

# Anhang Der Umgang mit Chemikalien

**GHS**  
Globally Harmonized System

**H-Sätze**  
H von Hazard Statements

**P-Sätze**  
P von Precautionary Statements

Die Etiketten von Chemikaliengefäßen, die Gefahrstoffe enthalten, werden ab dem 1.12.2010 für Reinstoffe und ab dem 1.6.2015 für Gemische nach einem neuen, weltweit gültigen System erstellt, dem GHS. Einige Zeichen bleiben dabei erhalten, andere Zeichen kommen jedoch neu dazu [B1, B2].

**Kennzeichnung nach GHS.** Damit schon auf den ersten Blick die wichtigsten Informationen über die Gefährlichkeit und den Umgang mit dem jeweiligen Gefahrstoff erkennbar sind, verfügt ein Chemikalienetikett nach GHS [B5] über zahlreiche Hinweise. Hierzu gehören: die **Gefahrenpiktogramme**, die **Gefahrenhinweise (H-Sätze)**, die **Sicherheitshinweise (P-Sätze)** und die **Signalwörter**.

**Gefahrenpiktogramme.** Die neun Gefahrenpiktogramme (GHS01 bis GHS09) ermöglichen eine schnelle Information über die Hauptgefahr eines Stoffes.









**Gefahrenklasse.** Je nach seiner Gefährlichkeit gehört ein Gefahrstoff zu mindestens einer Gefahrenklasse. Ein Gefahrenpiktogramm umfasst häufig mehrere Gefahrenklassen [B2]. So kann z. B. das Gefahrenpiktogramm GHS05 (Ätzwirkung) bedeuten, dass der Stoff zu der Gefahrenklasse „Metallkorrosiv“, „Hautreizend“,

„Hautätzend“, „Schwere Augenschädigung“ oder „Augenreizung“ gehört.

**Gefahrenkategorie.** Eine Gefahrenklasse wird zur genaueren Kennzeichnung weiter in Gefahrenkategorien untergliedert.

Symbol	Kennbuchstabe, Gefahrenbezeichnung	Symbol	Kennbuchstabe, Gefahrenbezeichnung
	T+ Sehr giftig		E Explosionsgefährlich
	T Giftig		O Brandfördernd
	Xn Gesundheitsschädlich		F+ Hochentzündlich
	Xi Reizend		F Leichtentzündlich
	C Ätzend		N Umweltgefährlich

**B1** Bisherige Gefahrensymbole und ihre Bedeutung

Symbol	Bezeichnung	Gefahrenklasse
	GHS01 (Explosierende Bombe)	- Explosive Stoffe, - Selbstentzündliche Stoffe u. a.
	GHS02 (Flamme)	- Entzündbare Flüssigkeiten, - Entzündbare Gase u. a.
	GHS03 (Flamme über einem Kreis)	- Entzündend wirkende Flüssigkeiten und Feststoffe, - Entzündend wirkende Gase
	GHS04 (Gasflasche)	- Unter Druck stehende Gase
	GHS05 (Ätzwirkung)	- Metallkorrosiv, - Hautätzend, - Hautreizend u. a.
	GHS06 (Totenkopf mit gekreuzten Knochen)	- Akute Toxizität
	GHS07 (Ausrufezeichen)	- Hautreizend, - Augenreizend, - Sensibilisierung der Haut u. a.
	GHS08 (Gesundheitsgefahr)	- Krebszeugend, - Erbgutverändernd u. a.
	GHS09 (Umwelt)	- Gewässergefährdend

**B2** Gefahrenpiktogramme und ihre Bedeutung (vereinfacht) nach GHS

So ist z.B. die Gefahrenklasse „Entzündbare Flüssigkeiten“ in die Gefahrenkategorie 1 („Flüssigkeit und Dampf extrem entzündbar“), in die Gefahrenkategorie 2 („Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar“) und in die Gefahrenkategorie 3 („Flüssigkeit und Dampf entzündbar“) unterteilt.

**Signalwörter.** Signalwörter sind neue Kennzeichnungselemente. Sie geben Auskunft über den relativen Gefährdungsgrad eines Stoffes oder eines Stoffgemisches. Es gibt zwei verschiedene Signalwörter:

**Gefahr** für schwerwiegende Gefahrenkategorien

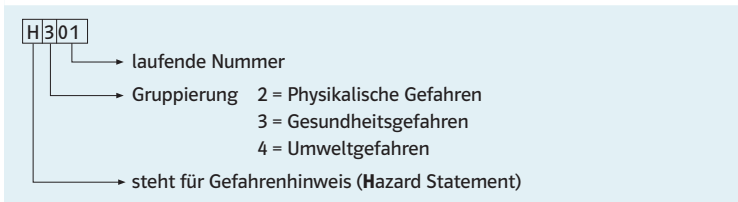
**Achtung** für weniger schwerwiegende Gefahrenkategorien

Für den Fall, dass ein Stoff zu unterschiedlichen Gefahrenklassen gehört, die beide Signalwörter nach sich ziehen, wird nur das Signalwort „Gefahr“ verwendet.

**Gefahrenhinweise (H-Sätze).** Eine genaue Kennzeichnung der Gefährdung wird durch die Angabe eines H-Satzes erreicht. H-Sätze sind Gefahrenhinweise und mit den bisherigen R-Sätzen vergleichbar. H-Sätze sind so aufgebaut, dass die erste Ziffer angibt, ob von dem Gefahrstoff hauptsächlich physikalische Gefahren, Gesundheitsgefahren oder Umweltgefahren ausgehen [B3]. Die beiden folgenden Ziffern bilden dann einen standardisierten Textbaustein, der die von dem Stoff ausgehenden Gefahren näher beschreibt.

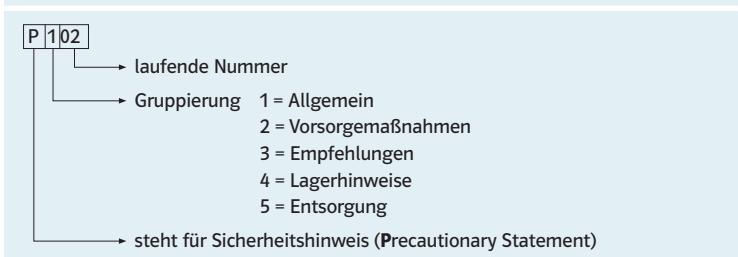
**Sicherheitshinweise (P-Sätze).** P-Sätze sind Sicherheitshinweise und mit den bisherigen S-Sätzen vergleichbar. P-Sätze sind wie die H-Sätze so aufgebaut, dass die erste Ziffer angibt, auf welchen Bereich sich der Sicherheitshinweis bezieht, z. B. auf eine Vorsorgemaßnahme oder auf die Entsorgung [B4]. Die beiden folgenden Ziffern bilden dann einen standardisierten Textbaustein, der die Sicherheitshinweise näher beschreibt.

H 224	Flüssigkeit und Dampf extrem entzündbar
H 290	Kann gegenüber Metallen korrosiv sein
H 300	Lebensgefahr beim Verschlucken
H 314	Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden
H 412	Sehr giftig für Wasserorganismen



B3 Aufbau eines H-Satzes mit Beispielen

P 101	Ist ärztlicher Rat erforderlich, Verpackung oder Etikett bereithalten
P 102	Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen
P 201	Vor Gebrauch besondere Anweisungen einholen
P 315	Bei Unwohlsein ärztlichen Rat/ärztliche Hilfe hinzuziehen
P 402	An einem trockenen Ort aufbewahren



B4 Aufbau eines P-Satzes mit Beispielen

**Name und Produktidentifikatoren**

Methanol (Lösungsmittel)  
(Index-Nr. 603-001-00-X)

**Gefahrenpiktogramme**

**Nennmenge, wenn Stoff oder Gemisch der breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird**

200 l

**Signalwort**

Gefahr

Flüssigkeiten und Dampf leicht entzündbar.  
Giftig bei Verschlucken.  
Giftig bei Hautkontakt.  
Giftig bei Einatmen.  
Schädigt die Augen – Entzündungsgefahr.

Von Hitze/Funken/offener Flamme/heißen Oberflächen fernhalten.  
An einem gut belüfteten Ort lagern.  
Behälter dicht verschlossen halten.  
Schutzhandschuhe/Schutzkleidung tragen.

