

CHEMISCHE REAKTIONEN & STÖCHIOMETRIE

Wichtig:

Das gesamte Skript darf nur von Teilnehmern dieser Vorlesung als Lehrmaterial verwendet werden. Es darf nicht (auch nicht in Teilen) veröffentlicht, vervielfältigt oder an andere Personen (weder als Ausdruck noch elektronisch) weitergegeben werden.

Die Lehre von Stoffumwandlungen

Chemische Reaktionen & Stöchiometrie



- Beschreibung chemischer Reaktionen
- Bestimmung der stöchiometrisch richtigen Verhältnisse
- Gesetz der Erhaltung der Masse
- Berechnung von Stoffmengen in Reaktionen
- Stoffmengenverhältnisse zwischen Edukten und Produkten
- Basis für technische Chemiereaktionen und Synthesen

Beschreibung eines chemischen Vorgangs:

Reaktionsgleichungen / Reaktionsschema

- Ausgangsstoffe (**Edukte**, Reaktanden; links) reagieren zu Reaktionsprodukten (**Produkte**; rechts)
Darstellung als Summenformel
- **Reaktionspfeil** symbolisiert: „reagieren zu“ mit Unterscheidung
- **Gleichgewichtsreaktion**: \rightleftharpoons und **Nicht-Gleichgewichtsreaktion**: \rightarrow
- Weitere Angaben:
 - Angabe der Aggregatzustände: (s) fest, (l) flüssig, (g) gasförmig, (aq.) in Wasser gelöst
 - Reaktionsbedingungen z.B. p, T, Katalysator
 - Energieumsatz, Enthalpie

Stöchiometrie bei chemischen Reaktionen

Stöchiometrie einer chem. Reaktion:

- **Gesetz der Erhaltung der Masse:** die Zahl der beteiligten Atome auf der Edukt- (links) und Produktseite (rechts) ist gleich (Gesamtmasse bleibt erhalten)
 - Ausgleichen einer Reaktion durch **stöchiometrische Koeffizienten** – geben das Mengenverhältnis der Teilchen (Stoffmengen) an
- Die **Index-Ziffer**(n) einer Summenformel darf nicht verändert werden!

Beispiel: Verbrennung von Wasserstoff

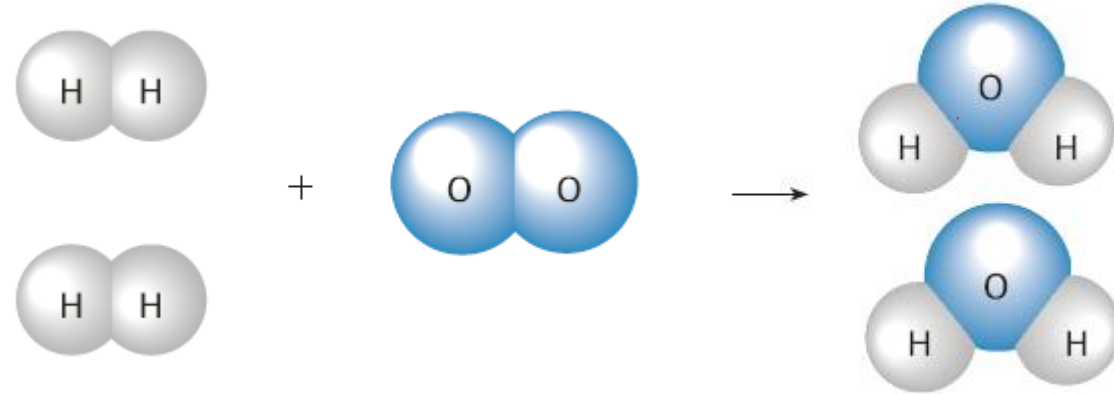
wichtig: Unterschied zwischen dem stöchiometrischen Koeffizienten und Index (Anzahl der Atome in einem Molekül)

Chemische Reaktionen – was passiert, was ist wichtig?

Beispiel: Verbrennung von Wasserstoff

Was passiert?

