

Michael Wächter

Tabellenbuch zur Chemie

Ergänzendes Online-Angebot

Inhalte:

**Zusätzliche Hinweise und Informationen,
ergänzende Tabellen und Grafiken zu den Kapiteln:**

1	Größen und Symbole	2
2	Arbeitsschutz und –sicherheit im Labor	8
3	Elemente, Nomenklatur, Formeln	17
4	Stöchiometrie	30
5	Stoffgemische und Lösungsgleichgewichte	53
6	Säure-Base-Gleichgewichte	55
7	Redoxgleichgewichte und Elektrochemie	56
8	Physikalische Chemie	61
9	Analytische Chemie	65
10	Organisch-präparative Chemie	81
11	Mathematische Grundlagen	82
12	Statistische Grundlagen	91
13	Ökonomie und Ökologie	92
14	Farben, Lacke, Kunst- und Beschichtungsstoffe	108
15	Mikrobiologie	126
16	Mineralogie	142
	Geschichte der Chemie	152
	Online-Lernhilfen zur Chemie	153

Hinweis:

Alle folgenden Kapitelverweise in grün beziehen sich auf das Tabellenbuch zur Chemie.

 **WILEY-VCH**

Kapitel 1: Größen und Symbole

1.1 Symbole und SI-Vorsätze

Tabelle 1.1: Werte und Größen

Wert, Größe	Definition durch ...	Symbolisierte Angabe in ...	Beispiel
Physikalische Größe	Größengleichung	Formelzeichen, oft in Form griechischer Buchstaben	λ für Wellenlänge, Kap. 1.3.1
Analyse- oder Messwert	Zahlenwert und Maßeinheit	in Form von Basiseinheiten für sieben SI-Basisgrößen (Kap. 1.2), abgeleiteten Größen und Einheiten (Kap. 1.3) und SI-Vorsätzen	$\lambda = 585 \text{ nm}$, Kap. 1.1.2
Chemische Formel eines Stoffes	Zusammensetzung einer Verbindung aus Elementen	Elementsymbole und Indices (für Stoffmengen- bzw. Atomzahlenverhältnisse)	H ₂ O für Wasser, Kap. 3 und 4

1.1.1 Griechisches Alphabet

Tabelle 1.2: Griechisches Alphabet

Großbuchstaben	A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I	K	Λ	M
Kleinbuchstaben	α	β	γ	δ	ε	ζ	η	θ	ι	κ	λ	μ
Aussprache	Alfa, Beta, Gamma, Delta, Epsilon, Zeta, Eta, Theta, Iota, Kappa, Lambda, My											
Großbuchstaben	N	Ξ	O	Π	P	Σ	T	Υ	Φ	X	Ψ	Ω
Kleinbuchstaben	ν	ξ	ο	π	ρ	σ	τ	υ	φ	χ	ψ	ω, ω
Aussprache	Ny, Xi, Omikron, Pi, Rho, Sigma, Tau, Ypsilon, Phi, Chi, Psi, Omega											

1.1.2 SI-Vorsätze, dezimale Vielfache und Teile

Tabelle 1.3: SI-Vorsätze und Dezimale

Vorsatz	Symbol	Zahlenwert	10 ^x	log ₁₀	Dt. Name	Kürzel	Engl. Name*
Yocto	y	(entspricht 1/10 ²⁴)	10 ⁻²⁴	-24	Quartillionstel	-	-
Zepto	z	(entspricht 1/10 ²¹)	10 ⁻²¹	-21	Trilliardstel	-	-
Atto	a	0,000000000000000001	10 ⁻¹⁸	-18	Trillionstel	-	-
Femto	f	0,0000000000000001	10 ⁻¹⁵	-15	Billiardstel	-	ppq
Piko	p	0,000000000001	10 ⁻¹²	-12	Billionstel	-	ppt
Nano	n	0,000000001	10 ⁻⁹	-9	Milliardstel	-	ppb
Mikro	μ	0,000001	10 ⁻⁶	-6	Millionstel	-	ppm
Milli	m	0,001 (1/1000)	10 ⁻³	-3	Tausendstel	⁰ / ₀₀	(Promille)
Zenti	c	0,01 (1/10 ²)	10 ⁻²	-2	Hundertstel	%	(Prozent)
Dezi	d	0,1 (1/10)	10 ⁻¹	-1	Zehntel	-	-
Einheit	-	1 (1/1)	10 ⁰	0	Eins, Einheit	-	(unit)
Deka	D	10	10 ¹	1	Zehn	-	ten (Dekade)
Hekto	h	100	10 ²	2	Hundert	Hdt.	hundred
Kilo	k	1000	10 ³	3	Tausend	Tsd.	thousand
Mega	M	1000000	10 ⁶	6	Million	Mio.	million
Giga	G	1000000000	10 ⁹	9	Milliarde	Mrd.	billion
Tera	T	1000000000000	10 ¹²	12	Billion	Bio.	trillion
Peta	P	1000000000000000	10 ¹⁵	15	Billiarde	Brd.	quartillion
Exa	E	1000000000000000000	10 ¹⁸	18	Trillion	Trio.	quintillion
Zetta	Z	1000000000000000000000	10 ²¹	21	Trilliarde	Trd.	sextillion
Yotta	Y	(entspricht 10 ¹² • 10 ¹²)	10 ²⁴	24	Quartillion	Quart.	septillion

*Zu beachtende Abweichungen deutsch/englisch,

Beispiel: 1 ppb (engl. *parts per billion*) = 1 Milliardstel (10⁻⁹), 1 ppt = 1 Billionstel.

1.2 SI-Basisgrößen und Basiseinheiten

Tabelle 1.4: SI-Basisgrößen

SI-Basisgröße*	SI-Basiseinheit*	Sym-bol	Exakte Definition (seit 1983*)
Strecke <i>s</i>	Meter	m	Strecke, die das Licht im Vakuum während einer Dauer von $t = 1/299792458$ s zurücklegt (Ursprünglich: 40millionster Teil eines Erdmeridians)
Masse <i>m</i>	Kilogramm	kg	Masse, die genau dem Platin-Iridium-Urkilogramm in Paris entspricht
Zeit, Dauer <i>t</i>	Sekunden	s	Das 9192631770fache der Periodendauer der EM-Strahlung, die beim Übergang zwischen den Hyperfeinstruktur-niveaus des Nuklids ^{133}Cs abgestrahlt wird (Atomsekunde, bis 1956: 1 s ist der 86400ste Teil eines mittleren Sonnentages von 24 h, 1 h = 60 min = 60 • 60 s)
Temperatur <i>T</i>	Kelvin	K	Der 273,16te Teil der Differenz zwischen dem absoluten Nullpunkt der Thermodynamik (bei $\vartheta = -273,16$ °C) und der absoluten Temperatur des Tripelpunktes reinen Wassers
Stoffmenge <i>n</i>	Mol	mol	Stoffmenge, 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>I</i>	Ampère	A	Stromstärke 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 je Meter Leiterlänge eine elektrodynamische Kraft von $F = 2 \cdot 10^{-7}$ Newton hervorruft.
Lichtstärke <i>L</i>	Candela	cd	Lichtstärke, 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 $\nu = 540 \cdot 10^{12}$ s ⁻¹ aussendet und deren Strahlungsstärke in dieser Richtung 1/683 Watt durch Steradian beträgt, entspricht etwa 1 Wachskerze aus 1 m Abstand)

* SI von 20.10.1983 (SI von frz. *système Internationale*), hier mit Symbol

Tabelle 1.5: Vorläufer-Konventionen des SI

Konvention	Maßeinheiten-Definition
Pariser Meterkonvention 1875	Ein Meter (m) ist der 10millionsten Teil eines Erdmeridians (von griech. <i>metron</i> , das Maß).
MKSA-Maßsystem 1901	Basiseinheiten: Meter, Kilogramm, Sekunde und Ampère
Neudefinition 1960	Ein Meter (m) ist das 1650763,73fache von $\lambda(\text{Kr})$, der Wellenlänge der orangefarbenen Spektrallinie von Krypton

1.3 Größen, Einheiten, Formelzeichen

- **Symbole, Größen- und Formelzeichen** sowie **Abkürzungen für Einheiten** existieren in:
 - Buchstaben aus dem griechischen Alphabet (Kap. 1.1.1),
 - in lateinischen Klein- und Großbuchstaben.
- **Formelzeichen** (Symbole für physikalische Größen) werden *kursiv* geschrieben.
- **Einheitssymbole, Elementsymbole** und aus ihnen gebildete **chemische Formeln** werden in Normalschrift geschrieben (Kap. 1.6 und Kap. 3 und 4).

Tabelle 1.6: Größen und Faktoren, Hinweise

Inhalt	Ort siehe ...
Wichtige Größen- und Formelzeichen in alphabetischer Auflistung	Kap. 1.3.1
Abgeleitete, physikalischer Größen mit ihren SI-Einheiten	Kap. 1.3.2
Stoffspezifische Größen (Stoffeigenschaften) und deren Werte	Kap. 1.4.2
Umrechnungsfaktoren für Maßeinheiten von Basis- und abgeleiteten Größen	Kap. 1.5

Formelzeichen für physikalische Größen aus dem griechischen Alphabet

Tabelle 1.7: Griechische Formelzeichen für Physikalische Größen

Symbol	Größe(n)
α (Alpha)	Aktivität, Winkel, Längenausdehnungs- oder Wärmeübergangskoeffizient
β (Beta)	Massenkonzentration, Winkel
γ (Gamma)	Volumen-/Raumausdehnungskonstante, Oberflächenspannung, Leitfähigkeit
δ (Delta)	Teilladung, Schichtdicke, Winkel
ζ (Zeta)	Lacke: Pigment-Bindemittel-Massenverhältnis ζ (Pi, Bm)
η (Eta)	Viskosität (dynamisch), Wirkungsgrad (<i>efficiency</i>), Ausbeute
ϑ (Theta)	Temperatur in Celsiusgraden
λ (Lambda)	Wellenlänge, Wärmeleitfähigkeit, Leistungsfaktor
μ (My)	Permeabilität, elektrische Feldkonstante μ_0 Vorsilbe: mikro = 1/1000000
ν (Ny)	Frequenz, kinematische Viskosität
π (Pi)	Osmotischer Druck (auch als Großbuchstabe: Π), Ziffer Pi = 3,14...
ρ (Rho)	Dichte, spezifischer elektrischer Widerstand
σ (Sigma)	Volumenkonzentration, Wellenzahl., Spannung (mechan.), <i>Boltzmann</i> -Konstante
τ (Tau)	Transmissionsgrad (Durchlässigkeit)
φ (Phi)	Volumenanteil, Phasenwinkel, Lichtintensität, für Lacke: Pigmentvolumenkonzentration φ (PVK) (in chemischen Formeln auch für: Phenylgruppe, C ₆ H ₅ -)
χ (Chi)	Stoffmengenanteil (Molenbruch, Molanteil)
ω (Omega)	Kreisfrequenz, Winkelgeschwindigkeit
A (Alpha)	Aktivität
Δ (Delta)	Differenz zweier Werte (Anfangs- oder Normwert oft mit Index 0)
H (Eta)	Enthalpie
K (Kappa)	Konstante, Leitwert
\mathcal{A} (Lambda)	Magnetischer Leitwert
Φ (Phi)	Magnetischer Fluss, Licht-, Wärmestrom, Fluenz
Σ (Sigma)	Summe zweier oder mehrerer Werte
Ψ (Psi)	Wellenfunktion, elektrischer Fluss, Energiefluenz
Ω (Omega)	Raumwinkel, Einheit: Ohm

Formelzeichen aus dem lateinischen Alphabet (Klein-/Großbuchstaben)	
Tabelle 1.8: Lateinische Formelzeichen für Physikalische Größen	
Symbol	Größe(n)
<i>a</i>	Beschleunigung (von Engl.: <i>acceleration</i>)
<i>b</i>	Breite, Molalität, Breite, Beweglichkeit (Mobilität)
<i>c</i>	Stoffmengenkonzentration, spezifische Wärmekapazität, Lichtgeschwindigkeit
<i>d</i>	Durchmesser Zeiteinheit: Tag
<i>e</i>	Elementarladung
<i>f</i>	(auch für Frequenz ν , s.o.)
<i>g</i>	Fallbeschleunigung (Erdschwerkraft)
<i>h</i>	Höhe, <i>Planck'sches</i> Wirkungsquantum Zeiteinheit: Stunde
<i>i</i>	Komponente <i>i</i> eines Gemisches (alternativ: Stoff X, Stoff AB)
<i>k</i>	Konstante, <i>Boltzmann</i> -Konstante, Wärmedurchgangskoeffizient Vorsilbe: Kilo-
<i>l</i>	Länge <i>l</i> (statt Strecke <i>s</i> , von Engl.: <i>length</i>)
<i>m</i>	Masse <i>m</i> (von Engl.: <i>mass</i>) Vorsilbe: milli (Tausendstel)
<i>n</i>	Stoffmenge, Brechungsindex (Brechzahl) Vorsilbe: Nano- = 10^{-9}
<i>p</i>	Druck, Impuls, Schalldruck Vorsilbe: Piko- = 10^{-12}
<i>r</i>	Radius (auch für <i>s</i> = Strecke)
<i>s</i>	Strecke <i>s</i> (Weglänge, Weg, Länge)
<i>t</i>	Zeit <i>t</i> (Engl.: <i>time</i>), auch: Schichtdicke
<i>u</i>	Atommaseneinheit, <i>unit</i>
<i>v</i>	Geschwindigkeit (von Engl.: <i>velocity</i>)
<i>w</i>	Massenanteil (von Engl.: <i>weight</i>), Energiedichte
<i>x, y</i>	unbekannte Variablen
<i>z</i>	Chemische bzw. stöchiometrische Wertigkeit <i>z</i> *
<i>A</i>	Fläche, Aktivität (A und B auch als Variable für Stoffe A und B/chem. Formeln)
<i>C</i>	Kapazität, Wärmekapazität
<i>D</i>	Brechwert, Energiedosis, elektr. Flußdichte
<i>E</i>	Energie, Beleuchtungsstärke, elektrische Feldstärke, Elastizitätsmodul, für Lacke: Ergiebigkeit (von Engl.: <i>spreading rate</i>)
<i>F</i>	Kraft (z.B. Auftriebskraft <i>F</i> (Auftrieb)), <i>Faraday</i> -Konstante
<i>G</i>	Freie (Reaktions-)Enthalpie, Gewichtskraft, Leitfähigkeit (elektr.) oder Leitwert (Engl.: <i>conductivity</i>), Schub- / Gleitmodul Vorsilbe: Giga- (1 Milliarde, 10^9)
<i>H</i>	Enthalpie (Reaktionsenthalpie ΔH), magnet. Feldstärke, Brennwert H_0 , Heizwert H_U
<i>I</i>	Stromstärke (von Engl.: <i>Intensity</i>), Lichtstärke I_{visuell} Ionen-, Licht-, Strahlstärke
<i>J</i>	Ionendosis, elektr. Stromdichte, Trägheitsmoment, Polarisation Einheit: Joule
<i>K</i>	Konstante (z. B. zum chem. Gleichgewicht), Strahlungsäquivalent
<i>L</i>	Löslichkeit, Drall, Drehimpuls, Induktivität, Leucht- / Strahldichte Einheit: Liter
<i>M</i>	Molare Masse (in g/mol), (Licht-)Ausstrahlung, Magnetisierung Vorsilbe: Mega
<i>N</i>	Teilchenzahl (in Stück), N_A = <i>Avogadro</i> -Konstante
<i>P</i>	Leistung (elektr.) (von Engl.: <i>power</i>), elektr. Polarisation, Wirkleistung
<i>Q</i>	Ladungs-/Elektrizitätsmenge (Engl.: <i>quantity</i>), Wärme(-energie,-menge,-inhalt)
<i>R</i>	Widerstand (von Engl.: <i>resistance</i>), Allg. Gaskonstante, <i>Rydberg</i> -Konstante
<i>S</i>	Entropie <i>S</i> (Engl.: <i>entropy</i>), Energiestromdichte, Querschnitt, elektr. Stromdichte
<i>T</i>	Temperatur (thermodynamisch), Schwindungsdauer
<i>U</i>	Spannung (elektr.), innere Energie, Reaktionsenergie ΔU
<i>V</i>	Volumen, magnet. Spannung Einheit: Volt
<i>W</i>	Arbeit, Energie (Engl.: <i>work</i>), z. B. potenzielle oder kinetische Energie $W_{\text{kin.}}$ / $W_{\text{pot.}}$
<i>X</i>	Blindwiderstand, unbestimmter Stoff oder Komponente eines Stoffgemisches (auch Variable für chem. Formeln: X, Y)

1.4 Grundlegende Naturkonstanten

Tabelle 1.9: Grundbegriffe zu Stoffeigenschaften

Begriff	Definition, Kennzeichen
Naturkonstanten (physikalische Konstanten)	<ul style="list-style-type: none"> in physikalischen Gesetzen vorkommenden, stets gleichbleibenden und universell gültigen Größen und Werte (Kap. 1.4.1) unabhängig von Materialien und Stoffen
Stoffeigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> stoffspezifische Größen (Konstanten), wichtige Kenngrößen in der Chemie (Kap. 1.4.2, Kap. 4), in der Analytischen Chemie Erfassung mit Hilfe verschiedener Mess- und Analysemethoden (Nachweise)
Reinstoffe	<ul style="list-style-type: none"> haben unter gleichen Bedingungen stets konstante Eigenschaften, bestehen als chemische Verbindungen aus Elementen in ebenfalls stets gleichen Mengenverhältnissen
Stoffgemische	<ul style="list-style-type: none"> haben uneinheitliche, oft vom Mischungsverhältnis ihrer Komponenten (Bestandteile) abhängige (Stoff-)Eigenschaften, bestehen aus Komponenten in beliebigen Mischungsverhältnissen

Tabelle 1.10: Naturkonstanten

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
Boltzmann-Konstante (Entropie)	k = 1,38066 • 10 ⁻²³ J/K
Bohrscher Radius	a ₀ = 5,29177249 • 10 ⁻¹¹ m ≈ 52,9 pm
Dielektrizitätskonstante (des Vakuums)	ε ₀ = 8,854187817 • 10 ⁻¹² F / m
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
Feldkonstante, elektrische (im Vakuum)	ε ₀ = 8,854187817 • 10 ⁻¹² F / m
Gravitationskonstante	G = 6,6720 • 10 ⁻¹¹ N • m ² / kg ²
Ionenprodukt des Wassers (bei θ = 20°C)	K _W = c(H ⁺) • c(OH ⁻) 10 ⁻¹⁴ mol ² /L ²
Kernmagneton μ _N = e • h / (2π • 2 m _p)	μ _N = 5,05082 • 10 ⁻²⁷ J / T
kleinstmögliche Stoffmenge n = 1 mol / N _A	1,66 • 10 ⁻²¹ mmol (= 1 Molekül, Atom, Ion)
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	c = v ₀ = 299792458 m/s
Magnetische Permeabilität (im Vakuum)	μ ₀ = 4π • 10 ⁻⁷ J • C ⁻² • m ⁻¹ • s ²
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)
Planck'sches Wirkungsquantum	h = 6,6260755 • 10 ⁻³⁴ J/s
Protonenmasse (Ruhemasse des p ⁺)	m _p = 1,672631 • 10 ⁻²⁷ kg = 1,007276470 u
Rydberg-Konstante	R _∞ = 1,09737 • 10 ⁵ cm ⁻¹
Sonnenhelligkeit, visuelle H. der Sonne	L ₀ = 1,53 • 10 ⁵ cd (Astronomie: 1 L ₀ = -26,86 ^m)
Spezifische Ladung des Elektrons	-e/m _e = - 1,75881962 • 10 ¹¹ C / kg

Mathematik:

$$\pi = 3,14159265358979323846254338327950 \dots$$

$$e = 2,718281828459045235360228747135266 \dots$$

1.5 Elementsymbole, Isotope, Atommassen

- **Materie (Reinstoffe und Stoffgemische)** besteht aus **Atomen** und **Atomverbänden**.
- **Stoffportionen** werden nach ihrer Größe bzw. Menge unterteilt in:
 - makroskopisch groß (Teilchengröße über 10^{-4} mm, also noch per Lupe erkennbar),
 - kolloidal (mikroskopisch klein; Teilchengrößen von $5 \cdot 10^{-7}$ m bis hinab zu $1 \cdot 10^{-9}$ m),
 - submikroskopisch (Teilchengröße unter $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ mm}$: Atome, Ionen, Moleküle).

1.5.1 Grunddefinitionen und Grundgesetze der Chemie

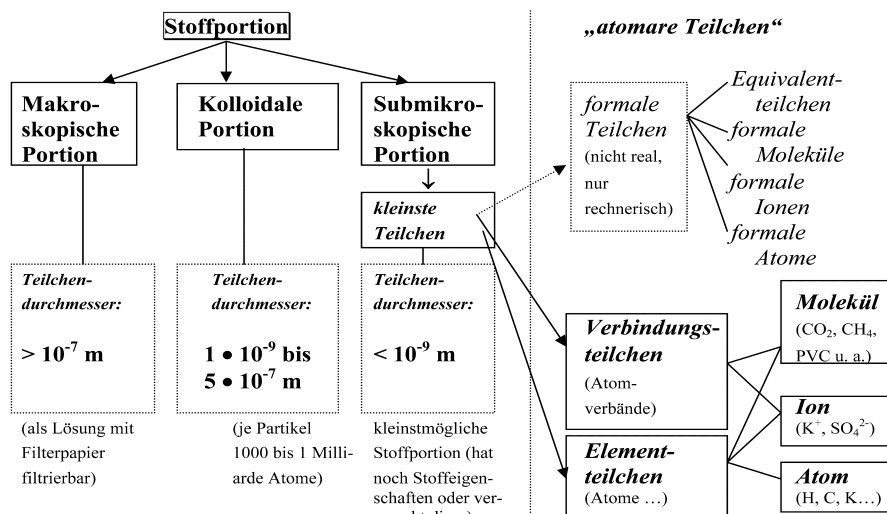


Tabelle 1.11: Grunddefinitionen und Grundgesetze der Chemie

Begriff, Gesetz	Aussage, Definition
Chemische Reaktion (Stoffumwandlung)	Vorgang, bei denen mindestens ein neuer Stoff entsteht (Beispiele: Stoffvereinigung, -zerlegung oder -umgruppierung)
Chemisches Element	Chemisch nicht zerlegbarer Reinstoff (kleinste Portion: Atom*)
Chemische Verbindung	Durch chemische Reaktionen zerlegbarer Reinstoff
Gesetz der Erhaltung von Masse und Energie (1. Grundgesetz der Chemie)	Die Gesamtmasse aller Stoffe sowie die Energie-Gesamtmenge vor und nach einer chemischen Reaktion bleibt bei stets gleich (<i>Grund</i> : Atome, kleinstmögliche Stoffportionen, bleiben erhalten)
Gesetz der konstanten Masseverhältnisse (2. Grundgesetz der Chemie)	Chemische Elemente reagieren miteinander immer in bestimmten, gleichbleibenden Masseverhältnissen (<i>Grund</i> : Atome eines Elementes weisen eine bestimmte chemische Wertigkeit und immer gleiche, typische Atommassen auf, s. RAM, Kap. 1.6.3)
Gesetz der vielfachen Masseverhältnisse (3. Grundgesetz der Chemie)	Bilden zwei Elemente miteinander mehrere verschiedene Verbindungen, so stehen deren Massen zueinander im Verhältnis kleiner, ganzer Zahlen. (<i>Grund</i> : Atomzahlenverhältnisse konstant)
Isotope	Atome* eines Elementes von unterschiedlicher Atommasse (<i>Grund</i> : gleiche Protonenzahl, ungleiche Neutronenzahl)

* **Atome** bestehen aus Nukleonen (Protonen und Neutronen im Atomkern) und aus Elektronen (in der Atomhülle, Kap. 1.6.2). Protonen- und Elektronenzahl neutraler Atome sind gleichgroß, ihre Neutronenzahl berechnet sich aus der Differenz der relativen Atommasse zur Protonenzahl.

1.5.2 Elementarteilchen

Tabelle 1.12: Teilchen-Arten

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

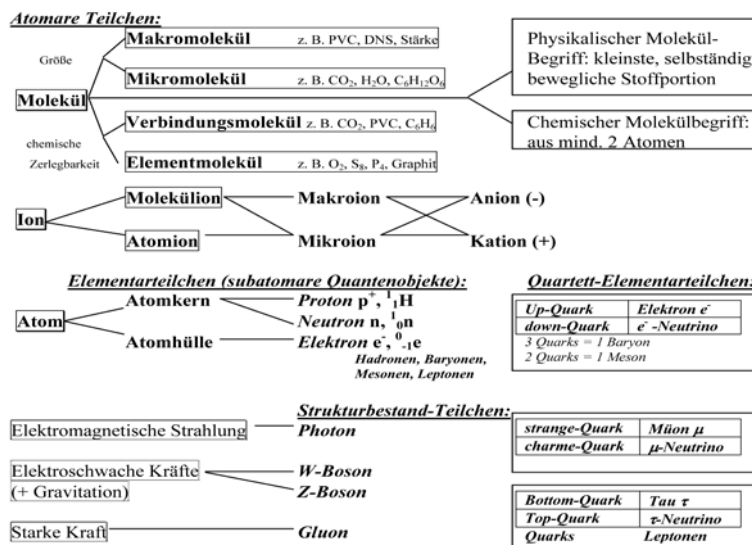


Tabelle 1.13: Elementarteilchen

Elementarteilchen (Symbol)	Masse <i>m</i> in kg	Masse in u *	Ladung in e	Ladung in C
Proton (p ⁺)	$m_p = 1,672631 \cdot 10^{-27}$	1,007276470	+ 1 e	+ 1,60217733 • 10 ⁻¹⁹
Neutron (¹ ₀ n)	$m_n = 1,674928 \cdot 10^{-27}$	1,008664904	± 0 e	± 0
Elektron (e ⁻)	$m_e = 9,1093897 \cdot 10^{-31}$	0,00054858	- 1 e	- 1,60217733 • 10 ⁻¹⁹

* Atomare Masseinheit (atomic mass unit): 1 u (1 amu) = 1,6605402 • 10⁻²⁷ kg

Kapitel 2: Arbeitsschutz und –sicherheit im Labor

2.1 Ge- und Verbotsschilder, Warn- und Rettungszeichen

Tabelle 2.1: Sicherheitsfarben




















Art der Kennzeichnung	Sicherheitsfarbe*	Bedeutung, Hinweis
Gebotszeichen (Kap. 2.1.2)	Rot (und weiß)	Vorschrift / Gebot zu beachten
Verbotsschilder (Kap. 2.1.1)	Blau (und weiß)	Verbot zu beachten
Warnzeichen (Kap. 2.1.3)	Gelb (und schwarz)	Warnung vor Gefahr / Risiko
Rettungszeichen (Kap. 2.1.4)	Grün (und weiß)	Fluchtweg, Erste-Hilfe
Gefahren-, Gefährdungssymbol	Rot (GHS), Orange (EU)	Gefährdung durch Gefahrstoff

* Ge- und Verbotsschilder und Warn- und Rettungszeichen werden in o. g. Sicherheitsfarben gekennzeichnet (nach DIN 4844-1 (2002-11), 4844-2 (2001-02) sowie BGV A8 (2002-04): rot (Kontrastfarbe weiß) für Verbote, blau (Kontrastfarbe weiß) für Gebote sowie gelb (Kontrastfarbe schwarz) für Warnzeichen und grün (Kontrastfarbe weiß) für Rettungszeichen.

Gefahrensymbole s. Kap. 2.2, Kennzeichnung von Gasen Kap. 2.7.

2.2 Gefahrensymbole, Kennbuchstaben und Gefahrenbezeichnungen

Tabelle 2.2: Gefahrensymbole

Symbol*	Beschreibung/ H-Sätze und Beispiele	EN-Symbol (alt)*
 GHS01	Explosionsfähige Stoffe bzw. selbstzersetzliche Stoffe / H200 bis H204, H240, H241 Beispiele: TNT, Pikrinsäure	
 GHS02	Entzündliche, leichtentzündliche und hochentzündliche Stoffe Produkte können sich schnell in der Nähe von Hitze oder Flammen entzünden / H220, H222 bis H226, H228, auch: H260, H261, H250 bis H252, H241, H242 Beispiele: Propan, Ether, Ethanal (Acetaldehyd)	  oder kein Symbol
 GHS03	Entzündend (oxidierend) wirkende Stoffe Produkte können unter Sauerstofffreisetzung reagieren und beschleunigen dadurch die Verbrennung H270 bis H272 / Beispiele: Sauerstoff, Kaliumchlorat	
 GHS04	Unter Druck stehende Gase Druckbehälter müssen vor Beschädigung und Hitzeeinwirkung geschützt werden / H280, H281 Beispiele: Druckgas, Flüssiggase wie Flüssigstickstoff	keine Kennzeichnung
 GHS05	Zerstörung von Haut oder Augen Produkte können bereits nach kurzem Kontakt Hautflächen mit Narbenbildung schädigen oder in den Augen zu dauerhaften Sehstörungen führen / H290, H314, H318 Beispiele: konz. Kalilauge, Flusssäure, konz. Salzsäure	 
 GHS06	Tödliche Vergiftung (akut) Produkte können selbst in kleinen Mengen auf der Haut, durch Einatmen oder Verschlucken zu schwerer oder gar tödlicher Vergiftung führen / H300, H301, H310, H311, H330, H331 / Beispiele: Brom, Blausäure, Flusssäure	
 GHS07	Gesundheitsgefährdung Produkte können in kleinen Mengen nicht zum Tod oder einem schweren Gesundheitsschaden führen, aber verursachen z. B. eine Reizung der Haut oder Atemwege, eine Allergie oder Betäubung (z. B. CMRF-Stoffe) H302, H312, H315, H317, H332, H335, H336 Beispiele: Limonen, n-Hexan, Cyclohexan	 oder
 GHS08	Schwerer Gesundheitsschaden 7 chronische Schädigung Produkte können schwere Gesundheitsschäden verursachen (Gefährdung einer Schwangerschaft, krebserzeugende Wirkung und ähnlich, CMRF-Stoffe) / H304, H334, H340, H341, H350, H351, H360, H361, H370-373 Beispiele: Benzen, Ammoniumisocyanat, Methanol	 oder
 GHS09	Gefährlich für Tiere und Umwelt Produkte können in der Umwelt kurz- oder langfristig Schäden verursachen, dürfen also keinesfalls ins Abwasser oder den Hausmüll gelangen / H400, H410, H411 Beispiele: Kupfer-II-sulfatlösung, Ammoniakwasser	

CMRF-Stoffe: Cancerogen, Mutagen, Reproduktionstoxisch, Fertilitätsbeeinträchtigend.

* **GHS-Gefährdungssymbole** (GHS = *global harmonized system*): in Form von Piktogrammen (schwarze Symbole auf weißem Hintergrund mit rotem Rand, weltweit im Gebrauch) in der EU seit 2010, **EN-Gefahrensymbole** (EN, Euro-Norm): In der EU noch bis 2010, für Zubereitungen bis 2016.

Tabelle 2.3: Gefahrenpotenziale

Gefahrenpotenzial	Gefahrenklassen-Anzahl im GHS	Alte Merkmals-Anzahl (EU-Normen)
Physikalisch	16	5
Gesundheitlich	11	9
Umweltbezogen	1 (EU: 2)	1

Tabelle 2.4: Sicherheitstechnische Abkürzungen

Kürzel	Bedeutung
ATE	<i>Acute Toxicity Estimate</i> , Schätzwert akuter Toxizität
ATP	<i>Amendment to Technical Progress</i> , Anpassung an den Technischen Fortschritt
CLP	<i>Regulation on Classification, Labelling and Packaging of Substances and Mixtures</i> , andere Bezeichnung für die EU-GHS-Verordnung
ECHA	<i>European Chemicals Agency</i> , Europäische Chemikalienagentur (in Helsinki)
GHS	Global Harmonisiertes System zur Chemikalien-Einstufung und Kennzeichnung
H-Hinweis	<i>Hazard statement</i> , Gefahrenhinweis (Kap. 2.3)
LD	Letale Dosis, tödliche Menge
P-Hinweis	<i>Precautionary statement</i> , Sicherheitshinweis (Kap. 2.4)
STOT	<i>specific target organ toxicity</i> , Spezifische Zielorgantoxizität
UNECE	<i>United Nations Economic Commission for Europe</i>

2.3 H-Sätze (Gefahrenhinweise, Auswahl)

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

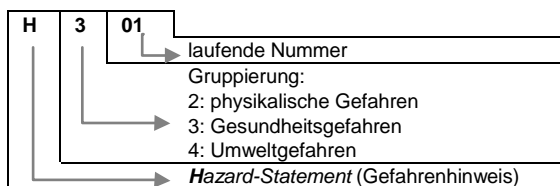


Tabelle 2.5: H-Sätze

Satz	Kurzbeschreibung (der ausgewählten Gefahrenhinweise)
H200	Instabil, explosiv
H201	Explosiv, Gefahr der Massenexplosion.
H202	Explosiv; große Gefahr durch Splitter, Spreng- und Wurfstücke.
H203	Explosiv; Gefahr durch Feuer, Luftdruck oder Splitter, Spreng- und Wurfstücke.
H204	Gefahr durch Feuer oder Splitter, Spreng- und Wurfstücke.
H220	Extrem entzündbares Gas.
H221	Entzündbares Gas.
H222	Extrem entzündbares Aerosol.
H224	Flüssigkeit und Dampf extrem entzündbar.
H225	Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar.
H226	Flüssigkeit und Dampf entzündbar.
H228	Entzündbarer Feststoff.
H240	Erwärmung kann Explosion verursachen.
H241	Erwärmung kann Brand oder Explosion verursachen.
H242	Erwärmung kann Brand verursachen.
H250	Entzündet sich in Berührung mit Luft von selbst.
H252	In großen Mengen selbsterhitzungsfähig; kann in Brand geraten.
H260	In Berührung mit Wasser entstehen spontan entzündbare Gase
H261	In Berührung mit Wasser entstehen entzündbare Gase.

Satz	Kurzbeschreibung (der ausgewählten Gefahrenhinweise)
H270	Kann Brand verursachen oder verstärken; Oxidationsmittel.
H271	Kann Brand oder Explosion verursachen; starkes Oxidationsmittel.
H272	Kann Brand verstärken; Oxidationsmittel.
H280	Enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren.
H281	Enthält tiefkaltes Gas; kann Kälteverbrennungen oder -verletzungen verursachen.
H290	Kann gegenüber Metallen korrosiv sein.
H300	Lebensgefahr bei Verschlucken.
H301	Giftig bei Verschlucken.
H302	Gesundheitsschädlich bei Verschlucken.
H304	Kann bei Verschlucken und Eindringen in die Atemwege tödlich sein.
H310	Lebensgefahr bei Hautkontakt.
H311	Giftig bei Hautkontakt.
H312	Gesundheitsschädlich bei Hautkontakt.
H314	Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.
H315	Verursacht Hautreizungen.
H317	Kann allergische Hautreaktionen verursachen.
H318	Verursacht schwere Augenschäden.
H319	Verursacht schwere Augenreizung.
H330	Lebensgefahr bei Einatmen.
H331	Giftig bei Einatmen.
H332	Gesundheitsschädlich bei Einatmen.
H335	Kann die Atemwege reizen.
H336	Kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen.
H340	Kann genetische Defekte verursachen ...
H341	Kann vermutlich genetische Defekte verursachen ...
H350	Kann Krebs erzeugen ...
H351	Kann vermutlich Krebs erzeugen ...
H360	Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen oder das Kind im Mutterleib schädigen ...
H362	Kann Säuglinge über die Muttermilch schädigen.
H400	Sehr giftig für Wasserorganismen.
H411	Giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung.

Tabelle 2.6: EUH-Sätze (ergänzen die H-Sätze um zusätzliche Gefährlichkeitsmerkmale)

EUH-Satz	Ergänzende Gefahrenmerkmale (Auswahl)
EUH 001	In trockenem Zustand explosionsgefährlich.
EUH 006	Mit und ohne Luft explosionsfähig.
EUH 014	Reagiert heftig mit Wasser.
EUH 019	Kann explosionsfähige Peroxide bilden.
EUH 029	Entwickelt bei Berührung mit Wasser giftige Gase.
EUH 031	Entwickelt bei Berührung mit Säure giftige Gase.
EUH 032	Entwickelt bei Berührung mit Säure sehr giftige Gase.
EUH 066	Wiederholter Kontakt kann zu spröder oder rissiger Haut führen.
EUH 070	Giftig bei Berührung mit den Augen.
EUH 071	Wirkt ätzend auf die Atemwege.
EUH 059	Die Ozonschicht schädigend.
EUH 201, EUH201A	Enthält Blei. Nicht für den Anstrich von Gegenständen verwenden, die von Kindern gekaut oder gelutscht werden könnten. Achtung! Enthält Blei.
EUH 202	Cyanacrylat. Gefahr. Klebt innerhalb von Sekunden Haut und Augenlider zusammen. Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen.
EUH 203	Enthält Chrom (VI). Kann allergische Reaktionen hervorrufen.

2.4 P-Sätze (Sicherheitsratschläge, Auswahl)

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

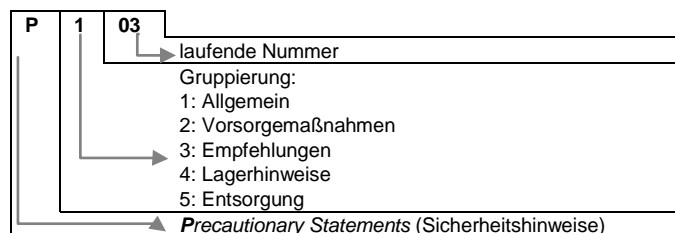


Tabelle 2.7: P-Sätze

P-Satz	Kurzbeschreibung (der ausgewählten Sicherheitshinweise)
P101	Ist ärztlicher Rat erforderlich, Verpackung oder Etikett bereithalten.
P102	Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen.
P103	Vor Gebrauch Kennzeichnungsetikett lesen.
P201	Vor Gebrauch besondere Anweisungen einholen.
P202	Vor Gebrauch sämtliche Sicherheitsratschläge lesen und verstehen.
P210	Von Hitze/Funken/offener Flamme/heißen Oberflächen fernhalten. Nicht rauchen.
P211	Nicht gegen offene Flamme oder andere Zündquelle sprühen.
P220	Von Kleidung/.../brennbaren Materialien fernhalten/entfernt aufbewahren.
P221	Mischen mit brennbaren Stoffen/... unbedingt verhindern.
P222	Kontakt mit Luft nicht zulassen.
P230	Feucht halten mit ...
P231	Unter inertem Gas handhaben.
P232	Vor Feuchtigkeit schützen.
P233	Behälter dicht verschlossen halten.
P234	Nur im Originalbehälter aufbewahren.
P235	Kühl halten.
P240	Behälter und zu befüllende Anlage erden.
P242	Nur funkenfreies Werkzeug verwenden.
P243	Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen treffen.
P244	Druckminderer frei von Fett und Öl halten.
P250	Nicht schleifen/stoßen/.../reiben.
P251	Behälter steht unter Druck: Nicht durchstechen oder verbrennen, auch nicht nach der Verwendung.
P260	Staub/Rauch/Gas/Nebel/Dampf/Aerosol nicht einatmen.
P262	Nicht in die Augen, auf die Haut oder auf die Kleidung gelangen lassen.
P263	Kontakt während der Schwangerschaft/und der Stillzeit vermeiden.
P270	Bei Gebrauch nicht essen, trinken oder rauchen.
P271	Nur im Freien oder in gut belüfteten Räumen verwenden.
P272	Kontaminierte Arbeitskleidung nicht außerhalb des Arbeitsplatzes tragen.
P273	Freisetzung in die Umwelt vermeiden.
P280	Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz/Gesichtsschutz tragen.
P281	Vorgeschriebene persönliche Schutzausrüstung verwenden.
P282	Schutzhandschuhe/Gesichtsschild/Augenschutz mit Kälteisolierung tragen.
P283	Schwer entflammare/flammhemmende Kleidung tragen.
P284	Atemschutz tragen.
P285	Bei unzureichender Belüftung Atemschutz tragen.

P-Satz	Kurzbeschreibung (der ausgewählten Sicherheitshinweise)
P301	BEI VERSCHLUCKEN: ... ((Angabe der Maßnahmen folgt, ggf. als weitere P-Sätze*))
P302	BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT: ...
P303	BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT (oder dem Haar): ...
P304	BEI EINATMEN: ...
P305	BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: ...
P306	BEI KONTAMINierter KLEIDUNG: ...
P307	Bei Exposition: ...
P308	Bei Exposition oder falls betroffen
P309	Bei Exposition oder Unwohlsein: ...
P310	Sofort GIFTINFORMATIONSZENTRUM oder Arzt anrufen.
P312	Bei Unwohlsein GIFTINFORMATIONSZENTRUM oder Arzt anrufen.
P314	Bei Unwohlsein ärztlichen Rat einholen/ärztliche Hilfe hinzuziehen.
P315	Sofort ärztlichen Rat einholen/ärztliche Hilfe hinzuziehen.
P320	Besondere Behandlung dringend erforderlich ((siehe ... auf Kennzeichnungsetikett)).
P330	Mund ausspülen.
P331	KEIN Erbrechen herbeiführen.
P333	Bei Hautreizung oder -ausschlag: ...
P334	In kaltes Wasser tauchen/nassen Verband anlegen.
P335	Lose Partikel von der Haut abbürsten.
P336	Vereiste Bereiche mit lauwarmem Wasser auftauen. ... Bereich nicht reiben.
P337	Bei anhaltender Augenreizung: ...
P338	Eventuell Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter ausspülen.
P340,	Die betroffene Person an die frische Luft bringen und in einer Position ruhigstellen, die das
P341	
P342	Bei Symptomen der Atemwege: ...
P350	Behutsam mit viel Wasser und Seife waschen.
P351	Einige Minuten lang behutsam mit Wasser ausspülen.
P352	Mit viel Wasser und Seife waschen.
P353	Haut mit Wasser abwaschen/duschen.
P360	Kontaminierte Kleidung und Haut sofort mit viel Wasser abwaschen und danach Kleidung ausziehen.
P361	Alle kontaminierten Kleidungsstücke sofort ausziehen.
P362	Kontaminierte Kleidung ausziehen und vor erneutem Tragen waschen.
P370	Bei Brand: ...
P371	Bei Großbrand und großen Mengen: ...
P373	KEINE Brandbekämpfung, wenn das Feuer explosive Stoffe/Gemische/... erreicht.
P374	Brandbekämpfung ... aus angemessener Entfernung.
P375	Wegen Explosionsgefahr Brand aus der Entfernung bekämpfen.
P376	Undichtigkeit beseitigen, wenn gefahrlos möglich.
P377	Brand von ausströmendem Gas: Nicht löschen, bis Undichtigkeit gefahrlos beseitigt werden kann.
P378	... zum Löschen verwenden.
P380	Umgebung räumen.
P381	Alle Zündquellen entfernen, wenn gefahrlos möglich.
P390	Verschüttete Mengen aufnehmen, um Materialschäden zu vermeiden.
* Beispiele für kombinierte P-Sätze:	
P301/P310	BEI VERSCHLUCKEN: Sofort GIFTINFORMATIONSZENTRUM oder Arzt anrufen.
P301/P312	BEI VERSCHLUCKEN: Bei Unwohlsein ... oder Arzt anrufen.
P302/P350	BEI KONTAKT MIT DER HAUT: Behutsam mit viel Wasser und Seife waschen.
P302/P352	BEI KONTAKT MIT DER HAUT: Mit viel Wasser und Seife waschen.

2.5 E-Sätze (Entsorgungsratschläge)

Tabelle 2.8: E-Sätze (Entsorgungsratschläge und -vorschriften, z. B. nach E-DIN 58126, Teil 2)

Satz	Bedeutung, Entsorgungsratschlag	Satz	Bedeutung, Entsorgungsratschlag
E 1	Verdünnen und in den Ausguss geben	E11	Als Hydroxid fällen (pH 8), den Niederschlag zu E 8
E 2	Neutralisieren und in den Ausguss geben (Säure-Base-Abfälle : Säuren neutralisierere man mit Na ₂ CO ₃ oder NaOH, Basen mit HCl oder H ₂ SO ₄)	E12	Nicht in die Kanalisation gelangen lassen (vgl. S 29)
		E13	Aus der Lösung mit unedlem Metall abscheiden lassen (z.B. mit Eisen)
E 3	In den Hausmüll geben (Stäube ggf. in Kunststoffbeuteln)	E14	Recycling -geeignet (Redestillation oder dem Recyclingunternehmen zuführen)
E 4	Als Sulfid ausfällen		
E 5	Mit Kalziumionen ausfällen, danach E1 oder E3	E15	Vorsichtig mit Wasser umsetzen und dabei evtl. freierwerdende Gase verbrennen, absorbieren oder stark verdünnt ableiten
E 6	Nicht in den Hausmüll geben		
E 7	Nicht in den Müll geben, der in einer Müllverbrennungsanlage verbrannt wird (nach E8 verfahren)!	E16	Entsprechend der folgenden „ Beseitigungsratschläge für besondere Stoffe “ beseitigen (siehe folgende Seite)
E 8	Der Sondermüll beseitigung zuführen		
E 9	In kleinsten Portionen offen im Freien verbrennen	E 27	Mit NaCl-Lösung behandeln (zur Ausfällung von AgCl, aus welchem Silber rückgewonnen wird).
E10	In gekennzeichneten Glasbehältern „ Organische Abfälle “ sammeln, danach E8 (dabei halogenfreie und halogenhaltige Abfälle getrennt sammeln !)		

• Hinweis zum Behälter für **Schwermetallabfälle**: Lösung stets oberhalb von pH = 8 halten, so dass die Schwermetalle ausfallen (Hydroxide und ggf. Sulfide). Obenstehende Lösung gelegentlich abgießen, neutralisieren und in den Ausguss geben. Schwermetallhydroxidschlamm eintrocknen und zur Entsorgungsstelle bringen (also E 4 und 8 und 13).

• Hinweise zu **E 13, Zementation**: Die Zementation mit Fe-Wolle dauert mehrere Stunden oder gar Tage, ist aber besonders auch im Hinblick auf Silber (zur Wiedergewinnung, auch aus AgCl) gut geeignet. E 13 gilt ebenfalls für Schwermetallsalze, die aber alternativ auch als Sulfide und Hydroxide gefällt werden können (E 4 und 11), so dass darüberstehende Lösung anschließend nach E 2 beseitigt werden kann, was Entsorgungskosten spart.

Hersteller und Anwender von **Gefahrstoffen** sind zu deren Kennzeichnung gemäß **GefStoffVO** sowie zu deren sachgerechter Entsorgung verpflichtet. Die aktuell gültigen **Hersteller-Anweisungen** zum Umgang mit dem jeweiligen Gefahrstoff sind über folgende Quellen in Erfahrung zu bringen:

- Sicherheitsdatenblätter / Herstellerinformationen (zusätzl. Quellen s. auch: [Kap.2.6](#)),
- **AGW-Werte** u. ähnl. aktuelle, konkrete Sicherheitsdaten (vgl. www.baua.de u. a.),
- systematische Benennung ([Kap. 3.3](#) und [Kap. 3.4](#), Näheres über www.iupac.org).

Tabelle 2.9: Beseitigungsratschläge für besondere Stoffe (E16ff)

Gefahrstoff	Beseitigungsratschlag
Alkali-metalle	vorsichtig und in erbsengroßen Portionen in einer Porzellanschale mit <i>tert.</i> -Butanol (2-Methyl-2-propanol) umsetzen (Li und Na evtl. auch mit Brennspritus). Danach die Lösung in den Behälter für saure und basische Abfälle geben
Chromat-lösungen, Chrom-schwefel-säure	Bei pH 2 mit Natriumhydrogensulfid umsetzen: $2 \text{CrO}_3 (\text{aq}) + 3 \text{HSO}_3^- + 3 \text{H}^+ \rightarrow 2 \text{Cr}^{3+} + 3 \text{SO}_4^{2-} + 3 \text{H}_2\text{O}$ Chromat und Dichromat können auch mit HCl oder H ₂ SO ₄ und unedlen Metallen (z.B. Zink) umgesetzt werden, wobei nach 1-3 Stunden grüne Cr ³⁺ -ionen entstehen. Diese im Sammelbehälter für Schwermetallionen als Cr(OH) ₃ ausfällen (E11)

Tabelle 2.9, Forts.:

Gefahrstoff	Beseitigungsratschlag
Formaldehyd	Lösung mit Harnstofflösung im Überschuss versetzen, einige Tropfen konz. Salzsäure zugeben. Das polymere Produkt nach 24 h in den normalen Hausmüll geben
Flusssäure	Im Plastikgefäß mit Kalkwasser (oder Ätzkalksuspension) umsetzen, Kalziumfluoridniederschlag abfiltrieren und in den Hausmüll geben
Halogene	Brom und Iod in Wasser geben und mit Natriumthiosulfatlösung umsetzen: $Br_2 + 2 S_2O_3^{2-} \rightarrow S_4O_6^{2-} + 2 Br^-$. Bromdämpfe und Chlorgas in Kalilauge einleiten: $Br_2 + 2 OH^- \rightarrow Br^- + OBr^- + H_2O$. Die Lösung mit den Halogenidionen ggf. neutralisieren und in den Ausguss geben (bei ca. pH 7-9)
Kalium- und Natriumcyanid	Lösung in eine Lösung von gleichen Teilen $FeSO_4 + FeCl_3$ geben, leicht erwärmen und umrühren, danach verdünnte Natronlauge bis zur alkalischen Reaktion zugeben. Der blaue Eisen-Cyanid-Komplex ist schwer löslich und somit ungefährlich. Reaktionen: $FeSO_4 + 2 NaCN \rightarrow Fe(CN)_2 + Na_2SO_4$ und $Fe(CN)_2 + 4 NaCN \rightarrow Na_4[Fe(CN)_6]$, danach Ausfällung als Berliner Blau: $3 Na_4[Fe(CN)_6] + 4 FeCl_3 \rightarrow Fe_4[Fe(CN)_6]_3 \downarrow$
Kohlenstoffverbindungen allgemein	Kleine Mengen in Porzellanschalen unter dem Abzug verbrennen. Schwerflüchtige und feste Verbindungen hierzu ggf. in einigen mL Benzin aufnehmen. Von dieser Regel ausgenommen sind explosive Stoffe wie Acetylide, organische Peroxide, Diazoverbindungen und Pikrinsäure. In Sammelbehältern für organische Stoffe halogenfreie und halogenhaltige Kohlenwasserstoffe getrennt sammeln!
Nitritlösungen	Mit Hypochloritlösungen oxidieren und danach mit viel Wasser wegspülen: $NO_2^- + OCl^- \rightarrow NO_3^- + Cl^-$

2.6 H-/P-/E-Sätze konkreter Gefahrstoffe

- **Ausschlaggebend sind die jeweils aktuell gültigen Sicherheitsdatenblätter und -banken des Gefahrstoff-Herstellers bzw. des Lieferanten und ggf. entsprechende Betriebsanweisungen des verantwortlichen Sicherheitsbeauftragten (Ausbilder, Fachlehrkraft usw.).**
- **Informationen zur Gefahrstoff-Kennzeichnung, H- und P-Sätze für konkrete Gefahrstoffe sowie GHS-Konverter zur Ermittlung von H- und P-Sätzen aus den R- und S-Sätzen von vor 2010 finden sich zusätzlich unter:**

Tabelle 2.10: Links zu Gefahrstoffen

Information, Daten	Aktuelle, amtliche Quelle, Link
Übersicht über GHS	http://www.bgchemie.de/REACH-GHS (Berufsgenossenschaft Chemie) http://de.wikipedia.org/wiki/Global_harmonisiertes_System_zur_Einstufung_und_Kennzeichnung_von_Chemikalien
H- und P-Sätze nach GHS sowie bisherige R- und S-Sätze der EU	www.baua.de (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin) unter Chemikalien/REACH/Biozide u. a. http://www.betriebsanweisung.de/ghs/index.htm
GHS-Konverter	http://www.gischem.de (Gefahrstoff-Informationssystem der Berufsgenossenschaft Chemie GisChem)
Einstufung und Kennzeichnung	http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Einstufung-und-Kennzeichnung/GHS/GHS.html?_nnn=true&_nnn=true
Liste der CMR-Stoffe	http://www.baua.de/nn_18534/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Einstufung-und-Kennzeichnung/doc/CMR-Gesamtliste.doc
Detaillierte, aktuelle Gefahrstoff-Datenbanken	Institut für Arbeit und Gesundheit: www.dguv.de/bgag Berufsgenossenschaftliches Prüf- und Zertifizierungssystem PRÜFZERT: www.dguv.de/bg-pruefzert
Daten zu Arbeitssicherheit und zu Analysemethoden für Schad- und Gefahrstoffe	Institut für Arbeitsschutz BGI/A: www.dguv.de Berufsgenossenschaftliche Akademie für Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz Dresden: www.dguv.de/bg-akademie

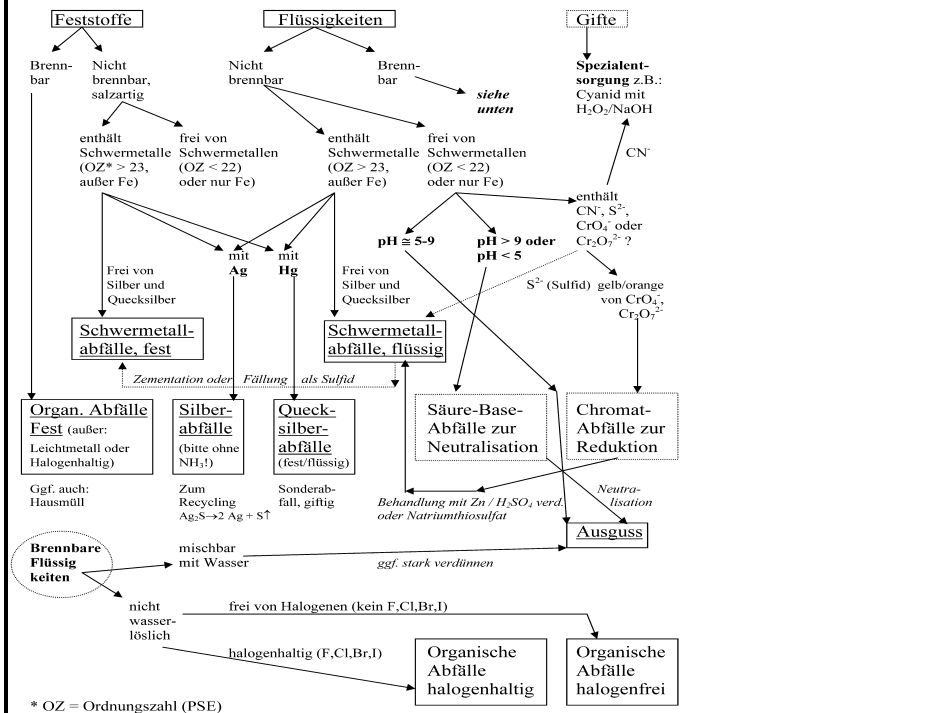
2.7 Kennzeichnung von Laborgasen

Tabelle 2.11: Laborgasflaschen-Farbkennzeichnung

Gas (Formel, A-Z)	Flaschenhals nach DIN EN 1089-3	Flaschenmantel nach DIN EN 1089-3	Veraltet auch:
Ar	Dunkelgrün (N schwarz)	Grau	Grau
Ar+CO ₂ / Luft	Neongrün (N schwarz)	Grau	Grau
C ₂ H ₂ (Ethin)	Kastanienbraun (N weiß)	Kastanienbraun	Gelb
CO ₂	Grau	Grau	Grau
He	Braun (N schwarz)	Grau	Grau
H ₂	Rot	Rot	Rot
Kr, Ne, Xe	Neongrün (N schwarz)	Grau *	Grau / Schwarz
Luft (synthet.)	Weiß / schwarz (N blau)	Weiß	Blau
N ₂ *	Schwarz (N weiß)	Grau*	Grün
N ₂ +H ₂ *	Rot (N schwarz)	Grau	Rot / Grün
N ₂ O (Lachgas)	Weiß (N schwarz)	Blau	Grau
O ₂ (techn.)	Weiß (N schwarz)	Blau	Blau
O ₂ (med.)	Weiß (N schwarz)	Weiß	Weiß / Blau
O ₂ +He	Weiß / braun (N schwarz) □	Weiß	Blau

* Bei N₂ kann der Mantel nach DIN EN 1089-3 auch dunkelgrün oder schwarz, bei Xe/Kr/Ne auch neongrün sein. N₂-H₂-Gemische werden als Ballon- und Formiergas eingesetzt (techn.).

2.8 Entsorgung



Kapitel 3: Stoffe, Elemente: Nomenklatur und Formeln

Zur Auftrennung von Stoffgemischen (inkl. Reinigung von Stoffen):

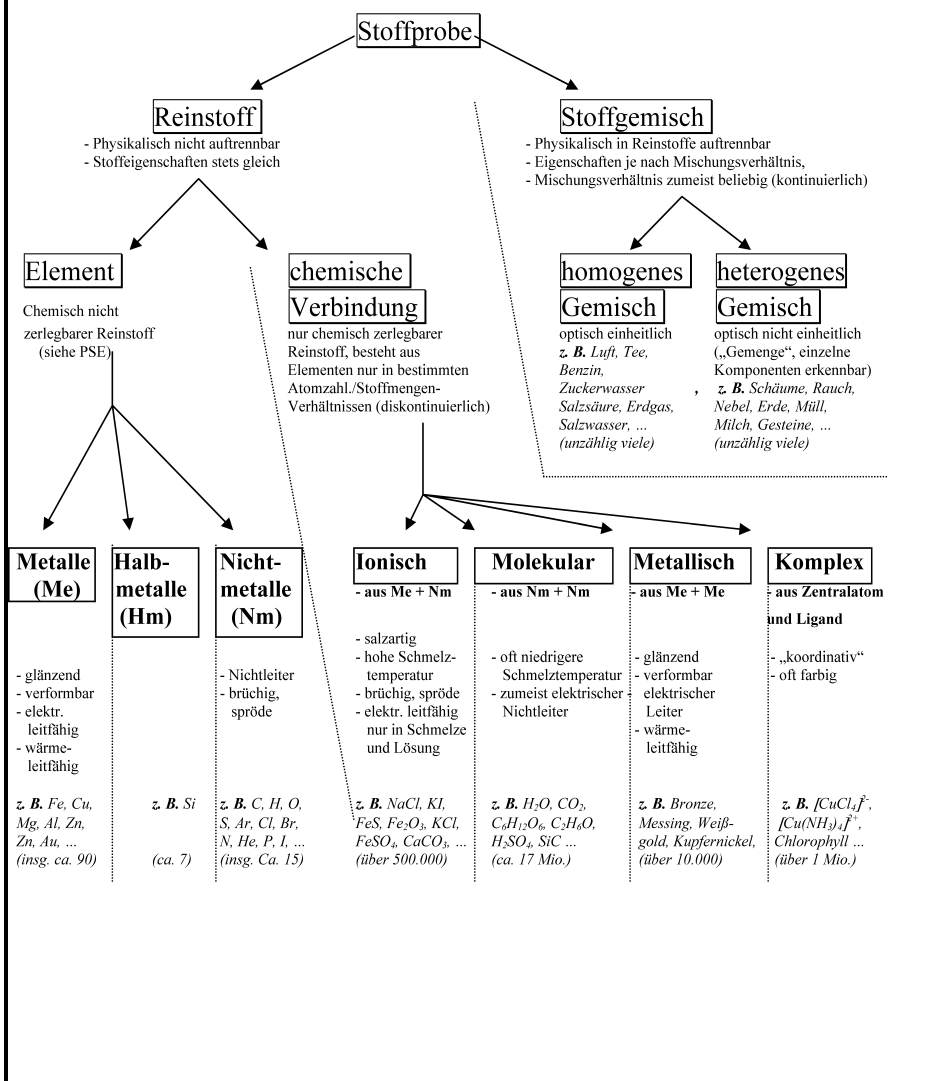
Stoffgemisch	Trennwirkung* ↔ Stoffeigenschaft	Stofftrennverfahren
Stoffgemisch		
fest / fest		
heterogen (Gemenge)	mech. Korngröße, Dichte	Klassieren, Sieben, Dichtesortieren
	mag. Magnetisierbarkeit	Magnetscheiden (Magnetsortieren)
homogen (Gemisch)	phys. Benetzbarkeit Löslichkeit	Schwimmaufbereitung (Flotation) Extrahieren, Digerieren
fest / flüssig		
Dispersion, Suspension	chem. Reaktionsfähigkeit (Reaktivität, Affinität)	Aus- und Umfällen, Aussalzen, Ionenaustausch
Kolloid	therm. Siede-, Schmelzpunkt	Eindampfen, Trocknen, Sublimieren, Aus- und Umkristallisieren, Ausfrieren
Lösung	mech. Teilchengröße, Löslichkeit Dichte, Löslichkeit	Filtern, Auspressen, (auch: Druck-, Saugfiltration) Absetzen (Sedimentieren), Abgießen (Dekantieren), Zentrifugieren, Ultrazentrifugieren
flüssig / flüssig		
Emulsion	chem. Reaktionsfähigkeit (Reaktivität, Affinität)	Ionenaustausch
	therm. Siede-, Schmelzpunkt	Destillieren, Rektifizieren
Homogen (Lösung)	phys. Löslichkeit	Extrahieren (Flüssig-Flüssig-Extraktion)
fest / gasförmig (Stäube, Rauch)		
	mech. Teilchengröße	Zyklon-, Naß-, Filtrationsentstaubung
flüssig / gasförmig (Aerosol)		
	el. elektrische Aufladbarkeit (Ionisierbarkeit)	Elektrofiltration (Elektrofilter-Entstaubung)
	phys. und chem. Absorptionsfähigkeit, Adsorptionsfähigkeit, Löslichkeit, Affinität	selektiv Absorbieren, Gaswäsche, Adsorbieren, Trocknen, Chemisorption, katalytische Reaktion
gasförmig / gasförmig (Gasgemisch)		
	therm. bzw. phys. Kondensations- bzw. Sublimationspunkt	Kondensieren, Resublimieren (Druck-, Tiefkühlverflüssigung)

* **chem.** chemisch, **phys.** physikalisch: **mech.** mechanisch, **therm.** thermisch, **el.** elektrisch, **mag.** magnetisch

Definitionen:

- Stofftrennverfahren sind rein physikalische Vorgänge, Gemische werden in Reinstoffe aufgetrennt (s. o.)
- Chemische Reaktionen sind Stoffumwandlungen (mindestens ein neuer Stoff entsteht).
- Stoffgemische sind physikalisch in Reinstoffe auftrennbare Stoffportionen (s. Stofftrennverfahren).
- Chemische Elemente sind chemisch unzerlegbare Reinstoffe,
- chemische Verbindungen sind chemisch (durch Reaktionen) zerlegbare Reinstoffe.
- Chemische Reaktionen (Analyse): Chemische Verbindungen werden in Bestandteile (z. B. Elemente) zerlegt.

Einteilung von Stoffgemischen und Reinstoffen (in Elemente und Verbindungen):



Zur Entstehung und Häufigkeit der Elemente im Universum

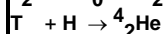
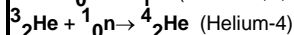
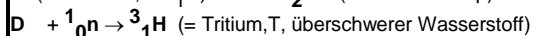
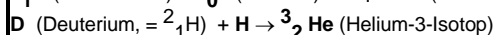
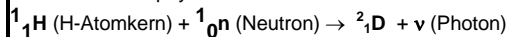
Vor rund 14 - 20 Milliarden Jahren begannen Zeit, Raum und Energie sich explosionsartig von einem einzigen Punkt aus auszudehnen ("big bang", Urknall). Unvorstellbare hohe Energiemengen und -dichte wies dieses "Baby-Universum" auf, Temperaturen um 10^{32} Kelvin. Durch Ausdehnung und Abkühlung konnten "Quarks" entstehen - aus reiner Energie.

10^{-7} Sekunden nach dem Urknall - bei 10^{14} Grad - vereinigten sich diese zu Elementarteilchen wie Proton (Symbol: p^+ oder ${}^1_1\text{H}^+$), Neutron (1_0n) und Elektron (e^-) sowie zu ihren "Gegenspielern", dem Antineutron (n^*), Antiproton (p^-) und Antielektron (e^+).

Als jedoch nur noch 10^{14} Grad Hitze im Weltall herrschten, vernichteten sich all diese Materie- und Antimaterieteilchen gleichzeitig unter Umwandlung in Energie - bis auf einen winzigen Rest, einen kleinen Überschuss an Materie. Hieraus besteht das ganze, heutige Universum.

Bei 10^9 Grad (etwa 2-3 Sekunden nach dem Urknall) konnten sich diese übriggebliebenen Protonen, Neutronen und Neutrinos mit Elektronen zu den ersten Atomen vereinigen: Denen des Elementes Wasserstoff. Dadurch nämlich, daß ein Proton ein Elektron einfängt, entsteht ein Wasserstoffatom (chem. Elementsymbol: H, Masse- und Ordnungszahl: jeweils 1): $p^+ + e^- \rightarrow {}^1_1\text{H}$ - das einfachste und kleinste Atom, das es gibt. Einige dieser H-Atome (${}^1_1\text{H}$ -Isotope) nahmen auch Neutronen in den Atomkern auf, sodaß durch Verschmelzung von Proton (im Atomkern) und Neutron neue, schwerere Atomsorten (Isotope) entstanden: schwerer Wasserstoff (Symbol: ${}^2_1\text{H}$ oder D wie Deuterium) und Helium (in den beiden "Sorten" ${}^3_2\text{He}$ und ${}^4_2\text{He}$).

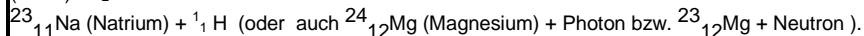
Ablaufende kernphysikalische Prozesse:



Rote Riesensterne verschmelzen Heliumkerne zu Kohlenstoff und Sauerstoff, in ihrer Endphase diese dann zu Natrium, Silizium, Schwefel, Kalzium u.a. bis hin zum Eisen. Bei Nova- und Supernova-Explosionen können dann auch schwere Elemente entstehen:

a) Sterne mit weniger als 0,1 Sonnenmassen (M_{\odot}) erreichen das **Stadium der Wasserstoff-Fusion** nie, aber ab 0,4 M_{\odot} wird die Fusion von He-Atomkernen nach $3 {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{12}_6\text{C}$ möglich (**Heliumfusion**).

b) Ab 0,7 M_{\odot} ist die **Kohlenstoff-Fusion** möglich, in der je 2 C-Atomkerne verschmelzen, um ${}^{20}_{10}\text{Ne}$ (Neon) + ${}^4_2\text{He}$ zu bilden - oder



Im Zuge des Heliumbrennens entsteht "nebenbei" auch Sauerstoff: ${}^{12}_6\text{C} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{16}_8\text{O} + \text{Photon}$.

c) Ab ca. 1,4 Mrd. Kelvin verschmelzen je 2 **Sauerstoff**-Atomkerne zu Silizium-28, Phosphor-31 oder den beiden Schwefelisotopen ${}^{32}_{16}\text{S}$ + ${}^{31}_{16}\text{S}$, - alternativ auch zu Chlor und Argon.

d) Riesensterne ($m > 1 M_{\odot}$) erreichen Zentraltemperaturen, in denen sogar der Aufbau von Elementen bis hin zum **Eisen** möglich wird, - und zwar umso schneller, je massereicher sie bei ihrer Bildung sind.

e) Ein Stern mit 20 M_{\odot} schleudert bei seiner Explosion als **Supernova** mehrere Sonnenmassen Materie

in das All. Bei Temperaturen von über 4 Mrd. Kelvin entstehen hier auch noch **schwerere** Elemente, wobei Atome wie z.B. Eisen unter Energieaufnahme z. B. zu U- + Pb-Atomen fusionieren.

Bei jeder Atombombenexplosion und in jedem Kernkraftwerk können also aus den "Brennelementen" nur jene Energien gewonnen werden, die bei der Explosion dieser Supernovae in jene überschweren Atomkerne hineingeschmolzen wurde; Näheres zur Entstehung der Elemente vgl. Lexikonartikel zur „Nukleosynthese“, z. B. unter www.de.wikipedia.org/wiki/nukleosynthese und ebd. unter „Kosmochemie“, zur Entstehung chemischer Verbindungen ebd. Im Artikel über „chemische Evolution“.

Entsprechend dieser Entstehungsgeschichte wird die Häufigkeitsverteilung der Atomsorten im Kosmos erklärbar: Auf jeweils 1 Billion, also 10^{12} H-Atome kommen im Universum daher zum Beispiel:

- fast 100 Milliarde He-Atome ($10^{10,8}$),
- je etwa 10-100 Lithium-, Beryllium- und Boratome ($10^{2,9} - 10^{2,2}$)
- je etwa 100 Millionen C-, N-, O- und Ne-Atome ($10^{8,8} - 10^{7,9}$)
- fast ebenso häufig auch Elemente wie Na, K, S, Si, Fe -
- aber nicht einmal mehr 10 Silberatome ($10^{0,7}$).

Interstellare Materie" enthält die chem. Elemente in ähnl. Verteilungen. Hier haben die Atome jedoch aufgrund niedrigerer Temperaturen ihre Außenelektronen, sodaß auch chemische Verbindungen entstehen können, Gase und Stäube zwischen den Sternsystemen.

Zusammensetzung der interstellaren Materie: (Durchschnittsangaben)

99% Gas		60% H-Atome; 38% Heliumgas; 2% weitere Elemente.
1% Staub	bzw.	

Die interstellaren Staubkörnchen haben im Schnitt Durchmesser von ca. 10^{-6} cm.

Zur Größe von Atomen:

Atome sind die kleinstmöglichen Stoffportionen der Elemente, also deren kleinstmögliche Teilchen. Man kann zwar auch Atome inzwischen schon spalten, jedoch hat man dann nicht mehr das betreffende Element mit seinen charakteristischen Eigenschaften vor sich, sondern - nach jener nuklearen Explosion - radioaktive Spaltprodukte.

Alle Atome eines Elementes sind einander (fast) völlig gleich, jedes Element hat seine eigene Atomsorte. Atome sind unsichtbar klein - man bräuchte eine Kette von ca. 40000000 Atomen (40 Millionen), um eine Kettenlänge von 1 mm zu erreichen - oder 6000000000000000000 Al-Atome (6×10^{19} oder 60 Trillionen), um einen Aluminiumwürfel mit einer Kantenlänge von 1 mm zu erhalten.

Wenn chem. Elemente miteinander reagieren, so verbinden sich ihre Atome untereinander zu **Molekülen**, oder es entstehen **Ionen**.

