

Chemische Grundlagen II



Chemische Reaktionen

1. Reaktionsgleichungen
2. Aufstellen einer Reaktionsgleichung I
3. Aufstellen einer Reaktionsgleichung II
4. Die Stoffmenge und das Mol
5. Stoffmenge und molare Masse

Chemische Reaktionen

1. Reaktionsgleichungen
2. Aufstellen einer Reaktionsgleichung I
3. Aufstellen einer Reaktionsgleichung II
4. Die Stoffmenge und das Mol
5. Stoffmenge und molare Masse

Was ist eine chemische Reaktion?

Chemische Reaktion: ein Prozess, in dem eine oder mehrere Substanzen in eine oder mehrere andere Substanzen umgewandelt werden, indem sie miteinander reagieren.

Was ist eine Reaktionsgleichung?

Reaktionsgleichung: Beschreibung der Stoffumwandlung in einer chemischen Reaktion

- Links stehen die Stoffe, die miteinander reagieren, die **Reaktanten** (Edukte, Ausgangsstoffe)
- Rechts steht das Ergebnis der Reaktion, die **Produkte** (Endstoffe)

Reaktanten und Produkte

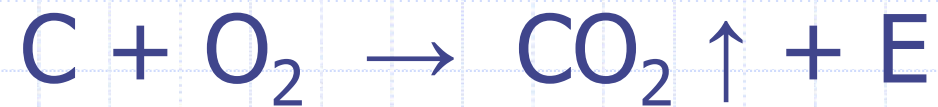


Reaktanten H_2 und $\text{O}_2 \rightarrow$ Produkt H_2O



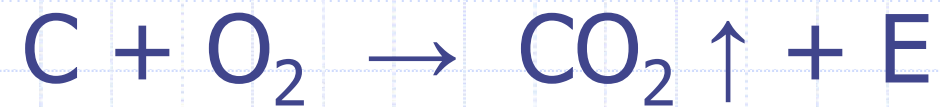
Welche Informationen sind in einer
Reaktionsgleichung enthalten?

Information 1: Stoffumsatz

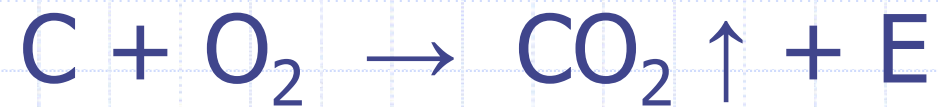


1 Atom C + 1 Molekül O₂ → 1 Molekül CO₂

Information 2: Stoffumsatz



Information 3: Masse



Information 4: Energieumsatz



Bei der Verbrennung von Kohlenstoff in einer Sauerstoffatmosphäre wird Energie in Form von Wärme frei.

Stöchiometrischer Koeffizient

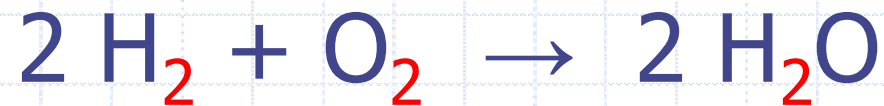
Die Anzahl der sich umsetzenden Atome, Moleküle oder Ionen wird durch eine arabische Zahl vor der Formel dargestellt: **den stöchiometrischen Koeffizienten.**



Hinweis: $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ ist auch zulässig!

Indexzahlen

Die Anzahl gleichartiger Atome oder Atomgruppen in einer Verbindung wird durch eine **tiefgestellte Indexzahl** dahinter gekennzeichnet.



(*sg.* Index, *pl.* Indizes)

Symbole (1)

→ Reaktionspfeil, Ablauf der Reaktion von den Ausgangsstoffen zu den Produkten

↔ Reaktionspfeil bei Gleichgewichtsreaktionen, Reaktion in beide Richtungen möglich (Keinesfalls den Doppelpfeil ↔ benutzen!)

