

# Übungen zur Vorlesung

## Anorganische Chemie 1

Die Übungen für Lehramt-, Biologie- und Pharma Science-Studierende findet in Großgruppen statt.

**Termine:** (ab KW43)

- Übung für **Bachelor Chemie: Dienstags** 13:15 Uhr Baeyer Hörsaal & 14:15 Uhr Wieland Hörsaal
- Übung für **Biologie: Mittwochs, 12:15 Uhr**, großer Bio-HS, B00.019
- Übung für **Lehramt- & Pharma-Sc. Studierende: Mittwochs, 11:15 Uhr**, Baeyer-HS

**Übungsblätter Download:**

<https://acvorl.cup.uni-muenchen.de>

<https://www.cup.lmu.de/ac/stierstorfer/ubungen-zur-experimentalchemie/>

**Verantwortlich für die Übungen:**

- Chemie, Bio: Dr. Jörg Stierstorfer, [jstch@cup.uni-muenchen.de](mailto:jstch@cup.uni-muenchen.de), D3.076
- LA, Pharma: Dr. Magdalena Rusan, [march@cup.uni-muenchen.de](mailto:march@cup.uni-muenchen.de), D1.055

Eine Anmeldung zur **Übung** ist **NICHT** notwendig.

Eine Anmeldung zur **Klausur** ist **ZWINGEND** notwendig (ab ca. 15. Jan 2025)

# 1. Einfache Mathematik

**Quadrieren Sie**  $7 \cdot 10^5 = 49 \cdot 10^{10}$   
 $5 \cdot 10^{-5} = 25 \cdot 10^{-10}$

**Bestimmen Sie die Quadratwurzel von**

$$3,6 \cdot 10^{11} = 36 \cdot 10^{10} = 6 \cdot 10^5$$
$$1,6 \cdot 10^{-9} = 4 \cdot 10^{-5}$$

**Bestimmen Sie die Kubikwurzel von**

$$0,27 \cdot 10^{-7} = 27 \cdot 10^{-9} = 3 \cdot 10^{-3}$$

**Logarithmus**  $b^x = a \Leftrightarrow x = \log_b(a)$

x: der Exponent

b: die Basis

a: der Potenzwert

**Berechnen Sie**

$$\log_2(8) = 3$$

$$\log_3(81) = 4$$

$$\log_4(1/16) = -2 \quad \text{denn } 4^{-2} = 1/16$$

$$\log_7(7) = 1$$

$$\log_8(1) = 0$$

$$\log_{16}(64) = \log_4(64) / \log_4(16) = \log_4(4^3) / \log_4(4^2) = 3/2$$

# 1. Determinanten

Bezeichner der  
Determinante

$$D, \det A, |A| = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix} \begin{matrix} \leftarrow 1. \text{ Zeile} \\ \leftarrow 2. \text{ Zeile} \\ \\ \end{matrix}$$

1. Spalte  $\uparrow$        $\uparrow$  2. Spalte

## Zweireihige Determinante

Hauptdiagonale    Nebendiagonale

$$D = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} = a_{11} \cdot a_{22} - a_{12} \cdot a_{21}$$

Zahlenbeispiel

$$\det A = \begin{vmatrix} 2 & -3 \\ 4 & 5 \end{vmatrix} = 2 \cdot 5 - (-3 \cdot 4) = 10 + 12 = 22$$

$$A = \begin{vmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{vmatrix} = 1 \cdot 4 - 3 \cdot 2 = -2$$

$$B = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \\ 7 & 8 & 9 \end{vmatrix} = 1 \cdot 5 \cdot 9 + 2 \cdot 6 \cdot 7 + 3 \cdot 4 \cdot 8 - 7 \cdot 5 \cdot 3 - 8 \cdot 6 \cdot 1 - 9 \cdot 4 \cdot 2 = 45 + 84 + 96 - 105 - 48 - 72 = 0$$

## Dreireihige Determinante (Sarrus-Regel)

$$\det A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}$$

+    +    +    -    -    -

$$\det A = \underline{a_{11} \cdot a_{22} \cdot a_{33}} + \underline{a_{12} \cdot a_{23} \cdot a_{31}} + \underline{a_{13} \cdot a_{21} \cdot a_{32}} - \underline{a_{13} \cdot a_{22} \cdot a_{31}} - \underline{a_{11} \cdot a_{23} \cdot a_{32}} - \underline{a_{12} \cdot a_{21} \cdot a_{33}}$$

Zahlenbeispiel

$$\det A = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 \\ -2 & 4 & -1 \\ 5 & 6 & 2 \end{vmatrix}$$

$$\det A = \underline{1 \cdot 4 \cdot 2} + \underline{2 \cdot (-1) \cdot 5} + \underline{3 \cdot (-2) \cdot 5} - \underline{3 \cdot 4 \cdot 5} - \underline{1 \cdot (-1) \cdot 6} - \underline{2 \cdot (-2) \cdot 2} = -84$$

## 2. Die Bindungslänge einer C=C Bindung beträgt 134 pm. Wie viele mm sind das?

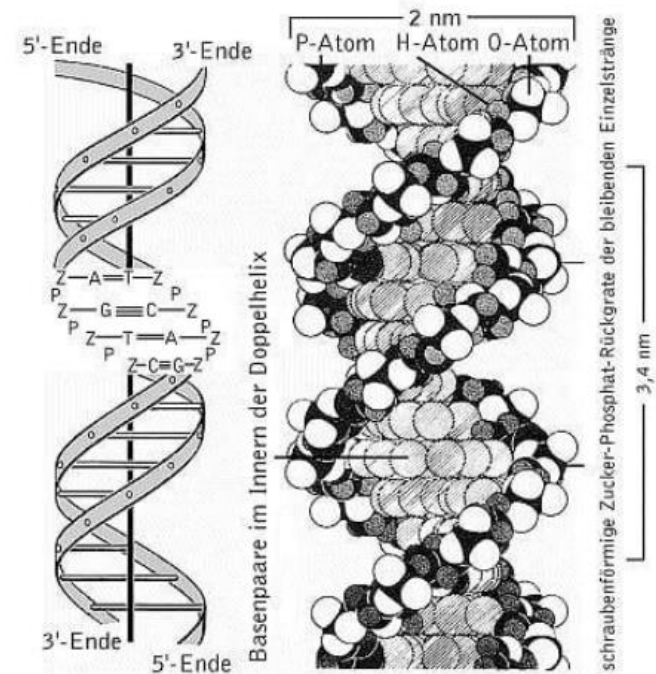
### Lösung:

$$134 \text{ pm} = 0,134 \text{ nm} = 0,000134 \text{ }\mu\text{m} = 0,000000134 \text{ mm} = 1,34 \cdot 10^{-7} \text{ mm}$$

Dezimal	Potenz	Präfix	Zeichen
0,000 000 000 000 001	$10^{-15}$	Femto	f
0,000 000 000 000 01	$10^{-14}$		
0,000 000 000 000 1	$10^{-13}$		
0,000 000 000 001	$10^{-12}$	Piko	p
0,000 000 000 01	$10^{-11}$		
0,000 000 000 1	$10^{-10}$		
0,000 000 001	$10^{-9}$	Nano	n
0,000 000 01	$10^{-8}$		
0,000 000 1	$10^{-7}$		
0,000 001	$10^{-6}$	Mikro	$\mu$
0,000 01	$10^{-5}$		
0,000 1	$10^{-4}$		
0,001	$10^{-3}$	Milli	m
0,01	$10^{-2}$	Zenti	c
0,1	$10^{-1}$	Dezi	d
1	$10^0$	Eins	

3. Eine normale menschliche Körperzelle enthält ca. 6.6 Milliarden Basenpaare in der DNA. 1 Basenpaar wiegt ca.  $10^{-21}$  g. Ein Mensch hat ca.  $10^{14}$  dieser Zellen. Wieviel g DNA enthält dann ein Mensch? Und wie lang ist die gesamte DNA wenn 1 Basenpaar 0,34 nm misst?

**Lösung:** Multiplikation ergibt 660 g  
 $2,244 \cdot 10^{14} \text{ m} = 2,2 \cdot 10^{11} \text{ km}$



Die DNA in einer menschlichen also eukaryotischen Zelle hat eine Länge von etwa 2 m. Ein Mensch besteht aus etwa 100 Billionen Zellen, davon sind 25% Blutzellen, die keinen Zellkern haben. Die Länge der DNA in einem Menschen beträgt also 150 Mrd. km, also 1000mal die Strecke von der Erde zur Sonne (149,6 Mill. km).

Entsprechend würde die DNA von 7 Mill. Menschen (~ Madrid im Jahr 2018) aneinandergereiht eine Länge von etwa 110 000 Lichtjahren erreichen, was mehr als dem Durchmesser unserer Milchstraße (~100 000 Lichtjahre) entspricht.

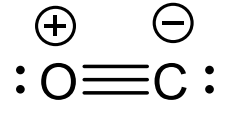
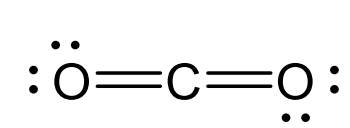
Die Länge der DNA aller Menschen auf der Welt (ca. 7,6 Mrd. im Jahr 2018) kombiniert ergäbe etwa 121 Mill. Lichtjahre, was fast dem Durchmesser des Virgo-Superhaufens (150 bis 200 Mill. Lichtjahre) entspricht.

4. Welcher Masse entspricht 1,5 mol CO<sub>2</sub> und Kohlenmonoxid? Zeichnen Sie eine Strukturformel dieser Verbindungen.

**Lösung:**

$$M(\text{CO}_2) = 44 \text{ g/mol}; \quad m(\text{CO}_2) = 66,0 \text{ g}$$

$$M(\text{CO}) = 28 \text{ g/mol}; \quad m(\text{CO}) = 42,00 \text{ g}$$



Atommasse in u (Durchschnittswert aus den natürlich vorkommenden Isotopen)

35,45

17

Cl ← Elementsymbol

Protonenzahl = Kernladungszahl = Ordnungszahl

1 H							2 He
3 Li	4 Be	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
23	24	27	28	31	32	35	40

5. Bei einem kleinen Barbecue benötigen Sie 2 kg Kohle (wir nehmen an diese besteht aus reinem Kohlenstoff). Wieviel Kilo und Liter CO<sub>2</sub> produzieren Sie dabei?

**Lösung:**

$$M(\text{CO}_2) / M(\text{C}) = x / 2 \text{ kg}$$

$$x = 44 * 2 / 12 = 7,333 \text{ kg}$$

$$n = m / M = 7333 \text{ g} / 44 \text{ g mol}^{-1} = 166.6 \text{ mol}$$

Normalbed.(STP):  $V = n * V_m = 166,6 \text{ mol} * 22,4 \text{ Liter/mol} = 3731 \text{ Liter}$

Standartbed. (SATP):  $V = n * V_m^\ominus = 166,6 \text{ mol} * 24,46 \text{ Liter/mol} = 4075 \text{ L}$

Bei höheren Temperaturen:

$p * V = n * R * T$  (ideale Gasgleichung)

$V = 1 * 8,31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} * T \text{ in K} / 101300 \text{ Pa (N/m}^2\text{)}$



6. Kalium reagiert mit Wasser zu Wasserstoff und Natronlauge (KOH).

- Stellen Sie die korrekte Reaktionsgleichung auf.
- Welche Aussagen über die Entropie dieser Reaktion können Sie treffen?
- Berechnen Sie die molare Masse von Kaliumhydroxid?
- Wieviel Liter Wasserstoffgas entstehen bei der Reaktion von 5 g Kalium?