Bei Berührung mit der Haut:  
Mit reichlich Wasser und Seife waschen.  
Bei Verschlucken:  
Sofort Giftinformationszentrum oder Arzt rufen.  
Unter Verschluss lagern.

**H-Sätze, Anzahl durch GHS-VO vorgegeben**

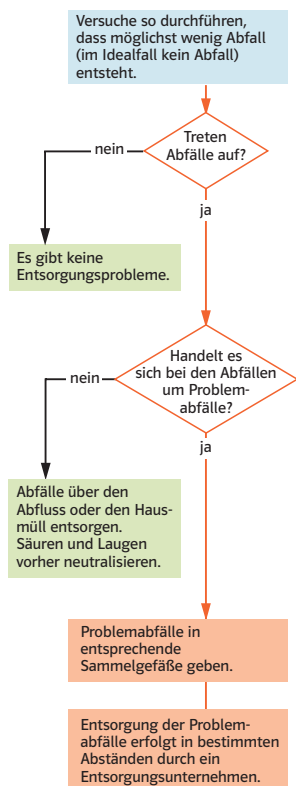
**P-Sätze, maximal 6**

Musterfirma, 11111 Musterstadt, Tel. 049 (0)123 456 789-99

**Name, Anschrift, Telefonnummer des Lieferanten**

B5 Neues Gefahrstoff-Etikett nach GHS

# Anhang Entsorgung von Chemikalienabfällen



## B1 Abfälle beim Experimentieren

Nach der Durchführung von Experimenten bleiben oft Abfälle (z. B. Chemikalienreste oder Reaktionsprodukte) zurück. Diese Abfälle können gesundheits-, luft- oder wassergefährdend, explosionsgefährlich oder brennbar sein. Nach dem Abfallgesetz werden solche Abfälle als **Problemabfälle** bezeichnet. Zur Entsorgung der Problemabfälle stehen im Chemieraum geeignete Sammelgefäße zur Verfügung. Bleiben z. B. nach einem Experiment Benzinreste zurück, so dürfen diese nicht einfach in den Ausguss gegeben werden, da sie auf diese Weise über das Abwasser in die Umwelt gelangen würden. Die Benzinreste müssen deshalb in ein Sammelgefäß für organische Lösungsmittel gegeben werden. Die gesammelten Abfälle werden in bestimmten Abständen von einem Entsorgungsunternehmen abgeholt und wiederaufbereitet oder als Sondermüll beseitigt (Müllverbrennung oder Sondermüll-Deponierung [B2]).

**Möglichst wenig Abfälle.** Besonders im Chemieunterricht gilt der Grundsatz Abfälle möglichst zu vermeiden [B1]. Gerade die Entsorgung von Problemabfällen ist oft schwierig und mit Umweltgefährdungen verbunden. Bei der Versuchsdurchführung sind deshalb nur möglichst kleine Stoffportionen zu verwenden. In der Regel wird ein Versuchsergebnis durch die Verwendung größerer Stoffportionen nicht verbessert. Entscheidend ist die sorgfältige und genaue Durchführung der Versuche.



B2 Lagerung von Sondermüll in einer Untertage-Deponie

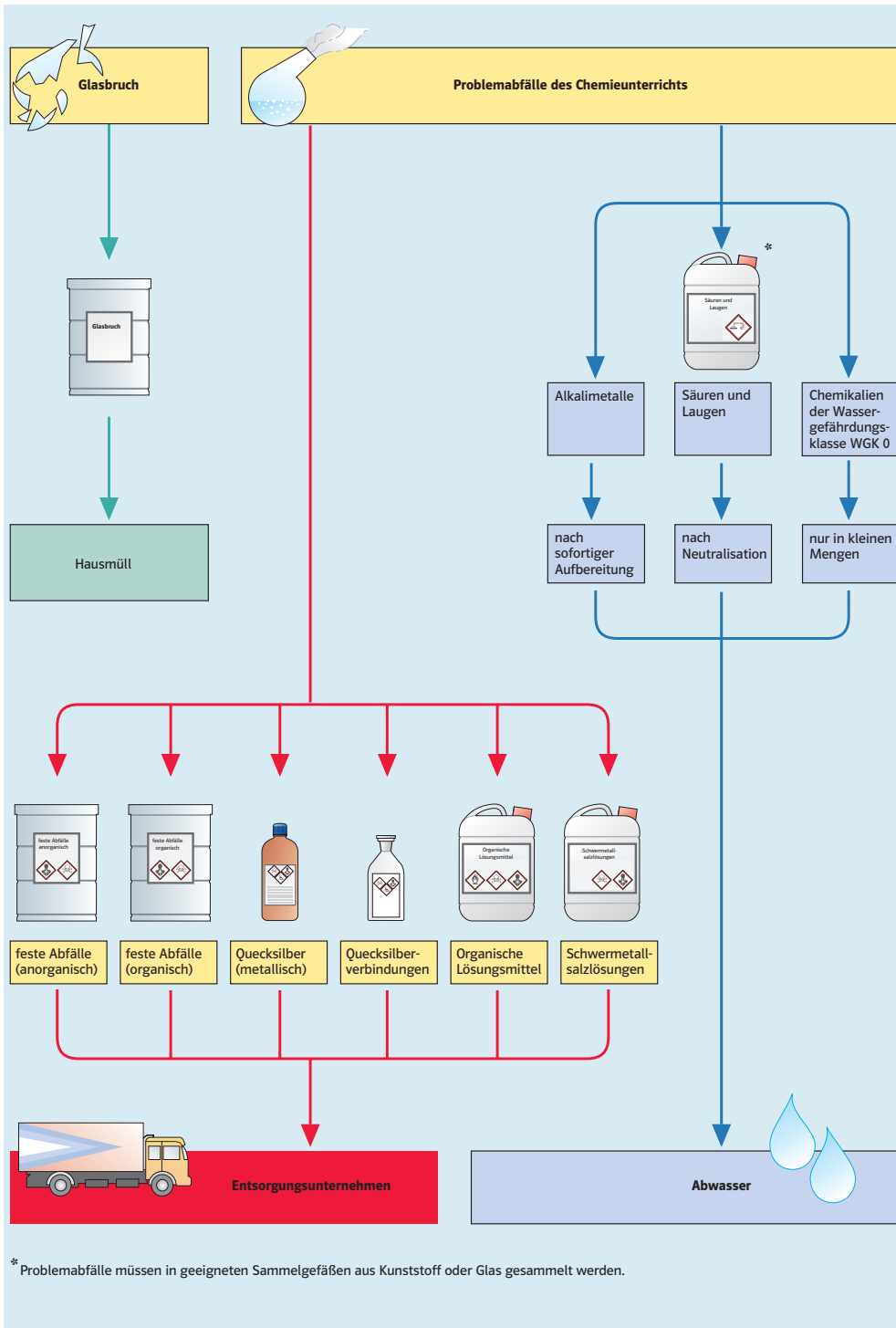
**Wassergefährdungsklassen.** Viele Problemabfälle aus dem Chemieunterricht sind flüssig. Werden sie über den Ausguss beseitigt, können sie unterschiedlich stark die Umwelt belasten. Zur Unterscheidung der Wassergefährdung teilt man die Chemikalien in vier **Wassergefährdungsklassen (WGK)** ein. Chemikalien, die ungiftig und biologisch abbaubar sind, gehören der Wassergefährdungsklasse 0 an, alle anderen werden je nach ihrem Gefährdungsgrad in die Klassen 1 bis 3 eingestuft.

- WGK 0:** im Allgemeinen nicht wassergefährdend, z. B. Alkohol (Ethanol) oder Kochsalzlösung
- WGK 1:** schwach wassergefährdend, z. B. Säuren oder Laugen
- WGK 2:** wassergefährdend, z. B. Dieselöl oder Benzin
- WGK 3:** stark wassergefährdend, z. B. Quecksilber oder Quecksilberverbindungen

Nur Chemikalien, die der Wassergefährdungsklasse 0 angehören, dürfen in kleinen Mengen in den Ausguss gegeben werden. Alle anderen Chemikalien müssen zunächst gesammelt und dann entsorgt werden.

