

Inhaltsverzeichnis

Der Aufbau der Atome

Die kleinsten Teilchen I - Die wichtigsten Elementarteilchen.....	1
Die kleinsten Teilchen II - Atome.....	2
Die kleinsten Teilchen III - Stoffe, eine Vorschau	3
Die kleinsten Teilchen IV - Die Atommasse chemischer Elemente.....	4
Die Elektronenhülle I - Das Schalenmodell.....	5
Die Elektronenhülle II - Die Elektronegativität.....	6

Der Aufbau der Reinstoff

Metallische Stoffe I - Der Aufbau von Metallen	7
Nichtmetallische Stoffe I - Die stabile Elektronenanordnung der Edelgasatome.....	8
Nichtmetallische Stoffe II - Moleküle.....	9
Nichtmetallische Stoffe III - Das Tetraedermodell der Valenzschale	10
Nichtmetallische Stoffe IV - Doppel- und Dreifachbindungen	11
Nichtmetallische Stoffe V - Weitere wichtige Moleküle.....	12
Stoffe aus geladenen Stoffteilchen I - Einfache Ionen.....	13
Stoffe aus geladenen Stoffteilchen II - Salze	14
Stoffe aus geladenen Stoffteilchen III - Einfache Salzkristalle	15
Stoffe aus geladenen Stoffteilchen IV - Molekülionen.....	16
Die Stoffteilchen in ständiger Bewegung - Die Wärmebewegung.....	17
Die bewegungsabhängige Zusammenlagerung der Stoffteilchen - Aggregatzustände.....	18
Die Bauklötzchen der Natur - Stoffteilchen.....	19

Stoffmischungen

Die Stoffteilchen halten zusammen- Stoffbestimmung und Stofftrennung mit Hilfe der Schmelz- und Siedepunkte.....	20
Stoffteilchen vermischen sich mit anderen Stoffteilchen - Löslichkeit	21
Das Löslichkeitsverhalten von Ionenverbindungen in Wasser	22
Trennmethoden mit Hilfe der Löslichkeit.....	23
Übersicht über die verschiedenen Trennverfahren	24

Stoffumwandlungen

Chemische Reaktionen.....	25
Reaktionsgleichungen und Massenverhältnisse	26
Bindungsspaltung und Bindungsbildung	27
Energie und Aktivierung	28
Die Umkehrbarkeit von Reaktionen am Beispiel der Elektrolyse	29

Die kleinsten Teilchen II - Atome

Atome: *Elektrisch neutrale Teilchen, die aus einem Kern - gebildet aus Protonen und Neutronen - und einer Hülle aus Elektronen bestehen.*

Der Atomkern macht weniger als den zehntausendsten Teil des gesamten Atomdurchmessers aus. Die Atomdurchmesser variieren zwischen $1 \cdot 10^{-10}$ bis $5 \cdot 10^{-10}$ m. Alle Bilder aus der Erfahrungswelt des Alltags vermögen die Elektronenhülle nicht zutreffend zu beschreiben. So sind z.B. Modellvorstellungen von Elektronen, die planetenähnlich auf exakt beschreibbaren Umlaufbahnen um den Kern kreisen, falsch. Es lässt sich nur nachweisen, dass die Dichte der negativen Ladung in der Elektronenhülle nicht gleichmässig verteilt ist. Es gibt Bereiche, in denen sich die Elektronen häufiger aufhalten.

Bei chemischen Reaktionen (Stoffveränderungen) ist nur der äusserste Rand der Elektronenhülle, nicht aber der Atomkern betroffen. Zur systematischen Erfassung der Atome eignet sich daher nur der Kern. Massgebend für diese Erfassung ist die Anzahl der Protonen im Kern. Diese Zahl nennt man

Ordnungszahl: *Anzahl der Protonen im Kern.*

Anstelle der Ordnungszahl kann auch das Atomsymbol einer Atomsorte angegeben werden. Oft gibt man die Ordnungszahl zusätzlich unten links neben dem Atomsymbol an. Man ist dann in der Lage, sofern die Gesamtzahl der Kernbausteine eines bestimmten Atomes angegeben ist, die Anzahl der Neutronen dieses Atomes zu berechnen. Die Zahl der Neutronen hat auf den aus diesen Atomen aufgebauten Stoff fast keinen Einfluss. Die unterschiedlichen Sorten von Atomen nennt man

Elemente: *Atomsorten (unterscheidbar aufgrund der Protonenzahl).*

Alle bekannten Atomsorten sind in einer Tabelle festgehalten, dem Periodensystem der Elemente (PSE). Die Elemente sind nach steigender Ordnungszahl geordnet.

Massenzahl: *Anzahl der Protonen und Neutronen in einem Kern.*
Sie wird oben links neben dem Atomsymbol angegeben.

Nuklid: *Anstelle des Wortes "Atom", wenn die Massenzahl von Interesse ist und angegeben wird.*

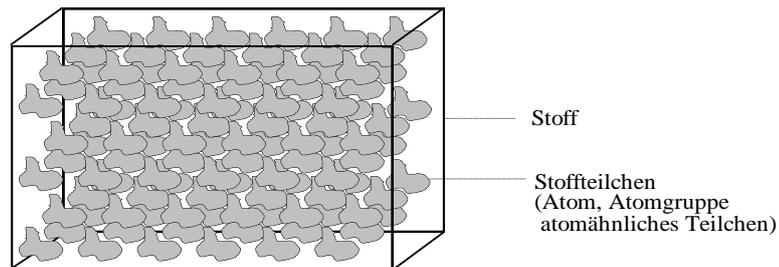
Isotop: (griechisch: iso=gleich, topos=Ort; der gleiche Ort im PSE)
Nuklid eines bestimmten Elementes, welches von anderen Nukliden desselben Elementes unterschieden werden soll.

Die kleinsten Teilchen III - Stoffe, eine Vorschau

Stoffe wie z.B. Eisen sind aus kleinsten Teilchen aufgebaut. Diese kleinsten Teilchen, die eines ans andere gefügt den Stoff aufbauen, sind aber nur in seltenen Fällen Atome. Das ist nur bei allen metallischen Stoffen und bei den sogenannten Edelgasen Helium, Neon, Argon, Krypton, Xenon, und Radon der Fall. Bei allen anderen Stoffen sind Atome nur Bestandteile von Gebilden aus Atomen, welche eins ans andere gefügt den Stoff aufbauen. Man nennt die aneinander gefügten Einheiten, welche den Stoff aufbauen

Stoffteilchen:

Das kleinste Teilchen (Atom, Atomgruppe, atomähnliches Teilchen), welches noch chemische Eigenschaften des Stoffes aufweist.



Das PSE enthält alle Atomsorten, welche zur Stoffbildung zur Verfügung stehen. Nun gibt es Stoffe, welche nur eine bestimmte Atomsorte (Element) enthalten. Unabhängig davon wie diese Atome den Stoff aufbauen, nennt man sie

Elementare Stoffe:

Stoffe, deren Stoffteilchen nur Atome derselben Ordnungszahl enthalten.

Man unterscheidet grob zwischen metallischen und nichtmetallischen elementaren Stoffen. Will man einen Stoff mit einer chemischen Formel bezeichnen, gibt man dazu die Formel der darin enthaltenen Stoffteilchen an mit dem Zusatz (s) für feste, (l) für flüssige und (g) für gasförmige Stoffe. Man erkennt elementare Stoffe daran, dass in der Stoffformel nur eine Atomsorte vorkommt. Bei elementaren Stoffen, welche aus Atomen aufgebaut sind (alle Metalle und Edelgase), stimmt das Atomsymbol mit der Stoffformel überein (Fe für das Element Eisen, aber auch für den Stoff Eisen). Andere Elementare Stoffe enthalten zwar auch nur eine Atomsorte, doch werden mittels tief geschriebener Zahlen Hinweise auf die Zusammensetzung der Stoffteilchen gegeben (O für das Element Sauerstoff, aber $O_2(g)$ für das durchsichtige Gas Sauerstoff). Das Gegenteil von elementaren Stoffen sind

Verbindungen:

Stoffe, welche Atome von mehr als einer Ordnungszahl enthalten.

Die meisten bekannten Stoffe sind Verbindungen. Die Stoffformel enthält mehrere verschiedene Atomsymbole. Oft geben tief geschriebene Zahlen wiederum Hinweise auf die Zusammensetzung der Stoffteilchen. (Wasser $H_2O(l)$ enthält Stoffteilchen, welche aus zwei Atomen des Elementes Wasserstoff und einem Atom des Elementes Sauerstoff bestehen.)

Die kleinsten Teilchen IV - Die Atommasse chemischer Elemente

Die Massenzahl liefert bereits Informationen über das Gewicht eines bestimmten Atomes eines Elementes. Weil sowohl die p^+ als auch die n^0 ca. 1 u schwer sind, entspricht die Massenzahl der gerundeten Atommasse dieses einzelnen Atomes in u. Nun enthält das PSE aber ungerundete Zahlen, die betragsmässig ungefähr der Atommasse eines speziellen Atomes entsprechen.

35.45	Atommasse
Cl	
17	2
	8
	7

Es handelt sich hier um die Elementmasse oder die

Atommasse eines Elements: *Die nach Häufigkeit des natürlichen Vorkommens gewichtete durchschnittliche Atommasse aller Isotope eines chemischen Elementes.*

Eine solche Zahl macht Sinn. Als Chemiker hat man es fast immer mit Isotopengemischen zu tun, d.h. ein Stoff enthält fast immer alle verschiedenen Isotope eines Elementes.

Wenn wir die Masse der Atome kennen und die Masse des Stoffes messen, sind wir in der Lage, auf die Anzahl der sich im Stoff befindlichen Atome zu schliessen. Weil nun nicht alle Atome gleich schwer sind, funktioniert das aber nur über das durchschnittliche Gewicht der Atome. Diese Methode eignet sich aber auch nur deshalb, weil die Isotopenverteilung in den Stoffen auf der Erde überall konstant und dieselbe ist.

Massenzahlen im PSE?

Erfahrungsgemäss bietet die Unterscheidung zwischen der Atommasse und der Massenzahl Schwierigkeiten. Man muss diese beiden Begriffe auseinanderhalten können. Massenzahlen sind für den normalen Chemiker von untergeordneter Bedeutung. Er interessiert sich für Stoffveränderungen. Die beteiligten Stoffe enthalten fast immer Isotopengemische, also interessiert die Durchschnittsmasse der Isotope. Das PSE ist eine Tabelle für den "normalen Chemiker" und enthält demzufolge nur durchschnittliche Atommassen.

Radiochemiker (Strahlenchemiker) und Kernphysiker interessieren sich für das unterschiedliche Verhalten der Kerne von verschiedenen Isotopen. Für deren Kennzeichnung benötigen sie Massenzahlen. Spezielle Isotopentabellen geben ihnen Auskunft über die verschiedenen Isotope eines Elementes. Wenn die relative Häufigkeit der Isotope in einem Element bekannt ist, kann die Atommasse berechnet werden (s. Fragen).

Die Elektronenhülle I - Das Schalenmodell

Bei chemischen Reaktionen (Stoffveränderungen) wird ausschliesslich der äusserste Bereich der Elektronenhüllen verändert; daher müssen wir uns nun mit dem Bau der Elektronenhülle der Atome befassen.

Wie bereits erwähnt, verhalten sich Elektronen nicht immer entsprechend der klassischen Physik. Die klassische Physik ist ein Sonderfall einer allgemein gültigen Physik. Sie gilt nur für grössere "normal" bewegte Körper. Sehr schnelle Körper (Lichtgeschwindigkeit) zeigen bereits ein Verhalten, das mit der klassischen Physik nicht vereinbar ist. Ebenfalls seltsame Effekte treten bei sehr langsamen oder sehr kleinen Körperchen auf. Mit solchen Effekten befassen sich die erst in diesem Jahrhundert entstandenen Forschungsgebiete der Quantenchemie und Quantenphysik. Nur mit deren Theorien kann man erklären, warum z.B. ein Elektron nie in einen Atomkern stürzt, obwohl es sich nicht auf einer planetenähnlichen Umlaufbahn befindet. Man kann feststellen, dass in geeigneten Experimenten nicht alle Elektronen mit dem gleichen Energieaufwand vom Atom zu trennen sind. Elektronen, die sich nahe dem Atomkern aufhalten, sind viel schwerer vom Kern zu trennen als Elektronen, die sich weiter weg davon aufhalten. Es gibt aber Gruppen von Elektronen, die sich in dieser Hinsicht gleich verhalten. Man weiss, dass auch ihre Distanz zum Kern nicht immer dieselbe ist. Ihre mittlere Distanz bleibt jedoch konstant. Sie befinden sich in einer Kugelschale, genannt

Elektronenschale: *Kugelschalenförmiges Gebiet um den Atomkern ohne feste Grenzen, in dem sich Elektronen bevorzugt aufhalten.*

Man kennt Atome mit bis zu sieben Elektronenschalen; sie werden von innen nach aussen numeriert (1 bis 7) oder mit den grossen Buchstaben K bis Q bezeichnet. Die Zahl der Elektronenschalen und ihre Besetzung ist ebenfalls im PSE angegeben.

35.45	
Cl	
17	2
	8
	7

K-Schale, 2 Elektronen
L-Schale, 8 Elektronen
M-Schale, 7 Elektronen

Alle Atome, welche in ihrer Aussenschale gleich viele Elektronen enthalten, werden in Kolonnen zusammengefasst, den

Hauptgruppen: *Kolonnen im PSE, in denen alle Atome eine gleiche Elektronenbesetzung in der äussersten Schale aufweisen.*

Die Elemente in den Nebengruppen weisen oft einen unregelmässigen Aufbau der Elektronenhülle auf. Die Elemente innerhalb einer Hauptgruppe unterscheiden sich nur im

Atomrumpf: *Ein Atom, abzüglich der äussersten Elektronenschale (gedanklich).*

Ein Atomrumpf eines Hauptgruppenelementes ist ein besonders stabiles Gebilde, weil er sich bei Reaktionen nicht verändert. Nur bei Edelgasen verändert sich nicht einmal die äusserste Elektronenschale. Alle Hauptgruppenelemente mit gleichem Rumpf befinden sich in der gleichen

Periode: *Waagrechte Zeile im PSE.*

Die Elektronenhülle II - Die Elektronegativität

Bei Reaktionen von Hauptgruppenatomen erfährt nur die äusserste Elektronenschale eine Veränderung. Um die Art der Veränderung voraussagen zu können, wurde in verschiedenen Experimenten die Stärke der Bindung der Aussenelektronen an den Atomrumpf gemessen. Aus den Messresultaten lässt sich eine Zahl ableiten, die für uns in Zukunft von grossem Nutzen ist, die

Elektronegativität (EN): *Eine Verhältniszahl, die angibt, wie stark ein Atomrumpf die Elektronen der äussersten Schale zu binden vermag.*

Die EN-Werte bewegen sich zwischen 1 und 4.1. Diese Zahlen haben keine Einheit. Sie entsprechen keiner physikalischen Grösse. Das bedeutet, dass man mit ihnen nicht rechnen kann. Sie sind aufgrund völlig unterschiedlicher Experimente entstanden und dienen allein der Festlegung einer EN-Rangliste der Elemente. Der Elektronegativitätswert bezieht sich immer nur auf die Elektronen der äussersten Schale. Man nennt sie

Valenzelektronen: (von valere, lat. für Wert sein). Die Elektronen der äussersten Schale, welche für das Verhalten der Hauptgruppenatome in Reaktionen von besonderem Wert sind. Die äusserste Schale wird sinngemäss Valenzschale genannt.

