01 | WISSEN IM ZUSAMMENHANG

Von Atomen zu Molekülen

Ein Glas Wasser enthält sehr viele Wassermoleküle. Jedes dieser Moleküle besteht aus zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom. Die Atome sind miteinander verbunden. Wie entsteht daraus ein stabiles Teilchen?



Wasser: zwei gemeinsame und zwei freie Elektronenpaare. Jeder Punkt steht für ein Elektron, je zwei bilden ein Paar. Ein Bindungsstrich steht für ein gemeinsames Paar. Vereinfachtes Modell.

1 · Der Aufbau eines Atoms

Ein **Atom** besitzt einen kleinen Kern und eine Elektronenhülle. Im Kern sitzen positiv geladene **Protonen** und meist auch ungeladene **Neutronen**. Die Hülle enthält negativ geladene **Elektronen**. Bei einem neutralen Atom sind gleich viele Protonen und Elektronen vorhanden. Die Protonenzahl bestimmt das Element: Wasserstoff hat ein Proton, Sauerstoff acht.

Im Periodensystem findest du die Protonenzahl als **Ordnungszahl**. Die Elektronen können wir für den Einstieg auf Schalen verteilen. Ein Sauerstoffatom hat im einfachen Schalenmodell zwei Elektronen innen und sechs außen. Die äußeren Elektronen heißen **Valenzelektronen**. Sie sind für die chemischen Bindungen besonders wichtig.

2 · Gemeinsame Elektronen halten Atome zusammen

Bei einer **Elektronenpaarbindung** nutzen zwei Atome ein Elektronenpaar gemeinsam. Die positiven Kerne ziehen die gemeinsamen Elektronen an. So können die Atome eine stabile Verbindung bilden. Diese Bindungsart heißt auch Atombindung oder kovalente Bindung.

Ein Wasserstoffatom bringt ein Elektron mit. Zwei Wasserstoffatome können ein Paar gemeinsam nutzen: H-H. Beim Wassermolekül teilt Sauerstoff je ein Paar mit zwei Wasserstoffatomen. Zwei weitere Elektronenpaare bleiben am Sauerstoff als **freie Elektronenpaare**. Das Schaubild zeigt alle acht Außenelektronen des gesamten H_2O-Moleküls.

3 · Eine Formel lesen

Die **Summenformel** nennt die Elementsorten und ihre Anzahl. H_2O bedeutet: zwei H-Atome und ein O-Atom. Die tiefgestellte Zahl gehört zum Zeichen davor; eine Eins wird weggelassen. Die **Strukturformel** zeigt zusätzlich, welche Atome verbunden sind. Jeder Bindungsstrich steht für ein gemeinsames Elektronenpaar.

Das gehört zusammen: Außenelektronen ermöglichen Bindungen. Ein Molekül ist eine abgegrenzte Gruppe miteinander gebundener Atome.

Im Baukasten: Wähle Wasser. Verbinde O mit beiden H-Atomen und vergleiche dein Bauwerk mit H_2O.

01 | ZUSAMMENHÄNGE VERTIEFEN

Ein Bauwerk in drei Darstellungen lesen

Drei Ansichten - drei Fragen

Summenformel
H_2O: Welche Atome und wie viele?

Strukturformel
H-O-H: Wer ist mit wem verbunden?

Raummodell
Gewinkeltes Molekül: Wie liegen die Atome im Raum?

Die Ansichten zeigen dasselbe Molekül und ergänzen einander. Die Strukturformel legt hier noch keinen genauen Winkel fest.

Beim Bauen beantwortest du drei unterschiedliche Fragen: Welche Atome brauche ich? Welche Atome sind miteinander verbunden? Wie liegt die Gruppe im Raum? Eine **Summenformel** beantwortet nur die erste Frage. In einem Strukturmodell prüfst du zusätzlich jeden Nachbarn und jede Bindungsart. Ein freies Bindungsende im Baukasten ist eine Hilfe zum Zählen. Es ist kein sichtbarer Haken an einem echten Atom. Die Farben der Kugeln sind ebenfalls vereinbart; ein Sauerstoffatom ist in Wirklichkeit keine rote Kugel.