Lösung: a)  $2 \text{ K} + 2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ KOH} + \text{ H}_2$

b) Entropie nimmt ab

c)  $\sum M = 39.1 + 1 + 16 = 56.1 \text{ g/mol}$

d)  $5 \text{ g} / 39.1 \text{ g/mol} = 0.128 \text{ mol} \rightarrow 0.064 \text{ mol Wasserstoff} * 22.4 \text{ L} = 1,43 \text{ L}$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

Increase of product particles:  $\Delta S > 0$

Increase of temperature particles:  $T\Delta S < 0$

[https://www.youtube.com/watch?v=0YNslaSbFdg&ab\\_channel=NileRedShorts](https://www.youtube.com/watch?v=0YNslaSbFdg&ab_channel=NileRedShorts)



**7. Verdünnungen: 8 g NaOH sind in 200 mL Wasser gelöst. Wie hoch ist die Konzentration ( $c_1$ )? Anschließend wird mit 800 mL Wasser verdünnt. Wie hoch ist dann die Konzentration  $c_2$ ? Wie viele mg NaOH sind in 50 mL dieser Lösung enthalten?**

**Lösung:**

$$c = n / V \text{ und } c_1 * V_1 = c_2 * V_2$$

$$M (\text{NaOH}) = 40 \text{ g/mol}$$

$$n = 8 \text{ g} / 40 \text{ g mol}^{-1} = 0,2 \text{ mol}$$

$$c_1 = 0,2 \text{ mol} / 0,2 \text{ L} = 1 \text{ mol/L}$$

$$c_1 * V_1 = c_2 * V_2 \rightarrow c_2 = c_1 * V_1 / V_2 = 1 \text{ mol/L} * 0,2 \text{ L} / 1 \text{ L} = 0,2 \text{ mol/L}$$

$$m(\text{NaOH}) = 8 \text{ g} * 0,05 \text{ L} = 0,40 \text{ g} = 400 \text{ mg}$$

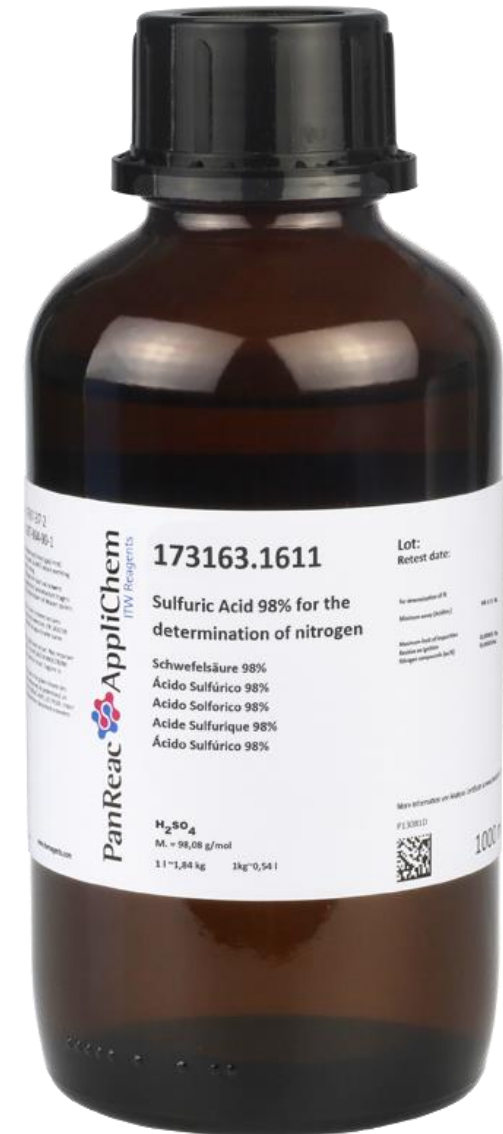
8. Wie schwer ist ein halber Liter 100% Schwefelsäure der Dichte 1.84 g/cm<sup>3</sup>?

Wieviel mol H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sind enthalten?

$$1840 \text{ g} \cdot 0.5 = 920 \text{ g}$$

$$M = 98.1 \text{ g} / \text{mol}$$

$$n = m / M = 920 \text{ g} / 98.1 \text{ g/mol} = 9.38 \text{ mol}$$



## 9. Sie möchten einen Liter konzentrierten Ammoniak (25%, Dichte 0,906 g/cm<sup>3</sup>) herstellen. Wieviel Ammoniakgas benötigen sie?

25% von 906 g sind NH<sub>3</sub> = 226,5 g

M(NH<sub>3</sub>) = 17 g/mol

$n = 226.5 \text{ g} / 17 \text{ g/mol} = 13.3 \text{ mol}$

$n * 22.4 \text{ L} = 298.4 \text{ L}$



10. Sie wollen 100mL eines Destillats (z.B. Strohrum) von 75% (v/v) auf 40% verdünnen. Wieviel Wasser benötigen Sie?

Lösung:

$$c_1 * V_1 = c_2 * V_2 \rightarrow V_2 = = 75\% * 0,1 \text{ L} / 40\% = 0,1875 \text{ L}$$

$$V = V_2 - V_1 = 87,5 \text{ mL}$$



11. Welche Konzentration hat 70%(v/v) Ethanol (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O)? Reiner Alkohol hat eine Dichte von 0,79 kg/L.

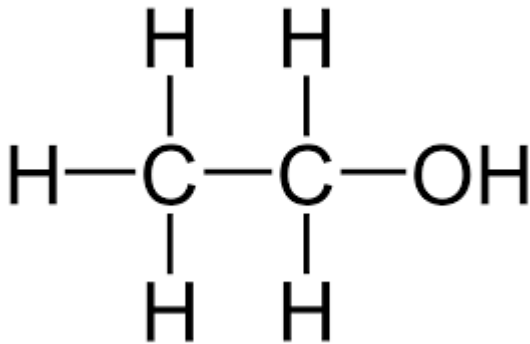
**Lösung:**

Konzentrationen in der Chemie in mol/L

700mL Ethanol entsprechen (Multiplikation mit Dichte) = 553 g

M(Ethanol, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O) = 2\*12,0 g/mol + 6\*1,0 g/mol + 1\*16,0 g/mol = 46 g/mol

53 g / M(Ethanol, 46 g/mol) = **12,0 mol/L**



### **Brandweinsteuer**

*Pro Liter reinen Alkohol werden 13,03 Euro erhoben. Daraus ergibt sich, dass bei einer 0,7-l-Flasche mit 38 Volumenprozent Alkohol 3,47 Euro*



# **2. Übung**

## **Thermodynamik**

**1. Mathematik, Basics Differentiale:**

**Leiten Sie zweimal ab!**

a)  $f(x) = 5x^4 - 4x^3 + 3x^2 - 2x + 6$

b)  $f(x) = 2x^{-2} + 4x^{-6}$

c)  $f(x) = 3x^{2/3} - x^{7/8}$

d)  $f(x) = \sqrt[3]{x} - 9\sqrt[4]{x^3}$

e)  $f(x) = \frac{1}{x^2}$

**Lösung:**

a)  $f'(x) = 20x^3 - 12x^2 + 6x - 2$

$$f''(x) = 60x^2 - 24x + 6$$

b)  $f'(x) = -4x^{-3} - 24x^{-7}$

$$f''(x) = 12x^{-4} + 148x^{-8}$$

c)  $f'(x) = 2/3 \cdot 3x^{2/3-1} - 7/8 \cdot x^{7/8-1} = 2 \cdot x^{-1/3} - 7/8 \cdot x^{-1/8}$

$$f''(x) = -2/3 \cdot x^{-4/3} + 7/64 \cdot x^{-9/8}$$

d)  $f(x) = x^{1/3} - 9 \cdot x^{3/4}$

$$f'(x) = 1/3 \cdot x^{-2/3} - 27/4 \cdot x^{-1/4}$$

$$f''(x) = -2/9 \cdot x^{-5/3} + 27/16 \cdot x^{-5/4}$$

e)  $f(x) = x^{-2}$

$$f'(x) = -2 \cdot x^{-3}$$

$$f''(x) = 6 \cdot x^{-4}$$

## 2. Mathematik, Basics, Integrale

Berechnen Sie die folgenden bestimmten Integrale.

$$\text{a) } \int_0^4 x^2 + 2x \, dx = \left[ \frac{x^3}{3} + x^2 \right]_0^4 = \frac{64}{3} + 16 - 0 = \frac{112}{3} = 37 \frac{1}{3}$$

$$\text{b) } \int_1^2 5 - \frac{2}{x^2} \, dx = \left[ 5x + \frac{2}{x} \right]_1^2 = \left( 10 + \frac{2}{2} \right) - \left( 5 + 2 \right) = 4$$

$$\text{c) } \int_0^3 \sqrt{x} \, dx = \left[ \frac{2}{3} \cdot x^{\frac{3}{2}} \right]_0^3 = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{27} - 0 = 2 \cdot \sqrt{3}$$

$$\begin{aligned} \text{d) } \int_1^2 (x^2 + 1) \cdot \sqrt{x} \, dx &= \int_1^2 x^{\frac{5}{2}} + x^{\frac{1}{2}} \, dx = \left[ \frac{2}{7} \cdot x^{\frac{7}{2}} + \frac{2}{3} \cdot x^{\frac{3}{2}} \right]_1^2 = \\ & \left( \frac{16\sqrt{2}}{7} + \frac{4\sqrt{2}}{3} \right) - \left( \frac{2}{7} + \frac{2}{3} \right) = \frac{76\sqrt{2} - 20}{21} \end{aligned}$$



**3. Erläutern sie:**

**a. Welche thermodynamische Energie-Größe drückt die Spontanität einer chemischen Reaktion aus?**

**b. Unter welchen Voraussetzungen kann eine endotherme Reaktion spontan ablaufen?**

**Lösung:**

a)  $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$

$\Delta G < 0$ : exergonisch (spontan)

$\Delta G > 0$ : endergonisch

b) Nur bei hohen Temperaturen oder wenn Entropie S stark zunimmt

**4. Welche Wärmemenge wird freigesetzt, wenn 1 g Hydrazin (N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) verbrennt?**



**Lösung:**

$$M(\text{N}_2\text{H}_4) = 2 \cdot 14,007 \text{ g mol}^{-1} + 4 \cdot 1,0079 \text{ g mol}^{-1} = 32,0456 \text{ g mol}^{-1}$$

$$n = m/M = 1 \text{ g} / 32,0456 \text{ g mol}^{-1} = 0,03121 \text{ mol}$$

$$Q = n \cdot \Delta H = 0,03121 \text{ mol} \cdot -622,4 \text{ kJ mol}^{-1} = -19,43 \text{ kJ}$$

5. Die Zersetzung von Natriumazid verläuft nach:



Wie groß ist der  $\Delta H$ -Wert, um 1,50 kg  $\text{N}_2$  zu erhalten?

