

Michael Wächter

**Daten und Definitionen –
ein Nachschlagewerk Chemie für
Schule und Labor**





Abbildung: Konzentrierte Salpetersäure greift Kupfer an und bildet dabei braunes Stickoxidgas und grünes Kupfernitrat – eine „Redoxreaktion“ (Eigenes Foto)

Die Neugier steht immer an erster Stelle eines Problems, das gelöst werden will. (Galileo Galilei)

Ein Gelehrter in seinem Laboratorium ist nicht nur ein Techniker; er steht auch vor den Naturgesetzen wie ein Kind vor der Märchenwelt. (Marie Curie)

Das schönste Glück des denkenden Menschen ist, das Erforschliche erforscht zu haben und das Unerforschliche zu verehren. (Johann Wolfgang von Goethe)

**Daten und Definitionen
– Ein Nachschlagewerk Chemie
für Schule und Labor**

**Informationen zum Nachschlagen
und Lernen**

Michael Wächter

Die Printausgabe dieses Buches ist erhältlich über:
<https://www.epubli.de/shop> (ISBN 9783754940433)

Geschrieben für alle, die die Chemie,
die die Welt der Stoffe kennenlernen wollen

Lernen wir Träumen! Dann finden wir vielleicht die Wahrheit, aber hüten wir uns, unsere Träume zu veröffentlichen, ehe sie durch den wachen Verstand geprüft worden waren.
(Friedrich August Kekulé von Stradowitz)

Impressum

Texte: © Copyright by Michael Wächter
Umschlag: © Copyright by Michael Wächter
Verlag: Michael Wächter
Borsigweg 21a
48153 Münster
waechter.michael@t-online.de

Inhaltsverzeichnis

1 Messwerte: Größen, Maße Dimension	10
1.1 Einführung Messgrößen und Maßeinheiten	10
1.2 Die sieben SI-Basisgrößen und Basiseinheiten	12
1.3 Abgeleitete Größen und Einheiten	13
1.4 Stoffspezifische Größen (Stoffeigenschaften)	17
1.5 Umrechnung abgeleitete Größen und Einheiten	18
 2 Reinstoffe und ihre Eigenschaften	 20
2.1 Reinstoffe und Stofftrennverfahren (Definitionen)	21
2.2 Unterscheidung von Stoffgemischen	21
2.3 Einzelne Stofftrennverfahren	21
2.4 Stoffspezifische Größen im Überblick (Stoffeigenschaften allgemein)	23
2.5 Stoffeigenschaften einzelner Stoffe (Schmelz und Siedetemperaturen, Dichte und Dichtebestimmung, Wärmeleitfähigkeit, Härte, Viskosität, Löslichkeit und Lösungen, Elektrischer Widerstand)	32
2.6 Chemische Stoffeigenschaften (Reaktivität)	47
 3 Elemente	 50
3.1 Elemente und ihre Verbindungen – Stoffgruppen	50
3.2 Chemische Grundgesetze: Atome und Elementarteilchen	52
3.3 Atome, Ionen, Moleküle	53
3.4 Elementsymbole	54
3.5 Stoffeigenschaften der Elemente	54
3.6 Das Periodensystem der Elemente PSE (Haupt und Nebengruppen, Periodische physikalische Eigenschaften, Pe- riodische chemische Eigenschaften: Elektronenaffinität und Ionisierungs- energie, Azidität und Basizität u.a.)	56
 4 chemische Verbindungen	 65
4.1 chemische Reaktionen - Bildung und Arten von Bindungen zwischen Atomen in chemischen Verbindungen (Drei Arten von Verbindungen, Elektronegativität, Ionischer Charakter von Bindungen, Moleküle und Orbitalmodell / MO-Theorie)	65
4.2 Namen von Verbindungen (Systematische Benennung, Trivialnamen)	72
4.3 Chemische Formeln	80

4.4 Reaktionsgleichungen	82
4.5 Stoffeigenschaften ausgewählter Reinstoffe (Anorganische Verbindungen von A bis Z nach Formeln, Gase, Organische Verbindungen von A bis Z)	84
5 Chemische Reaktionen	128
5.1 Säure-Base-Reaktionen (Protonendonatoren und -akzeptoren; Neutralisation, Säurestärke, Verdrängung; pH-Wert, Amphoterie, Puffer)	128
5.2 Redox-Reaktionen (Ladungs-/Elektronenaustausch) (Reduktions- und Oxidationsmittel / Elektronendonatoren und - akzeptoren; Reaktionsgleichungen für Redoxreaktionen; Bestimmung von Oxidationszahlen; Elektrochemie)	139
5.3 Reaktionen mit Komplexen (Ligandenaustausch)	147
5.4 Reaktionen organischer Verbindungen (Stoffgruppen und Reaktionsmöglichkeiten; Substitution, Addition und Co.: Reaktionsmechanismen)	149
6 Chemisches Rechnen und Untersuchen	158
6.1 Stöchiometrie (Chemisches Fachrechnen)	158
6.2 Kinetik (Reaktionswmechanismen und Teilchenbewegungen)	163
6.3 Thermodynamik (Energetische Erscheinungen bei Reaktionen)	164
6.4 Analytik (Untersuchung unbekannter Stoffproben)	172
Anhang:	179
Formelzeichen und Rechenformeln für Messgrößen	179
Umrechnung von Maßeinheiten	182
Mathematische Grundlagen und Lernhilfen	184
Sach- und Stichwortverzeichnis	194



Abb.: pH-Papier zur Messung des pH-Wertes (links) und die Reaktion von Ammoniakgas NH_3 mit HCl zu Ammoniumchlorid-Rauch NH_4Cl (rechts) (Eig. Fotos)

Vorwort

Dieses Taschenbuch bietet **Informationen über Materialien, Werkstoffe und Chemikalien** zum Nachschlagen. Es gibt Definitionen und Daten über alle wichtigen Stoffe und ihre Reaktionen im Bereich **Chemie** an, die gebraucht werden, ins Besondere von Lernenden **in der Schule** und im Chemielabor.

Hier lernt man ebenso wie im Alltag, dass man reine Stoffe immer an ihren **Eigenschaften** erkennt: Reines Wasser z.B. ist immer farb- und geruchlos, nicht brennbar, siedet bei 100°C und hat die Dichte 1 g/mL (denn 1 Liter wiegt 1 kg). Kochsalz schmeckt immer salzig, bildet farblose, spröde, unter dem Mikroskop immer würfelförmige Kristalle, die den elektrischen Strom nicht leiten, die Flamme gelb färben und eine Wasserlöslichkeit von maximal $35,8\text{ g/L}$ Wasser aufweisen. Und das schwere Edelmetall Gold ist immer glänzend, hat immer eine Dichte von $19,30\text{ g/cm}^3$ und rostet nie.

Jeder Reinstoff hat ganz typische, stets gleichbleibende Eigenschaften, und fast alle **Stoffeigenschaften** kann man messen. Hiertzu gehören z.B. Schmelz- und Siedetemperaturen, Dichte, elektrische und Wärmeleitfähigkeiten, Löslichkeit, Zähflüssigkeit (Viskosität), Brennbarkeit und Giftigkeit.

Vergleiche von Messwerten können spannernd sein. Sie zeigen uns die **Rekordhalter** unter den Stoffen: Der flüchtigste Stoff zum Beispiel ist Flüssighelium (es siedet schon bei $-268,94^{\circ}\text{C}$ oder $4,216\text{ K}$!), und der am schwersten schmelzbare Stoff ist der Diamant (Schmelztemperatur 3550°C). Er ist zugleich auch der Härteste. Der „leichteste“ Stoff ist Wasserstoffgas: Ein Kubikmeter Wasserstoff wiegt unter Normalbedingungen nur $89,88\text{ g}$ (Die Dichte ist $0,08988\text{ kg/m}^3$, zum Vergleich bei Wasser beträgt sie

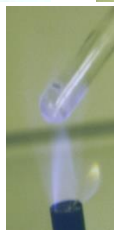
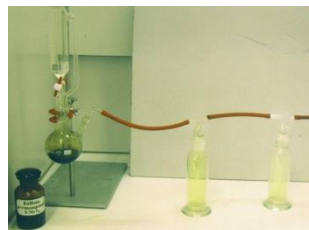
$1,00 \text{ kg/m}^3$). Das Metall Osmium hingegen hat eine Dichte von $22,570 \text{ g/cm}^3$ - es ist noch schwerer als Blei und Gold.



Abbildung: Messgeräte zur Erfassung von Messwerten und Stoffeigenschaften - hier von links oben im Uhrzeigersinn: Waage (für Masse / Gewicht), Viskosimeter (Zähflüssigkeit), Messzylinderr (Volumen), Multimeter (elektr. Leitfähigkeit), Voll- und Messpipette (Volumen), Handspektroskop (Farbanteile im Licht) (Eigenes Foto)

Das leitfähigste Metall ist Silber ($429 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), das aggressivste Oxidationsmittel das Gas Sauerstoffdifluorid ($E^0 = +3,294 \text{ V}$) und der brisanteste Sprengstoff CL20 (Hexanitro-Isowurtzitan, Detonationsgeschwindigkeit $v = 9380 \text{ m/s}$, Stoßwelle: 33700 km/h). Eines der am Besten wasserlöslichen Salze ist Antimon(III)-chlorid SbCl_3 ($931,5 \text{ g}$ in 100 g Wasser bei 20°C), und das wasserlöslichste Gas ist Bromwasserstoff HBr (1 L Wasser löst 612 L HBr -Gas auf, das sind $183,9 \text{ g}$). Das schwerste Gas ist Wolframhexafluorid WF_6 : Ein Liter dieses ätzenden Gases wiegt ganze $12,8 \text{ g}$ - das ist fast 10 Mal so viel wie Luft (deren Dichte liegt bei rund $1,29 \text{ g/L}$).

Der häufigste Stoff der Welt ist Wasserstoffgas (88,6 % aller Atome im Universum), der giftigste Stoff Botulinum-Toxin (LD_{50} -Wert oral, für Ratten: etwa 0,000000 mg/g) und der zähflüssigste Stoff ist schwarzes Pech: Aus der Messapparatur, dem Viskosimeter in Großbritannien, sind in 70 Jahren bisher nur 8 Tropfen gefallen).



Abbildungen: Salzkristalle und Chlorgas-Herstellung im Labor, unten Chlorgas, Brom- und Ioddampf in drei Kolben und die „Leuchtprobe“ (Eig. Fotos)

Dieses Buch beginnt mit den **Maßen und Einheiten**, die weltweit in den Naturwissenschaften für solche Messungen benutzt. Danach folgen **Tabellen** mit allen wichtigen Messwerten und Daten, die man im Alltag, an der Schule und speziell im Chemieunterricht von Klasse 7 bis 13 braucht - physikalische und chemische **Stoffeigenschaften**. Dabei erklärt es in kurzen Sätzen Grundbegriffe aus Chemie und Physik und gibt wichtige Gesetzmäßigkeiten und Merksätze zu Unterrichtsinhalten wieder - zu **Elementen und Verbindungen**, ihren Atomen und Molekülen, zu Formeln, Gleichungen, dem Periodensystem der Elemente und den chemischen **Reaktionen**, die die Welt der Stoffe zu einer spannenden Expedition machen können in die (unbelebte) Natur.

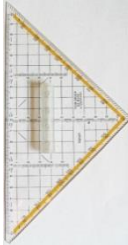
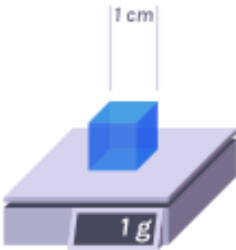
1) Messwerte: Größen, Maße, Dimensionen

1.1 Einführung: Messgrößen und Maßeinheiten

Physikalische **Größen** wie Masse, Länge oder Zeit werden in allgemein festgelegten **Einheiten** wie Kilogramm, Meter und Sekunde gemessen, den **SI-Einheiten** (von frz: *système international*):



Masse m in Kilogramm kg
Strecke s in Metern m
Zeit t in Sekunden sec
Stromstärke I in Ampère A
Temperatur T in Kelvin K
Stoffmenge n in mol
Lichtstärke L in Candela cd



Waage zur **Massen**bestimmung mit kg-Maß, rechts
Geo-Dreieck zur **Längen**bestimmung (in cm)

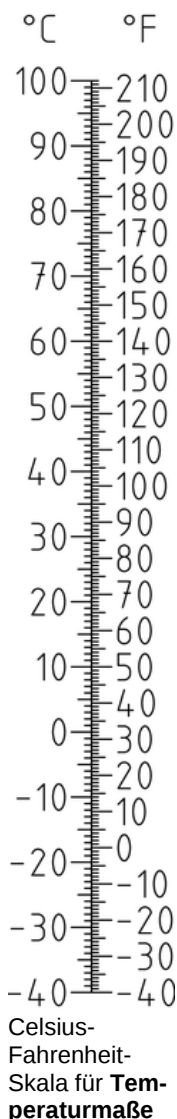


Links eine Uhr zur **Zeit**bestimmung, rechts
ein Ampèremeter zur Messung der **Stromstärke**

(Bildquellen S.8: wikimedia commons, gemeinfrei)

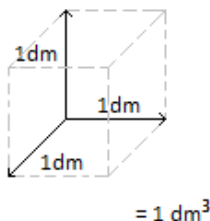


Minium-Maximum-Thermometer zur **Temperatur**bestimmung mit Celsius-Skala



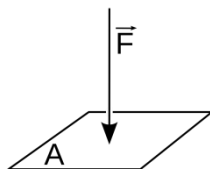
Sieben Größen sind zu **SI-Basisgrößen** erklärt worden – ihre genaue Festlegung findet sich in der Tabelle auf der Folgeseite.

Alle anderen Größen und ihre Maßeinheiten können hiervon abgeleitet werden. Solche **zusammengesetzten Größen** sind z.B. das Volumen und der Druck. Sie werden z.B. mit Messgeräten wie Messbechern gemessen (in Kubikzentimetern oder Millilitern) und mit Manometern (in Pascal oder Atmosphären):



Volumen = Länge • Breite • Höhe = Stecke³.

Einheiten: $1 \text{ m}^3 = \text{m} \cdot \text{m} \cdot \text{m} = 1000 \text{ dm}^3$
 $1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ L} = 1000 \text{ cm}^3 = 1000 \text{ mL}$



Druck = Kraft F / Fläche A

Einheiten: $1 \text{ Pascal (Pa)} = \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$
 $= \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
 $100 \text{ Pa} = 1 \text{ hPa} = 1 \text{ mbar},$
 $1013 \text{ hPa} = 1 \text{ atm} = 1 \text{ kg/cm}^2$
 $= 760 \text{ Torr (mm Hg)}$

(Bildquellen S.9: wikimedia commons, gemeinfrei)

1.2 Die sieben SI-Basisgrößen und Basiseinheiten

Die sieben SI-Basiseinheiten wurden naturwissenschaftlich genau festgelegt, ebenso wie ihre Formelzeichen s , m , t , T , n , I und L :

Basisgröße, Symbol	Basiseinheit	Symbol	Exakte Definition in den Naturwissenschaften (Physik, Chemie, Biologie usw., seit 1983)
Strecke s	Meter	m	Strecke, die das Licht im Vakuum während einer Dauer von $t = 1/299792458$ s zurücklegt
Masse m	Kilogramm	kg	Masse m , die genau dem Platin-Iridium- Urkilogramm in Paris entspricht (früher gerundet: Masse von ca. 1 L Wasser bei 4°C)
Zeit, Dauer t	Sekunde	s	Das 9192631770fache der Periodendauer τ der Strahlung, die beim Übergang zwischen den Hyperfeinstrukturniveaus des Nuklids ^{133}Cs abgestrahlt wird („Atomsekunde“, früher: 1 s ist der 86400ste Teil eines mittleren Sonnentages von 24 Stunden h
Temperatur T	Kelvin	K	Der 273,16te Teil der Differenz τ zwischen dem absoluten Nullpunkt der Thermodynamik (bei $\vartheta = -273,16$ °C) und der absoluten Temperatur des Tripelpunktes reinen Wassers
Stoffmenge n	Mol	mol	Stoffmenge n , die ebensoviel Teilchen enthält wie 12 g Kohlenstoff des ^{12}C -Isotops (Das sind $N_A = 6,02221367 \cdot 10^{23}$ Atome)
(elektrische) Stromstärke I	Ampère	A	Stromstärke I eines zeitlich unveränderten elektr. Stromes, welcher durch zwei parallele, im Vakuum im Abstand von 1 m angeordnete elektrische Leiter von minimalem, kreisförmigen Querschnitt fließt und zwischen diesen eine elektrodynamische Kraft von $F = 2 \cdot 10^{-7}$ Newton je Meter Leiterlänge hervorruft.
Lichtstärke L	Candela	cd	Lichtstärke L , mit der $1/600000$ m ² der Oberfläche eines schwarzen Strahlers bei der Temperatur des bei einem Druck von $p = 101325$ Pa erstarrenden Platins senkrecht zu seiner Oberfläche leuchtet

		(Früher: Lichtstärke in bestimmter Richtung von einer Quelle, die monochromatische Strahlung der Frequenz $\nu = 540 \cdot 10^{12} \text{ s}^{-1}$ aussendet und deren Strahlungsstärke in dieser Richtung $1/683$ Watt durch Steradian beträgt, entspricht etwa 1 Wachskerze aus 1 m Abstand)
--	--	--

1.3 Abgeleitete Größen und Einheiten

Die meisten Größen werden **abgeleitet** von den sieben SI-Basisgrößen. Auch ihre Einheiten werden von den Basiseinheiten abgeleitet. Da z.B. die Dichte mit der Formel **Dichte = Masse / Volumen** (in Formelzeichen: $\rho = m / V$) berechnet wird, ist auch ihre Einheit dann abgeleitet. Sie wird z.B. in **kg/m³** angegeben (bzw. g/dm³).

Man unterscheidet bei den abgeleiteten Größen zwischen allgemein **physikalischen Größen** (wie z.B. der Geschwindigkeit (Formelzeichen: v , Berechnung: **Geschwindigkeit = Strecke / Zeit**, in Symbolen: $v = s / t$) und stoffspezifischen Größen.

Stoffspezifische Größen sind Stoffeigenschaften, also für bestimmte, reine Stoffe immer gleichbleibende Eigenschaften. Hierzu gehören z.B. die Dichte ρ eines Stoffes oder auch seine Schmelztemperatur.

Grundbegriffe zu Konstanten, Größen und Stoffeigenschaften

Begriff	Definition, Kennzeichen
physikalische Konstanten, Naturkonstanten	- in physikalischen Gesetzen vorkommenden, stets gleichbleibenden und universell gültigen Größen und Werte - unabhängig von Materialien und Stoffen
Stoffeigenschaften, stoffspezifische Größen	- wichtige Kenngrößen von Stoffen in der Chemie, - in der Analytischen Chemie Hilfsmittel zum Erkennen unbekannter Stoffe (Identifikation) - Erfassung mit Hilfe verschiedener Mess- und Analysemethoden
Reinstoffe	- haben unter gleichen Bedingungen stets konstante Eigenschaften (stoffspezifische Größen), - bestehen als chemische Verbindungen aus Elementen in ebenfalls stets gleichen Mengenverhältnissen
Stoffgemische	- haben uneinheitliche, oft vom Mischungsverhältnis ihrer Komponenten (Bestandteile) abhängige (Stoff-)Eigenschaften, - bestehen aus Komponenten in beliebigen Mischungsverhältnissen

Die folgende Tabelle enthält wichtige Beispiele für **abgeleitete Messgrößen** (wie z.B. Geschwindigkeit) von A bis Z und ihre **Einheiten** (z.B. in km/h oder m/s).

Ausführlichere Angaben hierzu finden sich im Anhang dieses Buches in Teil 2, Umrechnungen zu den SI-Basiseinheiten auch in Anhang Teil 1c.

Beispiele für abgeleitete, physikalische Messgrößen:

Größe / Größen- bzw. Formelzeichen*	Größengleichung, Beziehung	SI-Einheit	Weitere Einheiten, Ableitung, Umrechnung
Beschleunigung g (auch: a , α , g)	$a = v / t$ (Geschwindigkeit pro Zeit)	$1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ $= \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$	$1 \text{ g} = 9,80665 \text{ m/s}^2$ g_n Fall-, Erd- beschleunigung, - a Verzögerung, Abbremsung
Druck p (mechanisch)	$p = F / a$ (Kraft pro Fläche)	1 Pascal (Pa) $= \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$ $= \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$	$10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ bar} = 10^3 \text{ hPa}$ $100 \text{ Pa} = 1 \text{ hPa} = 1 \text{ mbar}$, $1013 \text{ hPa} = 1 \text{ atm}$ $= 1 \text{ kg/cm}^2$ $= 760 \text{ Torr (mm Hg)}$
Elektrizitätsmenge Q, Ladung Q	$Q = I \cdot t$ (Stromstärke mal Zeit)	1 Coulomb (C) $= \text{A} \cdot \text{s}$ $= \text{J} \cdot \text{V}^{-1}$	$1 \text{ A} \cdot \text{h} = 3600 \text{ C}$ ($Q = I \cdot t$ bei $I = \text{const.}$)
Energie E, Arbeit W, Wärme Q mechanisch: $E_{\text{mech.}}$, elektrisch: $E_{\text{elektr.}}$, $W_{\text{el.}}$, potenziell: $E_{\text{pot.}}$, kinetisch: $E_{\text{kin.}}$, Lichtenergie: E_{Licht} Innere Energie U^*	$W_{\text{mech.}} = F \cdot s$ $= m \cdot g \cdot s$ (Kraft • Weg bzw. Masse • Weg • Beschleunigung) $W_{\text{elektr.}} = U \cdot I \cdot t$ $= P \cdot t = I \cdot R \cdot t$ $E_{\text{pot.}} = m \cdot g \cdot h$ $E_{\text{kinet.}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ $E_{\text{Licht}} = h \cdot \nu$ $= h \cdot c / \lambda$	1 Joule (J) $= \text{Nm}$ $= \text{Ws}$ $= \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$	$10^3 \text{ J} = 1 \text{ kJ} = 1 \text{ kWs}$, $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$ $= 3600 \text{ kJ (kWs)}$ $1 \text{ cal (Kalorie)} = 4,187 \text{ J}$; $1 \text{ eV (Elektronenvolt)}$ $= 1,602177 \cdot 10^{-19} \text{ J}$, $1 \text{ kcal} = 4,187 \text{ kJ}$, $6,242 \cdot 10^{18} \text{ eV} = 1 \text{ J}$, $1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J}$, $1 \text{ J} = 2,7778 \cdot 10^{-7} \text{ kWh}$ h, ν, c Naturkonstanten λ Wellenlänge ν Frequenz
Fläche A	$A = l \cdot b = s^2$	1 m^2	$100 \text{ m}^2 = 1 \text{ Ar}$ $= 0,01 \text{ Hektar (ha)}$
Geschwindigkeit u, v	$v = s / t$ (Strecke pro Zeiteinheit)	$1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$1 \text{ km/h} = 0,277 \text{ m/s}$, $1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$ $1 \text{ Knoten (kn)} = 0,5144 \text{ m/s}$ $= 1 \text{ Seemeile (sm)} / \text{h}$ $= 1855 \text{ m/h}$

Größe / Größen- bzw. Formelzeichen*	Größengleichung, Beziehung	SI-Einheit	Weitere Einheiten, Ableitung, Umrechnung
Gewichtskraft G, F_G Auftriebskraft F_A , Bremskraft F_B Beschleunigungs- kraft F_B	$F_G = m \cdot g$ $F_B = m \cdot a$ $F_A = V \cdot \rho \cdot g$	1 N = $\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$	1 Kilopond (kp) = 9,80665 N g = Fallbeschleunigung 9,81 m/s ² (a = Beschleunigung oder Verzögerung, ρ = Dichte der Auftrieb- liefernden Flüssigkeit)
Impuls $p^{\rightarrow}$	$p^{\rightarrow} = m \cdot v$ $= F \cdot \Delta t$	1 N • s = 1 kg • m • s ⁻¹	($p^{\rightarrow}$ = Impuls, denn p steht für Druck; F = Kraft, Δt = Zeitdauer)
Kraft F	$F = m \cdot a$	1 Newton (N) = 1 J / m = 1 kg • m • s ⁻²	1 dyn = 10 ⁻⁵ N 1 Pond (p) = 0,001 kp = = 9,8066 • 10 ⁻³ N
Ladung(smenge) Q, Elektrizitätsmenge; (bei I = const.)	$Q = I \cdot t$ (Stromstärke mal Zeit)	1 Coulomb (C) = A • s = J • V ⁻¹	1 A • h = 3600 C (Q = Wel. / U)
Massenanteil w	w_i / w_{Gesamt}	kg • kg ⁻¹	w • 100 = Masse%
Massen- konzentration* β	$\beta = \frac{m(\text{Stoff } X)}{V(\text{Lösung})}$	1 kg • m ⁻³ = 1 g • L ⁻¹	1 kg • L ⁻¹ = 1000 g • L ⁻¹ = 103 kg • m ⁻³
Osmotischer Druck π	$\pi = c \cdot R \cdot T$	1 Pascal (Pa)	Pascal, bar siehe unter Druck p
Reaktionsgeschwin- digkeit v_{RG}	$V_{RG,n} = \Delta n / \Delta t$ $V_{RG,c} = \Delta c / \Delta t$ $V_{RG,Gase}$ $= \Delta p / \Delta t$	1 mol / s (Lösungen: mol / L • s, Gase: L / s)	1 mol/s = 1000 mmol/s (Stoffmengenänderung pro Zeit, bei Lösungen Änderung von c, bei Gasen auch Änderung von V)
Stoffmengenanteil* χ (Molenbruch)	$\chi_i = \frac{n(A)}{[n(A) + n(B)]}$	mol / mol	$\chi \cdot 100 = \text{mol}\%$ $n(X) =$ $m(X)/M(X)$ (Stoffmenge siehe Basis- größen)

Größe / Größen- bzw. Formelzei- chen*	Größenglei- chung, Beziehung	SI-Einheit	Weitere Einheiten, Ableitung, Umrechnung
Spannung, elektrische U , Potenzial- differenz $E, \Delta\phi$	$U = W_{\text{el.}} / Q$ $U = \phi_2 - \phi_1$ $= W / Q$	1 Volt (V) $= 1 \text{ W} \cdot \text{A}^{-1}$ $= 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3 \cdot \text{A}}$ $= 1 \text{ J} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$	1 MV = 1000 kV = 10^6 V (auch als elektr. Leistung pro Stromstärke: $U = P_{\text{el.}} / I = W_{\text{el.}} / Q$) $\phi_{1,2}$ = elektrisches Poten- zial in den Punkten 1 + 2
Stoffmengen- konzentration* c_i	$ci = ni / V$	mol • L ⁻¹ = mmol • mL ⁻¹	1 mol/L = 1000 mmol/L = $10^6 \mu\text{mol/L}$
Volumen V	$V = l \cdot b \cdot h = s^3$ (Länge l mal Breite b mal Höhe h)	1 m ³ = 1000 L = 1000 dm ³ = 106 cm ³	1 L = 1 dm ³ = 10^{-3} m ³ = 10 ³ cm ³ (ccm, mL) = 10 ⁶ μL = 0,01 hL 1 m ³ = 1000 L 1 km ³ = 10^6 m ³ 1 cm ³ = 1mL
Volumenan- teil* ϕ	$\phi i = V_i / V_{\text{Gesamt}}$	L • L ⁻¹ = L/L	$\phi \cdot 100 = \text{Vol}\%$, i = 17 Komponente i
Volumen- konzentration* σ_i	$\sigma_i = V_{(X)} / V_{\text{Gesamt}}$	L • L ⁻¹ = L/L	1 L/m ³ = 1 mL/L 1 ppm = 1 mL/m ³ = 10 ³ ppb = 10 ⁶ ppt = 10 ⁹ ppq
Widerstand, elektrischer R	$R = U / I$ $R = \rho \cdot s / A$	1 Ohm (Ω) $= 1 \text{ V} \cdot \text{A}^{-1}$ $= 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3 \cdot \text{A}}$	1 Ω = 1 S ⁻¹ , 1 k Ω = $10^3 \Omega$ = 10 ⁶ m Ω (mit der Basisgröße Stromstärke als Ladung pro Zeit: $I = Q / t$); s = Leiterlänge, A = Leiterquerschnittsflä- che, ρ = spezifischer elektrischer Widerstand $R = U / I$ (in $\Omega = V / A$)

Hinweise: **Konzentrationsangaben** wie c_i , ϕ und β sind keine Stoffeigenschaften, sondern **Gehaltsgrößen (Gehaltsangaben)** für einen Stoff i , die sich auf das **Volumen V** der Lösung oder des Stoffgemisches beziehen.

Stoffspezifische Größen, die in abgeleiteten Einheiten gemessen werden, sind Stoffeigenschaften einer reinen Substanz, denn man unterscheidet **physikalische Stoffeigenschaften** von denen, die mit einer **Stoffumwandlung** (chemischen Reaktion) einhergehen. Dichte, Löslichkeit und Leitfähigkeit hingegen sind also rein physikalische Eigenschaften. Doch Brenn- und Heizwerte sind z.B. **chemische Stoffeigenschaften**, denn bei Verbrennungen (Reaktionen) entstehen neue Stoffe (s. Kap. 2).

1.4 Stoffspezifische Größen

Stoffspezifische Größen sind Stoffeigenschaften wie Dichte, elektrische Leitfähigkeit, Heizwerte oder auch die Viskosität (Zähflüssigkeit) einer Substanz.

Man unterscheidet rein physikalische Stoffeigenschaften von denen, die mit einer **Stoffumwandlung** (chemischen Reaktion) einhergehen. Brenn- und Heizwerte sind z.B. **chemische Stoffeigenschaften**, denn bei Verbrennungen (Reaktionen) entstehen neue Stoffe. Dichte, Löslichkeit und Leitfähigkeit hingegen sind rein physikalische Eigenschaften.

Daten mit stoffspezifischen Größen folgen in Kap. 2. Die wichtigsten Beispiele für solche **messbare Stoffeigenschaften** sind:

Größe, Stoffeigenschaft	Berechnung	SI-Einheit	Einheiten und Umrechnungen
Dichte ρ	$\rho = m / V$ (Masse pro Volumen)	$1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ $= \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ $= \text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$	$1 \text{ g/mL} = 1 \text{ kg/L}$ $= 0,001 \text{ kg/m}^3$ $1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ mg/mL}$
Längen- ausdehnungs- koeffizient α	$\alpha = \Delta L / (L_0 \cdot \Delta T)$ $= 1/3 \gamma$	K^{-1}	(Längenänderung bei Festkörpern $\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T$ γ = Volumen- ausdehnungskoeffizient)
Heizwert H_u	E / m	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$	
Leitfähigkeit, elektrische κ	$\kappa = 1 / R = I / U$ (Stromstärke pro Spannung)	1 Siemens (S) $= \Omega^{-1}$ $= \text{s}^3 \cdot \text{A} / \text{kg} \cdot \text{m}_2$	(Kehrwert des Widerstandes, Leitfähigkeit auch als Λ in $\text{s} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$)
Löslichkeit L	$L = m(\text{X}) / m_{\text{LM}}$	g/100 g	$m(\text{X})$ = Masse des Stoffes X in gesättigter Lösung, m_{LM} = Masse des Lösungsmittels

Größe, Stoffeigenschaft	Berechnung	SI- Einheit	Einheiten und Umrechnungen
Molare Masse M	$M = m / n$	1 kg • mol ⁻¹	1 g • mol ⁻¹ = 10 ⁻³ kg • mol ⁻¹
Volumen- ausdehnungs- koeffizient γ (thermischer Raum- Ausdehnungs- koeffizient)	$\gamma = 3\alpha$ $= \Delta V / (V_0 \cdot \Delta T)$	K-1	(für ideale Gase bei $\vartheta = 0^\circ\text{C}$ gilt: $\gamma \approx 1/273$ für ein Volumen V_1 bei Temperatur T_1 gilt im Vergleich zum Aus- gangsvolumen V_0 : $V_1 = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta\vartheta)$)
Wärmekapazität C	$C = \Delta Q / \Delta T$ (Wärmeänderung pro Temperatur- änderung)	1 J / K = 1 $\frac{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}{\text{s}^2 \cdot \text{K}}$	ΔQ = aufgenommene bzw. abgegebene Wärmemenge Q
Wärme- leitfähigkeit λ , spezifische Wärme- leitfähigkeit λ_0	$\lambda = Q / (s \cdot \Delta\vartheta)$ (Wärme pro Strecke pro Temperaturdiffe- renz)	1 W m • K = $\frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m} \cdot \text{K}}$ = $\frac{\text{m} \cdot \text{kg}}{\text{K} \cdot \text{s}^3}$	1,163 W / (m • K) $\approx 0,86 \text{ kcal} / (\text{m} \cdot \text{h} \cdot$ $^\circ\text{C})$; 1 kJ / (m • h • K) = 0,2778 W/(m•K)
Widerstand, spezifischer elektrischer $\rho_{\text{spezif.}}$, ρ	$\rho = R \cdot A / s$	1 Ω • mm ² / m	1 Ω mm ² / m = 10 ⁻⁶ Ω • m [spezifischer Wider- stand = Widerstand von 1 cm ³ eines Materials]

1.5 Umrechnung abgeleiteter Größen und Einheiten

Im Alltag werden viele Einheiten verwendet, die nicht zu den SI-Einheiten gehören. Messwert-Angaben z.B. in Milliliter mL, Millibar mbar, Pferdestärken PS, Kilokalorien kcal oder Kilowattstunden kWh können mit Hilfe folgender Tabellen in SI-Einheiten umgerechnet werden.

Abbildung rechts:
Volumenmessgeräte
(Eig. Foto)



Umrechnung alltagsgebräuchlicher Einheiten in SI-Einheiten:

Größe	Veraltete, Unter- und Nicht-SI-Einheiten, Umrechnungsfaktoren	
Aktivität A	1 Curie (Ci) = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq	SI-Einheit: Becquerel (Bq)
radioaktive Äquivalentdosis H	1 Sievert (Sv) = 1 J/kg = 100 rem 1000 mSv = 1 Sv	SI-Einheit: Sievert (Sv)
Arbeit W, Energie E, Wärme Q	1 eV (Elektronenvolt) = $1,602 \cdot 10^{-19}$ J 1 J = $6,242 \cdot 10^{18}$ eV 1 cal (Kalorie) = 4,187 J 1 kcal $\approx$ 4,187 kJ 1 kWh = 3,6 MJ 1 kJ = 1 kWh 1 Ws = 1 N•m = 1 J SI-Einheit: Joule (J) 1 J = 0,10197 mkp = $3,77673 \cdot 10^{-7}$ PSh = $0,6242 \cdot 10^{19}$ eV 1 kcal = 4186,84 J = 426,94 mkp = 0,001581 PSh = 0,00116301 kWh	
Druck p	1 atm = 10132,5 Pa = 1,01325 bar 1 bar = 10^5 Pa = 1000 mbar = 0,9869 atm 1 Torr = 1 mm Hg = 133,32 Pa = 1,33322 mbar 1 mWs = 97,90 mbar 1 kp/m ² = 9,807 Pa = 97,60 mbar 1013 hPa = 1 atm = 760 Torr (mm Hg) = 1 kg/cm ² 1 Pa = 1 N / m ² = 1 kg / m s ² = 10^{-5} Pa = 0,01 mbar 100 Pa = 1 hPa = 1 mbar 10^5 Pa = 1 bar = 10^3 hPa SI-Einheit: Pascal (Pa)	
Fläche A	1 Ar = 0,01 Hektar (ha) = 100 m ²	SI-Einheit: Quadratmeter (m ²)
Geschwindigkeit v	1 km/h = 0,277 m/s 1 m/s = 3,6 km/h 1 cm/s = 0,036 km/h = 0,3937 in/s = 1,968 ft/min = 0,02237 mi/h 1 km/h = 27,78 cm/s = 10,94 in/s = 0,9113 ft/s = 54,68 ft/min 1 Knoten (kn) = 1855 m/h = 0,5144 m/s SI-Einheit: m/s	
Ionendosis	1 Röntgen (R) = $2,58 \cdot 10^{-4}$ C/kg	SI-Einheit: C/kg
Ladung(smenge) Q	1 Ampèrestunde (Ah) = 3600 C 1 A/s = 1 C	SI-Einheit: Coulomb (C)
Leistung P, Wärmestrom	1 PS = 735,499 W = 632,416 kcal/h 1 kcal/h = 1,1630 W = 0,00158124 PS 1 W = V A = J / s = 1 N m / s = 0,00135962 PS = 0,859845 kcal/h 1 MW = 10^6 W 1 GW = 10^9 W SI-Einheit: Watt (W)	
Viskosität η (Zähflüssigkeit)	Dynamische Viskosität: 1 Poise (P) = 0,1 Pa•s, 1 Pa•s = 1 N•s/m ² Kinematische Viskosität: 1 m ² /s = 1 N•s•m/kg SI-Einheit: Pa • s	
Volumen V	1 L = 1 dm ³ = 10^3 cm ³ (ccm) = 1000 mL = 10^{-3} m ³ 1 mL = 10^{-3} L 1 hL = 100 L 1 km ³ = 10^6 m ³ SI-Einheit: Kubikmeter (m³)	
spezifische Wärme- menge, - kapazität	1 Ws/kg•K = 1 J/kg•K 1 cal/g•grd = 4,187 J/g•grd SI-Einheit: J/kg•K	

2) Reinstoffe und ihre Eigenschaften

2.1 Reinstoffe und Stofftrennverfahren (Definitionen)

Begriff	Definition, Hinweise
Stoffgemisch	Physikalisch auftrennbares Gemenge (Gemisch) aus mehreren Stoffen
Reinstoff	Physikalisch nicht in weitere Komponenten auftrennbare Substanz (reiner Stoff)
Stofftrennverfahren	Methode zur Auftrennung eines Stoffgemisches in Einzelkomponenten (Reinstoffe), z. B. mechanisch, elektrisch oder thermisch, Nutzung unterschiedlicher Stoffeigenschaften; die Stoffe bleiben erhalten (Gegenteil: Vermischen, Mischvorgang)
Mischphase	Heterogenes Stoffgemisch aus mindestens zwei Phasen
Gehaltsangabe, Gehaltsgröße	Quantitative Angabe über die Zusammensetzung eines Stoffgemisches in Form von Konzentration, Anteil oder Mischungsverhältnis
Mischungsrechnen	Verfahren zur Be- und Umrechnung von Gehaltsangaben für Stoffgemische
Lösung	Flüssiges, heterogenes Stoffgemisch
Konzentration	Gehaltsangabe in Bezug auf ein Lösungsvolumen $V_{\text{Lösung}}$
Reaktion (chemische)	Ein Vorgang, bei dem mindestens ein neuer Stoff entsteht (Stoffumwandlung)
Chemisches Element	Ein <u>Reinstoff</u> , der chemisch (durch Stoffumwandlungen / Reaktionen) <u>nicht</u> weiter zerlegt werden kann. Er kann mit anderen Stoffen nur reagieren, indem er chemische Verbindungen bildet (durch Stoffvereinigung / Synthese)
Chemische Verbindung	Ein <u>Reinstoff</u> , der chemisch (durch Stoffumwandlungen / Reaktionen) weiter zerlegt werden kann (mehrere neue Stoffe entstehend durch Stoffzerlegung / Analyse)

Unterscheidung von Stofftrennverfahren

Art des Verfahrens	Kennzeichen, Unterscheidung
Mechanisches Stofftrennverfahren	- Dichte-, Größe- und Beweglichkeitsunterschiede werden zur Auftrennung in Reinstoffe genutzt, - Auf die Stoffteilchen werden Kräfte ausgeübt
Thermisches Stofftrennverfahren	- unterschiedliche Schmelz- und Siedetemperaturen der Einzelkomponenten werden genutzt - Die Stofftrennung wird durch Zu- und Abfuhr von Wärme erreicht
Chemisches Stofftrennverfahren	die unterschiedlichen chemischen Eigenschaften der Einzelstoffe eines Gemisches werden ausgenutzt (d.h., es laufen chemische Reaktionen ab)

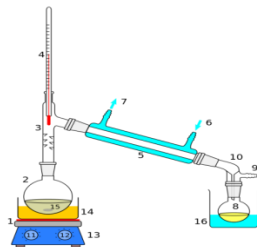
2.2 Unterscheidung von Stoffgemischen

Aggregatzustand	Fest (<i>solid, s</i>)	Flüssig (<i>liquid, l</i>)	Gasförmig (<i>gaseous, g</i>)
Fest (<i>solid, s</i>)	Legierung , heterogene Feststoffgemische (z. B. Soda mit Sand)	Lösung (fest in flüssig, z. B. Kochsalzlösung)	Rauch (fest in gasförmig, z. B. Ammoniumchloridrauch)
Flüssig (<i>liquid, l</i>)	Aufschlammung, Suspension (flüssig in fest, z. B. Sand in Wasser)	Lösung, Gemisch (flüssig in flüssig, z. B. Ethanol / Wasser)	Nebel, Dampf, Aerosol (flüssig in gasförmig, z. B. Wasser- und Bromdampf)
Gasförmig (<i>gaseous, g</i>)	Feste Aufschäumungen / Absorbate (gasförmig in fest, z. B. Bimsstein, Styropor)	Lösung (gasförmig in flüssig, z. B. Salzsäure, Luft in Wasser)	Gasgemisch (Gasförmig in gasförmig, z. B. Luft, Feuerzeug- und Erdgas, Synthesegas)

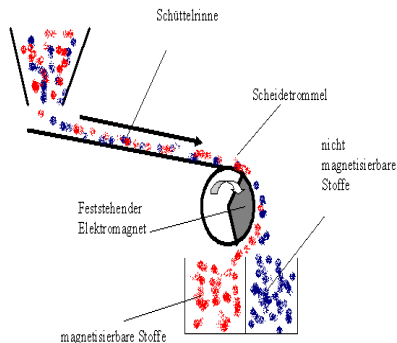
2.3 Einzelne Stofftrennverfahren

Es gibt drei wichtige thermische Stofftrennverfahren:

- **Abdampfen:** Die Siedetemperatur der Flüssigkeit wird überschritten, der zuvor gelöste Feststoff bleibt zurück (*Beispiel: Eindampfen von Salzwasser*)
- **Destillieren:** Die Siedetemperatur einer von mehreren Flüssigkeiten wird überschritten und deren Dampf aufgefangen und gekühlt (Kondensation, Verflüssigung eines Gases), die Flüssigkeit mit höherer Siedetemperatur bleibt flüssig zurück.



Destillationsapparat
(Bildquelle: wikimedia commons, public domain), rechts ein **Magnettrommelscheider**
(Bildquelle: User Maettchy, wikimedia commons)



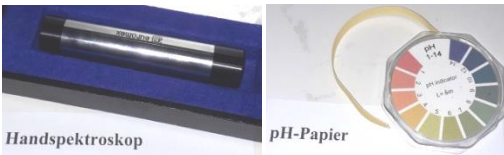
- **Sublimation:** Einer von mehreren Feststoffen sublimiert, d.h. er geht vom festen direkt in den gasförmigen Zustand über (er „sublimiert“, *Beispiele: Jod, Naphthalin*), die anderen Feststoffe bleiben zurück.

Bei **mechanischen Stofftrennverfahren** werden mechanische Kräfte eingesetzt, z.B. Magnete und die Schwerkraft, oder auch Siebe, Filter und Lösungskräfte von Flüssigkeiten wie Wasser.

- **Magnetscheiden:** Ein Magnet trennt magnesierbare von unmagnetischen Festkörpern ab (*Beispiel: Müllrecycling – Magneten trennen magnetisierbare Wertstoffe ab, S.9 unten rechts*).
- **Schwimmscheiden (Flotation):** Eine Flüssigkeit trennt schwimmfähige von nicht schwimmfähigen Stoffen ab. Die Stoffe mit einer Dichte über der der Flüssigkeit sinken ab.
- **Sieben:** Ein Sieb trennt Festkörper höherer Korngröße von solchen ab, die durch die Maschen des Siebes rieseln (Das Aussieben von Kieselsteinen aus feinem Sand ist allerdings eigentlich ein Klassifizieren nach Korngröße, kein Sortieren nach Art des Stoffes)
- **Lösen (Auswaschen) und Dekantieren:** Ein Stoff löst sich, der andere Stoff sinkt ab (**Sedimentation**). Die Lösung wird über die Gefäßkante abgegossen.
- **Lösen (Auswaschen) und Filtrieren (Filtration):** Ein Stoff löst sich und der andere Feststoff hat eine so hohe Korngröße, dass er nicht durch die Filterporen passt und im Filter zurückbleibt (Filtrerrückstand; *Beispiel: Filtern von Schlamm u. ähnl.*).
Sonderfall: Zentrifugieren / Zentrifugation: Eine Filtration, bei der die Sinkgeschwindigkeit des ungelösten Feststoffes durch Zentrifugieren erhöht wird; die durch den Filter gelaufene Flüssigkeit heißt Filtrat.
- **Extrahieren (Extraktion):** Eine Flüssigkeit, das Extraktionsmittel, zieht einen löslichen Stoff aus einer anderen Lösung oder einem Feststoffgemisch heraus (in das „Extrakt“, *Beispiel: Zubereitung von Tee oder Kaffee mit heißem Wasser, das Getränk ist das Extrakt*).

2.4 Stoffspezifische Größen im Überblick (Stoffeigenschaften allgemein)

Reinstoffe und Stoffgemische weisen messbare Eigenschaften auf. Typische Messwerte und Beispiele hierzu sind Dichte- und Temperaturwerte, Säurestärken und optische Aktivität. Solche stoffspezifischen Größen und Messwerte bietet die Tabelle auf der folgenden Seite. Die Werte werden mit pH-Messgeräten, Polarimetern, Pyknometern und anderen Laborgeräten bestimmt.



Abbildungen: Messgeräte zur Bestimmung der Stoffeigenschaften **Schmelztemperatur** (oben rechts), der **Spektrallinien** einer Lichtemission (links: **Handspektroskop** zur Erfassung der Spektrallinien im Lichtspektrum einer Flammfärbung), Säurestärke (über ein **pH-Papier**, das pH-Werte erfasst, aus denen mit Hilfe von Konzentrationsangaben z.B. die Stärke einer Säure berechnet werden kann) und rechts unten eine **Messspindel** und ein **Pyknometer**, beides Geräte zur **Dichtebestimmung** von Flüssigkeiten).
(Eig. Fotos)



Ein Pyknometer ist ein mit einer Flüssigkeit gefülltes, abgewogenes Glaskölbchen, in das ein zuvor abgewogener Festkörper eingetaucht wird. Der Festkörper verdrängt Flüssigkeit. Dadurch findet eine Veränderung der Masse statt. Das Pyknometer wird danach erneut abgewogen und aus den Werten wird dann die **Dichte** berechnet.

Zuerst wird das leere, dann das gefüllte und auf 20 Grad Celsius temperierte Pyknometer gewogen. Die Dichtebestimmung von Flüssigkeiten bei unbekanntem Pyknometervolumen wird dann über diese Wägungen vorgenommen. Anschließend werden die Werte in eine Berechnungsformel eingesetzt. Es sind:

- m_0 ist die Masse des leeren Pyknometers,
- m_1 die Masse des mit Wasser gefüllten Pyknometers,
- m_2 die Masse des Pyknometers, gefüllt mit der zu untersuchenden Flüssigkeit,
- $\rho_{\text{(Wasser)}}$ die Dichte des Wassers bei der gegebenen Temperatur,

dann ergibt sich die gemessene Dichte $\rho_{\text{(Flüssigkeit)}}$ der unbekannten Flüssigkeit nach folgender Formel:

$$\rho_{\text{(Flüssigkeit)}} = [(m_2 - m_0) / (m_1 - m_0)] \cdot \rho_{\text{(Wasser)}}$$



Abb.: Pyknometer
(Abb. gemeinfrei)



Viskosimeter

Ein **Viskosimeter** misst, wie schnell eine bestimmte Flüssigkeitsmenge durch die Apparatur fließt. So wird die Zähflüssigkeit (**Viskosität**) der Flüssigkeit wie z.B. Öl, Glycerin, Honig oder Wasser, bestimmt.

Weitere wichtige **messbare Stoffeigenschaften** sind Schmelz- und Siedetemperatur, Wärmeleitfähigkeit, Härte, Löslichkeit und elektrischer Widerstand bzw. elektrische Leitfähigkeit, Bruchigkeit (Zugfestigkeit) sowie die Schallgeschwindigkeit in diesem Stoff. Weitere Eigenschaften sind z.B. auch Farbe, Geruch und Kristallform. Die folgende Tabelle listet einige

wichtige Stoffeigenschaften mit ihren Berechnungsformeln, Einheiten und Beispielen von Messwerten im Überblick auf.

In der **Analytik** untersucht man **unbekannte Material- und Stoffproben**, um herauszufinden, um welche Substanz es sich handelt. Daher folgen anschließend Datentabellen zu diesen einzelnen Stoffeigenschaften (stopffspezifischen Größen), die dabei helfen können, gemessene Werte unbekannter Stoffe herauszusuchen, um erkennen zu können, um welchen Stoff es sich handelt - err wird an Hand seiner stopffspezifischen Größen (Stoffeigenschaften) identifiziert.

Stoffeigenschaft, Formelzeichen	Beziehung und Bestimmungsmethode	Übliche SI-Einheit	Exemplarische stopffspezifische Werte (Je ein konkretes Beispiel mit Einheiten und ggf. einige weitere Zahlenangaben)
Aktivität(skoeffizient) γ (auch: f_a , elektrolytspezifisch)	$a = c \cdot f_a$	-	γ (NaCl) = 0,652 (bei $b = 1$ mol/kg) NaI: 0,8 ZnCl ₂ : 0,33 H ₂ SO ₄ : 1,077 ... a Aktivität, f_a Aktivitätskoeffizient
Basestärke, Basekonstante K_B , pK_B-Wert (der Base B)	$K_B = \frac{c(BH^+) \cdot c(OH^-)}{c(Base\ B)}$ $pK_B = -\log K_B$ Potenziometrie, pH-Messung	-	K_B (Ammoniak, NH ₃) = $1,79 \cdot 10^{-5}$ pK_B (NH ₃) = 4,75 pK_B (Ca(OH) ₂) = 1,40 pK_B (Al(OH) ₃) = 8,3 Analog: • Säurestärke, • Säurekonstante K_S , • pK_S -Wert, • Dissoziationskonstante K_0
Brechzahl, Brechungsindex $n(X)$	$n = c_1/c_2$ Refraktometrie	- (Na-D-Linie, $\lambda = 589,3\text{nm}$)	$n_D^{20}(\text{H}_2\text{O}) = 1,3330$ Luft: 1,0003 Wassereis: 1,31 Ethanol: 1,3605 Cyclohexan: 1,426 Toluol: 1,4998 Steinsalz: 1,544 Quarzglas: 1,54422 Diamant: 2,4173
Brennwert, spezifischer H_0	$H_0 = \Delta_R H / m$	KJ/kg	H_0 (Ethanol) = 29900 Methanol: 39900
Dampfdruck $p(X)$	In Lösungen: $p(X) = p_0 \cdot \chi_1$ Manometrie (Druckmessung)	hPa	$p(\text{H}_2\text{O}) = 22,38$ hPa ($\vartheta = 20^\circ\text{C}$) KOH ($w = 30\%$): $p(\text{H}_2\text{O}) = 14,4$ hPa Aluminiumchlorid: 1,0 Essigsäure: 15,4 Heptan: 48 Aceton: 233 Ether: 587 Ethanol: 798,3 Ammoniak: 2000 Ethan: 38200 Ethen: 41000
Dichte $\rho(X)$	$\rho(X) = m / V$ Wägung und Volumenmessung (z. B. Pyknometrisch)	g/cm^3 = g/mL = kg/L	$\rho(\text{H}_2\text{O}) = 0,998203$ g/mL ($\vartheta = 20^\circ\text{C}$) Wasserstoff: 0,0000899 Helium: 0,000179 Luft: 0,00129; Propangas: 0,00201 Aceton: 0,79; Ethylenglykol: 1,109 Ethanol: 0,791 Aluminium: 2,70 Glycerin: 1,260 Eisen: 7,86 Gold: 19,3

Stoffeigenschaft, Formelzeichen	Beziehung und Bestimmungsmethode	Übliche SI-Einheit	Exemplarische stoffspezifische Werte (Je ein konkretes Beispiel mit Einheiten und ggf. einige weitere Zahlenangaben)
Dipolmoment μ (induziert / permanent)	Induziert: $\mu(X) = \alpha \cdot E'$ (α = Polarisierbarkeit, E' = Feldstärke in V/m)	C • m	$\mu(\text{H}_2\text{O}) = 6,1716 \cdot 10^{-30} \text{ C} \cdot \text{m}$ (= 1,85 D) Monochlorbenzol: 1,57 D; Chlorwasserstoff, HCl: 1,1 D; Tetrachlorkohlenstoff, CCl_4 : 0,0 D (1 Debye, D = $3,336 \cdot 10^{-30} \text{ C} \cdot \text{m}$)
Drehung, spezifische α (optische Aktivität)	$\alpha = [\alpha] \cdot d \cdot c$ Polarimetrie	°	$[\alpha]_{25\text{D}}(\text{D-Glucose}) = 52,5$ (°/dm • g • mL ⁻¹) Rohrzucker: 66,45 D(-)-Fructose: -89,1
Duktilität	Verformbarkeit, siehe unter Zugfestigkeit und Elastizität(smodul)		
Ebullioskopische Konstante K_b (auch: E_s)	$\Delta \vartheta_b = K_b \cdot (LM) \cdot b(X)$ Ebullioskopie	K • kg/mol	K_b (H ₂ O) = 0,515 K • kg/mol Benzol: 2,64 Cyclohexan: 2,79 Essigsäure: 3,08 Campher: 6,09 (Messung der molalen Siedepunkterhöhung $\Delta \vartheta_b / b(X)$, SPE)
Elastizität(smodul) E	$E = \sigma / \varepsilon$ Mechanische Werkstoffprüfung	N/mm ²	E(Aluminium, 99,8%ig) = 65000 N/mm ² Polyethylen, PE: ≈ 1000 Tantal: 185000, Nickel: 196000 (σ mechanische Spannung, ε Dehnung)
Elektrische Leitfähigkeit γ a) Leitwert $G = 1 / R = A / (\rho \cdot l)$ mit l = Leiterlänge, b) Molare Leitfähigkeit $\Lambda = \kappa(X) / c(X)$, c) Elektrolyt-Leitfähigkeit $\kappa = 1 / \rho$	$C = \gamma \cdot R = l / A$ (Leitfähigkeitsmessung, Konduktometrie)	a) γ in: S / m (Fluide bei $\vartheta = 25^\circ\text{C}$) b) G und κ in: 1/Ω = S c) Λ in: S • m ² / mol	γ (dest. Wasser) = 10-4 bis 10-3 S/m Benzol: ca. 10-16 Ethanol: 1,3 • 10-7 Essigsäure: 5,0 • 10-7 Schwefelsäure, konz.: 1,0 Kochsalzlösung (gesättigt): 25,13 Schwefelsäure, 30%ig: 82,57 Kochsalz (Schmelze, 900°C): 377,0 Λ (NaCl) = 0,010669 S • m ² /mol (bei $c(\text{NaCl}) = 0,1 \text{ mol/L}$) l, A Elektrodenabstand, -fläche, C Widerstandskapazität des Messgefäßes in 1/m)
Energiegehalt (Nährstoffe)	E / m Kalorimetrie	kJ/kg	Fette: ≈ 39 kJ/g, Butter: 29,96 Eiweiße und Kohlenhydrate: je ≈ 17
Enthalpie, Standard-Bildungs-Enthalpie $\Delta_f H_\circ$	$\Delta_f H^\circ = \sum(\Delta_f H^\circ \text{Produkte}) - \sum(\Delta_f H^\circ \text{Edukte})$	KJ / mol	$\Delta_f H^\circ$ (Wasser, flüssig) = -286 kJ/mol Elemente: 0 kJ/mol Kochsalz: -411 Ethin: +227

Stoffeigenschaft, Formelzeichen	Beziehung und Bestimmungsmethode	Übliche SI-Einheit	Exemplarische stoffspezifische Werte (Je ein konkretes Beispiel mit Einheiten und ggf. einige weitere Zahlenangaben)
Enthalpie , spezif. Schmelz-/ Verdampfungsenthalpie	Siehe unter: Wärme, spezif. Schmelz-/Verdampfungswärme (Kalorimetrie;)		
Entropie , Standard-Bildungs-Entropie S°	$S^\circ = \sum(S^\circ_{\text{Produkte}}) - \sum(S^\circ_{\text{Edukte}})$	J/(mol•K)	$S^\circ(\text{Wasser}) = +70 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$ Wasserdampf: +189 Kochsalz: +72 Sauerstoffgas: +205 Al^{3+} -Ion: -322 Kalziumchlorid: +105 H^+ -Ion: 0,00
Esterzahl EZ	$EZ = VZ - SZ$ Lacktechnik	mg KOH/g	$EZ(\text{Olivenöl}) = 176 \text{ mg KOH} / \text{g}$ VZ <i>Verseifungszahl</i> , SZ <i>Säurezahl</i>
Explosionsgrenze σ_E (untere/obere; auch als: φ)	Volumen-konzentration: $\sigma_E = \frac{V(X)}{V_{\text{(Gesamt)}}}$	Vol% in Luft (u. U. auch in g/m³)	$\sigma_E(\text{Aceton}) = 2,5 \dots 13,0 \text{ Vol.}\%$ $\sigma_E(\text{d-Campher}) = 0,6 \dots \text{ca. } 4,5 \text{ Vol}\%$ $\sigma_E(\text{Dieethylether}) = 1,7 \dots 48,0 \text{ Vol.}\%$ $\sigma_E(\text{Ethanol}) = 3,0 \dots 19,0 \text{ Vol.}\%$ $\sigma_E(\text{Wasserstoff}) = 4,0 \dots 77 \text{ Vol}\%$ entspricht 3,3 ... 65 g Wasserstoffgas / m³
Flammpunkt	„Bei der oberhalb Flüssigkeit mit einer Zündquelle ein entzündbares Luft-Dampf-Gemisch entsteht	°C	Glycerin: 176 Ethylenglykol: 111 Hexanol: 60 Pentanol: 33 Ethanol: 12 Toluol: +4 Cyclohexan: -17 Aceton: -18 Diethylether: -40 Isopren: -48 Pentan: -49 Cyclopentan: -51
Freie Standard-Bildungsenthalpie ΔfG° (nach Gibbs, auch Gibbs-Energie genannt)	$\Delta RG^\circ = \Delta RH^\circ - T\Delta S$ Kalorimetrie, Potenziometrie in galvanische Zelle, über Redox: $\Delta RG^\circ = -\Delta E^\circ \bullet z \bullet F = -W_{\text{elektr.}}$	kJ/mol	$\Delta fG^\circ(\text{Wasser}): -237 \text{ kJ/mol}$ Ethin: +209 atomarer Wasserstoff: +203 Elemente: $\pm 0,00$ Wasserdampf: -229 Kochsalz: -384 Kalziumchlorid: -748 Aluminiumoxid: -1582 $W_{\text{elektr.}} = U \bullet I \bullet t$
Giftigkeit, Toxizität	$m(X) / m(\text{Körper})$ LD_{50} , Tierversuch	mg/ kg	Auch: AGW, MAK-Wert, TRK, BAT-Wert u. ähnl. Toleranzwerte; Beispiel: $\text{TRK}(\text{Ethanol}) = 1000 \text{ cm}^3/\text{m}^3$
Härte, Mohs'sche MH	Ritzversuche	Härtegrad	Mohs'sche Härteskala von 1 (Talk) bis 10 (Diamant)

Stoffeigenschaft, Formelzeichen	Beziehung und Bestimmungsmethode	Übliche SI-Einheit	Exemplarische stoffspezifische Werte (Je ein konkretes Beispiel mit Einheiten und ggf. einige weitere Zahlenangaben)
Heizwert H_u	$H_u = \Delta_R H / m,$ $H_u = \Delta_R H / V$ (mit H ₂ O gasf.)	kJ/kg	H_u (Ethanol) = 26900 kJ/kg Propan: 46100 Anthrazitkohle: ≈33000 Methanol: 19500 (alle in kJ/kg) Ethan (in kJ/m ³): 64350 Verbrennungsenthalpie: Bezogen auf n = 1 mol Brennstoff (statt auf m oder V)
Hydroxylzahl OHZ (OH-Zahl)	$m(KOH)/m(Probe)$ (Lacktechnik)	mg KOH/g	OHZ nach DIN 53240, Acetylierung mit Acetanhydrid und Titration mit KOH
Iodzahl IZ	$m(Iod)/m(Probe)$ (Lacktechnik)	mg (I ₂)/g	IZ(Olivenöl) ≈ 81 mg (Iod)/g nach DIN 53241-1 mit Wijs-Lösung (Maß für Gehalt an C=C-Bindungen)
Kompressibilität κ, isotherme	$\kappa = - (1/V) \cdot (\Delta U / \Delta V)$	1011 • Pa	κ (Wasser) = 49,0 • 1011 Pa ⁻¹ Benzol: 90,9; Blei: 2,18; Diamant: 0,185
Kryoskopische Konstante K_m (auch: EG)	$\Delta \vartheta = K_m \cdot b(X)$		K_m (Wasser) = 1,858 K • kg/mol Essigsäure: 3,90 Benzol: 5,065 Cyclohexan: 20,2 Zinn-IV-bromid: 28 Campher: 40,0
Längenausdehnungskoeffizient α Linearer Ausdehnungskoeffizient	$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \vartheta$ bei $\Delta \vartheta = 1$ K: $\alpha^* = l / l_0$	1/K	α^* (Zink) = 0,000036 K ⁻¹ Zinn: 0,000027 Kupfer: 0,000016 Blei: 0,000029 Porzellan: 0,000004 Diamant: 0,000001 Quarzglas: < 0,000001
Leitfähigkeit, Leitwert G	Siehe unter Elektrische Leitfähigkeit oder Wärmeleitfähigkeit		
Lichtgeschwindigkeit (in Medium X)	$c = s / t$	10 ⁸ m/s	c (in Wasser) = 2,24 • 10 ⁸ m/s Vakuum: 2,9979245 Luft: 2,99711 Polystyrol: 1,89 Diamant: 1,22
Löslichkeit L (von Stoff X im Lösungsmittel LM)	$\frac{m(X)}{m(LM)}$	g Stoff X 100 g H ₂ O (Gase bei p^θ = 1013 hPa)	L (NaCl) = 36,0 g/100 g H ₂ O (ϑ = +25°C) Helium: 0,00016 Bariumsulfat: 0,00024 Löschkalk: 0,17 Gips: 0,20 Soda: 21,4 Salpeter: 31,7 Ammoniak: 52,6 Ätznatron: 107 Silbernitrat: 219,0

Stoffeigenschaft, Formelzeichen	Beziehung und Bestimmungsmethode	Übliche SI-Einheit	Exemplarische stoffspezifische Werte (Je ein konkretes Beispiel mit Einheiten und ggf. einige weitere Zahlenangaben)
Löslichkeitsprodukt K_L (und pK_L -Wert)	Produkt der Sättigungskonzentrationen der Ionen $pK_L = -\log K_L$	K_L in $\text{mol}^x / \text{L}^y$, pK_L : -	Bei Elektrolyten vom Typ A_nB_m : $K_L = c_{\max.}(A^{m+})^n \cdot c_{\max.}(B^{n-})^m$ $K_L(\text{Kalk}) = 5 \cdot 10^{-9} \text{ mol}^2/\text{L}^2$ $K_L(\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{ H}_2\text{O}) = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ mol}^2/\text{L}^2$ $pK_L(\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{ H}_2\text{O}) = 3,7$
Massenanteil w(X) (eines Elementes X in Verbindung XY)	$w(X) = m(X) / m(\text{Gesamt})$	g / g $w \cdot 100 = \%$	$w(\text{H})$ in $\text{H}_2\text{O} = 0,11189$ (oder 11,189%) $w(\text{O})$ in $\text{H}_2\text{O} = 0,88811$ (oder 88,811%) $w(\text{C})$ in Glucose = 0,4211 (oder 42,11%)
Molares Normvolumen $V_{m,n}$	$V_{m,n} = V / n$ ($T_0 = 273 \text{ K}$, $p_0 = 1013 \text{ hPa}$)	L / mol	$V_{m,n}(\text{H}_2\text{O, gasf.}) = 23,459 \text{ L/mol}$ $V_{m,n}(\text{ideals Gas}) = 22,4055 \text{ L/mol } (0^\circ\text{C})$ $n\text{-Octan, gasf.}: 22,710$ $n\text{-Pentan}: 20,871$ $n\text{-Butan}: 20,871$ $\text{Wasserstoff}: 22,442$
NCO-Wert (Isocyanat)	(Lacktechnik)	$\text{mg}(\text{NCO}) / \text{g}$	Ähnlich: Carbonylzahl COZ als „Anzahl“ der mg CO pro g Fett oder Öl
Oberflächen-spannung γ (Symbol auch: σ)	$\gamma = W / A$	J / m_2 $= \text{N} / \text{m}$	$\gamma(\text{Wasser}) = 72,8 \text{ mN/m}$ Hexan: 18 Ethanol: 22,3 Aceton: 23,7 Glycerin: 59 Salzsäure (30%): 70 Quecksilber: 470
Optische Aktivität	Siehe unter Drehung , spezifische		
Osmotischer Druck Π	$\Pi = n \cdot R \cdot \vartheta / V$ Osmometrie	bar	$\Pi(0,01 \text{ mol Nichtelektrolyt/L}) = 0,25 \text{ bar}$ $\Pi = i \cdot c(X) \cdot R \cdot \vartheta$ (i = Ionenzahl pro mol Elektrolyt X)
Polarität (relative Adsorptionsenergie an Al_2O_3)	Vgl. unter Dipolmoment μ und unter Chromatographie: eluotrope Reihe		$n\text{-Pentan}: 0,00$ Aceton: 0,56 Ethanol: 0,88 Ethylenglykol: 1,11

Stoffeigenschaft, Formelzeichen	Beziehung und Bestimmungsmethode	Übliche SI-Einheit	Exemplarische stoffspezifische Werte (Je ein konkretes Beispiel mit Einheiten und ggf. einige weitere Zahlenangaben)
Potenzial , elektrochemisches (auch: Redoxpotenzial); Redoxpotenzial, Standard- E° (Potenzialdifferenz zur NWE)	$U = \Delta E^\circ$ $= E^\circ_{\text{Akzeptor}} - E^\circ_{\text{Donator}}$ Potenziometrie	V	$E^\circ(\text{H}_2 \leftrightarrow 2 \text{H}^+_{\text{aq}} + 2 \text{e}^-) = E^\circ(\text{NWE}) = 0,0 \text{ V}$ (bei $c = 1 \text{ mol/L}$ und $\vartheta = +25^\circ\text{C}$, NWE = Normalwasserstoffelektrode) $E^\circ(\text{Li} \leftrightarrow \text{Li}^+ + \text{e}^-)$: - 3,045 $E^\circ(\text{H}_2 + 2 \text{OH}^- \leftrightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^-)$ - 0,83 $E^\circ(\text{S}^{2-} \leftrightarrow \text{S} + 2 \text{e}^-)$ - 0,48 $E^\circ(\text{Cu} \leftrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2 \text{e}^-)$ + 0,35 $E^\circ(\text{Ag} \leftrightarrow \text{Ag}^+ + \text{e}^-)$ + 0,80 $E^\circ(\text{Mn}^{2+} + 2 \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{MnO}_4^- + 8 \text{H}^+ + 5 \text{e}^-)$ 1,51 $E^\circ(\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{H}^+ + 2 \text{e}^-)$ 2,4222 $E^\circ(2 \text{F}^- \leftrightarrow \text{F}_2 + 2 \text{e}^-)$ 2,85
Säurestärke, -konstante K_s (der Säure HA), pK_s-Wert	$K_s = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+) \cdot c(\text{A}^-)}{c(\text{Säure HA})}$ $\text{p}K_s = -\log K_s$ Potenziometrie, pH-Messung u.a.	-	K_s (Flusssäure, HF) = $3,53 \cdot 10^{-4}$ $\text{p}K_s$ (Flusssäure, HF) = 3,45 <i>Analog: Basestärke, Basekonstante K_b und pK_b-Wert, ähnlich: Dissoziationskonstante K_D</i>
Säurezahl SZ	$\frac{m(\text{KOH})}{m(\text{Probe})}$ Titration (Lacke)	mg KOH/g	$\text{SZ}(\text{Probe})$ nach DIN 53402, titriert mit KOH <i>(Maß für Säuregehalt RCOOH)</i>
Schallgeschwindigkeit v (in Stoff X)	$v = s / t$	m/s	$v(\text{Wasser}) = 1484 \text{ m/s}$ (bei 20°C) <i>Gummi: 40 Luft: 337 Kork: 500 Helium: 1020 Blei: 1300 Benzin: 1160 Wassereis: 3230 Silber: 3635 Kupfer: 3900; Stahl: 5100</i>
Schmelztemperatur ϑ_m (melting point)	T für Umwandlung fest $\leftrightarrow$ flüss.	K (oder als ϑ in $^\circ\text{C}$)	$\vartheta_m(\text{H}_2\text{O}) = 0,00^\circ\text{C}$ <i>Ethanol: -114,2$^\circ\text{C}$ Quecksilber: -39</i> <i>Cyclohexan: + 6,2 Glycerin: +18</i> <i>Campher: +178 Blei: 327</i> <i>Zink: 419 Silber: 961</i> <i>Platin: 1770 Iridium: 2466</i> <i>Wolfram: 3350 Graphit: 3730</i>
Siedetemperatur ϑ_b (boiling point)	T für Umwandlung flüss. $\leftrightarrow$ gasf.	K (oder als ϑ in $^\circ\text{C}$)	$\vartheta_b(\text{H}_2\text{O}) = +100,00^\circ\text{C}$ ($p_0 = 1013 \text{ hPa}$) <i>Helium: -269$^\circ\text{C}$ Stickstoff: -196</i> <i>Propangas: -42 Aceton: +56,1</i> <i>Ethanol: + 78,3 Cyclohexan: 81</i> <i>Naphthalin: 217,7 Glycerin: 290</i> <i>Zink: 906 Kupfer: 2600</i> <i>Iridium: 4428 Wolfram: 5700</i>

Stoffeigenschaft, Formelzeichen	Beziehung und Bestimmungsmethode	Übliche SI-Einheit	Exemplarische stoffspezifische Werte (Je ein konkretes Beispiel mit Einheiten und ggf. einige weitere Zahlenangaben)
Transmissionsgrad τ	Photometrie	(%)	und Absorptionsgrad α (s.o.)
Verseifungszahl VZ	$m(\text{KOH})/m(\text{Probe})$ Titration (Lacke)	mg KOH/g	VZ(Olivenöl) = 193 mg KOH/g nach DIN 53401, Verseifung von Fetten und Ölen mit Kalilauge (KOH)
Viskosität, dynamische η und: Viskosität, kinetische ν	$\eta = K \cdot (\rho_{\text{Kugel}} - \rho_{\text{Fluid}}) \cdot t$ $\nu = \eta \cdot \rho$ (K = Kugelkonstante, t = Kugelfallzeit*) Viskosimetrie	η in: 10^{-3} Pa • s	η (H ₂ O) = 1,002 mPa • s Propangas: 0,0082 Argon: 0,0226 Pentan: 0,23 Hexan: 0,31 Ethanol: 1,19 Butanol-2: 4,21 Ethylenglykol: 20,41 Glycerin: 1412 * (hier: Messung in einem Kugelfall-Viskosimeter)
Volumenausdehnungskoeffizient γ Kubischer Ausdehnungskoeffizient	$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta \vartheta$ (Gas-)Volumetrie	1/K (bei 18°C)	γ (Wasser) = 0,000207 ideale Gase: $1/273 = 0,003661$ Quecksilber: 0,000179; Toluol: 0,00108 Ethanol: 0,0011 Aceton: 0,00143 Glycerin: 0,00059
Wärme, spezifische: Schmelzwärme und Verdampfungswärme, Symbole: r und q)	Q / m Zum Schmelzen bzw. Verdampfen von 1 kg Stoff erforderliche Wärmemenge, Kalorimetrie	kJ/kg	Schmelzwärme q: Wassereis: 335 kJ/kg Kupfer: 213 Eisen: 270 Glycerin (fest): 200 Blei: 26 Quecksilber: 11
Wärmeleitfähigkeit λ	$\lambda = Q / (l \cdot T)$	W/(m • K)	λ (Silber): 418,7 W/(m • K) Kupfer: 395 Graphit: 140 Blei: 35,1 Quarz: 1,09 Eiche: 0,21 Leder: 0,16
Wärmekapazität, spezifische c_p (bei p = const. und $\vartheta = 20^\circ\text{C}$)	$Q = c_p \cdot m \cdot \Delta \vartheta$ Kalorimetrie, Thermometrie	kJ/(kg•K)	c_p (Wasser) = 4,187 kJ/(kg•K) Wasserdampf: 1,94 ($\vartheta = 100^\circ\text{C}$) Wassereis: 2,1 ($\vartheta = 0^\circ\text{C}$) Luft: 0,1005 Quecksilber: 0,14 Kupfer: 0,38 Kupfer: 0,523 Teflon, PTFE: 1,00 Glycerin: 2,37 Ethanol: 2,42 Helium: 5,234 Wasserstoff: 14,235 ($\vartheta = 0^\circ\text{C}$)

Stoffeigenschaft, Formelzeichen	Beziehung und Bestimmungsmethode	Übliche SI-Einheit	Exemplarische stoffspezifische Werte (Je ein konkretes Beispiel mit Einheiten und ggf. einige weitere Zahlenangaben)
Widerstand, spezifischer elektrischer $\rho_{\text{elektr.}}$	$R = \rho \cdot l / A$ Konduktometrie	$\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$	$\rho_{\text{elektr.}}$ (Silber) = $0,0167 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$ Selen: $\approx 0,001$ Eisen: $0,10$ Kupfer: $0,0178$ Silizium: $0,5$ Quecksilber: $0,94$ Kohle: $40 - 100$ PE, PVC: bis 1015
Zugfestigkeit R_m	$R_m = F_m / S_0$ F_m max. Kraft, S_0 Anfangsquerschnitt	N / mm^2	R_m (Aluminium, 99,8%ig) $\approx 100 \text{ N/mm}^2$ Borosilicatglas: ≈ 6 Graphit: ≈ 12 Kupfer: bis 360 Stahl: ≈ 500 Tantal: bis 980
Zündtemperatur ϑ_z	Temperatur, oberhalb der sich Stoffe (Dämpfe) an Luft spontan entzünden können	$^{\circ}\text{C}$	ϑ_z (Methan) = 595°C Aluminium: 773 Toluol: 535 Glykol: 515 Ethanol: 425 Hexanol: 292 Cyclohexan: 260 Diethylether: 170 Ethanal: 140

