

Übungen zur Vorlesung

Anorganische Chemie 1

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

Termine:

- Übung für **Bachelor Chemie: Dienstags 13:15 Uhr Baeyer Hörsaal**
- Übung für **Biologie: Mittwochs, 12:15 Uhr, Liebig Hörsaal**
- Übung für **Lehramt- & Pharma-Sc. Studierende: Mittwochs, 11:15 Uhr, Baeyer-HS**

Übungsblätter Download:

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

Verantwortlich für die Übungen:

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

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

Klausurtermin: Di 10.02.2026, 13 Uhr

Eine Anmeldung zur **Klausur** ist **ZWINGEND** notwendig (ab ca. 15. Jan 2026)

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

$$\log_2(8) = 3$$

$$\log_3(81) = 4$$

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

$$\log_7(7) = 1$$

$$\log_8(1) = 0$$

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

Determinanten

Bezeichner der

Determinante $D, \det A, |A| = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{vmatrix}$

1. Spalte \uparrow 2. Spalte \uparrow

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

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

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

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

Dreireihige Determinante (Sarrus-Regel)

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

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

Zahlenbeispiel

$$\det A = \begin{array}{|ccc|cc} 1 & 2 & 3 & 1 & 2 \\ -2 & 4 & -1 & -2 & 4 \\ 5 & 6 & 2 & 5 & 6 \end{array}$$

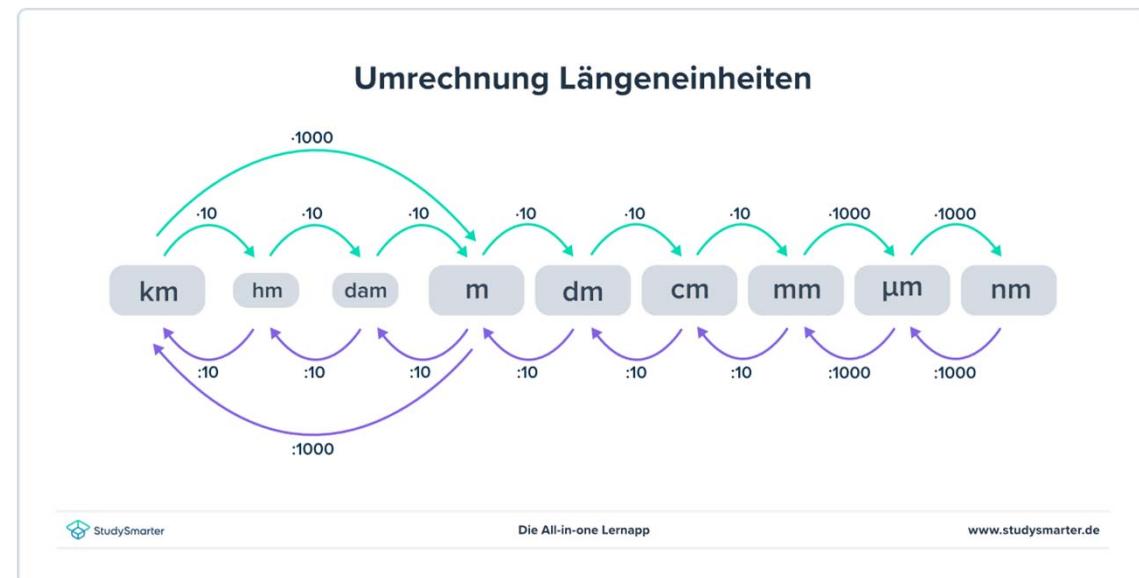
$$\det A = \underline{1 \cdot 4 \cdot 2} + \underline{2 \cdot (-1) \cdot 5} + \underline{3 \cdot (-2) \cdot 5} - \underline{3 \cdot 4 \cdot 5} - \underline{1 \cdot (-1) \cdot 6} - \underline{2 \cdot (-2) \cdot 2} = -84$$

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

Lösung:

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

Dezimal	Potenz	Präfix	Zeichen
0,000 000 000 000 001	10^{-15}	Fernto	f
0,000 000 000 001	10^{-14}		
0,000 000 000 001	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	μ
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:

Masse pro Zelle:

$$6,6 \times 10^9 \text{ bp} \times 10^{-21} \text{ g/bp} = 6,6 \times 10^{-12} \text{ g}$$

Masse pro Mensch:

$$6,6 \times 10^{-12} \text{ g/Zelle} \times 10^{14} \text{ Zellen} = 6,6 \times 10^2 \text{ g} = 660 \text{ g}$$

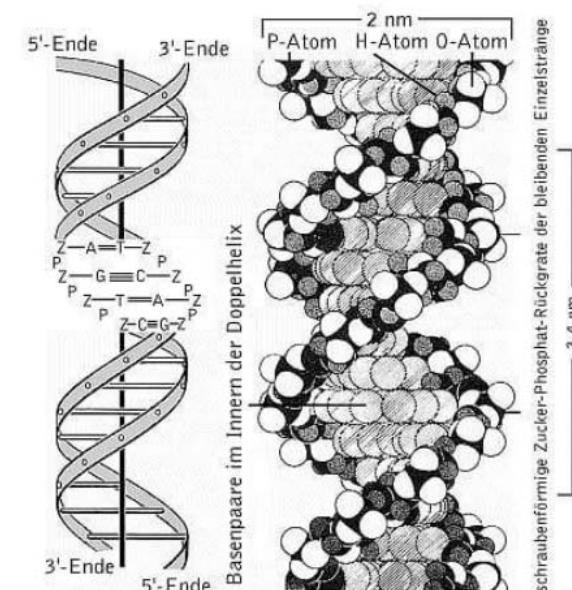
Gesamtzahl BP:

$$6,6 \times 10^9 \text{ bp/Zelle} \times 10^{14} \text{ Zellen} = 6,6 \times 10^{23} \text{ bp}$$

Gesamtlänge:

$$6,6 \times 10^{23} \text{ bp} \times 0,34 \text{ nm/bp} = 2,244 \times 10^{23} \text{ nm} =$$

$$2,244 \cdot 10^{14} \text{ m} = 2,2 \cdot 10^{11} \text{ km}$$



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_2 und Kohlenmonoxid?
Zeichnen Sie eine Strukturformel dieser Verbindungen.**

Lösung: $M(CO_2) = 44,0 \text{ g/mol}$; $m(CO_2) = 66,0 \text{ g}$
 $M(CO) = 28,0 \text{ g/mol}$; $m(CO) = 42,00 \text{ g}$

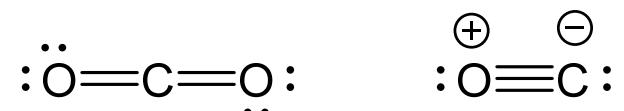


Diagram of the chlorine-35 isotope (Cl-35) with annotations:

- Atommasse in u** (Atomic mass in u): $35,45$
- (Durchschnittswert aus den natürlich vorkommenden Isotopen)** (Average value from naturally occurring isotopes)
- Elementsymbol** (Element symbol): Cl
- Protonenzahl
= Kernladungszahl
= Ordnungszahl** (Proton number = Nuclear charge = Atomic number): 17

5. Bei einem kleinen Barbecue benötigen Sie 2 kg Kohle (wir nehmen an diese besteht aus reinem Kohlenstoff). Wieviel Kilo und Liter CO₂ (Normalbedingungen) produzieren Sie dabei?