Die EN-Werte für die wichtigsten Hauptgruppenatome befinden sich in einer separaten Tabelle unter dem PSE. Auffallend ist, dass die Elektronegativitätswerte der Elemente im PSE von links nach rechts und von unten nach oben zunehmen. Das führt dazu, dass die Elemente rechts oben im PSE die grösste, die Elemente links unten die kleinste EN aufweisen. Die treppenförmige Trennungslinie, die die metallischen von den nichtmetallischen Elementen trennt, ist zugleich eine Grenze zwischen den Elementen mit hoher und den Elementen mit tiefer EN. Die EN-Zunahme von links unten nach rechts oben hat folgende Gründe:

Zunahme der EN von links nach rechts: Valenzelektronen werden durch die positiv geladenen Atomrumpfe gebunden. Nun nehmen aber die Ladungen der Atomrumpfe in einer Periode von links nach rechts zu. Für die zweite Periode gilt: Li^+ , Be^{2+} , B^{3+} , C^{4+} , N^{5+} , O^{6+} und F^{7+} . Nach dem Coulombschen Gesetz werden daher die Valenzelektronen immer stärker gebunden. Diese Zunahme der EN von links nach rechts wirkt sich auf die Grösse der Atome aus. In der Tabelle der Atom- und Ionenradien hinten im Buch erkennt man, dass die Atomradien von links nach rechts abnehmen, obwohl die Zahl der Elektronen in der Valenzschale zunimmt. Offenbar ziehen Atome mit hohem EN-Wert die Elektronen der Valenzschale enger an den Kern heran.

Zunahme der EN von unten nach oben: Alle Atome in einer Hauptgruppe haben die gleiche Rumpfladung. Die Atomrumpfe von Atomen unten in der Hauptgruppe sind wegen der grösseren Zahl von Schalen sehr viel grösser. Die positive Rumpfladung ist auf ein grösseres Volumen verteilt, so dass die Elektronen der Valenzschale von einer weniger "konzentrierten" Rumpfladung angezogen werden.

Metallische Stoffe I - Der Aufbau von Metallen

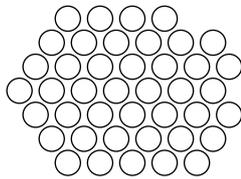
Zerbricht man ein Stück Metall, so erkennt man, dass es aus sehr vielen kleinen Metallkörnern zusammengesetzt ist. Diese sind je nach Metall von blosserem Auge oder nur unter dem Mikroskop sichtbar und bilden das sog.

Korngefüge:

Die Art der Verschachtelung der Metallkörner in einem Stück Metall.

Sie ist von der Form und der Grösse der Körner abhängig. Ein metallischer Werkstoff hat in der Regel umso bessere Eigenschaften, je gleichmässiger sein Korngefüge ist. Man kann dieses Korngefüge durch Vergütungsprozesse wie Schmieden, Walzen, Abschrecken aus der Schmelze verändern und so die mechanischen Eigenschaften des Metalles verbessern.

Jedes einzelne Korn besitzt einen sehr regelmässigen Aufbau. Die Bausteine sind Metallatome von gleicher Grösse (nur bei elementarem Stoff).



Ein solches Korn ist ein

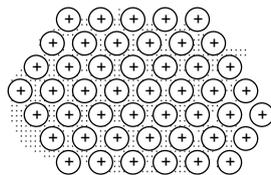
Kristall:

Ein Stoff, dessen Stoffteilchen in einem räumlich hoch geordneten Zustand vorliegen.

Ein Merkmal der Metalle ist ihre elektrische Leitfähigkeit. Fliessen elektrisch geladene Teilchen (z.B. Elektronen), so liegt ein elektrischer Strom vor. In Metallen können Elektronen ohne grossen Widerstand fliessen, sie sind frei beweglich. Diese frei beweglichen Elektronen müssen die Valenzelektronen sein, da sie am schwächsten gebunden sind. Der allgemein tiefe EN-Wert der Metallatome begünstigt dieses Verhalten.

Die erwähnten Befunde haben zum folgenden einfachen Modell über den Aufbau der Metalle geführt:

Die kristallinen Metallkörner des metallischen Korngefüges bestehen aus einer hoch geordneten Packung von stabilen Metallatomrümpfen, welche durch die leicht beweglichen Valenzelektronen zusammengehalten werden. Beachten Sie: Die Rümpfe der Hauptgruppenmetallatome haben dieselbe Elektronenanordnung wie die stabilen Edelgasatome.



Die leicht beweglichen Elektronen nennt man oft auch

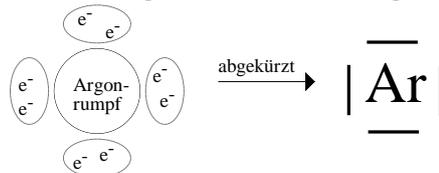
Elektronengas:

Eine Wolke aus Elektronen, die sich zwischen den positiven Atomrümpfen frei bewegen kann.

Nichtmetallische Stoffe I - Die stabile Elektronenordnung der Edelgasatome

Edelgasatome sind chemisch auffallend reaktionsträge. Ausschlaggebend dafür muss eine ganz besondere Anordnung der Elektronen in ihren Valenzschalen sein. Mit Ausnahme von He besitzen alle Edelgasatome 8 e⁻ in ihrer Valenzschale. Erstaunlicherweise sind die 8 e⁻ nicht gleichmässig über die Valenzschale verteilt. Die Valenzschale ist wie alle anderen Schalen in Unterschalen unterteilt. Diese Unterschalen haben die verschiedensten Formen. Erst zusammen bilden sie die besprochene Kugelschale. Jede kann 2 e⁻ enthalten, ein Elektronenpaar. Dieser Ausdruck ist insofern irreführend, als dass sich Elektronen wegen der Abstoßung nicht zu wirklichen Paaren zusammenfinden. Sie teilen sich nur einen gemeinsamen Raum, ein sog.

Orbital: Ein nicht scharf begrenzter Raum innerhalb einer Elektronenschale, in dem sich max. 2 e⁻ aufhalten. Doppelt besetzte Valenzorbitale werden abgekürzt als Striche geschrieben:



Diese Anordnung der Valenzelektronen nennt man

Edelgaskonfiguration: *Die besonders stabile Anordnung der Valenzelektronen von Edelgasatomen*

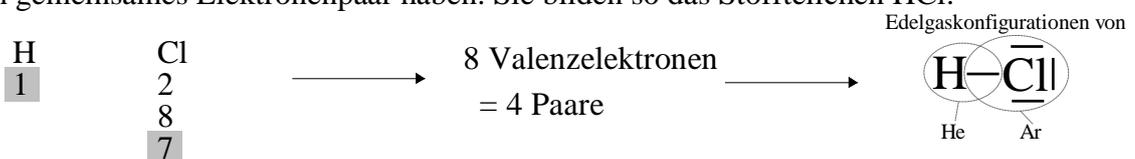
Alle anderen einzelnen Atome haben keine Edelgaskonfiguration und können somit kein stabiles Stoffteilchen darstellen. Hauptgruppenmetallatome erreichen durch Abgabe (wegen der kleinen EN) ihrer Valenzelektronen an ein bindendes Elektronengas erhöhte Stabilität, weil der nun verbleibende Atomrumpf Edelgaskonfiguration besitzt. Auch Nichtmetallatome erreichen eine erhöhte Stabilität durch Annahme eines edelgasähnlichen Zustandes. Wegen ihren hohen EN-Werten muss dies aber durch Aufnahme von Elektronen geschehen. Daraus ergibt sich die

Edelgasregel: *Hauptgruppenmetallatome erreichen eine erhöhte Stabilität durch "Leeren" ihrer Valenzschale, Nichtmetallatome durch "Füllen" ihrer Valenzschale, bis die resultierende Elektronenkonfiguration der eines Edelgasatoms entspricht.*

In einem Stoff, dessen Stoffteilchen nur aus Nichtmetallatomen bestehen, ist wegen der hohen EN kein Atom in der Lage, Elektronen für ein anderes Atom zu spenden. Es wird aber folgendes beobachtet:

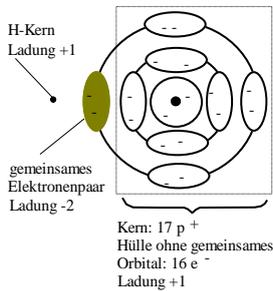
Nichtmetallatome schliessen sich zu Verbänden zusammen. Innerhalb eines Verbandes werden Valenzelektronen gemeinsam beansprucht, so dass für jedes Atom Edelgaskonfiguration resultiert.

Ein Beispiel: Die Stoffteilchen in HCl bestehen aus einem Wasserstoff- und einem Chloratom. H besitzt ein Valenzelektron, Cl sieben. Wenn Cl ein Valenzelektron von H in seine Valenzschale aufnimmt, erlangt es die Edelgaskonfiguration von Ar. Wenn H eines von Cl in seine Valenzschale integriert, nimmt H die Edelgaskonfiguration von He an. Dazu müssen aber beide Atome ein gemeinsames Elektronenpaar haben. Sie bilden so das Stoffteilchen HCl:



Nichtmetallische Stoffe II - Moleküle

Gemeinsame Elektronenpaare befinden sich naturgemäss zwischen den beiden zugehörigen Atomen, was zu folgender Ladungsverteilung in einem zweiatomigen Stoffteilchen (HCl) führt:



Das gemeinsame Elektronenpaar befindet sich zwischen zwei positiven Körpern. Der eine besteht nur aus einem Proton (H), der andere aus einem Chlorkern mit 17 p⁺ und einer Hülle mit 8 doppelt besetzten Orbitalen, welche eindeutig dem Chloratom zugeordnet sind. Damit hat der Chlorrest eine Ladung von +1. Die Ladungsverteilung sieht folgendermassen aus: (+1) (-2) (+1). Das gemeinsame Elektronenpaar bindet die beiden Atome elektrostatisch aneinander. Man nennt diese Art der Bindung

Elektronenpaarbindung: *Bindung zwischen zwei Atomen, welche durch ein gemeinsames Elektronenpaar erzeugt wird. (=kovalente Bindung)*

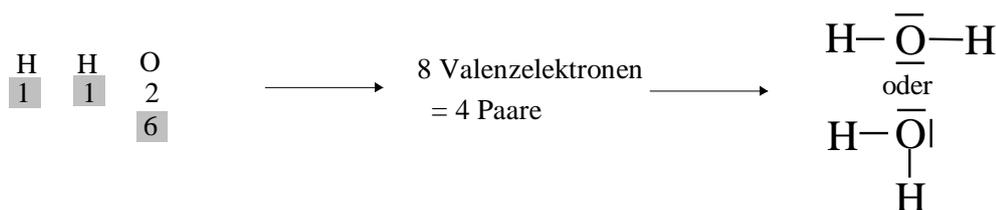
Die dadurch entstehenden Stoffteilchen, deren Atome nun alle Edelgaskonfiguration besitzen, nennt man

Moleküle: *Mehratomige Stoffteilchen, in welchen die Atome durch Elektronenpaarbindungen zusammengehalten werden.*

Auf die besprochene Art und Weise können alle Nichtmetallatome durch Bildung von Molekülen mit anderen Nichtmetallatomen Edelgaskonfiguration erlangen. Es bieten sich dadurch sehr viele Möglichkeiten der Molekülbildung, was die grosse Zahl der auf der Erde vorhandenen Stoffe erklärt.

Alle nichtmetallischen Stoffe aus ungeladenen Stoffteilchen sind aus Molekülen aufgebaut. Wasser ist z.B. ein solcher Stoff. Wie kann man nun herausfinden, aus welchen Stoffteilchen Wasser aufgebaut wird?

Zu diesem Zweck macht der Chemiker eine Analyse des Stoffes. Eine Analyse liefert im Normalfall nicht die Struktur der Stoffteilchen, sondern gibt Aufschluss über die im Stoff vorhandenen Elemente und die Häufigkeit ihres Vorkommens. Im Fall von Wasser gibt es einfache Experimente, die darauf hinweisen, dass Wasser aus den Elementen H und O im Verhältnis 2:1 besteht. Weil Wasser aus Molekülen bestehen muss (nichtmetallisch, ungeladene Stoffteilchen), bilden demnach die Elemente H und O Stoffteilchen, in denen doppelt so viele H wie O vorkommen. Denkbar sind H₂O, H₄O₂, H₆O₃ etc. (Die tiefgestellten Indizes beziehen sich auf die Häufigkeit des vorangestellten Atoms im Molekül). Nur eine der Möglichkeiten gibt aber ein sinnvolles Stoffteilchen, in dem alle beteiligten Atome Edelgaskonfiguration haben:



Weil H immer die Edelgaskonfiguration von He annimmt, kann es nur eine Bindung bilden. Es ist in diesem Fall hier nicht möglich, die beiden H-Atome miteinander zu verbinden. Unter Berücksichtigung der Edelgasregel sind damit nur die beiden obigen Moleküle möglich.

Nichtmetallische Stoffe III - Das Tetraedermodell der Valenzschale

Zusammenzählen der Valenzelektronen der in einem Molekül vorhandenen Atome und Verteilen der Elektronenpaare gemäss der Edelgasregel - auf diese Art und Weise kann man die Bindungsverhältnisse in einem Molekül herleiten, sofern die Anzahl der beteiligten Atome bekannt ist. Die Methode ist aber für schnelle Vorhersagen ungeeignet. Beim Betrachten verschiedenster Moleküle stellt man fest, dass sich ein Element bezüglich der Anzahl eingegangener Bindungen meist (wie wir sehen werden nicht immer) gleich verhält. Die Gesetzmässigkeiten wurden in der Frage 5, **Nichtmetallische Stoffe II - Moleküle**, bereits festgestellt. Hier die dazugehörige Tabelle, um einige Informationen ergänzt:

Atom	H	C	N	O	F	Ne
Bindungen	1	4	3	2	1	0
Valenzelektronen	1	4	5	6	7	8
Nichtbindende Valenzelektronen	0	0	2	4	6	8
Fehlende e ⁻ für Edelgaskonfiguration	1	4	3	2	1	0

Feststellungen:

- Bei 1 bis 4 Valenzelektronen entspricht die Anzahl der eingegangenen Bindungen der Anzahl der Valenzelektronen.
- Bei 5 bis 8 Valenzelektronen entspricht die Anzahl der eingegangenen Bindungen der Ergänzung der Zahl der Valenzelektronen bis 8.
- Die Zahl der nichtbindenden Valenzelektronen ist gerade.

