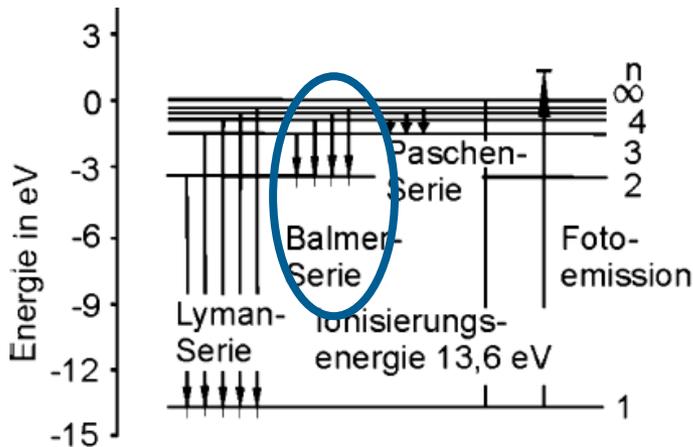
Elektronen-
energie

$$E_n = -\frac{e^4 m_E}{8\epsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n^2}$$

Wolfgang Demtröder, *Experimentalphysik 3*, Springer 2010

Jürgen Eichler, *Physik für das Ingenieurstudium*, Springer, 2014

Spektrallinien des Wasserstoffs

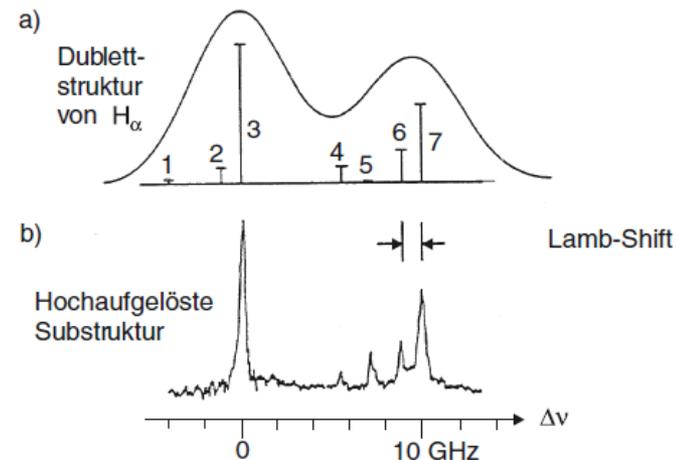


Feinstruktur der Spektrallinien mit Bohr'schem Atommodell nicht erklärbar

Elektronensprung von $n = 2$ auf $n = 1$
freiwerdende Energie elektromagnet. Welle

$$hf = E_2 - E_1 \quad f = \text{Frequenz}$$

$$f = \frac{e^4 m_E}{8 \epsilon_0^2 h^3} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$



Wolfgang Demtröder, *Experimentalphysik 3*, Springer 2010

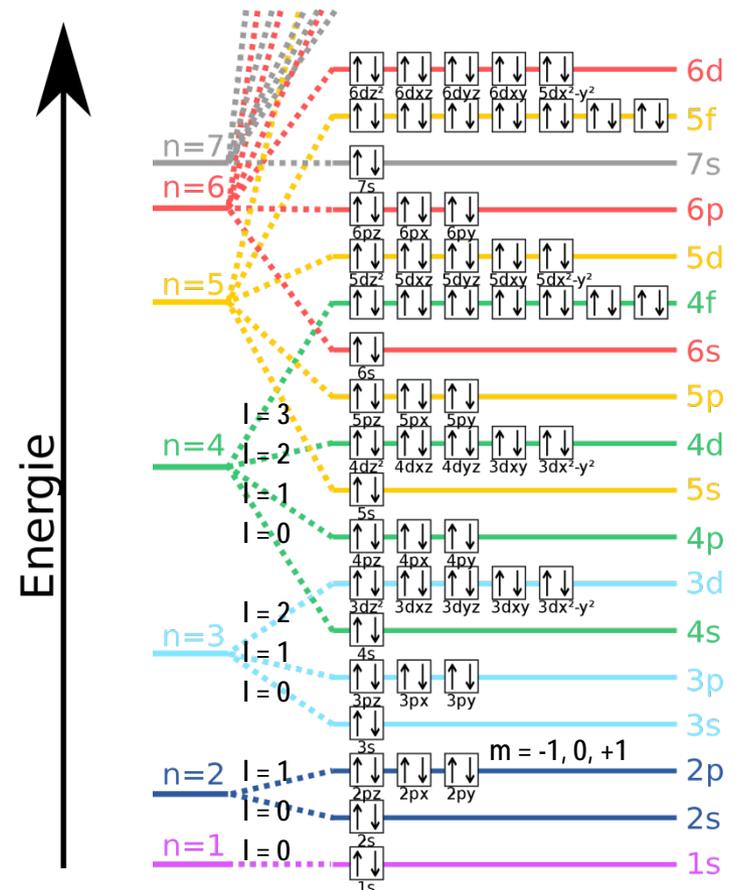
Jürgen Eichler, *Physik für das Ingenieurstudium*, Springer, 2008

Quantenmechanisches Atommodell, Orbitalmodell

- Elektronen dürfen nur definierte Energieniveaus annehmen, beschrieben durch vier Quantenzahlen (Quantenmechanik)
 - Hauptquantenzahl n , „Schale“
 - Nebenquantenzahl l
 - Magnetquantenzahl m_l
 - Spinquantenzahl m_s
- in einem Atom dürfen keine Elektronen in allen vier Quantenzahlen übereinstimmen (Pauli-Prinzip)
- Räumliche Verteilung der Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Elektronen (Orbitale)

Energieniveaus der Elektronen

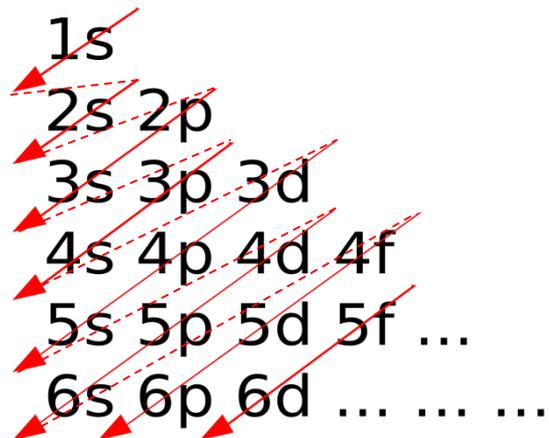
- Hauptquantenzahl n , „Schale“
anschaulich: Hauptenergieniveau
ganzzahlig, von 1 bis 7
 - Nebenquantenzahl l
anschaulich: Unterenergieniveau
ganzzahlig, von 0 bis $n-1$
- | | | | | | |
|---------|---|---|---|---|-----|
| l | 0 | 1 | 2 | 3 | ... |
| Orbital | s | p | d | f | ... |
- Magnetquantenzahl m_l
anschaulich: Verhalten im Magnetfeld
ganzzahlig, von $-l$ bis $+l$
 - Spinquantenzahl m_s
anschaulich: Drehimpuls
 $-1/2$ oder $+1/2$



<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Energieniveau.svg#mediaviewer/Datei:Energieniveau.svg>

Elektronenkonfiguration

- Orbitale werden in der Reihenfolge steigender Energieniveaus besetzt



- Valenzelektronen = Elektronen der äußersten „Schale“, bestimmen chem. Verhalten

Ordnungszahl	Element	Elektronenkonfiguration
1	H	1s ¹
2	He	1s ²
3	Li	1s ² 2s ¹
4	Be	1s ² 2s ²
5	B	1s ² 2s ² 2p ¹
6	C	1s ² 2s ² 2p ²
↓	↓	↓
10	Ne	1s ² 2s ² 2p ⁶ = [Ne]
11	Na	[Ne] 3s ¹
12	Mg	[Ne] 3s ²
13	Al	[Ne] 3s ² 3p ¹
14	Si	[Ne] 3s ² 3p ²
↓	↓	↓
18	Ar	[Ne] 3s ² 3p ⁶ = [Ar]
19	K	[Ar] 4s ¹
20	Ca	[Ar] 4s ²
21	Sc	[Ar] 3d ¹ 4s ²
22	Ti	[Ar] 3d ² 4s ²
↓	↓	↓

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Klechkovski_rule.svg#mediaviewer/Datei:Klechkovski_rule.svg

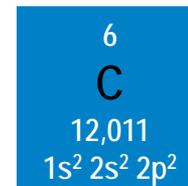
Periodensystem der Elemente

systematische Anordnung der chem. Elemente in Zeilen & Spalten

- Zeilen: **Perioden**, Hauptquantenzahlen, „Schalen“
- Spalten: **Gruppen**, ähnliches chem. Verhalten, gleiche Anzahl Valenzelektronen (bis auf Ausnahmen)

typische Angaben je chem. Element

- Ordnungszahl
- Symbol
- Atommasse in der atomaren Masseneinheit u
 $1 u =$ zwölfte Teil der Masse eines Atoms des Kohlenstoff-Isotops ^{12}C
 $1 u \approx 1,661 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
 $(1 u < m_{p^+} < m_n \rightarrow$ Bindungsenergie Atomkern \rightarrow Kernphysik)
- Angabe der Atommasse für natürliches Isotopengemisch
- Elektronenkonfiguration



Periodensystem der Elemente

erste drei Perioden

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
n=1	1 H 1,0079 1s ¹							2 He 4,0026 1s ²
n=2	3 Li 6,941 1s ² 2s ¹	4 Be 9,0122 1s ² 2s ²	5 B 10,811 1s ² 2s ² 2p ¹	6 C 12,011 1s ² 2s ² 2p ²	7 N 14,007 1s ² 2s ² 2p ³	8 O 15,999 1s ² 2s ² 2p ⁴	9 F 18,988 1s ² 2s ² 2p ⁵	10 Ne 20,180 1s ² 2s ² 2p ⁶
n=3	11 Na 22,990 [Ne] 3s ¹	12 Mg 24,305 [Ne] 3s ²	13 Al 26,982 [Ne] 3s ² 3p ¹	14 Si 28,086 [Ne] 3s ² 3p ²	15 P 30,974 [Ne] 3s ² 3p ³	16 S 32,065 [Ne] 3s ² 3p ⁴	17 Cl 35,453 [Ne] 3s ² 3p ⁵	18 Ar 39,948 [Ne] 3s ² 3p ⁶