↓ Ausfallender Niederschlag

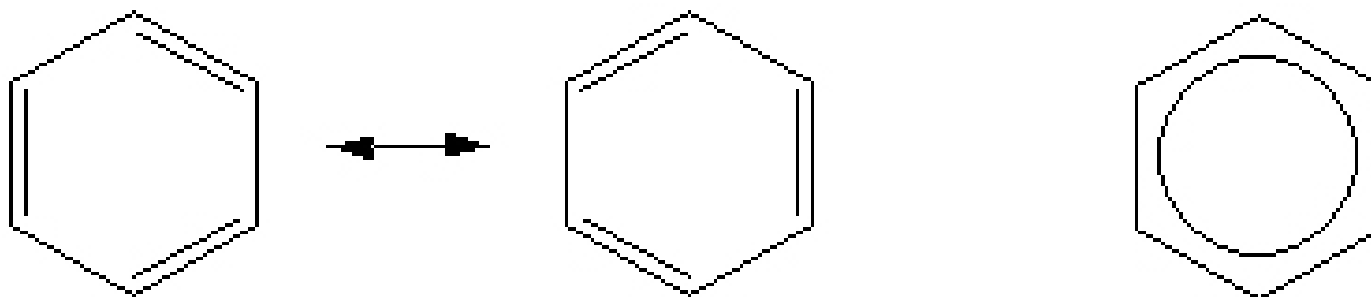


↑ Entweichendes Gas



Symbole (2)

Der Doppelpfeil \leftrightarrow ist für die Mesomerie reserviert!



Chemische Reaktionen

1. Reaktionsgleichungen
2. Aufstellen einer Reaktionsgleichung I
3. Aufstellen einer Reaktionsgleichung II
4. Die Stoffmenge und das Mol
5. Stoffmenge und molare Masse

Aufstellen einer Reaktionsgleichung I

Ethan reagiert mit Sauerstoff zu Kohlendioxid und Wasser.

Stellen Sie die Reaktionsgleichung auf!

Aufstellen einer Reaktionsgleichung I

Ethan reagiert mit Sauerstoff zu Kohlendioxid und Wasser.

Stellen Sie die Reaktionsgleichung auf!



Dont panic! Easy going...



Schritt 1

Schreibe die korrekten Formeln für die Reaktanten auf die linke und die korrekten Formeln für die Produkte auf die rechte Seite der Gleichung!

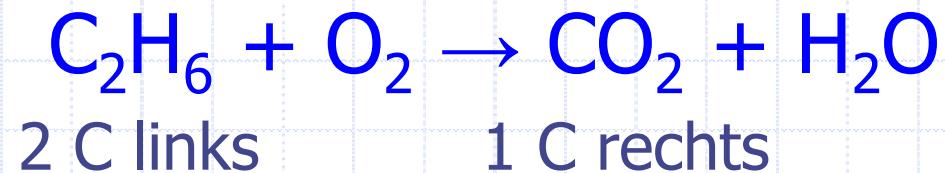
Ethan reagiert mit Sauerstoff zu Kohlendioxid und Wasser



Schritt 2

Beginne mit dem Ausgleich der Elemente, die in **nur einem Reaktanten** und **einem Produkt** erscheinen.

Beginne mit C oder H, aber nicht mit O!

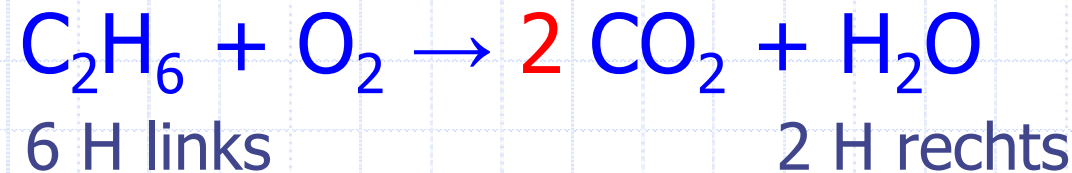


Multipliziere CO_2 mit 2!

Schritt 2

Beginne mit dem Ausgleich der Elemente,
die in **nur einem Reaktanten** und **einem
Produkt** erscheinen.

Jetzt haben wir

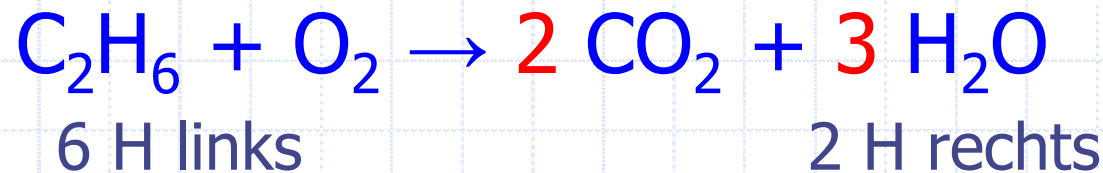


Multipliziere H_2O mit 3!