Modell:
(Tetraedermodell)

- Alle Atome enthalten höchstens 4 Valenzorbitale, welche maximal 8 Elektronen aufnehmen können.
- Die Valenzorbitale können mit nur einem Elektron besetzt sein. Erst wenn alle 4 Valenzorbitale mit einem Valenzelektron besetzt sind, werden Valenzorbitale doppelt besetzt.
- Nur einfach besetzte Orbitale stehen für Elektronenpaarbindungen zur Verfügung.
- Einfach oder doppelt besetzte Orbitale stossen sich maximal ab und befinden sich in den Ecken eines imaginären Tetraeders.

Die Elektronenverteilung in der Valenzschale sieht dann mit der bereits verwendeten Strichschreibweise für Elektronenpaare (Punkte für Einzelelektronen) folgendermassen aus:

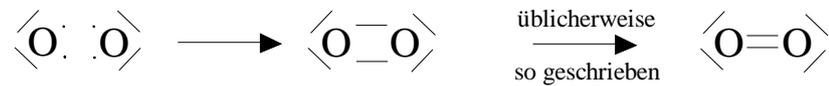
Atom	H	C	N	O	F	Ne
Symbol	H	·C·	·N·	O·	F·	Ne
Räumliche Anordnung						

Nun lassen sich jeweils zwei beliebige Atome durch Vereinigung von zwei Punkten zu einem Strich binden. Die tetraedrische Anordnung der Orbitale gilt auch nach der Vereinigung von zwei einfach besetzten zu einem doppelt besetzten Orbital, was sich unmittelbar auf die räumliche Struktur des Moleküls auswirkt.

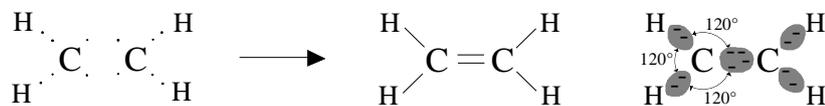
Nichtmetallische Stoffe IV - Doppel- und Dreifachbindungen

Atome mit zwei oder drei einfach besetzten Orbitalen können zu einem Nachbaratom mehr als eine Bindung ausbilden. Werden zwei Bindungen ausgebildet, nennt man dies

Doppelbindung: Zwei einfach besetzte Orbitale des einen Atoms "überlappen" mit zwei einfach besetzten Orbitalen des anderen Atoms. Das Beispiel des Stoffteilchens im Stoff Sauerstoff, das Molekül O_2 :



Doppelbindungen wirken sich auf die Geometrie der Moleküle aus, insbesondere dann, wenn die beteiligten Atome weitere Atome gebunden haben. Das Stoffteilchen des Gases Ethen, das Molekül C_2H_4 :



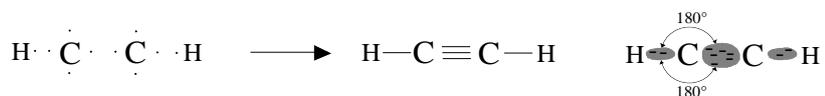
Die verschiedenen Elektronengruppen haben den grösstmöglichen Abstand voneinander. Die Bindungswinkel sind etwa 120° . Bei der Berechnung der Bindungswinkel spielt es keine Rolle, wenn eine Elektronengruppe mehr Elektronen enthält als die Nachbargruppen. Die Abstossung wird dadurch nicht wesentlich grösser. Das hängt damit zusammen, dass die Elektronenpaare einer Mehrfachbindung sich in Wirklichkeit nicht zusammen in der Bildebene befinden, sondern davor bzw. dahinter.

Atome mit mindestens 3 einfach besetzten Valenzorbitalen können 3 Elektronenpaare mit einem anderen Atom teilen. Sie bilden dann eine

Dreifachbindung: Drei einfach besetzte Orbitale des einen Atoms "überlappen" mit drei einfach besetzten Orbitalen des anderen Atoms. Elementarer Stickstoff ist ein Stoff, dessen Stoffteilchen zweiatomige Moleküle sind, nämlich die Moleküle N_2 :



Falls die über eine Dreifachbindung miteinander verbundenen Atome noch weitere Atome gebunden haben, resultieren Moleküle, die im Bereich der Dreifachbindung vollkommen gestreckt sind. Das Molekül C_2H_2 , das Stoffteilchen des Stoffes Ethin:



Nichtmetallische Stoffe V - Weitere wichtige Moleküle

Das Tetraedermodell der Valenzschale wurde aufgrund des Bindungszustandes der Elemente in sehr vielen bekannten Molekülen entwickelt. Seine Leistungsfähigkeit ist so gross, dass sich Chemiker in Industrie und Forschung auf der ganzen Welt seiner bedienen. Es beschreibt also nicht die Verteilung der Valenzelektronen in einem einzigen Atom, sondern die Verteilung von Valenzelektronen in bestehenden Molekülen. Nun existieren aber eine Reihe von Molekülen, deren Strukturen mit dem Tetraedermodell nicht erklärbar sind. Sie dürften eigentlich gar nicht existieren, weil sie gemäss Tetraedermodell entweder keine Edelgaskonfiguration oder ungepaarte Valenzelektronen besitzen. Sie können aber beobachtet werden, existieren also und das erst noch mit beachtenswerter Stabilität. Bei ihnen müssen wir wieder zurückgreifen auf die altbewährten

Regeln zur Verteilung der Valenzelektronen

1. Zusammenzählen der Valenzelektronen der am Molekül beteiligten Atome
2. Bilden von Elektronenpaaren
3. Verteilen der Elektronenpaare unter Berücksichtigung der Edelgasregel.

Kohlenmonoxid CO:

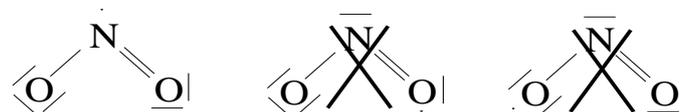
- Zu verteilende Anzahl Valenzelektronen: 10
- Anzahl Elektronenpaare: 5
- Verteilung gemäss Edelgasregel:



Einige dieser Moleküle besitzen aber eine ungerade Zahl an Valenzelektronenpaaren. Es lassen sich also zur Verteilung gemäss Edelgasregel nicht nur Paare bilden. Dennoch existieren solche Moleküle, wie das Beispiel der vieldiskutierten Stickoxide (besser Stickstoffoxide) zeigt. Unter dem Sammelbegriff Stickoxide werden Moleküle, die nur die Elemente N und O enthalten zusammengefasst. Weil das Verhältnis zwischen N und O unterschiedlich sein kann, verwendet man oft die allgemeine Formel NO_x , wobei x eine beliebige Zahl sein kann. Das Beispiel

Stickstoffdioxid NO_2 :

- Zu verteilende Anzahl Valenzelektronen: 17
- Anzahl Elektronenpaare: 8 plus ein Einzelelektron
- Verteilmöglichkeiten unter bestmöglicher Einhaltung der Edelgasregel und unter Berücksichtigung der messbaren Tatsache, dass sich das N-Atom zwischen den beiden O-Atomen befindet::



Weil das Stickstoffatom den kleineren EN-Wert hat als die beiden O-Atome, befindet sich das einfach besetzte Orbital in der Valenzschale des Stickstoffatoms.

Man nennt solche Teilchen

Radikale:

Elektrisch neutrale Teilchen mit einfach besetzten Orbitalen

Radikale sind in der Regel sehr reaktionsfähig.

Stoffe aus geladenen Stoffteilchen I - Einfache Ionen

Wir haben bisher drei Sorten von Stoffteilchen kennengelernt:

- Edelgasatome
- Metallatome in einem Metallkristall, welche Elektronen an ein Elektronengas abgeben und
- Moleküle

In allen Fällen besitzen die beteiligten Atome Edelgaskonfiguration und damit eine gewisse chemische Beständigkeit. Es gibt noch eine vierte Sorte von Stoffteilchen:

Einzelne Atome oder Atome in Atomverbänden, welche Edelgaskonfiguration erlangen durch Aufnahme oder Abgabe von Elektronen. Weil Atome per Definition ungeladen sind, d.h. gleich viele Elektronen wie Protonen enthalten, sind Stoffteilchen, die Elektronen abgegeben oder aufgenommen haben, geladen. Man nennt sie

Ionen: *Geladene Stoffteilchen.*

Im einfachsten Fall sind Ionen aus einzelnen Atomen entstanden. Wie bereits besprochen, haben Metallatome wegen der kleinen EN die Tendenz, Elektronen abzugeben, Nichtmetallatome hingegen wegen der höheren EN die Tendenz, Elektronen aufzunehmen. Es entsteht also aus einem

Metallatom → ein positives Ion
und aus einem
Nichtmetallatom → ein negatives Ion

Hauptgruppen Metallatome erlangen die Edelgaskonfiguration des im PSE vorangehenden Edelgases, Nichtmetallatome, wie in einem Molekül, die Edelgaskonfiguration des im PSE nachstehenden Edelgases (s. auch **Nichtmetallische Stoffe I- Die stabile Elektronenanordnung der Edelgasatome**).

Wegen der Ladung resultiert eine besondere

Schreibweise für Ionen: Die Ladungen der Ionen werden nach dem Atomsymbol hoch geschrieben: Na^+ , Ca^{2+} , O^{2-} , Cl^- .

Ionen erhalten Namen, welche sie von anderen Stoffteilchen abgrenzen:

Namen der Metallionen: An den Namen des zugrundeliegenden Metallatoms wird die Silbe "Ion" angehängt: Natrium-Ion, Aluminium-Ion etc.

Namen der Nichtmetallionen: Die Namen einatomiger Nichtmetallionen enden auf -id.
Aufgepasst: meistens liegt dem Ion der lateinische Name zugrunde:

V. Hauptgruppe	VI. Hauptgruppe	VII. Hauptgruppe
N^{3-} : Nitrid	O^{2-} : Oxid	F^- : Fluorid
P^{3-} : Phosphid	S^{2-} : Sulfid	Cl^- : Chlorid
		Br^- : Bromid
		I^- : Iodid

Stoffe aus geladenen Stoffteilchen II - Salze

Obwohl es geladene Stoffteilchen gibt, existieren keine geladenen Stoffe. Das bedeutet: Enthält ein Stoff negative Ionen, muss er auch positive Ionen enthalten, und zwar so viele, dass die Summe aller Ladungen Null ist. Der Stoff Natriumphosphid, bestehend aus Na^+ - und P^{3-} -Ionen, muss exakt dreimal mehr Natrium-Ionen als Phosphid-Ionen enthalten, denn sonst wäre der Stoff nicht ladungsneutral. Weil Stoffe, die aus Ionen bestehen, mindestens zwei verschiedene Ionensorten enthalten müssen (positive und negative), sind solche Stoffe immer Verbindungen (s. **Die kleinsten Teilchen III - Stoffe, eine Vorschau**). Genauer

Ionenverbindungen oder Salze:

Stoffe aus negativ und positiv geladenen Ionen.

Es gibt also eine riesige Anzahl von verschiedenen Salzen. Was wir gewöhnlich als Salz bezeichnen, ist nur eines davon. Man nennt es aufgrund seiner Verwendung

Kochsalz:

Ein Salz, bestehend aus Natrium- und Chlorid-Ionen.

Welche Ionen und in welchem Verhältnis sie den Stoff aufbauen, kommt in den Stoffformeln der Salze zum Ausdruck.

Stoffformeln:

Zuerst werden die Metallionen, dann die Nichtmetallionen genannt. Das kleinste ganzzahlige Verhältnis der beiden Ionen wird mit nach- und tiefgestellten Indizes angegeben. Für ein Salz, das aus Natrium- und Phosphid-Ionen im Verhältnis 3:1 besteht, lautet die Stoffformel $\text{Na}_3\text{P}(\text{s})$ (eigentlich $\text{Na}_3\text{P}_1(\text{s})$, aber Indizes 1 werden allgemein nicht geschrieben).

Achtung: Bei Edelgasen, molekularen Stoffen und Metallen ist die Stoffformel normalerweise identisch mit der chemischen Formel für das Stoffteilchen, also H_2O sowohl für den Stoff Wasser als auch für das Molekül, bestehend aus zwei Wasserstoff- und einem Sauerstoffatom. Salze bestehen immer aus mindestens zwei unterschiedlichen Stoffteilchen. In den Stoffformeln werden nur die Teilchenverhältnisse angegeben, nicht aber die einzelnen Stoffteilchen mit ihren Ladungen. Diese lassen sich aber wegen des Gesetzes der Ladungsneutralität herleiten. Metallsalze erkennt man leicht daran, dass in der Stoffformel sowohl ein metallisches Symbol als auch ein nichtmetallisches Symbol erscheinen. Dieser Hang zur möglichst knappen Information ist auch erkennbar bei der

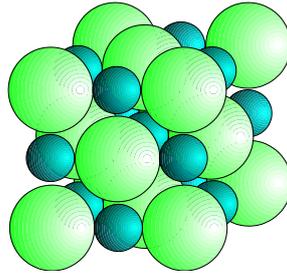
Benennung der Salze:

Wie bei der Stoffformel wird zuerst das Metallion genannt (Eselsbrücke: Metalle stehen links im PSE und werden deshalb zuerst genannt). Die Indizes erscheinen im Namen nicht, sie lassen sich über die Edelgasregel und die Ladungen der Ionen herleiten, also:
Natriumphosphid (und nicht etwa Trinatriumphosphid).

Stoffe aus geladenen Stoffteilchen III - Einfache Salzkristalle

Viele der bekannten Feststoffe sind kristallin. Bei einem Bergkristall ist es besonders deutlich, beim Kochsalz etwas weniger. Doch die einzelnen weissen Körnchen des Kochsalzes sind kleine Kochsalzkristalle. Jedes hat einen kristallinen Aufbau (s.a. **Metallische Stoffe I - Der Aufbau von Metallen**), d.h. die Stoffteilchen Na^+ und Cl^- sind hoch geordnet. Im Gegensatz zu den Metallkristallen können sich die beiden unterschiedlichen Stoffteilchen nicht beliebig anordnen. Sonst könnte es geschehen, dass mehrere positive oder mehrere negative Ionen nebeneinander zu liegen kommen, und das darf wegen der elektrostatischen Abstossung nicht sein. Die beste Anordnung ist die, bei der sich in allen drei Raumrichtungen die beiden Ionenarten stets abwechseln.

Der Aufbau des Kochsalzkristalls:

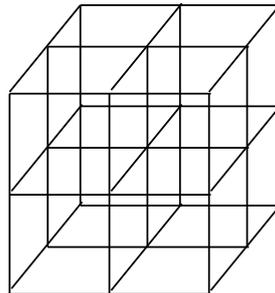


Auf diese Art und Weise berührt ein Natrium-Ion (schwarz) im Innern des Kristalls sechs Chlorid-Ionen. Dasselbe gilt für die Chlorid-Ionen: Sechs direkte Na^+ -Nachbarn, vier etwas weiter entfernte Cl^- -Nachbarn.

Der Stoff hält durch die anziehenden elektrostatischen Kräfte zwischen den unterschiedlich geladenen Ionen zusammen.

Verbindet man die Zentren aller Kugeln durch imaginäre Linien, sieht man sehr schön, in welche Richtungen die Kugeln aufgereiht sind. Man spricht vom

Kristallgitter:



Dieses Kristallgitter ist typisch für Kochsalz. Die Verbindungslinien stehen alle senkrecht aufeinander. Obwohl noch andere Ionenverbindungen dieses Gitter aufweisen, spricht man vom Kochsalzkristallgitter.