		Legende																							
		Ordnungszahl	Symbol	Ordnungszahl	Serie																				
		Name	Atomgewicht	Elektronen-konfiguration	Elektronegativität	schwarz = nicht radioaktiv	gelb = radioaktiv	Symbol	schwarz = Feststoff	rot = Gas	blau = Flüssigkeit	<input type="checkbox"/> Alkalimetalle	<input type="checkbox"/> Erdalkalimetalle	<input type="checkbox"/> Übergangsmetalle	<input type="checkbox"/> Lanthanoide	<input type="checkbox"/> Actinoide	<input type="checkbox"/> Metalle	<input type="checkbox"/> Halbmetalle	<input type="checkbox"/> Nichtmetalle	<input type="checkbox"/> Halogene	<input type="checkbox"/> Edelgase				
		Gruppe																							
1	1	1	2																	13	14	15	16	17	18
	1	1	2																	5	6	7	8	9	10
	2	3	4																	13	14	15	16	17	18
	3	11	12																	13	14	15	16	17	18
	4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36						
Periode	5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54						
	6	55	56	57-71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86						
	7	87	88	89-103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118						

Besetzung d-Orbitale

Lanthanoide	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
Actinoide	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

Besetzung f-Orbitale

Edelgase

voll besetzte äußere Schale
(außer He) acht Valenzelektronen $2s^2 2p^6, 3s^2 3p^6 \dots$
chemisch nicht reaktiv
einatomig, gasförmig bei RT, farblos

	1																	18	
	1	2											13	14	15	16	17	18	
	1	2											5	6	7	8	9	10	
	2	3	4											13	14	15	16	17	18
	3	11	12											13	14	15	16	17	18
	4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
	6	55	56	57-71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
	7	87	88	89-103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118

Lanthanoide

57	La	58	Ce	59	Pr	60	Nd	61	Pm	62	Sm	63	Eu	64	Gd	65	Tb	66	Dy	67	Ho	68	Er	69	Tm	70	Yb	71	Lu
Lanthan	138,91	Cer	140,12	Praseodym	140,91	Neodym	144,24	Promethium	147,90	Samarium	150,36	Europium	151,96	Gadolinium	157,25	Terbium	158,93	Dysprosium	162,50	Holmium	164,93	Erbium	167,26	Thulium	168,93	Ytterbium	173,05	Lutetium	174,97
	2/8/18/18/9/2		2/8/18/19/9/2		2/8/18/21/9/2		2/8/18/22/9/2		2/8/18/23/9/2		2/8/18/24/9/2		2/8/18/25/9/2		2/8/18/25/9/2		2/8/18/27/9/2		2/8/18/28/9/2		2/8/18/29/9/2		2/8/18/30/9/2		2/8/18/31/9/2		2/8/18/32/9/2		2/8/18/32/9/2

Actinoide

89	Ac	90	Th	91	Pa	92	U	93	Np	94	Pu	95	Am	96	Cm	97	Bk	98	Cf	99	Es	100	Fm	101	Md	102	No	103	Lr
Actinium	(227)	Thorium	232,04	Protaktinium	231,04	Uran	238,03	Neptunium	237,05	Plutonium	(244,10)	Americium	(243,10)	Curium	(247,10)	Berkelium	(247,10)	Californium	(251,10)	Einsteinium	(254,10)	Fermium	(257,10)	Mendelevium	(258)	Nobelium	(259)	Lawrencium	(260)
	2/8/18/32/18/9/2		2/8/18/32/18/10/2		2/8/18/32/20/9/2		2/8/18/32/21/9/2		2/8/18/32/22/9/2		2/8/18/32/24/8/2		2/8/18/32/25/8/2		2/8/18/32/25/9/2		2/8/18/32/25/10/2		2/8/18/32/28/8/2		2/8/18/32/29/8/2		2/8/18/32/30/8/2		2/8/18/32/31/8/2		2/8/18/32/32/8/2		2/8/18/32/32/9/2

Nichtmetalle

H₂, N₂, O₂ zweiatomige Moleküle, gasförmig bei RT
 C, P, S, Se: fest bei RT
 niedrige elektrische, thermische Leitfähigkeit
 kein metallischer Glanz

	1																	18
	1 H Wasserstoff 1,0079 1 2.1																	2 He Helium 4,0026 2
	3 Li Lithium 6,941 2/1 1.0	4 Be Beryllium 9,0122 2/2 1.5																
	11 Na Natrium 22,990 2/8/1 0.9	12 Mg Magnesium 24,305 2/8/2 1.2																
	Gruppe																	
1	19 K Kalium 39,098 2/8/8/1 0.8	20 Ca Calcium 40,078 2/8/8/2 1.0	21 Sc Scandium 44,956 2/8/9/2 1.3	22 Ti Titan 47,867 2/8/10/2 1.5	23 V Vanadium 50,942 2/8/11/2 1.6	24 Cr Chrom 51,996 2/8/13/1 1.6	25 Mn Mangan 54,938 2/8/13/2 1.5	26 Fe Eisen 55,845 2/8/14/2 1.8	27 Co Cobalt 58,933 2/8/15/2 1.8	28 Ni Nickel 58,693 2/8/16/2 1.8	29 Cu Kupfer 63,546 2/8/18/1 1.9	30 Zn Zink 65,38 2/8/18/2 1.6	31 Ga Gallium 69,723 2/8/18/3 1.6	32 Ge Germanium 72,64 2/8/18/4 1.8	33 As Arsen 74,922 2/8/18/5 2.0	34 Se Selen 78,96 2/8/18/6 2.4	35 Br Brom 79,904 2/8/18/7 2.8	36 Kr Krypton 83,798 2/8/18/8
2	37 Rb Rubidium 85,468 2/8/18/8/1 0.8	38 Sr Strontium 87,62 2/8/18/8/2 1.0	39 Y Yttrium 88,906 2/8/18/9/2 1.3	40 Zr Zirkonium 91,224 2/8/18/10/2 1.4	41 Nb Niob 92,906 2/8/18/12/1 1.6	42 Mo Molybdän 95,96 2/8/18/13/1 1.8	43 Tc Technetium 98,91 2/8/18/13/2 1.9	44 Ru Ruthenium 101,07 2/8/18/15/1 2.2	45 Rh Rhodium 102,91 2/8/18/16/1 2.2	46 Pd Palladium 106,42 2/8/18/18 2.2	47 Ag Silber 107,87 2/8/18/18/1 1.9	48 Cd Cadmium 112,41 2/8/18/18/2 1.7	49 In Indium 114,82 2/8/18/18/3 1.7	50 Sn Zinn 118,71 2/8/18/18/4 1.8	51 Sb Antimon 121,76 2/8/18/18/5 1.9	52 Te Tellur 127,60 2/8/18/18/6 2.1	53 I Iod 126,90 2/8/18/18/7 2.5	54 Xe Xenon 131,29 2/8/18/18/8
3	55 Cs Cäsium 132,91 2/8/18/18/8/1 0.7	56 Ba Barium 137,33 2/8/18/18/8/2 0.9	57-71 siehe unten	72 Hf Hafnium 178,49 2/8/18/32/10/2 1.3	73 Ta Tantal 180,95 2/8/18/32/11/2 1.5	74 W Wolfram 183,84 2/8/18/32/12/2 1.7	75 Re Rhenium 186,21 2/8/18/32/13/2 1.9	76 Os Osmium 190,23 2/8/18/32/14/2 2.2	77 Ir Iridium 192,22 2/8/18/32/15/2 2.2	78 Pt Platin 195,08 2/8/18/32/17/1 2.2	79 Au Gold 196,97 2/8/18/32/18/1 2.4	80 Hg Quecksilber 200,59 2/8/18/32/18/2 1.9	81 Tl Thallium 204,38 2/8/18/32/18/3 1.8	82 Pb Blei 207,2 2/8/18/32/18/4 1.8	83 Bi Bismut 208,98 2/8/18/32/18/5 1.9	84 Po Polonium 209,98 2/8/18/32/18/6 2.0	85 At Astat (210) 2/8/18/32/18/7 2.2	86 Rn Radon (222) 2/8/18/32/18/8
4	87 Fr Francium (223) 2/8/18/32/18/8/1 0.7	88 Ra Radium 226,03 2/8/18/32/18/8/2 0.9	89-103 siehe unten	104 Rf Rutherfordium (261) 2/8/18/32/32/10/2	105 Db Dubnium (262) 2/8/18/32/32/11/2	106 Sg Seaborgium (263) 2/8/18/32/32/12/2	107 Bh Bohrium (264) 2/8/18/32/32/13/2	108 Hs Hassium (265) 2/8/18/32/32/14/2	109 Mt Meitnerium (266) 2/8/18/32/32/15/2	110 Ds Darmstadtium (267) 2/8/18/32/32/17/1	111 Rg Röntgenium (272) 2/8/18/32/32/18/1	112 Cn Copernicium (277) 2/8/18/32/32/18/2	113 Uut Ununtrium (287) 2/8/18/32/32/18/3	114 Fl Flerovium (287) 2/8/18/32/32/18/4	115 Uup Ununpentium (288) 2/8/18/32/32/18/5	116 Lv Livermorium (293) 2/8/18/32/32/18/6	117 Uus Ununseptium (293) 2/8/18/32/32/18/7	118 Uuo Ununoctium (294) 2/8/18/32/32/18/8

