

Anorganische Chemie kompakt für Dummies — Schummelseite

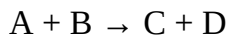
Periodensystem der Elemente

Ia										IIa										IIIa										IVa										Va										VIa										VIIa										VIIIa																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
1	2.20																			2	He																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
H																				Elektronegativität																				Al																				relative																				Atommasse																				26.9815																																																																																																																																																																																																																																																																			
Wasserstoff																				Aluminium																				13																				1.61																				26.9815																																																																																																																																																																																																																																																																																							
3	0.98																			4	1.57																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Li																				Be																				B																				C																				N																				O																				F																				Ne																																																																																																																																																																																																																											
Lithium																				Beryllium																				Bor																				Kohlenstoff																				Stickstoff																				Sauerstoff																				Fluor																				Neon																																																																																																																																																																																																																											
6.941																				9.0122																				10.811																				12.011																				14.0067																				15.9994																				18.9984																				20.1797																																																																																																																																																																																																																											
11	0.93																			12	1.31																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Na																				Mg																				Al																				Si																				P																				S																				Cl																				Ar																																																																																																																																																																																																																											
Natrium																				Magnesium																				Aluminium																				Silicium																				Phosphor																				Schwefel																				Chlor																				Argon																																																																																																																																																																																																																											
22.9898																				24.3050																				26.9815																				28.0855																				30.9738																				32.066																				35.4527																				39.948																																																																																																																																																																																																																											
IIIb										IVb										Vb										VIb										VIIb										VIIIb										Ib										IIb																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
19	0.82																			20	1.0																			21	1.36																			22	1.54																			23	1.63																			24	1.66																			25	1.55																			26	1.83																			27	1.88																			28	1.91																			29	1.9																			30	1.65																																																																																																																																										
K																				Ca																				Sc																				Ti																				V																				Cr																				Mn																				Fe																				Co																				Ni																				Cu																				Zn																				Ga																				Ge																				As																				Se																				Br																				Kr																			
Kalium																				Calcium																				Scandium																				Titan																				Vanadium																				Chrom																				Mangan																				Eisen																				Cobalt																				Nickel																				Kupfer																				Zink																				Gallium																				Germanium																				Arsen																				Selen																				Brom																				Krypton																			
39.0983																				40.078																				44.9559																				47.867																				50.9415																				51.9961																				54.9381																				55.845																				58.9332																				58.6934																				63.546																				65.39																				69.723																				72.61																				74.9216																				78.966																				79.904																				83.80																			
37	0.82																			38	0.95																			39	1.22																			40	1.33																			41	1.6																			42	2.16																			43	1.9																			44	2.2																			45	2.28																			46	2.2																			47	1.93																			48	1.69																			49	1.78																			50	1.96																			51	1.96																			52	2.1																			53	2.66																			54	2.6																		
Rb																				Sr																				Y																				Zr																				Nb																				Mo																				Tc																				Ru																				Rh																				Pd																				Ag																				Cd																				In																				Sn																				Sb																				Te																				I																				Xe																			
Rubidium																				Strontium																				Yttrium																				Zirkonium																				Niob																				Molybdän																				Technetium																				Ruthenium																				Rhodium																				Paladium																				Silber																				Kadmium																				Indium																				Zinn																				Antimon																				Tellur																				Iod																				Xenon																			
85.4678																				87.62																				88.9059																				91.224																				92.9064																				95.94																				(98)																				101.07																				102.9055																				106.42																				107.8682																				112.411																				114.818																				118.71																				121.760																				127.60																				126.9045																				131.29																			
