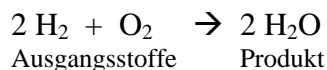


1 Was ist eine Reaktionsgleichung?

Eine Reaktionsgleichung beschreibt die Umwandlung von Stoffen, also einen chemischen Prozeß. Auf der einen Seite steht, welche Stoffe miteinander reagieren, auf der anderen Seite, was das Ergebnis dieser Reaktion ist.

Ausgangsstoffe (Edukte) → Endstoffe (Produkte)



Symbole: → Reaktionspfeil (Ablauf einer Reaktion von links nach rechts)
 ⇌ Reaktionspfeil bei einer Gleichgewichtsreaktion, Reaktion ist in beide Richtungen möglich
 ↓ Aus dem Reaktionsgemisch ausfallender Niederschlag (Feststoff), z. B.
 $\text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{BaSO}_4\downarrow$
 ↑ Aus dem Reaktionsgemisch entweichendes Gas, z. B.
 $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow$

2 Welche Informationen kann man einer Reaktionsgleichung entnehmen?



Information 1: Stoffumsatz	1 Atom Kohlenstoff + 1 Molekül Sauerstoff	→	1 Molekül Kohlendioxid
Information 2: Stoffmenge	1 mol Kohlenstoff + 1 mol Sauerstoff	→	1 mol Kohlendioxid
Information 3: Massen	12 g Kohlenstoff + 32 g Sauerstoff	→	44 g Kohlendioxid
Information 4: Energieumsatz	Bei der Synthese von 1 mol Kohlendioxid wird Energie frei		

Anmerkung: Wird Energie (meistens als Wärme) frei, wie in diesem Beispiel, spricht man von einer *exothermen* Reaktion. Benötigt eine Reaktion Energie, nennt man das eine *endotherme* Reaktion; E würde dann auf der linken Seite stehen.

3 Wichtig: Auf beiden Seiten muß das Gleiche stehen!

Hat man eine Reaktionsgleichung formuliert, so ist es sinnvoll, zu überprüfen, ob auf jeder der beiden Seiten die gleiche Anzahl Atome (oder andere Molekülbestandteile) steht. Logisch: es kann ja kein Atom aus dem Nichts entstehen oder sich in Nichts auflösen. Beispiele:

$2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$	Links: 4 H, 2 O; rechts: 4 H, 2 O	ok!
$\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2\uparrow$	Links: 1 C, 2 O; rechts: 1 C, 2 O	ok!
$\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow$	Links: 1 C, 4 H, 2 O; rechts: 1 C, 4 H, 4 O	Fehler!
$\text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{BaSO}_4\downarrow$	Links: 1 Ba, 1 SO ₄ ; rechts: 1 Ba, 1 SO ₄	ok!

Wenn so ein Fehler auftritt, muß man (z. B. Schritt für Schritt rückwärts gehend) schauen, an welcher Stelle des Lösungsweges der Fehler passiert ist.

Mission possible: das Aufstellen einer Reaktionsgleichung

Reaktionsgleichungen Blatt 2/5

Calcium reagiert beim Erhitzen mit Stickstoff zu einer Verbindung aus Calcium und Stickstoff.

0 Vorbereitung

- Zur Erinnerung: Innerhalb einer Verbindung versuchen die beteiligten Atome ihre Achterschale zu erreichen (Oktettregel).
- Welches sind die Symbole der an der Reaktion beteiligten Elemente? Ca, N

1 Wie erreichen die beteiligten Elemente ihr Oktett?

- Calcium steht in der 2. Hauptgruppe des PSE, hat also 2 Außenelektronen und erreicht sein Oktett, wenn es 2 Elektronen abgibt, also 2fach positiv geladen ist: Ca^{2+}
- Stickstoff steht in der 5. Hauptgruppe des PSE, hat also 5 Außenelektronen und erreicht sein Oktett bei Aufnahme von 3 Elektronen, wenn es also 3fach negativ geladen ist: N^{3-} .

Woher weiß man das? Spalte (= Hauptgruppe) im Periodensystem und Oktettregel!