Schritt 2

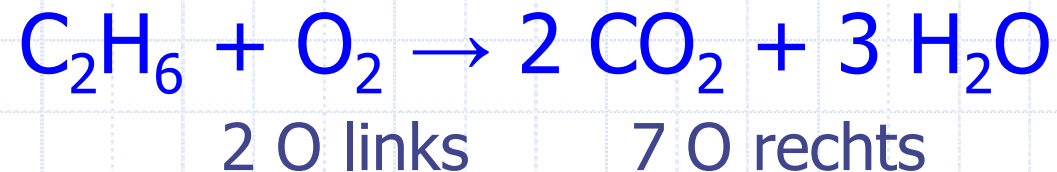
Beginne mit dem Ausgleich der Elemente, die in **nur einem Reaktanten** und **einem Produkt** erscheinen.

Jetzt haben wir



Schritt 3

Gleiche die Elemente aus, die in zwei oder mehr Reaktanten oder Produkten vorkommen.

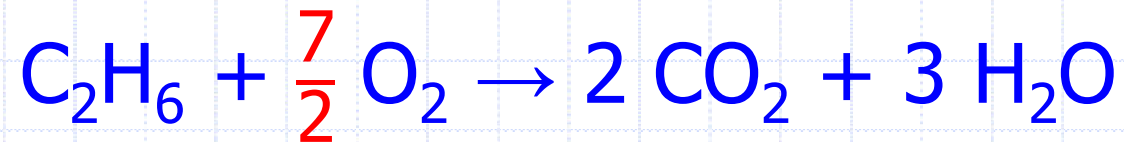


Multipliziere O_2 mit $7/2$!

Schritt 3

Gleiche die Elemente aus, die in zwei oder mehr Reaktanten oder Produkten vorkommen.

Jetzt haben wir



Entferne den Bruch durch Multiplikation beider Seiten mit 2!

Schritt 3

Gleiche die Elemente aus, die in zwei oder mehr Reaktanten oder Produkten vorkommen.

Jetzt haben wir



Schritt 4

Stelle sicher, dass die Anzahl der Atome eines jeden Elements auf beiden Seiten der Gleichung übereinstimmt!



Schritt 4

Stelle sicher, dass die Anzahl der Atome eines jeden Elements auf beiden Seiten der Gleichung übereinstimmt!



4 (2 · 2) C links

12 (2 · 6) H links

14 (7 · 2) O links

4 C rechts

12 (6 · 2) H rechts

14 (4 · 2 + 6) O rechts



Chemische Reaktionen

1. Reaktionsgleichungen
2. Aufstellen einer Reaktionsgleichung I
3. Aufstellen einer Reaktionsgleichung II
4. Die Stoffmenge und das Mol
5. Stoffmenge und molare Masse

Aufstellen einer Reaktionsgleichung II

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

Stellen Sie die Reaktionsgleichung auf!

Oktettregel

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

Innerhalb einer Verbindung versuchen die beteiligten Atome, ihre Achterschale zu erreichen.

Wie erreicht Ca sein Oktett?

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

Periodensystem!

Calcium steht in der 2. Hauptgruppe, hat also 2 Außenelektronen. Es erreicht sein Oktett, wenn es 2 Elektronen abgibt, also 2-fach positiv geladen ist: Ca^{2+}

Wie erreicht N sein Oktett?

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

Periodensystem!

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

CaN: Auf dem Holzweg

Sofort klar ist: CaN passt nicht!

- Zweifach positives Ca^{2+}
- Dreifach negatives N^{3-}

Daraus wird nie ein neutrales Molekül.

~~Raten~~ Rechnen

Anzahl der Ladungen durch Multiplikation
„passend machen“!