Elektronenkonfiguration in den Atomhüllen:

1) Elektronenkonfiguration der Hauptgruppenelemente (in PSE-Anordnung)

a) Bei den Edelgasen:

He = $1s^2$
Ne = $2s^2 2p^6$
Ar = $3s^2 3p^6$
Kr = $3d^{10} 4s^2 4p^6$
Xe = $4d^{10} 5s^2 5p^6$
Rn = $4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^6$

b) Hauptgruppe I bis VII:

H = $1s^1$						
[He]2s ¹	[He]2s ²	B = [He] 2s ² p ¹	C = [He] 2s ² p ²	N = 2s ² p ³	O = 2s ² p ⁴	F = 2s ² p ⁵
[Ne]3s ¹	[Ne]3s ²	Al = [Ne] 3s ² p ¹	Si = [Ne] 3s ² p ²	P = 3s ² p ³	S = 3s ² p ⁴	Cl = 3s ² p ⁵
[Ar]4s ¹	[Ar]4s ²	[Ar]3d ¹⁰ 4s ² p ¹	[Ar]3d ¹⁰ 4s ² p ²	3d ¹⁰ 4s ² p ³	3d ¹⁰ 4s ² p ⁴	3d ¹⁰ 4s ² p ⁵
[Kr]5s ¹	[Kr]5s ²	[Kr]4d ¹⁰ 5s ² p ¹	[Kr]4d ¹⁰ 5s ² p ²	4d ¹⁰ 5s ² p ³	4d ¹⁰ 5s ² p ⁴	4d ¹⁰ 5s ² p ⁵
[Xe]6s ¹	[Xe]6s ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² p ¹	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² p ²	4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² p ³	4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² p ⁴	4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² p ⁵
[Rn]7s ¹	[Rn]7s ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² p ¹	OZ 114	OZ 115	OZ 116	

2) Elektronenkonfiguration der Nebengruppenelemente

III A	IV A	V A	VI A	VII A	VIII A	I A	I B		
Sc= [Ar]3d ¹ 4s ²	Ti=[Ar] 3d ² 4s ²	V=[Ar] 3d ³ 4s ²	Cr=[Ar] 3d ⁴ 4s ²	Mn=[Ar] 3d ⁵ 4s ²	Fe=[Ar] 3d ⁶ 4s ²	Co=[Ar] 3d ⁷ 4s ²	Ni=[Ar] 3d ⁸ 4s ²	Cu=[Ar] 3d ¹⁰ 4s ¹	Zn=[Ar] 3d ¹⁰ 4s ²
Y=[Kr] 4d ¹ 5s ²	Zr=[Kr] 4d ² 5s ²	Nb=[Kr] 4d ⁴ 5s ¹	Mo=[Kr] 4d ⁵ 5s ¹	Tc=[Kr] 4d ⁶ 5s ¹	Ru=[Kr] 4d ⁷ 5s ¹	Rh=[Kr] 4d ⁸ 5s ¹	Pd= [Kr]4d ¹⁰	Ag=[Kr] 4d ¹⁰ 5s ¹	Cd=[Kr] 4d ¹⁰ 5s ²
La=[Xe] 5d ¹ 6s ²	[Xe]4f ¹ 4 5d ² 6s ²	[Xe]4f ¹ 4 5d ³ 6s ²	[Xe]4f ¹ 4 5d ⁴ 6s ²	[Xe]4f ¹ 4 5d ⁵ 6s ¹	[Xe]4f ¹ 4 5d ⁶ 6s ²	[Xe]4f ¹ 4 5d ⁷ 6s ²	[Xe]4f ¹ 4 5d ⁹ 6s ¹	[Xe]4f ¹ 4 5d ¹⁰ 6s ¹	[Xe]4f ¹ 4 5d ¹⁰ 6s ²
Ac= [Rn] 6d ¹ 7s ¹	Rf= [Rn]5f ¹ 4 6d ² 7s ²	Db= [Rn]5f ¹ 4 6d ³ 7s ²	Sg= [Rn]5f ¹ 4 6d ⁴ 7s ²	Bh= [Rn]5f ¹ 4 6d ⁶ 7s ¹	Hs= [Rn]5f ¹ 4 6d ⁶ 7s ²	Ds= [Rn]5f ¹ 4 6d ⁷ 7s ²	Rg= [Rn]5f ¹ 4 6d ⁹ 7s ²	Cp = ...	OZ 113

Atome und Moleküle (Definitionen):

Atome sind die kleinstmöglichen Stoffportionen der Elemente.

Moleküle sind Atomverbände aus mindestens zwei Atomen (in molekularen Verbindungen).

Ionen sind elektrisch geladene Atome oder Atomverbände (in ionischen Verbindungen).

Atomsorten und Elemente im PSE:

		Nebengruppenelemente (Gruppen: IIIA bis IIA)										III	IV	V	VI	VII	VIII	
I	II	← "s-Block" ↓ "d-Block" "p-Block" →																
1	H																	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 (noch unbenannt)					

Edelgase schwarz unterlegt, weitere Nichtmetalle dunkelgrau, Halbmetalle hellgrau, Metalle weiß.

Zur Bildung ionischer Bindungen:

Mertallatome geben Außenelektronen ab, werden zu Kationen (+),

Nichtmetallatome nehmen Elektronen auf, werden zu Anionen (-),

entgegengesetzt geladene Ionen bilden Ionenkristalle (Ionenbindung, salzartige Verbindungen).

Zur Bildung nichtionischer Bindungen:

Atomorbitale (Symbol: AO; Kap. 3.1.1) vereinigen sich zu Molekülorbitalen (MOs),

ggf. zuvor Bildung von Mischorbitalen in angeregten Atomen

(Hybridisierung, Überlagerungszustände, genannt Hybridorbitale, HO in Atombindungen)

Tabelle 3.1: 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}	AB	d_{AB}
B-B	176	O-O	148	B-N	156	C-Br	194	Si-Si	232	S-S	205	H-F	92
B=B	156	O=O	121	C-N	147	C-I	214	Si-H	148	S-F	158	H-Cl	127
B≡B	142	S-S	205	C=N	130	C-S	182	Si-F	156	SCl	199	H-Br	141
C-C	154	S=S	189	C≡N	116	C-Si	185	Si-Cl	202	SBr	227	H-I	161
C=C	134	F-F	142	C-O	143	C-H	108	Si-Br	216	S-I	-	P-Cl	203
C≡C	120	Cl-Cl	199	C=O	119	O-F	197	Si-I	243	S-H	134	As-Cl	217
N-N	145	Br-Br	228	C-S	181	O-Cl	168	Si-O	163	N-H	101	As=Cl	197
N=N	125	I-I	267	C-F	197	O-Br	187	Si-N	-	P-H	147	Sb-N	205
N≡N	110	H-H	74	C-Cl	177	S-O	174	Si-C	185	O-H	148	Sb=N	181

3.1 Grundwissen und Trivialnamen

Grundwissen der Chemie (Merksätze Schulwissen):

- 1) Chemische **Reaktionen** sind Vorgänge, bei denen mindestens ein neuer Stoff entsteht (Stoffumwandlung in Form von Stoffvereinerung, -zerlegung oder -umgruppierung)
- 2) Die Gesamtmasse aller Stoffe sowie die Energie-Gesamtmenge vor und nach der Reaktion bleibt bei chemischen Reaktionen stets gleich (**Gesetz von der Erhaltung von Energie und Masse**).
- 3) **Chemische Elemente** reagieren miteinander immer in bestimmten, gleichbleibenden Masseverhältnissen (**Gesetz der konstanten Masseverhältnisse**).
- 4) **Fällungsreaktionen** sind Reaktionen zwischen Ionen in Lösung, bei denen wasserunlösliche Stoffe entstehen, so genannte Niederschläge oder Ausfällungen. Der Niederschlag kann in der Regel abfiltriert werden (als Filterrückstand; übrig bleibt das Filtrat).
- 5) **Fällungsmittel** sind Reagenzlösungen, die mit bestimmten Ionen in Lösungen so reagieren, dass diese ausgefällt werden (unlösliche Niederschläge bilden).
- 6) **Nachweisreaktionen** sind Reaktionen, bei denen ein Reagenz (das **Nachweismittel**) mit einem ganz bestimmten, nachzuweisenden Stoff (der Probe, dem **Analyt**) auf eine ganz spezifische Weise so reagiert, dass charakteristische, gut wahrnehmbare Niederschläge, Färbungen oder Gerüche (bei Gasen) entstehen.
- 7) **Störungen** von Nachweisreaktionen laufen ab, wenn andere Stoffe mit dem Nachweismittel so reagieren, dass sie dessen An- oder Abwesenheit vortäuschen und das Ergebnis der Nachweisreaktion somit fälschen können. (**Entstörung**: Der störende Stoff wird abgetrennt oder in einen anderen, nicht störenden Stoff umgewandelt).
- 8) **Säure-Base-Reaktionen** sind Reaktionen, bei denen **Protonen** ausgetauscht werden (Protonenübertragungs- oder Protolyse-Reaktionen, ein Proton ist ein positiv geladenes Wasserstoffion H^+).
- 9) Eine **Säure** ist ein Stoff, der Protonen (H^+ -Ionen) abgeben kann:
Säure $HA \rightarrow H^+ + A^-$. In Wasser gelöste Säuren enthalten **Hydronium-** bzw. H_3O^+ -Ionen. Besonders starke Säuren (Stoffe mit hohem Bestreben, Protonen abzugeben) sind Schwefel-, Salpeter- und Salzsäure. Saure Lösungen weisen pH-Werte unter 7 auf.
- 10) Der **pH-Wert** ist ein Maß für den „Säuregrad“ einer Lösung. Er entspricht dem negativen dekadischen Logarithmus der H_3O^+ -Konzentration:
 $pH = -\log c(H_3O^+) \Rightarrow c(H_3O^+) = 10^{-pH} \text{ mol/L}$.
- 11) Eine **Base** ist ein Stoff, der Protonen aufnehmen kann:
 $B + H^+ \rightarrow HB^+$ (Beispiel: Ammoniak). In Wasser gelöste Basen enthalten **Hydroxid-** bzw. OH^- -Ionen und werden **Laugen** genannt. Besonders starke Basen sind Natron- und Kalilauge. Basische Lösungen weisen pH-Werte über 7 auf.
- 12) Der **pOH-Wert** entspricht dem negativen dekadischen Logarithmus der OH^- -Konzentration:
 $pOH = -\log c(OH^-) \Rightarrow c(OH^-) = 10^{-pOH} \text{ mol/L}$. Für eine Lösung gilt: $pH + pOH = 14$.
- 13) Als **Autoprotolyse** bezeichnet man die Säure-Base-Reaktion des Wassers mit sich selbst:
 $H_2O + H_2O \rightarrow H_3O^+ + OH^-$.
Für Wasser und neutrale Lösungen gilt: $c(H_3O^+) = c(OH^-) = 10^{-7} \text{ mol/L}$, d. h.: $pH = 7$.
- 14) **Redoxreaktionen** sind Reaktionen, bei denen **Elektronen** ausgetauscht werden (Sie heißen auch: Elektronenübertragungs- oder Ladungsaustausch-Reaktionen).
- 15) Eine **Oxidation** ist die Abgabe von Elektronen (an das Oxidationsmittel). Dabei wird die Ladungs- oder Oxidationszahl größer.
- 16) Eine **Reduktion** ist die Aufnahme von Elektronen (vom Reduktionsmittel). Dabei wird die Ladungs-/Oxidationszahl reduziert (kleiner).
- 17) Ein **Oxidationsmittel** ist ein Stoff, der andere Stoffe gut oxidieren kann (der ein hohes Bestreben hat, Elektronen aufzunehmen).
Wichtige Oxidationsmittel sind Sauerstoff, die Halogene, Wasserstoffperoxid, Edelmetallkationen und Verbindungen von Elementen mit ungewöhnlich hoher Oxidationszahl (z. B. Chromat-VI, Perchlorsäure, Blei-IV-oxid, Kaliumpermanganat, Salpeter, konz. Salpetersäure). Das stärkste Oxidationsmittel ist Fluorgas (F_2).

- 18) Ein **Reduktionsmittel** ist ein Stoff, der andere Stoffe gut reduzieren kann (also ein hohes Bestreben hat, Elektronen abzugeben).
Wichtige Reduktionsmittel sind unedle Metalle, Wasserstoffgas (ins Besondere atomarer Wasserstoff), Kohlenstoff und Kohlenwasserstoffe und Verbindungen von Elementen mit ungewöhnlich niedriger Oxidationszahl (z. B. Hydride mit H^- -Anionen, Nitrite, Sulfite, Thiosulfate, Eisen-II- und Zinn-II-Salze).
Die stärksten Reduktionsmittel sind Caesium, Rubidium und atomarer Wasserstoff.
- 19) Ein **Galvanisches Element** ist ein System, in dem Reduktion und Oxidation freiwillig und getrennt ablaufen können, so dass elektrische Spannung aufgebaut und Strom fließen kann. Es besteht z. B. aus zwei verschiedenen Metallen in einer Elektrolytlösung.
- 20) Als **Redoxpotenzial** bezeichnet man die zwischen zwei Halbzellen eines galvanischen Elementes aufgebaute Spannung (Standard-Redoxpotenzial: bei $+25\text{ }^\circ\text{C}$, 1013 hPa Gasdruck und bei Elektrolytlösungen mit $c = 1\text{ mol/L}$).
- 21) Die **Spannungsreihe der Metalle** ist die Auflistung der Metalle, angeordnet nach ihrer Reduktionskraft (dem „Redoxpotenzial“). Sie beginnt mit den Metallen höchster Reduktionskraft (Alkalimetalle), geht über das System Wasserstoff/Säure (H_2/H^+ , Redoxpotenzial gleich Null) und endet bei den Metallen geringster Reduktionskraft (Edelmetalle).
Edelmetall-Kationen haben eine hohe Oxidationskraft, Alkalimetall-Kationen keine.
- 22) Ein **Elektrolyt** ist ein Stoffgemisch (eine Lösung), das als Leiter 2. Ordnung den elektrischen Strom nur leiten kann, wenn gleichzeitig ein Massetransport stattfindet (Leiter 1. Ordnung sind Metalle: Ladungstransport ohne Massetransport).
- 23) Eine **Elektrolyse** ist eine durch elektr. Strom erzwungene Redoxreaktion. Hierbei werden hierbei die Elektrolyte zersetzt / zerlegt (Viele Salze und einige Säuren in die Elemente).
- 24) Metalle, die nicht unter Wasserstoffbildung von Säuren gelöst werden können, werden **Edelmetalle** genannt (Redoxpotenzial über Null, das Standard-Redoxpotenzial von Säuren bzw. vom System H^+/H_2 beträgt Null).
- 25) **Komplexbildungs-Reaktionen** sind Reaktionen, bei denen Bindungen „höherer Ordnung“ entstehen (Komplexe, koordinative Verbindungen).
- 26) **Komplexe** sind Verbindungen, die sich unabhängig von Oxidations- und Ladungszahlen bilden, indem Metall-Kationen (mit freien d-Orbitalen, z. B. Nebengruppenmetalle) zu **Zentralatomen** werden, die mit Liganden verbunden sind.
- 27) **Liganden** sind Teilchen, die freie Elektronenpaare aufweisen („Lewis-Basen“). Mehrzählige Liganden („Chelatbildner“) weisen mehrere freie Elektronenpaare auf.
- 28) **Koordinationszahlen** geben an, wie viele koordinative Bindungen ein Zentralatom eingehen kann (d. h. wie viele einzählige Liganden es binden kann).
- 29) **Ligandenaustausch-Reaktionen** sind Gleichgewichts-Reaktionen, bei denen ein Zentralatom seine Liganden austauscht.
- 30) **Gleichgewichts-Reaktionen** sind Reaktionen, die in zwei Richtungen gleichzeitig verlaufen können (Hin- und Rückreaktion laufen u. U. gleichzeitig ab, Beispiel: $A + B \rightleftharpoons AB$).
- 31) Ein System, in dem Hin- und Rückreaktion gleichschnell ablaufen, befindet sich im **Gleichgewichtszustand** (scheinbarer Stillstand).
- 32) Das **Massenwirkungsgesetz** (MWG) besagt: Im Gleichgewichtszustand ist der Quotient aus (das Verhältnis zwischen) dem Produkt der Reaktionsprodukte durch das Produkt der Reaktions-Edukte konstant:
 $K_{MWG} = \frac{c(\text{Produkte})}{c(\text{Edukte})}$
- 33) Als **Säurekonstante K_S** bezeichnet man die um den Faktor $c(H_2O)$ bereinigte Konstante nach dem Massenwirkungsgesetz K_{MWG} für eine bestimmte Säure bzw. Säure-Base-Reaktion. Ihr negativer, dekadischer Logarithmus wird als **p K_S -Wert** bezeichnet und ist ein Maß für die Stärke einer Säure (für ihr Bestreben, Protonen abzugeben).
- 34) Als **Basekonstante K_B** bezeichnet man die um den Faktor $c(H_2O)$ bereinigte Konstante nach dem Massenwirkungsgesetz K_{MWG} für eine bestimmte Base bzw. Säure-Base-Reaktion. Ihr negativer, dekadischer Logarithmus wird als **p K_B -Wert** bezeichnet und ist ein Maß für die Stärke einer Base (für ihr Bestreben, Protonen aufzunehmen).

Tabelle 3.2: Trivialnamen und systematische Bezeichnung			
Trivialname, A-Z	Systematischer Name (IU-PAC)	Trivialname, A-Z	Systematischer Name (IUPAC)
Aceton	Propanon, CH ₃ -CO-CH ₃	Blutlaugensalz, rot	Kaliumhexacyanoferrat-III
Acetophenon	1-Phenylethanon, C ₆ H ₅ -COCH ₃	Borax	Natriumtetraborat, Na ₂ B ₄ O ₇
Alanin	2-Aminopropansäure	Brechweinstein	Kaliumantimonyltartrat
Alaun	Kaliumaluminiumsulfat-hydrat	Brenztraubensäure	2-Oxopropansäure
Ameisensäure	Methansäure, HCOOH	<i>Bullrich's</i> Salz	Natriumhydrogencarbonat
Amylalkohol	Pentanol-1, C ₅ H ₁₁ OH	Buttersäure	Butansäure, C ₃ H ₇ COOH
Anilin	Aminobenzen, Aminobenzol	Cadmiumgelb	Cadmium-, Kadmiumsulfid
Anisol	Methoxybenzen, -ol	Caprinsäure	<i>n</i> -Decansäure, C ₉ H ₁₉ COOH
Antichlor	Natriumthiosulfat-hydrat	Capronsäure	<i>n</i> -Hexansäure, C ₅ H ₁₁ COOH
Antrilsäure	2-Aminobenzolcarbonsäure	Caprylsäure	<i>n</i> -Octansäure, C ₇ H ₁₅ COOH
Äpfelsäure	2-Hydroxybutandisäure-1,4	Carborund	Siliziumcarbid, SiC
Arsenik	Arsen-III-oxid, As ₂ O ₃	<i>Caro'sche</i> Säure	Peroxomonoschwefelsäure
Arsin	Arsenwasserstoff, AsH ₃		
Ätzbaryt	Bariumhydroxid, Ba(OH) ₂	<i>n</i> -Cetan	<i>n</i> -Hexadecan, C ₁₆ H ₃₄
Ätzkalk	Kalziumhydroxid, Ca(OH) ₂	Chilesalpeter	Natriumnitrat, NaNO ₃
Ätzkali	Kaliumhydroxid, KOH	Chloroform	Trichlormethan, CHCl ₃
Ätznatron	Natriumhydroxid, NaOH	Chromalaun	Kaliumchrom-III-sulfat-hydrat
Azetaldehyd	Ethanal, CH ₃ CHO	Chromgrün	Chrom-III-oxid, Cr ₂ O ₃
Azetessigsäure	3-Oxobutansäure	Cumol	Isopropylbenzol, (1-Methylethyl-)benzol
Azetylen	Ethin, C ₂ H ₂	<i>para</i> -Cymol	(1-Methylethyl)-4-methylbenzol
Backpulver	Natriumhydrogencarbonat • Dinatriumdihydrogen-diphosphat	Eisenvitriol	Eisen-II-sulfat-hydrat, FeSO ₄
Barytwasser	Bariumhydroxidlösung	Essigsäure	Ethansäure, CH ₃ COOH
Benzoessäure	Benzenearbonsäure, Benzolcarbonsäure	Ether	Diethylether, (C ₂ H ₅) ₂ O
Benzophenon	Diphenylmethanon	Ethylazetat	Essigsäureethylester
Berliner Blau	Eisen-hexacyanoferrat-II,III	Ethylen	Ethen, C ₂ H ₄
Bernsteinsäure	1,4-Butandisäure (Salze: Sukzinate)	(Ethylen-)Glykol	Ethandiol-1,2
Bittersalz	Magnesiumsulfat-hydrat	Fixiersalz	Natriumthiosulfat-hydrat
Borwasser	Orthoborsäure-Lösung	Flussspat	Kalziumfluorid, CaF ₂
Blausäure	Hydrogencyanid, HCN	Flusssäure	Fluorwasserstoffsäure, HF
Bleichsalz, -lauge	Natriumhypochlorit(-lösung)	Formaldehyd, Formalin	Methanal, HCHO
Bleiglätte	Blei-II-oxid, PbO	Freon 12	Dichlordifluormethan, CCl ₂ F ₂
Bleiglanz, Galenit	Blei-II-sulfid, PbS	Fumarsäure	(E)-2-Butendisäure
Bleiweiß	Blei-II-hydroxid-carbonat	Gebrannter Kalk	Kalziumoxid, CaO
Bleizucker	Blei-II-azetat, Pb(CH ₃ COO) ₂	Gelöschter Kalk	Kalziumhydroxid, Ca(OH) ₂
Blutlaugensalz, gelb	Kaliumhexacyanoferrat-II, K[Fe(CN) ₆]	Gips	Kalziumsulfat, CaSO ₄
		Glaubersalz	Natriumsulfat-hydrat, Na ₂ SO ₄
		Glykolsäure	2-Hydroxyethansäure

Trivialname, A-Z	Systematischer Name (IUPAC)	Trivialname, A-Z	Systematischer Name (IUPAC)
Glyzerin, Glycerol	Propantriol-1,2,3	Pottasche	Kaliumcarbonat, K_2CO_3
Glyzin	2-Aminoethansäure	Propionsäure	Propansäure, C_2H_5COOH
Grünspan	Kupferazetat-hydroxid	Quarz	Siliziumdioxid, SiO_2
Harnstoff	Kohlensäurediamid, $(NH_2)_2CO$	Rost	Eisen-III-oxid-hydroxid, $FeOOH$
Hirschhornsalz	Ammoniumhydrogen-carbonat	Salmiakgeist	Ammoniakwasser, NH_4OH
Höllenstein	Silbernitrat, $AgNO_3$	Salmiaksalz	Ammoniumchlorid, NH_4Cl
Hydrochinon	1,4-Dihydroxybenzen, -ol	Salpeter	Kaliumnitrat, KNO_3
Iodtinktur	Ethanolische Iodlösung	Salzsäure	Chlorwasserstofflösung, $HCl_{(aq)}$
Kalialaun	Kaliumaluminiumsulfat-hydrat	Scheidewasser	Salpetersäure, HNO_3
Kalilauge	Kaliumhydroxidlösung	Schweinfurter Grün	Kupfer-II-arsenit-acetat
Kalk	Kalziumhydroxid, $Ca(OH)_2$	Schwefelwasserstoff	Sulfan, Hydrogensulfid, H_2S
Kalksalpeter	Kalziumnitrat, $Ca(NO_3)_2$	Schwerspat, Baryt*	Bariumsulfat, $BaSO_4$
Kalkmilch	Kalziumhydroxidsuspension	<i>Seignettesalz</i>	Kaliumnatriumtartrat
Kalkwasser	Kalziumhydroxidlösung	Soda	Natriumcarbonat(-hydrat)
Kalomel	Quecksilber-I-chlorid, Hg_2Cl_2	Speisesalz	Natriumchlorid, $NaCl$
Knallsilber	Silberfulminat, $AgCNO$	Stearinsäure	<i>n</i> -Octadecansäure, $C_{17}H_{33}COOH$
Kochsalz	Natriumchlorid, $NaCl$	Stilben	(E)-Ethen-1,2-diyldibenzol
<i>para</i> -Kresol	4-Methyl-1-hydroxybenzol	Styrol	Ethenylbenzen, -ol, $C_6H_5-C_2H_3$
Kupfervitriol	Kuper-II-sulfat-hydrat, $CuSO_4$	Sublimat	Quecksilber-II-chlorid, $HgCl_2$
Lachgas	Distickstoffmonoxid, N_2O	Sulfanilsäure	4-Aminobenzolsulfonsäure
Laurinsäure	<i>n</i> -Dodecansäure, $C_{11}H_{23}COOH$	Tetra	Tetrachlormethan, CCl_4
Malerweiß	Bariumsulfat, $BaSO_4$	Terephthal-säure	Benzol-1,4-dicarbon-säure
Magnesia	Magnesiumoxid, MgO	Titanweiß	Titan-IV-oxid, TiO_2
Maleinsäure	(Z)-2-Butendisäure	Thymol	5-Methyl-2-(1-Methylethyl)-1-hydroxybenzen, -ol
Malonsäure	1,3-Propandisäure	<i>para</i> -Toluidin	4-Methyl-1-aminobenzen, -ol
Mennige	Blei-II,IV-oxid, Pb_3O_4	Toluol, Toluol	Methylbenzol, $C_6H_5CH_3$
Mesitylen	1,3,5-Trimethylbenzol	Tonerde	Aluminiumoxid-hydroxid
Milchsäure	2-Hydroxypropansäure	Valeriansäure	Pentansäure, $C_5H_{11}COOH$
<i>Mohr'sches Salz</i>	Ammoniumeisen-II-sulfat-hydrat	Weinsäure	2,3-Hydroxybutandisäure
Natron	Natriumhydrogensulfat	Weinstein	Kaliumhydrogentartrat
Natronlauge	Natriumhydroxidlösung	<i>ortho</i> -Xylol	1,2-Dimethylbenzen, -ol
Natronsalpeter	Natriumnitrat, $NaNO_3$	Zinkblende	α -Zinksulfid, ZnS
Nickelvitriol	Nickel-II-sulfat-hydrat	Zinkvitriol	Zink-II-sulfat-hydrat, $ZnSO_4$
Önanthsäure	<i>n</i> -Heptansäure, $C_6H_{13}COOH$	Zinnober	Quecksilber-II-sulfid, HgS
Oxalsäure	Ethandisäure, $HOOC-COOH$	Zinnstein	Zinn-IV-oxid, SnO_2
Palmitinsäure	<i>n</i> -Hexadecansäure	Zitronensäure	2-Hydroxypropan-1,2,3-Tricarbon-säure
Patina	Kupfer-II-azetat-hydroxid	Zyankali	Kaliumcyanid, KCN
Per*	Tetrachlorethen, C_2Cl_4		
Phenol	Hydroxybenzen, -ol, C_6H_5OH	* „Per“ wird auch als Perchlorethylen bezeichnet, Bariumsulfat auch als Malerweiß (Weißpigment), Methan auch als Gruben- und Faulgas, Propan und Butan auch als Campinggas.	
Phosgen	Kohlensäuredichlorid, $COCl_2$		
Phosphin	Hydrogenphosphid, PH_3		
Phthalsäure	Benzol-1,2-dicarbon-säure		

3.2 Chemische Formeln

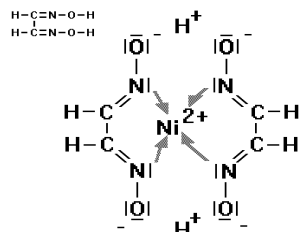
- **Chemische Formeln** sind Symbole für chemische **Verbindungen**. Sie geben an, welche Sorten von Atomen miteinander verbunden sind (**Elementsymbole**: H, He, C, N usw.) und in welchem Stoffmengen- bzw. **Atomzahlenverhältnis** sie zueinander stehen, Beispiele: H : O = 2 : 1 in H₂O oder H : S : O = 2 : 1 : 4 in Schwefelsäure, H₂SO₄.
- **Summenformeln** geben Atomzahlenverhältnisse der Elemente in einer Verbindung an (Beispiel: C₂H₂)
- **Strukturformeln** zeigen an, wie die Atome in einem Molekül miteinander verbunden sind (Beispiel: H-C≡C-H).
- **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).
(Beispiel: 2 Mg + O₂ → 2 MgO für die Verbrennung von Magnesium zu Magnesiumoxid).

3.2.1 Summen- und Strukturformeln

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

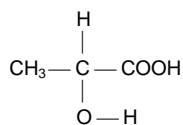
- **Elementsymbolen** (für die Atomsorten, aus denen die Verbindung besteht) und
- tiefgestellten, kleinen Zahlen (für die Zahlenverhältnisse, in denen sich die Atome verbinden), den **Atommultiplikatoren**, hinter den Elementsymbolen stehend).

Strukturformeln geben Bindungsverhältnisse wieder; Bindestriche stehen für bindende Elektronenpaare; Beispiel: Nickel-Dimethylglyoxim-Komplex



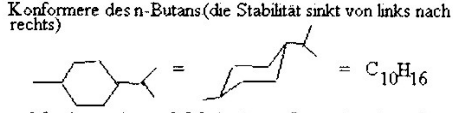
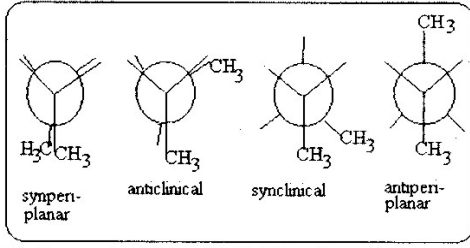
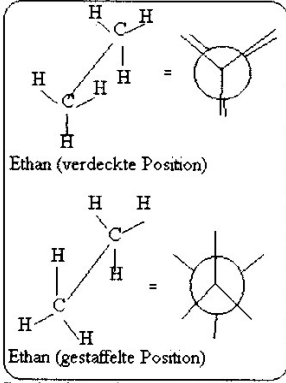
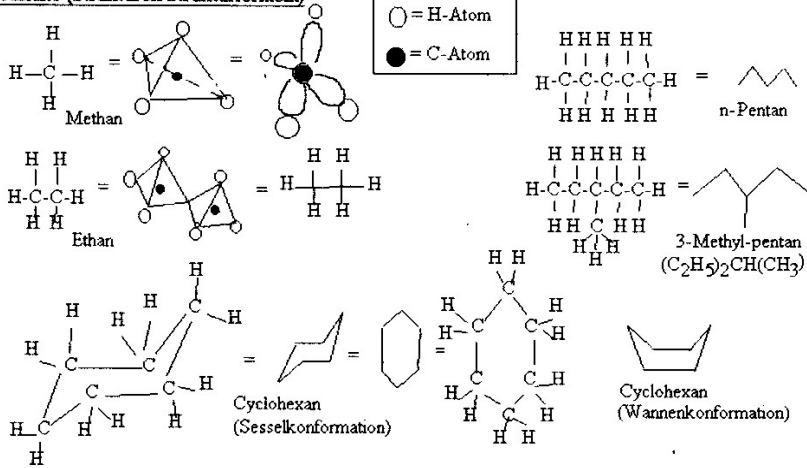
Halbstrukturformeln sind erweiterte Summenformeln, die Bindungsverhältnisse und/oder Atomgruppen teilweise mit angeben;

Beispiel: 2-Hydroxy-Propansäure (Summenformel: C₃H₆O₂)



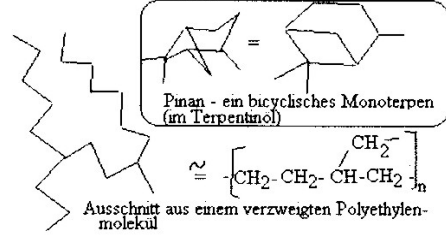
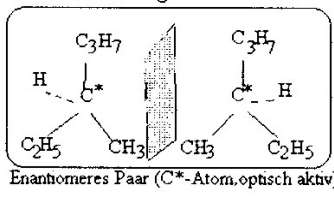
3.2.2 Konformation und Konfiguration
 Strukturen gesättigter Kohlenwasserstoffe (Alkane)

Alkane (Strukturen/Strukturformeln)



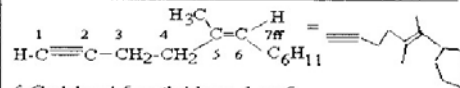
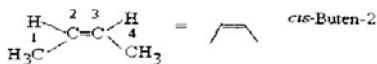
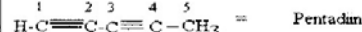
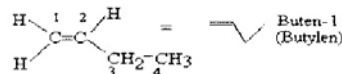
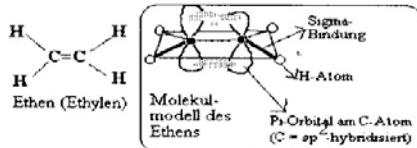
Menthane - ein aus 2-Methylbutan-Bausteinen (vom Isopren) aufgebautes Cyclohexanderivat (1-Methyl-4-isopropylcyclohexan) aus der Gruppe der Monoterpene

Sägebockprojektion (links) und Newmanprojektion (rechts) zur Anzeige der Position der frei drehbaren C-C-Einfachbindung

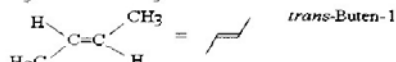


Strukturen ungesättigter Kohlenwasserstoffe (Alkene und Alkine)

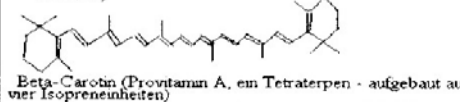
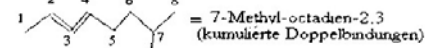
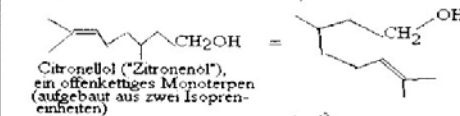
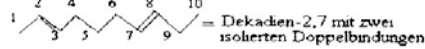
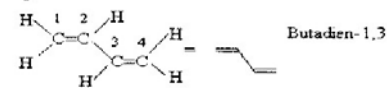
Alkene und Alkine (Ungesättigte Kohlenwasserstoffe inkl. Polyene, -ine, ohne Aromaten)



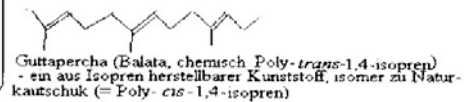
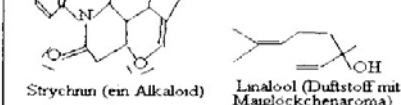
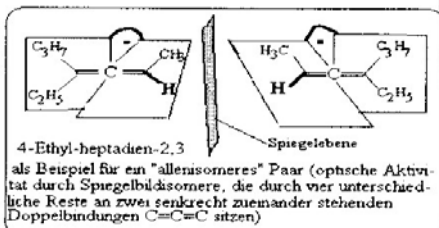
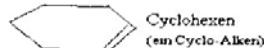
(ein ungesättigter Kohlenwasserstoff, der gleichzeitig der Gruppe der Alkine und der Alkene angehört, mit cyclischem Alkylrest)



Wichtige ungesättigte Kohlenwasserstoffe aus Natur und Technik

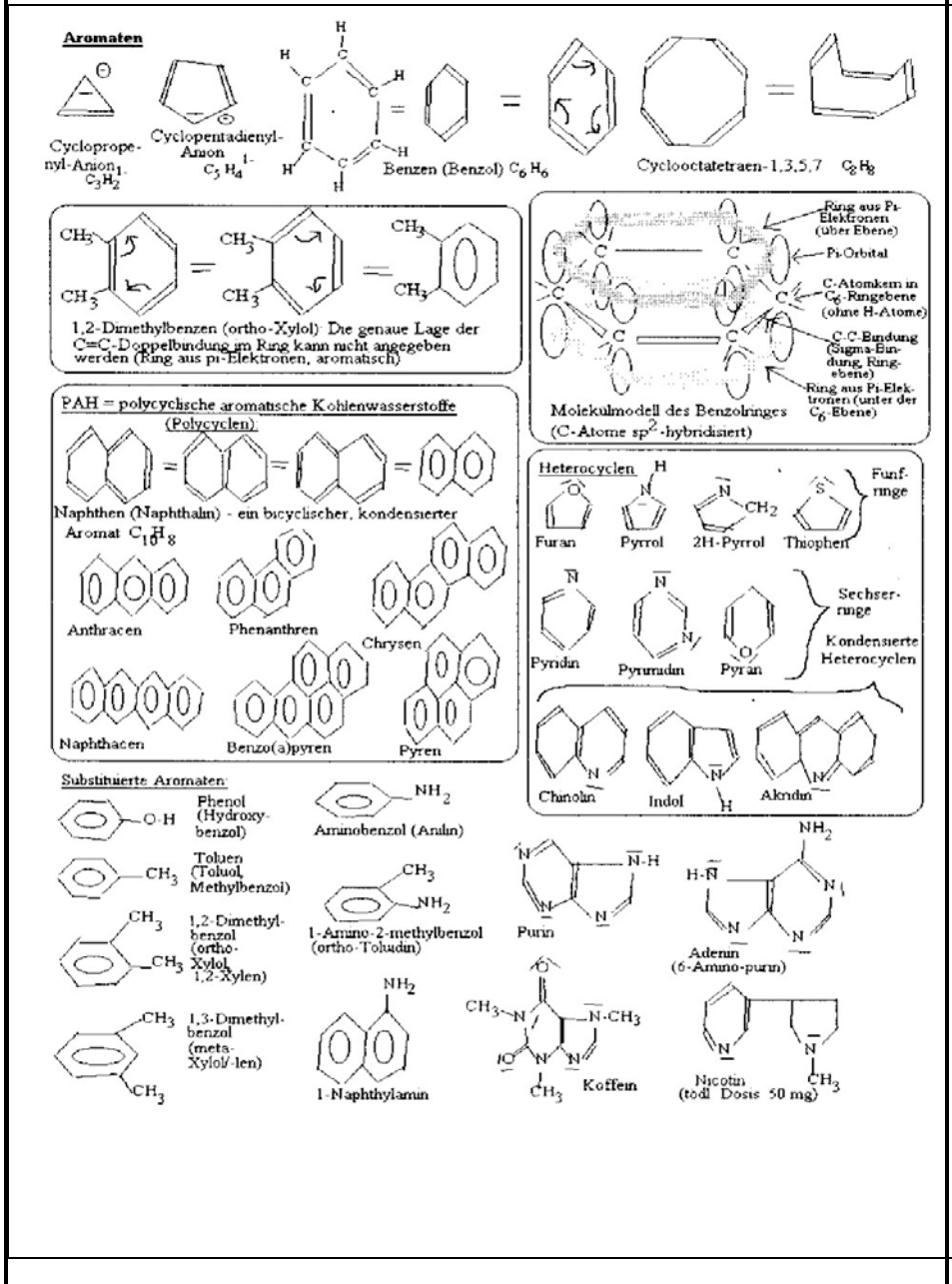


2,4,6,8-Dekatetraen = 1,3,5,7-Dekatetraen (mit vier konjugierten Doppelbindungen, die nicht lokalisiert sind - ähnlich den "Aromaten", jedoch nicht cyclisch)



3.2.3 Strukturen der Aromaten

Strukturen aromatischer Kohlenwasserstoffe (Arene, Aromaten)



Kapitel 4: Stöchiometrie und Stoffeigenschaften

4.1 Stöchiometrie

Hinweise: Bei der Angabe von n, M, V_m und ähnlicher stoffbezogener Grössen ist anzugeben, auf welchen Stoff X sich die Grösse bezieht. Beispiel: $n(x)$ für Wasser ist als $n(\text{H}_2\text{O}) = 3,45 \text{ mol}$ zu schreiben. Die Abkürzung „ET“ im Folgenden nimmt Bezug auf Einzelteilchen, z.B. Atome, Ionen, Radikale, Atomgruppen...

Tabelle 4.1: Grössen der Stöchiometrie

Grösse, Gesetz	Grössengleichung	Bedeutung und Einheiten
Molare Masse	$M(x) = m / n(x)$	Masse : Stoffmenge, Einheit: kg/mol bzw. g/mol
Molares Volumen	$V_m(x) = V / n(x)$, Einheit:
Stöchiometrisches Massenverhältnis	$\frac{m_1}{m_2} = \frac{n_1(x) \cdot M(x)}{n_2(y) \cdot M(y)}$, Einheit: (Stoffportion 1 mit Teilchen x, Portion 2 mit Teilchen y)
Masse des Atoms A in einer Stoffportion ET	$m(A) = \frac{a \cdot M(A)}{M(\text{ET})} \cdot m_{\text{Portion}}$	(m_{Portion} = Gesamtmasse der Stoffportion, a = Anzahl der Atome A im Einzelteilchen ET, z.B. einer Atomgruppe, einem Molekül usw.)

Die wichtige Grundgleichung für stöchiometrische Rechnungen ist: $\rho = m / V$! Hieraus folgt: $V = m / \rho$ und: $m = \rho \cdot V$. Ebenso ist die Grössengleichung $M = m / n$ eine der meistgebrauchten Gleichungen für stöchiometrische Berechnungen, denn hieraus folgt wiederum: $n = m / M$ und: $m = n \cdot M = \rho \cdot V$!

4.2 Stoffdaten

Tabelle 5.2: Stoffklassen und Stoffdaten wichtiger Vertreter dieser Klassen

(mehrere Einzeltabellen, nach Stoffklassen und homologen Reihen geordnet, zum Vergleich der Stoffeigenschaften mit Bindungspolaritäten und –verhältnissen u. ähnl.):

<p>1) binäre, anorganische Verbindungen 1a) Hydride / 1b) Fluoride / 1c) Chloride, Bromide, Iodide 1d) Chalkogenide, Nitride, Phosphide, Carbide und Boride</p> <p>2) Organische Verbindungen 2a) Gesättigte Kohlenwasserstoffe / Alkane 2b) Alkene / 2c) Alkine / 2d) Aromaten 2e) Halogenierte Kohlenwasserstoffe e1) Halogenierte KW mit einem C-Atom / e2) Halogenierte KW mit zwei C-Atomen e3) Halogenierte KW mit drei und mehr C-Atomen 2f) Amine, Nitroverbindungen, N-haltige Heterocyclen, Nitrile: f1) Nitroverbindungen / f2) Amine / f3) weitere organische Stickstoff-Verbindungen</p> <p>2g) Alkohole g1) Einwertige Alkohole / g2) mehrwertige Alkohole g3) halogenierte und ungesättigte Alkohole, Phenole</p> <p>2h) Alkoxyalkane, Alkanole, Alkanone h1) Ether / h2) Aldehyde / h3) Ketone</p> <p>2i) Carbonsäuren und Säurederivate i1) Monocarbonsäuren / i2) Substituierte Monocarbonsäuren / i3) Dicarbonsäuren i4) Tricarbonsäuren / i5) Aminosäuren und div. Erivate / i6) Ester</p> <p>2j) weitere organische Verbindungen und Naturstoffe</p>

1) binäre, anorgan. Verbindungen

Wichtige Stoffklassen binärer, anorganischer Verbindungen sind, nach PSE-Gruppen von links nach rechts geordnet, die Hydride, Halogenide, Oxide, Sulfide, Nitride, Phosphide und Carbide; deren Gruppenvertreter und ihre Stoffdaten wurden im Folgenden innerhalb der Stoffklassen nach dem PS von rechts nach links) geordnet

1a) Hydride:

Summenformel	M (g/mol)	Fp (°C) (oder Kp)	Dichte (g/cm³)	Löslichkeit (L = in g /100 g H₂O bei +20°C; Lp = Löslichkeitsprodukt in mol^x / L^x), weitere Eigenschaften oder Verwendung
HF	20,0063	- 83 (Kp.: + 20)	0,958	L = beliebig (Flußsäure), stark ätzend, giftig
HCl	36,461	-114,2 (Kp.: -85)	0,00154	L 448 L Gas/kg Wasser, MAK 5 mL/M ³ , ätzend, beißender Geruch (mit H ₂ O: Salzsäure)
HBr	80,912	-86 (Kp.: -66)	0,00340	L 532,1 L Gas/kg H ₂ O, MAK 5 mL/m ³ , stark ätzend, beißender Geruch, saure Lösg.
HI	127,913	-50,8 (Kp.: -35,4)	0,00579	4,48 x schwerer als Luft, sehr hohe Wasserlöslichkeit (ca.600 L Gas/kg H ₂ O)
H₂O	18	0(Kp.:100)	0,999	Dichte 1,00 bei +4°C / (D₂O: 1,10 g/mL)
H ₂ S	34,08	-85,7 (Kp.: -60,2)	0,00143	L 2,582 L / kg Wasser, giftig, Geruch nach faulenden Eiern, brennbar, Lösung sauer
H ₂ Se	80,98	-65,7 (Kp.: -41,4)	0,00366	gut wasserlöslich, MAK 0,05 mL/m ³ (hochgiftig), D am Sdp. 1965 g/mL
NH ₃	17,03	-77 (Kp.: -33,4)	0,00072	L 685,7 L Gas/kg H ₂ O, MAK 50 mL/m ³ , ätzend + stark reizend, Lösung basisch (Salmiakgeist)
PH ₃	34	-134 (Kp.: -87,8)	1,4294	1,18 x schwerer als Luft, Knoblauchgeruch, MAK 0,1 mL/m ³ (sehr giftig), brennbar
AsH ₃	77,94	-117 (Kp.: -62,5)	0,00363	MAK 0,05 mL/m ³ (hochgiftig), Knoblauchgeruch, brennbar, Dichte 3 x Luft
SbH ₃	124,7	-88 (Kp.: -17,2)	0,00528	4,3 x schwerer als Luft, hochgiftig (MAK 0,1 mL/m ³), brennbar (Dichte am Kp.:2158 g/L)
CH ₄	16,043	-182 (Kp.: -161)	0,00067	L nur 35 mL Gas / kg H ₂ O (unpolar), ungiftig, brennbar, farb- und geruchlos, am Kp. 422 g/L)
SiH ₄	32,1171	-186 (Kp.: -112)	1,342	1,11 x schwerer als Luft, selbstentzündlich, MAK 5 mL/m ³ , reagiert mit Wasser
GeH ₄	76,622	-166 (Kp.: -88,5)	0,00314	reagiert mit Wasser, giftig (MAK 0,2 mL/m ³)
B ₂ H ₆	27,67	-165 (Kp.: -92,5)	ca. 0,0011	0,965 x schwerer als Luft, MAK 0,1 mL/m ³ (giftig), selbstentzündlich, am Kp. 438,5 g/L
CaH ₂	42	+ 816	1,9	Reagiert mit H ₂ O zu Ätzkalk + H ₂ -Gas / Ätzend
LiH	8	+ 680	?	Pulver reagiert mit H ₂ O zu LiOH + H ₂ /ätzend

1b) Fluoride:				
Summenformel	molare Masse (g/mol)	Fp (°C) (oder Kp)	Dichte (g/cm³)	Löslichkeit (L = in g /100 g H₂O bei +20°C; Lp = Löslichkeitsprodukt in mol^k / L^x), weitere Eigenschaften oder Verwendung
HF	20,0063	- 83 (Kp.: + 20)	0,958	L = beliebig (Flußsäure), stark ätzend, giftig
LiF				
NaF	41,99	998 (Kp.: 1695)	2,79	toxisch, MAK 2,5 mg/m ³ , gut wasserlöslich
KF	58,10	860	2,481	Kp.: 1505, gut wasserlöslich, toxisch
CaF ₂	78,08	1390 (Kp.: 2500)	3,18	nicht löslich
CrF ₂	90,01	894	4,11	Kp.: über 1200, monoklin, kaum wasserlöslich
WF ₆	297,8	+ 2,3 (Kp.: +17)	0,0128	10 x schwerer als Luft, reagiert mit Wasser u.a. zu HF, Dichte am Kp.: 3430 g/L, ätzend
CoF ₂	96,94	ca.1200	4,46	Kp.ca.1400, kaum löslich
BF ₃	67,805	-128(Kp.: -84,6)	0,00284	L 1057 mL Gas/kg H ₂ O, hydrolysiert jedoch zu HF + Borsäure (ätzend,giftig)
CF ₄	88,01	-183,4 (Kp.: -128)	0,00367	L 0,0038 L/kg H ₂ O, D am Kp.: 1603 g/L, farb- und geruchlos, ungiftiger FKW
SiF ₄	104,08	-95 (subl.)	0,0044	3,6 x schwerer als Luft, reag. mit Wasser
PbF ₂	245,21	824	6,24	Kp.: 1293, giftig, ätzend
N ₂ F ₄	104	-161(Kp.: -74,2)	0,00435	3,62 x schwerer als Luft, hochexplosives Gas (Name: Tetrafluor-hydrazin)
PF ₅	125,966	-94 (Kp.: -84,6)	0,0058	4,5 mal schwerer als Luft, reagiert mit H ₂ O
SbF ₅	216,7	+7(Kp.: +150)	reagiert	bildet mit Wasser HF und Antimonoxid (Hydrolyse)
SF ₆	146,05	ca. -50,8	0,00618	L 0,0056 L Gas/kg Wasser, MAK = 1000 mL/m ³ (ungiftig, farb- und geruchlos)
ClF ₃	92,45	-76 (Kp.: +11,8)	0,00363	3 x schwerer als Luft, reagiert explosiv mit Wasser, MAK 10 mL/m ³ (stark ätzend,giftig)
IF ₅	221,9	+9,6 (Kp.: +98)	3,75	sehr reaktiv, ätzend, toxisch
XeF ₆	248	+ 46	?	zerfällt in Hitze zu Xe + F ₂ (XeF ₂ : L=25 g/L Fp.(XeF ₂): +130°C), violett

1c) Chloride, Bromide und Iodide:

Summenformel	molare Masse (g/mol)	Fp (°C) (oder Kp)	Dichte (g/cm³)	Löslichkeit (L = in g /100 g H₂O bei +20°C; Lp = Löslichkeitsprodukt in mol^k / L^x), weitere Eigenschaften oder Verwendung
HCl	36,461	-114,2 (Kp.: -85)	0,00154	L 448 L Gas/kg Wasser, MAK 5 mL/M ³ , ätzend, beißender Geruch(mit H ₂ O: Salzsäure)
NaCl	58,45	801(Kp.: 1439)	2,164	L = 35,8 oder 39,1 (Lösung dann Kp. = +109°C) (Fp.: LiCl = 614, KCl = 772; L(KCl) 56,6)
MgCl ₂		708	ca.1,8	gut löslich
CaCl ₂	110,99	um 777	2,15	Trockenmittel (hygroskopisch)
CaCl ₂ • 6 H ₂ O	219,08	+ 29,9	1,71	nur endotherm wasserlöslich
CrCl ₂	122,92	824	2,88	hygroskopisch
MnCl ₂	152,8	650		L 1400 g/L H ₂ O
FeCl ₂ mit 4 H ₂ O	198,82		1,93	wässrige Lösung an Luft unbeständig (oxidiert zu Eisenhydroxiden und Salzsäure)
FeCl ₃ mit 6 H ₂ O	270,30	ca.+35	2,90	gut löslich, wird bei Wasserabgabe in Salzsäure und Eisen-III-hydroxid bzw. -oxid zersetzt
CoCl ₂	129,8	724	3,356	hygroskopisch, mit 6 H ₂ O rosarot, Kp.: +1049°C
NiCl ₂	129,6	987		gut löslich

Summenformel	molare Masse (g/mol)	Fp (°C) (oder Kp)	Dichte (g/cm³)	Löslichkeit (L = in g /100 g H₂O bei +20°C; Lp = Löslichkeitsprodukt in mol^K / L^X), weitere Eigenschaften oder Verwendung
CuCl ₂		430 (Kp.: 1367)	4,14	wäßr. Lösung schwach sauer und oxidierend, desinfizierende Wirkung
AgCl		455		unlöslich in H ₂ O, lichtempfindlich, gut reduzierbar
BCl ₃	117,17	-107 (Kp.: +12)		mit H ₂ O Zersetzung zu Salz- und Borsäure (also ätzend)
AlCl ₃	133,34	183,subl.	2,44	reag. mit H ₂ O u.a. zu Salzsäure (hygroskopisch)
CCl ₄	153,8	- 23(Kp.: +77)	1,6	krebserregendes Löse- und Reinigungsmittel, nicht mit Wasser mischbar, reagiert explosiv mit K+Na
SiCl ₄		- 68		stark rauchende Flüssigkeit, reagiert mit Wasser
PbCl ₂	278,12	501	5,85	Kp.: 950, löslich nur in heißem Wasser
PCl ₃	137	-112	1,57	Kp.: +76, reagiert mit Wasser, raucht, ätzend
PCl ₅	208,2	Kp.:+106		reagiert heftig mit Wasser (zu H ₃ PO ₄ und Salzsäure)
AsCl ₃	181,28	- 13	2,16	Kp. +131, hochgiftig, stark rauchend, reag. mit H ₂ O
SbCl ₅	299,05	+ 4		reagiert mit Wasser (Hydrolyse)
BiCl ₃	315,34	231	4,75	Kp.: 447, hydrolysiert zu BiOCl + 2 H Cl (ähnl.SbCl ₃)
HBr	80,912	-86(Kp.: -66)	0,00340	L 532,1 L Gas/kg H₂O, MAK 5 mL/m³, stark ätzend, beißender Geruch, saure Lösg.
LiBr	86,8	547	3,46	Kp.: 1265, hygroskopisch
NaBr	102,91	755	3,203	Kp.: 1390, gut löslich in Wasser
KBr	119,01	735	2,75	Kp.:1435, L: 105 (!), kubische Kristalle
CaBr ₂	199,91	730	3,35	wasserlöslich
CuBr	143,46	504	4,72	schlecht löslich
CuBr ₂	223,31	498	4,71	gut löslich
ZnBr ₂		Kp: 650		L: 82
AlBr ₃	266,71	+97,5	ca. 2,7	Kp.: 265 (B Br ₃ : rauchend, giftig, Kp.: +91, Fp.: -46)
HI	127,913	-50,8 (Kp.: -35,4)	0,00579	4,48 x schwerer als Luft, sehr hohe Wasserlöslichkeit (ca.600 L Gas/kg H₂O)
LiI	134	450		
NaI	149,89	662(651)	3,667	Kp.: 1304, gut wasserlöslich
KI	166,02	723	3,12	Kp.: 1325, L.: 144 !
CaI ₂	293,90	subl.740	3,95	Kp.: 1100
PbI ₂	461,05	402	6,16	Kp.: 954, in Hitze rot, als Nd. knallgelb, unlöslich
NI ₃ bis NH ₂ I	(div.)	explosiv	unbekannt	reagiert explosiv, herstellbar aus Jodtinktur + NH ₃ in ungenauer Zusammensetzung (um NH ₂ I u.ähnl.)
I ₂ O ₅	333,80	zersetzl.	4,799	reag. mit H ₂ O zu HIO ₃ (Jodsäure) / (ICl ₃ +IF ₅ : s.o.!)

1d) Chalkogenide, Nitride, Phosphide, Carbide und Boride				
H₂O	18	0	4°C: 1,0	polares Lösemittel, ungiftig (Kp.:+100)
H ₂ O ₂	34	- 0,43	1,448	Kp.: 150,2, stark oxidierend und ätzend, gibt O ₂ ab
Li ₂ O	29,88	>1700	2,0	porös, reag. mit Wasser zu LiOH-Lösg.,ätzend, rote Flammenfärbung
Na ₂ O	61,99	subl. 1275	2,27	reag. mit Wasser zu NaOH-Lösg.,ätzend, orange-rote Flammenfärbung
Na ₂ O ₂	77,99	660	2,805	Kp.: Zersetzt. bei 750 unter O ₂ -Abgabe, stark oxidierend
K ₂ O	94,2	Zers.350	2,32	reag. mit Wasser zu Kalilauge, ätzend, rotviolette Flammenfärbung
K ₂ O ₂	110,2	Zers. 490		in Mischung mit brennb. Stoffen hoch-feuergefährlich, stark oxidierend, reag. mit H ₂ O zu KOH + O ₂
MgO	42,3	2600	ca.2,6 ?	Kp.: 2802, Trockenmittel, reag. mit Wasser
CaO	56,08	2572	3,3	Kp.: 2850, ätzend, reag. mit Wasser zum Hydroxid und mit CO ₂ (feucht) zu Kalk, karminrote Flammenfärbung
BaO	153,36	1925	5,7	bildet mit H ₂ O Barytwasser, grüne Flammenfärbung
Cr ₂ O ₃		2440		unlöslich in Wasser, lösl. in Säuren
FeO	71,85	1420	5,9	unlöslich in Wasser, lösl. in Säuren
Fe ₂ O ₃	159,70	1565	5,2	u.U. nicht in Säuren löslich (Passivierung)
Cu ₂ O	143,08	1235	ca. 6,0	unlöslich in Wasser, Kp.: 1800
CuO	79,57	1326	6,3-6,5	in Glut gutes Oxidationsmittel, löslich in Säuren
Al ₂ O ₃	101,96	2050	3,97	durch Passivierung nicht säurelöslich
CO	28,01	-205, Kp.: -191	0,00117	L 0,0227 L Gas/kg Wasser, giftig, MAK 30 mg/m ³ , Dichte am Kp.: 788,6 g/L, isoelektron. zu N ₂ , brennbar
CO ₂	44,01	subl.-77	0,001848	L 0,059 L Gas/ kg Wasser (bildet Kohlensäure), schwerer als Luft, erstickt Flammen
SiO ₂	polymer	1713		Quarz (sandartiges Pulver)
PbO	223,21	888	9,53	in Hitze Verfärbung und oxidierend, nicht wasserlöslich, giftig (auch: Pb ₃ O ₄ , rotorange: Mennige)
PbO ₂	239,21	Zers.		stark oxidierend
N ₂ O	44,013	-90	0,001847	L 0,665 L Gas/kg Wasser, süßl. Geruch, wirkt narkotisierend (Lachgas)
NO	30,006	-164 (Kp.: -151,7)	0,00125	L 0,047 L Gas/kg Wasser, reagiert an Luft zu braunen Stickoxiden, anschließend mit Wasser zu Salpetersäure (+ salpetriger Säure), ätzend, gesundheitsschädlich
NO ₂	46	-11(Kp.: +21,1)	0,003358	reagiert mit Wasser zu Salpetersäure, brandfördernd (oxidierend), chlorähnl. Geruch, gesundheitsschädlich
P ₂ O ₅				stark hygroskopisch, reagiert zu H ₃ PO ₄
Bi ₂ O ₃	466,96	817	9	Kp.:1890, beiges Pulver (weißoliv), kaum wasserlöslich
O ₃	ca. 48	-192 (Kp.: -110)	0,00214	stark oxidierend, giftig, elektrischer Geruch, MAK = 10 ⁻⁷ Vol%, absorbiert UV-Licht (max. bei 253,7 nm), wird durch Radikale zu Oxiden + O ₂ zersetzt

Summenformel	molare Masse (g/mol)	Fp (°C) (oder Kp)	Dichte (g/cm ³)	Löslichkeit (L = in g /100 g H ₂ O bei +20°C; Lp = Löslichkeitsprodukt in mol ^K / L ^X), weitere Eigenschaften oder Verwendung
SO ₂	64,063	-75 (Kp.: -10)	0,002725	L 39,4 L Gas/L Wasser, (bildet schweflige Säure), säuerlicher Geruch und Geschmack, reduzierend, giftig
SO ₃		+ 30,5		Kp.: +62,2 /weißes Pulver, ätzend, bildet mit H ₂ O H ₂ SO ₄
H₂S	34,08	-85,7	0,00143	L 2,582 L Gas/kg H₂O, giftig, Geruch nach faulenden Eiern, MAK 10 mg/m³, Lösung sauer
Na ₂ S	78,05	920	1,856	ätzend, wasserlöslich, nach H ₂ S riechend (s.o.)
BaS	169,42		4,36	
FeS	87,91			wasserunlöslich, reagiert mit Säuren zu H ₂ S und Fe-Salzen
Cu ₂ S		1127		glänzend, spröde, unlöslich
CuS				L 0,00033 g/L (unlöslich)
ZnS		subl. bei 1180	3,98	wasserunlöslich, bei kathod. Bestrahlung stark leuchtend (phosphoreszierend), brennbar
CdS				wasserunlöslich. Gelbpigment (ähnlich: CdSe, rot)
PbS	239,28	1114	7,6	kubisch, mitunter fast schwarz, unlöslich in Wasser, Kp.: 1414, Mineral: Bleiglanz
PbSe	286,17	1080	8,1	Halbleiter, kubische Kristalle
PbTe	334,8	917	8,16	wichtiger Halbleiter
P ₂ S ₅	222,27	284		Kp. 514, mit H ₂ O Zersetzungsreaktion
As ₂ S ₂	213,94	307	3,51	brennbar, Mineral Realgar, Kp.: 565
As ₂ S ₃	246,0		3,43	brennbar
NH₃	17,03	-77,74	0,00072	L 685,7 L Gas/kg H₂O (Salmiakgeist, basisch), giftig (MAK 50 mL/m³), bildet mit HCl-Gas NH₄Cl-Rauch
NaN ₃	65,01	(fest)	1,846	L 417 g/L, bildet Knallsäure (HN ₃), Name: Natriumazid
Mg ₃ N ₂				reagiert mit Wasser zu NH ₃ + Mg(OH) ₂ , ätzend
Fe ₂ N	125,70	Zers. 200	6,35	sehr hart
BN		ca. 3000		superhart
Pb(N ₃) ₂	291,26	detoniert	4,8	Detonation ab +350°C und bei Schlag/Druck
Ca ₃ P ₂	182,2	ca. 1600	2,51	amorph, reagiert mit H ₂ O zu Kalkmilch und Phosphin
Fe ₂ P	142,67	1290	6,56	reag. mit H ₂ O u.a. zu überriechendem Phosphin PH ₃
CaC ₂	64,10	2160	2,22	bildet mit Wasser explosives C ₂ H ₂ -Gas + Kalkmilch
B ₄ C	55,29	2470	2,52	superhart, vmtl. eher B ₁₂ C ₃ oder B ₁₃ C ₂
Al ₄ C ₃	143,96	2100	2,36	reagiert mit Säuren zu Methan CH ₄ und Al-Salzen
AlB ₁₂		>2000		sehr hartes Schleifmittel

2) organische Verbindungen

Wichtige Stoffklassen organischer Verbindungen sind die Kohlenwasserstoffe (gesättigt: Alkane, ungesättigt: Alkene und Alkine, sowie die Aromaten), die Oxoverbindungen (Alkohole, Aldehyde, Keton, Ether, Carbonsäuren, Ester u. ähnl.) und weitere substituierte Kohlenwasserstoffe (Halogen-KW, Thioverbindungen, Amine, Nitrile, Nitroverbindungen usw.); im Folgenden tabelliert mit folgenden Kürzeln:

M= molare Masse (in g/mol), **Fp** = Schmelzpunkt, **Kp** = Kondensationspunkt, **T_K** = krit. Temperatur (oberhalb der kein Unterschied mehr zwischen flüssig und gasf.: existiert / in °C), **P_K** = krit. Druck (oberhalb dem keine Verflüssigung des Gases durch Druck mehr möglich ist/in bar; 1 bar = 1000 hPa), **D** = Dichte bei +15° C und 1013 hPa in kg/m³ (bzw. g/L, bei Luft: 1,209), **D_s** = Dichte am Siedepunkt (in g/L), **Dd_n** = Dampfdruck der Flüssigkeit bei +20° C in bar, **L** = Löslichkeit (bei Gasen in L Gas pro kg H₂O; **xx** heißt: Gas hydrolysiert/reagiert mit Wasser), **MAK** (in mL/m³) und **F** (= Brennbarkeit, brennbare + entzündl. Gase bilden mit Luft explosive Gemische) bzw. **T** (toxisch=giftig, vgl. MAK-Wert!)+**C** (korrosiv, ätzend), **Aml** = Anzahl möglicher Isomere

2a) Gesättigte Kohlenwasserstoffe / Alkane:

Name	Summenformel	M (g/mol)	Fp.(°C)	Kp.(°C)	D (g/cm ³)	Anmerkungen
Methan	CH ₄	16,043	-182,5	-161,5	0,671 g/L	Gruben-/Erdgas
Ethan	C ₂ H ₆	30,07	-183,3	-88,7	1,265 g/L	Stadtgas (u.a.)
Propan	C ₃ H ₈	44,096	-187,7	-42	1,878 g/L	Campinggas
n-Butan	C ₄ H ₁₀	58,123	-138,3	-0,5	2,522 g/L	Aml: 2
n-Pentan	C ₅ H ₁₂	72,15	-129,7	+36	0,626	Aml: 3, flüssig
n-Hexan	C ₆ H ₁₄	86,18	-95,6	+69	0,6593	Aml: 5, flüssig
n-Heptan	C ₇ H ₁₆	100,21	-90,6	+98	0,6837	Aml: 9, flüssig
n-Octan	C ₈ H ₁₈	114,2	-56,8	+125	0,7028	Aml: 18, flüssig
n-Nonan	C ₉ H ₂₀	128	-53,5	+151	0,7176	Aml: 35, flüssig
n-Decan	C ₁₀ H ₂₂	142	-29,7	+174	0,728	Aml: 75, flüssig
n-Undekan	C ₁₁ H ₂₄	156	-25,6	+196	0,737	flüssig, farblos
n-Dodekan	C ₁₂ H ₂₆	170	-9,6	216,3	0,745	flüssig, farblos
n-Tridekan	C ₁₃ H ₂₈	184	ca.+15?	ca.220	ca.0,75	flüssig, farblos
Pentadekan	C ₁₅ H ₃₂	212	ca.+16?	ca.280	ca.0,765	Aml: 4347, flüssig
Eicosan	C ₂₀ H ₄₂	282	+36,4	343,8	0,785	Aml: 366319, fest
Heneicosan	C ₂₁ H ₄₄	296	ca.+40	ca.350	ca.0,79	
Docosan	C ₂₂ H ₄₆	310	ca.+45	ca.365?	ca.0,8	
Pentacosan	C ₂₅ H ₅₂	352				
Triacontan	C ₃₀ H ₆₂	422				Aml: 4111800000
Dotriacontan	C ₃₂ H ₆₆	450				Feststoff, farblos
Tetracontan	C ₄₀ H ₈₂	562				Aml: 62,5 Billionen
Polyethylen	C _n H _{2n+2}	Ab 10.000	ca.110		ca.0,95	HDPE

Name des Iso-Alkans	Summenformel	M (g/mol)	Fp.(°C)	Kp.(°C)	D (g/cm ³)	Anmerkungen
Methylpropan, Isobutan	C ₄ H ₁₀	58,123	-159	-12	flü.0,55	Aml: 2
2-Methyl-butan, Isopentan	C ₅ H ₁₂	72,15	-160	+28	0,616	Aml: 3, flüssig
2,2-Dimethyl-propan, Neopentan	C ₅ H ₁₂	72,15	-17	+9,5	flü.0,58	Aml: 3, gasförmig
2-Methyl-pentan	C ₆ H ₁₄	86,18	-154	+60	0,649	Aml: 5, flüssig
3-Methyl-pentan	C ₆ H ₁₄	86,18		+63	0,660	Aml: 5, flüssig
2,2-Dimethyl-butan	C ₆ H ₁₄	86,18	-100	+50	0,644	Aml: 5, flüssig
2,3-Dimethyl-butan	C ₆ H ₁₄	86,18	-128	+58	0,65	Aml: 5, flüssig
Iso-Octan (z.B.)	C ₈ H ₁₈	114		+99	0,6919	Aml: 18, flüssig
2,5-Dimethyl-hexan	C ₈ H ₁₈	114	<-80	109	0,6942	Aml: 18, flüssig

Die Alkane sind farblos, flüssig (bei C₅-C₁₇) von petroleumartigem Geruch und schwach narkotisierend (bis C₁₂), ungiftig und reagieren unter Lichteinwirkung mit Chlor und Brom. Sie sind unpolar (lipophil, hydrophob), brennbar (zu CO₂+H₂O) und werden aus Erdöl, Erdgas und Teer gewonnen.

Cycloalkane: Cyclopentan C₅H₁₀ Siedepkt. +50°C, Dichte 0,7450 g/mL
 Cyclohexan C₆H₁₂ Siedepunkt +80, Dichte 0,7786 g/mL
 Methyl-Cyclohexan C₇H₁₄ Siedepkt. +101, Dichte 0,7694 g/mL

2b) Alkene (und Cycloalkene/Alkapolylene)

Name	Summen-formel	M (g/mol)	Fp.(°C)	Kp.(°C)	D (g/cm ³)	Anmerkungen
Ethen	H ₂ C=CH ₂	28,1	-169,2	-103,7	1,178 g/L	Ethylen
Propen	C ₃ H ₆	42,1	-185,3	- 47,7	flü.0,505	Propylen
1-Buten	C ₄ H ₈	56,1	-185,4	- 6,3	flü.0,589	Butylen
cis-2-Buten	C ₄ H ₈	56,1	-138,9	+ 3,7	flü.0,615	
trans-2-Buten	C ₄ H ₈ oder (CH ₃) ₂ C ₂ H ₄	56,1	-105,6	- 0,88	flü.0,598	
2-Methylpropen	C ₄ H ₈ oder (CH ₃) ₂ C=CH ₂	56,1	- 140,4	- 6,9	flü.0,588	Isobutylen
1-Penten	C ₅ H ₁₀	70,1	-165,2	+ 30,0	0,635	Pentylen
cis-2-Penten	C ₅ H ₁₀	70,1	-151,4	+ 36,9	0,650	
trans-2-Penten	C ₅ H ₁₀	70,1	-140,2	+ 36,4	0,643	
2-Methyl-1-buten	C ₅ H ₁₀	70,1	-137,6	+ 31,2	0,645	
3-Methyl-1-buten	C ₅ H ₁₀	70,1	-168,5	+ 20,1	flü.0,622	
2-Methyl-2-buten	C ₅ H ₁₀	70,1	-133,8	+ 38,6	0,657	
1-Hexen	C ₆ H ₁₂	84,2	-139,8	+ 63,5	0,668	Hexylen
cis-2-Hexen	C ₆ H ₁₂	84,2	-141,1	+ 68,9	0,683	
cis-3-Hexen	C ₆ H ₁₂	84,2	-137,8	+ 66,5	0,675	
1-Hepten	C ₇ H ₁₄	98,2	-119,0	+ 93,6	0,693	
1-Octen	C ₈ H ₁₆	112,2	- 101,7	121,3	0,711	
Cyclohexen	C ₆ H ₁₀	82,1	-103,5	+ 83,0	0,806	
Propadien	CH ₂ =C=CH ₂	40,1	-136,3	- 34,5	gasf.	Allen
1,2-Butadien	C ₄ H ₆	54,1	-136,2	+ 10,2	flü.0,646	
1,3-Butadien	C ₄ H ₆	54,1	-108,9	- 4,4	flü.0,615	
2-Methyl-1,3-butadien	C ₅ H ₈	68,1	-146,0	+ 34,1	0,676	Isopren
Cyclopentadien	C ₅ H ₆	66,1	- 97,2	+ 40,8	0,802	

Alkene (Olefine, Alkylene) weisen reaktionsfähige C=C-Doppelbindungen auf. Sie sind physikalisch den Alkanen recht ähnlich (bis hin zum Buten gasförmig, bis C₁₅ inkl. flüssig), brennen mit leuchtender Flamme und sind schlecht in Wasser, aber gut in Alkohol und Ethern löslich. Sie reagieren säurekatalysiert mit Wasser, in Gegenwart von Pd/Pt/Ni-Kat. mit Wasserstoffgas, mit Halogenen zu Dihaloalkanen, mit Oxydationsmitteln über Epoxide zu Diolen und mit div. Katalysatoren miteinander zu Polymeren (PVC, Polystyrol, PE, PP usw.). Sie wirken inhalationsnarkotisch und sind Produkte der Erdöl-Veredlung. Sie sind wichtige Rohstoffe und Ausgangssubstanzen in der Produktion der Alkohole, Waschmittel, Kunst-, Treib- und Lackrohstoffe. Allein vom Ethylen werden jährlich über 50 Mio. t produziert.

2c) Alkine:

Name	Summenformel	M (g/mol)	Fp.(°C)	Kp.(°C)	D (g/cm ³)	Anmerkungen
Ethin	HC≡CH	26,0	- 80,8	-84 (!)		Acetylen
Propin	CH ₃ C≡CH	40,1	-102,7	- 23,2		
1-Butin	C ₂ H ₅ C≡CH	54,1	-125,7	+ 8,1	flü.0,65	
2-Butin	CH ₃ C≡CCH ₃	54,1	- 32,3	+ 27	0,686	
1-Pentin	C ₅ H ₈	68,1	- 105,7	+ 40,2	0,689	
2-Pentin	C ₅ H ₈	68,1	- 109,3	+ 56,1	0,706	
1-Hexin	C ₆ H ₁₀	82,1	-131,9	+ 71,3	0,710	

Die Alkine sind physikalische den Alkenen ähnlich, schlecht wasserlöslich, gut löslich in Alkohol, Ether und unpolaren, organischen Lösemitteln. Sie sind recht reaktionsfreudig und von schwach saurem Charakter (bilden mit Basen ionische Verbindungen, z.B. die teilweise explosiven Azetylide). Sie reagieren mit Halogenen, in Gegenwart von Katalysatoren mit H₂, Alkoholen und Carbonsäuren sowie zu Polymeren (Alkene). Auch lassen sich aus Alkinen cyclische KW wie Cyclooctatetraen und Benzol herstellen.