2.5 Stoffeigenschaften einzelner Stoffe

2.5.1 Wärme: Schmelz- und Siedetemperaturen

Siedetemperaturen (Auswahl, bei Normaldruck)

Stoff	θ_b in $^{\circ}\text{C}$	Stoff	θ_b in $^{\circ}\text{C}$
Ammoniak	-33,4	Ethanol	78,4
Anilin, Phenylamin	184	Ethylacetat	77,06
Aceton, Propanon	56	Nitrobenzol	210,9
Benzol	80,1	Nitromethan	101,2
Brom	58,7	n-Pentan	36,1
Cyclohexanol	161,1	Propan	-42
Cyclohexanon	155,6	Toluol	110,7
Diethylether	34,6	Trichlormethan	61,1
Ethanol	78,4	Wasser	100,0

Schmelztemperaturen (Auswahl, bei Normaldruck)

Stoff	θ_m ($^{\circ}\text{C}$)	Stoff	θ_m ($^{\circ}\text{C}$)
Aluminium	658	Phenol, Hydroxybenzol	40,8
Benzol	5,53	Propan	-189,7
Eisen (rein)	1530	Schwefeldioxid	-75,5
Ethanol	-114,5	Quecksilber	-38,9
Naphthalin	80,1	Wasser	0

Schmelztemperaturen ϑ_m organischer Verbindungen in °C (bei $p = 1013 \text{ hPa}$)

ϑ_m (°C)	Stoff*	ϑ_m (°C)	Stoff*	ϑ_m (°C)	Stoff*
-189,9	Propan	62,6	Palmitinsäure	179	Saccharose
-184	Methan	71	Stearinsäure	179	Kalziumstearat
-172,1	Ethan	73,9	Ethylpropionat	182,7	Butandisäure
-158,55	2-Methyl-butan	78	Phenylethansäure	183	<i>o</i> -Methylrot
-146,8	Isobuten	80,04	Naphten/-alin	183	β-Carotin (Karottenfarbstoff)
-135	<i>n</i> -Butan	81	Vanillin		
-130,8	<i>n</i> -Pentan	83	Iodessigsäure	183	Tetraphenylharnstoff
-95,6	Propanon	84	Vitamin D ₃	184	Androsteron
-90,6	<i>n</i> -Heptan	87	D-Ribose	185	Anissäure
-89,5	Isopropanol	92,5	Tetrabromkohlenstoff CBr ₄	187	Trichlorbenzoesre.
-89,3	Butan-1-ol			189,5	Oxal-/Ethandisäure
-86,6	Butan-2-ol	95	α -Naphthol	207	L(+)-Glutaminsäure
-78,5	Pentan-1-ol	114	Ammoniumacetat	223	α -Lactose
-63,5	Trichlorethan	115,5	<i>p</i> -Chinon	228,5	Saccharin
-51	<i>n</i> -Nonan	118	Tryptamin	229,5	Hexachlorbenzen
-30,1	<i>n</i> -Decan	119	Triiodmethan	233,5	Phthalimid
-27,9	1,2-Dimethylbenzen, <i>o</i> -Xylol	121,9	Pikrinsäure	234	Butansäurediamid
		122,45	Benzoessäure	236,5	Nicotinsäure
-22,9	Tetrachlorkohlenstoff	130,5	Maleinsäure	236,5	Coffein
		131,5	D-Mannose	243	Tetrabrombutan
-9	Linolsäure	132,1	Harnstoff	252	D,L-Threonin
-4,5	Glycerintrioleat	133,5	Sorbinsäure	253,5	Morphin
+1,3	Ethylsalicylat	135,5	<i>trans</i> -Zimtsäure	254	4-Brombenzoesre.
5,49	Benzen	140	α -L-Fructose	337	Naphthacen
5,69	Nitrobenzen	140	Korksäure	Einige anorganische Verbindungen zum Vergleich:	
6,4	Cyclohexan	148	Phenylharnstoff		
6,4	Decan-1-ol	149	NH ₄ ⁺ -Thiocyanat	-114,2	<i>Chlorwasserstoff</i>
12,3	Propensäure	>150	L(+)-KNa-Tartrat	- 86	<i>Bromwasserstoff</i>
12,4	Ethan-1,2-diol	153	Adipinsäure	- 77	<i>Ammoniak</i>
13,2	Ölsäure	155	Zitronensäure	0	Wasser
16,6	Ethansäure	158	L-(+)-Arabinose	+ 1,54	<i>Hydrazin</i>
17,8	<i>n</i> -Hexadecan	159	Salicylsäure	+ 60,6	<i>Borax</i>
17,8	<i>n</i> -Cetan	159	Pentabrombenzen	+ 117	<i>Ammoniumhydrogencarbonat</i>
25	L(+)-Milchsäure	165	Sorbose		
34,5	Zimtalkohol	167	D-Mannit	662	<i>Natriumiodid</i>
36,4	<i>n</i> -Eicosan	168,5	D,L-Ascorbinsäure	801	<i>Natriumchlorid</i>
36,5	<i>p</i> -Kresol	170	Weinsäure	1326	<i>Kupfer(II)-oxid</i>
38	<i>p</i> -Toluolsulfonsre.	170	Galactose	1457	<i>Eisen(III)-oxid</i>
40,8	Hydroxybenzen	172	Hydrochinon	1570	<i>Gips (Anhydrit)</i>
42	Hexandiol	176,3	D-Campher	2050	<i>Aluminiumoxid</i>
43,5	<i>p</i> -Toluidin	177,0	3,4-Benzpyren	2831	<i>Magnesiumoxid</i>
44,9	<i>n</i> -Docosan	178	γ -Carotin	2927	<i>Gebrannter Kalk</i>

Siedetemperaturen ϑ_m organischer Verbindungen in °C (bei $p = 1013 \text{ hPa}$)

ϑ_m (°C)	Stoff*	ϑ_m (°C)	Stoff*	ϑ_m (°C)	Stoff*
-190	Kohlenmonoxid	78,6	1-Chlorbutan	132	Chlorbenzen
-164	Methan	78,9	2,2-Dimethylpentan	137	Acetylaceton
-88,5	Ethan	79,6	Butan-2-on	138,4	Diisobutylamin
-47,0	Propen	80,2	Benzen, Benzol	138,4	1,4-Dimethylbenzen
-44,5	Propan	80,8	Cyclohexan	139	1,3-Dimethylbenzen
-24,9	Dimethylether	80,8	2,4-Dimethylpentan	139	Cyclopentanol
-21	Methanal	80,9	2,2,3-Trimethylbutan	140	Ethansäureanhydrid
-13,9	Chlorethen	82,4	Isopropanol,	141	Propensäure
-10,2	Isobutan		2-Hydroxypropan	141,35	Propansäure
-6,6	Isobuten	82,55	2-Methylpropan-2-ol,	142,5	Cyclooctatetraen
-0,5	n-Butan		<i>tert.</i> Butanol	145,8	Styren,-ol
13,1	Chlorethan	83,3	Cyclohexen	146,8	Butylpropanat
16,6	Aminoethan	84,1	1,2-Dichlorethan	147,4	Heptan-3-on
18,5	Buta-1,2-dien	86	1,1-Dichlorpropan	149,5	Tribrommethan
25,7	Blausäure HCN		Propyl-1,1-dichlorid	150,6	n-Nonan
34,3	Isopren	86,9	Trichlorethen	151	1-Nitrobutan
34,6	Diethylether	89	Triethylamin	151,25	Heptan-2-on,
36,15	n-Pentan	92,2	Diethylsulfid		Methylpentylketon
36,85	<i>trans</i> -Pent-2-en	97,4	Propanol-1	152,5	Cumol, Cumen
38,4	Bromethan	98,34	n-Heptan	154,35	Isobutansäure, 2-
38,8	Methylpropylether	100,75	Methansäure		Methylpropansäure
39,5	Pent-1-en	101,15	Nitromethan	155,25	Amino-n-heptan
40,67	Dichlormethan	101,3	1,4-Dioxan	155,8	Hexan-1-ol,
40,8	2-Methylbutadien	101,76	<i>tert.</i> Amylalkohol, 2-		Hexylalkohol
46,4	Kohlenstoffdisulfid		Methylbutan-2-ol	159	Heptan-2-ol
	CS ₂	107	Isobutanol, Isobuty-	160,5	Methacrylsäure
49,5	Cyclopentan		lalkohol	163,5	Butansäure
56,2	Propanon	107	Hepta-1,4-dien	166,4	Butansre.-butylester
56,3	Diethylamin	110,8	Methylbenzen	173,15	n-Decan
61,21	Trichlormethan	115,5	Pyridin	175	m-/o-Cymol
64,7	Methanol	116	Pentan-3-ol	176,7	p-Cymol
65,3	Tetrahydrofuran	116,5	1,2-Dioxan	184,4	Aminobenzen,
67	D,L-sek.-Butylamin	116,5	Diaminoethan		Anilin
68	Isobutylamin	117,5	Butan-1-ol	189,35	Chlorethansäure
68,8	n-Hexan	117,6	Butansäurenitril	196,5	n-Undecan
71,0	Brompropan	118,5	Ethansäure	197,4	Ethan-1,2-diol
72,30	Iodethan	123	Hexan-3-on	202	Maleinsäureanhydrid
72,5	Trifluorethansäure	125,8	n-Octan	217,8	Napthen,-alin
74,1	1,1,1-Trichlorethan	127,5	Hexan-2-on	270,5	n-Pentadecan
76,7	Tetrachlormethan	127,7	Pentan-2-ol	285	Vanillin
77,06	Ethansäureethyles-	129	Cyclopentanon	339-356	Palmitinsäure
	ter, Acetylacetat	129	Amino-n-hexan,	340	Cetylalkohol
			Hexylamin	379,8	Anthrachinon
78,32	Ethanol				

2.5.2 Dichte und Dichtebestimmung

Pyknometer sind auf Einlauf kalibrierte oder geeichte Volumen-Messgefäße. Größengleichungen und Symbole hierzu:

Dichte eines Stoffes: $\rho = \frac{m}{V}$	Pyknometervolumen: $V(Pyk) = \frac{m_{Fl} - m_P}{\rho_{Fl} - \rho_l}$	Flüssigkeitsdichte: $\rho_{Fl} = \frac{m_{Fl} - m_P}{V_{Pyk}} + \rho_L$	Feststoffdichte: $\rho_s = \frac{m_s - m_P}{m_{Fl} - m_P - m_{sFl} + m_s} \cdot \rho_{Fl}$
--	---	---	--

ρ_{Fl} Dichte einer Flüssigkeit	ρ_s Dichte einer festen Substanz
ρ_L Dichte von Luft	m_P Masse des leeren Pyknometers
P_y	
m_W Py. mit Wasser vollständig gefüllt	m_{Fl} Py. mit Flüssigkeit gefüllt
m_s Py. mit fester Probe teilw. Gefüllt	m_{sFl} Py. mit fester Substanz und Flüssigkeit vollständig gefüllt

Dichtewerte von Wasser (Für Messungen mit demn Pyknometer)

ϑ (°C)	$\rho(H_2O)$ lf*, (g/mL)	$\rho(H_2O)$, atm*, (g/mL)	ϑ (°C)	$\rho(H_2O)$ lf*, (g/mL)	$\rho(H_2O)$, atm*, (g/mL)	ϑ (°C)	$\rho(H_2O)$ lf*, (g/mL)	$\rho(H_2O)$, atm*, (g/mL)
0,0	0,999840	0,999835	12,5	0,999438	0,999435	20,5	0,998099	0,998097
0,5	0,999871	0,999866	15,5	0,999022	0,999019	21,0	0,997991	0,997989
1,0	0,999899	0,999894	18,0	0,998595	0,998592	21,5	0,997882	0,997880
2,5	0,999954	0,999950	18,5	0,998501	0,998498	22,0	0,997769	0,997767
5,0	0,999964	0,999960	19,0	0,998404	0,998401	23,0	0,997537	0,997535
7,5	0,999877	0,999873	19,5	0,998305	0,998302	24,0	0,997295	0,997293
10,0	0,999699	0,999695	20,0	0,998203	0,998201	25,0	0,997043	0,997041

* Verwendete Kürzel: lf luftfrei,
atm atmosphärisch, luftgesättigt

Dichte(bereiche) einiger Werkstoffe u.a. Materialien
(in g/mL; $\vartheta = +20^\circ\text{C}$)

$\rho(\text{g/mL})$	Werkstoff	$\rho(\text{g/mL})$	Werkstoff
0,06-0,25	Schaumstoffe	0,99	Campher
0,02	Styropor	1,02-1,65	Roh-, Erdöl
0,2-0,25	Kork	1,05-1,1	Bernstein
0,5	Fichtenholz	1,1-1,5	Asphalt
0,5-1,2	Hölzer insg.	1,18	Acrylglas, PMMA
0,69-0,75	Benzin	1,2	Teer
0,76-0,89	Petroleum	1,2-1,5	Braunkohle
0,81	Spiritus 95%	1,34	PVC
0,81-0,85	Diesel	1,61	Kandiszucker
0,85-0,98	Wachse	1,8-2,2	Beton
0,87	Terpentinöl	2,3-2,4	Gips; Porzellan
0,92-0,94	Fette; Leinöl	2,4-2,6	Fensterglas

ϑ °C	$\rho(\text{Wasser})$ (g/mL) 0,9..
27,5	0,996373
30,0	0,995645
40,0	0,992964
50	8805
60	8570
70	8057
80	7486
90	6862

Dichte einiger Werkstoffe (Fortsetzung)

ρ (g/mL)	Werkstoff	ρ (g/mL)	Werkstoff
3,49-3,6	Topas	7,85	Baustähle, unlegiert
5,1	Rost (trocken)	8,40	Messing CuZn40
6,5-7,5	Olivin u.ä. Gesteine	8,4-8,7	Messinglegierungen
6,5-7,5	Zirkon, ZrSiO ₄	8,8	Bronze CuSn6
7,4-8,9	Bronzelegierungen	8,89	Konstantan
7,5-8,0	Beryll	8,0-11,0	Bleilot; Letternmetall

Dichte-Werte organischer Flüssigkeiten und Feststoffe

(in g/mL bei $\vartheta = +20^\circ\text{C}$, nach Dichte geordnet), Teil 1

ρ	Stoff (organisch)*	ρ	Stoff (organisch)*	ρ	Stoff (organisch)*
0,644	2,2-Dimethylbutan	0,802	Pentan-2-on	0,883	<i>n</i> -Butylacetat
0,65	2,3-Dimethylbutan	0,8035	Propan-1-ol	0,885	1-Chlorpropan
0,6593	<i>n</i>-Hexan	0,809	Pentan-3-on	0,8884	Propylacetat
0,678	2-Methylhexan	0,81	Propen-, Acrylnitril	0,8896	Ölsäure
0,6806	Isopren	0,811	Cyclohexen	0,89	<i>n</i>-Decansäure
0,686	Cyclobutan (+11°C)	0,815	Hexan-1-ol	0,89	Butylformiat
0,691	Trimethylpentan	0,81825	Hexan-2-on	0,895	<i>cis</i> -Decalin
0,6925	Dimethylhexan	0,8174	Hexan-3-on	0,8995	1,2-Diaminoethan, Ethylendiamin
0,7028	<i>n</i>-Octan	0,8198	<i>n</i> -Decan-1-ol		
0,7056	Diethylamin	0,82	Bienenwachs	0,9005	Ethylacetat
0,7135	Diethylether	0,82	Octan-2-on	0,9025	9,12-Linolsäure
0,7176	<i>n</i>-Nonan	$\approx 0,82$	Heptanole-, -one	0,907	Styren, Styrol
0,710	Hex-1-in	0,828	Saccharin	0,9152	Glycerintrioleat, Fett
0,719	Hex-2-in	0,836	<i>tert.</i> Butylchlorid	0,92	<i>n</i> -Heptansäure
0,7255	Diisopropylether	0,838	Stearinsäure, Octadecansäure	0,9224	Ethylformiat
0,7275	Triethylamin			0,9234	Hexylenglykol
0,728	<i>n</i>-Decan	0,839	Ethanthiol	0,9289	<i>n</i>-Hexansäure
0,73	Hex-3-in	0,841	Propenal, Acrolein	0,93	Vinylacetat
0,737	<i>n</i> -Undecan	0,8422	L-Limonen	0,932	α -Ionon
0,745	<i>n</i> -Dodecan	0,8449	Dimethylsulfid	0,935	Kumarin
0,7510	Cyclopentan	0,854	Palmitin-, Hexadecansäure	0,9376	Cyclohexanol
0,756	<i>n</i> -Tridecan			0,9388	Furan
0,7704	Dipropylether	0,856	2-Chlor-propan	0,94	Cyclohexanon
0,7725	Dibutylether	0,858	Isopropylbenzen	0,946	Pentansäure
0,7751	Dipentylether	0,86	<i>tert.</i> Amylchlorid	$\approx 0,95$	Polyethylen (HDPE)
0,7751	Hexadecan, <i>n</i> -Cetan	0,86	Ethyltoluen; EDTA	0,9646	Methylglykol
0,7786	Cyclohexan	0,861	1,2-Dimethylbenzen	0,967	Pinakol
0,785	<i>n</i> -Eicosan	0,868	2-Chlorbutan	0,980	Acet-, Formamid
0,785	Propanon, Aceton	0,87	<i>n</i> -Pentylacetat	0,988	Propansäure
0,7855	Propan-2-ol	0,8716	Methylbenzen	0,989	Diphenyl
0,7867	<i>tert.</i> Butanol	0,874	1-Chlorhexan	0,9956	Phenylmethylether, Anisol
0,79	<i>n</i> -Nonadecan	0,860	1,2-Dimethylbenzen		
0,79	Ethanol; Isobutanol	0,881	1-Chlorbutan	0,99820	Wasser (+20°C)
0,7910	Methanol	0,883	<i>sek.</i> Butylchlorid	0,99997	Wasser (+4°C)

Dichte-Werte organischer Flüssigkeiten und Feststoffe ($\rho > 1 \text{ g/mL}$ bei $\vartheta = +20^\circ\text{C}$), Teil 2

ρ (g/mL)	Stoff (organisch)*	ρ (g/mL)	Stoff (organisch)*	ρ (g/mL)	Stoff (organisch)*
0,99997	Wasser (+4°C)	1,162	Chlorpropanon	1,5620	Glucose, Traubenz.
1,000	NaOH ($w=0,15\%$; 0,0393 mol/L)	1,1702	Dimethylsulfon	1,563	Dichlorethansäure
1,001	Diphenylethan	1,1738	Methylsalicylat	1,565	1,2-Dinitrobenzen
1,0059	Diphenylmethan	1,19	Kristallviolett	1,572	Butandisäure, Bernsteinsäure
1,0092	L-Nicotin	1,198	Thiazol	1,575	1,3-Dinitrobenzen
1,01217	Aminobenzen	1,201	Fluoren	1,584	Tetrachlormethan
1,0225	Fluorbenzol	1,21	Pyren	1,588	Saccharose, Rohr-, Haushalts-Zucker
1,028	Acetophenon	1,215	4-Chloranilin	1,590	Phthalsäure
1,02929	Chinolin	1,23	Coffein	1,590	<i>cis</i> -Butendisäure, Maleinsäure
1,03	Naphthalen, -in	1,2613	1,2,3-Propantriol, Glycerin	1,59-1,6	Äpfelsäure
1,0336	1,4-Dioxan	1,266	Benzoessäure	1,612	Sorbose
1,0361	Propan-1,2-diol	1,268	3-Chlorphenol	1,618	Nitroglycerin
1,034	<i>m</i> -Kresol	1,269	1-Brombutan	1,619	Tetrachlorethen
1,0347	<i>p</i> -Kresol	1,272	Resorcin	1,619	Malonsäure
1,04	Zimtalkohol	1,28	Anthracen	1,625	1,4-Dinitrobenzen
1,042	Benzaldehyd	1,284	1,2-Dichlorethan	1,630	<i>trans</i> -Butendisäure, Fumarsäure
1,044	Ethansäure	1,288	1,3-Dichlorbenzen	1,652	Bleitetraethyl
1,048	α -Kresol	1,29	Leucin	1,665	Zitronensäure
$\approx 1,05$	Benzylalkohol	1,305	1,2-Dichlorbenzen	1,666	<i>meso</i> -Weinsäure
1,05	Zimtaldehyd	1,316	Dichlormethan	1,669	Fructose, Frucht-Z.
1,0576	Hydroxybenzen	1,33	Urotropin	1,677	L-Cystin
1,06	Thiophen	1,335	Harnstoff	1,696	L-Ascorbinsäure
$\approx 1,06$	Vanillin	1,34	Methanthiol	1,7335	Benzyliodid
1,062	Acrylsäure	1,36	Hydrochinon	1,737	Traubensäure
1,0692	3-Chlorbutan-2-ol	1,36	Hexandisäure, Adipinsäure	1,759	D-2,3-Weinsäure
1,07	Diphenylether	1,41	Anthranilsäure	1,767	Pikrinsäure
1,07	Cholesterin	1,419	Anthrachinon	1,848	Brombenzen
1,072	3-Chlortoluen, -ol	1,4380	Benzylbromid	1,900	Ethandi/Oxalsäure
1,0729	Cyanamid, H_2NCN	1,443	Salicylsäure	1,934	Bromethansäure
1,0817	2-Chlortoluen, -ol	1,48	Trichlormethan	1,956	1,2-Dibrombenzen
1,10	Benzylchlorid	1,4852	Triethanolamin	1,98	1,3-Dibrompropan
1,1039	Acetylchlorid	1,48-1,49	Nitrophenole	2,0691	1,1-Dibromethan
1,1064	Chlorbenzen	1,49	2-Nitronaphthen	2,091	Hexachlorethan
1,109	Ethan-1,2-diol, Glykol	1,50	Galactose	2,100	1,4-Dibrombenzen
1,127	Acrylamid	1,5279	Phthalsäure-anhydrid (PTA)	2,169	1,2-Dibromethan
1,1286	Butyrolacton	1,53	Lactose, Milch-Z.	2,265	Iodmethan
1,1339	Methanamid	1,533	1,4-Dichlorbenzen	2,484	Dibrommethan
1,140	Cyansäure, HOCN	1,54	Maltose, Malz-Z.	2,961	Tetrabrommethan
1,158	Diphenylhydrazin	1,544	2-Chlorbenzen-carbonsäure	3,308	Diiodmethan
1,16	Glycin			4,178	Triiodmethan
1,160	Furfural				
1,160	2- + 3-Nitrotoluol				

Dichte anorganischer Feststoffe und Flüssigkeiten (g/mL; $\vartheta = +20^{\circ}\text{C}$)

$\rho(\text{g/mL})$	Stoff (anorg.)	$\rho(\text{g/mL})$	Stoff (anorg.)	$\rho(\text{g/mL})$	Stoff (anorganisch)
0,37-0,9	Bimsstein	1,980	KCl	3,0	FeSO_4 (wasserfrei)
0,53	Li	2,01	H_2SiO_3	3,090	$\text{BaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$
0,862	K	2,044	Ätzkali, KOH	3,12	KI; $\text{Fe}(\text{OH})_3$; RbNO_3
0,880	NH_3 , $w=34,35\%$	2,068	LiCl	3,1226	Br_2
0,958	HF	2,07	S (kristallin)	3,22	Carborundum, SiC
0,971	Na	2,103	$\text{MnSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	3,270	KBrO_3
0,99820	H_2O (+20°C)	2,13	Ätznatron, NaOH	3,40	Gebr. Kalk, CaO
0,99997	H_2O (+4°C)	2,109	Salpeter, KNO_3	3,464	LiBr (As_2S_3 : 3,48)
1,000	NaOH ($w=0,15\%$; 0,0393 mol/L)	2,164	Steinsalz, NaCl	3,513	C (Diamant)
		2,17	NaNO_2 ; KHCO_3	3,546	ZnSO_4
1,106	D_2O	2,171	$(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$	3,55	NiCl ₂
1,198	HCl, $w = 40,00\%$		• 12 H_2O	3,57	Magnesia, MgO
1,2044	NH_2OH	2,261	NaNO_3	3,594	Ba
1,2705	CS_2	2,266	C (Graphit)	3,62	$\text{KIO}_4(\text{CaF}_2 : 3,1-3,6)$
1,435	H_3BO_3	2,316	MgCl_2	3,667	NaI ($\text{MgAl}_2\text{O}_4 \approx 3,7$)
1,448	H_2O_2	2,32	Gips, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3,999	BaCl_2 (wasserfrei)
1,464	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	2,34	P (rot)	3,895	SrCrO_4
1,483	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	2,34	KClO_3	3,96	MnS
1,513	HNO_3 , $w=100\%$	2,42	SO_3	3,99	SrSO_4
1,52	HNO_3 , $w=62,00\%$	2,431	NH_4Br	4,0	Schmirgel
1,530	NaOH, $w=50,50\%$	2,481	KF	4,050	Korund, $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$
1,531	NH_4Cl	2,49	NaClO_3	4,087	Zinkblende, ZnS
1,535	KOH, $w=52,05\%$	2,4-2,8	gewöhnl. Gläser	4,325	AgNO_3
1,550	Ca	2,50	Na_2CO_3 (geglüht)	4,43	BaCO_3 (wasserfrei)
1,6	CCl_4	2,515	NH_4I	4,47-4,8	BaSO_4 ; FeS
1,6059	HClO_4 , $w=65,0\%$	2,52	KClO_4	4,490	BaCrO_4
1,73	NaSCN	2,536	Na_3PO_4	4,540	Ti
1,75	$\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	2,6	Bergkristall	4,82	Cadmiumgelb, CdS
1,764	HClO_4 , $w = 100\%$	2,619	H_2SeO_4	4,930	I_2
1,81	Gips, gebrannt	2,648	Quarz, $\alpha\text{-SiO}_2$	5,21	Chromgrün, Cr_2O_3
1,833	H_2SO_4 , $w = 94,72\%$	2,66	MgSO_4 (geglüht)	5,22	SnS ($\text{FeS}_2 : \approx 5,0$)
1,840	B_2O_3	2,68	Na_2SO_4 (geglüht)	5,45	CoS
1,8-2,5	Beton	2,698	Al	5,56	Chlorargyrit, AgCl
1,83	P (weiß)	2,7	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$; Talk	5,6	Kupferglanz, Cu_2S
1,83	$\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	2,70	$\text{SnCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	5,685	BaO (ZnO : 5,7)
1,834	H_2SO_4 , $w = 100\%$	2,703	KMnO_4	5,74	FeO (Rost: 5,1)
1,856	Na_2S	2,712	Mg_3N_2 ; Calcit	5,780	As
1,88	H_3PO_4 , $w = 100\%$	2,75	KBr	6,16	PbI_2 (PbSO_4 : 6,3)
1,891	$\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	2,790	NaF	6,45	Tenorit, CuO
1,91	NH_4ClO_4	2,90	Kryolith, Na_3AlF_6	6,691	Sb (V: 6,12)
1,915	KNO_2	2,91	ZnCl_2	$\approx 6,7$	Bleiweiß; PbMoO_4
1,92	S (amorph)	2,94	Kalk, CaCO_3	7,02	Zinnstein, SnO_2
1,97	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	2,96	Anhydrit, CaSO_4	7,133	Zn

$\rho(\text{g/mL})$	Stoff (anorg.)	$\rho(\text{g/mL})$	Stoff (anorg.)	$\rho(\text{g/mL})$	Stoff (anorg.)
7,133	Zn	7,7	HgS (schwarz)	10,500	Ag (Mo: 10,220)
Bis 7,2	Bismuthinit, Bi_2S_3	7,80	PbSe (NiAs: 7,57)	11,14	HgO (UO ₂ : 10,96)
7,16	WO ₃	7,874	Fe	11,350	Pb (Hg: 13,546)
7,190	Cr	8,09	Zinnober, HgS _{rot}	15,7	W ₂ C
7,31	Sn	8,6-9,1	Mennige, Pb ₃ O ₄	16,02	Widia, WC
7,31	Argentit, Ag ₂ S	8,902	Ni (Cu: 8,960)	19,30	W (U: 18,950)
7,440	Mn	9,530	PbO (PbO ₂ : 9,643)	19,320	Au (Pu: 19,320)
7,6	Bleiglanz, PbS	9,747	Bi	21,450	Pt (Ir: 22,420)
7,694	Zementit, Fe ₃ C	10,2	PtO ₂	22,570	Os

Dichtewerte wichtiger Gase

$\rho(\text{g/L})$	Gas	$\rho/\rho(\text{Luft})$	$M(\text{g/mol})$	$\rho(\text{g/L})$	Gas	$\rho/\rho(\text{Luft})$	$M(\text{g/mol})$
0,08988	H₂	0,0695	≈ 2	1,977	CO₂	1,529	≈ 44
0,176	D ₂ , ² H ₂	0,137	≈ 4	2,5	n-Butan	1,98	≈ 58
0,1785	He	0,138	≈ 4	2,922	SO ₂	2,264	≈ 46
0,671	CH₄	0,554	≈ 4	3,14	GeH ₄	2,49	$\approx 74,6$
0,720	NH ₃	0,596	≈ 16	3,214	Cl ₂	2,5522	≈ 71
0,8994	Ne	0,697	≈ 17	3,358	NO ₂	2,666	≈ 46 (92)
1,179	C ₂ H ₂	0,906	≈ 20	3,644	HBr	2,894	≈ 81
1,250	NO	0,96	≈ 26	3,66	H ₂ Se	2,9064	≈ 80
1,2506	N₂	0,967	≈ 27	3,7	CF ₄	2,94	≈ 88
1,2506	CO	0,967	≈ 28	3,7493	Kr	2,97	$\approx 83,8$
1,2593	Luft	1,000	≈ 28	4,7	SiF ₄	3,732	≈ 104
1,429	O₂	1,106	≈ 29	5,79	HI	4,598	≈ 128
1,54	H ₂ S	1,191	≈ 32	5,897	Xe	4,68276	$\approx 131,3$
1,639	HCl	1,268	≈ 34	6,17	SF ₆	4,8995	≈ 146
1,697	F ₂	1,317	$\approx 36,5$	6,8	SnH ₄	5,3998	$\approx 122,7$
1,847	N ₂ O	1,527	≈ 36	9,73	Rn	7,726	≈ 222
1,878	C ₃ H ₈	1,528	≈ 44	12,8	WF ₆	10,164	$\approx 297,8$

2.5.3 Wärmeleitfähigkeit

Wärmeleitfähigkeit λ verschiedener Materialien bei 20°C, Teil 1 (A-H)

Stoff, Material	λ (W • m ⁻¹ • K ⁻¹)*	Stoff, Material	λ (W • m ⁻¹ • K ⁻¹)*
Aluminium	≈ 235	Flussstahl	≈ 47
Benzol, Benzen	0,172	Gase, anorganisch	0,005 - 0,171
Beton, Poren- / Stahl-	0,4 / 1,6	Gase, Dämpfe, organisch	0,008 - 0,018
Bismut	8,1	Glykol, Ethandiol	0,260
Butanol-1	0,167	Glyzerin, Propantriol-1,2,3	0,285
Diethylether	0,138	Gold	315
Eisen	≈ 73	n-Hexan	0,138
Ethanol	0,180	Holz, trocken (Eiche/Kiefer)	0,21 / 0,14

Wärmeleitfähigkeit λ verschiedener Materialien bei 20°C, Teil 2 (K-Z)

Stoff, Material	λ (W • m ⁻¹ • K ⁻¹)*	Stoff, Material	λ (W • m ⁻¹ • K ⁻¹)*
Kesselstein	1,16 - 3,5	Quarz, Siliziumdioxid	1.09
Kupfer (0°C)	398	Ruß	1,1
Leder	0.16	Silber (0°C)	418
Luft, trocken	0,0241	Steinwolle	≈ 0,1
Magnesium	172	Tantal	54,5
Maschinenöl	0.13	Titan	15,5
Mauerwerk, Ziegel	0,52 - 0,69	Toluol, Methylbenzen	0,151
Messing, Tombak	79 - 116	Wasser (ca. 20°C)	0,597
Methanol	0,214	Wasser (0°C)	0,560
Neusilber	29	Wasser (100°C)	0,682
n-Octan	0,147	Wasserdampf (100°C)	0,025
Pentanol-1, Amylalkohol	0,163	Weißmetall	35...70
Porzellan	0,8 - 1,9	Wolfram	130
Propanol-1	0,172	Zink	113
Propanol-2	0,172	Zinn	63
Propanon, Aceton	0,180	λ in W • m ⁻¹ • K ⁻¹ entspricht J • s ⁻¹ • m ⁻¹ • K ⁻¹	

* Angabe der Wärmeleitfähigkeit als **Wärmeleitzahl** λ in W • m⁻¹ • K⁻¹ bei ϑ = 20°C.

Die Angabe 10,171 bei anorganischen Gasen ist der Extremwert von Wasserstoffgas H₂, die Angabe für Luft gilt bei Normalbedingungen.

2.5.4 Härte

Mohs'sche Härteskala (mit den 10 Referenzmineralien)

MH*	Mineral	Formel	VH*	AH*	Kristallsystem	ρ (g/cm ³)
1	Talk	Mg ₃ (OH) ₂ (Si ₂ O ₅) ₂	2,4	0,03	monoklin	2,58 bis 2,83
2	Gips	CaSO ₄ • 2 H ₂ O	36	1,25	monoklin	2,3 bis 2,4
3	Calcit	CaCO ₃	109	4,5	Trigonal	2,71
4	Fluorit	CaF ₂	189	5,0	kubisch	3,1 bis 3,2
5	Apatit	Ca ₅ (PO ₄) ₃ (OH,F,Cl)	536	6,5	hexagonal	3,16 bis 3,22
6	Orthoklas	KAlO ₂ (SiO ₂) ₃	795	37	monoklin	2,53 bis 2,63
7	Quarz	SiO ₂	1120	120	trigonal	2,65
8	Topas	Al ₂ (F,OH) ₂ SiO ₄	1427	175	rhombisch	3,49 bis 3,6
9	Korund	Al ₂ O ₃	2060	1000	trigonal	3,95 bis 4,1
10	Diamant	C	10060	140000	kubisch	3,52

* MH ist die **Mohs'sche** (Ritz-)Härte: Jedes Mineral kann durch ein Vertreter der jeweils höheren Härte geritzt werden. VH ist die **Vickers-Härte** (in N/m²), aH die **absolute Härte** (ohne Einheit).

2.5.5 Viskosität

Viskosimetrie-Größen und Viskosimeter-Typen:

Messgröße, Symbol	Einheit	Messgerät, Verfahren	DIN-Norm
dynamische Viskosität η^*	mPa • s	Höppler-Kugelfall-Viskosimeter	53105
kinetischen Viskosität $\nu = \frac{\eta}{\rho}$	m ² /s = 10 ⁶ cSt	Ubbelohde-Viskosimeter	51562
* η ist abhängig von der Temperatur, bei Gemischen auch von der Konzentration		Auslaufbecher	EN ISO 2431

Dynamische Viskosität η in mPa • s, Teil 1: $\eta < 0,52$

$\eta(20^\circ\text{C})$	Stoff	$\eta(0^\circ\text{C})$	$\eta(20^\circ\text{C})$	Stoff	$\eta(0^\circ\text{C})$
0,0082	Flüssig-Propan, C ₃ H ₈	≈ 0,009	0,695	Thiophen	0,8708
0,0182	Luft, verflüssigt	≈ 0,021	0,71	n-Nonan, C ₉ H ₂₀	0,97
0,0226	Argon, Ar, verflüssigt	≈ 0,026	0,711	Butansäuremethylester	
0,2155	2-Methyl-buta-1,3-dien	0,2600	0,737	1-Iodpropan, C ₃ H ₇ I	0,9373
0,223	2-Methylbutan, C ₅ H ₁₂	0,2724	0,80	Chlorbenzen, C ₆ H ₅ Cl	1,06
0,235	n-Pentan, C ₅ H ₁₂	0,2827	0,807	1,2-Dimethylbenzen	1,1029
0,243	Diethylether, (C ₂ H ₅) ₂ O	0,296	0,88	Tetrachlorethen, C ₂ Cl ₄	1,14
0,266	Chlorethan, C ₂ H ₅ Cl	0,320	0,95	Pyridin, C ₅ H ₅ N	1,33
0,300	2-Methyl-pentan, C ₆ H ₁₄	0,3715	0,969	Tetrachlorkohlenstoff	1,3466
≈ 0,30	Petrolether	≈ 0,38	0,97	Cyclohexan, C ₆ H ₁₂	-
0,320	n-Hexan, C ₆ H ₁₄	0,3965	1,099	Propansäure, C ₂ H ₅ COOH	1,5199
0,322	2-Chlorpropan, C ₃ H ₇ Cl	0,4012	1,116	Propansäureanhydrid	1,6071
0,3225	Propanon, Aceton	0,3949	1,13	Brombenzen, C ₆ H ₅ Br	1,52
0,345	Methylformiat	0,43	1,25	3-Brommethylbenzen	1,73
0,367	Kohlenstoffdisulfid, CS ₂	0,4294	1,26	1,4-Dioxan, (C ₂ H ₄) ₂ O ₂	
0,392	Bromethan, C ₂ H ₅ Br	0,4776	1,315	2-Methylpropansäure	1,887
0,402	Ethylformiat, HCOOC ₂ H ₅	≈ 0,49	1,32	Methoxybenzen	1,78
0,4105	n-Heptan, C ₇ H ₁₆	0,5180	1,33	Benzenecarbonsäurenitril	-
0,423	Butan-2-on, C ₂ H ₅ -COCH ₃	0,5383	1,782	Methansäure, HCOOH	2,928
0,4355	Dichlormethan, CH ₂ Cl ₂	0,5357	2,01	Nitrobenzen, C ₆ H ₅ NO ₂	3,09
0,450	Ethylacetat, CH ₃ COOCH ₃	≈ 0,57	2,02	Tetrahydronaphthalen	-
0,4655	Pentan-3-on, (C ₂ H ₅) ₂ CO	0,5949	2,18	Diethylaminobenzen	-
0,475	Cyclopentan, C ₅ H ₁₀	≈ 0,6	2,20	Propan-1-ol, C ₃ H ₇ OH	3,85
0,482	2-Brompropan, C ₄ H ₉ Br	0,6044	2,236	Pentansäure, C ₄ H ₉ COOH	-
0,538	n-Octan, C ₈ H ₁₈	0,7025	2,33	3-Nitromethylbenzen	-
0,58	Trichlormethan, CH ₃ Cl	0,7006	2,37	2-Nitromethylbenzen	-
0,583	Iodethan, C ₂ H ₅ I	0,7190	2,39	Propan-2-ol	4,60
0,586	Methylbenzen, Toluol	0,7684	2,40	Decahydronaphthalen	-
0,591	Methanol, CH ₃ OH	0,817	2,947	Butan-1-ol, C ₄ H ₉ OH	5,19
0,615	1,3-Dimethylbenzen	0,8019	3,75	Methanamid, Formamid	7,30
0,6435	1,4-Dimethylbenzen	0,6435	3,81	3-Methylaminobenzen	8,7
0,649	Benzen, Benzol, C ₆ H ₆	0,9055	3,906	2-Methyl-propanol	8,3
0,657	Nitroethan, C ₂ H ₅ NO ₂	0,844	4,341	3-Methyl- butan-2-ol	-
0,690	2-Iodpropan, C ₃ H ₇ I	-	4,35	2-Methylaminobenzen	10,2

Dynamische Viskosität η in mPa • s, Teil 2: $\eta > 0,52$

$\eta(20^\circ\text{C})$	Stoff	$\eta(0^\circ\text{C})$	$\eta(20^\circ\text{C})$	Stoff	$\eta(0^\circ\text{C})$
4,396	Pentan-1-ol, $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$	-	20,2	4-Methylhydroxybenzen	-
4,4	Aminobenzen, Anilin	10,2	21,0	3-Methylhydroxybenzen	95,0
4,642	2-Methyl-butan-2-ol	-	68,0	Cyclohexanol, $\text{C}_6\text{H}_{11}\text{OH}$	-
5,091	Pentan-2-ol	-	$10^1 \cdot 10^3$	Öle	$> 10^1 \cdot 10^3$
9,8	2-Methylhydroxybenzen		$10^1 \cdot 10^4$	Lacke	$> 10^1 \cdot 10^4$
11,6	Hydroxybenzen, Phenol		$10^1 \cdot 10^8$	Fette	$> 10^1 \cdot 10^8$
14,9	Propantriol, Glycerin	12,100	$10^8 \cdot 10^{13}$	Seifen und Wachse	$> 10^8 \cdot 10^{13}$
19,9	Ethandiol, Glykol				

2.5.6 Löslichkeit und Lösungen

Arten von Lösungen

Lösungstyp	Kennzeichen	Teilchen	Durchmesser	Beispiel
Echte Lösung	auch unter dem Mikroskop absolut homogen	nur Ionen und Moleküle (molekulardisperses System)	$< 1 \text{ nm}$	Zucker- und Salzwasser
Kolloidale Lösung, Sol	Beugung von Lichtstrahlen (<i>Tyndall</i> -Phänomen), zentrifugierbar, mit Papier nicht filterierbar	Molekülaggregate und Polymere (Ausflockbar mit Ausflockungsmitteln: Koagulation , Umkehrvorgang: Peptisation)	1 – 100 nm (kleiner noch als die Wellenlänge sichtbaren Lichtes)	Eiweiß, Gelatine, Leim, rhombischer Schwefel, in Ethanol
Emulsion	tröpfchenfeine Verteilungen von öligen Flüssigkeiten in einer wässrigen Phase – oder umgekehrt, milchig-trübe	Heterogenes Stoffgemisch aus nichtmischbaren Flüssigkeiten (polar/unpolar)	zumeist über 100 nm	Milch, Öl in Wasser, Wasser in Öl
Suspension, Aufschlammung	in einer Flüssigkeit fein verteilte Feststoffe, filterbar	Heterogenes Stoffgemisch aus Flüssigkeit und darin unlöslichem Feststoff	$> 1000 \text{ nm}$	Kalkpulver in Wasser

Weitere kennzeichnende Größen von Lösungen

- **Polarität** von Lösungsmittel und gelöstem Stoff (polar/unpolar),
- **Löslichkeit** eines gelösten Stoffes im Lösungsmittel (bezüglich Wasser bei Feststoffen zumeist mit steigender Temperatur zunehmend, bei Gasen abnehmend),
- **Lösungsenthalpie** („Reaktionswärme“ für den Lösevorgang, abhängig von der Gitterenergie bzw. Kristallisationsenthalpie des gelösten Stoffes und der Solvations- bzw. Hydratationenthalpie)

Daten zur Wasserlöslichkeit von Elektrolyten bei 0 °C bis 100 °C

L* Stoff X (Formel,Name)/9(°C)	10	20	30	40	50	60	80	100
AgNO ₃ Silbernitrat	159,4	219,2	281,7	334,8	400	471,1	651,9	1023
AlCl ₃ • 6 H ₂ O Alum.-chlorid*	45,3	45,6	45,9	46,3	46,7	47,0	47,7	53
Al ₂ (SO ₄) ₃ •18H ₂ O Alum.-sulfat*	33,7	36,44	41,6	45,6	52	58	73	82
BaCl ₂ •2 H ₂ O Bariumchlorid	33,3	35,1	38,2	40,8	43,6	46,2	52	58,7
Ba(OH) ₂ Bariumhydroxid	2,56	3,48	6,05	8,58	13,2	21,2	115	171
CaCl ₂ Kalziumchlorid	65,3	74,1	102	127,2	135	138,1	149,4	157
Ca(OH) ₂ Kalziumhydroxid	0,125	0,118	0,109	0,100	0,092	0,083	0,066	0,05
CaSO ₄ •2H ₂ O Kalziumsulfat,Gips	0,189	0,204	0,208	0,212	0,209	0,205	0,197	0,16
CuCl ₂ •2 H ₂ O Kupfer-II-chlorid*	74,0	77,0	80,2	83,8	87,5	91,2	99,2	108
CuSO ₄ •5H ₂ O Kupfer-II-sulfat*	17,6	20,77	20,4	29,0	33,3	39,1	53,6	73,6
H ₃ BO ₃ Borsäure	3,85	5,042	7,87	8,7	11,7	14,8	23,6	32,0
HIO ₃ Iodsäure	259,2	269,0	282	295	313	331,9	378,1	444
FeSO ₄ •7H ₂ O Eisen-II-sulfat*	20,5	26,6	33,0	40,3	47,6	55,0	43,8	31,6
KAl(SO ₂) ₂ •18H ₂ O Kalialaun*	4,52	6,01	9,5	13,6	23,5	33,3	72	154
KCl Kaliumchlorid	31,2	34,2	37,3	40,3	43,1	45,6	51,0	56,2
KI Kaliumiodid	135	144,5	153	161	168,5	176,2	191,5	208
KNO ₃ Kaliumnitrat	21,5	31,6	45,6	64,0	85,7	110	169	245
KOH Kaliumhydroxid	104	111,9	125,6	136,4	141	147	160	178
LiCl • H ₂ O Lithiumchlorid*	76,6	82,8	87,0	90,4	95	100	113	125
MnCl ₂ •4H ₂ O Mangan-II-chlorid	68,6	73,62	81,1	88,7	97,2	106	111	116
NaBr Natriumbromid	85,0	90,4	98	105,8	112	118	118,3	121
Na ₂ CO ₃ Natriumcarbonat*	12,4	21,8	39,7	48,8	47,4	46,0	44,1	44,0
NaCl Natriumchlorid	35,7	35,8	36,1	36,42	36,7	37,05	38,05	39,2
NaHCO ₃ Na.-hydrogen-car.	8,11	9,59	11,1	12,6	14,4	15,9	19,7	23,7
NaI Natriumiodid	170	179,5	192	204,9	230	257,5	295	303
NaNO ₃ Natriumnitrat	82,4	88,27	96,5	104,9	114,8	124,7	148	176
NaOH Natriumhydroxid	99,5	109,2	118	126	154	179	313,7	341
Na ₂ S ₂ O ₃ •5H ₂ O Na.-hiosulfat*	61	70,1	86,2	102,6	154	206,6	245	266
NH ₄ Br Ammoniumbromid	68,1	75,5	83,3	91,1	99,6	107,8	126,7	146
NH ₄ Cl Ammoniumchlorid	33,3	37,4	41,4	45,8	50,4	55,3	65,6	77,5
NiSO ₄ •7H ₂ O Nickel-II-sulfat*	33,9	37,8	44,0	50,4	53,7	57,0	67,4	78
PbCl ₂ Blei-II-chlorid	0,80	0,99	1,22	1,45	1,56	1,68	2,62	2,97
Pb(NO ₃) ₂ Blei-II-nitrat	44,3	52,22	60,1	69,4	78,9	88,0	107,5	117
SbCl ₃ Antimon-III-chlorid	765,5	931,5	1150	1368	2950	4531	-	-
ZnCl ₂ •3H ₂ O Zink-II-chlorid*	288	368	411	453	470	488	541	614

* **L*** (X) in g/100 g Wasser (Angabe als Massenverhältnis $\xi = m(X) /$

$m(Lm)$, die **Löslichkeit** einiger Salze, fester Säuren und Basen in Wasser in g reine Substanz pro 100 g Wasser, Salze mit * wurden gerechnet als das bei der jeweiligen Temperatur beständige Hydrat)

Die folgenden Daten zu **Lösungsgleichgewichten löslicher Stoffe** in Wasser erfolgen

- für **Lösungsgleichgewichte** als $w_{\max} = m(X) / m(\text{Lösung})$ bei $\vartheta = 0$ bis 100°C ,
- in **Gewichtsprozent** der Verbindung bei ϑ in $^\circ\text{C}$ (Angabe als Massenverhältnis $w_{\max} = m(X) / m(\text{Lösung})$ hier in % in **gesättigter Lösung**); organische Verbindungen wurden nach steigender Anzahl an C-Atomen geordnet)
- als **Löslichkeitsprodukte** K_L bei 20°C in mol^n/L^n mit n = Anzahl der Ionen pro mol Elektrolyt für schwerlösliche Stoffe (Spalte rechts).

Sättigungskonzentrationen $c_{\max}$ ausgewählter Stoffe
bei 0°C bis 100°C in mol/L

Stoff (Formel)	0°	20°	40°	60°	100°	K_L
AgCl Silberchlorid	$5 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	0,0003	0,0007	0,003	$1,8 \cdot 10^{-10}$
AgNO ₃ Silbernitrat	53,49	68,30	77,0	82,49	91,1	
AlCl ₃ Aluminiumchlorid	31,0	31,6	32,0	32,2	33,0	
BaC ₂ O ₄ , Bariumoxalat	0,0055	0,0094	0,015	0,0175	0,021	$1,6 \cdot 10^{-7}$
BaCl ₂ Bariumchlorid	23,5	26,0	29,0	31,6	37,0	
Ba(NO ₃) ₂ Bariumnitrat	4,95	8,0	12,0	17,0	25,0	
Ba(OH) ₂ Ätzbaryt	1,50	3,9	7,9	17,5	63,1	
BaSO ₄ Bariumsulfat	0,0002	$2,5 \cdot 10^{-4}$	0,0003	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-10}$
$\frac{1}{2}$ Br ₂ Brom	0,4	0,78	0,77	0,82		
HCOOH Methansäure	95	(100)	(100)	(100)	(100)	
C ₂ H ₂ O ₄ , Oxalsäure	3,84	7,4	18,7			
CH₃COOH, Essigsäure	87	(100)	(100)	(100)	(100)	
Hexansäure C ₆	0,793	0,99	1,088	1,186		
CaCO₃ Kalk		$1,5 \cdot 10^{-3}$			$2 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-9}$
CaC ₂ O ₄ , Kalziumoxalat	0,0005	0,00051	0,0008	0,0010		$2,3 \cdot 10^{-9}$
CaCl ₂ Kalziumchlorid	37,0	42,5	56,0	58,0	61,2	
Ca(OH)₂ Ätzkalk	0,19	0,17	0,13	0,11	0,066	$7 \cdot 10^{-5}$
CaSO₄ Gips	0,176	0,199	0,21	0,15	0,065	$6,1 \cdot 10^{-5}$
CuCl ₂ Kupferchlorid	41,0	42,2	44,7	46,6	52,5	
CuSO₄ Kupfersulfat	12,5	16,9	22,2	28,5	43,5	
FeCl ₂ Eisen(II)-chlorid	33,0	38,6	41,0	44,0	48,6	
FeCl ₃ Eisen(III)-chlorid	43,0	48,0	74,3	79,0	84,2	
FeSO₄ Eisen(II)-sulfat	13,8	21,0	28,5	36,5		
HgCl ₂ Quecks.-chlorid	4,3	6,2	8,8	13,3	35,0	
I ₂ Iod	0,017	0,03	0,055	0,105	0,46	
HIO ₃ Iodsäure	22,7	24,4	26,2	99	36,8	
KAl(SO₄)₂ Alaun	3,0	5,5	10,2	19,5	60,8	
KBr Kaliumbromid	35,0	39,4	43,0	46,0	51,0	
KBrO ₃ Kaliumbromat	3,0	6,5	11,7	18,2	32,5	
KCN Zyankali	38,0	40,4	43,5	46,9	54,4	
K₂CO₃ Pottasche	51,2	52,5	54,0	56,0	61,0	

Stoff / ϑ	0°	20°	40°	60°	100°	K _L
KCl Kaliumchlorid	22,0	25,5	28,5	31,3	35,6	
KClO ₃ Kaliumchlorat	3,0	6,5	12,7	20,4	36,5	
KF Kaliumfluorid	30,3	48,5	58,5	59,0		
KI Kaliumiodid	56,0	59,0	61,5	63,8	67,5	
KNO ₃ Salpeter	11,5	24,0	39,3	52,6		
KOH Ätzkali	49,0	53,2	57,6	59,1	64,2	
LiCl Lithiumchlorid	41,0	45,0	47,0	49,7	56,1	
LiOH Lithiumhydroxid	11,2	11,3	11,5	12,3	15,0	
Li ₂ SO ₄ Lithiumsulfat	26,47	25,65	24,81	24,24	23,13	
MgBr ₂ Magn.-bromid	49,5	50,5	51,8	53,0	55,6	
MgCl ₂ Mg.-chlorid	34,5	35,2	36,5	38,0	42,0	
MgSO ₄ Bittersalz	20,64	25,82	30,6	35,24	32,9	
MnCl ₂ Manganchlorid	39,0	42,3	47,0	51,8	53,5	
MnSO ₄ Mangansulfat	34,5	38,5	37,4	35,0	25,0	
NH ₄ Cl Salmiaksalz	23,0	27,0	32,0	35,0	44,0	
NH ₄ NO ₃ Ammonnitrat	53,6	65,5	74,5	80,5	91,0	
NaBr Natriumbromid	44,2	47,5	51,5	54,0	55,0	
Na ₂ CO ₃ Natr.-carbonat	6,5	17,9	32,8	31,5	30,6	
NaHCO ₃ Natron	6,5	8,6	11,2	13,7	19,2	1,3 • 10 ⁻³
NaCl Kochsalz	26,3	26,5	26,8	27,0	28,0	
NaF Natriumfluorid	3,94	4,03	4,06	4,22		
NaI Natriumbromid	61,5	64,0	68,5	72,0	75,0	
NaOH Ätznatron	29,6	52,0	56,3	64,0	77,0	
Na ₃ PO ₄ Na.-phosphat	4,29	10,15	18,03	28,2	43,4	
Na ₂ HPO ₄	1,2	7,1	35	44,5	51	
Na ₂ S Natriumsulfid	11,0	16,0	22,0	28,0	60,8	
Na ₂ SO ₄ • 7 H ₂ O	15,6	30,9				
NiCl ₂ Nickel(II)-chlorid	35,0	38,0	42,0	44,6	46,8	
NiSO ₄ Nickelsulfat	21,88	27,55	32,62	36,22	40,93	
PbBr ₂ Blei(II)-bromid	0,45	0,85	1,45	1,97	4,55	
PbCl ₂ Blei(II)-chlorid	0,63	0,97	1,42	1,97	3,2	1,2 • 10 ⁻⁵
PbF ₂ Blei(II)-fluorid		0,065				7,1 • 10 ⁻⁷
PbI ₂ Blei(II)-iodid	0,05	0,09	0,11	0,2	0,44	8,5 • 10 ⁻⁹
Pb(NO ₃) ₂ Bleinitrat	26,8	34,5	41,0	46,8	56,0	
PbSO ₄ Bleisulfat	0,0033	0,00421				1,5 • 10 ⁻⁸
Sr(NO ₃) ₂ Stro.-nitrat	28,0	41,0	48,9	49,0	50,1	
Sr(OH) ₂ Str.-hydroxid	0,34	0,89	1,87	3,48	22,48	
SrSO ₄ Stro.-sulfat	0,0113	0,013	0,0138	0,013	0,0101	3,4 • 10 ⁻⁷
ZnCl ₂ Zinkchlorid	67,6	78,7	82,0	83,0	86,0	
ZnSO ₄ Zinksulfat	29,2	35	41,5	45	44	

Die Viskosität von Lösungen

zeigt allgemeine ein Ansteigen mit:

- abnehmender Temperatur ϑ der Lösung,
- abnehmender Konzentration gelöster Gase und Flüssigkeiten von geringer Polarität der Moleküle oder geringer Molarer Masse M ,
- zunehmender Konzentration gelöster Feststoffe sowie von Flüssigkeiten höherer molekularer Masse M oder höherer Polarität.

Beispiele zu den Angaben links:	
Reine Flüssigkeit, Lm	η (10 ⁻³ Paes)
Aceton, Propanon	0,30
Wasser	1,002
Ethanol	1,19
1,2-Ethandiol, Glykol (EG)	20,41
1,2,3-Propantriol, Glyzerin	1412

2.5.7 Elektrischer Widerstand

Der elektrische Widerstand ist in der Elektrotechnik ein Maß dafür, welche elektrische Spannung erforderlich ist, um eine bestimmte elektrische Stromstärke durch einen elektrischen Leiter fließen zu lassen. Der spezifische elektrische Widerstand gibt an, wieviel Widerstand ein bestimmtes Material gegen das Fließen von elektrischen Strom hat, wenn eine elektrische Spannung angelegt wird (Gegenteil: Elektrische Leitfähigkeit).



Abb.: Kohle-Widerstand (Bildquelle: By Shaddack - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6733316>)

Spezifische Widerstände ρ elektrischer Leiter in $\mu\Omega \cdot m$ bei $\vartheta = 20^\circ C$

Leiter	ρ ($\mu\Omega \cdot m$)	Leiter	ρ ($\mu\Omega \cdot m$)	Leiter	ρ ($\mu\Omega \cdot m$)
AgCl, Schmelze	0,0027	Gussstahl	0,18	Rotguss (86% Cu)	$\approx 0,13$
Aluminium	0,0278	Kalium	0,061	Silber	0,016
Blei	0,208	KCl, Schmelze	0,0034	Soda, Schmelze	0,0097
Bronze (87,5%Cu)	$\approx 0,18$	Kupfer	0,0175	Stahl, gehärtet	0,4 - 0,5
Chrom	0,14	Magnesium	0,0435	Stahl, weich	0,1 - 0,2
Cr-Ni (80% Ni)	1,10	Messing*	$\approx 0,036$	Tantal	0,124
Cobalt	0,056	Mangan	0,39	Zink	0,061
Eisen rein	0,10	Molybdaen	0,05	Zinn	0,12
Flusstahl	0,13	NaCl, Schmelze	0,0046	Wasser, entgast	$\approx 10^{15}$
Gold	0,0222	Nickel	0,0614	(Elektrolytlösung)	$10^6 - 10^{15}$

Spezifische Widerstände ρ elektrischer Halb- und Nichtleiter (bei $\vartheta = 20^\circ\text{C}$)

Stoff, Material	$\rho (\Omega \cdot \text{m})$	Stoff, Material	$\rho (\Omega \cdot \text{m})$
Aluminiumsilikat, Glimmer	$9 \cdot 10^{15}$	Marmor CaCO_3	10^{14}
Bakelite	Bis 10^{16}	Meerwasser	$10^5 \cdot 10^6$
Bernstein, Pressbernstein	$10^{18} - 10^{14}$	Natronglas, weich	$5 \cdot 10^{11}$
Bleiglanz PbS	$2,7 \cdot 10^3$	Quarzglas	$> 5 \cdot 10^{18}$
Borosilikat-Glas Pyrex	10^{14}	Paraffin, rein	bis 10^{22}
Diamant	$3 \cdot 10^{13}$	Paraffinöl	10^{18}
Ethanol	$1,6 \cdot 10^7$	Porzellan, Hart-	Bis 10^{20}
Flussspat, kristallin CaF_2	$\rightarrow \infty$	Propanon, Azeton	$5 \cdot 10^7$
Germanium, reinst, Elektronik	$9 \cdot 10^4$	Pyrit FeS_2	$2,4 \cdot 10^2$
Graphit (0°C)	$8 \cdot 10^2$	Schwefel, monoklin	$7,4 \cdot 10^{12}$
Hartgummi	Bis 10^{16}	Schwefel, rhombisch	$8 \cdot 10^6$
Holz, trocken	$10^{12} - 10^{16}$	Selen, glasig (unbelichtet)	$8 \cdot 10^6$
Iod (110°C)	$0,77 \cdot 10^{11}$	Silicium, reinst, Elektronik	$1,2 \cdot 10^5$
Kochsalz, fest (NaCl)	10^{17}	Wasser, dest. und entgast	$\approx 10^9$
Kohlefaden	$3,5 \cdot 10^3$	Zement	$\approx 4,5 \cdot 10^5$

2.6 Chemische Stoffeigenschaften (Reaktivität)

Chemische Eigenschaften eines Stoffes zeigen sich darin, dass ein Stoff reaktionsfreudig oder aber reaktionsträge ist, wenn er mit bestimmten anderen Stoffen **chemisch reagiert** oder sich „von selbst“ in andere Stoffe umwandelt, z.B. wenn er erhitzt, hohem Druck, Strahlung oder auch elektrischem Strom ausgesetzt wird.

Reinstoffe vereinigen sich dabei mit anderen Stoffen zu neuen, chemischen Verbindungen (**Stoffvereinigung**, Synthese) – oder sie sind chemisch in mehrere andere Stoffe zerlegbar (**Stoffzerlegung**, Analyse) oder auch nicht zerlegbar. Reinstoffe werden daher chemisch in zwei Gruppen unterschieden: die nicht zerlegbaren Reinstoffe (Elemente) und die chemisch zerlegbaren Reinstoffe (chemische Verbindungen).

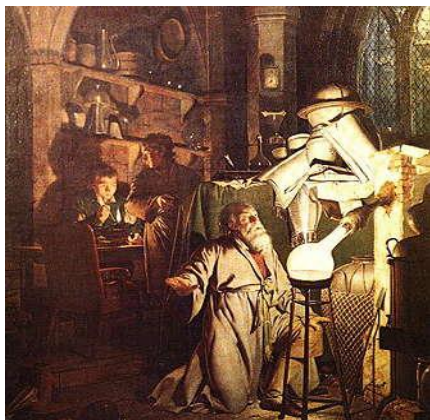


Abb.: Rostige Container-Verriegelung - Eisen korrodiert leicht, denn es reagiert chemisch mit Wasser und Luftsauerstoff zu Rost. Das ist eine chemische Stoffeigenschaft.

(Bildquelle: Von Kassander der Minoer, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=705116>)

Zu den chemischen Stoffeigenschaften gehört z.B. die **Brennbarkeit**: Phosphor ist brennbar, Wasser nicht. Sauerstoff hingegen ist **brandfördernd**.

Andere Stoffe sind ätzend (**korrosiv**) wie z.B. Säuren und Laugen: Sie greifen unedle Metalle an (diese Metalle wie z.B. Eisen sind dann **korrodiert**). Säuren und Laugen leiten auch den elektrischen Strom, sie sind Elektrolyte. Elektrolyte teilt man chemisch daher ein in sauer, basisch und neutral (Essig- und Salzsäure, Natronlauge und Ammoniakwasser weisen jeweils eine bestimmte Säure- und Basenstärke als chemische Eigenschaft auf).



Hen-

nig Brand entdeckte 1669 das Element Phosphor. Es verbrennt an Luft, ohne zuvor anzuzünden werden zu müssen (Ursprung des Wortes „Phosphoreszieren“ = Licht-Tragend; Bildquelle: Von *Joseph Wright of Derby* - Übertragen aus de.wikipedia nach Commons durch Leyo mithilfe des CommonsHelper. Original source: http://www.anthroposophie.net/bibliothek/alchemie/bib_alchemie.htm; 17. Juni 2006 (original upload date), Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9519547>)

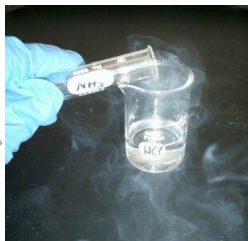


Abb.: Säuren sind ätzend. Links Warnzeichen für ätzende Gefahrstoffe, mittig die Reaktion von Salzsäure mit Ammoniakwasser unter Bildung von Salmiaksalz-Rauch und links von konz. Schwefelsäure mit Papier (Verkohlung; Abb. gemeinfrei).

Auch **Explosionsfähigkeit** ist eine chemische Eigenschaft. Hier reagieren wenig stabile Ausgangsstoffe in Sekundenbruchteilen und oft sogar spontan zu großen Mengen an Gasen, die sich dann mit großem Druck und großer Geschwindigkeit ausbreiten (Druckwelle ggf. mit Überschallknall).

Chemische Reaktionen können schnell oder langsam sein, umkehrbar oder irreversibel, spontan oder erzwungen. Oft wird dabei Energie in andere Formen umgewandelt: Batterien wandeln chemische in elektrische Energie um, Luft/Brennstoff-

Gemische in Wärme, Blitzlichtpulver/Luft-Gemische in Licht und Sprengstoffe in mechanische Energie.

Weitere chemischen Eigenschaften sind auch Entflammbarkeit, Verbrennungswärme, Redoxpotenziale, Säure- und Laugebeständigkeit sowie chemische Stabilität bzw. Reaktivität gegenüber anderen aggressiven Reagenzien. Daten zu chemischen Eigenschaften von Stoffen und Stoffgruppen bietet das folgende Buchkapitel.



Eine umkehrbare Reaktion: Kohlensäure reagiert zu Kohlendioxidgas und Wasser (Quelle: eig. Foto)



Konzentrierte Salpetersäure reagiert oxidiert sogar edlere Metalle, sodass braune Stickstoffoxid-Gase entstehen (statt Wasserstoff). Die Vorratsflaschen müssen daher mit Gefahrenzeichen für brandfördernd, ätzend und giftig gekennzeichnet sein (Eig. Foto/Piktogramm-Abb. gemeinfrei)

3) Elemente

3.1 Elemente und ihre Verbindungen - Stoffgruppen

Bei einer **Stoffvereinigung** entsteht aus mindestens zwei Ausgangsstoffen A und B ein neuer Stoff, Reaktionsschema: $A + B \rightarrow AB$. Das Reaktionsprodukt AB ist eine **chemische Verbindung**.

Bei einer **Stoffzerlegung** wird ein Reinstoff chemisch in mehrere, neue Stoffe zerlegt, Reaktionsschema: $AB \rightarrow A + B$. Eine Stoffzerlegung ist eine **chemische Reaktion** und nicht nur ein physikalisches Stofftrennverfahren für Stoffgemische.

Reinstoffe, die chemisch nicht weiter zerlegt werden können, nennt man **Elemente**. Es gibt drei Gruppen von Elementen: Metalle, Nichtmetalle und Halbmetalle.



Abbildungen: Das Edelmetall Gold (links) und das reaktionsfreudige Nichtmetall Schwefel (rechts) sind zwei chemische Elemente (Abb. Gemeinfrei, wikimedia commons)

Bei chemischen Verbindungen unterscheidet man ebenfalls drei große Gruppen:

- metallische Verbindungen (Verbindungen nur aus Metallen, **Legierungen**, z.B. Messing),
- ionische Verbindungen (Verbindungen von Metallen mit Nichtmetallen, **Salze**, z.B. Natriumchlorid),
- molekulare Verbindungen („kovalente“ Verbindungen nur aus Nichtmetallen, z.B. Kohlendioxid, Wasser, Zucker).

Alle Stoffe aus einer Stoffgruppe haben jeweils ähnliche physikalische und chemische Stoffeigenschaften:

1. **Metalle** sind Elemente. Sie sind allesamt Stoffe a) mit hoher elektrischer Leitfähigkeit, b) verformbar, c) glänzend und d) sehr gute Wärmeleiter.
2. **Salze** sind allesamt ionische Verbindungen: Sie sind a) spröde (brüchig), b) weisen sehr hohe Schmelzpunkte auf und sind c) nur in Lösung oder Schmelze elektrisch leitfähig.
3. **Molekulare Verbindungen** sind allesamt elektrische Nichtleiter (Isolatoren). Sie bestehen aus Molekülen. Verbindungen mit kleinen Molekülen sind flüchtig (niedriger Siedepunkt), Verbindungen mit sehr großen Molekülen kunststoff- oder diamantartig (zersetzlich oder hoher Schmelzpunkt).



Die molekulare Verbindung Stickstoffdioxid – ein braunes Giftgas – in einer Glasampulle (eig. Foto)

Die metallischen Verbindungen (**Legierungen**) haben Eigenschaften wie Metalle. Solche Legierungen sind z.B. Bronze (aus Kupfer und Zinn), Messing (aus Kupfer und Zink), Kupfernickerl, Weißgold (aus Gold und Silber), Rotgold (aus Kupfer und Gold) oder die Amalgame (aus Quecksilber und mindestens einem weiteren Metall).

Ionische und molekulare Verbindungen entstehen aus den Elementen immer in bestimmten, stets gleichbleibenden **Masse-Verhältnissen**. Man kann z.B. Eisen- und Schwefelpulver zwar in beliebigen Verhältnissen mischen, aber wenn sich diese Stoffe chemisch verbinden, weil man das Pulvergemisch aus Eisen (Symbol: Fe) und Schwefel (Symbol. S) entzündet, dann vereinigen sie sich zur Eisen-Schwefel-Verbindung immer nur in einem ganz bestimmten Masse-Verhältnis: Das schwarze Eisensulfid besteht aus Eisen und Schwefel also im **Massenverhältnis** von $m(\text{Fe}) : m(\text{S}) = 7 : 4$ – bei der Stoffvereinigung überschüssige Anteile von Ausgangsstoffen bleiben unverbunden übrig.

3.2 Chemische Grundgesetze:

Atome und Elementarteilchen

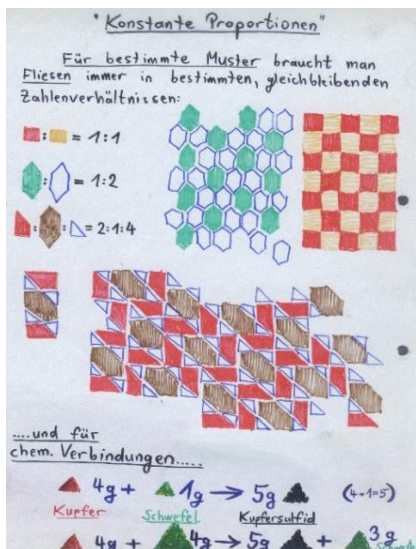
Die chemischen Elemente bestehen aus kleinstmöglichen Stoffportionen, den Atomen. Die Erkenntnis von der Existenz dieser Teilchen ergab sich aus drei Grundgesetzen der Chemie:

1) Bei chemischen Reaktionen bleibt die Gesamtmasse m aller Ausgangsstoffe (Edukte) stets gleich (es geht keine Masse verloren): $m(\text{Edukte}) = m(\text{Produkte})$

(**Gesetz der Massenerhaltung**, 1. Grundgesetz der Chemie)

2) Chemische Verbindungen entstehen aus Elementen oder deren Verbindungen immer nur in ganz bestimmten, gleichbleibenden Masseverhältnissen (**Gesetz der konstanten Proportionen**, 2. Grundgesetz der Chemie).

3) Wenn zwei Elemente miteinander mehrere Verbindungen bilden können, dann stehen deren Masseverhältnisse immer im Verhältnis kleiner, ganzer Zahlen zueinander (**Gesetz der multiplen Proportionen**).



Aus dem Gesetz der multiplen Proportionen (dem Verhältnis kleiner, ganzer Zahlen) folgt, dass chemische Verbindungen und Elemente aus **kleinsten, unteilbaren Stoffportionen** oder Einheiten bestehen – den **Atomen** (**Atomhypothese von Dalton**).

Abb. links: Verbindungen setzen sich aus Elementen nur in bestimmten Mengenverhältnissen zusammen – ähnlich wie Kachelmuster aus Fliesen. (Eig. Skizze)

3.3 Atome, Ionen, Moleküle

Atome bestehen aus Elementar-,„Teilchen“, aus **Nukleonen** (Kernbausteine: Protonen und Neutronen im Atomkern) und aus **Elektronen** (in der Atomhülle).

Teilchenart (zur Unterscheidung)	Beispiele
Atomare Teilchen	Atom, Ion, Molekül
Subatomare Teilchen, Elementarteilchen	Proton, Neutron, Elektron

Elementarteilchen (Symbol)	Masse <i>m</i> in kg	Masse in u *	Ladung in e	Ladung in C
Proton (p ⁺)	<i>m</i> _p = 1,672631 • 10 ⁻²⁷	1,007276470	+ 1 e	+ 1,60217733 • 10 ⁻¹⁹
Neutron (n ⁰)	<i>m</i> _n = 1,674928 • 10 ⁻²⁷	1,008664904	± 0 e	± 0
Elektron (e ⁻)	<i>m</i> _e = 9,1093897 • 10 ⁻³¹	0,00054858	- 1 e	- 1,60217733 • 10 ⁻¹⁹

Die Anzahl an Protonen p⁺ und Elektrone e⁻ in neutralen Atomen ist immer gleich groß (Summe der Ladungen: 0), ihre Neutronenzahl berechnet sich aus der Differenz der Relativen Atommasse **RAM** zur Protonenzahl:

Grundbegriffe zu kleinsten Teilchen

Begriff, Gesetz	Aussage, Definition
Elementarteilchen	„Subatomare“ Teilchen, die die Eigenschaft von Strahlen annehmen können und aus denen sich ein Atom zusammensetzt
Atom	Kleinstes Teilchen (kleinstmögliche Stoffportion) eines Elementes
Atomkern	Zentraler Teil eines Atoms, positiv geladen und Träger fast der gesamten Masse des Atoms und bestehend aus den Elementarteilchen Proton und Neutron
Atomhülle	Äußerer Bestandteil des Atoms, fast leerer Raum um den Atomkern. In der Atomhülle befinden sich negativ geladene Elementarteilchen
Ordnungszahl OZ	Anzahl der Protonen p⁺ eines Atoms: Jedes Element besitzt Atome mit einer typischen, fast gleichen Masse (Relative Atommasse RAM) und gleicher Anzahl an Protonen p⁺ im Kern (Summe aller Ladungen im neutralen Atom = 0)
Ion	Elektrisch geladenes Atom oder elektrisch geladener Atomverband (Summe der Ladungen ≠ 0)
Isotope	Atome* eines Elementes von unterschiedlicher Atommasse (gleiche Protonenzahl, ungleiche Neutronenzahl)
Molekül	Atomverband (elektrisch neutral)

3.4 Elementsymbole

Chemisch unzerlegbare Reinstoffe (Elemente) werden mit **Elementsymbolen** abgekürzt. Die international festgelegten Symbole zwölf wichtiger Elemente (je 6 Nichtmetalle und Metalle) sind:

Wasserstoff	H	Kohlenstoff	C
Sauerstoff	O	Stickstoff	N
Chlor	Cl	Schwefel	S
Eisen	Fe	Aluminium	Al
Kupfer	Cu	Magnesium	Mg
Silber	Ag	Natrium	Na

3.5 Stoffeigenschaften der Elemente

Es gibt insgesamt rund 120 Elemente. Sie wurden mit international festgelegten Elementsymbole und Ordnungszahlen OZ versehen. Ihre Atome weisen zudem bestimmte relative Atommassen RAM auf.

Symbole und Stoffeigenschaften der Elemente / Atome

Sym- bol, OZ	Element- name *	RAM (u) *	ρ (g/cm ³)	θ_m (°C)	θ_b (°C)	$\rho_{el.}$ (nΩ•m)	R _m (MPa) *	WJP (t / a) *
Ag (47)	Silber	107,87	10,5	961	2210	147	125	9000
Al (13)	Aluminium	26,98	2,7	+660	2450	25,0	≈ 95	23 Mio.
Ar (18)	Argon	39,95	0,0018	-189	-186	Isolator	gasf.	ca. 2-6 Mio.
As (33)	Arsen, grau	74,92	5,72	+613	+613	Halbleiter	gering	As ₂ O ₃ : 70.000
As (33)	Arsen, gelb	74,92	2,03	+613	+613	260	gering	(instabil)
Au (79)	Gold	196,97	19,3	1063	2970	20,5	gering	3500
Ba (56)	Barium	137,34	3,50	+714	1640	500	gering	niedrig
Bi (83)	Bismut	208,98	9,8	+271	1560	1068	gering	11.000
B (5)	Bor	10,811	2,34	2079	2550	(6,5kΩ•m)	16-24	0,2-1 Mio.
Br (35)	Brom	79,90	3,12	- 7	+ 58	Isolator	flüss.	½ Mio.
C (6)	Diamant	12,01	3,51	3560	4830	10¹¹	hoch	gering
C (6)	Graphit	12,01	2,26	3730	4830	1,4 • 10⁵	gering	ca. 0,6 Mio.
Ca (20)	Calcium	40,08	1,55	+838	1490	31,6	gering	um 5000
Cd (48)	Cadmium	112,4	8,65	320	767	68	71	18500
Ce (58)	Cer	140,12	6,773	+798	3426	730	117	um 0,02
Cl (17)	Chlor	35,45	0,0032	-101	- 35	Isolator	gasf.	32 Mio.
Co (27)	Cobalt	58,93	8,90	1460	2900	56	255	40.000
Cr (24)	Chrom	51,996	7,19	1900	2642	127	413	5-8 Mio.