- 2 positive Ladungen
- 3 negative Ladungen
- $2 \cdot 3 = 6$

Eine gute Idee



$$3 \cdot (+2) = +6$$



$$2 \cdot (-3) = -6$$

Das heißt:

3 Calcium-Ionen Ca^{2+} haben zusammen 6 positive Ladungen.

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

Lösungsvorschlag

Für das Molekül bietet sich also an:
6 positive und 6 negative Ladungen

Das heißt: 3 Ca^{2+} und 2 N^{3-} : Ca_3N_2

Passt das?

Wenn Ca_3N_2 stimmt, müssen als Ausgangsstoffe (Reaktanten) 3 Calciumatome und 2 Stickstoffatome vorhanden sein.

Stickstoff tritt immer als N_2 auf. Passt! Calcium tritt aber nicht als Ca_3 auf, sondern als Ca. Daher brauchen wir außer dem N_2 noch 3 Ca.

Wir sind fast fertig!



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!**

Da war doch noch was...

Erinnern Sie sich an die Beschreibung der Reaktion? „Calcium reagiert **beim Erhitzen...**“. Es handelt sich offenbar um eine energieverbrauchende, endotherme Reaktion. Es ist also die Energie in die Reaktionsgleichung mit einzubeziehen:



Wie heißt das Produkt?



Streng nach Nomenklatur müsste es Tricalciumdinitrid heißen. Weil es aber keine andere Verbindung aus Ca und N gibt, sagt sogar der Chemiker einfach *Calciumnitrid*.

Problem 1

Welche Reaktionsgleichung ist stöchiometrisch falsch?

- $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$
- $\text{HCl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$
- $2 \text{H}_2\text{S} + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2$
- $4 \text{Fe} + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{Fe}_2\text{O}_3$
- $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CaCO}_3 + 2 \text{NaCl}$

Lösung

Welche Reaktionsgleichung ist stöchiometrisch falsch? **Atome zählen!**

- $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$
- $\text{HCl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$
- $2 \text{H}_2\text{S} + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2$
- $4 \text{Fe} + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{Fe}_2\text{O}_3$
- $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CaCO}_3 + 2 \text{NaCl}$

Problem 2



Welche Verbindung ist für X einzusetzen?

- CaO
- CO₂
- NaOH
- Na₂CO₃
- H₂CO₃

Lösungsansatz



Welche Verbindung ist für X einzusetzen?

- CaO
- CO₂
- NaOH
- Na₂CO₃
- H₂CO₃

Lösungsansatz



Welche Verbindung ist für X einzusetzen?

- CaO
- CO₂
- NaOH
- Na₂CO₃
- H₂CO₃

Lösung



Welche Verbindung ist für X einzusetzen?

- CaO
- CO₂
- NaOH
- $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CaCO}_3 + 2 \text{NaCl}$
- H₂CO₃

Chemische Reaktionen

1. Reaktionsgleichungen
2. Aufstellen einer Reaktionsgleichung I
3. Aufstellen einer Reaktionsgleichung II
4. Die Stoffmenge und das Mol
5. Stoffmenge und molare Masse

„Kaum ein Begriff aus der Chemie ist so sehr gefürchtet wie das ‚Mol‘, und die weitaus meisten, die nichts mit der Chemie zu tun haben, schwören immer noch Stein und Bein, es sei gänzlich unverständlich, was das überhaupt sein soll.“

Ortanderl/Ritgen: Chemie für Dummies



2 Wasserstoffmoleküle + 1 Sauerstoffmolekül
→ 2 Moleküle Wasser



Es ist naturgemäß kaum möglich, zwei einzelne Wasserstoffmoleküle und ein einzelnes Sauerstoffmolekül miteinander reagieren zu lassen.



Moleküle bzw. Atome in Tausenderpacks?

2000 Wasserstoffmoleküle

+ 1000 Sauerstoffmoleküle

→ 2000 Wassermoleküle

Passt zwar rechnerisch, geht aber auch nicht,
weil Moleküle wirklich sehr, sehr klein sind.

Ganz ganz viele! Verdammt viele!

Hier wird nicht gekleckert, sondern geklotzt: wir nehmen die XXXL-Packung mit 602 Trilliarden Teilchen:

$$602 \cdot 1000000000000000000000000 = 6,02 \cdot 10^{23}$$



$2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}$ Wasserstoffmoleküle

+ $6,02 \cdot 10^{23}$ Sauerstoffmoleküle

→ $2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}$ Wassermoleküle

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

Diese Anzahl Teilchen (Atome oder Moleküle) nennt man 1 Mol.