**Kennzeichnung der Sammelgefäße.** Da viele Chemikalienabfälle Gefahrstoffe sind, müssen die Sammelgefäße mit den international gebräuchlichen Gefahrensymbolen gekennzeichnet werden. Bestehen die Abfälle aus einem Gemisch unterschiedlicher Gefahrstoffe, wird mit dem Gefahrensymbol gekennzeichnet, das den gefährlichsten Stoff des Gemisches angibt.

**Entsorgungsplan.** Bei der Sammlung der Abfälle ist ein Entsorgungsplan nützlich, der in übersichtlicher Form zeigt, in welcher Weise die Chemikalienreste gesammelt und entsorgt werden. Der abgebildete Entsorgungsplan (nächste Seite) zeigt beispielhaft, wie Chemikalienabfälle gesammelt und weitergeleitet werden können. Fallen im Unterricht noch weitere Abfälle an, muss der Plan ergänzt oder abgeändert werden.



# Anhang Gefahren- und Sicherheitshinweise: H- und P-Sätze

## Gefahrenhinweise für physikalische Gefahren

H 200	Instabil, explosiv.
H 201	Explosiv, Gefahr der Massenexplosion.
H 202	Explosiv; große Gefahr durch Splitter, Spreng- und Wurstücke.
H 203	Explosiv; Gefahr durch Feuer, Luftdruck oder Splitter, Spreng- und Wurstücke.
H 204	Gefahr durch Feuer oder Splitter, Spreng- und Wurstücke.
H 205	Gefahr der Massenexplosion bei Feuer.
H 220	Extrem entzündbares Gas.
H 221	Entzündbares Gas.
H 222	Extrem entzündbares Aerosol.
H 223	Entzündbares Aerosol.
H 224	Flüssigkeit und Dampf extrem entzündbar.
H 225	Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar.
H 226	Flüssigkeit und Dampf entzündbar.
H 228	Entzündbarer Feststoff.
H 240	Erwärmung kann Explosion verursachen.
H 241	Erwärmung kann Brand oder Explosion verursachen.
H 242	Erwärmung kann Brand verursachen.
H 250	Entzündet sich in Berührung mit Luft von selbst.
H 251	Selbsterhitzungsfähig, kann in Brand geraten.
H 252	In großen Mengen selbsterhitzungsfähig, kann in Brand geraten.
H 260	In Berührung mit Wasser entstehen entzündbare Gase, die sich spontan entzünden können.
H 261	In Berührung mit Wasser entstehen entzündbare Gase.
H 270	Kann Brand verursachen oder verstärken; Oxidationsmittel.
H 271	Kann Brand oder Explosion verursachen; starkes Oxidationsmittel.
H 272	Kann Brand verstärken, Oxidationsmittel.
H 280	Enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren.
H 281	Enthält tiefkaltes Gas; kann Kälteverbrennungen oder -verletzungen verursachen.
H 290	Kann gegenüber Metallen korrosiv sein.

## Gefahrenhinweise für Gesundheitsgefahren

H 300	Lebensgefahr bei Verschlucken.
H 301	Giftig bei Verschlucken.
H 302	Gesundheitsschädlich bei Verschlucken.
H 304	Kann bei Verschlucken und Eindringen in die Atemwege tödlich sein.
H 310	Lebensgefahr bei Hautkontakt.
H 311	Giftig bei Hautkontakt.
H 312	Gesundheitsschädlich bei Hautkontakt.
H 314	Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.
H 315	Verursacht Hautreizungen.
H 317	Kann allergische Hautreaktionen verursachen.
H 318	Verursacht schwere Augenschäden.
H 319	Verursacht schwere Augenreizung.
H 330	Lebensgefahr bei Einatmen.
H 331	Giftig bei Einatmen.
H 332	Gesundheitsschädlich bei Einatmen.
H 334	Kann bei Einatmen Allergie, asthmaartige Symptome oder Atembeschwerden verursachen.
H 335	Kann die Atemwege reizen.
H 336	Kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen.
H 340	Kann genetische Defekte verursachen <sup>1</sup>
H 341	Kann vermutlich genetische Defekte verursachen <sup>1</sup> .
H 350	Kann Krebs erzeugen <sup>1</sup> .
H 350i	Kann bei Einatmen Krebs erzeugen.

H 351	Kann vermutlich Krebs erzeugen <sup>1</sup> .
H 360	Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen oder das Kind im Mutterleib schädigen <sup>2,1</sup> .
H 360F	Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen.
H 360D	Kann das Kind im Mutterleib schädigen.
H 360FD	Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Kann das Kind im Mutterleib schädigen.
H 360Fd	Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen.
H 360Df	Kann das Kind im Mutterleib schädigen. Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen.
H 361	Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen oder das Kind im Mutterleib schädigen <sup>2,1</sup> .
H 361f	Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen.
H 361d	Kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen.
H 361fd	Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen.
H 362	Kann Säuglinge über die Muttermilch schädigen.
H 370	Schädigt die Organe <sup>3,1</sup> .
H 371	Kann die Organe schädigen <sup>3,1</sup> .
H 372	Schädigt die Organe <sup>4</sup> bei längerer oder wiederholter Exposition <sup>1</sup> .
H 373	Kann die Organe schädigen <sup>4</sup> bei längerer oder wiederholter Exposition.

<sup>1</sup> Expositionsweg angeben, sofern schlüssig belegt ist, dass diese Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht

<sup>2</sup> Konkrete Wirkung angeben, sofern bekannt

<sup>3</sup> Oder alle betroffenen Organe nennen, sofern bekannt

<sup>4</sup> Alle betroffenen Organe nennen, sofern bekannt

## Gefahrenhinweise für Umweltgefahren

H 400	Sehr giftig für Wasserorganismen.
H 410	Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung.
H 411	Giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung.
H 412	Schädlich für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung.
H 413	Kann für Wasserorganismen schädlich sein, mit langfristiger Wirkung.

## Sicherheitshinweise – Allgemeines

P 101	Ist ärztlicher Rat erforderlich, Verpackung oder Etikett bereithalten.
P 102	Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen.
P 103	Vor Gebrauch Kennzeichnungsetikett lesen.

## Sicherheitshinweise – Prävention

P 201	Vor Gebrauch besondere Anweisungen einholen.
P 202	Vor Gebrauch alle Sicherheitsratschläge lesen und verstehen.
P 210	Von Hitze/Funken/offener Flamme/heißen Oberflächen fernhalten. Nicht rauchen.
P 211	Nicht gegen offene Flammen oder andere Zündquellen sprühen.
P 220	Von Kleidung/.../brennbaren Materialien fernhalten/ entfernt aufbewahren
P 221	Mischen mit brennbaren Stoffen/.../unbedingt verhindern.
P 222	Kontakt mit Luft nicht zulassen.
P 223	Kontakt mit Wasser wegen heftiger Reaktion und möglichem Aufblähen unbedingt verhindern.
P 230	Feucht halten mit ...

- P 231 Unter inertem Gas handhaben.
- P 232 Vor Feuchtigkeit schützen.
- P 233 Behälter dicht verschlossen halten.
- P 234 Nur im Originalbehälter aufbewahren.
- P 235 Kühl halten.
- P 240 Behälter und zu befüllende Anlage erden.
- P 241 Explosionsgeschützte elektrische Anlagen/Lüftungsanlagen/Beleuchtungsanlagen/.../verwenden.
- P 242 Nur funkenfreies Werkzeug verwenden.
- P 243 Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen treffen.
- P 244 Druckminderer frei von Fett und Ölen halten.
- P 250 Nicht schleifen/stoßen/.../reiben.
- P 251 Behälter steht unter Druck: Nicht durchstechen oder verbrennen, auch nicht nach der Verwendung.
- P 260 Staub/Rauch/Gas/Nebel/Dampf/Aerosol nicht einatmen.
- P 261 Einatmen von Staub/Rauch/Gas/Nebel/Dampf/Aerosol vermeiden.
- P 262 Nicht in die Augen, auf die Haut oder auf die Kleidung gelangen lassen.
- P 263 Kontakt während der Schwangerschaft/ und der Stillzeit vermeiden.
- P 264 Nach Gebrauch ... gründlich waschen.
- P 270 Bei Gebrauch nicht essen, trinken oder rauchen.
- P 271 Nur im Freien oder in gut belüfteten Räumen verwenden.
- P 272 Kontaminierte Arbeitskleidung nicht außerhalb des Arbeitsplatzes tragen.
- P 273 Freisetzung in die Umwelt vermeiden.
- P 280 Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz/Gesichtsschutz tragen.
- P 281 Vorgeschriebene persönliche Schutzausrüstung verwenden.
- P 282 Schutzhandschuhe/Gesichtsschild/Augenschutz mit Kälteisolierung tragen.
- P 283 Schwer entflammbar/flammhemmende Kleidung tragen.
- P 284 Atemschutz tragen.
- P 285 Bei unzureichender Belüftung Atemschutz tragen.