Sym- bol, OZ	Element- name *	RAM (u) *	ρ (g/cm ³)	ϑ_m (°C)	ϑ_b (°C)	$\rho_{el.}$ (nΩ•m)	R _m (MPa) *	WJP (t / a) *
Cs (55)	Caesium	132,91	2,5 ?	+ 28,5	705	188	flüss.	Ca. 20,5 t/a
Cu (29)	Kupfer	63,55	8,96	1083	2600	15,5	≈350	≈12 Mio.
F (9)	Fluor	18,998	0,0017	-220	-188	Isolator	gasf.	15.000
Fe (26)	Eisen	55,85	7,86	1540	3000	89	hoch	735 Mio.
Ga (31)	Gallium	69,72	5,91	+29,8	2227	136	Flüss.	46
Ge (32)	Germanium	72,59	5,323	937,5	2830	Halbleiter: 0,42Ωm		55-110
H (1)	Wasserstoff	1,008	0,0002	-259	-253	Isolator	gasf.	3 • 10¹¹ m³ / a
He (2)	Helium	4,003	0,0003	-270	-269	Isolator	gasf.	≈8 Mio.
Hg (80)	Quecksilber	200,59	13,53	- 39	+357	958	flüss.	6200
I (53)	Iod, Jod	126,90	4,94	+114	+183	Isolator	gering	14.000
In (49)	Indium	114,82	7,31	156,6	2080	80,0	2,62	95 ?
Ir (77)	Iridium	192,2	22,65	2410	4130	47	6•10 ⁵	ca. 10
K (19)	Kalium	39,10	0,86	+ 64	+760	61	gering	220
Kr (36)	Krypton	83,80	0,0037	-156,9	-153,4	Isolator	gasf.	<1000
Li (3)	Lithium	6,94	0,53	+180	1330	85,5	gering	15.000
Mg(12)	Magnesium	24,31	1,74	+650	1110	39,4	gering	0,3 Mio.
Mn(25)	Mangan	54,94	7,43	1250	2100	1380	496	25-30 ?
Mo(42)	Molybdän	95,94	10,28	2620	5560	52	≈600	120.000?
N (7)	Stickstoff	14,01	0,0012	-210	-196	Isolator	gasf.	Ca. 300 Mio.
Na (11)	Natrium	22,99	0,97	+ 98	+892	42	gering	0,3 Mio.
Nb (41)	Niob	92,9	8,58	2468	4740	152	585	20.000
Ne (10)	Neon	20,18	0,0009	-248,6	-246,0	Isolator	gasf.	Ca. 5000
Ni (28)	Nickel	58,71	8,90	1450	2730	59,0	317	> 1 Mio.
Np (93)	Neptunium	237	20,25	640	3901		hoch	0,01-20 ?
O (8)	Sauerstoff	16,00	0,0014	-219	-183	Isolator	Gasf.	Ca. 100 Mio.
Os (76)	Osmium	190,2	22,57	3027	4908	81	hoch	niedrig
P (15)	Phosphor	30,97	1,8–2,7	+ 44	+ 280	98,1	-	ca.1 Mio.
Pb (82)	Blei	207,2	11,4	+327	1740	192	0,7	6 Mio.
Pd (46)	Palladium	106,4	12,02	1552	3125	71,8	-	110
Pt (78)	Platin	195,1	21,4	1770	3825	98,1	134	ca.110
Pu (94)	Plutonium	ca.244	19,8	+640	3230	1414	525	unbekannt
Rb (37)	Rubidium	85,47	1,53	+ 38,9	688	116	gering	30-90 ?
Rh (45)	Rhodium	102,91	12,41	1960	3675	43,0	hoch	12
Rn (86)	Radon	ca.222	0,0097	- 71	- 62	Isolator	gasf.	0,00
Ru (44)	Ruthenium	101,1	12,41	2305	3900	76	540	< 5
S (16)	Schwefel	32,06	2,07	113	445	-	-	ca. 60 Mio.
Sb (51)	Antimon	121,75	6,68	+631	1380	370		70.000
Se (34)	Selen, grau	78,96	4,79	221	685	Halbleiter	-	3500 ?
Si (14)	Silizium	28,09	2,33	1410	2680	Halbleiter	690	> 70.000
Sn (50)	Zinn	118,69	7,3	+232	2270	110	≈15	250000
Sr (38)	Strontium	87,62	2,63	771	1385	303	gering	Sehr gering

Symbol OZ	Element- name	RAM (u)	ρ (g/cm ³)	ϑ_m (°C)	ϑ_b (°C)	$\rho_{el.}$ (n $\Omega \cdot m$)	R _m (MPa)	WJP (t / a)
Te (52)	Tellur	127,6	6,24	449,9	1390	Halbleiter	≈ 11,5	ca. 900 ?
Ti (22)	Titan	47,90	4,50	1670	3260	390	235	0,2 Mio.
U (92)	Uran	238,03	18,90	1130	3820	280	585	34.000
V (23)	Vanadium	50,94	6,09	1920	3400	248	>60	25.000
W (74)	Wolfram	183,85	19,3	3410	5930	49	≈290	65000 ?
Xe (54)	Xenon	131,30	0,0059	-111,7	-108	Isolator	gasf.	< 190
Y (39)	Yttrium	88,91	4,47	1524	3337	550	≈320	< 550
Zn (30)	Zink	65,37	7,14	+419	906	54,3	≈100	7,3 Mio.
Zr (40)	Zirkon(ium)	91,22	6,508	1855	4400	410	≈300	6000

* Verwendete Kürzel in Spalte 1 bis 7:

Elementname (A-Z)

Elementsymbol und Ordnungszahl (OZ, in Klammern)

1) **Relative atomare Masse (RAM)** in u

2) **Dichte ρ** in g/cm³

3) **Schmelztemperatur ϑ_m** in °C

4) **Siedetemperatur ϑ_b** in °C

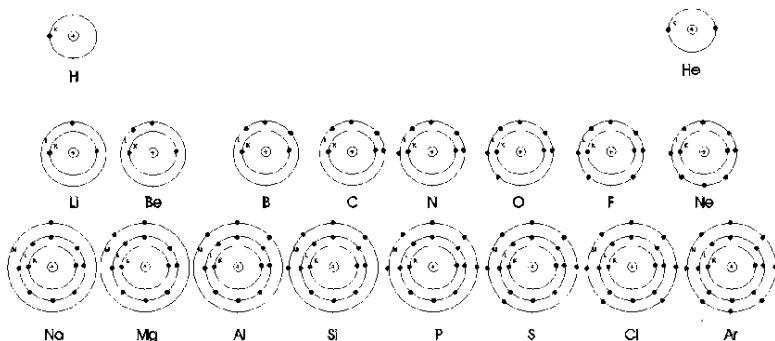
5) **Spezifischer elektrischer Widerstand $\rho_{el.}$** in n $\Omega \cdot m$

6) **Zugfestigkeit R_m** in MPa

7) Etwaige technische **Weltjahresproduktion WJP** in t/a (Stand: um 2000)

3.6 Das Periodensystem der Elemente PSE

Im Periodensystem der Elemente (PSE) sind die Atome in der Reihenfolge ihrer Protonenzahl (im Kern) angeordnet. Nach jedem Edelgasatom (volle Außenschale) beginnt eine neue Zeile (**Periode**), da das Atom eine Schale hinzubekommt (*Bohr'sches Atommodell*). Atome von Elementen, die in einer Spalte (**Hauptgruppe**) untereinander stehen, weisen daher die gleiche Anzahl von Außenelektronen auf.



Die Anzahl der Außenelektronen entspricht der **Hauptgruppen-**Nummer im **Periodensystem** (PSE), der Tabelle der chemischen Elemente. Das PSE enthält **8 Hauptgruppen** bzw. **4 Blöcke**:

	I	II	Nebengruppenelemente (Gruppen: IIIA bis IIA)										III	IV	V	VI	VII	VIII
1	H	← "s-Block"		↓ "d-Block"								"p-Block" →						He
2	Li	Be	*↓f-Block										B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac*	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	112	OZ 113-118					

Bei Auffüllung der jeweiligen Atomhülle mit Elektronen ergeben sich 4 Blöcke:

- **s-Block** (hier schraffiert): **Hauptgruppen I+II**
- **p-Block** (hier farblos): **Hauptgruppen III-VIII**
- **d-Block** (hier hellgrau): **Nebengruppen**, Buntmetalle (nur ab 4. Periode bzw. 3d-Orbital)
- **f-Block** (hier dunkelgrau, bei *: *Lanthanoide* und *Actinoide*): je 14 Elemente hinter La und Ac

3.6.1 Haupt und Nebengruppen

Die metallischen Elemente weisen Atome mit wenigen Außenelektronen auf. Sie stehen im PSE links und unten, Nichtmetalle oben und rechts:

Metallizität der Elemente im Periodensystem

Periodensystem der Elemente mit Grundzustand																		
	I	II	Nebengruppenelemente (Gruppen: IIIA bis IIA)										III	IV	V	VI	VII	VIII
1	H	← "s-Block"		↓ "d-Block"								"p-Block" →						He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cp	OZ 113-118					

Hintergrundfarben: Elemente mit metallischen Eigenschaften weiß, Halbmetalle und Halbleiter (inkl. Al/Ga) grau, Nichtmetalle schraffiert, ausschließlich atomar vorliegende Elemente kariert

Die Elemente werden in **Haupt- und Nebengruppen** eingeteilt. Vier wichtige Hauptgruppen sind: **I Alkalimetalle**, **II Erdalkalimetalle**, **VII Halogene** und **VIII Edelgase**.

Alle Elemente einer Hauptgruppe haben ähnliche Stoffeigenschaften, da sich diese in der nach der Protonenzahl (Ordnungszahl OZ) angeordneten Reihe der Elemente periodisch wiederholen. Die chemischen Eigenschaften eines Elementes werden durch die Anzahl seiner Außenelektronen bestimmt. Viele physikalische Eigenschaften steigen zudem mit zunehmender Atommasse bzw. -größe.

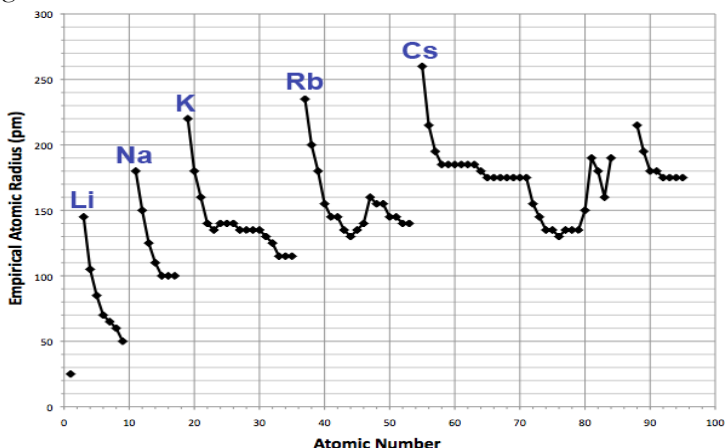


Abb.: Periodische Veränderung des Atomradius r mit zunehmender Ordnungszahl OZ (Bildquelle: Von StringTheory11 - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=20044436>)



Abb.: Das Periodensystem in einer 3D-Darstellung (Bildquelle: Von Тимохова Ольга - <http://secology.narod.ru/medflover1.html>, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9387176>)

3.6.2 periodische physikalische Eigenschaften

In der 1. und 2. Hauptgruppe steigt die Dichte der Leichtmetalle in der Reihenfolge steigender OZ zu, die Schmelz- und Siedetemperaturen nehmen ab. In der 7. und 8. Hauptgruppe steigen die Schmelz- und Siedetemperaturen sowie die Dichte der Elemente in Reihenfolge steigender OZ an.

3.6.3 periodische chemische Eigenschaften

a) Elektronenaffinität und Ionisierungsenergie

- Die **Hauptgruppen- bzw. Valenzelektronenzahl** (Anzahl der Elektronen im höchstmöglichen Energieniveau der Atomhülle, „Außenschale“) bestimmt die chemischen **Stoffeigenschaften** der Elemente.
- Kenngrößen hierfür sind z.B. Ionisierungsenergie, Elektronenaffinität, Elektronegativität EN, Metallizität und Oxidcharakter (Azidität / Basizität der Elementoxide) und Redoxpotenzial.

Definitionen:

- **Elektronenaffinität (EA)**: Maß für die Energiemenge, die frei wird, wenn ein Atom ein Elektron aufnimmt (in kJ/mol).
- **Ionisierungsenergie (E_{Ionsg})**: Maß für die zur Ionisierung eines Atoms zuzuführende Energiemenge (zur Abspaltung eines Elektrons)

b) Azidität und Basizität der Element-Oxide

Die Sauerstoff-Verbindungen (Oxide) der Nichtmetalle können mit Wasser **Säuren** bilden (Azidität), die Oxide unedler Metalle bilden mit Wasser oft **Laugen** (Basizität). Die allgemeinen Schemen dieser Art von Reaktionen sind:

Element + Sauerstoff $\rightarrow$ Elementoxid

Nichtmetalloxid + Wasser $\rightarrow$ Säure

Metalloxid + Wasser $\rightarrow$ Lauge (Base, in Wasser gelöst)

Azidität und Basizität der Element-Oxide

	I	II	Nebengruppenelemente (Gruppen: IIIA bis IIA)										III	IV	V	VI	VII	VIII
1	H	←"s-Block"		↓"d-Block"								"p-Block"→						He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca											Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cp	OZ 113-118					

Hintergrundfarben: basische Oxide weiß amphotere Oxide grau
 saure Oxide schraffiert keine Oxide kariert (O, F; Edelgase)

c) weitere Stoffeigenschaften der Elemente

Auch **Korrosivität** ist eine chemische Eigenschaft. Sie besagt, dass Stoffe wie z.B. Halogene (7. Hauptgruppe im PSE) oder auch Säuren und Laugen Metalle und andere Stoffe angreifen. Umgekehrt sind Metalle **korrosionsbeständig** (Edelmetalle wie z.B. Gold) oder korrosionsempfindlich (unedle Metalle).

Extrem **reaktionsträge** (passiv) bis reaktionsunfähig (inert) sind die Edelgase (die Elemente der 8. Hauptgruppe).

Zusatzinfos zu den Eigenschaften der Halogene und Edelgase:

Die 7. Hauptgruppe im Periodensystem sind die **Halogene** (von griech. „*balos*“ = Salz und „*genein*“ = bilden, herstellen) – Salzbildner (reagieren mit Metallen zu Salzen): **F, Cl, Br, I**, (At). Alle Halogene sind farbig, giftig, ein wenig wasserlöslich und sehr gut löslich in Flüssigkeiten wie Öl, Hexan und Benzin (unpolare, nicht mit Wasser mischbare Flüssigkeiten).

Sie haben niedrige Schmelz- und Siedetemperaturen. Sie sind daher **molekular** (zweiatomig) wie Gase, d.h. sie bilden F₂, Cl₂, Br₂- und I₂-Moleküle.

Alle Halogene reagieren mit **Metallen** zu **Salzen**:



Beispiele: $2 \text{Na} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2 \text{NaCl}$ $\text{Mg} + \text{I}_2 \rightarrow \text{MgI}_2$ $\text{Pb} + + \text{I}_2 \rightarrow \text{PbI}_2$

Hinweis: Bei diesen Reaktionen gibt das Na-Atom seine Außen-e⁻ an Chloratom ab, bei der Bildung von Magnesiumiodid das Mg-Atom 2 Außen-e⁻ an I ab und bei der Bildung von Blei(II)-iodid, gelb, gibt das Pb-Atom 2 e⁻ an je ein Iodatom ab. Bei dieser **Elektronenabgabe** (Oxidation, ox) entstehen aus den Metallatomen immer Kationen (positiv geladene Atomteilchen), die Nichtmetall-Atome werden durch **Elektronenaufnahme** zu Anionen (negativ geladene Teilchen): F, Cl, Br, I (**Halogenid-Anionen**). Kationen und Anionen bilden unter Abgabe von Energie die Salzkristalle (Halogenide).

Halogene reagieren mit **Wasserstoffgas** zu **Halogenwasserstoffen**, die ätzend sind und mit Wasser **Säuren** bilden:

Halogen + Wasserstoff → Halogenwasserstoff

Halogenwasserstoff + Wasser → Säure.

Halogenwasserstoffe, in Wasser gelöst, sind **Säuren** und greifen unedle Metalle an (Ätzworgang, Korrosion). Dabei bilden sie Salze und Wasserstoffgas:

Metall + Säure → Salz + Wasserstoff

Die Reaktionsfähigkeit der Halogene nimmt im PSE von unten nach oben stark zu. Fluor F₂ ist das reaktionsfähigste Element. **Metall-Halogenide** sind wasserlöslich (Ausnahmen: AgHal wie z.B. AgCl, PbHal₂ wie z.B. PbI₂).

Die Nachbargruppe links der Halogene im Periodensystem ist die 6. Hauptgruppe. Diese Elemente bilden mit Metallen kalkähnliche Oxide (Kalkbildner, **Chalkogene**, von griech. „chalkos“ = Kalk und „gainein“ = bilden, herstellen): **O, S, Se, Te, (Po)**

Beispiele: $\text{O} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{O}^{2-}$ $\text{S} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{S}^{2-}$ $\text{Se} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Se}^{2-}$
(Oxid-, Sulfid-, Selenid-Anion).

Eine weitere Nachbargruppe der Halogene sind die **Edelgase** (8. Hauptgruppe): **He, Ne, Ar, Kr, Xe, (Rn)**. Alle Edelgase sind farblos, geruchlos, ungiftig, kaum wasserlöslich und normalerweise **nicht reaktionsfähig**. Sie liegen daher nur **in Form einzelner Atome** vor (atomar), da diese kaum bzw. **keine chemischen Bindungen** eingehen, weil ihre Außenschale voll mit Elektronen besetzt ist („Elektronenkonfiguration“, „Elektronenoktett“, volle Außenschale mit 8 e⁻ bzw. bei He 2 e⁻).

Weitere physikalische Eigenschaften wichtiger Elemente und ihrer Atome listet die folgende Nachschlagetabelle auf, darunter Elektronenaffinität, Ionisierungsenergie, Ausdehnungskoeffizienten, Schall- und Wärmeleitfähigkeit. Die hierin verwendeten Kürzel sind:

Element-symbol (und OZ)	EA (kJ/mol)	I ₁ (kJ/mol)	I ₂ (kJ/mol)	V _{m,n}	ρ (kg/m ³)	α (10 ⁻⁶ /K)	κ (Pa ⁻¹)	E (10 ⁻⁵ / MPa)	v _s (l) (m/s)	v _s (t) (m/s)	λ (W/m•K)
----------------------------	----------------	----------------------------	----------------------------	------------------	---------------------------	----------------------------	--------------------------	-------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	--------------

Elementsymbol und Ordnungs-/Kernladungszahl

(in Klammern) der wichtigsten Elemente (in alfabet. Reihenfolge),

- 1) **Elektronenaffinität (EA)** in kJ/mol
- 2) **Ionisierungsenergie (I₁)** in kJ/mol
- 3) **Ionisierungsenergie (I₂)** in kJ/mol
- 4) **Molvolumen V_{m,n}** in cm³/mol, sofern das Element im Standardzustand kondensiert ist (Daten für Gase: s.u.)
- 5) **Dichte ρ** in g/cm³ bzw. kg/m³
- 6) **Linearer Ausdehnungskoeffizient α** in 10⁻⁶/K
- 7) **Kubische Kompressibilität κ** in Pa⁻¹
- 8) **Elastizitätsmodul E** in GPa
- 9) **Schallgeschwindigkeit v_s** für longitudinale Wellen (l) in m/s
- 10) **Schallgeschwindigkeit v_s** für transversale Wellen (t) in m/s
- 11) **Wärmeleitzahl λ** in W/m•K (**Wärmeleitfähigkeit**)

Element	Daten zur Atomhülle			Daten zu weiteren physikalischen Stoffeigenschaften							
Element-symbol (und OZ)	EA (kJ/mol)	I ₁ (kJ/mol)	I ₂ (kJ/mol)	V _{m,n}	ρ (kg/m ³)	α (10 ⁻⁶ /K)	κ (Pa ⁻¹)	E (10 ⁻⁵ / MPa)	v _s (l) (m/s)	v _s (t) (m/s)	λ (W/m•K)
Ag (47)	125,7	731	2073	10,27	10500	19,2	0,95	82	3640	1690	429
Al (13)	42,55	577	1817	10,00	2698	23,03	1,33	70,3	6360	3130	237
Ar (18)	-35	1520	2660	24,12	T _k 150,75/ ρ _k 4,86/ ρ _k 530,7/ v _g 308/ T _{tr} 83,85/ λ 0,018						
As (33)	77	974	1798	12,95	5780	4,7	-	22	-	-	50,0
Au (79)	223	890	1980	10,19	19320	14,16	0,563	78,4	3280	1190	317
Ba (56)	-46	503	966	38,31	3594	20,7	10,0	12,8	2080	1160	18,4
Bi (83)	101	703	1610	21,44	9747	13,4	2,86	33,8	2298	1140	7,87
Br (35)	324,5	1140	2104	19,73	3123	T _k 588/ ρ _k 10,34/ ρ _k 1180/ v _g 149					0,122
Graphit	122,5	1086	2325	5,3	2266	1,19	0,156	-	-	-	1960
Diamant	122,5	1086	2325	3,42	3513	1,19	0,156	hoch	-	-	λ: 1000-2320
Ca (20)	-186	590	1142	52,86	1550	22	5,73	19,6	4180	2210	200
Cd (48)	45,5	376	2420	13,00	8650	29,8	2,14	2,14	2980	1690	96,8
Ce (58)	48	527	1047	17,00	6773	6,3	5,06	30,0	3060	1230	11,4

Element	Daten zur Atomhülle*			Daten zu physikalischen Stoffeigenschaften*							
Element- symbol (und OZ)	EA (kJ/ mol)	I ₁ (kJ/ mol)	I ₂ (kJ/ mol)	V _{m,n}	ρ (kg/ m ³)	α (10 ⁻⁶ /K	κ (Pa ⁻¹)	E (10 ⁻⁵ / MPa)	v _s (l) (m/s)	v _s (t) (m/s)	λ (W/ m•K)
Cl (17)	348,7	1251	2297	17,46	3,214	T _k 417,1/	ρ _k 7,98/	v _g 206/	T _{tr} 162		0,008
Co (27)	102	760	1646	6,62	8900	13,36	0,525	209	5730	3000	100
Cr (24)	94	653	1592	7,23	7190	6,2	0,78	279	6850	3980	93,7
Cs (55)	45,5	376	2420	70,96	1873	97	0,75	1,7	1090	590	35,9
Cu (29)	118,3	745	1960	7,09	8960	16,5	0,702	128	4760	2300	401
F (9)	322	1681	3374	18,05	1,696	T _k 144,3/	ρ _k 5,22/	ρ _k 630/	v _g 336/	T _{tr} 55/	λ 0,024
Fe (26)	44	759	1561	7,09	7874	12,3	0,56	210,7	5920	3220	80,2
Fr (87)	-	375	2120	9,25	2410	-	-	-	-	-	-
Ga (31)	36	579	1980	11,81	5907	18,3	1,96	9,8	3030	750	33,5
Ge (32)	116	762	1537	13,64	5323	5,57	1,38	81	4580	2420	58,6
H (1)	72,8	1312	-	13,26	0,09	T _k 33/	ρ _k 1,297/	ρ _k 31/	v _g 1237/	T _{tr} 14	0,141
He (2)	-21	2372	5250	32,07	0,178	T _k 5,2/	ρ _k 0,229/	ρ _k 69,3/	v _g 696/	T _{tr} 14	0,125
Hg (80)	-18	1007	1810	14,81	13546	18,1	3,77	25	1451	-	8,34
I (53)	295,3	1008	1846	25,74	4930	-	12,7		T _k 819		0,4
In (49)	34	558	1821	15,71	7310	33	2,70	10,7	2460	710	81,6
Ir (77)	190	880	1641	8,57	22420	6,8	0,258	527	5380	3050	147
K (19)	48,3	419	3051	45,36	862	83	23,7	3,52	2600	1230	102,4
Kr (36)	-39	1350	2350	29,68	3,749	T _k 209,4/	ρ _k 5,5/	ρ _k 908/	v _g 213/	T _{tr} 116	0,009
Li (3)	59,8	513	7300	13,00	534	56	8,93	11,4	6030	2820	84,7
Mg (12)	-21	738	1451	13,98	1738	26,1	2,80	44,5	5700	3170	171
Mn (25)	-94	713	1509	7,38	7440	22	0,716	196	5560	3280	29,7
Mo (42)	114	685	1558	9,36	10220	5,43	0,338	329	6650	3510	142
N (7)	-7	1402	2856	13,65	1,251	T _k 126/	ρ _k 3,4/	ρ _k 311/	v _g 337/	T _{tr} 63,14	0,026
Na (11)	52,9	496	4562	23,68	971	70,6	13,4	6,79	3310	1620	141
Nb (41)	109	664	1382	6,59	8902	13,3	0,513	207	5810	3080	83
Ne (10)	-92	2081	3950	13,97	0,899	T _k 44,4/	ρ _k 2,75/	ρ _k 483,5/	v _g 461/	T _{tr} 24	0,049
Ni (28)	156	737	1735	6,59	8902	13,3	0,513	207	5810	3080	83
Np (93)	29	530	1140	11,71	20450	27,5	-	-	-	-	6,3
O (8)	141	1314	3380	8,00	1429	T _k 154/	ρ _k 5,04/	ρ _k 419/	v _g 337/	T _{tr} 54	0,027
Os (76)	139	840	1600	8,43	22570	6,1	0,261	560	5480	3140	87,6
P (15)	71,7	1012	1903	Modifikationen, ρ rot: 2200, weiß: 1824, schwarz: 2690 kg/m ³							
Pb (82)	35,2	716	1420	18,26	11350	29,1	2,37	15,9	2050	710	35,2
Pd (46)	98,4	805	1875	8,85	12020	11,2	0,505	121	4540	1900	71,80
Pt (78)	247	870	1791	9,10	21450	9,0	0,351	17,1	4080	1690	71,60
Pu (94)	< 0	493	1080	12,3	19840	55	-	107	-	-	6,74
Rb (37)	46,9	403	2632	55,79	1532	90	33	2,35	1430	770	58,5
Rh (45)	162	720	1744	82,90	12410	8,40	0,350	378	6190	3470	150
Rn (86)	-41	1037	1930	50,5	9,73	(Halbwertszeit ²²² Rn = 3,82 d)					0,004
Ru (44)	146	711	1617	8,14	12410	9,1	0,331	431	6530	3740	117
S (16)	200,4	1000	2251	15,49	2070	74,33	13,0	-	-	-	0,269

Element	Daten zur Atomhülle*			Daten zu physikalischen Stoffeigenschaften*							
Element-symbol (und OZ)	EA (kJ/mol)	I ₁ (kJ/mol)	I ₂ (kJ/mol)	V _{m,n}	ρ (kg/m ³)	α (10 ⁻⁶ /K)	κ (Pa ⁻¹)	E (10 ⁻⁵ / MPa)	v _s (l) (m/s)	v _s (t) (m/s)	λ (W/m•K)
Sb (51)	101	833	1590	18,20	6691	8,5	2,6	54,4	3140	1800	25,90
Se (34)	195	941	2044	16,48	4790	36,9	11,6	57,9	-	-	2,48
Si (14)	133,6	787	1577	17,06	2329	4,2	0,97	112	-	-	83,7
Sn (50)	121	709	1412	16,24	7310	21,5	1,83	53	3300	1650	66,6
Sr (38)	-146	550	1064	34,50	2540	23	7,97	15,7	2780	1520	35,3
Te (52)	190,2	869	1795	20,45	6240	16,75	4,8	47	-	-	1,7
Ti (22)	-2	658	1310	10,55	4540	8,35	0,779	102	6260	2920	21,9
U (92)	29	522	1122	12,56	18950	12,6	0,785	178	3370	1940	15,8
V (23)	61	650	1410	8,34	6110	8,3	0,63	127	6000	2780	30,7
W (74)	119	770	1700	9,53	19300	4,59	0,28	407	5320	2840	178
Xe (54)	-41	1170	2046	37,09	5,897	T _k 290/	ρ_k 5,8/	ρ_k 1105/	v _g 168/	T _r 161	0,006
Y (39)	-	603,4	1176	16,89	4469	10,6	2,62	66,2	4280	2420	17,2
Zn (30)	9	904	1733	9,17	7133	25,0	1,65	92,6	38,9	2290	121
Zr (40)	41,1	660	1267	14,02	6506	5,78	1,08	67,6	4360	1950	22,7

Hinweis zu gasförmigen Elementen: Bei Brom und den im Standardzustand **gasförmigen Elementen** stehen abweichend zur Fußnote rechts folgende Stoffdaten:

T_k = kritische Temperatur (in K),

p_k = kritischer Druck (in MPa),

ρ_k = kritische Dichte (in kg/m³),

v_g = Schallgeschwindigkeit im Gas oder der Flüssigkeit (in m/S),

T_r = Tripelpunkt (in K),

λ = Wärmeleitfähigkeit bei 273,15 K in W/m•K,

ϵ = Dielektrizitätskonstante als (ϵ -10)•10⁶ und

die Brechzahl **n** für die Refraktometrie als Differenz gegen 1 (Vakuum)

in der Form (**n**-1) • 10⁶.



Abbildung: Feuerwerk mit Flammfärbung durch Emission (eig. Foto). Alkali- und Erdalkali-Atome (außer Mg) nehmen in Flammen Energie auf (**Absorption**) und geben sie als Licht(energie) wieder ab (**Emission**). Das Licht kommt, wenn nach außen „angehobene“ Außenelektronen in der Atomhülle wieder „zurückspringen“.

4) Chemische Verbindungen

4.1 chemische Reaktionen – Bildung und Arten von Bindungen zwischen Atomen in chemischen Verbindungen

4.1.1 Drei Arten von Verbindungen

Grundbegriffe und –gesetze zur chemischen Bindung

Grundbegriff	Definition, Gesetzmäßigkeit (bezüglich chemischer Bindung)
Edelgas-konfiguration	Atome streben bei chemischen Reaktionen in ihrer Hülle eine volle Außenschale an (mit 2 bzw. 8 Außenelektronen)
Metalle	Elemente mit hoher elektrischer Leitfähigkeit (Leiter 1. Ordnung), verformbar (duktil), glänzend, sehr gute Wärmeleiter
Metallatome	- reagieren mit Nichtmetallatomen, indem sie Elektronen an diese abgeben (Elektronenübertragung, Redoxreaktion), - werden durch die Ladungstrennung elektrisch positiv geladen (Ionenbildung durch Oxidation = Elektronenabgabe)
Nichtmetall-atome	reagieren, indem sie bei chem. Reaktionen mit Metallen Elektronen aufnehmen (Bildung der Anionen durch Reduktion = Elektronenaufnahme) oder nutzen bei Reaktionen untereinander Außenelektronen gemeinsam als bindende Elektronenpaare (Elektronenpaar-bindung, Atombindung)
Ionen	elektrisch geladene Atome oder Atomverbände (Kation positiv, Elektronenzahl < Protonenzahl; Anion negativ, Elektronenzahl > Protonenzahl)
Moleküle	elektrisch neutrale Atomverbände, deren Atome über bindende Elektronenpaare miteinander verbunden sind
Salze, ionische Verbindungen	spröde (brüchig), weisen sehr hohe Schmelzpunkte auf und sind nur in Lösung oder Schmelze elektrisch leitfähig (Leiter 2. Ordnung, Elektrolyte).
Molekulare Verbindungen	elektrische Nichtleiter (Isolatoren, EN-Differenz niedrig) - Verbindungen mit kleinen Molekülen sind flüchtig, - Verbindungen mit sehr großen Molekülen kunststoff- oder diamantartig (zersetzlich / hoher Schmelzpunkt)
Koordinative Bindungen, Komplexe	Verbindungen „höherer Ordnung“ zwischen Zentralatomen (zumeist Nebengruppen-Elemente) und Liganden (Moleküle mit freiem Elektronenpaar), entstehen unabhängig von der chemischen Wertigkeit (Oxidationszahl) der Elemente (nichtstöchiometrisch)

Arten chemischer Bindung

Bindungsart	Metallbindung (Legierungen)	Ionenbindung (salzartig)	Atom- / Elektronenpaar-Bindung	
Unterart			Polar kovalent	Unpolar kovalent
Stoffcharakter	Metallisch	Salzartig	a) flüchtig, b) makromolekular (kunststoffartig), c) diamantartig	
Kleinste Teilchen	Positive Ionen mit Elektronengas	Positive und negative Ionen	Moleküle (Molekül- oder Atomgitter)	
Bindungs-partner	Metallatome (Kationen / freie e ⁻)	Kation und Anion	Atome mit nicht zu hohem ΔEN	Nichtmetall-atome
Elektronegativitätsdifferenz	Gering, beide elektropositiv	ΔEN hoch	Ca. 0,3 - 2,2 je nach Symmetrie	< 0,5 oder symmetrisch
Bindende Kraft	Abgabe von Valenzelektronen („Elektronengas“ zwischen positiven Metall-Ionen)	Übertragung von Elektronen (elektrostatische Anziehungskräfte Kation / Anion)	Bildung gemeinsamer Elektronenpaare bzw. bindender Molekülorbitale (MO), ggf. nach vorheriger Hybridisierung (Misch-, Hybridorbitale, HO)	
Beispiele	a) Au, Mg, Fe, Na b) Messing, Bronze, Kupfer-Nickel-Legierung, Amalgam	Eisensulfid FeS, Natriumchlorid NaCl, Magnesiumoxid MgO	a) Kohlendioxid, Benzol, Chlor b) Stärke, Polyethylen, P (rot) c) Diamant, Siliciumcarbid (SiC), Bornitrid (BN)	

4.1.2 Elektronegativität EN

Die **Elektronegativität EN** ist das Maß für das Bestreben eines Atoms, ein bindendes Elektronenpaar anzuziehen.

Nach R. Mullikan gilt: $EN \cong 0,0019 \cdot (E_{\text{Ionsg}} - EA)$

Elektronegativität (EN) nach Pauling

Element und EN (nach Pauling)				H 2,1			He -
Li 1,0	Be 1,5	B 2,0	C 2,5	N 3,0	O 3,5	F 4,0	Ne -
Na 0,9	Mg 1,2	Al 1,5	Si 1,8	P 2,1	S 2,5	Cl 3,0	Ar -
K 0,8	Ca 1,0	Ga 1,6	Ge 1,8	As 2,0	Se 2,4	Br 2,8	Kr -
Rb 0,8	Sr 1,0	In 1,7	Sn 1,8	Sb 1,9	Te 2,1	I 2,5	Xe -
Cs 0,7	Ba 0,9	Tl 1,8	Pb 1,8	Bi 1,9	Po 2,0	At 2,2	Rn -

4.1.3 Ionischer Charakter in Bindungen

EN-Differenz und Ionencharakter

ΔEN	% IB	ΔEN	% IB	ΔEN	% IB
0,2	1	1,4	39	2,6	82
0,4	4	1,6	47	2,8	86
0,6	9	1,8	55	3,0	89
0,8	15	2,0	63	3,2	92
1,0	22	2,2	70	% IB steht für Ionenbindungscharakter in %	
1,2	30	2,4	76		

4.1.4 Moleküle und Orbitalmodell (MO-Theorie)

Moleküle können **unpolar** sein (gleiche Aufteilung des bindenden Elektronenpaares auf beide Bindungspartner wie z.B. in H_2 - und Cl_2 -Molekülen) oder **polar** (ungleiche Aufteilung wie z.B. im Chlorwasserstoff-Molekül H-Cl , Ausbildung von Plus- und Minuspol auf Grund hoher EN-Differenz, so dass das Molekül zum **Dipol** wird; Folge: höhere Anziehungskräfte zwischen den Molekülen, somit z.B. höhere Schmelz- und Siedetemperaturen).

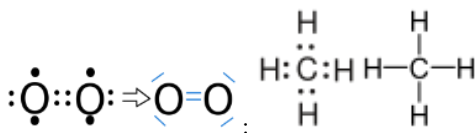
Die **Bildung nichtionischer Bindungen** verläuft, indem sich Elektronen zweier Atome zu einem bindenden Elektronenpaar vereinigen (Die Atomorbitale vereinigen sich zu Molekülorbitalen MO, ggf. nach vorheriger Bildung von Mischorbitalen in angeregten Atomen, den sogenannten Hybridorbitalen, HO (Hybridisierung, Überlagerungszustände); Beispiele: Chlormolekül, Cl_2 , aber auch Sauerstoff O_2 und Methan CH_4 :

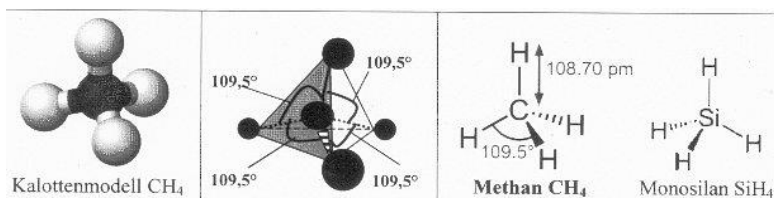


Abbildung: Chlorgas, Brom- und Ioddampf / Bildung des Chlormoleküls in Symbolschreibweise (Links eig. Foto / Bildquelle Chlormolekül:

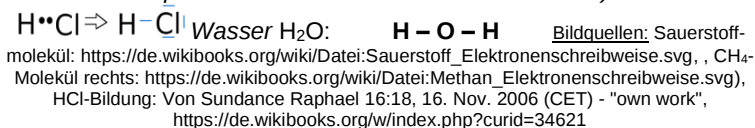
https://de.wikibooks.org/wiki/Anorganische_Chemie_f%C3%BCr_Sch%C3%BCler/_Die_Atombindung#/media/File:Chlor_Elektronenschreibweise.svg)

Moleküle können daher Mehrfachbindungen (wie im O_2) und räumliche Strukturen aufweisen (wie im Methan CH_4 oder Silan SiH_4 , als Tetraeder):





Abbildungen: Sauerstoff- und Methanmolekül in Symbolschreibweise (Lewis-Strukturformeln, vorausgehende Seite) und Modell des Methangasmoleküls CH₄. Die Moleküle von Chlorwasserstoffgas und Wasser sind polar (Chlor- und Sauerstoffatom ziehen das bindende Elektronenpaar stärker an als die Wasserstoffatome):



Atommodelle versuchen, den Aufbau der Atome zu beschreiben – die chemische Bindung zwischen ihnen wird in **Bindungsmodellen** beschrieben.

Die **Orbitaltheorie** beschreibt den Aufenthaltsbereich der Elektronen in der Atomhülle anders als das *Bohr'sches* Atommodell nicht auf „Bahnen“ und in „Schalen“, sondern „wellenmechanisch“ in Räumen erhöhter Aufenthaltswahrscheinlichkeit. Elektronen sind hier nicht nur „Teilchen“ sondern auch „stehende Wellen“, die sich in diesen Orbitalen aufhalten. **Vereinfachtes Orbitalmodell:** Die Elektronen halten sich im Atom nicht auf Bahnen, sondern in **Kugelwolken** auf – jeweils zwei in einer Kugelwolke („Elektronenpaare“) und je „Schale“ gibt es vier Kugelwolken („Elektronenoktett“).

Ein **Atomorbital (AO)** ist der Aufenthaltsbereich eines Elektrons oder Elektronenpaares in einem Einzelatom (s-,p-,d-,f-Orbital: kugel-, hantel-, doppelhantelförmig usw.).

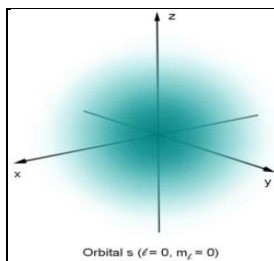
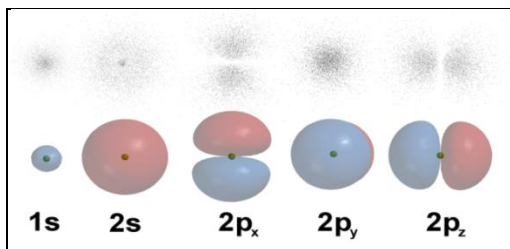


Abb. links: In der innersten und zweitinnersten „Schale“ (1. Energieniveau) existieren kugelförmige s-Atomorbitale ($1s$, $2s$) und in der zweitinnersten Schale (2. Energieniveau) existieren entlang der x-, y- und z-Achse je ein hantelförmiges p-Orbital ($2p_x$, $2p_y$, $2p_z$)

Bildquelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:AOS-3D-dots.png> Gemeinfrei, unter

Abb. rechts: Computer-generierte Darstellung der Wahrscheinlichkeitsdichte des $1s$ -Orbitals mithilfe einer (sehr feinen) Punktwolke. Bildquelle: R.J.Hall, wikimedia commons, über: https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Orbital_s1.png (GNU-Lizenz für freie Dokumentation)

Ein **Hybridorbital (HO)** ist der Aufenthaltsbereich eines Elektrons oder Elektronenpaares, der sich aus unterschiedlichen Atomorbitalen gebildet hat (Hybridisierung, Bildung von Mischorbitalen: $sp, sp^2, sp^3, \dots$):

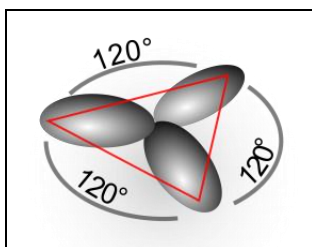
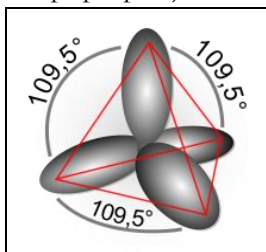


Abb. links: Drei $2p$ -Orbitale und ein $2s$ -Orbital bilden vier gleichwertige sp^3 -Mischorbitale (links), während zwei $2p$ -Orbitale und ein $2s$ -Orbital ein sp^2 -Hybridorbital ergeben (rechts): **sp^3** und **sp^2**

Bildquelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Hybridorbital#/media/File:Sp3-Orbital.svg> User:sven, wikimedia commons, über: <https://de.wikipedia.org/wiki/Hybridorbital#/media/File:Sp3-Orbital.svg> (Lizenz: the Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported)

Ein **Molekülorbital (MO)** ist der Aufenthaltsbereich eines Elektrons oder Elektronenpaares in einem Molekül (zwischen Einzelatomen; σ -Bindung achsensymmetrisch, π -Bindung unsymmetrisch durch Beteiligung von p-Orbitalen). MOs bilden sich aus Atomorbitalen (s, p, d und f) und aus Hybridorbitalen (wie z.B. sp^3 , sp^2 und sp).

AO	Struktur
s	kugelförmig
p	hantelförmig, rotations-symmetrisch entlang Raumachse x, y oder z
d	zumeist Doppelhanteln
f	Unterschiedlich (diffus)

Dadurch entstehen **Elektronenpaarbindungen EPB** verschiedener (Bindungs-)Länge, Ausrichtung und Energie:

Einfachbindungen X-X, Bindungslängen d_{AB} (in pm)

d_{AB}	Si	C	P	N	S	O	I	Br	Cl	F	H	d_{AB}
H	148	108	147	101	134	148	161	141	127	92	74	H
F	156	197		136	158	142		176	163	142	92	F
Cl	202	177	203	-	199	170	232	214	199	163	127	Cl
Br	216	194	220	-	227			228	214	176	141	Br
I	243	214		-	-		267		232		161	I
O	163	143		136	174	148			170	142	148	O
S	215	181			205	174		227	199	158	134	S
N	-	147		145		136	-	-	-	136	101	N
P	-	-	221					220	203		147	P
C	185	154	-	147	181	143	214	194	177	197	108	C
Si	232	185	-	-	215	163	243	216	202	156	148	Si
pm	Si	C	P	N	S	O	I	Br	Cl	F	H	pm

Bindungslängen d_{AB} in pm als linearer Abstand in einer Atombindung AB

AB	d_{AB}	AB	d_{AB}	AB	d_{AB}	AB	d_{AB}	AB	d_{AB}	AB	d_{AB}
B-B	176	O-O	148	B-N	156	C-Br	194	Si-Si	232	N-H	101
B=B	156	O=O	121	C-N	147	C-I	214	Si-H	148	P-H	147
B≡B	142	S-S	205	C=N	130	C-S	182	Si-F	156	O-H	148
C-C	154	S=S	189	C≡N	116	C-Si	185	Si-Cl	202	H-F	92
C=C	134	F-F	142	C-O	143	C-H	108	Si-O	163	H-Cl	127
C≡C	120	Cl-Cl	199	C=O	119	O-F	197	Si-C	185	H-Br	141
N-N	145	Br-Br	228	C-S	181	O-Cl	168	S-S	205	H-I	161
N=N	125	I-I	267	C-F	197	O-Br	187	S-F	158	P-Cl	203
N≡N	110	H-H	74	C-Cl	177	S-O	174	S-H	134		

Bindungswinkel und -typen

Typ und AX ₂	Winkel in °	AX ₂ E ₂	Winkel in °	AX ₂ E ₂ und AX ₃ E	Winkel in °
CO ₂ , CS ₂	180	H ₂ O	104,5	SO ₂	120
N ₃ ⁻ , H-C≡N	180	H ₂ S	92,3	NO ₂	134
NO ₂ ⁺ , N ₂ O	180	H ₂ Se	91,0	O ₃ Ozon	117
C ₂ H ₂	180	H ₂ Te	89,5	NH ₃	107

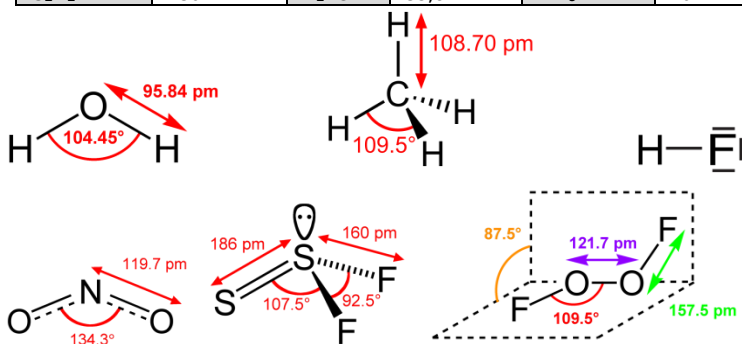


Abb.: Bindungswinkel und -längen in den Molekülen H₂O, CH₄, HF, NO₂, S₂F₂ und F₂O₂ (Abb. ghemeinfrei, wikimedia copmmons)

Bindungsenergien E_{Bindg.} (kJ/mol) von Einfachbindungen

E _{Bindg.}	C	P	N	S	O	I	Br	Cl	F	H	E _{Bindg.}
H	414	322	390	364	463	298	365	431	565	436	H
F	467			327	193			253	158	565	F
Cl	336		-		208	211	219	242	253	431	Cl
Br	282		-	218		178	193	219		365	Br
I	214		-	-	234	151	178	211		298	I
O	356		201		144	234		208	193	463	O
S	269			266		-	218		327	364	S
N			159		201	-	-	-		390	N
P	-									322	P
C	348	-		269	356	214	282	336	467	414	C
KJ/mol.	C	P	N	S	O	I	Br	Cl	F	H	KJ/mol.

Bindungsenergien E_{Bindg.} (kJ/mol) in Mehrfachbindungen

E _{Bindg.}	C=C	C≡C	C=N	C≡N	C=O	N=N	N≡N
kJ/mol	610	835	615	891	805	418	945

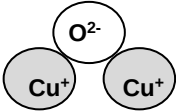
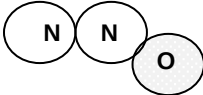
* in CO₂

4.2 Namen von Verbindungen

4.2.1 Systematische Benennung

Die Namen chemischer Verbindungen enthalten Elementnamen und ggf. Ionenladungen (bei Salzen) oder Zahlsilben, die sich nach den Stoffmengenverhältnissen richten, in denen sich molekulare Verbindungen aus Elementen bilden.

Zwei Beispiele (2:1-Verbindungen):

Triviale Bezeichnung	Rotes Kupferoxid	Lachgas
Stoffeigenschaften	Schwarzes Pulver	Farbloses Gas
Beteiligte Elemente	Cu + O	N + O
Mengenverhältnis	2:1	2:1
Teilchenmodell		
Bindungsart	ionisch $2 \cdot \text{Cu}^{1+} / \text{O}^{2-}$	molekular
Formel	Cu_2O	N_2O
Systematischer Stoffname	Kupfer(I)-oxid	Distickstoffmonoxid

Unabhängig von der Masse von chemisch reagierenden Stoffportionen sind bestimmte Mengen von Stoffen einander chemisch gleichwertig. Die **Masse m** einer Stoffportion (abgewogen in Gramm, g, oder Kilogramm, kg) entspricht deshalb nicht ihrer **Stoffmenge n** (angegeben in Mol).

- **Namen von Salzen** aus zwei Elementen bestehen aus dem Metall-Name, ggf. mit **Ionenladung**, dem Nichtmetall-Namen (oft in lateinischer Form) und der Endung –id. Wenn Sauerstoff als drittes Element hinzukommt und sich mit dem Nichtmetall verbindet, dann endet der Name auf –at.

- **Namen von molekularen Verbindungen** aus zwei Elementen werden gebildet aus dem Namen des Nichtmetalles, das im PSE weiter links oder weiter unten steht, und dem Namen des zweiten Nichtmetalles (im PSE weiter rechts oder oben). Davor kommt jeweils eine **Zahlsilbe** für das Mengenverhältnis (siehe Formel):

mono = 1, di = 2, tri = 3, tetra = 4,
penta = 5, hexa = 6, hepta = 7.

a) Benennungsprinzip binärer Ionenverbindungen:

Vier Namenselemente:

- Name des Kations,
- Ionenladung bzw. Oxidationszahl des Kations (sofern wie z.B. bei Nebengruppen-Elementen mehrere Oxidationsstufen möglich sind),
- Name des Anions (latinisiert),
- Endung **-id**

Benennung wichtiger Kationen und Anionen

Kation	Formel	Kation	Formel	Anion	Formel	Anion	Formel
Ammonium, Hydronium	NH_4^+ H_3O^+	Kupfer -I- / -II-	Cu^{2+} Cu^+	Fluorid	F^-	Carbonat Silikat	CO_3^{2-} SiO_4^{4-}
Chrom-III-	Cr^{3+}	Silber-I-	Ag^+	Chlorid	Cl^-	Nitrid Nitrat	N^{3-} NO_3^-
Mangan-II-	Mn^{2+}	Zink-II	Zn^{2+}	Bromid	Br^-	Phosphat Arsenat	PO_4^{3-} AsO_4^{3-}
Eisen-II- Eisen-III-	Fe^{2+} Fe^{3+}	Zinn-II- / Zinn-IV-	Sn^{2+} Sn^{4+}	Iodid	I^-	Sulfat Sulfid	SO_4^{2-} SO_3^{2-}
Nickel-II-	Ni^{2+}	Blei-II- / Blei-IV-	Pb^{2+} Pb^{4+}	Oxid Sulfid	O^{2-} S^{2-}	Chlorat Perchlorat	ClO_3^- ClO_4^-
Kobalt-II-	Co^{2+}	Bismut-III-	Bi^{3+}	Hydroxid	OH^-	Iodat Periodat	IO_3^- IO_4^-

Mehrfach geladene Anionen werden durch **H⁺-Ionen-Aufnahme (Protonierung)** zu **Hydrogenionen**, **Beispiele:** $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+ \rightarrow \text{HCO}_3^-$ (Hydrogencarbonat), $\text{PO}_4^{3-} + 2 \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{PO}_4^-$ (Dihydrogenphosphat), $\text{SO}_4^{2-} + \text{H}^+ \rightarrow \text{HSO}_4^-$ (Hydrosulfat).

Nebengruppenmetalle in sehr hoher **Oxidationsstufe** bilden mit **Oxidionen** bei sp^3 -Hybridisierung tetraedrische Anionen (ähnlich ClO_4^- , SO_4^{2-} und PO_4^{3-}).

Beispiele: Chromat CrO_4^{2-} , Molybdat MoO_4^{2-} , Wolframat WO_4^{2-} , Permanganat MnO_4^- und Manganat, MnO_4^{2-} sowie Titanate, Vanadate, Ferrate usw. :

Suffixe, Endungen zur Bezeichnung weiterer anorganischer Anionen

Anion	Formel	Anion	Formel	Anion	Formel	Anion	Formel
Fluorid	F⁻	Fluorosilikat	[SiF ₆] ²⁻	Hypochlorit	ClO ⁻	Cyanid	CN ⁻
Chlorid	Cl⁻	Chlorat	ClO ₃ ⁻	Perchlorat	ClO ₄ ⁻	Cyanat	OCN ⁻
Bromid	Br ⁻	Bromat	BrO ₃ ⁻	Hypoiodit	IO ⁻	Thiocyanat	SCN ⁻
Iodid	I ⁻	Iodat	IO ₃ ⁻	Periodat	IO ₄ ⁻	Orthoperiodat	IO ₆ ⁵⁻
Oxid	O²⁻	Peroxid	O₂²⁻	Hyperoxid	O ₂ ⁻	Fulminat	ONC ⁻
Sulfid	S²⁻	Sulfat	SO₄²⁻	Sulfit	SO₃²⁻	Thiosulfat	S₂O₃²⁻
Selenid	Se ²⁻	Selenat	SeO ₄ ²⁻	Selenit	SeO ₃ ²⁻	Selenocyanat	SeCN ⁻
Tellurid	Te ²⁻	Tellurat	TeO ₄ ²⁻	Tellurit	TeO ₃ ²⁻	Peroxodisulfat	S ₂ O ₈ ²⁻
Nitrid	N³⁻	Nitrat	NO₃⁻	Nitrit	NO ₂ ⁻	Azid	N ₃ ⁻
Phosphid	P ³⁻	Phosphat	PO₄³⁻	Phosphit	PO ₃ ³⁻	Diphosphat	P ₂ O ₇ ⁴⁻
Arsenid	As ³⁻	Arsenat	AsO ₄ ³⁻	Arsenit	AsO ₃ ³⁻	Hypodiphosphat	P ₂ O ₆ ⁴⁻
Carbid	C⁴⁻	Carbonat	CO₃²⁻	Stannat-IV	SnO ₄ ⁴⁻	Azetylid	C ₂ ²⁻
Silicid	Si ⁴⁻	Silikat	SiO₄⁴⁻	Disilikat	S ₂ O ₇ ⁶⁻	Metasilikat	SiO ₃ ²⁻
Borid	B ³⁻	Borat	BO ₃ ³⁻	Aluminat	Al ₂ O ₄ ²⁻	Rhenat	ReO ₄ ⁻
Hydrid	H⁻	Manganat	MnO ₄ ²⁻	Permanganat	MnO ₄ ⁻	Wolframat	WO ₄ ⁻
Hydroxid	OH⁻	Chromat	CrO ₄ ⁻	Dichromat	Cr ₂ O ₇ ²⁻	Molybdat	MoO ₄ ²⁻
Hydrat	(•nH ₂ O)	Vanadat	VO ₃ ⁻	Niobat	NbO ₃ ⁻	Tantalat	TaO ₃ ⁻

b) Benennungsprinzip binärer molekularer Verbindungen

Fünf Namens Elemente:

- Zehlsilbe (für die Atomanzahl des elektropositiveren Elementes im Molekül),
- Name des elektropositiveren Elementes.
- Zehlsilbe (für die Atomanzahl des elektronegativeren Elementes im Molekül)
- Latinisierter Name des elektropositiveren Elementes (wie bei Anionen),
- Endung **-id**

Präfixe, Vorsätze für Zehlsilben

Zahl	1	2	3	4	5	6	7	8
Silbe*	Mon(o)	Di	Tri	Tetr(a)	Pent(a)	Hex(a)	Hept(a)	Oct(a)

* Vor Vokalen können (a) und (o) entfallen,

Beispiele: Stickstoffmonoxid (NO), Diiodheptoxid (I₂O₇)

c) Benennungsprinzip komplexer Verbindungen

- Zahlsilbe (für die Anzahl der Liganden im Komplex),
- Name des/der Liganden,
- Name des Zentralatoms, in anionischen Komplexen latinisierter Name (Vanadat (V), Chromat (Cr), Molybdat (Mo), Wolframat (W), Manganat (Mn), Ferrat (Fe), Cobaltat (Co), Platinat (Pt), Cuprat (Cu), Argentat (Ag), Aurat (Au), Zinkat (Zn), Aluminat (Al), Stannat (Sn), Plumbat (Pb), Antimonat / Stibat (Sb), Bismutat (Bi); analog Anionen),
- Oxidationszahl des Zentralatoms (sofern mehrere Oxidationsstufen möglich sind),
- Bei anionischen Komplexen: Endung **-at**

Bezeichnung wichtiger Liganden

Ligand	Formel	Ligand	Formel	Ligand	Formel	Ligand	Formel
Fluoro	F ⁻	Oxo	O ²⁻	Nitrido	N ³⁻	Phosphato	PO ₄ ³⁻
Chloro	Cl ⁻	Hydroxo	OH ⁻	Nitrosyl	NO	Arsenato	AsO ₄ ³⁻
Bromo	Br ⁻	Aquo	H ₂ O	Nitro	NO ₂	Carbonyl	CO
Iodo	I ⁻	Thio	S ²⁻	Nitrato	NO ₃ ⁻	Thiocarbonyl	CS
Cyano	CN ⁻	Mercapto	SH ⁻	Ammin	NH ₃	Carboxyl	COOH
Thiocyano	SCN ⁻	Thiosulfato	S ₂ O ₃ ²⁻	Phosphin	PH ₃	Oxalato	C ₂ O ₄ ²⁻
Isothiocyano	NCS ⁻	Fulminato	ONC ⁻	Arsin	AsH ₃	Acetato	CH ₃ COO ⁻

d) Benennungsprinzip organischer Verbindungen

Nomenklatur der einfachsten acht *n*-Alkane

Name	Formel	Name	Formel	Name	Formel	Name	Formel
Me- than	CH ₄	Pro- pan	C ₃ H ₈	Pen- tan	C ₅ H ₁₂	Hep- tan	C ₇ H ₁₆
Ethan	C ₂ H ₆	Butan	C ₄ H ₁₀	Hexan	C ₆ H ₁₄	Octan	C ₈ H ₁₈

- Kohlenwasserstoffreste erhalten die Endung **-yl**, der Benzolring C₆H₅- **-phenyl**
- Seitenketten werden in alphabetischer Reihenfolge vor die Bezeichnung der längsten Kette gesetzt, diese wird mit Positionsziffern so durchnummeriert, dass diese möglichst kleine Beträge erhalten und den Seitenketten vorangestellt
- Stoffe, deren Moleküle funktionelle Gruppen aufweisen, erhalten die Endungen der entsprechenden Stoffgruppennamen (vgl. folgende Tabelle).

Nomenklatur organischer Stoffklassen (Auswahl)

Stoffklasse (nach IUPAC)	Stoffklasse (Trivialname)	Funktionelle Gruppe	Allgemeine Formel *	Beispielhafte Bezeichnungen
Alkane (n-/Iso-/ Cyclo-)	Aliphaten, Gesättigte KWs	Keine (Grundgerüst)	C_nH_{2n+2} Cyclo: C_nH_{2n}	Methan CH_4 , Hexan C_6H_{14} Octadecan $C_{18}H_{38}$ Cyclohexan C_6H_{12}
Alkene, Alkadiene, Alkatriene ...	Olefine	$C=C$ (ggf. mehr- fach)	C_nH_{2n} u. a.	Ethen (Ethylen) C_2H_4 Propen C_3H_6 Butadien-1,3 C_4H_6 bzw. $H_2C=CH-CH=CH_2$
Alkine, Alkadiine, ...	Acetylene	$C\equiv C$ (ggf. mehr- fach)	C_nH_{2n-2} u. a.	Ethin (Acetylen) C_2H_2 Propin C_3H_4 Butadiin H_2C_4 (Struktur: $HC\equiv C-C\equiv CH$)
Arene	Aromaten	(Ähnl. C_6H_6)	Keine	Benzen (Benzol) C_6H_6 , Toluol C_7H_8
Halogen- alkane	Alkyl- halogenide	-F, -Cl, -Br, -I	R-Hal	Trichlormethan (Chloroform) $CHCl_3$, Tetrachlormethan CCl_4
Alkanole, Alkandiole, Alkantriole, ...	Alkohole	-OH (ggf. mehr- fach)	R-OH	Ethanol C_2H_5OH Ethandiol $HO-C_2H_4-OH$ 1-Pentanol (Amylalko- hol) $C_5H_{11}OH$
Alkoxyalkane	Ether	-O-	R-O-R	Diethylether $(C_2H_5)_2O$
Alkanone	Ketone	$C=O$	R-CO-R	Propanon (Aceton) $CH_3-CO-CH_3$
Alkanale	Aldehyde	-CHO	R-CHO	Ethanal (Acetalde- hyd) CH_3CHO , Benzaldehyd C_6H_4-CHO
Alkansäuren	Carbonsäuren (gesättigt)	-COOH (ggf. mehr- fach)	R-COOH	Ethansäure (Essigsäure) CH_3COOH , Ethandisäure (Ox- alsäure) $HOOC-COOH$
Ester	Alkylalkanoate	-COOR	RCOOR	Essigsäureethylester (Ethylacetat) $CH_3COOC_2H_5$
Säurechloride	-	-COCl	RCOCl	Ethansäurechlorid (Acetylchlorid) CH_3COCl

* R: Kohlenwasserstoffrest (KW), aliphatisch: Alkylgruppe, aromatisch: Arylgruppe

Stoffklasse (nach IUPAC)	Stoffklasse (Trivialname)	Funktionelle Gruppe	Allgemeine Formel *	Beispielhafte Bezeichnungen
Alkensäuren, Alkensäuren	Ungesättigte Carbonsäuren	C=C / - COOH	R-COOH	Propensäure (Acrylsäure) C ₂ H ₃ - COOH), Octadecaensäure (Ölsäure) C ₁₇ H ₃₁ COOH, Cis-Butendisäure (Maleinsäure) HOOC-CH=CH-COOH
Amine, Aminoalkane	Alkylamine	-NH ₂ (ggf. mehr- fach)	R-NH ₂ (R ₂ NH, R ₃ N)	Aminoethan C ₂ H ₅ - NH ₂ , Ethylendiamin (ED) H ₂ N-C ₂ H ₄ -NH ₂ Ethylen- diamintetraessigsäure (EDTA), etwa: [(CH ₃ COO) ₂ N] ₂ -C ₂ H ₄
Nitroalkane	(Nitroalkane)	-NO ₂ (ggf. mehr- fach)	R-NO ₂	Nitromethan CH ₃ NO ₂ , Trinitrotoluol (TNT) H ₃ C-C ₆ H ₂ (NO ₃) ₃
Thiole	Mercaptane	-SH	CH ₃ SH	Methanthiol (Methyl- mercaptan) CH ₃ SH
Hydroxy- alkensäuren	(Salze oft mit Trivialnamen, z. B.: Laktate, Salicylate, Tartrate, Zitrate)	-OH und -COOH (ggf. mehr- fach)	HO-R- COOH	2-Hydroxy- propansäure (Mil- chsäure) CH ₃ -CH(OH)-COOH, 2- Hydroxy- propantrisäure-1,2,3 (Zitronensäure) C ₆ H ₈ O ₅
Aminosäuren	-	-NH ₂ / - COOH	H ₂ N-R- COOH	Aminoethansäure (Glycin) H ₂ N-CH ₂ - COOH

* R: Kohlenwasserstoffrest (KW), aliphatisch: Alkylgruppe, aromatisch: Arylgruppe

Substituenten sind funktionelle Gruppen oder Seitenketten, die mit Hilfe von angreifenden Teilchen in Kohlenwasserstoffmoleküle eingebaut werden können (Synthesereaktionen organischer Verbindungen, Präparative organische Chemie):

Substituenten (Atomgruppen in organischen Verbindungen, oft austauschbar)

Teilchen	Teilchen mit...	Beispiele
Radikal (R [•])	... ungepaartem e ⁻	CH ₃ [•] , Cl [•] , NO [•]
Nukleophil (Nu)	... negativer Ladung oder Teilladung δ ⁻ und freiem e ⁻ -Paar	OH ⁻ , NH ₃ , H ₂ O, CN ⁻ , Br ⁻ , CH ₃ -Cl-AlCl ₃
Elektrophil (E)	... positiver Ladung oder Teilladung δ ⁺	H ⁺ , NO ₂ ⁺ , HBr, SO ₃ ⁺

4.2.2 Trivialnamen (Alltagsbezeichnungen)

Trivialnamen und systematische Bezeichnung

Trivialname, A-Z	Systematischer Name (IUPAC)	Trivialname, A-Z	Systematischer Name (IUPAC)
Aceton	Propanon, CH ₃ -CO-CH ₃	Benzoessäure	Benzenecarbonsäure, Benzolcarbonsäure
Acetophenon	1-Phenylethanon, C ₆ H ₅ -COCH ₃	Blutlaugensalz, gelb	Kaliumhexacyanoferrat-II, K ₄ [Fe(CN) ₆]
Alanin	2-Aminopropansäure		
Alaun	Kaliumaluminiumsulfat-hydrat	Blutlaugensalz, rot	Kaliumhexacyanoferrat-III, K ₃ [Fe(CN) ₆]
Ameisensäure	Methansäure, HCOOH	Borax	Natriumtetraborat, Na ₂ B ₄ O ₇
Amylalkohol	Pentanol-1, C ₅ H ₁₁ OH	Brechweinstein	Kaliumantimonyltartrat
Anilin	Aminobenzen, Aminobenzol	Bullrich's Salz	Natriumhydrogencarbonat
Anisol	Methoxybenzen, -ol	Buttersäure	Butansäure, C₃H₇COOH
Antichlor	Natriumthiosulfat-hydrat	Cadmiumgelb	Cadmium-, Kadmiumsulfid
Antraniensäure	2-Aminobenzolcarbonsäure	Caprinsäure	n-Decansäure, C ₉ H ₁₉ COOH
Äpfelsäure	2-Hydroxybutandisäure-1,4	Capronsäure	n-Hexansäure, C ₅ H ₁₁ COOH
Arsenik	Arsen-III-oxid, As ₂ O ₃	Caprylsäure	n-Octansäure, C ₇ H ₁₅ COOH
Arsin	Arsenwasserstoff, AsH ₃	Carborund	Siliziumcarbid, SiC
Ätzbaryt	Bariumhydroxid, Ba(OH) ₂	n-Cetan	n-Hexadecan, C ₁₆ H ₃₄
Ätzkalk	Kalziumhydroxid, Ca(OH)₂	Chiesalpeter	Natriumnitrat, NaNO ₃
Ätzkali	Kaliumhydroxid, KOH	Chloroform	Trichlormethan, CHCl₃
Ätznatron	Natriumhydroxid, NaOH	Chromalaun	Kaliumchrom-III-sulfat-hydrat
Azetalddehyd	Ethanal, CH ₃ CHO	Bittersalz	Magnesiumsulfat-hydrat
Azetylen	Ethin, C ₂ H ₂	Borwasser	Orthoborsäure-Lösung
Backpulver	Natriumhydrogencarbonat • Dinatriumdihydrogen-diphosphat	Blausäure	Hydrogencyanid, HCN
Barytwasser	Bariumhydroxidlösung	Bernstein-säure	1,4-Butandisäure (Salze: Sukzinate)
Berliner Blau	Eisen-hexacyanoferrat-II,III		

Trivialname, A-Z	Systematischer Name (IUPAC)	Trivialname, A-Z	Systematischer Name (IUPAC)
Bleichsalz, -lauge	Natriumhypochlorit(-lösung)	Kupfervitriol Lachgas	Kuper-II-sulfat-hydrat, CuSO₄ Distickstoffmonoxid, N ₂ O
Bleiglätte	Blei-II-oxid, PbO	Laurinsäure	<i>n</i> -Dodecansäure, C ₁₁ H ₂₃ COOH
Bleiglanz, Galenit	Blei-II-sulfid, PbS	Malerweiß, Schwerspat,	Bariumsulfat, BaSO₄ / auch: Baryt
Bleiweiß	Blei-II-hydroxid-carbonat	Magnesia	Magnesiumoxid, MgO
Bleizucker	Blei-II-azetat, Pb(CH ₃ COO) ₂	Maleinsäure	(Z)-2-Butendisäure
Chromgrün	Chrom-III-oxid, Cr₂O₃	Malonsäure	1,3-Propandisäure
Eisenvitriol	Eisen-II-sulfat-hydrat, FeSO₄	Mennige	Blei-II,IV-oxid, Pb ₃ O ₄
Essigsäure	Ethansäure, CH₃COOH	Mesitylen	1,3,5-Trimethylbenzol
Ether	Diethylether, (C₂H₅)₂O	Milchsäure	2-Hydroxypropansäure
Ethylazetat	Essigsäureethylester	<i>Mohr'sches Salz</i>	Ammoniumeisen-II-sulfat-hydrat
Ethylen	Ethen, C₂H₄	Natron	Natriumhydrogencarbonat
(Ethylen-) Glykol	Ethandiol-1,2	Natronlauge	Natriumhydroxidlösung
Fixiersalz	Natriumthiosulfat-hydrat	Natronsalpeter	Natriumnitrat, NaNO ₃
Flussspat	Kalziumfluorid, CaF ₂	Nickelvitriol	Nickel-II-sulfat-hydrat
Flusssäure	Fluorwasserstoffsäure, HF	Önanthsäure	<i>n</i> -Heptansäure, C ₆ H ₁₃ COOH
Formaldehyd	Methanal, HCHO	Oxalsäure	Ethandisäure, HOOC-COOH
Gebrannter Kalk	Kalziumoxid, CaO	Palmitinsäure	<i>n</i> -Hexadecansäure
Gelöschter Kalk	Kalziumhydroxid, Ca(OH)₂	Patina	Kupfer-II-azetat-hydroxid
Gips	Kalziumsulfat, CaSO₄	Per	Tetrachlorethen, C ₂ Cl ₄
Glaubersalz	Natriumsulfat-hydrat, Na ₂ SO ₄	Pottasche	Kaliumcarbonat, K₂CO₃
Glykolsäure	2-Hydroxyethansäure	Propionsäure	Propansäure, C ₂ H ₅ COOH
Glyzerin	Propantriol-1,2,3	Quarz	Siliziumdioxid, SiO₂
Glyzin	2-Aminoethansäure	Rost	Eisen-III-oxid-hydroxid, FeOOH
Grünspan	Kupferazetat-hydroxid	Salmiakgeist	Ammoniakwasser, NH₄OH
Harnstoff	Kohlensäurediamid, (NH ₂) ₂ CO	Salmiaksalz	Ammoniumchlorid, NH₄Cl
Hirschhornsalz	Ammoniumhydrogencarbonat, NH ₄ HCO ₃	Salpeter	Kaliumnitrat, KNO₃
Höllenstein	Silbernitrat, AgNO ₃	Salzsäure	Chlorwasserstofflösung, HCl_(aq)
Iodtinktur	Ethanolische Iodlösung	Scheidewasser	Salpetersäure, HNO ₃
Kalialaun	Kaliumaluminiumsulfathydrat	<i>Seignettesalz</i>	Kaliumnatriumtartrat
Kalilaug	Kaliumhydroxidlösung	Soda	Natriumcarbonat(-hydrat)
Kalk	Kalziumhydroxid, Ca(OH)₂	Speisesalz	Natriumchlorid, NaCl
Kalksalpeter	Kalziumnitrat, Ca(NO ₃) ₂	Stearinsäure	<i>n</i> -Octadecansäure, C ₁₇ H ₃₃ COOH
Kalkmilch	Kalziumhydroxidsuspension	Styrol	Ethenylbenzen, -ol, C₆H₅-C₂H₃
Kalkwasser	Kalziumhydroxidlösung	Sublimat	Quecksilber-II-chlorid, HgCl ₂
Knallsilber	Silberfulminat, AgCNO	Sulfanilsäure	4-Aminobenzolsulfonsäure
Kochsalz	Natriumchlorid, NaCl	Tetra	Tetrachlormethan, CCl ₄
<i>para</i> -Kresol	4-Methyl-1-hydroxybenzol	Titanweiß	Titan-IV-oxid, TiO₂
		Toluol, Toluol	Methylbenzol, C₆H₅CH₃
		Tonerde	Aluminiumoxidhydroxid
		Weinsäure	2,3-Hydroxybutandisäure
		Weinstein	Kaliumhydrogentartrat

Trivialname, A-Z	Systematischer Name (IU-PAC)	Trivialname, A-Z	Systematischer Name (IUPAC)
Valeriansäure	Pentansäure, $C_5H_{11}COOH$	Zinnstein	Zinn-IV-oxid, SnO_2
<i>ortho</i> -Xylol	1,2-Dimethylbenzen, -ol	Zitronensäure	2-Hydroxypropan-1,2,3-Tricarbonsäure
Zinkblende	α -Zinksulfid, ZnS		
Zinkvitriol	Zink-II-sulfat-hydrat, $ZnSO_4$	Zyankali	Kaliumcyanid, KCN
Zinnober	Quecksilber-II-sulfid, HgS		

4.3 chemische Formeln

Chemische Formeln sind Symbole für chemische **Verbindungen**.

Sie geben an, welche Sorten von Atomen miteinander verbunden sind (**Elementsymbole**: H, He, C, N usw.) und in welchem Stoffmengen- bzw. **Atomzahlenverhältnis** sie zueinander stehen ,

Beispiele: $H : O = 2 : 1$ in H_2O oder $H : S : O = 2 : 1 : 4$ in Schwefelsäure, H_2SO_4 .

- **Summenformeln** geben Atomzahlenverhältnisse der Elemente in einer Verbindung an (Beispiel: C_2H_2)
- **Strukturformeln** zeigen an, wie die Atome in einem Molekül miteinander verbunden sind (Beispiel: $H-C \equiv C-H$).

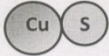
4.3.1 Summenformeln

Summenformeln sind Symbole für Stoffe (Reinstoffe: Elemente und Verbindungen) aus:

1. Elementsymbolen (für die Atomsorten, aus denen die Verbindung besteht) und
2. tiefgestellten, kleinen Zahlen (für die Zahlenverhältnisse, in denen sich die Atome verbinden), den Atommultiplikatoren, hinter den Elementsymbolen stehend).