Das Gitter eines Kristalls wirkt sich direkt auf sein makroskopisches Erscheinungsbild aus, weil sich die Kristalloberflächen nach den Gitterebenen ausrichten. Schöne Kochsalzkristalle sind deshalb kubisch, alle Flächen stehen senkrecht aufeinander. Sie kennen sicher die typische sechseckige Gestalt von Bergkristallen. Die Flächen stehen in einem Winkel von 120° zueinander. Die Stoffteilchen des Bergkristalls kristallisieren demnach nicht im Kochsalzgittertyp. Der Gittertyp ist hauptsächlich von zwei Faktoren abhängig:

1. Die relativen Grössen der Ionen Bei anderen Grössenverhältnissen können andere Anordnungen zu stärkeren anziehenden Kräften führen.
2. Die Ionenverhältnisse Ist das Ionenverhältnis wie z.B. in $\text{CaF}_2(\text{s})$ nicht 1:1, lassen sich zwei Ionen natürlich nicht abwechselnd anordnen. Das wirkt sich auf den Gittertyp und damit auf das Erscheinungsbild des Kristalls aus.

Stoffe aus geladenen Stoffteilchen IV - Molekülonen

Zwei Hauptbedingungen werden an die Bausteine eines Stoffes gestellt:

1. Die beteiligten Atome sollten Edelgaskonfiguration haben
2. Der Stoff muss als ganzes ungeladen sein

Die Bausteine von molekularen Stoffen ($\text{H}_2\text{O}(\text{s})$ etc.) erfüllen diese Bedingungen. Nun existieren aber molekülähnliche Stoffteilchen, deren Atome zwar Edelgaskonfiguration besitzen, dies aber nur nach Aufnahme oder Abgabe von Elektronen. Wir nennen solche Stoffteilchen

Molekülonen: Geladene Stoffteilchen, in denen die beteiligten Atome durch Elektronenpaarbindungen zusammengehalten werden.

Viele der Molekülonen sind nicht mit dem Tetraedermodell konstruierbar. Ihre räumliche Gestalt kann man aber nach den Regeln zur Konstruktion von Molekülen (s. Einleitung zu **Nichtmetallische Stoffe III - Das Tetraedermodell der Valenzschale**) leicht herleiten, sofern die Ladung und die beteiligten Atome bekannt sind. Nach Analyse einer Vielzahl von Molekülen und Molekülonen lauten die Regeln zur Konstruktion von solchen Stoffteilchen folgendermassen:

1. Symmetrieregeln: Die Natur bevorzugt symmetrische Anordnungen. Grösstmögliche Symmetrie erreichen Moleküle und Molekülonen durch die Anordnung der weniger häufig vorkommenden Atome in der Mitte des Stoffteilchens, möglichst regelmässig umgeben von den häufiger vorkommenden Atomen.
2. Edelgasregel: Die Gesamtzahl der Valenzelektronen der am Stoffteilchen beteiligten Atome (**bei Molekülonen korrigiert um die fehlenden/zusätzlichen Elektronen bei positiven/negativen Ladungen**) wird durch zwei geteilt. Man erhält die Anzahl der Elektronenpaare. Diese werden gemäss Edelgasregel auf die Atome verteilt.
3. Ringregel: Die Atome sind praktisch nie ringförmig angeordnet. Häufige Ausnahmen sind kohlenstoffreiche Ringmoleküle in der organischen Chemie, auf welche wir momentan nicht eingehen.
4. Elektronenpaarabstossung: Die Gestalt mehratomiger Stoffteilchen kann fast immer mit der einfachen Modellvorstellung richtig vorhergesagt werden, wonach sich bindende (gemeinsame) Elektronenpaare gegenseitig abstossen und daher den grösstmöglichen Abstand voneinander einnehmen.

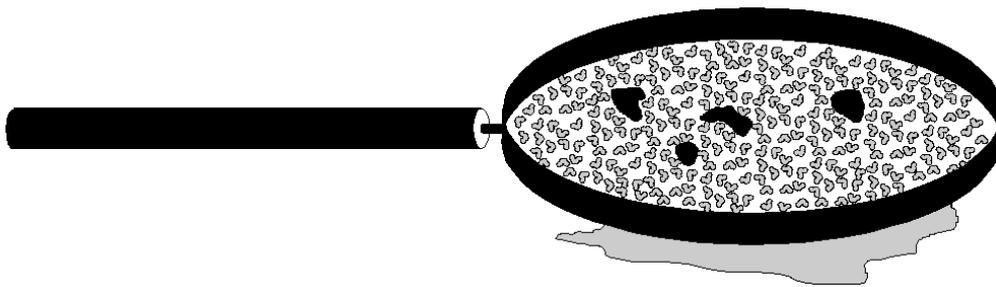
Da Molekülonen Ladungen tragen, benötigen sie zur Bildung eines ungeladenen Stoffes entsprechende gegensätzliche geladene Ionen. Diese können ebenfalls Molekülonen sein oder aber auch einatomige Ionen. Beide Ionenarten bilden.. Wir werden es in der Folge nur mit einem positiv geladenen Molekülon zu tun haben, dem Ammonium-Ion NH_4^+ . Es kann Salze bilden wie $\text{NH}_4\text{Cl}(\text{s})$ (Molekülon/einatomiges Ion) oder $\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}(\text{s})$ (Molekülon/ Molekülon).

Die Stoffteilchen in ständiger Bewegung - Die Wärmebewegung

Ein Stück Eisen, das erwärmt wird, dehnt sich wie viele andere Feststoffe aus. Sein Volumen vergrößert sich, obwohl die Zahl der Stoffteilchen sich nicht verändert. Dehnen sich demzufolge die Stoffteilchen aus? Unter dem Mikroskop kann man erkennen, dass grössere Partikeln wie Russteilchen in Wasser oder Fetttröpfchen in der Milch sich in dauernder Bewegung befinden. Diese Bewegung ist umso stärker, je wärmer der untersuchte Stoff ist. Der ganze Mikrokosmos befindet sich also in ständiger Bewegung. Es liegt auf der Hand, dass sich auch die Stoffteilchen des Eisens bewegen, und zwar umso stärker, je wärmer das Material ist. Damit steigt ihr Platzbedarf, das Stück Eisen dehnt sich aus. Dies sind einige Indizien dafür, dass Wärme etwas mit der Bewegung der Teilchen zu tun hat. Nicht nur das: Wärme **ist** die Bewegung der Stoffteilchen. Je wärmer ein Stoff ist, desto stärker sind die Bewegungen der darin enthaltenen Teilchen. Bewegen sich Stoffteilchen praktisch nicht, so hat der Stoff die kälteste mögliche Temperatur. Sie beträgt -273.15°C und wird als absoluter Nullpunkt bezeichnet. Absolute Temperaturen werden in Grad Kelvin [K] gemessen.

Absolute Temperatur: *Die Temperatur eines Körpers, gemessen in $^{\circ}\text{C}$ -Abständen ab dem absoluten Nullpunkt von -273.15°C mit der Einheit Kelvin [K].*

Natürlich bewegen sich bei einer bestimmten Temperatur nicht alle Stoffteilchen gleich schnell. Sie stossen fortwährend aneinander, bremsen sich gegenseitig oder beschleunigen einander. Massgebend für die Temperatur ist deshalb die mittlere Geschwindigkeit der Teilchen. Es gibt bei jeder Temperatur Stoffteilchen, die beinahe stillstehen und Stoffteilchen, die sehr schnell sind. Bei tiefen Temperaturen sind aber die langsamen häufiger als die schnellen und umgekehrt. Weil die Stoffteilchen viel zu klein sind, kann man ihre Bewegung auch unter einem noch so leistungsfähigen Mikroskop nicht sehen. Sind in einem Stoff wie Wasser aber sichtbare Partikeln (Russteilchen) eingebettet, so kann man die Zitterbewegung dieser durch die Wasserteilchen angeschubsten Partikeln erkennen:



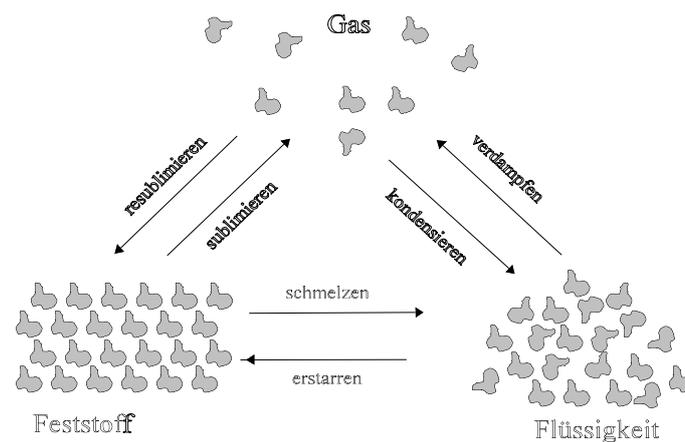
Die Geschwindigkeit der Partikeln ist abhängig von ihrer Masse. Schwere Partikeln werden von den schnellen leichten nur auf geringe Geschwindigkeiten beschleunigt. Deswegen kann man die Bewegung der Russteilchen in Wasser überhaupt sehen. Was wir schlussendlich als Wärme empfinden, ist die mittlere Bewegungsenergie (eine Art "Bewegungswucht") der Partikeln. Die mittlere Bewegungsenergie bei einer bestimmten Temperatur ist bei allen (auch unterschiedlich schweren) Partikeln gleich.

Die bewegungsabhängige Zusammenlagerung der Stoffteilchen - Aggregatzustände

Wasser ist flüssig, Kochsalz ist fest, Kohlendioxid ist ein Gas. Diese Einteilung nehmen wir oft etwas allzu leichtfertig vor. Es gibt auch Wassergas, besser Wasserdampf oder festes Wasser (Eis). Wie Wasser können Stoffe sowohl fest als auch flüssig oder gasförmig vorkommen. Man nennt einen bestimmten Zustand der Materie

Aggregatzustand:
(Phase) *Die Art und Weise, wie Stoffteilchen sich zu einem Stoff zusammenlagern (aggregieren).*

Die Anordnung der Stoffteilchen in den drei Aggregatzuständen fest, flüssig und gasförmig sieht folgendermassen aus:



Feststoff:
(s) = solid

Reine Stoffe (Stoffe, welche nur die in der Stoffformel vorkommenden Teilchen enthalten) sind im festen Zustand kristallin, d.h. ihre Stoffteilchen sind hoch geordnet. Da die Stoffteilchen in Feststoffen ihre Positionen nicht wechseln, müssen anziehende Kräfte dafür sorgen, dass die Teilchen auf ihren Plätzen bleiben. Wird der Stoff erwärmt, verstärkt sich die Zitterbewegung der Stoffteilchen am Platz, bis sie so stark wird, dass der Kristall schmilzt. Die Temperatur, bei der dies geschieht, heisst Schmelzpunkt. Es entsteht eine

Flüssigkeit:
(l) = liquid

Die Stoffteilchen können ihre Positionen wechseln und von einander abgleiten. Sie bleiben aber immer noch nahe beieinander, was darauf hindeutet, dass immer noch Kräfte zwischen den Teilchen wirken. Wird die Flüssigkeit weiter erwärmt, verstärkt sich wiederum die ungeordnete Bewegung der Teilchen, bis der Stoff beim Siedepunkt zu kochen beginnt. Siede- und Schmelzpunkt sind charakteristisch für reine Stoffe. Beim Sieden bildet sich ein

Gas:
(g) = gaseous

Im Gaszustand vermögen die anziehenden Kräfte die Teilchen nicht mehr zusammenzuhalten, die Abstände zwischen den Stoffteilchen sind entsprechend gross.

Die Bauklötzchen der Natur - Stoffteilchen

Eine Aggregatzustandsänderung kann uns wichtige Hinweise über das Wesen der Stoffteilchen liefern. Ein Versuch einer Definition von diesen Bauklötzchen der Materie steht im Kapitel **Stoffe, eine Vorschau**. Die Schwierigkeit liegt darin, dass Stoffteilchen manchmal aus Atomen aufgebaut sind, diese sind aber aus Elementarteilchen aufgebaut sind, welche wiederum aus kleineren Teilchen bestehen. Welche sind denn nun die Bauklötzchen? Eine etwas bessere Definition, welche aber auch nicht immer genügen kann, ist die folgende:

Stoffteilchen: *Das kleinste Partikel, das beim Schmelzen oder Sieden eines Stoffes intakt bleibt.*

Nicht alle Stoffe können sieden oder schmelzen. Viele zersetzen sich dabei. Bei ihnen muss man eine andere Definition anwenden.

Ein reiner Stoff besteht häufig aus lauter identischen Stoffteilchen. Somit genügt es ein einziges herauszugreifen, es zu analysieren und zu beschreiben um den ganzen Stoff charakterisieren zu können. Hier unterscheidet man zwei Fälle.

Atome als Stoffteilchen: alle metallischen Stoffe (Metalle) besitzen kugelige atomare Stoffteilchen.
Atome als Stoffteilchen findet man sonst nur noch bei den sogenannten Edelgasen. Es sind Gase, die weder riechen noch sichtbar sind und nicht mit anderen Stoffen reagieren. Sie heissen Helium, Neon, Argon, Krypton, Xenon und Radon.

Moleküle als Stoffteilchen: Moleküle sind Stoffteilchen, die nicht nur aus einem Atom, sondern aus mehreren Atomen bestehen. Aus Molekülen sind die molekularen Stoffe aufgebaut. Dazu gehören Stoffe wie Wasser, Zucker, Benzin, Kunststoff, Proteine etc.

Die letzte grosse Stoffgruppe bilden die Gesteine und Mineralien. Gesteine sind meist nicht reine Stoffe. Sie bestehen aus vielen Körnchen unterschiedlicher Stoffe. Ein Körnchen davon ist ein reiner Stoff. Seine Stoffteilchen sind geladen. Weil es keine geladenen Stoffe gibt, muss der Stoff gleich viele positive wie negative Ladungen besitzen. Er muss also aus mindestens zwei verschiedenen Stoffteilchen bestehen. Solche Stoffe haben

Ionen als Stoffteilchen: Ionen sind geladene Stoffteilchen. Sie bestehen aus Atomen oder Molekülen, die Elektronen aufgenommen oder abgegeben haben.