**Sicherheitshinweise – Reaktion**

- P 301 Bei Verschlucken:
- P 302 Bei Berührung mit der Haut:
- P 303 Bei Berührung mit der Haut (oder dem Haar):
- P 304 Bei Einatmen:
- P 305 Bei Kontakt mit den Augen:
- P 306 Bei kontaminierter Kleidung:
- P 307 Bei Exposition:
- P 308 Bei Exposition oder falls betroffen:
- P 309 Bei Exposition oder Unwohlsein:
- P 310 Sofort Giftinformationszentrum oder Arzt anrufen.
- P 311 Giftinformationszentrum oder Arzt anrufen.
- P 312 Bei Unwohlsein Giftinformationszentrum oder Arzt anrufen.
- P 313 Ärztlichen Rat einholen/ärztliche Hilfe hinzuziehen.
- P 314 Bei Unwohlsein ärztlichen Rat einholen/ärztliche Hilfe hinzuziehen.
- P 315 Sofort ärztlichen Rat einholen/ärztliche Hilfe hinzuziehen
- P 320 Besondere Behandlung dringend erforderlich (siehe ... auf diesem Kennzeichnungsetikett)..
- P 321 Besondere Behandlung (siehe ... auf diesem Kennzeichnungsetikett).
- P 322 Gezielte Maßnahmen (siehe ... auf diesem Kennzeichnungsetikett)
- P 322 Gezielte Maßnahmen (siehe ... auf diesem Kennzeichnungsetikett).
- P 330 Mund ausspülen.
- P 331 KEIN Erbrechen herbeiführen.
- P 332 Bei Hautreizung:

- P 333 Bei Hautreizung oder -ausschlag:
- P 334 In kaltes Wasser tauchen/nassen Verband anlegen.
- P 335 Lose Partikel von der Haut abbürsten.
- P 336 Vereiste Bereiche mit lauwarmem Wasser auftauen. Betroffene Bereiche nicht reiben.
- P 337 Bei anhaltender Augenreizung:
- P 338 Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter ausspülen.
- P 340 Die betroffene Person an die frische Luft bringen und in einer Position ruhigstellen, die das Atmen erleichtert.
- P 341 Bei Atembeschwerden an die frische Luft bringen und in einer Position ruhigstellen, die das Atmen erleichtert.
- P 342 Bei Symptomen der Atemwege:
- P 350 Behutsam mit viel Wasser und Seife waschen.
- P 351 Einige Minuten lang behutsam mit Wasser ausspülen.
- P 352 Mit viel Wasser und Seife waschen.
- P 353 Haut mit Wasser abwaschen/duschen.
- P 360 Kontaminierte Kleidung und Haut sofort mit viel Wasser abwaschen und danach Kleidung ausziehen.
- P 361 Alle kontaminierten Kleidungsstücke sofort ausziehen.
- P 362 Kontaminierte Kleidung ausziehen und vor erneutem Tragen waschen.
- P 363 Kontaminierte Kleidung vor erneutem Tragen waschen.
- P 370 Bei Brand:
- P 371 Bei Großbrand und großen Mengen:
- P 372 Explosionsgefahr bei Brand.
- P 373 KEINE Brandbekämpfung, wenn das Feuer explosive Stoffe/ Gemische/Erzeugnisse erreicht.
- P 374 Brandbekämpfung mit üblichen Vorsichtsmaßnahmen aus angemessener Entfernung
- P 375 Wegen Explosionsgefahr Brand aus der Entfernung bekämpfen.
- P 376 Undichtigkeit vermeiden, wenn gefahrlos möglich.
- P 377 Brand von ausströmendem Gas: Nicht löschen, bis Undichtigkeit gefahrlos beseitigt werden kann.
- P 378 ... zum Löschen verwenden.
- P 380 Umgebung räumen.

**Sicherheitshinweise – Lagerung**

- P 381 Alle Zündquellen entfernen, wenn gefahrlos möglich.
- P 390 Verschüttete Mengen aufnehmen, um Materialschäden zu vermeiden.
- P 391 Verschüttete Mengen aufnehmen.
- P 401 ... aufbewahren.
- P 402 An einem trockenen Ort aufbewahren.
- P 403 An einem gut belüfteten Ort aufbewahren.
- P 404 In einem geschlossenen Behälter aufbewahren.
- P 405 Unter Verschluss aufbewahren.
- P 406 In korrosionsbeständigem/... Behälter mit widerstandsfähiger Innenauskleidung lagern.
- P 407 Luftspalt zwischen Stapeln/Paletten lassen.
- P 410 Vor Sonnenbestrahlung schützen.
- P 411 Bei Temperaturen von nicht mehr als ... °C/... °F aufbewahren.
- P 412 Nicht Temperaturen von mehr als 50 °C/122 °F aussetzen.
- P 413 Schüttgut in Mengen von mehr als ... kg/ ... lbs bei Temperaturen von nicht mehr als ... °C/ ... °F aufbewahren.
- P 420 Von anderen Materialien entfernt aufbewahren.
- P 422 Inhalt in/unter ... aufbewahren.

**Sicherheitshinweise – Entsorgung**

- P 501 Inhalt/Behälter ... zuführen.



# Anhang Größen und Größengleichungen



$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\Leftrightarrow m = \rho \cdot V$$

$$\Leftrightarrow V = \frac{m}{\rho}$$

Ein Goldbarren der Masse  $m = 100 \text{ g}$  hat das Volumen:

$$V = \frac{100 \text{ g}}{19,32 \text{ g/cm}^3} = 5,18 \text{ cm}^3$$

Ein Goldnugget mit dem Volumen  $V = 100 \text{ cm}^3$  hat die Masse:

$$m = \frac{19,32 \text{ g}}{\text{cm}^3} \cdot 100 \text{ cm}^3 = 1932 \text{ g} = 1,932 \text{ kg}$$

**B1** Umgang mit den Größen Masse, Volumen und Dichte

$$m_t(\text{Na}) = m_t(\text{Na}^+)$$

$$m_t(\text{A}) = m_t(\text{A}^{2+})$$

$$m_t(\text{Cl}) = m_t(\text{Cl}^-)$$

$$m_t(\text{B}) = m_t(\text{B}^{2-})$$

**B2** Die Massen der Atomionen entsprechen den Atommassen

## Normbedingungen

$\vartheta = 0^\circ\text{C}$  ( $T = 273,15 \text{ K}$ ) und  $p = 1013,25 \text{ hPa}$

nicht verwechseln mit

## Standardbedingungen

$\vartheta = 25^\circ\text{C}$  ( $T = 298,15 \text{ K}$ ) und  $p = 1013,25 \text{ hPa}$

## Masse, Volumen und Dichte

Den Umfang einer Stoffportion beschreibt man häufig mit der *Masse*  $m$  oder mit dem *Volumen*  $V$ . Die *Dichte*  $\rho$  ist eine Stoffeigenschaft. Mithilfe der Dichte kann man die Masse einer Stoffportion in das Volumen umrechnen und umgekehrt [B1]. Dabei dürfen die Einheiten nicht vergessen werden.

## Teilchenmasse und Stoffmenge

*Teilchenmassen*  $m_t$  sind sehr klein. Deshalb gibt man sie in u (von engl. unit, Einheit) an.

$$\text{Es gilt: } 1 \text{ u} = 1,66054 \cdot 10^{-24} \text{ g}$$

$$1 \text{ g} = 6,02214 \cdot 10^{23} \text{ u}$$

Die Masse eines Moleküls oder einer Elementargruppe in Ionenverbindungen ergibt sich durch Addition der Atommassen. Die Massen von Atomionen entsprechen den Atommassen, da man die sehr kleine Differenz nicht berücksichtigt, die sich aus der Aufnahme bzw. Abgabe der Elektronen ergibt [B2].