	57 La Lanthan 138,91 2/8/18/18/9/2 1.1	58 Ce Cer 140,12 2/8/18/19/9/2 1.1	59 Pr Praseodym 140,91 2/8/18/21/9/2 1.1	60 Nd Neodym 144,24 2/8/18/22/9/2 1.1	61 Pm Promethium 144,90 2/8/18/23/9/2 1.1	62 Sm Samarium 150,36 2/8/18/24/9/2 1.2	63 Eu Europium 151,96 2/8/18/25/9/2 1.2	64 Gd Gadolinium 157,25 2/8/18/25/9/2 1.2	65 Tb Terbium 158,93 2/8/18/27/9/2 1.2	66 Dy Dysprosium 162,50 2/8/18/28/9/2 1.2	67 Ho Holmium 164,93 2/8/18/29/9/2 1.2	68 Er Erbium 167,26 2/8/18/30/9/2 1.2	69 Tm Thulium 168,93 2/8/18/31/9/2 1.2	70 Yb Ytterbium 173,05 2/8/18/32/9/2 1.2	71 Lu Lutetium 174,97 2/8/18/32/9/2 1.2
Lanthanoide	89 Ac Actinium (227) 2/8/18/32/18/9/2 1.1	90 Th Thorium 232,04 2/8/18/32/18/10/2 1.3	91 Pa Protaktinium 231,04 2/8/18/32/20/9/2 1.5	92 U Uran 238,03 2/8/18/32/21/9/2 1.4	93 Np Neptunium 237,05 2/8/18/32/22/9/2 1.3	94 Pu Plutonium (244,10) 2/8/18/32/24/8/2 1.3	95 Am Americium (243,10) 2/8/18/32/25/8/2 1.3	96 Cm Curium (247,10) 2/8/18/32/25/9/2 1.3	97 Bk Berkelium (247,10) 2/8/18/32/25/10/2 1.3	98 Cf Californium (251,10) 2/8/18/32/28/8/2 1.3	99 Es Einsteinium (254,10) 2/8/18/32/29/8/2 1.3	100 Fm Fermium (257,10) 2/8/18/32/30/8/2 1.3	101 Md Mendelevium (258) 2/8/18/32/31/8/2 1.3	102 No Nobelium (259) 2/8/18/32/32/8/2 1.3	103 Lr Lawrencium (260) 2/8/18/32/32/9/2 1.3
Actinoide															

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Periodic_table_%28German%29_EN.svg#mediaviewer/Datei:Periodic_table_%28German%29_EN.svg

Halbmetalle

fest bei RT
elektrische,
thermische Leitfähigkeit
Duktilität, Glanz

zwischen
Nichtmetallen
und Metallen

	1																	18	
1	1 H Wasserstoff 1,0079 1																	2 He Helium 4,0026 2	
2	3 Li Lithium 6,941 2/1	4 Be Beryllium 9,0122 2/2																	10 Ne Neon 20,180 2/8
3	11 Na Natrium 22,990 2/8/1	12 Mg Magnesium 24,305 2/8/2																	18 Ar Argon 39,948 2/8/8
	Gruppe																		
4	19 K Kalium 39,098 2/8/8/1	20 Ca Calcium 40,078 2/8/8/2	21 Sc Scandium 44,956 2/8/9/2	22 Ti Titan 47,867 2/8/10/2	23 V Vanadium 50,942 2/8/11/2	24 Cr Chrom 51,996 2/8/13/1	25 Mn Mangan 54,938 2/8/13/2	26 Fe Eisen 55,845 2/8/14/2	27 Co Cobalt 58,933 2/8/15/2	28 Ni Nickel 58,693 2/8/16/2	29 Cu Kupfer 63,546 2/8/18/1	30 Zn Zink 65,38 2/8/18/2	31 Ga Gallium 69,723 2/8/18/3	32 Ge Germanium 72,64 2/8/18/4	33 As Arsen 74,922 2/8/18/5	34 Se Selen 78,96 2/8/18/6	35 Br Brom 79,904 2/8/18/7	36 Kr Krypton 83,798 2/8/18/8	
5	37 Rb Rubidium 85,468 2/8/18/8/1	38 Sr Strontium 87,62 2/8/18/8/2	39 Y Yttrium 88,906 2/8/18/9/2	40 Zr Zirkonium 91,224 2/8/18/10/2	41 Nb Niob 92,906 2/8/18/12/1	42 Mo Molybdän 95,96 2/8/18/13/1	43 Tc Technetium 98,91 2/8/18/13/2	44 Ru Ruthenium 101,07 2/8/18/15/1	45 Rh Rhodium 102,91 2/8/18/16/1	46 Pd Palladium 106,42 2/8/18/18	47 Ag Silber 107,87 2/8/18/18/1	48 Cd Cadmium 112,41 2/8/18/18/2	49 In Indium 114,82 2/8/18/18/3	50 Sn Zinn 118,71 2/8/18/18/4	51 Sb Antimon 121,76 2/8/18/18/5	52 Te Tellur 127,60 2/8/18/18/6	53 I Iod 126,90 2/8/18/18/7	54 Xe Xenon 131,29 2/8/18/18/8	
6	55 Cs Cäsium 132,91 2/8/18/18/8/1	56 Ba Barium 137,33 2/8/18/18/8/2	57-71 siehe unten	72 Hf Hafnium 178,49 2/8/18/32/10/2	73 Ta Tantal 180,95 2/8/18/32/11/2	74 W Wolfram 183,84 2/8/18/32/12/2	75 Re Rhenium 186,21 2/8/18/32/13/2	76 Os Osmium 190,23 2/8/18/32/14/2	77 Ir Iridium 192,22 2/8/18/32/15/2	78 Pt Platin 195,08 2/8/18/32/17/1	79 Au Gold 196,97 2/8/18/32/18/1	80 Hg Quecksilber 200,59 2/8/18/32/18/2	81 Tl Thallium 204,38 2/8/18/32/18/3	82 Pb Blei 207,2 2/8/18/32/18/4	83 Bi Bismut 208,98 2/8/18/32/18/5	84 Po Polonium 209,98 2/8/18/32/18/6	85 At Astat (210) 2/8/18/32/18/7	86 Rn Radon (222) 2/8/18/32/18/8	
7	87 Fr Francium (223) 2/8/18/32/18/8/1	88 Ra Radium 226,03 2/8/18/32/18/8/2	89-103 siehe unten	104 Rf Rutherfordium (261) 2/8/18/32/32/10/2	105 Db Dubnium (262) 2/8/18/32/32/11/2	106 Sg Seaborgium (263) 2/8/18/32/32/12/2	107 Bh Bohrium (262) 2/8/18/32/32/13/2	108 Hs Hassium (265) 2/8/18/32/32/14/2	109 Mt Meitnerium (266) 2/8/18/32/32/15/2	110 Ds Darmstadtium (272) 2/8/18/32/32/17/1	111 Rg Röntgenium (272) 2/8/18/32/32/18/1	112 Cn Copernicium (277) 2/8/18/32/32/18/2	113 Uut Ununtrium (287) 2/8/18/32/32/18/3	114 Fl Flerovium (287) 2/8/18/32/32/18/4	115 Uup Ununpentium (288) 2/8/18/32/32/18/5	116 Lv Livermorium (289) 2/8/18/32/32/18/6	117 Uus Ununseptium (293) 2/8/18/32/32/18/7	118 Uuo Ununoctium (294) 2/8/18/32/32/18/8	

Lanthanoide	57 La Lanthan 138,91 2/8/18/18/9/2	58 Ce Cer 140,12 2/8/18/19/9/2	59 Pr Praseodym 140,91 2/8/18/21/9/2	60 Nd Neodym 144,24 2/8/18/22/9/2	61 Pm Promethium 144,90 2/8/18/23/9/2	62 Sm Samarium 150,36 2/8/18/24/9/2	63 Eu Europium 151,96 2/8/18/25/9/2	64 Gd Gadolinium 157,25 2/8/18/25/9/2	65 Tb Terbium 158,93 2/8/18/27/9/2	66 Dy Dysprosium 162,50 2/8/18/28/9/2	67 Ho Holmium 164,93 2/8/18/29/9/2	68 Er Erbium 167,26 2/8/18/30/9/2	69 Tm Thulium 168,93 2/8/18/31/9/2	70 Yb Ytterbium 173,05 2/8/18/32/9/2	71 Lu Lutetium 174,97 2/8/18/32/9/2
Actinoide	89 Ac Actinium (227) 2/8/18/32/18/9/2	90 Th Thorium 232,04 2/8/18/32/18/10/2	91 Pa Protaktinium 231,04 2/8/18/32/20/9/2	92 U Uran 238,03 2/8/18/32/21/9/2	93 Np Neptunium 237,05 2/8/18/32/22/9/2	94 Pu Plutonium (244,10) 2/8/18/32/24/8/2	95 Am Americium (243,10) 2/8/18/32/25/8/2	96 Cm Curium (247,10) 2/8/18/32/25/9/2	97 Bk Berkelium (247,10) 2/8/18/32/25/10/2	98 Cf Californium (251,10) 2/8/18/32/28/8/2	99 Es Einsteinium (254,10) 2/8/18/32/29/8/2	100 Fm Fermium (257,10) 2/8/18/32/30/8/2	101 Md Mendelevium (258) 2/8/18/32/31/8/2	102 No Nobelium (259) 2/8/18/32/32/8/2	103 Lr Lawrencium (260) 2/8/18/32/32/9/2

Metalle

fest bei RT
hohe elektrische, thermische Leitfähigkeit
hohe Duktilität
metallischer Glanz

