

ÜS 5 - Stoffe und chemische Reaktionen II

Die ideale Gasgleichung

Gase lassen sich in der Chemie ziemlich gut mathematisch beschreiben, da die Atome weit auseinander liegen und viel freier Raum vorhanden ist. Ein häufig verwendetes Modell für Gase ist das **ideale Gas**, bei dem man von keinen Wechselwirkungen zwischen den Gasteilchen ausgeht. Dieses Modell ist einfach, aber macht auch viele Vereinfachungen. Es gilt das **ideale Gasgesetz**:

$$pV = nRT \quad \text{Druck } [p] = \text{Pa} = \text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}, \quad \text{Volumen } [V] = \text{m}^3, \quad \text{Stoffmenge } [n] = \text{mol}, \quad \text{Gaskonstante } R, \quad \text{Temperatur } [T] = \text{K}$$

Der **Partialdruck** p_i ist das Konzentrationsäquivalent für Gasgemischungen und rührt daher, dass jedes Gasteilchen im idealen Gas gleich viel Platz benötigt. In einem Gasgemisch lässt sich ein Partialdruck p_i für jede Spezies i berechnen, wobei der Gesamtdruck p_{tot} des Gasgemischs gerade die Summe aller Partialdrücke entspricht.



$$p_{\text{tot}} = p(A) + p(B) + p(C) = \sum_i p_i$$

Der **Molenbruch** x_i ist eine prozentuale Grösse wie viel Stoffmenge eines Stoffes in einer Mischung vorhanden ist. Diese lässt sich auch über den Partialdruck schreiben

$$x_i = \frac{n_i}{\sum_i n_i} \quad x_i = \frac{n_i}{n_{\text{tot}}} = \frac{p_i}{p_{\text{tot}}} \quad \Rightarrow \quad p_i = x_i p_{\text{tot}}$$

Die **Dichte** ρ einer Substanz ist eine empirische Grösse dafür wie schwer ein bestimmtes Volumen des Stoffes ist.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [\rho] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

1. Eine **bestimmte Menge N_2 (g)** nimmt bei $\theta = 0.00^\circ\text{C}$ und $p = 1.00 \text{ bar}$ ein Volumen $V = 1.00 \text{ m}^3$ ein. Berechnen Sie die Volumina bei $\theta = 0.00^\circ\text{C}$ und den folgenden Drücken:

- | | |
|--------------------------|--------------|
| a) 8.00 bar | b) 500 Pa |
| c) 5.00 mbar | d) 0.200 atm |
| e) 500 N m ⁻² | f) 15.2 mmHg |
| g) 8.00 kbar | h) 15.2 Torr |

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Für solche Berechnungen: **ideale Gasgl.**

$$pV = nRT = \text{const} \quad \Rightarrow \quad p_i V_i = p_j V_j \Leftrightarrow V_j = \frac{p_i}{p_j} V_i$$

$$a) \quad 8.00 \text{ bar} = 8.00 \times 10^5 \text{ Pa} \quad V_j = \frac{1.00 \times 10^5 \text{ Pa}}{8.00 \times 10^5 \text{ Pa}} \cdot 1 \text{ m}^3 = 0.125 \text{ m}^3$$

$$b) \quad 500 \text{ Pa} \quad V_j = \frac{1.00 \times 10^5 \text{ Pa}}{500 \text{ Pa}} \cdot 1 \text{ m}^3 = 200 \text{ m}^3$$

$$c) \quad 5.00 \text{ mbar} = 5.00 \times 10^2 \text{ Pa} \quad V_j = \frac{1.00 \times 10^5 \text{ Pa}}{5.00 \times 10^2 \text{ Pa}} \cdot 1 \text{ m}^3 = 200 \text{ m}^3$$

$$d) \quad 0.200 \text{ atm} = 20265 \text{ Pa} \quad V_j = \frac{1.00 \times 10^5 \text{ Pa}}{20265 \text{ Pa}} \cdot 1 \text{ m}^3 = 4.93 \text{ m}^3$$