55	0.79																			56	0.89																			72	1.3																			73	1.5																			74	2.36																			75	1.9																			76	2.2																			77	2.2																			78	2.2																			79	2.4																			80	1.9																			81	1.8																			82	1.8																			83	1.9																			84	2.0																			85	2.2																			86	2.2																																						
Cs																				Ba																				Hf																				Ta																				W																				Re																				Os																				Ir																				Pt																				Au																				Hg																				Tl																				Pb																				Bi																				Po																				At																				Rn																																							
Cäsium																				Baryum																				Hafnium																				Tantal																				Wolfram																				Rhenium																				Osmium																				Iridium																				Platin																				Gold																				Quecksilber																				Thallium																				Blei																				Bismut																				Polonium																				Astat																				Radon																																							
132.9054																				137.327																				178.49																				180.9479																				183.84																				186.207																				190.23																				192.227																				195.08																				196.9665																				200.59																				204.3833																				207.19																				208.9804																				(208.98)																				(209.99)																				(222.02)																																							
87	0.7																			88	0.9																			104	2.67																			105	2.68																			106	2.71																			107	2.72																			108	2.73																			109	2.76																			110	2.81																			111	2.80																			112	2.85																			113	2.87																			114	2.89																			115	2.91																			116	2.92																			117	2.93																			118	2.94																																						
Fr																				Ra																				Rf																				Db																				Sg																				Bh																				Hs																				Mt																				Ds																				Rg																				Cu																				Uut																				Uuq																				Uup																				Uuh																				Uus																				Uuo																																							
Francium																				Radium																				Rutherfordium																				Dubnium																				Seaborgium																				Bohrium																				Hassium																				Meitnerium																				Darmstadtium																				Roentgenium																				Copernicium																				Ununtrium																				Flerovium																				Ununpentium																				Livermorium																				Ununseptium																				Ununoctium																																							
223.021																				226.03																				(267)																				(268)																				(271)																				(272)																				(273)																				(276)																				(281)																				(280)																				(285)																				(287)																				(289)																				(291)																				(292)																				(293)																				(294)																																							
Lanthanoide:																				Actinoide:																				57																				58																				59																				60																				61																				62																				63																				64																				65																				66																				67																				68																				69																				70																				71																																							
Lanthanoide:																				Actinoide:																				La																				Ce																				Pr																				Nd																				Pm																				Sm																				Eu																				Gd																				Tb																				Dy																				Ho																				Er																				Tm																				Yb																				Lu																																							
Lanthanoide:																				Actinoide:																				Lanthan																				Cer																				Praseodym																				Neodym																				Promethium																				Samarium																				Europium																				Gadolinium																				Terbium																				Dysprosium																				Holmium																				Erbium																				Thulium																				Ytterbium																				Lutetium																																							
Lanthanoide:																				Actinoide:																				138.9055																				140.115																				140.91																				144.24																				(145)																				150.36																				151.965																				157.25																				158.9253																				162.50																				164.9303																				167.26																				168.9342																				173.04																				174.967																																							
Lanthanoide:																				Actinoide:																				89																				90																				91																				92																				93																				94																				95																				96																				97																				98																				99																				100																				101																				102																				103																																							
Lanthanoide:																				Actinoide:																				Ac																				Th																				Pa																				U																				Np																				Pu																				Am																				Cm																				Bk																				Cf																				Es																				Fm																				Md																				No																				Lr																																							
Lanthanoide:																				Actinoide:																				Actinium																				Thorium																				Protactinium																				Uran																				Neptunium																				Plutonium																				Americium																				Curium																				Berkelium																				Californium																				Einsteinium																				Fermium																				Mendelevium																				Nobelium																				Lawrencium																																							
Lanthanoide:																				Actinoide:																				(227)																				232.04																				231.04																				238.03																				(237)																				(244)																				(243)																				(247)																				(247)																				(251)																				(252)																				(257)																				(258)																				(259)																				(262)																																							