- Alte Bindungen werden gebrochen
- Neue Bindungen bilden sich aus



Relevante Fragestellungen:

Wieviel Energie wird bei der Reaktion aufgenommen (endotherm) oder abgegeben (exotherm)? → Thermodynamik

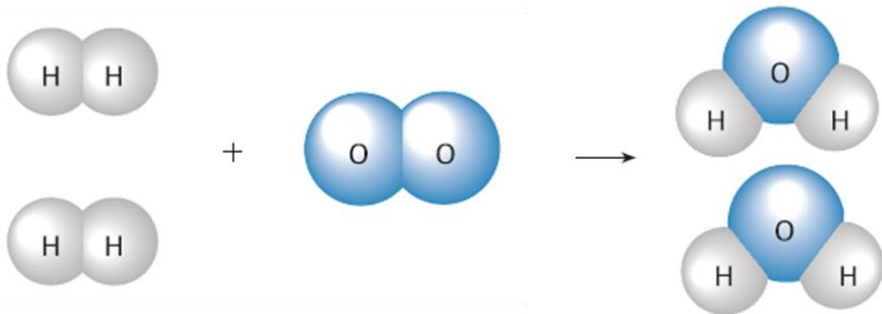
In welchem Verhältnis reagieren die Edukte miteinander → Versuchsplanung

Wie schnell läuft eine Reaktion ab? → Reaktionskinetik

Läuft die Reaktion spontan ab? → Aktivierungsenergien, Katalyse

Die Knallgas-Reaktion

Beispiel: Verbrennung von Wasserstoff



Beobachtungen:

- Reaktion ist exotherm, Energie wird frei
- Einfluss der Stöchiometrie (Verhältnis der Edukte):
 - Explosionsartige Reaktion, wenn Reaktanden im „richtigen“ stöchiometrischen Verhältnis vorliegen
 - Maximale Energieausbeute und schlagartige Energiefreisetzung bei Knallgasgemisch
 - Andere Verhältnisse: unvollständige Umsetzung, Energiefreisetzung langsamer

<https://youtu.be/NUTDdeyw8F0>

Stöchiometrie – Wichtige Grundbegriffe



Stoffmenge

Molmasse

Masse

Molares Volumen

Konzentrationsangaben

Stöchiometrie chemischer Reaktionen

Bildung von Kupfersulfid



Kupfer Cu

+

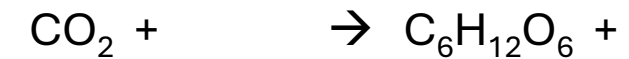


Schwefel S

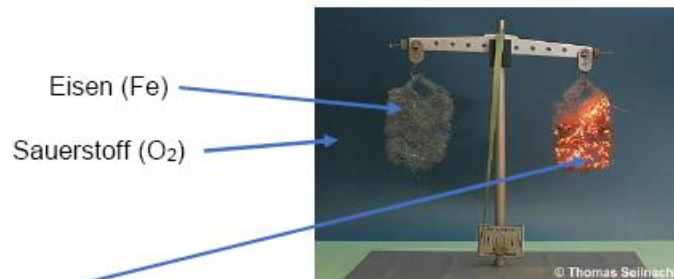


Kupfersulfid CuS

Photosynthese



Verbrennung von Eisen



Frage: was passiert bei der Verbrennung bzw. beim Verstoffwechseln von Glucose?

Die Stoffmenge n

Die **Stoffmenge** n beschreibt die Anzahl der Teilchen (Atome oder Moleküle)

1 mol = $6,022 \cdot 10^{23}$ Teilchen*

Avogadro-Konstante

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}$$

Frage: Wie viele Teilchen stecken in 1 mol Eisen bzw. 1 mol Wasser?



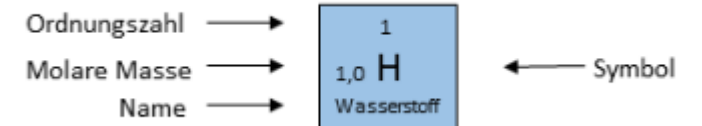
* Die Teilchenanzahl pro mol geht auf die Anzahl der Kohlenstoffatome zurück, die man in 12g des reinen Kohlenstoffisotops C12 findet.

Die Molare Masse M

Die **Molare Masse M** gibt die Information bezüglich der Masse eines Mols eines Stoffes.

Die Molare Masse eines Elements entspricht seiner Massenzahl im PSE

Einheit: $1 \text{ u} = 1 \text{ g/mol}$



Frage: Welche Molare Masse M hat Eisen bzw. Wasser?