Für Wasser legst du ein O-Atom und zwei H-Atome bereit. Jedes H wird einmal mit O verbunden. Die beiden H-Atome hängen deshalb nicht zusätzlich direkt aneinander. Bei Methan liegt C in der Mitte und ist mit vier H-Atomen verbunden. **Gleiche Atomzahlen reichen zum Prüfen eines größeren Bauwerks nicht aus:** Auch die Verknüpfung muss zur gesuchten Verbindung passen. Beim Vergleichen gehst du deshalb vom Ganzen zu jedem einzelnen Atom. Zähle erst die Elementsorten, danach die Bindungsstriche an jedem Atom. So lässt sich ein Fehler finden, ohne das ganze Modell neu zu bauen.

Ein **Elementstoff** enthält nur eine Elementsorte; dazu gehört O_2. Eine chemische Verbindung enthält mindestens zwei Elementsorten, etwa H_2O. Ein Gemisch kann wiederum verschiedene Stoffe nebeneinander enthalten, ohne dass ihre Teilchen zu einer neuen Verbindung reagieren. Luft ist ein solches Gemisch. Die Begriffe Atom, Molekül, Elementstoff, Verbindung und Gemisch beschreiben also verschiedene Ebenen.

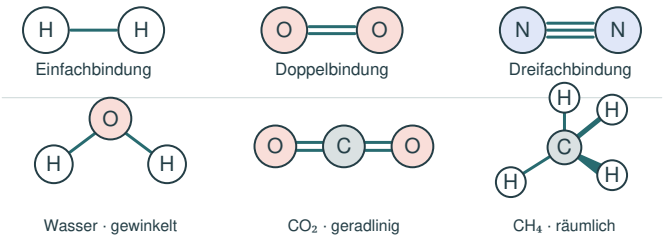
Vom Wasser zum Methan
Wasser enthält drei Atome, Methan fünf. Beim Wechsel der Vorlage vergleichst du nicht nur diese Gesamtzahl. Prüfe, welches Atom mehrere Nachbarn hat: O ist in Wasser mit zwei H-Atomen verbunden; C in Methan mit vier. Damit erklärst du den Aufbau statt nur Kugeln zu zählen.

Genau unterscheiden
Häufige Verwechslung: Die Farbe einer Kugel ist die echte Farbe des Atoms.
So stimmt es: Modellfarben helfen beim Unterscheiden der Elemente. Sie zeigen weder die tatsächliche Farbe noch die tatsächliche Größe eines einzelnen Atoms.

02 | WISSEN IM ZUSAMMENHANG

Der Aufbau erklärt Eigenschaften

Eine Formel ist ein Bauplan. Für viele Eigenschaften kommt es außerdem darauf an, wie die Atome verbunden und im Raum angeordnet sind. Darum ergänzen sich Summenformel, Strukturformel und räumliches Modell.



Bindungsarten und Molekülformen. Farben helfen beim Unterscheiden der Elemente. Größen und Abstände sind schematisch.

4 · Ein, zwei oder drei gemeinsame Paare

In H-H teilen zwei Atome ein Elektronenpaar. Das ist eine **Einfachbindung**. O=O besitzt eine **Doppelbindung** mit zwei gemeinsamen Paaren. N≡N besitzt eine **Dreifachbindung** mit drei gemeinsamen Paaren. Mehrere Striche verbinden dabei dieselben beiden Atome.

Für viele einfache, neutrale Moleküle helfen typische Regeln: H bildet einen, O zwei, N drei und C vier Bindungsstriche. Bei O=C=O hat das C-Atom zwei Nachbarn und insgesamt vier Bindungsstriche. Damit kannst du beim Bauen zwischen der Zahl der Nachbaratome und der Bindungsart unterscheiden.

5 · Elektronenpaare und räumliche Form

Viele Atome erreichen im einfachen Modell acht Elektronen in ihrer Außenschale. Dabei zählt ein gemeinsames Paar für beide beteiligten Atome. Diese Orientierung heißt **Oktettregel**. Für Wasserstoff passen zwei Elektronen. Für andere Verbindungen, etwa mit Bor, Phosphor oder Schwefel, braucht das Modell zusätzliche Regeln.

Elektronenbereiche stoßen sich gegenseitig ab. Ihre Anordnung beeinflusst die Molekülform. Wasser ist gewinkelt, Kohlenstoffdioxid ist geradlinig. In Methan, CH_4, liegen vier H-Atome räumlich um das C-Atom: an den Ecken eines Tetraeders. Eine flache Zeichnung zeigt jeweils nur eine Ansicht.