Metalle
 Halbmetalle
 Nichtmetalle
 Po radioaktiv

Anorganische Chemie kompakt für Dummies — Schummelseite

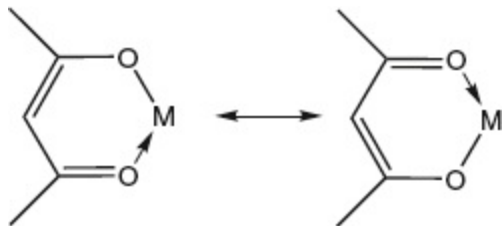
Ausgangsstoffen A und B entstehen die Produkte C und D:



Ein Pfeil ist hier besser als ein Gleichheitszeichen, da man häufig die Reaktionsprodukte nicht wieder ohne weiteres in die Ausgangsstoffe zurückverwandeln kann. Anders ist das beim chemischen Gleichgewicht. Hierbei liegen die Ausgangsstoffe A und B mit den Reaktionsprodukten C und D im Gleichgewicht vor. Zur Symbolisierung eines Gleichgewichtes verwendet man einen doppelten Pfeil, der in beide Richtungen zeigt:



Ausgangsstoffe und Produkte existieren nebeneinander in unterschiedlichen Anteilen. Man versucht häufig die Lage des Gleichgewichtes durch geschickte Wahl der Reaktionsbedingungen zu beeinflussen, damit man möglichst viel vom Reaktionsprodukt erhält. Ein Beispiel für eine solche Gleichgewichtsreaktion werde ich Ihnen im [Kapitel 5](#) bei der technischen Ammoniaksynthese vorstellen. Dann gibt es noch spezielle Pfeile, wie zum Beispiel den Mesomeriepfeil, der eine Umlagerung von Mehrfachbindungen beschreibt:



In dem obigen Beispiel sehen Sie gleich noch einen Pfeil von O zum M (Metallatom). Dieser symbolisiert hier eine Donor-Akzeptor-Wechselwirkung vom Sauerstoffatom (Elektronen-paar-Donor) zum Metallatom (Elektronen-paar-Akzeptor).

Wie das obige Beispiel zeigt, verwenden wir ganz bestimmte Symbole zur Bezeichnung von Bindungsverhältnissen. Den größten Teil dieser Symbole werden Sie wahrscheinlich schon kennen. Zur sicheren Verständigung gebe ich Ihnen in der nachfolgenden Tabelle aber trotzdem eine Übersicht über die in diesem Buch verwendeten »Bindungsstriche«.

Bindungsstrich	Erklärung
A — B	Einfachbindung zwischen A und B
A = B	Doppelbindung zwischen A und B
A ≡ B	Dreifachbindung zwischen A und B
A → B	Donor-Akzeptor-Wechselwirkung von A nach B. Das bedeutet, dass Elektronen von A durch B angezogen werden.
A ◀ B	Einfachbindung, wobei A in der Papierebene und B vor der Papierebene liegt.

Diese »Keilbindung« wird manchmal auch zur symbolischen Darstellung von Bindungspolaritäten verwendet!

$A \cdots \diagup \diagdown B$	Einfachbindung, wobei A in der Papierebene und B hinter der Papierebene liegt
$A - \cdots - B$	schwache Wechselwirkung zwischen A und B, z. B. eine Wasserstoffbrückenbindung
$ NH_3$	Am Stickstoffatom (N) befindet sich ein nichtbindendes Elektronenpaar. Das bedeutet, dass es nicht zur Bindung an eines der Wasserstoffatome (H) verwendet wird. Freie Elektronenpaare sind wichtig für die Wechselwirkungen von Atomen und Molekülen.
$BaSO_4 \downarrow$	Das Bariumsulfat ($BaSO_4$) »fällt aus«. Wenn sich in Wasser gelöste Ba^{2+} - und SO_4^{2-} -Ionen treffen, so reagieren sie zu $BaSO_4$. Diese Substanz ist nicht mehr löslich und fällt als sogenannter Niederschlag aus, den man filtrieren kann. Dies ist eine gute Methode, um Substanzen zu trennen.
$CO_2 \uparrow$	Wenn bei der Reaktion in einer Flüssigkeit ein Gas entsteht, z. B. Kohlendioxid (CO_2), so tritt es in Form von Gasbläschen aus der Lösung aus.
$\bullet O_3$	Radikale, wie Ozon (O_3), haben ein ungepaartes Elektron. Elektronen halten sich in der Regel zu zweit in einem Atomorbital auf. Wenn sie alleine sind, ist die Substanz in der Regel sehr reaktiv.