Hinweis: Beispiele siehe Folgeseite; elementare Gase sind zweiatomig (Ausnahme: Edelgase), da sich ihre Atome miteinander verbinden (Beispiele: Sauerstoff O_2 , Chlor Cl_2 , Wasserstoff H_2 , Iod(dampf) I_2 , Stickstoff N_2).

Atomverbände und ihre Formelzeichen



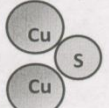
Kupfer(I)-sulfid



Wasser



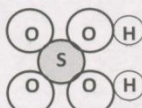
Pyrit



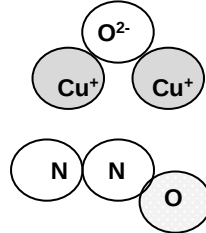
Kupfer(II)-sulfid



Sauerstoff-
molekül

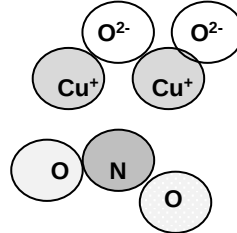
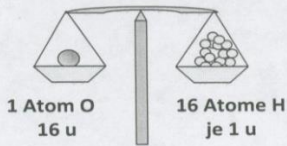
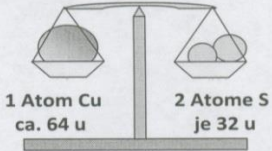
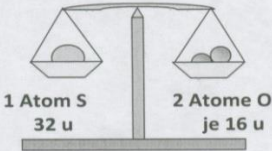


Schwefelsäure-
molekül



Im Teilchenmodell
Kupfer-I-oxid Cu_2O
und Distickstoff-
monoxid N_2O

Daltons Massevergleich für Atome



Im Teilchenmodell zwei Verbände
Kupfer-II-oxid 2CuO und ein
Molekül Stickstoffdioxid NO_2 . Im
Unterschied zum Kupfer(I)-oxid
(Ladungszahl +I im Cu^{1+} und
Stoffmengenverhältnis 2 : 1) ist
das Kupfer im schwarzen
Kupfer(II)-oxid zweifach positiv
geladen (Stoffmengenverhältnis
1 : 1, Formel also CuO).

Abbildungen: Über die Atomzahlenverhältnisse in den Atomverbänden und die hieraus gebildeten Summenformeln (Verhältnisformeln, oben und rechts unten) sind Vergleiche der Masse der Atome möglich (unten links). So kommt man auf die Größen „Masse“ m und „Stoffmenge“ n (vgl. Grundgesetze der Chemie, Bildquellen zu dieser Seite: eig. Werk).

4.4 Reaktionsgleichungen

Reaktionsschemen stehen für Stoffumwandlungen (**Reaktionen**) und bestehen aus:

- Formeln der Ausgangsstoffe (**Edukte**),
- **Reaktionspfeil** („reagiert zu“),
- Formeln der Endstoffe (**Produkte**) und
- ggf. vor den Formeln stehenden **stöchiometrischen Koeffizienten** (Große Zahlen für die Anzahl der Moleküle, Stoffmengenverhältnisse oder Atomverbände, in denen die Stoffe reagieren).

Reaktionsgleichungen geben folgende Auskünfte:

- welche Stoffe miteinander zu welchen Produkten reagieren (qualitativ, Formeln der Stoffe)
- über die Stoffmengenverhältnisse dieser Reaktionen (quantitativ, stöchiometrische Faktoren).

Erstellung von Reaktionsschemen in zwei Schritten:

- 1) Erstellen der **Formeln** der Ausgangsstoffe (links vom Reaktionspfeil) und der Produkte (rechts)
- 2) Ausgleichen der Anzahl der Atome durch Voransetzen großer Zahlen (stöchiometrische **Koeffizienten/Faktoren**; bei Redoxreaktionen: ggf. Teilgleichungen für Elektronenabgabe = Oxidation und für Elektronenaufnahme = Reduktion).

Beispiel 1: Aluminiumverbrennung

Ausgangsstoffe: Aluminium und Sauerstoff (O_2),

Produkt: Aluminiumoxid (Al_2O_3)

Ansatz: $x \text{ Al} + y \text{ O}_2 \rightarrow z \text{ Al}_2\text{O}_3$

Oxidation: $\text{Al} \rightarrow \text{Al}^{3+} + 3 \text{ e}^-$ (• 4)

Reduktion: $\text{O}_2 + 4 \text{ e}^- \rightarrow 2 \text{ O}^{2-}$ (• 3)

$y = 3, z = 2$

Lösung: Redox: $4 \text{ Al} + 3 \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ Al}_2\text{O}_3$

Beispiel 2: Eisenoxid-Reduktion mit Wasserstoffgas

Oxidation (Elektronenabgabe): $\text{H}_2 \rightarrow 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$ (• 3)

Reduktion (Elektronenaufnahme): $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{Fe} + 3 \text{O}^{2-}$

Redox (Gesamtreaktion): $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{H}_2 \rightarrow 2 \text{Fe} + 3 \text{H}_2\text{O}$

Vorgehensweise beim Erstellen von Reaktionsschemen

Nr.	Vorgehensweise, Arbeits- und Rechenschritt
1	Die Formeln der Edukte links formulieren, dann den Reaktionspfeil $\rightarrow$ und rechts vom Pfeil die Formeln der Produkte
2	Vervollständigung des Schemas durch Voranstellen großer, ganzer Zahlen (Koeffizienten) so, dass auf beiden Seiten des Schemas von jeder Atomsorte gleichviele Atome stehen (Rechenhilfe: das Kleinste gemeinsame Vielfache, kgV – wie beim Erstellen der Formeln)
3	Überprüfung der Anzahl der Atome rechts und links des Reaktionspfeiles auf gleiche Anzahl pro Atomsorte: $\text{kgV} \approx$ Produkte aus den Atomindizes (kleine Zahlen, tief) und den stöchiometrischen Faktoren (große Zahlen VOR den Formeln)

Beispiel: Bei der Knallgasreaktion verbinden sich Wasserstoff H_2 und Sauerstoff O_2 im Volumen- und Stoffmengenverhältnis 2 : 1 zu Wasserdampf H_2O :

Wasserstoff + Sauerstoff $\rightarrow$ Wasser(stoffoxid)

Aus zwei Litern Wasserstoffgas und 1 Liter Sauerstoffgas werden nach der Explosion und Abkühlung (ohne Kondensation zu flüssigem Wasser) ziemlich genau zwei Liter Wasserdampf.

Die Reaktionsgleichung in Formeln ist:

$2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$ (und nicht: $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$).

Diese Gleichung **$2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$** sagt aus:

2 Mol H_2 + 1 Mol $\text{O}_2 \rightarrow$ 2 Mol H_2O

2 Liter H_2 -Gas + 1 Liter O_2 -Gas $\rightarrow$ 2 Liter H_2O -Dampf (Gas)

2 Moleküle H_2 + 1 Molekül $\text{O}_2 \rightarrow$ 2 Moleküle H_2O

4.5 Stoffeigenschaften ausgewählter Reinstoffe

4.5.1 Anorganische Verbindungen von A bis Z, nach Formeln

Hinweise zu den folgenden Stoffdaten-Tabellen:

- Allgemeine stoffspezifische Konstanten (spezifische Eigenschaften, über die ein Stoff analytisch identifiziert werden kann)
- Anordnung der Stoffe alphabetisch nach ihren Summenformeln, den Elementen folgend
- Verwendete Kürzel:

<i>M</i>	molare Masse (g/mol),
<i>w</i>	Massenanteil des Metalles (oder elektropositiveren, in der Formel links stehenden Elementes) in der Verbindung (in Masse-%),
ρ	Dichte in g/ cm ³ bei $\vartheta = +20^{\circ}\text{C}$,
ϑ_{m}	Fusions-/Schmelztemperatur in $^{\circ}\text{C}$ (auch: Fp., Smp./Schmelzpunkt, <i>melting point</i>),
ϑ_{b}	Kondensations-/Siedetemperatur in $^{\circ}\text{C}$ (auch: Kp., Sdp./Siedepunkt, <i>boiling point</i>),
<i>L</i>	Löslichkeit in Wasser (wenn nicht anders angegeben in g/100 g bei $\vartheta = +20^{\circ}\text{C}$, gerundet),
$w_{\text{Lsg.}}$	Massenanteil der gesättigten Lösung (bei $\vartheta = +20^{\circ}\text{C}$, in Masse-%),
$\rho_{\text{Lsg.}}$	Dichte der gesättigten Lösung (bei $\vartheta = +20^{\circ}\text{C}$ in g/L),
<i>z.</i>	Zersetzung, Subl. = Sublimation,
n_{D}^{20}	Brechzahl bei refraktometr. Bestimmung (bei $\vartheta = +20^{\circ}\text{C}$ und $\lambda = 589,3 \text{ nm}$ = Na-D-Linie) des Kristalles (bei Feststoffen) oder der Flüssigkeit (bei $w = 100\%$)
fbl.	farblos, sw. schwarz, org. orange, h. hell, dkl. dunkel, vi. violett, br. braun,
Halbl.	Halbleitermaterial, fl. flüssig, w.-frei wasserfrei, hydr. hygroskopisch (z. T. angegeben)

* Zusatzinformationen bei Säuren und Basen: Name der Säure bzw. Lauge oder Base und ggf. der Säureanionen, α = Dissoziationsgrad in % , K_{S} und / oder $\text{p}K_{\text{S}}$ –Wert in 1. Dissoziationss-Stufe = Maß für die Säurestärke, K_{B} und / oder $\text{p}K_{\text{B}}$ -Wert in 1. Dissoziationss-Stufe = Maß für die Basenstärke

Anorganische Verbindungen von A bis Z, nach Formeln

Formel	<i>M</i> (g/mol)	<i>w</i> (%)	ϑ_n (°C)	ϑ_b (°C)	ρ (g/ cm ³)	<i>L</i> (g/ 100g H ₂ O)	<i>w</i> _{sg} (%) / ρ _{sg} (g/L) / <i>n</i> ²⁰ _D (oder Farbe)
Ag	107,868	100	961,9	1945	10,49	0	Silber
AgBr	187,772	57,446	430	z. 700	6,470	8,4•10 ⁻⁶	57,446 / - / fbl.
AgCl	143,323	75,263	455		5,560	1,6•10⁻⁴	1,6•10⁻⁴ / - / fbl.
AgI	234,773	45,946	558	1506	5,690	2,5•10 ⁻⁷	45,946 / - / h.-gelb
AgNO ₃	169,875	63,4275	212	z. 444	4,352	219,2	68,2/ 2180 / fbl.
Ag ₂ O	231,74	93,096	z.	z.	7,143	0,0016%	1,6•10 ⁻³ / - / sw.
Ag ₂ S	247,804	87,060	837	z≈900	7,31	1,310 ⁻⁵	1,3710 ⁻⁵ / - / sw.
Al	26,9815	100	660,4	≈2500	2,699	0	Aluminium
AlBr ₃	266,709	10,116	+97,5	257	3,205	Reagiert	- / - / hellgelb
Al ₄ C ₃	143,96	74,970	2230	>3000	2,36	Reagiert	- / - / goldgelb
AlCl ₃	133,341	20,235	+183	Subl.	2,44	Reagiert	31,6/- / hellgelb
AlCl ₃ • 6 H ₂ O	241,432	11,176	Subl. +183	Subl. +183	1,66	45,6 g/100g	31,6%/-fbl. / <i>n</i> ²⁰ _D = 1,560, pH<7
AlN	40,99	65,828	>2400	z.	3,09	Reagiert	- / - / <i>n</i> ²⁰ _D = 2,13
Al₂O₃ (α)	101,96	52,925	2050	≈3000	4,050	≈10⁻⁴	- / - / <i>n</i>²⁰_D = 1,76
Al(OH) ₃	78,036	34,590	z. 300	z.	3,98	≈10 ⁻⁴	- / - / fbl. (weiß)
AlPO ₄	121,953	22,13	2000	z.	2,56	0	<i>n</i> ²⁰ _D = 1,524
Al ₂ (SO ₄) ₃	342,148	15,77	z. 960	z. 960	2,71	36,44	26,9 / 1308 / fbl.
Al₂(SO₄)₃ • 18 H₂O	666,424	8,097	z.86,5 - H₂O	z.	1,483	36,44	26,9 / 1308 / <i>n</i>²⁰_D = 1,483
As	74,9216	100	613	Subl.	5,72	0	Arsen
AsH ₃	77,9455	76,121	-117	-62,5	0,00363	Gering	hochtoxisch
As ₂ O ₃	197,84	75,739	312	457,2	3,86	9,4•10 ⁻²	39,70 / toxisch
As ₂ S ₃	246,04	60,90	312	707	3,43	5,17•10 ⁻⁵	- / 5,17•10 ⁻⁵ /Halbl.
As ₂ S ₂	310,163	53,88	307	565	3,51	0	
Au	196,966	100	1064	2677	19,30	0	Gold
AuCl ₃	303,326	64,936	z. 254	z. 254	4,67	68,0	- / - / dunkelrot
B	11,81	100	2300	≈2550	2,350	0	Bor
B ₄ C	55,26	BC:47,4	2470	>3500	2,520	0	Hartwerkstoff
BCl ₃	117,17	9,23	-107	+12	fl.:1,434	Reagiert	Als Gas farblos
BF ₃	67,805	15,94	-128	84,6	0,0028	Reagiert	- / - / fbl.
B ₂ H ₆	27,67	78,14	-165	-92,5	≈0,0011	Reagiert	- / - / fbl., Diboran
BN	∞ bzw. 24,82	43,56	2230, subl.	2230, subl.	2,18	0 (bei +100°C z.)	- / - / fbl. (weiß), Halbleiter
B ₂ O ₃	96,620	31,06	580	z.	1,840	2,2 hydr.	2,15 / - / fbl.
Ba	137,327	100	725	1638	3,650	0	Barium
BaCO ₃	197,37	69,590	z. >1300	z.	4,43	2,2•10 ⁻³	1,71 / - / 2,2 • 10 ⁻³ Mineral: Witherit
BaCl₂	208,25	65,946	955	1562	3,888		26,3 / 1280 / fbl.

Formel	M (g/mol)	w (%)	ϑ_m (°C)	ϑ_b (°C)	ρ (g/cm ³)	L (g/100g H ₂ O)	$w_{\text{Lsg.}}(\%) / \rho_{\text{Lsg.}}(\text{g/L}) / n_{\text{D}}^{20}$ (oder Farbe)
BaCl ₂ • 2 H ₂ O	244,28	56,221	z.	z.	3,090	35,7 g/100g	26,3 / 1280 g/L / fbl., $n_{\text{D}}^{20} = 1,635$
BaCrO ₄	253,33	54,211	≈1400	z.	4,490	$3,7 \cdot 10^{-4}$	$3,7 \cdot 10^{-4}$ / - / gelb
Ba(NO ₃) ₂	261,35	52,248	z. 592	z.	3,24	9,06	8,3% / 1069,1 g/L
BaO	153,34	89,565	2015	>2500	5,685	3,48	- / - / Halbl. hgelb
Ba(OH) ₂	171,36	80,148	408	z.	2,2	4,7	3,36 / 1040 / fbl., $\alpha = 0,69$ (69%)
Ba(OH) ₂ • 8 H ₂ O	315,5	43,532	+78	z. 103	2,2	3,48	3,36 / 1040 / fbl., $\alpha = 0,69$ (69%)
BaS	169,42	81,071	2227	z.	4,25	0,7	7,0 / - / Halbl. Fbl.
BaSO ₄	233,43	58,840	1350	z. >1400	4,48	0,00025	Mineral: Baryt, Schwerspat
Bi	208,980	100	271,3	1559	9,80	0	Bismut
Bi(NO ₃) ₃ • 5 H ₂ O	485,07	43,082	z. 75	z.	2,83	Reagiert: BiO(NO ₃)	- / - / fbl.
Bi ₂ O ₃ (α)	465,96	89,699	825	860	8,64		$1,4 \cdot 10^{-4}$ / - / ocker
Bi ₂ S ₃	514,15	81,29	> 763	z.	6,78	$1,8 \cdot 10^{-5}$	Wismutglanz
C (Diam.)	12,0107	100	3550	Subl.	3,510	0	Kohlenstoff
CBR ₄	331,63	36	+90,1	+102	3,42	0,024	- / - / fbl.
CCl ₄	153,8	7,808	- 23	+77	1,6	0	fbl., kanzerogen
CF ₄	88,01	34	-183,4	128	0,0037		Lösl.: 0,0038 L Gas/ kg H ₂ O
CO	28,01	42,881	-205	-191	0,00117	0,0029	Lösl.: 0,0227 L Gas/kg H ₂ O, tox.
CO ₂	44,0	27,299	-78 Subl.	-78 Subl.	0,00185	0,173	Lösl.: 0,059 L Gas/kg H ₂ O
COCl ₂	98,917	12,143	-126	+8,2	1,392	Reagiert	"Phosgen"
CS ₂	76,139	15,777	-112,1	+46,2	1,2705	0,17	$n_{\text{D}}^{298\text{K}} = 1,62761$
Ca	40,078	100	839	1487	1,54	Reagiert	Calcium, Kalzium
CaC ₂	64,10	62,53	2160	z. 2300	2,22	Reagiert zu C ₂ H ₂	- / - / $n_{\text{D}}^{20} > 1,75$ fbl.
CaCO ₃	100,09	40,04	z. 899	z.	2,94	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$ / - / fbl.
CaCO ₃ (•6H ₂ O)	208,2	< 40	z.	z.	1,8	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$ / - / fbl. Kalk, Marmor
CaC ₂ O ₄	128,10	31,29	z. 235	z.	> 2,20	0,1238	- / - / fbl., Oxalat
CaC ₂ O ₄ • H ₂ O	146,12	27,43	z. 135	z.	2,20	$5,1 \cdot 10^{-4}$	- / - / fbl., Oxalat, $n_{\text{D}}^{20} = 1,4900$
CaCl ₂	110,99	36,11	777	>1600	1,71	2,15	42,7% / hygr.
CaCl ₂ • 6 H ₂ O	219,08	18,2	+ 29,9	z.	1,71	74,53	42,7% / 1430 g/L / $n_{\text{D}}^{20} = 1,5504$

Formel	M (g/mol)	w (%)	ϑ_m (°C)	ϑ_b (°C)	ρ (g/ cm ³)	L (g/ 100g H ₂ O)	$w_{\text{Lsg.}}(\%) /$ $\rho_{\text{Lsg.}}(\text{g/L}) / n_{\text{D}}^{20}$ (oder Farbe)
CaF ₂	78,08	51,33	1390	2500	3,18	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-30} / - / -$
CaH ₂	42,10	95,21	+ 816	z.	1,90	Reagiert	- / - / grauweiß
CaI ₂	293,90	13,64	740	1100	3,95	Gut lösl.	- / - / fbl., hygr.
CaO	56,08	71,47	2927	3570	3,40	Reagiert	0,17% / 1001/ fbl.
Ca(OH) ₂ (Hydroxid Ätzkalk)	74,09	54,09	z. 450 - 580	z.	2,230	0,1738	0,17% / 1001/ fbl. $K_{\text{Diss}} = 3,74 \cdot 10^{-3}$, $\alpha < 0,9$, Portlandit
CaS	72,14	55,56	2525	z.	2,58	$\approx 0,1$	0,1 / - / fbl.-hgelb
CaSO ₄	136,14	29,44	1570	z.	2,96		0,204 % / 1001/fbl.
CaSO ₄ • 2 H ₂ O	172,17	23,38	z. 128	z.	2,32	0,2036	0,204 % / 1001 / Gips, Marienglas
Cd	112,411	100	320,9	767	8,640	0	Kadmium
CdS	144,4	77,81	980	>1750	4,820	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4} / - /$ gelb
CdSO ₄	208,47	53,92	1135	z.	4,700	76,9	43,5 / - / fbl., tox.
Cl (Gas: Cl ₂)	35,453 (70,96)	100	-100,5	-34,6	0,003	1,85 g/100 g	Chlor / hgrün, $\rho^{34^\circ\text{C}} = 1,57$ g/mL
Co	58,9332	100	1495	3185	8,76	0	Kobalt, Cobalt
CoCl ₂	129,8	45,389	724	1049	3,367	51,0	34,9% / - / blau
CoCl ₂ • 6 H ₂ O	237,931	24,769	z. 86	z.	1,924	56	34,9% / - / rot, in Alkoh. tiefblau
Co(NO ₃) ₂ • 6 H ₂ O	291,04	20,250	+56	z.	1,87	102	51,0 / - / orange- rot, w.-frei rosa
CoS	91,00	64,77	>1116	z.	5,45	$3,79 \cdot 10^{-4}$	$3,79 \cdot 10^{-4} \%$ / - / sw.
CoSO ₄ • 7 H ₂ O	281,102	20,97	+96,8	z.	1,948	36,26	25,93 % / - / rot, $n_{\text{D}}^{20} = 1,477$
Cr	51,9961	100	1857	2317	7,14	0	Chrom
Cr ₂ (SO ₄) ₃ • 18 H ₂ O	716,452	14,52	z. 100	z.	1,860	Gut löslich	54,5 % / - / blau- violett
Cr ₂ O ₃	151,99	68,420	2275	4000	5,21	0	- / - / Chromgrün
Cu	63,546	100	1083	2595	8,92	0	Kupfer (<i>copper</i>)
CuBr	143,45	44,298	486	1343	4,98	Gering	- / - / hellgelb
CuBr ₂	223,31	28,451	498	900	4,77	Gut lösl.	56,0 / - / grau-sw.
Cu(CH ₃ - COO) ₂ • H ₂ O	181,63	31,828	115	z. 240	1,882	Gut lösl.	6,79 / - / blau, $n_{\text{D}}^{20} = 1,545$ Kupfer-II-Azetat
CuCO ₃ • Cu(OH) ₂	221,12	57,478	z. 200	z.	4,0	0	
CuCO ₃	125,35	≈ 51	z.	z.	3,88	0	- / - / türkis
CuCl	99,00		423	1490	4,14	1,52	1,497 % / - / fbl.
CuCl ₂	134,4	47,263	628	z. 993	3,382	Hygr.	42,2% / 1550g/L / gelbgrün

Formel	<i>M</i> (g/mol)	<i>w</i> (%)	ϑ_m (°C)	ϑ_b (°C)	ρ (g/ cm ³)	<i>L</i> (g/ 100g H ₂ O)	<i>w</i> _{sg} (%) / ρ_{sg} (g/L) / <i>n</i> ²⁰ _D (oder Farbe)
CuCl ₂ • 2 H ₂ O	170,48	37,274	z. 100	z.	1,98	77,0	42,2% / 1550g/L / Hellblau mit grünem Stich
CuI	190,451	33,366	605	1290	5,62	Gering	4,3•10 ⁻⁴ % / fbl.
Cu₂O	143,08	88,819	1235	1800	ca. 6,0	0	- / - / rot
CuO	79,57	79,886	1326	z.	6,45	1,5•10⁻⁴	- / - / sw., Halbl.
Cu(OH) ₂	97,56	65,139	z. +70	z.	3,93	5,3•10 ⁻⁵	- / - / türkisblau
Cu(OH) ₂ • 2 CuCO ₃	344,671	55,310	z. 220	z.	3,77	0	- / - / Azurit, Kupferlasur
Cu₂S	159,15	79,85	1127	z.	5,6	1,9•10⁻¹³	- / - / Hbl., Chalkosit, grausw.
CuS	95,61	66,46	z. 507	z.	4,671	3,3•10⁻⁵	3,3•10⁻⁵ % / - / Kupferindig, sw.
CuSO₄ • 5 H₂O	249,68 (w.-frei: 159,61)	25,45 (w.-frei: 39,82)	z.	z.	2,284 (w.-frei: 3,606)	20,77	16,9 % / - / blau, Kupfervitriol, <i>n</i>²⁰_D = 1,541
Fe	55,845	100	1535	2730	7,87	0	Eisen (Iron)
Fe ₃ C	179,55	93,311	1148	z.	7,694	0	Zementit, grau
FeCO ₃	115,856	28,508	z.	z.	3,850	0	6,7•10 ⁻³ %/ Siderit
FeCl ₂ • 4 H ₂ O	198,82	198,82	677	1012	1,93	62,35	38,4% / - / grün
FeCl ₃	162,206	34,430	304	319	2,80		47,9% / 1520 / -
FeCl ₃ • 6 H ₂ O	270,298	20,661	+ 37	z.	2,90	91,94	47,9% / 1520 / gelb, hydr., pH<7
FeO	71,846	77,731	1369	3414	5,745	0	- / - / sw.
Fe₂O₃	159,69	69,943	1457	z.	5,25	0	rot,Hämatit,Halbl
Fe₃O₄	231,54	72,360	1594		5,18	0	Blausw.,Magnetit
Fe(OH) ₂	89,866	62,148	z.	z.	3,40		fbl., wird hgrün
Fe(OH) ₃	106,869	52,257	z. 500	z.	3,12		4,8 • 10 ⁻⁹ % / - / br.
FeS	87,91	63,53	1190	z.	4,74	6,16•10 ⁻⁴	6,1•10 ⁻⁴ % / - / sw.
FeS ₂	119,98	46,55	z. 743	z.	5,00	5•10 ⁻⁴	5•10 ⁻⁴ % / - / Halbl
Fe(SCN) ₃	230,093	≈ 21	z.	z.		Gut lösl.	- / - / blutrot
FeSO ₄	151,909	36,77	z. 671	z.	3,0	29,5	20,21% / 1225 g/L / fbl. bis hgrün
FeSO₄ • 7 H₂O	278,0	20,09	z. 64	z.	1,891	26,58 hydr.	20,21% / 1225 / grün, <i>n</i>²⁰_D=1,4713
Fe ₂ (SO ₄) ₃	399,88	27,93	1178	z.	3,097	Lösl.	Hrosa bis hgrün
Ga	69,723	100	29,8	2227	5,91	0	Gallium
GaAs	144,64	< 68	1240	>2000	5,317		Halbl., dkl.grau

Formel	<i>M</i> (g/mol)	<i>w</i> (%)	<i>g_m</i> (°C)	<i>g_b</i> (°C)	<i>ρ</i> (g/cm ³)	<i>L</i> (g/100g H ₂ O)	<i>w_{lsg.}</i> (%) / <i>ρ_{lsg.}</i> (g/L) / <i>n_D²⁰</i> (oder Farbe)
H	1,00794	100	-259	-252,9	8•10 ⁻⁵	0,00016	Wasserstoff
H ₃ BO ₃ (Bor-säure)	61,833	<i>w</i> (B) = 17,48	z. 185	z.	1,435 fest	5,042 / p <i>K_s</i> =9,23	4,8 % / 1015 g/L / <i>K_s</i> = 5,8•10 ⁻¹⁰ , <i>α</i> = 0,0001
HBr (Brom-wasser-stoff)	80,912	<i>w</i> (Br) = 98,754	-86	-66	3,644	183,93 / p <i>K_s</i> = -9	<i>K_s</i> = 10 ⁹ , <i>α</i> = 0,899 (= 89,9%),
HCN (Hydrogen-cyanid)	27,0	<i>w</i> (C) = 44,442		+26	0,7	beliebig / p <i>K_s</i> = 9,31	Blausäure, Salze: Cyanide/ <i>α</i> =10 ⁻⁴ , <i>K_D</i> = 4,7•10 ⁻¹⁰
H ₂ CO ₃ = CO ₂ • H ₂ O	62,025	<i>w</i> (C) = 19,365	z.	z.	nur in Lösung.	gering / p <i>K_s</i> = 6,37	Kohlensäure, <i>α</i> =0,0017, <i>K_s</i> = 4,31•10 ⁻⁷
HCl (Salz-säure)	36,461	<i>w</i> (Cl) = 97,236	-114,2	-85	1,54 • 10 ⁻³	1,85 (=720 g/L)	40 % / 1198,0 / Salze: Chloride
HClO ₃ (Chlor-säure)	84,459	<i>w</i> (Cl) = 41,976	z.	z.	1,3	sehr gut löslich, p <i>K_s</i> = -10	- / - / <i>α</i> = 0,878, Salze: Chlorate, <i>K_s</i> = 10 ¹⁰ mol ² /L ²
HClO ₄ (Perchlor-säure)	100,46	<i>w</i> (Cl) = 35,291	z.	z.	1,764	trocken explosiv / p <i>K_s</i> = 0,18	- / - / <i>α</i> = 0,88, Salze: Perchlor- rate
HF (Fluss-säure)	20,006	<i>w</i> (F) = 94,962	-83,36	19,46	0,958	Beliebig / p <i>K_s</i> = 3,45	100% / - / <i>α</i> = 0,018, <i>K_s</i> = 3,7•10 ⁻⁴
HI (Iod-wasser-stoff)	127,912	<i>w</i> (I) = 99,212	-50,8	-35,4	0,00579	425 L Gas/ L, p <i>K_s</i> = -11	- / - / <i>α</i> = 0,901, <i>K_s</i> = 10 ¹¹ , Lösung. oxidiert leicht
HI O ₃ (Iod-säure) / I ₂ O ₅	175,911 / 333,806	<i>w</i> (I) = 72,141 / 76,035	z. / z. 300	z. / z.	4,65 / 5,08	269,0 / Reagiert	72,9% / <i>α</i> ≈ 0,9, <i>K_s</i> = 1,7•10 ⁻¹ , Salze: Iodate
HNO ₂ / N ₂ O ₃	47,013 / N ₂ O ₃ : 76,01	<i>w</i> (N) = 29,793 / 36,854	N ₂ O ₃ : -102	N ₂ O ₃ : z. + 3,5	HNO ₂ nur in Lösung.	(Unbe- ständig)	Salpetrige Säure, Salze: Nitrite, p <i>K_s</i> = 4,6•10 ⁻²
HNO ₃ (Salpeter-säure) / N ₂ O ₅	63,013 / 108,010	<i>w</i> (N) = 22,228 / 25,936	-47 / + 30	+ 86 / z. +47	1,52 / -	Beliebig) / p <i>K_s</i> = -1,32	100% / 1512,9 / IUAC: Stickstoff-V- säure, Salze: Nitrate, <i>α</i> = 0,82 , <i>K_s</i> > 1,2

Formel	M (g/mol)	w (%)	ϑ_m (°C)	ϑ_b (°C)	ρ (g/ cm ³)	L (g/ 100g H ₂ O)	$w_{\text{Lsg.}}(\%)$ / $\rho_{\text{Lsg.}}(\text{g/L})$ / n_D^{20} (oder Farbe)
H ₂ O	18,015	$w(\text{O}) = 11,189$	0,00	100,0	0,99821	- (pK _s =7,0)	100 % / 998,205 / $n_D^{20} = 1,333$
D ₂ O	20,0276	$w(\text{O}) = 16,66$	+ 3,81	101,4	1,106	-	100 % / 1014 / $n_D^{20} = 1,3284$
H ₂ O ₂	34,016	$w(\text{O}) = 5,9263$	- 0,41	150,2	1,448 sirupös	-	100% / 1448 / $n_D^{20}=1,4067$
H ₃ PO ₄	97,995	$w(\text{P}) = 31,607$	+42,4	z. 200	1,88	Beliebig	100 % / 1870 / ölig, $\alpha \approx 0,15$
H ₂ S (als Gas)	34,1	$w(\text{S}) = 94,12$	-85,6	-60,4	0,00154	0,3974 pK _s = 7,05	tox., $\alpha = 0,0007$, L 2,582 L Gas/kg
H ₂ SO ₃ = SO ₂ • H ₂ O	SO ₂ : 64,06	$w(\text{S}) = 39,06$	SO ₂ : -72,7	SO ₂ : -10,08	(insta- bil)	Nur in Lösung.	9,5 % / - / $\alpha = 0,13$, $K_s = 1,54 \cdot 10^{-2}$
H ₂ SO ₄ (Schwe- felsäure)	98,07	$w(\text{S}) = 32,69$	+10,4	332,5 (1,7% H ₂ O)	1,834	beliebig / hydr.	100 % / 1831 / ölig, $K_s = 1,2 \cdot 10^{-2}$, $\alpha = 0,51$ (51%)
H ₂ SeO ₄ (Selen-VI- säure)	144,97	$w(\text{Se}) = 54,47$	≈ 60	z. 260	2,619	13000, sehr hydr.	≈ 92,8 % / ≈ 2400 / $\alpha > 0,53$, Salze: Se- lenate, löst Au+Pt
H ₂ SiO ₃ = SiO ₂ • H ₂ O	138,13 (SiO ₂ = 60,1)	$w(\text{Si}) = 45,16$	z. 150 (SiO ₂ : 1550)	z. (SiO ₂ : 2590)	2,01 (Quarz: 2,648)	z. (SiO ₂ : 0,012)	Kieselsäure, Salze: Silikate, $K_{\text{Diss}} = 2,2 \cdot 10^{-10}$
Hg	200,59	100	- 38,8	356,6	13,55	0	Quecksilber
Hg ₂ Cl ₂	472,09	84,98	302	383,7	7,15	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$0,23 \cdot 10^{-3\%}$ / fbl.
HgCl ₂	271,50	73,88	276	302	5,44	6,61	6,2 % / 1052 / tox.
Hg(NO ₃) ₂ • H ₂ O	324,61	58,55	z. 70	z.	4,79	lösl.	6 % / - / fbl., tox., lichtempfindlich
Hg ₂ O	417,18	96,17	z.	z.	9,8	gering	Braunschwarz
HgO	216,59	92,61	z. 476	z.	11,14	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$ / - / rot
HgS	232,65	86,22	> 345 sw.	z. 825	sw.: 7,7 rot: 8,09	$1,25 \cdot 10^{-5}$	$1,25 \cdot 10^{-5}$ / Mine- ral Zinnober
I	126,904	100	113,5	Subl.	4,94	$2,2 \cdot 10^{-2}$	Iod (gasf. violett)
ICl	162,36	78,164	+ 27,3	z. 94,4	≈ 3,86	Reagiert	fl. rotbraun
IF ₅	221,9	57,191	+9,6	+98	3,252	Reagiert	tox., → HIO ₃ + HF
I ₂ O ₅	333,806	76,035	z. 300	z.	4,790	Reagiert	fbl., → HIO ₃
K	39,0983	63,34	63,3	775	0,862	Reagiert	Kalium
KAl(SO ₄) • 12 H ₂ O	474,390	8,24	+ 89	z.	1,750	6,01	5,67% / 1053 / fbl. (Kalialaun)
KBr	119,011	23,412	735	1435	2,75	65,85	39,7% / 1370 / fbl.
KBrO ₃	167,009	23,412	z. 434	z.	3,270	6,84	6,4 % / 1048 / fbl.

Formel	<i>M</i> (g/mol)	<i>w</i> (%)	<i>g_m</i> (°C)	<i>g_b</i> (°C)	<i>ρ</i> (g/cm ³)	<i>L</i> (g/ 100g H ₂ O)	<i>w_{lsg.}</i> (%) / <i>ρ_{lsg.}</i> (g/L) / <i>n_D²⁰</i> (oder Farbe)
K ₂ CO ₃	138,20	56,580	891	z.	2,428	111,5	52,8 / 1580 / fbl.
KCN	65,12	60,044	622	1625	1,52	72	40,4% / Zyankali
KCl	74,555	52,445	770	1405	1,980	34,24	25,5% / 1174 / fbl.
KClO ₃	122,55	31,904	370	z. 400	2,34	7,3	6,8% / 1042/ fbl., Kaliumchlorat
KClO ₄	138,55	28,220	526	z.	2,52		1,7 % / Perchlorat
K ₂ CrO ₄	194,20	40,269	985	z.	2,73	63,68	38,9% / 1378/ gelb
KCr(SO ₄) ₂ • 12 H ₂ O	499,42	7,83	+89	Zers.	1,83	24,4	≈6% / ≈ 1050 / Kalichromalaun
K ₂ Cr ₂ O ₇	294,21	26,581	396	z. 500	2,7	12,49	11,1% / 1077/ org.
KF	58,10	67,299	857	1505	2,481	48,0	Fbl., K.-fluorid
K ₃ [Fe-(CN) ₆]	329,25	35,625	z. 315	z.	1,86	46	31,51% / 1180 / Blutlaugensalz, rot
K ₄ [Fe-(CN) ₆] • 3H ₂ O	422,39	37,026	z.	z.	1,85	28,87	22,4% / 1160 / Blutlaugensalz, gelb
KHCO ₃	100,11	39,035	z. 200	z.	2,17	33,3	24,98 / 1180 / fbl.
KHC ₄ H ₄ O ₆	188,18	Tartrat: 20,777	z. 250	z.	1,954	0,4	Kaliumhydrogen- tartrat, racemisch
KHSO ₄	136,17	28,71	214	z.	2,322	51,4	33,95% / sauer
KI	166,0	23,523	685	1345	3,12	144,51	59,1% / 1710 / fbl.
KIO ₃	214,00	18,270	z. 560	z.	3,89	8,1	7,5% / 1064 / fbl.
KIO ₄	230,0	16,999	582	z.	3,62	0,42	0,418% / fbl.
KMnO ₄	158,038	24,740	z. 240	z.	2,703	6,43	6,0% / 1040/ dklviol
KNO ₂	85,11	45,942	z. 440	z.	1,915	298,4	74% / - / fbl.
KNO ₃	101,107	38,672	334	z.	2,109	31,66	24,1% / 1160 / fbl.
KO ₂	71,10		509	z.	2,158	Reagiert	gelb, Superoxid
K ₂ O	94,203	83,015	740	1300	2,320	Reagiert	fbl., K.-oxid
KOH	56,11 (w.-frei)	69,687	410 (w.-frei)	1327	2,044	111,88 g/100g (•2 H ₂ O)	52,8% / 1530 g/L / α= 0,77
KSCN	97,184	40,24	z. 172		1,886	218	68,55% / 1420 / -
K ₂ SO ₄	174,25	44,88	1069	1689	2,67	11,11	10,0 % / 1080,7 / -
Li	6,941	100	180,5	1370	0,53	Reagiert	Lithium
Li[AlH ₄]	37,94	18,288	z. 125		0,917	Reagiert	Li.-alanat, fbl.
LiBr	86,8	7,992	547	1265	3,464	177	61,5 % / ≈1290
Li ₂ CO ₃	73,887	18,787	461	732	2,110	1,33	1,54 % / fbl.
LiCl	42,39	16,373	610	1383	2,068	61,5	64 % / ≈1290
LiF	25,94	26,759	848	1717	2,64	0,27	0,27 % / - / fbl.
LiH	7,949	87,319	+ 680	z. 950	0,82	Reagiert	fbl.
LiI	133,84	5,1860	468,9	1176	4,06	hygr.	62,3 % / - / fbl.

Formel	<i>M</i> (g/mol)	<i>w</i> (%)	ϑ_m (°C)	ϑ_b (°C)	ρ (g/cm ³)	<i>L</i> (g/100g H ₂ O)	<i>w</i> _{lsg.} (%) / $\rho_{lsg.}$ (g/L) / <i>n</i> ²⁰ _D (oder Farbe)
Li ₂ O	29,88	46,457	1560	z.	2,013	Reagiert	- / - / fbl.
LiOH	23,95	28,983	462	z.	1,46	12,36	12,8 % / - / fbl.
Mg	24,3050	100	648,8	1105	1,74	Reagiert	Magnesium
MgBr ₂	292,25	13,201	711	1156	3,72	96,5	50,5 % / - / fbl.
MgCO ₃	84,32	28,827	z. 350	z.	2,950	1,1 • 10 ⁻²	Magnesit, fbl.
MgCl ₂	95,22	25,528	714	1420	2,316	35,2	35,3 % / 1331 / fbl
MgCl ₂ • 6 H ₂ O	203,310	11,955	z. 120	z.	2,316	hygr.	35,3 % / 1331 / fbl
Mg ₃ N ₂	100,955	72,244	1077	≥1500	2,712	Reagiert	- / - / grüngelb
MgO	40,31	60,304	2831	3600	3,576	6,2 • 10 ⁻⁴	- / Magnesia, fbl.
Mg(OH) ₂	58,3	41,676	z. 269	z.	2,4	7 • 10 ⁻⁴	
MgSO ₄	120,37	20,19	1127	z.	2,66	35,6	26,25 % / 1310 / -
MgSO ₄ • 7 H ₂ O	246,5	9,867	z. +70	z.	1,75		26,25 % / 1310 / Bittersalz, fbl.
Mn	54,9380	100	1244	2150	7,44	0	Mangan
MnCl ₂	152,8	43,656	650	1231	2,977	140	53,5 % / 1499 / -
MnCl ₂ • 4 H ₂ O	197,91	27,760	+ 58		2,01		53,5 % / 1499 / hellrosarot
MnCO ₃	114,905	47,794	z>250	z.	3,70	0	rosa
MnO ₂	86,94	63,193	z.	z.	4,83	0	Braunstein, sw.
MnOOH	87,94	62,469	z. 250		4,33	0	Manganit, br.-sw.
MnS	87,002	63,15	1430	z.	3,99	6 • 10 ⁻³	4,7 • 10 ⁻²⁰ / rosa
MnS ₂	119,07		z.	z.	3,46	0	Mangankies, rotbr
MnSO ₄	151,00	36,39	700	850	3,25	65	
MnSO ₄ • 5 H ₂ O	241,076		≈ 14	z. +60	2,103	62,88	38,6 % / 1487 / hellrosa
N	14,0067	100		-195,8	0,001	0,0194	Stickstoff
NH ₃ (Gas), NH ₄ OH (Lösung.)	NH ₃ : 17,03 NH ₄ OH: 34,03	NH ₃ : 82,245 NH ₄ OH: 39,967	-77	-33,4	0,00072	54,1 g/100g = 685,7 L Gas/kg	34,95 % / 882 / ≈ 18,10 mol/L, K _{Diss} = K _B = 1,79 • 10 ⁻⁵ , α = 0,004 (= 0,4%)
H ₂ N-NH ₂ (als Base)	32,05		+ 1,54	z. 113,5	1,0083	löst., brennb.	Hydrazin, ölig, K _B = 1,3 • 10 ⁻⁶
NH ₂ OH (als Base)	33,03		+ 33,1	z.	1,2044	toxisch	Hydroxylamin, K _B = 1,1 • 10 ⁻⁸
N ₂ O	44,013	64,648	-90,7	- 88,7	1,847 • 10 ⁻³	0,665 L Gas / kg	Distickstoffmo- noxid, Lachgas
NO	30,006	46,680	-164	152	0,00125	0,047 L Gas / kg	Stiockstoffmo- noxid, fbl.

Formel	<i>M</i> (g/mol)	<i>w</i> (%)	<i>g_m</i> (°C)	<i>g_b</i> (°C)	<i>ρ</i> (g/ cm ³)	<i>L</i> (g/ 100g H ₂ O)	<i>w_{sg}</i> (%) / <i>ρ_{sg}</i> (g/L) / <i>n_D²⁰</i> (oder Farbe)
NO ₂	46	30,446	-11	+21,1	3,358 • 10 ⁻³	Reagiert	Stickstoffdioxid, tox., braun
N ₂ O ₄	92	30,446	-11	+21,1	3,358 • 10 ⁻³	Reagiert	Distickstoff- tetroxid, fbl.
NH ₄ Br	97,9	14,301	452	subl.	2,431	73,9	43,9 % / pH < 7
(NH ₄) ₂ CO ₃	96,06	29,154	z. +58	z.	≈ 1,4	100,0	21 % / - / fbl.
(NH ₄) ₂ CO ₃ • H ₂ O	114,1	24,551	z. +58	z.	≈ 1,4	100,0	21% / A.-carbonat- monohydrat
NH ₄ Cl	53,5	26,185	subl. 340	subl. 340	1,531	37,56	27,3 % / 1075 / Salmiaksalz, fbl.
NH ₄ ClO ₃	101,49	13,801	102 expl.	z.	1,91	28,7	Ammonium- chlorat, fbl.
NH ₄ ClO ₄	117,50	11,922	z. 235	expl.	1,95	lösl.	18,5 % / - / fbl.
NH ₄ Fe- (SO ₄) ₂ • 12 H ₂ O	482,192	2,91 <i>w</i> (Fe): 11,58	z. 230	z.	1,71	26,9 (• 6 H ₂ O)	21,20 % / 1180 / Mohr'sches Salz, hellgrün
NH ₄ HCO ₃	79,0559	17,718	117	z. 180	1,58	lösl.	58,5 % / A.-hydro- gencarbonat, fbl.
NH ₄ NO ₂	64,04	<i>w</i> (N): 43,740	expl. >60	z.	1,69		67 % / Ammo- niumnitrit, fbl.
NH ₄ NO ₃	80,04	34,998	169,5	z>180	1,725	187,7	65,4% / 1308 g/L / <i>n_D²⁰</i> = 1,411, pH<7
(NH ₄) ₂ S	68,15	41,11	z.	z.	≈ 1,6	lösl.,hygr.	A.-sulfid, fbl.
NH ₄ SCN	76,12	36,80	+149	z.	1,300	163,0	61,98 % / - / Am.- Thiocyanat
(NH ₄) ₂ SO ₄ • H ₂ O	132,15	20,88	z. 235	z.	1,770	75,44	43 % / 1247 / fbl., Lösung pH < 7
Na	22,9897	100	97,8	883	0,97	Reagiert	Natrium (<i>sodium</i>)
Na ₄ B ₄ O ₇ • 10 H ₂ O	381,44	12,06	+ 60,6	z. 100	1,72	2,5	Na.-tetraborat, <i>g_m</i> (w.-frei): +741
NaBr	102,91	22,343	755	1390	3,203	90,49 (• 2 H ₂ O)	47,5 % / 1540 / Na.-bromid, fbl.
Na- (CH ₃ COO)	82,039	28,026	+58	z. 120	1,45	119	31,7 % / 1170 / Acetat, fbl., pH>7
Na ₂ C ₂ O ₄	133,999	34,313	z. 250	z.	2,34	lösl.	3,3 & / Na.-oxalat
NaCN	49,01	46,911	563,7	1530	1,546	lösl.	36,7 % / - / Cyanid
Na ₂ CO ₃	105,99	43,382	851	z.	2,532	21,66	17,9 % / 1194,1 / -
Na ₂ CO ₃ • 10 H ₂ O	286,14	16,069	ca. 33	z.	1,46	29,4	17,9 % / 1194,1 / Soda, fbl., pH>7

Formel	<i>M</i> (g/mol)	<i>w</i> (%)	ϑ_m (°C)	ϑ_b (°C)	ρ (g/ cm ³)	<i>L</i> (g/ 100g H ₂ O)	<i>w</i> _{sg} (%) / ρ_{sg} (g/L) / <i>n</i> ²⁰ _D (oder Farbe)
NaCl	58,45	36,337	801	1461	2,164	35,8	26,4 % = 5,32 mol/L, Kochsalz
NaClO • 5 H ₂ O	164,52	w.-frei: 30,883	24,5	z.	zer- fließlich	langsam z. → Cl ₂	34,6 % / <i>Eau de Labarraque</i>
NaClO ₃	106,441	21,599	255	z.	2,49	98,82	49,7 % / Chlorat
NaClO ₄ • H ₂ O	140,47	18,776	130	z. 482	2,02	181	61,41 % / 1757 / Na.-perchlorat
Na ₂ CrO ₄ • 10 H ₂ O	342,127 w.-frei: 161,97	w.-frei: 16,368	w.-frei: 794	z.	1,483 w.-frei: ≈ 2,72	88,7 w.-frei: 90,1	47 % / Ammoni- umchromat-deka- hydrat, gelb
NaHCOO	68,02	33,805	253	z.	1,92	lös.	46,2% / Methanat
NaHCO ₃	84,007	27,967	z. 270	z.	2,238	9,6	8,7% / Na.-hydro- gencarbonat
NaH ₂ PO ₄ • 2 H ₂ O	156,007	14,736	60	z.	1,91	85,2 (w.-frei)	Na.-dihydrogen- phosphat, fbl.
Na ₂ HPO ₄ • H ₂ O	w.-frei: 141,959	w.-frei: 32,389	z. 100	z.	2,040	100 (+50°C)	46 % (• 7 H ₂ O: 7,1%) / - / fbl.
NaHSO ₄ • H ₂ O	138,07	16,65	+ 58,5	w.frei z>315	2,103	gut lös- lich	50 % / Na.-hydro- gensulfat, pH<7
NaF	41,9882	54,753	993	1695	2,790	4,1	3,94 % / 1040 / fbl
NaI	149,89	15,337	662	1304	3,667	179,37 (• 2 H₂O)	64,2 % / - / fbl., <i>n</i>_D²⁰ = 1,7745
NaIO ₃	197,9	11,617	z.	z.	4,277	9,1	8,1 % / Na.-iodat
NaIO ₄	213,9	10,748	z. 300		4,174	lös.	9,3 % / fbl., Na.- (meta-)-periodat
NaN ₃	65,01	35,363	Zers.	Zers.	1,846	417 g/L	fbl.
NaNH ₂	39,01	58,929	210		1,39	Reagiert	Na.-amid, pH>7
NaNH ₄ - HPO ₄ • 4 H ₂ O	209,07		z. 30	z.	1,554	16,7	Na.-ammonium- hydrogen- phosphat, fbl.
NaNO ₂	68,995	33,321	271	z. 320	2,17	hygr.	45% /1330/ hgelb
NaNO ₃	84,99	27,048	307	z. 380	2,261	88,27	46,8 % / 1380
Na ₂ O	61,98	74,186	1132	z1950	2,27	Reagiert	fbl., +H ₂ O→NaOH
Na ₂ O ₂	77,98	58,964	675		2,55	Reagiert	Na.peroxid,hgelb
NaOH	39,997	57,479	322	1378	2,13	109,23 g/100g	52,2% / 1526 g/L / Natronlauge
NaPO ₃ / (NaPO ₃) ₆	101,96 / 611,17	22,547	625		2,476	(Na ₃ PO ₃ : pH>7)	<i>Graham's</i> ches Salz, <i>n</i> _D ²⁰ = 1,482
Na ₃ PO ₄	163,940	42,076	1583		2,536	lös.	11,06% /fbl. pH>7
Na ₃ PO ₄ • 12 H ₂ O	380,125	18,144	z.73,4		1,62	12,11	11,06%/Phosphat, fbl., Lösg. pH>7

Formel	<i>M</i> (g/mol)	<i>w</i> (%)	<i>g_m</i> (°C)	<i>g_b</i> (°C)	<i>ρ</i> (g/cm ³)	<i>L</i> (g/100g H ₂ O)	<i>w_{sg}</i> (%) / <i>ρ_{sg}</i> (g/L) / <i>n_D²⁰</i> (oder Farbe)
Na ₂ S	78,05	58,91	1180	z.	1,856		15,8 % / - / hgelb
Na ₂ S • 9 H ₂ O	240,184	19,14	z. 920	z.	1,4270	18,77	15,8 % / 1180 / hgelb
NaSCN	81,07	28,36	287	z. 323	1,73	lösl.	57,5 % / - / fbl.
Na ₂ SO ₃	126,04	36,48	911	z.	2,633	lösl.	20,9% / 1200 / fbl.
Na ₂ SO ₃ • 7 H ₂ O	252,149	18,24	z. 150	z.	1,560	26,9	20,9% / 1200 / Sulfit, fbl., pH>7
Na ₂ SO ₄	142,04	32,37	884	z.	2,68	16,19	16,2 % / 1150 / fbl
Na₂SO₄ •10 H₂O	322,2	14,27	+32,4	z.	1,464	28	16,2% / 1150 / Natriumsulfat- dekahydrat, fbl
Na ₂ S ₂ O ₃ (• 5 H ₂ O)	158,11 (248,2)	18,53	48,5	z.100 -H ₂ O	2,345 (1,729)	70,07	41,2 % / 1390 / Na.-thiosulfat, fbl
Ni	58,6934	100	1453	3177	8,91	0	Nickel
NiCl ₂	129,6	45,29	993	subl.	3,55	38,0	35,6 % / goldgelb
NiCl ₂ • 6 H ₂ O	237,69	24,69	+ 30 -H ₂ O	(subl. 993)	1,93	55,30	35,6% / 1460 / grasgrün, >140°C w.-frei
Ni(NO ₃) ₂ • 6 H ₂ O	290,80	20,18	56,7	z. 136,7	2,05	94,1	48,5 % / hydr., smaragdgrün
NiO	74,71	78,58	1955		7,45	0	grüngrau
Ni(OH) ₂	92,7	63,3	z. 230		4,1	Gering	apfelgrün
NiS	90,77	64,67	976		5,5	3,6•10 ⁻⁴	3,6•10 ⁻⁴ % / sw.
NiSO ₄ • 7 H ₂ O	280,85	20,90	+ 31,5	z. 106	1,948	76	27,4 % / sma- ragdgrün
O	15,9994	100	-218,8	-182,9	0,00143	0,0044	Sauerstoff (O₂)
O ₃	47,998	100	-192	-110	0,00214		Ozon, tox.
P	30,9737	100	+ 44,1	280,5	1,82	Reagiert	Phosphor (weiß)
PCl ₃	137,332	22,554	- 92	+ 74,2	1,5778	Reagiert	fbl., rauchend
PCl ₅	208,237	14,874	+ 163	subl.	2,11	Reagiert	fbl., rauchend
PH ₃	33,97	91,17	-134	-87,8	1,4294		tox., Fischgeruch
P ₂ O ₃ (P ₄ O ₆)	109,96 (219,89)	56,334	+ 22,7	175,8	2,135	Reagiert	fbl. Flocken, tox., reagiert an Luft
P ₂ O ₅ (P ₄ O ₁₀)	141,96 (283,89)	43,642	359 subl.	(580)	2,114	Reagiert	fbl., hydr., reag. zu H ₃ PO ₄
POCl ₃	153,33	20,29	+ 1,2	105,3	1,675	Reagiert	<i>n_D</i> = 1,488
P ₄ S ₁₀	444,54	27,87	286	516	2,08	Reagiert	hellgraugelb
Pb	207,2	100	327,7	1755	11,39	0	Blei (<i>lead</i>)
PbBr ₂	367,01	57,0	488	915	6,60	0,85	0,843 % / - / fbl.
Pb- (C ₂ H ₃ O ₂) ₂	325,3	63,7	280		3,2	30,6	25 % / - / Blei-II- acetat, fbl., tox.

Formel	<i>M</i> (g/mol)	<i>w</i> (%)	<i>g_m</i> (°C)	<i>g_b</i> (°C)	<i>ρ</i> (g/cm ³)	<i>L</i> (g/100g H ₂ O)	<i>w_{lsg.}</i> (%) / <i>ρ_{lsg.}</i> (g/L) / <i>n_D²⁰</i> (oder Farbe)
Pb(CH ₃ -COO) ₂ • 3 H ₂ O	379,34	54,6	75	z. 200	2,5	> 31	25 % / - / Blei-II-acetat -trihydrat, fbl., tox., süßlich
PbCO ₃	267,20	77,5	z. 300	z.	6,60	1,1•10 ⁻⁴	1,1•10 ⁻⁴ % / fbl.
PbCl ₂	278,12	74,5	+ 501	950	5,85	0,99	0,98% / 1007 / fbl.
PbI ₂	461,05	44,9	402	830	6,16	0,068	0,07 % / goldgelb
Pb(N ₃) ₂	291,26	71	z.	expl.	4,8	Reagiert	Blei-II-azid, expl.
Pb(NO ₃) ₂	331,20	62,6	z. 200	z.	4,535	52,22	34,5% / <i>n_D</i> =1,7807
PbO	223,21	92,8	888	1470	9,53	1,7•10 ⁻³	1,2•10 ⁻³ % / hgellb, <i>K_{Diss}</i> = 2,7 • 10 ⁻⁴
Pb ₃ O ₄	685,57	90,7	z. 500	z.	9,10	< 0,01	Mennige, rot
PbO ₂	239,21	86,6	z. 290	z.	9,643	< 0,01	Blei-IV-oxid, br.
PbS	239,28	86,6	1114	z.	7,6	8,6•10 ⁻⁵	3•10 ⁻⁵ % / - / sw.
PbSO ₄	303,25	68,3	1170		6,29	4,21•10 ⁻³	0,00421 % / fbl.
Rb	85,4678	100	38,9	680	1,53	Reagiert	Rubidium
RbCl	120,92	70,681	718	1390	2,80	91,1	47,5 % / - / fbl.
RbNO ₃	147,47	57,955	316		3,11	53,4	35,0 % / - / fbl.
RbOH	102,48	83,403	301		3,203	gut lösl.	64,2 % / <i>α</i> ≈ 0,98
Rb ₂ SO ₄	267,03	64,022	1060	1700	3,61	48,2	32,5% / <i>n_D</i> =1,5133
S	32,065	100	119,6	444	2,07	0	Schwefel
SF ₆	146,05	21,95	≈-50,8	<	0,00617	kaum löslich	<i>L</i> : 0,0056 <i>L</i> Gas/kg Wasser
SO ₂	64,063	50,05	-75	-10	0,00292	10,6	9,5 % / fbl., tox.
SO ₃ (γ)	80,063	40,05	+ 16,8	44,8	2,42	Reagiert	fbl., sehr hygr.
Sb	121,760	100	630,7	1635	6,618	0	Antimon
SbCl ₃	228,119	53,37	73,4	219	3,140	Reag. z.T.	90 % / fbl.
SbCl ₅	299,05	40,72	+ 4,0	z. 140	2,336	Reagiert	Flüssig, gelb
SbH ₃	124,784	97,58	-88	-17,2	0,00528		Luftempfindl., fbl.
Sb ₂ O ₃	291,50	83,53	655	1465	5,670	0	Valentinit, fbl.
Sb ₂ S ₃	339,68	71,69	546	1150	4,630 (grau)	1,75•10 ⁻⁴	1,75•10 ⁻⁴ % / grau oder org.-rot
Sb ₂ Se ₃	480,38	50,689	615	z.	5,848	≈ 0	Halbl., bleigrau
Si	28,0855	100	1410	2630	2,33	0	Silicium
SiC	40,1	70,045	2700, subl.	2700, subl.	3,22	0	grün-blausw., Carborundum
SiCl ₄	169,88	16,531	- 68	+ 57,6	1,483	Reagiert	raucht, hydrolys.
SiH ₄	32,117	87,447	-186	-112	0,00134	Reag.ggf.	Selbstentzündl.
SiO ₂ α-Quarz	poly- mer	46,743	1550	2950	2,648	0	Quarz, opt. Aktiv, <i>n_D</i> = 1,544
SiO ₂ (β)	60,085	46,743	1670	2950	2,264	0	Tridymit, piezoelektr., <i>n_D</i> = 1,469

Formel	M (g/mol)	w (%)	ϑ_m (°C)	ϑ_b (°C)	ρ (g/cm ³)	L (g/100g H ₂ O)	$w_{\text{Lsg.}}(\%) / \rho_{\text{Lsg.}}(\text{g/L}) / n_D^{20}$ (oder Farbe)
SiO ₂	60,085	46,743	1705	2950	2,334	0	Si.-dioxid, Cristobalit, $n_D = 1,487$
Sn	118,710	100	232,0	2430	7,29	0	Zinn (engl.: <i>tin</i>)
SnCl ₂	189,62	62,60	247	614	3,951	659	72,96% / 2070 / fbl.
SnCl ₂ • 2 H ₂ O	225,65	52,61	+ 37,7	z.	2,70	w.-frei: 659	72,96% / 2070 / Zinn-II-chlorid, fbl.
SnH ₄	122,74	96,71	-146	-52,2	0,0068		Stannan, z. +150
SnO ₂	150,69	78,77	1630	subl. 1850	7,02	0	Zinnstein, fbl., $n_D = 1,997$
SnS	150,754	78,73	882	1230	5,22	$1,36 \cdot 10^{-6}$	Halbl., bleigrau
SnS ₂	182,82	64,93	765	z.	4,5	$1,5 \cdot 10^{-5}$	Halbl., goldgelb
Sr	87,62	100	769	1364	2,63	Reagiert	Strontium
SrCO ₃	147,64	59,35	z1289	z.-CO ₂	3,7	$1,1 \cdot 10^{-3}$	Strontianit, fbl.,
SrCl ₂	158,53	55,27	872		3,050	53,85	34,5% / 1390 / fbl.
SrCl ₂ • 6 H ₂ O	266,62	32,86	z. 61	z.	1,930	> 53,85, hygrosk.	34,5% / 1390 / fbl. $n_D = 1,5356$
Sr(NO ₃) ₂ • 4 H ₂ O	283,69	30,89	z. 36 -H ₂ O	1100 →SrO	2,249	gut lösl. (SrBr ₂ :98)	41 % /
Sr(OH)₂	121,63	72,04	375	z.710	3,625	0,70	0,9% / $\alpha = 0,93$
SrSO ₄	183,68	47,70	1605	z.	3,96	≈ 0	$13 \cdot 10^{-3}$ % /
Ti	47,867	100	1725	>3000	6,82	0	Titan
TiO ₂ (Anatas)	79,90	59,94	1560	2900	3,840	0	$n_D = 2,534$, wird bei 642°C zu Rutil
TiO ₂ (Brookit)	79,90	59,94	≈1775 -1840	2900	3,84	0	$n_D = 2,5832$, wird in Hitze zu Rutil
TiO₂ (Rutil)	79,90	59,94	1855	2900	4,23	0	Titanweiß, Halbl., $n_D = 2,6158$
V	50,9414	100	1890	3000	6,09	0	Vanadium
VC	62,9	80,921	2810	3900	5,77	0	Carbid, silberweiß
V ₂ O ₅	181,88	56,016	670	z1800	3,327	gering	0,005 % / org.-br.
W	183,84	100	3410	≈6000	11,26	0	Wolfram
WC	195,86	93,87	z2976	z.	16,02	0	grau, diamanthart
W ₂ C	96,84	379,71	2857	≈6000	15,7	0	Härter als Korund
WO ₃	231,85	79,30	1473		7,160	0	Halbl., zitro.-gelb
WF ₆	297,8	61,73	+ 2,3	+17,0	0,0128	Reagiert	ρ bei ϑ_b 3430 g/L
Xe	131,293	100	-111,9	-107,1	0,00586	0	Xenon
XeF ₆	245,288	53,528	+ 46	z.	≈ 0,005	Reagiert	z. zu Xe + F ₂
Zn	65,409	100	419,6	907	7,14	0	Zink
ZnBr ₂	225,20	29,04	402	655	4,219	446,4	81,3%/Bromid, fbl.
ZnCO ₃	125,39	52,15	z. 300	z.	4,44	$2,2 \cdot 10^{-2}$	Zinkspat, fbl.

Formel	M (g/mol)	w (%)	ϑ_m (°C)	ϑ_b (°C)	ρ (g/cm ³)	L (g/100g H ₂ O)	wLsg.(%) / $\rho_{Lsg.}$ (g/L) / n _{20D} (oder Farbe)
ZnCl ₂	136,28	47,98	313	732	2,910	367,53	78,6 % / 2080 g/L
ZnI ₂	319,18	20,49	446	750	4,736	gut lösl.	81,5% / fbl., hydr.
Zn(NO ₃) ₂ • 6 H ₂ O	297,47	21,98	+36,4	z. 140	2,065	118,34	54,2 % / 1670 / Nitrat, fbl., hydr.
ZnO	81,37	80,34	1975		5,66	1,6•10 ⁻⁴	Halbl. Rotzinkerz
Zn(OH) ₂	99,41	65,78	z. 125	z.	3,082	5,6•10 ⁻⁴	1,9•10 ⁻⁴ % / fbl.
ZnS	97,43	67,10	1180	subl.	4,087	6,9•10 ⁻⁴	2,8•10 ⁻⁴ %/ Wurtzit
ZnSO ₄	161,43	40,50	z. 740	z.	3,546		34,9 % / 1470 g/L
ZnSO ₄ • 7 H ₂ O	287,54	22,74	+48	z. 100	1,97	53,8	34,9%/1470/Zn.vi- triol,fbl., $n_D=1,458$
Zr	91,224	100	1852	>2900	6,49	0	Zirkon(ium)
ZrC	103,23	88,37	3530	5100	6,51	0	sehr hart, grau
ZrN	105,23		2985		6,97	0	sehr hart, gelbbr.
Zr(SO ₄) ₂ • 4 H ₂ O	355,410	25,67	z. 110	w.frei z. 400	2,85	110,6 hydr.	Zr.-sulfat-tetrahy- drat,fbl., $n_D=1,618$
ZrSiO ₄	183,30	49,77	z1540	z.	4,60	0	Zirkon, fbl.

4.5.2 Gase

Stoffeigenschaften und -konstanten bei Gasen

Größe	Symbol	Einheit	Definition
Dampfdruck des verflüssigten Gases	$p(fl)$	mbar, hPa	bzw. der kondensierten Flüssigkeit (z. B. bei +20°C in bar)
Dichte	ρ	kg/m ³ bzw. g/L	Masse m eines Volumens V einer Gasportion (bei +15°C und 1013 hPa)
Dichte ρ am Siedepunkt ϑ_b	$\rho(\vartheta_b)$	g/L	Masse m eines Volumens V einer Portion kondensierten Gases (bei +15°C und 1013 hPa)
Erstarrungstemperatur, Schmelzpunkt und Kondensationspunkt, Siedetemperatur	ϑ_m ϑ_b	°C	Temperatur, bei der der Stoff bei gegebenem Druck p vom festen in den flüssigen (ϑ_m) bzw. vom flüssigen in den gasförmigen Zustand (ϑ_b) übergeht
krit. Druck	p_k	bar	Druck, oberhalb dem eine Verflüssigung des Gases durch Abkühlung unmöglich ist
krit. Temperatur	T_k	K	Temperatur, oberhalb der eine Verflüssigung (Kondensation) des Gases durch Kompression unmöglich ist
Löslichkeit	L	L Gas kg H ₂ O	In 1 kg Wasser lösliches Volumen Gas (Temperatur und Druck sind gegeben)
Molare Masse	M	g/mol	Masse m von 1 mol des Stoffes

Die in der folgenden Tabelle verwendete Kürzel für Stoffkonstanten gasförmiger Elemente und anorganischer Gase sind:

M	molare Masse (in g/mol),	N	Anzahl d. Atome pro Molekül,
ϑ_m	Schmelzpunkt (in °C),	ϑ_k	Kondensationspunkt, Siedetemperatur (in °C)
T_K	krit. Temperatur,	p_K	krit. Druck (in bar; 1 bar = 1000 hPa),
ρ	Dichte bei +15°C und 1013 hPa in kg/m³ (bzw. g/L, bei Luft: 1,209),		
L	Löslichkeit (in L Gas pro kg H₂O (in g/L),	$\rho(\vartheta_k)$	= Dichte ρ am Siedepunkt ϑ_k
xx	Gas hydrolysiert (chem. Reaktion mit Wasser)	∞	beliebig mit H₂O mischbar
$\rho(fl)$	Dampfdruck des Flüssiggases / der kondensierten Flüssigkeit (bei +20°C in bar)		

Stoffkonstanten gasförmiger Elemente und anorganischer Gase

Gas	M	N	ϑ_m	ϑ_k	ρ	L	T_K	p_K	$\rho(\vartheta_k)$	$\rho(fl)$
Ar	39,95	1	-189,3	-185,8	1,669	0,034	-122,4	48,98	1395	groß
AsH ₃	77,94	4	-117	-62,5	3,63		+99,9		1630	ca.15
BCl ₃	117,17	4	-107,5	+12,5	4,98	xx	+178,8	38,7	1340	1,3
BF ₃	67,805	4	-128,7	-100,3	2,84	xx				
B ₂ H ₆	27,67	6	-165	-92,5	1,17		+15,9	40,4	438,5	
CF ₄	88,01	5	-183,4	-127,9	3,677	0,004	-45,45	37,43	1603	groß
CH ₄	16,043	5	-182	-161	0,671	0,035	-82,62	46,0	422,6	
C ₂ H ₆	30,07	8	-183	-88,7	1,265	0,049	+32,27	48,8	546,5	37,7
C ₂ H ₄	28,054	6	-169	-103	1,178	0,122	+9,5	50,7	567,9	37,7
C ₂ H ₂	26,038	4	-80,5	-83,8!	1,095	1,047	+35,18	61,9	420	43,1
CO	28,01	2	-205,0	-191,5	1,17	0,023	-140,24	34,99	788,6	
CO ₂	44,01	3	-56,57	-78,5!	1,848	0,87	+31,06	73,82	1177	57,3
Cl ₂	70,906	2	-101	-34,10	2,999	2,26	+144	77	1562	6,88
ClF ₃	92,45	4	-76,3	+11,8	3,63	xx	+154		1850	1,42
D ₂	4,029	2	-254,4	-249,6	0,167	0,018	-234,8	16,65	162,4	groß
F ₂	38,0	2	-220	-188	1,584	xx	-129	52,2	1502	
H ₂	2,016!	2	-259,2	-252,8	0,084	0,018	-239,91	12,98	70,8	groß
HBr	80,912	2	-86,86	-66,72	3,401	532,1	+90	85,52	2205	20,9
HCl	36,461	2	-114,2	-85,1	1,543	448	+51,40	82,6	1191	43
HF	20,006	2	-83,4	+19,5	0,85	∞	+461	65	968	1,03
HI	127,91	2	-50,8	-35,4	5,789	groß	+151	+83	2797	7,33
H ₂ O	18,016	3	0,00	+100	0,998	∞	+374	220	ca.0.9	<1,0
H ₂ S	34,08	3	-85,7	-60,2	1,434	2,582	+100,1	89,4	914,9	17,9
H ₂ Se	80,98	3	-65,7	-41,4	3,664	ca.2,6	+138	89	1965	9,12
He	4,0026	1	-271	-268,9	0,167	0,008	-267,94	2,29	124,9	
³ He	3,016	1	-273,1	-270!	0,128	0,000	-269,82	1,17!	59	
Kr	83,8	1	-157,2	-153,3	3,507	0,059	-63,75	55,02	919	
Luft	28,963	-	-218	-196	1,209	0,32	-140	37,7	1300	groß
N ₂	28,013	2	-210	-195,8	1,434	0,016	-146,95	33,99	1300	groß
NH ₃	17,0	4	-77,74	-33,4	0,720	685,7	+132,4	114,8	682	8,59

Gas	<i>M</i>	<i>N</i>	ϑ_m	ϑ_b	ρ	<i>L</i>	<i>T_k</i>	<i>p_k</i>	$\rho(\vartheta_b)$	$\rho(fl)$
N ₂ H ₂	ca.32	4		>+25	1000	∞	explos.			
N ₂ O	44,013	3	-90,81	-88,47	1,847	0,665	+36,41	72,45	1222	50,8
NO ₂	46	3	-11,2	+21,1	3,358	xx	+158	101,3	1443	1,00
NO	30,006	2	-163,9	-151,7	1,25	0,047	-93	64,85	1300	
Ne	20,179	1	-248,6	-246,1	0,842	0,010	-228,75	27,5	1207	
O₂	31,999	2	-218,8	-182,9	1,337	0,31	-118,6	50,4	1141	
O ₃	47,99	3	-192,5	-110,5	2,14	vgl.O ₂				
PH ₃	34,0	4	-134	-87,8	1,429	lösl.	+51,7	65,4	765,3	34,6
PF ₅	125,97	6	-93,8	-84,6	5,8	xx				ca.29
POCl ₂	98,916	4	-127,8	+7,55	4,184	xx	+182,0	56,74	1410	1,52
SF ₆	146,05	7	-50,8	-63,8!	6,18!	0,005	+45,54	37,59	1910	22
SO₂	64,063	3	-75,5	-10,01	2,725	39,4	+157,6	78,84	1458	3,26
SiF ₄	104,08	5	-95,2	-95,2	4,372	xx	-141?	37,2		
SiH ₄	32,117	5	-186	-112	1,342	?	-3,15	42,8	583,5	
SiH ₂ Cl ₂	101,01	5	-122	+45	4,23	xx	+176	45		1,6
WF ₆	297,8	7	+2,35	+17,1	12,8	xx	+180	45,7	3430	1,13
Xe	131,3	1	-111,8	-108,1	5,517	0,108	+16,58	58,4	2945	

4.5.3 Organische Verbindungen von A bis Z, nach Namen

In der folgenden Tabelle ist die Anordnung der Stoffdaten organischer Verbindungen alphabetisch in der Regel nach den Benennungsregeln der *IUPAC*-Nomenklatur vorgenommen worden (www.iupac.org);

Beispiele: L(+)-Alanin (Ala) steht unter 2-Aminopropansäure, Butanol-1 steht unter Butan-1-ol.

- Ist die Bezeichnung nach IUPAC zu lang oder in Labors der **Trivialname** absolut gängig, wurde sie durch gebräuchliche Trivialnamen ergänzt oder ersetzt (Beispiele: Ölsäure, Vanillin).
- Bei unterschiedlichen Literaturangaben wurden Daten ggf. gerundet.
- Aktuelle Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) zu Gefahrstoffen etc. finden sich in Gefahrstoff-Datenblättern der Chemikalienlieferanten, Festlegungs-Regeln über www.baua.de.