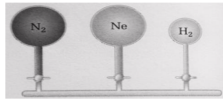
$$e) \quad 500 \text{ N m}^{-2} = 500 \text{ Pa} \quad V_j = \frac{1.00 \times 10^5 \text{ Pa}}{500 \text{ Pa}} \cdot 1 \text{ m}^3 = 200 \text{ m}^3$$

$$f) \quad 15.2 \text{ mmHg} = 2026.5 \text{ Pa} \quad V_j = \frac{1.00 \times 10^5 \text{ Pa}}{2026.5 \text{ Pa}} \cdot 1 \text{ m}^3 = 49.3 \text{ m}^3$$

$$g) \quad 8.00 \text{ kbar} = 8.00 \times 10^8 \text{ Pa} \quad V_j = \frac{1.00 \times 10^5 \text{ Pa}}{8.00 \times 10^8 \text{ Pa}} \cdot 1 \text{ m}^3 = 1.25 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$h) \quad 15.2 \text{ Torr} = 2026.5 \text{ Pa} \quad V_j = \frac{1.00 \times 10^5 \text{ Pa}}{2026.5 \text{ Pa}} \cdot 1 \text{ m}^3 = 49.3 \text{ m}^3$$

2. Jeder der drei Kolben in der Abbildung unten enthält ein Gas mit dem angegebenen Druck.



Volumen	1.0 L	1.0 L	0.5 L
Druck	265 Torr	800 Torr	532 Torr

Wenn alle Hähne geöffnet werden, mischen sich die Gase. Berechnen Sie für das Gasgemisch die Partialdrücke der einzelnen Gase sowie den Gesamtdruck im System. Nehmen Sie an, dass die Temperatur konstant bleibt. Das Volumen der Kapillarröhren, die die Kolben verbinden, kann vernachlässigt werden.

Wir haben ein Gasgemisch, welches sich nach Öffnen der Hähne auf das Gesamtvolumen $V_g = (1.0 + 1.0 + 0.5) \text{ L} = 2.5 \text{ L}$ expandiert. Die Temp. und die Stoffmenge der drei Gase bleibt gleich.

$$pV = nRT = \text{const} \Rightarrow p_i V_i = p_j V_j \Leftrightarrow p_j = p_i \frac{V_i}{V_j}$$

$$\left. \begin{aligned} p_{N_2} &= 265 \text{ Torr} \cdot \frac{1.0 \text{ L}}{2.5 \text{ L}} = 106 \text{ Torr} \\ p_{Ne} &= 800 \text{ Torr} \cdot \frac{1.0 \text{ L}}{2.5 \text{ L}} = 320 \text{ Torr} \\ p_{H_2} &= 532 \text{ Torr} \cdot \frac{0.5 \text{ L}}{2.5 \text{ L}} = 106 \text{ Torr} \end{aligned} \right\} p_{\text{Ges}} = p_{N_2} + p_{Ne} + p_{H_2} = 532 \text{ Torr}$$

3. Was für ein Volumen nimmt 321.0 g Methan (CH_4) bei Temperatur von 25.00 °C und Standarddruck ein?

Die Stoffmenge n von CH_4 kann berechnet werden.

$$pV = nRT, n = \frac{m}{M} \Rightarrow pV = \frac{m}{M} RT \Leftrightarrow V = \frac{mRT}{Mp}$$

$$m = 321.0 \text{ g}, T = 298.15 \text{ K}$$

$$M = 16.04 \frac{\text{g}}{\text{mol}}, p = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$V = \frac{321.0 \text{ g} \cdot 8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 298.15 \text{ K}}{16.04 \text{ g mol}^{-1} \cdot 10^5 \text{ Pa}} = 0.9958 \text{ m}^3$$

Mischungen von Stoffen

Gemische sind Mischungen von reinen Stoffen, wobei wir Gemische nach ihrem Zusammensetzungsverhältnis charakterisieren.