Lösung: Stoffmenge Kohle = n = m / M = 2000 g / 12 g/mol = 166,6 mol

Molekulare Masse Kohlenstoffdioxid:

$$M(CO_2) = 12,0 \text{ g/mol} + 16,0 \text{ g/mol} * 2 = 44,0 \text{ g/mol}$$

Gewicht Kohlenstoffdioxid:

$$m = n * M = 166,6 \text{ mol} * 44,0 \text{ g/mol} = 7330,4 \text{ g} = 7,333 \text{ kg}$$

Gasvolumen:

Normalbed. (STP, 0°C): $V = n * V_m = 166,6 \text{ mol} * 22,4 \text{ Liter/mol} = 3731 \text{ Liter}$

Standartbed. (SATP, 25°C): $V = n * V_m^\varnothing = 166,6 \text{ mol} * 24,46 \text{ Liter/mol} = 4075 \text{ L}$

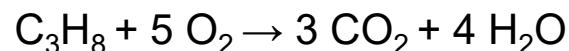
Bei höheren Temperaturen:

$$p * V = n * R * T \text{ (ideale Gasgleichung)} \rightarrow V_1/T_1 = V_2/T_2$$

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



6. Ein Gasgrill wird üblicherweise mit Propan (C_3H_8) betrieben. Für Ihr Barbecue benötigen Sie hierbei 250 g Propan. Wie viel Kilo CO_2 entstehen hierbei? Stellen Sie die vollständige Reaktionsgleichung der Verbrennung zu CO_2 und Wasser auf.



1 mol Propan \rightarrow 3 mol CO_2

$$M(C_3H_8) = 3 \cdot 12,0 + 8 \cdot 1,0 = 44,0 \text{ g mol}^{-1}$$

$$M(CO_2) = 12,0 + 2 \cdot 16,0 = 44,0 \text{ g mol}^{-1}$$

$$n(C_3H_8) = 250 \text{ g} / 44,0 \text{ g mol} = 5,681 \text{ mol}$$

$$n(CO_2) = 3 \cdot 5,681 \text{ mol} = 17,045 \text{ mol}$$

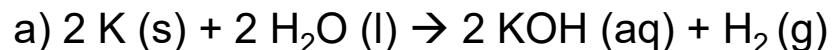
$$m(CO_2) = 17,045 \text{ mol} \cdot 44,0 \text{ g mol}^{-1} = 750 \text{ g} = \textcolor{red}{0,750 \text{ kg}}$$



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

- Stellen Sie die korrekte Reaktionsgleichung auf.**
- Welche qualitative Aussage 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:



b) Teilchenzahl nimmt ab, Entropie nimmt trotzdem zu wegen Entstehung von Gas

c) $\sum M = 39,1 \text{ g/mol} + 1,0 \text{ g/mol} + 16,0 = 56,1 \text{ g/mol}$

d) $5 \text{ g} / 39,1 \text{ g/mol} = 0,128 \text{ mol} \rightarrow 0,064 \text{ mol Wasserstoff} * 22,4 \text{ L} = 1,43 \text{ L}$

Rubidium und Cesium in Wasser:

https://www.youtube.com/watch?v=0YNsIaSbFdg&ab_channel=NileRedShorts

Normalbedingungen (0°C, 1013hPa)

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

Gibbs-Helmholz-Gleichung

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

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

8. 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: $c = n / V$

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

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

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

Verdünnungsgleichung oder **Mischungsformel** $c_1 * V_1 = c_2 * V_2$

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

$$m = n * M = (0,05 \text{ L} * 0,2 \text{ mol/L}) * 40 \text{ g/mol} = 0,4 \text{ g}$$

oder

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

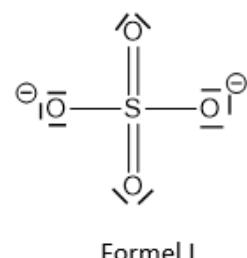
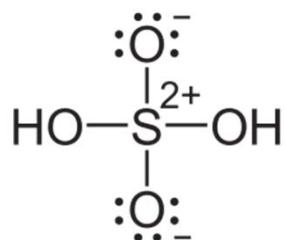
**9. Wie schwer ist ein halber Liter 100% Schwefelsäure der Dichte 1.84 g/cm³?
Wieviel mol H₂SO₄ sind enthalten?**

$$1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ mL}$$

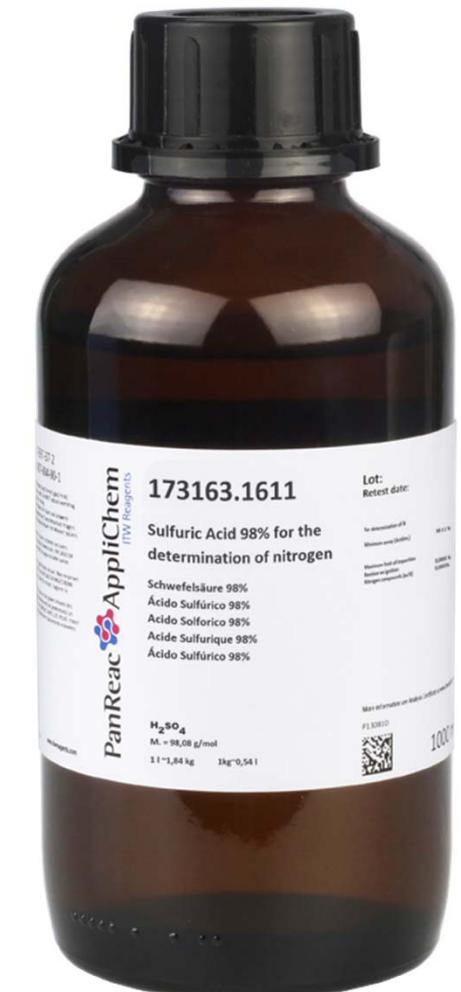
$$1840 \text{ g} * 0.5 = \mathbf{920 \text{ g}}$$

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

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

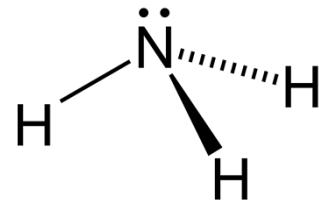


Sulfat-Anion
Formel I: Oktettüberschreitung



**10. Sie möchten einen Liter konzentrierten Ammoniak (25%, Dichte 0,906 g/cm³) herstellen.
Wieviel Ammoniakgas benötigen sie?**