6 · Von der Form zur Wirkung

Im Wasser zieht Sauerstoff die gemeinsamen Elektronen stärker an als Wasserstoff. Dadurch ist die O-Seite etwas negativ und die H-Seite etwas positiv geladen. Wegen der gewinkelten Form besitzt das ganze Molekül zwei unterschiedlich geladene Seiten. Es ist ein **Dipol**. Insgesamt ist das Molekül elektrisch neutral; seine unterschiedlichen Seiten tragen **Teilladungen**.

Wassermoleküle ziehen sich dadurch gegenseitig an. Beim Verdampfen bewegen sie sich weiter auseinander; ihre Zusammensetzung bleibt H_2O. In CO_2 gleichen sich die Wirkungen der beiden polaren Bindungen durch die geradlinige, symmetrische Anordnung aus. Die räumliche Form hilft also, Stoffeigenschaften zu erklären.

Das gehört zusammen: Welche Atome vorkommen, wie sie verbunden sind und wie sie im Raum liegen, bestimmt gemeinsam die Eigenschaften.

Im Baukasten: Vergleiche Sauerstoff, Stickstoff und Kohlenstoffdioxid. Zähle Atome und Bindungsstriche getrennt.

02 | ZUSAMMENHÄNGE VERTIEFEN

Bindungszahl, Nachbarn und Form auseinanderhalten

Ein Nachbar kann mehrere Bindungen haben

O_2
Ein Nachbar pro O; Doppelbindung O=O.

N_2
Ein Nachbar pro N; Dreifachbindung N≡N.

CO_2
Zwei Nachbarn am C; zwei Doppelbindungen O=C=O.

Verglichen werden Nachbarn und Bindungsstriche. Die Zeichnung ersetzt kein maßstäbliches räumliches Molekülmodell.

Beim Vergleich von O_2, N_2 und CO_2 erkennst du: Die **Zahl der Nachbaratome** und die **Zahl gemeinsamer Elektronenpaare** sind unterschiedliche Angaben. Ein O-Atom im Sauerstoffmolekül hat einen Nachbarn und teilt mit ihm zwei Paare. Ein N-Atom im Stickstoffmolekül hat ebenfalls einen Nachbarn, teilt aber drei Paare. Das C-Atom in CO_2 besitzt zwei Nachbarn und insgesamt vier bindende Elektronenpaare. Drei Striche bedeuten deshalb keine drei Nachbarn. Beim Prüfen zählt jede Doppelbindung zweimal und jede Dreifachbindung dreimal.

Die räumliche Form ergänzt diese Zählung. Beim Wasser stehen zwei Bindungen und zwei freie Elektronenpaare um O. Die Bereiche ordnen sich mit Abstand an; die beiden H-Atome liegen deshalb gewinkelt. Beim CO_2 liegen die beiden O-Atome auf gegenüberliegenden Seiten des C-Atoms. Beide C-O-Bindungen sind polar. Ihre Wirkungen gleichen sich im symmetrischen Molekül jedoch aus. Beim gewinkelten Wasser bleibt eine unterschiedlich geladene O- und H-Seite. So entsteht ein **Zusammenhang zwischen Form und Wechselwirkung**. Ein flaches Baukastenbild allein kann genaue Winkel und Teilladungen nur eingeschränkt zeigen.

Eine **Bindung im Molekül** unterscheidet sich von einer Anziehung zwischen Molekülen. Beim Sieden werden vor allem zwischenmolekulare Anziehungen überwunden. Beim Spalten eines Moleküls müssen dagegen chemische Bindungen getrennt werden. Bindungen zu lösen benötigt Energie; Bindungsbildung setzt Energie frei. Für die Energiebilanz einer Reaktion müssen immer beide Vorgänge zusammen betrachtet werden.

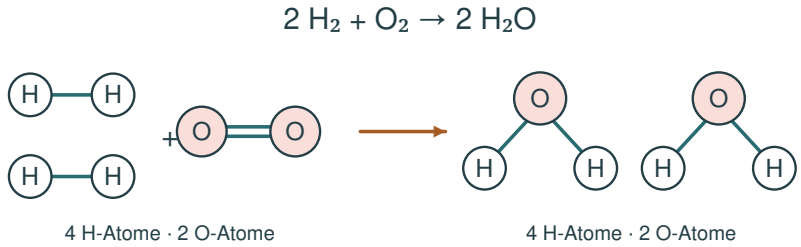
CO_2 korrekt prüfen
Zwei einfache C-O-Bindungen ergeben zwar bereits die richtige Anzahl an Atomen, aber noch nicht das gesuchte CO_2-Strukturmodell. Wähle für beide Verbindungen „Doppel“. Dann stehen am C insgesamt vier Bindungsstriche. Erkläre anschließend, warum dabei weiterhin nur zwei O-Nachbarn vorhanden sind.