Die Anzahl der Atome, Moleküle oder Ionen ist selbst in sehr kleinen Stoffportionen riesig groß. Deshalb fasst man eine sehr große Anzahl zur Einheit Mol zusammen. Eine Stoffportion, die  $6,022 \cdot 10^{23}$  Teilchen enthält, hat die *Stoffmenge*  $n = 1 \text{ mol}$ .

Die Stoffmenge  $n$  ist nur ein anderer Name für die Teilchenanzahl  $N$ . Der Begriff „Stoffmenge“ wird jedoch bevorzugt verwendet, wenn die Teilchenanzahl in Mol angegeben wird. Die Einheit Mol hat den Vorteil, dass mit kleinen Zahlen gerechnet werden kann.

Stoffportion	Teilchen (bzw. Elementargruppe)	Teilchenmasse $m_t$ bzw. molare Masse $M$		Teilchenanzahl $N$ bzw. Stoffmenge $n$	
		$m_t$	$M$	$N$	$n$
12 g Kohlenstoff	C	12,0 u	12,0 g/mol	$6,022 \cdot 10^{23}$	1,0 mol
5,6 g Stickstoff	N <sub>2</sub>	28,0 u	28,0 g/mol	$1,204 \cdot 10^{23}$	0,20 mol
18 g Wasser	H <sub>2</sub> O	18,0 u	18,0 g/mol	$6,022 \cdot 10^{23}$	1,0 mol
1,1 g Kohlenstoffdioxid	CO <sub>2</sub>	44,0 u	44,0 g/mol	$1,506 \cdot 10^{22}$	0,025 mol
585 g Natriumchlorid	NaCl	58,5 u	58,5 g/mol	$6,022 \cdot 10^{24}$	10,0 mol

**B3** Beispiele für Stoffportion und Teilchenanzahl

Für die Umrechnung einer beliebigen Teilchenanzahl  $N$  in die Stoffmenge  $n$  verwendet man die Avogadro-Konstante  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

$$n = \frac{N}{N_A}$$

## Die molare Masse

Den Quotienten aus der Masse  $m$  und der Stoffmenge  $n$  einer Stoffportion nennt man molare Masse  $M$ .

$$M = \frac{m}{n} \quad \text{Übliche Einheit: g/mol}$$

Die molare Masse  $M$  ist identisch mit der Teilchenmasse  $m_t$ , sie wird nur in einer anderen Einheit angegeben.

## Das molare Volumen

Den Quotienten aus dem Volumen  $V$  und der Stoffmenge  $n$  einer Stoffportion nennt man molares Volumen  $V_m$ .

$$V_m = \frac{V}{n} \quad \text{Übliche Einheit: l/mol}$$

Gleiche Volumina verschiedener Gase bei gleichem Druck und gleicher Temperatur enthalten annähernd gleich viele Teilchen. Umgekehrt haben Gasportionen mit gleichen Teilchenanzahlen auch gleiche Volumina.

Das molare Volumen von Gasen ist:

– bei  $0^\circ\text{C}$  und  $1013 \text{ hPa}$  (*Normbedingungen*):

$$V_m \approx 22,4 \text{ l/mol}$$

– bei  $20^\circ\text{C}$  und  $1013 \text{ hPa}$ :

$$V_m \approx 24 \text{ l/mol}$$

**Der Massenanteil**

Eine Kochsalzlösung mit  $w = 0,9\%$  enthält 0,9 g Natriumchlorid in 100 g Kochsalzlösung. Eine Salzsäure mit  $w = 25\%$  enthält 25 g Hydrogenchlorid in 100 g Salzsäure. Es handelt sich um den *Massenanteil*.

Der Massenanteil  $w$  eines Bestandteils A ist der Quotient aus der *Masse* des Bestandteils  $m(\text{Bestandteil A})$  dividiert durch die *Gesamtmasse* des Gemisches  $m(\text{Gemisch})$ .

$$w(\text{Bestandteil A}) = \frac{m(\text{Bestandteil A})}{m(\text{Gemisch})}$$

Der Massenanteil ist eine Zahl zwischen 0 und 1. Multipliziert man die Zahl mit 100 % (= 1), erhält man den Massenanteil in Prozent.

**Die Massenkonzentration**

Der Gehalt an Kationen und Anionen in einem Mineralwasser wird häufig in Milligramm pro Liter (mg/l) angegeben. Es handelt sich um die *Massenkonzentration*.

Die Massenkonzentration  $\beta$  ist der Quotient aus der *Masse* eines Bestandteils A  $m(\text{Bestandteil A})$  und dem *Volumen* der Lösung  $V(\text{Lösung})$ .

$$\beta(\text{Bestandteil A}) = \frac{m(\text{Bestandteil A})}{V(\text{Lösung})}$$

Mögliche Einheiten: mg/l, g/l, g/m<sup>3</sup>

**Die Volumenkonzentration**

Auf den Etiketten alkoholischer Getränke steht der Alkoholgehalt in Prozent. Es handelt sich um die *Volumenkonzentration*.

Die Volumenkonzentration  $\sigma$  eines Bestandteils A ist der Quotient aus dem *Volumen* des Bestandteils  $V(\text{Bestandteil A})$  dividiert durch das *Gesamtvolumen* des Gemisches  $V(\text{Gemisch})$ .

$$\sigma(\text{Bestandteil A}) = \frac{V(\text{Bestandteil A})}{V(\text{Gemisch})}$$

Die Volumenkonzentration ist eine Zahl zwischen 0 und 1. Multipliziert man die Zahl mit 100 % (= 1), erhält man die Volumenkonzentration in Prozent.

**Die Stoffmengenkonzentration**

Bei Titrationen ermittelt man Stoffmengen gelöster Stoffe mithilfe von Maßlösungen mit bekannter Stoffmengenkonzentration.

Die *Stoffmengenkonzentration*  $c$  ist der Quotient aus der *Stoffmenge* des gelösten Bestandteils  $n(\text{Teilchen A})$  und dem *Volumen* der Lösung  $V(\text{Lösung})$ .

$$c(\text{Teilchen A}) = \frac{n(\text{Teilchen A})}{V(\text{Lösung})}$$

Übliche Einheit: mol/l

$$\Leftrightarrow n(\text{Teilchen A}) = c(\text{Teilchen A}) \cdot V(\text{Lösung})$$

**Berechnung einer Stoffmengenkonzentration**

Bekannt: Masse eines Bestandteils A, Volumen der Lösung

Gesucht: Stoffmengenkonzentration der Teilchen des Stoffes A

$$c(\text{Teilchen A}) = \frac{n(\text{Teilchen A})}{V(\text{Lösung})} \quad (1)$$

$$n(\text{Teilchen A}) = \frac{m(\text{Bestandteil A})}{M(\text{Teilchen A})} \quad (2)$$

Einsetzen von Gleichung (2) in (1) ergibt:

$$c(\text{Teilchen A}) = \frac{m(\text{Bestandteil A})}{M(\text{Teilchen A}) \cdot V(\text{Lösung})} \quad (3)$$

**Größen**

$n$ : Stoffmenge  
 $N$ : Teilchenanzahl  
 $m$ : Masse  
 $m_t$ : Teilchenmasse  
 $M$ : molare Masse  
 $V$ : Volumen  
 $V_m$ : molares Volumen  
 $\rho$ : Dichte  
 $w$ : Massenanteil  
 $\beta$ : Massenkonzentration  
 $\sigma$ : Volumenkonzentration  
 $c$ : Stoffmengenkonzentration

**Konzentrationen** sind auf das Volumen bezogene Größen

**Tip**

Anhand der Einheiten kann man überprüfen, ob beim Hantieren mit den Größengleichungen nicht doch ein Fehler unterlaufen ist.