1 Liter Ammoniak wiegen 906 g



25% von 906 g sind NH₃ = 226,5 g

$$M(NH_3) = 17,0 \text{ g/mol}$$

$$n = m / M = 226,5 \text{ g} / 17,0 \text{ g/mol} = 13,3 \text{ mol}$$

$$V = n * V_m = n * 22,4 \text{ L} = 298,4 \text{ L}$$



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

Lösung: Verdünnungsgleichung oder Mischungsformel

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

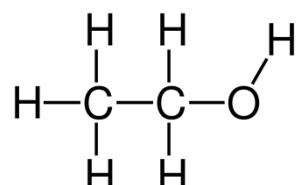
$$V = V_2 - V_1 = 87,5 \text{ mL}$$

Alternativ:

$$V_{\text{EtOH, initial}} = 100 \text{ mL} \times 0,75 = 75 \text{ mL}$$

$$\text{Finales Volumen} = V_{\text{EtOH, initial}} / 0,4 = 75 \text{ mL} / 0,40 = 187,5 \text{ mL}$$

$$V \text{ Wasser} = V_{\text{final}} - V_{\text{initial}} = 187,5 \text{ mL} - 100 \text{ mL} = 87,5 \text{ mL}$$



12. Welche Konzentration hat 70% (v/v) Ethanol (C_2H_6O)? 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

$M(\text{Ethanol, } C_2H_6O) = 2 * 12,0 \text{ g/mol} + 6 * 1,0 \text{ g/mol} + 1 * 16,0 \text{ g/mol} = 46 \text{ g/mol}$

553 g / $M(\text{Ethanol, } 46 \text{ g/mol}) = 12,0 \text{ mol/L}$

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

Kurzkettige Alkohole:

<chem>CO</chem>	<chem>CHO</chem>	<chem>CH2OH</chem>	<chem>CC(O)C</chem>
Methanol	Ethanol	Propanol	Isopropanol
Methyl alcohol	Ethyl alcohol	Propyl alcohol	Isopropyl alcohol
MeOH	EtOH	PrOH	iPrOH
Methanol	Ethanol	Propan-1-ol	Propan-2-ol
<chem>CH3OH</chem>	<chem>CH3CH2OH</chem>	<chem>CH3CH2CH2OH</chem>	<chem>CH3CHOHCH3</chem>
<chem>CH3O</chem>	<chem>C2H5O</chem>	<chem>C3H7O</chem>	<chem>C3H8O</chem>



Single Choice Aufgaben

Reaktionsenthalpie

- A) $\Delta H > 0$, Wärme wird aufgenommen
B) $\Delta H < 0$, Wärme wird abgegeben
C) $\Delta H = 0$, es handelt sich um eine isotherme Reaktion
D) $\Delta H > 0$, aber die Reaktion ist spontan wegen $\Delta S < 0$

2. Hauptsatz der Thermodynamik

Welche der folgenden Aussagen steht im Einklang mit dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik?

- A) In einem abgeschlossenen System bleibt die Entropie stets konstant.
B) In einem abgeschlossenen System nimmt die Entropie bei irreversiblen Prozessen zu.
C) Die Entropie kann bei reversiblen Prozessen abnehmen.
D) Der 2. Hauptsatz gilt nur für endotherme Reaktionen.

Eigenschaften idealer Gase

Welche Aussage beschreibt ein ideales Gas **nicht** korrekt?

- A) Die Moleküle üben keine Wechselwirkungen aufeinander aus.
B) Alle Stöße zwischen Gasteilchen sind elastisch.
C) Ideale Gase können durch Druck leicht verflüssigt werden.
D) Die kinetische Energie der Teilchen hängt nur von der Temperatur ab.

Boyle-Mariotte-Gesetz

Bei konstanter Temperatur gilt für ein ideales Gas das Boyle-Mariotte-Gesetz.

Welche der folgenden Aussagen ist korrekt?

- A) Das Produkt aus Druck und Volumen bleibt konstant.**
B) Das Verhältnis von Druck und Volumen bleibt konstant.
C) Das Produkt aus Temperatur und Druck bleibt konstant.
D) Das Volumen ist proportional zum Druck.

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.

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

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

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

d)
$$\int_1^2 (x^2 + 1) \cdot \sqrt{x} \, dx = \int_1^2 x^{\frac{5}{2}} + x^{\frac{1}{2}} \, dx = \left[\frac{2}{7} \cdot x^{\frac{7}{2}} + \frac{2}{3} \cdot x^{\frac{3}{2}} \right]_1^2 =$$

$$\left(\frac{16\sqrt{2}}{7} + \frac{4\sqrt{2}}{3} \right) - \left(\frac{2}{7} + \frac{2}{3} \right) = \frac{76\sqrt{2} - 20}{21}$$

3. Erläutern sie:

- Welche thermodynamische Energie-Größe drückt die Spontanität einer chemischen Reaktion aus?
- Unter welchen Voraussetzungen kann eine endotherme Reaktion spontan ablaufen?

Lösung:

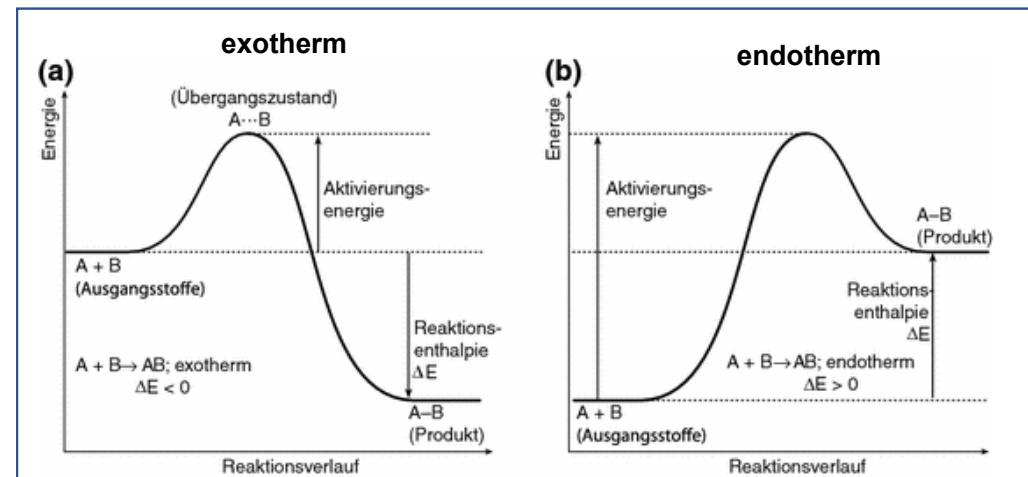
a) $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$

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

$\Delta G > 0$: endergonisch

G = Freie Enthalpie [J mol^{-1}]
 H = Enthalpie [J mol^{-1}]
 S = Entropie [$\text{J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$]

- Nur bei hohen Temperaturen oder wenn Entropie S stark zunimmt



4. Welche Wärmemenge wird freigesetzt, wenn 1 g Hydrazin (N_2H_4) verbrennt?

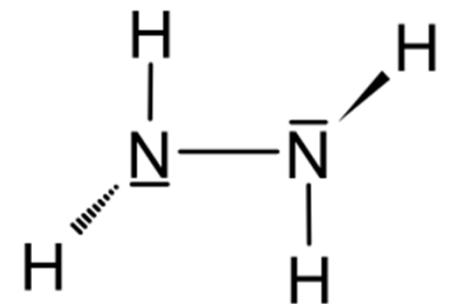


Lösung:

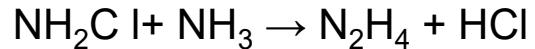
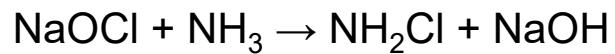
$$M(\text{N}_2\text{H}_4) = 2 \cdot 14,0 \text{ g mol}^{-1} + 4 \cdot 1,0 \text{ g mol}^{-1} = 32,0 \text{ g mol}^{-1}$$

$$n = m / M = 1 \text{ g} / 32,0 \text{ g mol}^{-1} = 0,03125 \text{ mol}$$

$$Q = n \cdot \Delta H = 0,03125 \text{ mol} \cdot -622,4 \text{ kJ mol}^{-1} = -19,45 \text{ kJ}$$



Raschig-Hydrazin-Synthese:



5. Die Zersetzung von Natriumazid verläuft nach:



- a) Wie groß ist der ΔH -Wert, um 1,50 kg N_2 zu erhalten?
- b) Welches Volumen hat diese Menge Stickstoff bei Normalbedingungen?