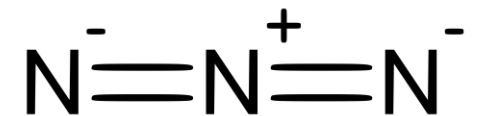
**Lösung:**

für  $\text{N}_2$  ist  $M = 2 \cdot 14,007 \text{ g mol}^{-1} = 28,014 \text{ g mol}^{-1}$

$n = m / M = 1500 \text{ g} / 28,014 \text{ g mol}^{-1} = 53,54 \text{ mol}$

Bildung von 3 mol  $\text{N}_2$ :  $42,7 \text{ kJ mol}^{-1}$

Bildung von 53,54 mol  $\text{N}_2$ :  $42,7 \text{ kJ} \cdot 53,54/3 = 762,1 \text{ kJ mol}^{-1}$



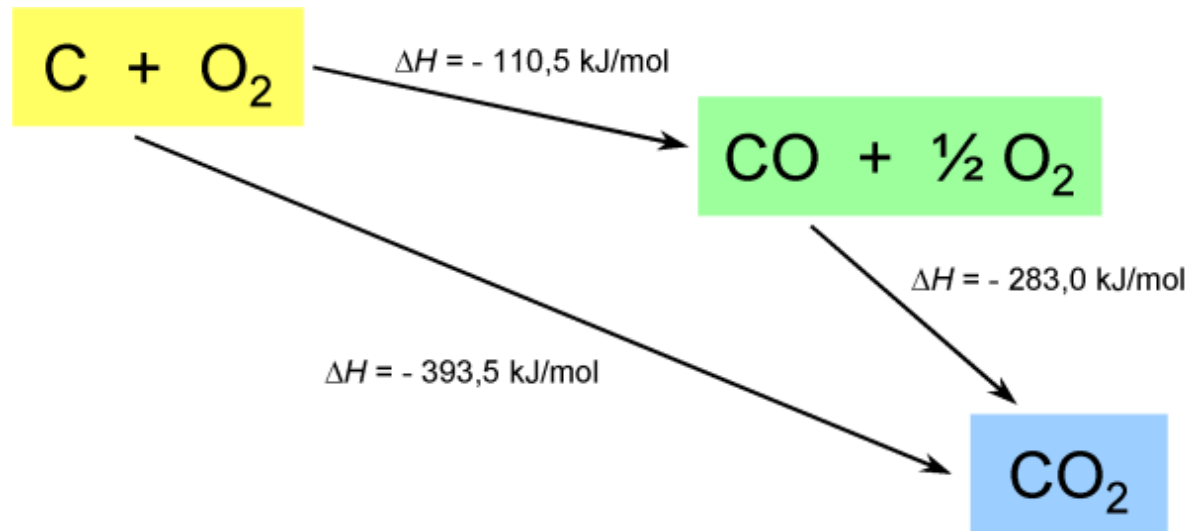
Synthese Bleiazid:



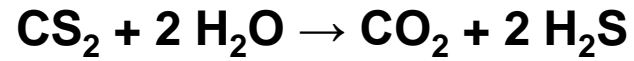
## 6. Was beschreibt der Satz von Hess?

### Lösung:

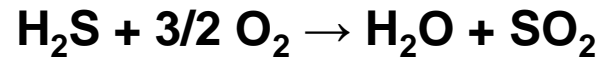
**z.B.** Der Satz von Hess besagt, dass der Weg einer chemischen Reaktion keinen Einfluss auf die Reaktionsenthalpie der Gesamtreaktion hat. Die Reaktionsenthalpie der Gesamtreaktion ist somit auch von der Anzahl der Teilreaktionen unabhängig. Die Enthalpieänderung der gesamten Reaktion ist die Summe der Reaktionsenthalpie der einzelnen Teilreaktionen.



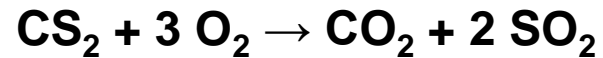
7. Berechnen Sie  $\Delta H$  für die Reaktion



mit Hilfe der Gleichungen:

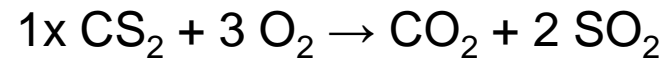


$$\Delta H = -562,6 \text{ kJ mol}^{-1}$$

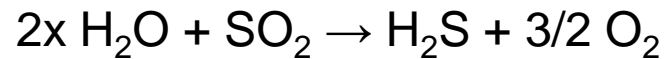


$$\Delta H = -1075,2 \text{ kJ mol}^{-1}$$

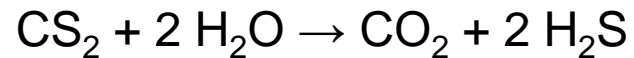
**Lösung:**



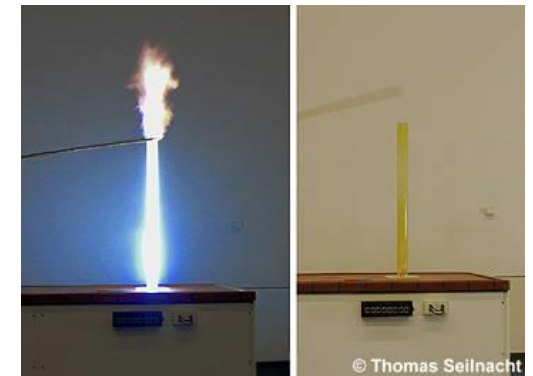
$$-1075,2 \text{ kJ mol}^{-1}$$



$$2 \cdot +562,6 \text{ kJ mol}^{-1}$$



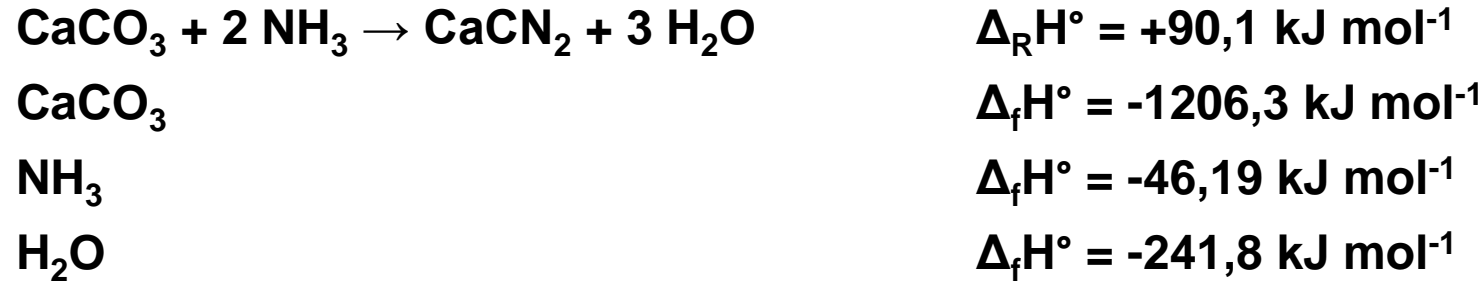
$$\Delta H = +50,0 \text{ kJ mol}^{-1}$$



Versuch: Bellender Hund



**8. Berechnen Sie die Standard-Bildungsenthalpie für Calciumcyanamid (CaCN<sub>2</sub>), mit Hilfe folgender Angaben:**



**Lösung:**

$$\Delta H^\circ(\text{Reaktion}) = \Sigma(\Delta H^\circ(\text{Produkte})) - \Sigma(\Delta H^\circ(\text{Edukte}))$$

$$+90,1 \text{ kJ mol}^{-1} = (\Delta H^\circ(\text{CaCN}_2) + 3 \cdot -241,8 \text{ kJ mol}^{-1}) - (-1206,3 \text{ kJ mol}^{-1} + 2 \cdot -46,19 \text{ kJ mol}^{-1})$$

$$\begin{aligned} (\Delta_f H^\circ(\text{CaCN}_2) = +90,1 \text{ kJ mol}^{-1} - 3 \cdot -241,8 \text{ kJ mol}^{-1}) + (-1206,3 \text{ kJ mol}^{-1} + 2 \cdot -46,19 \text{ kJ mol}^{-1}) \\ 815,5 \text{ kJ mol}^{-1} \qquad \qquad \qquad + (-1298,68 \text{ kJ mol}^{-1}) \end{aligned}$$

$$\Delta_f H^\circ(\text{CaCN}_2) = -483,18 \text{ kJ mol}^{-1}$$

9. In einem Kolben sind 0,80 l Gas mit einem Druck von 980 mbar bei einer Temperatur von 25 °C eingeschlossen (Zustand 1). Durch Wärmezufuhr steigt der Kolben nach oben, sodass das Gasvolumen 1,70 l beträgt (Zustand 2).

a) Welche Temperatur hat das Gas in Zustand 2, wenn...

a1) ...der Druck konstant bleibt?

a2) ...der Druck sich verdoppelt?

a3) ...der Druck auf 1,80 bar ansteigt?

**Lösung:**

a1) Ideale Gasgleichung:  $p \cdot V = n \cdot R \cdot T \rightarrow V_1/T_1 = V_2/T_2$   
 $T_2 = V_2 \cdot T_1 / V_1 = 1,7 \text{ L} \cdot 298\text{K} / 0,8 \text{ L} = 633 \text{ K}$

a2)  $p_1 \cdot V_1/T_1 = p_2 \cdot V_2/T_2$   
 $T_2 = 2 \cdot V_2 \cdot T_1 / V_1 = 2 \cdot 1,7 \text{ L} \cdot 298\text{K} / 0,8 \text{ L} = 1267 \text{ K}$

a3)  $T_2 = p_2 \cdot V_2 \cdot T_1 / p_1 \cdot V_1 = 1,8 \text{ bar} \cdot 1,7 \text{ L} \cdot 298\text{K} / 0,98 \text{ bar} \cdot 0,8 \text{ L} = 1163 \text{ K}$

b) Um welches Gas handelt es sich, wenn die gemessene Masse des Gases 1.4 g beträgt?

c) Anschließend wird das System abgekühlt bis die Gastemperatur 0 °C und der Druck 820 mbar beträgt (Zustand 3). Welches Volumen hat nun der Kolben?

b) Näherung: nahezu 1 atm (1013 mbar)

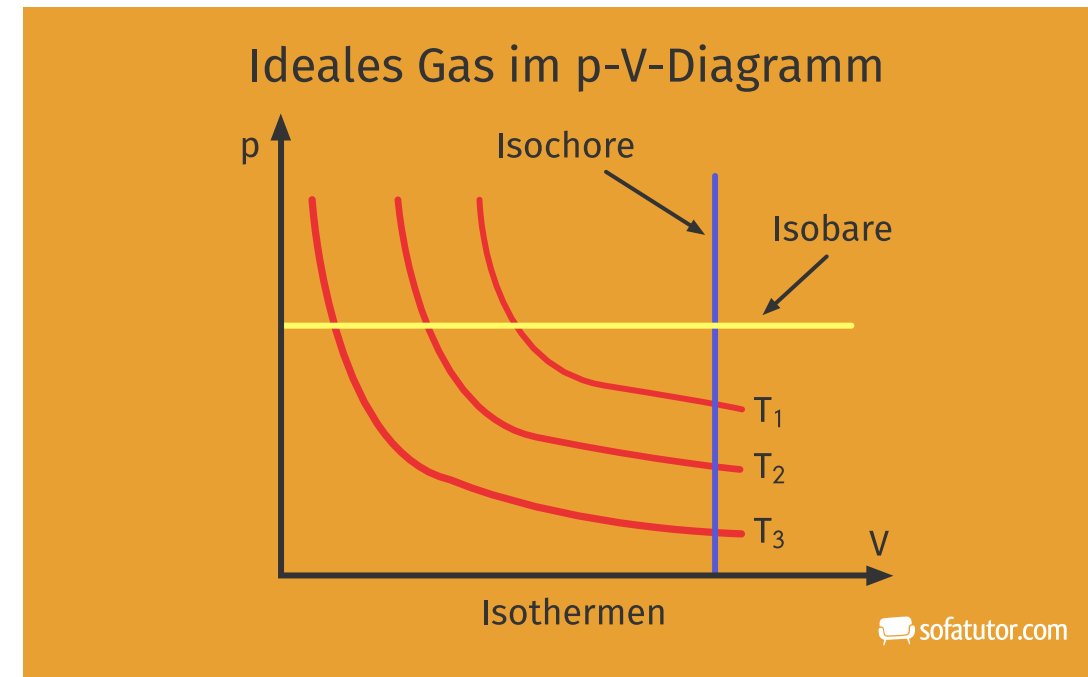
$$V_m = 24,4 \text{ mol/L} \rightarrow n = 0,8 \text{ L} / 24,45 \text{ mol/L} = 0,0327 \text{ mol}$$

$$n = m / M \rightarrow M = m/n = 1,4 \text{ g} / 0,0327 = 42,81 \text{ g/mol} \rightarrow 44 \text{ g/mol} = \text{CO}_2$$

c)  $p_1 \cdot V_1 / T_1 = p_2 \cdot V_2 / T_2$

$$V_2 = T_2 \cdot p_1 \cdot V_1 / T_1 \cdot p_1$$

$$V_2 = 273 \text{ K} \cdot 1,8 \text{ bar} \cdot 1,7 \text{ L} / 1163 \text{ K} \cdot 0,82 \text{ bar} \\ = 0,876 \text{ L}$$





# Übung 3

**MWG, Kinetik**

1. Erstellen Sie die entsprechenden Reaktionsgleichungen. Kennzeichnen Sie durch Pfeile die Richtung, in die sich das Gleichgewicht infolge der angegebenen Änderung verlagert!