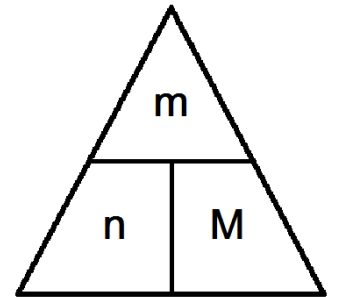
Zusammenhang: Masse, Stoffmenge, Molare Masse

Masse ***m*** (in g), Stoffmenge ***n*** (in mol) und Molare Masse ***M*** (in g/mol) stehen miteinander im Verhältnis

$$m = n \cdot M$$

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

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

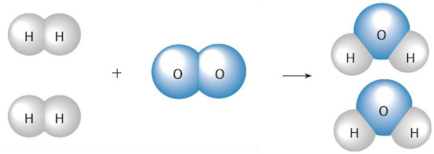


Frage: Was ist schwerer, 5 mol Eisen oder 5 mol Wasser?



Stoffmengenverhältnisse in chemischen Reaktionen

Beispiel: Synthese von Wasser aus Wasserstoff und Sauerstoff (Knallgasreaktion)



Wieviel Gramm Wasserstoff und Sauerstoff werden benötigt um 1 g Wasser herzustellen?

Chemische Reaktion und stöchiometrische Berechnungen

Aufgabe: Wieviel Gramm CO_2 entstehen bei der vollständigen Verbrennung von 500 g Propangas (C_3H_8).

Typische Fehlerquellen in der Stöchiometrie

- Unvollständiges oder falsches Ausgleichen von Gleichungen
- Falsche Umrechnung zwischen Masse und Stoffmenge
- Verwechslung von molaren Massen verschiedener Verbindungen
- Stoffmengenverhältnisse nicht richtig angewendet
- Verhältnisse zwischen Edukten oder Produkten auf Basis von Masse anstelle der Stoffmenge

Das Volumen von Gasen – ideales Gasgesetz

Ideale Gase – Annahmen:

- Keine Wechselwirkungen zwischen Molekülen
- Eigenvolumen der Moleküle ist vernachlässigbar

Avogadro's Gesetz: konstante Temperatur und Druck

Boyle's Gesetz: konstante Temperatur

Charles's Gesetz: konstanter Druck

Ideales Gasgesetz:

$$p * V = n * R * T$$

Größe	Symbol	Einheit
Druck	p	Pa = N/m ²
Volumen	V	m ³ = 1000L
Stoffmenge	n	Mol
Universelle Gaskonstante	R	8,314 J/(mol·K)
Temperatur	T	K

Ideale Gase nehmen bei konstanter Temperatur und konstantem Druck das gleiche Volumen ein.

Beispiel: Welches Volumen nimmt 1mol H₂ bei p = 1013 hPa und T = 273,15 K (0°C) ein?

Das molare Volumen V_m

Das molare Volumen V_m beschreibt das Volumen, das 1 mol eines Gases einnimmt; Einheit: L/mol

Für **ideale Gase** gilt für bei Normalbedingungen ($p = 1013 \text{ hPa}$ und $T = 273 \text{ K}$ (0°C)):

$$V_m(\text{ideales Gas}) = \frac{V}{n} = 22,4 \frac{\text{L}}{\text{mol}}$$

Frage: Welches Volumen nimmt 1 mol H_2 bzw. 1 mol Wasserdampf (H_2O) bei Normalbedingungen ein?

Frage: Welche Volumenänderung ist bei der Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff zu beobachten, wenn das gebildete Wasser ebenfalls in der Gasphase vorliegt?

Molare Konzentration

Die Molare Konzentration c entspricht der Stoffmenge n in einem Volumen V

$$c = \frac{n}{V} \quad \text{Einheit: } 1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

Die molare Konzentration ist die wichtigste Form der Konzentrationsangaben in der Chemie, da bei chemischen Reaktionen das Verhältnis der reagierenden Teilchen in einem Reaktionsvolumen entscheiden ist

Frage: Wie lässt sich eine 1 molare Kochsalz-Lösung herstellen? Verwenden Sie einen 200mL Maßkolben.