Die Stoffteilchen werden charakterisiert durch

Formeln: Sie geben die Elemente und ihr zahlenmässiges Auftreten im Stoffteilchen an. Kommt ein Element nur einmal vor, wird nur sein Elementsymbol geschrieben. Kommt es mehrmals vor, gibt man dies mit einem tiefgestellten Index nach dem Elementsymbol an. Stoffe wiederum werden durch die Formeln ihrer Stoffteilchen charakterisiert. Hat ein Stoff mehrere Stoffteilchen, werden ihre Formeln aneinander gehängt und ihr kleinstes ganzzahliges Verhältnis im Stoff mit Indizes angegeben. Bsp: H₂O

Die Stoffteilchen halten zusammen- Stoffbestimmung und Stofftrennung mit Hilfe der Schmelz- und Siedepunkte

Kein stabiles Bauwerk kann entstehen, wenn die Bauklötzchen nicht entweder durch Reibung oder durch einen Mörtel aneinander haften. Genauso wenig könnten flüssige oder feste Stoffe existieren, wenn nicht ihre Stoffteilchen eine Art Haftung oder Anziehung untereinander entwickelten. Man nennt diese Haftung Kohäsion. Falls ein Stoff unterschiedlich geladene Stoffteilchen besitzt, sind die Kohäsionskräfte leicht auf die anziehenden elektrostatischen Kräfte zwischen ungleich geladenen Teilchen zurückzuführen. Ungeladene Stoffteilchen haften auch wegen elektrostatischen Kräften aneinander. Sie basieren auf einer unsymmetrischen Verteilung der Elektronen in den Stoffteilchen. Die zusammenhaltenden Kräfte sind demnach sicher abhängig von allfälligen Ladungen, der Grösse und der Form der Stoffteilchen. Unterschiedliche Stoffteilchen verlieren folglich den Zusammenhalt unter ihresgleichen wegen der Wärmebewegung bei unterschiedlichen Temperaturen. Die meisten reinen Stoffe besitzen charakteristische Schmelzpunkte und Siedepunkte. Die Schmelz- und Siedepunkte der verschiedenen Stoffe sind bekannt und tabelliert. Anhand dieser Daten lassen sich unbekannte Stoffe sogar identifizieren.

Schmelzpunkte und Siedepunkte einiger ausgewählter Stoffe:

Stoff	Schmelzpunkt	Siedepunkt

Die unterschiedlichen Schmelz- und Siedepunkte von reinen Stoffen ermöglichen auch eine Auftrennung von einem

Stoffgemisch: Ein Gemisch von Reinstoffen. Sind verschiedene Stoffe erkennbar unterscheidet man zwischen

Emulsion: Eine Flüssigkeit in einer anderen Flüssigkeit

Suspension: Ein Feststoff in einer Flüssigkeit

Rauch: Ein Feststoff in einem Gas

Schaum: Ein Gas in einem Feststoff oder einer Flüssigkeit

Nebel: Eine Flüssigkeit in einem Gas

Weil sich Gase von selbst vom Ort der Entstehung entfernen, ist die Abtrennung von flüchtigeren Stoffen von den weniger flüchtigeren durch kontinuierliches Erwärmen des Gemisches besonders leicht durchführbar. Die bekanntesten Methoden heissen

Destillation: Abtrennen eines Dampfes aus einem flüssigen Stoffgemisch. Dazu wird das Flüssigkeitsgemisch vorsichtig erwärmt, um bevorzugt den Stoff mit dem niedrigsten Siedepunkt in Dampf übergehen zu lassen. Der Dampf wird abgeleitet und rückkondensiert.

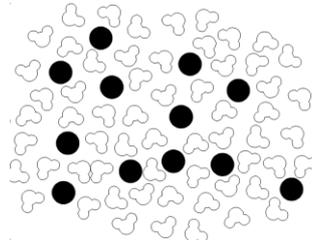
Sublimation: Abtrennen eines Dampfes aus einem festen Stoffgemisch. Wird zu diesem Zweck ein flüssiges Stoffgemisch zuerst gefroren, nennt man die Methode Lyophilisation oder Gefriertrocknen.

Stoffteilchen vermischen sich mit anderen Stoffteilchen - Löslichkeit

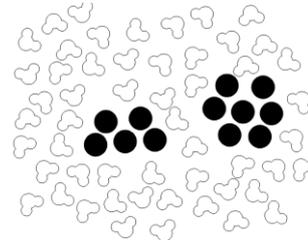
Es gibt zweierlei Stoffgemische: In einem heterogenen Gemisch sind Stoffe gemischt, d.h. kleine Körnchen oder Tröpfchen davon, nicht aber Stoffteilchen. Auf diese Gemische beziehen sich die Begriffe Emulsion, Suspension, Rauch, Schaum und Nebel. In homogenen Gemischen sind sogar Stoffteilchen vermischt. Eine homogene Stoffmischung erscheint einheitlich. Man könnte sie für einen reinen Stoff halten. Die bekannteste homogene Stoffmischung ist eine

Lösung:

Flüssige Stoffmischung, die als einheitliches Stoffsystem erscheint.



Lösung (homogen)



Suspension (heterogen)

Wenn sich ein Stoff in einem anderen löst, erfährt er eine Aggregatzustandsänderung. Die "Zusammenlagerung" der Stoffteilchen wird verändert. Dazu müssen die Kohäsionskräfte zwischen den Stoffteilchen überwunden werden. Diesmal nicht durch die Wärmebewegung sondern durch das

Lösungsmittel:

Der Stoff, der die Aggregation der Stoffteilchen eines anderen Stoffes auflöst und die fremden Stoffteilchen in sich aufnimmt.

Das am häufigsten verwendete Lösungsmittel ist Wasser. Ein Stoff, der darin gelöst ist erhält nach der Stoffformel den Zusatz (aq) von lat. aqua = Wasser. Viele weitere Lösungsmittel wie Aceton, Benzin, Alkohol usw. sind ebenfalls im Gebrauch.

Im Prinzip eignen sich alle diejenigen Stoffe als Lösungsmittel, deren Stoffteilchen in der Lage sind, zu den zu lösenden Stoffteilchen anziehende Kräfte zu entwickeln. Bei festen Stoffen ist die Beweglichkeit der Stoffteilchen oft zu stark eingeschränkt, so dass das Auflösen am mangelnden Kontakt zwischen den Stoffteilchen scheitert. Gase kommen als Lösungsmittel in Frage, ihre Handhabung ist aber erschwert. Natürlich gibt es Stoffe, die sich nicht lösen lassen. Dann sind entweder die Kräfte zwischen den Stoffteilchen des zu lösenden Stoffes zu stark oder die Kräfte zu den Lösungsmittelstoffteilchen zu schwach. Bei den verschiedenen Stoffsorten beobachtet man folgendes:

Metalle:

Ohne dass sich ihre Stoffteilchen verändern (chemische Reaktion), sind sie unter normalen Umständen in keinem Lösungsmittel löslich.

Mineralien, Gesteine:

Sie sind höchstens in Wasser löslich. Die Löslichkeit hängt von der Ladung der beteiligten Ionen ab. Jedes Ion wird einzeln gelöst.

Molekulare Stoffe:

Jedes Molekül wird einzeln gelöst.

Das Löslichkeitsverhalten von Ionenverbindungen in Wasser

Zwischen den Ionen in einem Salzkristall wirken ziemlich hohe Gitterkräfte, wie die hohen Schmelzpunkte von Salzen (NaCl: 801°C) beweisen. Die Gitterkräfte sind besonders gross, wenn die Ionen mehrfach geladen sind. Um eine Ionenverbindung in Wasser zu lösen, muss das Ionengitter zerstört und jedes einzelne Ion in den Wassermolekülverband integriert werden. Wassermoleküle sind in der Lage Ionen zu binden mittels einer

Ion-Dipol-Bindung: *Die elektrostatische Bindung zwischen einem Ion und dem entgegengesetzt geladenen permanenten Pol eines Moleküls.*

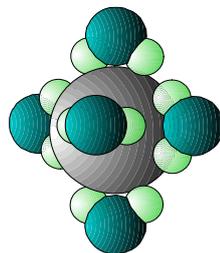
Die Ion-Dipol-Bindungen in Wasser:



Die am schwächsten gebundenen Ionen sind diejenigen an den Ecken des Salzkristalls. Zudem sind die Ionen dort für die angreifenden Wassermoleküle von mehreren Seiten zugänglich. Die Eck-Ionen sind etwa 10000 mal besser ablösbar als Ionen in den Kristallkanten. Der Auflösungsprozess erfolgt deshalb immer von den Kristallecken her. Mehrere Wassermoleküle lagern sich in geeigneter Weise über Ion-Dipol-Bindungen an die Eck-Ionen an. Wegen der Wärmebewegung werden die Eck-Ionen regelrecht weggerissen, allseitig mit weiteren Wassermolekülen umgeben und abtransportiert. Die neu entstandenen Eckteilchen können erst von Wassermolekülen umgeben werden, wenn die eben erst losgerissenen weggeschafft sind. Der Wegschaffungsprozess kann durch Umrühren oder durch eine höhere Temperatur beschleunigt werden. Die gelösten Ionen schwimmen nun nicht etwa frei im Wasser herum, sondern sind ständig von einer Hülle aus Wassermolekülen umgeben. Na⁺ und Cl⁻-Ionen sind z.B. je mit sechs Wassermolekülen oktaedrisch umgeben. Man spricht von einem

Aquakomplex: *Eine Gruppe von Stoffteilchen, bestehend aus einem zentralen Teilchen, welches von einer definierten Anzahl Wassermolekülen umgeben ist. Das gelöste Teilchen erhält oft den Zusatz (aq) = aquatisiert.*

Bsp: Cl⁻(aq)



Ist die elektrostatische Anziehung zwischen den Ionen zu gross, sind Wassermoleküle nicht in der Lage Ionen aus dem Gitterverband herauszulösen. Für Salze der Hauptgruppenelemente (Ausnahmen: F⁻ und Li⁺) gelten folgende

Löslichkeitsregeln: Salze sind dann löslich, wenn mindestens eines der Ionen nur einfach geladen ist.

Trennmethoden mit Hilfe der Löslichkeit

So wie bei einer Destillation Stoffe aufgrund unterschiedlicher Siedepunkte voneinander getrennt werden können, können Stoffe wegen ihrer unterschiedlichen Löslichkeit in einem Lösungsmittel getrennt werden. Wie bei der Destillation werden die Kräfte, welche zwischen Stoffteilchen wirken, ausgenützt. Soll eine Stoffmischung in die einzelnen Stoffe aufgetrennt werden, spielen zwei Arten von Wechselwirkungen eine Rolle:

1. Anziehende Kräfte zwischen den zu trennenden Stoffteilchen und den sie umgebenden.
2. Anziehende Kräfte zwischen den zu trennenden Stoffteilchen und den Stoffteilchen des Lösungsmittels

Damit die Methode funktioniert, muss der abzutrennende Stoff besser löslich sein als die übrigen Stoffe und zudem müssen die Kräfte zwischen den zu trennenden Stoffteilchen und ihrer Umgebung klein genug sein.

Die bekanntesten Trennmethoden aufgrund unterschiedlicher Löslichkeit sind die folgenden:

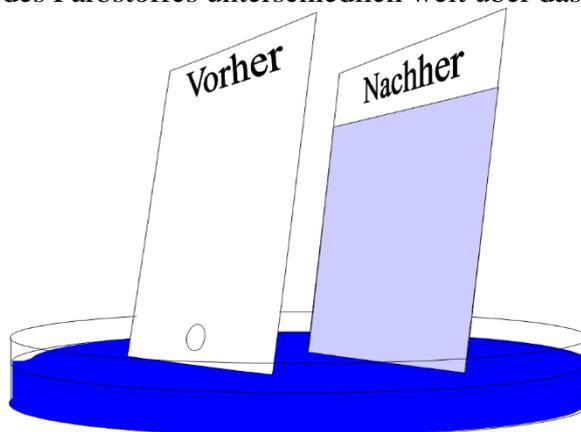
Extraktion: Heisst soviel wie "Auszug". Ein löslicher Stoff wird mit einem Lösungsmittel aus einem anderen Stoff herausgezogen. Einige typische Anwendungsbeispiele sind:

Kochsalzgewinnung : Mit Wasser wird Kochsalz aus salzhaltigem Gestein herausgelöst. Die Salzlösung wird anschliessend eingedampft.

Kaffezubereitung: Die geröstete Kaffeebohne wird feingemahlen, damit möglichst viel von der Bohne mit dem heissen Wasser in Kontakt kommt. Heisses Wasser, welches in der Regel ein besseres Lösungsmittel ist als kaltes, wird zur Extraktion von Farb-, Aroma- und Wirkstoffen (Koffein) verwendet.

Teezubereitung: Natürliche, getrocknete Blätter des Teebaumes (Grüntee) oder vergorene Blätter (Schwarztee), zum Teil aromatisiert mit teefremden Duftstoffen, werden 3-5 min. in heissem Wasser aufgequollen und dann abfiltriert.

Chromatografie: Heisst soviel wie "Farbbeschreibung", weil die Methode oft zur Auftrennung von Farbgemischen verwendet wurde. Dazu wurde ein Farbstoff auf ein Filterpapier gegeben, welches in Wasser gestellt wurde. Das Filterpapier sog das Wasser auf, das Wasser löste die Farbstoffe und "schleppte" die verschiedenen Bestandteile des Farbstoffes unterschiedlich weit über das Filterpapier.

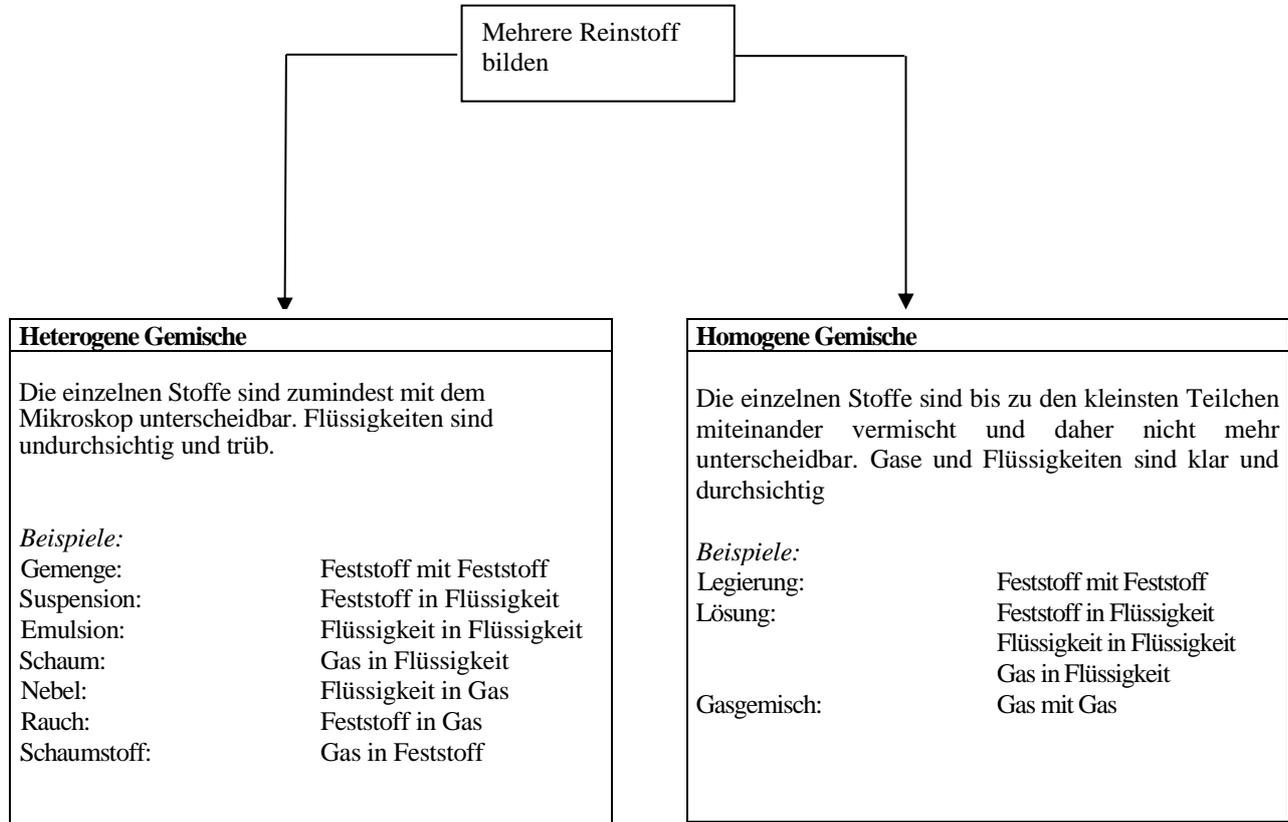


Übersicht über die verschiedenen Trennverfahren

Mischen und Trennen

1. Reinstoffe und Gemische

Stoffe, die aus mehreren Reinstoffen bestehen, nennt man Gemische. Im Gemisch bleiben die typischen Eigenschaften der Reinstoffe erhalten.