(1) Kohlenstoff reagiert mit Wasser zu Kohlenmonoxid und Wasserstoff.

(2) Stickstoff und Wasserstoff reagieren zu Ammoniak.

(3) Kohlenstoffmonoxid und Wasser reagieren zu Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff.

(4) Kohlenstoffdioxid und Kohlenstoff reagieren zu Kohlenstoffmonoxid.

Reaktionsgleichung	$\Delta H$ in kJ/mol	Verschiebung bei Erhöhung ....	
		...der Temperatur	.....der Konzentration an
(1) $C + H_2O \rightleftharpoons CO + H_2$	+ 175,4	$\longrightarrow$	$H_2O \longrightarrow$
(2) $N_2 + 3 H_2 \rightleftharpoons 2 NH_3$	- 92,0	$\longleftarrow$	$H_2 \longrightarrow$
(3) $CO + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2$	- 2,9	$\longleftarrow$	$CO \longrightarrow$
(4) $CO_2 + C \rightleftharpoons 2 CO$	+ 172,4	$\longrightarrow$	$CO \longleftarrow$

Kohlevergasung

Haber-Bosch-Verfahren

Wassergas-Shift-Reaktion

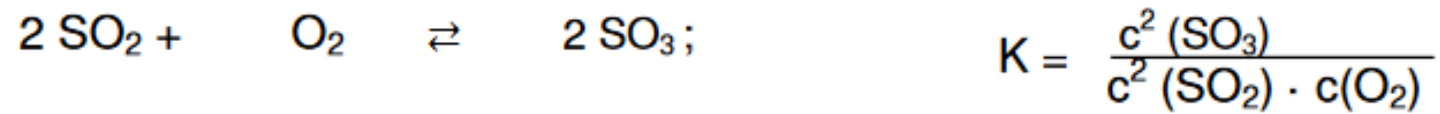
Boudouard-Gleichgewicht

## 2. Massenwirkungsgesetz und Gleichgewichtskonstante

Formulieren Sie für folgenden Gleichgewichtsreaktion jeweils die Reaktionsgleichung und das Massenwirkungsgesetz!

Lösung:

a) Schwefeldioxid wird durch Luftsauerstoff zu Schwefeltrioxid oxidiert.



b) Schwefeltrioxid addiert sich an  $\text{H}_2\text{SO}_4$  zu Dischwefelsäure.



c) Dischwefelsäure wird hydrolisiert zu Schwefelsäure.



d) Schwefelsäure wird durch 2 Äquivalente Natriumhydroxid neutralisiert.



3. Für die Reaktion  $\text{N}_2\text{O}_4 (\text{g}) \rightarrow 2 \text{NO}_2 (\text{g})$  wurden bei  $25^\circ\text{C}$  folgende Konzentrationen für ein im Gleichgewicht befindliches Gemisch gefunden:

$$c(\text{N}_2\text{O}_4) = 4,27 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

$$c(\text{NO}_2) = 1,41 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

Wie groß ist  $K_c$  bei  $25^\circ\text{C}$ ?

Lösung:

$$K_c = c^2(\text{NO}_2) / c(\text{N}_2\text{O}_4) = (1,41 \cdot 10^{-2})^2 \text{ mol}^2 \text{ L}^{-2} / 4,27 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$
$$= 4,66 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

4. Die Spaltung von Bromethan zu Ethen und HBr an einem Zinkkatalysator ist eine Reaktion 0.

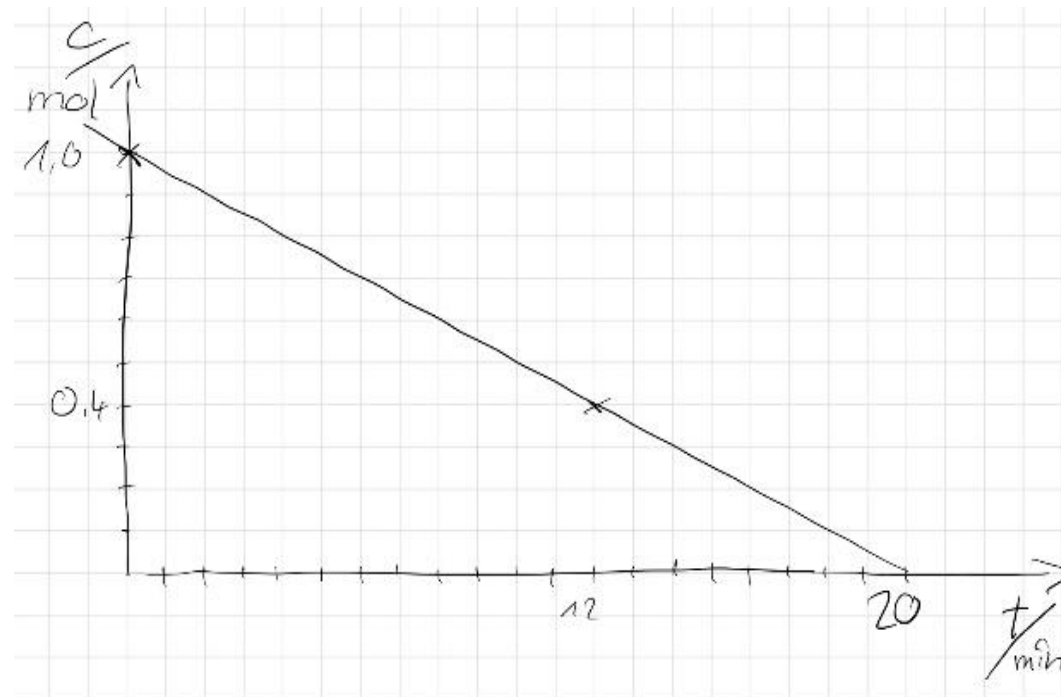
Ordnung:  $\text{C}_2\text{H}_5\text{Br} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \text{HBr}$

Nach 12 min sind von anfänglich einem Mol Brommethan, noch 0,4 Mol vorhanden.

**Zeichnen Sie ein Konzentrations-Zeit-Diagramm (y-Achse: c; x: Achse: t) dieser Reaktion. Wann ist kein Brommethan mehr vorhanden?**

**Lösung:**

12 min / 0,6 = **20 min**



- Die Stoffmengenabnahme ist linear fallend.
- Doppelte Menge, braucht doppelt so lange
- Beispiel:  $2 \text{N}_2\text{O}_{(g)} \rightarrow 2 \text{N}_2(g) + \text{O}_2(g)$

5. Die Halbwertszeit des radioaktiven Zerfalls von  $^{14}\text{C}$  (ein Prozess erster Ordnung) beträgt 5730 Jahre. In einer archäologischen Probe fand man Holz, welches nur noch 72% des  $^{14}\text{C}$  Gehalts von lebenden Bäumen aufwies. Wie alt ist das Fundstück?

**Lösung:** Erste Ordnung  $\frac{d[^{14}\text{C}]}{dt} = -k [^{14}\text{C}]$

$$[^{14}\text{C}] = [^{14}\text{C}]_0 e^{-k t} \rightarrow \ln \frac{[^{14}\text{C}]}{[^{14}\text{C}]_0} = -k t \rightarrow \ln \frac{[^{14}\text{C}]_0}{[^{14}\text{C}]} = k t$$

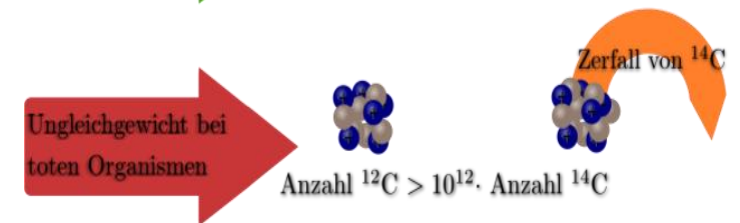
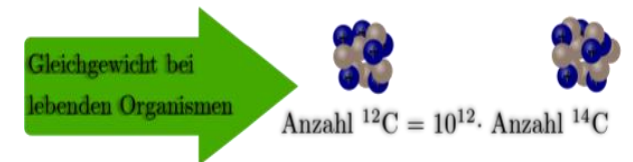
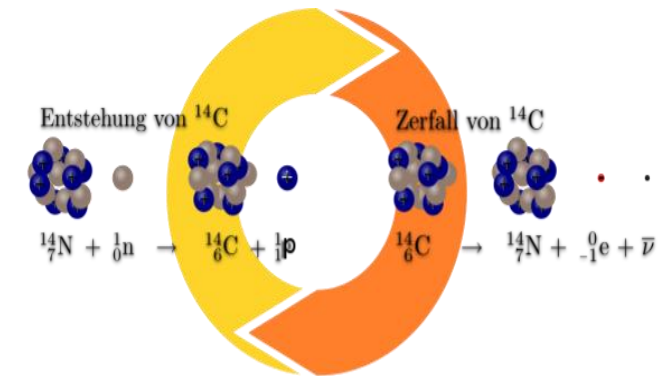
$$t = \frac{1}{k} \ln \frac{[^{14}\text{C}]_0}{[^{14}\text{C}]} = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \ln \frac{[^{14}\text{C}]_0}{[^{14}\text{C}]} = \frac{5730 \text{ a}}{\ln 2} \ln \frac{[1,00]}{[0,72]} = 2720 \text{ a}$$

Halbwertszeit:  $c_0 = 1; c = 1/2 \rightarrow k = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$

logarithmische Integrationsregel

$$\int \frac{f'(x)}{f(x)} dx = \ln(|f(x)|) + c$$

a = Jahr

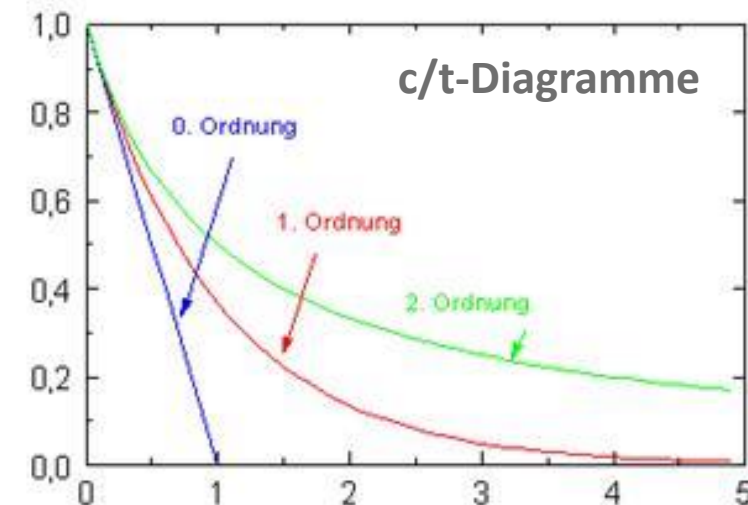


6. Wir betrachten erneut eine Reaktion erster Ordnung. Anfangskonzentration = 0,5 mol. Halbwertszeit = 40s. Welche Konzentration liegt nach 70 s vor?