	1																	18				
1	1 H Wasserstoff 1,0079 1																	2 He Helium 4,0026 2				
2	3 Li Lithium 6,941 2/1	4 Be Beryllium 9,0122 2/2															5 B Bor 10,811 2/3	6 C Kohlenstoff 12,011 2/4	7 N Stickstoff 14,007 2/5	8 O Sauerstoff 15,999 2/6	9 F Fluor 18,988 2/7	10 Ne Neon 20,180 2/8
3	11 Na Natrium 22,990 2/8/1	12 Mg Magnesium 24,305 2/8/2	Gruppe														13 Al Aluminium 26,982 2/8/3	14 Si Silicium 28,086 2/8/4	15 P Phosphor 30,974 2/8/5	16 S Schwefel 32,065 2/8/6	17 Cl Chlor 35,453 2/8/7	18 Ar Argon 39,948 2/8/8
4	19 K Kalium 39,098 2/8/8/1	20 Ca Calcium 40,078 2/8/8/2	21 Sc Scandium 44,956 2/8/9/2	22 Ti Titan 47,867 2/8/10/2	23 V Vanadium 50,942 2/8/11/2	24 Cr Chrom 51,996 2/8/13/1	25 Mn Mangan 54,938 2/8/13/2	26 Fe Eisen 55,845 2/8/14/2	27 Co Cobalt 58,933 2/8/15/2	28 Ni Nickel 58,693 2/8/16/2	29 Cu Kupfer 63,546 2/8/18/1	30 Zn Zink 65,38 2/8/18/2	31 Ga Gallium 69,723 2/8/18/3	32 Ge Germanium 72,64 2/8/18/4	33 As Arsen 74,922 2/8/18/5	34 Se Selen 78,96 2/8/18/6	35 Br Brom 79,904 2/8/18/7	36 Kr Krypton 83,798 2/8/18/8				
5	37 Rb Rubidium 85,468 2/8/18/8/1	38 Sr Strontium 87,62 2/8/18/8/2	39 Y Yttrium 88,906 2/8/18/9/2	40 Zr Zirkonium 91,224 2/8/18/10/2	41 Nb Niob 92,906 2/8/18/12/1	42 Mo Molybdän 95,96 2/8/18/13/1	43 Tc Technetium 98,91 2/8/18/13/2	44 Ru Ruthenium 101,07 2/8/18/15/1	45 Rh Rhodium 102,91 2/8/18/16/1	46 Pd Palladium 106,42 2/8/18/18	47 Ag Silber 107,87 2/8/18/18/1	48 Cd Cadmium 112,41 2/8/18/18/2	49 In Indium 114,82 2/8/18/18/3	50 Sn Zinn 118,71 2/8/18/18/4	51 Sb Antimon 121,76 2/8/18/18/5	52 Te Tellur 127,60 2/8/18/18/6	53 I Iod 126,90 2/8/18/18/7	54 Xe Xenon 131,29 2/8/18/18/8				
6	55 Cs Cäsium 132,91 2/8/18/18/8/1	56 Ba Barium 137,33 2/8/18/18/8/2	57-71 siehe unten	72 Hf Hafnium 178,49 2/8/18/32/10/2	73 Ta Tantal 180,95 2/8/18/32/11/2	74 W Wolfram 183,84 2/8/18/32/12/2	75 Re Rhenium 186,21 2/8/18/32/13/2	76 Os Osmium 190,23 2/8/18/32/14/2	77 Ir Iridium 192,22 2/8/18/32/15/2	78 Pt Platin 195,08 2/8/18/32/17/1	79 Au Gold 196,97 2/8/18/32/18/1	80 Hg Quecksilber 200,59 2/8/18/32/18/2	81 Tl Thallium 204,38 2/8/18/32/18/3	82 Pb Blei 207,2 2/8/18/32/18/4	83 Bi Bismut 208,98 2/8/18/32/18/5	84 Po Polonium 209,98 2/8/18/32/18/6	85 At Astat (210) 2/8/18/32/18/7	86 Rn Radon (222) 2/8/18/32/18/8				
7	87 Fr Francium (223) 2/8/18/32/18/8/1	88 Ra Radium 226,03 2/8/18/32/18/8/2	89-103 siehe unten	104 Rf Rutherfordium (261) 2/8/18/32/32/10/2	105 Db Dubnium (262) 2/8/18/32/32/11/2	106 Sg Seaborgium (263) 2/8/18/32/32/12/2	107 Bh Bohrium (262) 2/8/18/32/32/13/2	108 Hs Hassium (265) 2/8/18/32/32/14/2	109 Mt Meitnerium (266) 2/8/18/32/32/15/2	110 Ds Darmstadtium (269) 2/8/18/32/32/17/1	111 Rg Röntgenium (272) 2/8/18/32/32/18/1	112 Cn Copernicium (277) 2/8/18/32/32/18/2	113 Uut Ununtrium (287) 2/8/18/32/32/18/3	114 Fl Flerovium (289) 2/8/18/32/32/18/4	115 Uup Ununpentium (288) 2/8/18/32/32/18/5	116 Lv Livermorium (293) 2/8/18/32/32/18/6	117 Uus Ununseptium (294) 2/8/18/32/32/18/7	118 Uuo Ununoctium (294) 2/8/18/32/32/18/8				

Lanthanoide	57 La Lanthan 138,91 2/8/18/18/9/2	58 Ce Cer 140,12 2/8/18/19/9/2	59 Pr Praseodym 140,91 2/8/18/21/9/2	60 Nd Neodym 144,24 2/8/18/22/9/2	61 Pm Promethium 144,90 2/8/18/23/9/2	62 Sm Samarium 150,36 2/8/18/24/9/2	63 Eu Europium 151,96 2/8/18/25/9/2	64 Gd Gadolinium 157,25 2/8/18/25/9/2	65 Tb Terbium 158,93 2/8/18/27/9/2	66 Dy Dysprosium 162,50 2/8/18/28/9/2	67 Ho Holmium 164,93 2/8/18/29/9/2	68 Er Erbium 167,26 2/8/18/30/9/2	69 Tm Thulium 168,93 2/8/18/31/9/2	70 Yb Ytterbium 173,05 2/8/18/32/9/2	71 Lu Lutetium 174,97 2/8/18/32/9/2
Actinoide	89 Ac Actinium (227) 2/8/18/32/18/9/2	90 Th Thorium 232,04 2/8/18/32/18/10/2	91 Pa Protaktinium 231,04 2/8/18/32/20/9/2	92 U Uran 238,03 2/8/18/32/21/9/2	93 Np Neptunium 237,05 2/8/18/32/22/9/2	94 Pu Plutonium (244,10) 2/8/18/32/24/8/2	95 Am Americium (243,10) 2/8/18/32/25/8/2	96 Cm Curium (247,10) 2/8/18/32/25/9/2	97 Bk Berkelium (247,10) 2/8/18/32/25/10/2	98 Cf Californium (251,10) 2/8/18/32/28/8/2	99 Es Einsteinium (254,10) 2/8/18/32/29/8/2	100 Fm Fermium (257,10) 2/8/18/32/30/8/2	101 Md Mendelevium (258) 2/8/18/32/31/8/2	102 No Nobelium (259) 2/8/18/32/32/8/2	103 Lr Lawrencium (260) 2/8/18/32/32/9/2

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Periodic_table_%28German%29_EN.svg#mediaviewer/Datei:Periodic_table_%28German%29_EN.svg

Übergangsmetalle (ähnlich Metalle)

i.d.R. zwei Valenzelektronen $4s^2, 5s^2 \dots$

Besetzung der d-Orbitale

fest, Ausnahme Hg: flüssig bei RT

hohe Dichte, hoher Schmelzpunkt, hohe Festigkeit

	1																			18	
	1	2																			
	1	2																			
	2	3	4																		
	3	11	12																		
	4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
	5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54		
	6	55	56	57-71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86		
	7	87	88	89-103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118		
Periode																					

	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Lanthanoide	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
	Lanthan 138,91 2/8/18/18/ 9/2	Cer 140,12 2/8/18/19/ 9/2	Praseodym 140,91 2/8/18/21/ 9/2	Neodym 144,24 2/8/18/22/ 9/2	Promethium 146,90 2/8/18/23/ 9/2	Samarium 150,36 2/8/18/24/ 9/2	Europium 151,96 2/8/18/25/ 9/2	Gadolinium 157,25 2/8/18/25/ 9/2	Terbium 158,93 2/8/18/27/ 9/2	Dysprosium 162,50 2/8/18/28/ 9/2	Holmium 164,93 2/8/18/29/ 9/2	Erbium 167,26 2/8/18/30/ 9/2	Thulium 168,93 2/8/18/31/ 9/2	Ytterbium 173,05 2/8/18/32/ 9/2	Lutetium 174,97 2/8/18/32/ 9/2
Actinoide	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
	Actinium (227) 2/8/18/32/ 18/9/2	Thorium 232,04 2/8/18/32/ 18/10/2	Protaktinium 231,04 2/8/18/32/ 20/9/2	Uran 238,03 2/8/18/32/ 21/9/2	Neptunium 237,05 2/8/18/32/ 22/9/2	Plutonium (244,10) 2/8/18/32/ 24/8/2	Americium (243,10) 2/8/18/32/ 25/8/2	Curium (247,10) 2/8/18/32/ 25/9/2	Berkelium (247,10) 2/8/18/32/ 25/10/2	Californium (251,10) 2/8/18/32/ 28/8/2	Einsteinium (254,10) 2/8/18/32/ 29/8/2	Fermium (257,10) 2/8/18/32/ 30/8/2	Mendelevium (258) 2/8/18/32/ 31/8/2	Nobelium (259) 2/8/18/32/ 32/8/2	Lawrencium (260) 2/8/18/32/ 32/9/2

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Periodic_table_%28German%29_EN.svg#mediaviewer/Datei:Periodic_table_%28German%29_EN.svg