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

Es ist egal, um welche Art von Teilchen es sich handelt: Atome, Moleküle, Ionen etc. Man muss aber immer angeben, um welche Art von Teilchen es sich handelt.

Das Mol ist eine Mengenangabe!



1 Dutzend = 12 Stück, egal von was
1 Dutzend Eier = 12 Eier

Man muss angeben, dass es sich um Eier handelt, und nicht um 12 Würste!



1 Paar = 2 Stück, egal, von was
1 Paar Schuhe = 2 Schuhe

Man muss angeben, dass es sich um Schuhe handelt, und nicht um 2 Handschuhe!



1 mol = $6 \cdot 10^{23}$ Stück, egal von was
1 mol NaCl = $6 \cdot 10^{23}$ NaCl-Moleküle

Man muss angeben, dass es sich um NaCl-Moleküle handelt, und nicht um $6 \cdot 10^{23}$ Plutonium-Atome!



$$2 \text{ Mol} + 1 \text{ Mol} = 2 \text{ Mol} \text{ ???}$$

Erst durch die Angabe, um welche Art von Teilchen es sich handelt, wird eine Aussage über die Stoffmenge sinnvoll!



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

Atomare Masseneinheit

Masse eines Nukelons als Einheit der relativen
Atommasse: *Atomare Masseneinheit* u

Masse des Wasserstoffatoms: 1 u , $Z = 1$

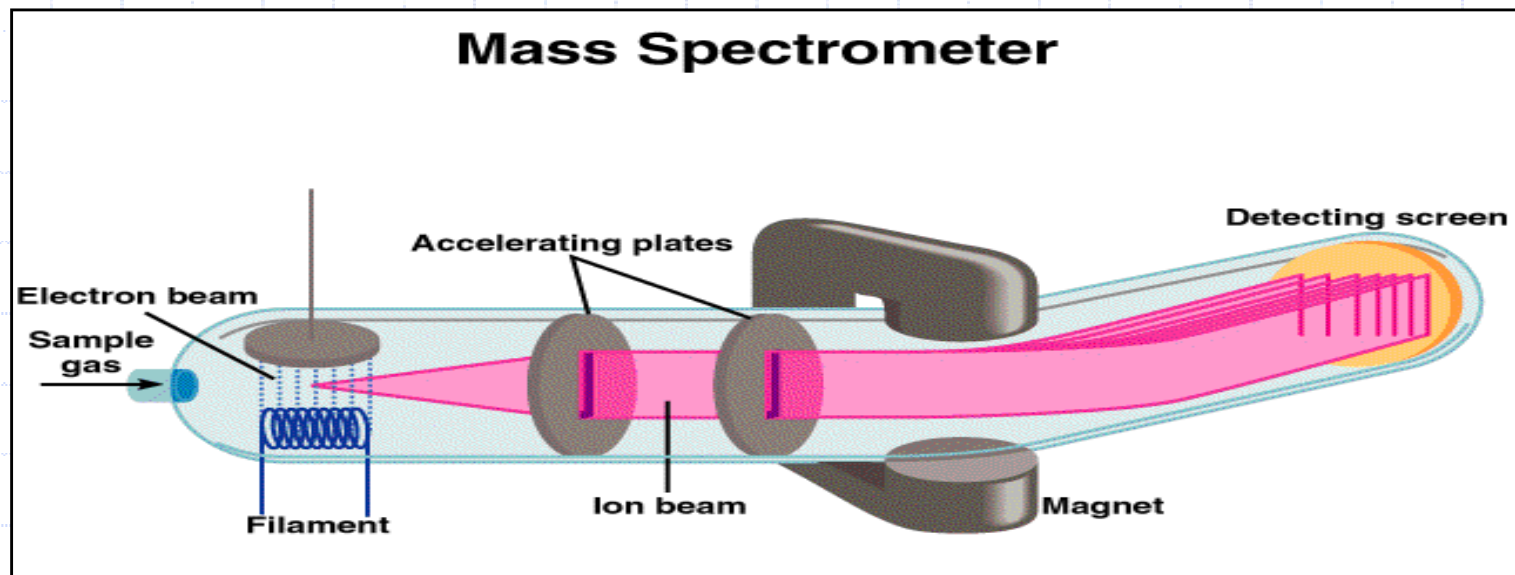
Masse des Sauerstoffatoms: 16 u , $Z = 16$

Masse des Kohlenstoffatoms: 12 u , $Z = 12$

Wie groß ist 1 u genau?