**Lösung:**  $k = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{\ln 2}{40s} = 0,01733 \text{ s}^{-1}$

$$[c] = [c]_0 e^{-k t} = 0,5 * e^{-0,01733 * 70} = 0,5 * 0,2972 = 0,149 \text{ mol}$$

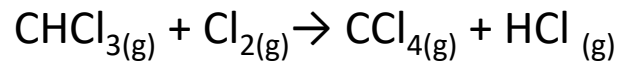
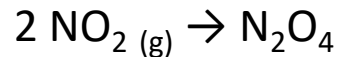
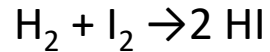
- Die Stoffmengenabnahme ist anfangs groß, dann allmählich abnehmend (exponentielle Abklingkurve).
- Die Reaktionsgeschwindigkeit ist direkt proportional zur Konzentration eines Stoffes
- Die Reaktionszeit ist unabhängig von der Ausgangskonzentration
- Beispiel:  $2 \text{ N}_2\text{O}_5(\text{g}) \rightarrow 4 \text{ NO}_2(\text{g}) + \text{ O}_2$



## 2. Ordnung

- Die Stoffmengenabnahme ist anfangs groß, dann allmählich abnehmend - aber nicht exponentiell, sondern sie dauert mit Fortschreiten der Reaktionszeit immer länger.
- Die Reaktion ist entweder zum Quadrat der Konzentration eines Stoffes proportional oder proportional zum Produkt der Konzentrationen zweier Stoffe.
- Die doppelte Menge führt zu einem dramatischen Anstieg der Anfangsreaktionsgeschwindigkeit. Es wird schneller eine niedrigere Konzentration erreicht.

Beispiele:



## 1 ½. Ordnung

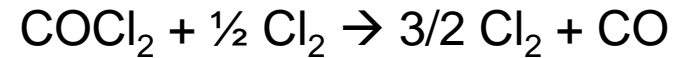
$$v = k \cdot [\text{A}]^{1.5}$$

Reaktionsgeschwindigkeit nichtlinear und möglicherweise durch eine Mischung verschiedener Mechanismen definiert.

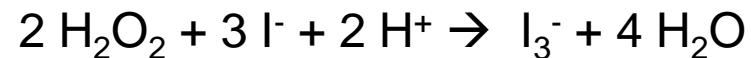


## 7. Geben Sie ein Beispiel an für eine Reaktion mit einer Reaktionsordnung von 1.5

**Lösung:** Autokatalytischer Phosgenzerfall

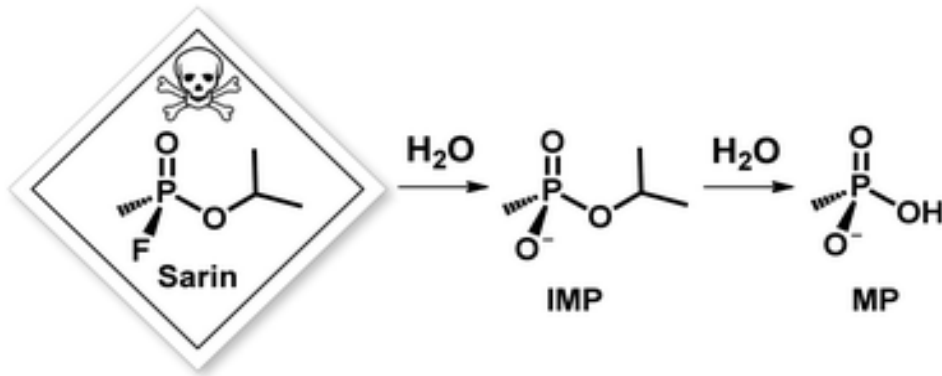


Eine weitere klassische Reaktion mit einer Reaktionsordnung von 1,5 ist die Reaktion zwischen Wasserstoffperoxid ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) bzw. Acetonperoxid und Jodid-Ionen ( $\text{I}^-$ ) unter sauren Bedingungen:

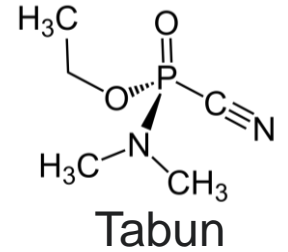


# 8. Die Reaktionsgeschwindigkeit der Sarin-Hydrolyse verläuft unter welchen Bedingungen schnell, langsam, mittel?

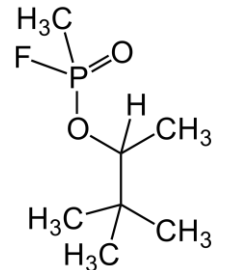
**Lösung:** Geschwindigkeit: alkalisch > sauer > neutral



Phosphonsäureester  
(oft Giftgase)

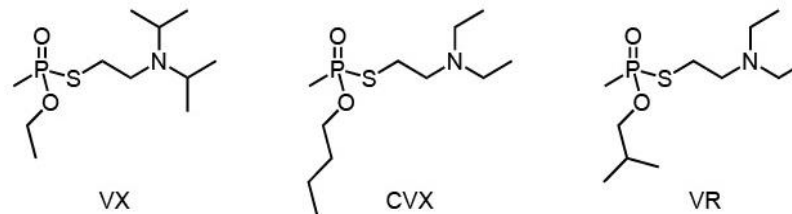


**G-Reihe**

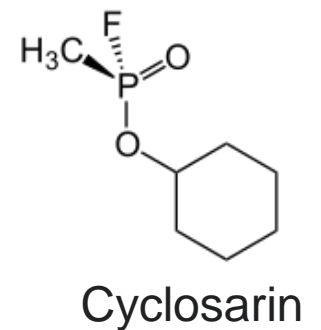
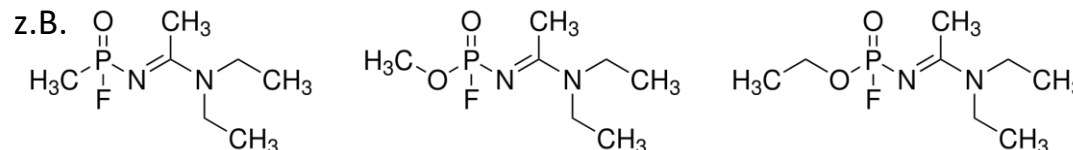


Soman

**V-Reihe** (ca. 5-mal so giftig wie G Reihe)

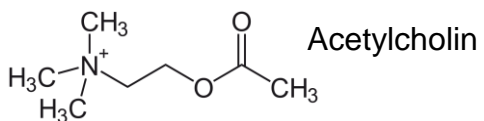


**Nowitschok-Kampfstoffe**



Cyclosarin

Cholinesteraseinhibitor



Tödliche orale Dosis:  
1,65 mg bei einer 75 kg schweren Person

## **Übung 4:**

**Stoffgemische, Bohrsches Atommodell,  
Isotope, Relativistik**

		Legende										Gruppe								
		Symbol		Serie (Flächenfarbe)		Metalle														
		schwarz = Feststoff		Alkalimetalle		Metalle		Halbmetalle												
		blau = Flüssigkeit		Erdalkalimetalle		Nichtmetalle														
		rot = Gas		Übergangsmetalle		Nichtmetalle														
		grau = unbekannt		Lanthanoide		Halogene														
		unterstrichen = radioaktiv		Actinoide		Edelgase														
		Dichte		Schraffur		unbekannt														
		rot = kg / m <sup>3</sup>		durchgehend = natürliches Element																
		schwarz = kg / dm <sup>3</sup>		schraffiert = künstliches Element																
		grau = unbestimmt																		
Periode	1	1 1,008 <b>H</b> Wasserstoff	2 4,0026 <b>He</b> Helium																	
	2	3 6,94 <b>Li</b> Lithium	4 9,0122 <b>Be</b> Beryllium																	
	3	11 22,990 <b>Na</b> Natrium	12 24,305 <b>Mg</b> Magnesium																	
	4	19 39,098 <b>K</b> Kalium	20 40,078 <b>Ca</b> Calcium	21 44,956 <b>Sc</b> Scandium	22 47,867 <b>Ti</b> Titan	23 50,942 <b>V</b> Vanadium	24 51,996 <b>Cr</b> Chrom	25 54,938 <b>Mn</b> Mangan	26 55,845 <b>Fe</b> Eisen	27 58,933 <b>Co</b> Cobalt	28 58,693 <b>Ni</b> Nickel	29 63,546 <b>Cu</b> Kupfer	30 65,380 <b>Zn</b> Zink	31 69,723 <b>Ga</b> Gallium	32 72,630 <b>Ge</b> Germanium	33 74,922 <b>As</b> Arsen	34 78,971 <b>Se</b> Selen	35 79,904 <b>Br</b> Brom	36 83,798 <b>Kr</b> Krypton	
	5	37 85,468 <b>Rb</b> Rubidium	38 87,62 <b>Sr</b> Strontium	39 88,906 <b>Y</b> Yttrium	40 91,224 <b>Zr</b> Zirkonium	41 92,906 <b>Nb</b> Niob	42 95,95 <b>Mo</b> Molybdän	43 96,906 <b>Tc</b> Technetium	44 101,07 <b>Ru</b> Ruthenium	45 102,91 <b>Rh</b> Rhodium	46 106,42 <b>Pd</b> Palladium	47 107,87 <b>Ag</b> Silber	48 112,41 <b>Cd</b> Cadmium	49 114,82 <b>In</b> Indium	50 118,71 <b>Sn</b> Zinn	51 121,76 <b>Sb</b> Antimon	52 127,60 <b>Te</b> Tellur	53 126,90 <b>I</b> Iod	54 131,29 <b>Xe</b> Xenon	
	6	55 132,91 <b>Cs</b> Caesium	56 137,33 <b>Ba</b> Barium	57 138,91 <b>La</b> Lanthan	58-71 siehe unten	72 178,49 <b>Hf</b> Hafnium	73 180,95 <b>Ta</b> Tantal	74 183,84 <b>W</b> Wolfram	75 186,21 <b>Re</b> Rhenium	76 190,23 <b>Os</b> Osmium	77 192,22 <b>Ir</b> Iridium	78 195,08 <b>Pt</b> Platin	79 196,97 <b>Au</b> Gold	80 200,59 <b>Hg</b> Quecksilber	81 204,38 <b>Tl</b> Thallium	82 207,20 <b>Pb</b> Blei	83 208,98 <b>Bi</b> Bismut	84 209,98 <b>Po</b> Polonium	85 209,99 <b>At</b> Astat	86 222,02 <b>Rn</b> Radon
	7	87 223,03 <b>Fr</b> Francium	88 226,03 <b>Ra</b> Radium	89 227,03 <b>Ac</b> Actinium	90-103 siehe unten	104 267,12 <b>Rf</b> Rutherfordium	105 270,13 <b>Db</b> Dubnium	106 269,13 <b>Sg</b> Seaborgium	107 270,13 <b>Bh</b> Bohrium	108 269,13 <b>Hs</b> Hassium	109 278,16 <b>Mt</b> Meitnerium	110 281,17 <b>Ds</b> Darmstadtium	111 281,17 <b>Rg</b> Roentgenium	112 285,18 <b>Cn</b> Copernicium	113 286,18 <b>Nh</b> Nihonium	114 289,19 <b>Fl</b> Flerovium	115 289,20 <b>Mc</b> Moscovium	116 293,20 <b>Lv</b> Livermorium	117 293,21 <b>Ts</b> Tenness	118 294,21 <b>Og</b> Oganesson

**Legende**

Symbol: schwarz = Feststoff, blau = Flüssigkeit, rot = Gas, grau = unbekannt, unterstrichen = radioaktiv

Serie (Flächenfarbe): Alkalimetalle, Erdalkalimetalle, Übergangsmetalle, Lanthanoide, Actinoide, Metalle, Halbmetalle, Nichtmetalle, Halogene, Edelgase, unbekannt

Dichte: rot = kg / m<sup>3</sup>, schwarz = kg / dm<sup>3</sup>, grau = unbestimmt

Schraffur: durchgehend = natürliches Element, schraffiert = künstliches Element

Beispiel: Chlor (Cl) mit Ordnungszahl 17, Atomgewicht 35,451, Symbol Cl, Name Chlor, Elektronegativität 3,16, Dichte 3,21, Serie 17.