Lösung:

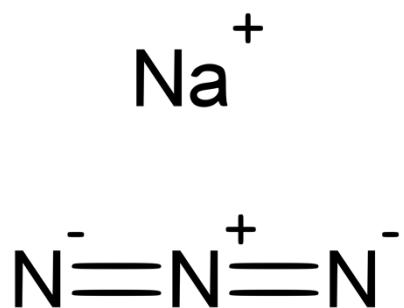
a) $M(\text{N}_2) = 2 \cdot 14,0 \text{ g mol}^{-1} = 28,0 \text{ g mol}^{-1}$

$$n = m / M = 1500 \text{ g} / 28,0 \text{ g mol}^{-1} = 53,57 \text{ mol}$$

Bildung von 3 mol N_2 : - 42,7 kJ

Bildung von 53,54 mol N_2 : $-42,7 \text{ kJ} \cdot 53,57 \text{ mol} / 3 \text{ mol} = -762,5 \text{ kJ}$

b) $n \cdot V_m = 53,57 \text{ mol} \cdot 22,4 \text{ L/mol} = 1200 \text{ L}$

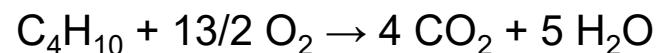


Synthese Bleiazid:



6. Butangas (C_4H_{10} , $\Delta_f H = -126 \text{ kJ mol}^{-1}$) verbrennt mit Sauerstoff zu Kohlendioxid ($\Delta_f H (CO_2(g)) = -393 \text{ kJ mol}^{-1}$), und Wasserdampf $\Delta_f H (H_2O(g)) = -242 \text{ kJ mol}^{-1}$). $R = 8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

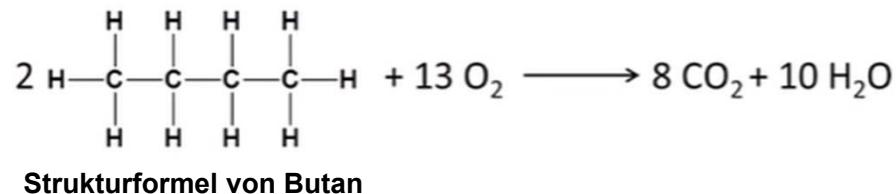
a) Formulieren Sie die korrekte Reaktionsgleichung!



b) Wie hoch ist die Reaktionsenthalpie?

$$\Delta_R H = \text{Summe Bildungsenthalpie Produkte} - \text{Summe Bildungsenthalpie Edukte} =$$

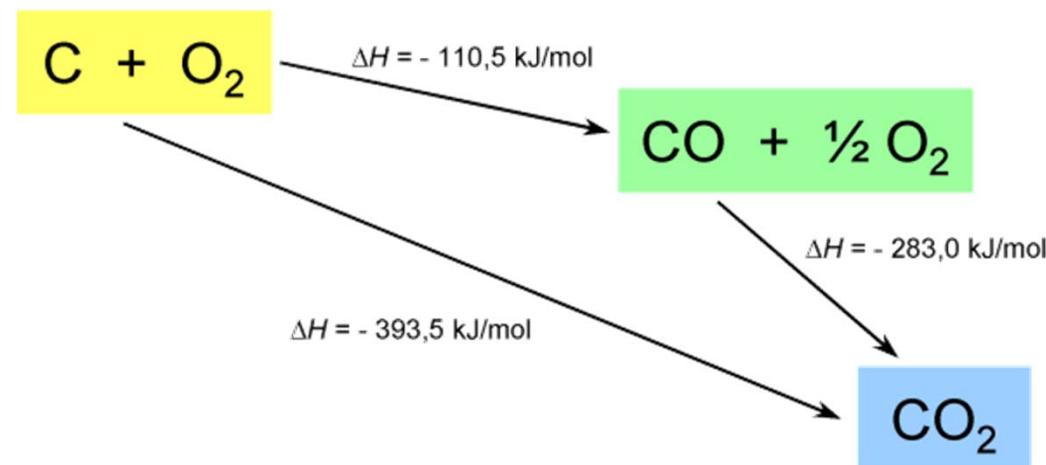
$$[4 \cdot (-393) + 5 \cdot (-242)] - [1 \cdot (-126) + 13/2 \cdot (0)] = -2656 \text{ kJ/mol}$$



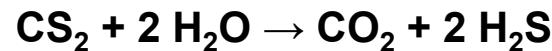
7. Was beschreibt der Satz von Hess?

Lösung:

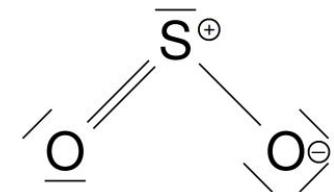
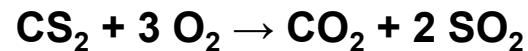
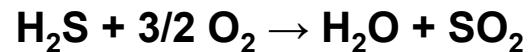
z.B. Der Satz von Hess besagt, dass der Weg einer chemischen Reaktion keinen Einfluss auf die Reaktionsenthalpie der Gesamtreaktion hat. Die Reaktionsenthalpie der Gesamtreaktion ist somit auch von der Anzahl der Teilreaktionen unabhängig. Die Enthalpieänderung der gesamten Reaktion ist die Summe der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



8. Berechnen Sie $\Delta_R H$ für die Reaktion

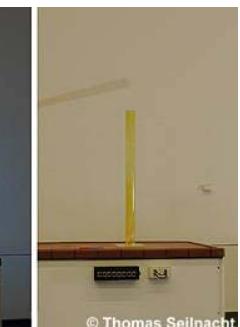


mit Hilfe der Gleichungen:



Lewis Structure for CS₂

Lösung:

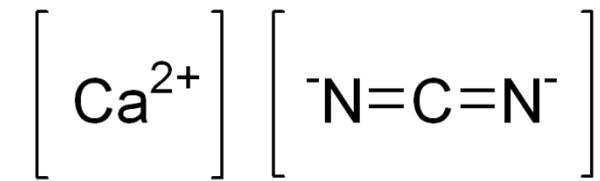
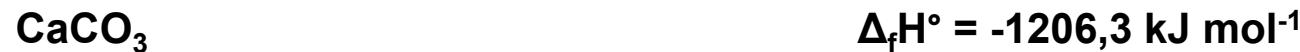