Seltenerdmetalle (ähnlich Metalle)

zwei Valenzelektronen $6s^2$, Besetzung der f-Orbitale

fest bei RT

weltweit nur wenige Lagerstätten

sehr ähnliches chem. Verhalten untereinander

	1																	18						
	1 H Wasserstoff 1,0079 1 2.1																	2 He Helium 4,0026 2						
1	3 Li Lithium 6,941 2/1 1.0	4 Be Beryllium 9,0122 2/2 1.5																	5 B Bor 10,811 2/3 2.0	6 C Kohlenstoff 12,011 2/4 2.5	7 N Stickstoff 14,007 2/5 3.0	8 O Sauerstoff 15,999 2/6 3.5	9 F Fluor 18,988 2/7 4.0	10 Ne Neon 20,180 2/8
2	11 Na Natrium 22,990 2/8/1 0.9	12 Mg Magnesium 24,305 2/8/2 1.2																	13 Al Aluminium 26,982 2/8/3 1.5	14 Si Silicium 28,086 2/8/4 1.8	15 P Phosphor 30,974 2/8/5 2.1	16 S Schwefel 32,065 2/8/6 2.5	17 Cl Chlor 35,453 2/8/7 3.0	18 Ar Argon 39,948 2/8/8
3	Gruppe																							
4	19 K Kalium 39,098 2/8/8/1 0.8	20 Ca Calcium 40,078 2/8/8/2 1.0	21 Sc Scandium 44,956 2/8/9/2 1.3	22 Ti Titan 47,867 2/8/10/2 1.5	23 V Vanadium 50,942 2/8/11/2 1.6	24 Cr Chrom 51,996 2/8/13/1 1.6	25 Mn Mangan 54,938 2/8/13/2 1.5	26 Fe Eisen 55,845 2/8/14/2 1.8	27 Co Cobalt 58,933 2/8/15/2 1.8	28 Ni Nickel 58,693 2/8/16/2 1.8	29 Cu Kupfer 63,546 2/8/18/1 1.9	30 Zn Zink 65,38 2/8/18/2 1.6	31 Ga Gallium 69,723 2/8/18/3 1.6	32 Ge Germanium 72,64 2/8/18/4 1.8	33 As Arsen 74,922 2/8/18/5 2.0	34 Se Selen 78,96 2/8/18/6 2.4	35 Br Brom 79,904 2/8/18/7 2.8	36 Kr Krypton 83,798 2/8/18/8						
5	37 Rb Rubidium 85,468 2/8/18/8/1 0.8	38 Sr Strontium 87,62 2/8/18/8/2 1.0	39 Y Yttrium 88,906 2/8/18/9/2 1.3	40 Zr Zirkonium 91,224 2/8/18/10/2 1.4	41 Nb Niob 92,906 2/8/18/12/1 1.6	42 Mo Molybdän 95,96 2/8/18/13/1 1.8	43 Tc Technetium 98,91 2/8/18/13/2 1.9	44 Ru Ruthenium 101,07 2/8/18/15/1 2.2	45 Rh Rhodium 102,91 2/8/18/16/1 2.2	46 Pd Palladium 106,42 2/8/18/18 2.2	47 Ag Silber 107,87 2/8/18/18/1 1.9	48 Cd Cadmium 112,41 2/8/18/18/2 1.7	49 In Indium 114,82 2/8/18/18/3 1.7	50 Sn Zinn 118,71 2/8/18/18/4 1.8	51 Sb Antimon 121,76 2/8/18/18/5 1.9	52 Te Tellur 127,60 2/8/18/18/6 2.1	53 I Iod 126,90 2/8/18/18/7 2.5	54 Xe Xenon 131,29 2/8/18/18/8						
6	55 Cs Cäsium 132,91 2/8/18/18/8/1 0.7	56 Ba Barium 137,33 2/8/18/18/8/2 0.9	57-71 siehe unten	72 Hf Hafnium 178,49 2/8/18/32/10/2 1.3	73 Ta Tantal 180,95 2/8/18/32/11/2 1.5	74 W Wolfram 183,84 2/8/18/32/12/2 1.7	75 Re Rhenium 186,21 2/8/18/32/13/2 1.9	76 Os Osmium 190,23 2/8/18/32/14/2 2.2	77 Ir Iridium 192,22 2/8/18/32/15/2 2.2	78 Pt Platin 195,08 2/8/18/32/17/1 2.2	79 Au Gold 196,97 2/8/18/32/18/1 2.4	80 Hg Quecksilber 200,59 2/8/18/32/18/2 1.9	81 Tl Thallium 204,38 2/8/18/32/18/3 1.8	82 Pb Blei 207,2 2/8/18/32/18/4 1.8	83 Bi Bismut 208,98 2/8/18/32/18/5 1.9	84 Po Polonium 209,98 2/8/18/32/18/6 2.0	85 At Astat (210) 2/8/18/32/18/7 2.2	86 Rn Radon (222) 2/8/18/32/18/8						
7	87 Fr Francium (223) 2/8/18/32/18/8/1 0.7	88 Ra Radium 226,03 2/8/18/32/18/8/2 0.9	89-103 siehe unten	104 Rf Rutherfordium (261) 2/8/18/32/32/10/2	105 Db Dubnium (262) 2/8/18/32/32/11/2	106 Sg Seaborgium (263) 2/8/18/32/32/12/2	107 Bh Bohrium (262) 2/8/18/32/32/13/2	108 Hs Hassium (265) 2/8/18/32/32/14/2	109 Mt Meitnerium (266) 2/8/18/32/32/15/2	110 Ds Darmstadtium (272) 2/8/18/32/32/17/1	111 Rg Röntgenium (272) 2/8/18/32/32/18/1	112 Cn Copernicium (277) 2/8/18/32/32/18/2	113 Uut Ununtrium (287) 2/8/18/32/32/18/3	114 Fl Flerovium (289) 2/8/18/32/32/18/4	115 Uup Ununpentium (288) 2/8/18/32/32/18/5	116 Lv Livermorium (293) 2/8/18/32/32/18/6	117 Uus Ununseptium (294) 2/8/18/32/32/18/7	118 Uuo Ununoctium (294) 2/8/18/32/32/18/8						

	57 La Lanthan 138,91 2/8/18/18/9/2 1.1	58 Ce Cer 140,12 2/8/18/19/9/2 1.1	59 Pr Praseodym 140,91 2/8/18/21/8/2 1.1	60 Nd Neodym 144,24 2/8/18/22/8/2 1.1	61 Pm Promethium 144,90 2/8/18/23/8/2 1.1	62 Sm Samarium 150,36 2/8/18/24/8/2 1.2	63 Eu Europium 151,96 2/8/18/25/8/2 1.2	64 Gd Gadolinium 157,25 2/8/18/25/9/2 1.2	65 Tb Terbium 158,93 2/8/18/27/8/2 1.2	66 Dy Dysprosium 162,50 2/8/18/28/8/2 1.2	67 Ho Holmium 164,93 2/8/18/29/8/2 1.2	68 Er Erbium 167,26 2/8/18/30/8/2 1.2	69 Tm Thulium 168,93 2/8/18/31/8/2 1.2	70 Yb Ytterbium 173,05 2/8/18/32/8/2 1.2	71 Lu Lutetium 174,97 2/8/18/32/9/2 1.2
Lanthanoide	89 Ac Actinium (227) 2/8/18/32/18/9/2 1.1	90 Th Thorium 232,04 2/8/18/32/18/10/2 1.3	91 Pa Protaktinium 231,04 2/8/18/32/20/9/2 1.5	92 U Uran 238,03 2/8/18/32/21/9/2 1.4	93 Np Neptunium 237,05 2/8/18/32/22/9/2 1.3	94 Pu Plutonium (244,10) 2/8/18/32/24/8/2 1.3	95 Am Americium (243,10) 2/8/18/32/25/8/2 1.3	96 Cm Curium (247,10) 2/8/18/32/25/9/2 1.3	97 Bk Berkelium (247,10) 2/8/18/32/25/10/2 1.3	98 Cf Californium (251,10) 2/8/18/32/28/8/2 1.3	99 Es Einsteinium (254,10) 2/8/18/32/29/8/2 1.3	100 Fm Fermium (257,10) 2/8/18/32/30/8/2 1.3	101 Md Mendelevium (258) 2/8/18/32/31/8/2 1.3	102 No Nobelium (259) 2/8/18/32/32/8/2 1.3	103 Lr Lawrencium (260) 2/8/18/32/32/9/2 1.3
Actinoide															

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Periodic_table_%28German%29_EN.svg#mediaviewer/Datei:Periodic_table_%28German%29_EN.svg

Erdalkalimetalle (ähnlich Metalle)

zwei Valenzelektronen $2s^2, 3s^2, 4s^2 \dots$

mittlere chem. Reaktivität

fest bei RT

niedrige Dichte, mittlerer Schmelzpunkt, mittlere Festigkeit

	1																	18	
	1	2											13	14	15	16	17		
	1	2											5	6	7	8	9	10	
	2	3	4											13	14	15	16	17	18
	3	11	12											13	14	15	16	17	18
	Gruppe																		
Periode	4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
	6	55	56	57-71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
	7	87	88	89-103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118



Lanthanoide

57	La	58	Ce	59	Pr	60	Nd	61	Pm	62	Sm	63	Eu	64	Gd	65	Tb	66	Dy	67	Ho	68	Er	69	Tm	70	Yb	71	Lu
Lanthan	Cer	Praseodym	Neodym	Promethium	Samarium	Europium	Gadolinium	Terbium	Dysprosium	Holmium	Erbium	Thulium	Ytterbium	Lutetium															
138,91	140,12	140,91	144,24	146,90	151,96	157,25	162,50	158,93	162,50	164,93	167,26	168,93	173,05	174,97															
2/8/18/18/9/2	2/8/18/19/9/2	2/8/18/21/8/2	2/8/18/22/11/2	2/8/18/23/13/2	2/8/18/24/14/2	2/8/18/25/15/2	2/8/18/27/17/1	2/8/18/28/18/2	2/8/18/29/18/2	2/8/18/29/18/2	2/8/18/30/18/2	2/8/18/31/18/2	2/8/18/32/18/2	2/8/18/32/18/2	2/8/18/32/18/2														