2d) Aromaten

Cyclische Systeme mit (4n+2)π-Elektronen weisen besondere Eigenschaften auf. Hierzu zählen das Cyclopropenylkation, das Cyclopentadienyl-Anion, 14-Annulen, 18-Annulen usw. - aber auch Heterocyclen wie Pyridin, Pyrimidin, Furan, Purrol, Thiophen usw.. Aromaten sind toxisch, farblos, stabiler als ungesättigte Kohlenwasserstoffe (Alkene, Alkine) und reagieren in Form von Substitution in Katalysatoren-Gegenwart mit Halogenen, Nitriersäure und konz. Schwefelsäure; es folgen die wichtigsten Vertreter dieser Stoffklasse (Benzoide und Polycyclen):

Name	Summenformel	M (g/mol)	Fp.(°C)	Kp.(°C)	D (g/cm ³)	Anmerkungen
Benzol	C ₆ H ₆		+ 5,5	+ 80,1	0,879	hochgiftig
Toluol	C ₆ H ₅ -CH ₃	92,15	- 95	+110,6	0,867	
Ethylbenzol	C ₆ H ₅ -C ₂ H ₅	106,17	-94,97	+136,2	0,867	
o-Xylol	C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	106,17	- 25,18	+114,4	0,880	1,2-Dimethylbenzol
m-Xylol	C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	106,17	- 47,87	+139,1	0,864	1,3-Dimethylbenzol
p-Xylol	C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	106,17	+ 13,26	+138,35	0,861	1,4-Dimethylbenzol
Mesitylen	C ₆ H ₃ (CH ₃) ₃	120,2	-44,7	+164,7	0,861	1,3,5-Trimethylbenzol
Cumol	C ₆ H ₅ -C ₃ H ₇	120,2	- 96,0	+152,4	0,858	Isopropylbenzol
Styrol	C ₆ H ₅ -C=CH ₂	104,16	- 30,6	+145,2	0,906	Vinylbenzol
Biphenyl	C ₆ H ₅ -C ₆ H ₅					
Naphthalin	C ₁₀ H ₈	128,19	+ 80,55	+218	1,03	linear (2 Ringe)
Anthracen	C ₁₄ H ₁₀	178,24	+216,3	+340	1,28	linear (3 Ringe)
Phenanthren	C ₁₄ H ₁₀	178,24	+101	+340	0,980	angular, trinuclear
Naphthacen	C ₁₈ H ₁₂	228,30	+357	+440	1,35	Tetracen, linear
Chrysen	C ₁₈ H ₁₂	228,3	+255	+448	1,27	angular kondensiert

2e) Halogenierte Kohlenwasserstoffe

CKWs = chlorierte Kohlenwasserstoffe, FCKWs = Fluorchlorkohlenwasserstoffe (= Freone) / Organohalogenide. Gemeinsame Eigenschaften: zumeist flüssig und von hoher Dichte, polarisiert, aber wasserunlöslich, gute Reinigungs- und Lösemittel, bei hoher Anzahl an Halogen-Substituenten nicht mehr entflammbar. Aliphatische Halogen-KWs sind oft toxisch (nach Pb die höchste Anzahl an Berufsvergiftungen!), alicyclische Halogen-KWs weniger toxisch als unsubstituierte ringförmige Kws. Fluorkohlenwasserstoffe sind stabiler als die entsprechenden Kws, CKWs nur bis C=3. Organohalogenide reagieren durch nukleophile Substitution, z.B. mit Hydroxidionen zu Alkoholen (Alkanolen), oder durch Eliminierung von Halogenwasserstoffen zum Olefin (Alken). Im Folgenden nur eine Auswahl dieser Stoffklasse (bei 4 versch. Halogensubstituenten und unzähligen Positionsisomeren sind hier weitaus mehr Verbindungen möglich als bei unsubstituierten Kws!).

e1) Halogen-KWs mit einem C-Atom:

Chem. Name	Summenformel	M (in g/mol)	Fp. (°C)	Kp. (°C)	D (g/cm ³)	Anmerkungen
Fluormethan	CH ₃ F	34,0	-142	-78,4	flü.0,557	Methylfluorid
Chlormethan	CH ₃ Cl	50,5	-97,7	-24,2	flü.0,907	Methylchlorid
Brommethan	CH ₃ Br	94,9	-93,6	+ 3,6	flü.1,662	Methylbromid
Jodmethan	CH ₃ I	141,9	- 66,5	+ 42	2,265	Methyljodid
Difluormethan	CH ₂ F ₂	53,0		-51,6	flü.0,80	
Dichlormethan	CH ₂ Cl ₂	84,9	-95,1	+39,8	1,316	Methylenchlorid
Dibrommethan	CH ₂ Br ₂	173,9	- 52,6	+ 97	2,484	Methylenbromid
Diiodmethan	CH ₂ I ₂	267,9	+ 6,1	+182	3,308	Methylenjodid
Fluorchlormethan	CH ₂ ClF	68,5		- 9,1		
Trifluormethan	CHF ₃	70,0	-160	-84,4	flü.1,14	
Trichlormethan	CHCl ₃	119,4	-63,5	61,7	1,480	Chloroform
Tribrommethan	CHBr ₃	252,8	+ 8,1	+149	2,876	Bromoform
Triiodmethan	CHI ₃	393,8	119	218?	4,178	Jodoform
Difluorchlor-methan	CHClF ₂	86,5	-146	-40,8	flü.1,491	Freon 22
Difluorbrom-methan	CHBrF ₂	130,9	- 14,5		flü.1,55	
Fluordichlor-methan	CHCl ₂ F	102,9	-135	+ 9	flü.1,405	Freon 21
Tetrafluormethan	CF ₄	88,0	-187	-128	(gasf.)	
Tetrachlormethan	CCl ₄	153,8	- 23	+76,5	1,584	Tetra, karzinogen
Tetrabrommethan	CBr ₄	331,7	+ 91	+189	(fest)	
Tetraiodmethan	Cl ₄	519,6		Zers.	ca.4,23?	
Trifluorchlor-methan	CClF ₃	104,5	-181	-81,1		Freon 13
Difluordichlor-methan	CCl ₂ F ₂	120,9	-158	-29,8	flü.1,75	Freon 12
Difluordibrom-methan	CBr ₂ F ₂	209,8		+24,5		
Fluortrichlor-methan	CCl ₃ F	137,4				
Bromchlor-difluormethan	CBrClF ₂	165,4				

e2) Halogen-KWs mit 2 C-Atomen:

Chem. Name	Summenformel	M (in g/mol)	Fp. (°C)	Kp. (°C)	D (g/cm ³)
Chlorethan	C ₂ H ₅ Cl	64,5	-136	+12,3	flü.0,891
1,1-Dichlorethan	CHCl ₂ -CH ₃	99,0	-97,0	+57,3	1,168
1,2-Dichlorethan	CH ₂ Cl-CH ₂ Cl	99,0	-35,7	+83,5	1,246
1,1,2-Trichlorethan	CHCl ₂ CH ₂ Cl	133,4	-36,6	+114	1,432
1,1,2,2-Tetrachlorethan	CHCl ₂ CHCl ₂	167,9	-43,8	+146	1,588
Pentachlorethan	CHCl ₂ CCl ₃	202,3	- 29	+162	1,680
Hexachlorethan	C ₂ Cl ₆	236,8		187?	2,091
Bromethan	C ₂ H ₅ Br	109,0	-119	+38,4	1,451
1,2-Dibromethan	CH ₂ Br-CH ₂ Br	187,9	+ 9,8	+131	2,169
Iodethan	C ₂ H ₅ I	156,0	-111	+72,3	1,924
Chlorethen	CH ₂ =CHCl	62,5	-154	-13,4	flü.0,901
Bromethen	CH ₂ =CHBr	107,0	-138	+15,8	flü.1,474
1,1-Difluorethen	CH ₂ =CF ₂	64,0		<-84	(gasf.)
1,1-Dichlorethen	CH ₂ =CCl ₂	96,9			
cis-1,2-Dichlor-ethen	CHCl=CHCl	96,9	-80,5	+60,3	1,284
trans-1,2-Dichlor-ethen	CHCl=CHCl	96,9	-50	+47,5	1,257
Chlorethin	CH=CCl	60,5	-126	-32	

CClF₂-CClF₂ wird wie CCl₃F und CCl₂F₂ als Sprüh- und Schaumprodukt eingesetzt, zusätzlich jedoch weniger als diese als Kältemittel für Kühl- und Klimaanlage sondern als Lösungs- und Entfettungsmittel. Die FCKWs insgesamt schädigen jedoch die Ozonschicht. Als Ersatz-Treibgas wird u.a. mit Propan und Butan experimentiert.

e3) Halogen-KWs mit 3 und mehr C-Atomen:

Chem. Name	Summenformel	M (in g/mol)	Fp. (°C)	Kp. (°C)	D (g/cm ³)
1-Chlorpropan	CH ₂ Cl-C ₂ H ₅	78,5	-122,8	+46,6	0,885
2-Chlorpropan	CH ₃ -CHCl-CH ₃	78,5	-117,2	+35,7	0,856
1-Brombutan	CH ₂ Br-C ₃ H ₇	137	-112,4	+101	1,269
1-Chlorbutan	CH ₂ Cl-C ₃ H ₇	92,6	-123,1	+78,4	0,881
2-Chlorbutan	C ₂ H ₅ CHClCH ₃	92,6	-131,3	+68,3	0,868
1-Chlor-2-methylpropan	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ Cl	92,6	-130,3	+68,9	0,872
2-Chlor-2-methylpropan	(CH ₃) ₂ CCl-CH ₃ oder (CH ₃) ₃ CCl	92,6	-25,4	+50,7	0,836
cis-1-Chlorpropen	CH ₃ CH=CHCl	75,5	-134,8	+32,8	0,927
1-Chlor-pentan	C ₅ H ₁₁ Cl	106,6	-99	+108	0,877
1-Chlorhexan	C ₆ H ₁₃ Cl	120,6	-94,0	+134,5	0,874
Polytetrafluor-ethylen,PTFE	(CF ₂) _n	ca.700.000	Zers. >300	--	
Chlorbenzol	C ₆ H ₅ Cl	112,6	-45	+132	1,106
1,2-Dichlorbenzol	C ₆ H ₄ Cl ₂	147,0	-17	+179	1,305
1,3-Dichlorbenzol	C ₆ H ₄ Cl ₂	147,0	-25	+172	1,288
1,4-Dichlorbenzol	C ₆ H ₄ Cl ₂	147,0	+53	+174	1,533
Benzylchlorid	C ₆ H ₅ -CH ₂ Cl	126,6	-39	+179,3	1,100

2f) Amine, Nitroverbindungen, N-haltige Heterocyclen, Nitrile:

Anstelle der Halogene können in Kohlenwasserstoffen auch Nitrogruppen (-NO₂), Hydroxidgruppen (-OH), Aminogruppen (-NH₂), Nitrilgruppen (-C≡N, die Zyanide als Pseudohalogenide reagieren ja ähnlich den Halogeniden!) usw. als Substituenten (funktionelle Gruppen) eingebaut werden, ebenso Alkoxygruppen (-OR mit R als Kohlenwasserstoffrest), Carbonsäurereste (-COOH und RCOO-) usw. Die Wasserstoffatome der Hydroxy- und Aminogruppen können ebenfalls durch KW-Reste ersetzt werden.

f1) Nitroverbindungen:

Insgesamt giftig (Hautresorption!), kaum wasserlöslich (außer sek. + tert. Nitroverbindungen in Alkalien; entstehende Salze beim Erwärmen mit Wasser explosiv!), z. T. gelblich, sehr stabil, relativ hoher Siedepunkt durch hohe Dipolmomente im Molekül. Zum Teil explosiv, insbes. in Mischung mit Oxidationsmitteln.

Chem. Name	Summenformel	M (in g/mol)	Fp. (°C)	Kp. (°C)	D (g/cm ³)
Nitromethan	CH ₃ -NO ₂	61,0	-28,6	+101,2	1,380
Nitroethan	C ₂ H ₅ NO ₂	75,1	-89,5	+114	1,045
Nitrobenzol (Duftstoff Mirbanöl)	C ₆ H ₅ NO ₂	123,1	+ 5,7	+210,8	1,198
1,2-Dinitrobenzol	C ₆ H ₄ (NO ₂) ₂	168,1	118,5	319	1,565
1,3-Nitrobenzol	C ₆ H ₄ (NO ₂) ₂	168,1	90,0	291	1,575
1,4-Dinitrobenzol	C ₆ H ₄ (NO ₂) ₂	168,1	174	299	1,625
2,4,6-Trinitrotoluol (TNT)	C ₆ H ₂ (NO ₃) ₂ CH ₃		Expl. >300	--	

f2) Amine:

C₃-C₁₁-Amine sind flüssig und den Alkanolen (R-OH) recht ähnlich. Alle Amine sind feuergefährl. Substanzen, bei kleineren Molekülen ammoniak- bis fischartiger Geruch (ab C₇ geruchlos), gut lösl. in Wasser und Alkoholen, Dipole, schleimhautreizend und als Aromaten gefährl. Blut- und Nervengifte. Amine reagieren als Basen mit Säuren zu Salzen, mit Oxidationsmitteln u.a. zu Nitroverbindungen. Primäre und sekundäre Amine (RNH₂ und R₂NH) bilden ähnl. Wasser und den Alkoholen (R-OH) intermolekulare H-Brücken-Bindungen und sieden daher höher als entspr. tertiäre Amine (und Ether R-O-R).

Chem. Name	Summenformel	M (in g/mol)	Fp. (°C)	Kp. (°C)	D (g/cm ³)
Aminomethan	CH ₃ NH ₂	31,06	-93,5	- 6	fl. 0,761
Methylamino-methan	(CH ₃) ₂ NH	45,08	-92,9	+ 7	fl. 0,6804
Trimethylamin	(CH ₃) ₃ N	59,11	-117,3	+ 3,5	fl. 0,6356
Aminoethan	C ₂ H ₅ NH ₂	45,08	-80,6	+ 16,6	fl. 0,6829
Ethylaminoethan, Diethylamin	(C ₂ H ₅) ₂ NH	73,13	-50	+56,3	0,7056
Triethylamin	(C ₂ H ₅) ₃ N	101,19	-114,7	+89,3	0,7275
1,2-Diaminoethan = Ethylendiamin	H ₂ N(CH ₂) ₂ NH ₂	60,11	+ 8,5	+116,5	0,8995
Propylamin	CH ₃ (CH ₂) ₂ NH ₂	59,1	- 83,0	+ 48,5	0,712
Methylethylamin	CH ₃ CH(NH ₂)-CH ₃	59,1	- 95,2	+ 32,4	0,682
Butylamin	CH ₃ (CH ₂) ₃ NH ₂	73,1	- 49,1	+ 77,4	0,735
1-Methylpropyl-amin	C ₂ H ₅ CHNH ₂ -CH ₃	73,1		+ 62,5	0,72
2-Methylpropyl-amin	(CH ₃) ₂ CH-CH ₂ NH ₂	73,1	- 84,6	+ 67,7	0,730
1,1-Dimethyl- ethylamin	(CH ₃) ₃ CNH ₂	73,1		+44,4	0,691
Aminobenzol, Anilin	C ₆ H ₅ -NH ₂ oder: C ₆ H ₇ N	93,1	- 6,3	+184,1	1,022
2-Chloranilin	Cl-C ₆ H ₄ -NH ₂	127,6	-14	+209	1,213
2-Aminophenol, 2-Hydroxyanilin	HO-C ₆ H ₄ -NH ₂	109,1	Zers. +174	--	1,328
2-Methylanilin, o-Toluidin	H ₃ C-C ₆ H ₄ -NH ₂	107,1	-23,7	+200,2	0,998
2-Nitroanilin	O ₂ N-C ₆ H ₄ -NH ₂	138,1	+ 71,5	+284	1,442
Diphenylamin, N- Phenylanilin	C ₆ H ₅ NHC ₆ H ₅	169,2	+54	+302	1,160
1,2-Diamino-benzol	C ₆ H ₄ (NH ₂) ₂	108,2	+103	+256	

f3) Weitere organische Stickstoff-Verbindungen:

Chem. Name	Summenformel	Fp. (°C)	Kp. (°C)	D (g/cm ³)
Diazomethan	H ₂ C=N=N	-145	- 23	(gasf.)
Diazoessigsäure-ethylester	N ₂ CH-COOC ₂ H ₅	- 22	+ 45	
cis-Azobenzol	C ₆ H ₅ -N=N-C ₆ H ₅	+ 71		
trans-Azobenzol	C ₆ H ₅ -N=N-C ₆ H ₅	+ 68,5		
Buttergelb	H ₅ H ₆ -N=N-C ₆ H ₄ -CH ₃			
Azoxybenzol	C ₆ H ₅ N ₂ (O)C ₆ H ₅	+ 84		
Pyridin	C ₅ H ₅ N	-42	+115,5	0,978
2-Methylpyridin, α-Picolin	CH ₃ C ₅ H ₄ N	-66,8	+128,8	0,940
Pyrimidin, 1,3-Diazin	C ₄ H ₄ N ₂	+22	+124	1,106
Pyrrrol, Imidol	C ₄ H ₄ NH	-23	+130	0,969
Methannitril, Cyanomethan	CH ₃ -C≡N			

2g) Alkohole: Alkanole, Alkandiole, Alkanpolyole, Hydroxyalkanole etc.

g1) Einwertige Alkanole

Name	Summenformel	M (g/mol)	Fp. (°C)	Kp. (°C)	D (g/cm ³)	Löslichkeit /H ₂ O
Methanol	CH ₃ OH	32,04	- 97,8	+ 64,7	0,7910	beliebig
Ethanol	C ₂ H ₅ OH	46,7	-114,5	+ 78,32	0,7893	beliebig
Propanol-1	C ₃ H ₇ OH	60,11	-126,2	+ 97,2	0,8035	beliebig
Propanol-2 (2-Hydroxypropan)	(CH ₃) ₂ -CH(OH)	60,11	-126,2?	+ 97?	0,8 ?	beliebig
Butanol-1 1-Butan-1-ol	C ₃ H ₇ .CH ₂ OH	74,12	- 89,3	+117,2	0,8098	max. 7,7 m% in H ₂ O
Butanol-2	C ₂ H ₅ CHOH-CH ₃	74,12	-114,7	+99,5	0,8065	max.12,5 m% in H ₂ O
2-methyl-propanol-1	(CH ₃) ₂ CH-CH ₂ OH	74,12	-108	+107,9	0,8027	max. 8,5 m% in H ₂ O
2-methyl-propanol-2	(CH ₃) ₃ C-OH	74,12	+ 25,6	+82,55	0,7867	beliebig
Pentanol-1	C ₅ H ₁₁ OH	88,14	-78,5	+138	0,8866	sehr gering
Pentanol-2	C ₅ H ₁₁ OH	88,14		+119,5	0,805	
Pentanol-3	(CH ₃) ₂ COH-C ₂ H ₅	88,14		+115,6	0,816	gering
2-methyl-butanol-1	(CH ₃) ₂ CH-CH ₂ CH ₂ OH	88,14		+128,9	0,815	
3-methyl-butanol-1	C ₅ H ₁₁ OH	88,14		+130,8	0,806	
2-methyl-butanol-2	C ₅ H ₁₁ OH	88,14	- 8,4	+102,2	0,805	
3-methyl-butanol-2	C ₅ H ₁₁ OH	88,14		+111,8	0,813	
2,2-Dimethyl-propanol-1	(CH ₃) ₃ C-CH ₂ OH	88,14	+ 50	+113		
1-Hexanol	C ₆ H ₁₃ OH	102	-44,6	+157,1	0,8190	
2-Hexanol	C ₆ H ₁₃ OH	102		+140		
2-Hydroxy-5-methyl-pentan	CH ₃ CHOH-CH ₂ -CH(CH ₃) ₂	102	- 90	+132	0,807	max. 1,64 m% in H ₂ O
Heptanol-1	C ₇ H ₁₅ OH	116,2	- 34	+150	0,819	
Octanol-1	C ₈ H ₁₇ OH	130,2	- 14,9	+195,2	0,822	
Octanol-2	C ₈ H ₁₇ OH	130,2		+180		
2-Ethyl-hexanol-1	C ₈ H ₁₇ OH	130,23	- 75	+184	0,8329	max.0,1%
1-Nonylalkohol	C ₉ H ₁₉ OH	144				
n-Decylalkohol	C ₁₀ H ₂₁ OH	158	+ 7	+229		
1-Undecanol	C ₁₁ H ₂₃ OH	172	+14,3	+245	0,8298	
Cyclohexanol	C ₆ H ₁₁ OH	100,2	+ 25,2	+161	0,962	

g2) mehrwertige Alkohole und Phenole (aromatische Hydroxy-Kohlenwasserstoffe):						
Name	Summenformel	M (g/mol)	Fp. (°C)	Kp. (°C)	D (g/cm³)	Löslichkeit /H₂O
Ethan-1,2-diol (Ethandiol-1,2)	CH ₂ OH-CH ₂ OH	62,1	-15,6	+198	1,109	beliebig
Propandiol-1,2	CH ₃ CHOH-CH ₂ OH	76		+190	1,0361	beliebig
Propandiol-1,3	CH ₂ -(CH ₂ OH) ₂	76		+188 (+214?)	1,034	beliebig
Propantriol-1,2,3	(CH ₂ OH) ₂ -CH(OH)	92,09		Zers. ab +180°C		beliebig
Butandiol-1,3	C ₄ H ₈ (OH) ₂	90		+207,3	1,0053	
Butandiol-1,4	C ₄ H ₈ (OH) ₂	90	+20	+220		
Pentandiol-1,5	C ₅ H ₁₀ (OH) ₂	104	-16	+240	0,990	
2,2-Dimethylpropantriol-1,3	(CH ₃) ₂ -(CH ₂ OH) ₂	104	+120	+213		
Hexandiol-1,6	C ₆ H ₁₂ (OH) ₂	118	+ 41	+250		
1,4-Dimethylbutandiol-2,3	(CH ₃) ₂ COH-(CH ₃) ₂ COH	118		+172		
Dihydroxymethylcyclohexan	(HOCH ₂) ₂ -C ₆ H ₁₀	142	+ 35	+285		
Phenylethylalkohol	C ₆ H ₅ -C ₂ H ₄ OH	122		+220	1,024	
Diacetonalkohol	CH ₃ COCH ₂ -C(CH ₃) ₂ OH	116	-47	+169,2	0,9382	
D-Mannit	C ₆ H ₁₄ O ₆	182,17	+166	Zers.		max. 16,6 m% in H ₂ O
D-Sorbit	C ₆ H ₁₄ O ₆	182,2	ca.+90			
Diethylenglykol (DEG)	HO-C ₂ H ₄ -O-C ₂ H ₄ -OH	106,1	- 10	+245,8	1,116	
Triethylenglykol (TEG)	HO-(C ₂ H ₄ -O) ₂ -C ₂ H ₄ OH	150,2	- 7	+287,7	1,123	
Hexylenglykol (HG)	(CH ₃) ₂ COH-CH ₂ CHOHCH ₃	118,2	- 40	+197,1	0,9234	
Trimethylolpropan (TMP)	C ₂ H ₅ C-(CH ₂ OH) ₃	134	+ 58			
Pentaerythrit	C(CH ₂ OH) ₄	136	ca.260			
2,3-Butylenglykol	C ₄ H ₁₀ O ₂	90,12		+184	1,05	
Phenol (Hydroxybenzol)	C ₆ H ₅ OH	94,11	+ 42	+182	1,0576	max. 8,2 m% in H ₂ O
1,3- (meta-) Dihydroxybenzol	C ₆ H ₄ (OH) ₂	110,11	+111	+276		löslich
1,4- (para-) Dihydroxybenzol	C ₆ H ₄ (OH) ₂	110,11	+169	+286		löslich
1,2,3- Dihydroxybenzol	C ₆ H ₃ (OH) ₃	126,11	+134			
1,2,4- Trihydroxybenzol	C ₆ H ₆ O ₃	126,11	+140,5			
o-Kresol	CH ₃ -C ₆ H ₄ -OH	108,13	+ 31	+192	1,048	kaum
m-Kresol	CH ₃ -C ₆ H ₄ -OH	108,13	+ 12	+202	1,0341	
2-Naphthol	C ₁₀ H ₇ (OH)					

g3) Halogenierte und ungesättigte Alkohole (u.a. substituierte Alkohole) und Thiole (Mercaptane):

Name	Summenformel	M (g/mol)	Fp. (°C)	Kp. (°C)	D (g/cm ³)	Löslichkeit /H ₂ O
1-Chlor-propanol-2	Cl-C ₃ H ₇ OH			+ 127		beliebig
Fluorethanol	C ₂ H ₄ FOH	64,06	+ 26,5	+103	1,11	
Trichlorethanol	C ₂ H ₂ Cl ₃ OH		+ 17	+161		
2-Bromethanol	BrC ₂ H ₄ OH			+150		
Trichlor-tert.-Butanol	Cl ₃ C(CH ₃) ₂ -OH	177,47		+ 97		beliebig
Allylalkohol	H ₂ C=CH-CH ₂ OH			+ 97		beliebig
2-Chlorphenol	Cl-C ₆ H ₄ -OH	128,6	+ 9,0	+174,9	1,263	gut löslich
2-Ethylphenol	C ₂ H ₅ -C ₆ H ₄ OH	122,2	- 3,3	+204,5	1,015	lösl. pKs=10,2
2-Aminophenol	H ₂ N-C ₆ H ₄ OH	109,1	+174?	Zers.	1,328	lösl. pKs=4,74 !
2-Nitrophenol	O ₂ N-C ₆ H ₄ OH	139,1	+ 46	+216	1,485	lösl., pKs=7,22
2,4-Dinitrophenol	C ₆ H ₃ (NO ₂) ₂ OH	184,1	+115	Zers.	1,683	lösl. pKs= 4,11 !
Pikrinsäure, 2,4,6-Trinitrophenol	C ₆ H ₂ (NO ₃) ₃ -OH	229,1	+120			beliebig pKs=0,22 !
Natriumethanolat	C ₂ H ₅ ONa					beliebig
Aluminium-Isopropylat	[(CH ₃) ₂ CH-O] ₃ Al		+118	+135		beliebig
Trinitroglycerin, Sprengöl	C ₃ H ₅ -(O-NO ₂) ₃					
Methanthiol	CH ₃ SH			+ 6		
Ethanthiol	C ₂ H ₅ SH			+36		
2-Mercapto-butan	C ₄ H ₉ SH			+85		
1,2-Dimercapto-ethan	HSC ₂ H ₄ SH			+146		
Thiophenol	C ₆ H ₅ SH			+169		

Lineare, gesättigte Alkohole insgesamt sind flüssig (bis C₁₀), farblos, giftig und von typ. Geruch. Sie bilden H-Brücken (hohe Siedepunkte) ähnl. Wasser, sind mit wachsender Molekülgröße weniger wasserlöslich (zunehmend lipophil), mit zunehmender Anzahl an OH-Gruppen besser wasserlöslich und reagieren unter H₂O-Eliminierung zu Alkenen oder Ethern (R-O-R), mit Säuren zu Estern und mit Oxidationsmitteln zu Alkanalen (prim. Alkohole, werden zu Aldehyden: R-CHO) und zu Alkanonen (sek. Alkohole, werden zu Ketonen, R₂-C=O) oder gleich zu Carbonsäuren (R-COOH) oder CO₂.

2h) Alkoxyalkane, Alkanale und Alkanone (Ether, Aldehyde und Ketone)

h1) Ether (Alkoxyalkane):

Ether sind zumeist angenehm riechende, brennbare, flüchtige, leicht bewegliche, kaum polare Flüssigkeiten von narkotisierender Wirkung. Alkylether sind ungiftig, Chloralkylether karzinogen. An Luft unter Lichteinwirkung entstehen langsam hochexplosive Peroxide, auch Etherdampf-Luft-Gemische sind hochexplosiv.

Name	Summenformel	M (g/mol)	Fp. (°C)	Kp. (°C)	D (g/cm ³)	Löslichkeit /H ₂ O
Methoxymethan	CH ₃ OCH ₃	46	-138,5	- 23,6	gasf.	
Methoxyethan	C ₂ H ₅ OCH ₃	60				
Ethoxyethan = Diethylether	(C ₂ H ₅) ₂ O	74,12	-116,3	+ 34,5	0,7135	75 mL/L H ₂ O (=54g)
Methoxy-propan	CH ₃ O-C ₃ H ₇	74,12		+ 71		
Ethoxy-propan	C ₂ H ₅ OC ₃ H ₇	88		+ 92		
Dipropylether	(C ₃ H ₇) ₂ O	102,2	- 95,2	+142,4	0,7704	
Diisopropylether	[(CH ₃) ₂ CH] ₂ O	102,2	- 86	+68,3	0,7255	max. 1,07 m% in H ₂ O
Dipentylether	(C ₅ H ₉) ₂ O		- 69,3	+187,5	0,7751	
Ethylvinylether				+ 36		
Phenylmethyl-ether	C ₆ H ₅ O-CH ₃			+ 154		
Methylglykol (MG)	CH ₃ O-C ₂ H ₄ -OH	76,09	- 86,5	+124,5	0,9646	beliebig
Ethylglykol (EG)	C ₂ H ₅ O -C ₂ H ₄ -OH	90,12	-100	+135	0,929	beliebig
Isopropylglykol (IPG)	(CH ₃) ₂ CH- O-C ₂ H ₄ -OH	104,15	- 60?	+142,8	0,908	beliebig
n-Butylglykol (BG)	C ₄ H ₉ - O-C ₂ H ₄ -OH	118,18	- 60	+171,2	0,902	beliebig
Methyldiglykol (MDG)	CH ₃ - (O-C ₂ H ₄) ₂ -OH	120,15	- 65	+193,8	1,021	beliebig
Ethyldiglykol-ether (EDG)		134,10	- 76	+201,6	0,989	beliebig
n-Butyl-diglykol-ether(BDG)		162,22	- 68	+230,4	0,9536	beliebig
Ethylenglykol-monomethylether	HOC ₂ H ₄ -OCH ₃		- 85,1	+124,5	0,9646	beliebig
Diethylenglykol (DEG)	(HO-C ₂ H ₄) ₂ O	106		ca.244		beliebig
Oxiran, Epoxyethan	C ₂ H ₄ O	44,05	-111,7	+ 10,7	0,8909	
Tetrahydrofuran (THF)	C ₄ H ₈ O					
1,4-Dioxan	C ₄ H ₈ O ₂		+ 11,8	+101,3	1,0336	beliebig
2,3,7,8-Tetrachlor-dibenzo-p-dioxin	C ₁₂ H ₄ Cl ₄ O ₂					

h2) Alkanale (Aldehyde):

Alkanale sind stark polarisierte, brennb. Flüssigkeiten (C₂-C₁₁) und mit steigendem C-Gehalt immer ölig. Aldehyde C₈-C₁₄ sind Duftstoffe, niedermolekulare Aldehyde riechen unangenehm scharf. Sie bilden keine intermolekularen H-Brücken (niedrigerer Sdp.), sind ab C₆ nicht mehr wasserlöslich, leicht oxidierbar und am α-ständigen H-Atom leicht azide.

Name	Summenformel	M (g/mol)	Fp. (°C)	Kp. (°C)	D (g/cm ³)	Löslichkeit /H ₂ O
Methanal	H-CHO	30,03	-92	- 20	gasf.	max.55 m% in H ₂ O
Ethanal	CH ₃ -CHO	44,05	-123,4	+ 20,2	0,779	beliebig
Propanal	C ₂ H ₅ -CHO	58	-81	+ 47,9	0,798	
Butanal	C ₃ H ₇ -CHO	72	-97	+75,7	0,803	max. 2%
Isobutanal	C ₄ H ₉ -CHO	72	-66	+64,5	0,790	
Pentanal	C ₅ H ₁₁ -CHO	86	-91	+103,3	0,811	
Hexanal	C ₆ H ₁₃ -CHO	90		+128		
Trioxan	(CH ₂ O) ₃	132,16	+12/63	+120	0,9943	ca.9 m%
Trichlor-acetaldehyd	CCl ₃ CHO	147,4	-57,2	+ 97,8	1,512	
3-Hydroxybutanal	CH ₃ CHOH-CH ₂ CHO	88,1		+ 83	1,103	
Benzaldehyd	C ₆ H ₅ -CHO	106,1	- 26	+178,1	1,042	ca. 0,4 m%
Propenal	CH ₂ =CH-CHO	56,1	- 87	+ 53	0,841	löslich
Buten-2-al	CH ₃ CH=CH-CHO	70,1	- 74	+104	0,849	
Oxalsäure-dialdehyd	CHO-CHO	58,0	+ 15	+ 50	1,14	
Phthalaldehyd	C ₆ H ₄ (CHO) ₂		+ 59			
Anisaldehyd	C ₆ H ₄ OH-CHO	122,12	+ 1,6	+247	1,1698	
Zimtaldehyd	C ₆ H ₅ -CH=CH-CHO	132,15	- 7,5	Zers.	1,0497	
3-Methoxy-4-hydroxybenzaldehyd	C ₆ H ₃ (OH)-(OCH ₃)-CHO	152,14	+ 82	+284		

h3) Alkanone (Ketone):

Name	Summenformel	M (g/mol)	Fp. (°C)	Kp. (°C)	D (g/cm ³)	Löslichkeit /H ₂ O
Propanon, Aceton	(CH ₃) ₂ C=O	58,1	-94,7	+ 56,1	0,785	beliebig
Butanon-2	C ₂ H ₅ CO-CH ₃	72,1	-86,3	+79,6	0,800	max. 27,5 m%
Pentanon-2	C ₃ H ₇ CO-CH ₃	86,1	-77,5	+102	0,802	
3-Methyl-butanon-2	C ₃ H ₇ CO-CH ₃	86,1	-92	+94	0,798	max.6,5 %
Pentanon-3	(C ₂ H ₅) ₂ C=O	86,1	-36,4	+102	0,809	max. 3,4%
Hexanon-2	C ₄ H ₉ CO-CH ₃	100,2	-55,8	+127,5	0,807	
4-Methyl-pentanon-2	C ₄ H ₉ CO-CH ₃	100,2	-84	+116,2	0,796	max. 1,8%
Cyclohexanon	C ₆ H ₁₀ O	98,1	-16,4	+155,7	0,948	
Butandion-2,3	CH ₃ CO-COCH ₃	86,1	- 2,4	+ 88	0,981	
Pentandion-2,4	CH ₃ CO-CH ₂ CO-CH ₃	100,1	-23	+139	0,972	

Name	Summenformel	M (g/mol)	Fp. (°C)	Kp. (°C)	D (g/cm ³)	Löslichkeit /H ₂ O
Isoheptanon-4	(C ₃ H ₇) ₂ CO			+144		
Acetophenon	C ₆ H ₅ CO-CH ₃	120,14	+20,5	+202	1,028	
Benzophenon	(C ₆ H ₅) ₂ CO		+48,1	+305,4	1,607	unlöslich
2,4-Pentandion	CH ₃ CO-CH ₂ -CO-CH ₃		- 23,3	+139	0,9728	16 %
Cyclohexanon	C ₆ H ₁₀ O			+156	0,9471	
p-Brom-Acetophenon	C ₆ H ₄ Br-CO-CH ₃			+110		
Keten	H ₂ C=C=O	42	- 151	- 56		

Ketone sind wasserklare, brennb. und leicht bewegl. Flüssigkeiten von typ. Geruch, zumeist narkotisierend und weniger reaktiv sowie schwerer oxidierbar als Alkanale. Sie werden zu Carbonsäuren oxidiert und zu sek. Alkoholen reduziert, reagieren auch mit Halogenen (z.B. Br₂ mit Aceton zu Bromaceton, CH₃COCH₂Br = Tränengas).

2i) Carbonsäuren und -säurederivate

Monocarbonsäuren (Funkt. Gruppe -COOH) sind bis C₈H₁₇COOH zumeist farblose Flüssigkeiten. Bei gerader C-Anzahl im Molekül liegt der Schmelzpunkt niedriger als die jeweils nächsthöhere Säure dieser monologen Reihe, bis C₄ sind sie mit Wasser mischbar und ab C₉ praktisch wasserunlöslich. Sie sind schwach sauer (pKs um 3-5) und reagieren daher mit Basen zu Salzen, über Katalysatoren mit Halogenen, mit Alkoholen zu Estern und mit Reduktionsmitteln zu primären Alkoholen. Sie sind wichtige Stoffwechselprodukte und ungiftig, jedoch z.T. schleimhautreizend und ätzend. Carbonsäuren ab C₁₂ werden daher aus Fetten und Ölen hergestellt (in denen sie zumeist mit Glycerin verestert sind), andere aus ihren aromatisch riechenden Estern (Duftstoffen).

Als Derivate existieren neben den Estern (Gruppe: -COOR) Carbonsäurehalogenide (Gruppe: -COHal), Carbonsäureamide (-CONH₂), Carbonsäureanhydride, halogenierte Carbonsäuren, Hydroxycarbonsäuren, Glyceride (Fette, Glycerinester) und Seifen (Alkalisalze höherer Carbonsäuren). Besonders wichtig für die Entstehung des Lebens waren ferner die Aminosäuren (Gruppe: -CH(NH₂)COOH), die zu Peptiden (Eiweißen) polymerisieren können. Unter den Estern aus Alkoholen (mit Keto- und Aldehydgruppen: Kohlehydrate, Saccharide, Zucker usw.) und anorganischen Säuren sind hierzu auch die Phosphorsäureester zu nennen (Bausteine der Nukleinsäuren und der DNS/RNS).

Technisch besonders bedeutsam sind Carbonsäure-Alkanol-Kondensate (Polyester). Bei der Verwendung mehrwertiger Alkohole (Alkandiole, -triole) und mehrwertiger Carbonsäuren lassen sich hier dreidimensional fast beliebig vernetzte Polyesterharze synthetisieren. Die zusätzliche Verwendung ungesättigter Carbonsäuren wie z.B. der Acrylsäure H₂C=CHCOOH) erlaubt weitere Polymerisationsreaktionen.

i1) Monocarbonsäuren:

Name	Summenformel	M (g/mol)	Fp. (°C)	Kp. (°C)	D (g/cm ³)	Anmerkungen
Methansäure	HCOOH	46,0	+ 8,4	+100,6	1,214	Ameisensäure
Ethansäure	CH ₃ COOH	60,1	+ 16,7	+117,9	1,044	Essigsäure
Propansäure	C ₂ H ₅ COOH	74,08	- 20,7	+141	0,988	Propionsäure
Butansäure	C ₃ H ₇ COOH	88,1	- 5,2	+164	0,95	Buttersäure
Pentansäure	C ₄ H ₉ COOH	102,1	- 34,5	+187	0,946	Valeriansäure
Hexansäure	C ₅ H ₁₁ COOH	116,1	- 4	+207	0,9289	Capronsäure
Heptansäure	C ₆ H ₁₃ COOH	130	-10,5	+222	0,918	Önanthsäure
Octansäure	C ₇ H ₁₅ COOH	144	+16	+237	0,914	Cetylsäure
Nonansäure	C ₈ H ₁₇ COOH	158	+12,5	+253	0,9068	Pelargonsäure
Decansäure	C ₉ H ₁₉ COOH	172	+31	+269	0,8858	Caprinsäure

Name	Summenformel	M (g/mol)	Fp. (°C)	Kp. (°C)	D (g/cm ³)	Anmerkungen
Undecansäure	C ₁₀ H ₂₁ COOH	186	+30	Zers.		
Dodecansäure	C ₁₁ H ₂₃ COOH	200	+44			Laurinsäure
Triadecansäure	C ₁₂ H ₂₅ COOH	214		+298	0,848	
Tetradecansäure	C ₁₃ H ₂₇ COOH	228	+54			Myristinsäure
Hexadecansäure	C ₁₅ H ₃₁ COOH	256	+69,2	Zers.	0,84	Palmitinsäure
Octadecansäure	C ₁₇ H ₃₅ COOH	284	+69,9	Zers.	0,84	Stearinsäure
Dokosansäure	C ₂₂ H ₄₄ O ₂					
Lignocerinsäure	C ₂₄ H ₄₈ O ₂					
Cerotinsäure	C ₂₆ H ₅₂ O ₂					
Melissinsäure	C ₃₀ H ₆₀ O ₂					
2-Methylpropansäure	(CH ₃) ₂ CH-COOH	88,10	-46,1	+154,7	0,9530	Isobuttersäure
2-Methylbutansäure	C ₄ H ₉ COOH	102,1	-37,9	+176	0,9332	Isovaleriansäure
2,2-Dimethylpropansäure	(CH ₃) ₃ C-COOH	102,1	+35	+164	0,905	Trimethyllessigsäure
Benzoessäure	C ₆ H ₅ COOH	122,1	+122,4	+249	1,266	
Phenyl-essigsäure	C ₆ H ₅ -CH ₂ -COOH	136,2	+77	+265,5	1,228	
Acrylsäure	C ₂ H ₃ COOH		+13	+140	1,062	
Erucasäure	C ₁₈ H ₃₄ COOH		+75	+328		
Ölsäure	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	282	ca.+14		0,8905	
9,12-Linolsäure	C ₁₇ H ₃₁ COOH	280				
9,11-Linolsäure	C ₁₇ H ₃₁ COOH	280				Ungesättigt
9,12,15-Linolensäure	C ₁₇ H ₂₉ COOH	278				Doppelt ungesättigt

i2) Substituierte Monocarbonsäuren:

Name	Summenformel	M (g/mol)	Fp. (°C)	Kp. (°C)	D (g/cm ³)	Löslichkeit /H ₂ O
Aminoessigsäure	H ₂ N-CH ₂ -COOH	75,1	Zers. +262		1,044	pKs=2,35 + 9,78
Bromessigsäure	BrCH ₂ COOH	139	+50	+208	1,934	pKs=2,91
Chloressigsäure	ClCH ₂ COOH	94,5	+63	+187,9	1,404	pKs=2,86
Dichloressigsäure	Cl ₂ CHCOOH	128,9	+13,5	+194	1,563	pKs=1,30
Trichloressigsäure	Cl ₃ CCOOH	163,4	+58	+197,6	1,62	pKs=0,70!!
Fluoresigsäure	FCH ₂ COOH	78,0	+32,5	+165	1,369	pKs=2,23
Hydroxyessigsäure	HOCH ₂ -COOH	76,1	+80	Zers.		pKs=3,88
Iodessigsäure	I-CH ₂ COOH	186,0	+83	Zers.		pKs=3,17
α-Chlorpropionsäure	CH ₃ CHCl-COOH	108,5		+186	1,258	pKs=2,83
β-Chlorpropionsäure	ClCH ₂ CH ₂ -COOH	108,5	+41	+204		pKs=3,98
+(d)-Milchsäure	CH ₃ CH(OH)-COOH	90,1	+53	+103		pKs=3,86
-(d)-Milchsäure		90,1	+53	+103		pKs=3,86
(dl)-Milchsäure		90,1	+18	+122		pKs=3,86

Name	Summenformel	M (g/mol)	Fp. (°C)	Kp. (°C)	D (g/cm ³)	Löslichkeit /H ₂ O
α-Chlorbuttersäure	C ₂ H ₅ CHCl-COOH	122,6			1,179	pKs=2,86
β-Chlorbuttersäure	CH ₃ CHCl-CH ₂ COOH	122,6	+16		1,190	pKs=4,05
γ-Chlorbuttersäure	ClCH ₂ (CH ₂) ₂ -COOH	122,6	+16		1,224	pKs=4,52
2-Amino-Benzoessäure	H ₂ N-C ₆ H ₄ -COOH	137,1	+146	Zers.	1,412	pKs=2,05
2-Chlor-Benzoessäure	ClC ₆ H ₄ -COOH	156,6	+142	Zers.	1,544	pKs=2,91
2-Hydroxy-Benzoessäure	HO-C ₆ H ₄ -COOH	138,1	+159		1,443	pKs= 2,97 + 13,59
2-Methyl-Benzoessäure	CH ₃ -C ₆ H ₄ -COOH	136,2	+108	+258	1,062	pKs=3,91
2-Nitrobenzoesäure	O ₂ N-C ₆ H ₄ -COOH	167,1	+147		1,575	pKs=2,21

i3) Dicarbonsäuren:

Oxal- / Kleesäure	HOOC-COOH	90,0	(subl.)	+157 (subl.)	1,900	pKs= 1,25 + 4,29
Malonsäure	CH ₂ (COOH) ₂	104,1	+135,6	Zers. ab 140	1,619	pKs= 2,85 + 5,69
Bernsteinsäure	(CH ₂) ₂ -(COOH) ₂	118,1	+188	Zers. ab 235	1,572	pKs=4,21 + 5,64
Monohydroxybutandisäure	HOOC-CH ₂ -CHOHCOOH	134				
+(d)-2,2-Dihydroxybernsteinsäure	HOOC-CHOH-CH(OH)-COOH	150,1	ca.171		1,76	pKs= 2,98 + 4,34
-(l)-Weinsäure	HOOC-CHOH-CH(OH)-COOH	150,1	ca.171		1,76	pKs= 2,98 + 4,34
(dl)-Weinsäure	s.o.	150,1	+206		1,788	s.o.
meso-Weinsäure	s.o.	150,1	+147		1,666	pKs= 3,22 + 4,82
Glutarsäure	HOOC(CH ₂) ₃ -COOH	132,1	+99	+302	1,424	pKs=4,34 + 5,41
Adipinsäure	HOOC(CH ₂) ₄ -COOH	146,1	+153	Zers.	1,360	pKs=4,42 + 5,41
Benzol-o-dicarbonsäure	C ₆ H ₄ -(COOH) ₂	166,1	+210	Zers.	1,593	pKs=2,95 + 5,41
cis-Butendisäure	(CH=CH)-(COOH) ₂	116,1	+139	Zers.	1,590	pKs=1,92 + 6,22
trans-Butendisäure	(CH=CH)-(COOH) ₂	116,1	+300	Zers.	1,635	pKs=3,02 + 4,39

i4) Tricarbonsäuren:

Name	Summenformel	M (g/mol)	Fp. (°C)	Kp. (°C)	D (g/cm ³)	Löslichkeit /H ₂ O
2-Hydroxypropantricarbonsäure-1,2,3 Zitronensäure	(COOHCH ₂) ₂ -C(OH)-COOH					gut

i5) Aminosäuren und div. Säurederivate:

Name	Summenformel	M (g/mol)	Fp. (°C)	Kp. (°C)	D (g/cm ³)	Löslichkeit /H ₂ O
Glycin (Gly)	H ₂ N-CH ₂ COOH	75,1	Zers. +233		pKs(I/II): 2,35/9,78	250 g/L H ₂ O
Alanin (Ala)	H ₃ C-CH(NH ₂)-COOH	89,1	Zers. +297		pKs(I/II): 2,35/9,87	167 g/L H ₂ O
Valin (Val)	C ₃ H ₇ CH-(NH ₂)COOH	117	Zers. +315		pKs(I/II): 2,29/9,72	89 g/L H ₂ O
Leucin (Leu)	C ₆ H ₉ CH-(NH ₂)COOH	131	Zers. +293		pKs(I/II): 2,33/9,74	24 g/L H ₂ O
Isoleucin (Ile)	C ₆ H ₉ CH-(NH ₂)COOH	131	Zers. +284		pKs(I/II): 2,32/9,76	41 g/L H ₂ O
DL-Arginin (Arg)	C ₆ H ₁₄ N ₄ O ₂	174,2	Zers. +238		pKs(I/II):	
Methionin (Met)	H ₃ CS-C ₂ H ₄ -CH(NH ₂)-COOH	149,2	Zers. +280		pKs(I/II): 2,17/9,27	34 g/L H ₂ O
Cystein (Cys)	HS-CH ₂ -CH(NH ₂)-COOH		Zers. +240		pKs(I/II): 1,86/8,35	280 g/L H ₂ O
Glutaminsäure (Glu)	HOOC-C ₂ H ₄ -CH(NH ₂)-COOH		Zers. +247		pKs(I/II): 2,13/4,32	8,6 g/L H ₂ O
Phenylalanin (Phe)	C ₆ H ₅ CH ₂ -CH(NH ₂)-COOH		Zers. +283		pKs(I/II): 2,58/9,24	30 g/L H ₂ O
Cystin	C ₆ H ₁₂ O ₄ N ₂ S ₂		Zers. +260		pKs(I/II):	g/L H ₂ O
β-L-Asparaginsäure	HOOC-CH ₂ -CH(NH ₂)-COOH	133	Zers. +227		pKs(I/II):	g/L H ₂ O
Thyroxin	C ₁₅ H ₁₁ O ₄ NI ₄	776,93	Zers. +233			
Formamid	HCONH ₂	45,0	+ 2,55	+105	1,134	g/L H ₂ O
Harnstoff	NH ₂ CONH ₂	60,1	+132,7	Zers.	1,32	
Acetamid	CH ₃ CONH ₂	59,1	+82,3	+221,2	0,999	
Acetanhydrid	(CH ₃ CO) ₂ O	102,1	-73,1	+136,4	1,082	
Acetylchlorid	CH ₃ COCl	78,5	-112	+52	1,104	
Acetonitril	CH ₃ CN	41,1	-45,7	+81,6	0,777	
Methylisocyanid	CH ₃ NC	41,1	-45	+59,0	0,742	

i6) Ester:

Niedermolekulare Ester sind farblose, neutrale, oft angenehm aromatisch riechende Flüssigkeiten, die sich kaum in Wasser lösen. Höhermolekulare Ester sind fett-, wachs- oder kristallartige Substanzen. Fette und Öle sind Ester des Glycerins und geradzahligter Fettsäuren, während Ester langkettiger Alkohole und langkettiger Carbonsäuren Wachse genannt werden. Als Esterverseifung wird deren Spaltung in Alkohole und Carbonsäuren bezeichnet. Die Reduktion der Ester führt zu 2 Alkoholen, ihre Pyrolyse (bei 300-500°C) zu Carbonsäuren und Alkenen.

Es reagieren also umgekehrt bei Veresterungen Carbonsäure + Alkohol → Ester + Wasser,

bei Umesterungen Ester I + Alkohol II → Ester II + Alkohol I

(als Alkoholrest-Tausch im Säuren: Alkoholyse, Säurerest-Tausch: Acidolyse).

Ester sind Duft- und Geschmacksstoffe in Pflanzen und Früchten, Fetten, Ölen und Wachsen. Glycerines-ter sind bedeutsame Nahrungsmittel - so z.B. Fette wie gemischte Triglyzride aus Hexadekan-(Palmitin-)säure, Oktadekan-(Stearin-)säure und Oktadezen-9-(Öl-)säure - , andere Ester sind auch Lösemittel, Geruchsstoffe, Weichmacher und in polymerer Form (Polyester) als Fasern.

Name	Summenformel	M (g/mol)	Fp. (°C)	Kp. (°C)	D (g/cm ³)	Löslichkeit /H ₂ O
Ameisensäuremethylester	HCOOCH ₃	60,1	-99	+31	0,974	max. 7,7 m% in H ₂ O
Ameisensäureethylester	HCOOC ₂ H ₅	74,1	-80,5	+54	0,917	
Essigsäuremethylester	CH ₃ COO-CH ₃	74,1	-98,1	+57	0,933	
Essigsäureethylester	CH ₃ COO-C ₂ H ₅	88,1	-83,6	+77	0,900	
Essigsäurepropylester	CH ₃ COO-C ₃ H ₇	102,1	-95	+101	0,888	
Essigsäureisopropylester	CH ₃ COO-C ₃ H ₇	102,1	-73,4	+90	0,872	
Essigsäurebutylester	CH ₃ COO-C ₄ H ₉	116,2	-77,9	+126,5	0,883	max. 0,75 m% in H ₂ O
Essigsäureisobutylester	CH ₃ COO-C ₄ H ₉	116,2				H ₂ O-unlös.
Essigsäureisoamylester	CH ₃ COO-C ₅ H ₁₁	130,2		+142	0,8708	
Essigsäurephenylester	CH ₃ COO-C ₆ H ₅	136,2		+195,7	1,078	
Propionsäuremethylester	C ₂ H ₅ COO-CH ₃	88,1	-87,5	+79,9	0,915	
Propionsäureethylester	C ₂ H ₅ COO-C ₂ H ₅	102,1	-73,9	+99,1	0,892	
Buttersäuremethylester	C ₃ H ₇ COO-CH ₃	102,1	-84,8	+102,3	0,898	
Buttersäureethylester	C ₃ H ₇ COO-C ₂ H ₅	116				
Buttersäureisopentylester	C ₃ H ₇ COO-C ₅ H ₁₁					
Benzoesäuremethylester	C ₆ H ₅ COO-CH ₃	136,2	-12,3	+199,6	1,089	
Benzoesäureethylester	C ₆ H ₅ COO-C ₂ H ₅	150,2	-34,6	+213	1,047	
Palmitinsäuremyrizylester	C ₁₅ H ₃₁ COO-C ₃₁ H ₆₃					
Palmitinsäurezetyl ester	C ₁₅ H ₃₁ COOC ₁₆ H ₃₃					
Phenylbenzoat	C ₁₃ H ₁₀ O ₂		+ 71	+314		
Weichmacher DOP (für Kunststoffe)	C ₆ H ₄ -(COO-CH ₂ CH(C ₂ H ₅ (CH ₂) ₃ CH ₃) ₂					
Acetessigester	CH ₃ COCH ₂ -COOC ₂ H ₅	130,14	- 44	+180	1,021	lös.
o-Hydroxybenzoesäuremethylester	C ₆ H ₄ (OH)-COOCH ₃	152,14	- 8,6	+223	1,184	
Ethylglykol-acetat (EGA)	CH ₃ COO-C ₂ H ₄ OC ₂ H ₅	132,16	- 62	+156,4	0,974	löslich bis 22,9 m%

Name	Summenformel	M (g/mol)	Fp. (°C)	Kp. (°C)	D (g/cm ³)	Löslichkeit /H ₂ O
n-Butylidiglykolacetat (BDGA)	CH ₃ COO-C ₂ H ₄ O-C ₂ H ₄ OC ₂ H ₅	204,3	- 32	+247	0,981	löslich bis 6,5 m%
1-Methoxy-propyl-2-acetat (PMA)	CH ₃ OCH ₂ CH-(OOCCH ₃)-CH ₃	132,2	unter -65	+145	0,965	löslich bis 23,0 m%
Glykoldiacetat	C ₂ H ₄ (OOC-CH ₃) ₂			+186		lösl. bis 14 m%
2-Hydroxyethylacrylat (HEA)	CH ₂ =CH-COO-C ₂ H ₄ OH					
Vanillin	C ₆ H ₃ (OH)-OCH ₃ (CHO)					
Azetylsalizyl-säure, Aspirin	C ₆ H ₄ (COOH)-COOCH ₃					
Phenol-phthalein	C ₆ H ₄ (COO)C-(C ₆ H ₄ OH) ₂ = C ₂₀ H ₁₄ O ₄	318,31		+258		kaum lösl.
Butyrolacton	C ₃ H ₆ OCO	86,09		+206	1,1286	
Cumarin/o-Oxyzimtsäurelacton	C ₆ H ₄ (HC=CH)C OO	146,14	+ 70	+291		
Carbaminsäureethylester	NH ₂ -COO-C ₂ H ₅	89,09	+ 50	+180		
Schwefelsäuredimethylester	(CH ₃ -O) ₂ SO ₂			+ 76	1,321	
Trikresylphosphat	OP(OC ₆ H ₄ -CH ₃) ₃			+435	1,179	
Trimethylborat	B(OCH ₃) ₃					

2i) Weitere organische Stoffe (Auswahl: Biochemische Grundstoffe u.a.):

Name	Summenformel	M (g/mol)	Fp. (°C)	Trivialnamen + Anmerkungen
2,3-Dihydroxypropanal	CHO-CH(OH)-CH ₂ OH			D-Glycerinaldehyd, kleinste optisch aktive Molekülsorte / Aldose
Dihydroxy-aceton	(CH ₂ OH) ₂ CO			eine Ketose
Glucose	C ₆ H ₁₂ O ₆	180,16	Zers. +90	Traubenzucker
Stärke (Amylum)	(C ₆ H ₁₀ O ₅) _n			
Benzoesäuresulfimid, Saccharin	C ₆ H ₄ (CO-NH-SO ₂) = C ₇ H ₅ O ₃ NS	183,13	+227	Süßstoff (ähnlich: Natriumcyclamat)
Dimethylsulfoxyd	(CH ₃) ₂ SO		+ 18,5	
Natriumlaurat	C ₁₁ H ₂₃ COO-Na			Detergenz (Kernseifeähnlich)
Kaliumoleat	C ₁₇ H ₃₃ COOK			Schmierseife
Cocain	C ₁₇ H ₂₁ O ₄ N	303,34	+ 98	Rauschmittel / Alkaloid
Coffein, Thein	C ₈ H ₁₀ N ₄ O ₂	194,19	+180	Aufputzmittel/Alkaloid
Chinin	C ₂₀ H ₂₄ O ₂ N ₂	324,4	+173	Alkaloid
Nicotin	C ₁₀ H ₁₄ N ₂	162,23		ölig, bicyclisches Alkaloid, hochtoxisch
Heroin, Diacetylmorphin	C ₁₇ H ₁₇ ON-(COOCH ₃) ₂	369,4	+179	starkes Rauschmittel, toxisch, ein Alkaloid

Name	Summenformel	M (g/mol)	Fp. (°C)	Trivialnamen + Anmerkungen
Cholesterin	C ₂₇ H ₄₆ O	386,64	+146	
Cortisonacetat	C ₂₃ H ₃₀ O ₆	402,47	Zers. +243	
Ascorbinsäure	C ₆ H ₈ O ₆	176,12	+189	Vitamin C, cycl. Endiol Antioxid.-mittel E 300
β-Carotin				Lebensmittelfarbstoff E160a, orangefarben
Chlorophyll	Mg-Komplex			natürl. Blatt- und Lebensmittelfarbstoff E140, grün
Ethylvanillin	C ₈ H ₈ (OH)-CHO-OC ₂ H ₅			süßer Aromastoff (4 x stärker als Vanille)
β-Naphthylmethylketon	C ₁₀ H ₇ -CO-CH ₃			Aromastoff: Orangenblütenaroma
Saccharin = Benzoesäure-sulfimid	C ₆ H ₄ (CO-NH-SO ₂) = C ₇ H ₅ NO ₃ S		+225	künstl. Süßstoff; Na-Salz von Benzoesäuresulfimid, Süßkraft 500x Saccharose
Na-Cyclamat	Na-C ₆ H ₁₂ NO ₃ S			künstl. Süßstoff, Na-Salz der Cyclohexyl-amidoschwefelsäure
L(+)-Glutaminsäure	C ₅ H ₉ NO ₄			Geschmacksverstärker E620
Natriuminosinat	C ₁₀ H ₁₁ N ₄ Na ₂ O ₈ P			Geschmacksverstärker
Ammonium-carbaminat	H ₂ N-COO(NH ₄)			Backtriebmittel (zerfällt zu NH ₃ + CO ₂)
Lecithine			ölig	Emulgator E322
Alginsäure			fest	Gelierstoff E 400
Natriumcarboxymethylcellulose	C ₆ H ₇ O ₅ -CH ₂ COONa		fest	Verdickungsmittel E466 (NaCMC), weißgelbgrau
Mononatrium-citrat	C ₆ H ₅ O ₇ Na		fest	Schmelzsatz E331
Natriumlactat	C ₃ H ₅ O ₃ Na		fest	Schmelzsatz E325
Callulose, mikrokristallin	(C ₁₂ H ₂₀ O ₁₀) _n	ca. 36000	fest	gereinigte, z.T. depolymerisierte Cellulose, Trennmittel E460
Cellulose	(C ₆ H ₁₀ O ₅) _n	> 160000		Trennmittel E460

Kapitel 5: Stoffgemische und Lösungsgleichgewichte

Umrechnungshilfen:

Masse% = Massenanteil $w \cdot 100 =$ Sättigungskonzentration in g/100 g = Gewichtsprozent Gew%

Massenanteil $w \cdot$ Dichte ρ (H₂O) in kg/L = Löslichkeit in kg/L = 1000 • Löslichkeit in g/L

Löslichkeit in g/L = Molare Masse M in g/mol • Sättigungskonzentration c (Ion) in mol/L

1:1-Elektrolyte: Sättigungskonzentration c (Ion) in mol/L = $\sqrt{K_L}$; L in g/L = M in g/mol • $\sqrt{K_L}$

Tabelle 5.1: Löslichkeitsprodukte:

Formel	K _L -Wert (+20°C)	≈ pK _L	Masse%
AgBr	6,3 • 10 ⁻¹³	12,3	1•10 ⁻⁵
AgCN	2 • 10 ⁻¹²	12	
Ag ₂ CO ₃	6 • 10 ⁻¹²	12	
AgCl	1,16 • 10 ⁻¹²	>9,7	1,6•10 ⁻⁴
Ag ₂ CrO ₄	4 • 10 ⁻¹²	11,7	2,9•10 ⁻³
AgI	1,5 • 10 ⁻¹⁶	16	
AgNO ₃		< 1	68,3•10 ⁰

Tabelle 5.1 Löslichkeitsprodukte, Fortsetzung:

Formel	K _L -Wert (+20°C)	≈ pK _L	Masse%
Ag ₂ O	$1,24 \cdot 10^{-8}$ (AgOH)	7,82	$1,6 \cdot 10^{-3}$
Ag ₂ S	$1,6 \cdot 10^{-49}$	50	
Ag ₂ SO ₄	$7,7 \cdot 10^{-5}$	4,85	0,784
AgSCN	$1,16 \cdot 10^{-12}$	12	
Al(OH) ₃	10^{-33}	33,0	
Al ₂ S ₃	Hydrolyse	-	
As ₂ S ₃	$4 \cdot 10^{-29}$	28,5	
BaCO ₃	$7 \cdot 10^{-9}$	9,3	
BaCrO ₄	$1,6 \cdot 10^{-10}$	10	
BaF ₂	$1,7 \cdot 10^{-6}$	5,8	
BaS			7,25
BaSO ₄	$1,08 \cdot 10^{-10}$	9,96	$2,2 \cdot 10^{-5}$
Ba(OH) ₂	$8 \cdot 10^{-3}$	3,9	3,9
Bi ₂ S ₃	$1,6 \cdot 10^{-72}$; (10^{-97} ?)	97,0	
BiOCl	$1,6 \cdot 10^{-31}$	31	
CaCO ₃	$4,8 \cdot 10^{-9}$	8,06	$1,5 \cdot 10^{-3}$
CaCrO ₄	$2,3 \cdot 10^{-2}$	2	
CaF ₂	$3,4 \cdot 10^{-11}$	10,4	
Ca(OH) ₂	$5,5 \cdot 10^{-6}$	5,26	0,17
Ca ₃ (PO ₄) ₂	$1 \cdot 10^{-25}$	25	
CaSO ₄	$6,1 \cdot 10^{-5}$	4,62	0,199
CdS	Um 10^{-29}	29,3	
CoS	$1,9 \cdot 10^{-27}$	26,2	
Cr(OH) ₃	$6,7 \cdot 10^{-31}$	30	
Cr ₂ S ₃	Hydrolyse	-	
CsClO ₄	$3,2 \cdot 10^{-3}$	3	
CuBr	$4,1 \cdot 10^{-8}$	8	
CuCO ₃	$1,37 \cdot 10^{-10}$	10	
CuCl	$1,02 \cdot 10^{-6}$	6	
CuI	$5,1 \cdot 10^{-12}$	11,29	
Cu(OH) ₂	$5,6 \cdot 10^{-20}$	19,3	
Cu ₂ S	$2 \cdot 10^{-47}$	46,7	
CuS	$8 \cdot 10^{-45}$	44,07	≈ $3 \cdot 10^{-4}$
FeCO ₃	$2,5 \cdot 10^{-11}$		
Fe(OH) ₂	$4,8 \cdot 10^{-16}$	13,8	
Fe(OH) ₃	$3,8 \cdot 10^{-38}$	38,8	
FeS	$3,7 \cdot 10^{-19}$	17,2	
Hg ₂ Cl ₂	$2 \cdot 10^{-18}$	18	$2,3 \cdot 10^{-4}$
HgCl ₂			6,2
Hg ₂ S	$1 \cdot 10^{-47}$	47	
HgS	$3 \cdot 10^{-54}$	52,8	
Hg ₂ SO ₄	$4,8 \cdot 10^{-7}$	6,5	
Li ₂ CO ₃	$3,16 (\cdot 10^0)$	0,1	1,15
LiF			0,14
MgCO ₃	$2,6 \cdot 10^{-5}$ ($\cdot 3H_2O$)	5,0	
MgNH ₄ PO ₄	$2,5 \cdot 10^{-13}$	12,6	0,052
Mg(OH) ₂	$5,5 \cdot 10^{-12}$	11	0,009
Mn(OH) ₂	$4 \cdot 10^{-14}$	14	

Formel	K _L -Wert (+20°C)	≈ pK _L	Masse%
MnS	$7 \cdot 10^{-16}$	14,85	
NaHCO ₃	$1,3 \cdot 10^{-3}$	3	8,6
Na ₂ CO ₃		< 1	17,9
NaCl	29,2 ($\cdot 10^0$)	1,1	26,5
Na ₂ S		< 1	16,0
Ni(OH) ₂	$1,1 \cdot 10^{-17}$	17,2	
NiS	$1 \cdot 10^{-26}$	24	
PbBr ₂	$3,9 \cdot 10^{-5}$	5,7	0,85
PbCO ₃	$3,3 \cdot 10^{-14}$	13,1	
PbCl ₂	$2,12 \cdot 10^{-5}$	4,8	0,97
PbCrO ₄	$1,8 \cdot 10^{-14}$	13,7	
PbI ₂	$8,7 \cdot 10^{-9}$	7,85	0,09
PbS	$3,4 \cdot 10^{-28}$	27,89	
PbSO ₄	$1,58 \cdot 10^{-8}$	7,8	$4,2 \cdot 10^{-3}$
Sb ₂ S ₃	$1,7 \cdot 10^{-93}$	92,77	
SnS	$1 \cdot 10^{-28}$	28	
SrCO ₃	$1 \cdot 10^{-9}$	9	
SrCrO ₄	$4 \cdot 10^{-5}$	5,2	
Sr(OH) ₂	0,02	3,85	
SrSO ₄	$3,2 \cdot 10^{-7}$	6,49	
ZnCO ₃	$6 \cdot 10^{-11}$	10,5	
Zn(OH) ₂	$1,5 \cdot 10^{-17}$	16,7	
ZnS, α-	$6,9 \cdot 10^{-26}$	25,3	
ZnS, β-	$1,1 \cdot 10^{-24}$	23,8	

Kapitel 6: Säure-Base-Gleichgewichte

Tabelle 6.1: Protonenkonzentrationen und pH-Werte saurer und basischer Lösungen

Probelösung (Beispiele)	Inhaltsstoff (Säure/Base)	c(H ⁺) in mol/L	pH = -log c(H ⁺)	Anmerkungen
Perchlorsäure	HClO ₄ , sirupös	31,6	- 1,5	≈25%, in H ₂ O
Schwefelsäure	H ₂ SO ₄ , konz.	28,0	- 1,447	14 mol H ₂ SO ₄ /L
Salpetersäure	HNO ₃ (Titer)	1,00	0,0	
Batteriesäure	H ₂ SO ₄ , verdü.	0,100	1,00	im Bleiakku
Magensäure	HCl, verdü.	0,0631	1,20	Normalwert
Zitronensaft	Zitronensäure	0,0063	2,20	
Essigessenz	CH ₃ COOH	0,0050	2,3	
Colagetränk	H ₃ PO ₄ , verdü.	0,00063	3,2	ähnl.: Limo
saure Milch	Milchsäure	$6,3 \cdot 10^{-5}$	4,2	Trinkmilch pH 6,6
Kaffee	organ. Säuren	$1,0 \cdot 10^{-5}$	5,0	frisch bereitet
Regenwasser	H ₂ O, CO ₂ u.a.	$2,5 \cdot 10^{-6}$	5,6	saurer Regen pH<2,4
dest.Wasser	H₂O (+55°C)	$2,2 \cdot 10^{-7}$	6,65	+25°C: pH = 7,00
Blut (frisch)	HCO ₃ ⁻ u.a.	$4,0 \cdot 10^{-8}$	7,4	pH = 7,4 ± 0,5
Seewasser	Mg(HCO ₃) ₂	$6,3 \cdot 10^{-9}$	8,2	(auch: CO ₃ ²⁻ u.a.)
Darmsaft	(Gallensekrete)	$5,0 \cdot 10^{-9}$	8,3	Normalwert
Kernseifenlauge	C _x H _y COO ⁻	$3,2 \cdot 10^{-10}$	10,5	(Carbonsäureanion)
Ammoniaklösg.	NH ₄ OH	$3,2 \cdot 10^{-12}$	11,5	c = 1mol/L; pOH = 2,5
Kalkwasser	Ca(OH) ₂	$3,2 \cdot 10^{-13}$	12,5	kaltgesättigte Lösung
Natronlauge	NaOH	$1,0 \cdot 10^{-14}$	14,0	(pOH = 0,0)

Kapitel 7: Redoxgleichgewichte und Elektrochemie

Tabelle 7.1.: Grundbegriffe der Elektrochemie

Begriff	Definition, Hinweise
Galvanisches Element	Anordnung aus zwei Halbzellen (zumeist zwei Metalle in Elektrolytlösung, Kap. 7.1), baut eine elektrochemische Spannung auf (Messverfahren: Potenziometrie, Kap- 9.6.2) und dient daher der Messung des oxidierenden oder reduzierenden Charakters von Stoffen und wässrigen Lösungen in einer Halbzelle
Redox-Gleichgewicht	Reversible Elektronenübertragung, beeinflussbar durch die Art und Konzentration beteiligter Leiter und Elektrolyte (Kap. 7.2.1)
Redox-Potenzial (Zellspannung)	Messbarer, oxidierender / reduzierender Charakter von Halbzellen, messbar als Redox-Standardpotenzial E_0 (Kap. 7.2.2)

7.1.1 Größen der Elektrizitätslehre

Tabelle 7.2: 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 (Stromstärke pro Spannung)	$\kappa = 1 / R = I / U$	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 S / mol \cdot cm ²)
Elektrische Spannung U (elektr. Arbeit pro Ladung)	$U = W_{\text{el.}} / Q$	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 (Spannung pro Stromstärke)	$R = U / I$	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 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 A \cdot h = 3600 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	$U = \varphi_2 - \varphi_1$ $\varphi_{\text{el.}} = 1 / (4\pi \cdot \varepsilon_0) \cdot (Q / r)$	$\varphi_{\text{el.}}$, 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	$U = \varphi_2 - \varphi_1 = W / Q$	1 Volt (V) $= 1 \text{ W} / \text{A}$ $= 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^3 / (\text{s}^3 \cdot \text{A})$	$\varphi_{1,2}$ = 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

7.1.2 Grundbegriffe der Elektrochemie

Tabelle 7.3: Weitere Fachbegriffe der Elektrochemie

Fachbegriff	Definition
Galvanisches Element	Spannungserzeugendes, elektrochemisches System aus zwei unterschiedlichen Metallen und einer Elektrolytlösung (spontane Redoxreaktion, Red./Ox. räumlich getrennt in 2 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-Redoxpotenzial	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, Kap. 7.2
Standardzellspannung U° einer galvanischen Zelle	Differenz zwischen dem Standardelektrodenpotenzial (Redoxpotenzial) der Katode (Pluspol) und dem der Anode (Minuspol): $U^\circ = E^\circ_{\text{Pluspol, Katode}} - E^\circ_{\text{Minuspol, Anode}}$

Tabelle 7.4: 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 und Methanal oder Wasserstoffperoxid, Salpetersäure 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>

Tabelle 7.5: Berechnung von Potenzialen aus der Elektrolyt-Konzentration

Rechenformel	Symbole
$E = E_0 + \frac{R \cdot T}{n \cdot F} \cdot \ln \frac{c_{\text{ox}}}{c_{\text{red}}}$ (Nernst'sche Gleichung)	R Allgemeine Gaskonstante $8,315 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ E_0 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^*

Tabelle 7.6: Wasserzersetzungsregel für Redoxreaktionen und Elektrolysen in wässriger Lösung

Regel	Rechenformel
Ist das Redoxpotenzial eines Redoxpaares positiver bzw. negativer als die Potenziale, bei denen Wasser zu H_2 reduziert bzw. zu O_2 oxidiert wird, so wird Wasser zersetzt*	$E(\text{H}_2) = -0,059 \cdot \text{pH}$ und $E(\text{O}_2) = 1,23 - 0,059 \cdot \text{pH}$

* Beispiel: Bei $\text{pH} = 7$ ist $E(\text{H}_2) = -0,41 \text{ V}$ und $E(\text{O}_2) = 0,81 \text{ V}$ \Rightarrow Bei einer Elektrolyse bei $\text{pH} = 7$ können Elektrolyte nur dann entladen und abgeschieden werden, wenn deren Potenziale zwischen $-0,41$ und $+0,81$ liegen, ansonsten entsteht an der Anode Sauerstoff oder an der Kathode Wasserstoffgas.