2 Welche Formel könnte das Produkt haben?

- Sofort klar ist: CaN paßt nicht, denn ein zweifach positives Ca und ein dreifach negatives N bilden kein neutrales Molekül.
- Man muß also die Anzahl der Ladungen „passend machen“. Das erreicht man durch ein mathematisches Hilfsmittel: das kleinste gemeinsame Vielfache (kgV). Man findet es in vielen einfachen Fällen durch Multiplikation.
- Das kgV von 2 und 3 ist 6. Dividiert man es durch die Ladung des betreffenden Elements, so erhält man die Anzahl der Atome in der Verbindung:

$$\text{Calcium: } \frac{\text{kgV}}{\text{Ladungszahl}} = \frac{6}{2} = 3,$$

$$\text{Stickstoff: } \frac{\text{kgV}}{\text{Ladungszahl}} = \frac{6}{3} = 2.$$

Das heißt auf deutsch:

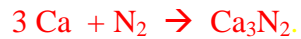
3 Calciumionen Ca^{2+} haben zusammen 6 positive Ladungen.

2 Stickstoffionen N^{3-} haben zusammen 6 negative Ladungen.

- Für das Molekül bietet sich also an, daß man es aus 6 positiven und 6 negativen Ladungen zusammenbaut, also aus 3 Ca und 2 N: Ca_3N_2

3 Ein Vorschlag und seine Überprüfung

Wenn das Produkt wirklich Ca_3N_2 heißt, müssen als Ausgangsstoffe 3 Calciumatome und 2 Stickstoffatome vorhanden sein. Daß Stickstoff immer als N_2 auftritt, wissen wir. Ebenso sollte bekannt sein, daß Calcium nicht als Ca_3 , sondern einfach als Ca existiert. Daher brauchen wir außer dem N_2 noch 3 Ca . Kurz:



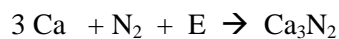
Steht auf beiden Seiten der Reaktionsgleichung für jedes Element die gleiche Anzahl Atome?

Ca: Links 3, rechts 3, **ok!**

N: Links 2, rechts 2, **ok!**

4 Da war doch noch was...

- Erinnern Sie sich an die Beschreibung der Reaktion? „Calcium reagiert beim Erhitzen...“. Es handelt sich also offenbar um eine energieverbrauchende, endotherme Reaktion. Man könnte also die Energie in die Reaktionsgleichung miteinbeziehen:



- Wie heißt das Produkt? Tricalciumdinitrid!

Das Mol

1 Die Stoffmenge und ihre Einheit

Die *Stoffmenge* ist ein Maß für die Anzahl der Atome oder Moleküle. Wozu braucht man das?

Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff: $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$

- Was sagt die Reaktionsgleichung? Vielleicht, daß man 2 Gramm Wasser und 1 Gramm Sauerstoff braucht, um 2 Gramm Wasser zu erhalten? Das kann nicht sein! Niemals!
- Die Reaktionsgleichung sagt vielmehr, daß man 2 Wasserstoffmoleküle und 1 Sauerstoffmolekül braucht, um 2 Wassermoleküle zu erhalten.
- Für chemische Berechnungen ist also nicht die *Masse* der an der Reaktion beteiligten Substanzen maßgeblich, sondern die *Anzahl* beteiligten Teilchen (Atome, Moleküle, Ionen usw.), also die *Stoffmenge*.
- Es ist naturgemäß kaum möglich, 2 Wasserstoffmoleküle und 1 Sauerstoffmolekül zu nehmen und miteinander reagieren zu lassen.
- Vielleicht geht es besser, wenn man vereinbart, daß man die Moleküle bzw. Atome immer in Tausenderpacks nimmt, damit man eine „handliche“ Einheit hat, und sagt: 2000 Wasserstoffmoleküle und 1000 Sauerstoffmoleküle ergeben 2000 Wassermoleküle. Allerdings ist auch dies schwierig, da Moleküle sehr, sehr klein sind.
- Deswegen nimmt man als Einheit der Stoffmenge nicht 1000 oder 1 Million Teilchen, sondern gleich 602 Trilliarden. Diese Anzahl Teilchen nennt man 1 Mol.

$$1 \text{ Mol} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ Teilchen}$$

Dabei ist es egal, um welche Art von Teilchen es sich handelt: Atome, Moleküle, Ionen etc. Man muß nur immer angeben, um welche Art von Teilchen es sich handelt.