© Thomas Seilnacht

Versuch: Bellender Hund



9. Berechnen Sie die Standard-Bildungsenthalpie für Calciumcyanamid (CaCN_2), mit Hilfe folgender Angaben:



Lösung:

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

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

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

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

10. 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) Standartbedingungen

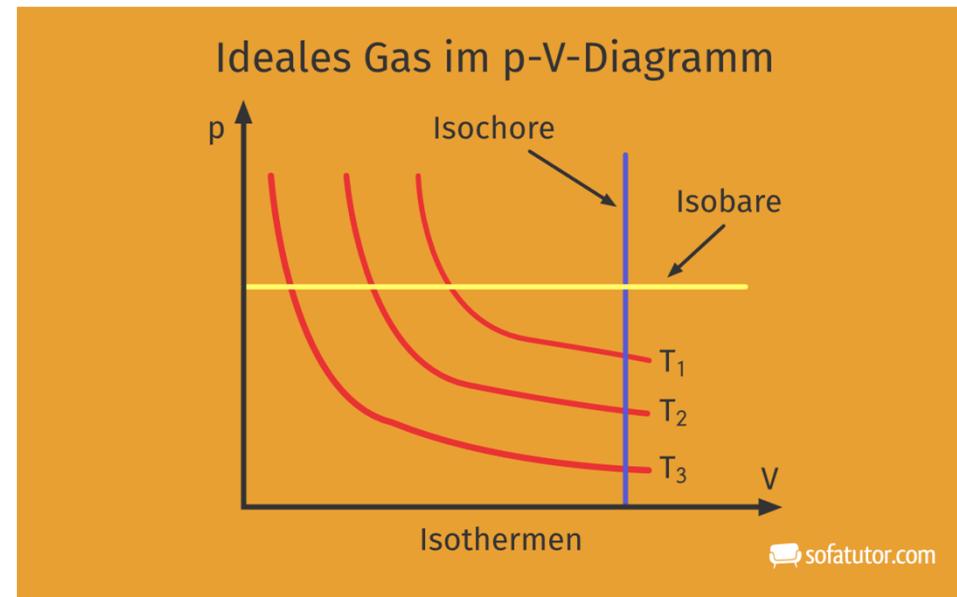
$$V_m = 24,4 \text{ mol/L} \rightarrow n = 0,8 \text{ L} / 24,4 \text{ mol/L} = 0,0328 \text{ mol}$$

$$n = m / M \rightarrow M = m/n = 1,4 \text{ g} / 0,0327 = 42,68 \text{ g/mol} \rightarrow 44 \text{ g/mol} = \text{CO}_2$$

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, Bohr, Gemische

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

Kohlevergasung

Haber-Bosch-Verfahren

Wassergas-Shift-Reaktion

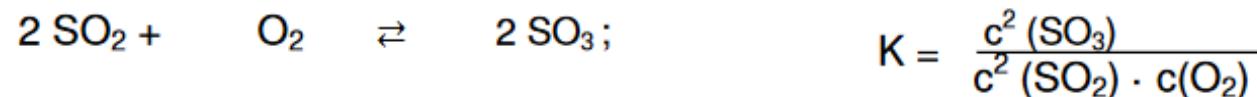
Boudouard-Gleichgewicht

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 H_2SO_4 zu Dischwefelsäure.



c) Dischwefelsäure wird hydrolysiert zu Schwefelsäure.



d) Schwefelsäure wird durch 2 Äquivalente Natriumhydroxid neutralisiert.

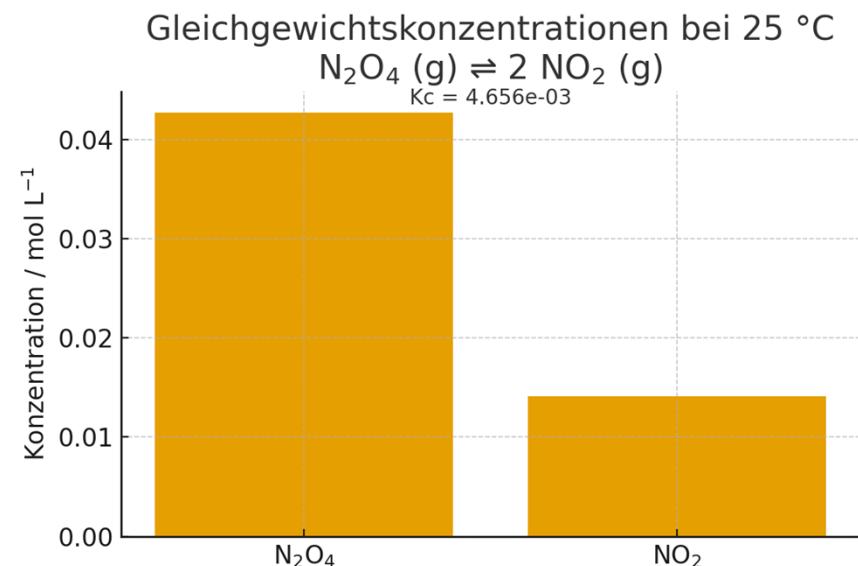


3. Für die Reaktion $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NO}_2(\text{g})$ wurden bei 25°C folgende Konzentrationen für ein im Gleichgewicht befindliches Gemisch gefunden:

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

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

Wie groß ist K_c bei 25°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.



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:

$$\frac{dn}{dt} = -k \Rightarrow n(t) = n_0 - k \cdot t$$

$$0,4 = 1,0 - k \cdot 12 \text{ min}$$

$$k = 0,6 \text{ mol} / 12 \text{ min} = 1/20 = 0,05 \text{ mol/min}$$

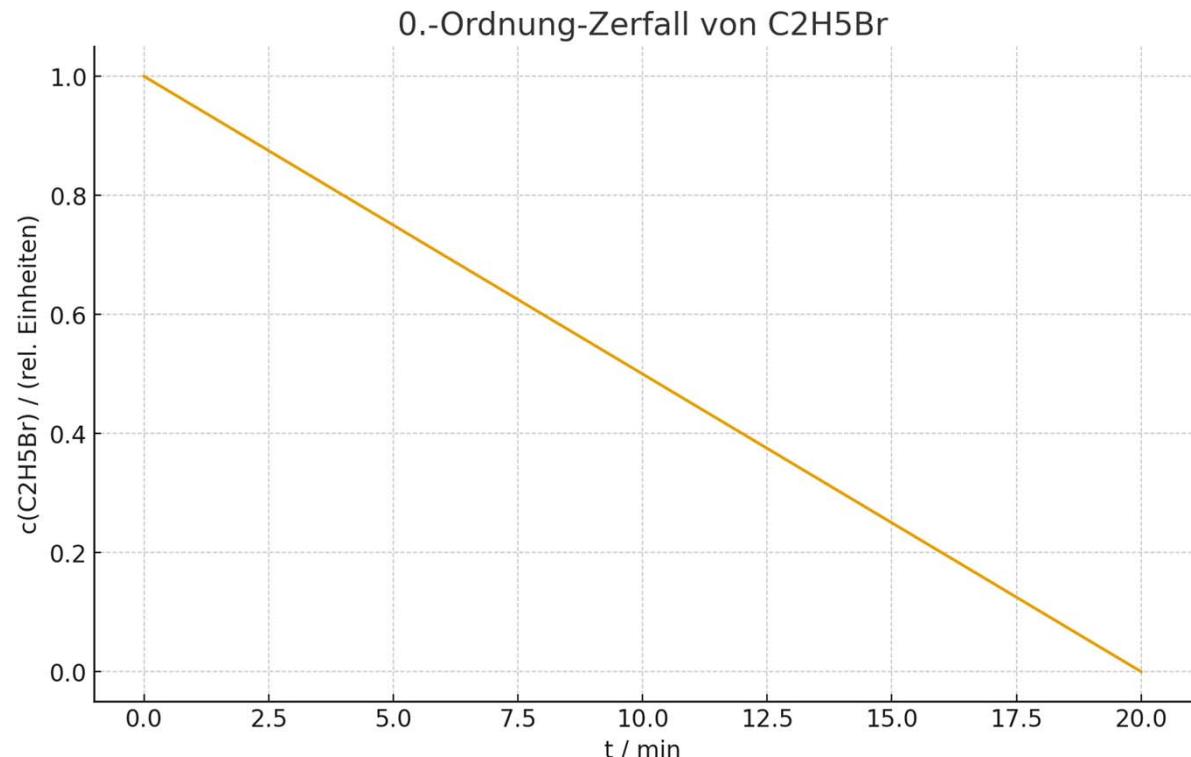
$$\rightarrow n(t) = 1,0 \text{ mol} - t \cdot 0,05 \text{ min/mol}$$