Verwendete Kürzel bei den Stoffdaten organischer Verbindungen

M	molare Masse (g/mol),
ϑ_m	Fusions-/Schmelztemperatur in °C (auch: Fp., Smp., Erstarrungstemp., <i>melting point</i>); (positive Zahlenangaben wurden z.T. mit Vorzeichen + versehen, negative immer mit -)
ϑ_b	Kondensations-/Siedetemperatur in °C (auch: Kp., Sdp./Siedepunkt, <i>boiling point</i>),
ρ	Dichte in g/cm ³ bei $\vartheta = +20^\circ\text{C}$ und 1013 hPa,
L	Löslichkeit in Wasser (wenn nicht anders angegeben in g/100 g bei $\vartheta = +20^\circ\text{C}$, gerundet),
b.m.	= beliebig mit Wasser mischbar
Lösg.	in gesättigter, wässriger Lösung, fbl. = farblos, z. = Zersetzung, subl. = Sublimation,
T_K	krit. Temperatur $\vartheta_{\text{krit.}}$ (bei Gasen: oberhalb der kein Unterschied mehr zwischen flüssig und gasförmig existiert / in °C),
p_K	krit. Druck (bei Gasen: oberhalb ist keine Druckverflüssigung möglich, in bar),
Aml	Anzahl möglicher Isomere (bei Alkanen)
n_D	Brechzahl (Brechungsindex) zur refraktometrischen Bestimmung - wenn nicht anders angegeben bei $\vartheta = +20^\circ\text{C}$ und bezgl. der Natrium-D-Wellenlänge ($\lambda=589\text{ nm}$), ansonsten unter der in nm angegebenen Wellenlänge bzw. bei der in °C genannten Temperatur (zur Refraktometrie)
Drehwert	$[\alpha]_D^{\vartheta}$ optisch aktiver Substanzen in ° • cm ³ /dm • g - wenn nicht anders angegeben bei $\vartheta = +20^\circ\text{C}$ und Na-D-Wellenlänge (also $[\alpha]_D^{20^\circ\text{C}}$; wichtig für die Messung der optischen Aktivität / Polarimetrie) in folgenden Konzentrationen: c = mol/L, w = g Substanz / 100 g Lösung (Gew.%, vgl. Masseanteil), β = g / 100 mL (Massekonzentration), ein Pfeil → bedeutet, dass sich das Drehvermögen im Laufe der Zeit ändern kann
η	Viskosität in mPa • s
$p(\text{fl})$	Dampfdruck der kondensierten Flüssigkeit (bei +20°C in bar)

Bei Säuren und Basen stehen zusätzlich:

ϑ_b	Kondensations-/Siedetemperatur in °C (auch: Kp., Sdp./Siedepunkt, <i>boiling point</i>),
α	Dissoziationsgrad in %
K_s und / oder pK_s -Wert	in 1. Dissoziationss-Stufe (Maß für die Säurestärke)
K_B und / oder pK_B -Wert	in 1. Dissoziationss-Stufe (Maß für die Basenstärke)
- und ggf. Name der Säure bzw. Lauge oder Base / Name der Säureanionen	

Stoffdaten organischer Verbindungen von A bis Z

A

Name (IUPAC, ggf. Trivial)	Summen- Formel	<i>M</i> (g/mol)	<i>g</i> _m (°C)	<i>g</i> _b (°C)	<i>ρ</i> (g/cm ³ , Gase: g/L)	<i>L</i> (g/100g H ₂ O)	Weitere Angaben, Daten und Anm.: <i>n</i> _D ²⁰ , α, p <i>K</i> _s /p <i>K</i> _a , <i>K</i> _{Diss} u.a.
Acetaldehyd	CH ₃ -CHO	44,05	-123,4	+ 20,2	0,779	∞ b.m.	IUPAC: Ethanal
Aceton, IUPAC: Propanon	C₃H₆O, (CH₃)₂CO	58,1	-94,7	+56,1	0,785	∞ b.m.	Dimethylketon (DMK)
Acetonitril, IU- PAC: Ethannitril	C ₂ H ₃ N, CH ₃ CN	41,04	-45,7	+81,6	0,782	∞ b.m.	<i>n</i> _D = 1,3441, Flammpunkt +6°C
Acrylamid	C ₃ H ₅ NO	71,08	+ 84	z.	1,127	204,0	Propensäureamid
Adenosintriphosphorsäure, ATP	C ₁₀ H ₁₆ N ₅ - O ₁₃ P ₃	507,19	z.	z.	> 1,0	löslich	α _D ²² = -26,7° , glasige Masse
L(+)-Alanin (Ala), 2-Aminopropan- säure	H ₃ C- CH(NH ₂)- COOH	89,1	z. 296	z.	≈ 1,16	16,7	p <i>K</i> _{s1} = 2,35, p <i>K</i> _{s2} = 9,87 , α _{546,1} ¹⁵ = +3,5° in H ₂ O
Aminobenzol, Aminobenzol, Anilin	C₆H₇N, C₆H₅-NH₂	93,128	- 6,45	184,3	1,01217	3,61	<i>n</i>_D²¹ = 1,5855, <i>K</i>_B = 3,82•10⁻¹⁰ mol²/L², Flammpkt. +76°C
1-Aminobutan, Butylamin	C ₄ H ₁₁ N, C ₄ H ₉ -NH ₂	73,138	- 50,2	+ 77,4	0,742	löslich	Butylamin: CH ₃ (CH ₂) ₃ NH ₂
Aminoethan, Ethylamin	C ₂ H ₇ N, C ₂ H ₅ NH ₂	45,084	-80,6	+ 16,6	fl. 0,682	löslich	Ethylamin, p <i>K</i> _s = 10,67
Aminoethan- säure, Amino- essigsäure (Gly)	C₂H₅NO₂, H₂N-CH₂- COOH	75,07	z. 262	z.	1,1607	25,0	Glykokoll, Glycin, p<i>K</i>_{s1} = 2,35, p<i>K</i>_{s2} = 9,78
Aminomethan, Methylamin	CH ₃ NH ₂	31,057	-93,5	- 6,5	1,3425 fl. 0,761	97,20	<i>K</i> _B = 4,38•10 ⁻⁴ , p <i>K</i> _B =3,41 / p <i>K</i> _s =10,59
1-Aminopropan	C ₃ H ₇ -NH ₂	59,111	- 83,0	+ 48,5	0,712	löslich	Propylamin: CH ₃ (CH ₂) ₂ NH ₂
2-Aminopropan	C ₃ H ₇ -NH ₂	59,111	- 95,2	+ 32,4	0,682	löslich	Methylethylamin: CH ₃ CH(NH ₂)-CH ₃
2-Aminopropan- säure, L(+)-Alanin (Ala)	H ₃ C- CH(NH ₂)- COOH	89,1	z. 296	z.	≈ 1,16	16,7	p <i>K</i> _{s1} = 2,35, p <i>K</i> _{s2} = 9,87 , α _{546,1} ¹⁵ = +3,5° in H ₂ O
Ammonium- carbammat	H ₂ N- COONH ₄	78,07	z. ≈59	z.		66,6	Backtriebmittel
Anisaldehyd	C ₈ H ₄ OH- CHO	136,15	+ 1,6	+247	1,1192	0,2	Anisgeruch, <i>n</i> _D ²⁵ = 1,5703
Anisol, IUPAC: Methoxybenzen	C ₇ H ₈ O, C ₆ H ₅ O- CH ₃	108,14	- 37	156	0,99	0,16	<i>n</i> _D = 1,518, Zünd- temp. 475°C

Name (IUPAC, ggf. Trivial)	Summen- Formel	<i>M</i> (g/mol)	<i>g_m</i> (°C)	<i>g_b</i> (°C)	<i>ρ</i> (g/cm ³ , Gase: g/L)	<i>L</i> (g/100g H ₂ O)	Weitere Angaben, Daten und Anm.: <i>n_D²⁰</i> , <i>α</i> , <i>pK_s</i> / <i>pK_b</i> , <i>K_{Diss}</i> u.a.
Anthracen	C ₁₄ H ₁₀	178,24	216,3	+351	1,28	0	Paranaphtalin
Anthrachinon	C ₁₄ H ₈ O ₂	208,16	266	377	1,419	0	<i>n_D²⁸¹</i> = 1,5611
L(+)-Arginin (Arg)	C ₆ H ₁₄ N ₄ O ₂	174,20	z.238	z.		14,87	<i>α</i> = +12,2°; <i>pK_{s1}</i> = 2,32 / <i>pK_{s2}</i> = 9,76
L-Ascorbinsäure, Vitamin C	C₆H₈O₆	176,126	+189	z. 192	1,696	löslich	E300; cycl. Endiol, <i>α_D¹⁸</i> _{Methanol} = +49° <i>n_D^{121°C}</i> = 1,5611
L-Asparagin	C ₄ H ₈ N ₂ O ₃	132,12	+216	z.	1,543	2,14	Aminobernstein- säuremonoamid
Azulen	C ₁₀ H ₈	128,18	+ 99	241		0	blaue Plättchen

B

Name (IUPAC, ggf. Trivial)	Summen- Formel	<i>M</i> (g/mol)	<i>g_m</i> (°C)	<i>g_b</i> (°C)	<i>ρ</i> (g/cm ³ , Gase: g/L)	<i>L</i> (g/100g H ₂ O)	Weitere Angaben, Daten und An- merkungen
Benzaldehyd	C ₆ H ₅ -CHO	106,1	- 26	178,1	1,042	< 0,3	Bittermandelöl
Benzen, Benzol	C₆H₆	78,113	+ 5,49	80,12	0,8791	0,07	<i>n_D²⁰</i> = 1,50144 <i>L</i> (0°C): 1,53 g/L
Benzenecarbon- säure, Benzoessäure	C₆H₅- COOH	122,123	122,4	249	1,266	0,1	<i>pK_s</i> = 4,20 / <i>K_s</i> = 6,3 • 10⁻⁵ mol/L ; <i>n_D¹³⁴</i> = 1,5000
Benzen-1,2- dicarbonsäure	C ₈ H ₆ O ₄	166,133	207	z. 231	1,593	0,574	Phthalsäure, <i>pH</i> ≈ 2 (bei 5 g/L)
Benzen-1,3- dicarbonsäure	C ₈ H ₆ O ₄	166,133	348,5	subl.	≈ 1,5	0,013	Isophthalsäure, Zündtemp. 700°C
Benzen-1,4- dicarbonsäure	C ₈ H ₆ O ₄	166,133	402	subl.	1,510	0,00015	Terephthalsäure, Zündtemp. 496°C
Benzenecarbons.- methylester	C ₆ H ₅ COO- CH ₃	136,15	-12,3	199,5	1,093	0	Methylbenzoat, <i>n_D^{16,5°C}</i> = 1,51800
Benzensulfon- säure	C ₆ H ₆ O ₂ S	142,17	+ 83	z.		0	Benzolsulfonsäu- re, C ₆ H ₅ -SO ₂ H
Benzophenon, Diphenylketon	C ₁₃ H ₁₀ O, (C ₆ H ₅) ₂ CO	182,221	+48,1	305,4	1,1108	0	<i>n_D²³</i> = 1,60596; Flammpkt. 150°C
Benzylchlorid, Chlormethyl- benzen	C ₇ H ₇ Cl, C ₆ H ₅ - CH ₂ Cl	126,59	-39	179,4	1,100 <i>ρ_D</i> = 1,2 hPa	0,046; z. lang- sam	<i>α</i> -Chlortoluen-/ol, tox., reizend, <i>n_D</i> = 1,55369
Bleitetraethyl	C ₈ H ₂₀ Pb	323,4			1,652	0	
Bromaceton (CH ₃ COCH ₂ Br)	C ₃ H ₅ OBr	136,7	z.	z.		Gering	Tränenreizend, <i>n_D^{16,3}</i> = 1,4742

Name (IUPAC, ggf. Trivial)	Summen- Formel	<i>M</i> (g/mol)	θ _m (°C)	θ _b (°C)	ρ (g/cm ³ , Gase: g/L)	<i>L</i> (g/100g H ₂ O)	Weitere Angaben, Daten und An- merkungen
Brombenzen/-ol	C ₆ H ₅ Br	157,010	-30,6	156,6	1,848	4,4 g/L	<i>n</i> _D ¹⁵ = 1,56252
1-Brombutan	C ₄ H ₉ Br	137,019	-112,4	+101	1,269	≈ 0	1-Butylbromid
Bromcyclohexan	C ₆ H ₁₁ Br	163,06		164	1,33	0	<i>n</i> _D 89nm ^{20°C} = 1,4956
Bromethan	C ₂ H ₅ Br	109,0	-119	+38,4	1,451	≈ 0	Ethylbromid
Bromethen	C ₂ H ₃ Br	107,0	-138	+15,8	fl.1,474	kaum	Vinylbromid
Brommethan	CH ₃ Br	94,9	-93,6	+ 3,6	fl. 1,662	gering	Methylbromid
1-Brom-pentan	C ₅ H ₁₁ Br	151,046	- 95	+128	1,218	0	<i>n</i> = 1,44435
1-Brom-propan	C ₃ H ₇ Br	122,992	-109,9	+ 70,8	1,3539	0,25	<i>n</i> = 1,43414
2-Brom-propan	C ₃ H ₇ Br	122,992	-89,0	+ 59,4	1,3222	0,32	<i>n</i> = 1,42508
Buta-1,2-dien	C ₄ H ₆	54,09	-136,2	≈10	fl. 0,646	0	Knoblauchgeruch
Buta-1,3-dien	C ₄ H ₆	54,09	-108,9	≈-4,4	fl. 0,615	0	<i>n</i> _D ⁶ = 1,422
n-Butan	C₄H₁₀	58,123	-138,3	-0,5	2,522 g/L	≈ 0	Aml: 2 / im Feu- erzeuggas
Butanal	C ₃ H ₇ CHO	72	-97	+75,7	0,803	37 g/L	Butyraldehyd
Butan-1,3-diol (Butandiol-1,3)	C ₄ H ₁₀ O ₂ , C ₄ H ₈ (OH) ₂	90,12	< -50	207,5	1,0053	∞ beliebig	1,3-Butylenglykol (BG)
Butan-1,4-diol	C ₄ H ₁₀ O ₂	90,12	+ 19,5	230	1,02	Löslich	pH 7-8 (500 g/L)
Butan-2,3-diol	C ₄ H ₁₀ O ₂	90,12	+ 19	181	0,995	Löslich	pH 9-10 (500 g/L)
<i>d</i> /Butan-2,3-diol	C ₄ H ₈ (OH) ₂	90,12	-	+190	1,0059	beliebig	d-Form: α = +14,5°
Butandisäure, Bernsteinsäure	C₄H₆O₄ , (CH₂)₂- (COOH)₂	118,09	+188	235	1,572	5,8 pH=2,7 (10 g/L)	pK_{s1} = 4,21; pK_{s2} = 5,64; Salze: Sukzinate
Butan-1-ol, 1-Hydroxybutan	C ₄ H ₁₀ O, C ₄ H ₉ OH	74,122	- 89,5	117,2	0,8098 Flamm- p.+30°C	7,9	<i>prim.</i> Butylalko- hol, <i>p</i> ₀ = 6,7 hPa, η = 2,95 mPa•s
Butan-2-ol, 2-Hydroxybutan	C ₄ H ₁₀ O, C ₂ H ₅ - CHOH- CH ₃	74,122	-114,7	+99,5	0,8065 Flamm- p.+24°C	12,5	<i>sek.</i> Butylalkohol, <i>p</i> ₀ = 17,3 hPa, η = 4,21 mPa•s
<i>tert.</i> Butanol, 2-Methyl- propan-2-ol	C ₄ H ₁₀ O, (CH ₃) ₃ C- OH	74,122	+ 25,3	82,5	0,797 Flamm- p.+14°C	löslich	<i>tert.</i> Butylalkohol, <i>p</i> ₀ = 40,7 hPa, Zündtemp. 490°C
Butan-2-on, MEK	C ₂ H ₅ CO- CH ₃	72,107	-86,3	+79,6	0,806	20,9	Methylethylketon, <i>n</i> _D ¹⁵ = 1,38140
Butansäure, Buttersäure	C ₄ H ₈ O ₂ , C ₃ H ₇ - COOH	88,106	- 5,2	+163	0,961	∞,pK _s = 4,82	<i>n</i> _D = 1,39789; pH= 2,5 (100 g/L)
But-1-en, Butylen	C ₄ H ₈ , H ₂ C=CH- C ₂ H ₅	56,1	-185,4	- 6,3	fl. 0,589		(auch: 1-Buten, Buten-1), η = 0,15 mPa • s
<i>cis</i> -But-2-en	C ₄ H ₈	56,1	-138,9	+ 3,7	fl. 0,615		(CH ₃) ₂ C ₂ H ₄
<i>trans</i> -But-2-en	C ₄ H ₈	56,1	-105,6	- 0,88	fl. 0,598		(CH ₃) ₂ C ₂ H ₄

Name (IUPAC, ggf. Trivial)	Summen- Formel	<i>M</i> (g/mol)	ϑ_m (°C)	ϑ_b (°C)	ρ (g/cm ³ , Gase: g/L)	<i>L</i> (g/100g H ₂ O)	Weitere Angaben, Daten und An- merkungen
<i>cis</i> -Butendisäure, Maleinsäure (CH=CH)-(COOH) ₂	C ₄ H ₄ O ₄	116,073	+139	z.	1,590	78,8	pKs ₁ = 1,92; pKs ₂ = 6,22, Salze: Maleate
<i>trans</i> -Buten-di- säure, Fumar-säure	C ₄ H ₄ O ₄	116,073	+286	subl.	1,630	0,69	pKs=3,02, Salze: Fumate: HOOC- (CH=CH)-COOH
<i>cis</i> -But-2-ensäure	C ₄ H ₆ O ₂	86,090	72	189	fl. 0,973	8,28	Lösl. in Ethanol
<i>trans</i> -But-2-en- säure	C ₄ H ₆ O ₂	86,090	15	171,9	1,031		Lösl. in Ethanol, CH ₃ -C ₂ H ₂ -COOH
But-1-in	C ₄ H ₆	54,1	-125,7	+ 8,1	flü. 0,65	0	CH ₃ -CH ₂ -C≡CH
But-2-in	C ₄ H ₆	54,1	- 32,3	+ 27	0,686		CH ₃ -C≡C-CH ₃
<i>n</i> -Butylglykol, BG	C ₆ H ₁₄ O ₂	118,18	- 60	171,2	0,902	beliebig	C ₄ H ₉ -O-C ₂ H ₄ -OH
<i>n</i> -Butylacetat, IU- PAC: Essigsäure- <i>n</i> -butylester	C ₆ H ₁₂ O ₂ , CH ₃ COO- C ₄ H ₉	116,16	- 76,8	126,9	0,884	0,7	Flammp. +25°C, n_D^{15} = 1,3961, p_0 = 13 hPa
<i>tert.</i> Butylmethyl- ether (MTBE)	C ₅ H ₁₂ O	88,15	-108,6	+ 55,3	0,74	2,7	Methyl- <i>tert.</i> - butylester

C

D(-)-Campher	C ₁₀ H ₁₆ O	152,24	176	≈210	0,99	0	D-Kampfer
Carbaminsäure- ethylester	NH ₂ -COO- C ₂ H ₅	89,09	+ 50	+180			Urethan, Edukt zur PUR- Herstellung
β-Carotin (E160a)	C₄₀H₅₆	536,89	+183	z.	1,00	0	orangerot (Kri- stalle violett)
Cellobiose	(C₆H₁₁O₅)₂	342,3	z.	z.		12,5	ein Diglucosid
(-) Chinin	C ₂₀ H ₂₄ - N ₂ O ₂	324,43	+176	subl.		0,05	opt. aktives Alka- loid, pH=9 (0,5g/L)
<i>p</i> -Chinon	C ₆ H ₄ O ₂	108,10	115,7	180	1,32	1,0	<i>p</i> -Benzochinon
2-Chloramino- benzen	C ₆ H ₆ NCI	127,573	-14	208,8	1,2125	gering	2-Chloranilin, n_D = 1,58951
3-Chloramino- benzen	C ₆ H ₆ NCI	127,573	+ 70	230,5	1,427	kaum	3-Chloranilin, $n_D^{89°C}$ = 1,5611
4-Chloramino- benzen	C ₆ H ₆ NCI	127,573	- 10,2	230	1,215	0	4-Chloranilin, n_D = 1,59302
Chlorbenzen, Chlorbenzol	C₆H₅Cl	112,559	-45,5	131,7	1,1064	0,049	Phenylchlorid, n_D = 1,525

Name (IUPAC, ggf. Trivial)	Summen- Formel	<i>M</i> (g/mol)	ϑ_m (°C)	ϑ_b (°C)	ρ (g/cm ³ , Gase: g/L)	<i>L</i> (g/100g H ₂ O)	Weitere Angaben, Daten und An- merkungen
1-Chlorbutan	C ₄ H ₉ Cl	92,6	-123,1	+78,4	0,881	gering	1-Butylchlorid, $n_D = 1,40147$
2-Chlorbutan	C ₄ H ₉ Cl	92,6	-131,3	+68,3	0,868	gering	2-Butylchlorid
Chlordifluor- methan	CCl ₂ F ₂	120,9	-158	-29,8	fl. 1,75	gering	Freon 12 (FCKW)
Chlorethan	C₂H₅Cl	64,525	-136	+12,3	fl. 0,917	gering	Ethylchlorid
Chlorethansäure, Chloressigsäure	ClCH ₂ - COOH	94,50	+61,3	187,9	1,58	614	hautätzend, pKs= 2,86, $n_D^{66} = 1,4207$
Chlorethen, Vinylchlorid	CH ₂ =CHCl	62,5	-154	-13,4	fl. 0,969	gering	Chlorethylen, PVC-Rohstoff
Chlorethin	CH=CCl	60,5	-126	-32		reagiert	Chlorazetylen
1-Chlorhexan	C ₆ H ₁₃ Cl	120,6	-94,0	134,5	0,874	gering	Hexylchlorid
Chlormethan	CH₃Cl	50,5	- 97,7	-24,2	fl. 0,907	gering	Methylchlorid
1-Chlormethyl- benzen / -benzol, Benzylchlorid	C ₇ H ₇ Cl, C ₆ H ₅ - CH ₂ Cl	126,585	- 39	179,3	1,100	0,046 Flamm p. 52°C	α -Chlortoluol $\eta^{20} = 1,38$ mPa•s, $p_D^{20} = 1,2$ hPa
2-Chlormethyl- benzen-/ol	C ₇ H ₇ Cl	126,585	- 34	159,5	1,0817	0,0047	<i>ortho</i> -Chlortoluol, $n_D^{20} = 1,5247$
3-Chlormethyl- benzen-/ol	C ₇ H ₇ Cl	126,585	- 48	161,6	1,072	gering	<i>meta</i> -Chlortoluol, $n_D^{18,7} = 1,5225$
4-Chlormethyl- benzen-/ol	C ₇ H ₇ Cl	126,585	+ 7,5	162	1,0697	0,004	<i>para</i> -Chlortoluol, $n_D^{19} = 1,5199$
1-Chlor-3-methyl- butan	C ₅ H ₁₁ Cl	106,595		+99,8	0,893	0	$n_D^{18} = 1,41118$
2-Chlor-2-methyl- butan	C ₅ H ₁₁ Cl	106,60	- 73	+ 85	0,86	0,33	<i>tert.</i> Pentyl- / Amylchlorid
1-Chlor-2-methyl- propan	C ₄ H ₉ Cl	92,568	-131,2	+ 68,9	0,883	0,09	<i>sek.</i> Butylchlorid, $n_D^{15} = 1,40096$
2-Chlor-2-methyl- propan	(CH ₃) ₃ CCl	92,6	-25,4	+50,7	0,836	gering	<i>tert.</i> Butylchlorid, (Kation: C(CH ₃) ₃ ⁺)
1-Chlor-pentan, Pentylchlorid	C ₅ H ₁₁ Cl	106,6	-99	+108	0,877	0	<i>Prim.</i> Amylchlorid; $\eta = 0,58$ mPa•s
1-Chlorpropan	C ₃ H ₇ Cl	78,541	-122,8	+46,6	0,885	0,27	$p_D^{20} = 372$ hPa
2-Chlorpropan	C ₃ H ₇ Cl	78,541	-117,2	+35,7	0,856	0,31	2-Propylchlorid
Chlorpropanon	C ₃ H ₅ OCl	97,525	- 44,5	119,7	1,162	löslich	$n = 1,42207$
1-Chlor-propen	C ₃ H ₅ Cl ₂	75,5	-134,8	+32,8	0,927		(<i>cis</i> -Form)
Chlortrifluor- methan	CClF ₃	104,5	-181	-81,1		gering	Freon 13 (FCKW), $p_D^{20} = 3,22$ MPa
Chlorophyll a	MgKompl	893,52	≈+117	z.		≈ 0	E140, grün
2-Chlorpropan	C ₃ H ₇ Cl	78,54	-117	+ 35	0,86	0,31	<i>Iso</i> -propylchlorid

Name (IUPAC, ggf. Trivial)	Summen- Formel	<i>M</i> (g/mol)	ϑ_m (°C)	ϑ_b (°C)	ρ (g/cm ³ , Gase: g/L)	<i>L</i> (g/100g H ₂ O)	Weitere Angaben, Daten und An- merkungen
Cholesterin, -ol	C ₂₇ H ₄₆ O	386,67	+149	z. 360	1,07	0	$\alpha = -39^\circ$ (in CHCl ₃)
Cocain, Kokaïn	C ₁₇ H ₂₁ O ₄ N	303,36	+ 98	z.		0,18	Alkaloid, toxisch
Coffein, Thein	C₈H₁₀N₄O₂	194,19	+180	+239	1,23	0,21	pH $\approx$ 6,0 (10 g/L)
Cumol, Cumen	C ₆ H ₅ -C ₃ H ₇	120,02	- 96,0	152,4	0,858	0	Isopropylbenzol
Cyanamid	H ₂ N-C $\equiv$ N	42,040	+ 43	z.	1,0729	löslich	$n^{48^\circ\text{C}} = 1,4418$
Cyclobutan	C ₄ H ₈	56,1	-90,7	+12,5	fl.:0,689	0	$n^{60^\circ\text{C}} = 1,3752$
Cyclohexan	C₆H₁₂	84,161	+ 6,6	+80,5	0,7786	0	$n = 1,42680$
Cyclohexanol	C₆H₁₁OH	100,16	+ 25,2	+161	0,9376	56,7 g/L	$n_b = 1,4656$, $\eta^{25} = 4,6 \text{ mPa}\cdot\text{s}$
Cyclohexanon, „Anon“	C ₆ H ₁₀ O	98,15	- 31	+156	0,94	9,0 $\eta = 2,22$	Pfefferminzge- ruch, $n_b = 1,4507$
Cyclohexen	C ₆ H ₁₀	82,145	-103,5	+ 83,0	0,811	0	$n_b^{20} = 1,44637$, AGW: 400 mL/m ³
Cyclopentan	C ₅ H ₁₀	70,134	- 93,3	+ 49,5	0,7510	0	Flammp. -42°C
Cyclopenten	C ₅ H ₈	68,12	-135		0,777		$n_b^{10} = 1,4287$
Cyclopropan	C ₃ H ₆	42,080	-127,4	-32,8	fl. 0,72	0	gasförmig
L(+)-Cystein (Cys)	C ₃ H ₇ SNO ₂	121,16	$\approx$ 222	L(-): $\approx$ 260	(pH $\approx$ 5; 100g/L)	16,0	$\alpha_D^{25} = + 9,7^\circ$; pKs ₁ = 1,86; pKs ₂ = 8,35
L(-)-Cystin	C ₆ H ₁₂ - O ₄ N ₂ S ₂	240,3	z. 261	z.	1,677	0	$\alpha_D^{25} = -222,4^\circ$ (in HCl, $c = 0,5 \text{ mol/L}$)

D

Dec-1-en	C ₁₀ H ₂₀	140,27	- 66	170	0,74	0	$n = 1,4214$; $\eta = 1,1$
<i>n</i>-Decan, <i>n</i>-Dekan	C₁₀H₂₂	142	-30	+174	0,728	0	Aml: 75, fl., fbl.
Decan-1-ol, Decanol-1	C ₁₀ H ₂₂ O, C ₁₀ H ₂₁ OH	158,3	+ 6,4	+233	0,8198	0,0037	<i>n</i> -Decylalkohol, ölig, $n_b = 1,4358$
Decansäure	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	172,3	+31	+269	0,89	0,0026	$n = 1,4170$
<i>cis</i> -Dekalin	C ₁₀ H ₁₈	138,25	- 51	193,3	0,895	0	$n_b = 1,4699$
<i>trans</i> -Dekalin	C ₁₀ H ₁₈	138,25	-124	185,3	0,872	0	$n_b = 1,4828$
1,2-Diamino- ethan, Ethylendiamin	C ₂ H ₈ N ₂ , H ₂ N(CH ₂) ₂ NH ₂	60,11	+ 8,5	116,5	0,8995	∞ b.m.,	toxisch, K _B = $8,5 \cdot 10^{-5}$, $\eta^{20} = 1,54 \text{ mPa}\cdot\text{s}$
1,2-Dibrom- benzen / -benzol	C ₆ H ₄ Br	235,916	+ 6,7	221	1,956	0	<i>ortho</i> -Dibrom- benzol, $n = 1,6081$
1,3-Dibrom- benzen / -benzol	C ₆ H ₄ Br	235,916	- 6,9	219,5	1,957	0	<i>meta</i> -Dibrom- benzol, $n = 1,6087$
1,4-Dibrom- benzen / -benzol	C ₆ H ₄ Br	235,916	+ 86,9	219	2,100	0	<i>para</i> -Dibromben- zol, $n^{29,3^\circ\text{C}} = 1,5743$

Name (IUPAC, ggf. Trivial)	Summen- Formel	<i>M</i> (g/mol)	θ _m (°C)	θ _b (°C)	ρ (g/cm ³ , Gase: g/L)	<i>L</i> (g/100g H ₂ O)	Weitere Angaben, Daten und An- merkungen
1,1-Dibromethan	C ₂ H ₄ Br ₂	187,872		+ 109	2,0891	0	<i>n</i> = 1,5127
1,2-Dibromethan	C ₂ H ₄ Br ₂	187,872	+ 9,8	+131	2,169	0,404	CH ₂ Br-CH ₂ Br
Dibrommethan	CH ₂ Br ₂	173,9	- 52,6	+ 97	2,484	1,17	Methylenbromid
1,3-Dibrom- propan	C ₃ H ₆ Br ₂	201,90	- 34	167	1,98	0,168	2,3-Isomer: ρ = 2,046 g/cm ³
Dibutylether	C ₈ H ₁₈ O	130,230	- 95,2	142,4	0,7725	löslich	<i>n</i> ^{15°C} = 1,4010
1,2-Dichlor- benzen / -ol	C ₆ H ₄ Cl ₂	147,00	-17	+179	1,305	≈ 0	η ²⁰ = 1,32 mPa•s, ρ ₀ ²⁰ = 1,33 hPa
1,3-Dichlor- benzen / -ol	C ₆ H ₄ Cl ₂	147,00	-25	+172	1,288	0,00001	η ²⁰ = 1,07 mPa•s, ρ ₀ ²⁵ = 2,7 hPa
1,4-Dichlor- benzen / -ol	C ₆ H ₄ Cl ₂	147,00	+53	+174	1,533	0	η ²⁰ = 1,26 mPa•s, ρ ₀ ²⁰ = 0,8 hPa
1,1-Dichlorethan	CHCl ₂ -CH ₃	99,0	-97,0	+57,3	1,168	≈ 1,0	η ²⁰ = 0,48 mPa•s
1,2-Dichlorethan	C ₂ H ₄ Cl ₂	99,0	-35,7	+83,5	1,246	0,87	η ²⁰ = 0,84 mPa•s
Dichlor- ethansäure	Cl ₂ CH- COOH	128,9	+13,5	z.193	1,563	löslich, pK _s =1,3	Dichloressigsäu- re, <i>n</i> = 1,4658
1,2-Dichlor-ethen	C ₂ H ₂ Cl ₂	96,9	-80,5	+60,3	1,284	löslich	<i>cis</i> -Form
1,2-Dichlor-ethen	C ₂ H ₂ Cl ₂	96,9		+47,5	1,257	0,25	<i>trans</i> -Form
Dichlormethan	CH ₂ Cl ₂	84,9	-95,1	+39,8	1,316	2,0	Methylenchlorid
Diethylamin, Ethylaminoethan	C ₄ H ₁₁ N, (C ₂ H ₅) ₂ NH	73,138	- 38,8	+ 56,3	0,7056	löslich	K _B = 9,6•10 ⁻⁴ / pK _s =10,98
Diethylenglykol, DEG	C ₄ H ₁₀ O ₄	106,1	- 10	245,8	1,116	beliebig	(HO-C ₂ H ₄) ₂ O, <i>n</i> = 1,4469
Diethylendioxid	C ₄ H ₈ O ₂	88,11	+ 11,8	101,3	1,0336	beliebig	1,4-Dioxan
Diethylether, Ethoxyethan, „Äther“	C₄H₁₀O , (C₂H₅)₂O	74,12	-116,3	+ 34,5	0,7135	6,9	<i>n</i> = 1,3526, η = 0,23 mPa•s, ρ₀ = 587 hPa
Difluorchlor- methan	CHClF ₂	86,5	-146	-40,8	fl. 1,491		Freon 22, FCKW
Difluormethan	CH ₂ F ₂	53,0		-51,6	fl. 0,80		Methylenfluorid
1,3- (<i>meta</i> -) Dihydroxybenzol	C ₆ H ₄ (OH) ₂	110,11	+111	+270	1,272	löslich	Resorcin, farblos, süßl. Geschmack
1,4- (<i>para</i> -) Di-hydroxybenzol	C ₆ H ₄ (OH) ₂	110,11	+169	+286	1,36	löslich	Hydrochinon
D-2,3-Dihydroxy- butandisäure, D-(-) - / (2S,3S)- Weinsäure	C₄H₆O₆ , HOOC- [CHOH]₂- COOH	150,088	167	z.	1,8	139,4 (opt. aktiv)	pK_{s1} = 2,98; pK_{s2} = 4,34; Salze: Tartrate; KH-Tar- trat= „Weinstein“

Name (IUPAC, ggf. Trivial)	Summen- Formel	<i>M</i> (g/mol)	<i>g_m</i> (°C)	<i>g_b</i> (°C)	<i>ρ</i> (g/cm ³ , Gase: g/L)	<i>L</i> (g/100g H ₂ O)	Weitere Angaben, Daten und An- merkungen
L-(+)-2,3-Dihydroxybutan-disäure	C ₄ H ₆ O ₆	150,088	170	z.	1,759	139,0	KNa-Tartrat = „Seignettesalz“
D,L-Dihydroxybutandisäure	C ₄ H ₆ O ₆ , Racemat	150,088	206	z.	1,737	20,6	(dl)-Wein- / Traubensäure, α = ± 0
<i>meso</i> -Dihydroxybutandisäure, <i>meso</i> -Weinsäure	C ₄ H ₆ O ₆	150,088	147	z.	1,666	125	pK _{s1} = 3,22; pK _{s2} = 4,82; optisch inaktives Isomer
1,1-Diiodethan	C ₂ H ₄ I ₂	281,862		178		0	
1,2-Diiodethan	C ₂ H ₄ I ₂	281,862	+ 81	z.		gering	
Diiodmethan	CH ₂ I ₂	267,9	+ 6,1	+182	3,308	gering	Methylenjodid
Diisopropylether [(CH ₃) ₂ CH] ₂ O	C ₆ H ₁₄ O	102,2	- 86	+68,3	0,7255	1,07	<i>n</i> _D = 1,3678, <i>p</i> _D = 180 hPa; η = 0,37
Dimethylamin, Methylamino-methan	C ₂ H ₇ N, (CH ₃) ₂ NH	45,084	-96	+ 7	fl. 0,680	löslich	K _B = 5,2•10 ⁻⁴ / pK _s = 10,73; reizender NH ₃ -Geruch
1,2-Dimethylbenzen, <i>o</i> -Xylol	C ₈ H ₁₀	106,17	-25,18	114,4	0,880	0,018	<i>p</i> _D = 6,7 hPa; <i>n</i> _D = 1,5041
1,3-Dimethylbenzen, <i>m</i> -Xylol	C ₈ H ₁₀	106,17	-47,87	139,1	0,864	≈ 0	<i>p</i> _D = 8 hPa; <i>n</i> _D = 1,4978
1,4-Dimethylbenzen, <i>p</i> -Xylol	C ₈ H ₁₀	106,17	13,26	138,4	0,861	0	<i>p</i> _D = 8,7 hPa; <i>n</i> _D = 1,4968
2,2-Dimethylbutan	C ₆ H ₁₄	86,18	-100	+ 50	0,644	0	Aml: 5, flüssig, farblos
2,3-Dimethylbutan	C ₆ H ₁₄	86,18	-128	+ 58	0,65	0	Aml: 5, flüssig, farblos
Dimethylglyoxim	C ₄ H ₆ N ₂ O ₂	116,12	241	z.		0	DMG, Ni.-Reagenz
2,5-Dimethylhexan	C ₈ H ₁₈	114,23	<-80	109	0,6942	0	Aml: 18, farblos (ein <i>Isooctan</i>)
2,2-Dimethylpropan, <i>Neopentan</i>	C ₅ H ₁₂	72,15	-17	+9,5	fl. 0,58	≈ 0	Aml: 3, gasförmig, farblos
Dimethylsulfid	(CH ₃) ₂ S	62,13	-38,2	+37,3	0,8449	reagiert	Dim.-thioether
1,2-Dinitrobenzol	C ₆ H ₄ N ₂ O ₄	168,09	+118	+319	1,565	0,01	<i>ortho</i> ; <i>n</i> _D ²⁵ = 1,5204
1,3-Dinitrobenzol	C ₆ H ₄ N ₂ O ₄	168,09	+90,0	+291	1,575	0,065	<i>meta</i> ; <i>n</i> _D ²⁵ = 1,5502
1,4-Dinitrobenzol	C ₆ H ₄ N ₂ O ₄	168,09	+174	+299	1,625	0,008	<i>para</i> ; <i>n</i> _D ²⁵ = 1,5101
1,4-Dioxan, Glykolethylether	C ₄ H ₈ O ₂	88,11	+ 11,8	101,3	1,0336	beliebig	Diethylen-dioxyd, <i>n</i> _D ²⁰ = 1,4224
2,5-Dimethylhexan	C ₈ H ₁₈	114,23	<-80	109	0,6942	0	Aml: 18, farblos (ein <i>Isooctan</i>)
Dipentylether	(C ₅ H ₁₁) ₂ O		- 69,3	187,5	0,7751		Diamylether
Di-/Biphenyl	C ₆ H ₅ -C ₆ H ₅	154,211	+70	+256	0,989	0	<i>n</i> _D ⁷⁷ = 1,588, <i>n</i> _D ⁷⁰ = 1,49 mPa•s

Name (IUPAC, ggf. Trivial)	Summen- Formel	<i>M</i> (g/mol)	θ _m (°C)	θ _b (°C)	ρ (g/cm ³ , Gase: g/L)	<i>L</i> (g/100g H ₂ O)	Weitere Angaben, Daten und An- merkungen
Diphenylamin, N-Phenylalanin	C ₆ H ₅ NHC ₆ H ₅	169,2	+54	+302	1,160	0,005	N-Phenylanilin, pK _s = 0,79 / tox.
Diphenylethan	C ₁₄ H ₁₄	182,27		+269	1,001	0	(C ₆ H ₅) ₂ CH-CH ₃ , <i>n</i> _d ²⁰ = 1,5684
Diphenylmethan	C ₁₃ H ₁₂	168,238	+ 27	264,7	1,0059	0	<i>n</i> = 1,56957
Dipropylether	C ₆ H ₁₄ O	102,2	- 95,2	142,4	0,7704	gering	(C ₃ H ₇) ₂ O
n-Dodekan	C ₁₂ H ₂₆	170	-12	216,3	0,745	0	flüssig, farblos
Dodekansäure	C ₁₁ H ₂₃ - COOH	200,3	+43,5	z.	0,8707	0	Laurinsäure, <i>n</i> _D ⁷⁰ = 1,4225
Dokosan, Docosan	C ₂₂ H ₄₆	310	+ 45	≈ 365	ca.0,8	0	<i>n</i> _D ²⁵ = 1,4435 (fl.)
Dotriakontan / -contan	C ₃₂ H ₆₆	450,88	70,5		0,7645	0	Wachsartig, fbl.

E

Eicosan	C ₂₀ H ₄₂	282	+36,4	343,8	0,785	0	Aml: 366319, fest
Ethandiol-1,2 Dihydroxyethan, (Ethylen-)Glykol	C ₂ H ₆ O ₂ , (HOCH ₂) ₂	62,1	-15,6	+198	1,109	∞, b. m. (belie- big)	EG; <i>n</i> _D = 1,4318 <i>p</i> _D = 0,06hPa; <i>η</i> = 20,4 mPa•s
Ethan	C ₂ H ₆	30,07	-183,3	-88,7	1,265 *		<i>L</i> : 0,049 L Gas/kg
Ethanal, Formalin	CH ₃ -CHO	44,05	-123,4	+ 20,2	0,779	beliebig	Azetalddehyd
Ethandisäure, Klee- / Oxalsäure	C ₂ H ₂ O ₄ , (COOH) ₂	90,0	+157	subl.	1,900	löslich	pK _{s1} = 1,25; pK _{s2} = 4,29; Salze: Oxa- late / HOOC- COOH
Ethannitril, Acetonitril	C ₂ H ₃ N, CH ₃ CN	41,05	-44,9	+81,6	0,783	löslich	giftig, brennbar, <i>n</i> = 1,34423
Ethanol, Hydroxyethan, Ethylalkohol	C ₂ H ₆ O, C ₂ H ₅ OH	46,07	-114,5	+78,3	0,79	∞, b. m. (belie- big)	Weingeist, Spiri- tus, <i>n</i> _D = 1,38533, <i>η</i> = 1,20 mPa•s
Ethansäure, Essigsäure	C ₂ H ₄ O ₂ , CH ₃ COOH	60,1	+ 16,7	117,9	1,044	∞, b. m.	pK _s = 4,76; <i>n</i> = 1,3718
Ethansäureamid, Acetamid	C ₂ H ₅ NO	59,07	+82,3	221,2	0,980	238,0	<i>n</i> ⁷⁸ = 1,4278; CH ₃ CO-NH ₂
Ethansäure- anhydrid	C ₄ H ₆ O ₃	102,09	-73,1	136,4	1,08712	13,6 (reag.)	Acetanhydrid, <i>n</i> = 1,39006
Ethansäure- bromid	C ₂ H ₃ OBr, CH ₃ COBr	122,95	-96,5	+76,7	1,6625	reagiert	Acetylbromid, <i>n</i> _D ^{15,5} = 1,4537
Ethansäure- <i>n</i> -butylester	C ₆ H ₁₂ O ₂ , CH ₃ COO- C ₄ H ₉	116,16	-77,9	126,5	0,883	< 1,0	Essigsäurebutyl- ester; <i>n</i> -Butylace- tat, <i>η</i> = 0,73 mPa•s
Ethansäure- ethylester, Ethylazetat	CH ₃ COO- C ₂ H ₅	88,11	-83,57	77,06	0,9005	8,53	Essigsäureethyl- ester; <i>n</i> = 1,37237 <i>η</i> = 0,441 mPa•s

Name (IUPAC, ggf. Trivial)	Summen- Formel	<i>M</i> (g/mol)	ϑ_m (°C)	ϑ_b (°C)	ρ (g/cm ³ , *Gase: g/L)	<i>L</i> (g/100g H ₂ O)	Weitere Angaben, Daten und An- merkungen
Ethansäureiodid	CH ₃ COI	169,95		+108	1,98	reagiert	Acetyliodid
Ethansäure- isoamylester, Isoamylacetat	C ₇ H ₁₄ O ₂ , CH ₃ COO- C ₅ H ₁₁	130,10	- 78	142	0,8670	0,212	Lösungsmittel für Lacke, Birnen- aroma, <i>n</i> =1,4003
Ethansäure- isobutylester, Isobutylacetat	C ₆ H ₁₂ O ₂ , CH ₃ COO- C ₄ H ₉	116,2	-98,85	117,2	0,8747	0,7	Bananenaroma, techn. Lösungs- mittel; <i>n</i> = 1,3901
Ethansäure- isopropylester, Isopropylacetat	C ₅ H ₁₀ O ₂ , CH ₃ COO- C ₃ H ₇	102,13	- 73,4	90	0,872	3,09	Essigsäureisopro- pylester; η = 520 mPa•s, <i>n</i> =1,3773
Ethansäure- methylester	C ₃ H ₆ O ₂	74,079	- 98,1	+ 56,9	0,9244	löslich	Methylacetat, <i>n</i> = 1,360
Ethansäure- phenylester	C ₈ H ₈ O ₂	136,2		195,7	1,0777	0	Phenylacetat, CH ₃ COO-C ₆ H ₅
Ethansäure- pentylester	C ₇ H ₁₄ O ₂	130,19	- 71	149	0,87	1,0	<i>n</i> -Amylacetat, <i>n</i> -Pentylacetat
Ethansäurepropyl- ester, Propylacetat	CH ₃ COO- C ₃ H ₇	102,13	- 95	101,6	0,8884	1,89	Essigsäurepropyl- ester, <i>n</i> = 1,3847
Ethen, Ethylen	C ₂ H ₄ , H ₂ C=CH ₂	28,054	-169,2	-103,7	*1,178	0,122 L/ kg H ₂ O	fbl., geruchlos, polymeris. zu PE
Ethin, Acetylen	C ₂ H ₂	26,038	- 81,8	subl.	*	gering	HC≡CH, <i>L</i> : 0,1 L/L
Ethoxyethan, Diethylether, „Äther“	C ₄ H ₁₀ O , (C ₂ H ₅) ₂ O	74,12	-116,3	+ 34,5	0,7135	6,9	<i>n</i> = 1,3526, η = 0,23 mPa•s, p_b = 587 hPa
Ethylbenzol,-en Phenylethan	C ₈ H ₅ -C ₂ H ₅	106,17	-94,97	136,2	0,8672	0	n_D^{16} = 1,4985, η = 0,68 mPa•s
Ethylendiamin- tetraethan- / essigsäure, EDTA	C ₁₀ H ₁₆ - N ₂ O ₈	292,25	z.210	z.	0,86	0,05	pKs ₁ =2,0/pKs ₂ =2, 7 pKs ₃ =6,2 / pKs ₄ =10,3
Ethylendinitrilo- tetraethan- / -essigsäure, EDTA	C ₂ (NH ₂) ₂ - (COOH) ₂	292,25	z.210	z.	0,86	0,05	pKs ₁ =2,0/pKs ₂ =2,7 pKs ₃ =6,2 / pKs ₄ =10,3

F

Fluorbenzen/ -ol	C ₆ H ₅ F	96,104	- 41	85	1,0225	0,151	
Fluordichlor- methan	CHCl ₂ F	102,9	-135	+ 9	fl. 1,405	gering	Freon 21, FCKW (gasf., fbl.)
Fluoren	C ₁₃ H ₁₀	166,222	+ 115	294	1,201	0	fbl.
Fluorethansäure, Fluoressigsäure	C ₂ H ₃ O ₂ F, FCH ₂ - COOH	78,043	+ 33	165	1,369	löslich	pKs= 2,23, tox., brennt mit grüner Flamme

Name (IUPAC, ggf. Trivial)	Summen- Formel	<i>M</i> (g/mol)	θ _m (°C)	θ _b (°C)	ρ (g/cm ³ , *Gase: g/L)	<i>L</i> (g/100g H ₂ O)	Weitere Angaben, Daten und An- merkungen
Fluormethan	CH ₃ F	34,0	-142	-78,4	fl. 0,557	gering	Methylfluorid
D-(-)-Fructose	C₆H₁₂O₆	180,157	z. 103	z.	1,669	50	Fruchtzucker
Furan	C ₄ H ₄ O	68,075	- 86	+ 32	0,9388	1,0	tox., F+/Xn/Xi/N

G

Galactose	C₆H₁₂O₆	180,157	165,5	z.	1,5	65,0	Milchzucker
α-D-(+)-Glucose, Traubenzucker	C₆H₁₂O₆	180,16	147	z.	1,5620	47,0	Dextrose, α_D²⁰ = +113,4° → +52,5°
L(+)-Glutamin (-säureamid)	C ₅ H ₁₀ N ₂ O ₃	146,15	185	z.		2,6	α _D ²² = +6,4° bis +7,0°
L(+)-Glutaminsäure (Glu)	C ₅ H ₉ NO ₄	147,13	160	z.	1,538	1,11 (S)-(+)- Isomer ebenso	pK _{S1} =2,13 / pK _{S2} = 4,35 / α=+12,0° / HOOC-C ₂ H ₄ - CH(NH ₂)-COOH
Salze: Glutamate)							
Glycerin	C₃H₈O₃	92,10	+ 18,2	290,5	1,261	∞, b. m.	Propan-1,2,3-triol
Glycerintrinitrat	C ₃ H ₅ N ₃ O ₉	227,09	+ 13,1	expl.	1,6185	0,18	Nitroglycerin
Glycerintrioleat	C ₅₇ H ₇₅ O ₆	885,46	- 5	z.	0,9152	0	Fett, <i>n</i> _D ⁶⁰ = 1,6280
Glycin, Amino-ethansäure (Gly)	H₂N-CH₂-COOH	75,07	z.253	z.	1,1607	25,0	Glykokoll, pK_{S1} = 2,35 / pK_{S2} = 9,78
Guanidin	CH ₅ N ₃	59,071	+ 50	z.		löslich	(H ₂ N)C=NH

H

Hämoglobin	-	≈68.000	z.	z.		gering	ein Blut-Protein
Harnsäure	C ₅ H ₄ N ₄ O ₃	168,11	z.	z.	1,893	0,08 g/L	im Vogelkot
Harnstoff, Koh-lensäurediamid	H₂N-CONH₂	60,055	132,1	z.	1,335	109,4	L bei 5°C: 77,9
Hentriakontyl-hexadekanat (Bienenwachs)	C ₄₇ H ₉₄ O, C ₁₅ H ₃₁ CO O-C ₃₁ H ₆₃	≈ 690	≈ 57	z.	≈ 0,82	0	Palmitinsäure-myricylester, Bienenwachs
<i>n</i>-Heptan	C₇H₁₆	100,21	- 90,6	+ 98	0,6837	0	Aml: 9, <i>n</i> = 1,3876
Heptan-1-ol	C ₇ H ₁₅ OH	116,2	- 34,6	176	0,8221	0,1	<i>n</i> _D ^{22,4} = 1,42326
Heptan-2-ol	C ₇ H ₁₅ OH	116,2		+ 159	0,8193	0	<i>n</i> _D ²⁰ = 1,42131
Heptan-4-ol	C ₇ H ₁₅ OH	116,2	- 40	156	0,8175	< 0,1	Dipentylcarbinol
Heptan-2-on	C ₆ H ₁₄ O	114,3	-35,	151	0,81966	0,43	Methylamylketon
Heptan-3-on	C ₆ H ₁₄ O	114,3	+41	148	0,82	0,43	Butylethylketon
Heptan-4-on, Butyron	C ₆ H ₁₄ O, (C ₃ H ₇) ₂ CO	114,3	-34	+144	0,81	0,46	Di- <i>n</i> -propylketon, <i>n</i> _D ²² = 1,40732
Heptansäure, Önanthsäure	C ₆ H ₁₃ -COOH	130,2	-9/-10	+222	0,9212	0,24	η= 5,00 / <i>n</i> = 1,42162
Hexachlorethan	C ₂ Cl ₆	236,8	+185	+185	2,091		toxisch, sublim.
Hexadekan-1-ol Cetylalkohol	C ₁₆ H ₃₃ OH	242,4	+51	≈340	0,8042	lösl. in Ether	kommt im Walrat vor, <i>n</i> _D ⁵⁵ = 1,4391

Name (IUPAC, ggf. Trivial)	Summen- Formel	<i>M</i> (g/mol)	ϑ_m (°C)	ϑ_b (°C)	ρ (g/cm ³ , *Gase: g/L)	<i>L</i> (g/100g H ₂ O)	Weitere Angaben, Daten und An- merkungen
Hexadecan / -dekan, <i>n</i>-Cetan	C₁₆H₃₄	226,45	+ 17,8	287	0,7751	0	$m_b^{20^\circ\text{C}} = 1,4368$; $\eta < 7$, $p_b < 0,1$ hPa
Hexadec-1-en	C ₁₆ H ₃₂	224,43	+ 4	157	0,78	0	$m_b^{20^\circ\text{C}} = 1,4401$
Hexadecansäure, Palmitinsäure	C₁₆H₃₂O₂	256,4	+62,2	≈ 345	0,854	0	$m_b^{70^\circ\text{C}} = 1,4303$ C₁₅H₃₁COOH
Hexadecyl- hexadecanat	C ₁₅ H ₃₁ CO O-C ₁₆ H ₃₃	480,87	+53,5	z.	0,8324	0	Palmitinsäurece- tyl ester, im Walrat
<i>n</i>-Hexan	C₆H₁₄	86,18	- 95,6	+ 69	0,6593	0	Aml: 5, <i>n</i> = 1,3749
Hexan-1,6-diol	C ₆ H ₁₂ - (OH) ₂	118,2	+ 41	250	1,12	500,0	Hexamethylen- glykol, HMG
Hexandisäure, Adipinsäure	C₆H₁₀O₄	146,1	+153	z. 165	1,360	1,5	HOOC-(CH₂)₄- COOH, $pK_s=4,42$
Hexan-1-ol	C ₆ H ₁₃ OH	102,18	-46,7	157,1	0,815	0,59	$p_b = 1,03$ hPa
Hexan-2-on, MBK	C ₆ H ₁₂ O	100,2	-56	127,5	0,81825	gering	Methylbutylketon
Hexan-3-on, EPK	C ₆ H ₁₂ O	100,2		123,5	0,8174	gering	Ethylpropylketon
Hexansäure, <i>n</i> -Capronsäure	C ₆ H ₁₁ COO H	116,1	- 3	206	0,9289	0,97	$pK_s=4,87$, $m_b^{15^\circ\text{C}} = 1,4188$
Hex-1-en	C ₆ H ₁₂	84,2	-139,8	+ 63,5	0,668	0,005	Hexylen
<i>cis</i> -Hex-3-en	C ₆ H ₁₂	84,2	-137,8	+ 66,5	0,675	gering	
<i>trans</i> -Hex-3-en	C ₆ H ₁₂	84,12	-113,4	+67,1	0,6772	gering	$m_b^{20^\circ\text{C}} = 1,3943$
Hex-1-in, Hexin-1	C ₆ H ₁₀	82,145	-131,9	+ 71,3	0,710	0	HC≡C-C ₄ H ₉
Hex-2-in, Hexin-2	C ₆ H ₁₀	82,145	- 92	+ 83,7	0,719	0	$n = 1,402$
Hex-3-in, Hexin-3	C ₆ H ₁₀	82,145	- 51	+ 80	0,73	0	$n = 1,414$; $p_b^{37,7^\circ\text{C}} = 248$ hPa
Hexylenglykol, HG	C ₆ H ₁₄ O ₂	118,2	- 40	197,1	0,9234		(CH ₃) ₂ COH- CH ₂ CHOHCH ₃
Hydroxybenzen	C₆H₆O	94,113	41	181,4	1,056	8,2	Phenol
2-Hydroxyben- zencarbonsäure, Salicylsäure	C ₇ H ₆ O ₃ , HO-C ₆ H ₄ - COOH	138,1	158	211	1,443	0,2 (pH=2,4 gesätt.)	$pK_{s1}=2,97$ / $pK_{s2}=$ 13,59; Salze: Sali- cylate;
D-(+)-Hydroxy- butandisäure	C ₄ H ₆ O ₅ , (R)-Form	134,088	102	z. 140	1,595	löslich	D-(+)-Äpfelsäure, pH = 2,2 (10 g/L)
L-(-)-Hydroxy- butandisäure, L-(-)-Äpfelsäure	C ₄ H ₆ O ₅ , (L-Form = (S)-Form)	134,088	102	z. 140	1,60	16,0/Ra- cemat: 55,8	L-(-)-Hydroxybern- stein-/Äpfelsäure, pH = 2,2 (10g/L)
2-Hydroxy-2- methylpropan	(CH ₃) ₃ C- OH	74,12	+ 25,6	82,55	0,7867	∞, b. m.	2-methyl-propan- 2-ol, <i>tert.</i> Butanol
1-Hydroxypropan, Propan-1-ol	C₃H₈O, C₃H₇OH	60,11	-126,2	+ 97,2	0,8035	∞, b. m.	Propylalkohol,
2-Hydroxypropan Propanol-2	C₃H₈O	60,11	-89,5	+ 82,4	0,7855	∞, b. m.	<i>sek.</i> / Iso-Propa- nol:(CH₃)₂-CH(OH)

Name (IUPAC, ggf. Trivial)	Summen- Formel	<i>M</i> (g/mol)	ϑ_m (°C)	ϑ_b (°C)	ρ (g/cm ³ , *Gase: g/L)	<i>L</i> (g/100g H ₂ O)	Weitere Angaben, Daten und An- merkungen
L(+)-2-Hydroxy- propansäure, +(d)-Milchsäure	C ₃ H ₆ O ₃ / CH ₃ CH(O H)-COOH	90,1	+ 18	+103	1,22 (pH=2,8 10 g/L)	löslich (pK _s = 3,86)	Salze = Laktate, Gärprodukt; als L(+): $\alpha^{15} = + 3,82^\circ$
2-Hydroxypro- pantrisäure-1,2,3, Zitronensäure	C ₆ H ₈ O ₇	192,13	z.153; (•H ₂ O 135)	z.	1,665 (•1H ₂ O: $\rho=1,54$)	133,0 (pH=1,7 100g/L)	Citronensäure** / Citrate, E 330 L(•1H ₂ O) = 163,0

I

Indigo	(C ₉ H ₅ NO) ₂	262,27	+ 391	+391	1,35	0	Blauglänzend
Iodethan	C ₂ H ₅ I	156,0	-111	+72,3	1,924	0,4	Ethyljodid
Iodmethan	CH ₃ I	141,9	- 66,5	+ 42	2,265	2,28	Methyljodid, tox.
Iodoform	CHI ₃	393,73	+125			0,01	Triiodmethan
α -Ionon	C ₁₃ H ₂₀ O	192,300		z.	0,932	gering	Dufststoff
/isobutanal	C ₄ H ₈ CHO	72	-66	+64,5	0,790	88 g/L	Isobutyraldehyd
L(+)-/isoleucin (Ile)	C ₆ H ₉ CH- (NH ₂)- COOH	131,18	z.280	z.	(pH=6,0 40 g/L)	3,87	$\alpha_D^{12} = +12,8^\circ$ pK _{s1} = 2,32 pK _{s2} = 9,76
/isooctan, iso-Octan	C ₈ H ₁₈	114,23	- 107	+ 99	0,691	5,6•10 ⁻⁵	$\rho_b = 51$ hPa; 2,2,4- Trimethylpentan
Isopren, 2-Me- thyl-Butadien-1,3	C ₅ H ₈	68,12	-120	+34	0,6806	$n_D = 1,419$	H ₂ C=CH- C(CH ₃)=CH ₂

K

Kampher	C ₁₀ H ₁₆ O	152,236	178,8	204	$\approx 1,0$	> 0,2	Lösl. in Ethanol
Keten	H ₂ C=C=O	42	- 151	- 56	gasf.	reagiert	$\eta = 1,52$ mPa•s
Kohlenoxysulfid	COS	60,07	-138,2	- 50,2	2,721	54 mL/L	tox.
Kohlensäure- dichlorid	COCl ₂	98,916	-126	+ 8	fl. 1,43	reagiert	Phosgen, tox.
Kohlensäure- amid, Harnstoff	H ₂ N- CONH ₂	60,055	132,1	z.	1,335	109,4	<i>L</i> bei 5°C: 77,9
Kohlenstoff- disulfid	CS ₂	76,13	-108,6	46,45	1,2632	0,18	$n_D^{15} = 1,62935$; Flammmp. -30°C
Kohlenstoff- tetrachlorid	CCl ₄	153,8	- 23	+76,5	1,584	7,7 g/L	Tetrachlormethan, $n_D^{15} = 1,4631$
Kohlensuboxid	C ₃ O ₂	68,032	-111,3	+7	fl. 1,114	reagiert	O=C=C=C=O

Name (IUPAC, ggf. Trivial)	Summen- Formel	<i>M</i> (g/mol)	ϑ_m (°C)	ϑ_b (°C)	ρ (g/cm ³ , *Gase: g/L)	<i>L</i> (g/100g H ₂ O)	Weitere Angaben, Daten und An- merkungen
Kongorot	C ₃₂ H ₂₂ N ₆ - Na ₂ O ₆ S ₂	696,68	z.	z.		2,5	pH-Indikator, can- cerogen, mutagen
Kresolrot	C ₂₁ H ₁₈ O ₅ S	382,44	z. 290	z.		gering	Indikator
Kristallviolett, Methylviolett 10B	C ₂₅ H ₃₀ - ClN ₃	407,99	190	z.	1,19	1,6	C.I.42555, pH = 3,0 (10 g/L), Xn,N
Kumarin, <i>ortho</i> -Oxy- zimtsäurelacton	C ₉ H ₆ O ₂ / C ₈ H ₄ (HC= CH)COO	146,145	71	z. 291	0,935	gering	Cumarin, Wald- meistergeruch, cycl. Molekül

L

α-Lacto(bio)se, α-Laktose	C₁₂H₂₂O₁₁	342,32	+223	z.	1,53	leicht löslich	Milchzucker, $\alpha=+90^\circ \rightarrow +52,3^\circ$
L(-)-Leucin (Leu), 2-Amino-4-me- thylpentansäure	C ₄ H ₉ CH- (NH ₂)- COOH	131,18	+294	z. 300	1,29	2,22 (pH=6,0 20g/L)	$\alpha_D^{20} = -10,42^\circ$, pK _{s1} = 2,33 / pK _{s2} = 9,74
D,L-Leucin	C ₆ H ₁₃ NO ₂	131,18	+295	subl.	1,29	2,4	Racemat
L-Limonen, L- <i>p</i> -Mentha- 1,8-dien	C ₁₀ H ₁₆	136,236	-96,6	177,8	0,8422	0	$n_D^{20} = 1,4727$, $n_D^{22,4} = 1,474$, $\alpha = -122,1^\circ$
α-9,12,15- Linolensäure	C₁₇H₂₉- COOH	278	≈ -80	z.	0,9046		doppelt ungesät- tigte Fettsäure
9,12-Linolsäure	C₁₇H₃₁- COOH	280,4	- 9,5	z.	0,9025	0	$n = 1,471$

M

Magnesium- stearat	Mg(C ₁₈ H ₃₅ - O ₂) ₂	591,27	+145	z.		0,0077	Trennmittel E572; Na-Salz = Seife
Maltose	C₁₂H₂₂O₁₁	342,299	102,5		1,540	79	Malzzucker
Methan (Gruben-/Erdgas)	CH₄	16,043	-182,5	-161,5	0,671 *	0,0021	$L = 0,035$ L Gas / kg Wasser
Methanal	H-CHO	30,03	-92	- 20	0,815 (-20°C)	≈ 55	Formaldehyd, Formalin
Methanol, Hydroxymethan	CH₃OH	32,04	- 97,8	+ 64,7	0,7910	∞, b. m.	$n_D = 1,3288$, tox., $\eta = 0,59$ mPaes ,
Methansäure, Ameisensäure	HCOOH	46,026	+ 8,4	100,6	1,2259	∞, b. m.	pK_s=3,74 $n = 1,37137$
Methansäure- diamid, Harnstoff	NH ₂ CO- NH ₂	60,06	132,7	z.	1,323	gut löslich	Carbamid, Harn- stoff, $n = 1,484$
Methan- Ameisensäure- ethylester	HCOO- C ₂ H ₅	74,079	-80,5	+54,1	0,9224	11,1	Ethylmethanoat/- formiat, Flamm- p. -19,5°C; $n = 1,35975$

Name (IUPAC, ggf. Trivial)	Summen- Formel	<i>M</i> (g/mol)	ϑ_m (°C)	ϑ_b (°C)	ρ (g/cm ³ , *Gase: g/L)	<i>L</i> (g/100g H ₂ O)	Weitere Angaben, Daten und An- merkungen
Methan- Ameisensäure- ethylester	HCOO- C ₂ H ₅	74,079	-80,5	+54,1	0,9224	11,1	Ethylmethanoat/- formiat, Flammmp. -19,5°C; $n_D = 1,35975$
Methansäure- hexylester	HCOO- C ₆ H ₁₃	130,19	< -70	153,9	0,8977	gering	Hexylmethanoat, Apfelaroma
Methansäure- methylester	HCOOCH ₃	60,05	-100,4	+32	0,974	30,0	Methylformiat $n_D^{25^\circ\text{C}} = 1,3415$
Methanthiol	CH ₃ SH	48,11	-121	+ 6	0,896	löslich	Methylmercaptan
L(-)-Methionin (Met)	C ₅ H ₁₁ S- NO ₂	149,21	z.280	z.	1,34	4,8 DL: 3,40	$\alpha = -7,2^\circ$, pK _{s1} = 2,17, pK _{s2} = 9,27
3-Methoxy- 4-hydroxy-benz- aldehyd, Vanillin	C ₆ H ₃ (OH)- (OCH ₃)- CHO	152,14	+ 82	+284 (in CO ₂)	1,06	≈ 1,0	Aromastoff (ähn- lich: Ethylvanil-lin = Bourbonal)
Methoxymethan	CH₃OCH₃	46	-138,5	- 23,6	gasf. *		Dimethylether, $p_b = 504 \text{ kPa}$
Methylbenzen/-ol, Toluen, Toluol	C ₆ H ₅ -CH ₃	92,15	- 95	110,7	0,8716	4,7	Phenylmethan, $n_D^{15} = 1,49985$
2-Methyl- Butadien-1,3, Isopren	C₅H₈	68,12	-146	+34	0,6806 $p_b =$ 605 hPa	0,07	$n_D^{20} = 1,4194$, H₂C=CH- C(CH₃)=CH₂
2-Methylbutan (Isopentan)	C₅H₁₂	72,149	-160	+ 28	0,616	0,0048	Aml: 3, fl., fbl. , $n_D^{25^\circ\text{C}} = 1,36127$
Methylisocyanid	CH ₃ -N≡C	41,052	-45	+59,0	0,7327	10,0	tox., expl.
Methylisonitril	CH ₃ -C≡N	41,052	- 45	59,6	0,756	10,0	$n_D^{40^\circ\text{C}} = 1,5245$
Methyl- isothiocyanat	CH ₃ - N=C=S	73,11	+ 35	119	1,07	0	$n_D^{107^\circ\text{C}} = 1,4584$ (Thiocyanat:SCN)
Methylorange, Helianthin	C ₁₄ H ₁₄ - N ₃ NaO ₃ S	327,34	> 300	z.		0,5	C.I.13025, Indika- tor, pH =6,5(5g/L)
2-Methylpentan	C ₆ H ₁₄	86,18	-154	+ 60	0,649	0	Aml: 5, fl., farbl.
3-Methylpentan	C ₆ H ₁₄	86,18		+ 63	0,660	0	Aml: 5, fl., farbl.
Methylpropan (Isobutan)	C₄H₁₀	58,123	-159	- 12	flü.0,55	≈ 0	Aml: 2 / im Feu- erzeuggas
2-methyl-propa- nol-2, <i>tert.</i> Buta- nol	(CH ₃) ₃ C- OH	74,12	+ 25,6	+82,5 5	0,7867	∞, b. m.	2-Hydroxy-2- methylpropan
2-Methyl-propan-/ Isobutter-säure	C ₃ H ₇ - COOH	88,10	- 46,1	154,7	0,9530	20,0	pK _s =4,86/ $n_D = 1,393$ / $\eta = 1,31 \text{ mPa}\cdot\text{s}$
2-Methyl-propan- säure-ethylester	C ₆ H ₁₂ O ₂	116,160	- 88,2	110,7	0,8209	gering	Ethylisobutylat (Lösungsmittel)
2-Methylpropen, Isobutylen	C ₄ H ₈	56,1	-140,4	- 6,9	gasf.* fl. 0,588	gering	(CH ₃) ₂ C=CH ₂ $p(\text{fl}) = 1700 \text{ hPa}$

Name (IUPAC, ggf. Trivial)	Summen- Formel	<i>M</i> (g/mol)	ϑ_m (°C)	ϑ_b (°C)	ρ (g/cm ³ , *Gase: g/L)	<i>L</i> (g/100g H ₂ O)	Weitere Angaben, Daten und An- merkungen
4-Methyl-penta- non-2, MIBK	C ₈ H ₁₂ O	100,2	-84	116,2	0,796	1,8	Methylisobutylke- ton, C ₄ H ₉ CO-CH ₃
Methylthiocyanat	CH ₃ SCN	73,15	-51	+131	1,0778	gering	Lauchgeruch
+(d)-Milchsäure, L(+)-2-Hydroxy- propansäure,	C₃H₆O₃ , CH₃CH(O H)-COOH	90,1	+18	+122 (20 hPa)	1,22	leicht löslich	Salze = Laktate, als L(+): $\alpha^{15} =$ + 3,82°, pKs=3,86
L-(-) Monohydro- xy-butandisäure, Apfelsäure	C₄H₆O₅	134,09	+101	z.140	1,600	16,0 (pH=2,2 10 g/L)	Salze: Malate; HOOC-CH₂- CHOH-COOH
Mononatrium- citrat	C ₆ H ₅ O ₇ Na • 5 H ₂ O	258,07	fest	z>180	1,857	löslich	Schmelzsatz E331
Morphin	C ₁₇ H ₁₉ NO ₃	285,35	253,5	z.		0,15 g/L	α =-131,7°(CH ₃ OH)
Myoglobin	-	≈17.000	z.	z.	> 1,0	gering	ein Protein

N

Naphthalin, Naphthen	C ₁₀ H ₈	128,19	80,55	+218	1,03	0	linear (2 Ringe)
Naphthen-1-ol	C ₁₀ H ₇ (OH)	144,17	+ 96,1	279	1,1	0	α -Naphthol
Naphthen-2-ol, 2-Naphthol	C ₁₀ H ₇ (OH)	144,17	+122	294,8	1,100	5,7	Hydroxynaphthen, β -Naphthol
Naphtholgrün B, kompl. Indikator C.I.10020	C ₃₀ H ₁₅ Fe- N ₃ Na ₃ - O ₁₅ S ₃	878,45	z.	z.		16,0 (pH=9,3 10 g/L)	1-Nitroso-2-naph- thol-6-sulfonsäu- re-FeNa-Salz
Natriumethanolat	C ₂ H ₅ ONa	68,05	z.	z.		reagiert	pH = 13 (5 g/L)
Natriumethanat	C ₂ H ₃ O ₂ Na	82,03	z.324	z.	1,52	36,5	Natriumacetat
Natriumformiat	HCOONa	68,01	253	z.	1,92	55,0	zur Ag ⁺ -Fällung
Natriumlactat, Schmelzsatz E325	C ₃ H ₅ O ₃ Na	112	z.	z.		hygro- skop.	(Ca-Salz: • 5 H ₂ O, <i>M</i> = 218,22 g/mol)
Natriummethylat	CH ₃ ONa	54,024	z.	z.		reagiert	Na.-methanolat
Ninhydrin	C ₉ H ₆ O ₄	178,15	z.250	z.		2,0	Eiweiß-Reagenz
(-)-Nicotin, L-Nikotin	C₁₀H₁₄N₂	162,24	< -79	+247	1,0092 (ölilig)	löslich pH10,2 (8,1g/L)	tödl. Dosis: 50mg, α = -166,4° ; <i>r</i>_{22,4}^o = 1,5239
Nicotinsäure, Niacin	C ₆ H ₅ NO ₂	123,11	236,6	z.	1,47	1,8 (pH 2,7)	IUPAC: Pyridin-3- carbonsäure
Nicotinsäureamid	C ₆ H ₆ N ₂ O	122,13	+128	subl.	1,40	100,0	Zusatzstoff
1-Nitro-2- aminobenzen	O ₂ N-C ₆ H ₄ - NH ₂	138,13	+ 71,5	284	1,442	0,11	2-Nitroanilin K _B = 0,6•10 ⁻⁵

Name (IUPAC, ggf. Trivial)	Summen- Formel	<i>M</i> (g/mol)	ϑ_m (°C)	ϑ_b (°C)	ρ (g/cm ³ , Gase: g/L)	<i>L</i> (g/100g H ₂ O)	Weitere Angaben, Daten und An- merkungen
Nitrobenzen/-ol	C ₆ H ₅ NO ₂	123,11	+ 5,7	210,8	1,198	0,19 (pH=8)	Mirbanöl, <i>n</i> = 1,55291
Nitroethan	C ₂ H ₅ NO ₂	75,1	-89,5	114	1,045	4,5	toxisch
Nitromethan	CH ₃ -NO ₂	61,04	-28,6	101,2	1,1385	10,5	pH = 6,4 (0,6g/L)
<i>n</i> -Nonadecan	C ₁₉ H ₄₀	268,53	+ 29	329	0,79	0	<i>n</i> _{D89nm} ^{70°C} = 1,4211
<i>n</i> -Nonan	C ₉ H ₂₀	128,26	-53,5	151	0,7176	0	Aml: 35, fl., fbl., <i>n</i> ^{18°C} = 1,412
Nukleinsäuren	(DNS/ RNS)	2500 - 4 • 10 ⁹	z.	z.	fasrig	quell- bar	absorbieren UV (λ = 260-280 nm)

O

Octadeca-9,12- diensäure	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	277,5	- 5	z.		0 SZ200	Linolsäure, essen- tielle Fettsäure
α -Octadeca- 9,12,15-triensäure	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	278,434	z.	z.	0,905	0	Linolensäure, in Leinöl und Firnis
Octadecan	C ₁₈ H ₃₈	254,5	+ 26,5	317	0,7768	0	fest, wachsw weich
Octadecansäure, Stearinsäure	C ₁₇ H ₃₅ - COOH	284,48	+ 69,6	383	0,8380	0 SZ197	Oktadekansäure, <i>n</i>_D⁷⁰ = 1,4332
<i>cis</i>-Octa-dec-9- en-säure, Ölsäure	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	282,5	+13,2	z.	0,8896	0 SZ199	<i>n</i> = 1,4620; Iso- mer: Elaidinsäure
Octacosan	C ₂₈ H ₅₈	394,8	60,9		0,7596	0	fest
<i>n</i>-Octan	C ₈ H ₁₈	114,2	-56,8	+125	0,7028	0	Aml: 18, fl., fbl., <i>n</i> = 1,3976
Octansäure, Caprylsäure	C ₇ H ₁₅ - COOH	144,2	+16,5	239,3	0,9157	0,072	Octylsäure, <i>n</i> _D ²¹ = 1,42677
Octen-1	C ₈ H ₁₆	112,2	-101,7	121,3	0,711	0	<i>n</i> = 1,4087; η = 0,38
Oxalsäure, Klee-/ Ethandisäure (ggf. -dihydrat)	C ₂ H ₂ O ₄ , (COOH) ₂ (•2H ₂ O) (•2H ₂ O)	90,0 (126,07)	+157 (101)	subl. (z. 149)	1,900 (ρ_0 = 25 hPa)	Löslich (pH = 1 10 g/L)	pK_{s1} = 1,25; pK_{s2} = 4,29; Salze: Oxa- late / HOOC- COOH
Oxiran, Epoxyethan	C ₂ H ₄ O	44,05	-111,7	+ 10,7	0,8909	reagiert	Ethylenoxid, kanzerogen
<i>ortho</i> -Oxy-zimt- säurelacton	C ₉ H ₆ O ₂	146,145	71	z.291	0,935	gering	Cumarin/Kumarin C ₆ H ₄ (HC=CH)COO

P

Palimitin- / Hexa- decansäure	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256,4	+62,2	≈ 345	0,854	0	<i>n</i>_D⁷⁰ = 1,4303 C₁₅H₃₁COOH
Palmitinsäure- myricylester, Bienenwachs	C ₁₅ H ₃₁ - COO- C ₃₁ H ₆₃	≈ 690	≈ 55-60		≈ 0,82	0	IUPAC: Hentria- kontylhexadek- nat
Paracetamol (Schmerzmittel)	C ₈ H ₉ NO ₂	151,17	169	>500	1,293	1,4	IUPAC: 4-Hydro- xy-acetanilid