7.1.3 Elektrolyt-Leitfähigkeit

Molare Elektrolyt-Leitfähigkeit Λ_0 in Abhängigkeit von der Konzentration

Tabelle 7.7: Λ_0 -Werte in $S \cdot cm^2 / mol$

c (mol/L) →	1,00	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,001	0,0005	0,0001	ϑ (°C)
Ammoniakw.	0,89	3,3	-	-	9,6	-	28	-	242	19
Ethansäure	1,3	4,6	-	-	14,3	-	41	-	349,5	19
Ethansäure	-	5,26	7,26	11,3	16,0	22,4	58,1	66,4	-	25
Kalilauge	184	213	-	-	228	-	234	-	237,7	19
Kaliumbromid	-	114,2	-	-	124,4	-	129,4	-	132,3	19
Kaliumchlorid	98,3	112,0	-	-	122,4	-	127,3	-	130,0	19
Kaliumchlorid	-	128,96	133,37	138,34	141,27	143,55	146,95	147,81	-	25
Kaliumiodid	103,6	114,0	-	-	123,4	-	128,2	-	131,1	19
Kaliumnitrat	80,5	104,8	-	-	118,2	-	123,7	-	126,5	19
Natriumchlorid	74,35	92,0	-	-	101,95	-	106,5	-	109,0	19
Natriumnitrat	-	87,2	-	-	98,2	-	102,85	-	105,3	19
Natronlauge	160	183	-	-	200	-	208	-	217,4	19
Salpetersäure	300	350	-	-	368	-	375	-	377	19
Salzsäure	301	351	-	-	370	-	377	-	381,3	19
Salzsäure	-	391,3	399,1	407,2	412,0	415,8	421,4	422,7	-	25
Silbernitrat	50,8	94,3	-	-	107,8	-	113,15	-	115,8	19
Silbernitrat	-	109,14	115,24	121,41	124,76	127,20	130,51	131,36	-	25

Tabelle 7.8: Leitfähigkeit von Kaliumchlorid-Standardlösungen bei 25°C

c(KCl) in mol/L	1,00	0,500	0,200	0,100	0,0500	0,0200	0,0100	0,00500
κ in mS/cm	112	60,1	24,9	12,9	6,67	2,76	1,41	0,716

Tabelle 7.9: Ionenäquivalen-Leitfähigkeit Λ_0 in $S \cdot cm^2 / mol$ und deren Temperaturkoeffizienten α

Ion	$\Lambda_0(18^\circ C)$	$\Lambda_0(25^\circ C)$	$\alpha (K^{-1})^*$	Ion	$\Lambda_0(18^\circ C)$	$\Lambda_0(25^\circ C)$	$\alpha (K^{-1})$
Ag ⁺	54	61,9	0,0142	HS ⁻	57	65	0,0201
$\frac{1}{3} Al^{3+}$	40	63	0,0216	I ⁻	66	76,8	0,0191
$\frac{1}{2} Ba^{2+}$	55	63,6	0,0200	K ⁺	65	73,5	0,0187
Br ⁻	67	78,1	0,0185	Li ⁺	34	39	0,0215
CH ₃ COO ⁻	40,9	-	-	$\frac{1}{2} Mg^{2+}$	46	53	0,0217
C ₂ H ₅ COO ⁻	35,8	0,0206	-	$\frac{1}{2} Mn^{2+}$	44	53,5	0,0241
$\frac{1}{2} C_2O_4^{2-}$	-	74,2	-	MnO ₄ ⁻	53	61	0,0216
$\frac{1}{2} CO_3^{2-}$	60	69	0,0182	Na ⁺	44	50,1	0,0208
$\frac{1}{2} Ca^{2+}$	52	59,5	0,0211	NH ₄ ⁺	65	73,5	0,0188
$\frac{1}{2} Cd^{2+}$	46	54	0,0236	NO ₂ ⁻	59	72	-
Cl ⁻	66	76,4	0,0194	NO ₃ ⁻	62	71,5	0,0183
$\frac{1}{2} Co^{2+}$	44	55	0,0240	$\frac{1}{2} Ni^{2+}$	45	54	0,0240
$\frac{1}{2} CrO_4^{2-}$	72	84	0,0219	OH ⁻	173	198	0,0199
$\frac{1}{2} Cu^{2+}$	46	56,6	0,0273	$\frac{1}{2} Pb^{2+}$	61	70	0,0194
F ⁻	47	55,4	0,0213	S ²⁻	-	54	-
$\frac{1}{2} Fe^{2+}$	44,5	53,5	0,0241	SCN ⁻	57	66	-
$\frac{1}{3} Fe^{3+}$	61	68	-	$\frac{1}{2} SO_4^{2-}$	68,5	80	0,0206
H ₃ O ⁺	315	350	0,0142	$\frac{1}{2} Sr^{2+}$	51	59,4	0,0204
HCO ₃ ⁻	-	44,5	-	$\frac{1}{2} Zn^{2+}$	47	52,8	0,0227

* Der Temperaturkoeffizient (in K^{-1}) ist ein Maß für die Temperaturabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit. Die Angaben der Leitfähigkeit $\Lambda_0(25^\circ C)$ für $c \rightarrow 0$ in Wasser gelten für $\vartheta = +25^\circ C$ und entsprechen dem Zahlenwert der Ionenleitfähigkeit λ_∞ in $10^{-4} \lambda / (m^2 \cdot \Omega^{-1} \cdot mol^{-1})$.

7.1.4 Spezifischer Widerstand

Tabelle 7.10: Spezifische Widerstände ρ elektrischer Leiter in $\mu\Omega \cdot m$ bei $\vartheta = 20\text{ }^\circ\text{C}$

Leiter	$\rho (\mu\Omega \cdot m)$	Leiter	$\rho (\mu\Omega \cdot m)$	Leiter	$\rho (\mu\Omega \cdot m)$
AgCl, Schmelze	0,0027	Gussstahl	0,18	Rotguss (86% Cu)	$\approx 0,13$
Aluminium	0,0278	Kalium	0,061	Silber	0,016
Antimon	0,417	KCl, Schmelze	0,0034	SnCl ₂ , Schmelze	0,0112
Barium	0,36	KF, Schmelze	0,0034	Soda, Schmelze	0,0097
Beryllium	0,032	Kupfer	0,0175	Stahl, gehärtet	0,4 - 0,5
Bismut	1,1	Lithium	0,086	Stahl, weich	0,1 - 0,2
Blei	0,208	Magnesium	0,0435	Tantal	0,124
Bronze (87,5%Cu)	$\approx 0,18$	Messing*	$\approx 0,036$	Titan	0,42
Cadmium	0,076	Mangan	0,39	Uran	0,21
Chrom	0,14	Molybdaen	0,05	Wolfram	0,059
Cr-Ni (80% Ni)	1,10	Natrium	0,043	Zink	0,061
Cobalt	0,056	NaCl, Schmelze	0,0046	Zinn	0,12
Eisen rein	0,10	Nickel	0,0614	Wasser, entgast	$\approx 10^{15}$
Flusstahl	0,13	Platin	0,107	(Elektrolytlösung)	$10^6 - 10^{15}$
Gold	0,0222	Quecksilber	0,941		

Tabelle 7.11: Spezifische Widerstände ρ elektrischer Halb- und Nichtleiter in $\Omega \cdot m$ bei $\vartheta = 20\text{ }^\circ\text{C}$

Stoff, Material	$\rho (\Omega \cdot m)$	Stoff, Material	$\rho (\Omega \cdot m)$
Aluminiumsilikat, Glimmer	$9 \cdot 10^{15}$	Marmor CaCO ₃	10^{14}
Bakelite	Bis 10^{16}	Meerwasser	$10^1 \cdot 10^6$
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	$\approx 4,5 \cdot 10^5$

Tabelle 7.12: Elektrischer Temperaturkoeffizient in K^{-1}

Leiter	α^*	Leiter	α^*	Leiter	α^*	Leiter	α^*
Ag	0,00377	Cu	0,0038	Manganin*	0,00001	Pt	0,0031
C (Graphit)	-0,0002	Fe (Flusstahl)	0,0066	Messing	0,0015	Sn	0,0042
Cr-Ni-Stahl	0,00025	Konstantan*	-0,00005	Ni	0,00465	W	0,0041

* Der **elektrische Temperaturkoeffizient** α (in K^{-1} , hier Mittelwerte für den Bereich von ca. 0 bis $100\text{ }^\circ\text{C}$) ist ein Maß für die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes. Der **Widerstand** $R(\vartheta)$ bei der Temperatur ϑ berechnet sich nach der Formel $R(\vartheta) = R(20^\circ\text{C}) \cdot (1 \pm \alpha \cdot \Delta T)$ aus:

- dem Widerstand $R(20^\circ\text{C})$ bei $\vartheta = 20\text{ }^\circ\text{C}$ (in Ω),
- der Temperaturdifferenz ΔT (der zu berechnenden Temperatur zu $\vartheta = 20\text{ }^\circ\text{C}$ bzw. $T = 293\text{ K}$),
- dem elektrischen Temperaturkoeffizienten α (in K^{-1}).

Konstantan ist eine Legierung aus 54 % Cu und 46 % Ni,
Manganin eine aus 86% Cu, 12 % Mn und 2 % Ni.

7.1.5 Elektrochemische Äquivalentmassen $m_{\bar{A}}$

Tabelle 7.13: Elektrochemische Äquivalentmassen

Ion	$m_{\bar{A}}$ (g/A•h)	$m_{\bar{A}}$ (mg/A•s)	Ion	$m_{\bar{A}}$ (g/A•h)	$m_{\bar{A}}$ (mg/A•s)	Ion	$m_{\bar{A}}$ (g/A•h)	$m_{\bar{A}}$ (mg/A•s)
Ag ⁺	4,02472	1,1180	F ⁻	0,7087	0,1368	Pb ²⁺	3,8655	1,0737
Al ³⁺	0,33557	0,09322	Fe ²⁺	1,0417	0,26893	Pd ²⁺	1,9846	0,5512
Au ³⁺	2,4497	0,68047	Fe ³⁺	0,69458	0,19293	Pt ⁴⁺	1,81968	0,50547
Ba ²⁺	2,5617	0,7116	H ⁺	0,037608	0,010447	Rb ⁺	3,1884	0,8856
Bi ³⁺	2,5991	0,7220	Hg ²⁺	3,7422	1,03949	S ²⁻	0,5980	0,1661
Br ⁻	2,9813	0,8281	I ⁻	4,7350	1,3153	SO ₄ ²⁻	1,7917	0,4977
C ₂ O ₄ ²⁻	1,6418	0,4560	K ⁺	1,4587	0,40526	Sb ³⁺	1,5142	0,4206
CO ₃ ²⁻	1,1103	0,3109	Li ⁺	0,2589	0,0719	Sb ⁵⁺	0,9083	0,2523
Ca ²⁺	0,74777	0,2077	Mg ²⁺	0,4534	0,1260	Sn ²⁺	2,21462	0,61517
Cd ²⁺	2,0971	0,58253	Mn ²⁺	1,0249	0,2847	Sn ⁴⁺	1,1069	0,3074
Cl ⁻	1,3228	0,3674	NH ₄ ⁺	0,6729	0,1869	Sr ²⁺	1,6343	0,4539
Co ²⁺	1,09944	0,3054	Na ⁺	0,8578	0,2383	Tl ⁴⁺	0,4466	0,12406
Cr ⁶⁺	0,32334	0,08982	Ni ²⁺	1,09491	0,30414	Zn ²⁺	1,21990	0,3389
CrO ₄ ²⁻	2,1636	0,6010	O ²⁻	0,2985	0,08290	Zr ⁴⁺	0,8508	0,2363
Cu ²⁺	1,18550	0,32930	OH ⁻	0,6344	0,1762	H ₂ O*	0,3361	0,09336

* $m_{\bar{A}}$ ist die elektrochemische Äquivalentmasse in $m_{\bar{A}}$ in g / A • h bzw. mg / A • s, die Angabe zu H₂O bezieht sich auf die Wasser-Elektrolyse zu Knallgas (H₂/O₂). Weitere elektrochemische Äquivalentmassen siehe Kap. 4.1.2, zur Elektrogravimetrie Kap. 9.6.1, zu Wertigkeit und Oxidationszahl Kap. 3.2.2.

7.1.6 Aktivitätskoeffizienten γ von Elektrolyten bei 25 °C

Tabelle 7.14: Elektrolyt-Aktivitätskoeffizienten

b^*	AgNO ₃	Ba(OH) ₂	CaCl ₂	CuSO ₄	HBr	HCl	HNO ₃	H ₂ SO ₄	KBr	KCl
0,001	0,96	0,931	0,89	0,74	0,966	0,966	0,965	0,830	0,965	0,965
0,002	0,94	0,853	0,85	≈ 0,6	0,952	0,952	0,951	0,757	0,952	0,952
0,005	0,92	0,773	0,785	0,53	0,930	0,928	0,927	0,639	0,927	0,927
0,01	0,90	0,712	0,725	0,41	0,906	0,905	0,902	0,544	0,903	0,901
0,02	0,86	0,627	0,66	0,31	0,879	0,876	0,871	0,453	0,872	≈ 0,85
0,05	0,79	0,526	0,57	0,21	0,838	0,830	0,823	0,340	0,822	0,815
0,1	0,734	0,443	0,515	0,16	0,805	0,796	0,791	0,265	0,777	0,770
0,2	0,657	0,370	0,48	0,11	0,782	0,767	0,754	0,209	0,728	0,718
0,5	0,536	-	0,52	0,068	0,789	0,757	0,720	0,154	0,665	0,649
1,0	0,429	-	0,71	0,047	0,871	0,809	0,724	0,130	0,625	0,604
2,0	0,316	-	-	-	1,17	1,009	0,793	0,124	0,602	0,573
5,0	-	-	-	-	-	2,38	-	0,212	-	-
b^*	KI	KOH	NH ₄ Cl	NaBr	NaCl	NaI	NaOH	Na ₂ SO ₄	ZnCl ₂	ZnSO ₄
0,001	0,965	0,964	0,961	0,966	0,966	0,97	0,964	0,887	0,88	0,70
0,002	0,951	0,945	0,944	0,955	0,953	0,96	0,946	0,847	0,84	0,61
0,005	0,927	0,920	0,911	0,934	0,929	0,94	0,927	0,778	0,77	0,48
0,01	0,905	0,899	0,88	0,914	0,904	0,91	0,901	0,714	0,71	0,39
0,02	0,88	0,852	0,84	0,887	0,875	0,89	0,857	0,641	0,64	≈ 0,3
0,05	0,84	0,820	0,79	0,844	0,823	0,86	0,818	0,53	0,56	≈ 0,2
0,1	0,80	0,798	0,74	0,800	0,778	0,83	0,766	0,45	0,50	0,150
0,2	0,76	0,760	0,69	0,740	0,735	0,81	0,727	0,36	0,45	0,104
0,5	0,71	0,732	0,62	0,695	0,681	0,78	0,690	0,27	0,38	0,063
1,0	0,68	0,756	0,57	0,686	0,657	0,80	0,678	0,20	0,33	0,043
2,0	0,69	0,888	-	0,734	0,668	0,95	0,709	-	-	0,035

* Die angegebenen Mittelwerte gelten für $\rho = 25^\circ\text{C}$ bei der jeweiligen Molalität b in mol/kg.

7.2. Redox-Potenziale

7.2.1 Redox- und Säure-Base-Gleichgewichte

Tabelle 7.15: 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^0	Base (Protonenakzeptor), pH-, pK_S- und pK_B-Werte

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

7.2.2 Spannungsreihen und Redox-Standardpotenziale

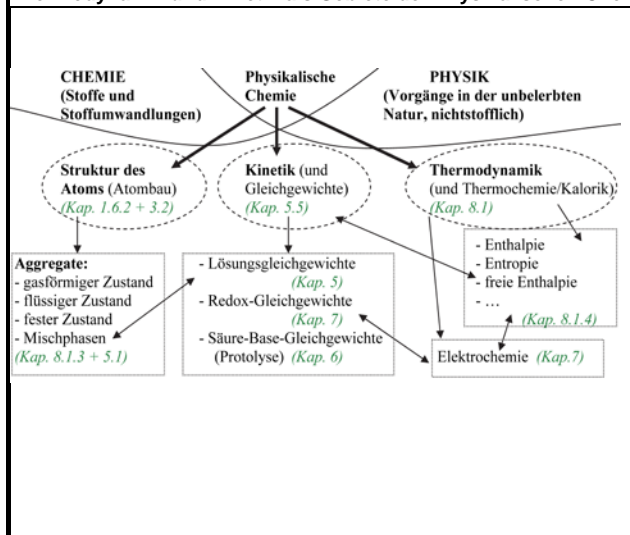
Messung der Standardpotenziale

- **Elektroden** und entsprechende **Elektrolyt-Lösungen** als **Halbzelle** ($c = 1 \text{ mol/L}$),
- **Normalwasserstoffelektrode** (NWE, mit H_2 -umspülter Pt-Elektrode in Säure mit $c(H^+) = 1 \text{ mol/L}$ bei 298,15 K und 1013,25 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, $2 H^+ + 2 e^- \rightarrow H_2$
- \Rightarrow unedleres Metall wird in Donatorhalbzelle oxidiert: $E^0(\text{Donator}) < 0 \text{ V}$
- NWE als **Donatorhalbzelle**: Oxidation von H_2 -Gas, $H_2 \rightarrow 2 H^+ + 2 e^-$
- \Rightarrow edleres Metallkation wird in Akzeptorhalbzelle reduziert: $E^0(\text{Akzeptor}) > 0 \text{ V}$.
- **Redoxpaare**: $\text{oxidierte Form} + n e^- \leftrightarrow \text{red. Form}$ bzw. $\text{Oxidationsmittel} + n e^- \leftrightarrow \text{Red.-Mittel}$

Kapitel 8: Physikalische Chemie

8.1 Thermodynamik

Thermodynamik und Kinetik als Gebiete der Physikalischen Chemie



- Physikalische Größen allgemein s. Kap. 1.3
- Stoffspezifische Konstanten (Stoffeigenschaften) allgemein s. Kap. 1.4.2
- Stoffdaten und -eigenschaften wie Dichte, Molare Masse, Löslichkeit, Schmelz- und Siedetemperaturen - von den Elementen s. Kap. 3.1.5, - von Verbindungen s. Kap. 4.3 und 4.4.
- Daten zur Elektrochemie s. Kap. 7
- Daten zur Thermodynamik s. Kap. 8.1
- zu weiteren Gebieten der Physikalischen Chemie s. folgende Tabelle

Tabelle 8.1: Größen und Bestimmungsverfahren im Bereich der physikalischen Chemie

Wert, Größe	Buch Kapitel	Bestimmungsverfahren, Methode	Buch Kapitel
Absorptionscharakteristika	9.9.4, 9.9.5	Spektroskopie, Spektralanalyse	9.9
Dampfdruck	5.7.2	Druckmessung (Manometrie)	(8.3.6)
Dichte	5.7.3, 8.3.4	Dichtebestimmung, Pyknometrie	9.3.5, 8.3
Dipolmoment	3.2.7	Polaritätsmessung	ΔEN: 3.2.7/8
Enthalpie, Reaktionswärme	8.1.4	Kalorimetrie, Wärmemessung	8.1.6
Entropie	8.1.4	Entropieberechnung	8.1.4
Gefrierpunkt / Schmelzpunkt	9.3.6, 9.3.7	Temperaturmessung	8.1
Gefrierpunktserniedrigung	9.3.7, 9.3.8	Kryoskopie	9.3.8
Heiz- und Brennwerte	8.1.5	Kalorimetrie	8.1.6
Konzentration, Sättigungs-	5.7, 5.6.2	Konzentrations-Bestimmungen	9.3.11
Leitfähigkeit (spezif. elektr.)	7.1.3	Konduktometrie	9.6.3
Löslichkeit, L.-produkt	5.7, 5.6.2	Bestimmung der Löslichkeit	(9.3.11)
Molare Masse	4.3, 4.4	Molmassen-Bestimmungen	9.3.11, 8.2
Osmotischer Druck	9.3.12	Osmometrie	9.3.12
Redoxpotenzial	7.2.2	Potenziometrie	9.6.2
Retentionszeit, -faktor	9.8	Chromatographische Verfahren	9.8
Siedetemperatur, -punkt	9.3.9	Temperaturmessung	8.1
Siedepunktserhöhung	9.3.9, 9.3.10	Ebullioskopie	9.3.10
Van-der-Waals-Konstante	8.3.6	Messung des molaren Volumens	8.3.6, 8.2.1
Viskosität	5.7.2, 8.4.7	Viskosimetrie	9.3.4
Wärmekapazität	8.1.2	Kalorimetrie, Wärmemessung	8.1.6
Wärmeleitfähigkeit	8.4.1	Wärmeleitfähigkeitsmessung	8.4.1, 8.1
Widerstand (spezifischer)	7.1.4	Konduktometrie	9.6.3

8.1.1. Heiz- und Brennwerte

Tabelle 8.2: Definition und Umrechnung von Heiz- und Brennwerten

Brennwert H	Bezug	Definition	Einheit
spezifischer Brennwert H_0	$m_{\text{Brennstoff}}$	$H_0 = \Delta H / m$	kJ/kg Brennstoff (DIN 51900)
molarer Brennwert $H_{0,M}$	$n_{\text{Brennstoff}}$	$H_{0,M} = H_0 \cdot m = \Delta H$	kJ/mol Stoff (25 °C, 1013 hPa)
volumenbezogener Brennwert $H_{0,V}$	$V_{\text{Brennstoff}}$	$H_{0,V} = -\Delta H / V_n$	kJ/m ³ ($p = 1013 \text{ hPa}$, $\beta = +25^\circ\text{C}$, relative Gas-Feuchte = 100%)
spezifischer Heizwert H_U	$m_{\text{Brennstoff}}$	$H_U = \Delta H / m$ *	kJ/kg Brennstoff (DIN 5499)
molarer Heizwert $H_{U,M}$	$n_{\text{Brennstoff}}$	$H_{U,M} = H_0 \cdot m = \Delta H$ *	kJ/mol Brennstoff
volumenbezogener Heizwert $H_{U,V}$	$V_{\text{Brennstoff}}$	$H_{U,V} = -\Delta H / V_n$ *	kJ/m ³ ($p = 1013 \text{ hPa}$, $\beta = +25^\circ\text{C}$, relative Gas-Feuchte = 100%)

* Unterscheidung der **Heizwerte** (DIN 5499) von den **Brennwerten** (DIN 51900) durch:

- die Verdampfungsenthalpie $\Delta H_{\text{Verdampfg.}}$ für das Produkt Wasser(dampf)
- die Bestimmbarkeit nach DIN 51708 in kalorimetrischen Bomben (vgl. Kap. 8.6)
- Umrechnung von Heiz- in Brennwerte*:

$$H_U = H_0 - [\Delta H_{\text{Verdampfg.}}(\text{H}_2\text{O}) \cdot m(\text{H}_2\text{O}) / m_{\text{Brennstoff}}]$$

$$H_{U,M} = H_{0,M} - [\Delta H_{\text{Verdampfg.}} / \text{mol}(\text{H}_2\text{O}) \cdot n(\text{H}_2\text{O}) / n_{\text{Brennstoff}}] = H_{0,M} - [\Delta H_{\text{Verdampfg.}} / \text{mol}(\text{H}_2\text{O}) \cdot X(\text{H}_2\text{O})]$$

* (mit: $\Delta H_{\text{Verdampfg.}}(\text{H}_2\text{O}) = 2442 \text{ kJ/kg H}_2\text{O}$, $X(\text{H}_2\text{O}) = \text{Molenbruch}$, die Volumenarbeit $p \cdot \Delta V$ des Wassers beträgt $\Delta H_R = \Delta n \cdot R \cdot T = 55,5 \text{ mol} \cdot 8,3143 \times 10^{-3} \text{ kJ/mol K} \cdot 298 \text{ K} \approx 137 \text{ kJ}$)

- Der Molare Brennwert $H_{0,M}$ entspricht der Verbrennungsenthalpie $\Delta H_{\text{Verbrennung}}$.

Brennstoff*	$H_{U,M}$ (kJ/mol)	Brennstoff*	$H_{U,M}$ (kJ/mol)	Brennstoff*	$H_{U,M}$ (kJ/mol)
Benzol	3140	Kohlenmonoxid	285	Toluol	3684
Ethan	1432	Methan	804	Wasser	0
Ethanol	1969	Propan	1834	Wasserstoff	243

* Je höher die molare Masse M eines brennbaren Stoffes, umso größer in der Regel auch der molare Heizwert eines (Kohlenwasser-)Stoffes und der Brennwert (physikalischer Energiegehalt).

Tabelle 8.4: Durchschnittliche spezifische Brennwerte H_0

Brennbarer Stoff / Nährstoff	Brennwert*	Brennbarer Stoff / Nährstoff	Brennwert*
Oxalsäure, Ethandisäure	2,79	Ether ($\Delta H_{\text{Verbr.}} = -2733$ kJ/mol)	36,86
Ameisensäure, Methansäure	5,87	Linolensäure C 18:3	38,7
Kohlenstoffmonoxid	10,12	tierische Fette allgemein	38,9 - 39,2
Harnstoff ($\Delta H_{\text{Verbr.}} = -632$ kJ/mol)	10,53	Palmitinsäure C ₁₆	39,2
Ethansäure, Essigsäure	14,52	Ölsäure C18:1	39,4
Glucose, Hexosen allgemein	15,64	pflanzliche Fette allgemein	bis 39,8
Saccharose, Disaccharide allg.	16,51	Naphthen, Naphthalin	40,24
Xylit, Sorbit, Mannit	15,7	Stearinsäure C ₁₈	40,0
Kohlehydrate allgemein	17,2	Cholesterin	41,4
Glyzerin, Propantriol-1,2,3	18,09	Benzol ($\Delta H_{\text{Verbr.}} = -3269,9$ kJ/mol)	41,86
Hölzer allgemein	18,8 - 21,0	Toluol ($\Delta H_{\text{Verbr.}} = -3912,6$ kJ/mol)	42,46
Fleisch allgemein	22,4	Dieselmotortreibstoffe	44,8 ± 0,4
CH ₃ OH ($\Delta H_{\text{Verbr.}} = -727,1$ kJ/mol)	22,69	<i>n</i> -Octan ($\Delta H_{\text{Verbr.}} = -5474,2$ kJ/mol)	47,92
Proteine allgemein	23,4	Flugbenzin, Kerosin	47,52 ± 0,6
Buttersäure C ₄	24,9	<i>n</i> -Hexan ($\Delta H_{\text{Verbr.}} = -4165,9$ kJ/mol)	48,34
Braunkohlen, erdig	25,9 - 26,8	<i>n</i> -Butan ($\Delta H_{\text{Verbr.}} = -2880$ kJ/mol)	49,56
Ethanol	30,0	Ethin, Azetylen	49,95
Aceton, Propanon	31,06	Propan ($\Delta H_{\text{Verbr.}} = -2221,5$ kJ/mol)	50,38
Steinkohlen	31,8 - 36,6	Ethan* ($\Delta H_{\text{Verbr.}} = -1560,9$ kJ/mol)	51,91
Benzaldehyd	33,3	Methan ($\Delta H_{\text{Verbr.}} = -55,53$ kJ/mol)	55,53
Propanol-1	33,59	H ₂ ($\Delta H_{\text{Verbr.}} = -282,7$ kJ/mol)	140,25
Anilin, Aminobenzol	36,5	* $H_{0,n}$ (Erdgas) = 29310 bis 37680 kJ/m ³	

* **Spezifische Brennwerte H_0** : physikalische Energiegehalte, in kJ/g Trockensubstanz (DIN 51900),

* **Physiologische Energiegehalte** eines Nährstoffes: Nur der vom Körper verwertbare Energieanteil

Tabelle 8.5: Explosionsgrenzen brennbarer Stoffe mit Luft

Stoff (gasf., verdampft)*	$\vartheta_{\text{Zünd}}$	$\alpha(u)$	$\alpha(o)$	Stoff (gasf., verd.)*	$\vartheta_{\text{Zünd}}$	$\alpha(u)$	$\alpha(o)$
Aceton, Propanon	604	2,15	13,0	<i>n</i> -Heptan	233	1	6
Ammoniak	780	16	27,0	Kohlenstoffmonoxid	651	12,5	74,2
Benzol, Benzen	580	1,4	8	Kohlenstoffdisulfid	124	1,0	50
(Mono-)Chlormethan	538	3,6	14,8	Methan	537	5,3	13,9
Diethylether	186	1,7	48	Methanol	400	6,0	36,5
Erdgas	≈ 515	≈ 5	≈ 14	Propan	466	2,37	9,5
Ethan	510	3,12	15,0	Pyridin	573	1,8	12,4
Ethanol	426	3,28	19	Schwefelwasserstoff		4,3	45,3
Ethansäure	568	4,0	-	Waschbenzin	≈ 240	≈ 1	≈ 6
Ethin, Azetylen	335	2,5	80	Wasserstoffgas	580	4,1	74,2

* Verwendete Kürzel:

$\alpha(o)$ Obere Volumenkonzentration des Gases oder Dampfes in Luft in %

$\alpha(u)$ Untere Volumenkonzentration des Gases oder Dampfes in Luft in %

$\vartheta_{\text{Zünd}}$ Zündtemperatur des Gemisches in °C (Selbstentzündung, Explosion)

Weitere mögl. Kennzahlen zur Feuergefährlichkeit: Flammpunkt, Zündtemperatur und Dampfdruck

8.1.2 Kalorimetrie

Kalorimetrie:

- **Ziel:** Bestimmung der **Wärmemenge Q** bzw. **Enthalpie H** eines Vorganges oder einer Reaktion, z. B. verschiedener Enthalpie-Werte (Kap. 8.4)
- **Voraussetzung:** Bekannte **Wärmekapazität C_K** des Kalorimeters
- **Varianten:** Bestimmung der Verbrennungs- oder Detonationsenthalpie von Heiz- und Sprengstoffen
(in abgewandelten Messgefäßen: Verbrennungs- und Bombenkalorimeter).

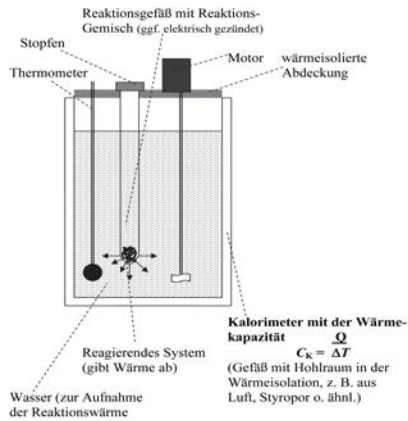


Tabelle 8.6: Bestimmung der Kalorimeter-Wärmekapazität C_K

Schritt, Vorgang	Beispiel bzw. Berechnung
1) Kalorimeter mit der Wasser-Masse m ₁ füllen	Beispiel: θ ₁ = + 20°C
2) wärmere Wasser-Masse m ₂ zugeben	Beispiel: θ ₂ = + 80°C,
3) warmes Wasser gibt Wärmemenge Q _A ab, das kältere sowie das Gefäß nehmen Wärmemenge Q _B auf: $Q_A = Q_B$	$Q_A = c_W m_2 (\theta_2 - \theta_m)$ Aufgenommene Menge Q: $Q_B = (c_W m_1 + C_K) (\theta_m - \theta_1)$
4) Mischtemperatur θ _m messen	Gefäß nimmt bei Temperaturerhöhung ΔT Wärmemenge Q _K auf
5) Kalorimeterkonstante C _K berechnen (Gleichsetzung Q _A =Q _B und Auflösung nach C _K)	Wärmekapazität $C_K = Q_K/\Delta T$ des Kalorimeters: $C_K = c_w \cdot m_w \cdot \frac{\theta_2 - \theta_m}{\theta_m - \theta_1} - c_w \cdot m_1$

Tabelle 8.7: Kalorimetrische Bestimmung von Enthalpien Δ_rH°

Bestimmungsgröße	Verfahren, Größengleichung*
Bildungsenthalpie einer Verbindung AB	über: $\Delta_r H^\circ = [M(AB) / m] \cdot (C_K + c_W m_W) \cdot (\theta_2 - \theta_1)$
Standard-Reaktionsenthalpie Δ _r H°	<ul style="list-style-type: none"> • T = 298 K = + 25°C und p = 1013 hPa • Gleichsetzung von Δ_rH° mit der Summe der vom Wasser aufgenommenen Wärmemenge Q_W und der vom Kalorimetergefäß aufgenommenen Wärme Q_K • Von einem Körper aufgenommene Wärmemenge Q berechnet sich aus seiner Masse m, der Temperaturänderung ΔT und der spezif. Wärmekapazität c (Beispiel: c_W = c(H₂O) = 4,1868 J/g K) • Berechnung von Δ_rH° nach: $\Delta_r H^\circ = Q_W + Q_K = c_W m_W \Delta T + C_K \Delta T = (c_W m_W + C_K) \Delta T$ Für m_W ist die Masse des Wassers einzusetzen
Schmelzenthalpie	über: $(C_K + c_W m_2) (\theta_2 - \theta_m) = (m_1 / M_{\text{Wasser}}) \Delta H_{\text{Schmelz}} + c_W m_1 \theta_m$

* Kürzel und Symbole vgl. Kap. 8.1.1, 8.1.2 und 8.1.4

Kapitel 9: Analytische Chemie

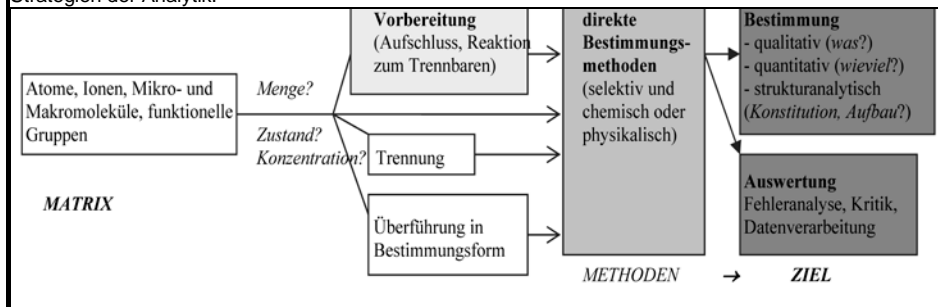
9.1. Analytische Verfahren – die Strategie

Tabelle 9.1: Hauptgebiete der Analytik

Begriff, Bereich	Definition, Hinweis
Strategien und Methoden der Analytik	Vorgehensweise zur Untersuchung einer Probe, Übersicht analytischer Bestimmungs- und Messmethoden, orientierende Kurzbeschreibungen und Hinweise s. Kap. 9.1
Nasschemische Methoden und Nachweisreaktionen	Analyse einer Probe in Lösung (zumeist qualitativ und mit Hilfe von Nachweisreagenzien bzw. -reaktionen, s. Kap. 9.2)
quantitativ-instrumentelle Methoden	Analyse einer Probe mit Hilfe von Laborapparaturen und/oder Messinstrumenten (zumeist standardisierte Verfahren, aufgelistet in Kap. 9.3 , ausführliche Daten in Kap. 9.4 bis Kap. 9.9)

9.2 Analytische Verfahren – die Methodik von A bis Z

Strategien der Analytik:



9.3. Quantitative und instrumentelle Nachweismethoden

Tabelle 9.2: Grundbegriffe und Methoden quantitativer Analyse

Begriff	Definition, Hinweis
Quantitative Bestimmung	<ul style="list-style-type: none"> nasschemisch (Gravimetrie Kap. 9.4, Volumetrie Kap. 9.5) instrumentell (mit Hilfe von Messgeräten und Analyseapparaturen, Beispiele: Refraktometrie Kap. 9.3.1, Polarimetrie Kap. 9.3.2, Photometrie Kap. 9.3.3, Viskosimetrie Kap. 9.3.4, Kryoskopie Kap. 9.3.8, Ebullioskopie Kap. 9.3.10, Osmometrie Kap. 9.3.12, Elektroanalytik Kap. 9.6) über andere physikalisch-chemische Bestimmungsgrößen (Kap. 10)
Erfassungsgrenze (EG)	<ul style="list-style-type: none"> Menge des Stoffes, die gerade noch nachweisbar ist gemessen in µg oder ppm und ppb (Kap. 5.4)
Grenzkonzentration (GK)	Konzentration des nachzuweisenden Stoffes, bei der die Nachweisreaktion gerade eben noch positiv ist (pD-Wert-Berechnung: pD = - log (GK))

Tabelle 9.3: Primäre und sekundäre thermometrische Fixpunkte ($p = 1013 \text{ hPa}$)

Phasen-Gleichgewicht*	T (K)	ϑ (°C)	Phasen-Gleichgewicht*	T (K)	ϑ (°C)
Siedepunkt von O ₂ (flüss.)	90,18	-182,97	Erstarrungspunkt Sn	505,05	231,9
Schmelzpunkt H ₂ O (rein)	273,15	± 0,000	Siedepunkt Benzophenon**	579,05	305,9
Tripelpunkt H ₂ O	273,16	+ 0,010	Erstarrungspunkt Cd	594,05	320,9
Siedepunkt H ₂ O	373,15	100,00	Erstarrungspunkt Pb	600,45	327,3
Schmelzpunkt Zn	692,655	419,505	Siedepunkt Hg**	629,73	356,58
Schmelzpunkt S	717,75	444,6	Erstarrungspunkt Sb	903,65	630,5
Schmelzpunkt Ag	1233,95	960,8	Erstarrungspunkt Cu (in	1356,15	1083
Schmelzpunkt Au	1336,15	1063,00	reduzierender Atmosphäre)		
Sublimationspunkt CO ₂ **	194,65	- 78,5	Erstarrungspunkt Ni	1708,15	1435
Erstarrungspunkt Hg	234,28	- 38,87	Erstarrungspunkt Pd	1825,15	1552
Umwandlungspunkt Na ₂ SO ₄ • 10 H ₂ O	305,43	+ 32,28	Erstarrungspunkt Pt	2042,15	1769
			Erstarrungspunkt Rh	2233,15	1960
Tripelpunkt Benzoesäure	395,51	122,36	Erstarrungspunkt Ir	2716,15	2443
Siedepunkt Naphthen**	491,15	218,0	Erstarrungspunkt W	3653,15	3380

* Primäre thermische Fixpunkte hier hellgrau unterlegt,

bei ** ist im Falle der Labormessung die Druckabhängigkeit der Siedetemperatur zu beachten.

- Zu Temperatur, Wärme, Temperatur- und Wärmemessung siehe [Kap. 8.1.1](#),
- zu Molmasse-Bestimmung über Kryoskopie und Ebullioskopie [Kap. 9.3.7](#) bis [Kap. 9.3.10](#) (Verfahren, Daten) und [Kap. 8.2.2](#) (Gesetzmäßigkeit, Thermodynamik),
- zu Thermogravimetrie [Kap. 9.4.2](#).

Tabelle 9.4: Methoden zur Temperaturmessung

Temperaturerfassung durch ...	Messverfahren, genutzte physikalische Größe	Mögliche Messgeräte (Beispiele)
Wärmekontakt (Berührungs- und Ausdehnungsthermometrie)	Mechanisch unter Ausnutzen unterschiedlicher thermischer Ausdehnungskoeffizienten	<ul style="list-style-type: none"> • Gas-, Flüssigkeitsthermometer (Alkohol, Quecksilber), • Bimetallthermometer • Dampfdruckthermometer (über <i>Clausius-Clapeyron</i>-Gleichung) • Thermostate (z. B. mit Dehnstoffelementen)
	Elektrisch unter Nutzung des elektrischen Widerstandes (Halbleitertemperatursensoren)	<ul style="list-style-type: none"> • Widerstandsthermometer (Pt100), • Kaltleiter (PTC), • Heißleiter (NTC)
	Nutzung der Thermospannung	<ul style="list-style-type: none"> • Thermoelement
Wärmestrahlung (Strahlungsthermometrie)	Messung der Temperaturstrahlung (EM-Emission von Körpern oberhalb 0 K, <i>Stefan-Boltzmann</i> -Gesetz, <i>Wien</i> 'sches Verschiebungsgesetz, Messwellenlänge $\lambda = 5$ bis $15 \mu\text{m}$ für ca. -20 bis $200 \text{ }^\circ\text{C}$, Hochtemperaturbereich $\lambda = 1$ bis $1,5 \mu\text{m}$ für ca. 400 bis $3000 \text{ }^\circ\text{C}$)	<ul style="list-style-type: none"> • Pyrometer (z. B. Wolframfaden-Pyrometer für Glühfarben) • Thermographie-Kamera • Bolometer • Gekühlte Halbleiterdetektoren (für niedrige Temperaturen) • Ungekühlte Fotodioden (für höhere Temperaturen)

9.4 Gravimetrie

Tabelle 9.5: Grundbegriffe zur Gravimetrie

Begriff	Definition, Hinweis
Gravimetrie (allgemein)	Zu Analysezwecken vorgenommenes Auswiegen von Reaktionsprodukten, qualitativ-nasschemische Bestimmung einer Probemenge (Berechnung von n , m oder c , Rechenbasis: bekannte stöchiometrische Faktoren / Reaktionen reiner Stoffe, s. Kap. 4.1.3)
Fällungsanalyse	Ausfällung, Trocknung und Wägung von Niederschlägen (Kap. 9.4.1)
Thermogravimetrie	Glührückstandsbestimmung (s. Abb. unten und Kap. 9.4.2)
Gehaltsbestimmung	Feuchtigkeits- und Trockengehaltsbestimmungen (zumeist von Feststoffen) oder Wassergehaltsbestimmungen bei Ölen (z. B. nach DIN ISO 3733, s. u.).

9.4.1 Fällungsanalyse

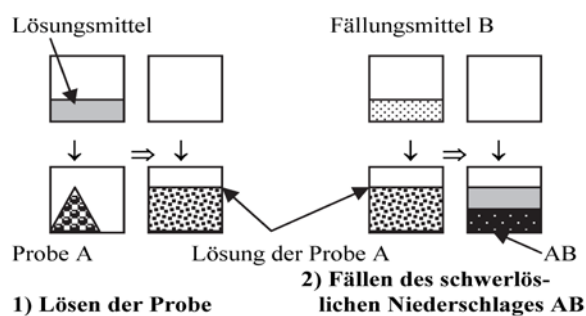


Tabelle 9.6: Größengleichungen zur Gravimetrie

Größe	Größengleichung*
Feuchtigkeitsgehalt $w(\text{H}_2\text{O})$	$w(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{H}_2\text{O}) / m(\text{Hyg.})$
Trockengehalt $w(\text{xer})$	$w(\text{xer}) = m(\text{xer}) / m(\text{Hyg.})$
Glührückstand $w(\text{rsd})$	$w(\text{rsd}) = m(\text{rsd}) / m(\text{Probe})$
Glühverlust $w(\text{v})$	$w(\text{v}) = m(\text{v}) / m(\text{Probe})$

* Verwendete Symbole: $m(\text{xer})$ Trockenmasse, $m(\text{Hyg.})$ Masse des feuchten Stoffes, $m(\text{rsd})$ Restmasse nach Glut (rsd von lat. *residuens*, zurückbleibend), $m(\text{v})$ Verlustmasse

Tabelle 9.7: Arbeitsschritte bei einer Fällungsanalyse

Verfahrensschritt	Operationen, methodische Schritte
1. Fällung	Fällungsreaktion zwischen einem gelösten Stoff (Probe X) und einem Fällungsmittel zum Niederschlag AB: $m A^{n+}_{aq} + n B^{m-}_{aq} \rightarrow A_m B_n \downarrow$
2. Glut	Überführen des abfiltrierten Niederschlags (Fällform AB) in die Wägeform A
3. Auswaage	Bestimmung der Masse $m(A)$ zur Umrechnung auf ursprüngliche Probemenge
4. Berechnung	Stöchiometrische und analytische Faktoren F_{Grav} . Für die Gravimetrie: s. Kap. 4.1.3

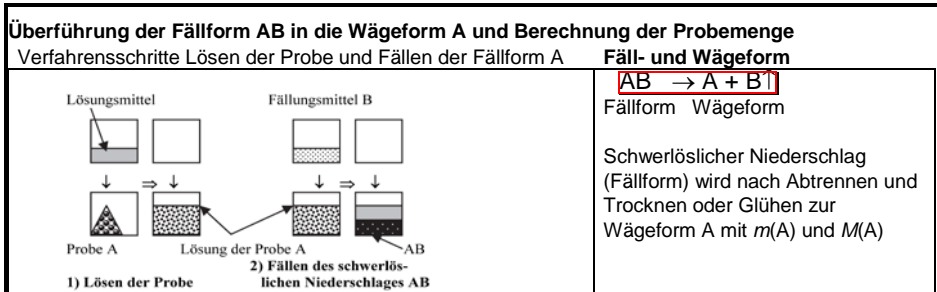


Tabelle 9.46: Größengleichungen zur Fällungsanalyse

Größe	Größengleichung	Verwendete Symbole
Masse $m(X)$ des Analyten X	$m(X) = m(A) \cdot \frac{a \cdot M(X)}{M(A)}$	X Gesuchter Stoff, Analyt AB Fällform, Fällungsform
Massenanteil $w(X)$ des Analyten X	$w(X) = \frac{m(X)}{m(\text{Probe})}$	A Wägeform (getrockneter oder geglühter Filtrückstand)
Massenanteil $w(X)$ im Stoffgemisch der Probe	$w(X) = \frac{m(A) \cdot F_{\text{Grav.}} \cdot 100}{m(\text{Probe})}$	$m(X)$ Masse des Analyten $m(A)$ Masse von A, Auswaage $m(\text{Probe})$ Masse der Probe, Einwaage
Masse $m(X)$ in der Einwaage $m(\text{Probe})$	$m(X) = m(A) \cdot F_{\text{Grav.}}$	a Anzahl der Teilchen X je Atomgruppe A in der Wägeform
Stöchiometrischer Faktor $F_{\text{Grav.}}$	$F_{\text{Grav.}} = \frac{a \cdot M(X)}{M(A)}$	$M(X)$ Molare Masse des Stoffes aus den Teilchen X in g/mol $M(A)$ Molare Masse des Stoffes aus den Teilchen A in g/mol $F_{\text{Grav.}}$ Stöchiometrischer / Analytischer Faktor* (Kap. 4.1.3)

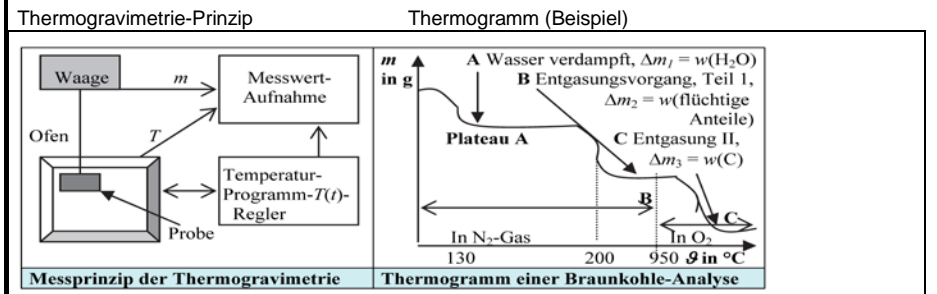
* Umrechnung von der Wägeform AB auf die Probemenge X oder die Analytkonzentration $c(X)$ in der Probelösung: Einsatz von Faktoren F.

Abhängigkeit dieser (Fällungs-)analytischen Faktoren F_A von den stöchiometrischen Faktoren F der Reaktionsschemen:

- der jeweiligen Fällungsreaktion $m A^{n+}_{aq} + n B^{m-}_{aq} \rightleftharpoons A_m B_n \downarrow$ und
- der chemischen Reaktion beim Trocknungs- / Glühvorgang.
- Stöchiometrische und analytische Faktoren $F_{\text{Grav.}}$ für die Gravimetrie: siehe in Kap. 4.1.3,
- Regeln zum Aufstellen von Reaktionsschemen: siehe Kap. 4.2.1,
- eine Auflistung möglicher Reaktionstypen: siehe Kap. 4.2.2.

9.4.2 Thermogravimetrie

Thermogravimetrie Erfassung der Gewichtsveränderung Δm über die Glüh-/Reaktionsdauer Δt (Graphisch: m/t -Diagramm), bei einer Glührückstandsbestimmung oder einer Auswägung der Wägeform einer Fällungsanalyse: Erfassung der (Trocken-)Masse m_{tsd} des Endproduktes.

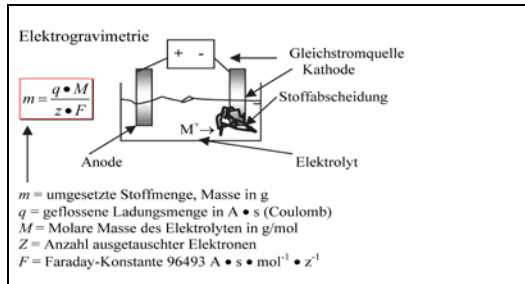


9.4.3 Elektrogravimetrie

Messverfahren Elektrogravimetrie,

Verfahrensschritte:

- Der auszuwiegende Stoff wird durch Elektrolyse aus einer Lösung auf einer Elektrode abgeschieden und zusammen mit dieser ausgewogen*
- Umrechnung von der Masse m des abgeschiedenen Stoffes auf die Analytkonzentration $c(X)$: Analog der Umrechnung von m (Wägeform) auf $c(X)$ bei einer Fällungsanalyse (9.4.1)



* Zu Zusammenhängen zwischen der Masse m des abgeschiedenen Stoffes und der eingesetzten, elektrischen Ladungsmengen Q bzw. weiterer elektrochemischer Größen (Stromstärke, Widerstand, Spannung, Leitfähigkeit, Potenzial) s. Kap. 9.6 über elektroanalytische Verfahren.

9.5 Volumetrie

Tabelle 9.8: Grundbegriffe zur Volumetrie

Begriff	Definition, Hinweis
Volumetrie, Maßanalyse, Titration	Bestimmung der Menge oder Konzentration eines Analyten X in einer Probelösung bekannten Volumens über das verbrauchte Volumen V (Maßlösung) einer Maßlösung (zumeist: Zulauf aus Bürette)
Maßlösung (ML), Titrator	<ul style="list-style-type: none"> • reagiert mit der Probelösung (Lösung des Analyten X), • hat exakt definierte Konzentration (s. Kap. 4.1.5)
Äquivalenzpunkt (ÄP)	<ul style="list-style-type: none"> • Endpunkt der beim Titrieren in Lösung ablaufenden Reaktion, • wird ggf. mit Hilfe eines Indikators angezeigt
Indikation, Indikator	Anzeige bzw. Stoff, der etwas anzeigt (zumeist ein ÄP, durch Farbumschlag)
Maßanalytische Berechnung	Umrechnung vom Volumen V (Maßlösung) an verbrauchter Maßlösung auf die Probenmenge X oder die Analytkonzentration $c(X)$ in der Probelösung: Einsatz von Faktoren F
Analytischer Faktor $F_{Vol.}$	Faktoren, abhängig von den stöchiometrischen Faktoren F der Reaktionsschemen von: <ul style="list-style-type: none"> • Neutralisationsreaktionen vom Typ $H^+ + OH^- \rightleftharpoons H_2O$ (Neutralisationstitration, Beispiel: Titration mit KOH-Lösung) • Fällungsreaktionen vom Typ $m A_{aq}^{n+} + n B_{aq}^{m-} \rightleftharpoons A_m B_n \downarrow$ (Fällungstitration, Beispiel: Chloridbestimmung mit $AgNO_3$-Lösung) • Elektronenübertragungsreaktionen (Redox Titration, z. B. als Oxidimetrie mit einer oxidierenden Maßlösung oder als Reduktometrie mit einer reduzierenden Maßlösung) • Komplexbildungsreaktionen vom Typ $Z + n L \rightleftharpoons [Z(L)_n]$ (auch: Komplexbildungstitration, Komplexometrie, mit komplexbildenden Liganden als Maßlösung, Beispiel: EDTA)
	<ul style="list-style-type: none"> • Für die Maßlösungen erforderliche Einwaagen (Urterer, Titer etc.) siehe Kap. 4.1.5, • zu Konzentrations- und Gehaltsangaben Kap. 5.4.1 und 5.4.2. • Stöchiometrische / analytische Faktoren $F_{Vol.}$ für die Volumetrie: siehe Kap. 4.1.4. • Größengleichungen für volumetrische Berechnungen: siehe Kap. 4.1.1. • Regeln zum Aufstellen von Reaktionsschemen: siehe Kap. 4.2.1, eine Auflistung möglicher Reaktionstypen: siehe Kap. 4.2.2.

9.5.1 Titerbestimmung, Titration, Indikation

Tabelle 9.9: Grundbegriffe zu Titerbestimmung und Titration

Begriff	Definition, Hinweis
Titer t der Maßlösung	dient der Korrektur von Titrationsergebnissen (Multiplikation des Volumens verbrauchter Maßlösung $V(\text{Maßlösung})$ mit t)
Titerbestimmung	Einsatz von Ursubstanzen, titriert mit der einzustellenden Lösung
Titerberechnung	aus dem volumetrischen Faktor F_{vol} (in mg/mL; Tab. 4.1.4), dem Volumen der einzustellenden Maßlösung ML $V(\text{ML})$ in mL und der Einwaage $m(\text{Urter})$ an Ursubstanzen (in mg): $t = c(X)_{\text{ist}} / c(X)_{\text{Soll}}$ und $t = m(\text{Urter}) / [F_{\text{vol}} \cdot V(\text{ML})]$

Herstellungsverfahren und Titer von Maßlösungen

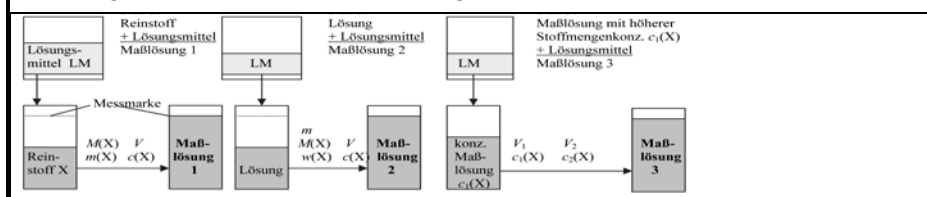


Tabelle 9.10: Gleichungen zur Berechnung von Titrationsergebnissen

Gleichung	Gleichsetzung zur Berechnung und Definition
(1) $m(X) = c(X) \cdot V \cdot M(X)$	Reinstoff + Lösungsmittel = Maßlösung Gesucht: Maßlösung mit der Stoffmengenkonzentration c in mol/L Berechnung: Mit links stehender Größengleichung ergibt sich $m(X)$, d. h. die Masse des Stoffes X in g, die mit reinem Lösungsmittel auf das gewünschte Volumen V in mL aufzufüllen ist (falls X ein Reinstoff ist)
(2) $m = \frac{c(X) \cdot V \cdot M(X)}{w(X)}$	Lösung + Lösungsmittel = Maßlösung Gesucht: Maßlösung mit der Stoffmengenkonzentration c in mol/L Berechnung: Mit links stehender Gleichung ergibt sich die Masse Lösung in g mit dem Massenanteil $w(X)$, die auf das gewünschte Volumen aufzufüllen ist (wenn $M(X)$ die Molare Masse dieses Stoffes ist)
(3) $V_1 = \frac{c_2(X) \cdot V_2}{c_1(X)}$	Maßlösung höherer Konzentration c + Lösungsmittel = Maßlösung Gesucht: Maßlösung mit der Stoffmengenkonzentration c in mol/L Berechnung: Mit links stehender Gleichung ergibt sich das Volumen $V_1(\text{ML})$ der Maßlösung ML der Konzentration c_1 , das mit Lösungsmittel auf das gewünschte Volumen V_2 aufzufüllen ist
(4) $m(X) = \frac{c(X) \cdot V \cdot M(X)}{w(X)}$	Chemisch unreiner Stoff + Lösungsmittel = Maßlösung Gesucht: Maßlösung mit der Stoffmengenkonzentration c in mol/L Berechnung: Mit links stehender Größengleichung ergibt sich $m(X)$, d. h. die Masse des verunreinigten Stoffes X mit der Molaren Masse $M(X)$ und dem Massenanteil $w(X)$, die mit reinem Lösungsmittel auf das gewünschte Volumen V aufzufüllen ist
(5) Rechnung mit $c(\text{eq})$ $c(1/z^* X)$ statt c $M(1/z^* X)$ statt M $c(\text{eq}) = c(1/z^* X)$	Stoffmengenkonzentration / Äquivalenzzahl = Äquivalenzkonzentration Gesucht: Maßlösung mit der Äquivalentkonzentration $c(\text{eq})$ in mol/L Berechnung: Mit Größengleichungen (1) bis (4) ergibt sich die Maßlösung mit der Äquivalentkonzentration $c(\text{eq})$, wenn man $c(1/z^* X)$ statt c und $M(1/z^* X)$ statt M in die Gleichungen (1) bis (4) einsetzt
Titer-Konzentration: $c(X) = c^*(X) \cdot t$ $c(X)_{\text{ist}} = c(X)_{\text{Soll}} \cdot t$ $c(1/z^* X) = c^*(1/z^* X) \cdot t$	Korrekturfaktor = Titer t einer Maßlösung, Angenäherte Konzentration $c^* \cdot \text{Titer } t = \text{Tatsächliche Konzentration } c$ Gesucht: Tatsächliche Stoffmengenkonzentration c der Maßlösung Berechnung: Mit links stehender Größengleichung ergibt sich die tatsächliche Konzentration $c(X)$ bzw. $c(X)_{\text{ist}}$, indem man die gewünschte (angenäherte) Konzentration $c^*(X)$ bzw. $c^*(X)_{\text{Soll}}$ mit Titer t multipliziert

Tabelle 9.11: Urtitrer

Titrationmethode	Geeigneter Urtitrer*	Geeigneter Urtitrer alternativ:
Fällungstitration	Silbernitrat, AgNO ₃	Natriumchlorid, NaCl
Neutralisationstitration	Natriumcarbonat, Na ₂ CO ₃	Oxal-, Ethandisäure, (COOH) ₂
Redoxtitration	Kaliumdichromat, K ₂ Cr ₂ O ₇	Natriumoxalat, Na ₂ C ₂ O ₄
Komplexbildungstitration	Na-EDTA • 2 H ₂ O	Kalziumcarbonat CaCO ₃

* Urtitersubstanzen müssen:

- in höchster Reinheit (p.a.) vorliegen,
- chemisch unveränderlich vorliegen (kein Ziehen von CO₂ oder H₂O aus der Luft),
- quantitativ mit der Maßlösung reagieren (d. h. dem stöchiometrischen Faktor des zugrunde liegenden Reaktionsschemas entsprechend),
- gut wasserlöslich und in Lösung beständig sein.

Tabelle 9.12: Arbeitsschritte einer Titration

Nr.	Verfahrensschritt
1	Ansetzen der Maßlösung (Titrator) und des Urtiters
2	Bestimmen des Titers <i>t</i> der Maßlösung
3	Herstellen und Aliquotieren einer Stammlösung der Probe und Titration der Probelösung
4	Titrationberechnung (der Probemenge X aus dem Verbrauch V an Maßlösung, s.u.)

Tabelle 9.13: Titrationberechnung

Größengleichungen	Symbole
Zur Masse-Berechnung: $m(X) = \frac{M(X) \cdot c(Y) \cdot z^*(Y) \cdot V \cdot t \cdot f_A}{z^*(X)}$	<i>m</i> (X) Masse <i>m</i> des zu bestimmenden Stoffes X in der Probe (des Analyten X)
Zur Massenanteils-Berechnung: $w(X) = \frac{M(X) \cdot c(Y) \cdot z^*(Y) \cdot V \cdot t \cdot f_A}{z^*(X) \cdot m}$	<i>w</i> (X) Massenanteil <i>w</i> des zu bestimmenden Stoffes X in der Probe (des Analyten X)
Äquivalenzzahl <i>z</i> [*] entspricht: <ul style="list-style-type: none"> • Ladungszahl (bei Ionen-Äquivalent) • Protonen-Anzahl (bei Säure-Base-Reaktion) • Oxidationszahlen-Differenz (bei Redoxreaktion) 	<i>M</i> (X) Molare Masse <i>M</i> des zu bestimmenden Stoffes <i>c</i> ⁻ (Y) Angenäherte Stoffmengenkonzentration <i>c</i> ⁻ des Titrators Y in der Maßlösung ML <i>c</i> (Y) Tatsächliche Konzentration <i>c</i> des Titrators Y <i>z</i> [*] (Y) Äquivalenzzahl <i>z</i> [*] des Titrators Y in der ML <i>z</i> [*] (X) Äquivalenzzahl <i>z</i> [*] des Analyten X in der Probe <i>V</i> Volumen verbrauchter Maßlösung in mL <i>t</i> Titer der Maßlösung ML <i>f</i> _A Verdünnungsfaktor, Aliquotierfaktor <i>m</i> Probemasse in g <i>F</i> _{Vol.} Volumetrischer Faktor (vgl. Tab. 4.1.4., auch maßanalytisches Äquivalent genannt; gibt die Masse in g an, die dem Volumen eines Liters Maßlösung entspricht, wobei deren Stoffmengenkonzentration zu beachten ist)
Berechnung <i>F</i> _{Vol.} : $m(X) = F_{Vol.} \cdot V \cdot t \cdot f_A$	
$w(X) = \frac{F_{Vol.} \cdot V \cdot t \cdot f_A}{m}$	

Tabelle 9.14: Beispiele für Äquivalenzzahlen *z*^{*}(X)

Säure X	<i>z</i> [*]	Base X	<i>z</i> [*]	Reduktions- / Oxidations-Mittel	<i>z</i> [*]
CH ₃ COOH → H ⁺	1	NaOH → OH ⁻	1	Fe ²⁺ → Fe ³⁺ + e ⁻	1
HCl → H ⁺	1	KOH → OH ⁻	1	MnO ₄ ⁻ + 2 H ₂ O + 3 e ⁻ → MnO ₂ + 4 OH ⁻	3
H ₂ SO ₄ → 2 H ⁺	2	NH ₄ OH → OH ⁻	1	MnO ₄ ⁻ + 8 H ⁺ + 5 e ⁻ → Mn ²⁺ + 4 H ₂ O	5
H ₃ PO ₄ → 3 H ⁺	3	Ca(OH) ₂ → 2 OH ⁻	2	Cr ₂ O ₇ ²⁻ + 14 H ⁺ + 6 e ⁻ → 2 Cr ³⁺ + 7 H ₂ O	6
C ₂ H ₂ O ₄ → 2 H ⁺	2	Ba(OH) ₂ → 2 OH ⁻	2	BrO ₃ + 6 H ⁺ + 6 e ⁻ → Br ⁻ + 3 H ₂ O	6

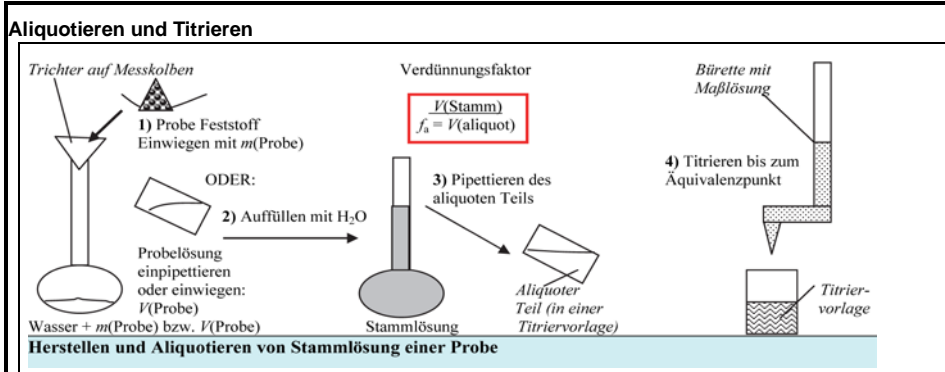


Tabelle 9.15: Größengleichungen und Berechnungsformeln für Maßlösungen ML und Probesubstanzen X

Zu berechnende Größe	Gleichung*
Äquivalentstoffmenge $n(\text{eq})$	$n(\text{eq}) = m(X) / M(\text{eq}) = m(X) \cdot z^* / M(X)$
Äquivalentkonzentration $c(\text{eq})$	$c(\text{eq}) = n(\text{eq}) / V(\text{ML}) = m(X) \cdot z^* / [M(X) \cdot V(\text{ML})]$
Maßanalytische Äquivalentmasse \check{A}	$\check{A}(X) = c(\text{eq-ML}) \cdot M(X) / z^*$
Molare Masse von Äquivalentteilchen $M(\text{eq})$	$M(\text{eq}) = M(X) / z^*$
Stoffmengenkonzentration $c(X)$	$c(X) = n(X) / V(\text{ML}) = m(X) / [M(X) \cdot V(\text{ML})]$
Maßanalytische Auswertung (mit Äquivalentmasse $\check{A}(X)$ und Verdünnungsfaktor f_A)	$M(X) = \check{A}(X) \cdot V(\text{ML}) \cdot t \cdot f_A$
Titerbestimmung gegen Urstitler	$t = m(X) \cdot z^*(X) / [c^-(\text{eq-ML}) \cdot M(X) \cdot V(\text{ML}) \cdot f_A]$
1. und 2. Grundgleichung der maßanalytischen Bestimmung	$n(X) = c^-(\text{eq-ML}) \cdot t \cdot V(\text{ML}) / z^*$ $m(X) = c^-(\text{eq-ML}) \cdot t \cdot V(\text{ML}) \cdot M(X) / z^*$

*Verwendete Kürzel und Symbole: Siehe vorausgehende Seite

Rücktitration, Beispiel CaCO_3 -Gehaltsbestimmung, und Stickstoffbestimmung nach Kjeldahl

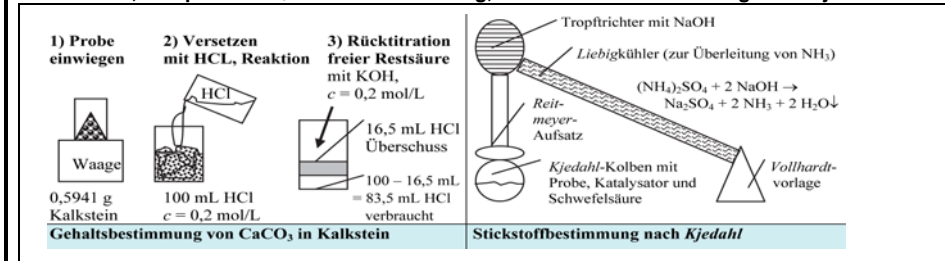


Tabelle 9.16: Direkte, indirekte und mehrstufige Titrationsverfahren

Begriff	Definition, Verfahrensart
Direkte Titration	Titration der Probelösung
Rücktitration	indirekte Titration eines Reagenz-Restes, der mit der Probe nicht mehr reagiert hat, Beispiele: Gehaltsbestimmung an CaCO_3 durch Rücktitration, Bestimmung nach <i>Kjedahl</i>
Mehrstufige Titration	Beispiel: Bestimmung von NaOH neben Na_2CO_3

9.5.2 Säure-Base-Titration

Tabelle 9.17: Charakteristika einer Säure-Base-Titration

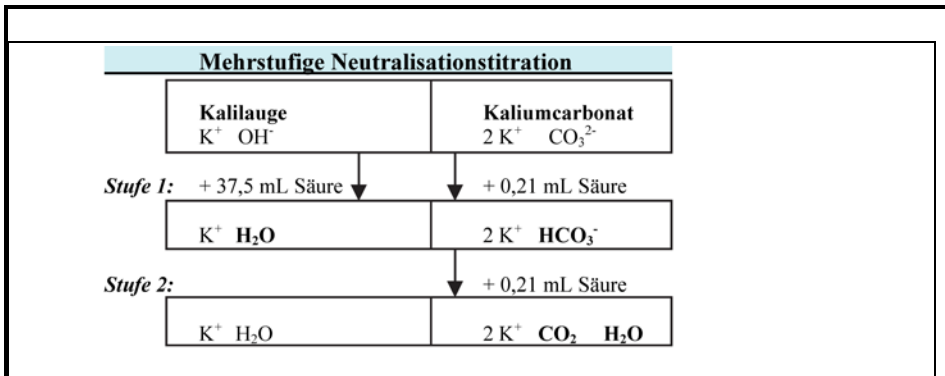
Charakteristikum der Säure-/Base- bzw. Neutralisations-Titration		Anm., Kap..
Reaktionspartner	Saure Maßlösungen mit basischer Probe (Acidimetrie) oder basische Maßlösung mit saurer Probe (Alkalimetrie)	Maßlösungen und Faktoren: s. Kap. 4.1
Reaktion	Neutralisationsreaktion: $H^+ + OH^- \rightleftharpoons H_2O$	Kap. 6 Säuren, Basen
Indikation	Äquivalenzpunkt ÄP bei $n(\text{eq.Säure}) = n(\text{eq.Base})$	s.u.
Mögliche Indikatoren	Auswahl entsprechend dem Umschlagsbereich (pH), je nach Titrand und Maßlösung zwischen pH 0 und pH 13: <ul style="list-style-type: none"> • Starke Base mit starker Säure: pH \approx 3-11 • schwache Säure mit starker Base: pH \approx 8-9 • starke Säure mit schwacher Base: pH \approx 4-6 	s.u., Titration schwacher Säure mit schwacher Base: Resultate mit hohen Fehlern behaftet

Säure-Base-Indikatoren, Färbung und Umschlagsbereiche

Tabelle 9.18: Säure-Base-Indikatoren

Indikator* (und ggf. Nr. des Umschlages)	Umschlagsbereich (pH) und Farbe (sauer/bas.)			Anwendungsform (Konzentration, Ansatz der Indikatorlösung)
Kresolrot, 1. Umschlag	Rot	0,2-1,8	Gelb	0,1g auf Ethanol ($\varphi=20$ Vol% in H_2O)
Tropäolin 00	Rot	1,0-2,8	Gelb	0,04g auf Ethanol ($\varphi=50$ Vol% in H_2O)
Thymolblau, 1. Umschlag	Rot	1,2-2,8	Gelb	0,1g Natriumsalz in H_2O dest.
<i>m</i> -Kresolpurpur, 1.Umschl.	Rot	1,2-2,8	Gelb	0,4g Natriumsalz in H_2O dest.
2,6-Dinitrophenol	Farbl.	1,7-4,4	Gelb	0,05-0,1g auf Ethanol ($\varphi=70\%$ in H_2O)
2,4-Dinitrophenol	Farbl.	2,0-4,7	Gelb	0,05-0,1g auf Ethanol ($\varphi=70\%$ in H_2O)
Bromphenolblau	Gelb	3,0-4,6	Violett	0,1g auf Ethanol ($\varphi=20$ Vol% in H_2O)
Kongorot	Blau	3,0-5,2	Rot	0,1 g in H_2O dest.
Methylorange	Rot	3,1-4,4	Gelbor.	0,04g in H_2O dest.
Bromkresolgrün	Gelb	3,8-5,4	Blau	0,1g auf Ethanol ($\varphi=20$ Vol% in H_2O)
2,5-Dinitrophenol	Farbl.	4,0-5,8	Gelb	0,05-0,1g auf Ethanol ($\varphi=70\%$ in H_2O)
Alizarin S	Gelb	4,3-6,3	Violett	0,1 g in H_2O dest.
Methylrot	Rot	4,4-6,2	Gelb	0,1 g in Ethanol
Lackmus	Rot	5,0-5,8	Blau	0,2 g in Ethanol
Bromkresolpurpur	Gelb	5,2-6,8	Purpur	0,1g auf Ethanol ($\varphi=20$ Vol% in H_2O)
Bromphenolrot	Gelb	5,2-6,8	Purpur	0,1g auf Ethanol ($\varphi=20$ Vol% in H_2O)
Bromthymolblau	Gelb	6,0-7,6	Blau	0,1g auf Ethanol ($\varphi=20$ Vol% in H_2O)
Phenolrot	Gelb	6,4-8,2	Rot	0,1g auf Ethanol ($\varphi=20$ Vol% in H_2O)
Neutralrot	Rot	6,8-8,0	Gelb	0,1g auf Ethanol ($\varphi=70$ Vol% in H_2O)
Kresolrot, 2. Umschlag	Gelb	7,0-8,8	Rot	0,1g auf Ethanol ($\varphi=20$ Vol% in H_2O)
<i>m</i> -Kresolpurpur, 2.Umschl.	Gelb	7,4-9,0	Purpur	0,04g Natriumsalz in H_2O
Thymolblau, 2.Umschlag	Gelb	8,0-9,6	Blau	0,04g Natriumsalz in H_2O
Phenolphthalein	Farbl.	8,2-9,8	Rot	0,1 g in Ethanol
Thymolphthalein	Farbl.	9,3-10,5	Blau	0,04-0,1g auf Ethanol ($\varphi=50\%$ in H_2O)
Alizaringelb GG	Hellge.	10-12,1	Braung.	0,1 g in H_2O dest.
Alizaringelb R	Hellge.	10-12,1	Rotbr.	0,1 g in H_2O dest.
Tropäolin 0	Gelb	11-12,7	Orgbr.	0,1 g in H_2O dest.
Epsilonblau	Orange	12-13,0	Violett	0,1 g in H_2O dest.

* Indikator: Farbumschlag am Äquivalenzpunkt ÄP $n(\text{Säure}) = n(\text{Base})$, in der Buchdeckel-Innenseite vorn abgebildet.