Lanthanoide

58 140,12 <b>Ce</b> Cer	59 140,91 <b>Pr</b> Praseodym	60 144,24 <b>Nd</b> Neodym	61 144,91 <b>Pm</b> Promethium	62 150,36 <b>Sm</b> Samarium	63 151,96 <b>Eu</b> Europium	64 157,25 <b>Gd</b> Gadolinium	65 158,93 <b>Tb</b> Terbium	66 162,50 <b>Dy</b> Dysprosium	67 164,93 <b>Ho</b> Holmium	68 167,26 <b>Er</b> Erbium	69 168,93 <b>Tm</b> Thulium	70 173,05 <b>Yb</b> Ytterbium	71 174,97 <b>Lu</b> Lutetium														
1,12	6,77	1,13	6,48	1,14	7,01	—	7,22	1,17	7,54	—	5,25	1,2	7,89	—	8,25	1,22	8,55	1,23	8,78	1,24	9,05	1,25	9,32	—	6,97	1,27	9,84

Actinoide

90 232,04 <b>Th</b> Thorium	91 231,04 <b>Pa</b> Protactinium	92 238,03 <b>U</b> Uran	93 237,05 <b>Np</b> Neptunium	94 244,06 <b>Pu</b> Plutonium	95 243,06 <b>Am</b> Americium	96 247,07 <b>Cm</b> Curium	97 247,07 <b>Bk</b> Berkelium	98 251,08 <b>Cf</b> Californium	99 252,08 <b>Es</b> Einsteinium	100 257,10 <b>Fm</b> Fermium	101 258,10 <b>Md</b> Mendelevium	102 259,10 <b>No</b> Nobelium	103 262,11 <b>Lr</b> Lawrencium														
1,3	11,72	1,5	15,4	1,38	18,95	1,36	20,45	1,28	19,82	1,3	13,67	1,3	13,51	1,3	14,78	1,3	15,1	1,3	?	1,3	?	1,3	?	1,3	?	—	?

1. Wie nennt man ein heterogenes Gemisch, das aus

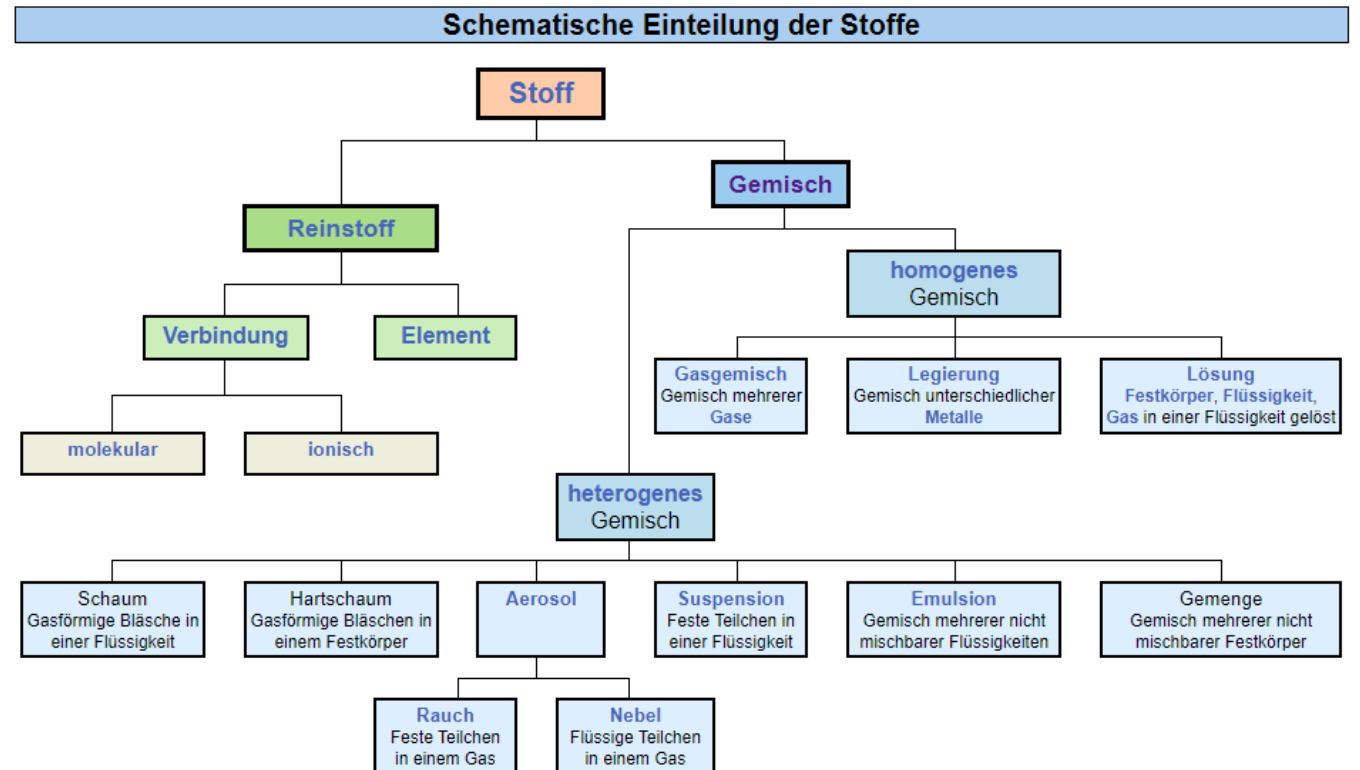
a) einer festen und einer flüssigen Phase bzw. **Suspension**

b) aus 2 nichtmischbaren Flüssigkeiten **Emulsion**

c) einer festen und einer gasförmigen Phase **Rauch**

besteht?

# Stoffeinteilung

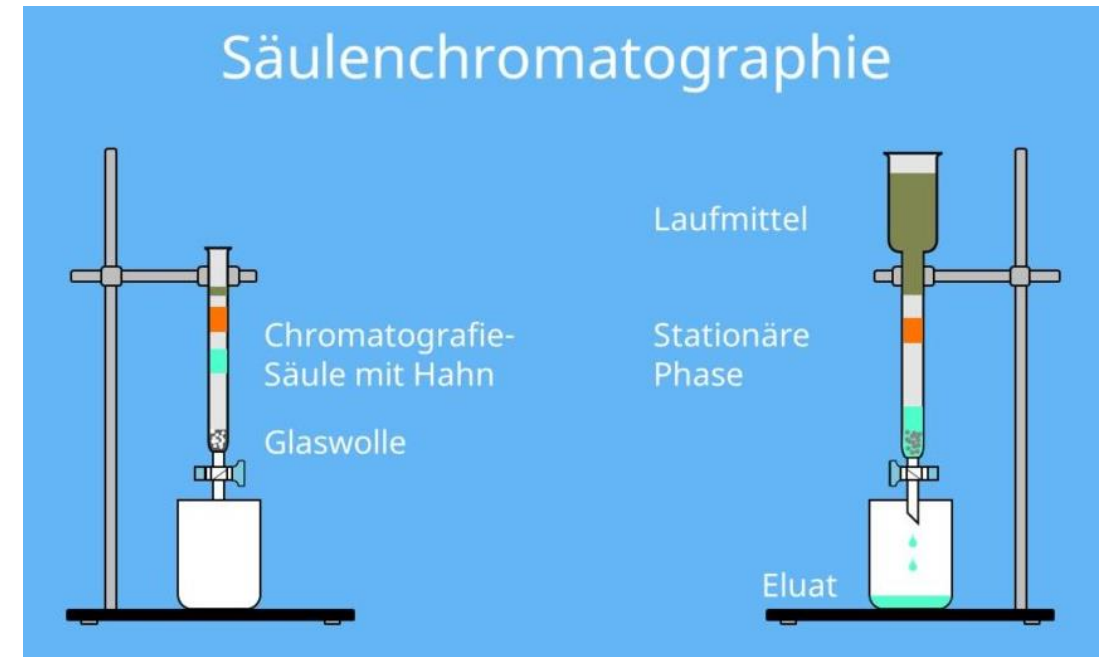
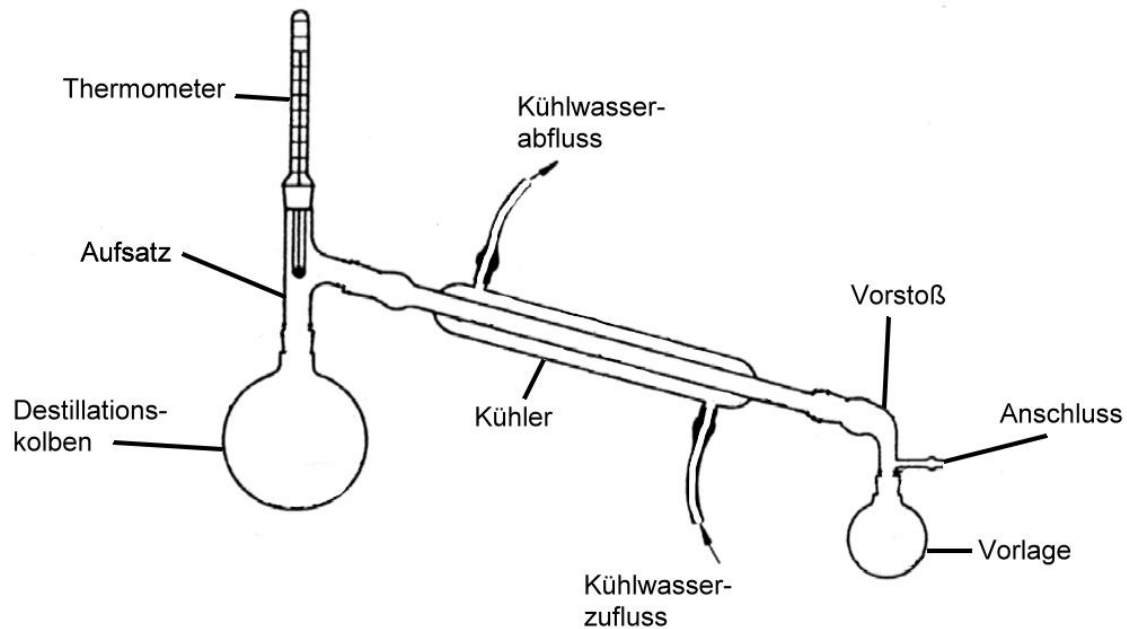