Genau unterscheiden
Häufige Verwechslung: Eine Doppelbindung bedeutet, dass zwei zusätzliche Atome vorhanden sind.
So stimmt es: Eine Doppelbindung verbindet dieselben beiden Atome mit zwei gemeinsamen Elektronenpaaren. Die Atomzahl verändert sich dadurch nicht.

03 | WISSEN IM ZUSAMMENHANG

Stoffe verändern und Zusammenhänge erkennen

Mit dem Teilchenmodell kannst du sichtbare Veränderungen erklären. Entscheidend ist, was sich verändert: die Anordnung ganzer Moleküle oder ihre Zusammensetzung und Verknüpfung.



Atombilanz: Aus zwei H_2-Molekülen und einem O_2-Molekül entstehen zwei H_2O-Moleküle. Die Skizze zählt Teilchen; sie ist keine Versuchsanleitung.

7 · Bei einer Reaktion werden Atome neu verbunden

Bei einer **chemischen Reaktion** entstehen aus Ausgangsstoffen neue Stoffe. Alte Bindungen werden gelöst und neue gebildet. Die Atome jeder Elementsorte bleiben dabei erhalten. Die Gleichung $2\ H_2 + O_2 \rightarrow 2\ H_2O$ beschreibt zum Beispiel die Bildung von Wasser.

Links stehen vier H-Atome und zwei O-Atome, rechts ebenfalls. Die große Zahl vor einer Formel zählt ganze Moleküle. Die kleine Zahl in der Formel beschreibt ein einzelnes Molekül. Bindungen zu lösen benötigt Energie; beim Bilden von Bindungen wird Energie frei. Die Gesamtbilanz entscheidet, ob die Reaktion Energie abgibt oder aufnimmt.

8 · Auch andere Teilchenverbände bilden Stoffe

Kochsalz besteht aus positiv geladenen Natrium-Ionen und negativ geladenen Chlorid-Ionen. Ein **Ion** ist ein elektrisch geladenes Teilchen. Entgegengesetzte Ladungen ziehen sich an. Im festen Salz bilden die Ionen ein regelmäßiges **Gitter**. NaCl beschreibt ihr Zahlenverhältnis 1 : 1. Wasser besteht dagegen aus einzelnen H_2O-Molekülen.

Damit verbindet sich Chemie mit Biologie: In Nervenzellen helfen bewegliche Ionen bei der Signalweiterleitung. Moleküle wie Wasser und Proteine ermöglichen weitere Lebensvorgänge. Ihre Eigenschaften hängen mit ihrem Aufbau zusammen.

9 · Modelle gezielt nutzen

Kugeln und Stäbe machen unsichtbare Strukturen sichtbar. Farben kennzeichnen Elemente, Striche die Bindungsart. Beim Prüfen im Baukasten werden Atome und Bindungen verglichen. Die echte Bewegung, Größenverhältnisse und räumliche Faltung werden vereinfacht. Ein gutes Modell beantwortet bestimmte Fragen und zeigt seine Grenzen.

Das gehört zusammen: Atomaufbau → Bindungen → räumliche Form → Eigenschaften. Bei chemischen Reaktionen werden dieselben Atome neu angeordnet und verbunden; dadurch entstehen neue Stoffe.

Fachbücher und Quellen stehen auf Seite 7. Die Onlinefassung verlinkt außerdem die passenden Lehrbuchkapitel.

03 | ZUSAMMENHÄNGE VERTIEFEN

Eine Veränderung auf Teilchenebene erklären

Vom Ereignis zur Erklärung

1. Beobachten
Ein Stoff verändert Aussehen, Zustand oder Eigenschaften.

→

2. Teilchen vergleichen
Bleiben die Moleküle gleich oder ändern sich Bindungen?

→

3. Atome bilanzieren
Jede Elementsorte muss vor und nach der Reaktion gleich oft vorkommen.

Der Ablauf ist eine Denkfolge für das Erklären. Er ist keine Anleitung zum Durchführen eines chemischen Versuchs.

Bei einem Stoffvorgang prüfst du zuerst, **was erhalten bleibt**. Wenn Wasser verdampft, entfernen sich ganze Wassermoleküle voneinander. Ein H_2O-Molekül wird dabei nicht in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Bei einer chemischen Reaktion werden dagegen Atome neu miteinander verbunden. Die Elementsorten bleiben bei gewöhnlichen chemischen Reaktionen erhalten. Ein C-Atom wird also nicht zu O. Für eine Reaktionsgleichung müssen deshalb links und rechts gleich viele Atome jeder Elementsorte gezählt werden. Die Gesamtzahl der Moleküle darf sich dabei ändern.