9.6 Elektroanalytische Verfahren

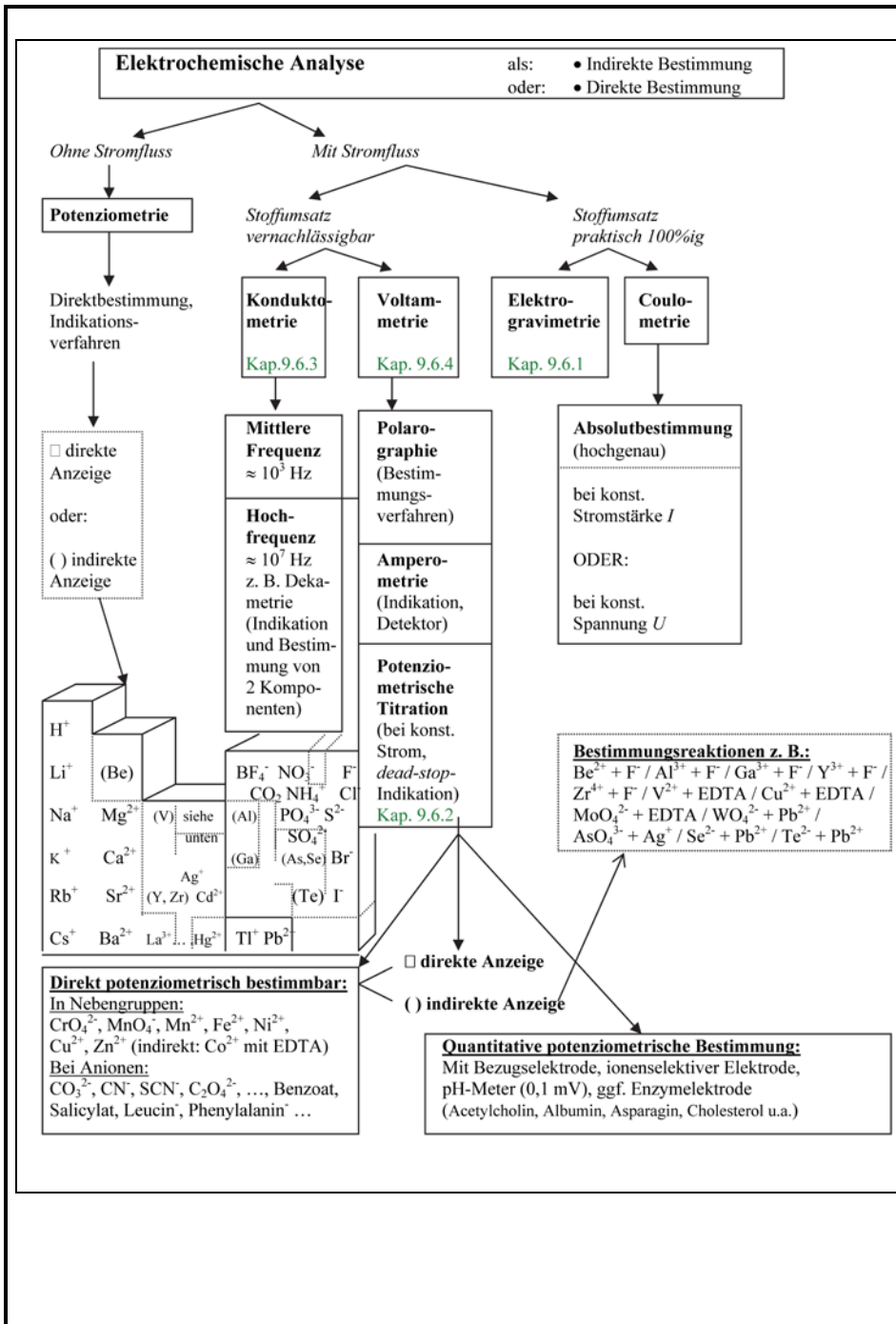
Tabelle 9.19: Grundbegriffe der Elektro-Analytik

Begriff	Definition, Hinweis
Elektroanalytik	Analytik unter Nutzung elektrischer und elektrochemischer Größen
Konduktometrie	Leitfähigkeitsmessung (zu analytischen Zwecken)
Potenziometrie	Spannungsmessung (zu analytischen Zwecken)
Coulometrie	Stromstärkemessung (zu analytischen Zwecken)

Tabelle 9.20: Größengleichungen zur Elektroanalytik Tabelle 9.68: Spezifische Widerstände

Größe, Gesetz	Größengleichung	Einheit	Spezifischer Widerstand ρ bei $\vartheta = 20\text{ °C}$			
			Leiter	ρ^*	Leiter	ρ^*
Spannung U	$U = W / Q$	J / C = V	Ag	0,016	Hg	0,95
Ohm'sches Gesetz	$U = R \cdot I$	$\Omega \cdot A = V$	Al	0,0278	Pt	0,108
			Cu	0,0178	W	0,055
Stromstärke I	$I = Q / t$	A	Fe	0,13	Konstantan	0,49
Leitwert G	$G = 1 / R = A / \rho \cdot l$	$1 / \Omega = S$	* ρ Spezifischer Widerstand ($\Omega \cdot mm^2 / m$)			
Leiter-Widerstand R	$R = \rho \cdot l / A$	Ω	l Stromstärke (in Ampère, A)*			
			A Querschnittsfläche A des Leiters (in mm^2),			
			l Länge des Leiters (in m)			

* Zur Basisgröße Stromstärke s. Kap. 1.2, weitere Formelzeichen s. Kap. 1.3 und Kap. 7.1.1. Datentabellen zum spezifischen Widerstand nach Stoffen und Zahlenwert s. Kap. 7.1.4.



9.6.1 Elektrolyse und Elektrogravimetrie

Tabelle 9.21: Unterscheidung Elektrolyse/Elektrogravimetrie

Begriff	Definition, Hinweis
Elektrolyse	Erzwungene Redoxreaktion bei Gleichstrom, zusätzlich zum Ionenstrom im Elektrolyten findet eine Ionentladung statt
Elektrogravimetrie	Die abgeschiedene Stoffmenge m wird zu Analyse Zwecken zurückgerechnet in die Ausgangskonzentration der Probelösung oder die Stoffmenge der untersuchten Probe (Durchführung s. unter Gravimetrie in Kap. 9.4.3, zu elektrochemischen Äquivalentmassen Kap. 7.1.5)

Tabelle 9.22: Elektroanalytische Berechnungen

Größe	Größengleichung, Berechnung	
Stoffabscheidung (in g) mit elektrochemischer Äquivalentmasse m_a	$m = Q \cdot m_a(X) \cdot \eta$ Über Stromstärke und Zeit: $m = I \cdot t \cdot m_a(X) \cdot \eta$	
Elektrochemische Äquivalentmasse m_a , $m(\text{eq}, X)$	$m_a(X) = \frac{M(X)}{z^*(X) \cdot F}$	Symbole (Berechnung s. Kap. 4.1.2): $m_a(X)$ Äquivalentmasse, auch: $m(\text{eq}, X)$ $z^*(X)$ Äquivalent- oder Ladungszahl
Elektrochemisch abgeschiedenes Gasvolumen	$V(X) = \frac{I \cdot t \cdot R \cdot T}{z^*(X) \cdot F \cdot p}$	η Wirkungsgrad I Stromstärke (in A) p Gasdruck (in hPa) R Allgemeine Gaskonstante
Faradaysche Konstante F	$F = Q / n$ $= 96485 \text{ A} \cdot \text{s} / \text{mol}$	T Absolute Temperatur (in K)
Gasdruck p	$p \cdot V(X) = n(X) \cdot R \cdot T$	

9.6.2 Potenziometrie

Tabelle 9.23: Größengleichungen zur Potenziometrie

Verwendete Symbole: $\Delta E, E^0$ Potenzialdifferenz, Standardpotenzial A, D Akzeptor, Donator der Redoxreaktion α Aktivität (mit Index: ox, red für A, D) Me^{z^+} Metallkation, Ladung z^+ (Wertigkeit z^*) F Faraday-Konstante $96485 \text{ A} \cdot \text{s} / \text{mol}$ R, T allg. Gaskonstante, Temperatur (in K)	Größe, Gesetz	Größengleichung
	Nernstsche Gleichung	$\Delta E = \Delta E^0 + \frac{R \cdot T}{z \cdot F} \cdot \ln \alpha$
	Berechnung des Redoxpotenzials*	$\Delta E = \Delta E^0 + \frac{R \cdot T}{z \cdot F} \cdot \ln \frac{\alpha_{\text{ox}}}{\alpha_{\text{red}}}$
	Oberflächen-Redoxgleichgewicht	$\text{Me}^0 \rightleftharpoons \text{Me}^{z^+} + z e^-$
	Standardpotenzialdifferenz	$U = \Delta E^0 = E^0(A) - E^0(D)$
	Halbzellendiagramm	$\text{Me (s)} \text{Me}^{z^+}$
	Strom-, Salzbrücke	
Zellendiagramm eines galvanischen Elementes (Donator/Akzeptor)	$\text{Me (D,s)} \text{Me}^{z^+} (\text{D}) \text{Me}^{z^+} (\text{A}) \text{Me (A,s)}$	
Zellendiagramm der Normalwasserstoffelektrode NWE	$\text{Me (D,s)} \text{Me}^{z^+} (\text{D}) \text{H}^+ (\text{aq, A}) \text{H}_2 (\text{A,g})$	

* **Potenziometrie** ist die Messung des Redoxpotenzials $U = \Delta E$ bzw. der elektromotorischen Kraft (EMK) einer Halbzelle eines galvanischen Elementes mit Probelösung im Vergleich zu einer Referenzhalbzelle mit bekanntem Potenzial. Zum Redox-Standardpotenzial vgl. Kap. 7.2.2.

Tabelle 9.24: Redoxelektroden und galvanische Elemente

Elektrode*	Gleichgewicht (z. B.)	Messzelle, galvan. Element (Elektrode / Elektrolyt)
Wasserstoffelektrode (NWE)	$2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2 \text{ (gasf.)}$	H_2/H^+ - zur pH-Messung
Redox-Elektrode	$\text{SbO}_4^{3-} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{SbO}_3^{3-} + \text{H}_2\text{O}$	$\text{Sb} \cdot \text{Sb}_2\text{O}_3 / \text{KCl} \cdot \text{AgCl} / \text{Ag} \cdot \text{AgCl}$
Kalomel-Referenzelektrode	$2 \text{Hg} \rightleftharpoons \text{Hg}_2^{2+} + 2 \text{e}^-$ und $\text{Hg}_2^{2+} + 2 \text{Cl}^- \rightleftharpoons \text{Hg}_2\text{Cl}_2$	$\text{Hg} \cdot \text{Hg}_2\text{Cl}_2$ (angeteigt in KCl) / KCl (vgl. folgende Abb. Nr.1)
Silberchlorid-Referenzelektrode	$\text{Ag} \rightleftharpoons \text{Ag}^+ + \text{e}^-$ und $\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- \rightleftharpoons \text{AgCl}$	$\text{Ag} \cdot \text{AgCl} / \text{Ag}^+$ (in KCl-Lösung) (vgl. folgende Abb. Nr.2)
Ionenselektive Flüssigmembran-Elektrode (ISE)	(über einen Ionenaustauscher)	Flüssiger Ionenaustauscher mit hydrophober Membran
Gasselektive Elektrode	$\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$	Gasdurchlässige Membran
Enzym-Elektrode (z. B. mit Urease als Katalysator)	$\text{H}_2\text{N-CO-NH}_2 + 4 \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons$ $2 \text{NH}_4^+ + \text{HCO}_3^- + 3 \text{OH}^-$	Ionenselektive Membran + Matrix-Enzym-Schicht

* Potenziometrische Messungen werden in Bezug zu Redox-Gleichgewichtssystemen in Galvanischen Elementen (s. Kap. 7) und entsprechenden Elektroden durchgeführt (s.o.)

- pH-Elektrode: können auch bei einer Säure-Base-Titration (vgl. Tab. 9.5.1 und 9.5.2) an Stelle des Indikators eingesetzt werden (potenziometrischen Neutralisations-Titration).
- Ergebnis: pH/V(Maßlösung-Diagramme (Titrationskurven), vgl. folgende Abb.
- Berechnung (aus Meßergebnissen und Titrationskurven):
 - c (Probelösung), bei bekanntem Volumen V also auch n (Probelösung oder – bei gesättigten Lösungen – Löslichkeit L und Löslichkeitsprodukt (K_L -Wert, vgl. Kap. 5), und
 - pK_S - und pK_B -Werte titrierter Säuren und Basen (vgl. Kap. 6; über Punkte halber Neutralisation, Halbäquivalenzpunkt genannt; liegen im Pufferbereich).

Tabelle 9.25: Standardpotenziale pH-abhängiger Redoxsysteme

Redoxpaar mit Ladungszahl z	z	E° in V
$\text{NO}_2 + 3 \text{H}_2\text{O} / \text{NO}_3^- + 2 \text{H}_3\text{O}^+$	1	+ 0,81
$2 \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2 / 2 \text{H}_3\text{O}^+$	2	$\pm 0,00$
$\text{Cr}^{3+} + 12 \text{H}_2\text{O} / \text{CrO}_4^{2-} + 8 \text{H}_3\text{O}^+$	3	+ 1,34
$\text{O}_2 + 4 \text{H}_3\text{O}^+ / 6 \text{H}_2\text{O}$	4	+ 1,23
$\text{Mn}^{2+} + 12 \text{H}_2\text{O} / \text{MnO}_4^- + 8 \text{H}_3\text{O}^+$	5	+ 1,51
$2 \text{Cr}^{3+} + 21 \text{H}_2\text{O} / \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14 \text{H}_3\text{O}^+$	6	+ 1,33

Weitere Redoxpotenziale siehe Kap. 7

Potenziometrische Titration und Titrationskurven		
1) Neutralisations titration mit pH-Messung	2) Titrationskurve einer starken Säure mit starker Base	3) Titrationskurve einer schwachen Säure mit starker Base
<p>Bürette mit Maßlösung pH-Meter pH-Elektrode Titrier- vorlage</p>	<p>$[10 \text{ mL HCl} + \text{NaOH}, c(\text{NaOH}) = 0,1 \text{ mol/L}]$ Äquivalenzpunkt ÄP (pH = 7) berechnetes Steigungs- maximum</p>	<p>$[10 \text{ mL CH}_3\text{COOH} + \text{NaOH}, c(\text{NaOH}) = 0,1 \text{ mol/L}]$ Äquivalenzpunkt ÄP (pH = 8,73) Halbäquivalenzpunkt ÄP (pH = 4,76) $c(\text{HA}) = c(\text{A}^-)$ hier: pH = pK_s</p>
Berechnung des K _s -Wertes (Beispiel: CH ₃ COOH) $K_s = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+) \cdot c(\text{CH}_3\text{COO}^-)}{c(\text{CH}_3\text{COOH})}$ $\Rightarrow \text{pH} = \text{pK}_s - \lg \frac{c(\text{CH}_3\text{COOH})}{c(\text{CH}_3\text{COO}^-)}$ Am Halbäquivalenzpunkt gilt: $c(\text{CH}_3\text{COOH}) = c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$ $\Rightarrow \text{pH} = \text{pK}_s - \lg 1$ $\text{pH} = \text{pK}_s = 4,76$ pK _s -Werte siehe Kap. 6	4) Titrationskurve einer schwachen Base mit starker Säure	5) Titrationskurve einer Soda-Lösung mit Salzsäure
	<p>$[10 \text{ mL NH}_3 + \text{HCl}, c(\text{HCl}) = 0,1 \text{ mol/L}]$ Halb- äquivalenzpunkt ÄP Äquivalenzpunkt ÄP (pH = 5,30)</p>	<p>$[10 \text{ mL Na}_2\text{CO}_3 + \text{HCl}, c(\text{HCl}) = 0,1 \text{ mol/L}]$ Pufferbereich I: CO₃²⁻ / HCO₃⁻ Erster Wendepunkt Pufferbereich II: HCO₃⁻ / H₂CO₃ Zweiter Wendepunkt</p>

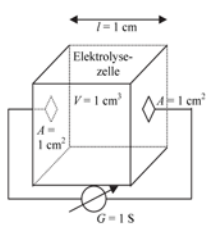
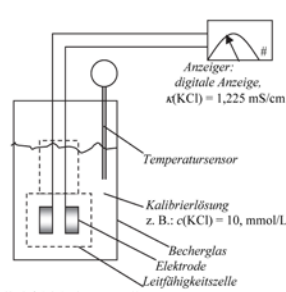
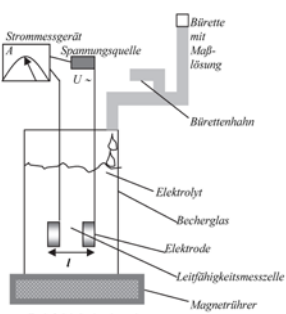
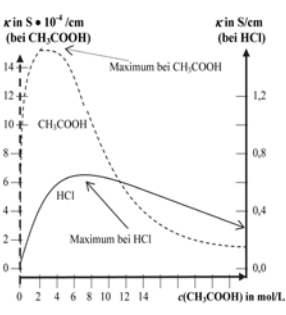
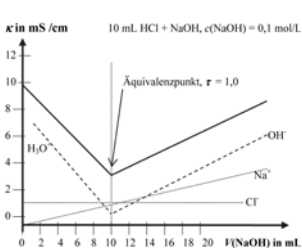
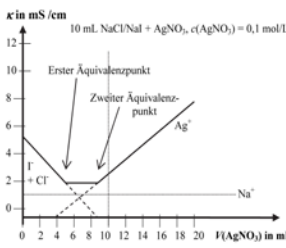
9.6.3 Konduktometrie

Tabelle 9.26: Größengleichungen zur Konduktometrie, Teil 1

Größe	Größengleichung
Kohlrausch'sches Gesetz	$\Lambda = \Lambda^0 - \alpha \cdot \sqrt{c}$
Definition der Äquivalentleitfähigkeit	$\Lambda = \chi / (c \cdot z)$ in m ² /Ω • mol • z
Symbole, Formelzeichen:	
Λ	Äquivalentleitfähigkeit
Λ ⁰	Grenzleitfähigkeit bei c → 0
α	Konstante
c	Stoffmengenkonzentration
χ	spezifische Leitfähigkeit in Ω ⁻¹ • cm ⁻¹
z	Ionenladung

elektr. Leitwert L in μS	Konduktometrisches Titrationsdiagramm
<p>Reaktionsgerade CH₃COO⁻ H⁺ Reagenzgerade Na⁺ OH⁻ V in mL NaOH extrapolierter Äquivalenzpunkt</p>	

Tabelle 9.27: Größengleichungen zur Konduktometrie, Teil 2

 <p>Definition der Elektrolyt-Leitfähigkeit</p> $\kappa = \rho = \frac{l}{R \cdot A} = \frac{G \cdot l}{A}$	 <p>Leitfähigkeitsmesszelle</p>	<p>Größen, Größengleichungen</p> <p>Zellenkonstante K: $K = l / A$ = Elektrodenabstand / Elektrodenfläche A (in cm⁻¹)</p> <p>Elektrolyt-Leitfähigkeit κ: $\kappa = 1 / \rho = G \cdot l / A = G \cdot K$ bzw. $\kappa = K \cdot I / R$</p> <p>Molare Leitfähigkeit $\Lambda(X)$: $\Lambda(X) = \kappa(X) / c(X) = G \cdot K / c(X)$ $\Rightarrow \kappa(X) = K / R \cdot c(X)$</p> <p>Molare Leitfähigkeit von Äquivalenten $\Lambda_{eq}(X)$: $\Lambda_{eq}(X) = \Lambda(X) / z^{\circ}(X) = \kappa / c_{eq}(X)$</p>
 <p>Leitfähigkeitstiteration (Konduktometrische Titeration)</p>	 <p>Elektrolyt-Leitfähigkeit $\kappa(\text{HCl})$ in S/cm und $\kappa(\text{CH}_3\text{COOH})$ in S • 10⁻⁴ /cm, beide bei $\theta = 20^\circ\text{C}$</p>	<p>Äquivalenzzahl $z^{\circ}(X)$: $z^{\circ}(X) = \nu(X) / z(X)$ mit ν als Zerfallszahl von Ion X</p> <p>Grenzleitfähigkeit $\Lambda_{eq}^{\circ}(X)$: $\Lambda_{eq}^{\circ}(X) = \Lambda_{eq}(X) / \alpha$ in S • m² / mol</p> <p>Dissoziationsgrad α: $\alpha = \Lambda_{eq}(X) / \Lambda_{eq}^{\circ}(X)$ in %</p> <p>Symbole, Formelzeichen: Λ Äquivalentleitfähigkeit Λ° Grenzleitfähigkeit bei unendlicher Verdünnung, $c \rightarrow 0$ α Konstante c Stoffmengenkonzentration in mol/L χ spezifische Leitfähigkeit in $\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ z Ionenladung, Ionenwertigkeit</p>
 <p>Leitfähigkeitsänderung bei einer Neutralisations-Titeration</p>	 <p>Leitfähigkeitsänderung bei einer Fällungs-Titeration</p>	

Widerstandskapazität C von Leitfähigkeits-Messzellen: Bestimmung über die längenbezogene Leitfähigkeit κ wässriger Kaliumchlorid-Standardlösungen in Abhängigkeit von Temperatur ϑ und Konzentration c :

$$C = l \cdot A = \kappa \cdot R$$

(Widerstandskapazität C einer Leitfähigkeits-Messzelle)

C Widerstandskapazität des Messgefäßes in cm^{-1} ;
 l Elektrodenabstand in cm ,
 A wirksame Elektrodenoberfläche in cm^2 ,
 κ längenbezogene Leitfähigkeit in $\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$,

R Ohm'scher Widerstand der Elektrolytlösung in Ω

- Weitere Leitfähigkeits- / Widerstands-Datentabellen für Elektrolyte vgl. Kap. 7.1.

Tabelle 9.28: Längenbezogene Leitfähigkeit κ wässriger KCl-Standardlösungen (in Abhängigkeit von Temperatur und Konzentration in $\text{m}\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$)

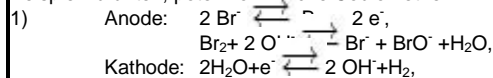
ϑ (°C)	1 mol/L	0,1 mol/L	0,02 mol/L	0,01 mol/L
15	92,52	10,48	2,243	1,146
16	94,40	10,72	2,294	1,173
17	96,31	10,95	2,345	1,199
18	98,22	11,20	2,397	1,225
19	100,14	11,43	2,449	1,251
20	102,07	11,67	2,501	1,278
21	104,00	11,91	2,553	1,305
22	105,94	12,15	2,606	1,332
23	107,90	12,39	2,659	1,360
24	109,84	12,64	2,712	1,386
25	111,80	12,88	2,765	1,412

9.6.4 Voltammetrie und Polarographie

- Grenzstromtitration oder Voltammetrie: Messung der Stromstärke an polarisierter Arbeitselektrode gegen eine unpolarisierte Bezugslektrode (von: Volt- und Amperometrie).

- Titrant: kann u. U. zuvor elektrochemisch erzeugt werden,

Beispiel zu unten, potenziostatische Coulometrie:



2) Bestimmung:

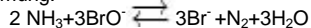


Tabelle 9.29: Weitere elektroanalytische Verfahren

Verfahren	Beschreibung
Polarographie	Spezialfall der Voltammetrie mit DME (Quecksilber-Tropf-Elektrode, DME für <i>dropping mercury electrode</i>) zur Bestimmung mehrerer Ionen nebeneinander (Polarisation: Ausbildung einer Potenzialdifferenz zwischen zwei Elektroden bei Anlegen einer äußeren Spannung)
Coulometrie, Coulometrische Titration	Messung der Leitfähigkeit κ einer Lösung, oft als Leitwert $L = 1/R$ als Zweistufen-Verfahren: 1. Schritt: Elektrochemische Erzeugung des Titranten, 2. Schritt: Reaktion mit dem Analyten; Berechnung von $c(\text{Analyt})$ aus Leitwert L (über das Ostwald'sche Verdünnungsgesetz)
Potenziostatische Coulometrie	Spezialfall, bei dem das Potenzial der Arbeitselektrode gegenüber der Referenzelektrode kontrolliert und konstant gehalten wird (s. Abb. oben)
Oszillometrie (Hochfrequenz-titration)	Konduktometrie (Leitfähigkeitstitration mit Wechselstrom), jedoch mit Elektroden außerhalb der Messzelle (das System bildet einen Kondensator, Resonanzfrequenz $\nu \sim c(\text{Ionen})$)

Kapitel 10: Organisch-präparative Chemie

Tabelle 10.1: Stoffklassen in der OC

Stoffklasse	Allg. Formel	Einfachstes Bsp.	2. Beispiel
Alkane (n-/Iso-)	C_nH_{2n+2} (Kettenform)	Methan CH_4 (Sumpfgas)	Ethan C_2H_6 (Erd-/Stadtgas)
Cycloalkane	C_nH_{2n} (ringförmig)	Cyclopropan C_3H_6	Cyclobutan C_4H_8
Alkene (n-/Iso-)	C_nH_{2n} (mit: C=C)	Ethen C_2H_4 (Ethylen, für PE-Herstellung)	Propen C_3H_6 (Propylen, für PP)
Cycloalkene	C_nH_{2n-2}	Cyclohexen C_6H_{10}	Cycloheptan C_7H_{12}
Alkine	C_nH_{2n-2}	Ethin C_2H_2 (Acetylen)	Propin C_3H_4
Aromaten	C_6H_6 u. ähnl.	Benzol C_6H_6	Naphthen $C_{10}H_8$
Chlorkohlen- wasserstoffe CKWs	R-Cl	Chlormethan CH_3Cl	Chloroform $CHCl_3$
Alkohole (Alkanole)	R-OH	Methanol CH_3OH	Ethanol C_2H_5OH
Carbonsäuren (Alkansäuren)	R-COOH	Ameisensäure $H-COOH$	Essigsäure CH_3COOH

REAKTIONSMÖGLICHKEITEN der KWs sind:

- **Oxidation** (Verbrennung), allg.: $C_xH_y + n O_2 \rightarrow x CO_2 + \frac{y}{2} H_2O$
- **Substitution** (Austauschreaktionen), allg.: $R-X + Y \rightarrow R-Y + X$ oder $R-H + X_2 \rightarrow R-X + H-X$
- **Addition** (Anlagerungsreaktionen), allg. z.B.: $C_nH_{2n} + X_2 \rightarrow C_nH_{2n}X_2$ (Stoffvereinigung)
- **Eliminierung** (Abspaltungsreaktionen), allg. z.B.: $C_nH_{2n}X_2 \rightarrow C_nH_{2n} + X_2$ (Stoffzerlegung)

Tabelle 10.2: Funktionelle Gruppen

Nr.	Stoffklasse	Allg. Formel
1	Alkane	C_nH_{2n+2} Cyclo: C_nH_{2n}
2	Alkene	C_nH_{2n}
3	Alkine	C_nH_{2n-2}
4	Aromaten	$(4n+2) \pi\text{-e}^-$
5	Alkohole (Alkanole, Alkan- diole, Tri-, Polyole)	R-OH (R = Alkylrest)
6	Ether (Alkoxyalkane)	R-O-R
7	Aldehyde (Alkanale)	R-CHO
8	Ketone (Alkanole)	R-CO-R
9	Carbonsäuren (Alkansäuren)	R-COOH
10	Kohlenhydrate (Zucker)	$C_n(H_2O)_n$
11	Ester	R-COO-R
12	Amine (Aminoalkane)	R-NH ₂
13	Aminosäuren	RCH(NH ₂)-COOH
14	Hydroxy-carbonsäuren	RCH(OH)-COOH
15	Halogenkohlen-wasserstoffe (FCKW, CKW)	R-Hal (Hal = F, Cl, Br, I)
16	Isocyanate	R-NCO
17	Thiole	R-SH
18	Nitroalkane	R-NO ₂

Kapitel 11: Mathematische Grundlagen

11.1 Zahlen und Zeichen

11.1.1 Zahlenmengen und Darstellungsformen

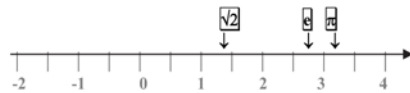
Tabelle 11.1: Zahlenmengen und deren Bezeichnungen

Bezeichnung	Eigenschaften der Elemente der Zahlenmenge	Elemente z. B.
Natürlich (N)	Ganz, positiv (auch: inklusive Zahl 0)	1, 2, 3 ...
Ganz (Z)	Darstellbar als Dezimalzahl ohne Nachkommastellen (unter dem Bruchstrich als Ziffer nur 1)	2, 1, 0, -1, -2, ...
Rational (Q)	Darstellbar als Bruchzahl der Form ganze Zahl / ganze Zahl (Verhältnis zweier ganzer Zahlen)	$\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, ...
Irrational (R\Q)	Menge aller reellen Zahlen, die nicht durch Brüche darstellbar sind	algebraisch: $\sqrt{2}$, transzendent: e , π
Reell (R)	Darstellbar als unendliche (periodische) oder abbrechende Dezimalzahlen (ganz, rational oder irrational)	(Komplexe Zahl mit Imaginärteil = 0)
Komplex (C)	Um Wurzeln negativer Zahlen erweiterter Zahlenbereich der reellen Zahlen (i als Lösung der Gleichung $i^2 = -1$)	$i = \sqrt{-1}$

Zahlengerade und Gauß'sche Zahlenebene

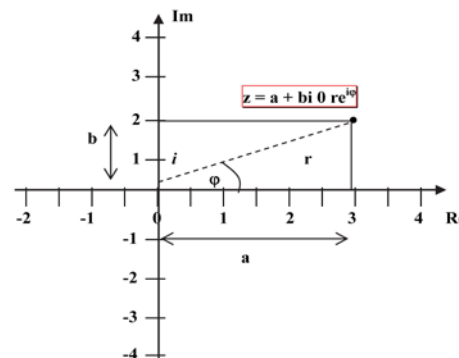
Zahlenstrahl:

Reelle Zahlen liegen auf dem Zahlenstrahl



Gauß'sche Zahlenebene:

Komplexe Zahlen liegen in einer Gauß-Ebene



11.1.2 Mathematische Zeichen und Symbole

Tabelle 11.2: Bereiche der Mathematik

Bereich	Deutsche Umschreibung
Arithmetik	Lehre der Eigenschaften ganzer Zahlen
Algebra	Lehre mathematischer Gleichungen
Analysis	Lehre der Arbeit mit Grenzwerten und veränderlichen Größen, Funktionenlehre
Logik	Lehre von den Gesetzen, der Struktur und den Formen des Denkens
Mengenlehre	Lehre von Mengen, Teilmengen und deren Elementen
Geometrie	Lehre von Körpern, Formen und deren Maßen

Symbol	Sprechweise	Bedeutung
n'	n Strich	$n + 1$, Nachfolger von n
+	plus	Addition
-	minus	Subtraktion
\pm , \mp	Plusminus, plus oder minus	(Disjunktion von Addition und Subtraktion)
\cdot , \times	mal	Multiplikation, Vervielfältigung
$:$, $/$	durch	Division, Teilung
$\frac{\quad}{\quad}$	durch	Division, Bruchstrich
$:$	zu	Proportion, Verhältnis
=	gleich	Gleichheits-Relation
<	(ist) kleiner (als)	Kleiner-Relation (<< sehr klein gegen)
>	(ist) größer (als)	Größer-Relation (>> sehr groß gegen)
\neq	(ist) ungleich	Negation der Gleichheits-Relation
\geq	(ist) größer oder gleich	Negation der Kleiner-Relation
\leq	(ist) kleiner oder gleich	Negation der Größer-Relation
\approx	(ist) angenähert gleich	Annäherung
\sim	(ist) proportional (zu)	Proportionalität
%	Prozent	Hundertstel
‰	Promille	Tausendstel
Σ	Summe	Summensymbol
Π	Produkt	Produktsymbol
$n!$	n Fakultät	$1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot n$
$\log_a \dots$	Logarithmus zur Basis a von ...	-
$\lg \dots$	Zehnerlogarithmus	$\log_{10} \dots$
$\ln \dots$	natürlicher Logarithmus	$\log_e \dots$
$f(x)$	Funktion f von x	Wert der Funktion f an der Stelle x
f', f^{-1}	f Strich, f hoch minus 1	1. Ableitung von f , Umkehrfunktion
$D(f), W(f)$	D von f , W von f	Definitions- bzw. Wertebereich von f
$G(f)$	G von f	Graph von f , Punktmenge
\lim	limes (von) ...	Grenzwert
Δ	Delta	Differenz (Unterschied, Änderung)
$\sqrt{\quad}$	Wurzel (von)	Radizieren (Quadratwurzel)
$\sqrt[n]{a}$	n -te Wurzel aus a	Radizieren
∞	unendlich	-
$\int_a^b f(x) dx$	Integral von f über a und b (bzw.: im Bereich von a bis b)	Bestimmtes Integral der Funktion f zwischen den Grenzen a und b

Tabelle 11.4: Mathematische Zeichen und Symbole aus der Geometrie

Symbol	Sprechweise, Bedeutung	Symbol	Sprechweise, Bedeutung
\parallel	parallel	$\triangle ABC, \nabla ABC$	Dreieck mit den Eckpunkten A, B, C
\Uparrow	gleichsinnig parallel	\cong	kongruent
\Updownarrow	ungleichsinnig parallel	=	gleichlang
\perp, \lrcorner	rechter Winkel	\sim	ähnlich
\perp, \perp	senkrecht (zu, auf), rechtwinklig zu	\cap, \cup	Winkel im Bogenmaß (Mengen- lehre: Vereinigungsmenge)
$\sphericalangle, \sphericalangle, \sphericalangle$	Winkel	$A(a_1 a_2 a_3)$	Raumpunkt

Tabelle 11.5: Mathematische Zeichen und Symbole aus Logik und Mengenlehre		
Symbol	Sprechweise	Bedeutung
\neg	nicht	Negation, Verneinung
\wedge	und	Verknüpfung, Konjunktion
\vee	oder	Alternative, Disjunktion
\bar{a}	Nicht	Verneinung, Negation
\Rightarrow	wenn ... so, daraus folgt, impliziert	Schlussfolgerung, Implikation
\Leftrightarrow	genau dann, wenn ... , äquivalent	Gleichwertigkeit, Äquivalenz
\forall	für alle	Generalisierung
\exists	es gibt ein	Partikularisierung
$:=, \equiv$	ist definitionsgemäß gleich	Definitionsbezeichnung für Terme
$:\Leftrightarrow$	gilt definitionsgemäß genau dann, wenn	Definitionszeichen für Eigenschaften und Relationen
\in	ist Element von	Elementbeziehung
\notin	ist nicht Element von	Negation der Elementbeziehung
$\{ \dots \}$	Menge, bestehend aus ...	Mengen-Klammer
$\emptyset, \{ \}$	leere Menge	Menge ohne Elemente
D	Definitionsmenge	Definitionsmenge
G	Grundmenge	Grundmenge
$=$	gleich	Gleichheit von Mengen, Identität
\subseteq	enthalten in, ist Teilmenge von	Inklusion
\subset	echt enthalten in	Echte Inklusion
$\not\subset$	ist nicht enthalten in	Negation der Inklusion (Ausschluss)
\cap	geschnitten mit, Durchschnitt von	Durchschnitt von Mengen
\cup	vereinigt mit, Vereinigung von	Vereinigung von Mengen
\setminus	minus, Differenzmenge, ohne	Differenz von Mengen
Δ	Delta	Symmetrische Differenz
\cong	Isomorph	Isomorphie von Bereichen
\sim	gleichmächtig	Gleichmächtigkeit von Mengen
$P(M)$	Potenzmenge von M	Menge aller Teilmengen von M
$[x_1, x_2]$	Geordnetes Paar x_1, x_2	Geordnetes Paar
$M \times N$	M Kreuz N	Produktmenge
F	F	Abbildung
F^{-1}	F hoch minus 1	Inverse Abbildung
$G \circ F$	G verkettet mit F	Verkettung von Abbildungen
$[a, b]$	Abgeschlossenes Intervall von a bis b	Beispiel: $[a, b] = \{x \mid a \leq x \leq b\}$
(a, b)	Offenes Intervall von a bis b	Beispiel: $(a, b) = \{x \mid a < x < b\}$
$(a, b]$	Linksseitig offenes und rechtsseitig geschlossenes Intervall von a bis b	Beispiel: $(a, b] = \{x \mid a < x \leq b\}$
$[a, b)$	Rechtsseitig offenes und linksseitig geschlossenes Intervall von a bis b	Beispiel: $[a, b) = \{x \mid a \leq x < b\}$
$(-\infty, b]$	Linksseitig unbeschränktes Intervall bis b	Beispiel: $(-\infty, b] = \{x \mid -\infty < x \leq b\}$
$\langle a \mid b \rangle$	Geordnetes Zahlenpaar mit den Zahlen für a und b	Beispiel: $\langle -3, 5 \rangle$
$P \langle x \mid y \rangle$	Punkte der reellen Zahlenebene mit den Koordinaten x und y	Beispiel: $P \langle 4 \mid 7 \rangle$
$P \langle x \mid y \mid z \rangle$	Punkte des reellen Zahlenraumes mit den Koordinaten x, y und z	Beispiele: $P \langle 2 \mid 4 \mid 7 \rangle$, $O \langle 0 \mid 0 \mid 0 \rangle$ (Ursprung des räumlichen Koordinatensystems)

11.2 Arithmetik und Algebra

11.2.1 Rechenformeln und -regeln

Tabelle 11.6: Rechenregeln

Rechengebiet, -operation	Rechenformel, -regel	Rechengebiet, -operation	Rechenformel, -regel
Bruchrechnen, Addition und Subtraktion	$\frac{a}{b} \pm \frac{c}{d} = \frac{a \cdot d \pm c \cdot b}{b \cdot d}$	Klammerrechnen, Distributivgesetz	$a \cdot (b \pm c) = a \cdot b \pm a \cdot c$
Bruchrechnen, Multiplikation	$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d}$	Klammerrechnen, Assoziativgesetz	$(a + b) \cdot (c + d) = a \cdot c + a \cdot d + b \cdot c + b \cdot d$
Bruchrechnen, Division	$\frac{a}{b} : \frac{c}{d} = \frac{a \cdot d}{b \cdot c}$	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 reeller Zahlen	$\sqrt{a^2} = a > 0$ $\sqrt[n]{a} = a^{(1/n)}$ $\sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{a \cdot b}$ $\sqrt[n]{a} : \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{a/b}$ $\sqrt[n]{a^m} = a^{m/n} = (\sqrt[n]{a})^m$	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...)	$\ln e^n = n$ $e^{\ln a} = a$

11.2.2 Funktionen und Gleichungssysteme

Rechnen im Koordinatensystem

- Auftragung von Schaubildern (Graphen) einer Funktion im rechtwinkligen Koordinatensystem
- **x-Achse** waagrecht (**Abszisse**), **y-Achse** senkrecht (**Koordinate**), vier Quadranten
- Punkt P mit x-Koordinate (Abszisse) und y-Koordinate (Koordinate) anzugeben als P (x | y)

Wertetabellen und Funktionen

- **Relation:** Mehrdeutige Zuordnung eines Elementes der Ausgangsmenge zu unterschiedlichen Elementen der Zielgruppe
- **Funktion:** Eindeutige Zuordnung (z. B. in Form von Wertetabellen)
- Schaubild, **Graph**, Kurve: Graphische Darstellung einer Funktion

Gleichungssysteme

- Linear: Alle Variablen nur in 1. Potenz (**Lineares Gleichungssystem**, LGS)

11.3 Geometrie

11.3.1 Flächenformeln

Tabelle 11.7: Flächen

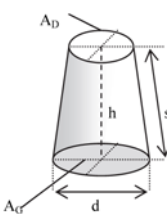
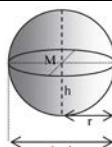
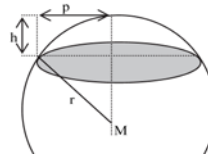





Bezeichnung	Rechenformel, -regel	Abbildung der Fläche	Größensymbole
Dreieck (allgemein), Tri(a)gon	$A = \frac{1}{2} \cdot g \cdot h_g$ Umfang: $U = a + b + c$ Seitenlänge c: $c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos \gamma$		g Grundseite h _g Höhe über g U Umfang α, β, γ Winkel: $\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ$ $\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}$
Gleichschenkliges Dreieck	$A = \frac{1}{2} \cdot c \cdot h_c$ Umfang: $U = 2a + c$ Seiten: $a = b$		h _c Höhe über c: $h_c = \sqrt{a^2 - \frac{1}{4}c^2}$ h _c = Symmetrieachse
Rechtwinkliges Dreieck	$A = \frac{1}{2} a \cdot b$ Satz des Pythagoras: $\gamma = 90^\circ \Rightarrow a^2 + b^2 = c^2$		$h_c^2 = p \cdot q$ $a^2 = p \cdot c, b^2 = q \cdot c$ $\sin \alpha = a/c, \cos \alpha = b/c$ 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: $\alpha + \beta + \gamma + \delta = 360^\circ$
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: $U = 2 \cdot (a + b)$		e, f Diagonalen Winkel: $\alpha = \beta = \gamma = \delta = 90^\circ$
Quadrat	$A = a^2$ Umfang: $U = 4a$ Diagonalen: $e = f,$ $e \perp f, e = a \cdot \sqrt{2}$		e, f Diagonalen Seiten: $a = b = c = d$ Winkel: $\alpha = \beta = \gamma = \delta = 90^\circ$

Bezeichnung der Fläche	Rechenformel, -regel	Abbildung der Fläche	Größensymbole
Trapez	$A = \frac{1}{2} (a + c) \cdot h = m \cdot h$ 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 $\frac{1}{2} h$ $m = \frac{1}{2} \cdot (a + c)$
Drachen-viereck und Raute, Rhombus	$A = \frac{1}{2} \cdot e \cdot f$ Umfang: $U = 2 \cdot (a + d)$ Sonderfall Raute: $A = g \cdot h = a \cdot h$		e, f senkrecht aufeinander stehende Diagonalen, $e \perp f$ Winkel: $\alpha = \gamma$ Raute: $a = b = c = d$, ist Drachen und Parallelogramm zugleich
Regelmäßiges n-Eck Fünfeck: $n = 5$, Sechseck: $n = 6$ (Pentagon, Hexagon)	$A_n = n \cdot A_n$ Umfang: $U = n \cdot a_n$ Höhe: $h_c = r^2 - (\frac{1}{2} a_n)^2$		A_n Teilfläche (dreieckig) a_n Seite M Mittelpunkt φ, α Winkel, $\varphi = \frac{360^\circ}{n}$ $\alpha = \frac{(180^\circ - n) \cdot 2\varphi}{2}$
Kreis	$A = \pi \cdot r^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$ Umfang: $U = 2\pi \cdot r = \pi \cdot d$ Durchmesser $d = 2 \cdot r$		M Mittelpunkt U Umfang, d Durchmesser α Peripheriewinkel β Zentriwinkel AB γ Sehnen-Tangenten-Winkel $\alpha = \beta/2 = \gamma$
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 M Mittelpunkt
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

11.3.2 Volumen- und Oberflächenformeln

Tabelle 11.8: Volumina und deren Oberflächen

Bezeichnung des Körpers	Rechenformel, -regel	Abbildung des Körpers	Größensymbole
Gleichmäßig dicke Körper (allgemein)	$V = G \cdot h$ Oberfläche: $O = g + M$ Zylinder: $O = 2\pi \cdot r \cdot (r + h)$		G Grundfläche h Höhe A, O Oberfläche M Mantelfläche r Radius
Quader	$V = a \cdot b \cdot c$ Oberfläche: $O = 2(ab + ac + bc)$		A _O , O Oberfläche e Diagonale $e = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$
Würfel, Kubus	$V = a^3$ Oberfläche: $O = 6a^2$		A _G Grundfläche A _O , O Oberfläche a Seitenlänge e Diagonale
Prisma (n-seitig), n = 5, 6, 7, ...	$V = A_G \cdot h$ Oberfläche: $O = 2A_G + S_1 + S_2 + \dots + S_n$		A _G Grundfläche A _O , O Oberfläche S Seitenfläche h Höhe
Zylinder, Kreiszylinder	$V = G \cdot h$ Oberfläche: $O = 2\pi \cdot r \cdot (r + h)$		A _M Mantelfläche O Oberfläche r Radius h Höhe $A_M = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h$
Spitze Körper (allgemein)	$V = \frac{1}{3} \cdot G \cdot h$		G Grundfläche h Höhe r Radius (G _{Kegel}) O Oberfläche
Kegel, Kreiskegel	$V = \frac{1}{3} \pi \cdot r^2 \cdot h$ Oberfläche: $O = \pi \cdot r^2 + \pi \cdot r \cdot \sqrt{r^2 + h^2}$ $O = \pi \cdot r \cdot (r + s)$ 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 $s^2 = r^2 + h^2$
Pyramide (n-seitig, auf regelmäßigem n-Eck), n = 3, 4, 5, ...	$V = \frac{1}{3} A_G \cdot h$ Oberfläche: $O = A_G + A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n$		A _G , G Grundfläche A ₁ , A ₂ Seitenflächen O Oberfläche h Höhe

Bezeichnung des Körpers	Rechenformel, -regel	Abbildung des Körpers	Größensymbole
Stumpfe Körper (allgemein)	$V_{\text{Stumpf}} = V_{\text{Gesamt}} - V_{\text{Spitze}}$		V_G Gesamtvolumen der Pyramide oder des Kegels V_{Spitze} Volumen der abgeschnittenen Spitze
(Kreis-)Kegelstumpf	$V = \frac{1}{3} \pi h (r_1^2 + r_2^2 + r_1 r_2)$		r_1 r(Grundfläche)
Pyramidenstumpf	$V = \frac{1}{3} h (A_G + \sqrt{A_G \cdot A_D} + A_D)$		A_G Grundfläche A_D Dachfläche
Kugel	$V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$ Oberfläche: $O = \pi \cdot d^2 = 4 \pi \cdot r^2$ Umfang: $U = 2\pi \cdot r$		r Radius O Oberfläche U Umfang M Mittelpunkt
Kugelabschnitt, Kugelsegment	$V = \frac{1}{3} \pi \cdot h^2 \cdot (3r - h)$ Oberfläche: $O = \pi \cdot h \cdot (4r - h)$ Grundkreisradius: $p^2 = h \cdot (2r - h)$		p Grundkreisradius r Radius h Höhe
Kugelschicht	$V = \frac{\pi}{6} \cdot h \cdot (3r_1^2 + 3r_2^2 + h^2)$	(Kugelabschnitt ohne Kugelkappe, -sektor bzw. -ausschnitt)	h Schichthöhe r_1, r_2 Radien der Außenflächen
Tetraeder*	$V = \frac{1}{12} a^3 \cdot \sqrt{2}$ Oberfläche: $O = a^2 \cdot \sqrt{3} = 4 A_{gD}$		O Oberfläche A_{gD} Grenzfläche (∇ , gleichseitig)
Hexaeder, Kubus* (Würfel)	$V = a^3$ Oberfläche: $O = 6 a^2 = 6 A_Q$		O Oberfläche A_Q Grenzfläche (\square , Quadrat)
Oktaeder*	$V = \frac{1}{3} a^3 \cdot \sqrt{2}$ Oberfläche: $O = 2 a^2 \cdot \sqrt{3} = 8 A_{gD}$		O Oberfläche A_{gD} Grenzfläche (∇ , gleichseitig)
Dodekaeder*	$V = \frac{1}{3} a^3 \cdot \sqrt{2}$ Oberfläche: $O = 3a^2 \cdot \sqrt{5(5 + 2\sqrt{5})}$		O Oberfläche A_{Pg} Grenzfläche (\triangle , gleichseitig)
Icosaeder*	$V = \frac{5}{12} a^3 \cdot (3 + \sqrt{5})$ Oberfläche: $O = 5 a^2 \cdot \sqrt{3} = 20 A_{gD}$		O Oberfläche A_{gD} Grenzfläche (∇ , gleichseitig)

* **Regelmäßige Polyeder**, auch **Platonische Körper** genannt (siehe folgende Seite)

Tabelle 11.9: Polyeder

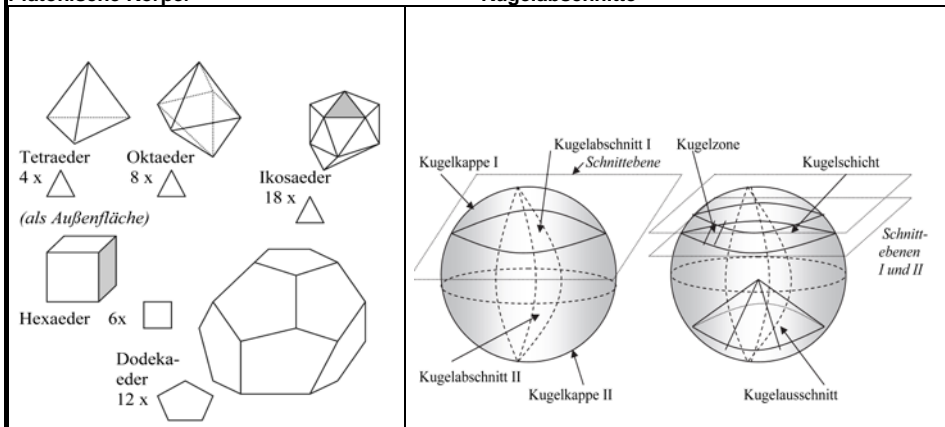
Körper*	E	F	K	Körper*	E	F	K
Tetraeder	4	4 ▽	6	Quader (auch: Kubus)	8	6	12
Oktaeder	6	8 ▽	12	Pyramide, 3-seitig	4	4	6
Ikosaeder	12	20 ▽	30	Prisma, 6-seitig	12	8	18
Hexaeder, Kubus	8	6 □	12	Quadratische Säule mit aufgesetzter Pyramide	9	9	16
Dodekaeder	20	12 △	30				

***Euler'scher Polyedersatz:** Zahl der Ecken (E) plus Zahl der Flächen (F) ist im Polyeder 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 ⇒ Jeder *platonische* Körper hat untereinander lauter räumlich kongruente Ecken (Idealkörper u. a. in der Kristallographie).

Platonische Körper

Kugelabschnitte



11.4 Analysis, Funktionenlehre

11.4.1 Algebraische Winkelfunktionswerte

Tabelle 11.10: Algebraische Winkelfunktionswerte

Wert der Funktion des Winkels ∠	0°-Winkel	30°-Winkel	45°-Winkel	60°-Winkel	Rechter Winkel	Halbkreis	270°-Winkel	Ganzer Kreis
DEG (∠ im Gradmaß)	0°	30°	45°	60°	90°	180°	270°	360°
RAD (∠ im Bogenmaß)	0	$\frac{1}{6} \pi$	$\frac{1}{4} \pi$	$\frac{1}{3} \pi$	$\frac{1}{2} \pi$	π	$\frac{3}{2} \pi$	2π
$\sin \angle^*$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2} \cdot \sqrt{2}$	$\frac{1}{2} \cdot \sqrt{3}$	1	0	-1	0
$\cos \angle$	1	$\frac{1}{2} \cdot \sqrt{3}$	$\frac{1}{2} \cdot \sqrt{2}$	$\frac{1}{2}$	0	-1	0	-1
$\tan \angle = \frac{\sin \angle}{\cos \angle}$	0	$\frac{1}{3} \cdot \sqrt{3}$	1	$\sqrt{3}$	∞	0	∞	0
$\cot \angle = 1 / \tan \angle$	∞	$\sqrt{3}$	1	$\frac{1}{3} \cdot \sqrt{3}$	0	∞	0	∞
* Gedächtnisstütze zum Sinus-funktionswert	$\frac{1}{2} \sqrt{0}$	$\frac{1}{2} \sqrt{1}$	$\frac{1}{2} \sqrt{2}$	$\frac{1}{2} \sqrt{3}$	$\frac{1}{2} \sqrt{4}$	-	-	-

* $\sin \alpha = \cos \beta$, $\tan \alpha = \cot \beta$

Kapitel 12: Statistische Grundlagen

Hinweise:

Ein Fehler, ohne Berücksichtigung des Vorzeichens, **absoluter Fehler F_{abs}** genannt, wird angegeben als Differenz zwischen dem Meßwert M_i und dem wahren Wert M . Er gibt die Abweichung in der gemessenen Maßeinheit an. Der **relative Fehler F_{rel}** schafft eine Beziehung zwischen der Größe des Fehler und der Größe des Meßwertes und ist definiert als das Verhältnis des absoluten Fehlers zum wahren Wert. Da der wahre Meßwert M meist nicht bekannt ist, setzen wir näherungsweise den arithmetischen Mittelwert $AM = (M_1 + M_2 + M_3 + \dots + M_i + \dots + M_n) / n$ aller n Einzelmessungen ein:

$$F_{abs}(M_i) = |M_i - M| \qquad F_{rel}(M_i) = \frac{|M_i - M|}{M}$$

Durch Multiplikation mit 100 erhält man den **prozentualen Fehler**.

Während der absolute Fehler ein Urteil über die Qualität des Meßgerätes und die Sorgfalt der vorgenommenen Messung zuläßt, gibt der relative Fehler Auskunft über die Genauigkeit der Messung selbst.

Ein Meßergebnis wird nicht mit mehr Stellen nach dem Komma angegeben, als die Genauigkeit des angewendeten Meßverfahrens es erlaubt. Die letzte Stelle darf unsicher sein.

Die **Standardabweichung S** wird - wie in 2.3.1 vorgestellt - über den arithmetischen Mittelwert AM und den mittleren quadratischen Fehler berechenbar.

Die Berechnungsformel und Symbole hierzu finden sich in vielen Lehrbüchern dazu auch in folgender Form:

S = Standardabweichung
 n = Anzahl der Messungen
 v_i = Abweichung der Einzelmessung M_i
 vom Mittelwert AM
 v_i^2 = mittlerer quadratischer Fehler

$$S = \pm \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{(n-1)}} \qquad v_i = |AM - M_i|$$

$$v_i^2 = |AM - M_i|^2$$

Die Standardabweichung S gibt den Streubereich der Meßergebnisse also als **zufälligen** Fehler bei beliebig vielen Messungen unter **gleichen** Bedingungen wieder. Damit wird ausgedrückt, daß rund 68 Prozent aller Messungen innerhalb der durch die Standardabweichung angegebenen Fehlergrenzen liegen.

Die Standardabweichung ist gleichzeitig ein Maß für den **absoluten mittleren Fehler** der Einzelmessung: Der wahre Wert liegt bei einmaliger Messung mit 68 %iger Wahrscheinlichkeit innerhalb der Standardabweichung. Mit sehr großer Wahrscheinlichkeit liegt der wahre Meßwert im Bereich des dreifachen mittleren Fehlers der Einzelmessung. Diese statistischen Aussagen ergeben sich, wie gesagt, aus der o.g. Gauss'schen Fehlerverteilungsfunktion.

Kapitel 13: Ökonomie und Ökologie

13.1 Daten zur Ökonomie

13.1.1 Meistproduzierte Chemierohstoffe

Tabelle 13.1: Meistproduzierte Chemierohstoffe

Chemierohstoff(e), Substanz(en)	WJP Mio. t/a*	Quelle, Stand*	Chemierohstoff(e), Substanz(en)	WJP Mio. t/a*	Quelle, Stand*
pflanzliche Eiweiße	≈ 300 insg.	dtv	Salzsäure	> 9	dtv
Kunststoffe	≈ 160 insg.	dtv	Ätznatron	≈ 8	dtv
Ammoniak	117,67	QS	Methanal, Polystyrol	Je 8,0	dtv
Gebannter Kalk	117	dtv	Essigsäure, Bio-Ethanol	Je ≈ 5 – 6	dtv
Saccharose	108	dtv	Methanal	5,7	Uc
Schwefelsäure	> 100	dtv	Buten, PUR	Je > 5	dtv
Sauerstoff	≈ 100	dtv	Phthalsäureanhydrid	5,0 / Uc: 2,3	dtv
Eth(yl)en ** (+PE)	83,43** (+30)	QS	Propylenoxid	4,84	QS
Fette und Öle	> 75 insg.	QS	Phenol, Polyamide	Je > 4,0	dtv
Schwefel	60	dtv	Kautschuk, Butanole	Je 3,5	dtv
Prop(yl)en	50,34	dtv	Titandioxid	> 3,0	dtv
Chlor	48,46	QS	Ethanal, Butanal	Je 3,0 / Uc: 2,4	dtv
Chemiefasern	44,5 insg.	QS	Diethylhexylphthalat	2,3 (DEHP, DOP)	dtv
Benzol	34,52 (dtv: 22)	QS	Diethylenglykol, DEG	2,1	Uc
Salpetersäure	30 - 33	QS	Isopropanol	2,0	Uc
LD-PE und HD-PE	30 (18+12)	dtv	Propanon	2,0	dtv
Soda	28,3	dtv	Isopren, Vinylacetat	Je ≈ 1,8	Uc
Stickstoff	> 23,5	dtv	Flusssäure	1,5	QS
Methanol	> 22 / Uc: 37	dtv	Farben	1,3 insg.	dtv
Vinylchlorid (+PVC)	≈ 22 / Uc: 7	dtv	Bioproteine	1,1	dtv
Styrol, Ethylbenzol	20,58	1990	Ethin, Anilin	Je ≈ 1,0	dtv
Ethylenoxid	12,7 / Uc: 3,9	dtv	Kalkstickstoff	1,0	dtv
Polypropylen PP	12	dtv	Tetra- und Trichlorethen	Je ≈ 0,8	Uc
Seifen	> 11 insg.	QS	Aminosäuren	> 0,35 insg.	dtv
Toluol, Xylol	Je ≈ 10	dtv	Blausäure, HCN	0,4	Uc
Polyester	10 insg.	dtv	Chlorparaffine	0,3	Uc
Butadien	9,06 (dtv : 11)	QS	Vitamine	0,123 insg.	QS

* Angaben ohne Metalle (Kap. 13.1.3). Literaturangaben variieren, Stand und zitierte Quellen:

QS Quadbeck-Seeger, Rekorde der Chemie, VCH Wiley, 1997

dtv dtv-Atlas der Chemie, 1997

Uc Bliefert, Umweltchemie, VCH Wiley, 1997

** Angabe zu Eth(yl)en ohne Ethylenoxid (QS, Stand 1996), nach dtv 65 Mio. t/a

(BRD: 10 Mio. t), die nach Bild der Wissenschaft 03/2003* (BdW) meistproduzierten Substanzen in Deutschland sind:

Tabelle 13.2: Meistproduzierte Chemierohstoffe in der BRD

Substanz	Menge in t/a	Substanz	Menge in t/a
1. Ethen	5005029	7. Ethyldichlorid	2597093
2. Propen	3463144	8. Ammoniak	2522226
3. Natriumhydroxid	3460227	9. Butadien (ohne Isomere)	2290115
4. Chlor	3207430	10. Vinylchlorid	2118256
5. Schwefelsäure	3170185	11. Methanol	1921680
6. Benzol	2600199	12. Salzsäure	1518849

* Die Angaben in BdW 03/2003 beziehen sich auf 2001.

13.1.2 Großtechnische Produktionsprozesse

Tabelle 13.2: Reduktionsmittel zur Metallgewinnung

Metallurgisches Verfahren	Reduktionsmittel	Gewinnbare Metalle z. B.
Carbothermische Reduktion	Kohle (Koks, Kohlenmonoxid, Carbid)	Fe, Cu, Sn, Pb, Ni
Hydrothermische Reduktion	Wasserstoffgas	W, Sc, Ce
Aluminothermische Reduktion	Aluminium bzw. unedle Metalle	Cr, V, U, Zr
Kathodische Reduktion	Elektronen (Elektrolyse, Gleichstrom)	Al, Mg, Na, K, Mn

Tabelle 13.3: Metallurgisch-technische Unterscheidung der Metalle

Metall-Gruppe, Einteilung	Merkmal	Beispiele
Eisenmetall	Eisen und eisenhaltige Legierungen	Chrom-Nickel-Stahl
Nichteisen-Metall (NE-Metall)	Eisenfreie Legierungen und Metalle	Cr, Ag, Pb, Cu
Leichtmetall	Dichte < 4 g/cm ³	Ti, Mg, Al, Ca, Na, Sc
Schwermetall	Dichte > 4 g/cm ³	Pb, Fe, Co,
Hauptgruppenmetall	Hauptgruppenelement	Pb, Al, Sn, Mg, Ca
Bunt- und Edelmetalle	Nebengruppenelement	Cu, Co, Ni, Au, Pt, Pd
Hartmetall	Härtegrad hoch	W, Hf, Mo
Weichmetall	Härtegrad niedrig	Pb, Bi, Na, K

Tabelle 13.4: Großtechnische Herstellungsverfahren (Produktionsprozesse für Basisrohstoffe)

Verfahren	Arbeitsschritte	Reaktionen (Produkte in Fettdruck)
Haber-Bosch-Verfahren	1. Synthesegas-Erzeugung aus Kohle oder Erdgas und Wasserdampf 2. Ammoniaksynthese 3. Ammoniak-kondensation	1. Synthesegasgemisch H ₂ /N ₂ aus Methan, Wasserdampf und Luft: CH ₄ + H ₂ O → CO + 3 H ₂ C + H ₂ O → CO + H ₂ Konvertierung: 2 CO + O ₂ → 2 CO ₂ 2. N ₂ + 3 H ₂ → 2 NH₃ 3. -
Ostwald-Verfahren	1. Ammoniakverbrennung 2. Aufoxidation von Stickstoffmonoxid NO 3. Oxidations- und Absorptionskolonne	1. 4 NH ₃ + 5 O ₂ → 4 NO + 6 H ₂ O 2. 2 NO + O ₂ → 2 NO ₂ 3. 4 NO ₂ + O ₂ + 2 H ₂ O → 4 HNO ₃
Solvay-Verfahren	1. Natronsynthese 2. Natronfiltration 3. Natronkalkzination (Brennen von Natron) 4. Ammoniakrecycling 5. Kalkbrennen 6. Kalklöschchen	1. NaCl + NH ₃ + CO ₂ + H ₂ O → NaHCO ₃ + NH ₄ Cl 2. - 3. 2 NaHCO ₃ → Na₂CO₃ + H ₂ O 4. 2 NH ₄ Cl + Ca(OH) ₂ → CaCl ₂ + 2 H ₂ O + 2 NH ₃ 5. CaCO ₃ → CaO + CO ₂ 6. CaO + H ₂ O → Ca(OH) ₂
Chloralkalelektrolyse (Membran-, Diaphragma-, Amalgam-Verfahren)	1. Sole-Elektrolyse 2. Sole-Reinigung 3. Chlor-Reinigung, Natronlauge-Entchlorung und H ₂ -Aufbereitung Amalgamverfahren: Amalgamzersetzung	Kathode: H ₃ O ⁺ + e ⁻ → H ⁰ + H ₂ O bzw.: 2 H ₂ O + 2 e ⁻ → H₂ + 2 OH ⁻ Amalgamverfahren: Na ⁺ + e ⁻ + n Hg → NaHg _n Anode: 2 Cl ⁻ → 2 e ⁻ + Cl ₂ Amalgamverfahren: 2 NaHg _n + 2 H ₂ O → 2 NaOH + H ₂

Verfahren	Arbeitsschritte	Reaktionen (Produkte in Fettdruck)
Kontaktverfahren	1. Schwefelverbrennung oder Erzzröstung 2. Aufoxidation 3. Absorption 4. Oleumverdünnung	1. $S + O_2 \rightarrow SO_2$, Erzzröstung z. B. auch: $2 CuFeS_2 + O_2 \rightarrow Cu_2S + 2 FeS + SO_2$ $FeS_2 + O_2 \rightarrow FeS + SO_2$ $2 FeS + 3 O_2 \rightarrow 2 FeO + 2 SO_2$ $2 Cu_2S + 3 O_2 \rightarrow 2 Cu_2O + 2 SO_2$ 2. $2 SO_2 + O_2 \rightarrow 2 SO_3$ (über Katalysator) 3. $SO_3 + H_2SO_4 \rightarrow H_2S_2O_7$ (Oleum) 4. $H_2S_2O_7 + H_2O \rightarrow 2 H_2SO_4$
DESONOX-Verfahren	Entschwefelung und Entstickung von Abluft (div. Verfahrenstypen)	$2 CaCO_3 + 2 SO_2 + O_2 \rightarrow 2 CaSO_4 + 2 CO_2$ $NH_3 + NO_x \rightarrow N_2 + y H_2O$ (Kat.: Pt) Nass: $2 Ca(OH)_2 + 2 SO_2 + O_2 \rightarrow 2 CaSO_4 + 2 H_2O$
Hochofen-Prozess	1. Vorwärmzone (Gicht) 2. direkte und indirekte Erzzröschung, Aufkohlung (Schacht) 3. Verbrennungszone (Rast)	1. $2 FeOOH \rightarrow Fe_2O_3 + H_2O$ u. ähnl. 2. $3 Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2 Fe_3O_4 + CO_2$ $Fe_3O_4 + CO \rightarrow 3 FeO + CO_2$ $FeO + CO \rightarrow Fe + CO_2$ $3 Fe + C \rightarrow Fe_3C$ (Aufkohlung) 3. $2 C + O_2 \rightarrow 2 CO$ / $2 CO + O_2 \rightarrow 2 CO_2$ $CO_2 + C \leftrightarrow 2 CO$ (Boudouard-Gleichgewicht)
Aluminiumgewinnung	1. Bauxitaufschluss 2. Rotschlammfiltration 3. Kristallisor (Tonerde-Ausfällung) 4. Filtration 5. Tonerde-Kalzination 6. Schmelzfluss-Elektrolyse in Kryolithschmelze	1. $Al(OH)_3 + Fe(OH)_3 + NaOH \rightarrow Na[Al(OH)_4] + Fe(OH)_3$ 2. – 3. $Na[Al(OH)_4] \rightarrow NaOH + Al(OH)_3$ 4. – 5. $2 Al(OH)_3 \rightarrow Al_2O_3 + 3 H_2O$ 6. Kathode: $Al^{3+} + 3 e^- \rightarrow Al$ Anode: $2 O^{2-} \rightarrow O_2 + 4 e^-$ / $O_2 + C \rightarrow CO_2$
Kupfer-Gewinnung	1. Zermahlen, Flotation (Schwimmaufbereitung zur Erzanreicherung, Abtrennung von Gestein) 2. Erzzröstung (Überführung sulfidischer in oxidische Erze, Nebenprodukt: $SO_2 \rightarrow$ Schwefelsäure), 3. Erzreduktion (Schmelzmetallurgie, Reduktion zu Gar-/Rohkupfer / „Kupferstein“), 4. elektrolytische Kupferaffination (Elektrolysezelle, Oxidation unedler Begleitmetalle, edelmetallhaltiges Nebenprodukt: Anodenschlamm)	1. – 2. $Cu_2CO_3(OH)_2 \rightarrow 2 CuO + H_2O + CO_2 \uparrow$ $CuS + O_2 \rightarrow CuO + SO_2$ $FeS_2 + O_2 \rightarrow FeS + SO_2$ $2 CuFeS_2 + O_2 \rightarrow Cu_2S + 2 FeS + SO_2$ $FeS + O_2 \rightarrow FeO + SO_2$ (ggf. weitere Oxidation zu Fe_2O_3) $2 Cu_2S + 3 O_2 \rightarrow 2 Cu_2O + 2 SO_2$ $CuS + 2 CuO \rightarrow 3 Cu_{(Roh)} + SO_2$ 3. $Cu_2O + FeS \rightarrow Cu_2S + FeO$ (Kupfersteinbildung) $3 Cu_2S + 3 O_2 \rightarrow 6 Cu + 3 SO_2$ (Rohkupferbildung) $2 CuO + C \rightarrow 2 Cu_{(Rohkupfer)} + CO_2$ $Cu_2O + C \rightarrow CO + 2 Cu_{(Garkupferbildung)}$ $2 FeS + 3 O_2 \rightarrow 2 FeO + 2 SO_2$ (Verblaserrösten, Befreiung der Kupferstein"matte" von FeS und FeO durch Luft-Einblasen und unter Zuschlag von Quarzsand im Konverter) $2 FeO + SiO_2 \rightarrow Fe_2SiO_4$ (Schlackebildung bei Schmelzmetallurgie und Verblaserrösten) 4. Anode: $Cu_{roh} \rightarrow Cu^{2+} + 2 e^-$ $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2 e^-$ Kathode: $Cu^{2+} + 2 e^- \rightarrow Cu$

Verfahren	Arbeitsschritte	Reaktionen (Produkte in Fettdruck)
Carbothermische Verfahren	Metallurgie mit Koks als Reduktionsmittel (in Hitze)	$\text{SnO}_2 + \text{C} \rightarrow \text{Sn} + 2 \text{CO}$ $\text{PbO} + \text{C} \rightarrow \text{Pb} + \text{CO}$, $\text{PbO} + \text{CO} \rightarrow \text{Pb} + \text{CO}_2$ $\text{SiO}_2 + 2 \text{C} \rightarrow \text{Si} + 2 \text{CO}$ (Nebenprod. ggf.: SiC)
Aluminothermie	Metallurgie mit Al zur Red.	$\text{Cr}_2\text{O}_3 + 2 \text{Al} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 2 \text{Cr}$ (u. ähnl.)
Elektrotherm. Verfahren	Schmelzfluss-Elektrolyse z. B. Darstellg. V. Mg, Al, Ca	$\text{MgCl}_2 \rightarrow \text{Mg} + \text{Cl}_2$ (700 °C), $\text{CaCl}_2 \rightarrow \text{Ca} + \text{Cl}_2$ $2 \text{KCl} \rightarrow 2 \text{K} + \text{Cl}_2$ (in KOH, Argon, wasserfrei)
Kalkbrennerei	„Kalzination“, Löschkalk-Produktion für Baustoffe	$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ Löschchen: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$
Dünegemittel-Synthese z. B.:	1. Ammonsalpetersynthese 2. Kalkbeimischung	1. $\text{HNO}_3 + \text{NH}_3 \rightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3$ 2. CaCO_3 -Zugabe („Kalkammonsalpeter“, KAS)
Phosphor-Gewinnung	Phosphoritzer-Reduktion im Lichtbogenofen	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 3 \text{SiO}_2 + 5 \text{C} \rightarrow 2 \text{P} + 5 \text{CO} + 3 \text{CaSiO}_3$
Glasproduktion	Quarz-Soda-Schmelze, div. Zuschläge / Glassorten	$2 \text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5 + \text{CO}_2$, $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaCO}_3 + n \text{SiO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{O} \bullet \text{CaO} \bullet n \text{SiO}_2$ (Glas)
Claus-Verfahren	1. Rohölhydrierung 2. Schwefelerzeugung	1. $\text{C}_x\text{H}_y\text{S}_z$ (Rohöl) + $z \text{H}_2 \rightarrow \text{C}_x\text{H}_y + z \text{H}_2\text{S}$ 2. $2 \text{H}_2\text{S} + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{SO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ $\text{SO}_2 + 2 \text{H}_2\text{S} \rightarrow 3 \text{S} + 2 \text{H}_2\text{O}$
Katalytisches Reformieren	Aromatensynthese (Röhrenofen, 500 °C, Pt-Kat.)	C_xH_y (Rohöl, entschwefelt) $\rightarrow \text{C}_6\text{H}_6 + \text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_3 + \text{CH}_3\text{-C}_6\text{H}_4\text{-CH}_3$
Acetylen-Verfahren	Ethinsynthese aus Alkanen bzw. Rohöl	$4 \text{CH}_4 + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{C}_2\text{H}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$ (1400 °C, Abschreckung mit Sprühwasser)
Steamreforming	Synthesegasherstellung aus Erdgas und Wasser	$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3 \text{H}_2$ (Synthesegas) (900 °C, Ni-Kat.)
Synthesegas-erzeugung und -verwertung	Verschiedene Verfahrenstypen je nach Rohstoff (Erdöl, Erdgas), mit anschließender Synthese von Basisrohstoffen	$\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 2 \text{H}_2$ $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$ $\text{C} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2$ $\text{CO} + 3 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$ (kat. Methanisierung) $\text{CO} + 2 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$ (über Katalysator) $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCOOH}$ (über Katalysator)
Fischer-Tropsch-Synthese	(„Kohleverflüssigung“, „Synthesebenzin“)	$n \text{CO} + (n+0,5x) \text{H}_2 \rightarrow \text{C}_n\text{H}_x + n \text{H}_2\text{O}$ (über Katalysatoren)
Bergius-Verfahren	Kohlehydrierung	$\text{Kohle} + \text{H}_2 \rightarrow \text{C}_n\text{H}_{2n+2} + \text{Begleitstoffe}$ (Kohle mit Öl und Katalysator, 500 °C, H_2 mit 400 bar)
Organisch-Technische Syntheseverfahren	Verschiedene Verfahrenstypen je nach Rohstoff (vgl. Beispiele rechts)	$\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{HCHO} + \text{H}_2$ (über Katalysator) $\text{CH}_4 + \text{NH}_3 \rightarrow \text{HCN} + 3 \text{H}_2$ (über Katalysator) $\text{CH}_3\text{OH} + \text{NH}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{N-CH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ (über Kat.) $\text{CH}_3 + \text{CO} \rightarrow \text{HCOOCH}_3$ (über Katalysator)
Katalyt. Harnstoff-Synthese	1. Carbamat-Synthese 2. Harnstoffsynthese	1. $2 \text{NH}_3 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{N-CO}^- \text{NH}_4^+$ (über Kat.) 2. $\text{H}_2\text{N-CO}^- \text{NH}_4^+ \rightarrow \text{H}_2\text{N-CO-NH}_2 + \text{H}_2\text{O}$
Kunststoffproduktion, Synthese von Plasten	Polymerisation und Polykondensation von Monomeren, sehr viele, verschiedene Verfahren	$n \text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{H-(CH}_2\text{)}_n\text{-H}$ (Polyethylen, PE) $n \text{C}_2\text{H}_3\text{Cl} \rightarrow \text{H-(CHCl)}_n\text{-H}$ (Polyvinylchlorid, PVC) $n \text{HO-R-OH} + n \text{HOOC-R-COOH} \rightarrow \text{HO-R-OOC-R-COO-R...} + 2n \text{H}_2\text{O}$ (Polyester)
Müller-Rochow-Synthese	1. Organochlorsilan-synthese 2. Hydrolyse 3. Silikonsynthese	$2 \text{CH}_3\text{Cl} + \text{Si} \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{SiCl}_2$ (über Cu-Kat.) $(\text{CH}_3)_2\text{SiCl}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{Si(OH)}_2 + 2 \text{HCl}$ $n (\text{CH}_3)_2\text{Si(OH)}_2 \rightarrow \text{Silicone} + n \text{H}_2\text{O}$
Tensidsynthese	z. B. Alkylpolyglykolether aus Fettalkohol und Ethylenoxid	$\text{R-CH}_2\text{OH} + n (\text{CH}_2)_2\text{O} \rightarrow \text{R-CH}_2\text{-O-(CH}_2\text{-CH}_2\text{-O)}_n\text{-H}$
Biotechnolog. Verfahren	z. B. Alkoholische Gärung (mit Hefe)	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 2 \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2 \text{CO}_2$