Mittels Massenspektroskopie lässt sich die atomare Masseneinheit genau bestimmen:

$$1 \text{ u} = 1,660538782 \cdot 10^{-24} \text{ g}$$



Wie viele u enthält 1 Gramm?

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

$$\Rightarrow 1 \text{ g} = \frac{1 \text{ u}}{1,66 \cdot 10^{-24}} = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ u}$$

Und nochmal umdrehen:

Die Anzahl der atomaren Masseeinheiten in 1 g:

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

Und 1 u können wir als Bruchteil eines Gramms schreiben:

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

Schlussfolgerungen

Wasserstoff H, $Z = 1$

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

Helium He, $Z = 4$

$$4 \text{ u} = 4 \text{ g} / 6,02 \cdot 10^{23} = 4 \text{ g/mol}$$

Kohlenstoff C, $Z = 12$

$$12 \text{ u} = 12 \text{ g} / 6,02 \cdot 10^{23} = 12 \text{ g/mol}$$

Die Molare Masse M

- Wasserstoff H, $Z = 1$

$$1 \text{ u} = 1 \text{ g} / 6,02 \cdot 10^{23} = 1 \text{ g/mol} = M_{\text{H}}$$

- Helium He, $Z = 4$

$$4 \text{ u} = 4 \text{ g} / 6,02 \cdot 10^{23} = 4 \text{ g/mol} = M_{\text{He}}$$

- Kohlenstoff C, $Z = 12$

$$12 \text{ u} = 12 \text{ g} / 6,02 \cdot 10^{23} = 12 \text{ g/mol} = M_{\text{C}}$$

Verbindungen

Molekularer Wasserstoff, 2 H-Atome:

$$2 \text{ u} = 2 \text{ g} / 6,02 \cdot 10^{23} = 2 \text{ g/mol}$$

Molekularer Sauerstoff, 2 O-Atome:

$$32 \text{ u} = 32 \text{ g} / 6,02 \cdot 10^{23} = 32 \text{ g/mol}$$

H₂SO₄: 2 H-Atome, 4 O-Atome, 1 S-Atom:

$$2\text{u} + 64\text{u} + 32\text{u} = 98 \text{ g/mol}$$

Die molare Masse M

Die molare Masse einer Substanz gibt an, welche Masse dieser Substanz in der Stoffmenge 1 Mol enthalten ist.

Ihre SI-Einheit ist kg/mol, in der Chemie wird üblicherweise mit g/mol gearbeitet.

Das bedeutet für die Praxis:

1 Mol lässt sich zwar nicht abzählen, aber man kann es wiegen!

Historisches

- Dalton 1805: Bezugsgröße Wasserstoff
1 u = Masse eines Wasserstoffatoms
- IUPAC 1905: Bezugsgröße Sauerstoff
1 u = 1/16 der Masse eines Sauerstoffatoms
- IUPAC 1961: Bezugsgröße Kohlenstoff
1 u = 1/12 der Masse eines Kohlenstoffatoms ^{12}C

Die Einheit der Stoffmenge ist das Mol.

1 Mol des Kohlenstoffnuklids ^{12}C , also
12,0000 g, enthält $N = 6,022 \cdot 10^{23}$
Kohlenstoffatome.

Avogadrosche Zahl

In Zusammenhang mit der Stoffmenge wird die Zahl $6,022 \cdot 10^{23}$ meist als *Avogadrosche Zahl* oder *Avogadro-Konstante* N_A bezeichnet.

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$$

Avogadro hatte sich zwar mit Teilchenzahlen befasst und entwickelte die Idee der Moleküle, diese Zahl war ihm jedoch unbekannt. Sie wurde erst später nach ihm benannt.