2. Stofftrennungen

Gemische lassen sich nur dann trennen, wenn sich die einzelnen Stoffe in der zur Trennung genutzten Eigenschaft genügend stark unterscheiden.

Gemischtyp	Trennverfahren	zur Trennung genutzte Eigenschaft
Gemenge	Sieben	Teilchengröße
	Extrahieren	Löslichkeit
Suspension	Filtrieren	Teilchengröße
	Sedimentieren	Dichte
Emulsion	Zentrifugieren	Dichte
Rauch	Filtrieren	Teilchengröße
Lösung	Eindampfen	Siedetemperatur
	Destillieren	Siedetemperatur
	Extrahieren	Löslichkeit
	Chromatographieren	Löslichkeit
Gasgemisch	Adsorbieren	Adsorbierbarkeit

Chemische Reaktionen

Bisher haben wir Vorgänge betrachtet, bei denen sich nicht die Stoffteilchen selbst, sondern nur die Art und Weise, wie sie sich zusammenlagern (aggregieren) verändert hat. Dazu gehören die klassischen Aggregatzustandsänderungen, dazu gehören aber auch Vorgänge wie Lösen, Eindampfen, Mischen etc.

Im folgenden geht es um Vorgänge, bei denen Stoffteilchen verändern werden. Das ist gleichbedeutend mit einer Veränderung des Stoffes. Oft braucht es dazu einen zweiten Stoff mit anderen Stoffteilchen, welcher die Veränderung auslöst. Es gibt zwei grundsätzlich verschiedene Möglichkeiten der Stoffteilchenumwandlung:

Umgruppierung von Atomen in Molekülen:

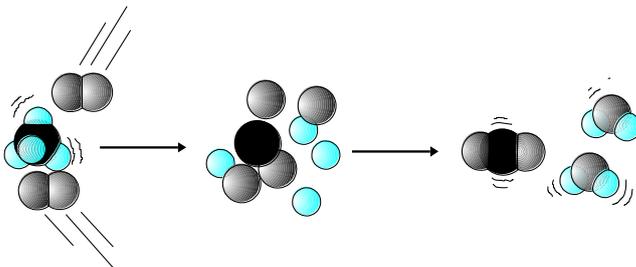
Die Atome in einem Molekül gruppieren sich um zu einem neuen Molekül. Die Umgruppierung kann so vor sich gehen, dass mit Atomen eines fremden Stoffteilchens grundsätzlich neue Moleküle entstehen. Möglich sind aber auch nur geringfügige Änderungen, wie anknüpfen oder abspalten von wenigen Atomen. Jede noch so kleine Änderung führt aber zu neuen Stoffteilchen und damit zu einem neuen Stoff.

Elektronenabgabe oder -aufnahme

Aus Atomen können so Ionen entstehen (Metall-Stoffteilchen wandeln sich um zu Stoffteilchen von Gesteinen oder Mineralien: Eisen → Eisenerz, Rost) oder umgekehrt. Auch können aus Ionen Ionen mit einer anderen Ladung entstehen.

Als Beispiel für eine Umgruppierung von Atomen in Molekülen soll die Verbrennung von Erdgas mit der Formel $\text{CH}_4(\text{g})$ dienen.

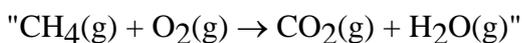
Eine Verbrennung ist in der Regel eine Reaktion von zwei gasförmigen Stoffen unter Abgabe von Wärmeenergie. Dazu müssen sich die Stoffteilchen gut durchmischen können. Bei Kollisionen fallen sie auseinander und gruppieren sich um. Dieser Vorgang spielt sich milliardenfach ab. Um die Übersicht zu behalten, betrachtet man das Geschehen aus der Sicht von einem oder wenigen Stoffteilchen. Bei Methan (CH_4) sieht das folgendermassen aus:



Durch Experimente stellt man fest, dass aus Methangas und Sauerstoffgas der Luft Kohlendioxidgas $\text{CO}_2(\text{g})$ und Wasserdampf $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ entsteht.

Man formuliert den Sachverhalt folgendermassen:

(Der Pfeil bedeutet: "...wird überführt in...".)

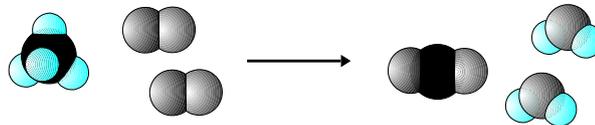
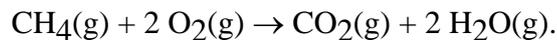


Reaktionsgleichungen und Massenverhältnisse

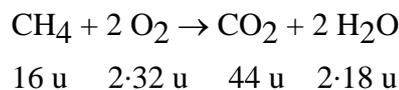
Weil bei Reaktionen weder Atome verschwinden, noch neue entstehen können, kann man in der obigen Beziehung die Teilchenverhältnisse festlegen. (Man kann es auch experimentell überprüfen). Man erhält dadurch die

Reaktionsgleichung: *Eine chemische Gleichung, welche links die Stoffformeln der Ausgangsstoffe (Edukte), rechts die Stoffformeln der Endstoffe (Produkte) enthält. Dazwischen wird mit einem Pfeil (statt des Gleichheitszeichens) die Reaktionsrichtung angegeben. Den Stoffformeln werden Faktoren vorangestellt, so dass die Zahl der verschiedenen Atome links mit derjenigen rechts übereinstimmt.*

Die Reaktionsgleichung für die Verbrennung von Methan mit Sauerstoff lautet demnach:



In der Reaktionsgleichung ist festgelegt, in welchem Verhältnis die Teilchen reagieren. In diesem Fall trifft ein CH_4 -Molekül auf 2 O_2 -Moleküle. Es entstehen 1 CO_2 -Molekül und 2 H_2O -Moleküle. Damit sind aber auch die Massenverhältnisse bei der Reaktion festgelegt:



Diese Massenverhältnisse sind beliebig erweiterbar, z.B. durch Verwendung einer grösseren Masseneinheit wie Gramm:



Mit Proportionsrechnungen können nur auch beliebige andere Massenverhältnisse erfasst werden. Dass die Massen links in der Gleichung gleich gross sind wie rechts ist kein Zufall. Masse wird bei chemischen Reaktionen weder erzeugt noch vernichtet. Einzig das Erfassen der Massen durch Wägen kann Schwierigkeiten bereiten, wenn die Stoffe z.B. gasförmig sind oder als Rauch entweichen. Dieser Sachverhalt wird festgehalten im

Massenerhaltungsgesetz: In einer chemischen Reaktion ist die gesamte Masse der Ausgangsstoffe gleich der Masse der Endstoffe.

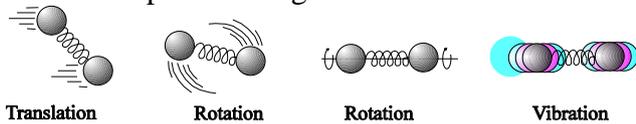
Die Erfahrung zeigt, dass bei Verbrennungsreaktionen an der Luft aus den Elementen der Edukte folgende Verbindungen entstehen:

Element in Edukt:	C	H	O	Cl
Verbindung in Produkt:	$\text{CO}_2/\text{CO}/\text{C}$	H_2O	$\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2/\text{CO}$	HCl

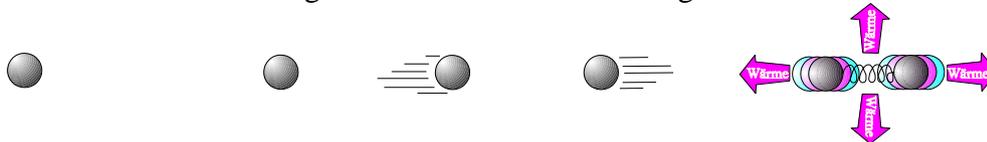
Bindungsspaltung und Bindungsbildung

Eine Reaktionsmischung kann sich während der Reaktion nicht nur erwärmen, sondern auch abkühlen. Woher stammt die Wärme, bzw. wohin entschwindet sie?

Bei vielen Stoffumwandlungen müssen zuerst Bindungen zwischen Teilchen gespalten und danach neue Bindungen geknüpft werden. Bindungen sind nicht starr. Die Wärmebewegung besteht nämlich nicht nur aus der geradlinigen Bewegung der Stoffteilchen, sondern auch aus verschiedenen Rotationsbewegungen und Schwingungen der Atome in einer Elektronenpaarbindung. Die verschiedenen Bewegungen in einem zweiatomigen Molekül:

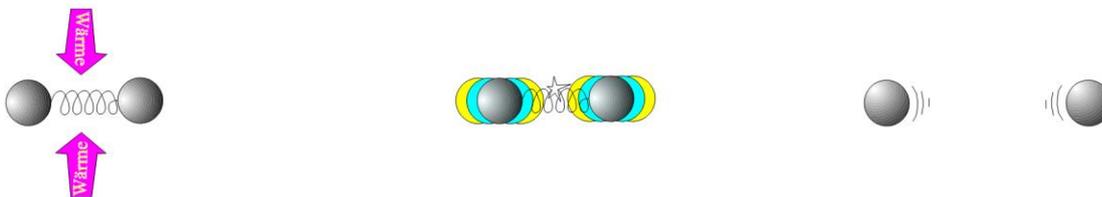


Die einzelnen Bewegungsarten wandeln sich dauernd ineinander um, nur die mittlere Bewegungsenergie bleibt dieselbe. Gebundene Teilchen vibrieren immer, die Vibration ist Teil der Wärmebewegung. Zusätzliche Vibration tritt dann auf, wenn Teilchen aus einer Ruheposition wegen der elektrostatischen Anziehung aufeinander zustürzen und eine neue Bindung bilden. Dabei wird Wärme freigesetzt und die Stoffmischung erwärmt sich. Es ist ein



exothermer Vorgang: (exo: nach aussen, thermos: Wärme)
Ein Vorgang, bei Wärme freigesetzt wird.

Umgekehrt braucht es Wärme, um Bindungen entgegen der elektrostatischen Anziehung aufzubrechen. Nehmen schwingende Teilchen Wärme auf, kann die Vibration so stark werden, dass die Bindung gespalten wird. Die Mischung kühlt sich ab, weil diese Wärme dann im System fehlt.



Es ist ein

endothermer Vorgang: (endo: nach innen)
Ein Vorgang, bei dem Wärme aufgenommen wird.

Die Reaktionswärme, welche bei einer chemischen Reaktion abgegeben oder aufgenommen wird, bezeichnet man als

Reaktionsenthalpie: *Die Wärme, welche bei Reaktionen unter*
 (Reaktionsenergie) *konstantem Druck durch die Systemgrenzen fließt.*

Bei vielen Reaktionen tritt zuerst eine Bindungsspaltung, anschliessend eine Bindungsbildung auf. Wird bei einer solchen Reaktion Wärme abgegeben, überwiegen offenbar bindungsbildende, exotherme Vorgänge. Umgekehrt überwiegen in einer sich abkühlenden Mischung die endothermen Vorgänge.

Energie und Aktivierung

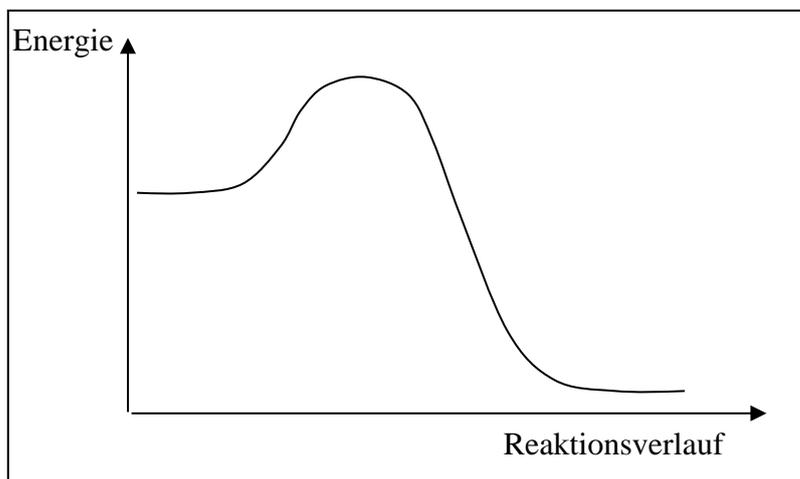
Viele exotherme Reaktionen laufen erst nach anfänglicher Zündung von selbst weiter. Dies ist ein Hinweis darauf, dass bei einer Reaktion zuerst Bindungen gespalten werden müssen. Die Energie, die man durch Zündung zufügt nennt man

Aktivierungsenergie: *Die Energie, die man einer Reaktionsmischung zufügen muss, damit eine chemische Reaktion in Gang kommt.*

Energie ist ein Begriff aus der Physik. Er bedeutet soviel wie „die Möglichkeit, Arbeit zu verrichten“. Dazu braucht es Kraft. Je weiter die Kraft eingesetzt wird, desto grösser ist die verrichtete Arbeit. Energie ist also die Möglichkeit, über einen gewissen Weg Kraft einsetzen zu können. Wenn sie dann tatsächlich eingesetzt wird, spricht man von Arbeit.

Was hat das alles nun mit Chemie zu tun? Es gibt bekanntermassen Stoffe, die viel Energie enthalten. Dazu gehören sicher Benzin, aber auch Erdgas oder Wasserstoffgas. Nach Zündung setzt Benzin in einem Verbrennungsvorgang als Wärme frei. Die Energie kann man in Arbeit umsetzen, z.B. ein Auto bewegen.

Grafisch kann man die energetischen Veränderungen bei einer Reaktion, welche nach Aktivierung Energie freisetzt, wie folgt darstellen:



Wärme ist nur eine Form von Energie. Ein Auto über eine gewisse Strecke zu bewegen, ist Arbeit. Diese Arbeit kann aus verschiedenen Energiequellen kommen. Die Wärme, die bei der Verbrennung von Benzin im Motor frei wird, ist nur eine davon.