## 2. Nennen Sie zwei Methoden mit denen man ein homogenes Gemisch trennen kann und die dazugehörige physiko-chemische Eigenschaft auf der die Trennung basiert.

z.B. Destillation (Siedepunkt, Dampfdruck)

Chromatographie (Polarität)

fraktionierte Kristallisation (Löslichkeit, Kristallisationsenthalpie)

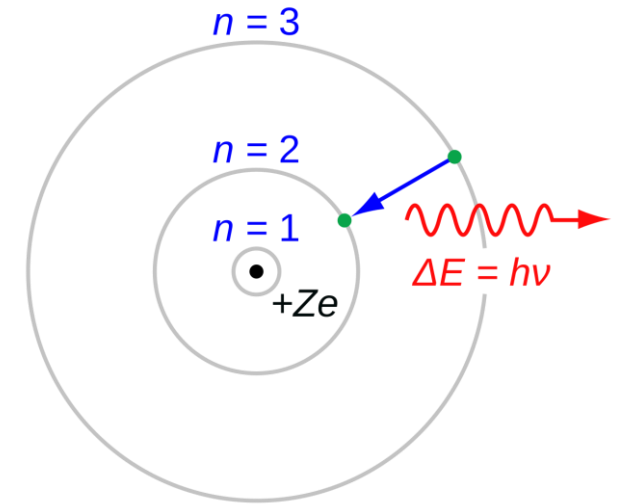


3. Bohrsches Atommodell:  $n$  ist die Hauptquantenzahl. Der Atomradius  $r$  ist proportional zu  $n^x$ . Die Energie  $E$  ist proportional zu  $n^y$ . Welche Werte besitzen  $x$  und  $y$ ?

**Lösung:** Beides ist exponentiell abhängig.

$$x = 2$$

$$y = -2$$



$$mvr = n \frac{h}{2\pi} \quad h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

Plancksches Wirkungsquantum

$$v = \frac{nh}{2\pi mr}$$

$$F_C = -F_Z: \quad \frac{mv^2}{r} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad \text{mit: } v = \frac{nh}{2\pi mr}$$

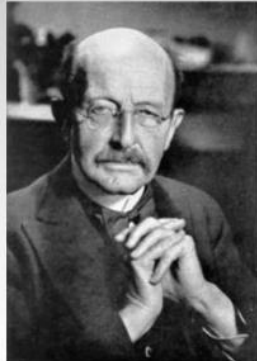
$$\Rightarrow \frac{mn^2 h^2}{r 4\pi^2 m^2 r^2} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad \Rightarrow \quad r = \frac{n^2 h^2 \epsilon_0}{\pi m e^2}$$

$$r = n^2 * 0.53 \text{ \AA} \quad r \sim n^2$$

Lichtquanten

$$E = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r} = -\frac{e^4 m}{8h^2 \epsilon_0^2} \frac{1}{n^2}$$

1900, Planck:



Max Planck (1858-1947)

$$\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$$c = \lambda\nu$$

$$\Delta E = -\frac{me^4}{8h^2 \epsilon_0^2} \left[ \frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right]$$

#### 4. Welche Flammenfarben erwarten Sie für:

(a) Na **gelb**

(b) Ba **grün**

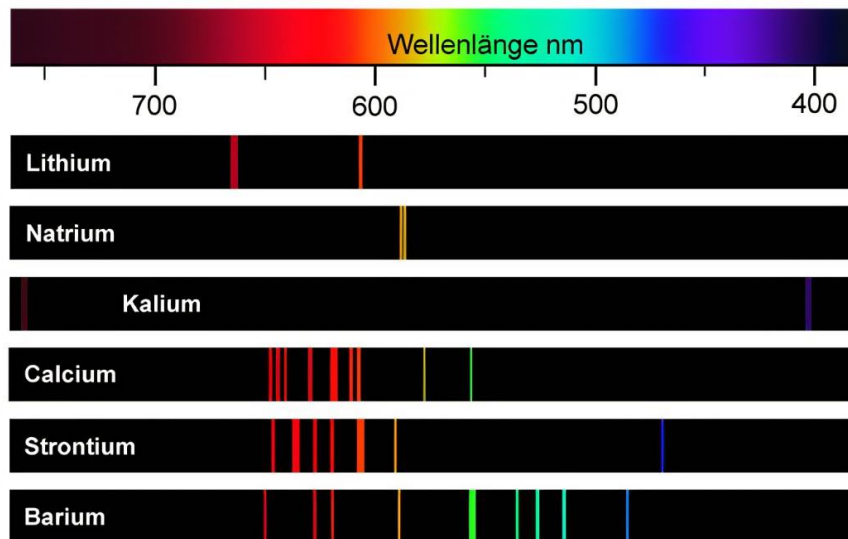
(c) Sr **rot**

(d) Cu **grün**

(e)  $B(OMe)_3$  **grün**

#### Linienpektren der Alkali- und Erdalkalimetalle

Auswahl beobachtbarer Linien der Emissionsspektren



© Thomas Seilnacht

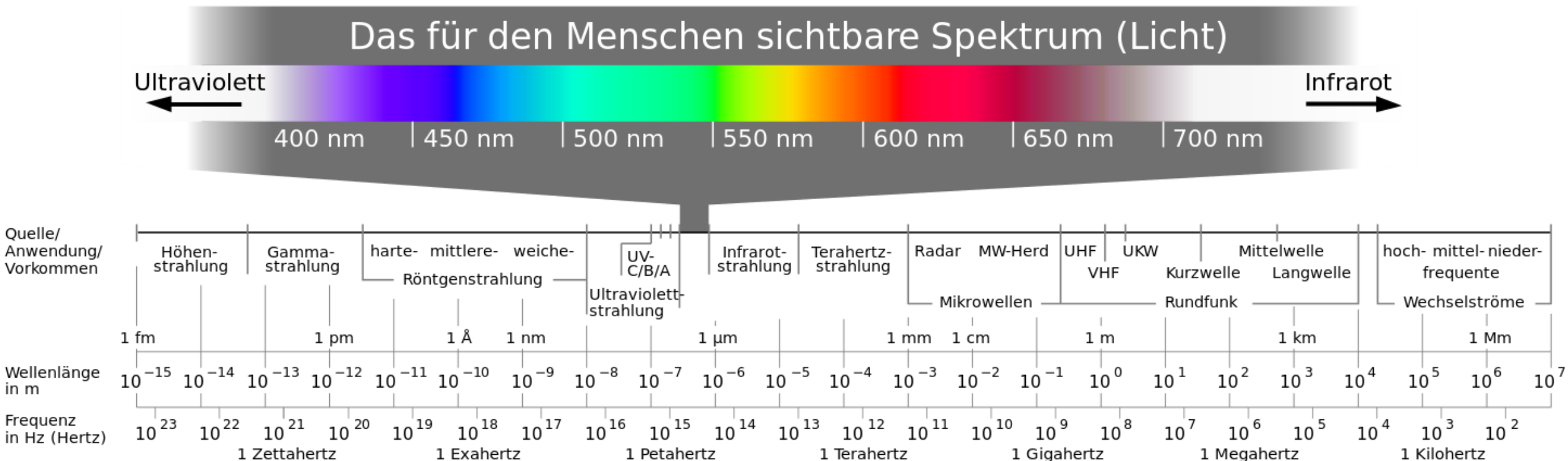




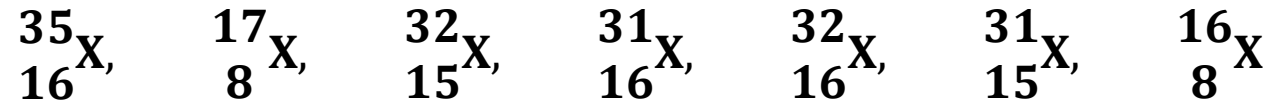
5. Ordnen Sie nach abnehmender Energie: gelbes Licht, blaues Licht, Mikrowellen, Radiowellen, Röntgenstrahlung, Infrarotstrahlung, Ultra-Violettes Licht.

**Lösung:**

Röntgenstrahlung, UV-Licht, blaues Licht, gelbes Licht, Infrarotstrahlung, Mikrowellen, Radiowellen



6. Welche der folgenden Atome sind Isotope desselben Elements? Um welche Elemente handelt es sich jeweils?



Lösung:

S      O      P      S      S      P      O

### Natürlich auftretende Schwefel-Isotope

	Atommasse $A_r$	Anteil	Halbwertszeit	Spin
Schwefel Isotopengemisch	32,06 u	100 %		
Isotop ${}^{32}\text{S}$	31,972071174(9) u	94,9 %	stabil	0+
Isotop ${}^{33}\text{S}$	32,971458910(9) u	0,7 %	stabil	3/2+
Isotop ${}^{34}\text{S}$	33,9678670(3) u	4,3 %	stabil	0+
Isotop ${}^{35}\text{S}$	34,96903232(4) u	Spuren	87,37(4) Tage	3/2+
Isotop ${}^{36}\text{S}$	35,967081(2) u	0,01 %	stabil	0+

**7. Natürlich vorkommendes Magnesium hat folgende Isotopenhäufigkeiten:**

**$^{24}\text{Mg}$  Atommasse = 23.98504 u    78.99 %**

**$^{25}\text{Mg}$  Atommasse = 24.98584 u    10.00 %**

**$^{26}\text{Mg}$  Atommasse = 25.98259 u    11.01 %**

**Welche durchschnittliche Atommasse hat Mg?**

**Lösung:**

$$1\text{u} = 1,660 \cdot 10^{-24} \text{ g} = 1/12 \text{ C}$$

$$m(\text{av})_{\text{Mg}} = 23,98504 \cdot 0,7899 + 24,98584 \text{ u} \cdot 0,1 + 25,98259 \text{ u} \cdot 11,01 = 24,30505 \text{ u}$$

**8. Silber mit einer mittleren Atommasse von 107.868 kommt als Gemisch zweier Isotope vor. Eines der Isotope ist  $^{107}\text{Ag}$  (106.906 u) mit 51.88%. Welches ist das zweite Isotop?**