Das *Mol* und das *mol*

Großschreibung:

- Der Meter
- Die Sekunde
- Das Mol

Kleinschreibung:

- Formelzeichen für Meter: m
- Formelzeichen für Sekunde: s
- Formelzeichen für Mol: mol

Chemische Reaktionen

1. Reaktionsgleichungen
2. Aufstellen einer Reaktionsgleichung I
3. Aufstellen einer Reaktionsgleichung II
4. Die Stoffmenge und das Mol
5. Stoffmenge und molare Masse

Molare Masse

Das kennen wir jetzt:

1 mol Kohlenstoff wiegt 12 g

1 mol Natrium wiegt 23 g

1 mol Radium wiegt 226 g

...

Molare Masse, früher *Molmasse* oder *Molekulargewicht* genannt.

Etwas genauer, bitte!

- Die molare Masse hängt mit der Massenzahl der Atome zusammen.
 - Die Elemente kommen in der Natur in verschiedenen Isotopenzusammensetzungen vor.
 - Kohlenstoff z. B. tritt als ^{12}C , ^{13}C und ^{14}C auf.
- Molare Massen sind „krumme“ Zahlen!

Molare Massen

- Molare Masse des Neons: 20,1797 g/mol.
- Molare Masse des Natriums: 22,989 g/mol.
- Molare Masse des natürlich vorkommenden Kohlenstoffs: 12,011 g/mol.
- Aber: Die molare Masse des Kohlenstoffisotops ^{12}C ist definitionsgemäß genau 12 g/mol.

Schreibweise

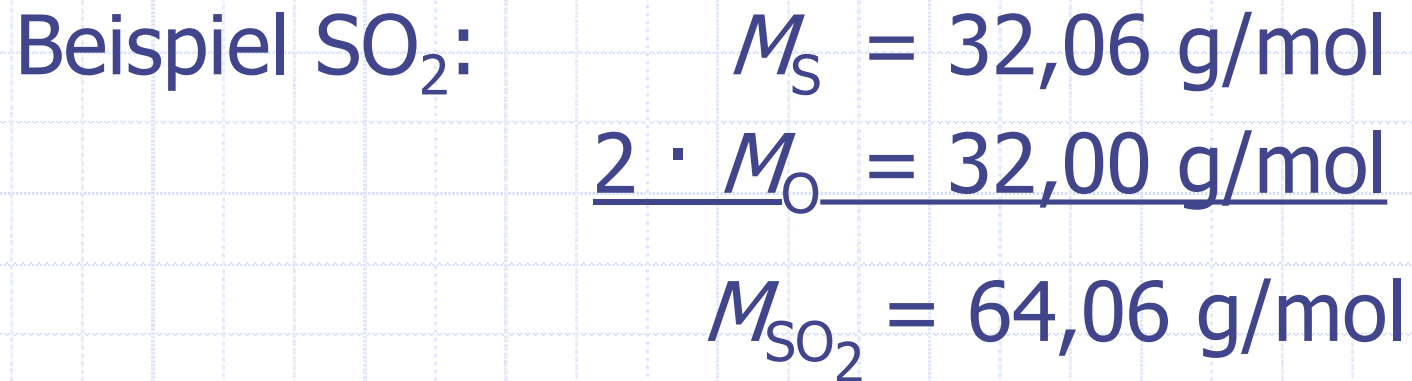
- Formelzeichen für die Masse: m
- Formelzeichen für die Stoffmenge: n
- Formelzeichen für die molare Masse: M

Schreibweise für die molare Masse z. B.

- $M(\text{Ne}) = 20,1797 \text{ g/mol}$
- $M_{\text{Ne}} = 20,1797 \text{ g/mol}$
- $[\text{Ne}] = 20,1797 \text{ g/mol}$

Moleküle und Verbindungen

Die molare Masse von Molekülen und Verbindungen ist die Summe der molaren Massen der Atome im Molekül.



Weitere Beispiele

$$M(\text{H}_2) = 2 \cdot 1,008 \text{ g/mol} = 2,016 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Na}) = 22,99 \text{ g/mol}, M(\text{Cl}) = 35,45 \text{ g/mol}$$

$$\begin{aligned} M(\text{NaCl}) &= (22,99 \text{ g/mol}) + (35,45 \text{ g/mol}) \\ &= 58,44 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ g/mol}$$

Masse, Stoffmenge, molare Masse

Die molare Masse M gibt an, wie viele Gramm Substanz in einem Mol dieser Substanz enthalten sind.