Tabelle 13.5: Gebrauchsmetalle nach PSE-Nebengruppen, Herstellungsverfahren und Anwendung

Metall	Großtechnische Herstellung	Anwendungsbereiche (Beispiele)	WJP* (t/a)	relH* (ppm)
Cu	CuS-Röstreduktion	Leiter / Leitungsmetall, Legierungen, Konstruktionen	15 Mio.	70
Ag	Aus Werkblei mit Zink, Cu-Raffinat.	Legierungen (ca. 50%), Spiegel, Zahnersatz, Münzmetall	2.500	0,02
Au	Zyanidlaugerei, Recycling	Legierungen, Schmuckmetall, Zahnersatz, Elektronik	2.500	0,003
Zn	ZnS rösten, aus ZnO mit Kohle	Guss-Stücke, Verzinkung, Legierungen, Reduktionsmittel	7 Mio	80
Cd	Zn-/Cu-/Pb-Verhüttung	Galvanische Überzüge, Akkumulatoren, Sn-, Cu-Legierungen	19.700	0,18
Hg	HgS-Röstung	Chloralkali-Elektrolyse	10.000	0,5
Sc	Aus ScF ₃ mit Ca	Kern- und Beleuchtungstechnik	0,3	5
Ce	Aus Monazit	Crack-Katalysator, Supraleiter	(s. u.)	41,6
U	Aus Erz mit Al,Ca	Kerntechnik, Röntgenröhren	35.000	3 - 4
Ti	Aus Erz mit C + Cl ₂	Turbinen, Reaktoren, Raumfahrt	100.000	≈ 4500
Zr	Aus Erz mit C + Cl ₂	Reaktorbau: Röhren, Pumpen, ...	6.000	165-220
Hf	Aus Zr-Mineralien	Neutronenabsorber	40	4,5
V	Aus V ₂ O ₅ mit Ca	Legierung in Stählen, Al, Ti, Cr	36.000	140-150
Nb	Aus Nb-Ta-Erzen	Hartmetall-Legierungen	30.000	20
Ta	Aus Sn-Erz mit Na	Kondensatoren, Reaktoren, Düsen	1.100	2
Cr	FeO•Cr ₂ O ₃ mit Al	Chromstähle, Verchromung	≈ 9 Mio.	190-200
Mo	Aus MoO ₃ mit H ₂	Baustähle, Glühlampen	209.000	2,3
W	Aus WO ₃ mit H ₂	Hartmetalle, Elektroden, Glühwendel, Elektronenröhren, Öfen	>60.000	1,5
Mn	Fe-Mn: Hochofen	Ferromangan, Legierung	≈ 2 Mio	1000
Tc	Kernreaktor	Nuklearmedizin	≈ 0,003	0
Re	Mo-Gewinnung	Glühdrähte, Thermoelement, Kat.	10	0,0007
Fe	Hochofenprozess	Bedeutsamster Metall-Werkstoff	≈1 Mrd.	50.000
Co	Cu-Verhüttung	Legierungen (80%)	60.000	40
Ni	NiS-Röstreduktion	Stähle, Münzen, Katalysatoren	1,3 Mio.	100
Ru	Aus Rohplatin	Pt-Legierungen, Katalysatoren	1 - 3	0,005
Rh	Aus Rohplatin	Schmuck, Thermoelemente, Kat.	1 - 3	0,001
Pd	Aus Rohplatin	Zahnersatz, Kathoden, Kat.	110	0,01
Os	Aus Osmiridium	Hartmetall-Legierungen	1 - 4	0,05
Ir	Aus Osmiridium	Hartmetalle, Kanülen, Kat.	1 - 5	0,001
Pt	Aus Rohplatin	Labor, Elektronik, Schmuck, Kat.	180	0,005

* Hinweise und verwendete Kürzel:

WJP Weltjahresproduktion in t/a, relH relative Häufigkeit in der Lithosphäre, Herstellung: Stichworte zu großtechnisch-metallurgischen Verfahren,

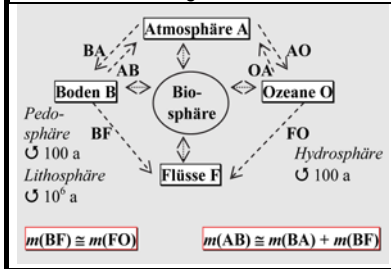
- **Lanthanoide:** WJP insgesamt um 50.000 t (Preise 2006 um 4000 Euro/kg bzw. um 20 Euro/5g),
- **Neuentdeckte Isotope** (Benennung nach 2004): Bohrium, Hassium, Meitnerium, Darmstadtium, Roentgenium, Copernicium sowie Nuklide mit OZ > 112

13.2 Ökologie und Umweltchemie

13.2.1 Stoffkreisläufe und Schadstoffe

Globale Stoffkreisläufe

Stoffkreisläufe, Diagramm



Stofftransportwege

BA, OA Verdunstung
 AB, AO Ausregnen
 AB Absorption
 (Wasser → Boden)
 AO, BF Auflösen
 BF Desorption

Gebiete:

a) Lokal (max. 100 km)
 b) Regional (bis 1000 km)
 c) Global

Beispiele:

Zu a) Smog, Pestizide, Nitrat, Schwermetalle
 Zu b) Saurer Regen
 Zu c) FCKW, Methan, CO₂

Tabelle 13.6: Globale Umweltbereiche und Arten von Rohstoffreservoirien und Umweltbelastungen

Umweltbereiche	Rohstoffreservoirien	Umweltbelastungen durch ...
Atmosphäre (Luft)	<ul style="list-style-type: none"> Mineralisch 	<ul style="list-style-type: none"> Lebensraum-Verbrauch (Ackerbau, Industrieanlagen, Verkehr, Wohnen, Freizeit)
Hydrosphäre (Wasser)	<ul style="list-style-type: none"> Pflanzlich und tierisch (z. T. nachwachsend: Fette, Öle, Stärke, Cellulose, Zucker, ...) 	<ul style="list-style-type: none"> Physikalische Belastung (Wärme, Lärm, Strahlung)
Pedosphäre (Boden)	<ul style="list-style-type: none"> Fossil (Erdöl, Erdgas, Kohle) 	<ul style="list-style-type: none"> Stoffliche Belastung der Umwelt (Luft-, Wasser-, Boden-Schadstoffe)
Lithosphäre (Erdkruste)		

Tabelle 13.7: Umweltchemikalie, Verteilung

Stoff	Luft	H ₂ O	Boden
CCl ₄	99,80	0,19	0,02
C ₆ H ₅ NO ₂	30,49	68,04	1,47
HCH	0,28	50,67	49,05

Tabelle 13.8: Anreicherung von Elementen*

Element	w1(%)	w2(%)	f
O	85,966	79,99	0,93
H	10,126	10,21	0,93
Cl	1,935	1,05	0,54
C	0,003	6,10	2000
P	< 10 ⁻⁴	0,13	20000

w1(%) Massenanteil im Meerwasser

w2(%) Massenanteil im Flusskrebs

f Anreicherungsfaktor, *bioconcentration factor*.

$$BCF = \frac{c(X) \text{ im Lebewesen}}{c(X) \text{ in Umgebung}}$$

Bioakkumulation:

Definition: Anreicherung eines Stoffes über Nahrungskette (Kontamination direkt / indirekt)

Beispiel:

Alge
 ↓
 Flohkrebs
 ↓
 Kleinfisch
 ↓
 Raubfisch
 ↓
 Mensch

Tabelle 13.9: Schadstoff-Anreicherung und BCF

Verteilung von Schadstoffen durch

- Mobilität (Dispersion)
- Löslichkeit (in Fett / Wasser)

Verteilung und p_{ow}^* , Referenz: $c(X)$ in Octanol-1 : H₂O = 1 : 10^{-2,13}
 $\Rightarrow p_{ow} = 2,13$

Stoff X	lg p_{ow}^*
Benzol	2,13
Hexachlorbenzol	6,18
Propanon	- 0,24
Ethansäure	- 0,31
Ethanol	- 0,32

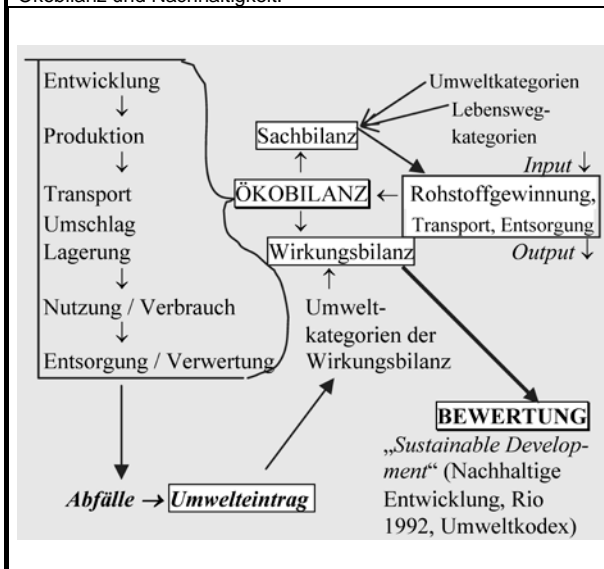
Medium der Hg-Anreicherung	mg Hg pro kg Biomasse
Meerwasser	2 • 10 ⁻⁶
Sediment	0,01
Wirbellose	7,8
Phytoplankton	8,4
Zooplankton	10,3
Fische	19
Seevögel	110
Meeres-säuger	160

* p_{ow} Verteilungskoeffizient

Fachbegriff	Definition	Anmerkungen
Persistenz, biologische Halbwertszeit $t_{1/2}$	Fähigkeit eines Schadstoffes, lange in der Umwelt verbleiben zu können; Maß: $t_{1/2}$ (in h / d / Wochen / a)	Schätzregeln für relative Persistenzen: <ul style="list-style-type: none"> • ungesättigte Verbindungen < gesättigte • aliphatische Verbindungen < aromatische • halogenierte Aromaten > alkylierte Aromaten • hochsubstituierte Aromaten > geringsubstituiert
Metabolite	Beim Schadstoffabbau durch Organismen entstehende Produkte	<ul style="list-style-type: none"> • biotisch: Abbau zu Metaboliten, • abiotisch: Hydrolyse, Oxidation, photochemisch, Mineralisation zu CO_2, H_2O, NH_4^+, NO_3^-, H_2S, PO_4^{3-}
Akkumulation	Anreicherung von Schadstoffen in bestimmten Medien	<ul style="list-style-type: none"> • Aeroakkumulation (in Luft), • Aquoakkumulation (in Wasser), • Bioakkumulation (in der Biomasse)
Kontamination	Verunreinigung und ggf. Vergiftung durch Schadstoffe (Umweltchemikalien)	<ul style="list-style-type: none"> • Schadstoffaufnahme: oral, dermal (hautresorptiv) oder inhalativ (respirativ), • Wirkung: akut (wenige Tage), subakut oder chronisch (nach 3 bis 6 Monaten)

Nachhaltigkeit, Ökobilanz und Umweltrecht

Ökobilanz und Nachhaltigkeit:



Umweltrechtsnormen-Rangfolge:

- 1) Grundgesetz (GG)
- 2) EU-Recht
- 3) Bundes- und Landesgesetze
- 4) Verordnungen (VO) und Verwaltungsvorschriften (VV)
- 5) Technische Regeln (TR), DIN-Normen, VDE-Richtlinien, Merkblätter, Prüfregeln, Technische Anleitungen (TA)
- 6) Betriebsanweisungen

Umweltrechtsvorschriften, Gesetze (G, Beispiele):

- AbfallG,
- ArzneimittelG,
- BundesimmissionsschutzG,
- ChemG,
- DDT-G,
- DüngemittelG,
- FuttermittelG,
- GefahrgutG,
- LebensmittelG,
- SprengstoffG,
- WasserhaushaltsG

Tabelle 13.11: Aspekte der Ökobilanz

Begriff	Aspekte, Erläuterung
Ökobilanz eines Produktes	Ökologische Bewertung eines Produktes (Auswirkungen der Produktion)
Sachbilanz	Umwelt- und Lebenswegkriterien
Lebensweg-Kategorien der Sachbilanz	Nutzungsdauer, Einsatzhäufigkeit, Aus- und Unfall-Häufigkeit, Recyclingquote und -aufwand, Reparaturaufwand, Umlaufzeit
Umwelt-Kategorien der Sachbilanz	Verbrauch an Material, Energie und Wasser, Flächenbelegung, Strahlungs-, Lärm-, Geruchs- und Abwärmelast
Umweltkategorien der Wirkungsbilanz	Gesundheit, Ökotoxizität, Artenschwund, Ozonabbau, Treibhauseffekt, Ökotoxifizierung, Versauerung, Ressourcenherkunft

- Verordnungen (VO, Beispiele): GefStoffV, EG-Abfallstoff-VO, FCKW-Halon-Verbots-VO, ...
- Umweltrechts-Prinzipien: Vorsorge-, Versuracher- und Kooperations-Prinzip

13.2.2 Toxizität und Ökotoxizität

Tabelle 13.12: Grenzwerte aus Toxikologie, Arbeits- und Umweltschutz

Kürzel	Bedeutung
AGW	Arbeitsplatz-Grenzwert (früher: MAK, Maximale Arbeitsplatzkonzentration)
BAT	Biologischer Arbeitsplatz-Toleranzwert
LC ₅₀	Letale Konzentration (tödl. Konzentration, zumeist: für 50% der Versuchstiere in 24 h)
LD ₅₀	Letale Dosis (tödliche Menge, zumeist: für 50% der Versuchstiere in 24 h)
MIK	Maximale Immissionskonzentration, Richtwert (ähnl.: TA Luft, VDI 2310, ...)

Tabelle 13.13: Kennzahlen zur Toxizität (Auswahl)

Gift / Gefahrstoff	LD ₅₀ (orl, rat, mg/kg)*	LC ₅₀ (ihl, rat oder mouse, 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 ₅ (ihl, rat): 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
n-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 (orl, human)	0 (selbstentzündlich)
Quecksilberoxid, gelb	LD ₅₀ : 18 (orl), 315 (skn)		Hg: 0,1 mg ≈ 0,01 mL
Salzsäure (25%)	900	1300 ppm / 30 min	5 mL ≈ 7 mg
Schwefelwasserstoff, Hydrogensulfid	LC ₅₀ 444 ppm (ihl, rat); LC ₀ (ihl, hmn): 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 (skin: 5070)	8000 ppm/4h	10 mL ≈ 65 mg
Wasser	(LD ₀ : 368 g/kg, orl, rbt)		-

* Kürzel für Giftstoffaufnahme und Versuchstier: *hmn* human, Mensch
orl oral, Mund, *ihl* Inhalation, *skn* Hautresorption,
rat Ratte, *mouse* Maus, *rbt* rabbit, Kaninchen,

Tabelle 13.14: Niedrigste wirksame Tagesdosis Contergan (Thalidomid)

Lebewesen	Mensch	Affe	Maus	Hund	Hamster
mg/kg	1	10	31	100	350

Tabelle 13.15: LD₅₀-Werte (oral, Ratte, Auswahl)

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

13.2.3 Umweltbereich Luft / Atmosphäre

Tabelle 13.16: Luftbestandteile (Volumenanteil der Spurengase in trockener Luft)

Gas	Vol.-Anteil	Spurengas	Volumenanteil	Spurengas	Volumenanteil
N ₂	78,084 Vol%	CO	30 bis 250 ppb	CF ₄	67 ppt
O ₂	20,946 Vol%	NO ₂	10 bis 100 ppb	HNO ₃	50 bis 10 ³ ppt
Ar	0,934 Vol%	O ₃	10 bis 100 ppb	CS ₂	20 bis 300 ppt
Rest insg.	0,036 %	NO	5 bis 100 ppb	CH ₃ SCH ₃	20 bis 300 ppt
Spurengas	Vol.-Anteil	SO₂**	10⁻³ bis 50 ppb	PAN**	10 bis 500 ppt
CO ₂ *	354 ppm	NH ₃	0,1 bis 1 ppb	CH ₃ SH	10 bis 400 ppt
Ne	18,18 ppm	HCHO	0,1 bis 1 ppb	HO ₂ *	4 ppt
He	5,24 ppm	CH ₃ Cl	620 ppt	CF ₃ Br	2 ppt
CH ₄	≈ 1,8 ppm	CF ₂ Cl ₂ **	500 ppt (1670 ng/m ³)	SF ₆	0,5 ppt
Kr	1,14 ppm	COS	≈ 500 ppt (1670 ng/m ³)		(1,5 ng/m ³)
N ₂ O	0,3 ppm	CFCl ₃ **	280 ppt (1300 ng/m ³)	*OH	0,04 ppt
H ₂	0,05 ppm	CH ₃ CCl ₃	130 ppt (760 ng/m ³)	H ₂ O ₂	Bis 5 ppt
Xe	87 ppb	CCl ₄	≈ 150 ppt (850 ng/m ³)	H ₂ S	Bis 0,5 ppt

* Stand 1994, relativer Anstieg bei CO₂ 0,3 bis 0,4 % jährlich (CO₂-Problem, Folge: Klimawandel), bei CH₄ 1 %, bei N₂O 0,2 bis 0,3 %, bei FCKW 5 % und bei Ozon 0,7 % (Troposphäre, stratosphärisch ist eine Abnahme von 0,3 bis 0,4 % jährlich zu beobachten, Ozonabbau durch FCKW); Angaben nach: Bliefert, Umweltchemie, VCH Wiley, 1997. **FCKW** sind ähnlich wie SF₆, COS, Perchlorethen (C₂Cl₄), DDT und der Weichmacher Di(2-ethylhexyl)-phthalat (DEHP) allgegenwärtige, anthropogene Luftschadstoffe (ubiquitär, d. h. global verteilt): Für eine globale Verteilung reichen Emissionen von je 50.000 t, also z. B. die Menge, die an Kraftstoffen jährlich beim Betanken von Fahrzeugen allein in der BRD an Kohlenwasserstoffen verdunstet.

** Reine Landluft enthält 0,001 bis 0,1 ppm, Stadtluft ca. 0,02 bis 0,2 ppm SO₂. Bei Inversionswetterlage mit Industriesmog kann der Anteil bis auf 50 ppm steigen (Kohlenwasserstoffe bis 20 ppm, Kohlenmonoxid bis 200 ppm). CF₂Cl₂ ist das FCKW-Kühlmittel R12, CFCl₃ der FCKW R11 und PAN ist Peroxyacetylnitrat CH₃CO₃NO₂, das beim atmosphärischen **VOC-Abbau** durch HO^{*}-Radikale entsteht (VOC-Abbau, von engl. *volatile organic compounds*, flüchtige organische Verbindungen ohne CH₄, auch mit **NMKW** abgekürzt, für **Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe**).

Tabelle 13.17: Luftschadstoff-Halbwertzeit und Verweilzeit in der Atmosphäre

Reaktion	Kinetik	Konstante	Halbwertzeit $t_{1/2}^*$	Verweilzeit t_{nl}^*
A → Produkte	1. Ordnung	k_1	$t_{1/2} = \ln 2 / k_1$	$t_{nl} = 1 / k_1$
A + B → Produkte	2. Ordnung	k_2	$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k_2 \cdot c(B)}$	$t_{nl} = \frac{1}{k_2 \cdot c(B)}$

* Die Verweilzeit t_{nl} ist die Lebensdauer (*natural lifetime*) eines Luftschadstoffes (ein Maß für chemische Trägheit bzw. die Abbaugeschwindigkeit des Stoffes in der Atmosphäre, Ableitung von $t_{1/2}$)

Tabelle 13.18: Verweilzeit von Gasen und Luftschadstoffen in der Atmosphäre (*natural lifetime*)

Stoff	t_{nl}^*	Stoff	t_{nl}^*	Stoff	t_{nl}^*	Stoff	t_{nl}^*
*OH	≈ 1 s	HNO ₃	≈ 10 d	C ₂ H ₆	61 d	CCl ₃ F	≈ 60 a (CCl ₄ : 50a)
HO ₂ *	≈ 1 min	C ₃ H ₈	11 d	CO	≈ 65 d	CCl ₂ F ₂	≈ 130 a (CF ₃ Br: 110a)
NO ₂	≈ 5 min	C ₂ H ₂	13 d	COS	≈ 1 a	CClF ₃	≈ 380 a (CF ₃ CClF ₂ : 400)
CH ₃ CHO	0,6 d	C ₆ H ₆	14 d	CHCl ₃	≈ 1 a	O ₂	≈ 10000 a
HCHO	0,9 d	CH ₃ OH	15 d	CH ₄	≈ 4 a	C ₂ F ₆	≈ 100000 a
C ₂ H ₄	1,9 d	CS ₂	≈ 45 d	CH ₃ CCl ₃	≈ 10 a	CF ₄	≈ 500000 a
H ₂ O ₂	≈ 5 d	SO ₂	≈ 45 d	CO ₂	≈ 15 a	N ₂	≈ 10 ⁸ a (Kr: ≈ ∞)

Tabelle 13.19: Reaktionsmöglichkeiten photoaktivierter Teilchen A* in der Atmosphäre

Vorgang	Reaktionsprodukte	Vorgang	Reaktionsprodukte
Emission	$A^* \rightarrow A + h \cdot \nu$	Stoßenergieübertragung an Stoßpartner M	$A^* \rightarrow A + M^*$
Übergang, strahlungslos	$A^* \rightarrow A + \text{Wärme}$		
Photoionisation	$A^* \rightarrow A^+ + e^-$	Chemische Reaktion: Isomerisierung, Addition, Eliminierung, Zerfall	$A^* \rightarrow$ Isomer, Addukt, Spalt- oder Zerfallsprodukt (Photolyse)
Redoxreaktion mit Reaktionspartner B	$A^* \rightarrow A^+B^-$ oder $A^* \rightarrow B^+A^-$		

Tabelle 13.20: Treibhauseffekt von Klimagasen

Klimagas, Treibhausgas	Anteil am anthropogenen Treibhauseffekt (%), Emissionsquelle(n)	Erwärmungseffekt (K)	GWP *	Relativer Anteil des Gehaltes (%/a)
CO ₂	50, Verbrennung	7,2	1	0,3 bis 0,4
CH ₄	13, Reis, Rinderhaltung, Kohleabbau	0,8	21	1,0
O ₃ , bodennah	7, Photooxidation von VOC**	2,4	2000	0,7
N ₂ O	5, tropische Brandrodung, Dünger	1,4	206	0,2 bis 0,3
H ₂ O, gasförmig	0, -	20,6	-	-
CFCl ₃ (R11)	5, FCKW-Kältemittel (vor 1995)	Zusammen 0,6	12400	5
CF ₂ Cl ₂ (R12)	12, FCKW-Kältemittel (vor 1995)	div.	15800	5
NH ₃ , CCl ₄ , SF ₆ ...	8, SO ₂ : Kohle-, Erdölverbrennung	div.	div.	div.
Summe	100	33	-	-

* Der **GWP** ist das relative Treibhaus-Potential eines Gases (im Vergleich zu CO₂ = 1), von engl. *global warming potential*, *greenhouse warming potential*, abhängig u. a. von der Verweilzeit in der Atmosphäre (*natural lifetime*, s. o.)

** von engl. *volatile organic compounds*, flüchtige organische Verbindungen ohne CH₄, auch mit **NMKW** abgekürzt, für **Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe**

Aerosol-Bildung

Aerosol: Kolloides System aus Luft und Schwebstoff, luftgetragene Teilchen mit Durchmessern von 0,01 bis 100 µm

Feste Schwebstoffe:

- Sand,
- Ruß,
- Stäube, ggf. teer- und schwermetallhaltig
- Seesalzpartikel

Flüssige Schwebstoffe:

Wasser (Nebel, Wolken)

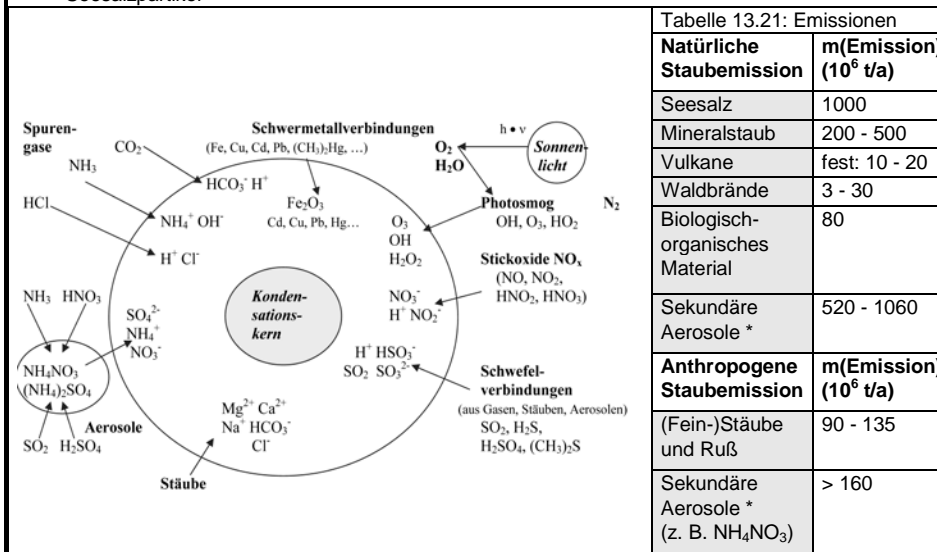


Tabelle 13.21: Emissionen

Natürliche Staubemission	m(Emission) (10 ⁶ t/a)
Seesalz	1000
Mineralstaub	200 - 500
Vulkane	fest: 10 - 20
Waldbrände	3 - 30
Biologisch-organisches Material	80
Sekundäre Aerosole *	520 - 1060
Anthropogene Staubemission	m(Emission) (10 ⁶ t/a)
(Fein-)Stäube und Ruß	90 - 135
Sekundäre Aerosole *	> 160
(z. B. NH_4NO_3)	

* **Sekundäre Aerosole** sind Feststoffe aus Gasen. Hierzu zählen natürliche Emissionen von Gasen, die zu Feststoffen in Aerosolen reagieren (in 10⁶ t/a) sind: SO_4^{2-} (100 - 200, aus H_2S und $(\text{CH}_3)_2\text{S}$), NO_3^- (75 - 400), NH_4^+ (250), Feststoffe aus organischen Dämpfen und Vulkangasen (90 - 250). Anthropogene Emissionen von Gasen, die zu Feststoffen reagieren, erzeugen zusätzlich (in 10⁶ t/a) SO_4^{2-} (100 - 200, aus SO_2), NO_3^- (30 - 40) und feste Kohlenwasserstoffe (30).

Tabelle 13.22: Mittlere Zusammensetzung kontinentaler Aerosole

Elemente (Auswahl)*	Anteil (ng/m ³)	Elemente (Auswahl)*	Anteil (ng/m ³)
C	≈ 30000	Cr, Ni, Sn	≈ 30
S, Si	≈ 10000	As, B, Cd, Mo, Sb	≈ 10
Al, Ca, Fe, H, K, Mg, N, Na	≈ 3000	Ag, Co, Hg, Li, Se	≈ 3
Cl, Pb, Zn	≈ 1000	Cs, Ga, Te, Sm, W	≈ 1
Br, Ti	≈ 300	In, U, Seltene Erden	≈ 0,3
Ba, F, Mn, P, V	≈ 100	Au, Tl	≈ 0,1

*Innenraum-Aerosole weichen stark ab, enthalten z. B. PAK (polycycl. aromat. KW), Nicotin u. a.

13.2.4 Umweltbereich Wasser / Hydrosphäre

Bedeutung und Eigenschaften des Wassers

- 70 % der Erdoberfläche, 0,1 bis 0,4% der Atmosphäre (Troposphäre)
- Rohstoff, Lebensmittel, Reinigungsmittel
- Ozeane speichern Wärme, Gewässer frieren von oben zu (Dichtanomalie des Wassers, größte Wärmekapazität aller Flüssigkeiten: 75,366 J/K•mol, größte Verdampfungsenthalpie: 2281,6 kJ/mol, große Schmelzenthalpie: 6,01 kJ/mol, geringe Gefrierpunktserniedrigung: Meereswasser mit w(Salze) = 2,463% friert bei -1,338 °C)
- Leichte Tropfenbildung (größte Oberflächenspannung aller Flüssigkeiten außer Hg)
- Medium für Säure-Base-Reaktionen, Lösungsmittel für Gase: $X(\text{Gas}) \rightleftharpoons X(\text{gelöst})$
(Nernst'scher Verteilungssatz: $\alpha = c(X) \text{ in Wasser} / c(X) \text{ in Luft}$)
 $\Rightarrow c(X) \text{ in Luft} = n(X) / V(X) = p(X) / (R \cdot T)$
 $\Rightarrow \text{Sättigungskonzentration des Gases: } c(X) \text{ in Wasser} = \alpha \cdot p(X) / (R \cdot T)$
 $\Rightarrow c(X) \text{ in Wasser} = K_H \cdot p(X)$ (K_H Konstante nach dem Henry'schen Gesetz in mol/bar•L)

Tabelle 13.23: Löslichkeitskonstanten α nach dem Nernst'schen Verteilungssatz*

Gas ↓ / ϑ (°C) →	0	20	Gas ↓ / ϑ (°C) →	0	20
N ₂	0,0235	0,0155	CO ₂	1,71	0,878
CO	0,0354	0,0235	H ₂ S	4,67	2,58
O ₂	0,0489	0,0310	SO ₂	79,8	39,4

* Reale Löslichkeit oft höher als physikalische (Grund: chemische Reaktionen der Gase mit Wasser, ähnlich: bei Schwermetallsalzen durch Komplexbildung, Amphoterie / Hydroxokomplexe)

Tabelle 13.24: Oberflächenwasser-Gehalte c(X) in mmol/L*

Komponente X	Süßwasser	Meerwasser	X	Süßwasser	Meerwasser
HCO ₃ ⁻	0,25 bis 4	2,5	Cl ⁻	0,02 bis 2	500
Ca ²⁺	0,05 bis 3	10	Na ⁺	0,02 bis 0,05	500
H ₄ SiO ₄	0,06 bis 0,6	0,8	H ⁺	(3,2 bis 320) • 10 ⁻⁶ (pH 6,5 bis 8,5)	7,9 • 10 ⁻⁶ (pH = 8,1)
Mg ²⁺	0,02 bis 1,6	50			

* Gewässerbelastung allg. durch überschüssige Gehalte an Nährstoffen, Tenside, Salzen, Schwermetallen, Pestizid- und Mineralöleresten sowie Halogen-KW. Wasserqualitäts-Erfassung über CSB- und BSB₅-Werte, s. Kap. 9.7.5, und über den biochemischen Abbaugrad $\alpha = \text{BSB}_5 / \text{CSB}$ wasserbelastender Stoffe: Je kleiner α , desto mehr nicht-abbaubare Fremdstoffe liegen vor.

Tabelle 13.25: Häufigkeit der Elemente im Seewasser in ppm

Symbol	ppm	Symbol	ppm	Symbol	ppm	Symbol	ppm	Symbol	ppm
O	880.000	Si	2,00	Ni	0,0017	Hg	0,00003	Ta	2 • 10 ⁻⁶
H	110.000	F	1,30	Ti	0,001	Pb	0,00003	Ce	1 • 10 ⁻⁶
Cl	18.800	Li	0,18	Cu	0,0005	Ga	0,00003	Dy	9 • 10 ⁻⁷
Na	10.770	Rb	0,12	Cs	0,0004	Zr	0,00003	Yb	8 • 10 ⁻⁷
Mg	1290	P	0,06	Cr	0,0003	Bi	0,00002	Er	8 • 10 ⁻⁷
S	905	I	0,06	Sb	0,00024	Sn	0,00001	Gd	7 • 10 ⁻⁷
Ca	412	Mo	0,01	Se	0,0002	Nb	0,00001	Sc	6 • 10 ⁻⁷
K	380	Zn	0,0049	Mn	0,0002	Tl	0,00001	Pr	6 • 10 ⁻⁷
N	150	As	0,0037	W	0,0001	Hf	7 • 10 ⁻⁶	Be	6 • 10 ⁻⁷
Br	67	V	0,0025	Cd	0,0001	Au	4 • 10 ⁻⁶	Lu	2 • 10 ⁻⁷
C	28	Ba	0,002	Co	0,00005	Nd	3 • 10 ⁻⁶	Tm	2 • 10 ⁻⁷
Sr	8	Al	0,002	Ge	0,00005	La	3 • 10 ⁻⁶	Ho	2 • 10 ⁻⁷
B	4,4	Fe	0,002	Ag	0,00004	Y	3 • 10 ⁻⁶	< 10 ⁻⁷ ppm s. u. *	

* Weitere: In, Tb je 1 • 10⁻⁷, Sm 5 • 10⁻⁸, Eu 1 • 10⁻⁸, je < 10⁻⁸; Ir, Te, Ru, Rh, Pd, Re, Os, Pt, Th, U; * Angaben nach D'Ans, Lax, Taschenbuch für Chemiker und Physiker, Band III, Berlin, N.Y. u.a. 1998

Tabelle 13.26: Tenside und waschaktive Substanzen (WAS)

Waschaktive Substanz (WAS)	Beispiel
Seifen*	Fettsäure-Alkalisalze, inkl. perfluorierte Tenside PFT wie z. B. Perfluorooctansäure PFOA, $C_8HF_{15}O_2$
Alkylbenzolsulfonate	perfluorierte Tenside PFT wie z. B. Perfluorooctansulfonat PFOT $C_8F_{17}O_3S^+Na^+$
Alkylpolyglykolether	-

* Technische Synthese auch aus Fetten (mit H_2O bei 180 °C) oder Alkanen (katalytische Oxidation) über Fettsäuren (R-COOH), bei PFT sind alle H-Atome an C-Atomen durch Fluor ersetzt worden.

Toxikologisches Maß:

1 TEF = 1 TCDD-*equivalent-factor*, bezogen auf das als „Seveso-Gift“ bekannt gewordene Isomer 2,3,7,8-Tetrachlordibenzol(1,4)dioxin (LD₅₀-Wert für Meerschweinchen bei 0,6 bis 20,0 µg/kg, tödl. Minimdosis für Menschen ca. 1 µg/kg, $M = 320$ g/mol).

Tabelle 13.27: Gewässer-Güteklassen

Gütekategorie*	O ₂ -Sättigung (%)	BSB ₅ (mg/L)	Saprophobien-Index	Belastung
I	100	1	> 1,0	Sehr gering
I - II	85 - 100	1 - 2	> 1,5	Gering
II	70 - 85	2 - 6	> 1,8	Mäßig
II - III	50 - 70	5 - 10	> 2,3	Kritisch
III	25 - 50	7 - 13	> 2,7	Stark verschmutzt
III - IV	10 - 25	10 - 20	> 3,2	Sehr stark verschmutzt
IV	0 - 10	> 15	> 3,5	Übermäßig verschmutzt

* Zur Gewässergüte-Beurteilung werden auch AOX- und TOC-Werte einbezogen (AOX für Aktivkohle-adsorbierende, organisch gebundene Halogene X und TOC für *total organic carbon*, umfasst auch biologisch nicht mehr abbaubare Substanzen, ähnlich dem CSB-Wert, s. Kap. 9.7.5).

13.2.5 Umweltbereich Boden / Pedosphäre

Tabelle 13.28: Grundbegriffe der Bodenkunde (Pedologie)

Begriff	Definition, Erläuterung
Pedosphäre	Boden bis max. 1 m Tiefe, bestehend im Allg. aus 5 % organischen, 45 % mineralischen Bestandteilen sowie je 20 bis 30 % Wasser und Luft
Humusstoffe, Huminstoffe	Organische Substanzen aus hochpolymeren Huminsäuren, M um 35000 g/mol, stark absorbierende Polyhydroxycarbonsäuren (im Ackerboden 1 bis 2 %, in Moorböden bis 20 %)
Erosion	Verwitterung (physikalisch durch Eis, Salze, Frost- und Salssprengung), chemisch (z. B. durch Gase) und biogen (Wurzelsprengung, Ätzwirkung von Huminstoffen u. a.) sowie durch Wind und Wasser, Maß: Erosionsrate in t/ha•a
Interferenzfaktor, IF-Wert	Athmosphärischer Wechselwirkungs-Faktor bezüglich der Metalemission, Quotient aus anthropogener Gesamtemission m (anthropogen) und natürlicher Gesamtemission m (natürlich)

Tabelle 13.29: Bodenlebewesen-Aufkommen (bis 30 cm Tiefe, pro m² Boden, Durchschnitt)

Spezies	Organismenzahl	Spezies	Organismenzahl
Bakterien	6000000000000	Echte Regenwürmer	200
Pilze*	1000000000	Fliegenlarven	200
Einzeller	500000000	Tausendfüßer	150
Fadenwürmer	10000000	Käfer	100
Algen	1000000	Schnecken, Spinnen	Je: 50
Milben	150000	Asseln, Hundertfüßer	Je: 50
Spingschwänze	100000	Wirbeltiere	0,001
Weißer Regenwürmer	25000	* inkl. Mykorrhizen (symbiontisch)	

Tabelle 13.30: Nähr- und Schadstoffe für Pflanzen und Ökosystem

Hauptnährstoffe für Pflanzen		Spurennährstoffe	Bodenschadstoffe
Elemente	H, C, O, N, P, S, K, Mg, Ca	B, Cl, Mn, Fe, Cu, Zn, Mo	As, Al, Hg, Pb, Zn, Ni, Cu
Vorliegende Form u. a.	H ₂ O, HCO ₃ ⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻ , SO ₄ ²⁻ , SO ₃ ²⁻ , K ⁺ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , Erdalkalikomplexe, Ca ₅ (OH)(PO ₄) ₃	H ₂ BO ₃ , [B(OH) ₄] ⁻ , Cl ⁻ , Mn ²⁺ , Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , Cu ²⁺ , Zn ²⁺ , MoO ₄ ²⁻ , Komplexe mit o. g. Kationen	PCB, PCT, PCN, HCB, DDT, PCP, HCH, PAK, PCDD, PCDF, CKWs, HNO ₃ /H ₂ SO ₄ , Pestizide

Atmosphäre

Lithosphäre

Schadstoffe

Verflüchtigung

Erosion und Verdriftung (Wasser, Wind)

Mikrobieller Abbau

Auflösung im Boden

Photochemischer Abbau

Chemischer Zerfall

Filterung fester Substanzen

Ausfällung und Absorption

Auswaschung (ins Grundwasser)

Sonnenlicht

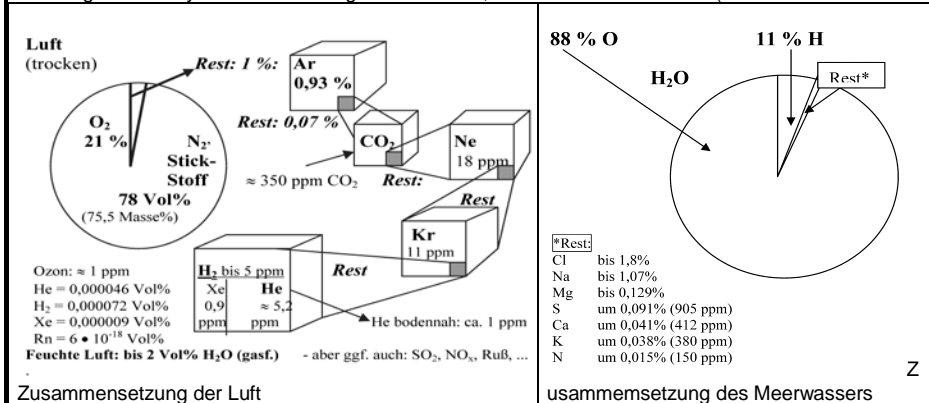
Bodenversauerung:
Zunahme an n (Säuren) durch CO₂, Huminsäuren und sauren Regen

pH	Bodenpuffer
7 - 8	CO ₃ ²⁻ ⇌ HCO ₃ ²⁻ ⇌ CO ₂
um 7	Ton T-OM ⁺ + H ⁺ ⇌ TO ⁻ H + M ⁺
um 4	[Al ₆ (OH) ₁₅] ³⁺ + 15 H ⁺ + 21 H ₂ O ⇌ 6 [Al(H ₂ O) ₆] ³⁺
um 3	FeOOH + 3 H ⁺ + 4 H ₂ O ⇌ [Fe(H ₂ O) ₆] ³⁺
	Ton T-FeOM ⁺ ⇌ T-Fe-OH + M ⁺

Tabelle 13.31: Häufigkeit der Elemente in der Lithosphäre in ppm

Symbol	ppm*	Symbol	ppm	Symbol	ppm	Symbol	ppm	Symbol	ppm
O	464.000	C	320	N	20	Cs	3,2	Bi	0,2
Si	277.200	Rb	280	La	18,3	Yb	2,7	Cd	0,18
Al	81.300	Zr	220	Pb	16	Er	2,5	Se	0,09
Fe	50.000	Cr	200	Ga	15	Br	2,5	In	0,06
Na	28.300	V	150	Th	11,5	Mo	2,3	Ag	0,02
Ca	26.300	Sr	150	B	10	Ta	2,1	Pd	0,01
K	25.900	Ni	100	Ge	7	Ho	1,2	Pt	0,005
Mg	20.900	Zn	80	Sm	6,5	Eu	1,1	Au	0,003
Ti	4.400	Cu	70	Gd	6,4	W	1,0	Te	0,002
H	1400	Li	65	Be	6	Tb	1	Re	0,001
P	1200	Ce	41,6	Pr	5,5	Lu	0,8	Ir	0,001
Mn	1.000	Sn	40	As	5	Hg	0,5	Rh	0,001
F	800	Co	40	Sc	5	Tl	0,3	Ru	< 0,001
S	520	Y	28,1	Dy	4,5	I	0,3	Os	< 0,001
Cl	480	Nd	23,9	Hf	4,5	Tm	0,2		
Ba	430	Nb	20	U	4,0	Sb	0,2		

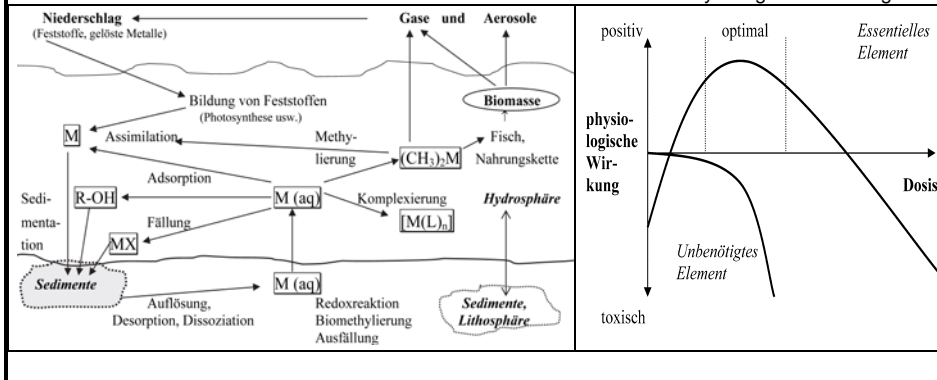
* Angaben nach D'Ans, Lax, Taschenbuch für Chemiker und Physiker, Band III, Berlin, N.Y. u.a.1998, zum Vergleich: Analytische Gehaltsangaben für Gase, Nicht- und Leichtmetalle (in Luft und Meerwasser):



Natürlicher Kreislauf essentieller und toxischer Schwermetalle

Natürlicher Metallkreislauf:

Dosis und Physiologische Wirkung:



Persistenz emittierter Schwermetalle

- Biologisch nicht abbaubar, keine Selbstreinigung der Böden von Schwermetallen
- Nicht-auswaschbare Bindung an Tone und Huminstoffe:
 - Ionogen an Tonminerale (austauschbar),
 - Adsorptiv (z. B. an Oberflächen von FeO, Fe₂O₃, FeOOH),
 - Als schwerlösliche Verbindungen (Sulfid, Carbonat, Hydroxid) und komplex,
- Anreicherung in Nahrungsketten möglich, durchschnittliche Schwermetallgehalte in Böden in NRW 1983 z. B. (in mg/kg Trockenmasse) s. Tabelle 13.32.

Tabelle 13.32: Schwermetallgehalte im Boden

Boden / Metall	Cd	Pb	Zn
Ländlich	1	40	40
Städtisch	4	300	1300
Industriell belastet	70	2000	6000

Tabelle 13.33: Metallemissionen (Auswahl)

Element	m(Em.nat.) (10 ⁶ t/a)*	m(Em.ant.) (10 ⁶ t/a)*	IF (%)	Element	m(Em.nat.) (10 ⁶ t/a)*	m(Em.ant.) (10 ⁶ t/a)*	IF (%)
Al	490000	72000	15	Cd	2,9	55	1897
Hg	400	110	27,5	Zn	358	8400	2346
Fe	278000	107000	38	Pb	58,7	20300	34583

* m(Em.nat.), m(Em.ant.) Natürliche Emission / Anthropogene Emission
 IF Atmosphärischer Interferenzfaktor $IF = m(Em.Ant.) / m(Nat.Em.)$,
 bei IF = 1 = 100 % ist $m(Em.ant.) = m(Em.nat.)$

Tabelle 13.34: Spurenelemente, Aufnahme und Bedeutung

Menschl. Körper, Zusammensetzung (m = 70 kg)				Durchschnittliche tägliche Aufnahme**		
Element	m (g)	Element	m (g)	Element	Aufnahme (mg/d)	t _{1/2}
O	45500	Al	0,1	Fe	15000	2,3 a
C	12600	Nb	0,1	Zn	14500	2,6 a
H	7000	Pb	0,08	Mn	4,4	17 d
N	2100	Sb	0,07	Cu	1,3	80 d
Ca*	1050	I	0,03	Cr	0,25	1,7 a
P	700	Cd	0,03	Co	0,4	9,5 d
S	175	Sn*	0,03	Pb	0,35 (Skelett)	2 a
K*	140	V*	0,02	Mo	0,3	5 d
Cl	105	Se	0,02	Cd	0,03 (Leber)	> 10 a
Na*	105	Mn*	0,02	Hg	0,003 (Gehirn)	1 a
Mg*	35	Ba	0,016	Bedeutung von Spurenelementen		
Fe*	4,2	As	0,014	Element	Funktion, Ort	Mangel
Zn*	2,33	B	0,01	Co	Vitamin B ₁₂	Anämie
Si	1,4	Ni	0,01	Cr	Glucosetoleranz	Diabetes
Rb	1,1	Ti	0,01	Cu	Tyrosinase	Weiße Haare
F	0,8	Cr*	0,005	Fe	Hämoglobin (Blutfarbstoff)	O ₂ -Verteilung behindert
Zr	0,3	Mo*	0,005	Mn	Pyruvat- carboxylase	Citronensäure- cyclus gestört
Sr	0,14	Co*	0,003			
Cu*	0,11	Ag	< 0,001			

* Essentielle Leicht- und Schwermetalle sind mit einem Sternchen * gekennzeichnet. Leichtmetalle liegen ionisch vor, Schwermetalle kovalent gebunden, z. B. in Form von Protein-Komplexen.

** t_{1/2} ist die **biologische Halbwertszeit** im Körper (Kap. 13.2.1), je höher sie ist, desto schädlicher kann sich das Element auswirken. Zusätzlich zur Aufnahmemenge ist z. T. der Ort im Körper angegeben, wo sich das Element dort ansammelt.

Kapitel 14: Beschichtungstechnik

14.1. Farben, Lacke, Kunst- und Beschichtungsstoffe

Tabelle 14.1. Definitionen aus der Lack- und Beschichtungstechnik

Begriff	Definition, Hinweis
Beschichtungsstoffe, Lacke, <i>Coatings</i> (Symbol: Bs)	Stoffgemische zur Beschichtung, enthalten nach DIN EN 971-1: <ul style="list-style-type: none"> • Bindemittel (z. B. Kleb- und Kunststoffe, Symbol oft: Bm), • Farbmittel (Farbstoffe oder Pigmente, Symbol oft: Pi), • Flüchtige Anteile (Symbol: fA, d. h.: Lösungsmittel, Lm), • Additive (Add., das sind Weichmacher, Entschäumer u.a.) <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; margin-top: 5px;"> $Bs = Bm + Pi + Lm + Add.$ $\text{Beschichtung (B)} = \text{Trockenfilm} = n fA = Bm + Pi + Add.$ </div>
Farbstoffe, Pigmente (Pi)	Farbgebende Komponenten, s. Kap. 14.2
Flüchtige Anteile (fA)	Lösungsmittel (Lm), s. Kap. 5.2 , 4.4 und 6.2
Bindemittel (Bm)	Klebstoff-ähnliche Komponenten, verbinden Pigment mit Untergrund, s. Kap. 14.3 bis Kap. 14.5 (Kunst- und Klebstoffe); Bindemittel in Beschichtungsstoffen sowie Klebstoffe gehören chemisch zu den Kunststoffen (Plaste, Kap. 14.5)
Kenngößen, -zahlen	Analytische Kenngößen der Lack- und Beschichtungstechnik s. Kap. 9.7 , Kap. 14.1.1

14.1.2 Farbstoffchemische Grundbegriffe und –strukturen

Tabelle 14.3: Farbstoff-Gruppen

Farbstoffgruppe
Azo-Farbstoffe
Carbonyl-Farbstoffe
Triphenylmethan-Farbstoffe
Phthalocyanin-Farbstoffe

pH-abhängige Farbstoffe (Indikatoren, Abb. zu s. o. Kap. 6):



14.1.3 Kennzahlen von Beschichtungsstoffen

Tabelle 14.4: Kennzahlen von Beschichtungsstoffen

Bs-Kenngröße*	Größengleichung, Berechnung	Symbole
Aminzahl (Am-Z),	$Am-Z = m(KOH) / m(Probe)$ bezogen auf 100 g Probe	Am-Z Aminzahl
Esterzahl (EZ)	$EZ = m(KOH) / m(Probe)$ Differenz aus Verseifungs- und Säurezahl: $EZ = VZ - SZ$	b Molalität B Beschichtung
Epoxidwert (EP), Epoxid- Äquivalentmasse $M(eq,EP)$	$EP = 1 / M(eq,EP)$ Äquivalentmasse: $M(eq,EP) = m(Probe) / n(eq,EP)$	Bs Beschichtungsstoff,
H-aktiv- Äquivalentmasse	$M(eq,H) = M(Amin) / z^*(H) \cdot w(Amin)$ / z^* = Anzahl N-H-Bindungen/Molekül, Epoxid = Bm., Diamin = Härter	Bm Bindemittel EP Epoxidwert
Hydroxyl-Massenanteil $w(OH)$, OH-Zahl	$OHZ = m(KOH) / m(Probe)$ $w(OH)$ berechnet sich aus der Hydroxylzahl OHZ als Quotient nach: $w(OH) = \frac{OHZ \cdot M(OH)}{M(KOH)}$ $= m(OH) / m(Probe)$	EZ Esterzahl IZ Iodzahl $M(eq)$ Äquivalentmasse
Hydroxylwert $b(OH)$, Hydroxyl- Äquivalentmasse $M(eq,OH)$	$M(eq,OH) = M(OH) / OHZ$ ähnlich der Molalität als Quotient: $b(OH) = n(OH) / m(Probe)$	nfA nichtflüchtige Anteile OHZ Hydroxylzahl
Iodzahl IZ	$IZ = m(I_2) / m(Probe)$ bezogen auf je 100 g Probesubstanz	Pi Pigment
Isocyanat-Massenanteil $w(NCO)$, NCO-Wert	$w(NCO) = m(NCO) / m(Probe)$ Massenanteil: $M(eq,NCO) = M(NCO) / w(NCO)$	SZ Säurezahl VZ Verseifungszahl
Massenanteil von X	$w(X, Bs) = m(X) / m(Bs)$ Analog: $w(nFfA)$	w Massenanteil
Massenanteil an $X_{gelöst}$	$w(X, Bs) = m(X-Lösung) \cdot m(X) / m(Bs)$	φ Volumenanteil
Pigment-Bindemittel-Massenverhältnis $\zeta(Pi/Bm)$	$\zeta(Pi/Bm) = \frac{m(Pi) + m(Füllstoffe)}{m(Bm)}$	ζ Massenverhältnis
Pigment-Volumenanteil*	$\varphi(Pi) = \frac{V(Pi) + V(Füllstoffe)}{V(B)}$ / B = Beschichtung, Film; * nach DIN EN 971, analog: $\varphi(nfA) = \frac{V(B)}{V(Bs)}$	
Pigmentvolumenkonzentration PVK	$PVK = \frac{V(Pi + Füllstoffe) \cdot 100\%}{V(Pi + Füllstoffe) + V(Bm)}$	
Säurezahl	$\frac{m(KOH)}{m(Probe)}$ bezogen auf 100 g Probe	
Verseifungszahl	$\frac{m(KOH)}{m(Probe)}$ bezogen auf 100 g Probe	
Volumenanteil nichtflüchtiger Anteile $\varphi(nfA)$	$\varphi(nfA) = \frac{V(B)}{V(Bs)} = \frac{V_{trocken}}{V_{nass}}$	

* Gehaltsangaben und Größengleichungen allg. s. Tab. 4.1.1 und 4.1.2 sowie 1.4.2.

14.2 Farbmittel, Farbstoffe, Pigmente

14.2.1 Einteilung der Farbmittel

Tabelle 14.5: Einteilung von Farbmitteln

Einteilungskriterium	Untergruppen, Hinweis*
Farbton	weiß, schwarz, bunt; man erkennt, wieviele Pigmente gleichen Farbtones zur Verfügung stehen, nicht jedoch Herkunft, Zusammensetzung
Verwendung	für Kalkfarben, Wasserglasfarben, Leim-, Öl-, Dispersions-, Lackfarben usw.
Zusammensetzung	farbgebender Stoff wird zugrundegelegt: Azofarbstoffe, Blei-, Chrom-, Mangan-, Quecksilber-, Aluminium-, Kadmiumfarben etc.
Herkunft	Farbmittel-Einteilung nach DIN 55944: <ul style="list-style-type: none"> - natürlich-anorganische Pigmente (Erdfarben), - künstlich-anorganische Pigmente (Mineralfarben), - natürlich-organische Pigmente (Tier- und Pflanzenfarben), - künstlich-organische Pigmente (Teerfarben)

* Gesamtzahl an Farbstoffen und Pigmenten > 7000. Bei der Einteilung nach Herkunft können alle Farbmittel systematisch und lückenlos eingeteilt und leichter überblickt werden.

14.2.2 Mineralische Farbstoffe, Pigmente

Tabelle 14.6: Pigmente

Bezeichnung, chem. Formel	Eigenschaften*							Farbton	Anwendungsbereiche, Verwendungsbeispiele*
	B m V	L m V	D v	A v	L b	W b	EF, MF, T		
Anilinschwarz	+	+	+	-	+	+	EF		Siehe Ruß und Graphit
Antimonweiß, -schwarz							MF	und weiß	Antimonschwarz: Sb ₂ S ₃ , Antimonweiß: Sb ₂ O ₃
Barytgelb, BaCrO ₄	+				+		MF T	hellgelb	Mal- und Anstrichfarben, auch Fresko-/ Silikattechnik
Berliner Blau, Fe ₇ (CN) ₁₈	-K -Z	+ W	+	+			MF	Tiefblau- glänzend	für Aquarell- und Mischfarben (Mit alk Bm braun)
Bleicyanamid Pb(CN) ₂	-	-Ö			-	-	MF T	zitronengelb	Rostschutzfarben (mit schwefelhaltigen Farben unverträglich)
Bleiglätte, Bleioxid, PbO	-	-Ö					MF T	blaß- gelb	zur Buntfarben-, Sikkative- und Firnisse-Herstellung, für schnellhärtende Bleiglätte-Glyzerin-Kitte
Bleimennige, Bleiplumbat, Pb ₃ O ₄	-	-Ö	+	+	-		MF T	orange- rot	Pigment für Korrosionsschutzfarben, auch für Glas-, Keramik-, Akkuindustrie
Bleiweiß, 2 PbCO ₃ • Pb(OH) ₂	- W G	+ Ö L	+		+	+	MF T	weiß	Korrosionsschutzanstriche (mit sHL und WG sofortige Eindickung, mit Sulfiden grau)
Bronzefarben	+	+	+	+	+		-	Rotglanz	Cu- + Al-Bronzen (CuSn, CuAl)
Chromgelb, PbCrO ₄	-K -Z		+	+			MF T	gelb	(wird in alkal. Bindemitteln, Kalk rötlich, in Wasserglas eindickend)

* Kürzel siehe Tabellenende

Bezeichnung, chem. Formel	Eigenschaften*							EF, MF, T	Farbton	Anwendungsbereiche, Verwendungsbeispiele*
	B m V	L m V	D v	A v	L b	W b				
Chromgrün, PbCrO ₄ + Fe ₇ (CN) ₁₈	-K							MF T	grün	Wie Chromgelb (aus Chromgelb und Berliner Blau / in Kalk gelb, in Wasser blau)
Chromorange, PbCrO ₄ + Pb(OH) ₂								MF T	orange	Wie Chromgelb (aus Chromgelb und Chromrot)
Chromoxid- grün, Cr ₂ O ₃	+K +Z	+						MF	olivgrün	für Anstrichzwecke zu teuer
Chromrot, PbCrO ₄ + Pb(OH) ₂	-K -Z		+	+			-	MF T	rot	wie Chromgelb
Dolomit, CaMg(CO ₃) ₂	+	+	-Ö	-	+	+		EF	rein- weiß	Verschnittmittel und Substrat für Weiß- und Buntfarben
Eisenoxid und rote Erdfarben, Fe ₂ O ₃ + Ton **	+	+K						EF	Rot- töne	In Mal- und Anstrichfarben, Eisenglimmer auch als Korrosionsschutzfarbe (mit Bleiweiß)
Gips, CaSO ₄	- W G		-	-			-	EF, alk	grauweiß bis weiß	Verputzmittel und Mörtelzusatz (Abbindezeit ¼ - 6 Stunden, mit L Schimmelbildung, saugfähig)
Glimmer, K _x Na _x Al _x (SiO ₃) _x					+			EF	hell- grau	verstärkt Anstrichfilme (ähnl. Talkum), blättrig-glänzend
Graphit, Ruße, C	+	+	+	-	+	+		EF		Hitze-, Chemikalienfeste Anstriche, Korrosionsschutzwirkung
Grüne Erde, Fe ₂ SiO ₃ + Ton	+	+						EF	oliv, grün	Künstlerfarben in Fresko-, Tempera- und Ölmalerei
Kadmiumgelb, CdS	-K -Z		+	+			-	MF	gelb	Gelbmarken wenig wetterbeständig (wird weiß: mit CO ₂ zu CdCO ₃ , mit O ₂ zu CdSO ₄), auf Zink unbeständig, ebenso außen auf K + Z
Kadmiumrot, CdS + CdSe	-K -Z		+	+			-	MF	dunkel- rot	
Kieselgur SiO ₂	+		-	-				EF	weiß- grau	Farbunterlage, Additiv gegen Absetzen in Öl-/ Lackfarben
Kobaltblau, CoO • Al ₂ O ₃	+	+						MF	tiefblau	Alle Kobaltfarben: Trocknungsbeschleuniger (Sikkativ), für Anstrichzwecke zu teuer, Verwendung ins Besondere für Keramik und Porzellanmalerei (hohe Hitzebeständigkeit), Kobaltgrün auch als: <i>Rinmanns</i> Grün, Kobaltblau: <i>Thénards</i> Blau
Coelinblau, 2 CoO • SnO ₂	+	+						MF	blau	
Kobaltgrün: CoO • ZnO + NiO • TiO ₂	+	+						MF	grün	
Kobaltviolett: Co ₃ (PO ₄) ₂	+	+						MF	violett	
Kreide, Kalk- spat, CaCO ₃	+	-Ö	+	+	+			EF	weiß- gelb	Leim-+Wasserglasfarben
Leichtspat, CaSO ₄ • 2 H ₂ O	- W G			-	+	-		EF	rein- weiß	Rostfördernd, in Öl stark trocknungsverzögernd

* Kürzel siehe Tabellenende

Bezeichnung, chem. Formel	Eigenschaften*							EF, MF, T	Farbton	Anwendungsbereiche, Verwendungsbeispiele*	
	B m V	L m V	D v	A v	L b	W b					
Lithopone und Zinksulfid- Pigmente, <i>Blanc-fixe</i> $ZnS \bullet BaSO_4$								MF	rein- weiß	Mal- und Anstrichfarbe, Deckweiß (Rotsiegel: 30% ZnS, Grünsiegel: 40%, Silbersiegel: 60 %) (<i>Elkadur</i> : T durch $BaCO_3$), mit Bleifarben u.U. Vergrauung	
Manganblau $BaMnO_4 +$ $BaSO_4$	+K +Z	+	+					+	MF	hell- blaugrün	Pigment für Mal- und Anstrich- zwecke, zumeist künstlerisch
Manganviolett (NH_4)Mn(P_2O_7)	-K							-	MF	rotviolett	(mit Kalk braun, mit Wasserglas Eindickung)
Molybdänblau		+						+	MF	blau	(Formel: H_xMoO_3)
Molybdätrot, Bleimolybdat						+	+		MF T	rot	(Formel etwa: $PbCrO_4 \bullet PbSO_4 \bullet$ $PbMoO_4$)
Neapelgelb, Bleiantimonat $Pb(SbO_3)_2$	+		+	+	+	+	+		MF T	ocker- gelb u. a.	in der Kunstmalerei und wie Bleiglätte, ggf. mit Zusätzen von ZnO , SnO_2 (hell) und Chromrot
Ocker, $Fe_2O_3 + \bullet H_2O$	+K							+	EF	Braun- töne	In Mal- und Anstrichfarben, Ölfar- bentrockner, <i>Terra di Siena</i>
Schwärzen, C	+K	+	+	-	+	+			EF	schwarz	C mit Asche, siehe Graphit, Ruß
Schwerspat, $BaSO_4$	+	+	+	W					EF	rein- weiß	Extender, Binderfarben, Substrat (Unterlage) u.a. für Teerfarben, Einbrennlacke
Silcar SiC	+	+		-	+	+			MF	grau	Pigment und Füllstoff
Talkum $Mg(OH)_2 \bullet SiO_2$	+	+		+					EF	rein- weiß	Füllstoff, Schwebemittel (gegen Pi.-Sedimentation in Öl- und Lackfarben), Mattierungs-, Polier-, Glättungsmittel
<i>Thénards</i> Blau	+	+							MF	blau	Siehe Kobaltblau
Titanweiß TiO_2	+	- +ö	+	+	+	-			MF	weiß	Für Öl-, Lack- und Dispersionsfar- ben
Ton, $Al_2O_3 \bullet$ $2SiO_2 \bullet 2 H_2O$	+		+L	+L					EF	weiß- gelb	Pigment für Leimfarben; Farbun- terlage für Teerfarben
Ultramarin- pigmente (Formel rechts)	+Z +K			+					MF	Diverse Blautöne	Pigment für Mal- und Anstrichfar- ben (Schwefelhaltige Na-, Al- Silikate, z. B. $[Na_8(Al_6Si_6O_{24})S_4]$)
Umbrä, $MnO_2 +$ Ton	+								EF	rot bis braungrün	Wie Eisenoxid- und rote Erdfarben
Zinkoxid, ZnO $\bullet 2 PbSO_4 \bullet PbO$	-							+	MF T	rein- weiß	in öligen Bindemitteln wetterbe- ständig (Zink- und Bleiseifen), durch Bleigehalt in Ölen gut trocknend, bakterizid, fungizid, vergilbend, Korrosionsschutz
Zinkweiß, ZnO	W G							Ö	MF	weiß	
Zinkphosphat $Zn_3(PO_4)_2 \bullet$ $x H_2O$ (x=2-4)	+		-	-					MF	weiß- beige	Rostschutzanstrich, unlöslich in Wasser, korrosionsschützend (Schutzschichtbildung auf Eisen)

* Kürzel siehe Tabellenende

Bezeichnung, chem. Formel	Eigenschaften*							Farbton	Anwendungsbereiche, Verwendungsbeispiele*
	B m V	L m V	D v	A v	L b	W b	EF, MF, T		
Zinkgelb (Formel rechts)							MF T	zitronengelb	Herstellung von Rostschutzfar- ben und Zinkgrün, Formel: $K_2CrO_4 \bullet ZnCrO_4 \bullet Zn(OH)_2 \bullet 2$ H_2O
Zinkgrün (Komponenten rechts)							MF T	Neon- grün	Als Pigment in Leim, Dispersio- nen, Öl und Lack (aus Zinkgelb und Berliner Blau)
Zinksulfid- Pigmente, <i>Blanc-fixe</i> $ZnS \bullet BaSO_4$		-				-	MF	rein- weiß	Mal- und Anstrichfarbe, Deck- weiß (Rotsiegel: 30% ZnS, Grünsiegel: 40%, Silbersiegel: 60 %), mit Bleifarben grau
Zinnoberrot HgS	- W G		+	+	-		MF	Leuchtend rot	Blechdruckfarben, Innenmale- reien (mit Wasserglas, Blei- und Kupfer-farben unverträglich, ungiftig)

* Verwendete Kürzel:

BmV Bindemittelverträglichkeit (+ gut, - gering bis unverträglich mit, K Kalk, Z Zement,
WG Wasserglas, HL Harzlacke, L Leime, W wässrige Bm, +K kalkecht)

LmV Lösungsmittelverträglichkeit (+ gut, uv unverträglich mit, Ö Öle und ölige Bm, W Wasser,
sHL saure Harzlacke)

Dv / Av Deckvermögen / Aufhellungs- bzw. Farbvermögen (+ hoch, - gering)

Lb / Wb Licht- / Wetter-, Verwitterungsbeständigkeit (+ hoch, - gering, z. B. ausbleichend)

EF / MF Erdfarbe / Mineralfarbe

T / alk toxisch / alkalisch (z. B. durch Spuren von gebranntem Kalk CaO)

** Alternative Bezeichnungen für Rote Eisenoxid- und Erdfarben: Eisenmennige, Englisch-, Spanisch-,
Persisch-, Oxidrot, *Terra di Pozzuoli*, Rötel, Eisenglimmer, Grüne Erdfarben auch als Veroneser Grün,
Böhmische Grüne Erde.

14.2.3 Teer- und Organische Farbstoffe

Tabelle 14.7: Herkunft natürlich-organischer Farbstoffe (Auswahl)

Farb-Art	Farbe	Herkunft
Tierfarben	Indischgelb	Urin indischer Kühe, gefüttert mit Mangoblättern
	Karminlack	Cochinille-(Schildlaus-)Farblack auf Blanc-fixe oder Tonerde
	Sepia	Tintenfisch-Tintenbeutel
Pflanzenfarben	Schüttgelb	Farblack aus Kreuzbeeren und Gelbholz auf Kreide
	Florentiner Lack	Farblack von Rotholz auf Kreide oder Leichtsaat
	Krapplack	Krappwurzel-Farblack auf Tonerde
	Indigo	Indigobaum-Blätter
	Kasseler Braun	Feinerdige Braunkohle
	Asphalt	Natürliches Erdpech
	Bister	Ruß aus Kinholz
	Gummigutt	Gummiharz

Anmerkung: Synthetische organische Farbstoffe werden als **Teerfarben** bezeichnet.

Entdeckt wurden die Teerfarbstoffe 1837 von *Runge* (aus dem seit 1681 bekannten Steinkohlenteer),
später 1870 künstlicher Krapplack, 1897 künstlicher Indigo, 1902 Indanthrenfarbstoffe usw.).

Tabelle 14.8: Teerfarbstoffe (Künstlich-organische Farbstoffe)			
Lösungs- und Bindemittel	Herstellung / Erkennung	Farbton und Schädlichkeit	Eigenschaften / Verwendung
<ul style="list-style-type: none"> als „Pigmentfarbstoffe“ zu- meist nicht was- ser- und kaum öllöslich, als lösliche Teerfarbstoffe löslich in H₂O, Spiritus und Öl oder Benzol 	Aus Steinkohlenteer/ Teerölen durch Nitrie- rung, Oxidation,, Hydrie- rung, Diazotierung, Azokupplung, Sulfonie- rung u. ähnl. Synthese- verfahren* / Beim Glühen Verkohlung unter brenzlichem Geruch	10000 ver- schiedene Farbtöne, zumeist ungiftig, aber z.T. allergi- sierend	zumeist wenig lichtbeständig Breite Verwendungs- möglichkeiten, ins Besondere in Färberei (Textilien, Leder, Papier, Holz, Lacke, Substrate) und Teerfarben- und Pigment- herstellung (auf Schwerspat)
* Chemische Strukturen und Formeln siehe Kap. 14.1.2			
Teerfarbstoffe			
Tabelle 14.9: Einteilung der Teerfarbstoffe			
Teerfarbstoff-Gruppe	Beispiele		
Anilinfarbstoffe, basisch	Fuchsin, Auramin, Methylviolett, Viktoriablau, Brillantgrün		
Anilinfarbstoffe, sauer	Säuregrün, Säureviolett, Lichtgrün, Alkaliblau		
Naphtholfarbstoffe	sauer: Naphtholgrün, Naphtholgelb / neutral: Pigmentgrün		
Alizarinfarbstoffe	Alizarinrot, Alizarinblau, Alizarin-S, Anthracenblau, Helioechtrosa		
Indanthrenfarbstoffe	Indanthrenblau, Indanthrengrün, Indanthrenrot		
Azofarbstoffe	sauer: Ponceau, Litholrubin, Orange II, Litholrot R, Lackrot C + P		
Pigmentazofarbstoffe	Helioechtrot, Tonerrot, Permanentrot R, Heliobordeaux B, Litholrubin BK, Pigmentbordeaux, Heliorot RMT, Permanentorange, -rot, -gelb, Hansagelb und -rot		
Andere aus Benzol synthe- tisierte Farbstoffe	Eosin (sauer), Rhodamin (basisch) Handelsübliche Phantasienamen ohne Anhaltspunkt auf Herkunft oder Farbe z.B.: Kalkgelb, Neurot, Geraniumlack, Zinnoberersatz, Schilderviolett, Azurblau, Lichtblau, Maigrün, Anilinschwarz, Diamantschwarz usw.		
<ul style="list-style-type: none"> Eigenschaften der Azofarbstoffe (insgesamt): sehr leuchtende Farbtöne, zumeist wenig lichtbeständig, von Wasser zumeist schwer benetzbar, z.T. wenig ölbeständig (Durchschlagen oder „Bluten“ beim Überstreichen), z.T. stark trocknungsverzögernd (bei sauren Bestandteilen aus der Verlackung, z.B. β-Naphthol, Alaun). 			