Massenbezogene Konzentrationen

Massenkonzentration

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Einheit: } 1 \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

Beispiel: Wird ein Zuckerwürfel (3 g Zucker) in 1 L Wasser gelöst beträgt die Konzentration 3 g/L

Massenprozent % (m/m), w/w-%

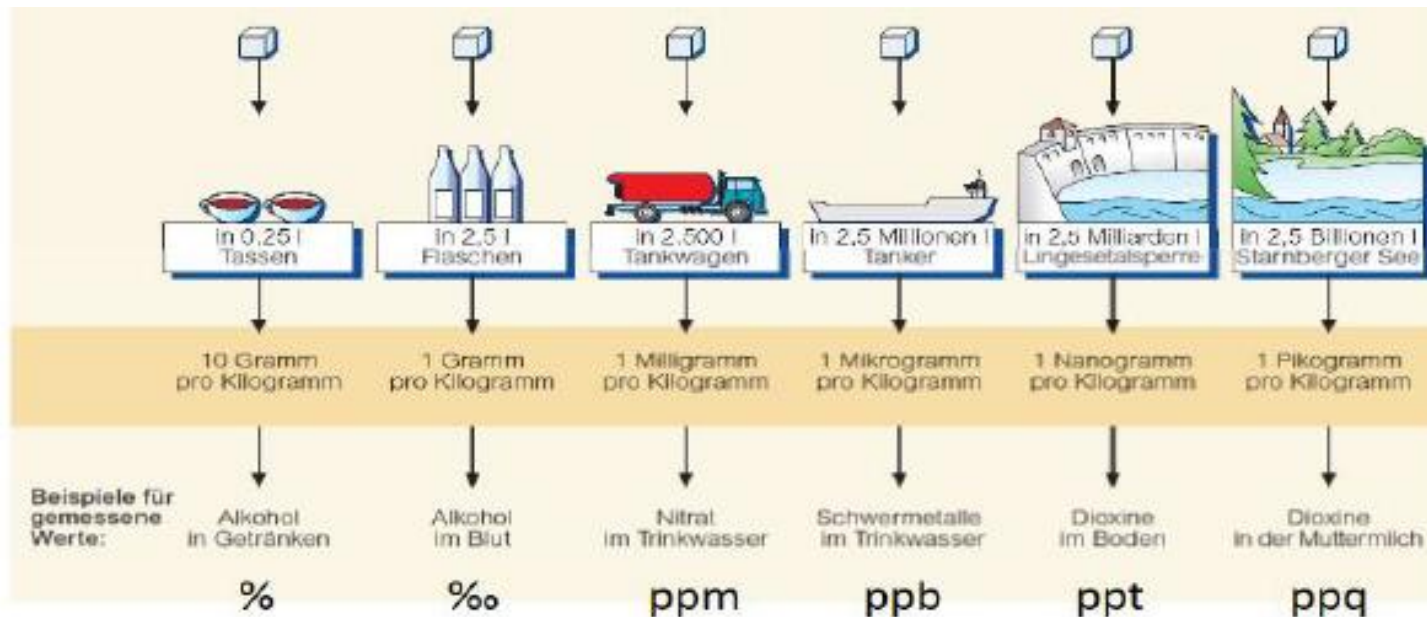
$$\frac{m_{\text{Substanz}}}{m_{\text{ges}}} \cdot 100\%$$

Beispiel: Für eine 3%(m/m)-ige Zuckerlösung werden 3 g Zucker in 97 g Wasser gelöst

Massenbezogene Konzentrationen - Spurenanalytik

ppm, ppb, ppt - Bereich

- ppm: Parts per million $1:10^6$ 1 mg in 1 kg
- ppb: parts per billion $1:10^9$ 1 µg in 1 kg
- ppt: parts per trillion $1:10^{12}$ 1 ng in 1 kg



Volumenbezogene Konzentrationen

Volumenprozent (Vol%)

$$Vol\% = \frac{V_{Substanz}}{V_{ges}} \cdot 100\%$$

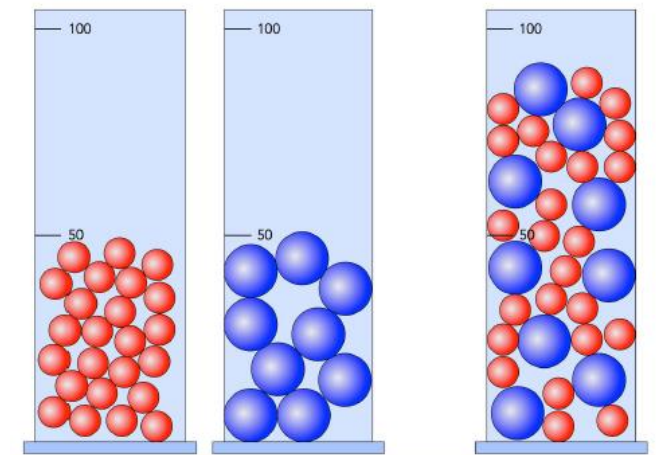
Frage: Wie viel Alkohol steckt in einer 0,5 L-Flasche Bier, bei einem Alkoholgehalt von 5 Vol% ?