**Beziehung zwischen Massen- und Stoffmengenkonzentration**

Die Definition der Massenkonzentration  $\beta$  ist:

$$\beta(\text{Bestandteil A}) = \frac{m(\text{Bestandteil A})}{V(\text{Lösung})} \quad (4)$$

Oben wurde für die Stoffmengenkonzentration  $c$  hergeleitet:

$$c(\text{Teilchen A}) = \frac{m(\text{Bestandteil A})}{M(\text{Teilchen A}) \cdot V(\text{Lösung})} \quad (3)$$

Wenn man in Gleichung (3) die Definition (4) einsetzt, ergibt sich:

$$c(\text{Teilchen A}) = \frac{m(\text{Bestandteil A})}{M(\text{Teilchen A}) \cdot V(\text{Lösung})} = \frac{\beta(\text{Bestandteil A})}{M(\text{Teilchen A})}$$

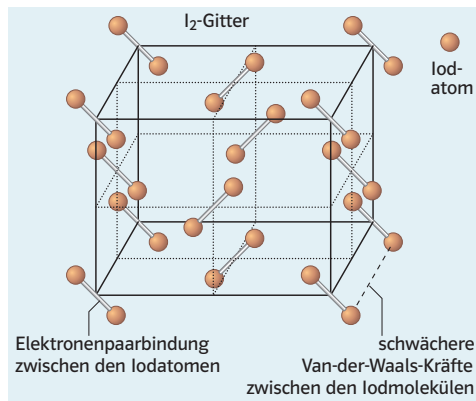
$$\Leftrightarrow \beta(\text{Bestandteil A}) = c(\text{Teilchen A}) \cdot M(\text{Teilchen A})$$



# Anhang Zwischenmolekulare Kräfte



**B1** JOHANNES DIDERIK VAN DER WAALS (1837–1923)



**B3** Molekülgitter von Iod

**induzieren** von lat. inducere, hervorrufen

Nähern sich zwei Moleküle, kommt es immer zu Wechselwirkungen. Je nach der räumlichen Struktur und der Polarität der Moleküle sind die Wechselwirkungen unterschiedlich stark. Von diesen *zwischenmolekularen Kräften* hängen die Eigenschaften ab, die ein Stoff hat. Zwischenmolekulare Kräfte sind in der Regel schwächer als chemische Bindungen.

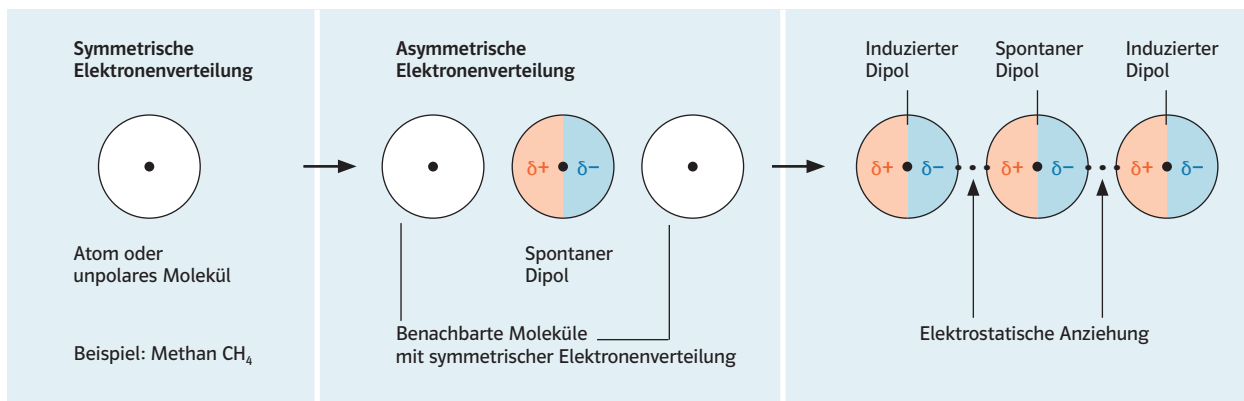
**Van-der-Waals-Kräfte.** Der niederländische Physiker JOHANNES D. VAN DER WAALS [B1] erkannte, dass zeitweise in einem Atom oder Molekül eine Verschiebung der Ladung auftreten kann [B2]. Kurzzeitig entstehen so eine positive und eine negative Partialladung (Teilladung). Es tritt ein **spontaner Dipol** auf. Benachbarte Atome oder Moleküle werden

dadurch so beeinflusst, dass in diesen ebenfalls eine unsymmetrische Ladungsverteilung zustande kommt [B2]. In den benachbarten Atomen bzw. Molekülen entstehen also ebenfalls positive und negative Partialladungen. Es liegen **induzierte Dipole** vor.

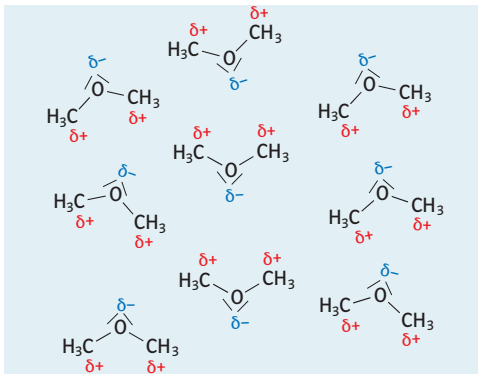
Aufgrund der unsymmetrischen Ladungsverteilungen ziehen sich die Atome bzw. Moleküle elektrostatisch an. Diese Wechselwirkung bezeichnet man als *Van-der-Waals-Kräfte*. Beispielsweise treten sie zwischen den Edelgasatomen auf. Die Van-der-Waals-Kräfte sind auch die Ursache für die Ausbildung von Molekülgittern. So ordnen sich Iodmoleküle in einem Gitter an [B3].

**Dipol-Dipol-Kräfte.** In Dipolmolekülen sind die Partialladungen, die durch Elektronegativitätsunterschiede entstehen, unsymmetrisch angeordnet. In solchen Molekülen liegt ein **permanenter Dipol** vor.

Zwischen Molekülen mit einem permanenten Dipol kommt es aufgrund der unterschiedlichen Ladungsverteilung zu Wechselwirkungen. Diese sind stärker als die Van-der-Waals-Kräfte, aber schwächer als die Anziehungskräfte, die zwischen Ionen und Dipolen bestehen. Beispiele für Verbindungen, deren Moleküle permanente Dipole darstellen, sind Chlormethan ( $\text{CH}_3\text{Cl}$ ), die Interhalogene Chlorfluorid ( $\text{ClF}$ ) und Bromfluorid ( $\text{BrF}$ ), sowie verschiedene Etherverbindungen, wie z. B. Dimethylether ( $\text{CH}_3\text{OCH}_3$ ) [B4].



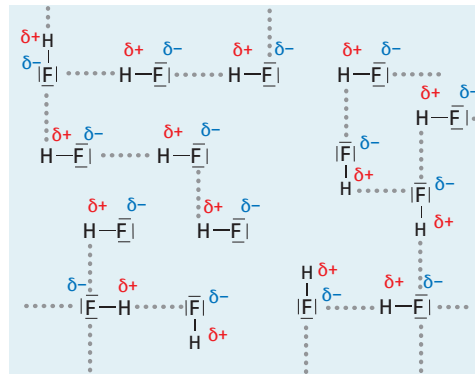
**B2** Entstehung der Van-der-Waals-Kräfte



**B4** Dipol-Dipol-Kräfte am Beispiel von Dimethyläthermolekülen

**Dipol-Ionen-Kräfte.** Salze bestehen aus positiv und negativ geladenen Ionen. Diese können mit Dipolmolekülen in Wechselwirkung treten, z. B. beim Lösen in Wasser. Die Kationen ziehen dabei den negativ geladenen Pol der Dipolmoleküle an, die Anionen den positiven [B5]. Erst unter Zufuhr von Energie lösen sich die Teilchen wieder voneinander.

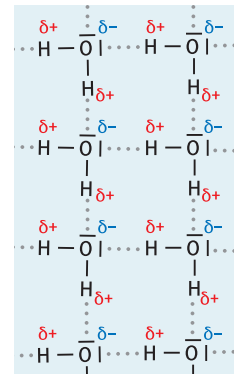
**Wasserstoffbrücken.** Sind in einem Molekül Wasserstoffatome an Sauerstoff-, Stickstoff- oder Fluoratome gebunden, so haben die Wasserstoffatome aufgrund der großen Elektronegativitätsdifferenz besonders große positive Partialladungen. Die Wasserstoffatome treten in Wechselwirkung mit den nicht bindenden Elektronenpaaren der Sauerstoff-, Stickstoff- bzw. Fluoratome. Es ist eine Wasserstoffbrücke entstanden [B6, B7].