7. Welche Masse von Kaliumpermanganat (KMnO_4) muss man einwiegen, um 500 mL einer wässrigen Lösung mit der Stoffmengenkonzentration $c(\text{KMnO}_4) = 2.00 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$ herzustellen? Wie wird die Lösung praktisch hergestellt?

$$c = \frac{n}{V} \quad n = \frac{m}{M}$$

$$\Rightarrow c = \frac{m}{MV} \Leftrightarrow m = cMV = 2 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1} \cdot 0.5 \text{ L} \cdot 158 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$= 1.58 \text{ g}$$

8. Konzentrierte Phosphorsäure H_3PO_4 (85.0 Gew.-% in Wasser) hat eine Dichte von 1.70 g cm^{-3} . Wie gehen Sie vor, um aus dieser Säure 1.00 L Phosphorsäurelösung in Wasser ($c = 1.00 \text{ mol L}^{-1}$) herzustellen?

Erstmal in Stoffmengenkonzentration umrechnen:

Phasendiagramme

Um Stoffe in verschiedene Aggregatzustände zu überführen kann man entweder den Druck p oder die Temperatur T anpassen. Wenn man grafisch aufträgt in welchem Aggregatzustand ein Stoff bei gegebenem Druck und Temperatur ist, erhält man ein Phasendiagramm.

Koexistenzlinie: Zwei Phasen stehen im Gleichgewicht
Tripelpunkt: Drei Phasen stehen im Gleichgewicht

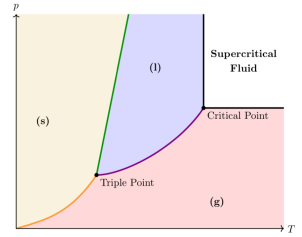
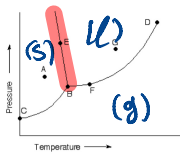


Figure 10: Unary phase diagram of a general substance. The solid, liquid and gas phase (s), (l) and (g) respectively are separated by coexistence lines, where the two neighboring phases coexist. The triple point and critical point are the two invariant points in the diagram, as there are three phases coexisting, which is the limit given by the phase rule.

4. Was repräsentieren die Linien in einem Phasendiagramm?
 - a) die Anwesenheit nur einer Phase
 - b) zwei Phasen im Gleichgewicht
 - c) drei Phasen im Gleichgewicht
 - d) das Verschwinden der Unterscheidbarkeit zweier Phasen

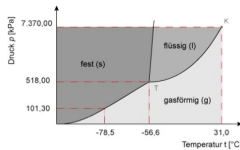
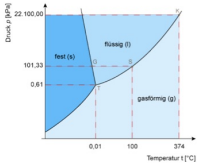
- a) Die Flächen im Phasendiagramm.
- b) Die Linien im Phasendiagramm**
- c) Der Tripelpunkt
- d) Kritischer Punkt

5. Gegeben ist das p,T-Phasendiagramm einer reinen Substanz:



- a) In welcher Phase liegt die Substanz unter den p,T-Bedingungen A und G vor?
 - b) Wie heißen die Punkte B und D?
 - c) Welche Prozesse verlaufen an den Punkten E und F?
 - d) Wie verändert sich der Schmelzpunkt der Verbindung bei Druckerhöhung?
6. Nachfolgend sind die Phasendiagramme von Wasser (links) und Kohlenstoffdioxid (rechts) abgebildet (nicht massstabgetreu).

- a) A: fest G: flüssig
- b) B: Tripelpunkt D: krit. Punkt
- c) E: Schmelzen / Gefrieren
- F: Verdampfen / Kondensieren
- d) Negative Steigung: $p \uparrow \Rightarrow T_{\text{Schmelz}} \downarrow$**



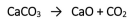
Überprüfen Sie die folgenden Aussagen. Klassifizieren Sie diese als richtig oder falsch.