Actinoide

89	Ac	90	Th	91	Pa	92	U	93	Np	94	Pu	95	Am	96	Cm	97	Bk	98	Cf	99	Es	100	Fm	101	Md	102	No	103	Lr
Actinium	Thorium	Protaktinium	Uran	Neptunium	Plutonium	Americium	Curium	Berkelium	Californium	Einsteinium	Fermium	Mendelevium	Nobelium	Lawrencium															
(227)	232,04	231,04	238,03	237,05	(244,10)	(243,10)	(247,10)	(247,10)	(251,10)	(254,10)	(258)	(259)	(260)	(260)															
2/8/18/32/18/9/2	2/8/18/32/18/10/2	2/8/18/32/20/9/2	2/8/18/32/21/9/2	2/8/18/32/22/9/2	2/8/18/32/24/8/2	2/8/18/32/25/8/2	2/8/18/32/25/9/2	2/8/18/32/25/10/2	2/8/18/32/28/8/2	2/8/18/32/29/8/2	2/8/18/32/30/8/2	2/8/18/32/31/8/2	2/8/18/32/32/8/2	2/8/18/32/32/9/2															

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Periodic_table_%28German%29_EN.svg#mediaviewer/Datei:Periodic_table_%28German%29_EN.svg

Alkalimetalle (ähnlich Metalle)

ein Valenzelektronen $2s^1, 3s^1, 4s^1 \dots$

chem. sehr reaktiv

fest bei RT

niedrige Dichte, niedriger Schmelzpunkt, niedrige Festigkeit

	1																	18	
	1	2											13	14	15	16	17		
	1	2											5	6	7	8	9	10	
	2	3	4									13	14	15	16	17	18		
	3	4											13	14	15	16	17	18	
	4	5	6	7	8	9	10	11	12										
Periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	1 H Wasserstoff 1,0079 1																	2 He Helium 4,0026 2	
2	3 Li Lithium 6,941 2/1	4 Be Beryllium 9,0122 2/2											5 B Bor 10,811 2/3	6 C Kohlenstoff 12,011 2/4	7 N Stickstoff 14,007 2/5	8 O Sauerstoff 15,999 2/6	9 F Fluor 18,988 2/7	10 Ne Neon 20,180 2/8	
3	11 Na Natrium 22,990 2/8/1	12 Mg Magnesium 24,305 2/8/2											13 Al Aluminium 26,982 2/8/3	14 Si Silicium 28,086 2/8/4	15 P Phosphor 30,974 2/8/5	16 S Schwefel 32,065 2/8/6	17 Cl Chlor 35,453 2/8/7	18 Ar Argon 39,948 2/8/8	
4	19 K Kalium 39,098 2/8/8/1	20 Ca Calcium 40,078 2/8/8/2	21 Sc Scandium 44,956 2/8/9/2	22 Ti Titan 47,867 2/8/10/2	23 V Vanadium 50,942 2/8/11/2	24 Cr Chrom 51,996 2/8/13/1	25 Mn Mangan 54,938 2/8/13/2	26 Fe Eisen 55,845 2/8/14/2	27 Co Cobalt 58,933 2/8/15/2	28 Ni Nickel 58,693 2/8/16/2	29 Cu Kupfer 63,546 2/8/18/1	30 Zn Zink 65,38 2/8/18/2	31 Ga Gallium 69,723 2/8/18/3	32 Ge Germanium 72,64 2/8/18/4	33 As Arsen 74,922 2/8/18/5	34 Se Selen 78,96 2/8/18/6	35 Br Brom 79,904 2/8/18/7	36 Kr Krypton 83,798 2/8/18/8	
5	37 Rb Rubidium 85,468 2/8/18/8/1	38 Sr Strontium 87,62 2/8/18/8/2	39 Y Yttrium 88,906 2/8/18/9/2	40 Zr Zirkonium 91,224 2/8/18/10/2	41 Nb Niob 92,906 2/8/18/12/1	42 Mo Molybdän 95,96 2/8/18/13/1	43 Tc Technetium 98,91 2/8/18/13/2	44 Ru Ruthenium 101,07 2/8/18/15/1	45 Rh Rhodium 102,91 2/8/18/16/1	46 Pd Palladium 106,42 2/8/18/18	47 Ag Silber 107,87 2/8/18/18/1	48 Cd Cadmium 112,41 2/8/18/18/2	49 In Indium 114,82 2/8/18/18/3	50 Sn Zinn 118,71 2/8/18/18/4	51 Sb Antimon 121,76 2/8/18/18/5	52 Te Tellur 127,60 2/8/18/18/6	53 I Iod 126,90 2/8/18/18/7	54 Xe Xenon 131,29 2/8/18/18/8	
6	55 Cs Cäsium 132,91 2/8/18/18/8/1	56 Ba Barium 137,33 2/8/18/18/8/2	57-71 siehe unten	72 Hf Hafnium 178,49 2/8/18/32/10/2	73 Ta Tantal 180,95 2/8/18/32/11/2	74 W Wolfram 183,84 2/8/18/32/12/2	75 Re Rhenium 186,21 2/8/18/32/13/2	76 Os Osmium 190,23 2/8/18/32/14/2	77 Ir Iridium 192,22 2/8/18/32/15/2	78 Pt Platin 195,08 2/8/18/32/17/1	79 Au Gold 196,97 2/8/18/32/18/1	80 Hg Quecksilber 200,59 2/8/18/32/18/2	81 Tl Thallium 204,38 2/8/18/32/18/3	82 Pb Blei 207,2 2/8/18/32/18/4	83 Bi Bismut 208,98 2/8/18/32/18/5	84 Po Polonium 209,98 2/8/18/32/18/6	85 At Astat (210) 2/8/18/32/18/7	86 Rn Radon (222) 2/8/18/32/18/8	
7	87 Fr Francium (223) 2/8/18/32/18/8/1	88 Ra Radium 226,03 2/8/18/32/18/8/2	89-103 siehe unten	104 Rf Rutherfordium (261) 2/8/18/32/32/10/2	105 Db Dubnium (262) 2/8/18/32/32/11/2	106 Sg Seaborgium (263) 2/8/18/32/32/12/2	107 Bh Bohrium (264) 2/8/18/32/32/13/2	108 Hs Hassium (265) 2/8/18/32/32/14/2	109 Mt Meitnerium (269) 2/8/18/32/32/15/2	110 Ds Darmstadtium (272) 2/8/18/32/32/17/1	111 Rg Röntgenium (273) 2/8/18/32/32/18/1	112 Cn Copernicium (284) 2/8/18/32/32/18/2	113 Uut Ununtrium (287) 2/8/18/32/32/18/3	114 Fl Flerovium (289) 2/8/18/32/32/18/4	115 Uup Ununpentium (293) 2/8/18/32/32/18/5	116 Lv Livermorium (293) 2/8/18/32/32/18/6	117 Uus Ununseptium (294) 2/8/18/32/32/18/7	118 Uuo Ununoctium (294) 2/8/18/32/32/18/8	



Lanthanoide

57 La Lanthan 138,91 2/8/18/18/9/2	58 Ce Cer 140,12 2/8/18/19/9/2	59 Pr Praseodym 140,91 2/8/18/21/9/2	60 Nd Neodym 144,24 2/8/18/22/9/2	61 Pm Promethium 144,90 2/8/18/23/9/2	62 Sm Samarium 150,36 2/8/18/24/9/2	63 Eu Europium 151,96 2/8/18/25/9/2	64 Gd Gadolinium 157,25 2/8/18/25/9/2	65 Tb Terbium 158,93 2/8/18/27/9/2	66 Dy Dysprosium 162,50 2/8/18/28/9/2	67 Ho Holmium 164,93 2/8/18/29/9/2	68 Er Erbium 167,26 2/8/18/30/9/2	69 Tm Thulium 168,93 2/8/18/31/9/2	70 Yb Ytterbium 173,05 2/8/18/32/9/2	71 Lu Lutetium 174,97 2/8/18/32/9/2
---	---	---	--	--	--	--	--	---	--	---	--	---	---	--

Actinoide

89 Ac Actinium (227) 2/8/18/32/18/9/2	90 Th Thorium 232,04 2/8/18/32/18/10/2	91 Pa Protaktinium 231,04 2/8/18/32/20/9/2	92 U Uran 238,03 2/8/18/32/21/9/2	93 Np Neptunium 237,05 2/8/18/32/22/9/2	94 Pu Plutonium (244,10) 2/8/18/32/24/8/2	95 Am Americium (243,10) 2/8/18/32/25/8/2	96 Cm Curium (247,10) 2/8/18/32/25/9/2	97 Bk Berkelium (247,10) 2/8/18/32/25/10/2	98 Cf Californium (251,10) 2/8/18/32/28/8/2	99 Es Einsteinium (254,10) 2/8/18/32/29/8/2	100 Fm Fermium (257,10) 2/8/18/32/30/8/2	101 Md Mendelevium (258) 2/8/18/32/31/8/2	102 No Nobelium (259) 2/8/18/32/32/8/2	103 Lr Lawrencium (260) 2/8/18/32/32/9/2
--	---	---	--	--	--	--	---	---	--	--	---	--	---	---

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Periodic_table_%28German%29_EN.svg#mediaviewer/Datei:Periodic_table_%28German%29_EN.svg

Orbitale

Orbital: räumliche Verteilung der Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Elektronen in Abhängigkeit ihres Energieniveaus

$\Psi(x,y,z,t)$ = Wellenfunktion eines Elektrons mit bestimmtem Energieniveau

Schrödinger-Gleichung (partielle Differentialgleichung)

$$i \cdot \hbar \cdot \frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2 \cdot m} \cdot \left(\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} \right) + V \cdot \Psi$$