**Lösung:**

$$A_r = 0.5188 \cdot 106.906 + (1 - 0.5188) \cdot X = 107.868$$

$$55.463 + 0.4812 \cdot X = 107.868$$

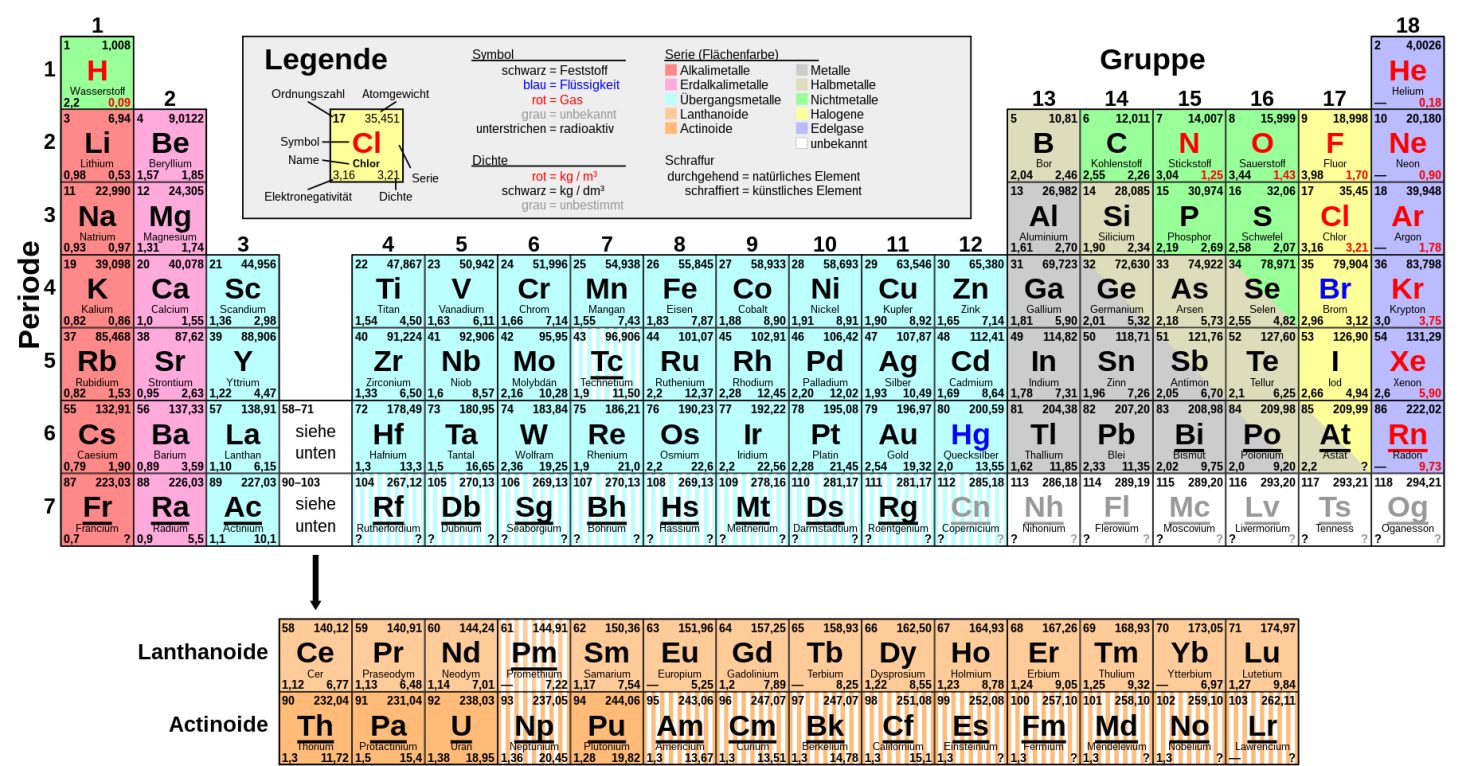
$$X = (107.868 - 55.463) / 0.4812$$

$$X = 108.905$$

$^{109}\text{Ag}$

# 9. Ergänzen Sie folgende Tabelle:

Lösung:



Symbol	Z	A	Protonen	Neutronen	Elektronen
Pu	94	244	94	150	94
Sn	50	120	50	70	50
Bi	83	209	83	126	83
U	92	235	92	143	92
Sc <sup>3+</sup>	21	45	21	24	18
O <sup>2-</sup>	8	16	8	8	10
N <sup>3-</sup>	7	14	7	7	10

## 10. Berechnen Sie die relativistische 1s-Orbital-Kontraktion für das Element Fermium.

3. **Qualitative Betrachtung und empirische Werte:** Empirische Untersuchungen zeigen, dass die Kontraktion des 1s-Orbitals bei Elementen mit hoher Kernladungszahl wie Fermium signifikant ist, da die Wellenfunktion dichter zum Kern hin "gezogen" wird. Diese Kontraktion führt auch zu einer Zunahme der Ionisierungsenergie für die inneren Elektronen, da der effektiv wahrgenommene Kernladungseffekt für die 1s-Elektronen ansteigt.
4. **Quantitative Berechnung (Vereinfachung):** Die relativistische Korrektur für die Radien kann näherungsweise durch den Faktor

$$r_{\text{rel}} \approx r_{\text{nicht-rel}} \left( 1 - \frac{Z^2 \alpha^2}{2} \right)$$

beschrieben werden, wobei  $\alpha \approx 1/137$  die Feinstrukturkonstante ist. Für Fermium ( $Z = 100$ ) erhalten wir:

$$r_{\text{rel}} \approx r_{\text{nicht-rel}} \left( 1 - \frac{100^2 \cdot (1/137)^2}{2} \right).$$

Dies ergibt eine beträchtliche Reduktion des Orbitalradius, die den Elektronen näher zum Kern bringt und die energetische Bindung verstärkt.



Der berechnete Wert für den Ausdruck  $\left( 1 - \frac{100^2 \cdot (1/137)^2}{2} \right)$  beträgt ungefähr 0,734. Dies zeigt eine deutliche Kontraktion des 1s-Orbitals aufgrund relativistischer Effekte bei Fermium. [\[>-\]](#)

# 11. Wie groß ist die rel. Masse eines 1s-Elektrons im Cu- und Au-Atom im Vergleich zu seiner Ruhemasse?

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1} = 137 \text{ a. u.}$$

$$v = Z \cdot \text{a. u.}$$

**Lösung:**

$$m(1sAu) = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{79}{137}\right)^2}}$$

$$m(79Au) = 1.22 m_0$$

$$m(29Cu) = 1.02 m_0$$

## Atomare Einheiten

In der theoretischen Chemie ist es üblich in so genannten atomaren Einheiten zu rechnen (au), da es bei der Verwendung von SI-Einheiten zu Problemen bei der Genauigkeit kommt, da die auftretenden Fließkommazahlen zu klein werden um vom Computer adäquat berechnet zu werden.

In atomaren Einheiten werden einige Naturkonstanten gleich 1 gesetzt:

$$m_e = e = \hbar = 1$$

Daraus folgt für die Größen der atomaren Einheiten:

Symbol	Größe	Wert in au	Wert in SI-Einheit
$m_e$	Elektronen Masse	1	$9.110 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
$e$	Elektronen Ladung	1	$1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
$t$	Zeit	1	$2.419 \cdot 10^{-17} \text{ s}$
$\hbar$	Atomare Einheit d. Impulses	1	$1.055 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
$h$	Planck Konstante	$2\pi$	$6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
$a_0$	Bohr'scher Radius (atomare Längeneinheit)	1	$5.292 \cdot 10^{-11} \text{ m}$
$E_H$	Hartree (atomare Energieeinheit)	1	$4.360 \cdot 10^{-18} \text{ J}$
$c$	Lichtgeschwindigkeit	137.036	$2.998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
$\alpha$	Feinstrukturkonstante	0.00729735	0.00729735
$\mu_B$	Bohr'sches Magneton ( $e\hbar/2m_e$ )	$\frac{1}{2}$	$9.9274 \cdot 10^{-24} \text{ J/T}$
$\mu_N$	Kernmagneton	$2.732 \cdot 10^{-4}$	$5.051 \cdot 10^{-27} \text{ J/T}$
$4\pi\epsilon_0$	Permittivität des Vakuums	1	$1.113 \cdot 10^{-10} \text{ C}^2/\text{J} \cdot \text{m}$
$\mu_0$	Permeabilität des Vakuums ( $4\pi/c^2$ )	$6.692 \cdot 10^{-4}$	$1.257 \cdot 10^{-6} \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{C}^2$

## 12. Was versteht man unter einem kinematischen relativistischen Effekt?



Ein kinematischer relativistischer Effekt bezieht sich auf Phänomene, die aufgrund der relativistischen Bewegung von Teilchen auftreten, insbesondere wenn ihre Geschwindigkeiten in die Nähe der Lichtgeschwindigkeit kommen. In der speziellen Relativitätstheorie treten diese Effekte durch die Begrenzung der maximalen Geschwindigkeit und die damit verbundenen Veränderungen in Raum und Zeit auf. Hier einige der wichtigsten kinematischen relativistischen Effekte:

1. **Zeitdilatation:** Ein bewegtes Objekt, das sich relativ zu einem Beobachter schnell bewegt, erfährt eine verlangsamte Zeit im Vergleich zum ruhenden Beobachter. Das bedeutet, dass die Zeit für das schnell bewegte Objekt langsamer vergeht.

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

wobei  $\Delta t'$  die verstrichene Zeit für den Beobachter im Ruhesystem ist,  $v$  die Geschwindigkeit des bewegten Systems und  $c$  die Lichtgeschwindigkeit.

2. **Längenkontraktion:** Ein Objekt, das sich mit hoher Geschwindigkeit bewegt, erscheint in Bewegungsrichtung kürzer, als wenn es ruhend betrachtet wird. Diese Längenkontraktion wird als Folge der Relativität der Gleichzeitigkeit interpretiert.

$$L' = L \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

wobei  $L'$  die kontrahierte Länge und  $L$  die Ruhe-Länge des Objekts ist.

3. **Relativistischer Massenzuwachs:** Die Masse eines Teilchens nimmt relativ zur Geschwindigkeit zu, je schneller es sich bewegt. Diese Zunahme der relativistischen Masse beschreibt den Widerstand des Teilchens gegenüber weiterer Beschleunigung bei hohen Geschwindigkeiten. Im relativistischen Kontext ersetzt man das Konzept der Masse oft durch den Energie-Impuls-Tensor, doch historisch wird oft die relativistische Masse diskutiert.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$



### 13. Der Massendefekt bei der Bildung eines He-Kerns aus 2 Protonen und 2 Neutronen beträgt ca. 0.03 u. Wie groß ist die entsprechend freiwerdende Energie (in J)?

$$1 \text{ u} = 1.6605 \times 10^{-27} \text{ kg}$$



Natürlich! Um die Energie zu berechnen, die bei der Bildung eines Heliumkerns aus zwei Protonen und zwei Neutronen freigesetzt wird, betrachten wir den sogenannten **Massendefekt**. Dieser tritt auf, weil die Gesamtmasse der gebundenen Teilchen im Heliumkern geringer ist als die Summe der Massen der einzelnen Nukleonen (Protonen und Neutronen). Diese Massendifferenz wird nach Einsteins berühmter Formel  $E = mc^2$  in Energie umgewandelt und freigesetzt.

#### Gegebene Daten

1. Der Massendefekt beträgt etwa  $0,03 \text{ u}$  ( $\text{u}$  = atomare Masseneinheit).
2. Eine atomare Masseneinheit entspricht  $1 \text{ u} = 1,6605 \times 10^{-27} \text{ kg}$ .
3. Die Lichtgeschwindigkeit  $c$  beträgt  $3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$ .

#### Berechnung

1. Umrechnung des Massendefekts in Kilogramm:

$$m = 0,03 \text{ u} \times 1,6605 \times 10^{-27} \frac{\text{kg}}{\text{u}} = 4,9815 \times 10^{-29} \text{ kg}$$

2. Berechnung der freiwerdenden Energie mit  $E = mc^2$ :

$$E = m \cdot c^2 = 4,9815 \times 10^{-29} \text{ kg} \cdot (3,0 \times 10^8 \text{ m/s})^2$$

Durch Ausrechnen ergibt sich:

$$E \approx 4,48 \times 10^{-12} \text{ J}$$

#### Ergebnis

Die freiwerdende Energie bei der Bildung eines Heliumkerns aus zwei Protonen und zwei Neutronen beträgt also etwa  $4,48 \times 10^{-12} \text{ J}$ . Diese Energie entspricht der Bindungsenergie des Heliumkerns und erklärt die Stabilität des Kerns – sie muss in Form von Energie aufgebracht werden, um den Kern wieder in seine Bestandteile zu zerlegen.

Diese Bindungsenergie ist es, die in Sternen durch  Kernfusion freigesetzt wird und so die immense Strahlungsenergie erzeugt, die wir als Sonnenenergie wahrnehmen.