Tabelle 14.10: Spezialfarbmittel, Beiz- und Überzugsmittel

Bezeichnung	Zus., geeignete Lm/Bm*	Löslich in*			Verträglichkeit (mit ...)	Herstellung	LB*	DV*	Anwendung (Beispiele)
		W	Ö	Sp					
Blattmetalle	Au (Echt-gold), CuZn, Ag, Al				Ag uv Na ₂ S CuZn brennbar	Dünnschlagen von Metallen	+		Vergolden, Versilbern
chemische Beizen	Cr-, Cu-, Fe-Salze, Gerbstoffe	+	-		uv mit Basen und Laugen	Verdünnen der konz. Lösung		+	Holzfärbemittel, lasierend
Farbbeizen	Teerfarben	+	+	+	zumeist gut	Lö in Lm	+	+	(vielfältig)
Indikatoren	Teerfarben	+		+	Kap. 9.5.2	fabrikmäßig		-	pH-Messung
Leichtbenetzbare Pigmente	Pigmente mit Emulgatoren	+	+	+	gut	Pigment + Netzmittel			Zum Abtönen
Leuchtpigmente	Fluoreszierende Teerfarben				z. T. uv mit Säure (ZnS)	Pigment + Aktivator			Zifferblätter, Schilder u. ä.
Metalleffektpigmente	Cu, Al oder CuZnNi-Pulver	-	-	-	AL uv mit NaOH	verlackt mit Tannin			Metalleffekt-Lacke
Schwarzfarben	Schiefer, MnO ₂ , C	-	-	-	gut, MnO ₂ uv mit HCl	Verkohlte Stoffe	+	+	In Druck-, Leimfarben
Tempermessfarben	Komplexsalze, z.B. Cu ₂ I ₂ , HgI ₂ u. ä.			+	(Messreiche 65 bis 670 °C)	nur fabrikmäßig möglich			Thermchromkreiden und -colorfarben
Zinkstaub	Zn, destilliert				uv Säuren	Metallurgie		+	Rostschutz

* Verwendete Kürzel:

W	Wasser	Ö	Öl	Sp	Spiritus, Ethanol,
+	gut	-	schlecht	LB	Lichtbeständigkeit
H	Härtung	TR	Trocknung	DV	Deckvermögen
hyd	hydraulisch	Bm	Bindemittel	Lm	Lösungsmittel
verf	verfärbt	Pi	Pigmente	uv	unverträglich mit

14.3 Bindemittel und flüchtige Anteile

14.3.1 Wässrige Bindemittel

Tabelle 14.11: Wässrige Bindemittel

Bezeichnung	Zus.*	Wirkung, TR*	Herstellung	Eigenschaften	Anwendung
„Binder“, Dispersionen	div. Bm, oft mit Öl	Härtung durch Pol und TR	Bm und lackartige Bestandteile	Ähnlich Lacken	Lackartige Bestandteile: s Kap. 14.4 und Kap. 14.5
Gelöschter Kalk	Ca(OH) ₂	Aufnahme von CO ₂	Aus CaO und H ₂ O	alkalisch, ätzend, verf Pi	Freskomalerei, Grundierung
Gummi-Leime	Kohlenhydrate	Verdunstung von Wasser	Pflanzliche Harze	L in W +, mit Sp gallertartige Fällung	<i>Gummi arabicum</i> , Bm für Aquarellfarben, Tempera
Kasein-Leime	Phosphorprotein	Physikalisch (Verdunstung von Wasser)	alkalischer Aufschluss von Kasein	gerinnt mit Methanal / Formalin	Klebe- und Bindemittel

* Verwendete Kürzel: wie in Kap. 14.3.2 (siehe Tabellenende dort)

Bezeichnung	Zus.*	Wirkung, TR*	Herstellung	Eigenschaften	Anwendung
Leime (Haut-, Leder-, Knochenleime)	Glutin (lösliche Eiweiße)	räumlich geordnete Polymere, Gelbildung	Häute, Leder, Knochen auskochen	hohe Gallertfestigkeit, quellfähig in kaltem Wasser	Klebe-, Bindemittel, auch in der Möbelindustrie, Nahrungsmittel
Stärke- und Celluloseleime und -Kleister	Stärke mit Harzseifen (Dextrin: Kartoffeln)	Verdunstung von Wasser (Rissbildung in Öllacken)	Aufschluss von Stärke mit NaOH + Harzseife	uvK, Rotfärbung mit Phenolphthaleinlösung	Leim- und Aquarellfarben-Bm, Dextrin: Gummiierung v. Papier
Wasserglas	K ₂ SiO ₃ , Na ₂ SiO ₃	TR, mit Luft Verkieselung (bildet SiO ₂)	Schmelzen von Sand und Soda	wasserlöslich, uvÖ, uvK, uvS (bildet SiO ₂)	Bm für Anstrichfarben, Stein- und Bodenhardtung
Zement	CaO + SiO ₂ + Al ₂ O ₃	hyd Erhärtung (chem. Bindung von H ₂ O)	Brennen v. Ton- und Kalkmineral	stark alkalisch, ätzend	Mörtelbinde- und Anstrichmittel, Schlammputze

* Verwendete Kürzel: wie in Kap. 14.3.2 (siehe Tabellenende dort)

14.3.2 Ölige Bindemittel

Tabelle 14.12: Ölige Bindemittel

Bezeichnung	Zus.*	Wirkung, TR*	Herstellung	Eigenschaften	Anwendung
„Binder“, Dispersionen	div. Bm, oft mit Öl	Härtung durch Pol und TR	Bm und Lackartige	Ähnlich Lacken	Lackartige: s. Kap. 14.4 und Kap. 14.5
Dick-, Stand- und Gebläsene Öle	Rizinus-, Holz-, Leinöl	Pol, TR wie Leinöl, SZ 6 bis 15, IZ ≈ 110	Erh von Ölen	Viskosität und Glanz höher als Leinöl	Ölfarben-Zusatz, zur Herstellung von Lacken, Druckfarben
Leinöl (ähnlich: Sojaöl, Walnussöl, Mohnöl)	FS-Glyzerinester (Linol/-en, Stearin-, Palmitin-, Öl-S.)	TR durch Ox ungesättigter FS + Pol (Linoxyn-Film, IZ > 110)	Auspressen, Bleichen, Entsäuern von Leinsamen (Soda, NaOH)	Seifenbildung mit basischen Pigmenten (wie PbCO ₃ , ZnO, Bleimennige u. a.)	Anreiben von Ölfarben, Herstellung von Leinölfirnis und -standöl, Öl- und Alkydharzlacken
Leinöl-Firnisse	Leinöl-Standöl, „faktisiert“ mit SCl ₂	TR nach 12 bis 24 h durch O ₂ -Aufnahme aus Luft	Leinöl + Zusatz von Sikkativen, PbS, MnO ₂	Mit Na ₂ S schwarz, mit H ₂ SO ₄ violett: Kolophonium	Bindemittel für Ölfarben, Holz-Grundiermittel; DIN 55932
Wachs-Firnisse	Ölige Lm mit Wachs	TR durch Lm-Verd., Wachs-Festigung	Lö von Wachsen in Ölen	Viskosität und Glanz höher als Leinöl	Bindemittel für Wachsfarben

* Verwendete Kürzel: W, Ö Wasser, Öl Sp Spiritus, Ethanol +,- gut, schlecht
H Härting TR Trocknung LB Lichtbeständigkeit DV Deckvermögen
hyd hydraulisch Lö Lösen Lm Lösungsmittel Bm Bindemittel
Erh Erhitzen Br Brennen Ox Oxidation Pol Polymerisation
Ko Kochen, Sieden vm vermischen Verd Verdunstung Zus. Zusammensetzung
Eig Eigenschaften L Löslichkeit Nm Netzmittel verf verfarbt
Pi Pigmente K Kalk uv unverträglich mit S Säuren
FS Fettsäure(n) SZ Säurezahl IZ Iodzahl VZ Verseifungszahl

14.3.3 Flüchtige Anteile, Lösungsmittel

Zwei Funktionen flüchtiger Anteile (Lösungsmittel, Lm) in Beschichtungsstoffen / Lacken: lösen der Bindemittel, Bm und Additive, Ad sowie den Beschichtungsstoff streichbar machen. Daten über Lösungen und Lm: Kap. 5.2, Kap. 4.4 und Kap. 6.2, über die Lm-Beständigkeit von Kunststoffen, Harzen und Bindemitteln: Kap. 14.5.

14.4 Kunstharze, Lacke, Coatings

Tabelle 14.13: Beschichtungsmittel und Zusatzstoffe, Definitionen

Begriff	Definition
Harz	natürliche und synthetische organische Bindemittel in Beschichtungsstoffen, auch Rohstoffe für Seifen, Pharmaka und Terpentin (Bezeichnung im süddeutschen Raum auch als „Pech“), allgemein festigkeitsgebende und adhäsive Eigenschaften (z. B. Leime, Klebstoffe, Einsatz zur Formherstellung)
Naturharz	Natürliche, organische Polymere z. B. aus Bäumen (Naturkautschuk u. a.)
Kunstharz	synthetische, organische Polymere, <ul style="list-style-type: none"> erzeugt durch Polymerisation, Polyaddition, Polykondensation (nach DIN 55958) eingesetzt in noch nicht voll ausgehärtetem Zustand als Bindemittel (synthetische Harze in Lacken), Leime, Schaum- und Klebstoffe, Ionenaustauscher, Faser-Kunst-Verbundstoffe, härtbare Formmassen, für Polymerbeton, Zahnprothesen, Injektionspräparate, Holzfaserverwerkstoffe ...
Kunststoff	synthetische, organische Polymere, <ul style="list-style-type: none"> erzeugt durch Polymerisation, Polyaddition und Polykondensation (nach DIN 55958), Ketten- und Stufenpolymerisation, ggf. Zusatz von: <ul style="list-style-type: none"> Additiven (<i>compounds</i>, Beispiel: DEHP/DOP), Stabilisatoren (Beispiele: Phenol, Ruß), Farbmitteln (Beispiele: Mineralpigmente, Azofarbstoffe, Kap. 14.2), Füllstoffen (Beispiele: Kreide, Sand, Graphit, ...) eingesetzt in voll ausgehärtetem Zustand als Plaste (Kunststoffe s. Kap. 14.5)
Lack	<ul style="list-style-type: none"> Überzugs- und Bindemittel zugleich (Beschichtungsstoffe, Bs), aus: <ul style="list-style-type: none"> Bindemitteln (z. B. Kleb- und Kunststoffe, Symbol oft: Bm), Farbmitteln (Farbstoffe oder Pigmente, Symbol oft: Pi), Flüchtigen Anteilen (Symbol: fA, zumeist: Lösungsmittel, Lm), Additiven (Add., das sind Weichmacher, Entschäumer, Sikkative, Fluat u.a.)
Sikkative	in Terpentinöl/Testbenzin gelöste, wichtige, die Trocknung durch Autoxydation katalytisch beschleunigende Trockenmittel für ölige Bindemittel, die „Seifen“ darstellen, Verbindungen der Metalle Pb, Mn und Co (gelegentl. auch Ca, Zn und Fe) mit Fett-, Harz- und Naphthensäuren: <ul style="list-style-type: none"> Linoleate (Ölsikkative, Leinölseifen) Resinate (Harzsikkative, Harzseifen) Napthenate (Soligene, Naphthenseifen) Octoate (Oktanseifen, Salze der Oktansäure C₇H₁₅COOH) Herstellung: Lösen von Mangansulfat, Blei- oder Kobaltazetat oder Metalloxiden in heißen Ölen oder Harzen oder Verseifen von Ölen und Harzen und Ausfällung und Trocknung der Niederschläge bei Zugabe von Metallsalzlösungen
Fluate	<ul style="list-style-type: none"> farblose Neutralisations-, Isolier- und Konservierungsmittel für Putz und Stein mit Salzen der Kieselfluoräure H₂[SiF₆] (Beispiele: Aluminium-, Magnesium-, Zink- und Blei-hexafluorosilikat), Fabrikmäßige Herstellung durch Lösen der Metalloxide in o. g. Säure, ggf. Zusätze von Aluminiumsulfat, ggf. Zusätze von Bakteriziden (Beispiele: Borate, Chromate), ggf. Zusätze von Insektiziden (Beispiele: Monochlornaphthalin, PCP, Phenylquecksilberoleat, Arsenate, Alkalifluoride, Tetrafluorboratsalze, Hydrogenfluoride und Dinitrophenole)

14.4.1 Lacke von A bis Z

Tabelle 14.14: Lacke

Bezeichnung	Zusammensetzung und Wirkung	Herstellung, in Klammern: chemische Eigenschaften	Verwendung
Aerosol-lacke	Diverse Lacke mit Treibgas (FCKWs)	z. B. Dichlordifluormethan und Alkydharz- oder Nitro-celluloselack in Sprühdosen	
Alkydharz-lacke	Alkydharz-Lösungen, ofentrocknend, Zusatz von Harnstoff $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ oder Melaminharz	Alkydharz und Trockenstoff in arom. KW wie Terpentinöl, Testbenzin oder Standöl gelöst	für stoß- und schlag-feste Lackierungen (auf Möbel, Hölzer, Metallen)
Azetyl-, Benzyl-, Äthyl-Cellulose-lacke	Azetyl-, Ethyl-, Benzyl-Cellulose in Estern, Ketonen, Glykolen, Benzo-len oder Halogen-KW	Lösen der Cellulose-Abkömmlinge mit Weichmachern und Harzen in flüchtigen Lösungsmitteln	für industrielle Spe-ziallackierungen
Asphalt-lacke und Bituminöse Anstrich-mittel	Asphalt- oder Bitu-menlösung mit Ölen, Har-zen, Sikkativen, Ruß + Blauöl in Test-benzin, Aromaten oder CKWs	Asphalt, Bitumen oder Pech, Lein-/Heizöl, Bleimangansikkati-ve, Kopale, Kolophonium oder Harzester, mit 10% Berliner Blau gekochtes Leinöl + Lm	Für Eisen-lackierungen und widerstandsfähige Schwarzanstriche
Bronzelack-farben	Lackfarben mit Bronze-/ Alu-Pulver	siehe Öl- und Alkydharzlacke (mit Bronzepigment)	für Öfen, Tanks, Schiffe, Dächer etc.
Chlor-kautschuk-lacke	Chlorkautschuk und Öle, Harze und Weich-macher, Lm wie Ester, Ketone, Aromaten, CKW	Pergut (chlorbehandelte Kaut-schukmilch + Tran oder Lein-/ Holzöl + Alkyd- und Kunstharze)	für spezielle Wand-anstriche (Badezimmer, Kran-kenhäuser etc.)
Effektlacke	Lacke/Lackfarben, trocknen an mit besonderem Oberflächeneffekt (Eisblumen, Kräuseln, Risse, Spinnwebenformen, Runzeln, Metallicglanz u.a.)		
Epoxidharz-lacke	Mit Fettsäuren, Ölen oder Styrol veresterte Epoxidharze in Test-benzin oder Aromaten: <ul style="list-style-type: none"> • 2-K-Lacke: niedrig-molekulare Epoxid-harze mit Härtern wie Polyamine, Amin-addukte, Isocyanate und Polyamiden, • Einbrennlacke: Hochmolekulare Epoxidharze in Butanol, Toluol, Glykolen und Ketonen 	Veresterung von Epoxidharzen mit Fettsäuren oder Styrol durch Kochen und kalte Lösung der Epoxidharze und Zusatzharze in flüchtigen Lösemitteln (Kalthärtende härten durch Härterzusatz, Einbrennlacke bei 150-225°C, Lufttrocknende wie Öllacke in 4-8 h)	<ul style="list-style-type: none"> • Kalthärtende für wasser-, chemi-kalien- und treib-stoffbeständige Holz-, Metall-, Putz- und Betonanstriche, • Einbrennlacke für Metall-Gegenstände, • Lufttrocknende für widerstands-fähige Außen- und Innenlackierungen)
Fenster-, Heizkörper- und Polyme-risat-harz-lacke	unterschiedliche Bestandteile - je nach Verwendungszweck (Holzschutzgründe enthalten z. B. Fungizide wie PCP oder Phenylquecksilberoleat, TiO_2 und Bleimennige, Polymerisatharz-lacke enthalten PVC, Polyvinylazetate, Polyacrylate, Acrylharze oder Polyethylene, ggf. chloresulfoniert, sowie Weichmacher, Filmbildner wie Nitrozellulose und Chlorkautschuk, aromatische Lösungsmittel, CKW, Ester, Ketone)		
Harnstoff-harz-lacke	Harnstoffharzlösungen in Spiritus, mit Salzsäure härtbar	Verrühren dickflüssiger Harnstoffharze mit Spiritus	für Holz- und Metall-Lackierungen

Bezeichnung	Zusammensetzung und Wirkung	Herstellung, in Klammern: chemische Eigenschaften	Verwendung
Harz-lacke	Lösungen von Harzen in Terpentinöl oder Testbenzin, Verdunstung des Lm in 2-4 h	Schmelzen oder Lösen von Harzester, Kalkharz, Kopale u. ähnl. in Terpentinöl oder Testbenzin mit Weichmacherzu-satz	ölfreie Malerlacke, Bronzetinkturen, Gemäldelacke und -firnisse
Mehrfarben-Beschich-tungsmittel	Lackphase: Nitrozellu-lose-, -kombinations- oder Polymerisatharz-lacke und wässrige Phase und gelöstes Schutzkolloid	links genannte Lackphase mit wässriger Lösung von Celluloseleim oder Polyvinylalko-hol verrühren	Lack- und Wasser-phase ergeben beim Spritzen ver-schiedenfarbige Lacktröpfchen / für Wände + Paneele (strapazierfähig)
Nitro-cellulose-lacke	esterlösliche Kollodium-wolle mit Harz- und Weichmacherzusätzen, trocknen in 5-30 min	z.B.: Kollodiumwolle, Schellack und Rinzinusöl in flüchtig. Lö-sungsmittel gerührt (ergeben sehr dünne Filme)	Geräte- und Möbellacke
Nitrokombi-nationslacke	Nitrozellulose und Alkyd-harze in Estern oder Aromaten gelöst	Lösen von Nitrozellulose und Alkydharz (kalt, geschlossener Behälter, Rührwerk)	Fahrzeugbau, Industrie-lackierungen
Öllacke	Lösung von Harzen in Ölen, als Harze: Bernstein, Dammar, Harz-ester, Phenolharze, Alkydharze u. ähnl., als Öle: Leinöl, Holzöl, Tran, Verdünnungs-mittel (Terpentinöl, Testbenzin, Tetralin, Dekalin, Trocknen durch Verdunstung und Oxidation der Öle	Schmelzen der Harze und Verkochen mit fetten Ölen, (Zusatz von Verdünnungs-mitteln und Sikkativen) (Durch Laugen verseifbar, durch Lösungsmittel abbeizbar, mit Leimen zu Emulsionen vermischbar, löslich in Terpentin und Testbenzin, lufttrocknend, leicht verstreichbar, glänzend, gute Fülle)	Spritzbank-, Fußboden-, Boots-, Universallacke, Schleif-, Vor-, Überzugslacke
Phenolharz-lacke	Unter Zusatz von Säuren härtbare Phenolharz-Lösungen	Phenolharze lösen in Spiritus, Estern, Ketonen, arom. KW u. ähnl. (sehr hart und beständig)	als Einbrennlacke für Konserven, Eimer, Kanister u. ähnl.
Polyester-lacke	einfach ungesättigte Alkydharze (Ester un-gesättigter Dicarbon-säuren wie Malein- und Fumarsäure mit Diolen wie Ethylen- und Propylenglykol), in Styrol	ungesättigte Polyesterharze z.B. aus Malein- oder Fumarsäure und EG oder PG herstellen, danach in Styrol lösen (Stammlack), Härter: Peroxide	Klarlacke und Lack-farben zur Holzbe-schichtung
Poly-urethan-lacke, PU-Lacke	Polyester und -ether und Polyisocyanate, Trocknung durch chemische Umsetzung	Stammlack (Desmophen) und Härter (Desmodur) mischen	für besonders be-anspruchte Anstriche und La-ckierungen

Bezeichnung	Zusammensetzung und Wirkung	Herstellung, in Klammern: chemische Eigenschaften	Verwendung
Rost- und Korrosionsschutzlacke, Antifouling	Rostschutzpigmente, Binde-, Verdünnungsmittel, Trockenstoffe und Zusätze (Schiffsbodenfarben auch mit Stoffen wie HgO, CuO, Cu ₂ O und Arsenaten gegen Algenbewuchs, für Unterwasseranstriche mit Chlorkautschuk und Teerpech)	z. B.: Bleimennige und Zn, Bleicyanamid und ZnO, ZnCrO ₄ und Al in Lein-, Standöl, DD-PVC-, Asphalt- oder Epoxidharzlack und Emulgatoren wie öllösliche Fettsäure, Weinsäure oder Glycerinester (zur Verarbeitung auf taufeuchtem Untergrund)	Für Rostschutzanstriche auf Eisen und Stahl (zum Schutz gegen Wettereinwirkung oder auch gegen Industriegase, Rauchgase, Chemikalien)
Spirituslacke	Harzlösung in Ethanol oder Methanol, Verdunstung des Lösungsmittels in ½ - 1 h	Schellack, Kolophonium o. ähnl. in C ₂ H ₅ OH oder CH ₃ OH lösen, Weichmacherzusatz Balsam, Rizinusöl o. ähnl.	Überzuglacke, Lackfarben
Tallalkydhharzlacke	Tallölfettsäure- und Tallölarzsäureester mehrwertiger Alkohole (z.B. Pentaerythrit u. ähnl.), Trocknend durch Verdunstung, Oxidation und Polymerisation	Umsetzung mehrbasischer organischer Säuren aus Tallöl-Destillat mit mehrwertigen Alkoholen	Klarlacke und Lackfarben (innen und außen)
Zyklokauschuklacke	isomerisierter Kautschuk	(wie Chlorkautschuk-Lacke)	

14.4.2 Lackrohstoffe

Tabelle 14.15: Lackrohstoffe

Rohstoffgruppe	Komponenten, Beispiele
Filmbildner	Lack-Öle, Harze, Wachse, Asphalte, Cellulosederivate, Kautschukderivate (sowie Weichmacher und Zusatzmittel wie Trockenstoffe, Mattierungs-, Schweb-, Verlauf-, Anti-Haut-Mittel, Verdickungs- und Konservierungsmittel)
Lösungsmittel (alphabetisch)	Azeton, Äthylacetat, Äthylalkohol, Äthylether, Äthylglykol, Amylacetat, Benzin, Benzol, Benzylalkohol, Butylacetat, Butylalkohol, Butylglykol, Dekalin, Isopropylalkohol, Methylacetat, Methyläthylketon (MEK), Methylalkohol, Methylenchlorid, Methylglykol, Methylisobutylketon, Terpentinöl (Pinen), Tetralin, Toluol, Xylol
Kunstharze und deren Bausteine (Monomere, nach Stoffgruppen geordnet)	Polyolefine, Vinylverbindungen, Polyethylen, chloresulfoniertes PE, Xylol, Formaldehyd, Ketone, Phenole, Kresole, Xylenole, Alkylphenole, Terpenphenole, Harnstoff, Alkohole (zumeist mehrwertig), Stickstoffbasen, Carbamidsäureester, Melamin, Polyester, Phtalsäure, Adipin-, Malein- und Fumarsäure, Ester dieser Carbon- und Hydroxycarbonsäuren, Fettsäuren, Harzsäuren wie Abietinsäure (<i>Kolophonium</i>), Fettsäureglyzeride, Epichlorhydrin (mit Polyalkoholen z. B. umgesetzt zu Diphenylpropan), organische Aluminiumverbindungen, Polyamidharze, Polyamine, Polyisocyanate, Urethanalkyde, Silicone, Methyl- und Phenylpolysiloxane

14.5 Kunststoffe

Tabelle 14.16: Kunst- und Klebstoff, Definition

Begriff	Kennzeichen, Definition
Kunststoff	voll ausgehärteter, polymerer Werkstoff
Klebstoff	nicht voll ausgehärtete Natur- und Kunstharze, wirken durch Ad- und Kohäsion

14.5.1 Kunststoffe, Kürzel und Eigenschaften

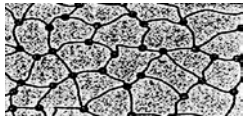
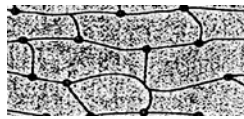
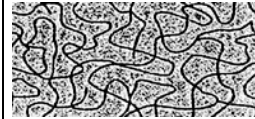
Tabelle 14.17: Kunststoffe (Plaste) und ihre Kürzel (Auswahl)

Kürzel*	Kunststoff (Name)	Kürzel*	Kunststoff (Name)
ABC	Acryl-Butadien-Acrylat-Copolymer	HDPE	Polyethylen, <i>high density PE</i>
ABR, AR	Acryl-Butadien-Kautschuk, -Gummi	HPC	Hydroxypropyl-Cellulose
ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer	IIR, PIBI	Isobuten-Isopren-, Butylgummi
		IR	Isoprenkautschuk, Neopren
AP, APK	Ethylen-Propylen-Kautschuk	KFK	Kohlefaserverstärkte Kunststoffe
AU, EU	Polyurethan-Elastomer (PUR)	LDPE	Polyethylen, <i>low density PE</i>
BBP	Benzyl-butyl-Phthalat	MBS	Methylmethacrylat-Butadien-Styrol-Copolymer
BOA	Benzyl-octyl-Adipat		
BR	Polybutadien-Kautschuk	MC	Methylcellulose
CA	Celluloseacetat	MDI	Diphenylmethan-4,4-Diisocyanat
CF	Kresol-Formaldehyd-Harze	MF	Melamin-Harz
CFK	Chemiefaserarmierte Kunststoffe	MPF	Melamin-Phenol-Formaldehyd-Harz
CFS	Casein-Formaldehyd		
CHC, CHR	Epichlorhydrin-Ethylenoxid-Kautschuk	NBR	Acryl-Butadien-Kautschuk (PBAN)
		NC	Nitrocellulose, C.-nitrat, Zelluloid
CM, CPE	Chloriertes Polyethylen	NCR	Acrylnitril-Chloropren-Kautschuk
CMC	Carboxymethyl-Cellulose	NR, NK	Natur-Kautschuk, <i>nat. rubber</i>
CP	Cellulosepropionat	PA	Polyamid (Nylon)
CS	Casein-Kunststoff, Kunsthorn	PA6	PA aus Caprolactam
CTA	Cellulosetriacetat	PA6I, PA6.6	PA aus Hexamethylendiamin und Isophthalsäure (6I) bzw. Adipinsäure (6.6)
DMP/DMT	Dimethylphthalat/ -terephthalat		
DNP	Dinonylphthalat		
DOP	Diocetylphthalat	PA12	PA aus 1,12-Dodekanlactam
DOTP	Diocetyl-Terephthalat	PAA	Polyacrylsäure
EC	Ethyl-Cellulose	PAN, PAC	Polyacrylnitril
ECTFE	Ethylen-Chlortrifluorethylen	PB, PBT	Polybuten-1
EP	Epoxidharz	PBAN	Polybuten-Acrylnitril-Kautschuk
EPM	Ethylen-Propylen-Copolymer	PC, PeCe	Polycarbonat
EPS	Expandiertes PS, PS-Schaumstoff	PE-LD	Polyethylen, <i>low density</i>
ESO	Epoxidiertes Sojaöl	PE-HD	Polyethylen, <i>high density</i>
ETFE	Ethylen-Tetrafluorethylen	PEI	Polyetherimid
EVA	Ethylen-Vinylacetat-Kautschuk	PET, PETP	Polyethylenglykol-Terephthalat
EVA	Ethylen-Vinylalkohol	PF	Phenol-Formaldehyd-Harz
FEP	Tetrafluorethylen-Perfluorpropylen	PFA	Perfluor-Alkoxylalkan
FIS	Fluorhaltiger Methylsilikon-Kautschuk	PI	Poly- <i>trans</i> -Isopren-Polyimid
		PIB	Polyisobutylene
FPM	Fluor-Propylen-Copolymer	PIBI, IIR	Butylkautschuk
GF, GV	Glasfaserverstärkte Kunststoffe	PMI	Polymethacrylimid
GUP	GF-verstärkte UP-Kunststoffe	PMMA	Polymethylmethacrylat

Kürzel*	Kunststoff (Name)	Kürzel*	Kunststoff (Name)
PMP	Polymethylpenten (TPX)	SIR	Styrol-Isopren-Kautschuk / Silikon
POM	Polyoxymethylen	SP	Gesättigter Polyester
PP	Polypropylen	TCF, TCP	Trikesylphosphat (auch: TKP, TTP)
PPO,mod.	Modifiziertes Poly-Phenylenoxid		
PS	Polystyrol	TDI	Toluylen-Diisocyanat
PTFE	Polytetrafluorethen (Teflon)	TR	Thermoplastischer Kautschuk
PU	(Hart-)Polyurethan	UE, UR	Polyurethan-Kautschuk
PUR	PU-Elastomer	UP, PY	Ungesättigter Polyesterharz
PVA	Polyvinylacetat (PVAC)	VA	Vinylacetat
PVC, PCU	Polyvinylchlorid (analog: PVF)	VC	Vinylchlorid, Chlorethen
RF	Resorcin-Formaldehyd-Harz	VCE	Vinylchlorid-Ethylen-Copolymer
SAN	Styrol-Acrylnitril-Copolymer (PSAN)	VCMA	Vinylchlorid-Methacrylat
		VF	Vulkanfaser
SBR	Styrol-Butadien-Copolymer, -Elastomer	VPE	Vernetztes Polyethylen
		VSI	SI mit Vinylgruppen
SCR	Styrol-Chloropren-Kautschuk	WM	Weichmacher (Additiv, Zusatzstoff, z. B. DOP
SI	(Methyl-)Silikon-Kautschuk		

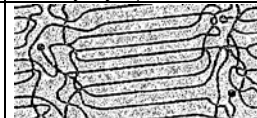
*Kürzel nach DIN 7723, 7728, ASTM 1418-67, ISO, IUPAC u.a.

Tabelle 14.18: Technische Einteilung von Kunststoffen

Einteilung	Duroplaste (D)	Elastomere (E)	Thermoplaste (T)
Eigen-schaften	hart, recht zugfest, Schmelzbereich oberhalb der Zersetzungstempera- tur	Gummielastisch, bei tiefer Temperatur spröde und hart	In Hitze verformbar, Schmelzbereich niedrig (Übergänge: spröde-hart / thermoelastisch / thermo- plastisch / zähflüssig)
Polymer- Struktur			
Struktur- merkmale (Vernetzung, Ordnung)	Makromoleküle mit vielen Vernetzungsstellen	Makromoleküle in unge- ordnetem Zustand und mit wenigen Vernetzungsstel- len	Amorph: fadenförmige Makromoleküle, ungeord- net, unvernetzt, (ggf. teilkristallin, s. u. *)
Bearbeit- barkeit	nicht verformbar nicht schweißbar klebbar zerspanbar	nicht verformbar nicht schweißbar klebbar, zerspanbar nur bei tiefen Temperaturen	warm verformbar schweißbar oft klebbar zerspanbar
Verarbeitungs- verfahren	Pressen Gießen Spritzgießen	Pressen Spritzgießen Extrudieren	Spritzblasen Spritzgießen Extrudieren
Wieder- verwertung, Recycling	Nicht möglich ggf. als Füllstoffe wiederverwertbar	Nicht möglich	Gut möglich (durch Einschmelzen oder Pyrolyse)

* Teilkristalline Thermoplaste:

- weisen kristalline Lamellen in amorphen Schichten auf
- sind daher über breite Temperaturbereiche zähhart, bevor sie thermoplastisch werden (kein thermoplastischer Bereich)



Kunststoff	tE, ρ^*	Edukte	Eigenschaften	Handelsnamen
Amino-harze (UF, MF, MP)	D, Bm	Harnstoff und Methanal u. a.	Farbl. bis gelbbraun, hart, spröde, Lm-beständig, unbeständig gegen starke Säuren und Laugen	z. B. Bakelit, Resopal u. a. (DIN 7708-2 / -3)
Epoxidharz EP	D	Epichlorhydrin + Bisphenol	Honiggelb, gießbar, zähelastisch, gut klebefähig (2-K-Kleber)	z. B. Epoxin, Araldit, ...
Naturgummi NR	E 0,93	Naturkautschuk und Schwefel	Zugfest, hochelastisch, kälteflexibel	(Naturgummi)
Polyamid PA	T $\approx 1,10$	Di- oder Amino-carbonsäure und Diamin	Milchig weiß, zäh, beständig geg. Benzin, Öl, schwache Säuren und Laugen, verspinnbar	Nylon, Perlon, Durethan, Vestamid, Rilsan
Polyacrylnitril PAN	T	Acrylnitril (Propennitril)	Verspinnbar zu wolleähnlichen Fäden	Dralon, Orlon
Polycarbonat PC	T 1,20	(Ein aromatischer Ester)	Glasklar, schlagzäh, unzerbrechlich hart, Flamme gelb, rußt	Makrolon, Lexan
Polyethylen PE	T 0,92	Eth(yl)en	Chemisch sehr beständig, unzerbrechlich, weich	Lupolen, Hostalen, Vestolen A
Phenolharz PF	D, Bm 1,40	Phenol und Methanal (ggf. geschäumt)	Farblos bis gelbbraun, hart, spröde, Lm-beständig, unbeständig gegen starke Säuren und Laugen, schwer entflammbar	Bakelit, Resopal u. a. (auch in Chemiefasern)
Polymethacrylsäuremethylester	T 1,18	Methylmethacrylat (PMMA)	Glasklar, beständig gegen schwache Säuren, Laugen, Salzlösungen, Öl, Benzin	Plexiglas, Plexidur, Lucryl, Degala
Polyester	T	(wie UP)	Hart, zäh (je nach Vernetzung)	(unterschiedlich)
Polypropylen PP	T 0,91	Prop(yl)en	Ähnlich PE-LD, heißwasserbeständig, unzerbrechlich	Luparen, Hostaren
Polytetrafluorethen PTFE	T 2,20	Tetrafluorethen	Milchig, zäh, abriebfest, um 2,2 g/cm ³ , beständig von -150 °C bis + 280 °C, unbrennbar	Teflon, Hostafon, Fluon
Poly-urethan PU	D 1,26	Diol und Diisocyanat	Honiggelb, gute Klebfähigkeit, vernetzt sehr hart, schäumbar	Lykra
Polyvinylchlorid PVC	T $\approx 1,35$	Chlorethen (Vinylchlorid)	Hart oder lederzäh-weich, verbrennt unter HCl-Bildung	Vinidur, Hostalin, Vestolit, Solvic ...
Synthetische Elastomere SBR, SR, IIR, NBR u. a.	E NBR: $\approx 1,05$	z. B. Isopren + Butadien + Ruß + WM + Schwefel	SBR: abriebfest, alterungsbeständig, niedrige Elastizität, wenig kälteflexibel, 0,94 g/cm ³ IIR: gasdurchlässig, alterungsbeständig, 0,93 g/cm ³ NBR: öl- und kraftstoffbeständig	(Autoreifengummi, auch: EPM, FPM, AU, Q, SBR, NBR, IIR, PU, SI)
Silikone, Siloxane SI	div.	(alkylierte Si-O-Bindungen)	wasserabstoßend, beständig von -90 °C bis + 180 °C	Silikonöle, -harze, -kautschuk
Ungesätt. Polyesterharze UP	D, Bm 2,00	Dicarbonsäure und Diol	Glasklar, gießbar, chemikalienbeständig, verspinnbar zu Fasern, gute Klebefähigkeit	Ultradur, Vestopal, Trevira, Diolen, Klebeharz ...

* ρ Dichte in g/cm³, tE technologische Einteilung der Kunststoffe (Plaste) in:

- Duroplaste (D) hart, hoher Schmelzbereich (hohe Vernetzung des Polymers)
- Thermoplaste (T) niedriger Schmelzbereich, in Hitze schnell erweichend
- Elastomere (E) elastischer Kunststoff (gummiähnlich)
 - Bm Hinweis: Kunststoff wird auch als Bindemittel für Beschichtungsstoffe / Lacke oder als Klebstoff eingesetzt

Tabelle 14.20: Eigenschaften von Labor-Kunststoffen (Plasten)

Kürzel	δ (g/cm ³)	Flexi- bilität	Trans- parenz	t_{Gebra} (°C)	$t_{\text{Spröde}}$ (°C)	Kürzel	δ (g/cm ³)	Flexi- bilität	Trans- parenz	t_{Gebra} (°C)	$t_{\text{Spröde}}$ (°C)
ABS	1,05	steif	keine	85	- 40	PFA	2,15	mäßig	milchig	250	- 270
ECTFE	1,70	mäßig	milchig	150	- 76	PMMA	1,18	steif	glasklar	85	- 50
ETFE	1,70	mäßig	glasklar	150	- 100	PMP	0,83	steif	glasklar	175	0
FEP	2,15	mäßig	glasklar	205	-200	POM	1,42	gut	keine	85	- 40
MF	1,4	steif	keine	80		PP	0,90	steif	milchig	135	0
NR	1,2	sg	keine	70	- 40	PPO	1,08	gut	keine	150	- 40
PA	1,13	steif	milchig	90	0	PS	1,05	steif	glasklar	70	- 20
PA6	1,13	steif	milchig	80	-30	PTFE	2,25	sg	keine	270	- 200
PC	1,20	steif	glasklar	130	- 130	PVC	1,35	steif	glasklar	80	- 20
PE-LD	0,92	sg	milchig	≈85	- 50	SAN	1,03	steif	glasklar	70	- 40
PE-HD	0,95	steif	milchig	105	- 50	SI	1,1	sg	milchig	180	- 60

* Verwendete Kürzel: ρ Dichte sg sehr gut
 t_{Gebra} maximale Gebrauchstemperatur $t_{\text{Spröde}}$ Versprödungstemperatur
 Chemikalien-Beständigkeiten siehe folgendes Kap. 14.5.2.

14.5.2 Chemikalienbeständigkeit von Kunststoffen

Tabelle 14.21: Chemikalienbeständigkeit von Kunststoffen

(Labor-)Kunststoff → / Chemikalie (IUPAC) ↓*	ETFE	PA	PC	PE	PMMA	POM	PP	PS	PTFE PFA	PVC	SAN	PMP TPX
Aliphatische KW allg.	A	A	C	C	-	-	B	D	A	-	D	C
Alkanale allgemein	A	C	C	B	-	-	B	D	A	-	D	B
Alkanole allgemein	A	C	B	A	-	-	A	A	A	-	A	A
Alkanone allgemein	A	A	D	B	-	-	B	D	A	-	D	C
Aluminiumchlorid	B	A	A	B	A	-	A	A	A	-	A	A
Ammoniak, w = 25%	A	D	D	A	C	A	A	B	A	-	B	A
Ammoniumchloridlösung	A	-	A	A	A	-	A	A	A	-	A	A
Aromatische KW allg.	A	A	D	C	-	-	C	D	A	-	D	C
Basen / Laugen allg.	A	C	D	A	-	-	A	A	A	-	A	A
Aminobenzol, Anilin	A	B-	-	B	D	-	B	D	A	D	D	A
Benzal, Benzaldehyd	-	B-	-	B	C	-	B	D	A	-	D	A
Benzine (Wasch-, Test-B.)	A	A	A	C	-	A	C	D	A	D	D	B-
Benzol, Benzen	A	B	D	D	D	B-	D	D	A	D	D	-
Blei-II-azetatlösung	A	B-	A	-	-	-	D	A	A	-	A	-
Borsäure w = 10%	A	A8	-	A	-	-	A	B	A	-	A	A
Chlorgas	A	-	-	D	-	-	D	D	A	D	D	D
Chlorbenzol	A	A2	D	C	-	-	-	D	A	-	D	-
Chlorwasser	A	D	-	C	A	-	C	C	A	B-	B-	C
Diethylether	A	-	-	B	D	-	B	D	A	-	D	B-
Dibutylphthalat DBT	A	-	B-	B-	A	B	D	A	-	-	-	A
Dichlormethan	A	B-	D	A	-	-	-	D	A	-	D	-
Dimethylbenzol, Xylol	A	-	D	B	D	A	C	B-	A	D	D	B-
1,4-Dioxan	A	A	D	A	-	-	A	-	A	-	-	A
Ester allgemein	A	A	D	B	-	-	B	D	A	-	D	B
Ethanal, Acetaldehyd	A	B	B	B-	D	-	B-	D	A	D	D	-
Ethandiol, Ethylenglykol	A	A	-	A	A	-	A	A	A	A	A	A
Ethandisäure w = 10%	A	A	B-	A	A	A	-	A	A	A	A	A
Ethanol w = 69%	A	A9	A	A	C	-	A	A	A	A	C	A

* Kürzel siehe Tabellenende (folgende Seite)

Chemikalie (IUPAC) ↑ (Labor-)Kunststoff→	ETFE	PA	PC	PE	PMMA	POM	PP	PS	PTFE PFA	PVC	SAN	PMP TPX
Ethansäure, konz.	A	D	D	A	-	B	B	B-	A	A	C	B-
Ethylazetat	B	A1	B-	B-	D	-	B-	D	A	D	D	B-
Halogen-KW allgemein	A	B	D	D	-	-	C	D	A	-	D	D
Hydroxybenzol, Phenol	A	D	D	A	D	D	A	C	A	C	D	A
Fluorkohlenwasserstoffe	A	-	-	D	-	-	C	D	A	-	C	-
Flusssäure w = 35%	A	D	D	A	C	-	A	B	A	-	B-	A
n-Hexan	A	-	B-	A	A	B-	C	A	-	A	B	-
Kaliumdichromatlösung	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	-	A
Kaliumhydroxid	A	A	-	A	A	-	A	B-	A	A	B	A
Kaliumpermanganatlösg.	A	D	A	A	A	A	A	B-	A	-	B	A
Königswasser (HCl/HNO ₃)	A	D	-	C	-	-	C	C	A	C	-	A
Kupfer-II-sulfatlösung	A	A	A	A	A	-	A	A	A	-	A	-
Magnesiumchloridlösung	A	A7	A	-	A	-	A	A	A	-	A	-
Methanal, Formaldehyd	A	A9	A	A	A	A	A	B	A	A	C	A
Methanol	A	A9	D	A	D	-	A	B	A	-	C	A
Methan-, Ameisensäure	A	D	D	A	D	D	B	C	A	A	C	B
Methylbenzol, Toluol	A	A1	D	B	D	A	C	D	A	C	-	B-
Natriumcarbonat, Soda	A	A7	-	A	A	A	A	B	A	A	B	A
Natriumdichromatlösung	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	-	A
Natriumhydroxid	-	A	D	A	B	-	A	B	A	A	B-	A
Oxidationsmittel, allg.	A	D	D	C	-	-	C	C	A	-	D	C
Pentanol-1, Amylalkohol	A	A	-	A	-	-	A	B-	A	A	C	A
Pentyl-, Amylacetat	A	B2	-	A	-	-	A	D	A	-	D	-
Phosphorsäure, konz.	A	D	A	B	D	B-	B	B	A	A	B	A
Propanon, Aceton	A	A1	D	A	-	C	B-	D	A	D	D	B-
Propantriol, Glycerol, -in	A	A1	A	A	A	A	A	A	A	-	A	A
Pyridin	A	A	D	B	D	-	B	D	A	-	D	B
Quecksilber	A	A	A	A	A	-	A	A	A	A	A	A
Quecksilberchloride	A	-	A	A	A	-	A	B-	A	-	A	A
Salpetersäure w = 50%	A	D	D	B-	C	D	C	B-	A	A	B-	A
Salzsäure, konz.	A	D	A	A	A	D	A	B-	A	-	B-	A
Säuren, schwach, allg.	A	C	A	A	-	-	A	B	A	-	B	A
Säuren, stark/konz., allg.	A	D	D	A	-	-	A	B	A	-	C	A
Schwefelsäure w = 95%	A	D	D	B	D	D	B	C	A	-	D	A
Silbernitrat	A	-	A	A	A	-	A	B	B	-	B	-
Tetrachlorethen PER	A	D	A	B	A	-	B-	B	A	-	A	C
Tetrachlormethan	A	A1	D	C	D	B	B-	D	A	D	D	B-
Tetrahydrofuran THF	A	A2	D	B	-	-	C	D	A	-	D	D
Trichloreth(yl)en	A	B-	A	D	D	B-	C	D	A	D	D	D
Trichlormethan	A	B-	D	D	D	-	D	D	A	-	D	C
Wasserstoffperoxid	A	B-	A	A	B-	C	A	-	A	A	-	-
Zinkchlorid w = 10%	A	B-	A	A	A	-	A	B-	A	-	A	A
Zinksulfat w = 10 %	A	-	A	A	-	-	A	A	A	-	A	-
Gewichtszunahme, maximal, in %	50	20	20	50	50	50	50	50	50	20	50	50

* Verwendete Kürzel:
A resistent, dauerhaft beständig B praktisch beständig (bedingt: B-)
C wenig beständig D nicht beständig
- keine gesicherten oder nur widersprüchliche Literaturangaben vorliegend
Zahlen Aufquellend, Gewichtszunahme in % (bei A und B)

Kapitel 15 Mikrobiologie

Alle Angaben in Kap. 15 sind Durchschnittswerte.

15.1 Mikroorganismen

Tabelle 15.1: Kennzeichen von Kleinlebewesen

Kennzeichen	Definition, Bedeutung	Virus*	Bakterium
Zellulärer Aufbau	Zelle als kleinste, nach außen abgrenzbare, lebensfähige Einheit (Individuum)	-	+ (Einfache Zelle)
Differenzierung	Anpassung von Zellstruktur an Zellfunktion	-	Bei einigen Arten
Stoffwechsel	Aufnahme und Abgabe von Stoffen	-	+ (div. Formen)
Wachstum	Zunahme an (Bio-)Masse und Volumen	-	+
Vermehrung, Fortpflanzung	Bildung neuer Individuen (Zellen), Vererbung von Merkmalen durch Kopien von Nukleinsäure-Strängen (Erbgut, biochem. kodiert)	Nur über Wirtszellen	+
Evolution	Artbildung durch Variation im Erbgut + Selektion	+	+
Informationsverarbeitung	Möglichkeit der Reaktion z. B. auf Umweltveränderungen, Kommunikation	-	+ (Austausch chemischer Signale)
Mobilität	Fähigkeit zu aktivem Ortswechsel	-	Bei einigen Arten

* Ein Virus ist als infektiöses biochemisches Partikel (Einheit) zu betrachten (kein Lebewesen).

Tabelle 15.2: Fachbegriffe in Bezug auf Mikroorganismen

Begriff	Definition
Chromosom	Mikroskopisch sichtbarer, aufgewickelter DNA-Strang mit Kernproteinen
Intron	Nichtkodierender DNA-Abschnitt innerhalb von Genen
Mitose	Vierphasiger Kernteilungsablauf mit Chromosomenaufteilung auf Tochterzellen
Organelle	Abgegrenzter Zellbereich mit besonderer Funktion, z. B.: Mitochondrium
Photosynthese	Biologische Erzeugung von Biomasse aus Lichtenergie mithilfe von Chlorophyll (Chlorophyllfreie Photosynthese bei Archäen möglich)
Plasmid	Kleiner, ringförmiger DNA-Strang
Zellkern	Durch Doppelmembran abgetrennter Zellraum, enthält Chromosomen
Zellwand	Feste Zellhülle aus Murein (Bakterium), Glykoprotein (Archäe) oder Chitin (Pilz)

Einteilung von Mikroorganismen

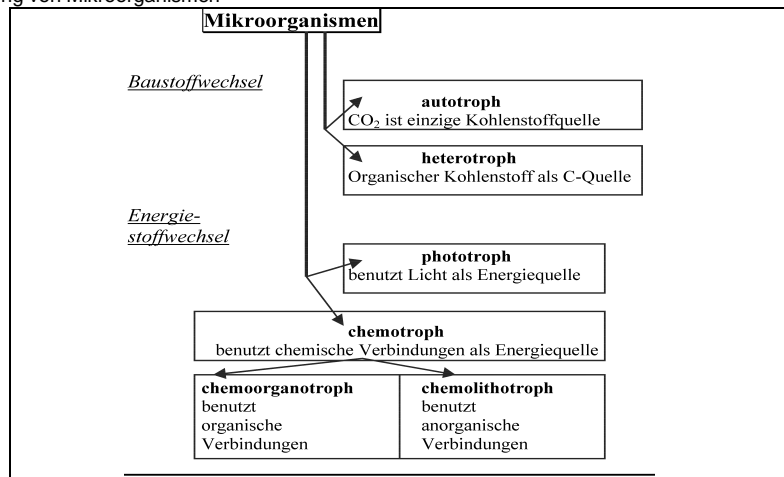


Tabelle 15.3: Mikrobiologische Extreme		
Extreme Eigenschaft, Größe	Mikrobe (Beispiel)	Wert*
Erste Organismen (extrem frühe Organismen)	<i>chemo-litho-auto-trophe Anaerobier</i>	Alter: Über 3,5 Milliarden Jahre (Fossile Reste: Stromatolithe)
Extrem altes Lebewesen (Extrem lange Lebensdauer)	(urzeitliche Bakterien-Gattung)	Alter: ca. 600 Mio. Jahre (Salzlager-Ablagerung bei Irkutsk/Russland)
Extrem arten- und zahlreiche Organismengruppe	Mikroorganismen allg.	70% der irdischen Biomasse (in Erde: Pilze, umfassen 50% der Biomasse)
Extrem bakterienreiche Körperregion	<i>Bacteroides, Eubacterium, Bifidobacterium</i>	Bevölkerungsdichte: 10^{11} Zellen/g (Dickdarm v. Mensch und Säugetier)
Extrem drucktolerantes Lebewesen (obligat barophil)	<i>Shewanella benthica</i>	Hydrostatischer Druck: 800 bar (Fundort: 11 km Meerestiefe)
Extrem gefährlicher Mikroorganismus (Häufigster Verursacher von Todesfällen beim Menschen)	Protozoen allgemein (bei Bakterien: <i>Yersinia pestis</i> und <i>Mycobacterium leprae</i>)	Todesfälle: $> 10^6/a$ (Malaria-, Ruhr- und Schlafkrankheit, Erreger sind Protozoen; aus dem Bakterien-Reich: die Erreger von Pest und Lepra)
Extrem giftiger Mikroorganismus	<i>Clostridium botulinum</i>	(Produziert das Neurotoxin Botulinustoxin)
Extrem gegen Radioaktivität widerstandsfähiges Bakterium	<i>Micrococcus radiodurans</i> (gefunden 1983), ähnlich: <i>Deinococcus radiodurans</i>	Gedeihtemperatur: 306 °C, überlebte Strahlendosis: 1,5 Mio. rad, das ist ein 10000-faches der für Menschen tödl. Dosis (Fundort: Tschernobyl)
Extrem großes Bakterium	Schwefelbakterium <i>Beggiatoa mirabilis</i>	Länge: einige mm (Fadenbildung), Breite: 16 bis $45 \cdot 10^{-6}$ m
Extrem großes Urtierchen (Protozoon)	<i>Stanophyllum Xenophyophorida</i>	Länge: bis 25 cm
Extrem großes Virus	<i>Citrus tristeza</i>	Größe: $200 \cdot 10$ nm (rutenförmig)
Extrem heller Mikroorganismus	<i>Vibrio fischeri</i>	(Im Leuchtorgan von Tiefseefischen)
Extrem kleine einzellige Pflanze	<i>Micromonas pusilla</i>	Durchmesser: Unter $2 \cdot 10^{-5}$ m
Extrem kleine Genome	Mikroorganismen allg.	Größe: Um 10 Mio. DNA-Basen
Extrem kleiner Mikroorganismus (mit eigenständigem Leben)	<i>Mycoplasma laidlawii</i>	Durchmesser: $100 \cdot 10^{-9}$ m (im Anfangsstadium)
Extrem kleines Virus**	<i>Necrosis virus</i>	Durchmesser: 17 nm (kugelförmig)
Extrem langlebiges Bakterium (extremophil)	(urzeitliche, stäbchenförmige Gattung)	Alter: ca. 1 Mio. Jahre (wiederbelebte Probe aus Antarktis-Bohrung)
Extrem leichter Mikroorganismus	<i>Bakterienstamm H.39</i>	Masse: $1,0 \cdot 10^{-16}$ g, Höchstdurchmesser: 300 Millimikron
Extrem säuretolerante Archae	<i>Picrophilus fumarii</i>	pH-Wert: -0,6
Extrem schnelles Bakterium	<i>Bdellovibrio bacteriovorus</i>	Geschwindigkeit: 2 μ m/s (100 polare Rotationen/s), ähnlich: <i>Vibrio cholerae</i> (Begeißelte Bakterie), 12 nm/min
Extrem schnelles Urtierchen	<i>Monas stigmatica</i>	Zurückgelegte Strecke: 40fache Eigenlänge pro Sekunde
Extreme Vermehrungsgeschwindigkeit (bei einem Protozoon)	<i>Glaucoma</i>	Vermehrungsrate: alle 3 h eine binäre Zellteilung (tägl. 510 Nachkommen)
Medizinisch extrem nützlich	<i>Penicillium notatum</i>	(Penicillin-produzierender Pilz)
Metallurgisch extrem nützlich	<i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	(Einsatz: mikrobielle Erz-Laugung, oxidiert Sulfide zu löslichen Sulfaten)

* Informationsquellen z. B.: Guinness-Buch der Rekorde 1988, S. 115f; unter www.wikipedia.de u.a.
** noch kleiner sind Prionen (aus ca. 250 Aminosäuren) und Viroide (ca. 360 Nucleotide)

Tabelle 15.4: Zellen von Mikroorganismen*

Domäne → Kriterium ↓	Prokaryoten		Eukaryoten:	Viren
	Bakterien	Archäen	Pilze, Algen, Protozoen	(zum Vergleich)
Organismusstruktur	Einzellig	Einzellig	Ein- oder mehrzellig	Keine Zellstruktur
Zellwand	+	+	Pilze, Algen: +, Protozoen: -	-
Zelldurchmesser	1 µm	1 µm	10 µm (Hefen)	≈ 0,1 µm **
Zellvolumen	1 µm ³	1 µm ³	1000 µm ³ (Hefen)	≈ 0,001 µm ³ **
Zellkern, Organellen, Chromosomen	-	-	+	-
Membranlipide	Esterlipide	Etherlipide	Ester- und Steroidlipide	z. T. (stammen aus Wirtszelle)
Ribosomen	70S	70S	80S	-
DNA-Basenpaare	4 • 10 ⁶	4 • 10 ⁶	2 • 10 ⁷ (Hefe)	5 • 10 ⁴ (Phage λ)
Zirkuläre DNS	+	+	-	+/-
Introns	-	+/-	+	-
Plasmide	+	+	+/-	-
Photosynthese	-/+	-	+	-
Vermehrung	Querteilung	Querteilung	Mitose	Parasitär in Wirtszelle

* Angabe von Durchschnittswerten; Definitionen der Unterscheidungskriterien / Begriffe s.o.

** Durchmesser bzw. Volumen der Virenpartikel

15.1.1 Pilze

Tabelle 15.5: Pilzgruppen, Kennzeichen und Vertreter

Gruppe	Ascomyceten, Schlauchpilze	Basidiomyceten, Ständerpilze	Endomyceten, Hefen	Oomyceten, Cellulosepilze	Zygomyceten, Jochpilze
Kennzeichen	Hyphen mit Septen, Fruchtkörper (Bei Basidiomyceten: oft hutförmig)		Einzelzellen	Hyphen ohne Septen	
Beispiele, Bedeutung für den Menschen	<i>Penicillium</i> -Arten (Pinselschimmel) <i>Claviceps purpurea</i> (Mutterkorn bei Getreide) <i>Aspergillus</i> -Arten (Gießkannenschimmel)	<i>Agaricus bisporus</i> (Champignon) <i>Boletus edulis</i> (Steinpilz) <i>Puccinia graminis</i> (Schwarzrost bei Getreide)	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (Bäckerhefe) <i>Candida albicans</i> (Soor beim Menschen, Candidose)	<i>Plasmopara viticola</i> (Falscher Mehltau beim Wein) <i>Phytophthora infestans</i> (Kraut- und Knollenfäule bei Kartoffeln)	<i>Rhizopus nigricans</i> (Brot-schimmel) <i>Mucor mucedo</i> (Köpfchen-schimmel)

Tabelle 15.7: Kriterien zur systematischen Einteilung

Einteilungskriterium	Hinweis, Beispiel
Physiologische und biochemische Eigenschaften	Stoffwechseltypen
Morphologische Eigenschaften	Formen
Gramverhalten	Je nach Zellwand, s.u.**
Ähnlichkeit der DNA-Sequenzen	Analyse der 16S rRNA

Tabelle 15.8: Systematische Einteilung am Beispiel von *Escherichia coli* K12:

Domäne	Reich	Klasse	Ordnung	Familie	Gattung	Art	Stamm
Bakterien	Proteobakterien	γ -Proteobacteria	Enterobacteriales	Enterobacteriaceae	Escherichia	<i>E. coli</i>	<i>E. coli</i> K12

Tabelle 15.9: Zellwände von grampositiven und gramnegativen Bakterien:

Gramverhalten	Äußere Membran	Murein-Sacculus	Periplasmatischer Raum	Lipoproteine und Lipopolysaccharide	Teichonsäuren
Grampositiv	-	+ (vielschichtig)	-	-	+
Gramnegativ	+	+ (dünn)	+	+	-

Tabelle 15.10: Bakterienflora des Menschen

Organ	pH	Zellzahl	Vorkommende Arten und Gruppen (Beispiele)
Haut	5-6	$10^3 - 10^6$ pro cm^2	Entero- und Streptokokken, <i>Micrococcus luteus</i> , <i>Acinetobacter</i> , <i>Staphylococcus epidermidis</i>
Mundhöhle	7	$10^8 - 10^{10}$ pro mL	Streptokokken, Staphylokokken, <i>Bacteroides</i> , Fusobakterien, Aktinomyzeten, Laktobazillen, <i>Mycoplasma</i>
Magen	2	10^4 / mL	<i>Helicobacter</i> , <i>Enterococcus</i> , <i>Laktobacillus</i>
Darm	5-8	10^{11} / mL	Laktobazillen, Clostridien, Entero-, Staphylokokken, <i>E. coli</i>
Vagina	4	$10^5 - 10^8$ pro mL	Laktobazillen (Döderlein-Stäbchen), Staphylokokken, Clostridien, <i>Bacteroides</i> , <i>Corynebacterium</i>

Tabelle 15.11: Chemische Zusammensetzung von Bakterienzellen (Durchschnittswerte)

Zellbestandteil	Bedeutung	w* (in %)	Beispiele
Wasser	Lösungsmittel	80 % des FG*	-
Zellwandsubstanzen	Mechanischer Schutz	15 % des TG*	Peptidoglykan (Murein)
Lipide	Membranen	5 % des TG*	Phospholipide
Proteine	Enzyme, Membran-proteine, Strukturproteine	50 % des TG*	DNA-Polymerase, RNA-Polymerase
Nukleinsäuren	Informationsspeicher	3 % des TG*	DNA (Genmaterial)
	Proteinsynthese	15 % des TG*	mRNA, tRNA,, rRNA
Speicherstoffe	Reservestoffe	variabel	Glykogen
Kleine organische Verbindungen	Bausteine/Vorstufen im Stoffwechsel	5 % des TG*	Nukleotide, Aminosäuren, Mono-, Disaccharide
Anorganische Ionen	Cofaktoren, Stabilisierung	2 % des TG*	K-, Na-, Mg-, Ca-Ionen

* Kürzel: w Massenanteil, FG Feuchtgewicht, TG Trockengewicht

Tabelle 15.12: Bakterielle Krankheitserreger beim Menschen

Krankheit	Bakterieller Erreger	Gruppen-Zugehörigkeit	GT *	Form*	Vorkommen	Eigenschaften
Botulismus	<i>Clostridium botulinum</i>	Endosporenbildner	+	Stäbchen	Erdboden, Wasser	Bildet starkes Nervengift
Cholera	<i>Vibrio cholerae</i>	Protobakterien	-	Komma	Wasser	Bildet das Cholera-Toxin
Durchfall-erkrankungen	<i>Escherichia coli</i>	Enterobacteriaceen	-	Stäbchen	Darm (Tier u. Mensch)	Einige Stämme pathogen
Eileiterentzündungen	<i>Chlamydia trachomatis</i>	(eigene Gruppe)	-	Kugelig	innerhalb Wirtszellen	Sehr geringe Größe
Eitrige Entzündungen	<i>Staphylococcus aureus</i>	Bacilli	+	Kokken	Menschliche Schleimhäute	z. T. antibiotikaresistent
Karies	<i>Streptococcus mutans</i>	Milchsäurebakterien	+	Kokken	Mund und Zähne	Bildet Biofilme z. B. Zahnbelag
Lebensmittelinfektionen	<i>Campylobacter jejuni</i>	Proteobakterien		Spirillen	Darmtrakt von Tieren	Kein Wachstum bei $\vartheta < 30\text{ }^{\circ}\text{C}$
	<i>Yersinia enterocolitica</i>	Enterobacteriaceen	-	Stäbchen		Wächst bis $\vartheta = -1\text{ }^{\circ}\text{C}$
Lebensmittelvergiftung	<i>Bacillus cereus</i>	Endosporenbildner	+	Stäbchen	Weit verbreitet	Wachstum bei $\vartheta = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$
Legionärskrankheit	<i>Legionella pneumophila</i>	Proteobakterien	-	Stäbchen	Wasserleitungen	Überlebt bis $\vartheta = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$
Lepra (Ausatz)	<i>Mycobacterium leprae</i>	Aktinomyceten	+	Unr.	Makrophagen, Nerven	Anzucht im Labor unmögl.
Lungenentzündung	<i>Streptococcus pneumoniae</i>	Milchsäurebakterien	+	Kokken	Schleimhaut	Von Kapsel umgeben
Pest	<i>Yersinia pestis</i>	Enterobacteriaceen	-	Stäbchen	Nager, z. B. Ratte	Übertragung durch Flöhe
Salmonellosen, Typhus	<i>Salmonella enteritidis</i>	Enterobacteriaceen	-	Stäbchen	Darmtrakt	2000 verschiedene Serovare
Tuberkulose (TBC)	<i>Mycobacter. tuberculosis</i>	Aktinomyceten	+	Unr.	Makrophagen der Lunge	Spezielle, dicke Zellwand
Wundstarrkrampf	<i>Clostridium tetani</i>	Endosporenbildner	+	Stäbchen	Erdboden	Bildet Nervengift

* GT Gramtest Unr. Unregelmäßig

15.2 Viren

Tabelle 15.13: Kriterien zur systematischen Einteilung

Einteilungskriterium	Beispiele
Wirtsgruppe	Mensch, Tiere, Pflanzen, Bakterien
Kapsid-Symmetrie (Proteinmantel)	kubisch (Ikosaeder) oder helikal
Nukleinsäure-Typ	RNA oder DNA; einzel- oder doppelsträngig
Lipidhaltige Hülle	vorhanden (umhüllte Viren) oder nicht
Durchmesser des Viruspartikels	Meistens 20 – 300 nm
Serologische und biochemische Eigenschaften	-

Tabelle 15.14: RNA-Viren: Krankheitserreger des Menschen

Virentyp	Gruppe	Größe in nm	Vertreter (Beispiel)	Hervorgerufene Krankheiten
Kubische RNA-Viren (nicht umhüllt)	Picornaviren	24-25	Coxsackievirus	Meningitis
			Hepatitis A-Virus	Hepatitis A
			Poliovirus	Kinderlähmung
			Rhinovirus	Erkältung
	Calciviren	33	Norovirus	Durchfallerkrankung
	Reoviren	60-80	Rotavirus	
Kubische RNA-Viren (umhüllt)	Togaviren	40-70	Rötelnvirus	Röteln
	Flaviviren	40	Gelbfiebervirus	Gelbfieber
Helikale RNA-Viren (umhüllt)	Coronaviren	80-130	Coronavirus	Erkältung
		80-220	SARS-Virus	Schweres Akutes Atemwegssyndrom (SARS)
	Paramyxoviren	100-120	Masernvirus	Masern
			Mumpsvirus	Mumps
	Filoviren	80	Ebolavirus	Ebola-Fieber
	Orthomyxoviren	80-120	Influenzavirus	Grippeviren
	Rhabdoviren	80-180	Tollwutvirus	Tollwut
Komplexe RNA-Viren (umhüllt)	Arenaviren	110	Lassavirus	Lassa-Fieber
	Retroviren	100	HI-Virus	AIDS

Tabelle 15.15: DNA-Viren: Krankheitserreger des Menschen

Virentyp	Gruppe	Größe in nm	Vertreter (Beispiel)	Hervorgerufene Krankheiten
Kubische DNA-Viren (nicht umhüllt)	Adenoviren	80	Adenovirus	Atemwegsinfektionen
	Papovaviren	50	Papillomavirus	Gebärmutterhalskrebs
	Parvoviren	19-25	Erythrovirus	Ringelröten, vermutlich auch Gelenkerkrankungen
Kubische DNA-Viren (umhüllt)	Hepadnaviren	42	Hepatitis B-Virus	Hepatitis B
	Herpes-Viren	120	Cytomegalie-Virus	Cytomegalie
			Epstein-Barr-Virus	Pfeiffer'sches Drüsenfieber
			Herpes-simplex-Virus	Lippen- und genitaler Herpes
		Varizellen-Zoster-Virus	Windpocken, Gürtelrose	
Komplexe DNA-Viren (umhüllt)	Poxviren	230-300	Variolavirus	Pocken
			Vacciniavirus	Kuhpocken

Tabelle 15.16: Vermehrungsarten von Viren

Vermehrungsmodus	Kennzeichen	Virenform	Beispiel	
			Virus	Wirtszelle
Lytischer Zyklus	Produktion von neuen Virenpartikeln, Lyse der Wirtszelle zur Virenfreisetzung	Virulente Viren	T4	Bakterium <i>Escherichia coli</i>
Lysogener Zyklus (Provirus)	Integration der Viren-DNA in das Wirtschromosom, Vermehrung der Viren-Gene bei Zellteilungen des Wirtes, Auslösung des lytischen Zyklus z. B. bei DNA-Schädigung	Temperente Viren	λ	

Tabelle 15.17: Lytischer Zyklus (Stadien der Virusinfektion und -vermehrung)

Nr.	Stadium	Ablauf, Definition
1	Adsorption	Anheftung an Proteine der Zellmembran
2	Penetration	Eindringen des Virus in das Zytoplasma der Wirtszelle (bei Bakteriophagen nur der Nukleinsäure)
3	Uncoating	Freisetzen der Viren-Nukleinsäure (Enthüllung)
4	mRNA-Synthese	Virus-Nukleinsäure kodierte Synthese von mRNA und Proteinen: Produktion von Kapsidproteinen und Enzymen zur Virenreplikation (Replicase)
5	Virale Replikation	Bildung von Kopien der viralen Erbanlagen durch virale (bei manchen Viren zelluläre) Enzyme (Replikase)
6	Maturation	Reifung der Viren: Zusammenbau von Nukleinsäuren und Kapsidproteinen
7	Liberation	Freisetzung der neuen Viruspartikel: Anlagerung an die Zellmembran (ggf. Umhüllung bei Viren mit Hülle) und Ablösung von der Zelle

Wachstum im Chemostaten

Verfahrensmerkmal*:

- kontinuierliche Kultur (offenes System)
- kontinuierliche Zuführung von frischem Nährmedium
- kontinuierliche Entnahme von Kulturflüssigkeit mit gleicher Rate wie Zulauf
- keine Milieuänderung
- konstante Biomasse
- konstante Substrat- und Produktkonzentrationen

* Gegenstück statische Kultur: geschlossenes System, keine Zuführung von Nährstoffen während des Wachstums, Milieuänderung bei zunehmender Zelldichte, Abnahme der Substratkonzentration, Anhäufung der Stoffwechselprodukte

15.4.3 Wachstumsansprüche von Mikroorganismen

Tabelle 15.21: Elementare Nährstoffbedürfnisse

Element*	Symbol	Funktion in der Zelle	Nährstoff, z. B.
Kohlenstoff	C	Bestandteil aller organischen Moleküle	C ₆ H ₁₂ O ₆
Wasserstoff	H	Bestandteil aller organischen Moleküle	H ₂ O
Sauerstoff	O	Bestandteil von organischen Molekülen; e ⁻ -Akzeptor	H ₂ O, O ₂
Stickstoff	N	Bestandteil von Proteinen, DNA, RNA und Coenzymen	NH ₄ Cl, NH ₄ NO ₃
Schwefel	S	Bestandteil von Proteinen und Coenzymen	FeSO ₄ • 7 H ₂ O
Phosphor	P	Bestandteil der DNA, RNA und der Nucleotide	K ₂ HPO ₄
Natrium	Na	Essentiell für einige Enzyme	NaCl, Na ₂ SO ₄
Kalium	K	Regulation des osmotischen Druckes	K ₂ HPO ₄ , KCl
Magnesium	Mg	Stabilisierung von Ribosomen, Zellmembranen, Enzymen	MgSO ₄ • 7 H ₂ O
Calcium	Ca	Stabilisierung der Zellwand	CaCl ₂ • 2 H ₂ O
Eisen	Fe	Bestandteil der Cytochrome, Fe-S-Proteine; Cofaktor	FeSO ₄ • 7 H ₂ O
Spurenelemente	Mn, Co, Cu, Ni, Mo, Se, Zn, V	meist Cofaktor von Enzymen	MnCl ₂ , CoCl ₂ , CuCl ₂ , NiCl ₂ , NaMoO ₄ , ZnCl ₂ , NaVO ₃

Tabelle 15.22: Sauerstoffbedarf

Typ	Sauerstoff-Toleranz bzw. Bedarf	Beispiele
anaerob	Bakterien benötigen zur Energiegewinnung und zum Wachstum keinen Sauerstoff (z. B. bei Gärungen); strikt Anaerob: werden durch O ₂ getötet	Clostridien, Sulfatreduzierer, Methanogene
mikroaerophil	Keime brauchen O ₂ zur Atmung, tolerieren aber nur geringe O ₂ -Konzentration.	<i>Spirillum</i> (schraubig gewundenes Bakterium)
aerotolerant	Mikroorganismen benötigen O ₂ nicht, können aber in O ₂ -Anwesenheit wachsen	Milchsäurebakterien wie <i>Lactobacillus</i>
fakultativ anaerob	Bakterien können in An- und Abwesenheit von O ₂ existieren und ihren Stoffwechsel von aerob auf anaerob umstellen	Vertreter der Gruppe der Enterobacteriaceen, z. B. <i>E. coli</i> und <i>Salmonella</i>
aerob (strikt oder obligat aerobe)	Bakterien sind aufgrund ihres Atmungsstoffwechsels auf O ₂ dringend angewiesen, ohne O ₂ keine ausreichende Energiegewinnung	viele <i>Pseudomonas</i> - und <i>Bacillus</i> -Arten

Tabelle 15.23: Wachstumstemperaturbereich

Bereich (°C)	Typ	Deutschsprachige Bedeutung	Vertreter, Beispiel	Lebensraum, Vorkommen
0 - 15	psychrophil	Kälte liebende Mikroben	<i>Vibrio</i> , <i>Gallionella</i>	Meerwasser
0 - 40	psychrotolerant	Kälte tolerierende Mikroben	<i>Listeria monocytogenes</i>	Erdboden, gekühlte Lebensmittel
15 - 45	mesophil	Mittlere Temperaturen liebende Keime	<i>Escherichia coli</i>	Mensch, Tiere, tropische Gewässer
45 - 80	thermophil	Hohe Temperaturen liebende Keime	<i>Bacillus stearothermophilus</i>	Heiße Quellen
80 - 120	hyperthermophil	Sehr hohe Temperaturen liebende Keime	<i>Pyrodictium</i>	„black smokers“ in der Tiefsee

Tabelle 15.24: Säuretoleranz und Wasseraktivität (a_w -Wert)

Mikrobengruppe	Organismus z. B.:	pH-Wert-Minimum	Säuretoleranz	a_w -Wert-Minimum
Bakterien, gramnegativ	<i>Pseudomonas</i>	5,6	gering	0,97
	<i>Escherichia coli</i>	4,4	mittel	0,96
	<i>Shigella</i>	-	-	0,96
	<i>Salmonella</i>	4,0 - 4,5	mittel	0,95
	<i>Acetobakter</i>	2,6	hoch	-
Bakterien, grampositiv	<i>Clostridium botulinum</i>	4,5	mittel	0,95
	<i>Lactobacillus</i>	-	-	0,94
	<i>Listeria monocytogenes</i>	4,5	mittel	0,93
	<i>Bacillus subtilis / cereus</i>	4,3 - 4,9	mittel	0,90
	<i>Staphylococcus aureus</i>	4,0	mittel	0,86
	<i>Lactobacillus</i>	3,8	hoch	-
Schimmelpilze	<i>Rhizopus nigricans</i>	-	-	0,93
	<i>Aspergillus flavus/oryzae</i>	1,6	hoch	0,78
	<i>Penicillium chrysogenum/ Penicillium variable</i>	-	-	0,79
	<i>Penicillium variable</i>	1,6	hoch	-
Hefen	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	2,3	hoch	0,90
	<i>Saccharomyces rouxii</i>	-	-	0,62
	<i>Candida krusei</i>	1,5	hoch	-

Tabelle 15.25: Anpassung von Mikroorganismen an den pH-Wert

Wachstumsgrenze	Typ	Standortbeispiele	Wachstumsbereich	Vertreter, Beispiel
pH 1	extremacidophil	Saure Quellen	Nur bei sehr niedrigem pH-Wert	<i>Sulfolobus</i>
pH 2-4	säuretolerant	Lebensmittel	Bei neutralem und leicht saurem pH lebende Keime	Viele Pilze
pH 3-4	acidophil	Verrottende Pflanzen	Nur bei niedrigem pH-Wert	Milchsäurebakterien
pH 5-8	„neutrophil“*	Körper, Lebensmittel	Bei neutralem und leicht saurem pH	(Großteil der Mikroben)
pH 11	alkaliphil	Natronseen	Nur bei hohem pH-Wert	<i>Bacillus alcalophilus</i>

* (Begriff weniger gebräuchlich)

15.5 Mikrobiologische Arbeitstechniken

15.5.1 Sicherheitsvorkehrungen

Sicherheitsbestimmungen speziell für mikrobiologische Arbeiten

- Vor Beginn der Arbeiten und bei Tätigkeitsende Hände waschen und mit Händedesinfektionsmittel behandeln
- Arbeitsflächen frei und sauber halten, vor und nach Beendigung der Tätigkeiten mit Desinfektionsmittel abwischen
- Während des Arbeitens Fenster und Türen geschlossen halten
- Nahrungsmittel nicht im Labor bzw. in deren Kühlschränken lagern, Kosmetika nicht im Labor benutzen oder aufbewahren
- Bioaerosolbildung vermeiden. Bioaerosole können bei Labortätigkeiten wie Arbeiten mit der Impföse, Pipettieren und Schütteln von offenen Kulturen entstehen.
- Ausgewertete Kulturen vor ihrer Entsorgung autoklavieren, benutzte Pipetten, Objektträger usw. desinfizieren

Tabelle 15.26: Sterilisationsverfahren

Verfahren	Kennzeichen, Nachteil	Geeignete Objekte z. B.
Feuchte Hitze (Autoklavieren)	Erhitzung auf 120 °C für mind. 15 min im Autoklaven, zeitaufwendig	Wässrige Lösungen in Gefäßen (Nährmedien, Glucose-Lösg.)
Trockene Hitze (Heißluftsterilisation)	Erhitzung z. B. auf 180 °C für 30 min, sehr zeitaufwendig	Leere Glasflaschen u. -Gefäße Glas-Petrischalen
Chemische Sterilisation	Meist Industrieverfahren z.B. mit Ethylenoxid-Gas	Petrischalen aus Polystyrol Spritzen u. a. Einmalartikel
	im Labor: 70%iger Alkohol, evt. Abflammen (Brandgefahr)	Drigalski-Spatel Metall u Glaswerkzeuge
Sterilfiltration	Einsatz keimundurchlässiger Filter, Kontamination bei Undichtigkeit	Vitaminlösung u.a. hitzelabile Substanzen
	Einsatz eines Wattefilters	Luft
Bestrahlung	Einsatz einer UV-Lampe	Oberfläche einer Laborbank

Tabelle 15.27: Risikogruppen bei Mikroorganismen

RG*	Kriterien für Biologische Arbeitsstoffe	Beispiele
1	unwahrscheinlich, dass eine Krankheit beim Menschen verursacht wird	<i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>E. coli</i> K12
2	eine schwere Krankheit kann hervorgerufen werden, eine Verbreitung in der Bevölkerung ist unwahrscheinlich, wirksame Vorbeugung oder Behandlung möglich	Hepatitis-A-Virus, <i>Legionella pneumophila</i>
3	eine schwere Krankheit kann hervorgerufen werden, Gefahr einer Verbreitung in der Bevölkerung, wirksame Vorbeugung oder Behandlung normalerweise möglich	<i>Plasmodium falciparum</i> (Malaria), HIV, Hepatitis-C-Virus
4	eine schwere Krankheit kann hervorgerufen werden, u. U. große Gefahr einer Verbreitung in der Bevölkerung, wirksame Vorbeugung oder Behandlung normalerweise unmöglich	Ebolavirus, Marburgvirus

* RG Risikogruppe

Den Arbeitsschutz beim Umgang mit Mikroorganismen regelt die **Biostoffverordnung (BioStoffVO)**. Mikroorganismen, die beim Menschen Infektionen, sensibilisierende oder toxische Wirkungen hervorrufen können, werden als **biologische Arbeitsstoffe** bezeichnet.