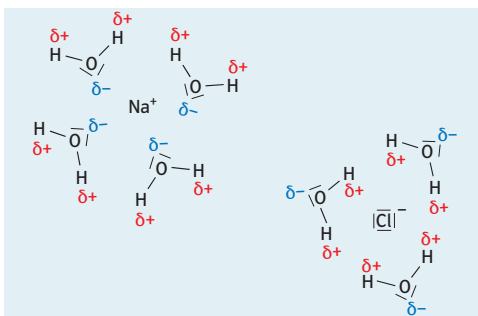
**B6** Wasserstoffbrücken bei Fluorwasserstoffmolekülen

Allgemein lässt sich Folgendes sagen: Wasserstoffbrücken werden zwischen Molekülen ausgebildet, in denen Wasserstoffatome an stark elektronegative Atome mit mindestens einem freien Elektronenpaar gebunden sind.

Zwischen einzelnen Teilchen können Wechselwirkungen auftreten. Beruhen sie auf induzierten Dipolen, spricht man von Van-der-Waals-Kräften. Bei kleinen Molekülen sind die Van-der-Waals-Kräfte schwach. Haben die Moleküle permanente Dipole, sind die zwischenmolekularen Kräfte meist stärker. Diese Dipol-Dipol-Kräfte sind jedoch nicht so stark wie die Dipol-Ionen-Kräfte zwischen permanenten Dipolen und Ionen. Daneben gibt es noch die Wasserstoffbrücken, die meist stärker sind als Van-der-Waals-Kräfte.



**B7** Wasserstoffbrücken bei Wassermolekülen



**B5** Dipol-Ionen-Kräfte in einer Natriumchlorid-Lösung

**A1** Nennen Sie die Ihnen bekannten zwischenmolekularen Kräfte und geben Sie jeweils ein Beispiel für einen Stoff an, bei dem diese wirken.

**A2** Entscheiden Sie, ob sich zwischen Fluorwasserstoffmolekülen und Wassermolekülen Wasserstoffbrücken ausbilden können. Begründen Sie Ihre Entscheidung.

# Anhang Tabellen

Kohlenstoffverbindungen und funktionelle Gruppen	
Namen der Stoffklassen	Beispiele
Strukturformeln und Namen der funktionellen Gruppen	Namen und Strukturformeln
Alkene Ungesättigte Fettsäuren	Ethen $\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & \backslash & / \\ & \text{C} = \text{C} \\ & / & \backslash \\ \text{H} & & \text{H} \end{array}$
C=C-Doppelbindung (C=C-Zweifachbindung)	Ölsäure (Z-Octadec-9-en-säure) $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7 \begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & \backslash & / \\ & \text{C} = \text{C} \\ & / & \backslash \\ \text{H} & & \text{H} \end{array} (\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Alkohole	Ethanol $\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\   &   \\ \text{H}-\text{C}- & \text{C}-\text{O}-\text{H} \\   &   \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$
Hydroxygruppe	Propantriol (Glycerin) $\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C} & -\text{CH} & -\text{CH}_2 \\   &   &   \\ \text{O} & \text{O} & \text{O} \\   &   &   \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$
Aldehyde	Methanal (Formaldehyd) $\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{H}-\text{C} \\   \\ \text{H} \end{array}$
Aldehydgruppe	Ethanal (Acetaldehyd) $\begin{array}{c} \text{H} & \text{O} \\   &    \\ \text{H}-\text{C}- & \text{C}-\text{H} \\   & \\ \text{H} & \end{array}$
Ketone	Propanon (Aceton) $\begin{array}{c} \text{H} & \text{O} & \text{H} \\   &    &   \\ \text{H}-\text{C}- & \text{C}- & \text{C}-\text{H} \\   & &   \\ \text{H} & & \text{H} \end{array}$
Ketogruppe	Butanon (Ethylmethylketon) $\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} & \text{O} & \text{H} \\   &   &    &   \\ \text{H}-\text{C}- & \text{C}- & \text{C}- & \text{C}-\text{H} \\   &   & &   \\ \text{H} & \text{H} & & \text{H} \end{array}$
Carbonsäuren	Methansäure (Ameisensäure) $\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{H}-\text{C} \\   \\ \text{O}-\text{H} \end{array}$
Carboxygruppe	Ethansäure (Essigsäure) $\begin{array}{c} \text{H} & \text{O} \\   &    \\ \text{H}-\text{C}- & \text{C}-\text{H} \\   & \\ \text{H} & \text{O}-\text{H} \end{array}$
Ester (Carbonsäureester) Fette (Fettsäureglycerinester)	Ethansäurebutylester (Essigsäurebutylester, Butylethanoat, Butylacetat) $\begin{array}{c} \text{H} & \text{O} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\   &    &   &   &   &   \\ \text{H}-\text{C}- & \text{C}-\text{O}- & \text{C}- & \text{C}- & \text{C}- & \text{C}-\text{H} \\   & &   &   &   &   \\ \text{H} & & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$
Estergruppe	1-Ölsäure-2-linolsäure- 3-linolensäure-glycerinester $\begin{array}{c} \text{H} & \text{O} & \text{H} & \text{O} & \text{H} & \text{O} \\   &    &   &    &   &    \\ \text{H}-\text{C}- & \text{O}- & \text{C}-\text{C}_{17}\text{H}_{33} & \text{O}- & \text{C}-\text{C}_{17}\text{H}_{31} & \text{O}- & \text{C}-\text{C}_{17}\text{H}_{29} \\   & & & & & &   \\ \text{H} & & & & & & \text{H} \end{array}$

Naturkonstanten		Vielfache und Teile von Einheiten				Griechische Zahlwörter (nach chemischer Nomenklatur)			
Planck-Konstante	$h = 6,626\,068\,96 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$	<b>Vorsatz</b>	<b>Faktor</b>	<b>Vorsatz</b>	<b>Faktor</b>	1/2	hemi	11	undeca
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	$c = 299\,792\,458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	y	Yocto $10^{-24}$	da	Deka $10^1$	1	mono	12	dodeca
Avogadro-Konstante	$N_A = 6,022\,141\,79 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	z	Zepto $10^{-21}$	h	Hekto $10^2$	2	di	13	trideca
Elementarladung	$e = 1,602\,176\,487 \cdot 10^{-19} \text{ A} \cdot \text{s}$	a	Atto $10^{-18}$	k	Kilo $10^3$	3	tri	14	tetradeca
Faraday-Konstante	$F = N_A \cdot e = 96\,485,34 \text{ A} \cdot \text{s} \cdot \text{mol}^{-1}$	f	Femto $10^{-15}$	M	Mega $10^6$	4	tetra	15	pentadeca
Boltzmann-Konstante	$k = 1,380\,650\,4 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$	p	Piko $10^{-12}$	G	Giga $10^9$	5	penta	16	hexadeca
Universelle Gaskonstante	$R = N_A \cdot k = 8,314\,472 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	n	Nano $10^{-9}$	T	Tera $10^{12}$	6	hexa	17	heptadeca
		$\mu$	Mikro $10^{-6}$	P	Peta $10^{15}$	7	hepta	18	octadeca
		m	Milli $10^{-3}$	E	Exa $10^{18}$	8	octa	19	enneadeca
		c	Zenti $10^{-2}$	Z	Zetta $10^{21}$	9	nona	20	icosa (eicosa)
		d	Dezi $10^{-1}$	Y	Yotta $10^{24}$	10	deca		