Aussage	richtig	falsch
Wasser siedet bei $p = 2$ bar und $\theta = 100$ °C.	☐	☒
Der Gefrierpunkt von flüssigem Wasser sinkt mit steigendem Druck.	☒	☐
Bei $p = 0.61$ kPa und $\theta = 0.01$ °C besteht ein Phasengleichgewicht zwischen Eis, Wasser und Wasserdampf.	☒	☐
Bei Drücken von $p < 0.6$ kPa gibt es kein flüssiges Wasser.	☒	☐
Kohlendioxid liegt bei $p = 3$ bar und $T = 298$ K als flüssige Phase vor.	☐	☒
Trockeneis sublimiert bei $p = 1$ atm und $\theta = -78.5$ °C	☒	☐
Der Schmelzpunkt von festem Kohlenstoffdioxid steigt mit steigendem Druck.	☒	☐
Bei Drücken von $p > 7370$ kPa und Temperaturen von $\theta > 31$ °C befindet sich Kohlendioxid im überkritischen Zustand.	☒	☐

Chemische Reaktionen

Chemische Reaktionen sind Prozesse, bei denen Bindungen gebildet oder gebrochen werden. Es reagieren die Edukte (Reaktanten) zu den Produkten, was man in stöchiometrischen Reaktionsgleichungen notiert. Die Ausbeute (Yield) ist die tatsächliche gemessene Menge an Produkt (Reaktionen laufen nicht perfekt ab) über der möglichen Menge bei vollständiger Umsetzung.

11. Bei der folgenden Reaktion wird 10.0 g Calciumcarbonat (CaCO_3) eingesetzt und 5.33 g Calciumoxid (CaO) erhalten. Wie gross ist die prozentuale Ausbeute?

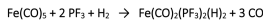


Wie viel Masse CaO würde bei perfektem Umsatz rauskommen?

$$n_{\text{CaCO}_3} = n_{\text{CaO}} \Rightarrow n_{\text{CaO}} = \frac{m_{\text{CaCO}_3}}{M_{\text{CaCO}_3}}$$
$$m_{\text{CaO}} = M_{\text{CaO}} \cdot n_{\text{CaO}} = M_{\text{CaO}} \cdot \frac{m_{\text{CaCO}_3}}{M_{\text{CaCO}_3}} = 5.61 \text{ g}$$

$$\text{Ausbeute} = \frac{m_{\text{real}}}{n_{\text{th}}} = \frac{m_{\text{real}}}{m_{\text{th}}} = \frac{5.33 \text{ g}}{5.61 \text{ g}} = 95.1\%$$

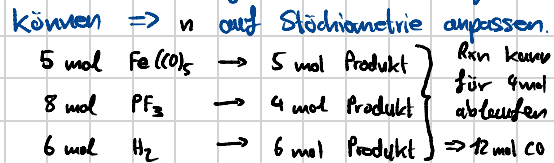
13. Bei der folgenden Reaktion entsteht Kohlenstoffmonoxid (CO).



Welche Stoffmenge $n(\text{CO})$ wird aus einer Mischung von 5.0 mol $\text{Fe}(\text{CO})_5$, 8.0 mol PF_3 und 6.0 mol H_2 gebildet?

(Ein kariertes Papier für die graphische Lösung der Aufgabe befindet sich am Ende der Übung).

Die maximale Menge von CO hängt davon ab, wie viel Stoffmenge der Edukte reagieren können $\Rightarrow$ auf Stöchiometrie anpassen.



Eine Standardaufgabe in der Chemie ist es eine Reaktionsgleichung auszugleichen. Dabei muss solange die stöchiometrischen Koeffizienten der Reaktion angepasst werden, bis Ladungserhaltung und Massenerhaltung gilt.

Massenerhaltung: Bei allen chemischen Vorgängen bleibt die Gesamtmasse erhalten.

Ladungserhaltung: Die Summe der Ladungen auf beiden Reaktionsseiten bleibt erhalten.



12. Eisen wird durch Reaktion von Eisen(III)-oxid (Fe_2O_3) mit Kohlenstoffmonoxid (CO) gewonnen, wobei Kohlenstoffdioxid (CO_2) als Nebenprodukt freigesetzt wird. Formulieren Sie eine ausgeglichene Reaktionsgleichung und berechnen Sie, wie viel CO_2 freigesetzt wird, wenn 1000 kg Fe_2O_3 umgesetzt werden.