$$1 / 0,05 = 20 \text{ min}$$

Oder durch logisches Denken: $t_1/c_1 = t_2/c_2$

$$12 \text{ min} / 0,6 = 20 \text{ min}$$

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

Lösung:

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

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

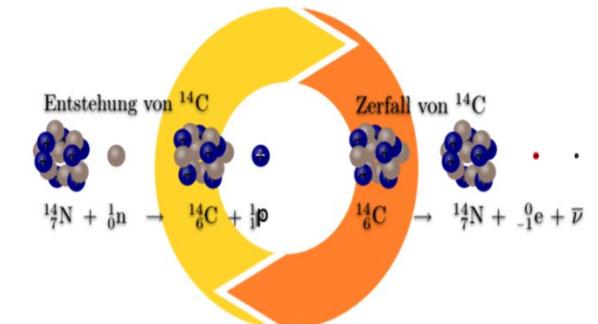
$$\text{Halbwertszeit: } c_0 = 1; c = \frac{1}{2} \rightarrow k = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$$

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

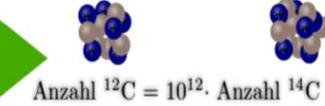
logarithmische Integrationsregel

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

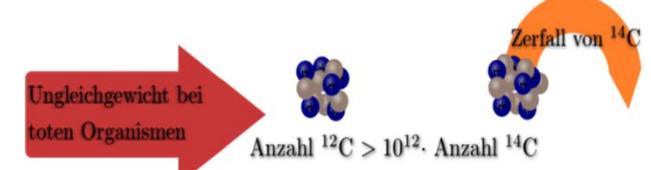
$a = \text{Jahr}$



Gleichgewicht bei
lebenden Organismen



Ungleichgewicht bei
toten Organismen

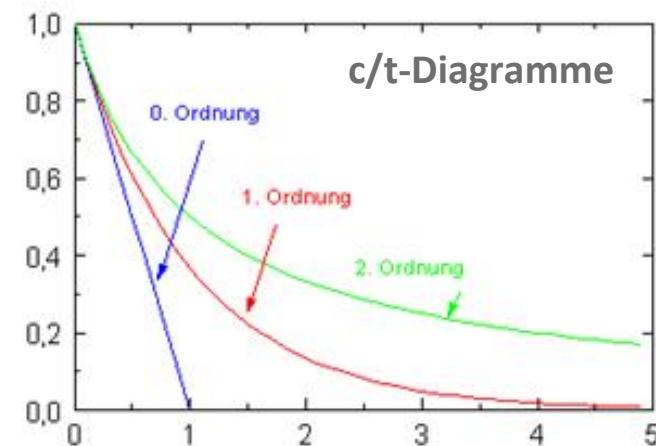


6. Wir betrachten erneut eine Reaktion erster Ordnung. Anfangskonzentration = 0,5 mol. Halbwertszeit = 40s. Welche Konzentration liegt nach 70 s vor?

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

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

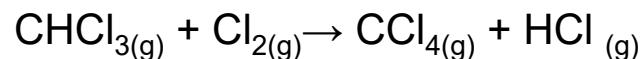
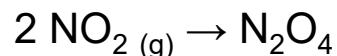
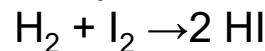
- Die Stoffmengenabnahme ist anfangs groß, dann allmählich abnehmend (exponentielle Abklingkurve).
- Die Reaktionsgeschwindigkeit ist direkt proportional zur Konzentration eines Stoffes
- Die Reaktionszeit ist unabhängig von der Ausgangskonzentration
- Beispiel: $2 \text{ N}_2\text{O}_5 \text{ (g)} \rightarrow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



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

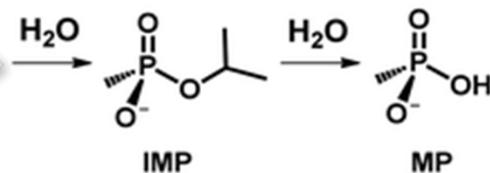
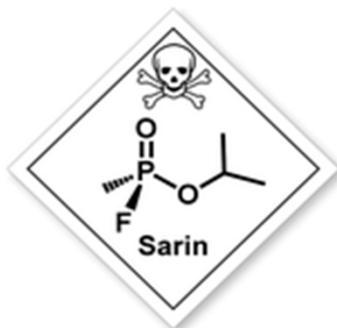
$$v = k \cdot [A]^{1.5}$$

Reaktionsgeschwindigkeit nichtlinear und möglicherweise durch eine Mischung verschiedener Mechanismen definiert.

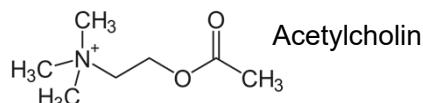
7. Die Reaktionsgeschwindigkeit der Sarin-Hydrolyse verläuft unter welchen Bedingungen schnell, langsam, mittel?