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

Beispiel

Welche Stoffmenge ist in 37,5 g Cu enthalten?

$$M(\text{Cu}) = 63,55 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{Cu}) = 37,5 \text{ g}$$

$$M = \frac{m}{n} \Rightarrow n = \frac{m}{M}$$

$$n = 37,5 \text{ g} / 63,55 \text{ g/mol} = 0,5901 \text{ mol}$$

Noch ein Beispiel

Wieviel wiegen 2 mol Platin?

$$M(\text{Pt}) = 195,08 \text{ g/mol}$$

$$n(\text{Pt}) = 2 \text{ mol}$$

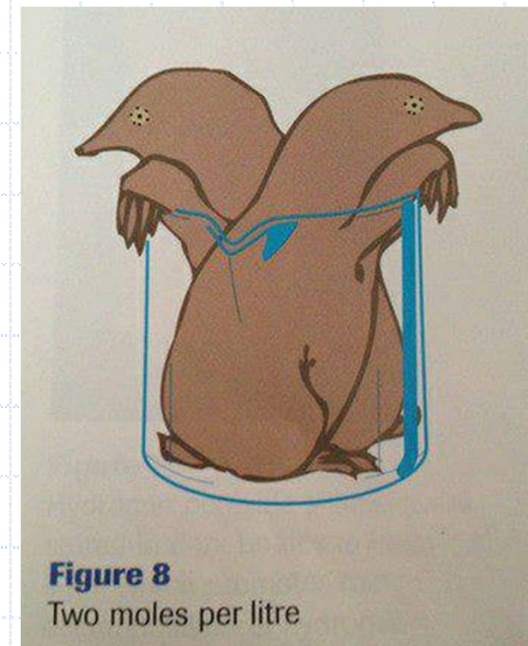
$$M = \frac{m}{n} \Rightarrow m = M \cdot n$$

$$m = 195,08 \text{ g/mol} \cdot 2 \text{ mol} = 390,16 \text{ g}$$

Stoffmengenkonzentration

Die Stoffmengenkonzentration c gibt an, wie viele Mol einer Substanz in einem Liter Flüssigkeit enthalten sind.

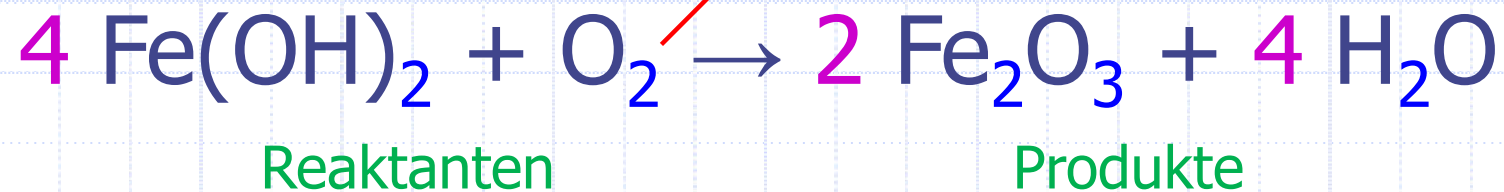
$$c = \frac{n}{Vol} \quad \text{Einheit: } \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$



Take-Home-Message 1

Stöchiometrische Koeffizienten

Anzahl der Atome/Atomgruppen in der Verbindung



4 mol Eisenhydroxid + 1 mol Sauerstoff
→ 2 mol Eisenoxid + 4 mol Wasser

Auf beiden Seiten muss das Gleiche stehen!

Take-Home-Message 2

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

1. Oktettregel! Periodensystem!
2. Wie erreichen die Elemente ihr Oktett?
3. Was bleibt übrig, wenn man die „richtige“ Anzahl Elektronen hat? (Ca^{2+} , N^{3-})
4. Ladungen ausgleichen (Multiplikation)
5. Resultat $3 \text{ Ca} + \text{N}_2 \rightarrow \text{Ca}_3\text{N}_2$ überprüfen!
6. Energiebetrachtungen?

Take-Home-Message 3

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

Merkt euch diese Zahl!

Take-Home-Message 4

Umrechnungen von Stoffmenge in Masse
und umgekehrt:

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