Tabelle 1.2: Symbole für Bindungen in diesem Buch.

Die wichtigsten Symbole des Chemikers sind die **Elementsymbole** des Periodensystems. Es wäre gut, wenn Sie die Elementsymbole auswendig wissen, wenn Sie also lernen, was die Abkürzungen C, N, P, Cl, Ti, Fe, usw. bedeuten. Daneben gibt es noch eine Reihe anderer Abkürzungen, die häufig verwendet werden. Diese werden manchmal direkt auf den Reaktionspfeil geschrieben oder sie tauchen im Text auf. Einige übliche Abkürzungen habe ich Ihnen in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Abkürzung	Erklärung
ΔT	Erhitzen
solv.	solvatisiert mit Lösungsmittel
aq.	solvatisiert mit Wasser
δ	chemische Verschiebung im NMR-Spektrum
$\delta+$ bzw. $\delta-$	Partiellladungen an Atomen
\oplus \ominus	Formalladungen an Atomen
λ	Wellenlänge »lambda« häufig für Lichtabsorption oder eingestrahktes Licht
\AA	Einheit »Angström« für Bindungslängen $1 \text{\AA} = 10^{-10} \text{ m}$

Tabelle 1.3: Übliche Abkürzungen in der chemischen Literatur.

Elektronegativität und Periodizität der Eigenschaften – wichtige Hilfsmittel zur Orientierung

In der Anorganischen Chemie arbeiten wir mit vielen verschiedenen Elementen, die wir miteinander kombinieren können. Zur Vorhersage der Eigenschaften der entstehenden Verbindungen ist das Periodensystem der Elemente (PSE; siehe Schummelseite am Anfang des Buches) ein wichtiges Hilfsmittel. Diese regelmäßige Anordnung der Elemente ist keinesfalls willkürlich, sondern folgt den Gesetzen des **Aufbauprinzips** (siehe [Kapitel 12](#)). Aus dem Periodensystem kann man sich bestimmte Gesetzmäßigkeiten ableiten, und wenn man weiß, wo ein Element im Periodensystem steht, so kann man die Eigenschaften und die Reaktivität dieses Elements bereits ungefähr voraussagen. Folgende allgemeingültigen Aussagen lassen sich aus dem PSE und den Elektronegativitäten der Elemente ableiten:

- ✓ Die Elektronegativität im Periodensystem der Elemente nimmt in den Hauptgruppen von links nach rechts zu.
- ✓ Die Elektronegativität innerhalb der Hauptgruppen nimmt nach unten hin ab.
- ✓ Die Elemente der 1. bis 3. Hauptgruppe geben sehr gern Elektronen ab (sie sind sehr elektropositiv). Dabei entstehen positiv geladene Kationen, die die gleiche Ladung besitzen wie die Gruppennummer (1. Hauptgruppe – M^+ , 2. Hauptgruppe – M^{2+} , 3. Hauptgruppe – M^{3+})
- ✓ Die Elemente der 4. Hauptgruppe besitzen eine mittlere Elektronegativität. Kohlenstoff hat fast die gleiche Elektronegativität wie Wasserstoff und die beiden Elemente bilden sehr stabile kovalente Bindungen. Deshalb gibt es tausende von Kohlenwasserstoffen, die das Hauptgebiet der organischen Chemie darstellen.
- ✓ Die Elemente der 5. bis 7. Hauptgruppe haben eine zunehmend höhere Elektronegativität. Deshalb bilden sich hier häufig Anionen. Die Elemente nehmen dabei so viele Elektronen auf, dass sie die Elektronenkonfiguration der nachfolgenden Edelgase erreichen. Also z. B. kann Stickstoff 3 Elektronen aufnehmen, sodass $5 + 3 = 8$ Elektronen in der Valenzschale enthalten sind.
- ✓ Die Übergangsmetalle treten in mehreren Oxidationsstufen auf, das hängt von ihrer Elektronenkonfiguration ab. Mehr dazu erfahren Sie im [Kapitel 9](#).
- ✓ In der Fachliteratur gibt es verschiedene Darstellungsweisen des Periodensystems der Elemente. In der modernsten Form des PSE werden die 18 Gruppen einfach