Andere Energieformen wären zum Beispiel:

- elektrische Energie
- Energie der Lage
- Bewegungsenergie
- Kernenergie

Auch mit anderen Energieformen lassen sich Reaktionen auslösen oder durch ständige Zufuhr sogar in die umgekehrte Richtung lenken, wie das nächste Kapitel zeigen wird.

Die Umkehrbarkeit von Reaktionen am Beispiel der Elektrolyse

Wasserstoffgas verbrennt mit Luftsauerstoff unter Energieabgabe zu Wasser. Wasser hingegen lässt sich durch Zünden mit einem Funken nicht mehr zurück in Wasserstoffgas und Sauerstoffgas verwandeln. Mit der Methode der Elektrolyse ist dies aber möglich.

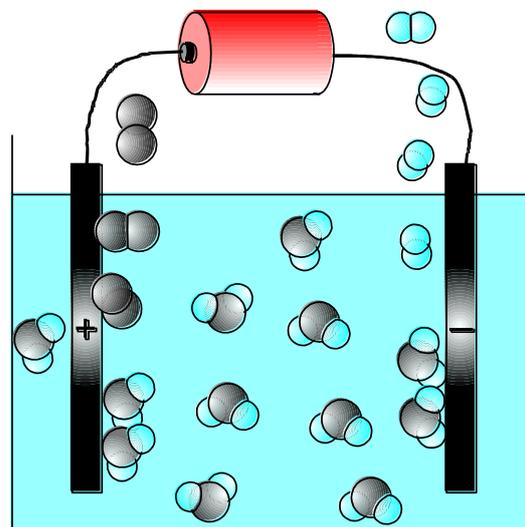
Allen chemischen Reaktionen gemeinsam sind die Veränderungen innerhalb der Elektronenhülle. Wenn Atome eines Moleküls sich umgruppieren zu einem anderen Molekül, kann das nicht ohne Folgen bleiben für die Elektronen in der Elektronenhülle. Unterschiedliche Elemente haben unterschiedliche Elektronenzahlen. Erhält ein Atom neue Nachbaratome, sind die Wechselwirkungen zwischen den Elektronen nicht mehr dieselben. Elektronenverlagerungen sind eine unvermeidliche Begleiterscheinung bei chemischen Reaktionen. Elektronenverlagerungen sind als kleine elektrische Ströme aufzufassen, welche nicht sehr weit fließen. Also sollte man durch elektrischen Strom ,z.B. aus einer Batterie, eine Elektronenverschiebung in Stoffteilchen auslösen können. Die entsprechende Methode heisst

Elektrolyse: „Aufspaltung mit elektrischem Strom“.

Dazu werden zwei Bleche mit Strom entgegengesetzt aufgeladen. Am positiv aufgeladenen Blech haben nun Atome die Gelegenheit Elektronen abzugeben, am negativen können sie Elektronen aufnehmen. Häufig sind die Atome Bestandteile von Molekülen, welche in der Folge zerfallen zu neuen Stoffteilchen. Es entstehen neue Stoffe.

Ein schönes Beispiel für eine Elektrolyse ist die Aufspaltung der Verbindung Wasser $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ in die Elementarstoffe Wasserstoff $\text{H}_2(\text{g})$ und Sauerstoff $\text{O}_2(\text{g})$. Diese Elektrolyse ist von grossem Interesse, weil damit mit Strom aus Solarzellen der umweltfreundliche Brennstoff Wasserstoff erzeugt werden kann:

An der linken Elektrode geben die Sauerstoffatome in den Wassermolekülen Elektronen ab. Das Wassermolekül fällt auseinander, die Sauerstoffatome verbinden sich mit anderen Sauerstoffatomen zu Sauerstoffmolekülen und entweichen als Gas. Der Wasserstoffrest des Moleküls verbleibt gelöst in Wasser. Auf der anderen Seite nehmen Wasserstoffatome in den Wassermolekülen an der



negativen Elektrode Elektronen auf. Auch hier zerfällt das Molekül. Die Wasserstoffatome verbinden sich mit anderen Wasserstoffatomen zu Wasserstoffmolekülen H_2 . Diese entweichen als Gas. Der Rest des Moleküls verbleibt im Wasser gelöst.

Die Methode der Elektrolyse kann bei vielen anderen Verbindungen ebenfalls angewendet werden, sofern der Stoff flüssig ist oder gelöst ist. Nur dann ist nämlich die Beweglichkeit der Stoffteilchen genügend gross, dass sie sich zu den Elektroden hin bewegen können.

Fragen

Die kleinsten Teilchen I - Die wichtigsten Elementarteilchen

1. Aluminiumatome bestehen aus 14 n^0 , 13 p^+ und 13 e^- .
Welche auf ganze Zahlen gerundete Masse in u haben Aluminiumatome ungefähr?
2. Welche Ladung haben Aluminiumatome?
3. Um welchen Faktor wird der Betrag der elektrostatischen Kraft zwischen zwei geladenen Körpern kleiner, wenn der Abstand verdoppelt wird?
4. Welche elektrostatischen Kräfte treten in folgenden Fällen in Erscheinung?
 - a) Zwischen zwei Elektronen?
 - b) Zwischen zwei Neutronen?
 - c) Zwischen einem Proton und einem Neutron?
5. Welche Ladung hat das Teilchen, das aus 8 n^0 , 8 p^+ und 10 e^- besteht?

Die kleinsten Teilchen II - Atome

1. Welche Kräfte müssen betragsmässig grösser sein, die elektrostatischen Kräfte oder die Kernkräfte, welche Protonen und Neutronen im Kern zusammenhalten?
2. Welchen Durchmesser hätte ein Atom, wenn dessen Kern ein Fussball von 22 cm Durchmesser wäre?
3. In der Natur findet man die Nuklide ^1H , ^2H und ^3H . Aus welchen Elementarteilchen bestehen diese Nuklide? Welche Unterschiede treten hinsichtlich Ladung und Masse auf? Worin unterscheiden sich die Elektronenhüllen dieser Nuklide?
4. Gib für die folgenden Nuklide die Namen und die vollständigen Atomsymbole inkl. Ordnungs- und Massenzahl an:
 - a) 15 p^+ und 16 n^0
 - b) 18 n^0 und 17 e^-
 - c) 143 n^0
 - d) 9 p^+ und 10 n^0
5. Vergleiche die Nuklide ^{50}V und ^{50}Ti (Gemeinsamkeiten, Unterschiede).
6. 25% der Chloratome sind Nuklide Chlor-37, die übrigen Nuklide Chlor-35.
Welche durchschnittliche Masse haben demzufolge Chloratome ungefähr?

Die kleinsten Teilchen III - Stoffe, eine Vorschau

1. Gedankenexperiment: Du zerteilst ein Stück Eisen immer wieder. Wie lange musst du teilen, bis die chemischen Eigenschaften des Stoffes Eisen (metallischer Glanz, undurchsichtig, elektrische Leitfähigkeit) verloren gehen ?
2. Du machst dasselbe wie bei 1. mit gefrorenem Wasser (Eis).
3. Es gibt drei H-Isotope: ^1H , ^2H und ^3H und ebenfalls drei verschiedene stabile Sauerstoffisotope: ^{16}O , ^{17}O und ^{18}O . Wie viele unterschiedlich schwere Wasserteilchen gibt es demzufolge?

4. Verhalten sich die verschiedenen Wasserteilchen bei Stoffveränderungen unterschiedlich?
5. Nachstehend sind die Formeln und die Namen einiger Stoffe angegeben. Entscheide, in welchen Fällen es sich um elementare Stoffe handeln muss und in welchen Fällen Verbindungen vorliegen:
 N_2 (Stickstoff), $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ (Haushaltszucker), P_4 (Phosphor), NaCl (Kochsalz), Al (Aluminiummetall), CH_4 (Methan, Erdgas), C (Diamant), $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (Alkohol).

Kleinste Teilchen IV - Die Atommasse chemischer Elemente

1. Auf welche Weise lässt sich mit Hilfe des PSE die mittlere Neutronenzahl der natürlichen Isotope eines Elementes angeben?
2. Welche Veränderung erfährt das Verhältnis p^+/n^0 der chemischen Elemente mit zunehmender Ordnungszahl? Trage zur Lösung dieser Aufgabe die Ordnungszahl der Elemente 2,12,22.....92 auf der y-Achse gegen die mittlere Neutronenzahl (Atommasse – Ordnungszahl) auf der x-Achse auf einem Linienpapier auf.
3. Der Stoff Wasser hat die chemische Formel H_2O . Wie gross ist der Massenanteil des Sauerstoffs in Wasser?
4. Die Verbindung Kochsalz hat die Formel NaCl . Wie gross ist der Massenanteil des Chlors im Kochsalz (Angabe in %)?
5. Der Edelstein Rubin besteht aus Material der Formel Al_2O_3 und Spuren von Verunreinigungen, denen er seine leuchtend rote Farbe verdankt. Wie gross ist der Massenanteil des Aluminiums im Rubin?

Die Elektronenhülle I - Das Schalenmodell

1. Welche Gemeinsamkeiten hinsichtlich des Baus der Elektronenhülle haben Atome
 - a) einer Periode (waagrechte Zeile) des Periodensystems?
 - b) einer Hauptgruppe des Periodensystems?
2. Wie viele Elektronen können die 1. und die 2. Schale der Atome höchstens enthalten?
3. Wie gross ist die maximale Anzahl von Elektronen einer Schale und bei welcher Schale wird diese Zahl erreicht?
 Versuche zudem eine modellhafte Interpretation dafür zu geben, dass in der 2. Schale mehr Elektronen auftreten können als in der 1. Schale.
4. Metallische Elemente werden im PSE durch eine treppenförmige Trennungslinie von den nichtmetallischen Elementen abgetrennt. Sind metallische Elemente Haupt- oder Nebengruppenelemente? Wie steht es bei den nichtmetallischen Elementen?
5. Gib detailliert an, woraus der Atomrumpf des Reinelementes Phosphor besteht. Welche Ladung hat dieser Atomrumpf?

Die Elektronenhülle II - Die Elektronegativität

1. Welches Element im PSE hat die kleinste EN? Begründe deine Meinung.

2. Gibt es einen Zusammenhang zwischen metallischen bzw. nichtmetallischen Elementen und ihrer EN?
3. Warum liegt die treppenförmige Trennungslinie zwischen den metallischen und den nichtmetallischen Elementen diagonal im PSE?
4. Welchen Wert der Elektronegativität müsste das Neon ungefähr haben?
5. Wir haben festgestellt, dass die Atomgrösse in einer Periode von links nach rechts abnimmt. Wie aber die Tabelle der Atom- und Ionenradien zeigt, erfolgt diese Abnahme nicht linear. Stelle die auftretende Gesetzmässigkeit fest und versuche, die Feststellung zu deuten.

Metallische Stoffe I - Der Aufbau von Metallen

1. Was ist der Unterschied zwischen den Metallkörnern und dem Korngefüge von Metallen?
2. Welche der typischen Metalleigenschaften erklärt das einfache Metallmodell sehr gut?
3. Welchen Atome haben die gleiche Elektronenanordnung in der Elektronenhülle wie die Atomrümpfe von Kalium bzw. Lithium?
4. Wodurch halten die einzelnen Körner in einem Korngefüge zusammen?
5. Ist ein Kristall ein metallischer Stoff? Begründe.

Nichtmetallische Stoffe I - Die stabile Elektronenanordnung der Edelgasatome

1. Welche Edelgaskonfigurationen nehmen die chemisch stabilen Formen der folgenden Atome an und wie viele Elektronen müssen sie dabei auf- bzw. abgeben?
Al, O, Ba, F, P und Li
2. Welche Elemente haben die meisten Orbitale pro Schale und wie viele sind es?
3. Überlege dir, in welcher dreidimensionalen Anordnung sich die vier Valenzorbitale von Ar befinden. Berücksichtige eine maximale Abstossung zwischen den vier Orbitalen.
4. Wie viele gemeinsame Elektronenpaare müssen Stoffteilchen mit der Formel Cl_2 haben?
Zeichne das Stoffteilchen, indem du nur die Valenzelektronenpaare (als Striche) und die Atomrümpfe als Atomsymbole darstellst.
5. Warum können nur Stoffteilchen mit stabilen Elektronenkonfigurationen einen Stoff aufbauen?

Nichtmetallische Stoffe II - Moleküle

1. Finde eine Erklärung dafür, warum die Moleküle H_4O_2 und H_6O_3 nicht möglich sind.
2. In Eis sind die Wasser-Stoffteilchen sehr regelmässig angeordnet (vgl. Aufbau der Metalle). Zeichne einen Ausschnitt aus einem Stück Eis, in dem die Stoffteilchen ersichtlich sind.
3. Ein Stoff wird analysiert. Er enthält die Elemente N und H im Verhältnis 1:3. Zeichne ein Stoffteilchen dieses Stoffes, wobei du die Atomrümpfe als Atomsymbole darstellst und die Elektronenpaare der Valenzschalen als Striche.
4. Zeichne mit derselben Methode jeweils ein Stoffteilchen der folgenden Stoffe:
 C_2H_6 , C_3H_8 , CH_4O , H_2O_2 , N_2H_4 , HF , F_2 , NF_3 .
5. Erstelle eine kurze Liste, in der du festhältst, wie viele Bindungen die Atome H, C, N, O, F, Ne (in dieser Reihenfolge) zu den Nachbaratomen bilden. Welche Gesetzmässigkeit steckt dahinter?

Nichtmetallische Stoffe III - Das Tetraedermodell der Valenzschale

1. Aus welchen Stoffteilchen muss elementares Brom bestehen? Welche Masse haben diese Stoffteilchen?
2. Aus welchen Stoffteilchen ist der elementare Wasserstoff aufgebaut? Haben die H-Atome in diesen Stoffteilchen auch Edelgaskonfiguration?
3. Welche räumliche Gestalt hat das H_2O -Molekül?
4. Welches sind die einfachsten Verbindungen von a) C und H und b) N und H?
5. Wie viele Moleküle der Zusammensetzung C_4H_{10} gibt es? Zeichne die Valenzstrichformeln (Elektronenstrichformeln) dieser Moleküle.

Nichtmetallische Stoffe IV - Doppel- und Dreifachbindungen

1. Zeichnen Sie winkelmässig die Valenzstrichformeln der Moleküle CH_2O und H_2CO_3 (Kohlensäure, alle O-Atome hängen am C, keine Ringstruktur).
2. Das Propadien $\text{C}_3\text{H}_4(\text{g})$ ist ein wichtiges Synthesegas. Geben Sie die Valenzstrichformel dieses Moleküls, das zwei Doppelbindungen enthält, an.
3. Welche Hauptgruppenatome können ausschliesslich Einfachbindungen bilden?
4. Zeichnen Sie die Valenzstrichformeln der beiden Moleküle mit der Formel HCNO .
5. Welches ist das einfachste Molekül, welches nur C, H und N-Atome enthält?