Name (IUPAC, ggf. Trivial)	Summen- Formel	<i>M</i> (g/mol)	ϑ_m (°C)	ϑ_b (°C)	ρ (g/cm ³ , Gase: g/L)	<i>L</i> (g/100g H ₂ O)	Weitere Angaben, Daten und An- merkungen
Pentaerythrit	C ₅ H ₁₂ O ₄	136,15	256	z.	1,39	7,0	C(CH ₂ OH) ₄ , $n_D^{25} = 1,548$
Pentadecan	C₁₅H₃₂	212,418	+ 9,7	265	0,768	0	Aml: 4347, $n_D = 1,431$
<i>n</i>-Pentan	C₅H₁₂	72,15	-129,7	+ 36	0,626	≈ 0	Aml: 3, fl., fbl.
Pentanal	C ₅ H ₁₀ O	86,133	- 91,5	103,7	0,818	gering	$n_D^{15} = 1,408$
Pentan-1,5-diol	C ₅ H ₁₂ O ₂	104	-16	+240	0,990	∞, b. m.	Zündtemp. 330°C
Pentan-2,4-dion, Acetylaceton	C ₅ H ₈ O ₂	100,1	- 23	139	0,972	1,22	CH ₃ CO-CH ₂ CO- CH ₃
Pentandisäure, Glutarsäure	C ₅ H ₈ O ₄	132,1	+ 98	302	1,424	64,0	pK _{s1} = 4,34 / pK _{s2} = 5,41
Pentan-1-ol, Pentylalkohol	C ₅ H ₁₁ OH	88,14	- 78,5	138	0,8866	2,2	<i>n</i> -Amylalkohol, $n_D = 1,41173$
<i>d</i> -Pentan-2-ol	C ₅ H ₁₁ OH	88,14	- 50	119,5	0,8101	13,5	$n_D = 1,4056$, $\alpha_{\text{Ethanol}} = +14,3^\circ$
Pentan-3-ol	C ₅ H ₁₁ OH	88,14	- 8	115	0,8088	5,5	$n_D = 1,4037$
Pentan-2-on, MPK	C ₅ H ₈ O	86,1	-77,5	+102	0,802	4,3	Methylpropylke- ton, $n = 1,38946$
Pentan-3-on, DEK	(C ₂ H ₅) ₂ - C=O	86,1	-36,4	+102	0,809	3,4	Diethylketon, $n = 1,39385$
Pentansäure, Valeriansäure	C ₅ H ₁₀ O ₂	102,1	- 34,5	+187	0,946	4,0	pK _s = 4,86
Phenol, (IUPAC: Hydroxybenzen)	C₆H₅OH	94,11	+ 42	+182	1,0576	8,4	Carbolsäure, pH = 5 (50 g/L)
Phenolphthalein	C ₂₀ H ₁₄ O ₄	320,35	≈ 239	+258		0,0175	Indikator
L-Phenylalanin (Phe)	C ₉ H ₁₁ NO ₂	165,19	z.276	z.	($\alpha =$ -35,14°)	2,7,	pK _{s1} = 2,58 pK _{s2} = 9,24
Phenylethen, Styrol, Styren	C₆H₅-C₂H₃	104,16	- 30,6	145,8	0,907	0	Ethenyl-/Vinyl- benzol, $n_D^{17} = 1,548$
Phenylmethyl- ether	C ₆ H ₅ O- CH ₃	108,14	-37,2	+ 154	0,9956		Anisol, $n_D^{21} = 1,5168$
Phthalsäure	C ₈ H ₆ O ₂	166,13	191		1,59	0,574	C ₆ H ₄ (COOH) ₂
Phthalsäure- anhydrid, PTA	C ₁₄ H ₆ O ₃	148,12	101	284,5	1,527	0,6	(C ₆ H ₄ CO) ₂ O pH = 2,0 (6 g/L)
Pikrinsäure, 2,4,6- Trinitrophenol	C ₃ H ₅ N ₃ O ₁₀	229,1	+120 expl.	expl.	1,767	1,2	gelb, pK _s = 0,22 / Salze: Pikrate

Name (IUPAC, ggf. Trivial)	Summen- Formel	<i>M</i> (g/mol)	θ _m (°C)	θ _b (°C)	ρ (g/cm ³ , *Gase: g/L)	<i>L</i> (g/100g H ₂ O)	Weitere Angaben, Daten und An- merkungen
d,l-α-Pinen	C ₁₀ H ₁₆	136,24	-50	+156	0,8582	0	<i>n</i> = 1,4658
Piperidin	(CH ₂) ₅ NH	85,15	- 13	106,3	0,8622	∞, b. m.	<i>n</i> =1,4530
Polyethylen, HDPE	C_nH_{2n+2} (linear)	> 10⁵	≈ 110	z.	ca.0,95	0	Luplen, Hostalen, Marlex
β-Progesteron	C ₂₁ H ₂₈ O ₂	314,47	+121	z.	1,171	0	α = +192°
Propadien	C ₃ H ₄	40,1	-136,3	- 34,5	*gasf.		CH ₂ =C=CH ₂
Propan(gas)	C₃H₈	44,096	-187,7	-42,06	*1,878	(6,4mL)	<i>n</i> = 1,2957
Propanal	C ₃ H ₅ -CHO	58,1	-81	+ 47,9	0,798	20,0	Propionaldehyd
Propan-1,2-diol, Propylenglykol	C ₃ H ₈ (OH) ₂	76,10	- 59	188	1,0361	∞, b. m.	PG; ρ ₀ =0,11hPa, <i>n</i> = 1,43
Propan-1,3-diol	C ₃ H ₈ (OH) ₂	76,1	- 32	213	1,05	löslich	CH ₂ -(CH ₂ OH) ₂
Propan-1,3- disäure, Malonsäure	C ₃ H ₄ O ₄ , CH ₂ - (COOH) ₂	104,06	135,6	z>140	1,619	139,0	pK _{s1} = 2,85 pK _{s2} = 5,69, Salze: Malonate
Propan-1-ol, 1-Hydroxypropan	C₃H₇OH	60,11	-126,2	+ 97,2	0,8035	∞, b. m.	Propylalkohol
Propan-2-ol, 2-Hydroxypropan Dimethylcarbinol	C ₃ H ₇ OH	60,11	- 89,5	+ 82,4	0,7855	löslich	sek. oder Iso- Propylalkohol; (CH ₃) ₂ -CH(OH)
Propanon	(CH₃)₂C=O	58,1	-94,7	+ 56,1	0,785	∞, b. m.	Dimethylketon, DMK, Aceton
Propansäure, Propionsäure	C₂H₅- COOH	74,08	- 20,7	+141	0,988	∞, b. m.	Methylessig- säure, pK_s=4,87
Propansäure- ethylester	C ₅ H ₁₀ O ₂ , C ₂ H ₅ COO- C ₂ H ₅	102,133	-73,9	+99,1	0,8827	1,7	Ethylpropionat, Fruchtaroma, <i>n</i> ¹⁵ = 1,38385
Propansäure- citronellylester	C ₁₃ H ₂₄ O ₂	212,34		z.	0,8950	gering	Rosenaroma, <i>n</i> = 1,4452
Propansäure- methylester, Propionsäure- methylester	C ₂ H ₅ COO- CH ₃	88,11	-87,5	+80,5	0,9151	gering	Methylpropionat, Rumaroma, <i>n</i> = 1,3775
Propan-1,2,3-triol (Glycerin, Tri- hydroxypropan)	(CH₂OH)₂- CH(OH)	92,09	+ 18	z>180	1,2613	∞, b. m. hygr.	fbl., süßlicher Geschmack, n_D^{16,5} = 1,4781
Propen, Propylen	C₃H₆	42,1	-185,3	- 47,7	fl. 0,505	gering	<i>L</i> = 0,28 L/L
Propenal	C ₃ H ₄ O	56,1	- 87	+ 53	0,841	löslich	Acrolein, tox.
2-Propensäure, Acrylsäure	C₃H₃- COOH	72,06	+13	+ 141	1,062	100,0	<i>n</i> = 1,4224 H₂C=CH-COOH
2-Propensäure- amid, Acrylamid	C ₃ H ₅ NO	71,08	+ 84	z.	1,127	204,0	ρ ₀ =0,009hPa,tox., pH=5,5 (50 g/L)

Name (IUPAC, ggf. Trivial)	Summen- Formel	<i>M</i> (g/mol)	ϑ_m (°C)	ϑ_b (°C)	ρ (g/cm ³ , *Gase: g/L)	<i>L</i> (g/100g H ₂ O)	Weitere Angaben, Daten und An- merkungen
Propin	C ₃ H ₄	40,1	-102,7	- 23,2			CH ₃ -C≡CH
1,2-Propylen- glycol, PG	C ₄ H ₈ O ₂	76,10		+ 188	1,036	∞, b. m.	Propan-1,2-diol, PG, <i>n</i> = 1,4331
Pyridin	C ₅ H ₅ N	79,10	-42	115,5	0,978	∞, b. m. (pH=8,5 16g/L)	narkotisch, ether- lösl., <i>K_B</i> = 1,71•10 ⁻⁹ <i>n</i> = 1,510/p <i>K_s</i> =5,18
Pyrimidin, 1,3-Diazin	C ₄ H ₄ N ₂	80,09	+22	+124	1,106	löslich	fb., betäubender Geruch, basisch
Pyrrol	C ₄ H ₅ N	67,090		+130	0,969	gering	

Q

Quecksilber- dimethyl, Dime- thylquecksilber	(CH ₃) ₂ Hg	230,66		+92	3,0836	Gering	<i>m_b</i> ¹⁶ = 1,5473, gut lösl. in Alkohol, extrem toxisch
--	------------------------------------	--------	--	-----	--------	--------	---

R

Resorcin, 1,3-Di- hydroxybenzen	C ₆ H ₄ (OH) ₂	110,11	110,0	281,4	1,271	100,0	Leicht lösl. in Al- kohol, <i>p₀</i> =0,1hPa
Riboflavin, Lacto- vin, Vitamin B ₂	C ₁₇ H ₂₀ - N ₄ O ₆	376,37	z.280	z.		0,0065	α = -132°; (in 0,05 mol/L NaOH)
D-Ribose	C ₅ H ₁₀ O ₅	150,13	≈+92	z.	0,80	löslich	α = -20 (H ₂ O;2%)

S

Saccharin	C ₇ H ₅ NO ₃ S	183,19	228	subl., z.	0,828	0,43 (pH=2 35g/L)	α -Benzencarbon- säuresulfimid, <i>n</i> ^{24°C} = 1,52
Saccharin- Natrium, Süßstoff	C ₇ H ₄ N- NaO ₃ S • 2 H ₂ O	241,19	z.	z.		83,3	α -Benzoessäure- sulfimid-Na.-salz, pH≈6 bei 100g/L
Saccharose, Rohrzucker	C₁₂H₂₂O₁₁	342,30	169	z.180	1,588	200,0	Kandis; <i>L</i>(+40°C) = 4 kg/L
Salizcylsäure, 2-Hydroxy- Benzoessäure	C₇H₆O₃, HO-C₆H₄- COOH	138,12	subl. +159	subl. + 159	1,443 - 1,484	0,18 (pH=2,4 gesätt.)	p<i>K_{s1}</i> =2,97/ p<i>K_{s2}</i> =13,59 Salze: Salicylate;
Schwefelsäure- dimethylester, Dimethylsulfat	(CH ₃ -O) ₂ - SO ₂	126,13	-32	188,5	1,3305	reagiert	Methylierungs- mittel, tox., ölig, <i>m_b</i> ¹⁶ = 1,391
Sorbinsäure, Hexadien-2,4- säure	C ₆ H ₈ O ₂	112,13	+133	z.228	1,2	0,16	CH ₃ -(HC=CH-) ₂ - COOH, pH = 3,3 bei 1,6g/L
D(-)-Sorbit	C ₆ H ₁₄ O ₆	182,17	+ 94	z.	1,49	235,0	optisch aktiv
L-Sorbose	C ₆ H ₁₂ O ₆	180,157	+154	z.	1,612	83	optisch aktiv
Stärke (Amylose mit Amylopektin)	(C₆H₁₀O₅)_n	bis 10⁷	z.	z.	≈ 1,5	≈ 5,0 quillt auf	kolloidal lösl. (als Gel: Kleister)

Name (IUPAC, ggf. Trivial)	Summen- Formel	<i>M</i> (g/mol)	θ _m (°C)	θ _b (°C)	ρ (g/cm ³ , *Gase: g/L)	<i>L</i> (g/100g H ₂ O)	Weitere Angaben, Daten und An- merkungen
Stearinsäure, Octadecansäure	C ₁₇ H ₃₅ - COOH	284,48	+ 69	383	0,94	0	Oktadecansäure, <i>n</i> _D ⁷⁰ = 1,4332
Styrol, Styren, Phenylethen, Ethenyl-/Vinyl- benzen/-ol	C ₈ H ₈ , C ₆ H ₅ -C ₂ H ₃	104,16	- 30,6	145,8	0,906	0,024	polymerisiert in Hitze und Licht, <i>n</i> _D ¹⁷ = 1,5485, Flammp. +31°C
Sulfanilsäure, Anilin-4-sulfon- säure	C ₆ H ₇ NO ₃ S	173,19	z.288	z.	1,486	1,0 (pH=2,5 gesätt.)	IUPAC: Amino- benzensulfon- säure

T

Tetrabromme- than	CBR ₄	331,7	+ 91	+189	2,961	0,24	<i>n</i> _D ^{99,5} = 1,6114
Tetrachlorethen	C ₂ Cl ₄	165,83	- 22,2	121	1,619	0,02	PER, <i>n</i> = 1,5053
Tetrachlorme- than Kohlenstoff- tetrachlorid	CCl ₄	153,82	- 23	+76,5	1,584	0,08	„Tetra“, tox., <i>η</i> = 0,00061 <i>n</i> _D = 1,4603
<i>n</i> -Tetracontan	C ₄₀ H ₈₂	562	≈ 80	z.	≈ 0,76	0	Aml: 62,5 • 10 ¹²
<i>n</i> -Tetracosan	C ₂₄ H ₅₀	338,67	≈ 50	391		0	
<i>n</i> -Tetradecan	C ₁₄ H ₃₀	198,40	+ 5,5	252,6	0,761	0	<i>p</i> _D = 1,55hPa
Tetradecanol-1	C ₁₄ H ₂₉ OH	214,39	+39,5	> 180	0,81	0	Myristylalkohol
Tetradecansäure	C ₁₃ H ₂₇ - COOH	228	+54	z.	0,8533	0	Myristinsäure, <i>n</i> _D ⁷⁰ = 1,4268
Tetrafluormethan	CF ₄	88,0	-187	-128	(gasf.)	gering	<i>η</i> = 0,11 mPa•s
Tetrahydrofuran (THF), Oxolan	C ₄ H ₈ O	72,11	-108,5	+65,5	0,890	löslich	<i>p</i> _D = 200 hPa, <i>η</i> = 0,47 / <i>n</i> = 1,406
Tetraiodmethan	Cl ₄	519,6	+ 140	+140	≈ 4,32	0	dunkelrot
Tetramethylsilan, TMS	Si(CH ₃) ₄	88,23	- 99	+ 26	0,64	0	NMR-Bezugs- substanz, F+
L-Threonin	C ₄ H ₉ NO ₃	119,12	≈ 265	z.		9,0	optisch aktiv
D,L-Thyroxin	C ₁₅ H ₁₁ O ₄ - NI ₄	776,93	+232	z.		gering	Hormon, lösl. in verd. Ethanol
Titriplex III, Metallindikator Na ₂ -EDTA • 2 H ₂ O	C ₁₀ H ₁₄ N ₂ - Na ₂ O ₈ • 2 H ₂ O	372,24	z.255	z.		10,0 (pH=4,5 50g/L)	Ethylendiamin- tetraessigsäure- di-Na-Salz-hydrat
D,L-Traubensäure, IUPAC: D,L-Di- hydroxy-butan- 1,4-disäure	C ₄ H ₆ O ₆ , HOOC- (CHOH) ₂ - COOH	150,1	+206	z.	1,737	139,0	(dl)-Weinsäure, pK _{s1} = 2,98 pK _{s2} = 4,34 Racemat, α = ± 0
Triacontan	C ₃₀ H ₆₂	422,8	+ 67	z.	0,7797	0	Aml: 4111,8 • 10 ⁶
Triacotansäure	C ₃₀ H ₆₀ O ₂	438	≈ +80	z.	≈ 0,84	0	Melissinsäure
Tribrommethan	CHBr ₃	252,8	+ 8,1	+149	2,876	0	Bromoform

Name (IUPAC, ggf. Trivial)	Summen- Formel	<i>M</i> (g/mol)	ϑ_m (°C)	ϑ_b (°C)	ρ (g/cm ³ , *Gase: g/L)	<i>L</i> (g/100g H ₂ O)	Weitere Angaben, Daten und An- merkungen
Trichlorethanal, Trichloracetalde- hyd, Chloral	CCl ₃ CHO, Hydrat: C ₂ H ₃ Cl ₃ O ₂	147,388 Hydrat: 165,40	-57,2 •H ₂ O: + 52	+ 97,5 •H ₂ O: + 97,8	1,512 Hydrat: 1,908	löslich, Hydrat- Bildung	als Hydrat: <i>L</i> = 4740 g/L; tox., pH = 4,5 (100g/L)
1,1,2-Trichlor- ethan	CHCl ₂ CH ₂ Cl	133,4	-36,6	+114	1,432		löslich in Ethanol
Trichlorethan- säure, Trichlor- essigsäure	Cl ₃ C- COOH	163,39	+ 55	197,6	1,62	130,0 (pH<1 50g/L)	pK _s =0,70 <i>m</i> ₀ ⁶¹ = 1,4603, Flammp. >110°C
1,1,2-Trichlor- eth(yl)en	C ₂ HCl ₃	131,79	- 86	+ 87	1,46	0,1	Ethylentrichlorid, tox., <i>p</i> ₀ = 77hPa
Trichlormethan, Chloroform	CHCl ₃	119,4	-63,5	61,7	1,480 <i>p</i> ₀ =211	0,8	<i>n</i> ^{25°C} = 1,44309 <i>η</i> = 0,56 mP•s
<i>n</i> -Tridecan	C ₁₃ H ₂₈	184,364	- 5,4	234	0,756	0	<i>n</i> = 1,4258
Triethylamin, TEA	(C ₂ H ₅) ₃ N	101,19	-114,7	+89,3	0,7275 <i>p</i> ₀ = 69 hPa	Löslich (pH=13 100g/L)	K _B = 5,65•10 ⁻⁴ <i>n</i> = 1,4003 pK _s = 10,75
Triiodmethan	CHI ₃	393,8	+119	218	4,178	0	Jodo-/ Iodoform
Trimethylamin	(CH ₃) ₃ N	59,11	-117,3	+ 3,5	fl. 0,635	löslich	pK _s = 9,81
1,2,4-Trimethyl- benzen/-ol	C ₉ H ₁₂	120,02	- 44	+168	0,88	0,0057	Pseudocumol, Flammp.48°C
1,3,5-Trimethyl- benzen/-ol	C ₆ H ₃ - (CH ₃) ₃	120,02	-44,7	164,7	0,861	0	Mesitylen/Cumol =Isopropylbenzen
Trimethylborat, Borsäuretrime- thylester	C ₃ H ₉ BO ₃ , B(OCH ₃) ₃	103,91	-34,0	+68,7	0,915 Flamm p. -11°C	reagiert	<i>n</i> = 1,3568 / <i>p</i> ₀ = 182 hPa / brenn- bar, Flamme grün
Trimethylbutan	C ₇ H ₁₆	100,203	- 25	80,9	0,6892	0	<i>n</i> = 1,38940
2,2,3-Trimethyl- pentan	C ₈ H ₁₈	114,23	≈ -100	110,6	0,7219	0	Aml: 18, <i>m</i> ₀ ²⁵ = 1,4164
2,3,3-Trimethyl- pentan	C ₈ H ₁₈	114,23	≈ -100	114,6	0,7258	0	Aml: 18, <i>m</i> ₀ ²⁰ = 1,4074
2,2,4-Trimethyl- pentan, <i>Isooctan</i>	C ₈ H ₁₈	114,23	- 107	99,3	0,6918	0,056	Aml: 18, <i>m</i> ₀ ²⁰ = 1,39163
1,3,7-Trimethyl- xanthin, Coffein,	C₈H₁₀N₄O₂	194,19	+180	239	1,23	0,21	Auch: Thein; pH ≈ 6,0 (10 g/L)
Trinitroglycerin, Sprengöl	C ₃ H ₅ N ₃ O ₉	227,1	+ 13,1	expl. +255	1,593	sehr gering	tox., fbl., <i>η</i> = 36,0 mPa•s
2,4,6-Trinitro- methylbenzen / -toluol (TNT)	C ₇ H ₅ N ₃ O ₆ C ₆ H ₂ - (NO ₂) ₃ CH ₃	227,13	+ 240 expl.	expl.	1,654	0	gelb, pro g TNT → 770 mL Gase + 3,8 kJ

Name (IUPAC, ggf. Trivial)	Summen- Formel	<i>M</i> (g/mol)	θ _m (°C)	θ _b (°C)	ρ (g/cm ³ , *Gase: g/L)	<i>L</i> (g/100g H ₂ O)	Weitere Angaben, Daten und An- merkungen
2,4,6-Trinitro- hydroxybenzen/ -phenol	C ₆ H ₅ N ₃ O ₁₀ C ₆ H ₂ - (NO ₂) ₃ OH	229,1	+120 expl.	expl.	1,767	22,0; pK _S = 0,22	Pikrinsäure; gelb, explosiv, ebenso die Salze (Pikrate)
L-Tyrosin	C ₉ H ₁₁ NO ₃	181,19	z.297	z.	1,46	0,038	4-Hydroxyphenyl- alanin, opt. aktiv

U

<i>n</i> -Undecan	C ₁₁ H ₂₄	156,311	-25,6	+196	0,737	0	fbl., <i>n</i> = 1,4173
Undecanal, Undekanal	C ₁₀ H ₂₁ - CHO	170,294	-4	z.	0,830	0	<i>n</i> _D = 1,4334
Undecan-1-ol	C ₁₁ H ₂₃ OH	172,310	+11	z.	0,8334	0	<i>n</i> _D = 1,4404
Undecansäure	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	186,3	+30	z.	≈ 0,874	0	<i>n</i> _D ⁷⁰ = 1,4203

V

D,L-Valin (Val)	C ₅ H ₁₁ NO ₂	117,15	+298	Zers.		70 g/L	α _D ²⁶ = ± 0°
L(+)-Valin (Val)	C ₃ H ₇ CH- (NH ₂) - COOH	117,15	Zers. +315	Zers.		89 g/L pK _{S1} = 2,29	pK _{S2} = 9,72 , α _D ²⁶ = +13,9° (C ₅ H ₁₁ NO ₂)
Vanillin	C₈H₈O₃	152,15	≈ +82	z. / 13 hPa: 154°C	1,06	1,0 (pH=4,3 10 g/L)	IUAC: 4-Hydroxy- 3-methoxybenz- aldehyd
Vitamin B ₁₂ , Cyanocobalamin	C ₆₃ H ₈₈ Co- N ₁₄ O ₁₄ P	1355,58	< 300	z.	(pH=6,0 1 g/L)	1,25 hygr.	dunkelrot, α _D ⁶⁵⁰ ²³ = -59° ± 9°
Vitamin C, L-Ascorbinsäure	C₆H₈O₆	176,13	+189	z. 190		löslich	E 300: α_D¹⁸ = +49° (in CH₃OH)
Vitamin D ₃	C ₂₇ H ₄₄ O	384,65	+ 85	z.		0,01	Cholecalciferol

W

D-2,3- Weinsäure, IUPAC: (2S,3S)-(-) bzw. D-2,3-Dihydroxy- butandisäure	C ₄ H ₆ O ₆ , HOOC- [CHOH] ₂ - COOH	150,1	+171	z.	1,759	139,4 (pH=1,6 100 g/L)	+(d)-Weinsäure: pK _{S1} = 2,98 / pK _{S2} = 4,34; Salze: Tar- trate; KH-Tartrat = „Weinstein“
L-2,3-Weinsäure, L-2,3-Dihydro- xybutandisäure	HOOC- [CHOH] ₂ - COOH	150,1	+171	z.	1,76	139,0 (pH=1,6 100 g/L)	-(l)-Weinsäure: pK _{S1} = 2,98 pK _{S2} = 4,34
<i>meso</i> -Weinsäure, <i>meso</i> - Dihydro- xybutandisäure	C ₄ H ₆ O ₆	150,1	+147	z.	1,666	Sehr gut löslich	<i>meso</i> -Weinsäure, pK _{S1} =3,22 / pK _{S2} = 4,82; opt. inaktiv

X

<i>ortho</i> -Xylol / IUPAC: 1,2-Dime- thylbenzen / -ol	C ₈ H ₁₀ , C ₆ H ₄ - (CH ₃) ₂	106,17	-25,18	114,4	0,880	0	<i>n</i> = 1,5055 / Deu- teriert: als NMR- Bezugssubst.
---	--	--------	--------	-------	-------	---	---

Name (IUPAC, ggf. Trivial)	Summen- Formel	<i>M</i> (g/mol)	ϑ_m (°C)	ϑ_b (°C)	ρ (g/cm ³ , *Gase: g/L)	<i>L</i> (g/100g H ₂ O)	Weitere Angaben, Daten und An- merkungen
<i>m</i> -Xylol / 1,3-Di- methylbenzen	C ₈ H ₁₀	106,17	-47,87	139,1	0,864	0	<i>n</i> = 1,4972 / GC- Bezugssubstanz
<i>p</i> -Xylol / 1,4-Di- methylbenzen	C ₈ H ₁₀	106,17	13,26	138,3	0,861	0	<i>n</i> = 1,4958 / deut. auch für NMR
Xylolmoschus	C ₁₁ H ₁₅ - N ₃ O ₅	297,27	112,5	z.		0	Moschusgeruch, Duftstoff

Z

Zellulose, Cellulose, mikrokristallin	(C ₁₂ H ₂₀ - O ₁₀) _n , <i>n</i> = 5-19 • 10 ³	≈36.000 (bis 10 ⁶)	z.	z.		kolloid, pH= 5-7	Trennmittel E460
Zimtaldehyd	C ₉ H ₈ O	132,16	- 8	z.	1,05	0,11	<i>trans</i> -3-Phenyl-2- propenal
<i>cis</i> -Zimtsäure , 3- Phenylacrylsäure	C ₉ H ₈ O ₂	148,16	+68		≈ 1,25	0,69	<i>Trans</i> -3-Phenyl- propensäure
<i>trans</i> -Zimtsäure	C ₉ H ₈ O ₂	148,16	+135	≈ 300	1,2475	0,04	<i>L</i> (C ₂ H ₅ OH)=238g/L
Zitronensäure, 2-Hydroxy-pro- pantrisäure-1,2,3	C ₆ H ₈ O ₅	192,13	+153	z.	1,665	76,0	Citronensäure; Salze: Citrate, Citrate

4.5.4 Gefahrstoffe und Arbeitssicherheit

Gefahrstoffe werden mit **GHS-Symbolen** gekennzeichnet, mit Gefahrenhinweisen bzw. Warnhinweisen in Form von Piktogrammen:



GHS01	GHS02	GHS03	GHS04	GHS05	GHS06	GHS07	GHS08	GHS09
explosiv	entzündlich	entzündend (oxidierend)	Unter Druck stehende Gase	Haut oder Augen zerstörend	giftig (akut toxisch)	gesundheitsschädigend	schwer gesundheitsschädigend (chronisch)	gefährlich für Tiere und Umwelt

Gifte sind Gefahrstoffe mit tödlicher Wirkung auf den menschlichen Organismus. Die Giftigkeit eines Gefahrstoffes (Toxizität) wird mit verschiedenen Werten erfasst:



- Der **LD₅₀-Wert** gibt an, welche Menge Giftstoff pro kg Körpergewicht für einen Organismus innerhalb von 24 Stunden mit 50%-iger Wahrscheinlichkeit tödlich wirkt (Letale Dosis)
- Der **LC₅₀-Wert** gibt die entsprechende tödliche Konzentration an (zumist in ppm)
- Der **AGW** (Arbeitsplatzgrenzwert) gibt an, welche maximale Schadstoffmenge am Arbeitsplatz erlaubt ist (Grenzwert, berechnet für Arbeitstage zu je 8 h).

Kennzahlen zur Toxizität (Auswahl)

Gift / Gefahrstoff	LD ₅₀ (<i>orl, rat</i> , mg/kg)*	LC ₅₀ (<i>ihl, rat oder mouse</i> , ppm/Zeit)*	AGW (mL/m ³ ≈ mg/m ³)
Ammoniak	350	2000 ppm/4h	50 mL ≈ 35 mg
Anilin	250	1,75 /7h	2 mL ≈ 8 mg
Benzol	930	10.000 / 7h	3,5 mL ≈ 1 mg
Brom	2600	750/9 min	0,1 mL ≈ 0,7 mg
Chlor	LD ₅₀ (<i>ihl, rat</i>): 293 ppm/h		0,5 mL ≈ 1,5 mg
Chloroform	908	47,7g/m ³ / 4h	10 mL ≈ 50 mg
Diethylether	1215	73000ppm/2h	400 mL ≈ 1200mg
Ethanol	7060	20000ppm/10h	1000mL ≈ 1900mg
<i>n</i> -Hexan	28710	120 g/m ³	50 mL ≈ 180 mg
Jod	14000	800 mg/m ³ /1h	0,1 mL ≈ 1 mg
Kaliumcyanid	5,0	2,857 mg/kg	0
Methanol	5628	64000ppm/4h	200 mL ≈ 260 mg
Phosphor, weiß	3,03	1,4 mg/kg (<i>orl, human</i>)	0 (selbstentzündlich)
Salzsäure (25%)	900	1300 ppm / 30 min	5 mL ≈ 7 mg
Schwefelwasserstoff, Hydrogensulfid	LC ₅₀ 444 ppm (<i>ihl, rat</i>); LC ₀ (<i>ihl, hmn</i>): 600 ppm/30 min		10 mL ≈ 15 mg
Styrol, Styren	5000	24 g/m ³ /4 h	20 mL ≈ 85 mg
Tetrachlorethylen	2629	34200 mg/m ³ / 8h	50 mL ≈ 345 mg
Tetrachlorkohlenstoff, Tetrachlormethan	2350 (<i>skin</i> : 5070)	8000 ppm/4h	10 mL ≈ 65 mg
Wasser	(LD ₀ : 368 g/kg, <i>orl, rbt</i>)		-

* Kürzel für Giftstoffaufnahme und Versuchstier:

orl oral, Mund,
rat Ratte,

ihl Inhalation,
mouse Maus,

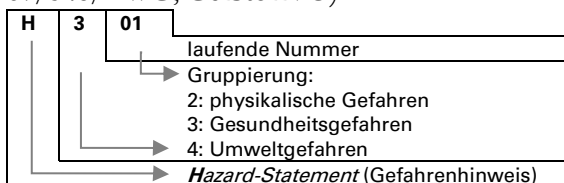
hmn
skin
rbt

human, Mensch
Hautresorption,
rabbit, Kaninchen

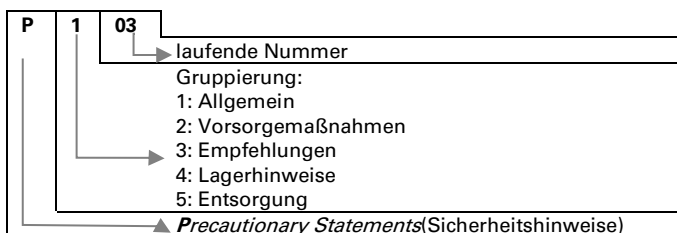
Gifte: LD₅₀-Werte (oral, Ratte, Auswahl) als ein Maß für Toxizität

Stoff	mg/kg	Stoff	mg/kg	Stoff	mg/kg	Stoff	mg/kg
AgNO ₃	1173	C ₂ H ₅ OH	6200	CH ₃ CHO	661	H ₂ SO ₄ 25%	2140
AlCl ₃	3450	CH ₃ COCH ₃	5800	HgCl ₂	1,0	Acrylamid	124
As	763	C ₆ H ₆	930	KBrO ₃	157	Chloraceton	100
BaCl ₂	118	CdSO ₄	280	K ₂ Cr ₂ O ₇	25	Coffein, rein	>261
BaSO ₄	>20000	CoCl ₂	80	NH ₃ 29%	350	DMG, rein	250
Bi ₂ O ₃	5000	CrO ₃	50	PbCl ₂	>1947	EDTA, rein	>2000
CH ₂ Cl ₂	1600	HCHO	≈100	ZnCl ₂	350	D-Glucose	25800

H-Sätze erläutern die verschiedenen Gefahren, die von einem Gefahrstoff ausgehen. Sie entsprechen den ehemaligen R-Sätzen (Risikosätze, RL 67/548/EWG, GefStoffVO)



P-Sätze geben Informationen für den sicheren Umgang mit Gefahrstoffen. Sie sind mit den früheren S-Sätzen vergleichbar (Sicherheitsratschläge, RL 67/548/EWG).



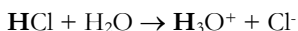
5) Chemische Reaktionen

5.1 Säure-Base-Reaktionen (Protonenaustausch, Protolyse)

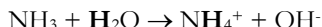
5.1.1 Protonendonatoren und -akzeptoren

Eine **Säure** ist ein Stoff, der Protonen H^+ abgibt (Bezeichnung auch als: Protonendonator).

Beispiel: Chlornwasserstoff gibt ein Proton H^+ an Wasser ab:

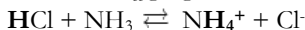


Eine **Base (Lauge)** ist ein Stoff, der Protonen aufnimmt (Protonenakzeptor). Beispiel: Ammoniakgas nimmt ein H^+ von Wasser auf:



Eine **Protolyse** ist eine Übertragung (ein Austausch) von H^+ -Teilchen (Protonen), also eine **Säure-Base-Reaktion**. Zumeist entstehen dabei Wasser und Salze.

Beispiel: Chlornwasserstoffgas gibt ein Proton an ein Ammoniakgas ab:



(Der Doppelpfeil zeigt an, dass es sich um einen umkehrbaren Vorgang handelt, er kann auch rückwärts ablaufen!)

Nichtmetalloxide sind azide: Sie bilden mit Wasser Säuren. Oxide unedler Metalle sind basisch: Sie bilden mit Wasser Laugen (in Wasser gelöste Basen): **Nichtmetalloxid + Wasser $\rightarrow$ Säure**

Metalloxid + Wasser $\rightarrow$ Lauge

Oxide als Anhydride der Laugen

Oxid	Reaktionsprodukt mit H_2O (Lauge)	Formel	Ionen	Salze (Beispiele, Formel und Trivialnamen)
Na_2O	Natronlauge	$NaOH$	Na^+ / OH^-	$NaCl$ (Kochsalz), Na_2CO_3 (Soda)
K_2O	Kalilauge	KOH	K^+ / OH^-	KI (Kaliumiodid), K_2CO_3 (Pottasche)
MgO	Magnesiumlösung	$Mg(OH)_2$	Mg^{2+} / OH^-	$MgSO_4$ (Bittersalz), $MgCl_2$
CaO	Kalkwasser	$Ca(OH)_2$	Ca^{2+} / OH^-	$CaCO_3$ (Kalk), $CaSO_4$ (Gips), $Ca_3(PO_4)_2$
BaO	Barytwasser	$Ba(OH)_2$	Ba^{2+} / OH^-	$BaCO_3$ (Baryt), $BaSO_4$ (Malerweiß)
(NH_3)	Ammoniakwasser	NH_4OH	NH_4^+ / OH^-	NH_4Cl (Salmiaksalz, Ammoniumchlorid)

(zur **Basizität** der Elementoxide im Periodensystem s.o. Kap. 3.6.3)

Wichtige Basen

Formel	Name der Lauge / Base (gebräuchlich / systematisch)	ρ (konz. Lösung, $\vartheta=20^\circ\text{C}$)	pK_s *
KOH	Kalilauge (Kaliumhydroxidlösung)	2,0 (fest); 1,535 (52,05%)	14,00
NaOH	Natronlauge (Natriumhydroxidlösung)	2,1 (fest); 1,530 (50,50%)	14,00
Ca(OH) ₂	Kalkwasser (Kalziumhydroxidlösung)	2,3 (fest)	12,6
NH ₃ , auch: NH ₄ OH	„Salmiakgeist“, Ammoniakwasser (Ammoniumhydroxidlösung)	0,880 (34,35%)	9,25
Al(OH) ₃	Aluminiumhydroxid	(fest)	5,7

* der **pK_s-Wert** ist ein Maß für die **Basestärke**,

Umrechnung des angegebenen pK_s-Wertes in die **Basekonstante pK_B** nach:

$$\text{pK}_B = 14 - \text{pK}_s$$

Oxide als Anhydride der Säuren

Oxid	Reaktionsprodukt mit H ₂ O (Säure)	Formel	Ionen*	Salze (Beispiele, Formel und Trivialnamen)
CO ₂	Kohlensäure	H ₂ CO ₃	H ⁺ / CO ₃ ²⁻	Carbonate: CaCO ₃ (Kalk), NaHCO ₃ (Natron)
SiO ₂	Kieselsäure	H ₄ SiO ₄	H ⁺ / SiO ₄ ⁴⁻	Silikate: Na ₄ SiO ₄ (Natronwasserglas)
N ₂ O ₅	Salpetersäure	HNO ₃	H ⁺ / NO ₃ ⁻	Nitrate: KNO ₃ (Salpeter)
P ₂ O ₅	Phosphorsäure	H ₃ PO ₄	H ⁺ / PO ₄ ³⁻	Phosphate: Na ₃ PO ₄ (Natriumphosphat)
SO ₂	Schweflige Säure	H ₂ SO ₃	H ⁺ / SO ₃ ²⁻	Sulfite: Na ₂ SO ₃ (Natriumsulfit)
SO ₃	Schwefelsäure	H ₂ SO ₄	H ⁺ / SO ₄ ²⁻	Sulfate: CuSO ₄ (Kupfervitriol), Na ₂ SO ₄ (Glaubersalz)
Cl ₂ O ₅	Chlorsäure	HClO ₃	H ⁺ / ClO ₃ ⁻	Chlorate: KClO ₃ (Kaliumchlorat), NaClO ₃

* Die gebildeten H⁺-Ionen (Protonen) reagieren mit Wassermolekülen weiter zu Hydroniumionen H₃O⁺: H⁺ + H₂O → H₃O⁺. Auch Halogenwasserstoffe sowie Schwefelwasserstoff H₂S reagieren mit Wasser zu Säuren, z.B.:

Gas	Reaktionsprodukt mit H ₂ O (Säure)	Formel	Ionen	Salze (Beispiele, Formel und Trivialnamen)
HF	Flusssäure	HF	H ⁺ / F ⁻	Fluoride: CaF ₂ (Flussspat)
HCl	Salzsäure	HCl	H ⁺ / Cl ⁻	Chloride: NaCl (Kochsalz)
H ₂ S	Schwefelwasser- stoffsäure	H ₂ S	H ⁺ / S ²⁻	Sulfide: FeS (Eisen(II)-sulfid), Na ₂ S (Natriumsulfid), HgS (Zinnober)

Wichtige Säuren

Formel *	Säurename* (gebräuchl. / systematisch), Anion (gebräuchl.)	ρ ($\vartheta=20^{\circ}\text{C}$)	pK_s *
HF	Flusssäure (Hydrogenfluorid), Fluorid	0,958 (konz.)	3,45
HCl	Salzsäure (Hydrogenchloridlösung), Chlorid	1,175 (w=35,20%)	-6
HBr	Bromwasserstoffsäure (Hydrogenbromid), Bromid	3,644 (konz.)	-6
HI	Iodwasserstoffsäure (Hydrogeniodid), Iodid	Ca. 1,6 (konz.)	-6
HCIO	Hypochlorige Säure (Chlor-I-säure), Hypochlorit	-	7,53
HBrO	Hypobromige Säure (Brom-I-säure), Hypobromit	-	8,69
HIO	Hypotiodige Säure (Iod-I-säure), Hypoiodit	-	10,64
HCIO₃	Chlorsäure (Chlor-V-säure), Chlorat	1,3 (konz.)	< -6
HIO₃	Iodsäure (Iod-V-säure), Iodat	4,65 (konz.)	0,77
HCIO₄	Perchlorsäure (Chlor-VII-säure), Perchlorat	1,6059 (w=65%)	< -6
HIO₄	Periodsäure (Iod-VII-säure), Periodat		1,64
H₂S	Schwefelwasserstoff (Dihydrogensulfid), Sulfid	0,001434 (gasf.)	3,52
H₂SO₃	Schweflige Säure (Schwefel-IV-säure), Sulfit	-	6,99
H₂SO₄	Schwefelsäure (Schwefel-VI-sulfat), Sulfat	1,833 (w=94,72%)	-3
H₂SeO₃	Selenige Säure (Selen-IV-säure), Selenit	3,004 (konz.)	2,46
H₂SeO₄	Selensäure (Selen-VI-säure), Selenat	2,629 (konz.)	2,46
HNO₂	Salpetrige Säure (Stickstoff-III-säure), Nitrit	-	3,34
HNO₃	Salpetersäure (Hydrogennitrat), Nitrat	1,395 (w=65,84%)	0,00
H₃PO₄	Phosphorsäure (Hydrogenphosphat), Phosphat	ca. 1,8 (konz.)	1,06
H₃AsO₄	Arsensäure (Hydrogenarsenat), Arsenat	2,59 (fest)	2,25
H₂CO₃	Kohlensäure (Hydrogencarbonat), Carbonat	(gasf.)	3,18
HCN	Blausäure (Hydrogencyanid), Cyanid	0,7 (konz.)	9,31
HOCN	Zyansäure, Cyanat	-	3,66
H₄SiO₄	Kieselsäure, Silikat	Quarz: 2,6	9,6
H₂[SiF₆]	Hexafluorokieselsäure, Hexafluorosilikat	(Reagiert mit H ₂ O)	< -5
H₃BO₃	Borsäure, Borat	1,435 (B ₂ O ₃ fest)	9,14
H₂CrO₄	Chromsäure (Chrom-VI-säure), Chromat	2,7 (festes CrO ₃)	0,74
HCOOH	Ameisensäure (Methansäure), Formiat	1,2247 (w=100%)	
CH₃COOH	Essigsäure (Ethansäure), Acetat (Ethanat)	1,044 (w=100%)	2,375
C₃H₇COOH	<i>n</i> -Buttersäure, Butyrat (Butanat)	0,961 (w=100%)	4,8
(COOH)₂	Oxalsäure (Ethandisäure), Oxalat	1,65 (fest)	1,2
C₆H₅COOH	Benzoesäure, Benzoat	1,2659 (fest)	4,2
C₆H₅OH	Phenol, Phenolat	1,0576 (fest)	9,8

* Säuren geordnet nach Hauptgruppen HGr, pK_s -Wert als Maß für die Säurestärke, Berechnung bei einwertigen Säuren in 1. Dissoziationsstufe $\text{HA} \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{A}^-$ nach:

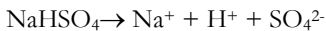
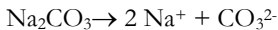
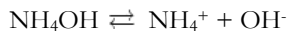
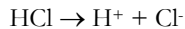
$$\text{pH} = -\log [\alpha(\text{H}^+) \cdot \alpha(\text{A}^-)]$$

5.1.2 Neutralisation, Säurestärke, Verdrängung

Neutralisation ist die Reaktion von Säuren mit Basen 1:1 zu Salz und Wasser (es bleiben weder freie Säure noch freie Lauge übrig, also nahezu keine H^+ -Ionen und keine OH^- -Ionen)

Dissoziation ist der Zerfall einer Ionenbindung in einzelne Ionen beim Auflösen in Wasser (Elektrolyt).

Beispiele:



Hydratation ist der Vorgang, bei dem sich kleinste Teilchen eines Stoffes (Moleküle, Ionen) in Wasser mit einer Hülle aus Lösemittelmolekülen umgeben (**Hydrathülle**; Solvation nennt man den entsprechenden Vorgang in anderen, nichtwässrigen Lösemitteln).

Die **Säurestärke** (Der **pKs-Wert** einer Säure) gibt an, wie groß das Bestreben einer Säure ist, ihre Protonen abzugeben.

Der **Protolysegrad** gibt an, wieviel % der Moleküle eines Stoffes ihre Protonen abgeben (Bei starken Säuren sind es fast 100 %).

Überblick: Reaktionen von Säuren und Basen

Reaktionsweisen von Säuren:

- 1) Nichtmetalloxid + Wasser $\rightarrow$ Säure (Säure-Bildung)
- 2) Säure + Metall $\rightarrow$ Salz + Wasserstoff (Elektronenaustausch)
- 3) Säure + Metalloxid $\rightarrow$ Salz + Wasser (Protonenaustausch)
- 4) Säure + Metallhydroxid * $\rightarrow$ Salz + Wasser
* *Metallhydroxid = Base*
- 5) Säure + Salz schwächerer Säure
 $\rightarrow$ Schwächere Säure + Salz stärkerer Säure

Reaktionsweisen von Basen:

- 1) Metalloxid + Wasser $\rightarrow$ Metallhydroxid (= Base;
nur bei unedlen Metallen)
- 2) Base + Säure $\rightarrow$ Salz + Wasser
(Neutralisation, Säure-/Base-Reaktion)
- 3) Starke Base + Salz der schwächeren Base
 $\rightarrow$ Schwächere Base + Salz stärkerer Base

5.1.3 pH-Wert, Amphoterie, Puffer

Die **Stoffmengen-Konzentration** c ist eine Gehaltsangabe, die angibt, welche Stoffmenge (in Mol) in einem Rauminhalt (in Liter) eines Stoffgemisches enthalten sind: $c = n / V$

(Symbole: Stoffmengenkonzentration c , Stoffmenge n , Volumen V)

Die **Protonenkonzentration** ist die Stoffmengenkonzentration der Protonen H^+ in einer Flüssigkeit.

Der **pH-Wert** ist der negative, dekadische Logarithmus der Protonenkonzentration (in neutralem Wasser $pH=7$, in Säuren: $pH<7$, in Basen $pH>7$):

$$pH = 0 - \log c(H^+) \quad \text{oder: } c(H^+) = 10^{-pH}$$

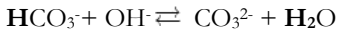
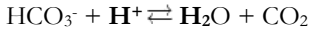
Eine **Verdrängungsreaktion** ist die Säure-Base-Reaktion einer starken Säure oder Base mit dem Salz einer schwachen Säure oder Base, wobei die schwächere Säure oder Base aus ihrem Salz freigesetzt wird. Dabei bleibt das Salz der stärkeren Säure bzw. Base zurück: **Säure 1 + Salz von Säure 2 $\rightarrow$ Säure 2 + Salz 1**

(Säurestärke Säure 1 > Säure 2)

Ein **Puffer** ist ein Stoffgemisch, dessen pH-Wert sich bei Zugabe von Säure oder Lauge nicht ändert (1:1 aus einer schwachen Säure oder Base und deren Salz).

Amphoterie ist die Fähigkeit eines Stoffes, sowohl als Base als auch als Säure reagieren zu können.

Beispiele: amphoter ist z.B. das Anion HCO_3^- :



Titration ist ein Verfahren zur Bestimmung des Säure- oder Base-Gehaltes einer Probe mithilfe einer Maßlösung bekannter Stoffmengenkonzentration.

Grundbegriffe zur Protolyse

Begriff	Definition, Hinweise
Säure-Base-Reaktion, Protolyse	Protonenübertragung, Gleichgewichtsreaktion zwischen Säure und Base (von griech. <i>proton</i>, der Erste für H^+ und <i>lysein</i>, lösen), beeinflusst durch die Menge und Stärke der Säure und der Base beruhen auf Protonenübertragungen in chemischen Gleichgewichten (Protolyse) zwischen einer Säure HA und einer Base B: $\text{HA} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{A}^- \text{ bzw. } \text{B} + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{HB}^+ \text{ oder } \text{B}^- + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{BH}$ (A = Säurerest-Anion, HB^+ oder BH = protonierte Base B)
pH-Wert	Angabe zum sauren bzw. basischen Charakter wässriger Lösungen
pK_s- und pK_b-Werte, Säure- und Basekonstanten für Reaktionen zwischen Säuren (HA) und Basen (B)	sind nach dem Massenwirkungsgesetz analog den Gleichgewichtskonstanten, wobei $\alpha(\text{H}_2\text{O})$ einbezogen wird (in verdünnten Lösungen: $\alpha(\text{H}_2\text{O}) \approx \text{const.}$): - Säuren erhalten eine Säurekonstante (Symbol K_s, englisch: K_a mit Index <i>a</i> wie engl. <i>acid</i>, Säure) als Maß für die Stärke dieser Säure, - Basen erhalten entsprechend eine Basekonstante (Symbol K_b)

*Elektrolyte im Lösungsgleichgewicht vom Typ $\text{A}_n\text{B}_m \rightleftharpoons n \text{A}^{m+} + m \text{B}^n$ unterliegen **K_D-Werten** (Dissoziationskonstanten):

Dissoziationskonstante
$$K_D = \frac{\alpha(\text{A}^{m+})^n \cdot \alpha(\text{B}^n)^m}{\alpha(\text{A}_n\text{B}_m)}$$

Die **K_D**-Werte entsprechen den Löslichkeitsprodukten **K_L**:

Löslichkeitsprodukt
$$K_L(\text{A}_n\text{B}_m) = \alpha(\text{A}^{m+})^n \cdot \alpha(\text{B}^n)^m$$
 (Angaben in mol^x/L^x)

Allgemeine Typen anorganisch-chemischer Reaktionen mit Salzbildung

Reaktionspartner	Austausch von	Reaktionstyp, Anmerkungen
Metall + Nichtmetall → Salz	Elektronen (e ⁻)	Metall gibt e ⁻ ab (Redoxreaktion)
Metall + Säure → Salz + Wasserstoff	Elektronen (e ⁻)	Metall gibt e ⁻ an H ⁺ ab (Redox)
Metalloxid + Säure → Salz + Wasser	Protonen (H ⁺)	Metalloxid nimmt H ⁺ auf
Base + Säure → Salz + Wasser bzw. Metallhydroxid + Säure → Salz + Wasser	Protonen (H ⁺) (Protolyse)	Neutralisationsreaktion (Metallhydroxid = Base)
Nichtmetalloxid + Lauge → Salz + Wasser	Protonen (H ⁺) (Protolyse)	Säurebildung mit anschließender Neutralisationsreaktion (in Wasser)
Salz AB + Salz CD → Salze AC + BD	Ionen	Fällungsreaktion (in Lösung)
Salz AB + Säure HX → Salz AX + Säure HB	Protonen (H ⁺)	Verdrängungsreaktion (wenn HB eine stärkere Säure als HA ist)
Salz AB + Base COH → Salz AC + Base BOH	Protonen (H ⁺)	Verdrängungsreaktion (wenn COH stärker basisch als BOH ist)

Reaktionstypen und zugehörige allgemeine Reaktionsschemen

Reaktionstyp	Nr.	allgemeines Reaktionsschema*	Konkrete Beispiele
Oxidbildung	1	$\text{Nm} + \text{O}_2 \rightarrow \text{NmO}_2$	$\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$, $\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2$
	2	$2 \text{Me} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{MeO}$	$2 \text{Cu} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CuO}$, $2 \text{Ca} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CaO}$
Hydroxidbildung	3	$2 \text{M} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{MOH} + \text{H}_2$	$2 \text{Na} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{NaOH} + \text{H}_2$
	4	$\text{Em} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Em(OH)}_2 + \text{H}_2$	$\text{Ca} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$
	5	$\text{M}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{MOH}$	$\text{Na}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{NaOH}$
	6	$\text{EmO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Em(OH)}_2$	$\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$
Säurebildung	7	$\text{NmO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{NmO}_3$	$\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3$
	8	$\text{H}_2 + \text{Hal}_2 \rightarrow 2 \text{H-Hal}$	$\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow 2 \text{HCl}$
Säure-Dissoziation	9	$\text{HA} \rightarrow \text{H}^+ + \text{A}^-$	$\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$
Salzbildung	10	$\text{Me} + \text{Nm} \rightarrow \text{Salz MeNm}$	$\text{Cu} + \text{S} \rightarrow \text{CuS}$
	11	$\text{Me} + 2 \text{HA} \rightarrow \text{MeA}_2 + \text{H}_2$	$\text{Ca} + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2$
	12	$\text{MeO} + 2 \text{HA} \rightarrow \text{MeA}_2 + \text{H}_2\text{O}$	$\text{CuO} + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{CuCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$
	13	$\text{Me(OH)}_2 + 2 \text{HA} \rightarrow \text{MeA}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$	$\text{Cu(OH)}_2 + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{CuCl}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$
Salzbildung / Neutralisation	14	$\text{HA} + \text{MOH} \rightarrow \text{MA} + \text{H}_2\text{O}$	$\text{HCl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$
	15	$2 \text{HA} + \text{Em(OH)}_2 \rightarrow \text{EmA}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$	$2 \text{HCl} + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaCl}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$
	16	$\text{MeA}_2 + 2 \text{H-Hal} \rightarrow \text{MeHal}_2 + 2 \text{HA}$	$\text{Ca(CN)}_2 + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + 2 \text{HCN}$
Salzbildung / Fällungsreaktion	17	$\text{MeA}_2 + \text{MHal} \rightarrow \text{MeHal}_2 + 2 \text{MA}$	$\text{Pb(NO}_3)_2 + 2 \text{NaI} \rightarrow \text{PbI}_2 + 2 \text{NaNO}_3$
Oxidation / Kationenbildung	18	$\text{Me} + \text{Om} \rightarrow \text{redF}^{2+} + \text{Me}^{2+}$	$\text{Ca} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2 \text{Cl}^-$
Reduktion / Anionenbildung	19	$\text{Nm} + \text{Rm} \rightarrow \text{oxF}^+ + \text{Nm}^-$	$\text{I}_2 + 2 \text{Na} \rightarrow 2 \text{Na}^+ + 2 \text{I}^-$

*Me: Metall allgemein (zweiwertig),
Nm: Nichtmetall allg. (vierwertig),
HA: Säure (z. B. H-Hal, Anion: A⁻),
Om: Oxidationsmittel allgemein,
oxF: oxidierte Form,

M: Alkalimetall, Em: Erdalkalimetall,
O₂: Sauerstoff, Hal: Halogen,
MeO, NmO₂: Oxide,
Rm: Reduktionsmittel allg.,
redF: reduzierte Form



Abb.: pH-Papier zur Messung des pH-Wertes (links) und die Reaktion von Ammoniakgas NH_3 mit HCl zu Ammoniumchlorid-Rauch NH_4Cl (rechts) (Eig. Fotos)

Größengleichungen für Protolysegleichgewichte

Gleichgewicht / Größe	Reaktionsschema / Größengleichung
Reaktion einer Säure mit Wasser	$\text{HA} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{A}^-$ (Protonenabgabe)
Gleichgewichtskonstante hierzu	$K_{\text{MWG}} = \frac{\alpha(\text{A}^-) \cdot \alpha(\text{H}_3\text{O}^+)}{\alpha(\text{HA}) \cdot \alpha(\text{H}_2\text{O})}$
Säurekonstante K_S und $\text{p}K_S$-Wert	$K_S = \frac{\alpha(\text{A}^-) \cdot \alpha(\text{H}_3\text{O}^+)}{\alpha(\text{HA})} = K_{\text{MWG}} \cdot \alpha(\text{H}_2\text{O}) = 10^{-\text{p}K_S}$ $\text{p}K_S = -\log K_S$
Reaktion einer Base mit Wasser	$\text{B} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{BH}^+ + \text{OH}^-$ (Protonenaufnahme)
Gleichgewichtskonstante hierzu	$K_{\text{MWG}} = \frac{\alpha(\text{BH}^+) \cdot \alpha(\text{OH}^-)}{\alpha(\text{B}) \cdot \alpha(\text{H}_2\text{O})}$
Basekonstante K_B und $\text{p}K_B$ -Wert	$K_B = \frac{\alpha(\text{BH}^+) \cdot \alpha(\text{OH}^-)}{\alpha(\text{B})} = K_{\text{MWG}} \cdot \alpha(\text{H}_2\text{O}) = 10^{-\text{p}K_B}$ $\text{p}K_B = -\log K_B$
Eigendissoziation des Wassers	$2 \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-$
pH-Wert	$\text{pH} = -\log \alpha(\text{H}_3\text{O}^+)$ (In sauren Lösungen: $\text{pH} < 7$)
pOH-Wert	$\text{pOH} = -\log \alpha(\text{OH}^-)$ (In basischen Lösungen: $\text{pH} > 7$)
K_W -Wert (Ionenprodukt des Wassers) und $\text{p}K_W$ -Wert	$\alpha(\text{H}^+) \cdot \alpha(\text{OH}^-) = K_W = 1 \cdot 10^{-14} \text{ mol}^2/\text{L}^2$ $\Rightarrow \text{pH} + \text{pOH} = \text{p}K_W = 14 = \text{p}K_S + \text{p}K_B$ $\text{p}K_W = -\log K_W = -\log (10^{-14})$

Rechenformeln zur pH-Wert-Berechnung

Berechnung von ...	Berechnungsformel (Größengleichung)*
pH-Wert starker Säuren, pOH-Wert starker Basen	$\text{pH} = -\log c_{\text{Säure}}$ $\text{pOH} = \log c_{\text{Base}}$
pH-Wert schwacher Säuren	$\text{pH} = \frac{1}{2} (\text{p}K_S - \log c_{\text{Säure}})$
pOH-Wert schwacher Basen	$\text{pOH} = \frac{1}{2} (\text{p}K_B - \log c_{\text{Base}})$
Protolyse schwacher Säuren	$\alpha(\text{H}_3\text{O}^+) = \text{Dissoziationsgrad } \alpha \cdot c_0(\text{HA})$
Protolyse schwacher Basen	$\alpha(\text{OH}^-) = \text{Dissoziationsgrad } \alpha \cdot c_0(\text{B})$
Protolysegrad schwacher Säuren	$K_S = \alpha^2 \cdot c_0 \Leftrightarrow \alpha = \sqrt{(K_S / c_0)}$
Protolysegrad schwacher Basen	$K_B = \alpha^2 \cdot c_0 \Leftrightarrow \alpha = \sqrt{(K_B / c_0)}$

* c_0 Anfangskonzentration, α Protolysegrad

pK_S- und pK_B-Werte korrespondierenden Säure-Base-Paare,
nach Säurestärke geordnet

pK _S	*Säure-Base-Gleichgewicht (Säure Base + H ⁺)*	pK _B (Anion)
≈ -14	CF ₃ COOH ⇌ CF ₃ SO ₃ ⁻ + H ⁺ (Trifluorsulfonsäure/Trifluorsulfonat)	≈ +30
≈ -10	HClO ₃ ⇌ ClO ₃ ⁻ + H ⁺ (Chlorsäure/Chlorat)	≈ +24
≈ -9	HClO ₄ ⇌ ClO ₄ ⁻ + H ⁺ (Perchlorsäure/Perchlorat)	≈ +23
≈ -8,5	HI ⇌ I ⁻ + H ⁺ (Iodwasserstoffsäure/Iodid; Literatur*: pK _S -7 ... -9)	≈ +22,5
≈ -7	HBr ⇌ H ⁺ + Br ⁻ (Bromwasserstoffsäure/Bromid; Literatur*: pK _S -6...-8)	≈ +21
≈ -6	HCl ⇌ Cl ⁻ + H ⁺ (Salzsäure/Chlorid; Literatur*: pK _S -6...-8)	≈ +20
≈ -3	H ₂ SO ₄ ⇌ HSO ₄ ⁻ + H ⁺ (Schwefelsäure/Hydrogensulfat)	≈ +17
-1,74	H ₃ O ⁺ ⇌ H ₂ O + H ⁺ (Hydroniumion, *auch: pK _S = 0)	15,26
-1,32	HNO ₃ ⇌ NO ₃ ⁻ + H ⁺ (Salpetersäure/Nitrat, *auch: -1,34)	15,32
-0,86	H ₂ CrO ₄ ⇌ HCrO ₄ ⁻ + H ⁺ (Chrom-VI-säure/Hydrogencarbonat)	14,86
-0,25	CF ₃ COOH ⇌ CF ₃ COO ⁻ + H ⁺ (Trifluoethansäure/Trifluoethanat)	14,25
0,65	CCl ₃ COOH ⇌ CCl ₃ COO ⁻ + H ⁺ (Trichlorethansäure/Trichlorethanat)	13,35
0,77	HIO ₃ ⇌ IO ₃ ⁻ + H ⁺ (Iodsäure/Iodat)	13,27
1,25	HOOC-COOH ⇌ HOOC-COO ⁻ + H ⁺ (Ethandi- bzw. Oxalsäure/Oxalat)	12,75
1,29	CHCl ₂ COOH ⇌ CHCl ₂ COO ⁻ + H ⁺ (Dichlorethansäure/Dichlorethanat)	12,71
1,64	HIO ₄ ⇌ IO ₄ ⁻ + H ⁺ (Iod-VII- bzw. Periodsäure/Periodat)	12,36
1,92	HSO ₄ ⁻ ⇌ SO ₄ ²⁻ + H ⁺ (Hydrogensulfat/Sulfat, *auch: pK _S = 1,99)	12,08
1,96	H ₂ SO ₃ ⇌ HSO ₃ ⁻ + H ⁺ (schweflige Säure/Hydrogensulfit, * auch: 1,78)	12,04
2,00	H ₃ PO ₃ ⇌ H ₂ PO ₃ ⁻ + H ⁺ (phosphorige bzw. Phosphor-III-säure/...)	12,00
2,13	H ₃ PO ₄ ⇌ H ₂ PO ₄ ⁻ + H ⁺ (Phosphorsäure/Dihydrogenphosphat)	11,87
2,22	[Fe(H ₂ O) ₆] ³⁺ ⇌ [Fe(OH)(H ₂ O) ₅] ²⁺ + H ⁺ (Eisen-III-hexahydrat-Kationsäure)	11,78
2,46	H ₂ SeO ₄ ⇌ HSeO ₄ ⁻ + H ⁺ (Selen-VI-säure/Hydrogenselenat, *auch: 2,54)	11,54
2,64	H ₂ Te ⇌ HTe ⁻ + H ⁺ (Tellurwasserstoff/Tellurid)	11,36
3,17	HF ⇌ F ⁻ + H ⁺ (Flusssäure/Fluorid)	10,83
3,35	HNO ₂ ⇌ NO ₂ ⁻ + H ⁺ (salpetrige Säure/Nitrit, *andere: pK _S =3,29)	10,65
3,66	HOCN ⇌ OCN ⁻ + H ⁺ (Cyansäure/Cyanat)	10,34
3,73	H ₂ Se ⇌ SeH ⁻ + H ⁺ (Selenwasserstoff/Hydrogenselenid)	10,27
3,76	HCOOH ⇌ HCOO ⁻ + H ⁺ (Methan-, Ameisensäure/Formiat)	10,24
4,00	HSCN ⇌ SCN ⁻ + H ⁺ (Thiocyansäure/Thiocyanat)	10,00
4,60	C ₆ H ₅ -NH ₃ ⁺ ⇌ C ₆ H ₅ NH ₂ + H ⁺ (Aminobenzol/Anilin, protoniert)	13,40
4,75	CH ₃ COOH ⇌ CH ₃ COO ⁻ + H ⁺ (Ethan-, Essigsäure/Acetat)	9,25
4,82	C ₃ H ₇ COOH ⇌ C ₃ H ₇ COO ⁻ + H ⁺ (Butan-, Buttersäure/Butanat, *auch: 5,2)	9,18
4,85	[Al(H ₂ O) ₆] ³⁺ ⇌ [Al(OH)(H ₂ O) ₅] ²⁺ + H ⁺ (Aluminiumhexahydrat-Kation)	9,15
6,50	HCrO ₄ ⁻ ⇌ CrO ₄ ²⁻ + H ⁺ (Hydrogenchromat/Chromat, *auch: 6,49)	7,50
6,52	H ₂ CO ₃ ⇌ HCO ₃ ⁻ + H ⁺ (Kohlensäure, HO-COOH / Hydrogencarbonat)	7,48
6,58	H ₂ PO ₃ ⁻ ⇌ HPO ₃ ²⁻ (Dihydrogenphosphit/Hydrogenphosphit)	7,42
6,92	H ₂ S ⇌ HS ⁻ + H ⁺ (Schwefelwasserstoff/Hydrogensulfid, *auch 7,00)	7,08
7,12	H ₂ PO ₄ ⁻ ⇌ HPO ₄ ²⁻ + H ⁺ (Dihydrogenphosphat/Hydrogenph., *auch 7,20)	6,88
7,21	HSO ₃ ⁻ ⇌ SO ₃ ²⁻ + H ⁺ (Hydrogensulfit/Sulfit, *auch 6,99)	6,79
7,25	HCIO ⇌ ClO ⁻ + H ⁺ (HOCl, hypochlorige Säure/Hypochlorit, *auch 7,53)	6,75

*geordnet nach der **Säurestärke** in wässriger Lösung (**pK_S-Werte** in der Literatur unterschiedlich, hier: nach *Evans*, USA), vgl. Tabellende

pK _s	Säure-Base-Paar (Säure Base + H ⁺)*	pK _s (Anion)
8,12	$\text{N}_2\text{H}_5^+ \rightleftharpoons \text{N}_2\text{H}_4 + \text{H}^+$ (Hydrazin, protoniert/Hydrazin)	5,88
8,69	$\text{HBrO} \rightleftharpoons \text{BrO}^- + \text{H}^+$ (Hypobromige Säure/Hypobromit, *auch 8,30)	5,31
9,00	$\text{CH}_3\text{CO}-\text{CH}_2-\text{COCH}_3 \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{CO}-\text{CH}^--\text{COCH}_3 + \text{H}^+$ (Acetylaceton/Anion)	5,00
9,23	$\text{H}_3\text{BO}_3 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{BO}_3^- + \text{H}^+$ (B(OH) ₃ , Borsäure/Dihydrogenborat, * auch 9,14)	4,77
9,25	$\text{NH}_4^+ \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}^+$ (Ammonium/Ammoniak)	4,75
9,40	$\text{HCN} \rightleftharpoons \text{CN}^- + \text{H}^+$ (Cyanwasserstoff, Blausäure/Cyanid, *auch 9,31)	4,60
9,65	$\text{H}_4\text{SiO}_4 \rightleftharpoons \text{H}_3\text{SiO}_4^- + \text{H}^+$ (Kieselsäure/Hydrogenorthosilikat)	4,35
9,66	$[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+} \rightleftharpoons [\text{Zn}(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_3]^+ + \text{H}^+$ (Zinktetraquo-Kationsäure)	4,34
9,70	$\text{H}_2\text{SiO}_3 \rightleftharpoons \text{HSiO}_3^- + \text{H}^+$ (Kieselsäure/Hydrogensilikat, *auch 9,50)	4,30
9,80	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{OH} \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_5-\text{O}^- + \text{H}^+$ (Hydroxybenzen/Phenolat-Anion, *auch 9,95)	4,20
10,40	$\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+$ (Hydrogencarbonat / Carbonat, *auch 10,25)	3,60
10,60	$\text{C}_2\text{H}_5-\text{NH}_3^+ \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_5-\text{NH}_2 + \text{H}^+$ (Aminoethan/Ethylamin, protoniert)	3,40
10,64	$\text{HIO} \rightleftharpoons \text{IO}^- + \text{H}^+$ (Hypoiodige Säure/Hypoiodit)	3,36
11,00	$\text{NC}-\text{CH}_2-\text{CN} \rightleftharpoons \text{NC}-\text{CH}^--\text{CN} + \text{H}^+$ (Propandinitril/P.-carbanion)	3,00
11,62	$\text{H}_2\text{O}_2 \rightleftharpoons \text{HO}_2^- + \text{H}^+$ (Wasserstoffperoxid/Hydrogenperoxid)	2,38
11,96	$\text{HS}^- \rightleftharpoons \text{S}^{2-} + \text{H}^+$ (Hydrosulfid/Sulfid, * auch: pK _s = 12,90)	2,04
12,15	$\text{CF}_3\text{CH}_2\text{OH} \rightleftharpoons \text{CF}_3\text{CH}_2\text{O}^- + \text{H}^+$ (1,1,1-Trifluorethanol/Trifluorethanolat)	1,85
12,32	$\text{HPO}_4^{2-} \rightleftharpoons \text{PO}_4^{3-} + \text{H}^+$ (Hydrogenphosphat/Phosphat, *auch: 12,46)	1,68
12,74	$\text{H}_2\text{BO}_3^- \rightleftharpoons \text{HBO}_3^{2-} + \text{H}^+$ (Dihydrogenborat/Hydrogenborat)	1,26
13,80	$\text{HBO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{BO}_3^{3-} + \text{H}^+$ (Hydrogenborat/Borat)	0,20
14,00	$\text{PH}_4^+ \rightleftharpoons \text{PH}_3 + \text{H}^+$ (Phosphonium/Phosphin)	0,00
15,7	$\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{OH}^- + \text{H}^+$ (Wasser H-OH, *andere: pK_s=14)	- 1,7
≈ 23	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{C}=\text{CH} \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_5-\text{C}=\text{C}^- + \text{H}^+$ (Phenylethin/Phenylacetylid-Anion)	≈ - 9
≈ 24	$\text{HC}\equiv\text{CH} \rightleftharpoons \text{HC}\equiv\text{C}^- + \text{H}^+$ (Ethin/Acetylid-Anion)	≈ - 10
≈ 24	$\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{O}^{2-} + \text{H}^+$ (Hydroxid/Oxid)	≈ - 10
≈ 38	$\text{NH}_3 \rightleftharpoons \text{NH}_2^- + \text{H}^+$ (Ammoniak/Amin-Anion)	≈ - 24
≈ 40	$\text{H}_2 \rightleftharpoons \text{H}^- + \text{H}^+$ (Wasserstoff/Hydridanion, *auch: 36)	≈ - 26
≈ 48	$\text{CH}_4 \rightleftharpoons \text{CH}_3^- + \text{H}^+$ (Methan/Methyl-carbanion)	≈ - 34
≈ 53	$(\text{CH}_3)_3\text{CH} \rightleftharpoons (\text{CH}_3)_3\text{C}^- + \text{H}^+$ (2,2-Dimethylpropan/Carbanion)	≈ - 39

*geordnet nach der **Säurestärke** in wässriger Lösung (**pK_s-Werte** nach *Evans*, USA). Hier sind in der Fachliteratur unterschiedliche Angaben zu finden, ins Besondere weichen oft Angaben aus der US-Literatur (nach *Evans*, s.o.) von Literaturwerten aus dem deutschsprachigen Raum ab (vgl. unten, folgende Tabellen). Auch viele andere Angaben zu pK_s- und pK_B-Werten weichen (wie auch K_D-Werte und Löslichkeitsprodukte/K_L-Werte) in der Fachliteratur – wie z. T. oben und im Folgenden vermerkt – mitunter erheblich voneinander ab.

Starke Säuren:

- zeigen hohe K_s-Werte und niedrige pK_s-Werte
- enthalten Nichtmetalle bzw. Zentralatome oft in höchstmöglicher Oxidationsstufe

Starke **Basen**:

- zeigen hohe K_B -Werte (biedrige K_S -Werte) und hohe pK_S -Werte
- werden von Alkalimetall- und Erdalkalimetallhydroxiden gebildet

pH-Pufferung

- äquimolare Lösungen schwacher Säuren oder Basen und deren Salze, deren pH-Wert bei Säure- oder Laugezugabe annähernd stabil bleibt.
- am Punkt halber Neutralisation gilt:

$$\text{pH} = \text{p}K_S$$

- Der **pH-Wert** stellt sich hier ein als Funktion von

$$c(A^-)/c(HA)$$

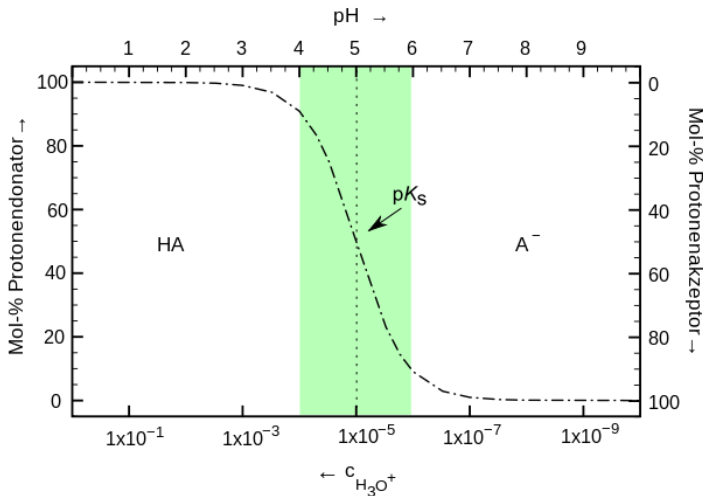


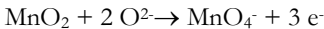
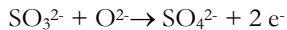
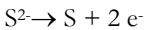
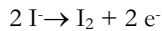
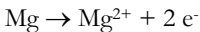
Abb.: Gleichgewichtslagen eines Puffersystems einer schwachen Säure HA mit $K_S = 10^{-5}$ und ihrer zugehörigen Base A^- in Abhängigkeit vom pH-Wert der Lösung: Wenn HA und A^- in gleichen Konzentrationen c vorliegen, dann ist der pH-Wert gleich dem pK_S -Wert. Der Pufferbereich der Lösung (Mitte, grau) liegt dann in einem pH-Bereich von etwa ± 1 (Bildquelle: Von Roland.chem - own made, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9058129>).

5.2 Redox-Reaktionen (Ladungs-/Elektronenaustausch)

5.2.1 Elektronendonatoren und -akzeptoren

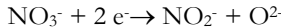
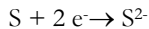
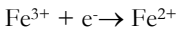
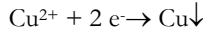
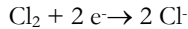
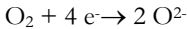
Die **Abgabe von Elektronen** nennt man **Oxidation** (ox).

Beispiele:



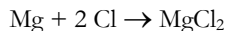
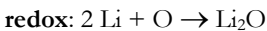
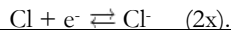
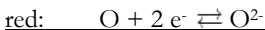
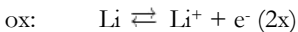
Die **Aufnahme von Elektronen** nennt man **Reduktion** (red, Umkehrvorgang zur Oxidation).

Beispiele:



Bei **Redoxreaktionen** (red/ox) werden **Elektronen e⁻** ausgetauscht:

Beispiele:



Deshalb ändern sich immer auch Ionenladungen oder Oxidationszahlen (das sind gedachte, rein rechnerische Oxidationszahlen, „hypothetische“ Ladungszahlen)!

Oxidationsmittel nehmen vom Partner e⁻ auf, sie **oxidieren** ihn. Gute Oxidationsmittel (Elektronenakzeptoren) sind die Elemente im PSE rechts oben, Edelmetall-Kationen und Elemente mit hohen Oxidationszahlen.

Beispiele für Oxidationsmittel:

F₂, O₂, Cl₂, NO₃⁻, SO₄²⁻, H₂O₂ (Peroxid mit O⁻¹), Ag⁺, Cu²⁺, Mn⁴⁺ (in KMnO₄), Cr⁶⁺ (in CrO₄²⁻ und Cr₂O₇²⁻), Pb⁴⁺ (in PbO₂), *gelegentlich auch* H⁺.