Größen und Einheiten					
Name	Zeichen	Größe, Beziehung	Erläuterungen	Einheitenname	Einheitenzeichen
Masse	$m$			[Kilo]gramm Atomare Masseneinheit	[k]g $1 \text{ u} = 1,661 \cdot 10^{-24} \text{ g}$
Volumen	$V$		Produkt aus drei Längen	Kubik[zenti]meter Liter Milliliter	[c]m <sup>3</sup> $1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3$ $1 \text{ ml} = 1 \text{ cm}^3$
Anzahl	$N$			Eins	1
Stoffmenge	$n$	$n = \frac{N}{N_A}$	$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} / \text{mol}$ (AVOGADRO-Konstante)	Mol	mol
Dichte	$\rho$	$\rho = \frac{m}{V}$	$m$ : Masse der Stoffportion $V$ : Volumen der Stoffportion		g/cm <sup>3</sup> $1 \text{ g/l} = 0,001 \text{ g/cm}^3$
molare Masse	$M$	$M = \frac{m}{n}$	$m$ : Masse der Reinstoffportion $n$ : Stoffmenge der Reinstoffportion		g/mol
molares Volumen	$V_m$	$V_m = \frac{V}{n}$	$V$ : Volumen der Reinstoffportion $n$ : Stoffmenge der Reinstoffportion		l/mol
Stoffmengen-konzentration	$c$	$c = \frac{n}{V}$	$n$ : Stoffmenge einer Teilchenart $V$ : Volumen der Mischung		mol/l
Massenanteil	$w$	$w_1 = \frac{m_1}{m_s}$	$m_1$ : Masse des Bestandteils 1 $m_s$ : Summe aller Massen (Gesamtmasse)	Prozent	1 $1\% = \frac{1}{100}$
Volumenanteil	$\varphi$	$\varphi_1 = \frac{V_1}{V_s}$	$V_1$ : Volumen des Bestandteils 1 $V_s$ : Summe aller Volumina vor dem Mischen	Prozent	1 $1\% = \frac{1}{100}$
Kraft	$F$	$F = m \cdot a$	$a$ : Beschleunigung	Newton	$1 \text{ N} = \frac{1 \text{ kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$
Druck	$p$	$p = \frac{F}{A}$	$A$ : Flächeninhalt	Pascal Bar Millibar	$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$ $1 \text{ mbar} = 1 \text{ hPa}$
Energie	$E$	$W = F \cdot s$	Energie ist die Fähigkeit zur Arbeit $W$ $s$ : Weglänge	Joule Kilojoule	$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$ kJ
Celsius-temperatur	$t, \vartheta$			Grad Celsius	°C
thermodynamische Temperatur	$T$	$\frac{T}{\text{K}} = \frac{t}{^\circ\text{C}} + 273,15$		Kelvin	K
elektrische Ladung	$Q$			Coulomb	C
elektrische Stromstärke	$I$	$I = \frac{Q}{t}$	$Q$ : Ladung $t$ : Zeit	Ampere	$1 \text{ A} = 1 \frac{\text{C}}{\text{s}}$

Chemische Elemente und Eigenschaften der elementaren Stoffe													
Name	Elementsymbol	Ordnungszahl	Atommasse in u <sup>4)</sup>	Dichte <sup>1)</sup> in g/cm <sup>3</sup> (Gase: g/l)	Schmelztemperatur in °C	Siedetemperatur in °C	Name	Elementsymbol	Ordnungszahl	Atommasse in u <sup>4)</sup>	Dichte <sup>1)</sup> in g/cm <sup>3</sup> (Gase: g/l)	Schmelztemperatur in °C	Siedetemperatur in °C
Actinium	Ac	89	227,0278*	10,1	1050	3200	Neon	Ne	10	20,1797	0,84	-249	-246
Aluminium	Al	13	26,981538	2,70	660	2467	Nickel	Ni	28	58,6934	8,90	1455	2730
Antimon	Sb	51	121,760	6,68	630	1750	Niob	Nb	41	92,90638	8,57	2468	4742
Argon	Ar	18	39,948	1,66	-189	-186	Osmium	Os	76	190,23	22,5	2700	5300
Arsen	As	33	74,92160	5,72	613 s	—	Palladium	Pd	46	106,42	12,0	1554	2970
Astat	At	85	209,9862*	—	302	337	Phosphor	P	15	30,973761	1,82 <sup>3)</sup>	44 <sup>3)</sup>	280
Barium	Ba	56	137,327	3,51	725	1640	Platin	Pt	78	195,078	21,4	1772	3827
Beryllium	Be	4	9,012182	1,85	1278	2970	Polonium	Po	84	208,9824*	9,4	254	962
Bismut	Bi	83	208,98038	9,8	271	1560	Praseodym	Pr	59	140,90765	6,77	931	3512
Blei	Pb	82	207,2	11,4	327	1740	Protactinium	Pa	91	231,03588	15,4	1840	4030
Bor	B	5	10,811	2,34	2300	2550	Quecksilber	Hg	80	200,59	13,55	-39	356
Brom	Br	35	79,904	3,12	-7	59	Radium	Ra	88	226,0254*	5,0	700	1140
Cadmium	Cd	48	112,411	8,65	321	765	Radon	Rn	86	222,0176*	9,23	-71	-62
Caesium	Cs	55	132,90545	1,88	28	669	Rhenium	Re	75	186,207	20,5	3180	5627
Calcium	Ca	20	40,078	1,54	839	1484	Rhodium	Rh	45	102,90550	12,4	1966	3727
Cer	Ce	58	140,116	6,65	799	3426	Rubidium	Rb	37	85,4678	1,53	39	686
Chlor	Cl	17	35,453	2,99	-101	-35	Ruthenium	Ru	44	101,07	12,3	2310	3900
Chrom	Cr	24	51,9961	7,20	1857	2672	Sauerstoff	O	8	15,9994	1,33	-219	-183
Cobalt	Co	27	58,933200	8,9	1495	2870	Scandium	Sc	21	44,955910	3,0	1541	2831
Eisen	Fe	26	55,845	7,87	1535	2750	Schwefel	S	16	32,065	2,07 (rh)	119 (mo)	444
Fluor	F	9	18,9984032	1,58	-219	-188	Selen	Se	34	78,96	4,81	217	685
Francium	Fr	87	223,0197*	—	27	677	Silber	Ag	47	107,8682	10,5	962	2212
Gallium	Ga	31	69,723	5,90	30	2403	Silicium	Si	14	28,0855	2,32	1410	2355
Germanium	Ge	32	72,64	5,32	937	2830	Stickstoff	N	7	14,0067	1,17	-210	-196
Gold	Au	79	196,96655	19,32	1064	3080	Strontium	Sr	38	87,62	2,60	769	1384
Hafnium	Hf	72	178,49	13,3	2227	4602	Tantal	Ta	73	180,9479	16,6	2996	5425
Helium	He	2	4,002602	0,17	-272 p	-269	Technetium	Tc*	43	97,9072*	11,5	2172	4877
Indium	In	49	114,818	7,30	156	2080	Tellur	Te	52	127,60	6,0	449	990
Iod	I	53	126,90447	4,93	113	184	Thallium	Tl	81	204,3833	11,8	303	1457
Iridium	Ir	77	192,217	22,41	2410	4130	Thorium	Th	90	232,0381	11,7	1750	4790
Kalium	K	19	39,0983	0,86	63	760	Titan	Ti	22	47,867	4,51	1660	3287
Kohlenstoff	C	6	12,0107	2,25 <sup>2)</sup>	3650 s <sup>2)</sup>	—	Uran	U	92	238,02891	19,0	1132	3818
Krypton	Kr	36	83,798	3,48	-157	-152	Vanadium	V	23	50,9415	5,96	1890	3380
Kupfer	Cu	29	63,546	8,92	1083	2567	Wasserstoff	H	1	1,00794	0,083	-259	-253
Lanthan	La	57	138,9055	6,17	921	3457	Wolfram	W	74	183,84	19,3	3410	5660
Lithium	Li	3	6,941	0,53	180	1342	Xenon	Xe	54	131,293	5,49	-112	-107
Magnesium	Mg	12	24,3050	1,74	649	1107	Yttrium	Y	39	88,90585	4,47	1522	3338
Mangan	Mn	25	54,938049	7,20	1244	1962	Zink	Zn	30	65,409	7,14	419	907
Molybdän	Mo	42	95,94	10,2	2610	5560	Zinn	Sn	50	118,710	7,30	232	2270
Natrium	Na	11	22,989770	0,97	98	883	Zirconium	Zr	40	91,224	6,49	1852	4377

Die Elemente mit den Ordnungszahlen 60 bis 71 und ab 93 sind nicht aufgeführt.

1) Dichteangaben für 20 °C und 1013 hPa

2) Angaben gelten für Graphit; Diamant: Schmelztemperatur 3550 °C, Dichte 3,51 g/cm<sup>3</sup>

3) Angaben gelten für weißen Phosphor; roter Phosphor: Schmelztemperatur 590 °C (p), Dichte 2,34 g/cm<sup>3</sup>

4) Atomare Masseneinheit u: 1 u = 0,000 000 000 000 000 000 000 001 660 54 g (\*Atommasse des langlebigsten Isotops)

s = sublimiert

p = unter Druck

— = Werte nicht bekannt