$2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$ bedeutet also auch: 2 Mol Wasserstoffmoleküle und 1 Mol Sauerstoffmoleküle reagieren zu 2 Mol Wassermolekülen.

Das *Mol* und das *mol*

Die physikalischen Einheiten haben bekanntlich Namen: Der Name der Einheit für die Länge ist das (oder der) Meter, die Einheit für die Zeit ist die Sekunde. Die Einheit für die Stoffmenge ist das Mol. In diesem Sinne wird die Großschreibung verwendet

Üblicherweise werden die Namen der Einheiten in Mengenangaben oder Berechnungen anders bezeichnet: Man schreibt nicht „2 Meter“ oder „10 Sekunden“, sondern 2 *m*, 10 *s* usw. Für das Mol gibt es zwar keine Abkürzung, aber statt „3 Mol“ schreibt man 3 *mol*. In diesem Sinne wird die Kleinschreibung verwendet.

2 Warum gerade $6,02 \cdot 10^{23}$?

Die Atome der verschiedenen Elemente sind aus verschieden vielen Bausteinen (Protonen, Neutronen) aufgebaut, d. h. sie haben eine unterschiedliche Masse. Ein Wasserstoffatom besteht aus einem Proton, ein Heliumatom aus zwei Protonen und zwei Neutronen, ein Schwefelatom aus 16 Protonen und 16 Neutronen. (Die Elektronen berücksichtigen wir nicht, da ein Elektron nur ca. $1/2000$ der Masse eines Kernbausteins hat und somit im Wortsinne „nicht ins Gewicht fällt“.)

Wieviel wiegt ein Atom? Im Laufe der Geschichte der Chemie wurde dies mehrfach mit mehr oder weniger Erfolg bestimmt, heute kennt man die Werte dank der Massenspektroskopie sehr genau. Man könnte nun sagen, daß ein Wasserstoffatom ca. $1,66 \cdot 10^{-24}$ g und ein Sauerstoffatom $26,6 \cdot 10^{-24}$ g wiegt. Sinnvoller und einfacher wäre es, die Masse des Wasserstoffatoms als Einheit der Atommasse zu verwenden und alle anderen Atommassen darauf zu beziehen. Mit dieser *atomare Masseneinheit* (u) könnte man sagen: Wasserstoff hat die *relative Atommasse* oder *Massenzahl* 1, Schwefel mit seinen 16 Protonen und 16 Neutronen die Massenzahl 32, Sauerstoff mit 8 Protonen und 8 Neutronen die Massenzahl 16.

Aus verschiedenen Gründen, die mit dem Vorkommen von Isotopengemischen in der Natur zusammenhängen, ist die atomare Masseneinheit heutzutage nicht durch die Masse eines Wasserstoffatoms, sondern durch $1/12$ der Masse eines ^{12}C -Atoms festgelegt.

Bestimmt man die atomare Masseneinheit u experimentell, so erhält man einen Wert von

$$1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g},$$

was man auch so schreiben kann:

$$1 \text{ u} = \frac{1}{6,02 \cdot 10^{23}} \text{ g}.$$

Der Nenner dieser Zahl ist die *Avogadro-Konstante* N_A :

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$$

Das bedeutet: $6,02 \cdot 10^{23}$ Atome Wasserstoff wiegen 1 g. $6,02 \cdot 10^{23}$ Atome Sauerstoff wiegen 16 mal soviel, also 16 g. $6,02 \cdot 10^{23}$ Atom Schwefel wiegen 32 g.

Die Anzahl von $6,02 \cdot 10^{23}$ Teilchen nennt man 1 *Mol*. Damit können wir schreiben:

- 1 mol Wasserstoffatome wiegt 1 g.
- 1 mol Sauerstoffatome wiegt 16 mal soviel, also 16 g.
- 1 mol Schwefelatome wiegt 32 g.

Die Einheit der Stoffmenge ist das Mol. 1 Mol des Kohlenstoffnuklids ^{12}C , also 12,0000 g, enthält $N = 6,022 \cdot 10^{23}$ C-Atome