Reduktionsmittel geben dem Partner e⁻ ab, sie **reduzieren** ihn (und seine Ladungs-/ Oxidationszahl!), werden also selber oxidiert. Gute Reduktionsmittel (Elektronendonatoren) sind die Elemente im PSE links und Elemente mit ungewöhnlich niedrigen Oxidationszahlen. Beispiele:

H⁻ (z.B. in LiH, NaH), H⁰ (atomar), *Alkali- und Erdalkalimetalle*, Al⁰, Zn⁰, Fe⁰ (und weitere unedle Metalle), Fe²⁺, H₂, CH₄, H₂S, H₂SO₃, CO, C, HNO₂

Gleichgewichtsreaktionen im Vergleich

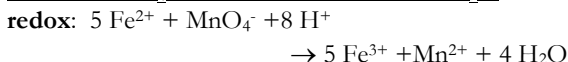
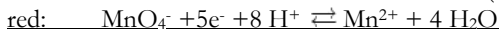
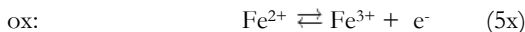
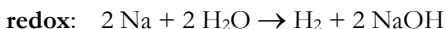
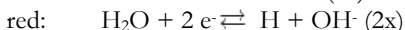
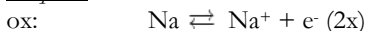
Vergleichs-Aspekt*	Redox-Reaktion	Säure-Base-Reaktion
Übertragenes Teilchen	Elektron (e ⁻)	Proton (H ⁺)
Abgebendes Teilchen	Reduktionsmittel (gibt Elektronen ab)	Säure (Protonendonator)
Aufnehmendes Teilchen und Konstante	Oxidationsmittel (nimmt Elektronen auf), Redox-Potenziale E°	Base (Protonenakzeptor), pH-, pK_s- und pK_b-Werte

* **Redoxreaktionen** sind oft mit **Säure-Base-Reaktionen** gekoppelt (Änderung von pH und Potenzial)

5.2.2 Reaktionsgleichungen für Redoxreaktionen

Reaktionsgleichungen für (kompliziertere) Redoxreaktionen erstellt man über die **Teilgleichungen** (red/ox; vgl. Kap. 4.4).

Beispiele:



5.2.3 Bestimmung von Oxidationszahlen

Bei jeder Redoxreaktion ändert sich die Oxidationszahl der Reaktionspartner. Die Oxidationszahl ist die gedachte Ladungszahl eines Atoms. Sie wird in anorganischen Verbindungen nach den folgenden Regeln bestimmt:

Regeln zur Bestimmung der Oxidationszahlen:

- Für Elemente / Elementverbindungen gilt die Oxidationszahl Null
Beispiel: O_2 Oxidationszahl $O = 0$.
- Alle Metalle haben immer positive Oxidationszahlen (als Elemente jedoch 0)
- Fluor F hat die immer die Oxidationszahl -1 (es sei denn, es liegt elementar vor).
- Wasserstoff H hat die Oxidationszahl $+1$ (als Element jedoch 0, in Metallhydriden -1).
- Sauerstoff O hat die Oxidationszahl -2 (außer als Element, Peroxid oder Sauerstofffluorid).
- Bor B und Silicium Si haben positive Oxidationszahlen (außer als Hydride).
- Unter Rückgriff auf die bereits bekannten Oxidationszahlen von Elementen in einer Verbindung und Anwendung der Regeln Nr. 1-7 lassen sich die unbekannten Oxidationszahlen weiterer Elemente in einer anorganischen Verbindung berechnen:
- Die Summe der Oxidationszahlen ist: a) in einem Molekül gleich Null, b) in einem (Komplex-)Ion gleich der Ladung, die das (Komplex-)Ion nach außen trägt.
- Bei den Ionenladungen geben die Ziffern die Anzahl der positiven bzw. negativen Ladungen an. Die Ionenladung einatomiger Ionen ist also deren Oxidationszahl.

Eine **Disproportionierung** ist eine Redoxreaktion eines Atoms mittlerer Oxidationszahl in eine Verbindung mit höherer und eine Verbindung mit niedrigerer Oxidationszahl;

eine **Komproportionierung** ist die Redoxreaktion zweier Verbindungen eines Elementes zu einer Verbindung des Elementes mit mittlerer Oxidationszahl.

5.2.4 Elektrochemie

Kationen edlerer Metalle reagieren mit unedleren Metallen zum edleren Metall und zum Kation unedlerer Metalle (**Spannungsreihe der Metalle**).



Ein **galvanisches Element** ist eine Anordnung aus zwei Elektroden unterschiedlicher Metalle in einem Elektrolyten, die eine elektrische Spannung aufbaut.

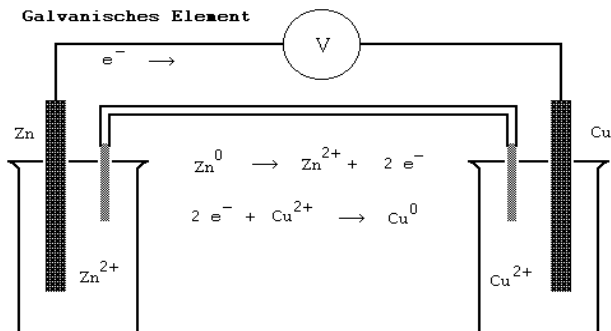


Abb.: Ein Zink- und ein Kupferstab tauchen in verdünnte Schwefelsäure oder in die Lösung ihres jeweiligen Salzes, die über eine Elektrolytlösung als Strombrücke verbunden sind. Zwischen den Elektroden Cu/Zn baut sich eine elektrische Spannung auf, da Elektronen vom Zink- zum Kupferstab fließen – räumliche Trennung von Oxidation $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2 e^-$ (links) und Reduktion (rechts: $\text{Cu}^{2+} + 2 e^- \rightarrow \text{Cu}$)

(Grafik: Eig. Werk)

Das elektrochemisch messbare **Redoxpotenzial** in Volt V gibt Auskunft darüber, wie stark ein Oxidationsmittel ist. Es wird in galvanischen Elementen gegen die Normalwasserstoffelektrode NWE gemessen: $2 \text{H}^+ + 2 e^- \rightleftharpoons \text{H}_2$ mit $E_{\text{NWE}} = 0,00 \text{ V}$.

Das **Redoxpotential der Halbzelle** eines galvanischen Elementes gibt an, wie groß das Bestreben einer Halbzelle ist, Elektronen aufzunehmen oder abzugeben (im Vgl. zur „Normal“-Halbzelle Wasserstoff/Säure; elektrochemische Energie).

Die **Elektromotorische Kraft** (EMK) ist die Fähigkeit eines Systems (einer Halbzelle eines galvanischen Elementes), durch Elektronenfluss (Abgabe von elektr. Energie) Arbeit zu leisten.

Die **Normalwasserstoffelektrode** (NWE) ist eine Wasserstoff-Säure-Halbzelle unter Normalbedingungen ($p=1013 \text{ hPa}$, $T= 293 \text{ K}$, $c= 1 \text{ mol/L}$).

Eine **Elektrolyse** ist eine (von außen mit Hilfe von Strom) erzwungene Redoxreaktion (z.B. Zerlegung einer Substanz mit Hilfe von Gleichstrom).

Fachbegriffe der Elektrochemie im Überblick

Fachbegriff	Definition
Galvanisches Element	Spannungserzeugendes, elektrochemisches System aus zwei unterschiedlichen Metallen und einer Elektrolytlösung (spontane Redoxreaktion, Red./Ox. räumlich getrennt in zwei Halbzellen)
Zellspannung U	Spannung eines galvanischen Elementes im stromlosen Zustand
Klemmspannung U_k	Spannung eines galvanischen Elementes bei angeklemmtem Voltmeter, ist infolge des inneren Widerstandes R_i des galvanischen Elementes geringer als die Zellspannung (je nach Stromstärke entsteht ein bestimmter Spannungsabfall $R_i \cdot I$): $U = U_k + R_i \cdot I$.
Normalwasserstoffelektrode NWE	Halbzelle eines galvanischen Elementes mit Platinelektrode, wasserstoffumspült, in einer Säure von $c = 1 \text{ mol/L}$ unter Normalbedingungen ($p = 1013 \text{ hPa}$, $\vartheta = 298,15 \text{ K}$), Potenzial $E_0 = 0,00 \text{ Volt}$.
Standardelektrodenpotenziale E°, auch: Standard-Redoxpotential	bezogen auf galvanische Halbzellen unter Normalbedingungen ($\vartheta = 25^\circ\text{C}$, $p = 1013 \text{ hPa}$, $c=1 \text{ mol/L}$ bzw. Aktivität $a=1$) in Kontakt mit der Normalwasserstoffelektrode, auch: Normalpotenzial
Standardzellspannung U° einer galvanischen Zelle	Differenz zwischen dem Standardelektrodenpotenzial (Redoxpotential) der Katode (+) und der Anode (-): $U^\circ = E^\circ_{\text{Pluspol, Katode}} - E^\circ_{\text{Minuspol, Anode}}$

Größengleichungen der Elektrizitätslehre

Größe / Größen- bzw. Formelzeichen	Größengleichung, Beziehung	SI-Einheit	Weitere Einheiten, Ableitung, Umrechnung
Elektrische Arbeit W_{elektr}	$W_{\text{elektr}} = U \cdot I \cdot t$	KJ/mol	Auch: Freie Standard- Bildungsenthalpie $\Delta_f G^\circ$
Elektrische Leitfähigkeit κ	$\kappa = 1 / R = I / U$ (Stromstärke pro Spannung)	1 Siemens (S) $= \Omega^{-1}$ $= \text{s}^3 \cdot \text{A} / \text{kg} \cdot \text{m}^2$	(Kehrwert des Widerstandes , Leitfähigkeit auch als Λ in der Einheit $\text{S} / \text{mol} \cdot \text{cm}^2$)
Elektrische Spannung U	$U = W_{\text{el.}} / Q$ (elektr. Arbeit pro Ladung)	1 Volt (V) $= 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / (\text{s}^3 \cdot \text{A})$ $= 1 \text{ J} / (\text{A} \cdot \text{s})$	1 MV = 1000 kV = 10^6 V (auch als elektr. Leistung pro Stromstärke: $U = P_{\text{el.}} / I = W_{\text{el.}} / Q$)
Elektrischer Widerstand R	$R = U / I$ (Spannung pro Stromstärke)	1 Ohm (Ω) $= 1 \text{ V} / \text{A}$ $= 1 \text{ kg m}^2 / \text{s}^3 \text{ A}$	$1 \Omega = 1 \text{ S}^{-1}$, $1 \text{ k}\Omega = 10^3 \Omega = 10^6 \text{ m}\Omega$ (mit der Basisgröße Stromstärke als Ladung pro Zeit: $I = Q / t$).
Elektrizitätsmenge Q , Ladung(smenge) Q (bei $I = \text{const.}$)	$Q = I \cdot t$ (Stromstärke mal Zeit)	1 Coulomb (C) $= \text{A} \cdot \text{s} = \text{J} / \text{V}$	$1 \text{ A} \cdot \text{h} = 3600 \text{ C}$ bei $I = \text{const.}$: $Q = I \cdot t$ auch: $Q = W_{\text{el.}} / U$
Potenzial, chemisch: μ , H , U elektrisch: $\varphi_{\text{el.}}$, U , E	$U = \varphi_2 - \varphi_1$ $\varphi_{\text{el.}} = 1 / (4\pi \cdot \epsilon_0) \cdot (Q / r)$	$\varphi_{\text{el.}}, U, E$: Volt (V) μ : J / mol	r Leiterabstand, ϵ_0 elektrische Feldkonstante U elektrische Spannung Q Ladungsmenge
Redox-Potenzial U , als elektrische Spannung U , E , $\Delta \varphi$, Potenzialdifferenz	$U = \varphi_2 - \varphi_1$ $= W / Q$ (Spannung pro Ladung)	1 Volt (V) $= 1 \text{ W} / \text{A}$ $= 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / (\text{s}^3 \cdot \text{A})$	$\varphi_{1,2}$ = elektrisches Potenzial in den Punkten 1 und 2 $U = \Delta E^\circ$ $= E^\circ_{\text{Akzeptor}} - E^\circ_{\text{Donator}}$
Spezifischer elektrischer Widerstand $\rho_{\text{spezif.}}$, ρ	$\rho = R \cdot A / s$ bzw. $R = \rho \cdot l / A$	$1 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$, $= 1 \Omega \cdot \text{m}$	$1 \Omega \text{ mm}^2 / \text{m} = 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ ρ Widerstand von 1 cm^3 eines Materials

Wichtige galvanische Elemente

Name	Anordnung	Entdeckung, Anmerkung
Brennstoffzelle	z.B. $\text{H}_2 / \text{KOH} / \text{O}_2$ oder auch $\text{H}_2 / \text{H}_3\text{PO}_4 / \text{O}_2$	Auch mit Hydrazin, Methanol, Salpe- tersäure und Halogenen
Daniell-Element	$\text{Zn} / \text{ZnSO}_4 // \text{CuSO}_4 / \text{Cu}$	1836, <i>John Frederic Daniell</i> , ca.1,1V
Knopfzelle	$\text{Zn} / \text{KOH} / \text{Ag}_2\text{O}$	Auch „Zn-Ag ₂ O-Zelle“, 1,5-1,8V
Leclanché-Element	$\text{Zn} / \text{NH}_4\text{Cl} - \text{Gel} / \text{MnO}_2 / \text{Graphit}$, ggf. mit KOH als Elektrolyt	Auch „Trockenelement“, Zink-Kohle-Batterie, 1,3-1,6V
Lithiumzelle	$\text{Li} / \text{LiClO}_4$ in PPC / Ag_2CrO_4 PPC = Propylencarbonat	3,2 bis 3,3 V (z.B. in Herzschrittmachern)
Volta-Element	$\text{Zn} / \text{H}_2\text{SO}_4$ verdünnt / Cu	1793/1800, <i>Alessandro Volta</i>

Berechnung von Potenzialen aus der Elektrolyt-Konzentration

Rechenformel	Symbole
$E = E_o + \frac{R \cdot T}{n \cdot F} \cdot \ln \frac{c_{ox}}{c_{red}}$ (Nernst'sche Gleichung)	R Allgemeine Gaskonstante $8,315 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ E_o Standardpotenzial (Normalpotenzial, Kap. 7.2) T absolute Temperatur (in Kelvin) F Faraday-Konstante $96487 \text{ A} \cdot \text{s} / (\text{mol} \cdot \text{g})$ n Anzahl der umgesetzten Elektronen, auch: z^*

Messung der Standardpotenziale

- **Elektroden** und entsprechende **Elektrolyt-Lösungen** als **Halbzelle** ($c = 1 \text{ mol/L}$),
- **Normalwasserstoffelektrode** (NWE, mit H_2 -umspülter Pt-Elektrode in Säure mit $c(\text{H}^+) = 1 \text{ mol/L}$ bei $298,15 \text{ K}$ und $1013,25 \text{ hPa}$) als zweite Halbzelle, zu *Galvanischen Element* geschaltet,
- Messung von deren **Potenzialdifferenz**,
- Definition: $E^0(\text{NWE}) = 0,0 \text{ V}$,
- Bezeichnung des gemessenen Wertes als **Redox-Normalpotenzial** E^0 (auch: ΔU^0_{H}),
- NWE als **Elektronenakzeptor**: Reduktion von Protonen, $2 \text{ H}^+ + 2 \text{ e}^- \rightarrow \text{H}_2 \Rightarrow$ unedleres Metall wird in Donatorhalbzelle oxidiert: $E^0(\text{Donator}) < 0 \text{ V}$
- NWE als **Donatorhalbzelle**: Oxidation von H_2 -Gas, $\text{H}_2 \rightarrow 2 \text{ H}^+ + 2 \text{ e}^- \Rightarrow$ edleres Metallkation wird in Akzeptorhalbzelle reduziert: $E^0(\text{Akzeptor}) > 0 \text{ V}$.
- **Redoxpaare**: $\text{oxidierte Form} + n \text{ e}^- \leftrightarrow \text{red. Form}$ bzw.
 $\text{Oxidationsmittel} + n \text{ e}^- \leftrightarrow \text{Red.-Mittel}$

Redox-Regel:

- Redoxpaare mit niedrigem Redoxpotenzial reagieren vorrangig unter Elektronenabgabe (Oxidation, gute Reduktionsmittel)
- Redoxpaare mit hohem Redoxpotenzial reagieren vorrangig unter Elektronenaufnahme (Reduktion, gute Oxidationsmittel)

Redox-Standardpotenziale E°
(nach der Stärke des Redoxpotenzials geordnet*)

E° (in V)	Redoxpaar*	E° (in V)	Redoxpaar*
- 3,04	$\text{Li}^+ (\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Li}$	0,142	$\text{S} + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S}$
- 2,92	$\text{Cs}^+ (\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cs}$	0,15	$\text{Sn}^{4+} + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Sn}^{2+}$
- 2,92	$\text{K}^+ (\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{K}$	0,15	$\text{Cu}^{2+} (\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cu}^+(\text{aq})$
- 2,71	$\text{Na}^+ (\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Na}$	0,172	$\text{SO}_4^{2-} + 4 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{SO}_3 (\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}$ (Sulfat/Sulfit)
- 2,36	$\text{Mg}^{2+} (\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mg}$	0,222	$\text{AgCl} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ag} + \text{Cl}^-$
- 1,66	$\text{Al}^{3+} (\text{aq}) + 3 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Al}$	0,35	$\text{Cu}^{2+} (\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cu}$
- 1,24	$\text{H}_2\text{BO}_3^- + 5 \text{H}_2\text{O} + 8 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{BH}_4^- + 8 \text{OH}^-$	0,401	$\text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^- \rightleftharpoons 4 \text{OH}^-(\text{aq})$
- 1,18	$\text{Mn}^{2+} (\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mn}$	0,42	$\text{NH}_2\text{OH} + \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{NH}_3 + 2 \text{OH}^-$
- 0,828	$2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\uparrow + 2 \text{OH}^-$	0,447	$\text{Ag}_2\text{CrO}_4 + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons 2 \text{Ag} + \text{CrO}_4^{2-}$
- 0,76	$\text{Zn}^{2+} (\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Zn}$	0,449	$\text{H}_2\text{SO}_3 + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{S} + 3 \text{H}_2\text{O}$
- 0,74	$\text{Cr}^{3+} (\text{aq}) + 3 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cr}$	0,521	$\text{Cu}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cu}$
- 0,447	$\text{S} (\text{fest}) + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{S}^{2-}$	0,564	$\text{AgNO}_2 + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ag} + \text{NO}_2^-$
- 0,44	$\text{Fe}^{2+} (\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}$	0,62	$\text{I}_2 (\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons 2 \text{I}^-(\text{aq})$
- 0,41	$\text{Cr}^{3+} (\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cr}^{2+}$	0,682	$\text{O}_2 + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}_2$
- 0,403	$\text{Cd}^{2+} (\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cd}$	0,77	$\text{Fe}^{3+} (\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$
- 0,359	$\text{PbSO}_4 + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pb} + \text{SO}_4^{2-}$	0,80	$\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ag}$
- 0,277	$\text{Co}^{2+} (\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Co}$	0,803	$2 \text{NO}_3^- + 4 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$ (Nitrat/Distickstofftetroxid)
-0,276	$\text{H}_3\text{PO}_4 (\text{aq}) + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_3\text{PO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ (Phosphat/Phosphit)		
- 0,25	$\text{Ni}^{2+} (\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ni}$	0,85	$\text{Hg}_2^{2+} (\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Hg}$
-0,14	$\text{Sn}^{2+} (\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Sn}$	0,878	$\text{H}_2\text{O}_2 + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons 2 \text{OH}^-$
- 0,13	$\text{Pb}^{2+} (\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pb}$	0,878	$\text{HO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons 3 \text{OH}^-$ (Hydrogenperoxid/Hydroxid)
$\pm 0,000$	$2 \text{H}^+(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\uparrow$	1,066	$\text{Br}_2 (\text{gasf}) + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons 2 \text{Br}^- (\text{aq})$
+ 0,01	$\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{NO}_2^- + 2 \text{OH}^-$ (Nitrat/Nitrit)	1,087	$\text{Br}_2 (\text{l}) + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons 2 \text{Br}^- (\text{aq})$

E° (in V)	Redoxpaar*	E° (in V)	Redoxpaar*
1,229	$O_2 + 4 H^+ + 4 e^- \rightleftharpoons 2 H_2O$	1,682	$PbO_2 + SO_4^{2-} + 4 H^+ + 2 e^- \rightleftharpoons PbSO_4 + 2 H_2O$ (Bleiakku)
1,20	$Pt^{2+} (aq) + 2 e^- \rightleftharpoons Pt$	1,68	$Au^+ (aq) + e^- \rightleftharpoons Au$
1,23	$MnO_2 + 4 H^+ + 2 e^- \rightleftharpoons Mn^{2+} + 2 H_2O$	1,695	$MnO_4^- + 4 H^+ + 3 e^- \rightleftharpoons MnO_2 + 2 H_2O$ (Permanganat/Mangan-IV)
1,36	$Cl_2(g) + 2 e^- \rightleftharpoons 2 Cl^- (aq)$	1,77	$H_2O_2(aq) + 2 H^+(aq) + 2 e^- \rightleftharpoons 2 H_2O$
1,41	$Au^{3+}(aq) + 2 e^- \rightleftharpoons Au$	2,01	$S_2O_8^{2-}(aq) + 2 e^- \rightleftharpoons 2 SO_4^{2-}(aq)$
1,51	$MnO_4^-(aq) + 8 H^+(aq) + 5 e^- \rightleftharpoons Mn^{2+}(aq) + 4 H_2O$ (Permanganat/Mangan-II)	2,07	$O_3 + 2 H^+ + 2 e^- \rightleftharpoons O_2 + H_2O$
1,63	$2 HOCl + 2 H^+ + 2 e^- \rightleftharpoons Cl_2 + 2 H_2O$ (Hypochlorit/Chlor)	2,85	$F_2 (g) + 2 e^- \rightleftharpoons 2 F^- (aq)$

* $T = 298,15 \text{ K}$, Elektroden 1. Art (Spannungsreihe der Metalle) hier grau unterlegt., Sauerstoff/Wasser-Systeme hellgrau unterlegt. Literaturwerte z. T. recht unterschiedlich, Werte hier z. T. gerundet.

5.3 Reaktionen mit Komplexen (Ligandenaustausch)

Komplexe entstehen durch den Austausch von Elektronenpaaren zwischen einem **Zentralatom** und einem oder mehreren **Liganden**, die sich geometrisch um das Zentralatom herum anordnen (Koordination).

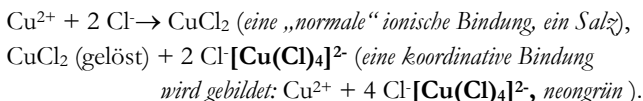
Zentralatome sind Kationen oder Metallatome mit freier, innerer „Elektronenlücke (zumeist Nebengruppenelemente, diese haben freie 3d- und 4dOrbitale), Beispiele:

Cu^{2+} , Ag^+ , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Ni , Pb^{2+} , Bi^{3+} u.a.

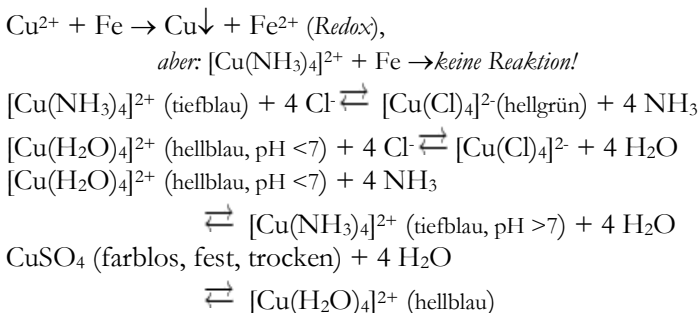
Liganden sind Moleküle oder Anionen, die **freie Elektronenpaare** zur Verfügung stellen können. Beispiele:

NH_3 (Name als *Ligand*: -ammin-), H_2O (-aquo-), CO (-carbonyl-), NO (-nitrosyl-), OH^- (-hydroxo-), O^{2-} (-oxo-), F^- , Cl^- , Br^- , I^- (-fluoro-, -chloro- usw.), CN^- , SCN^- (-cyano-, -thiocyano-), S^{2-} (-thio- / -sulfo-), $S_2O_2^{2-}$ (-thiosulfato-), *aber auch große Moleküle.*

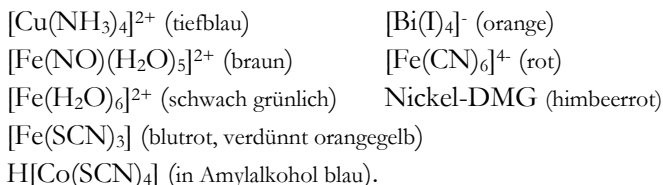
Komplexe weisen **koordinative Bindungen** auf („höherer Ordnung“, nicht ionisch!) und werden in Formeln durch **eckige Klammern** dargestellt (Zentralatom vorne, Liganden in Klammern). Beispiele:



Komplexe reagieren anders als freie Ionen. Ihre Reaktionsform ist der **Liganden-Austausch**. Beispiele:



Komplexe sind oft **farbig**, weil die Elektronen über den ganzen Komplex verteilt werden und deshalb mit Licht(teilchen) in Wechselwirkung treten können. Ihre Bildung eignet sich gut für **Nachweisreaktionen**. Beispiele:



Die **Namen** von Komplexen werden bei Kationen aus den Zahl-silben, den Liganden- und den Metallnamen mit Ladungszahl gebildet. Bei den anionischen Komplexen geht man bei Metallen von lateinischen Namen aus und setzt die Endung –at (wie bei Anionen).

Beispiele:

$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ Tetramminkupfer(II)-Komplex

$[\text{Cu}(\text{Cl})_4]^{2-}$ Tetrachlorokuprat(II)-Komplex

$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ Diamminsilber(I)-Komplex

$[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ Dithiosulfatoargentat(I)-Komplex

$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ Hexacyanoferrat(II)-Komplex

$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ Hexacyanoferrat(III)-Komplex

Die **geometrische Struktur** der Komplexe richtet sich oft nach dem Zentralatom (der Anordnung / Koordination von Liganden um das Zentralatom): Bei zwei „einzähnigen“ Liganden (**Koordinationszahl** = 2) ist der Komplex linear, bei Koordinationszahl 4 tetraedisch oder quadratisch-planar, bei Koordinationszahl 6 ist er oktaedrisch.

Beispiele:

$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ *linear*,

$[\text{Fe}(\text{F})_6]^{4-}$ *oktaedrisch*,

$[\text{Ni}(\text{Cl})_4]^{2-}$ *tetraedrisch*,

$[\text{Ni}(\text{CN})_6]^{4-}$ *oktaedrisch*

5.4 Reaktionen organischer Verbindungen

Bei Reaktionen an Kohlenstoffatomen wie z.B. in Kohlenwasserstoff-Verbindungen können Atomgruppen ausgetauscht, abgespalten oder angelagert werden. Diese Reaktions-Mechanismen nennt man Substitution (Austausch), Addition (Anlagerung) oder Eliminierung (Abspaltung). Sonderfälle sind Kondensationsreaktionen (Abspaltung kleiner Moleküle), Umlagerungen (in der Kohlenstoff-Kette organischer Moleküle) und Polymerisationen (Bildung von Riesenmolekülen). Die folgende Tabelle zeigt mögliche Reaktionen am C-Atom:

Mechanismen und Typen chemischer Reaktionen im Vergleich

Reaktionstyp*	Reaktionspartner
Addition (Ad, organisch)	$\text{HRC}=\text{CR}_2 + \text{H-X} \rightarrow \text{H}_2\text{RC}-\text{CR}_2\text{X}$ (z.B.: $\text{C}_2\text{H}_2 + \text{HBr} \rightarrow \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2\text{Br}$)
Eliminierung (E, organisch)	$\text{HR}_2\text{C}-\text{CR}_2\text{X} \rightarrow \text{R}_2\text{C}=\text{CR}_2 + \text{HX}$ (z. B.: $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2\text{Cl} \rightarrow \text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2 + \text{HCl}$)
Fällungsreaktion	Salz AB + Salz CD $\rightarrow$ Salze AC + BD
Kondensation (organisch)	(Abspaltung kleiner Moleküle, z. B. von Wasser / Eliminierung)
Oxidation (allg./organisch)	$\text{A} \rightarrow \text{B} + n\text{e}^-$ (Beispiel: $\text{R-CHO} + \text{O}^2- \rightarrow \text{R-COOH}$)
Polymerisation (organisch)	(Bildung von Makromolekülen, z. B. durch Ad. / Kond.)
Protolyse (allg./organ.)	$\text{A-H} \rightleftharpoons \text{A}^- + \text{H}^+$ (z.B.: $\text{R-COOH} + \text{R-NH}_2\text{R-NH}_3^+ + \text{R-COO}^-$)
Reduktion (allg./organisch)	$\text{A} + n\text{e}^- \rightarrow \text{B}$ (Beispiel: $\text{R-CHO} + 2\text{e}^- + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{R-CH}_2\text{OH}$)
Substitution (S, organisch)	$\text{R-X} + \text{Y}^- \rightarrow \text{R-Y} + \text{X}^-$ (Beispiel: $\text{CH}_4 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{Cl} + \text{HCl}$)
Transformation (organisch)	(Intramolekular: Umgruppierung, Umstrukturierung)

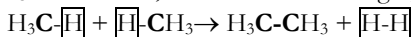
* Verwendete Kürzel:

R- Kohlenwasserstoffrest (KW): Alkyl- oder Arylrest,
ggf. auch H-Atom
Ar- Arylrest (Aromat)
X-, Y- Substituenten (ggf. auch funktionelle Gruppe),
A und B Moleküle,
 e^- Elektronen,
 n stöchiometrischer Faktor,
HA Säure,
BOH / COH anorganische Base

5.4.1 Stoffgruppen und Reaktionsmöglichkeiten

Kohlenwasserstoffe (KW) sind Verbindungen des Kohlenstoffs C mit Wasserstoff H (Allgemeine Summenformel: C_xH_y). Sie sind nicht wasserlöslich (unpolar), verbrennen zu Kohlendioxid und Wasserdampf und reagieren mit Halogenen unter Austausch (**Substitutionsreaktionen**; Beispiel vgl. Tabelle oben)

Hinweis: Jedes der vier H-Atome im Methanmolekül kann durch eine weitere Atomgruppe ersetzt werden, z.B. durch eine, die sich vom Methan ableitet (**CH₃-** oder **Methylgruppe**). Wenn ein H-Atom durch eine Methylgruppe $-\text{CH}_3$ ersetzt wird, dann entsteht Ethangas, Summenformel C_2H_6 :



Die so entstehenden C-C-Bindungen sind stabil. Dadurch entsteht eine große Fülle möglicher KW-Moleküle wie z.B. das Gas **Ethan** **CH₃-CH₃** (Summenformel: C_2H_6).

Eine **homologe Reihe** ist eine Gruppe von Verbindungen, deren einzelne Mitglieder sich voneinander nur durch die Anzahl ihrer **-CH₂-Gruppen** unterscheiden.

Isomerie ist das Vorhandensein verschiedener Verbindungen unterschiedlicher Struktur(formeln) mit gleicher Summenformel.

Mesomerie ist das Vorhandensein mehrerer möglicher Struktur(formel)n in einem Molekül (mesomere Grenzstrukturen, z.B. Keto-Enol-Tautomerie).

Eine **funktionelle Gruppe** (auch: ein **Substituent**) ist ein Atom oder eine Gruppe von (Hetero-)Atomen in einem Kohlenwasserstoffmolekül, die hierin ein Wasserstoffatom ersetzt.

Ein **ungesättigter Kohlenwasserstoff** ist eine Verbindung aus Kohlenstoff und Wasserstoff, in deren Molekülen sich C=C-Doppel- und/oder C≡C-Dreifachbindungen befinden. Diese reagieren oft unter Anlagerung von Atomen und Atomgruppen (**Additionsreaktionen**).

Alkene und **Polyene** sind KW mit **C=C-Doppelbindungen**. Sie sind sehr reaktionsfreudig und lagern an ihrer Doppelbindung viele andere Stoffe an, wobei die Doppelbindung verloren geht. Die allgemeine Summenformel der Alkene ist **C_nH_{2n}**.

Alkine sind ungesättigte KW mit der allgemeinen Summenformel **C_nH_{2n-2}**. Sie weisen extrem reaktionsfreudige **C≡C-Dreifachbindungen** auf (diese C-Atome sind sp-hybridisiert, es bleiben also jeweils zwei p-Atomorbitale zur Bildung der Zweit- und Drittbindung übrig).

Halogenalkane sind Kohlenwasserstoffe, in deren Moleküle in oder mehrere H-Atome durch Halogenatome ausgetauscht worden sind (Halogene als Substituenten, Mehrfachsubstitution:

Di-, Tri-, Tetrahalogenalkane bis hin zu Polyhalogenalkanen). Sie sind in der Regel nicht wasserlöslich, reagieren z.T. explosionsartig mit Alkalimetallen und setzen bei Verbrennung Halogenwasserstoffe frei.

Alkohole (Alkanole) und **Polyole** sind KW mit **Hydroxylgruppen –OH** als Substituenten (Alkanole: eine OH-Gruppe, Alkan-diole: zwei, Alkantriole: drei, usw.). Sie sind mit steigender Anzahl an OH-Gruppen und abnehmender Größe des KW-Restes zunehmend gut wasserlöslich.

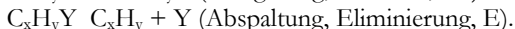
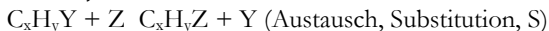
Carbonsäuren (Alkansäuren) sind Stoffe, deren Moleküle endständige Carbonyl- und Hydroxylgruppen aufweisen (**Carboxylgruppe –COOH**). Von Alkanen abgeleitete Carbonsäuren weisen die allgemeine Strukturformel $C_nH_{2n+1}COOH$ auf, reagieren sauer (Abgabe von H^+ -Ionen, Bildung von Carboxylat-Anionen $RCOO^-$) und sind wasserlöslich, sofern der KW-Rest nicht zu groß ist.

Ester (Alkylalkanoate) sind KW, die die **Estergruppe –COO–** aufweisen. Sie sind zumeist nicht wasserlöslich und entstehen aus Alkoholen und Carbonsäuren.

5.4.2 Substitution, Addition und Co. (Reaktionsmechanismen)

Substitution ist der Austausch von Atomen oder Atomgruppen (Substituenten: A + B) in einem organischen Molekül (KW-Rest R): $R-A + B \rightarrow R-B + A$.

Hinweise: Ein **Substituent** ist eine (austauschbare) Atomgruppe(funktionelle Gruppe) im organischen Molekül). **Substitutionsreaktionen** stellen eine der drei wichtigen **Reaktionsarten in der organischen Chemie**, **Ad** und **E** dar:

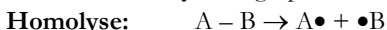


Sie werden nach den jeweils angreifenden Reagenzien in drei Gruppen unterteilt: radikalisch, nukleophil und elektrophil:

Ein **Radikal** (Symbol oft: $R^\bullet$) ist ein Teilchen mit ungepaartem Elektron e^- (sehr reaktiv).

Beispiele: Radikale sind z. B. $CH_3^\bullet$, $Cl^\bullet$, $NO^\bullet$, $\bullet O-O^\bullet$. Sie entstehen, indem eine Atombindung homolytisch gespalten wird.

Hinweis: Atombindungen (vgl. Merksatz 41 und 43) können **homolytisch** und **heterolytisch** gespalten werden:



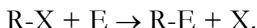
Eine **radikalische Substitution** (**S_R-Reaktion**) verläuft so, dass ein Radikal einem KW-Rest ein H-Atom entreißt. S_R-Reaktionen laufen in Form von Kettenreaktionen ab.

Ein **Nukleophil** ist ein Teilchen, das ein Molekül bei einer Reaktion in der Nähe eines Kohlenstoffatomkerns angreift. Nukleophile (Nu) tragen negative Ladungen oder Teilladung δ^- und freie e^- -Paare. Eine **nukleophile Substitution** (**S_N-Reaktion**) verläuft so, dass ein Angreifer, das **Nukleophil** Nu, über sein freies Elektronenpaar an den Kern eines C-Atom gebunden wird, welches dafür einen anderen Substituenten X abgibt.

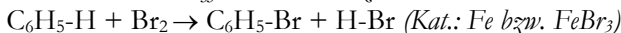
Beispiele: Bromethan reagiert beim Sieden mit Natronlauge zu Ethanol und Natriumbromid: $C_2H_5Br + NaOH \rightarrow C_2H_5OH + NaBr$

Ein **Elektrophil (E)** ist ein Teilchen, das ein Molekül bei einer Reaktion in elektronenreichen Regionen angreift. Es weist einen Mangel an Elektronen e^- auf und trägt positive Ladung oder Teil-ladungen δ^+ . Beispiele: *Elektrophile (E) sind:* H^+ , NO_2^+ , HBr , SO_3^+ .

Eine **elektrophile Substitution (S_E-Reaktion)** verläuft so, dass ein Elektrophil E Elektronen aus einem organischen Molekül R anzieht, so dass dieses einen Substituenten X abspaltet:



Beispiel: *Benzol reagiert bei Zugabe eines Katalysators mit Brom so, dass Bromwasserstoff und Brombenzol entstehen:*



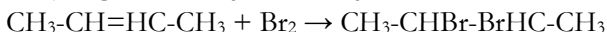
Ein **mesomerer Effekt** entsteht dadurch, dass mesomere Grenzstrukturen bestimmte Atomgruppen aktivieren oder deaktivieren; wird die Elektronendichte erhöht, dann liegt ein positiver mesomerer Effekt vor (**+M-Effekt**), wird sie erniedrigt, so ist es ein **-M-Effekt**.

Ein **Substituenteneffekt** aktiviert oder deaktiviert bestimmte Atomgruppen im Molekül und lenkt neue Substituenten u.U. in bestimmte Positionen.

Addition ist die Anlagerung eines Atoms oder einer Atomgruppe A an ein Molekül R: **R + A → R-A**

Beispiele: *Ethen $H_2C=CH_2$ reagiert mit Brom Br_2 zum Halogenalkan 1,2-Dibromethan CH_2Br-CH_2Br :* $C_2H_4 + Br_2 \rightarrow C_2H_4Br_2$.

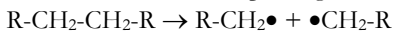
Buten-2 (Summenformel: C_4H_8 , Halbstrukturformel: $CH_3-CH=HC-CH_3$) reagiert mit Salzsäure HCl zu 2-Chlorbutan:



Regel von Markownikow: Wird eine unsymmetrisch aufgebaute Verbindung (HX, H₂O, etc.) an eine ebenfalls **asymmetrische, ungesättigte Verbindung** addiert, dann wird das Proton der zu addierenden Verbindung stets an dem C-Atom gebunden, das bereits mehr H-Atome hat.

Eliminierung ist die Abspaltung eines kleinen Moleküls aus einem (größeren) Molekül.

Hinweise: **Radikalische Eliminierungen (E_R-Reaktionen)** laufen z.B. ab, wenn Alkane gecrackt werden. Die Spaltung einer C-C-Bindung hat zur Folge, dass sich Radikale z. B. durch Abspaltung von Ethen umlagern können:



Nukleophile Eliminierungen (E_N-Reaktionen) sind Konkurrenzreaktionen zur Substitution.

Kondensation ist die Abspaltung eines Wassermoleküls aus einem (größeren) Molekül (in der Chemie; Physik: Kondensation ist der Übergang vom gasförmigen zum flüssigen Aggregatzustand).

Polymerisation ist die Aneinanderlagerung / Verkettung vieler Tausend gleichartiger Moleküle zur Bildung eines Riesenmoleküls (Polymers).

Kunststoffe sind künstlich hergestellte Polymere. Sie weisen Riesenmoleküle auf, die aus vielen, gleichartigen Einzelbausteinen (Monomeren) gebildet werden (durch Aneinanderreihung von Monomeren zu ketten- und netzartigen Strukturen; Verkettung und Vernetzung).

Optische Aktivität ist die Fähigkeit einer Verbindung, linear polarisiertes Licht zu drehen. Die Ursache dieser Fähigkeit liegt in der **Chiralität** eines Atoms, d.h. dem Vorhandensein spiegelbildlicher Anordnungen von vier unterschiedlichen Substituenten an einem C-Atom.

Naturstoffe (Biomoleküle) sind Verbindungen, die von lebenden Organismen gebildet werden, um biologische Funktionen zu erfüllen.

Lipide (Fette) sind **Fettsäure-Ester des Glycerins** (auch: **Triglyzeride**).

Kohlenhydrate sind Kohlenstoff-Wasserstoff-Sauerstoff-Verbindungen der Summenformel $C_n(H_2O)_n$. Hierzu gehören z.B. **Zucker**, Zellulose und Stärke. Kohlenhydrate bilden oft Riesenmoleküle durch Polykondensation.

Proteine (Eiweiße) sind Polymerisat(ionsprodukt)e der **Aminosäuren (Polypeptide)**.

Enzyme (Biokatalysatoren) sind in lebenden Organismen vorhandene oder von ihnen produzierte Substanzen mit katalytischer Wirkung (z.B. für Stoffwechselvorgänge wie Photosynthese, Verdauung, Atmung).

Reaktionsmechanismen für organische Synthese-Reaktionen

Mechanismus	Synthese-Reaktion	Allgemeines Schema / Beispiel*
S _R	Photohalogenierung	$R_3C-H + X_2 \rightarrow R_3C-X + HX$ (mit Belichtung, X_2 = Halogen)
S _N	Williamson-Ethersynthese	$R-OH + R'-X \rightarrow R-O-R' + HX$ (Katalysator-Beispiel: C_2H_5ONa)
S _N	Thioether-Synthese	$S^{2-} + 2 R-X \rightarrow R-S-R + 2 X^-$ (X = Abgangsgruppe)
S _N	Nitromethan-Synthese	$NO_2^- + X-R-COO^- (+ H_2O) \rightarrow RNO_2 + CO_2 + X^-$
S _N	Grignard-Reaktion (zur C-C-Verknüpfung)	1) $R-X + Mg \rightarrow R-Mg-X$ (X = Halogenid, Medium wasserfrei), 2) $R-Mg-X + R_2C=O (+ H_2O) \rightarrow R_3C-OH + Mg^{2+} + X^- + OH^-$ (Hydrolyse)
S _N	Knoevenagel-Reaktion (zur C-C-Verknüpfung)	$R-CHO + X-CH_2-COOH \rightarrow CO_2 + R-CH=CH-X$ (X = -COOH, -CN)
S (Ad _E +E)	Claisen-Kondensation (zur C-C-Verknüpfung)	$2 CH_3COOC_2H_5 \rightarrow CH_3COCH_2COCOOC_2H_5$ (mit Katalysator Natriummethanolat und über ein Esterenolat-Anion)
S _E	Halogenierung	$Ar-H + X_2 \rightarrow Ar-X + HX$ (Katalysator: Fe, X = Halogen)
S _E	Nitrierung	$Ar-H + NO_2^+ \rightarrow Ar-NO_2 + H^+$ (mit Nitriersäure HNO_3/H_2SO_4)
S _E	Sulfonierung	$Ar-H + SO_3H^+ \rightarrow Ar-SO_3H + H^+$ (mit konz. Schwefelsäure)
S _E	Friedel-Crafts-Alkylierung	$Ar-H + R-X \rightarrow Ar-R + HX$ (mit AlX_3 oder FeX_3 , X = Halogenid)

*Verwendete Kürzel siehe Tabellenende auf folgender Seite

Mechanismus	Synthese-Reaktion	Allgemeines Schema / Beispiel*
S_E	Friedel-Crafts-Acylierung	$\text{Ar-H} + \text{R-CO-X} \rightarrow \text{Ar-COR} + \text{HX}$ (mit AlX_3 und Säurehalogenid)
Ad_E	Aldol-Addition	$\text{Ar-CHO} + \text{RCOCH}_3 \rightarrow \text{Ar-CH=CH-COR}$
Ad_E	(Hydro-) Halogenierung	$\text{R}_2\text{C=CR}_2 + \text{X}_2 \rightarrow \text{R}_2\text{XC-CXR}_2$ oder $\text{R}_2\text{C=CR}_2 + \text{HX} \rightarrow \text{R}_2\text{XC-CHR}_2$
Ad_E (Red.)	Hydrierung	$\text{R}_2\text{C=CR}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{R}_2\text{HC-CHR}_2$ (katalytisch)
Ad (an C=O)	Acetal-Bildung	1) $\text{R-CHO} + \text{ROH} \rightarrow \text{HRC(OH)OR}$ (Halbacetal), ggf. weiter: 2) $\text{HRC(OH)OR} + \text{ROH} \rightarrow \text{HRC(OR)}_2$ (Vollacetal, Kat. = H^+)
Ad (an C=O)	Amin-Addition	$\text{Ar-CHO} + \text{R-NH}_2 \rightarrow \text{HARC=NR}$ (Imin, <i>Schiff</i> sche Base)
Ad_N	Veresterung	$\text{R-COOH} + \text{R-OH}$ (als Nukleophil) $\rightarrow \text{R-COOR} + \text{H}_2\text{O}$
Ad_N von H₂O	Esterspaltung / Verseifung	$\text{R-COOR} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{R-COOH} + \text{ROH}$ (oft in Gegenwart von Lauge)
Ad_N von H₂O	Hydrolyse	$\text{R-CN} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{R-CONH}_2$ (Kat. = H^+) (Nitril-, Imin-Hydrolyse)
E von H₂O	Kondensation	$\text{R-CONH}_2 \rightarrow \text{R-CN} + \text{H}_2\text{O}$ (Umkehrung der Hydrolyse)
Ad_N / E⁻	Diazotierung von Aminen und nachfolgende Anlagerung	1) $\text{Ar-NH}_2 + \text{NO}_2^- + 2 \text{H}^+ \rightarrow \text{Ar-N}_2^+ + 2 \text{H}_2\text{O}$ (Diazotierung), 2) $\text{Ar-N}_2^+ + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ar-OH} + \text{N}_2 + \text{H}^+$ (<i>Sandmeyer</i> -Reaktion)
1,4-Ad	Diels-Alder-Reaktion	Dien + Dienophil $\rightarrow$ cyclisches <i>Diels-Alder</i> -Addukt Beispiel: $(\text{H}_2\text{C=CR})_2 + \text{H}_2\text{C=CH-CHO} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_9\text{CHO}$ (Produkt: Cyclohexenylmethanal)
Ox. (bzw. Redox)	Dehydrierung, Oxidation	Allgemein: $\text{A} + \text{Ox} \rightarrow \text{Red} + \text{A}$ oder $\text{A} + \text{Ox} \rightarrow \text{Red} + \text{A}^+$ Beispiele für Reaktionspartner A (oxidierbare organische Verbindungen): $\text{Ar-CH}_3 \rightarrow \text{Ar-COOH}$, $\text{C=C} \rightarrow \text{-C(OH)-C(OH)-}$, $\text{R-S-R} \rightarrow \text{R-SO}_2\text{-R}$, <i>Fehling</i> : $2 \text{Cu}^{2+} + \text{RCHO} + 5 \text{OH}^- \rightarrow \text{Cu}_2\text{O} + \text{RCOO}^- + 3 \text{H}_2\text{O}$
Red. (bzw. Redox)	Hydrierung, Reduktion	Mit Zn/H^+ , LiAlH_4 , NaBH_4 , H_2 /Kat. u.a. Reduktionsmitteln, Beispiel: $\text{R-CO-R} \rightarrow \text{R-CH}_2\text{OH}$
Ox. + Red. (Redox)	Cannizzarro-Reaktion	$2 \text{R-CHO} \rightarrow \text{R-COOH} + \text{R-CH}_2\text{OH}$ (Disproportionierung von Aldehyden)

* Verwendete Kürzel:

A und B	Moleküle,	Ar-	Arylrest	(Aromat)
e ⁻	Elektronen,	<i>n</i>	stöchiometrischer Faktor,	
HA	Säure,	BOH / COH	anorganische Base	
R-	Kohlenwasserstoffrest	(KW):	Alkyl- oder Arylrest,	
			ggf. auch H-Atom	
X-, Y-	Substituenten (ggf. auch funktionelle Gruppe),			zumeist Halogenatom

6) Chemisches Rechnen und Untersuchen (Stöchiometrie, Kinetik, Thermodynamik und (Analytik))

6.1 Stöchiometrie

Die **Masse** m einer Stoffportion gibt an, wie groß ihr Gewicht ist (im Vergleich zu 1 **kg** bzw. dem Gewicht von einem Liter Wasser bei +4°C)

Die **Stoffmenge** n einer Stoffportion gibt an, wie groß sie hinsichtlich der chemischen Wertigkeit/Bindungs- und Reaktionsfähigkeit ist (im Vergleich zu 1 **Mol** Kohlenstoff, das sind 12 Gramm ¹²C-Kohlenstoff: Eine Stoffportion von 1 mol enthält $6,023 \cdot 10^{23}$ Teilchen)

Das **Volumen** V einer Stoffportion gibt an, welchen Rauminhalt eine Stoffportion einnimmt (im Vergleich zu einem Liter = 1 dm³)

Die **Dichte** ρ einer Stoffportion ergibt sich, indem man ihre Masse m durch ihr Volumen V dividiert: $\rho = m / V$.

Die **Gasgesetze** beschreiben, wie sich die **Zustandsgrößen** Druck p , Temperatur T , Volumen V und Stoffmenge n (oder Masse m oder Teilchenzahl N) in einer Gasportion verhalten, wenn man eine dieser Größen verändert.

Die **ideale Gasgleichung** $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$ ist eine Größengleichung. Sie ermöglicht es, die Stoffmenge einer Gasportion in Abhängigkeit der Zustandsgrößen Druck, Volumen und Temperatur mit Hilfe der allgemeinen Gaskonstante R zu berechnen.

(allg. Gaskonstante $R = (p \cdot V) / (n \cdot T) = 8,314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$)

Ein Mol eines idealen Gases nimmt ein **Molares Volumen** von $V_{m,n} = 22,4 \text{ L/mol}$ ein (bei Normalbedingungen $p_0=1013 \text{ hPa}$, $T_0 = 273 \text{ K}$), es gilt das Allgemeine Gasgesetz:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \text{ mit } R = 8,314 \text{ (hPa} \cdot \text{L) / (mol} \cdot \text{K)}.$$

Der Gesamtdruck eines Gasgemisches ist die Summe der Teil- / Partialdrücke der einzelnen Gase (**Dalton'sches Gesetz**).

Der **Partialdruck** eines Gases ist der Druck, der im Volumen des Gasgemisches herrschen würde, wenn dieses Gas sich hierin allein befände. Er ist zugleich ein Maß für dessen **Stoffmengenanteil** im Gemisch.

In Lösungen und anderen Stoffgemischen können **Anteile** und **Konzentrationen** in folgenden Größen angegeben werden:

Massenanteil $w(X) = m(X) : m(\text{Lsg})$	in: $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
Volumenanteil $\varphi(X) = V(X) : [V(\text{Lm}) + V(X)]$	in: $\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$
Stoffmengenanteil $\chi(X) = n(X) : [n(\text{Lm}) + n(X)]$	in: $\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$
Massenkonzentration $\beta(X) = m(X) : V(\text{Lsg})$	in: $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$
Volumenkonzentration $\sigma(X) = V(X) : V(\text{Lsg})$	in: $\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$
Stoffmengenkonzentration $c(X) = n(X) : V(\text{Lsg})$	in: $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$
Massenverhältnis $\zeta(X) = m(X) : m(\text{Lm})$	in: $\text{g} \cdot \text{kg}(\text{Lm})^{-1}$
Volumenverhältnis $\psi(X) = V(X) : V(\text{Lm})$	in: $\text{mL} \cdot \text{L}(\text{Lm})^{-1}$
Stoffmengenverhältnis $r(X) = n(X) : n(\text{Lm})$	in: $\text{mmol} \cdot \text{mol}(\text{Lm})^{-1}$.

Beim **Mischen** von Lösungen gilt für die Berechnung der Massenanteile w der Ausgangslösungen sowie für den Massenanteil w_M der hergestellten Mischung M die **Mischungsgleichung**:

- Für zwei Lösungen (1 und 2):

$$m_1 \cdot w_1 + m_2 \cdot w_2 = m_M \cdot w_M = (m_1 + m_2) \cdot w_M$$

- Für n Lösungen (1,2,3 ... , n):

$$m_1 \cdot w_1 + m_2 \cdot w_2 + \dots + m_n \cdot w_n = m_M \cdot w_M$$

Gehaltsänderungen in Lösungen

Änderung	Verfahren
Verdünnung	Zusatz von reinem Lösungsmittel Lm, von Lösung mit geringerem Gehalt oder Entzug von gelöstem Stoff X
Aufkonzentration	Zusatz von zu lösendem Stoff X, von gleichartiger Lösung mit höherem Gehalt oder Entzug von Lösungsmittel Lm
Mischen*	Lösungen unterschiedlicher Konzentration zusammengeben

Rechenformeln zur Mischungsgleichung, Mischungskreuz

Rechenoperation	Rechenformel
Umformung der Mischungsgleichung nach dem Massenverhältnis	$\frac{m_1 \cdot w_M - x_2}{m_2} = w_1 - w_M$
Mischungsrechnung für eine Verdünnung	$M_1 \cdot m_1 \cdot w_1 = m_M \cdot w_M = (m_1 + m_2) \cdot w_M$ (da $w_2 = 0$) $\Rightarrow \frac{m_1 \cdot w_1}{m_M} = w_M$
Massenanteil-Berechnung bei Aufkonzentration durch Zusatz von gelöstem Stoff X	$w_M = \frac{m_1 \cdot w_1 + m_2 \cdot w_2}{m_M}$
Massenanteil-Berechnung bei Aufkonzentration durch Abdampfen von Lösungsmittel Lm	$w_M = \frac{m_1 \cdot w_1}{m_M}$ (denn: $m_1 - m_{Lm} = m_M$)
Mischungskreuz (auch: Andreaskreuz, Mischungsregel)	
Mischungskreuz (auch: Andreaskreuz, Mischungsregel) bei der Aufkonzentration durch Abdampfen von Lm	

Konzentrationsangaben

Gehaltsangabe und Definitionsgleichung	Basis-Einheit	Alternative Einheiten und Anmerkungen	Gehaltsangabe und Be- / Umrechnung
Massenkonzentration β $\beta(X) = m(X) / V(\text{Gesamt})$	kg / m ³ = g / L	auch üblich: g/100 mL	$\beta(X) = w(X) \cdot \rho(X)$ $= c(X) \cdot M(X) = \sigma(X) \cdot \rho(X)$
Volumenkonzentration σ $\sigma(X) = V(X) / V(\text{Gesamt})$ (früher: Volumen-%)	L / L (oder L/m ³ oder mL/L)	cL/L = vol% $\sigma(X)$ bezieht sich im Unterschied zu $\varphi(X)$ auf das Volumen <i>nach</i> dem Mischvorgang!	$\sigma(X) = c(X) \cdot V_m(X)$ $= c(X) \cdot M(X) / \rho(X)$ $= \beta(X) / \rho(X)$
Stoffmengen-konzentration c $c(X) = n(X) / V$	mol/L = mmol/mL	auch: mol/m ³ = mmol / L (früher: "Molarität")	$c(X) = m(X) / [M(X) \cdot V(X)]$ $= w(X) \cdot \rho(\text{Lösung}) / M(X)$ $= \beta(X) / M(X) = \sigma \cdot \rho / M(X)$

Anteils- und Verhältnis-Angaben

Gehaltsangabe und Definitionsgleichung	Basis-Einheit	Alternative Einheiten und Anmerkungen	Gehaltsangabe und Be- / Umrechnung
Massenanteil w $w(X) = m(X) / m(\text{Gesamt})$	kg/kg = g/g*	g / 100 g = Masse%, Gewichts% $M(\text{Lösung}) =$ $\chi(X) \cdot M(X) + \chi(\text{Lm}) \cdot M(\text{Lm})$	$w(X) = \chi(X) \cdot M(X) /$ $M(\text{Lösung})$ $= \beta(X) / \rho(\text{Lösung})$ $= c(X) \cdot M(X) /$ $\rho(\text{Lösung})$
Stoffmengenanteil χ $\chi(X) = n(X) / [n(X) + n(\text{Lm})]$	mol/mol	Auch in: mol%;	$\chi(i) = w(X) /$ $M(X) \cdot / M(\text{Lösung})$
Volumenanteil φ $\varphi(X) = V(X) / [V(X) + V(\text{Lm})]$	L/L = mL/mL *	$V(X) + V(\text{Lm})$ = $V(\text{vor dem Mischen})$	$\varphi(X) = w(X) \cdot \rho(\text{Lösung}) /$ $\rho(X)$
Massenverhältnis ζ $\zeta(X) = m(X) / m(\text{Lm})$	-	Als Löslichkeit in g/100g	$L(X, g) = m(X) / m(\text{Lm})$
Stoffmengenverhältnis r $r(X) = n(X) / n(\text{Lm})$	-	(auch: Molenbruch)	-
Volumenverhältnis ψ $\psi(X) = V(X) / V(\text{Lm})$	-	Hier ist der Unterschied zum Volumenanteil zu beachten, insbesondere wenn eine Volumenkontraktion eintritt	-

Analytische Gehaltsangaben

Symbol	Bezeichnung (engl./deutsch)	Anteil	Einheit (Beispiele; w bzw. φ)
%	<i>per centum</i> (lat.) = Prozent	1 : 100	1 g/100g ; 1 mL/100 mL
‰	<i>per mille</i> (lat.) = Promille	1 : 1000	1 g/kg oder mg/g; 1 mL/L oder L/m ³
ppm	<i>parts per million</i> = Millionstel	1 : 10 ⁶	1 mg/kg oder µg/g ; 1 mL/m ³
ppb	<i>parts per billion</i> = Milliardenstel	1 : 10 ⁹	1 µg/kg oder mg/t ; 1 µL/m ³
ppt	<i>parts per trillion</i> = Billionstel	1 : 10 ¹²	1 ng/kg oder µg/t ; 1 nL/m ³
ppq	<i>parts per quadrillion</i> Billiardstel	1 : 10 ¹⁵	1 pg/kg oder ng/t ; 1 pL/m ³

Gehaltsgrößen-Umrechnung

Umrechnung von ↓ in →	in Massen- anteil $w(X)$	in Massen- konzentration $\beta(X)$	in Stoffmengen- konzentration $\chi(X)$	in Stoffmengen- konzentration $c(X)$	in Volumen- konzentration $\sigma(X)$
von $\sigma(X)$ E	$w(X) = \frac{\sigma(X) \cdot \rho(X)}{\rho(\text{Lsg})}$	$\beta(X) = \sigma(X) \cdot \rho(X)$	$\chi(X) = \frac{\sigma(X) \cdot \rho(X) \cdot M(\text{Lsg})^E}{M(X) \cdot \rho(\text{Lsg})}$	$c(X) = \frac{\sigma(X) \cdot \rho(X)}{M(X)}$	$\sigma(X) = \frac{w(X)}{V(\text{Lsg})}$
von $c(X)$	$w(X) = \frac{c(X) \cdot M(X)}{\rho(\text{Lsg})}$	$\beta(X) = c(X) \cdot M(X)$	$\chi(X) = \frac{c(X) \cdot M(\text{Lsg})^B}{\rho(\text{Lsg})}$	$c(X) = \frac{n(X)}{V(\text{Lsg})}$	$\sigma(X) = \frac{c(X) \cdot M(X)}{\rho(X)}$
von $\chi(X)$ A	$w(X) = \frac{\chi(X) \cdot M(X)}{M(\text{Lsg})^A}$	$\beta(X) = \frac{\chi(X) \cdot M(X) \cdot \rho(\text{Lsg})}{M(\text{Lsg})^A}$	$\chi(X) = \frac{n(X)}{n(X) + n(\text{Lm})}$	$c(X) = \frac{\chi(X) \cdot \rho(\text{Lsg})}{M(\text{Lsg})^A}$	$\sigma(X) = \frac{\chi(X) \cdot M(X) \cdot \rho(\text{Lsg})}{M(\text{Lsg})^A \cdot \rho(X)}$
von $\beta(X)$ C	$w(X) = \frac{\beta(X)}{\rho(\text{Lsg})}$	$\beta(X) = \frac{m(X)}{V(\text{Lsg})}$	$\chi(X) = \frac{\beta(X) \cdot M(\text{Lsg})^C}{M(X) \cdot \rho(\text{Lsg})}$	$c(X) = \frac{\beta(X)}{M(X)}$	$\sigma(X) = \frac{\beta(X)}{\rho(X)}$
von $w(X)$ D	$w(X) = \frac{m(X)}{m(\text{Lsg})}$	$\beta(X) = w(X) \cdot \rho(\text{Lsg})$	$\chi(X) = \frac{w(X)}{M(X) \cdot [1/M(\text{Lsg})]^D}$	$c(X) = \frac{w(X) \cdot \rho(\text{Lsg})}{M(X)}$	$\sigma(X) = \frac{w(X) \cdot \rho(\text{Lsg})}{\rho(X)}$

* verwendete Kürzel: Lsg Lösung, Lm Lösungsmittel,
jeweilige Neben-Berechnung ^A bis ^E zu $M(\text{Lsg})$ wie folgt:

^A $M(\text{Lsg}) = \chi(X) \cdot M(X) + \chi(\text{Lm}) \cdot M(\text{Lm})$

^B $M(\text{Lsg}) = \frac{m(X) + m(\text{Lm})}{n(X) + n(\text{Lm})}$

^C $M(\text{Lsg}) = \frac{m(X) + m(\text{Lm})}{m(X) / M(X) + m(\text{Lm}) / M(\text{Lm})}$

^D $1/M(\text{Lsg}) = w(X) / M(X) + w(\text{Lm}) / M(\text{Lm})$

^E $M(\text{Lsg}) = \frac{V(X) \cdot \rho(X) + V(\text{Lm}) \cdot \rho(\text{Lm})}{V(X) \cdot \rho(X) / M(X) + [V(\text{Lm}) \cdot \rho(\text{Lm})] / M(\text{Lm})}$

Formeln zur Umrechnung von Löslichkeitsangaben L in Massenanteile w und umgekehrt

Rechenweg	Rechenformel	Anmerkung
Von L nach w	$w(X) = L(X) / [L(X) + 1]$	Für Umrechnungen ebenfalls wichtige Gleichungen:
Von w nach L	$L(X) = \frac{w(X)}{1 - w(X)}$	$\rho = m/V$ $m = \rho \cdot V = n \cdot M$ $n = m/M$ $w = (\rho \cdot M) / w(\text{Lsg})$

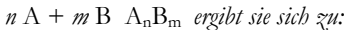
6.2 Kinetik

Kinetik ist die Lehre der Bewegungsvorgänge und Mechanismen chemischer Reaktionen.

Die **Reaktionsgeschwindigkeit** v_{RG} bemisst sich in mol Stoffumsatz n pro Zeiteinheit t (also $v_{RG} = n/t$ in mol/s). In Lösungen wird sie definiert als Konzentrationsänderung Δc eines Stoffes pro Zeitintervall Δt : $v_{RG} = \Delta c / \Delta t$.

Die Geschwindigkeitskonstante einer Reaktion ergibt sich als Proportionalitätsfaktor k aus dem Zeitgesetz einer Reaktion.

Beispiel: Bei einer Reaktion nach der Gleichung



$$v_{RG} = k \cdot c(A)^n \cdot c(B)^m$$

Die **Reaktionsordnung** gibt an, in welcher Potenz die Reaktionsgeschwindigkeit von der Konzentration eines Reaktionspartners oder dem Produkt der Konzentrationen mehrerer Stoffe abhängt.

Die **Reaktionsgeschwindigkeit** $v = \Delta c(\text{Produkte}) / \Delta t$ für die Hin- und Rückreaktion in Gleichgewichten wird nach den Geschwindigkeits- / Zeitgesetzen in Abhängigkeit von der **Reaktionsordnung** berechnet.

Beispiel: Reaktionsgeschwindigkeit und -ordnung im Gleichgewicht
 $m A + n B \rightleftharpoons A_n B_m$ (Vgl. folgende Seite)

Reaktionsordnung		
Reaktionsordnung	Geschwindigkeitsgesetz	Grafik (Diagramm)
0. Ordnung	$v = k$	d/t ist eine Gerade (v ist unabhängig von c)
1. Ordnung	$v = k \cdot c(A)$	e-Funktion, $\ln c / k$ ist eine Gerade
2. Ordnung	$v = k \cdot c(A) \cdot c(B)$	Exponentialfunktion, c^{-1}/t ist eine Gerade
	$v = k \cdot c(A)^2$	

Reaktionsordnung, Geschwindigkeit und Gleichgewichtskonstante

Systemzustand	Geschwindigkeit	Gleichgewichtskonstante K_{MWG}
Hinreaktion (1) schneller	$v_1 < v_2 \Rightarrow v_1/v_2 < 1$	Systemzustand $< K_{\text{MWG}}$
Beide Reaktionen gleich-schnell (Gleichgewichtslage)*	$v_1 = v_2 \Rightarrow v_1/v_2 = 1$	Systemzustand $= K_{\text{MWG}}$ (im Gleichgewicht)
Rückreaktion (2) schneller	$v_1 > v_2 \Rightarrow v_1/v_2 > 1$	Systemzustand $> K_{\text{MWG}}$

* Der Quotient aus der **Reaktionsgeschwindigkeit** v_1 für die **Hinreaktion** (1) und der **Reaktionsgeschwindigkeit** v_2 für die **Rückreaktion** (2) ist im Gleichgewichtszustand gleich 1

6.3 Thermodynamik („Wärmelehre“)

Thermodynamik ist die Lehre der **energetischen Erscheinungen bei chemischen Reaktionen**.

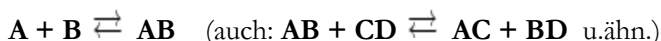
(Hierzu gehören Wärme, elektrische Arbeit und Volumenarbeit bei Stoffumwandlungen in offenen, geschlossenen und isolierten Systemen, d.h. mit und ohne Energie- bzw. Stoffaustausch mit der Umgebung).

Die **Aktivierungsenergie** ist die Energiemenge, die einem Stoffgemisch zugefügt werden muss, damit dessen Reaktion in Gang kommt.

Eine **exotherme Reaktion** setzt aus einem Reaktionsgemisch **Wärmeenergie** frei (Umwandlung chemischer Energie in Reaktionswärme):

Bei einer **endothermen Reaktion** wird Wärmeenergie vom Reaktionsgemisch aufgenommen (Umwandlung von Wärmeenergie in chemische Energie).

Eine **Gleichgewichtsreaktion** ist eine Stoffumwandlung, die gleichzeitig in zwei Richtungen verlaufen kann:



Im chem. Gleichgewicht läuft die Hin- und Rückreaktion im Gemisch gleichschnell, es gilt das **Massenwirkungsgesetz (MWG)**: Das Verhältnis aus dem Produkt der Konzentration der Reaktionsprodukte zum Produkt der Ausgangsstoffkonzentrationen bleibt gleich (ist konstant; Symbol der Konstante: K_{MWG}).

Gleichgewichtszustand und MWG:

- Für umkehrbare, chemische Reaktionen vom Typ
 $m A + n B \rightleftharpoons A_n B_m$ (ein Produkt) oder auch vom Typ
 $a A + b B \rightleftharpoons c C + d D$ bzw. $m A B + m C D \rightleftharpoons x A C + y B D$
 (jeweils zwei Produkte) gilt, dass das reagierende System einem **Gleichgewichtszustand** mit konstantem Produkte/Edukte-Mengenverhältnis zustrebt (**Massenwirkungsgesetz, MWG** von *Guldberg* und *Waage*)
- Bei Gasreaktionen kann die Gleichgewichtskonstante K_{MWG} auch als K_p mit Drücken statt als K_c mit Konzentrationen angegeben werden

Berechnung der Gleichgewichtskonstante

Gleichgewichtsreaktion	Gleichgewichtskonstante
$n A + m B \rightleftharpoons A_n B_m$	$K_{\text{MWG},c} = \frac{c(A_n B_m)}{c(A)^n \cdot c(B)^m}$
$a A + b B \rightleftharpoons c C + d D$	$K_{\text{MWG},c} = \frac{c(C)^c \cdot c(D)^d}{c(A)^a \cdot c(B)^b}$
$a A + b B \rightleftharpoons c C + d D$	$K_p = K_c \cdot (R \cdot T)^{\Delta n}$ mit $\Delta n = (c+d) - (a+b)$ als Stoffumsatz

In einem **Lösungsgleichgewicht** herrscht zwischen dem Bodensatz ungelösten Feststoffes MA und der gesättigten Lösung mit der Sättigungskonzentration der Ionen M^+ und A^- ein Gleichgewichtszustand. Das **Löslichkeitsprodukt** K_L eines Salzes MA im Hinblick auf den Lösevorgang $MA_{(s)} \rightleftharpoons M^+_{(aq)} + A^-_{(aq)}$ beträgt dann:

$$K_L(MA) = c(M^+_{(aq)}) \cdot c(A^-_{(aq)})$$

In einem **Säure-Base-Gleichgewicht**

$\text{HA} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{A}^- + \text{H}_3\text{O}^+$ berechnet sich der **pK_s-Wert** als Maß für die Säurestärke nach dem Massenwirkungsgesetz (bei $c(\text{H}_2\text{O}) = \text{konst.}$) nach folgenden Gleichungen:

$$K_s = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+) \cdot c(\text{A}^-)}{c(\text{HA})} \quad (\text{Säurekonstante } K_s)$$

und: $\text{p}K_s = -\lg K_s$.

Katalyse ist ein Vorgang, bei dem ein Stoff (**Katalysator**) eine chemische Reaktion ermöglicht oder beschleunigt, ohne selbst bei dieser Stoffumwandlung/Reaktion verbraucht zu werden (z.B. durch Erniedrigung der erforderlichen Aktivierungsenergie oder Verschiebung des chemischen Gleichgewichtes).

Die **innere Energie U** eines stofflichen Systems besteht aus der thermischen Energie (ungerichtete Bewegung der Moleküle), der chemischen Bindungsenergie zwischen den Atomen (und den Wechselwirkungen mit elektrischen und magnetischen Dipolen) sowie der Potenziellen Energie der Atomkerne. Sie nimmt mit der Temperatur zu.

Die **Volumenarbeit pΔV** ist die Arbeit W , die vom System gegen den Außendruck p verrichtet wird, um ein zusätzliches Volumen V einnehmen zu können.

Die **Enthalpie H** ist die Wärmeenergiemenge, die von einer bestimmten Stoffmenge eines Reaktionsgemisches bei gleichbleibendem Druck freigesetzt wird.

Hinweise: Die molare Reaktionsenthalpie $\Delta_R H_m$ ist der Quotient aus der Enthalpie(änderung) $\Delta_R H$ eines bei konstantem Druck reagierenden Systems und der Stoff-/Objektmenge der Formelumsätze. Eine negative molare Reaktionsenthalpie kennzeichnet exotherme Reaktionen: Die Innere Energie U des Systems nimmt ab. Eine positive molare Reaktionsenthalpie kennzeichnet endotherme Reaktionen.

Erster Hauptsatz der Thermodynamik (Energieerhaltungssatz): In einem abgeschlossenen System bleibt die Energie konstant, bei umkehrbaren (reversiblen) ebenso wie bei irreversiblen Prozessen.

Die **Entropie** ist das Maß an Wahrscheinlichkeit, in dem sich ein Reaktionsgemisch befindet, wobei der angestrebte Zustand niedrigster Ordnung (größter Unordnung) der Wahrscheinlichste ist (z.B. größtmögliche Teilchenzahl).

Hinweise: Zur Nutzung von Wärme durch eine Dampfmaschine, ein Kraftwerk oder auch andere Systeme ist nach Nicolas L. Sadi Carnot eine möglichst große Temperaturdifferenz nötig. Das heißt, dass es eine konstante Größe $\Delta Q / T$ gibt.

Diese Größe $\Delta S = \Delta Q / T$ wird **Entropie** genannt. Sie wird in Joule pro Kelvin gemessen, bzw. in Carnot: $1 \text{ Ct} = 1 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$. Entropie kann als Ordnungszustand eines Systems aufgefasst werden: Die Entropie eines Systems nimmt mit steigender Unordnung zu. Sie hängt zudem mit der statistischen Wahrscheinlichkeit W des Zustandes eines Systems zusammen:

$$S = k \cdot \ln W.$$

Die Entropieänderung ΔS chemischer Reaktionen kann aus tabellierten, molaren Standard-Entropien berechnet werden:

$$\Delta_R S_m^0 = \sum S_m^0 (\text{Produkte}) - \sum S_m^0 (\text{Edukte}).$$

Bei positiven ΔS -Werten nimmt die Entropie (die wahrscheinlichere Unordnung) des Systems zu.

Anders ausgedrückt lautet der Erste Hauptsatz (Merksatz 131) aus diesen Gründen oft auch:

Energie bleibt stets erhalten, egal wie viel Entropie bei einem Vorgang erzeugt wird (sie kann nicht geschaffen oder vernichtet werden).

Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik (Entropiesatz):

Entropie kann zwar erzeugt, aber niemals vernichtet werden.

Hinweise: In einem abgeschlossenen System bleiben bei reversiblen Prozessen **Exergie** – das Energiepotenzial, das in nutzbare Arbeit verwandelt werden kann – und **Anergie** jeweils konstant. Bei irreversiblen Prozessen hingegen wird die Exergie in Anergie umgewandelt; Anergie kann prinzipiell nicht in Exergie umgewandelt werden).

Anders ausgedrückt lautet der Zweite Hauptsatz daher auch:

Entropieerzeugung macht einen Vorgang **irreversibel**, oder:

die Gesamtentropie eines Systems und seiner Umgebung kann definitionsgemäß nicht verschwinden, sondern nur gleich bleiben oder zunehmen.

Dritter Hauptsatz: Die Entropie eines Idealkristalls am absoluten Nullpunkt $T = 0 \text{ K}$ ist gleich Null:

$$S_{0\text{K}} = 0.$$

Die **Gibbs-Energie** (Freie Enthalpie) G ergibt sich rechnerisch als Differenz aus der Enthalpie und dem Produkt von deren Temperatur und Entropie:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S.$$

Hinweis: Es können stets nur „exergonische“ Reaktionen ablaufen, d.h. solche, bei denen die freie Enthalpie abnimmt.

Lösungsgleichgewichte stellen sich in Lösungen mit einem Bodensatz weiteren, aber ungelösten Stoffes ein (gesättigte Lösungen).