15.5.2 Mikroskopische Methoden

Aufbau des Lichtmikroskops

Apparaturteile:

- | | |
|----------------------------------------------|----------------------------------|
| 1. Binokularer Tubus mit Okularen | 8. Leuchtfeldblende |
| 2. Objektivrevolver 5fach | 9. Lüftungsgitter für Leuchte |
| 3. Kreuztisch | 10. Kondensorklemmschraube |
| 4. Kondensorkondensor | 11. Grob- und Feintrieb |
| 5. Aperturblende (Kondensorblende) | 12. Ein-/Ausschalter |
| 6. Kondensorkondensor-Zentrierschrauben | 13. Potentiometer für Helligkeit |
| 7. Drehknöpfe zur Zentrierung der Ringblende | |

Tabelle 15.29: Kenngrößen zur Mikroskopie

Kennzeichen	Beschreibung								
Vergrößerung	Gesamtvergrößerung durch unterschiedliche Kombinationen aus Objektiv und Okular (sinnvoll bis max. 1000fach)								
Auflösung	Kleinster, noch getrennt wahrnehmbare Distanz (max. 200 nm), beträgt gemäß Wellenlänge und Brechungsindex:								
	$d = 0,5 \lambda / N \cdot \sin \alpha$ <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block;"> Numerische Apertur: $N \cdot \sin \alpha$ </div>								
	<table border="0" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>d</td> <td>Auflösung</td> <td>N</td> <td>Brechungsindex</td> </tr> <tr> <td>λ</td> <td>Wellenlänge</td> <td>α</td> <td>Halbwinkel des Objektivs</td> </tr> </table>	d	Auflösung	N	Brechungsindex	λ	Wellenlänge	α	Halbwinkel des Objektivs
d	Auflösung	N	Brechungsindex						
λ	Wellenlänge	α	Halbwinkel des Objektivs						
Kontrast	Hell-Dunkel-Unterschiede, Kontrasterhöhung durch Färbungen, Dunkelfeldbeleuchtung, Phasenkontrastmikroskopie								

Tabelle 15.30: Färbemethoden und Kontrastierungen

Methode	Einsatzgebiet
Vitalfärbung	Nachweis lebensfähiger Bakterien (z. B. mit Hilfe von Metylenblau)
Tuschekontrastierung	Darstellung von Bakterienkapseln / Nachweis bekapselter Bakterien
Ziehl-Neelsen-Färbung	Nachweis von säurefesten Bakterien (z. B. Tbc-Bakterien)
Sporenfärbung	Nachweis von Endosporen bzw. sporenbildenden Bakterien
Geißelfärbung nach Leifson	Darstellung von Bakteriengeißeln, Erkennung des Begeißelungstyps (polar, peritrich = allseitig usw.)
Gramfärbung, -test	Differenzierung und Diagnostik von Bakterien (s. u. bei *)

Tabelle 15.31: Arbeitsschritte bei einer Gramfärbung

* Schritt	Handlung bei der Durchführung der Gramfärbung
Fixierung	Unbekannte Probe + Referenzen aufbringen, 5 Arbeitsschritte (a bis e, s.u.**)
Färbung mit KV und Beizung	a) Objektträger auf dem Färbegestell mit Lösung von Kristallviolett (KV) bedecken, nach 1 min den Farbstoff abgießen, b) Lugolsche Lösung (I ₂ • KI) auftropfen, c) Lösung 1 min einwirken lassen und abgießen
Entfärbung	40 s mit 96% Ethanol überschichten, abgießen, mit H ₂ O nachspülen
Gegenfärbung	a) Präparat mit Safraninlösung für 15 - 20 s überdecken, b) mit Aqua dest. abspülen und an der Luft trocknen
Mikroskopieren	Präparat ohne Deckglas mikroskopieren, 100er Ölimmersionsobjektiv (Ergebnis: Grampositiv/Gramnegativ, siehe Folgeseite)

** a) Objektträger mit 96% Ethanol entfetten, trocknen, b) mit Impföse Material vom Bakterienstamm sowie positiver und negativer Referenz aufbringen, c) mit wenig Wasser zu dünnem Film austreichen, d) Präparat an Luft trocknen, e) mehrmals durch Brennerflamme ziehen

Tabelle 15.32: Ergebnis Gramfärbung

Färbungsverhalten	Ergebnis der Gramfärbung	Ursache
Blauviolett	+ Grampositiv	Zellen behalten zuerst aufgebrauchten Farbstoff Kristallviolett
Rot	- Gramnegativ	Zellen werden entfärbt und mit 2. Farbstoff erneut gefärbt

15.5.3 Kulturmethoden

Tabelle 15.33: Kulturtypen

Fachbegriff	Definition
Kultivierung	Mikroorganismen-Züchtung unter geeigneten Umweltbedingungen
Isolierung	Abtrennung einer einzelnen Zelle aus einer Mischkultur
Anreicherungskultur	Mischkultur mit optimierten Bedingungen für bestimmte Mikrobenart
Mischkultur	Kultur aus verschiedene Arten von Mikroben, z. B. natürliche Population
Oberflächenkultur (Emerskultur)	Kulturverfahren zur Züchtung von Aerobiern auf der Oberfläche flüssiger Medien oder auf festen Nährböden (z. B. Agarplatten)
Reinkultur	Kultur aus genetisch einheitlichen Organismen (Zellklon)
Submerskultur	Kulturverfahren zur Züchtung von Aerobiern innerhalb einer Nährlösung mit Vorrichtung zur O ₂ -Versorgung (z. B. Schüttleinrichtung)

Tabelle 15.34: Nährmedien und Werkzeuge zur Kultivierung von Mikroorganismen

Fachbegriff	Kennzeichen / Beschreibung des Nährmediums
Differenzierungsmedium	Nährmedium ermöglicht die Identifizierung von Mikroorganismen
Indikator-Nährboden	Nährboden, der pH- oder andere Indikatoren enthält und deshalb bestimmte Stoffwechselleistungen anzeigen
Komplexer Nährboden	Nährböden mit nicht genau bekannter chem. Zusammensetzung
Minimalmedium	Synthetisches Nährmedium, das nur die für das Wachstum eines bestimmten Organismus absolut notwendigen Substanzen enthält
Synthetischer Boden	Nährboden aus chemisch exakt definierten Substanzen
Vollmedium	Nährmedium, das auch nicht unbedingt zum Wachstum notwendige Substanzen enthält, ermöglicht beschleunigtes Wachstum

Tabelle 15.35: Mikrobiologische Arbeitsgeräte

Arbeitsmittel	Verwendung, Anwendung	Steriles Arbeiten, Sterilisationsvorgang
Impföse	Übertragung von Biomaterial	Ausglühen in entleuchteter Brennerflamme
Petrischale	Kultivierung von Mikroorganismen auf festem Nährboden	Trockene Hitze bei Glaspetrischalen / sterilen Kunststoffschalen, danach schließen
Kulturröhrchen, Reagenzglas	Kultivierung von Mikroorganismen in Nährmedium	Trockene Hitze, Abflammen des Randes nach jedem Öffnen an Brennerflamme
Drigalski-Spatel	Verteilung von Biomaterial auf Agarplatte	In Alkohol eintauchen, an der Flamme anzünden und abbrennen lassen
Erlenmeyerkolben, Kulturkolben	Ansetzen von Nährmedien, Kultivierung von Mikroorganismen in flüss. Nährmedium	Trockene Hitze, nach jedem Öffnen Rand kurz abflammen
Glas-Pipette	Übertragung von Lösungen und Zellsuspensionen	Trockene Hitze, vor Gebrauch aus steriler Pipettenbüchse entnehmen und abflammen

Tabelle 15.36: Zubereitung fester Nährmedien, Medienarten und Arbeitsschritte

Minimalmedium	Vollmedium	Nr.	Arbeitsschritt
Bestandteile: essentielle Nährstoffe Beispiel: NaH_2PO_4 6,0 g/L NH_4Cl 1,0 g/L K_2HPO_4 3,0 g/L $MgSO_4$ 1mM $NaCl$ 0,5 g/L $Glucose$ 2,0 g/L pH 7,4	Bestandteile: Hydrolysate Extrakte (Blut, Serum) Beispiel: $Trypton$ 10 g/L $Hefeextrakt$ 5 g/L $NaCl$ 10 g/L pH 7,5	1	Berechnung der notwendigen Mengen
		2	Einwiegen der Bestandteile
		3	Zugabe von entionisiertem Wasser
		4	Mischen und Lösen der Bestandteile
		5	Zugabe von Agar
		6	Autoklavieren
		7	Abkühlen auf 60°C im Wasserbad
		8	ggf. Zugabe hitzeempfindlicher Substanzen, mischen
		9	Abfüllen in Petrischalen (luftblasenfrei)
		10	Antrocknen der Agarplatten

15.5.4 Nachweise und Keimzahlbestimmungen

Tabelle 15.37: Merkmale zur Unterscheidung von Enterobacteriaceen mit *E. coli* als Fäkalindikator

Test, Merkmal/Art* →	<i>E. coli</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	Art (Beispiele 1-8)
Acetoinbildung	-	-	+	*	+	-	-	+	-	1 <i>Citrobacter</i>
Beweglichkeit	+	+	+	+	-	+	+	+	-	2 <i>Enterobacter</i>
Glucosevergärung	+	+	+	+	+	+	+	+	+	3 <i>Erwinia</i>
H ₂ -Bildung	+	*	+	-	+	+	+	+	-	4 <i>Klebsiella</i>
Harnstoffverwertung	-	*	*	-	+	+	-	-	-	5 <i>Proteus</i>
Indolbildung	+	+	-	-	-	+	-	-	+	6 <i>Salmonella</i>
Lactosevergärung	+	+	+	*	+	-	-	-	-	7 <i>Serratia</i>
Proteolyse	-	-	*	*	-	+	-	+	-	8 <i>Shigella</i>

+ : Test positiv; - : Test negativ; *: Test variabel; Referenzbakterium *E. coli*: grau unterlegt

Tabelle 15.38: Keimzahlbestimmungen I: Lebendkeimzahlbestimmung (Kulturverfahren)

Methode, Typ*	Prinzip (+ Vorteil, - Nachteil)	Ausrüstung*	
Spatelplattenverfahren (Ausplattierungsverfahren)	Probe auf Oberfläche von Agarplatten verteilen, lebensfähige Zellen bilden nach Bebrütung Kolonien	Übliche Arbeitsmittel, Brutschrank (Inkubator)	
	+		Empfindliche Methode, ermöglicht Verwendung selektiver Kulturmedien und Wachstumsbedingungen
	-		zeitaufwendig, meist Verdünnungsreihe notwendig, nur geeignete Verdünnungen auswertbar
Gussplattenverfahren (Koch'scher Plattenguss)	Probe in Petri-Schale pipettieren, geschmolzenes Agarmedium zugeben, mischen	Brutschrank (Inkubator)	
	+		Größere Probenvolumen möglich, günstig für Anaerobier und schwärmende Keime
	-		Keime müssen 45°C (geschmolzenes Agar) überstehen
Auftropfverfahren	Agarplatte in Segmente teilen, Verdünnungsstufen auftropfen	Brutschrank (Inkubator)	
	+		Geringer Verbrauch an Agarplatten
	-		Oft nur halbquantitative Auswertung möglich
Titer-Verfahren	Proben in Röhrchen mit Flüssigmedium überführen, bebrüten	Brutschrank (Inkubator)	
	+		Auch für Keime, die schlecht auf Oberflächen wachsen
	-		Zeitaufwändig, Verdünnungsreihe meist notwendig
Membranfiltration	Proben filtrieren, Filter mit aufgefangenen Keimen auf Agarplatten inkubieren	Filtriereinrichtung Agarplatten Inkubator	
	+		Anreicherung der Keime in keimarmen Proben
	-		Zeitaufwändig

Tabelle 15.39: Keimzahlbestimmungen II: Gesamtkeimzahlbestimmung

Methoden, Typ*	Prinzip (+ Vorteil, - Nachteil)	Ausrüstung*
Keimzählung mit Zählkammer	Objekträger mit Gitternetz zur Zellen-Zählung in definiertem Volumen	Mikroskop Zählkammer
	+ Schnell, sofort auswertbar	
	- Keine Unterscheidung zwischen toten und lebenden Zellen	
Messung der optischen Dichte (Trübung)	Bakterien als Partikel streuen eingestrahktes Licht	Photometer
	+ Schnell, sofort auswertbar	
	- nur bei Reinkulturen und einheitlicher Zellform möglich	
Trockengewicht	Proben abfiltrieren und im Evaporator trocknen	Filtrier-einrichtung, Evaporator
	+ Universelle Anwendung z. B. auch bei Pilzen	
	- Auswertung zeitintensiv und oft zu ungenau	
Partikelzählung in Kapillarzählgeräte	Elektronische Zählung von Impulsen durch Zellen	Coulter Counter
	+ Auch zur Zählung von Blutzellen und anderen Zellen	
	- Kostspielige Geräteanschaffung	
Durchfluss-zytometrie	Laserstrahl-Mesung einer Suspension aus Einzelzellen	Durchfluss-zytometer
	+ Schnelle Auswertung, vielseitige Anwendung	
	- Auch zur Zählung von Blut- und anderen Zellen	
Zellproteinbestimmung	Chemische oder photometrische Bestimmung des Proteingehaltes	Übliche Laboraus-rüstung bzw. Photometer
	+ Nach Kalibrierung universell einsetzbar	
	- Indirekte Methode mit Fehler bei Änderung der Zellzusammensetzung	

15.5.5 Gelelektrophorese in der Mikrobiologie

Tabelle 15.39: Grundbegriffe der Elektrophorese

Fachbegriff	Erklärung
Agarose	Polysaccharid aus Rotalgen, Hauptkomponente des Agars und guter Gelbildner
SDS	Sodiumdodecylsulfat (Detergenz, überdeckt der Eigenladung von Proteinen
Isoelektrischer Punkt (IP)	pH-Wert, an dem ein Protein die Gesamtladung Null hat (Aminosäure-polymer liegt vorwiegend als Zwitterion vor)
Western-Blot	Proteinübertragung mit Hilfe eines elektrischen Feldes auf eine Trägermembran mit evtl. anschließendem Antikörpernachweis

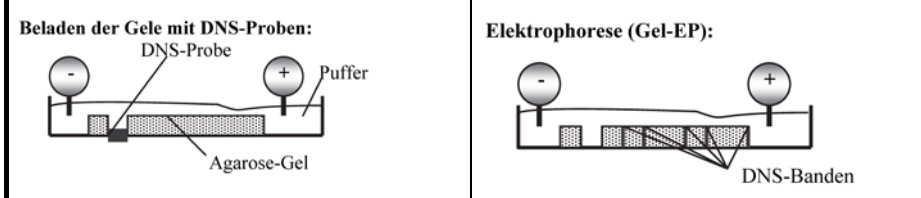
Tabelle 15.40: Gelelektrophorese-Verfahren (Gel-EP) zur Proteinanalyse

Methoden	Kennzeichen	Banden-Visualisierung
SDS-PAGE, Polyacrylamid-Gelelektrophorese	Denaturierung der Proteine, Auftrennung anhand des Molekulargewichts	Färbung mit <i>Coomassie Brilliant Blue</i>
Nativ-Gelelektrophorese	Auftrennung ohne SDS nur anhand der Eigenladung der Proteine, Enzyme bleiben aktiv	Silberfärbung
2D-Gelelektrophorese	Auftrennung in 2 Dimensionen, IEF / SDS-PAGE- Kombination	Immunologische Verfahren (z. B. <i>Western-Blot</i>)
Isoelektrische Fokussierung (IEF)	Auftrennung anhand des Isoelektrischen Punktes	

Methoden	Kennzeichen	Banden-Visualisierung
Agarose-Gelelektrophorese	Wanderung der DNA (negativ geladen) zum positiven Pol, Auftrennung der DNA-Fragmenten nach Größe	Ethidiumbromid Färbung (in UV-Licht), radioaktive Markierung mit Autoradiographie

Tabelle 15.42: Arbeitsschritte einer Gel-EP zur DNA-Analyse

Nr.	Arbeitsschritt	Durchführung, Operation
1	DNA -Segmentierung	DNA-Isolierung, Zerschneidung durch Restriktionsenzyme
2	Gießen des Agarose-Gels	Agarose in Puffer unter Aufkochen lösen, nach Abkühlen Ethidiumbromidlösung zugeben und in einen Gelschlitten mit Kämmen gießen
3	Beladung der Gele	Probenüberführung in separate Taschen des Gels (Mikropipette)
4	Elektrophorese	Bei Anlegen der Spannungsquelle sammeln sich DNA -Abschnitte gleicher Größe in Banden und wandern zum Pluspol
5	Banden-Visualisierung	Das zugegebene Ethidiumbromid lagert sich während der EP in die DNA ein, die danach unter UV-Licht sichtbar wird (Fluoreszenz)
6	Auswertung	Größebestimmung der DNA -Fragmente, Vergleich mit DNA -Leiter (Mischung verschiedener DNA -Stränge bekannter Länge)



15.6 Biotechnologie

Tabelle 15.43: Sparten und Produkte der Biotechnologie

Bereich *	Industriesparten	Produkt- und Verfahrensbeispiele
Gesundheitsbiotechnologie (rote Biotechnologie)	Pharmazeutische Industrie und Medizin	Antibiotika, Steroidpräparate, Hormone, Immunregulatoren, Antikörper, Diagnostika, Tumorstoffe, Gewebezüchtung (<i>Tissue Engineering</i>)
Industrielle Produktion (weiße Biotechnologie)	Chemische Industrie, Textilindustrie	Ethanol, Aceton-Butanol, Org. Säuren, med. Produkte (z. B. Antibiotika, Vitamine)
	Energiegewinnung	Biogas
Landwirtschaft (grüne Biotechnologie)	Metallgewinnung	Leaching (biologische Erzlaugung)
	Pflanzenproduktion, Tierzucht	Transgene Pflanzen und Tiere
	Futtermittelindustrie	Einzellerproteine, Aminosäuren
Lebensmittelproduktion (gelbe Biotechnologie)	Agrochemische	Biopestizide
	Nahrungsmittelindustrie (oft der grünen Biotechnologie zugerechnet)	Enzyme, Aminosäuren, Aromastoffe, Starterkulturen, Lebensmittel aus gentechnisch veränderten Pflanzen und Tieren
Meeresprodukte (blaue Biotechnologie)	Biotechnologie der Meeresorganismen	Medizinische relevante Stoffe, stabile Enzyme
Umweltbiotechnologie (graue Biotechnologie, Abfallwirtschaft)	Abwasserreinigung	Kläranlagen
	Abluftreinigung	Biofilter
	Altlastenentsorgung	Biologische Bodensanierungsverfahren

* (Überschneidungen der Bereiche z. B. bei roter und weißer Biotechnologie möglich)

Tabelle 15.44: Biotechnologische Fachbegriffe

Fachbegriff	Definition, Erklärung
Chemostat	Konzentration eines limitierenden Nährstoffes bestimmt Wachstumsgeschwindigkeit der Zellen (Selbstregulierend)
Immobilisierte Zellen	örtlich fixierte Mikroorganismen (an oder in geeigneten, biologisch nicht abbaubaren Trägermaterialien angeheftet oder eingeschlossen)
Turbidostat	Regelung der Substratzufuhr über die Trübung, Kulturwachstum mit maximaler Wachstumsgeschwindigkeit
Substrathemmung	Wachstumshemmung bei zu hohe Substratkonzentration
Wachstumslimitierung	Wachstumshemmung bei geringer Substratkonzentration

Tabelle 15.45: Bioverfahrenstechnische Kulturverfahren

Prozessführung	Diskontinuierlich	Semikontinuierlich	Kontinuierlich
Substratzugabe	Zu Beginn (statische Kultur)	Zu Beginn und in Intervallen	Laufend
Produktentnahme	Am Ende	Am Ende	Laufend
Betriebsmöglichkeiten	Batch-Verfahren (Chargen-Betrieb)	Fed-batch-Verfahren (Zulauf-verfahren)	Chemostat, Turbidostat
+ Vorteile	Zuverlässigkeit, Geringer technischer Aufwand	Verlängerte Wachstums- und Produktionsphase	Konstante Bedingungen, immobilisierte Zellen
- Nachteile	Substrathemmung Wachstumslimitierung kurze Produktionsphase, Milieuänderungen	Größerer technischer Aufwand Infektionsgefahr	Hoher technischer Aufwand, Gefahr der Auswaschung (Biomasseverlust)

Tabelle 15.46: Bioreaktor-Typen

Prinzip	Reaktor	Aufbau, Besonderheiten
Hydraulischer Leistungseintrag über Umwälzpumpe	Rohrreaktor	Reaktor aus horizontalem Rohr evt. mit Einbauten
	Strahldüsenreaktor	Vertikale Rohrreaktoren mit Flüssigkeitseintrag durch einen Strahl mittels Düsen
Leistungseintrag über bewegliche mech. Einbauten	Rührkesselreaktor	Durchmischung durch Rührwerk
	Hubstrahlreaktor	Strahlströmung durch Auf- und Abwärtsbewegung des Hubelementes
Pneumatischer Leistungseintrag über Luftstrom	Blasensäule	Reaktor ohne Einbauten
	Mammutschlaufen-, Airlift-Reaktor	Flüssigkeitsumlauf innerhalb festgelegter Schlaufen bzw. Leitrohre (innerer oder äußerer Umlauf)
Reaktoren für immobilisierte Zellen	Festbettbioreaktor	Reaktor mit Packung von unbewegten Trägerkörpern (mit Biofilmen bewachsen)
	Wirbelbettreaktor	Reaktor mit aufwirbelnden Trägerkörpern
	Membranreaktor	Kombination von Reaktor mit Filtrationseinheit

Tabelle 15.47: Biotechnologische Entwicklung

Jahr	Entdeckung, Entwicklungsschritt	Jahr	Entdeckung, Entwicklungsschritt
1916	Erste großtechnische Fermentation von Butanol und Aceton mit Hilfe von <i>Clostridium acetobutylicum</i>	1957	Großtechn. Prod. Von Glutaminsäure über <i>Corynebacterium glutamicum</i>
		1972	Erste in-vitro-DNA-Rekombination
1920	Großtechnische Produktion von Zitronensäure über <i>Aspergillus niger</i>	1977	Synthet. Rekombinante Proteine
		1996	Erste Genomentschlüsselung (Hefe)
1928	Erstes Antibiotikum Penicillin	1999	Erste Humanstammzellen-Zellkultur

Kapitel 16 Mineralogie

16.1 Grundbegriffe der Mineralogie

Tabelle 16.1: Grundbegriffe der Mineralogie

Begriff	Definition, Beschreibung
Gestein	Agglomerat verschiedener Mineralien und Materialien (Stoffgemisch)
Mineral	Natürlich vorkommender Feststoff mit definierter chemischer Zusammensetzung und bestimmter physikalischer Kristallstruktur (Reinstoff)
Erz	„Natürlich vorkommendes Mineral-Aggregat von wirtschaftlichem Interesse, aus dem durch Bearbeitung ein oder mehrere Wertbestandteile extrahiert werden können ...“ (Definition der <i>UK Institution of Mining and Metallurgy</i>)
Mineralogie	<ul style="list-style-type: none"> Lehre von Mineralien (Kap. 16.1), Materialwissenschaft unter den Geowissenschaften (Brückenstellung zwischen Chemie, Geologie, Physik und Werkstoffwissenschaften), liefert Daten zur Mineralienklassifikation (Kap. 16.2) untersucht, bei welcher Temperatur, unter welchem Druck, in welchem chemischen Milieu und durch welche Prozess Mineralien entstanden sind liefert Informationen für die Synthese von Materialien für technische Zwecke und für die Rekonstruktion der Entwicklung der Erde untersucht die chemischen, mechanischen, optischen, thermischen, elektrischen und magnetischen Eigenschaften der Minerale und deren Nutzungsmöglichkeiten (z. B. zur Metallgewinnung, siehe Kap. 13.1.3)
Kristallographie	Beschreibung der Anordnung der Kristallflächen zueinander (Symmetrie, Winkel, Kristallsysteme und deren Elementarzellen), Daten über: <ul style="list-style-type: none"> Kristalle und Kristallsysteme in Kap. 16.3 (Kristallographie), Kristallgitter von binärer Ionenverbindungen in Kap. 3.3.3, Mineralpigmente in Kap. 14.2.

16.2 Klassifikation von Mineralien

Tabelle 16.2: Mineralienklassen

Klasse	Stoffgruppe*	Beispiele
I	Elemente (Gediegen)	Kupfer, Graphit, Diamant, Antimon, Schwefel
II	Sulfide, Selenide, Telluride, ...	Zinkblende (ZnS), Pyrit (FeS ₂), Kupferkies (CuFeS ₂)
III	Hal(o)ide (Halogenide)	Steinsalz (NaCl), Flussspat (CaF ₂), Kryolith (Na ₃ AlF ₆)
IV	Oxide und Hydroxide	Korund (Al ₂ O ₃), Azurit (Cu ₃ (CO ₃) ₂ (OH) ₂)
V	Borate	Boracit (Mg ₆ B ₁₄ O ₂₆ Cl ₂), Borax (Na ₂ [B ₄ O ₅ (OH) ₄] • 8 H ₂ O)
VI	Nitrate und Carbonate	Magnesit (MgCO ₃), Kalkspat (CaCO ₃)
VII	Sulfate, Chromate, Molybdate, Wolframate (Anion XO ₄ ²⁻)	Anhydrit (CaSO ₄), Rotbleierz (PbCrO ₄), Bittersalz (MgSO ₄ • 7 H ₂ O), Chromalaun (KCr(SO ₄) ₂ • 12 H ₂ O)
VIII	Phosphate, Arsenate, Vanadate	Apatit (Ca ₅ (PO ₄) ₃ (OH,F,Cl)), Monazit (CePO ₄)
IX	Silikate	Quarz (SiO ₂), Beryll (Al ₂ Be ₃ Si ₆ O ₁₈), Zirkon (ZrSiO ₄)
X	organische Minerale	Talg, Bernstein, Kohleschiefer

* z. T. mit **Unterklassen:**

- IV** Spinelle, Formel: XO • Y₂O₃ mit X = Ni²⁺, Zn²⁺, Mg²⁺, Fe²⁺ und Y = Al³⁺, Cr³⁺, Fe³⁺,
- VI** basische Carbonate,
- VII** Vitriole und Alaune, Letztere allg. Formel: X₂SO₄ • Y₂(SO₄)₃ • 24 H₂O mit X = K⁺, NH₄⁺, Rb⁺, Cs⁺ und Y = Cr³⁺, Al³⁺, Fe³⁺, V³⁺,
- IX** Insel-, Gruppen-, Ring-, Ketten-, Band-, Faser-, Schicht- und Gerüstsilikate, Granate, allg. X₃Y₂(SiO₄)₃ mit X = Ca²⁺, Mg²⁺, Mn²⁺, Fe²⁺ und Y = Fe²⁺, Al²⁺, Cr²⁺, Ti³⁺, Amphibole, X₂Y₂(OH,F)₂[(Si,Al)₄O₁₁]₂ mit X = Ca²⁺, Na⁺, K⁺ und Y = Mg²⁺, Fe³⁺, Al³⁺, Mn²⁺.

16.3 Klassifikation von Kristallsystemen

Tabelle 16.3: Metrik kubischer und hexagonaler Gitterstrukturen

Kubisch-primitiv (kub)	Kubisch-raumzentriert (krz)	Kubisch-flächenzentriert (kfz)	Hexagonal dicht gepackte Kugelschicht	Stapelfolgen und Anordnungen bei der hexagonal und der kubisch dichtesten Kugelpackung dieser Schichten
-------------------------------	------------------------------------	---------------------------------------	----------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabelle 16.4: Weitere Gittertypen und reale Beispiele (Foto)

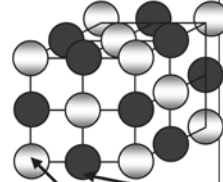
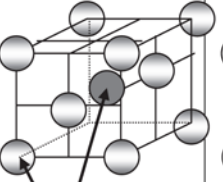
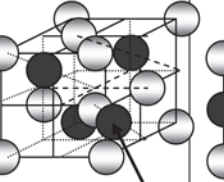
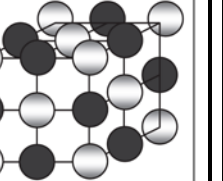
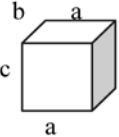

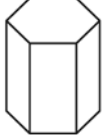



NaCl-Typ (Steinsalz)	CsCl-Typ (Cäsiumchlorid)	ZnS-Typ (Zinkblende)	CaF ₂ -Typ (Fluorit)
 <p>Anion x^- und Kation M^+ wechseln sich ab (kubisch primitiv)</p>	 <p>Anionen / an Würfellecken, Kation M^+ mittig - und umgekehrt</p>	 <p>Anionen kfz, Kationen in jeder 2. Elementarzelle raumzentriert</p>	 <p>Kationen kfz, Anionen in jeder Elementarzelle raumzentriert</p>
<p>Fläche der Elementarzelle als Basis zur Berechnung der Grenzzahlen-Verhältnisse:</p> $r(M^+) + r(x^-) = \sqrt{2}r(x^-)$ $r(M^+) = (\sqrt{2}-1) \cdot r(x^-)$ $\frac{r(M^+)}{r(x^-)} = \sqrt{2}-1 = 0,414$ <p>Radienverhältnis: 0,414</p>	<p>Flächendiagonale: $\sqrt{2} \cdot a$ Raumdiagonale: $\sqrt{3} \cdot a$</p> $r(M^+) + r(x^-) = \sqrt{3}r(x^-)$ $r(M^+) = (\sqrt{3}-1) \cdot r(x^-)$ $\frac{r(M^+)}{r(x^-)} = \sqrt{3}-1 = 0,732$ <p>Radienverhältnis: 0,732</p>	<p>1/8 der Elementarzelle: Kantenlänge: $\frac{1}{2} a$ Flächendiagonale: $\frac{1}{2} \sqrt{2}a$ Raumdiagonale: $\frac{1}{2} \sqrt{3}a$</p> $r(M^+) + r_x = \frac{1}{2} \sqrt{6}r(x^-)$ $r(M^+) = \frac{1}{2} (\sqrt{6}-1) \cdot r(x^-)$ $\frac{r(M^+)}{r(x^-)} = \frac{1}{2} \sqrt{6}-1 = 0,225$ <p>Radienverhältnis: 0,225</p>	<p>Weitere Typen:</p> <p>a) Antifluorit-Typ: Anionen und Kationen vertauscht</p> <p>b) Rutil-Typ: Mittleres Ion oktaedrisch umgeben von den Gegenionen</p>



Tabelle 16.5: Kristallographische Kristallsysteme

Elementarzelle	Kristallsystem, Name	Seitenlängen, Winkel	Typen, Beispiele
 <p>kubisch (würfelförmig) $a = b = c$</p>  <p>tetragonal (alle Winkel 90°)</p>  <p>hexagonal, trigonal (ein Winkel 120°)</p>  <p>(ortho-)rhombisch (alle Winkel 90°, alle 3 Kanten a,b,c ungleich lang)</p>  <p>monoklin (ein Winkel ungleich 90°, alle 3 Kanten a,b,c ungleich lang)</p>  <p>triklin (alle Winkel und alle drei Kanten ungleich)</p>		Seiten $a = b = c$ Winkel $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ Symbol, Kürzel kub (kubisch, regulär)	Steinsalz, NaCl Zinkblende, ZnS Kupfer, Cu Untertypen: <ul style="list-style-type: none"> • regulär, • raumzentriert, • flächenzentriert
		Seiten $a = b \neq c$ Winkel $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ Symbol, Kürzel tetr (tetragonal)	Weißes Zinn, β -Sn Rutil, TiO ₂ Zinnstein, SnO ₂ Kupferkies CuFeS ₂ Anatas, TiO ₂ Vesuvian (Ca ₁₀ (Mg,Fe) ₂ Al ₄ [(OH) ₄ (SiO ₄) ₅ (Si ₂ O ₇) ₂])
		Seiten $a = b \neq c$ Winkel $\alpha = \beta = 90^\circ$, $\gamma = 120^\circ$ Symbol, Kürzel hex, trig (hexagonal, trigonal)	Quarz, SiO ₂ Graphit, C Zinnober, HgS Kalkspat, CaCO ₃ Magnetkies FeS Manganspat MnCO ₃ , Beryll, Eisenspat FeCO ₃
		Seiten $a \neq b \neq c$ Winkel $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ Symbol, Kürzel rho (rhombisch, orthorhombisch)*	Iod, I ₂ α -Schwefel, S ₈ HgCl, Olivin, Antimonit Sb ₂ S ₃ Schwerspat BaSO ₄ Arsenkies FeAsS (Sondertyp: rhomboedrisch*)
		Seiten $a \neq b \neq c$ Winkel $\alpha = \gamma = 90^\circ$, $\beta \neq 90^\circ$ Symbol, Kürzel mon (monoklin)	β -Schwefel, S ₈ Bor, B Kaliumchlorat, KClO ₃ Talk (Speckstein) Gips CaSO ₄ • 2 H ₂ O Realgar AsS Monazit CePO ₄
		Seiten $a \neq b \neq c$ Winkel $\alpha \neq \beta \neq \gamma$ Symbol, Kürzel tri (triklin)	Kaliumdichromat, K ₂ Cr ₂ O ₇ Kupfersulfat-pentahydrat, CuSO ₄ • 5 H ₂ O Kalziumsilikat, Ca-SiO ₃

* Sondertyp rhomboedrisch:

Seitenlängen $a = b = c$, Winkel jedoch $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$, vgl. Abb. folgende Seite
(Beispiele: Wassereis, Calcit CaCO₃, Arsen As, Bismut Bi), zu Polyedern s. Kap. 11.3.2.

Nr.	Gittertyp	Symbol	Nr.	Gittertyp	Symbol
1	triklin	tri	8	hexagonal	hex
2	einfach monoklin	mon	9	rhomboedrisch	rhe
3	monoklin-flächenzentriert	mfz	10	einfach tetragonal	tetr
4	einfach rhombisch	rho	11	tetragonal-raumzentriert	tetrz
5	rhombisch-basisch-flächenzentriert	rbfz	12	einfach kubisch, regulär	kub
6	rhombisch-raumzentriert	rrz	13	kubisch-raumzentriert	krz
7	allseitig-flächenzentriert rhombisch	rafz	14	kubisch- flächenzentriert	kfz

Kristall*	Anziehungskräfte	Gitterbausteine	Beispiele
Ionenkristall	elektrisch	Ionen	NaCl, MgO, AlN
Molekülkristall	van-der-Waals-Kräfte	Moleküle	CO ₂ , I ₂
Atomkristall	Kovalenzbindungen	Nichtmetallatome	Diamant, SiC
Metallkristall	delokalisierte Elektronen	Metallatome	Na, Pb, Cu
Edelgaskristall	van-der-Waals-Kräfte	Edelgasatome	Ar, Xe, Kr

* Unabhängig von gebildeten Strukturen wie z. B. Schichten (CdI₂), Ketten (CuCl₂), Molekülen (CO₂)

Radien-Verhältnis (RV)*	AB-Verbindung				AB ₂ -Verbindung				
	KoZ.	Strukturtyp	KoZ. (A ⁺ :B)	Strukturtyp					
> 0,732	8	CsCl	8 : 4	Fluorit, CaF ₂					
0,732 bis 0,414	6	NaCl	6 : 3	Rutil, TiO ₂					
0,414 bis 0,225	4	Zinkblende / Wurtzit, ZnS	4 : 2	Cristobalit, SiO ₂					
0,225 bis 0,155	3	Bornitrid, BN	-	-					
CsCl-Struktur RV > 0,732	NaCl-Struktur* Etwa: 0,732 > RV > 0,414				ZnS-Struktur 0,414 > RV > 0,225				
CsCl	0,91	KF	1,00	RbI	0,68	NaBr	0,50	BeO	0,26
CsBr	0,84	CaO	0,80	CaS	0,61	MgS	0,49	BeS	0,20
CsI	0,75	NaF	0,74	KI	0,60	NaI	0,44	BeSe	0,18
Auch: TlCl, TlI, NH ₄ Cl u. a.	KCl, SrS	0,73	LiF, MgO	0,59	LiCl	0,43	Auch: ZnS, CdS, CuCl, CuBr, CuI, AgI		
	KBr	0,68	NaCl	0,54	LiBr	0,40			
Fluorit-Struktur, CaF₂ RV > 0,732	Rutil-Struktur*, TiO₂ Etwa: 0,732 > RV > 0,414				Quarz-Struktur 0,414 > RV > 0,225				
BaF ₂	1,05	UO ₂	0,79	TeO ₂	0,67	WO ₂	0,52	GeO ₂	0,36
PbF ₂	0,99	CeO ₂	0,77	MnF ₂	0,66	MoO ₂	0,52	SiO ₂	0,29
SrF ₂	0,95	CdF ₂	0,74	PbO ₂	0,64	TiO ₂	0,48	BeF ₂	0,26
ThO ₂	0,83	HfF ₂	0,67	FeF ₂	0,62	VO ₂	0,46	Antifluorit-Struktur (RV < 0,225)*	
CaF ₂	0,80	ZrF ₂	0,67	MgF ₂	0,58	MnO ₂	0,39		

* Kürzel: RV Radienverhältnis R(A⁺)/R(B), KoZ Koordinationszahl, weitere Strukturen und Beispiele:

- **NaCl-Struktur** auch in Oxiden und Sulfiden von Mg, Ca, Sr, Ba, Ni²⁺, AgF, AgCl, AgBr, NH₄I,
- **Rutil-Struktur** auch in SnO₂, MgF₂, NiF₂, ZnF₂,
- **Antifluorit-Struktur** auch in Li₂O, Na₂O, K₂O, Rb₂O,

in komplexen Verbindungen **A_mB_nX_p**:

- **Perowskit-Struktur** (z. B. in SrTiO₃, LaCrO₃, BaSnO₃, ähnl. auch NaWO₃),
- **Spinelle** (Anionengitter der Oxide, z. B. in Al₂MgO₄ oder Fe₃O₄),
- bei **ABX₃** häufig **Calcitstruktur**,
- bei **ABX₄** häufig **Anhydritstruktur** (CaSO₄, wasserfrei, ähnl.: BaSO₄),

bei mehrkernigen Komplexen: vgl. Typen von Silikaten (Netze, Gerüste, Schichten, Ringe u. a.)

16.4 Mineralien und Erze

Tabelle 16.9: Mineralien, Auswahl, nach Klassen geordnet

Stoff*	Formel*	Kl	KS*	MH*	ρ^*	s*	Br*	Farbe*	Strichfarbe
Kupfer	Cu	I	kub	4±0,5	8,93	x	h	kupferrot	kupferrot
Silber	Ag (Nuggets)	I	kub	2,5-3	9,6-12	x	h	silberweiß	silberweiß
Gold	Au (Nuggets)	I	kub	2,5-3	15-19	x	h	goldgelb	goldgelb
Platin	Pt (Pt-Metalle)	I	kub	4-4,5	21,4	x	ue	silbergrau	grau
Antimon	Sb	I	trig	3-3,5	6,7	x	ue	silberweiß	grau
Schwefel	S (monoklin)	I	mon	2	2-3,1	-	mu	hellgelb	weiß
Schwefel	S (rhomb.)	I	rho	2	2-3,1	-	mu	hellgelb	weiß
Diamant	C (rein)	I	kub	10	3,52	+	mu	fbl	weiß
Graphit	C	I	hex	1-2	2-2,26	+	ue	grauschw.	dunkelgrau
Dyskrasit	Ag ₂ S	II	rho	3,5-4	9,4-10	-		silberweiß	
Kupferglanz	Cu ₂ S	II	rho	2,5-3	5,5-5,8	-	mu	dunkelgrau	dunkelgrau
Bunt- kupferkies	Cu ₅ FeS ₄	II	kub	3	4,9-5,4	-	mu	rotbraun	grauschw
Argentit	Ag ₂ S	II	kub	2-2,5	7,2-7,36	-	mu	grauschw	bleigrau
Zinkblende	ZnS	II	kub	3,5-4	3,9-4,2	+		div	gelbbraun
Kupferkies	CuFeS ₂	II	tetr	3,5-4	4,2-4,3	-	mu	gelbglänz.	grünschw
Tetraedrit	Cu ₁₂ Sb ₄ S ₁₂	II	kub	3-4	4,6-5,2	x	mu	stahlgrau	braunschw
Stannin	Cu ₂ FeSnS ₄	II	tetr	3,5	4,3-4,5	-	ue	grau	schwarz
Strahlen- blende	ZnS	II	hex	3,5-4	3,9-4,1	+	ue	braunschw	braun
Zinnober	HgS	II	trig	2-2,5	8,1	+	sp	rot	rot
Bleiglanz	PbS	II	kub	2,5-3	7,2-7,6	+	mu	bleigrau	grauschw
Kupferindig	CuS	II	hex	1,5-2	4,5-4,76	+	mu	blauschw	blauschw
Antimonit	Sb ₂ S ₃	II	rho	2	4,6-4,7	+	mu	bleigrau	bleigrau
Pyrit	FeS ₂	II	kub	6,5	5	-	mu	gelbglänz.	schwarz
Kobaltglanz	CoAsS	II	kub	5,5	6,3	-	mu	weißrötlich	grauschw
Magnetkies	FeS	II	hex	3,5- 4,5	4,5-4,7	-	ue	braun	grauschw
Arsenkies	FeAsS	II	mon	5,5-6	5,9-6,2	-	ue	grau	grauschw
Markasit	FeS ₂	II	rho	6-6,5	4,8-4,9	-	ue	gelbglänz.	bleigrau
Molybdänit	MoS ₂	II	hex	1-1,5	4,6-5	+	su	bleigrau	bleigrau
Proustit	Ag ₃ AsS ₃	II	trig	2,5	5,5	+	mu	rot	rot
Auri-pigment	As ₂ S ₃	II	mon	1,5-2	3,48	+	mu	gelb	gelb
Hauerit	MnS	II	kub	4	3,46	-		braun	rotbraun
Bismuthinit	Bi ₂ S ₃	II	rho	2	6,8-7,2	+	mu	zinnweiß	bleigrau
Sylvanit	AgAuTe ₄	II	mon	1,5-2	7,9-8,3	+		grau	grau
Realgar	AsS	II	mon	1,5-2	3,5-3,6	-	mu	orangerot	org.-gelb
Villiaumit	NaF	III	kub	2-2,5	2,8	+		karminrot	-
Flussspat, Fluorit	CaF ₂	III	kub	4	3,1-3,2	+	sp	div	weiß
Kryolith	Na ₃ AlF ₆	III	mon	2,5-3	2,95	x	ue	div	weiß
Steinsalz	NaCl	III	kub	2	2,1-2,2	+	mu	fbl	weiß
Hornsilber	AgCl	III	kub	1,5-2	5,5-6		sn	fbl, grau	weiß

* Verwendete Kürzel am Tabellenende

Stoff*	Formel*	Kl	KS*	MH*	ρ^*	s*	Br*	Farbe*	Strichfarbe
Zinkit	ZnO	IV	hex	4,5-5	5,4-5,7	+	ue	orange	org.-gelb
Cuprit	Cu ₂ O ₄	IV	kub	3,5-4	6,14	+	mu	braunrot	braunrot
Perowskit	CaTiO ₃	IV	rho	5,5	4	-	mu	gelbschw	gelbschw
Spinell	MgAl ₂ O ₄	IV	kub	8	3,6-3,75	x	mu	rot	weiß
Magnetit	Fe ₃ O ₄	IV	kub	6-6,5	5,2	-	mu	schwarz	schwarz
Chromit	FeCr ₂ O ₄	IV	kub	5,5	4,5-4,8	x	mu	schwarz	braun
Korund	Al ₂ O ₃	IV	trig	9	3,95-4,1	x	mu	div	weiß
Ananas	TiO ₂	IV	tetr	5,5-6	3,8-4	+	mu	gelbschw	hellgelb
Brockit	TiO ₂	IV	rho	5,5-6	3,9-4,2		mu	braunschw	gelbbr
Ilmenit	FeTiO ₃	IV	trig	5,5-6	4,5-5	x	mu	braunschw	gelbbr
Eisenglanz, Hämatit	Fe ₂ O ₃	IV	trig	6,5	5,2-5,3	-	mu	rotschwarz	rotbraun
Opal	SiO ₂	IV	am	6±0,5	2,1-2,2	x	mu	fbl	weiß
Quarz	SiO ₂	IV	trig	7	2,65	x	mu	fbl	weiß
Cristobalit	SiO ₂	IV	tetr	6,5	2,2	x	mu	gelbweiß	weiß
Tridymit	SiO ₂	IV	hex	6,5-7	2,27	x	mu	fbl	weiß
Chalzedon	SiO ₂	IV	trig	7	2,6	x	mu	fbl	weiß
Zinnstein, Kassiterit	SnO ₂	IV	tetr	7	6,8-7,1	-	mu	gelb bis braunschw	weißgelb
Rutil	TiO ₂	IV	tetr	6	4,3	+	mu	rot, gelbbr	braun
Wolframit	(Fe,Mn)WO ₄	IV	mon	5-5,5	7,1-7,54	+	ue	braun	schwbraun
Limonit	Eisenoxide	IV	div	5-5,5	4	x	er	div	gelbbraun
Manganit	MnOOH	IV	mon	4	4,3-4,4	+	ue	brschw	brschw
Goethit	FeOOH	IV	rho	5-5,5	4,3	+	ue	div	gelbbraun
Witherit	BaCO ₃	V	rho	3-3,5	4,29	+	ue	fbl	weiß
Kalkspat, Calcit	CaCO ₃	V	trig	3	2,71	+	mu	fbl	weiß
Magnesit	MgCO ₃	V	trig	4-4,5	3	+	mu	fbl	weiß
Eisenspat	FeCO ₃	V	trig	4-4,5	3,7-3,9	+	mu	gelbbraun	weiß
Zinkspat	ZnCO ₃	V	trig	5	4,3-4,5	+	mu	fbl	weiß
Mangan- spat	MnCO ₃	V	trig	3,5-4	3,3-3,7	+	ue	rosa, orange	weiß
Aragonit	CaCO ₃	V	rho	3,5-4	2,95	-	mu	fbl	weiß
Strontianit	SrCO ₃	V	rho	3,5	3,7	-	mu	fbl	weiß
Weiß- bleierz	PbCO ₃	V	rho	3-3,5	6,5	-	mu	fbl	weiß
Dolomit	CaMg(CO ₃) ₂	V	trig	3,5-4	2,8-2,95	+	mu	fbl	weiß
Braunspat	CaFe(CO ₃) ₂	V	trig	3,5-4	2,97	+	mu	fbl	weiß
Azurit	Cu ₃ (CO ₃) ₂ (OH) ₂	V	mon	3,5-4	3,7-3,9	+	mu	tiefblau	hellblau
Malachit	Cu ₂ (CO ₃) ₂ (OH) ₂	V	mon	4	4	+	mu	smar.-grün	grün
Zinkblüte	Zn ₅ (CO ₃) ₂ (OH) ₆	V	mon	2-2,5	3,5-3,8	+	spr	div	weiß
Borax	Na ₂ B ₄ O ₅ (OH) ₄ • 8 H ₂ O	V	mon	2-2,5	1,7-1,8	+	mu	fbl	grauweiß

* Verwendete Kürzel am Tabellenende, Klassifikation (Klasse I-X) s. Kap. 16.2

Stoff*	Formel*	KI	KS*	MH*	ρ^*	s*	Br*	Farbe*	Strichfarbe
Thénardit	Na ₂ SO ₄	VI	rho	2,5-3	2,7	+	ue	fbl	weiß
Anhydrit	CaSO ₄	VI	rho	3-3,5	2,98-3	+	sp	fbl	weiß
Schwerspat	BaSO ₄	VI	rho	3-3,5	4,48	+	mu	fbl	weiß
Anglesit	PbSO ₄	VI	rho	3	6,3	-	mu	div	weiß
Coelestin	SrSO ₄	VI	mon	2	2,3-2,4	+	mu	fbl	weiß
Gips	CaSO ₄ • 2 H ₂ O	VI	mon	2	2,3-2,4	+	mu	fbl	weiß
Kainit	KMgSO ₄ Cl • 3 H ₂ O	VI	mon	2,5-3	2,1-2,2	+	sp	div	weiß
Krokoit	PbCrO ₄	VI	mon	2,5-3	6	+	mu	rot	orange
Wulfenit	PbWO ₄	VI	tetr	2-3	6-7	-	ue	gelborange	weiß
Scheelit	CaWO ₄	VI	tetr	4,5-5	5,9-6,1	-	mu	fbl, div	weiß
Monazit	CePO ₄	VII	mon	5-5,5	4,8-5,5	+	mu	fbl, div	weiß
Apatit	Ca ₅ (PO ₄) ₃ (F, Cl,OH)	VII	hex	5	3,16 -3,22	-	mu	fbl, div	weiß
Pyromorphit	Pb ₅ (PO ₄) ₃ Cl	VII	hex	3,5-4	6,7-7	x	mu	fbl, div	weiß
Carnotit	K ₂ (UO ₂) ₂ (VO ₄) ₂ • 3 H ₂ O	VII	mon	4	4,5-4,6	+	spr	neongelb	gelbgrün
Vanadinit	PB ₃ (VO ₄) ₃ Cl	VII	hex	3	6,5-7,1	x	mu	orangerot	hellgelb
Vivianit	Fe ₃ (PO ₄) ₂ • 8 H ₂ O	VII	mon	1,5-2	2,6-2,7	+	mu, fa	fbl, weiß	weiß
Strengit	FePO ₄ • 2 H ₂ O	VII	rho	4-5	2,52	+	mu	grün	weiß
Variscit	AlPO ₄ • 2 H ₂ O	VII	rho	4-5	2,52	+	mu	fbl, div	weiß
Türkis	CuAl ₆ (PO ₄) ₄ (OH) ₈ • 4 H ₂ O	VII	trig	5-6	2,6-2,8	x	mu	blaugrün, türkisblau	weiß bis hellblau
Lapislazuli, Blauspat	(MgFe)Al ₂ (PO ₄) ₂ (OH) ₂	VII	mon	6	3,1-3,2	-		blau	weiß
Willemit	Zn ₂ SiO ₄	VIII	tri	5,5	4-4,2	-	spl	fbl, weiß	weiß
Forsterit	Mg ₂ SiO ₄	VIII	rho	6-7	3,2-3,3	-	mu	gelbgrün	weiß
Olivin	(Mg,Fe) ₂ SiO ₄	VIII	rho	6,5-7	3,3	-	mu	grün	weiß
Granate	(diverse)	VIII	kub	7 ± 0,5	3,6-4,2	x	div	div, zumeist Rottöne	weiß
Zirkon	ZrSiO ₄	VIII	tetr	7±0,5	4,55	-	mu	fbl, div	weiß
Topas	Al ₂ F ₂ SiO ₄	VIII	rho	8	3,49-3,6	+	mu	fbl, div	weiß
Titanit	CaTiOSiO ₄	VIII	mon	5-5,5	3,45	-	mu	fbl, div	weiß
Beryll	Be ₃ Al ₂ Si ₆ O ₁₈	VIII	hex	7,5-8	2,68	-	mu	fbl, div	weiß
Diopas	Cu ₆ Si ₆ O ₁₈ • 6 H ₂ O	VIII	trig	5	3,3	+	mu	smaragd- grün	grün
Turmalin	NaAl ₃ (OH) ₇ (BO ₃) ₃ Si ₆ O ₁₈	VIII	trig	7-7,5	3,02- 3,26	x	mu, ue	fbl, div	weiß
Enstatit	Mg ₂ Si ₂ O ₆	VIII	rho	5-6	3,1-3,2	-	mu	fbl, div	grau bis grün
Diopsid	CaMgSi ₂ O ₆	VIII	mon	6	3,2-3,3	+	rau	fbl, div	weiß
Spodumen	LiAlSi ₂ O ₆	VIII	mon	6,5-7	3-3,2	+	ue	fbl, div	weiß
Jade(it)	NaAlSi ₂ O ₆	VIII	mon	6,5-7	3,2-3,3	-	ue	fbl, div	weiß
Ägirin	NaFeSi ₂ O ₆	VIII	mon	6-6,5	3,43-3,6	+	ue	dklgrün	gelbbgr,grün

* Verwendete Kürzel am Tabellenende

Stoff*	Formel*	KI	KS*	MH*	ρ^*	s*	Br*	Farbe*	Strichfarbe
Wollastonit	Ca ₃ Si ₃ O ₉	VIII	trik	4,5-5	2,8-3	+	spl	fbl, div	weiß
Rhodonit	CaMn ₄ Si ₅ O ₁₅	VIII	trik	6±0,5	3,4-3,73	+	ue	rosabraun	weiß
Talk, Speckstein	Mg ₃ (OH) ₂ Si ₄ O ₁₀	VIII	mon	1	2,58- 2,83	+	ue	fbl, div, graugrün	weiß
Glimmer	(diverse)	VIII	mon	2,5-3	2,7-3,2	+	blät	div, rosa, br	weiß
Chrysokoll	CuSiO ₃ • n H ₂ O	VIII	div	2-4	2,0-2,4	x	mu	blaugrün	weiß, grün
Orthoklas	KAlSi ₃ O ₈	VIII	mon	6	2,5-2,63	+	mu	fbl, div	weiß
Albit	NaAlSi ₃ O ₈	VIII	trik	6-6,5	2,62	+	mu	fbl, div	weiß
Kalk- feldspat	CaAl ₂ Si ₂ O ₈	VIII	trik	6	2,7	+	spr	weißgrau	weiß
Nephelin	KNa ₃ (AlSiO ₄) ₄	VIII	hex	5,5-6	2,5-2,66	-	mu	fbl, div	weiß
Leucit	NaAlSi ₂ O ₆ • H ₂ O	VIII	tetr	5,5-6	2,5	x	mu	fbl, div	weiß
Analcim	KAlSi ₂ O ₆ • H ₂ O	VIII	kub	5,5	2,2-2,29	x	mu	fbl, div	weiß
Lapislazuli	(Na, Ca) ₈ (SO ₄ , S, Cl) ₂ (AlSiO ₄) ₆	VIII	kub	5,5	2,3-2,4		mu, spr	grünblau, blauviolett	hellblau
Natrolith, Zeolithe	Na ₂ Al ₂ Si ₃ O ₁₀ • 2 H ₂ O	VIII	rho	5,5-6	2,2-2,4	+	mu, fa	fbl, div	weiß
Bernstein	(≈ Pinienharz)	IX	am	1,5-3	1,05-1,1	x	mu	gelbbraun	weiß

* Verwendete Kürzel:

KI	Klasse	KS	Kristallsystem	MH	Mohs-Härte, vgl. Kap. 8.5.3		
rho	rhombisch	mon	monoklin	trik	triklin	trig	trigonal
tetr	tetragonal	hex	hexagonal	am	amorph	kub	kubisch
s	Spaltbarkeit	x	keine	+	vollkommen	-	unvollkommen
Br	Bruch	h	hakig	ue	uneben	mu	muschelrig
sp	splitterig	fa	faserig	su	schuppig	er	erdig
spr	spröde	blät	blättrig	sn	schneidbar	ρ	(g/cm ³)
br	braun	fbl	Farblos	dkl	dunkel	schw	schwarz
org	orange	div	divers	divers, unterschiedlich			

Klassifikation (Klasse I-X) s. Kap. 16.2

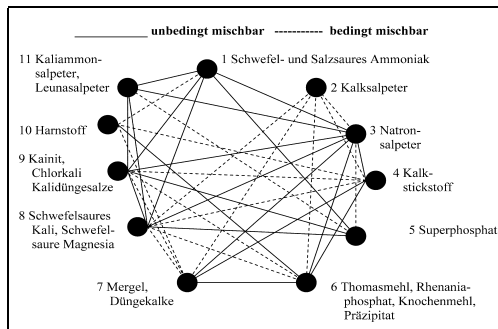
16.5 Mineralische Düngemittel




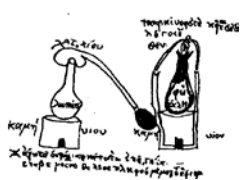
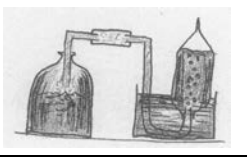
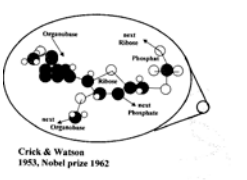
Tabelle 16.10: Düngemittel

Düngemittel	Chemische Zusammensetzung	Anwendung und Wirkung	Anmerkungen
Ammon(ium)-nitrat	NH ₄ NO ₃	senkt pH-Wert	Ätzwirkung möglich
Ammonsulfat, schwefelsaures Ammoniak	(NH ₄) ₂ SO ₄	senkt pH-Wert des Bodens (wirkt ansäuernd)	Herstellung durch Einleiten von CO ₂ in CaSO ₄ -Aufschlämmung mit NH ₃
Am-Sup-Ka	45% (NH ₄) ₂ SO ₄ 33% KCl 21% Ca(H ₂ PO ₄) ₂	senkt pH des Bodens und beugt Ca ²⁺ -Mangel vor	Stark-/Mittelzehrer benötigen ca. 50-70 g/m ² (NH ₄) ₂ SO ₄ (vgl. Tabellenende)
Bittersalz	MgSO ₄ (Magnesiumsulfat)	für Nadelgehölz und Moorbeete	Zuviel K ⁺ hemmt Mg ²⁺ -Aufnahme
Dolomit, Dolomitskalk	MgCO ₃ + CaCO ₃	hebt pH-Wert des Bodens	wirkt langsam und nachhaltig
Doppelsuper-phosphat	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	Puffert pH des Bodens	Herstellung aus Ca ₃ (PO ₄) ₂ + 4 H ₃ PO ₄
Eisensulfat	FeSO ₄	Rasen: ca. 20 g/ m ²	unterdrückt Moose
Harnstoff	CO(NH ₂) ₂	organisch	stickstoffbetonter Dünger

Düngemittel	Chemische Zusammensetzung	Anwendung und Wirkung	Anmerkungen*
Holzasche	enthält u.a. K_2CO_3	hebt pH-Wert des Bodens an	kaliumbetont, nicht in Nutzgärten (ggf. Schwermetalle)
Kaliammonsalpeter	55% KNO_3 + 28% NH_4Cl + 7% KCl + 7% $CaCO_3$ + 2,5% $NaCl$ + 0,5% H_2O	Standarddüngemittel (Kali-Stickstoff-Dünger)	bei hoher Dosierung leichte Bodenversalzung möglich
Kalimagnesia	K_2SO_4 mit MgO (u.ähnl.)	Idealverhältnis $K : Mg = 3:1$	KCl verursacht Salzschäden
Kaliumchlorid, Kaliumsulfat	KCl , K_2SO_4	kann Salzschäden verursachen, andere Kalidünger vorziehen (zuviel K^+ hemmt Mg -Aufnahme)	
Kalk	$CaCO_3$ u.a.	hebt pH-Wert	schadet Moorbeetpflanzen
Kalkammonsalpeter	60% NH_4NO_3 + 35% $CaCO_3$ + 5% div.	gut für phosphatreiche Böden	Stark- und Mittelzeher benötigen 40-60 g/m^2 zur N-Versorgung
Kalkstickstoff (Kalziumcyanamid)	60% $CaCN_2$ + 17% CaO + 12% C	hebt pH-Wert an und wirkt herbizid	wirkt z. T. ätzend, Herstellung: $CaC_2 + N_2 \rightarrow CaCN_2 + C$
Kieserit	(ähnl. Dolomit)	Magnesiumbetont, wirkt langsam + nachhaltig	
Leunaphos	$(NH_4)_2HPO_4$ + $(NH_4)_2SO_4$	senkt pH-Wert	stark N-betont
Magnesiumphosphat	37% $Mg_3(PO_4)_2$ + 43% $CaSO_4$ u. a.	-	stark Mg -/ Ca -betont, nicht für Moorbeetpflanzen
Magnesiumsulfat	$MgSO_4$	für Nadelgehölze	(vgl. Kalimagnesia)
Natronalpeter	$NaNO_3$	(nur Bestandteil von Mehrstoffdüngern)	
Nitrophoska, NPK-Dünger	Mehrnährstoffdünger, für Stark-/Mittelzeher* bezgl. N ca. 100-125 g/m^2 geben (bei 12-15% N-Gehalt)		
Rohphosphat	$Ca_3(PO_4)_2$	wasserunlöslich	Auch: „Hyperphos“
Stickstoffmagnesia	(z.B. MgO + NH_4NO_3)	gut für Mg -arme Böden	Zur N-Versorgung 25-70 g/m^2
Superphosphat	45% $Ca(H_2PO_4)_2$ + 50% $CaSO_4$ + 5% div.	Einsatz bei ausreichendem bis zu hohem pH-Wert	Herstellung aus: $Ca_3(PO_4)_2 + 2 H_2SO_4$
Thomasphosphat	$Ca_3(PO_4)_2 \cdot Ca_2SiO_4$	zur Phosphatversorgung bei zu niedrigem pH	Herstellung durch Mahlen von Thomasschlacke aus Konvertern

* **Starkzeher:** Pflanzen, die viele Nährstoffe für ihr Wachstum verbrauchen (Beispiele: Gurke, Kohl, Tomate, Rhababer, Spargel, Mais),
Schwachzeher: kommen mit sehr wenig Nährstoffen aus (Beispiele: Kräuter, Erbsen, Salate),
Mittelzeher: mittlerer Nährstoffverbrauch
Düngestern:
 Anzeige der chemische Verträglichkeit bzw. Unverträglichkeit von Düngermischungen (vgl. Abb. rechts)



(Vor-)Geschichte der Chemie			
Zeitalter	Neues aus der Chemie	Neu bekannte Verfahren	Neu bekannte Stoffe
Steinzeit (bis ca. 2000 v.Chr.)	 Flamme (Verbrennung)	Feuer und Verbrennung Verkohlung Kochen und Garen Alkoholische Gärung Töpferei, Tonbrennerei	Pigmente/ Farbstoffe Duftstoffe Giftstoffe Baumharz (Klebstoff) Erste Arzneiwirkstoffe
Bronzezeit (ca. 1900 bis 650 v.Chr.)	 Pyrit (Schwefeleisenerz)	Köhlerei Kalkbrennerei Erzreduktion (im Feuer) Backen Färben und Beizen	Holzkohle Gebrannter Kalk Blei, Bronze (Kupfer-Zinn-Legierungen) Färberei (Indigo, Purpur, ...)
Eisenzeit (ab 1000 v.Chr.)	 Erze und Mineralien	Fettverseifung Metallurgische Prozesse: <ul style="list-style-type: none"> • Erzröstung • Röstreduktion • Hochofen-Reaktion Ledergerberei	Eisen, Seife Leim, Harze, Lacke Extrakte und Destillate: <ul style="list-style-type: none"> • Alkohol, • Essig, • Terpentinöl, ...
Antike Probierkunst (bis 650 n.Chr.) und Mittelalterliche Alchimie (650 bis 1650 n.Chr.)	 Apparatur des Zosimos	„Rosenwasser“-Destillation Glasherstellung Schwarzpulverherstellung Iatrochemie Übergang von der ziellosen Probierkunst zum zielgerichteten Experiment (ab ca. 1600 n. Chr.)	Quecksilber, Arsen Gläser, Keramik, Porzellan (ab 13. Jhd.) Schwarzpulver (1250) Soda, Salpeter- und Schwefelsäure (1250) Königswasser (1400) Alaun und reiner Alkohol (1500) Pottasche (1597)
Frühneuzeitliche Chemie (ca. 1650 bis 1800 n.Chr.)	 Wasserstoff-Auffang-Apparatur von R. Boyle	Methanolherstellung aus Holz (1661) Definition des Begriffes „Element“ (1784/1803) Sodaherstellung (1791) Stöchiometrie (1793) <i>Galvani</i> -Element (1798) Katalyse (1807)	Knallgas (1620) Indikatoren (1630) Phosphor (1669) Wasserstoff (1766) Sauerstoff (1772) Edelgase (1785) Natrium (1806)
Industriezeitalterliche (technische, moderne) Chemie (ab ca. 1800 n.Chr.)	 DNS-Modell nach Watson und Crick (Ausschnitt)	Elektrolyse (1806/1832) Harnstoffsynthese (1828) Solvay-Verfahren, Teer-, Azofarbstoffe (≈1836) Bunsenbrenner (1855) Spektralanalyse (1859) Ostwald-Verfahren (1902) Kunststoffe (1907) <i>Haber-Bosch</i> -Verf. (1908) <i>Fischer-Tropsch</i> -Synthese (1922) GC (1952), AAS, NMR, ...	Portland-Zement, Aluminium (1824) Anilin (1834) Chlorgas (1835) „Gummi“ (1838) Stahl (1856) Dynamit (1867) Alizarin (1869) Radium (1898) Bakelit (1907) DNS (1953)

Online-Lernhilfen zu Chemie und Analytik

Parallel und in Ergänzung zu diesem Lehrbuch empfohlene Online-Lernhilfen, -schulen, Materialquellen und Chemiedatenbanken für Labor- und Theorieunterricht im Internet (Stand: 2011):

Arbeitsblätter, Referate und andere **Unterrichtsmaterialien** (Klasse 11-13, allgemein- / berufsbildend):

www.muenster.de/~kanntest/fach/f-chem/f-chem01.htm

www.lehrer-online.de

<http://www.seinacht.tuttlingen.com/Download/Download.htm>

www.zum.de/Schule/Faecher/Ch/NW/C.htm

Referate zum Herunterladen: www.schulweb.de (alle Schulformen und -fächer)

- besonders ergiebig: www.chemieonline.de (viel Angebote auch für die berufliche Bildung!)

Experimente: www.exploratorium.edu/publications

Praktika z. B. auch unter:

<http://de.wiktionary.org/wiki/Anorganik>

http://de.wikibooks.org/wiki/Praktikum_Anorganische_Chemie

http://de.wikibooks.org/wiki/Praktikum_Anorganische_Chemie#Qualitative_Analyse

http://de.wikibooks.org/wiki/Regal:Chemie#Organische_Chemie

international genutzte **Chemie-Datenbanken** (z.B. für Molekülstrukturen):

www.chemfinder.com (nur englisch)

www.cas.org (Chemical Abstracts, englisch)

<http://www.ccdc.cam.ac.uk> (Cambridge Structural Database, engl.)

Allgemeine Lernhilfen (Online-Nachhilfe und Materialien, nicht nur in Chemie):

www.school-scout.de

Nachhilfeunterricht gratis, auf Videos: www.khanacademy.org

(jedoch nur auf English, „chemistry“ anklicken und Thema auswählen)

Umfassende Chemielinks-Sammlung: <http://www.chemie.de>

Internet-Lexikon, viele Chemie-Artikel: www.de.wikipedia.org (Suchworte wie z. B. Chemie, Chemie-Unterricht, Redoxreaktion, Komplex, Chemielabor, Analytische Chemie usw.), für Erstsemester, Berufsschüler/innen und Lehrer/innen empfehlenswert z. B.:

<http://de.wikipedia.org/wiki/Chemieunterricht>

http://de.wikipedia.org/wiki/Chemieunterricht_in_der_Berufsschule

Chemie-Chatroom; Diskussionsforum und beliebter Schülertreffpunkt - auch zum Thema Chemieunterricht (mit Intranet, EduLinks, Literatur, Chatrooms namens Schulhof, Lehrerzimmer, Nachhilfe usw.):

<http://chat.schulweb.de>

Chemienobelpreise: www.nobel.se

Gesellschaft Deutscher Chemiker GDCh: <http://www.gdch.de/>