Nichtmetallische Stoffe V - Weitere wichtige Moleküle

1. Zeichnen Sie die Valenzstrichformel für das Ozonmolekül O_3 . Die O-Atome bilden keinen Kreis!
2. Zeichnen Sie die Valenzstrichformel für das Molekül SO_2 . Das S-Atom befindet sich zwischen den beiden O-Atomen.
3. Zeichnen Sie die Valenzstrichformel für das Molekül NO , Stickstoffmonoxid.
4. $N_2O(g)$ ist Lachgas. Es ruft in kleinen Mengen Lachlust hervor. Es kann als Narkotikum verwendet werden. Die Atomreihenfolge ist NNO . Welche Valenzstrichformel hat das Molekül?
5. Ist das Molekül N_2O_4 ein Radikal? Nicht zeichnen, aber Antwort begründen.

Stoffe aus geladenen Stoffteilchen I - Einfache Ionen

1. Gib die Symbole (Atomsymbol + Ladung) der einatomigen Ionen an, welchen folgende Atomarten zugrunde liegen:
Schwefel, Calcium, Lithium, Phosphor
2. Das gewöhnliche Kochsalz wird chemisch Natriumchlorid genannt. Woraus muss demzufolge die chemische Verbindung Kochsalz bestehen?
3. Vergleiche anhand der Tabelle der Atom- und Ionenradien die Grösse der einatomigen Metallionen mit der Grösse ihrer Atome. Interpretiere den Sachverhalt.
4. Mach dasselbe wie unter 3. für die einatomigen Nichtmetallionen.
5. Wasserstoff bildet die einatomigen Hydrid-Ionen. Welches Symbol müssen sie haben und welchem Edelgasatom entspricht ihre Edelgaskonfiguration?

Stoffe aus geladenen Stoffteilchen II - Salze

1. Aus welchen Stoffteilchen besteht Kaliumsulfid und welche Formel hat es?
2. Welche der nachstehend aufgeführten Stoffe müssen zu den Metallsalzen gehören:
 $C_6H_{12}O_6$, CaF_2 , H_2O , CO_2 , $SrBr_2$.
3. Eine chemische Verbindung enthält nur die Elemente Calcium und Wasserstoff. Welche Formel muss diese Verbindung haben und wie heisst sie?
4. Überprüfe die Richtigkeit der folgenden Formeln von Metallsalzen:
 AlN , $AlBr_2$, Ca_2N_3 , SrF_2 , Na_2P , Rb_2S .
(Angaben, ob richtig oder falsch und die Aussage begründen!)
5. Aus welchen Ionen besteht der Stoff $LiAlH_4$? (Angabe von Symbol und Ladung).

Stoffe aus geladenen Stoffteilchen III - Einfache Salzkristalle

1. Im Innern eines Kochsalzkristalls hat jedes Natrium-Ion sechs Chlorid-Ionen als direkte Nachbarn. Es sind jeweils vier in einer Ebene, dann je eines davor und dahinter. Warum kann das Natrium-Ion nicht z.B. zwölf Chlorid-Ionen als Nachbarn haben?
2. Wieviele direkte Nachbarn haben die Ionen an der Oberfläche eines Kochsalzwürfels?
3. Wieviele direkte Nachbarn haben die Ionen an den Ecken eines Kochsalzwürfels?
4. Welche Ionen sind am schwächsten an den Kochsalzkristall gebunden?
5. Magnesiumoxid kristallisiert im Kochsalzgittertyp. Beschreibe aufgrund dieser Aussage den Aufbau des Magnesiumoxids. (Angabe von Ladung der Teilchen, Position der Kugeln)

Stoffe aus geladenen Stoffteilchen IV - Molekülonen

1. Wie sieht die Elektronenverteilung im Molekül Kohlenmonoxid (CO) aus? Ist sie mit dem Tetraedermodell erklärbar?
2. Zyankali, besser Kaliumcyanid, hat die Substanzformel KCN(s). Welche Ionen enthält dieser Stoff? Wie sieht die Elektronenverteilung im Cyanid-Ion aus?
3. Welche Valenzstrichformel haben die folgenden Ionen:
PO₄³⁻ (Phosphat)
SO₄²⁻ (Sulfat)
SO₃²⁻ (Sulfit)
ClO⁻ (Hypochlorit)
ClO₂⁻ (Chlorit)
4. Welche Valenzstrichformel und welche Ladung haben die Ionen, die aus folgenden Atomen bestehen:
1 Cl, 4 O (Elektronenverteilung wie im Phosphat-Ion)
1 Si, 4 O (Elektronenverteilung wie im Phosphat-Ion)
1 Cl, 3 O (Elektronenverteilung wie im Sulfit-Ion)
5. Welche Formeln haben die folgenden Salze:
Ammoniumsulfat
Natriumsulfit
Aluminiumsulfat
Kaliumphosphat

Die Stoffteilchen in ständiger Bewegung - Die Wärmebewegung

1. Pumpst man einen Ball oder einen Autoreifen auf, so steigt der Druck. Wie lässt sich diese Tatsache deuten?
2. Wie könnte man den Druck auch auf andere Art und Weise erhöhen?
3. Wasser in einem Glas verdunstet mit der Zeit. In welcher Art und Weise hat diese Verdunstung mit der Wärmebewegung der Stoffteilchen des Wassers zu tun?

- Wir betrachten zwei gleichgrosse, offene Schalen, in denen sich gleichgrosse Wasserportionen befinden. Die eine Wassermenge habe Umgebungstemperatur, die andere werde durch Heizen auf einer höheren konstanten Temperatur gehalten? Welche Wasserportion verdampft rascher? Begründe Deine Aussage.
- Welche absolute Temperatur hat ein Körper von 20°C ?

Die bewegungsabhängige Zusammenlagerung der Stoffteilchen - Aggregatzustände

- In welchen Phasen sind a) Form und b) Volumen von Stoffportionen unbestimmt?
- Rauhreif kann an kalten Wintertagen verschwinden, ohne dass flüssiges Wasser heruntertropft. Wie heisst dieser Phasenwechsel?
- Warum lassen sich feste und flüssige Stoffe kaum zusammendrücken?
- Können wir mit unserem bisherigen Wissen überhaupt verstehen, warum Stoffteilchen sich bei nicht zu hoher Temperatur zu Verbänden zusammenlagern?
- Als Dampf bezeichnet man ein (absolut durchsichtiges) Gas, welches bei Raumtemperatur zu einer Flüssigkeit kondensieren kann. Nebel hingegen sind feinstverteilte Wassertröpfchen in der Luft, an denen das Licht gestreut wird. Sind Wasserteilchen, welche aus kochendem Wasser emporsteigen, folglich als Dampf oder als Nebel zu bezeichnen?

Die Bauklötzchen der Natur - Stoffteilchen

- Welche Formeln haben die Stoffteilchen der Stoffe:
Zink, Zinn, Radon, Sauerstoff, Kohlendioxid
- Welche Formeln haben die Stoffe aus den unter 1. erwähnten Stoffteilchen?
- Welche Sorte von Stoffteilchen enthalten die folgenden Stoffe:
Holz, Blei, Tränengas, Alkohol, Rubin.
- Der Stoff Magnesiumoxid (Magnesia) wird beim Reckturnen verwendet, um die Reibung an den Handflächen zu verringern. Seine Formel ist $\text{MgO}(\text{s})$. Woraus bestehen seine Stoffteilchen?
- Sauerstoffatome, welche zu Ionen werden, nehmen immer zwei Elektronen auf. Welche Ladung müssen demzufolge die Magnesium-Ionen haben?

Die Stoffteilchen halten zusammen- Stoffbestimmung und Stofftrennung mit Hilfe der Schmelz- und Siedepunkte

- Ein Stoff A hat eine Siedetemperatur von 100°C , B eine Siedetemperatur von 78°C . Bei welchem Stoff ist der Zusammenhalt zwischen den Stoffteilchen grösser?
- Das Gemisch von 1. wird auf 78°C gebracht. Enthält der Dampf nun nur Stoffteilchen von B?
- Leitet man den Dampf vom Gemisch A+B durch ein langes senkrechtes Rohr, enthält der Dampf am Ende des Rohres mehr B im Vergleich zu A als vorher. Warum?

4. Warum haben Steine meistens besonders hohe Schmelzpunkte?
5. Gib je ein Beispiel aus dem Alltag für die Begriffe Emulsion und Suspension an.

Stoffteilchen vermischen sich mit anderen Stoffteilchen - Löslichkeit

1. Ist Öl in Wasser löslich?
2. Zucker wird in Wasser gelöst. Wie könnte man Wasser und Zucker wieder in reine Stoffe auftrennen?
3. Wie kann man $\text{H}_2\text{O}(l)$ vom Aussehen her von $\text{NaCl}(aq)$ unterscheiden?
4. Stimmt die folgende Definition? "Ein Stoffteilchen ist dasjenige Partikel eines Stoffes, das von einem geeigneten Lösungsmittel aus seinem Verband herausgelöst und im Lösungsmittel aufgenommen werden kann."
5. Was passiert, wenn man zuviel Kochsalz in Wasser zu lösen versucht?

Das Löslichkeitsverhalten von Ionenverbindungen in Wasser

1. Warum löst sich ein Salz in warmem Wasser rascher als in kaltem?
2. Ist Kochsalz in Wasser unbeschränkt löslich?
3. Wir betrachten die Salze, die die folgenden Elemente enthalten:
Al und O Mg und Cl Ca und F
Welche dieser Salze sind gut, welche hingegen schlecht wasserlöslich?
4. $\text{LiF}(s)$ ist sehr schlecht, $\text{NaF}(s)$ etwas besser und $\text{KF}(s)$ bereits gut wasserlöslich. Wie lässt sich dieser Sachverhalt verstehen? (Hinweis: Ionenradien!)
5. Beim sorgfältigen Eindampfen einer wässrigen Lösung (d.h. beim Verdampfen des Wassers) von $\text{MgCl}_2(s)$ kristallisiert ein weißer Feststoff der Zusammensetzung $\text{MgCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ aus. Diese Formel besagt, dass pro Formeleinheit MgCl_2 sechs Wasser-Moleküle im Kristallgitter eingebaut sind. An welche Ionenart sind diese Kristallwassermoleküle im Kristall stärker gebunden?

Trennmethoden mit Hilfe der Löslichkeit

1. Lassen sich Zucker und Kochsalz mit Hilfe der Extraktion voneinander trennen?
2. In welcher Form enthält Mineralwasser Mineralien und woher stammen sie?
3. Bei einer Dünnschichtchromatografie wandert eine Substanz A praktisch mit der Geschwindigkeit des Lösungsmittels, eine andere (B) kommt nur halb so weit. Welche ist besser löslich im Lösungsmittel? Welche haftet besser auf dem Trägermaterial?
4. Könnte es unter Umständen sein, dass Substanz B zwar besser löslich ist im Lösungsmittel, aber wegen seiner starken Haftung auf dem Trägermaterial weniger weit wandert?

5. Welche Vorteile hat die Methode der Extraktion gegenüber der Chromatografie? Welche Nachteile hat sie?

Chemische Reaktionen

1. Ist $\text{CO}_2(\text{g})$ brennbar? Begründung.
2. Zu welcher grossen Kategorie von Stoffen gehört Asche? Warum wird bei der Verbrennung von Erdgas keine Asche erzeugt?
3. Beim Flambieren wird hochprozentiger Alkohol in einem Suppenlöffel zuerst mit einem Feuerzeug erhitzt, bevor er gezündet wird. Warum wird die Flüssigkeit nicht direkt gezündet?
4. Eine Verbrennung ist eine Reaktion von in der Regel gasförmigen Stoffen. Wie steht es dann beim Verbrennen von Holz?
5. Wie könnte man den Sachverhalt des Rostens von Eisen mit Formeln ausdrücken? (Annahme: Eisenionen sind zweifach positiv geladen.)

Reaktionsgleichungen und Massenverhältnisse

1. Ethan $\text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$ ist ebenfalls ein brennbares Gas. Versuche eine Reaktionsgleichung analog derjenigen für die Verbrennung von $\text{CH}_4(\text{g})$ aufzustellen. Bedingung: Links und rechts des Pfeils müssen gleich viele Atome der jeweiligen Elemente vorhanden sein.
2. Formuliere die Reaktionsgleichung für die Verbrennung von Wasserstoffgas $\text{H}_2(\text{g})$ mit Sauerstoffgas $\text{O}_2(\text{g})$.
3. Erdgas kann auch in Schwefeldampf $\text{S}_2(\text{g})$ verbrannt werden. Wie lautet die Reaktionsgleichung in diesem Fall?
4. Wie viele Gramm CO_2 werden beim Verbrennen von 32 g Methan frei? Vergleiche dazu mit der entsprechenden Reaktionsgleichung im Text.
5. Wie viele Gramm Sauerstoff benötigt die Verbrennung von 1 kg Wasserstoffgas?

Bindungsspaltung und Bindungsbildung

1. Ist das Verbrennen von Kohle ein exo- oder ein endothermer Vorgang?
2. Stimmt die folgende Aussage: "Wenn eine Reaktion exotherm ist, dann ist die Rückreaktion endotherm." Begründung.
3. Was muss man machen, um flüssiges Wasser in Eis überzuführen? Handelt es sich dabei um eine exo- oder um eine endotherme Reaktion?
4. Werden unter 3. die H-Atome von den O-Atomen abgespalten?
5. Wir betrachten die Phasenänderungen Verdampfen und Kondensieren. Welche dieser Phasenänderungen ist endotherm, welche hingegen ist exotherm? Gibt es eine Analogie zu den Phasenänderungen $(\text{s}) \rightarrow (\text{l})$ und $(\text{l}) \rightarrow (\text{s})$?

Energie und Aktivierung

1. Ist der Vorgang des Anzündens exo- oder endotherm?
2. Wenn eine Verbrennungsreaktion exotherm ist, was muss dann offenbar nach dem Zünden passieren?
3. Was ist der Unterschied zwischen Arbeit und Energie?
4. Ein Benzinmotor ist am Beschleunigen eines Autos. Ist in diesem Zusammenhang die Aussage "Der Motor arbeitet" korrekt oder müsste man besser sagen "der Motor besitzt Energie"?
5. Es gibt ein Naturgesetz, wonach die Gesamtenergie im Universum immer gleich gross bleibt. Energie kann also nicht einfach verschwinden, sondern wandelt sich um. Wo versteckt sich die Energie, die bei einer Reaktion frei geworden ist, nach der Verbrennung?

Die Umkehrbarkeit von Reaktionen am Beispiel der Elektrolyse

1. An der positiven Elektrode entsteht bei der Wasserelektrolyse immer $O_2(g)$. Was schliesst du daraus bezüglich der Elektronenverteilung im H_2O -Molekül?
2. Bei der Elektrolyse von geschmolzenem Kochsalz entsteht an der negativen Elektrode Natriummetall, an der positiven Chlorgas $Cl_2(g)$. Was muss folglich an den beiden Elektroden vor sich gehen?
3. Aus $NaCl(l)$ entsteht bei der Elektrolyse $Na(l)$ und $Cl_2(g)$. Formuliere die Reaktionsgleichung.
4. Wenn an der positiven Elektrode die Moleküle Elektronen abgeben, fallen die Moleküle auseinander. Wozu dienen offenbar die Elektronen in den Molekülen?
5. Ist die Elektrolyse von Wasser ein endo- oder ein exothermer Vorgang?