von vorn bis hinten durchnummeriert. Diese Variante ist gegenwärtig die von der IUPAC (= Inter-national Union of Pure and Applied Chemistry) offiziell empfohlene Darstellungsweise. Klassischerweise nimmt man jedoch eine Einteilung in Haupt- und Nebengruppen vor. Bei Hauptgruppenelementen werden die s- und p-Orbitale mit maximal acht Elektronen aufgefüllt. Bei den Nebengruppenelementen werden die d-Orbitale schrittweise mit Elektronen gefüllt. Letztere zeigen eine starke Variationsbreite in den Oxidationsstufen und haben deutlich andere Eigenschaften als die Hauptgruppenelemente. Deshalb halte ich die Unterscheidung in Haupt- und Nebengruppen für sinnvoll und werde diese Bezeichnungen auch in diesem Buch konsequent verwenden.

2

Wasserstoff und Wasser

In diesem Kapitel

- ▶ Wasser als Quelle des Lebens
 - ▶ Wasser als Lösungsmittel
 - ▶ Hartes und weiches Wasser, Wasserenthärtung
 - ▶ Brennstoffzellen
 - ▶ Herstellung und Eigenschaften von Wasserstoff
 - ▶ Wasserstoff als Reduktionsmittel und in Luftballons
 - ▶ Hydride
-

Wasser wird vielfach auch als die »Quelle des Lebens« bezeichnet. Einerseits ist das Leben auf der Erde mit hoher Wahrscheinlichkeit im Wasser entstanden. Andererseits brauchen alle Lebewesen Wasser, um ihre Lebensvorgänge aufrecht zu erhalten. Der Mensch besteht zu mehr als 70 % aus Wasser. Ein großer Teil der Erde ist mit Wasserflächen bedeckt. Das Wasser befindet sich auf der Erde in einem ständigen Kreislauf aus Verdunstung, Wolkenbildung, Niederschlag und Transport in Bächen, Flüssen und Meeren.

Struktur des Wassers

Das Wassermolekül ist gewinkelt. Die beiden freien Elektronenpaare am Sauerstoffatom beanspruchen mehr Platz als die Wasserstoffatome, daher ist der H–O–H-Winkel etwas kleiner als im idealen Tetraeder.

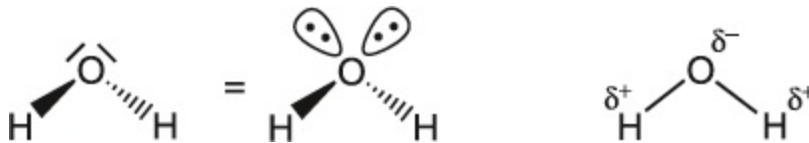


Abbildung 2.1: Struktur des Wassermoleküls mit Darstellung der freien Elektronenpaare am Sauerstoff (links) und Beschreibung der Ladungsverhältnisse (rechts).

Das Wassermolekül hat eine ungleichmäßige Ladungsverteilung, man sagt dazu »das Molekül ist polar«. Das Sauerstoffatom zieht aufgrund seiner hohen Elektronegativität die Bindungselektronen zu sich heran, es erhält dadurch eine negative Partialladung, die