Achtung:

Bei der Mischung von Flüssigkeiten kann es zu einer **Volumenkontraktion** kommen.

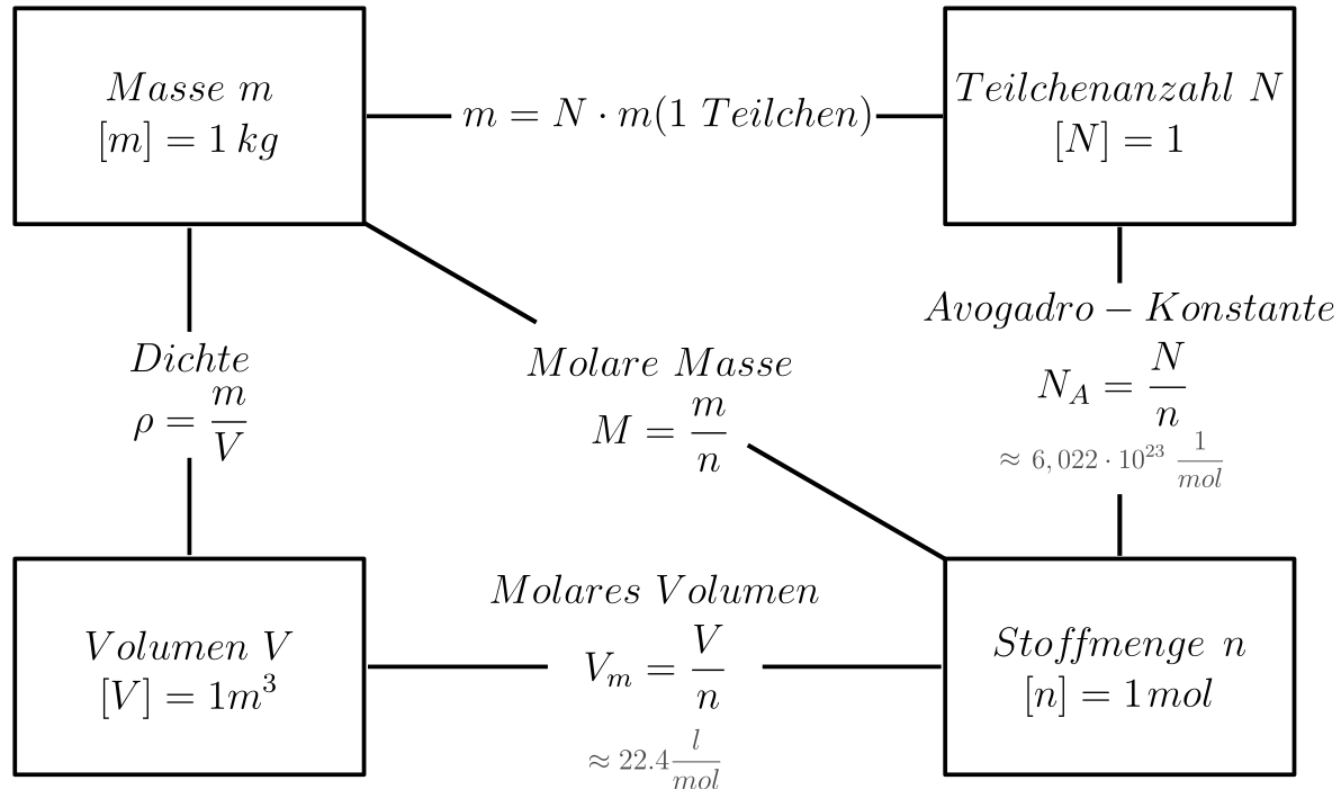
Beispiel: 50 mL Ethanol und 50 mL Wasser ergeben 96 mL eines Gemisches.

Begründung: Größenunterschiede der Moleküle



Bildquelle: Prof. Straub - Skript

Zusammenhänge



Von Johannes Schneider - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0, aus Wikipedia

Lernzielkontrolle

1. Was besagt das Gesetz zur Erhaltung der Masse?
2. Warum sind stöchiometrische Faktoren bei chemischen Reaktionen wichtig und wie werden sie bestimmt?
3. Wie hängen Stoffmenge, Masse und molare Masse zusammen?
4. Wie unterscheiden sich unterschiedliche Konzentrationsangaben? Welche Angabe ist in der Chemie am wichtigsten und warum?
5. Was besagt das ideale Gasgesetz?