Formulierung von Dissoziationskonstanten für Lösungsgleichgewichte	
Begriff	Definition, Erläuterung
Gleichgewichtskonstante eines Lösungsgleichgewichts	• Ergebnis der Anwendung des MWG auf Lösungsgleichgewichte (Dissoziation von Elektrolyten, $A_nB_m \rightleftharpoons n A^{m+} + m B^{n-}$), • ist stoff- und lösungsmittelspezifisch sowie temperaturabhängig
Dissoziationskonstante K_D	Im Lösungsgleichgewicht gilt: $K_D = \frac{c(A^{m+})^n \cdot c(B^{n-})^m}{c(A_nB_m)}$

Beeinflussung von Lösungsgleichgewichten

- Lösungsgleichgewichte können über Temperaturänderungen beeinflusst werden,
- Löslichkeit und Kristallgröße können somit variiert werden

Löslichkeitsprodukt und Massenwirkungsgesetz

Berechnung der **Löslichkeitsprodukte K_L** und der **pK_L -Werte** schwerlöslicher Verbindungen aus der Massenwirkungsgesetz-

Konstante (K_{MWG}) für ein Elektrolytgleichgewicht $AB \rightleftharpoons A^+ + B^-$:

$$\frac{c(A^+) \cdot c(B^-)}{c(AB)} = K_{MWG} = K_L(AB) \quad \Rightarrow c(A^+) \cdot c(B^-) = c(AB) \cdot K_{MWG}$$

$pK_L = -\log K_L$

[in mol²/L²]

Für die Dissoziation von Elektrolyten vom Typ A_nB_m kann neben der **Dissoziationskonstante** ebenfalls das **Löslichkeitsprodukt K_L** formuliert werden, indem man die Konzentration undissoziierten Stoffes in gesättigten Lösungen gleich 1 setzt:

- Der **K_L -Wert** entspricht dem **Ionenprodukt** des Elektrolyten in gesättigter Lösung,
- der **pK_L -Wert** dem negativen, dekadischen Logarithmus des Löslichkeitsproduktes:



$$\text{Dissoziationskonstante } K_D = \frac{\alpha(A^{m+})^n \cdot \alpha(B^{n-})^m}{\alpha(A_n B_m)}$$

$$\text{mit } \alpha(A_n B_m) = 1$$

$$\Rightarrow \text{Löslichkeitsprodukt } K_L(A_n B_m) = \alpha(A^{m+})^n \cdot \alpha(B^{n-})^m \\ = K_D \cdot \alpha(A_n B_m) = K_D \cdot 1$$

$$pK_L = -\log K_L = -\log [\alpha(A^{m+})^n \cdot \alpha(B^{n-})^m] \quad \text{bzw.} \quad K_L = 10^{-pK_L}$$

K_L - und pK_L -Werte von Salzen bei Raumtemperatur (um 20 bis 25°C)

Substanz	K_L	pK_L	Substanz	K_L	pK_L
Ag_3AsO_3	$4,5 \cdot 10^{-19}$	18,4	$BaCrO_4$	$1,2 \cdot 10^{-10}$	9,9
Ag_3AsO_4	$1 \cdot 10^{-22}$	22	BaF_2	$1,8 \cdot 10^{-7}$	6,7
$AgBr$	$5,4 \cdot 10^{-13}$	12,3	$Ba(IO_3)_2$	$4,0 \cdot 10^{-9}$	8,4
$AgBrO_3$	$5,8 \cdot 10^{-5}$	4,2	$BaMnO_4$	$2,5 \cdot 10^{-10}$	9,6
$Ag(CH_3COO)$	$2 \cdot 10^{-3}$	2,7	$BaSO_4$	$1 \cdot 10^{-10}$	10,0
$AgCN$	$6 \cdot 10^{-17}$	16,2	$BaSO_4$	$1,98 \cdot 10^{-10}$	9,7
$AgCNO$	$2,3 \cdot 10^{-7}$	6,6	$Be(OH)_2$	$5 \cdot 10^{-21}$	20,3
Ag_2CO_3	$8,5 \cdot 10^{-12}$	11,1	$BiAsO_4$	$4,4 \cdot 10^{-10}$	9,4
$AgCl$	$1,8 \cdot 10^{-10}$	9,7	$Bi(OH)_3$	$4,3 \cdot 10^{-31}$	30,4
Ag_2CrO_4	$4 \cdot 10^{-12}$	11,4	$BiOCl$	$1,6 \cdot 10^{-31}$	30,8
$Ag_2Cr_2O_7$	$2,0 \cdot 10^{-7}$	6,7	Bi_2S_3	$1,8 \cdot 10^{-99}$	98,7
AgI	$1,5 \cdot 10^{-16}$	15,8	$CaCO_3$	$4,8 \cdot 10^{-9}$	8,3
$AgIO_3$	$3,2 \cdot 10^{-8}$	7,5	$CaC_2O_4 \cdot H_2O$	$2,3 \cdot 10^{-9}$	8,6
Ag_2MoO_4	$3,1 \cdot 10^{-11}$	10,5	Ca-Tartrat	$7,7 \cdot 10^{-7}$	6,1
$AgOH$	$5,6 \cdot 10^{-9}$	8,3	$CaCrO_4$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	1,6
Ag_3PO_4	$1,6 \cdot 10^{-18}$	17,8	$CaHPO_4$	$\approx 5 \cdot 10^{-6}$	5,7
Ag_2S, α	$6,7 \cdot 10^{-50}$	49,2	CaF_2	$3,4 \cdot 10^{-11}$	10,5
Ag_2S, β	$1,1 \cdot 10^{-49}$	49,0	$Ca(IO_3)_2 \cdot 6H_2O$	$7,4 \cdot 10^{-7}$	6,1
Ag_2SO_3	$1,5 \cdot 10^{-14}$	13,8	$Ca(IO_3)_2 \cdot 6H_2O$	$3,9 \cdot 10^{-6}$	5,4
$AgSCN$	$1,0 \cdot 10^{-12}$	12,0	$Ca(OH)_2$	$6 \cdot 10^{-5}$	4,2
Ag_2SO_4	$7,7 \cdot 10^{-5}$	4,1	$Ca_3(PO_4)_2$	$1 \cdot 10^{-25}$	25
Ag_3VO_4	$5 \cdot 10^{-7}$	6,3	$CaSO_4 \cdot 2 H_2O$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	3,7
$AgWO_4$	$5,2 \cdot 10^{-10}$	9,3	$Cd_3(AsO_4)_2$	$2,2 \cdot 10^{-33}$	32,7
$Al(OH)_3$	$6 \cdot 10^{-33}$	32,2	$CdCO_3$	$6,2 \cdot 10^{-12}$	11,2
$Al(OH)_3$	$1,2 \cdot 10^{-32}$	32,0	$CdC_2O_4 \cdot 3H_2O$	$1,3 \cdot 10^{-8}$	7,8
$AlPO_4$	$9,8 \cdot 10^{-21}$	20,0	CdF_2	$6,4 \cdot 10^{-3}$	2,2
As_2S_3	$4 \cdot 10^{-29}$	28,4	$Cd(OH)_2$	$5,3 \cdot 10^{-15}$	14,3
$Ba(BrO_3)_2$	$5,49 \cdot 10^{-6}$	5,3	$Cd_3(PO_4)_2$	$2,5 \cdot 10^{-33}$	32,6
$BaCO_3$	$8,1 \cdot 10^9$	8,1	CdS	$\approx 6 \cdot 10^{-29}$	28,2
BaC_2O_4	$1,6 \cdot 10^{-7}$	16,8	$Co(OH)_2$ rosa	$1,1 \cdot 10^{-15}$	15,0

Substanz	K _L	pK _L	Substanz	K _L	pK _L
CoCO ₃	1 • 10 ⁻¹²	12	Hg ₂ S	1 • 10 ⁻⁴⁵	45,0
Co(C ₂ O ₄) ₂	2,87 • 10 ⁻⁸	7,5	KClO ₄	1,5 • 10 ⁻²	1,8
Co(OH) ₂ blau	5,9 • 10 ⁻⁵	4,2	KH-Tartrat	3,8 • 10 ⁻⁴	3,4
Co ₃ (PO ₄) ₂	2 • 10 ⁻³⁵	34,7	K ₂ [PtCl ₂]	7,5 • 10 ⁻⁶	5,1
CoS	8 • 10 ⁻²³	22,1	La ₂ (C ₂ O ₄) ₂	2 • 10 ⁻²⁸	27,7
Cr(OH) ₂	2 • 10 ⁻²⁰	19,7	La(OH) ₃	1 • 10 ⁻³	3,0
Cr(OH) ₃	1 • 10 ⁻³⁰	30,0	Li ₂ CO ₃	8,5 • 10 ⁻⁴	3,16
CuBr	6,3 • 10 ⁻⁹	8,2	MgCO ₃	6,8 • 10 ⁻⁶	5,2
CuCO ₃	1,4 • 10 ⁻¹⁰	9,9	MgCO ₃ •3H ₂ O	2,5 • 10 ⁻⁶	5,6
CuC ₂ O ₄	4,4 • 10 ⁻¹⁰	9,4	MgCO ₃ •5H ₂ O	3,8 • 10 ⁻⁶	5,4
CuCl	1,7 • 10 ⁻⁷	6,8	MgC ₂ O ₄ •2H ₂ O	4,8 • 10 ⁻⁶	5,3
CuI	5 • 10 ⁻¹²	11,3	MgF ₂	7,4 • 10 ⁻¹¹	10,1
Cu(IO ₃) ₂	1,4 • 10 ⁻⁷	6,9	MgNH ₄ PO ₄	2,5 • 10 ⁻¹³	12,6
Cu(OH) ₂	5,6 • 10 ⁻²⁰	19,3	Mg(OH)₂	5,6 • 10⁻¹²	11,3
Cu ₃ (PO ₄) ₂	21,4 • 10 ⁻³⁷	36,9	Mg ₃ (PO ₄) ₂	9,7 • 10 ⁻²⁵	24,0
CuS	1,3 • 10⁻³⁶	35,9	MnCO ₃	2,2 • 10 ⁻¹¹	10,7
Cu₂S	2 • 10⁻⁴⁷	46,8	MnC ₂ O ₄ •2H ₂ O	1,7 • 10 ⁻⁷	6,8
CuSCN	1,8 • 10 ⁻¹³	12,7	Mn(OH) ₂	2,1 • 10 ⁻¹³	12,7
FeCO ₃	2,5 • 10 ⁻¹¹	10,6	MnS	4,7 • 10 ⁻¹⁴	13,3
FeCO ₃	2,8 • 10 ⁻¹¹	10,5	NaHCO₃	1,3 • 10⁻³	2,9
FeC ₂ O ₄	2,1 • 10 ⁻⁷	6,7	NiCO ₃	1,4 • 10 ⁻⁷	6,9
Fe(OH)₂	4,9 • 10⁻¹⁷	16,3	Ni(OH) ₂	5,5 • 10 ⁻¹⁶	15,3
Fe(OH)₃	3,8 • 10⁻³⁸	37,4	Ni ₃ (PO ₄) ₂	4,7 • 10 ⁻³²	31,3
FeOOH, α	1 • 10 ⁻⁴²	42	PbBr ₂	5,0 • 10 ⁻⁵	4,3
FeOOH, β	1 • 10 ⁻⁴⁰	40,0	PbCO ₃	1,5 • 10 ⁻¹³	12,8
Fe₂O₃, α	1 • 10⁻⁴²	42	PbC ₂ O ₄	8,5 • 10 ⁻¹⁰	9,1
FePO ₄ •2 H ₂ O	9,9 • 10 ⁻²⁹	18,0	PbCl ₂	1,2 • 10 ⁻⁵	4,9
FeS	5 • 10⁻¹⁸	17,3	PbCrO ₄	1,8 • 10 ⁻¹⁴	13,7
FeF ₂	2,4 • 10 ⁻⁶	5,6	PbF ₂	2,7 • 10 ⁻⁸	7,4
Ga(OH) ₃	2 • 10 ⁻³⁹	38,7	PbF ₂	7,1 • 10 ⁻⁷	6,1
Hg ₂ Br ₂	6,4 • 10 ⁻²³	22,2	PbI ₂	8,5 • 10 ⁻⁹	8,1
Hg ₂ CO ₃	3,4 • 10 ⁻¹⁷	16,5	Pb(IO ₃) ₂	1,2 • 10 ⁻¹³	12,9
Hg ₂ C ₂ O ₄	1,7 • 10 ⁻¹³	12,8	Pb(IO ₃) ₂	3,7 • 10 ⁻¹³	12,4
Hg ₂ (CN) ₂	5 • 10 ⁻⁴⁰	39,3	Pb(OH) ₂	1,4 • 10 ⁻²⁰	19,9
Hg ₂ Cl ₂	1,6 • 10 ⁻¹⁸	17,8	PbS	9,3 • 10⁻²⁷	28,0
Hg ₂ CrO ₄	2 • 10 ⁻⁹	8,7	PbSO₄	1,5 • 10⁻⁷	7,8
Hgl ₂	2,8 • 10 ⁻²⁹	28,6	RbClO ₄	4 • 10 ⁻³	2,4
HgO	^1,7 • 10 ⁻²⁶	25,8	Sb(OH) ₃	4 • 10 ⁻⁴²	41,4
Hg ₂ O	1,6 • 10 ⁻²³	22,8	Sb ₂ S ₃	1,7 • 10 ⁻⁹³	92,77
Hg(OH) ₂	1 • 10 ⁻²⁶	26,0	Sn(OH) ₂	5 • 10 ⁻²⁶	25,3
Hg ₂ (OH) ₂	7,8 • 10 ⁻²⁴	23,1	Sn(OH) ₄	1 • 10 ⁻⁵⁶	56,0
HgS, rot	2,0 • 10⁻⁵³	52,7	SnS	3,5 • 10 ⁻²⁸	27,5
HgS, schwarz	6,4 • 10⁻⁵³	52,2	SrCO ₃	5,6 • 10 ⁻¹⁰	9,3

Substanz	K _L	pK _L	Substanz	K _L	pK _L
SrC ₂ O ₄	5,6 • 10 ⁻⁸	7,3	TlI	3,6 • 10 ⁻⁸	7,5
SrCrO ₄	3,6 • 10 ⁻⁵	4,4	Tl(OH) ₃	1 • 10 ⁻⁴⁴	44,0
SrF ₂	3,5 • 10 ⁻⁹	8,5	Tl ₂ S	9 • 10 ⁻²²	22,0
Sr(IO ₃) ₂	1,1 • 10 ⁻⁷	7,0	ZnCO ₃	1,2 • 10 ⁻¹⁰	9,9
SrSO₄	3,4 • 10⁻⁷	6,5	ZnCO ₃ •H ₂ O	5,4 • 10 ⁻¹¹	10,3
Te(OH) ₄	7 • 10 ⁻⁵³	52,1	ZnC ₂ O ₄ •2 H ₂ O	1,4 • 10 ⁻⁹	8,9
Th(OH) ₄	1 • 10 ⁻⁵⁰	50,0	ZnF ₂	1,5 • 10 ⁻²	1,8
Ti(OH) ₃	1 • 10 ⁻⁴	4,0	Zn(OH)₂, β	7,7 • 10⁻¹⁷	16,1
TlBr	2,7 • 10 ⁻⁶	5,6	Zn(OH)₂, γ	6,8 • 10⁻¹⁷	16,2
TlBrO ₃	8,5 • 10 ⁻⁵	4,3	ZnS, α	6,9 • 10⁻²⁶	25,2
TlCl	1,8 • 10 ⁻⁴	3,7	ZnS, β	1,1 • 10⁻²⁴	24,0

6.4 Analytik

Die Untersuchung einer unbekannten Stoffprobe (Analyse) kann mit mehreren Fragerstellungen verlaufen:

- Welche Stoffe sind in der Probe (dem „Analyt“) enthalten?
(Qualitative Analyse)?
- Wieviel von den einzelnen Stoffen ist enthalten
(Quantitative Analyse)?
- Welche Strukturen weisen die enthaltenen Teilchen auf
(Strukturanalyse)?

Nachweisreaktionen sind chemische Reaktionen, bei denen ein **Nachweismittel** spezifisch mit einem gesuchten **Analyten** so reagiert, dass das Reaktionsprodukt möglichst leicht erkennbar oder nachweisbar ist. Für den qualitativen Nachweis von Anionen und Kationen existieren selektive und spezifische Nachweisreaktionen, deren Produkte leicht identifizierbar sind (Farbe, Geruch, Löslichkeit).

Spezifische Reaktionen (Nachweisreaktionen) sind Reaktionen, bei denen das Nachweisreagenz mit nur einem Ion bzw. Analyten reagiert. Reagiert es mit einer Gruppe von Analyten, so wird die Reaktion **selektiv** genannt.

Störende Ionen, die mit dem Nachweismittel ähnlich reagieren oder es vernichten, müssen zuvor beseitigt werden. Zur qualitativen Durchführung der Anionennachweise ist daher zuvor ein **Sodauszug** anzufertigen.

Vorproben sind Reaktionen, bei denen Hinweise auf vorhandene Ionen direkt aus der Ursubstanz gewonnen werden können. Aufschlüsse sind Verfahren zur Überführung unlöslicher Proben in lösliche Formen. Als „Maskieren“ bezeichnet man die Überführung eines störenden Ions in eine farblose, reaktionsunfähige Form.

Die Kationen unterteilt man in die fünf folgenden **Trenngangsgruppen**: HCl-Gruppe, H₂S-Gruppe, (NH₄)₂S-Gruppe (und ggf. Urotropin), (NH₄)₂CO₃-Gruppe und die Lösliche Gruppe.

Die **Volumetrie** – auch **Titration** oder Maßanalyse genannt – ist ein Analyseverfahren, bei dem eine Reaktion zwischen einer genau abgemessenen **Maßlösung ML** und einer Probelösung bekannten Volumens bis hin zu einem genau definierten Umschlags- oder **Äquivalenzpunkt ÄP** abläuft (somit auch „Maßanalyse“ genannt), um die Konzentration $c(X) = n(X) / V(X)$ und damit gesuchte Masse $m(X) = n(X) \cdot M(X)$ des Analyten X bestimmen zu können.

Hinweise: Aus dem Volumen der verbrauchten **Maßlösung**

$V_{ML} = c_{ML} / n_{ML}$ kann man dann die **Konzentration**

$c(X) = n(X) / V(X)$ der Probelösung bekannten Volumens $V(X)$ über die Gleichung $c(X) = [c(ML) \cdot V(ML)] / V(X)$ berechnen.

Die **unbekannte Äquivalentkonzentration der Probelösung X** berechnet man aus dem **Verbrauch an Maßlösung ML** über:

$$c_{(eq)}(X) = \frac{c_{(eq)}(ML) \cdot V_{(eq)}(ML)}{V_{(eq)}(X)}$$

und:

$$c(X) = \frac{n(X)}{V(ML)} = \frac{m(X)}{V(ML) \cdot M(X)}$$

Der **Titer** t ist ein Korrektur- und Proportionalitätsfaktor: Eine **Maßlösung mit einer angestrebten Äquivalentkonzentration** $c^-(\text{eq})(X)$ muss immer mit t multipliziert werden, um die tatsächliche, genaue **Äquivalentkonzentration** $c(\text{eq})(X)$ zu erhalten:

$$c(\text{eq})(X) = t(\text{eq})(X) \bullet c^-(\text{eq})(X)$$

***Hinweis:** Der **Urtiter** ist eine genauestens angesetzte Lösung, mit der man eine als Maßlösung vorgesehene Probelösung titriert, um zu kontrollieren, ob und wie weit die angestrebte Konzentration der Maßlösung tatsächlich erreicht wurde. Eine Maßlösung mit einer genau eingestellten Äquivalentkonzentration hat den Titer $t=1$. Ist der Titer $t<1$, so ist die tatsächliche Äquivalentkonzentration $c(\text{eq})(X)$ kleiner, ist $t>1$, so ist sie größer als die angestrebte Äquivalentkonzentration $c^-(\text{eq})(X)$.*

Bei der **Titerbestimmung** gilt auf Grund der Äquivalentstoffmengen-Gleichheit von Urtiter- und Probelösung:

$$V_1 \bullet c_1 \bullet t_1 = V_2 \bullet c_2 \bullet t_2$$

Eine Titration mit Anzeige des Äquivalenzpunktes über ein Leitfähigkeitsmessgerät und ein Leitfähigkeitsdiagramm wird **Konduktometrie** genannt (**Leitfähigkeitstitration**). Die Stoffmengenkonzentration $c(\text{Analyt})$ wird über die Änderungen der spezifischen **Leitfähigkeit** κ der Probelösung erfasst.

Eine **Potenziometrie** ist ein elektrochemisches Analyseverfahren, bei dem man die Stoffmengenkonzentration $c(\text{Analyt})$ über Änderungen der Spannung U zwischen den Elektroden erfasst.

Eine **potenziometrische Neutralisationstitration** ist ein Verfahren, bei dem die Indikation instrumentell vorgenommen wird: Eine pH-Messsonde zeichnet den Messwert in Abhängigkeit von $V(\text{ML})$ auf. Der ÄP wird in einem pH/ $V(\text{ML})$ -Diagramm erkennbar. Diese pH/ $V(\text{ML})$ -Diagramme werden **Titrationsskurven** genannt.

Bei einer **Elektrogravimetrie** wird eine **Elektrolyse** der Probe durchgeführt, um deren Konzentration über das abwiegen der abgeschiedenen Elektrolytmenge n zu erfassen (Vgl. Merksätze Nr. 152-158)

Bei einer **Coulometrie** wird sie ohne Auswiegen der Abscheidung nur über die transportierte Ladungsmenge Q in Coulomb erfasst: $96,5 \cdot 10^3$ Coulomb entsprechen einem Mol einwertiger Ionen (*Faraday'sche* Konstante $F = 96.500 \text{ C/mol}$, s.o.).

Die Elektronen in der Atomhülle und die Protonen in den Atomkernen sind Ursache für **Emission und Absorption von EM-Strahlung**. **Spektroskopische Analysemethoden** nutzen diese Strahlung-Materie-Wechselwirkung, um bestimmte Elemente oder Molekülstrukturen nachzuweisen.

Die Schwingungsdauer oder **Periode** $T = 1 / \nu$ elektromagnetischer Strahlung (Welle) reicht von einem „Wellenberg“ bzw. „Wellental“ bis hin zum Nächsten. EM-Strahlung hat dementsprechend eine **Wellenlänge von** $\lambda = c / \nu$.

Der Kehrwert der Wellenlänge λ wird als **Wellenzahl** („Anzahl der Wellen pro Meter“, Symbol: $\tilde{\nu}$ oder σ) bezeichnet.

Die **Energie eines Photons** („EM-Strahlungsteilchens“) beträgt $E = h \cdot \nu$.

Photonen (Lichtteilchen) werden beim Eintritt in transparente Materie von den Materieteilchen (Atome, Ionen, Moleküle) verschluckt und wieder ausgesendet (**Absorption und Emission** der Strahlungsenergie, s.o.). Der Faktor, um den sich die Lichtgeschwindigkeit c in einem Medium im Verhältnis zur Lichtgeschwindigkeit c_0 im Vakuum verlangsamt, wird als **Brechungsindex** n bezeichnet: $n = c_0 / c(\text{Medium})$.

Jeder Stoff erzeugt in Wechselwirkung mit EM-Strahlung (Absorption und Emission) ein charakteristisches **Spektrum**, an dem er eindeutig identifizierbar ist.

Die Messung der Brechzahl n_{D}^{20} mit Hilfe eines **Refraktometers** ist eine instrumentelle Analysemethode zur Identifikation einer für das Licht durchlässigen Substanz anhand des Winkels, in dem das durch die Referenzsubstanz Luft eintreffende, monochromatische Licht mit $\lambda = 589,3 \text{ nm}$ gebrochen wird. Diese Methode wird Brechanalyse oder **Refraktometrie** genannt – über die **Brechzahl** (n_{D}^{20} -Wert) wird der Analyt identifiziert.

Die **Photometrie** nutzt die Lichtdurchlässigkeit (Transmission) einer Probelösung, um deren Konzentration zu bestimmen. Die **Transmission** ist die Differenz der austretenden Lichtintensität zur eingestrahnten Anfangsintensität des Lichts:

$$\tau = \Phi_1 / \Phi_0$$

Die **Absorption** ist $\alpha = 1 - \tau$

Der Logarithmus des Kehrwertes der Transmission wird als **Extinktion** E bezeichnet:

$$E = -\log \tau = \log 1/\tau = \log \Phi_0 / \Phi_1$$

Sie ist proportional zur Stoffmengenkonzentration (**Lambert-Beer'sches Gesetz**):

$$E = \varepsilon_{\lambda} \cdot d \cdot c \quad (\text{Lambert-Beer'sches Gesetz,}$$

d = Küvettenlänge, ε_{λ} = molarer Extinktionskoeffizient).

In einem **IR-Spektrum** wird die Durchlässigkeit (Transmission $\tau = \Phi / \Phi_0$ in %) gegen die **Wellenzahl** $\sigma = 1 / \lambda$ (in cm^{-1}) aufgetragen. Die Absorptionsmaxima im IR-Spektrum – auch **Banden** genannt – weisen dann auf bestimmte funktionelle Gruppen im Molekül hin.

Instrumentelle Analyseverfahren (Labortechnische Verfahren) sind Analyseverfahren, die mit Hilfe technischer Geräte und Apparaturen durchgeführt werden (maschinell statt nur manuell).

Hinweise: Zu den instrumentellen Analyseverfahren gehören:

Optische Messverfahren (Refraktometrie, Polarimetrie, Photometrie),
Chromatographische Verfahren (Stofftrennverfahren zu Analyse Zwecken: Papierchromatographie, Dünnschicht- und Säulen-Chromatographie (DC und SC), Gas-Chromatographie (GC), Flüssigkeitschromatographie und Hochdruck-Flüssigkeits-Chromatographie (HPLC), (Gel-)Elektrophorese (EP) und Ionenchromatographie (IC) sowie **Spektroskopische und weitere strukturanalytische Verfahren** (UV/VIS- und IR-Spektroskopie, Kernresonanz-Spektroskopie (NMR), Massenspektrometrie (MS), Diffraktometrie, Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) u. ähnl.).

Die **Chromatographie** ist ein Stofftrennverfahren, das zu analytischen Zwecken eingesetzt werden kann.

Hinweis: Bei einer **Verteilungschromatographie** findet die Auftrennung der Komponenten in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Verteilungsgeschwindigkeiten zwischen mobiler und stationärer Phase statt. Wichtige chromatographische Methoden sind die SC, die GC, die HPLC und die DC oder TLC.

Die **Atomabsorptionsspektroskopie (AAS)** ist ein Analyseverfahren, das auf der Absorption beruht: Die Analytkonzentration wird bei der AAS mit Hilfe des **Lambert-Beer'schen Gesetzes** bestimmt.

Hinweis: Als **Referenz** dient die charakteristische Konzentration $\beta(\text{char.})$ bzw. Masse $m(\text{char.})$, d. h. die Konzentration bzw. Masse, bei der im Gerät bei der entsprechenden Absorptions-Linie des Analyten (in nm) einen Absorptionsgrad von 1% bzw. eine Extinktion E von 0,0044 bewirkt wird.

Die Auswertung des Messergebnisses erfolgt über eine **Kalibrierkurve**, in der die Extinktion E gegen die Massenkonzentration β der Kalibrierlösungen graphisch aufgetragen wird. Unter gleichen Bedingungen wird dann die Probe analysiert und auch dieser Messwert aufgetragen. Die Auswertung per Tabellenkalkulationsprogramm liefert über die lineare Regression den Ordinatenabschnitt b und die Steigung m der Kalibriergeraden sowie die Geradengleichung $E = m \bullet \beta + b$. $\beta(\text{Probe})$ ist dann: $\beta = (E - b) / m$.

In der **Kernresonanz-Spektroskopie (NMR)** wird die zur Kernspinumkehr erforderliche Resonanzfrequenz einer Analytsubstanz mit magnetischen Atomkernen gemessen, in der ^1H -NMR-Spektroskopie: das Signal $\nu(^1\text{H}_x)$.

Als **Relaxation** bezeichnet man die zeitverzögerte Energieabstrahlung einer durch Radiowellen zur Kernspinumkehr angeregten Probe in der NMR-Spektroskopie.

Ein **Massenspektrometer (MS)** besteht prinzipiell aus vier Elementen: Probeneinlass, Ionenquelle, Massenanalysator und Detektor. Es dient der Massenspektrometrie, einem Analyseverfahren zur Bestimmung der Masse von Atomen und Molekülen.

Anhang

Teil 1: Formelzeichen und Rechenformeln für Messgrößen

1a) Formelzeichen für Basis- und abgeleitete Größen

Die **Formelzeichen** wichtiger Messgrößen werden in folgenden griechischen und lateinischen Buchstaben angegeben:

a) Griechische Formelzeichen für Physikalische Größen

Symbol	Größe(n)
α (Alpha)	Aktivität, Winkel, Längenausdehnungskoeffizient
β (Beta)	Massenkonzentration, Winkel
η (Eta)	Viskosität (dynamisch), Wirkungsgrad (<i>efficiency</i>), Ausbeute
ϑ (Theta)	Temperatur in Celsiusgraden
λ (Lambda)	Wellenlänge, Wärmeleitfähigkeit
ν (Ny)	Frequenz
ρ (Rho)	Dichte, spezifischer elektrischer Widerstand

b) Lateinische Formelzeichen für Physikalische Größen

Symbol	Größe(n)	Einheit
A	Fläche (auch: Aktivität)	m ²
E	Energie	J
F	Kraft (z.B. Auftriebskraft, Gewichtskraft)	N = kg·m·s ⁻¹
I	Stromstärke (von Engl.: <i>Intensity</i>)	A
L	Löslichkeit	g/100 g
M	Molare Masse	g/mol
N	Teilchenzahl (in Stück), N_A = <i>Avogadro</i> -Konstante	-
P	Leistung (elektr.) (von Engl.: <i>power</i>)	W = V·A = J/s
Q	Ladungs-/Elektrizitätsmenge (Engl.: <i>quantity</i>), Wärme(-energie,-menge,-inhalt)	C
R	Widerstand (von Engl.: <i>resistance</i>)	Ω =V/a
T	Temperatur (thermodynamisch)	K
U	Spannung (elektr.)(auch: innere Energie, Potential)	V
V	Volumen	m ³
W	Arbeit, Energie (Engl.: <i>work</i>)	J
a	Beschleunigung (von Engl.: <i>acceleration</i>)	m/s ²
c	Stoffmengenkonzentration	mol/L
l	Länge (auch: Strecke s, von Engl.: <i>length</i>)	m
m	Masse (von Engl.: <i>mass</i>)	kg
n	Stoffmenge (auch: Brechungsindex, Brechzahl)	mol

Symbol	Größe(n)	Einheit
p	Druck	Pa
r, s	Radius, Strecke (auch: Weglänge, Weg, Länge)	m
t	Zeit <i>t</i> (Engl.: <i>time</i>)	s
v	Geschwindigkeit (von Engl.: <i>velocity</i>)	m/s
w	Massenanteil (von Engl.: <i>weight</i>)	g/g

1b) Naturkonstanten, Formelzeiche und Werte

Im gesamten Universum sind bestimmte Werte wie z.B. die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum oder die Masse des Elementarteilchens Proton p^+ immer gleich. Solche Naturkonstanten sind universell gültige, konstante Zahlenwerte, zum Teil mit bestimmten Einheiten (wie z.B. m/s für die Lichtgeschwindigkeit).

Die Naturkonstanten werden mit folgenden Formelzeichen angegeben:

Naturkonstante	Formelzeichen (Symbol) und Größe
Absoluter thermodynamischer Nullpunkt	0 K = -273,17°C
Allgemeine Gaskonstante, molare Gas-K.	R = 8,31451 J / (mol • K)
Atomare Energieeinheit	1 eV = 1,60217733 • 10 ⁻¹⁹ J
Atomare Masseeinheit (<i>atomic mass unit</i>)	1 u = 1 amu = 1,6605402 • 10 ⁻²⁷ kg
Avogadro-Konstante, Loschmidt-Zahl	1 N _A = 6,0221367 • 10 ²³ mol ⁻¹
Elektronenmasse (Ruhemasse des e ⁻)	1 m _e = 9,1093897 • 10 ⁻³¹ kg ≈ 0,00054858 u
Elementarladung (Ladung des Elektrons)	1 e = 1,60217733 • 10 ⁻¹⁹ C
Faraday-Konstante	1 F = 96485,31 C/mol
Gravitationskonstante	G = 6,6720 • 10 ⁻¹¹ N • m ² / kg ²
kleinstmögliche Stoffmenge $n = 1 \text{ mol}/N_A$	1,66 • 10 ⁻²¹ mmol (= 1 Molekül, Atom, Ion)
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	c = v ₀ = 299792458 m/s
molares Volumen idealer Gase	V _m ^o = 22,41410 L/mol
Neutronenmasse (Ruhemasse des ¹ ₀ n)	m _n = 1,674928 • 10 ⁻²⁷ kg = 1,008664904 u
Norm(al)druck (Berechnungen mit Gasen)	p ₀ = 101325 Pa = 1013,25 hPa
Normvolumen, molares (T ₀ = 273,15 K)	V _{m,n} = 22414,10 cm ³ / mol (p ₀ = 1013,25 hPa)
Protonenmasse (Ruhemasse des p ⁺)	m _p = 1,672631 • 10 ⁻²⁷ kg = 1,007276470 u
Mathematik:	π = 3,1415926535893846793225433832795...
	e = 2,7182818284590452353602287471353...

1c) Wichtige Umrechnungen zu den SI-Basiseinheiten

Viele Nicht-SI-Maßeinheiten sind für die Basisgrößen im Gebrauch.

Sie können folgendermaßen umgerechnet werden:

Basisgröße und -einheit	Veraltete, Unter- und Nicht-SI-Einheiten, Umrechnungsfaktoren
Strecke s (Länge, Weg, Entfernung) 1 m = 10^3 mm = 10^6 μ m = 10^9 nm = 10^{12} pm 10^3 m = 1 km	1 Ångström (Å) = $100 \text{ pm} = 10^{-10} \text{ m}$ 1 astronomische Einheit (AE) = $1,495 \cdot 10^{11} \text{ m}$ = 149,5 Mio. km 1 Landmeile (<i>statue mile</i> , mi) = $1,609 \text{ km} = 1760 \text{ yd}$ 1 Lichtjahr = 63240 AE = $9,46 \cdot 10^{15} \text{ m}$ 1 parsec = 3,262 Lichtjahre = 206.265 AE 1 Seemeile = 1852 m 1 <i>yard</i> (yd) = 3 ft 1 Faden (fm) = 2 yd 1 Zoll, <i>inch</i> (in) = 25,4 mm 1 Fuß (ft) = 12 in
Masse m 1 kg = 10^3 g = 10^6 mg = 10^9 μ g = 10^{12} ng = 10^{15} pg 10^3 kg = 1 Tonne (t)	1 atomare Masseinheit, <i>unit</i> (u) = $1 / 6,023 \cdot 10^{23} \text{ g}$ = $1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g}$ 1 britisches Pfund, <i>pound</i> (lb) = 16 oz = 453,592 g 1 Karat (kt) = 0,0002 kg = 0,2 g 1 Unze, <i>ounce</i> (oz) = 28,349 g 1 <i>troy ounce</i> (oz tr) = 31,103 g 1 Megatonne (Mt) = 10^6 t (auch: to)
Zeit t 1 s = 1/60 min 1 min = 60 s = 1/60h 1h = 60 min = 3600s	1 astronomisches Jahr = 31556925,9747 s 1 Kalenderjahr (a) = 365,25 d = 31536000 s 1 siderisches Jahr (a_{sid}) = 365 d 6h 9min 10s = 365,2563 d 1 Tag (d)* = 24 h = 1440 min = 86400 s
Stromstärke / 1 A = 10^3 mA 1 kA = 10^3 A	(Elektrochemie: 96487 A ist die zur Abscheidung von 1,008 g Wasserstoffgas pro Sekunde nötige Stromstärke, 1 A scheidet in 1 s genau 1,1182 mg Silber ab bzw. 0,01 mmol einwertigen Stoff)
thermodynamische Temperatur T 1 K (Kelvin)	Celsius-Temperatur ϑ 273,15 K = 0°C Grad Celsius (°C) Fahrenheit-Temperatur 32°F = 0°C bzw. 100°F = +37°C 212°F = +100°C Umrechnung von Celsius-Grad in absolute Temperatur: $T = \vartheta - 273,15$ Umrechnung von Fahrenheit-Grad in Celsius-Grad: $t \text{ °F} = 5/9(t - 32) \text{ °C}$

Basisgröße und -einheit (Forts.)	Veraltete, Unter- und Nicht-SI-Einheiten, Umrechnungsfaktoren
Stoffmenge n 1 mol (Mol)	1 mol = 10^3 mmol = 10^6 μmol = $6,023 \cdot 10^{23}$ Teilchen 1 kmol = 10^3 mol
Lichtstärke I 1 Cd (Candela)	Größe (mag. ^m) 1 cd = -13,94 ^m (von lat. <i>magnitudo</i> = Größe astronomisches Helligkeitsmaß; pro 1,0 ^m Differenz $\approx$ das 2,512fache)

* Gemeint ist der SI-Tag (nach dem gregorianischen Kalender, ISO 8601), während ein siderischer Tag (Sterntag) 23h 56 min 4 s umfasst (Umdrehungszeit der Erde in Bezug auf die Fixsterne) und ein bürgerlicher, mittlerer Sonnentag Schaltsekunden aufweisen kann (Sonnentag nach Ortszeit als Zeitraum zwischen zwei Sonnenhöchstständen, umfasst 24 h $\pm$ 30 s).

Teil 2: Umrechnung von Maßeinheiten

Wichtige Beispiele für abgeleitete, physikalische Messgrößen und deren Einheiten

Die folgende Tabelle physikalischer Größen und Einheiten ist ohne die Messgrößen, die typische **Stoffeigenschaften** wiedergeben (stoffspezifische Größen wie z.B. Dichte / Siedetemperatur eines Stoffes; siehe Kap. 2.4):

Größe / Größen- bzw. Formelzeichen*	Größengleichung, Beziehung	SI-Einheit	Weitere Einheiten, Ableitung, Umrechnung
Beschleunigung g (auch: a , α , g)	$a = v / t$ (Geschwindigkeit pro Zeit)	1 m $\cdot$ s ⁻² = N $\cdot$ kg ⁻¹	1 g = 9,80665 m/s ² g_n Fall-, Erd- beschleuni- gung, -a Verzögerung, Abbremsung
Druck p (mechanisch)	$p = F / a$ (Kraft pro Fläche)	1 Pascal (Pa) = N $\cdot$ m ⁻² = kg $\cdot$ m ⁻¹ $\cdot$ s ⁻²	10 ⁵ Pa = 1 bar = 10 ³ hPa 100 Pa = 1 hPa = 1 mbar, 1013 hPa = 1 atm = 1 kg/cm ² = 760 Torr (mm Hg)

Größe / Größen- bzw. Formelzeichen*	Größenglei- chung, Beziehung	SI-Einheit	Weitere Einheiten, Ableitung, Umrechnung
Elektrizitätsmenge Q, Ladung Q	$Q = I \cdot t$ (Stromstärke mal Zeit)	1 Coulomb (C) = A • s = J • V ⁻¹	1 A • h = 3600 C (Q = I • t bei I = const.)
Energie E, Arbeit W, Wärme Q mechanisch: $E_{\text{mech.}}$ elektrisch: $E_{\text{elektr.}}$, $W_{\text{el.}}$ potenziell: $E_{\text{pot.}}$ kinetisch: $E_{\text{kin.}}$ Lichtenergie: E_{Licht} Innere Energie U^*	$W_{\text{mech.}} = F \cdot s$ = $m \cdot g \cdot s$ (Kraft • Weg bzw. Masse • Weg • Beschleunigung) $W_{\text{elektr.}} = U \cdot I \cdot t$ = $P \cdot t = I \cdot R \cdot I \cdot t$ $E_{\text{pot.}} = m \cdot g \cdot h$ $E_{\text{kinet.}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ $E_{\text{Licht}} = h \cdot \nu$ = $h \cdot c / \lambda$	1 Joule (J) = Nm = Ws = kg • m ² • s ⁻²	10 ³ J = 1 kJ = 1 kWhs , 1 kWh = 3,6 MJ = 3600 kJ (kWhs) 1 cal (Kalorie) = 4,187 J ; 1 eV (Elektronenvolt) = 1,602177 • 10 ⁻¹⁹ J , 1 kcal = 4,187 kJ, 6,242 • 10 ¹⁸ eV = 1 J, 1 mkp = 9,80665 J, 1 erg = 10 ⁻⁷ J, 1 J = 2,7778 • 10 ⁻⁷ kWh h, ν, c Naturkonstan- ten λ Wellenlänge ν Frequenz
Reaktionsgeschwin- digkeit v_{RG}	$V_{\text{RG,n}} = \Delta n / \Delta t$ $V_{\text{RG,c}} = \Delta c / \Delta t$ $V_{\text{RG,Gase}} = \Delta p / \Delta t$	1 mol / s (Lösungen: mol / L • s, Gase: L / s)	1 mol/s = 1000 mmol/s (Stoffmengenänderung pro Zeit, bei Lösungen Änderung von c , bei Gasen auch Änderung von p)
Volumen V	$V = l \cdot b \cdot h = s^3$ (Länge / mal Breite b mal Höhe h)	1 m ³ = 1000 L = 1000 dm ³ = 10 ⁶ cm ³	1 L = 1 dm ³ = 10 ⁻³ m ³ = 10 ³ cm ³ (ccm, mL) = 10 ⁶ µL = 0,01 hL 1 m ³ = 1000 L 1 km ³ = 10 ⁶ m ³ 1 cm ³ = 1 mL
Volumenanteil* φ	$\varphi = V / V_{\text{Gesamt}}$	L • L ⁻¹	$\varphi \cdot 100 = \text{Vol}\%$, $i = 1840 \text{komponente } i$
Volumen- konzentration* α	$\alpha = V(X) / V_{\text{Gesamt}}$	L • L ⁻¹	1 L/m ³ = 1 mL/L 1 ppm = 1 mL/m ³ = 10 ³ ppb = 10 ⁶ ppt = 10 ⁹ ppq
Wärme(menge) Q, thermische Energie $E_{\text{therm.}}$ s.o. unter: Arbeit W	$E_{\text{therm.}} \approx E_{\text{kinet.}}$ = $\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$	1 J = N • m = W • s	1 kWh = 3,6 MJ = 860 kcal 1 cal = 4,1868 J = 0,001163 W • h

Teil 3: Mathematische Grundlagen und Lernhilfen

a) Arithmetik und Algebra

Rechenregeln

Rechengebiet, -operation	Rechenformel, -regel	Rechengebiet, -operation	Rechenformel, -regel
Bruchrechnen, Addition und Subtraktion	$\frac{a \pm c}{b} = \frac{a \cdot d \pm c \cdot b}{b \cdot d}$	Klammerrechnen, Distributivgesetz	$a \cdot (b \pm c) = a \cdot b \pm a \cdot c$
Bruchrechnen, Multiplikation	$\frac{a \cdot c}{b} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} \cdot \frac{d}{d}$	Klammerrechnen, Assoziativgesetz	$(a + b) \cdot (c + d) = a \cdot c + a \cdot d + b \cdot c + b \cdot d$
Bruchrechnen, Division	$\frac{a : c}{b} = \frac{a \cdot d}{b \cdot c}$	Klammerrechnen, 1. binomische Formel	$(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$
Potenzrechnen, Multiplikation und Potenzieren	$a^n \cdot b^n = (a \cdot b)^n$ $a^m \cdot a^n = a^{m+n}$ $(a^n)^m = a^{m \cdot n}$	Klammerrechnen, 2. binomische Formel	$(a - b)^2 = a^2 - 2ab + b^2$
Potenzrechnen, Division	$a^n : b^n = (a/b)^n$ $a^m : a^n = a^{m-n}$ $a^n = 1/a^{-n}$ und $a^{-n} = 1/a^n$	Klammerrechnen, 3. binomische Formel	$(a + b) \cdot (a - b) = a^2 - b^2$
Potenzrechnen, Vorzeichen und Klammern	$(-a)^2 = a^2 > 0$ $-a^2 = -(a^2) < 0$	Logarithmen	$a^n = b \Leftrightarrow n = \log_a b$ $\log_a (b \cdot c) = \log_a b + \log_a c$ $\log_a (b : c) = \log_a b - \log_a c$ $\log_a b^n = n \cdot \log_a b$
Wurzelrechnen im Bereich realer Zahlen	$\sqrt[n]{(a^2)} = a > 0$ $\sqrt[n]{a} = a^{(1/n)}$ $\sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{(a \cdot b)}$ $\sqrt[n]{a} : \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{(a/b)}$ $\sqrt[n]{(a^m)} = a^{m/n} = (\sqrt[n]{a})^m$	Zehnerlogarithmus, dekadischer Logarithmus	$\log_{10} b = \lg b$
		Natürlicher Logarithmus	$\log_e b = \ln b$
		Binärer Logarithmus	$\log_2 b = \lg b$
		Umkehrfunktion zu $\ln$ ($e = 2,718281828459...$)	$\ln e^n = n$ $e^{\ln a} = a$

b) Geometrie

Flächen und Flächenformeln

Bezeichnung der Fläche	Rechenformel, -regel Grundfläche, Umfang	Rechenformel, -regel Seiten, Winkel, ...	Größensymbole
Dreieck (allgemein), Tri(a)gon	$A = \frac{1}{2} \cdot g \cdot h_g$ Umfang: $U = a + b + c$	Seitenlänge c: $c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos \gamma$ $\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ$ $\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}$	g Grundseite h_g Höhe über g U Umfang α, β, γ Winkel
Gleich- schenkliges Dreieck	$A = \frac{1}{2} \cdot c \cdot h_g$ Umfang: $U = 2a + c$	Seiten: $a = b$ $h_c = \sqrt{a^2 - \frac{1}{4}c^2}$	h_c Höhe über c: h_c = Symmetrieachse
Rechtwinkliges Dreieck	$A = \frac{1}{2} a \cdot b$ Satz des <i>Pythagoras</i> : $\gamma = 90^\circ \Rightarrow a^2 + b^2 = c^2$	$h_c^2 = p \cdot q$ $a^2 = p \cdot c, b^2 = q \cdot c$ $\sin \alpha = a/c, \cos \alpha = b/c$	h_c unterteilt c in p + q
Gleichseitiges Dreieck	$A = (a^2/4) \cdot \sqrt{3}$	Höhe: $h = (a/2) \cdot \sqrt{3}$ Seiten: $a = b = c$	Winkel: $\alpha = 60^\circ$
Viereck (allgemein), Tetragon	$A = A_1 + A_2$ Umfang: $U = a + b + c + d$	Winkel: $\alpha + \beta + \gamma + \delta = 360^\circ$	e Diagonale
Parallelogramm	$A = g \cdot h$	Sonderfälle: Rechteck: $A = a \cdot b$ Quadrat: $A = a^2$	g, a Grundseite b Nebenseite zu a h Höhe
Rechteck	$A = a \cdot b$ Umfang: $U = 2 \cdot (a + b)$	Winkel: $\alpha = \beta = \gamma = \delta = 90^\circ$	e, f Diagonalen
Quadrat	$A = a^2$ Umfang: $U = 4a$	Diagonalen: $e = f$, $e \perp f$, $e = a \cdot \sqrt{2}$ Winkel: $\alpha = \beta = \gamma = \delta = 90^\circ$	e, f Diagonalen Seiten: $a = b = c = d$
Trapez	$A = \frac{1}{2} (a + c) \cdot h = m \cdot h$ $m = \frac{1}{2} \cdot (a + c)$	vier Seiten a,b,c,d: $a \neq b \neq c \neq d$ Winkel: $\alpha + \delta = \beta + \gamma = 180^\circ$	h Höhe a, c parallel liegende Seiten m Mittellinie auf halber Höhe $\frac{1}{2} h$ $b \neq d$
Drachen- viereck und Raute, Rhombus	$A = \frac{1}{2} \cdot e \cdot f$ Umfang: $U = 2 \cdot (a + d)$ Sonderfall Raute: $A = g \cdot h = a \cdot h$	Winkel: $\alpha = \gamma$ Raute: $a = b = c = d$, ist Drachen und Paralle- logramm zugleich	e,f senkrecht aufein- ander stehende Diagonalen, $e \perp f$

Bezeichnung der Fläche	Rechenformel, -regel Grundfläche, Umfang	Rechenformel, -regel Seiten, Winkel, ...	Größensymbole
Regelmäßiges n -Eck z. B. Sechseck: $n = 6$ (Hexagon)	$A_n = n \cdot A_n$ Umfang: $U = n \cdot a_n$	Höhe: $h_n = r^2 - (\frac{1}{2} a_n)^2$ $\phi = 360^\circ/n$ $\alpha = (180^\circ - n)/2\phi$	A_n Teilfläche (dreieckig) a_n Seite M Mittelpunkt ϕ, α Winkel
Kreis	$A = \pi \cdot r^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$ Umfang: $U = 2\pi \cdot r = \pi \cdot d$	Durchmesser d : $d = 2 \cdot r$ $\alpha = \beta/2 = \gamma$	U Umfang, α Peripheriewinkel β Zentriwinkel AB γ Sehnen-Tangenten-Winkel
Kreisring	$A = \pi (R^2 - r^2)$		R Außenradius r Innenradius
Kreisausschnitt, Kreissektor, Sektor	$A_\alpha = \pi r^2 \cdot \alpha / 360^\circ$ $A_\alpha = \frac{1}{2} b \cdot r$ $A_\alpha = \frac{1}{2} r^2 \cdot \text{arc } \alpha$	$A_\alpha / A = \alpha / 360^\circ$	A_α Kreisausschnittfläche α Ausschnittwinkel A Kreisfläche insg. b Bogenlänge
Kreisabschnitt, Kreissegment	$A = \frac{1}{2} [b \cdot r - s \cdot (r-h)]$	Sehnenlänge: $s = 2 \cdot \sqrt{(2h \cdot r - h^2)}$	r Radius s Sehnenlänge

Volumina und deren Oberflächen

Bezeichnung des Körpers	Rechenformel, -regel Volumen	Rechenformel, -regel Oberfläche u. a.	Größensymbole
Gleichmäßig dicke Körper (allgemein)	$V = G \cdot h$	Oberfläche allgemein: $O = g + M$ Zylinder: $O = 2\pi \cdot r \cdot (r + h)$	G Grundfläche h Höhe A, O Oberfläche M Mantelfläche r Radius
Quader	$V = a \cdot b \cdot c$	$O = 2(ab + ac + bc)$ $e = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$	A_O, O Oberfläche e Diagonale
Würfel, Kubus	$V = a^3$	$O = 6a^2$	A_G Grundfläche A_O, O Oberfläche a Seitenlänge e Diagonale
Prisma (n -seitig), $n = 5, 6, 7, \dots$	$V = A_G \cdot h$	$O = 2A_G + S_1 + S_2 + \dots + S_n$	A_G Grundfläche A_O, O Oberfläche S Seitenfläche h Höhe
Zylinder, Kreiszylinder	$V = G \cdot h$ $AM = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h$	Oberfläche: $O = 2\pi \cdot r \cdot (r + h)$	AM Mantelfläche O Oberfläche r Radius h Höhe

Bezeichnung des Körpers	Rechenformel, -regel Volumen	Rechenformel, -regel Oberfläche u. a.	Größensymbole
Spitze Körper (allgemein)	$V = \frac{1}{3} \cdot G \cdot h$		G Grundfläche h Höhe O Oberfläche
Kegel, Kreiskegel	$V = \frac{1}{3}\pi \cdot r^2 \cdot h$ Seitenhöhe: $s^2 = r^2 + h^2$	$O = \pi \cdot r^2 + \pi \cdot r \cdot \sqrt{r^2 + h^2}$ $O = \pi \cdot r \cdot (r + s)$ Mantelfläche: $A_M = \pi \cdot r \cdot s$	A_G, G Grundfläche h Höhe s Seitenhöhe r Radius (G_{Kegel}) O Oberfläche A_M Mantelfläche
Pyramide (n -seitig, auf regelmäßigem n -Eck), $n = 3, 4, 5, \dots$	$V = \frac{1}{3} A_G \cdot h$	$O = A_G + A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n$	A_G, G Grundfläche $A_1, A_2, \dots$ Seitenflächen O Oberfläche h Höhe
Stumpfe Körper (allgemein), Sonderfälle: a) (Kreis-)Kegelsumpf b) Pyramidenstumpf	$V_{\text{Stumpf}} = V_{\text{Gesamt}} - V_{\text{Spitze}}$	a) Kegelsumpf: $V = \frac{1}{3}\pi \cdot h \cdot (r_1^2 + r_2^2 + r_1 r_2)$ mit $r_1 = r$ (Grundfläche) b) Pyramidenstumpf: $V = \frac{1}{3}h \cdot (A_G + \sqrt{A_G \cdot A_D} + A_D)$ mit A_G = Grundfläche und A_D = Dachfläche	V_G Gesamtvolumen der Pyramide oder des Kegels V_{Spitze} Volumen der abgeschnittenen Spitze
Kugel	$V = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3$ Umfang: $U = 2\pi \cdot r$	$O = \pi \cdot d^2 = 4 \pi \cdot r^2$	r Radius O Oberfläche U Umfang M Mittelpunkt
Kugelabschnitt, Kugelsegment	$V = \frac{1}{3}\pi \cdot h^2 \cdot (3r - h)$	$O = \pi \cdot h \cdot (4r - h)$ Grundkreisradius: $\rho^2 = h \cdot (2r - h)$	p Grundkreisradius r Radius h Höhe
Kugelschicht	$V = \frac{\pi}{6} \cdot h \cdot (3r_1^2 + 3r_2^2 + h^2)$		h Schichthöhe r_1, r_2 Radien der Außenflächen
Tetraeder	$V = \frac{1}{12} a^3 \cdot \sqrt{2}$	$O = a^2 \cdot \sqrt{3} = 4 A_{\text{gD}}$	O Oberfläche A_{gD} Grenzfläche (∇ , gleichseitig)
Hexaeder, Kubus (Würfel)	$V = a^3$	$O = 6 a^2 = 6 A_{\text{Q}}$	O Oberfläche A_{Q} Grenzfläche ($\square$, Quadrat)
Oktaeder	$V = \frac{1}{3} a^3 \cdot \sqrt{2}$	$O = 2 a^2 \cdot \sqrt{3} = 8 A_{\text{gD}}$	O Oberfläche A_{gD} Grenzfläche (∇ , gleichseitig)
Dodekaeder	$V = \frac{1}{3} a^3 \cdot \sqrt{2}$	$O = 3a^2 \cdot \sqrt{5(5+2\sqrt{5})}$	O Oberfläche A_{Pg} Grenzfläche ($\triangle$, gleichseitig)

Polyeder

Körper	E	F	K	Körper	E	F	K
Tetraeder	4	4 ▽	6	Quader (auch: Kubus)	8	6	12
Oktaeder	6	8 ▽	12	Pyramide, 3-seitig	4	4	6
Ikosaeder	12	20 ▽	30	Prisma, 6-seitig	12	8	18
Hexaeder, Kubus	8	6 □	12	Quadratische Säule mit aufgesetzter Pyramide	9	9	16
Dodekaeder	20	12 ▢	30				

* **Euler'scher Polyedersatz:** Zahl der Ecken (E) plus Zahl der Flächen (F) ist im Poeder gleich der Zahl der Kanten (K) plus 2 ($E + F = K + 2$).

- **Konvexe Polyeder:** Vielflächner, begrenzt von ebenen Figuren sowie Kanten und Ecken (hier gilt der *Euler'sche* Polyedersatz)
- **Regelmäßige Polyeder, Platonische Körper:** Sämtliche Begrenzungsflächen sind untereinander kongruente Drei-, Vier- und Fünfecke, die untereinander alle unter dem gleichen Winkel geneigt sind $\Rightarrow$ Jeder *platonische* Körper hat untereinander lauter räumlich kongruente Ecken (Idealkörper, z.B. in der Kristallographie).

c) Statistik

Statistische Größen

Größe, Gesetz	Symbol(e)*	Rechenformel, Größengleichung*	Definitionen, Anmerkungen
Messwert Nr. 1,2,3 ... n	$x_{1,2,3...n}$	- (Messbereich z: $z = x \pm n \sigma$)	x_i Messwert der Messung i N, n Anzahl der Messungen, Proben, ... $\bar{X}, AM$ Mittelwert der Messungen (auch: μ)
Anzahl der Messungen	N, n	$AM = 1/n \sum x_i$, auch: $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$	
Arithmetischer Mittelwert	$\bar{X}$, auch: AM, μ		
Relativer Fehler	F_{Rel}	$F_{Rel} = x_i - \bar{X}$	x_i Messwert Messung i $\bar{X}, AM$ Mittelwert Ähnlich: Streubereich um AM, Angabe als ein Vielfaches (Faktor t) von σ : $\bar{x} \pm t \cdot \sigma$
Quadratischer Fehler, Mittlerer quadratischer Fehler	F_{Rel}^2 , auch: σ^2, s_x^2	$F_{Rel}^2 = (x_i - \bar{X})^2$ bzw. $s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$	
Mittlere Abweichung (einer Stichprobe x)	$r, \Delta x$	$r = \frac{1}{n} \sum (x_i - AM)$	Ähnlich: Relative mittlere Abweichung $\Delta x\%$ (prozentual)
Streubreite (der Messwerte)	x_{SB}	$x_{SB} = x_{max} - x_{min}$	x_{max} Größter Messwert x_{min} Kleinster Messwert

Größe, Gesetz	Sym- bol(e)*	Rechenformel, Größengleichung*	Definitionen, Anmerkungen
(absoluter) Fehler der i -ten Ableseung	e_i, F_{abs}	$e_i = x_i - \bar{X}$	$\bar{X}$ Wahrer Wert (unbekannte Größe)
Fehler des Mittelwertes	E	$E = AM - \bar{X}$	Bereich z: $z = \bar{X} \pm n \cdot \sigma$
Standardabweichung, <i>standard deviation,</i> Wiederholstandard- abweichung, mittlerer Fehler (Streuung der Werte einer Zufallsvariablen um ihren Mittelwert)	σ, s_x, s	$s = [\frac{1}{2} \sum (x_i - AM)^2]^{-1/2}$ bzw. $\sqrt{\text{Var}(X)} = \sigma,$ Schreibweise auch: $s_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$	d Residuum $d = x_i - AM$ s_x Schätzer für die Standard- abweichung σ_x der Grundgesamtheit N Stichprobenumfang x_i Merkmalsausprägungen am i -ten Element der Stichprobe
Streumaß, Varianz, Relative Standardab- weichung	$s^2,$ $\sigma^2,$ $\text{Var}(X)$		Maß für die relative, zufällige Abweichung der Einzelwerte x_i vom Mittelwert $\bar{X}$ (Prozentual: Symbol auch $s\%$, Berechnung: $s\% = \sigma \cdot 100\%$ bzw. $VK = (s_x / \bar{X}) \cdot 100\%$)
Variationskoeffizient	VK, $\text{VarK}(X)$	$\text{VarK}(X) = \sigma / \mu,$ $VK = s_x / \bar{X}$	
Lineare Progression, Steigung	a	$a = (y-b) / x$	Für $y = a \cdot x + b$ Achsenabschnitt: $b = y - a \cdot x$
Streubereich um den Mittelwert	SB	$SB = \bar{x} \pm t \cdot \sigma$	Angabe als ein Vielfaches (<i>Student</i> -Faktor t) von σ
Vertrauensbereich (als Intervall um den Mittelwert zwischen dessen VG_u und VG_o)	VB	$VB = \bar{x} \pm \frac{t(P, f) \cdot s_x}{\sqrt{n}}$ VB = Bereich $\bar{X} \pm \Delta VG$, innerhalb dessen sich X mit P (in %) befindet	P statistische Sicherheit (in %), gewählt VG_u untere Vertrauensgrenze VG_o obere Vertrauensgrenze t <i>Student</i> -Faktor ($\bar{x} \pm t \cdot \sigma$) f Freiheitsgrad ($n-1$)

* Symbole in der Literatur unterschiedlich, hier Angabe nur der häufigsten Versionen

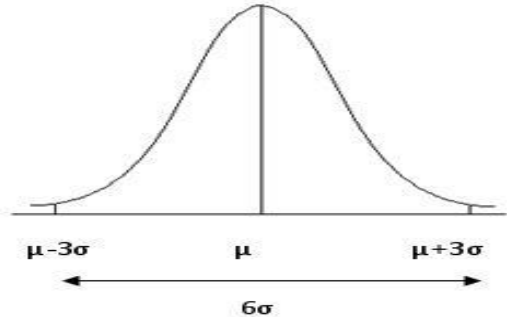


Abb.:
statis-
tische
Normal-
Verteilung
(Gauss-
Funktion)
(Abb.
gemeinfrei)

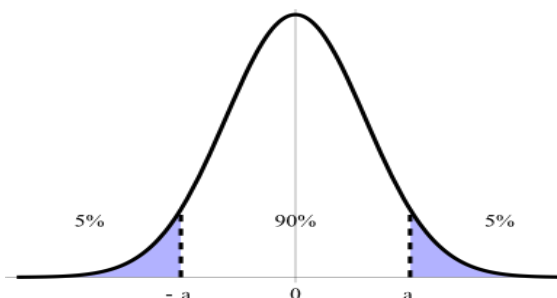


Abb.: Vertrauensintervall von 90% in der Normal-Verteilung (Gauss-Funktion) (Abb. gemeinfrei)

Fachbegriffe zur Messfehler-Beurteilung (Validierung)

Fehlerart, Bezugswert	Anmerkungen zur Berechnung oder Beurteilung des Fehlers
Absoluter Fehler	Abweichung der Messung vom wahren Wert X
Relativer Fehler	Abweichung der Messung vom Mittelwert $\bar{X}$
Statistischer Fehler, Zufälliger Fehler	Zufällige Abweichungen der Messergebnisse vom wahren Wert X , gehorchen statistisch der <i>Gauß</i> -Funktion (Zufallsfehler)
Systematischer Fehler	Abweichungen der Messergebnisse vom wahren Wert X aufgrund fehlerhafter Durchführung einer Messung
Erwartungswert	Mittleres Messergebnis, gewonnen aus ständig wiederholten Messungen unter genau definierten Bedingungen (Reproduzierbarkeit)
Messwert, Messergebnis	Durch ein Mess- oder Analyseverfahren ermittelter Wert (Merkmalswert, Beispiele: y mg Probebestandteil, x mL verbrauchte Maßlösung)
Richtiger Wert (<i>conventional true value</i>), Sollwert	Näherungswert für den wahren Wert X , gewonnen aus Bezugsmaterialien oder Referenzverfahren (Differenz zu X für Vergleichszwecke kann vernachlässigt werden)
Wahrer Wert X (<i>true value</i>)	Tatsächlicher Gehaltswert oder Merkmalswert (bezogen auf das Analysenergebnis)
Qualitätssicherung von Messwerten	Sicherung der Qualität von Messdaten und Analysewerten durch GLP („ <i>Good Laboratory Praxis</i> “, nach OECD-Grundsätzen) und entsprechende Normen zur Vorgehensweise (z. B. DIN/EN 45001, DIN/ISO 9001 usw.), Akkreditierung und Zertifizierung von Prüflaboratorien (Kompetenzbestätigungen, Konformitätsbescheinigungen)
Ausreißer	Stark abweichende und daher unberücksichtigte Messwerte mit (hoch-)signifikanter Fehlerwahrscheinlichkeit, relative Häufigkeit als prozentuale Wahrscheinlichkeit der Übereinstimmung oder Unterscheidung von Werten gilt bei <90% als zufällig, bei 90-95% als wahrscheinlich, bei 95-99% als signifikant, bei >99% als hochsignifikant)

Lernhilfen und Lesehinweise

Fachbegriffe in der Chemie bezeichnen wichtige Sachverhalte zum Lernstoff. Ihre Anwendung sollte trainiert und eingeübt werden – mit Übungsaufgaben und Lernhilfen, wie sie z.B. in folgenden Arbeitsheften angeboten werden:

- 1.) **CHEMIE!?! Das Grundwissen für Klasse 7 bis 10**, epubli 2020, mit ISBN 9783752995596
oder in Farbe: **CHEMIE!?! Das Grundwissen für Klasse 7 bis 10**, Ein Arbeitsbuch für die Schule - Alle Lerninhalte mit Erklärungen, Übungsaufgaben, Lernhilfen und vielen, farbigen Abbildungen mit der ISBN: 9783752995657
- 2.) In der neuen Reihe „**Chemie im Distanzunterricht**“ gibt es für Kl. 7 bis 10 fünf vorausgehende Bände zu:
(I) **Stoffe, Teilchen, Reaktionen**, (ISBN: 9783753144399, preiswerter auch in schwarzweiß erhältlich: 9783753138558; ebenso alle Folgebände)
(II) **Elemente, Periodensystem, Atombau**, ISBN: 9783753148243
(III) **Salze, Säuren, Laugen**, ISBN: 9783753159218
(IV) **Redoxreaktionen – Energie aus chemischen Reaktionen**; ISBN: 9783753165097
(V) **Molekülverbindungen, Strukturformeln, Stoffe als Energieträger**; 9783753172064
alle aufzufinden unter: <https://www.epubli.de/shop/autor/Michael-Wächter/28316>
(ggf. nach unten scrollen!), sowie folgende Lernhilfen und Arbeitshefte:
- 3.) **M. Wächter: Merksätze und Formeln Chemie**, epubli 2019, kleines Taschenbuch zu nur 7,99 €, ISBN 9783748550129 (auch als ebook für unter 3 €: ISBN bzw. EAN: 9783748597735)
- 4.) **M. Wächter: Üb(er)legungsaufgaben Chemie** – Ein Arbeitsbuch für Schule und Studium
(Lernhefte / Arbeitshefte, Verlag epubli 2018/2019), eine **Reihe in 6 Bänden**:

Bd.1: **Grundlagen der Chemie** (preiswert schwarzweiß:

ISBN 978-3-748539-42-1, auch als farbige Ausgabe:

ISBN 978-3-750240-42-1),

Bd.2: **Allgemeine und Anorganische Chemie**, Stöchiometrie

(ISBN: 978-3-748539-46-9,

auch als farbige Ausgabe: ISBN 978-3-750240-650),

Bd.3: **Physikalische Chemie**(978-3-748539-47-6),

Bd.4: **Analytische Chemie**(978-3-748539-48-3),

Bd.5: **Grundlagen der Organischen Chemie**

(ISBN: 978-3-748539-52-0),

Bd. 6: **Anorganisch-chemische Technologie**

(ISBN: 9783748571162 – ohne organische Chemie),

Bd. 7: **Organisch-chemische Technologie**;

(ISBN 9783753133430)

5.) M. Wächter: **Laborpraktikum Anorganisch-analytische Chemie LAC**(ISBN 9783750270077)

Nr.1-5 allesamt erhältlich im Epubli-Online-shop

z.B. über:

<https://www.epubli.de/shop/autor/Michael-Wächter/28316>(ggf. nach unten scrollen!)

- M. Wächter: **Das Lernen Lernen. Lernhilfen für Schule und Homeschooling**, 8,99 Euro, ISBN 9783753104713 (epubli 2020).
- M. Wächter: **Kleine Entdeckungsgeschichte(n) der Chemie** im Kontext von Zeitgeschichte und Naturwissenschaften, Verlag Königshausen und Neumann, Herbst 2018, ISBN: 978-3-8260-6510-1 (preiswerter auch als ebook erhältlich!)
- M. Wächter: **Tabellenbuch der Chemie**, Daten zur Analytik, Laborpraxis und Theorie, wiley-VCH Verlag Weinheim, 2012, ISBN-13: 978-3-527-32960-1

- M. Wächter: **Chemielabor, Einführung in die Laborpraxis**, wiley-VCH Verlag Weinheim (2011), ISBN-13: 978-3-527-32996-0
- M. Wächter: **Analytik - die Geschichte** (ein Sach- und Lesebuch zur Analytik und Gerichtsmedizin, ihren Methoden, Erfindungen und Entdeckungen, epubli 2019), ISBN: 978-3-748540-88-5
- M. Wächter: **Entdeckungsgeschichte(n) aus den BIOwissenschaften und der Medizin**, epubli 2019, ISBN: 978-3-748541-56-1 (preiswerter auch als ebook erhältlich)
- M. Wächter: **Kleine Entdeckungsgeschichte(n) der Astronomie** im Kontext von Zeitgeschichte und Physik, Verlag Königshausen und Neumann, 2018, ISBN: 978-3-8260-6511-8 (auch ebook erhältlich)

Autorenhomepage:

<https://michael-waechter.jimdosite.com/>

Der Autor:

Michael Wächter bildet als Lehrer u. a. chemisch-technische Assistenten, Chemielaboranten, Lacklaboranten, Chemikanten und Produktionsfachkräfte Chemie am Hans-Böckler-Berufskolleg in Münster aus. Nach seinem Lehramtsstudium in Chemie, Pädagogik und Theologie war er zunächst als Lacklaborant in Münster-Hiltrup und als Chemielehrer an Gymnasien in Rheda-Wiedenbrück und Datteln tätig. Durch langjährige Lehrtätigkeit in Chemie u.a. ist er mit den unterschiedlichen Frage- und Problemstellungen von Schülerinnen und Schülern sowie von Lernenden in den Laborberufen bestens vertraut.

Stichwortverzeichnis / Sachverzeichnis

Stichwort (Sachwort, Begriff)	Seite(n)	Stichwort (Sachwort, Begriff)	Seite(n)
A bgeleitete Größe, abgeleitete Einheit	13ff	D ichte $\rho = m/V$	17,23ff, 35ff, 98f,158
Absorption	176	Dissoziation	131ff
Addition(sreaktion)	152ff	Drehwert α	26
Aktivierungsenergie	164	Druck p	14,158f
Alkalimetall	57ff	E delgas(e)	57
Alkan, Alken,	75f,	Eigenschaft (Stoff)	7
Alkin	150ff	Elektrizität	14f,144f
Alkohol	152	Elektrochemie	142ff
Ampère A	12	Elektrolyse	143f
amphoter	133	Elektron e^-	53
Analytik	172f	Elektronenaffinität	59
Anteil(sangabe)	159	Elektronegativität	66ff
Arbeit W	14,144	Element, chemisch	50f
Atom	52,56ff	Element,	142ff
Azidität	59,	galvanisch	
(von Oxiden)	128ff	Eliminierung (Ab- spaltungsreaktion)	155
B ase	128ff,	Enthalpie H	26, 166
(Protonenakzeptor)	166ff	Entropie S	27,166ff
Basestärke,	25,128ff	Ester	152
pK _B -Wert	+ 166ff	Explosion(sgrenze)	27, 49
Basisgröße, SI-	10ff	F ett	156
Basiseinheit	181ff	Filtration	22
Basizität (Oxide)	59	Flotation	22
Bindung, chemisch	65ff	Formel, chemische	80ff
Brechzahl n	25	Formelzeichen	179ff
Brennbarkeit	48	G as, Gase	98f,158
Brennstoffzelle	144	Gehalt(sgröße)	16,162
C andela cd	12	Gesetz, (Natur-)	52
Carbonsäure(n)	152		
D ampfdruck	25, 98f		

Stichwort (Sachwort, Begriff)	Seite(n)	Stichwort (Sachwort, Begriff)	Seite(n)
G HS-Symbol	125	L öslichkeit L	17, 28,
Gift, Giftigkeit	27,126f	(in Wasser),	42ff, 84ff,
Gleichgewicht	164ff	Lösung	169
Größe, physikal.	11ff	Löslichkeitspro-	29, 133,
H -/P-Sätze	127	dukt K_L	165ff
Halogen	57ff	M aß, Maßeinheit	10ff,181ff
Halogenalkan	151f	Masse m	72,158f
Härte	27, 40	Massenanteil w	15,159
Hauptgruppe	56ff	Massenwirkungs-	
Heizwert	28	gesetz MWG	165f
Hybridorbital	69	Mathematik	184ff
Hydratation	131	Mesomerie	151, 154
I on, ionisch	53, 65ff	Messgerät	8
Ionisierungsenergie	59	Messwert, -fehler	190f
Isomerie	151	Metall	52, 65ff
Isotop	53	Meter m	12
K elvin K	12	molare Masse M	18, 98f
Kilogramm kg	12	Molekül	53, 67ff
Kohle(n)hydrat	156	molekulare Ver-	
Kohlenwasserstoff	150ff	bindung	50f
Komplex	75,147ff	MO-Theorie	68ff
Konzentration	159ff	Nachweis	172
Korrosivität	48,60	N ame (von Stoffen)	72ff, 78ff
Kraft F	15	Nebengruppe	56f
Kunststoff	155	Neutralisation	131
L adung (elektr.) Q	14f	Normalpotenzial	145
Längenausdehnung	7, 28	Normalverteilung	189f
Lauge	128ff	Nukleon	53
Legierung	50f	Nukleophil	153
Leitfähigkeit, elektr.	26, 28	O ptische Aktivität	26, 155
Lernhilfe	131ff	Orbital	68ff
Lichtstärke	12	Ordnungszahl OZ	53

Stichwort (Sachwort, Begriff)	Seite(n)	Stichwort (Sachwort, Begriff)	Seite(n)
O xid	128f	S töchiometrie	158
Oxidation	139ff	Stoffeigenschaften	17f, 23ff,
Oxidationszahl	141ff	(stoffspezifische	54f, 62ff,
P assivität	60	Größen)	84ff, 185f
Periode	56	Stoffgekich	21, 159f
Periodensystem	56ff	Stoffmenge n	12, 72, 158
pH-Wert	132ff	Stoffmengenanteil	15, 159
Potenzial	30, 144	Stoffmengen-	15, 132,
ppm, ppb	161	konzentration c	159f
Proportion	52, 161ff	Stofftrennverfahren	20ff
Protein	156	Stromstärke I	12
Proton p^+	53, 128ff	Substitution	152ff
Protolyse, Säure-	128ff,	Substituent	151, 154
Base-Reaktion	135	Suspension	42
Puffer	132ff, 138	T emperatur T	12
R adikal	153	Thermodynamik	164ff
Reaktion,	50, 128ff	Titration	133, 173f
chemisch	134, 156	Toxizität	27
Reaktions-		V erbindung, chem.	66ff
geschwindigkeit	15, 163f	Verbindung,	75ff, 101ff
Reaktions-	82f,	organische	, 149ff
gleichung	140f	Verhältnis	52, 161ff
Reaktionsordnung	163	Viskosität	24, 31, 41ff
Redoxreaktion	139ff	Volumen V	16, 186
S alz, Salze (ioni-	50f, 73f,	Volumen-	18
sche Verbindungen)	134	ausdehnung γ	
Säure	128ff	W ärme(menge) Q	18
Säurestärke,	30, 128ff	Wärmekapazität C	18, 31
pK_S - Wert	166ff	Wärmeleitfähigkeit	18, 31, 39f
Schmelztemperatur	30ff, 84f	Widerstand R	16f, 32,
Sekunde s	12	(elektrisch)	46d, 144
Siedetemperatur	32ff, 84f	Z ähflüssigkeit	24, 31, 41f
Spannung U , elektr.	16, 144	Zugfestigkeit	32
Statistik	188	Zündtemperatur	32