Lösung:

Geschwindigkeit: alkalisch > sauer > neutral



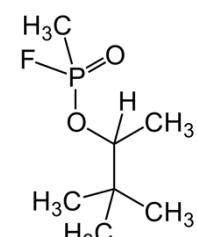
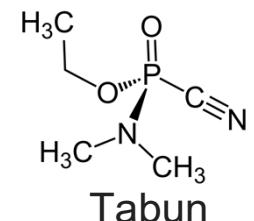
Cholinesteraseinhibitor



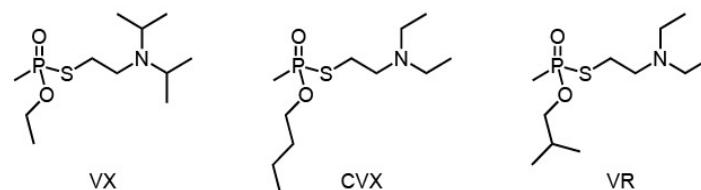
Tödliche orale Dosis Sarin:
1,65 mg bei einer 75 kg schweren Person

Phosphonsäureester
(oft Giftgase)

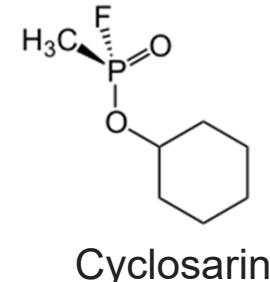
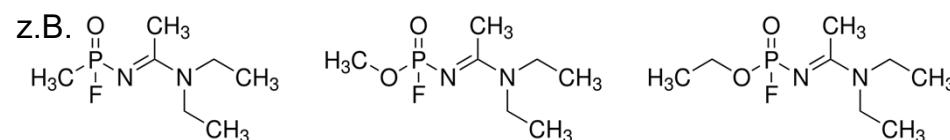
G-Reihe
German, IG Farben



V-Reihe „venom(ous)“ („giftig“)
(ca. 5-mal so giftig wie G Reihe)



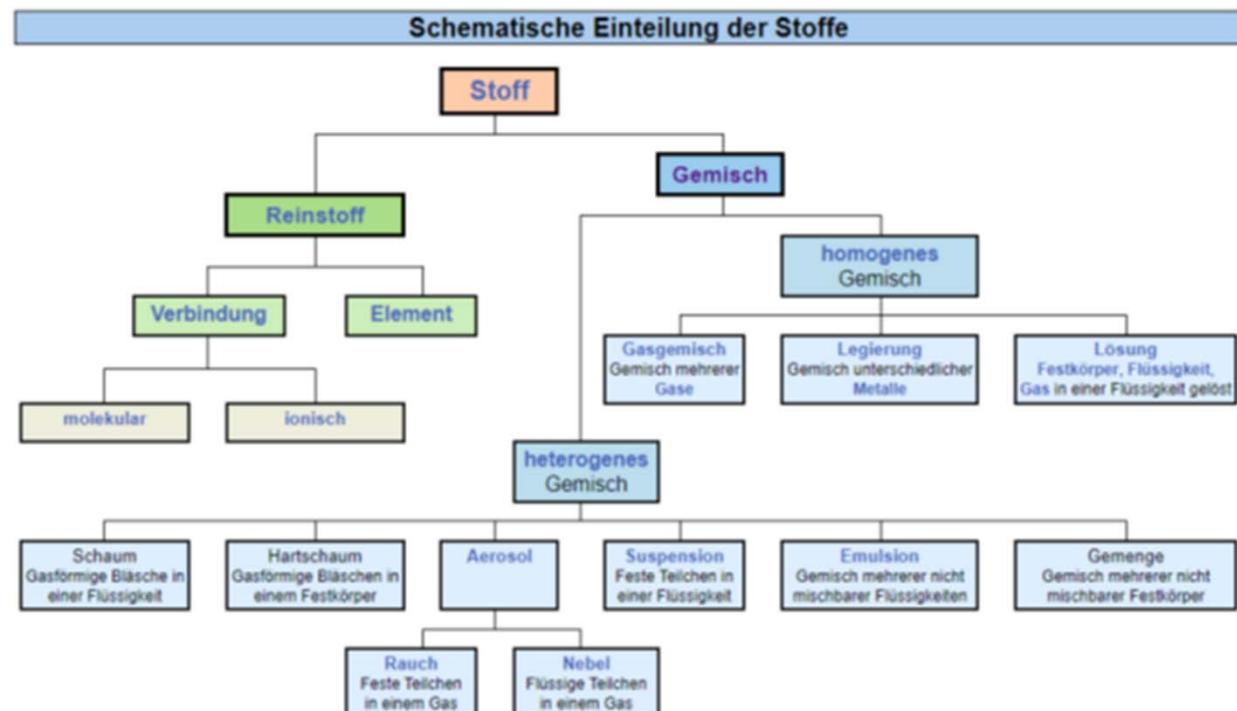
Nowitschok-Kampfstoffe (A-Agents)



8. 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?



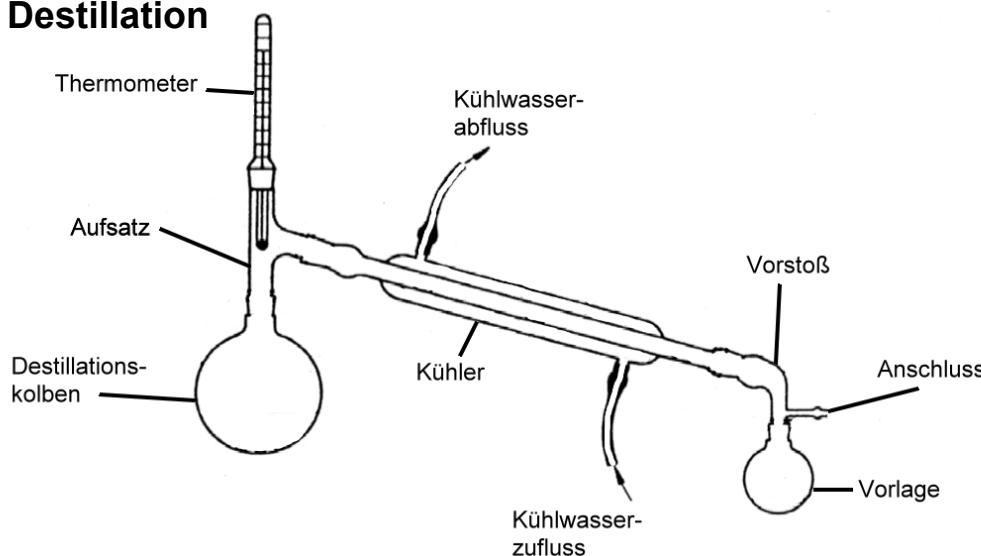
9. Nennen Sie zwei Methoden mit denen man ein homogenes Gemisch trennen kann und die dazugehörige physiko-chemische Eigenschaft auf der die Trennung basiert.

z.B. Destillation (Siedepunkt, Dampfdruck)

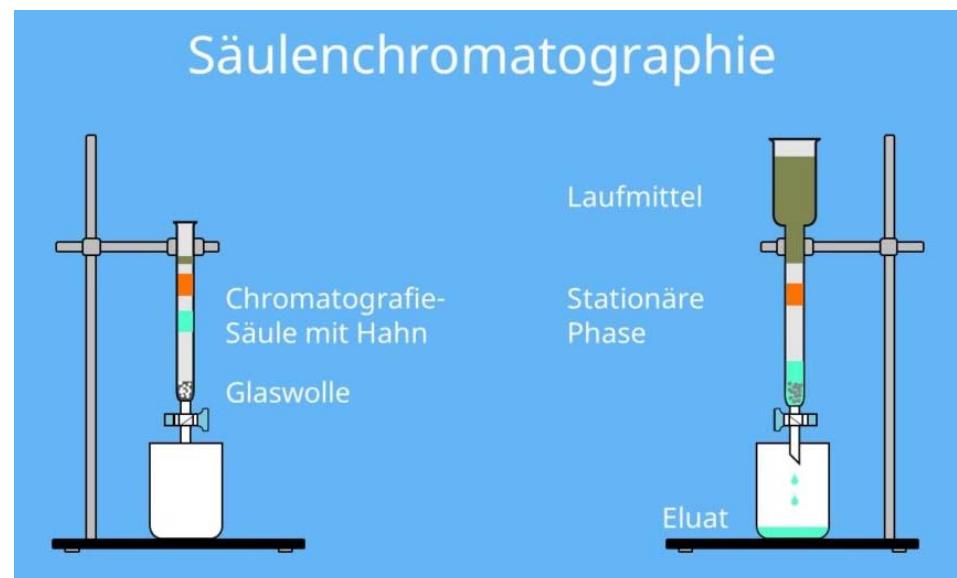
Chromatographie (Polarität)

fraktionierte Kristallisation (Löslichkeit, Kristallisationsenthalpie)