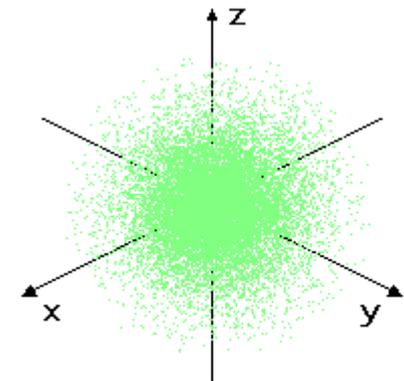
i = imaginäre Einheit

m = Masse

\hbar = reduzierte Planck'sche Konstante

V = Potenzial

$|\Psi(x,y,z,t)|^2$ = Aufenthaltswahrscheinlichkeit eines Elektrons mit bestimmtem Energieniveau

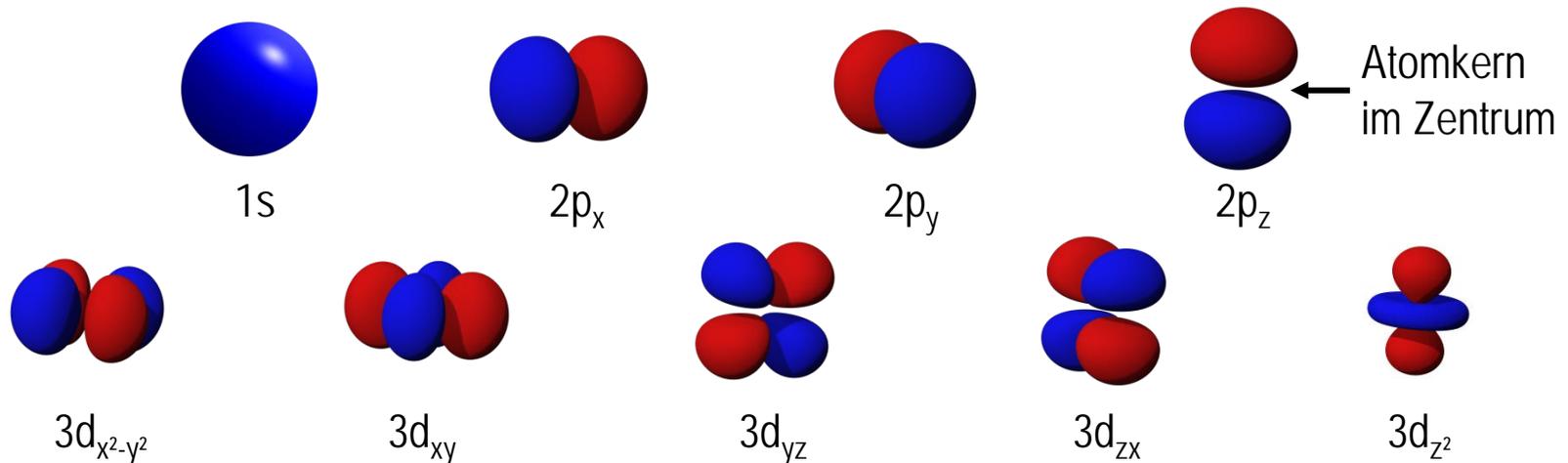


Bsp. 1s

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Orbital_s_1.png?uselang=de

Orbitale

- Darstellung: Oberfläche des Volumens in dessen Inneren sich das Elektron mit großer Wahrscheinlichkeit (z.B. 90%) aufhält
- in jedem Orbital max. zwei Elektronen mit entgegengesetzter Spinquantenzahl



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hydrogen_eigenstate_n1_l0_m0.png?uselang=de

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Px_orbital.png?uselang=de

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Py_orbital.png?uselang=de

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pz_orbital.png?uselang=de

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dx2-y2_orbital.png?uselang=de

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dxy_orbital.png?uselang=de

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dxz_orbital.png?uselang=de

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dyz_orbital.png?uselang=de

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:D3M0.png?uselang=de>

Zwischenfazit Atommodelle

Atommodelle

- Atom, Atomkern, Atomhülle, Proton, Neutron, Elektron
- Energieniveaus der Elektronen, Orbitalmodell
- Periodensystem der Elemente
- Metalle, Nichtmetalle, etc.

Chemische Bindungen

Atome streben energetisch niedrigsten Zustand an,
in der Regel komplett gefüllte äußerste Schale,
d.h. acht Valenzelektronen (H, He: zwei)

- liegt bei Edelgasen vor (eiatomige Gase, nicht reaktiv)
- andere Atome können diesen Zustand in chemischen Bindungen erreichen

Chemische Bindungen beruhen auf elektrostatischen Wechselwirkungen

- Ionenbindung
- Kovalente Bindung
- Metallische Bindung
- schwache Bindung

Ionen

Atome erreichen komplett gefüllte äußere Schale durch
Abgabe oder Aufnahme von Elektronen

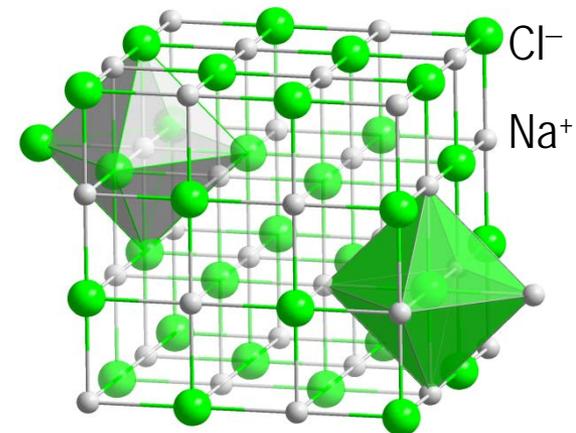
- Ionen, elektrisch geladene Atome (oder Moleküle)
- Elemente links im Periodensystem, Metalle, wenige Valenzelektronen
Abgabe von Elektronen → positiv geladene Ionen: Kationen
- Bsp. $\text{Na} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{e}^-$

Natrium-Atom Na	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$	1 Valenzelektron
Natrium-Kation Na^+	$1s^2 2s^2 2p^6$	8 Valenzelektronen
- Elemente rechts im Periodensystem, Nichtmetalle, Halogene, viele Valenzelektronen
Aufnahme von Elektronen → negativ geladene Ionen: Anionen
- Bsp. $\text{Cl} + \text{e}^- \rightarrow \text{Cl}^-$

Chlor-Atom Cl	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$	7 Valenzelektronen
Chlor-Anion Cl^-	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$	8 Valenzelektronen

Ionenbindung

- elektrostatische Anziehung Kation \rightarrow \leftarrow Anion
elektrostatische Abstoßung Kation \leftarrow \rightarrow Kation
bzw. Anion \leftarrow \rightarrow Anion
- elektrostatische Anziehung, Abstoßung in alle Raumrichtungen gleich stark, ungerichtete Bindung
- Kationen von möglichst vielen Anionen umgeben (und umgekehrt)
- Anionen und Kationen bilden räumliches Ionengitter
- Ionengittertyp hängt von Größenverhältnis Kation/Anion ab
Bsp. NaCl: kubisch primitives Gitter



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c0/NaCl_polyhedra.png

Ionenbindung

Stoffe, in denen Ionenbindung dominiert

- Verbindungen zwischen Elementen links im Periodensystem, Metalle und Elementen rechts im Periodensystem, Nichtmetalle, Halogene
- Bsp. Metallhalogenide (NaCl...), Metalloxide (MgO...), etc.

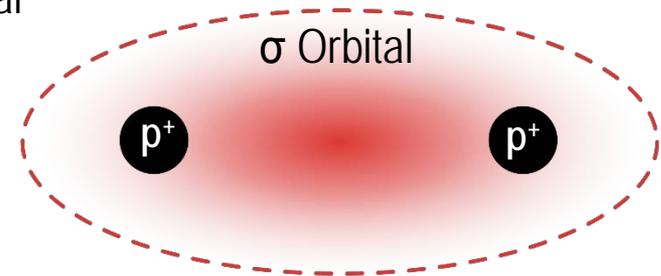
typische Eigenschaften

- niedrige thermische, elektrische Leitfähigkeit im festen Zustand
- niedrige Duktilität
- hohe Schmelztemperaturen

Kovalente Bindung (Elektronenpaarbindung)

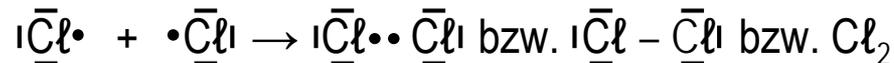
Atome erreichen komplett besetzte äußere Schale durch
Bildung von gemeinsamen Elektronenpaaren zwischen zwei Atomen

- Bsp. Wasserstoff ($1s^1$) fehlt ein Elektron zur komplett besetzten äußeren Schale
 $H \cdot + \cdot H \rightarrow H \bullet \bullet H$ bzw. $H - H$ bzw. H_2
- zwei $1s$ Orbitale überlagern sich zu einem σ Orbital
hohe Aufenthaltswahrscheinlichkeit des
Elektronenpaares zwischen Atomkernen
- elektrostatische Anziehung
Atomkern $\rightarrow \leftarrow$ Elektronenpaar
elektrostatische Abstoßung
Atomkern $\leftarrow \rightarrow$ Atomkern
- nur zwischen diesen Atomkernen und diesem Elektronenpaar
gerichtete Bindung

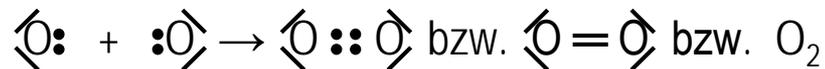


Kovalente Bindung (Elektronenpaarbindung)

- Bsp. Chlor



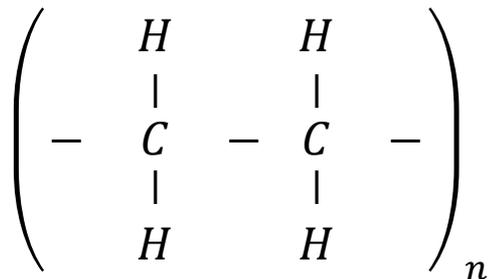
- Bsp. Sauerstoff



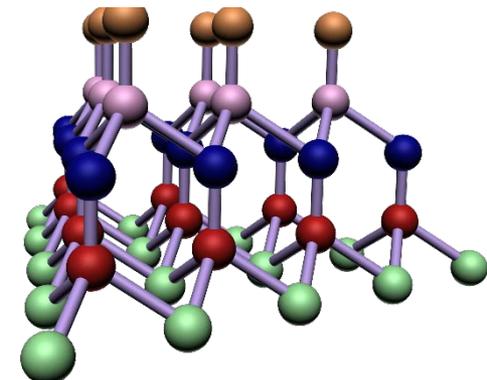
Kovalente Bindung (Elektronenpaarbindung)