Die Verbrennung von Methan lässt sich mit $CH_4 + 2\ O_2 \rightarrow CO_2 + 2\ H_2O$ beschreiben. Links stehen ein C-Atom, vier H-Atome und vier O-Atome; rechts ebenfalls. Du darfst zum Ausgleichen die Zahl ganzer Moleküle verändern. Änderst du hingegen die kleinen Zahlen in einer Formel, beschreibst du eine andere Zusammensetzung. Der Baukasten hilft, die beteiligten Moleküle einzeln zu untersuchen. Er zeigt keine vollständige Verbrennung. **Eine passende Atombilanz ist notwendig, aber keine Aussage über die Geschwindigkeit oder Durchführung einer Reaktion.** Dafür braucht man weitere Kenntnisse über Stoffe, Bedingungen und Energie.

In einem **geschlossenen System** bleibt bei einer gewöhnlichen chemischen Reaktion auch die Gesamtmasse erhalten. Entsteht ein Gas und entweicht es aus einem offenen Gefäß, kann die gewogene Restmasse kleiner werden. Es ist dann Materie über die betrachtete Grenze gegangen. Die Atome sind nicht verschwunden. Zur richtigen Bilanz gehört daher eine klar festgelegte Systemgrenze.

Zwei Formeln richtig unterscheiden
$2\ H_2O$ bedeutet zwei Wassermoleküle mit insgesamt vier H- und zwei O-Atomen. H_2O_2 bezeichnet dagegen ein Molekül einer anderen Verbindung. Zum Ausgleichen einer Reaktionsgleichung änderst du die Zahlen vor den Formeln. Die Zusammensetzung der beteiligten Stoffe bleibt dabei fest.

Genau unterscheiden
Häufige Verwechslung: Beim Verdampfen werden die H-O-Bindungen des Wassers getrennt.
So stimmt es: Beim Verdampfen bleiben die Wassermoleküle erhalten. Es verändert sich vor allem ihre gegenseitige Anordnung und ihr Abstand; es entstehen keine neuen Elementsorten.

Wissen anwenden und weiterdenken

Drei ergänzende Entdeckeraufträge. Erkläre deine Beobachtungen mit den Zusammenhängen aus dem Wissenstext.

1 · Wasser

Ausprobieren: Wähle „Wasser“, dann „Alle Bindungen selbst setzen“. Verbinde mit „Einfach“ jedes H mit O und klicke „Bauwerk prüfen“.

Beobachten: Vergleiche die Zahl der Atome mit der Zahl der Bindungen.

Erklären: Warum sind drei Atome durch zwei Bindungen zu einem Molekül verbunden?

Modellgrenze: Die freien Bindungsstellen sind Zählhilfen für ausgewählte Moleküle; Elektronenwolken werden nicht direkt dargestellt.

2 · Kohlenstoffdioxid

Ausprobieren: Wähle „Kohlenstoffdioxid“, entferne die vorbereiteten Bindungen und verbinde C mit jedem O durch „Doppel“. Prüfe danach das Bauwerk.

Beobachten: Zähle Nachbarn und Bindungsstriche am C getrennt.

Erklären: Warum besitzt C zwei Nachbarn, obwohl du vier Bindungsstriche zählst?

Modellgrenze: Die Bindungszahl ist überprüfbar; genaue Elektronenverteilung und energetische Stabilität berechnet das Modell nicht.

3 · Bauauftrag

Ausprobieren: Vergleiche nacheinander die Vorlagen „Methan“, „Kohlenstoffdioxid“ und „Wasser“. Notiere für jede Vorlage die Anzahl von C, H und O.

Beobachten: Setze deine Zählungen gedanklich in $CH_4 + 2\ O_2 \rightarrow CO_2 + 2\ H_2O$ ein.

Erklären: Warum braucht die Gleichung zwei O_2-Moleküle und zwei H_2O-Moleküle?

Modellgrenze: Der Baukasten prüft einzelne Strukturmodelle. Er simuliert keine Verbrennung und keine Reaktionsgeschwindigkeit.

Interaktive Werkstatt öffnen →

Fachliche Quellen und weiterführende Literatur

Chemistry 2e

Chemie - Das Basiswissen der Chemie