Stoffe, in denen kovalente Bindung dominiert

- Verbindungen zwischen Nichtmetallen (inkl. Halogenen)
Bsp. H_2 , N_2 , O_2 , Cl_2 , H_2O , CO_2 , CH_4 , NH_3 , HCl ...
kleine Moleküle
häufig gasförmig oder flüssig bei RT
- Bsp. Festkörper, Makromoleküle
Polyethylen, $n = \text{einige } 1000$



- Bsp. Festkörper,
kovalente Atomgitter
Kohlenstoff, Diamant



<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diamant20.png?uselang=de>

Metallische Bindung

Atome erreichen komplett besetzte äußere Schale durch Bildung eines „Elektronengases“ zwischen vielen Atomrümpfen (Kern und innere Schalen)

- Elemente links im Periodensystem, Metalle, wenige Valenzelektronen
Abgabe von Elektronen → positiv geladene Atomrümpfe (Kern, innere Schalen)

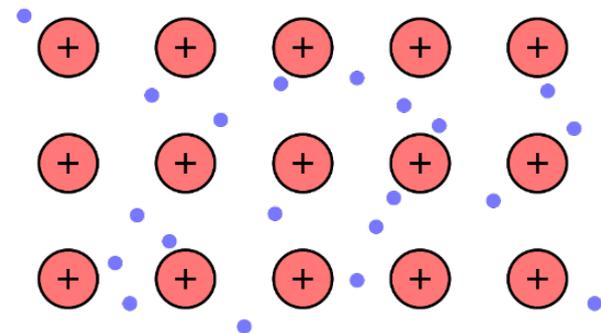
- Bsp. $\text{Na} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{e}^-$

Natrium-Atom Na $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$

Atomrumpf Na^+ $1s^2 2s^2 2p^6$

- „Elektronengas“: frei bewegliche Elektronen

- elektrostatische Anziehung
Atomrumpf → ← Elektronengas
elektrostatische Abstoßung
Atomrumpf ← → Atomrumpf

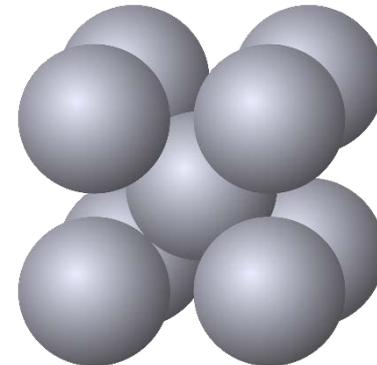


Metallische Bindung

- elektrostatische Anziehung, Abstoßung in alle Raumrichtungen gleich stark, ungerichtete Bindung
- Atomrümpfe bilden räumliches Gitter
Bsp. kubisch-raumzentriert (Natrium)

typische Eigenschaften

- fest bei RT
- hohe elektrische, thermische Leitfähigkeit
- hohe Duktilität
- metallischer Glanz



Schwache Bindungen

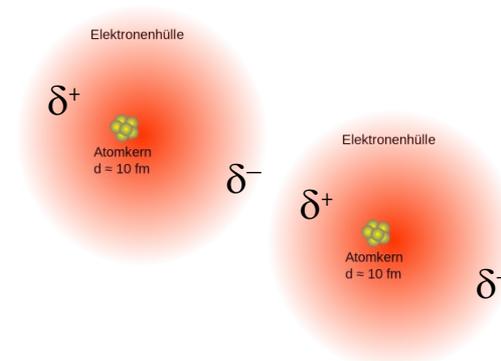
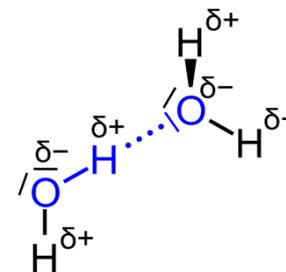
schwächer als Ionen-, kovalente und metallische Bindung

Wasserstoffbrückenbindung

- elektrostatische Anziehung zwischen permanenten Dipolen, Teilladungen δ
- kovalent gebundenes Wasserstoffatom und Atom mit freiem Elektronenpaar

Van-der-Waals-Bindung

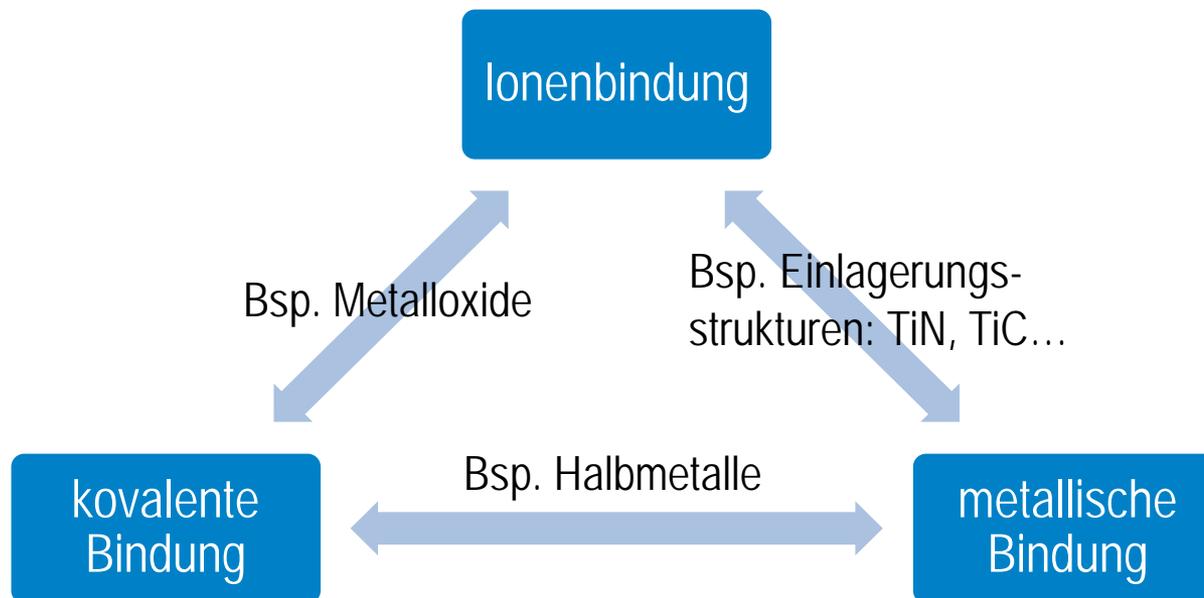
- elektrostatische Anziehung zwischen temporären Dipolen
- Atome (Moleküle) durch Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Elektronen temporär polarisiert



<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:H-Bruecke-delta.svg#mediaviewer/Datei:H-Bruecke-delta.svg>
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Polarisiertes_Atom.svg#mediaviewer/File:Polarisiertes_Atom.svg

Mischbindungen

- chem. Bindungen häufig nicht reine Ionen-, kovalente, metallische Bindungen
- Charakteristika mehrerer Bindungsarten → Mischbindungen
- abhängig von der Art der beteiligten Atome



Werkstoffhauptgruppen

Charakteristika (überwiegend)	Metallische Werkstoffe	Nichtmetallisch- Organische Werkstoffe, Polymerwerkstoffe	Nichtmetallisch-An- organische Werkstoffe, Keramische Werkstoffe
chemische Zusammen- setzung	metallische Elemente	nichtmetallische Elemente	metallische und nicht- metallische Elemente
chemische Bindungsart	metallische Bindung	kovalente Bindung, schwache Bindungen	Ionenbindung
Anordnung der Atome	regelmäßig (kristallin)	regellos (amorph)	regelmäßig (kristallin)
Beispiele	Eisenlegierungen Aluminiumlegierungen	Polyethylen PE Polypropylen PP	Aluminiumoxid Al_2O_3 Siliziumcarbid SiC
bleibende (plastische) Umformbarkeit	hoch	hoch	niedrig
elektrische und thermi- sche Leitfähigkeit	hoch	niedrig	niedrig
chemische Beständigkeit	niedrig	hoch	hoch

Zusammenfassung

Atommodelle

- Atom, Atomkern, Atomhülle, Proton, Neutron, Elektron
- Energieniveaus der Elektronen, Orbitalmodell
- Periodensystem der Elemente
- Metalle, Nichtmetalle, etc.

Bindungsarten

- Ionenbindung
- Kovalente Bindung
- Metallische Bindung
- schwache Bindungen

Literatur

- *Jürgen Eichler, Physik für das Ingenieurstudium, Springer, 2014*
<http://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-658-04626-2>
- *Hammer, Karl / Hammer, Hildegard, Grundkurs der Physik 2, R. Oldenbourg Verlag München Wien 1994*
<http://www.degruyter.com/viewbooktoc/product/225289>
- *Wolfgang Demtröder, Experimentalphysik 3, Springer 2010*
<http://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-642-03911-9>
- *Kalvius, Georg Michael, Physik IV, Oldenbourg Verlag München Wien, 1999*
<http://www.degruyter.com/viewbooktoc/product/220788>
- *Bergmann, Wolfgang, Werkstofftechnik - Teil 1: Grundlagen 6. Auflage - München [u.a.] : Hanser, 2008*
<http://www.hanser-elibrary.com/isbn/9783446413382>
- *Worch, Hartmut; Pompe, Wolfgang; Schatt, Werner, Werkstoffwissenschaft 10. Auflage - Weinheim : Wiley-VCH, 2011*