Destillation



Säulenchromatographie



fraktionierte Kristallisation: zB. Temperaturabhängigkeit der Löslichkeit KNO_3 und NaCl (z. B. 1:1 Masseverhältnis)

10. 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

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

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

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

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

1900, Planck:



Max Planck (1858-1947)

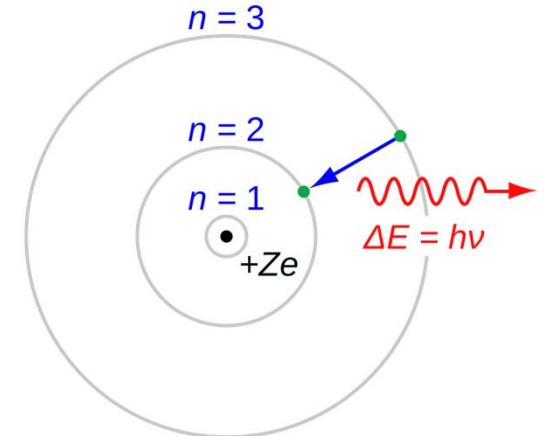
Lichtquanten

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

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

$$c = \lambda\nu$$

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

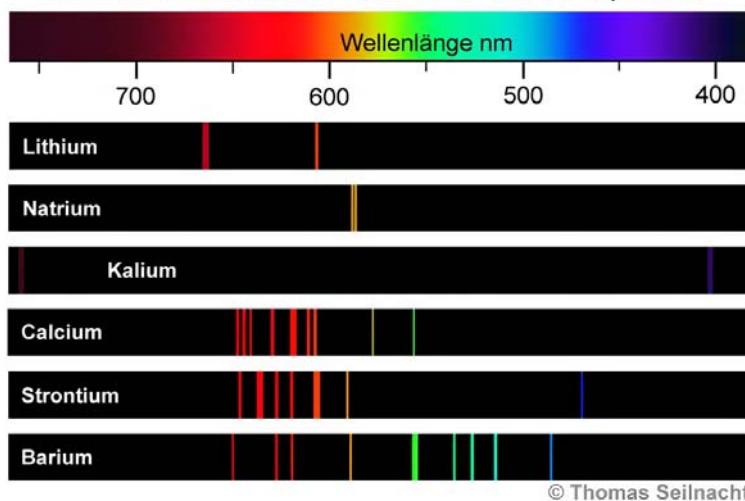


11. Welche Flammenfarben erwarten Sie für:

- (a) Na **gelb**
- (b) Ba **grün**
- (c) Sr **rot**
- (d) Cu **grün**
- (e) $\text{B}(\text{OMe})_3$ **grün**

Linienspektren der Alkali- und Erdalkalimetalle

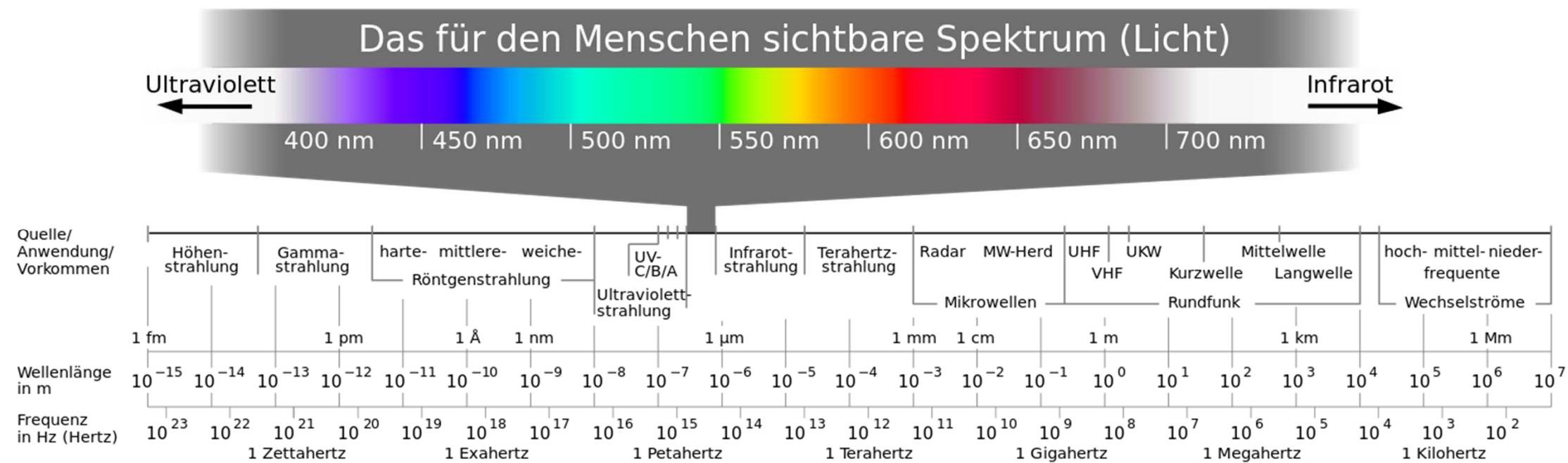
Auswahl beobachtbarer Linien der Emissionsspektren



12. 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



Übung 4:

Isotope, Kernchemie, Relativistik

		1
1	1,008	1
H	Wasserstoff 2,2 0,09	2
2	6,94	3 9,0122
Li	Lithium 0,98 0,53	4 Beryllium 1,57 1,85
11 22,990	12 24,305	
3 Na	4 Mg	
Natrium 0,93 0,97	Magnesium 1,31 1,74	
19 39,098	20 40,078	21 44,956
4 K	5 Ca	6 Sc
Kalium 0,82 0,86	Calcium 1,0 1,55	Scandium 1,36 2,98
37 85,468	38 87,62	39 88,906
5 Rb	6 Sr	7 Y
Rubidium 0,82 1,53	Strontium 0,95 2,63	Yttrium 1,22 4,47
55 132,91	56 137,33	57 138,91
6 Cs	7 Ba	8 La
Caesium 0,79 1,90	Barium 0,89 3,59	Lanthan 1,10 6,15
87 223,03	88 226,03	89 227,03
7 Fr	8 Ra	9 Ac
Francium 0,7	Radium 0,9	Actinium 5,5 11 10,1

Legende

Ordnungszahl Atomgewicht
Symbol
Name
Elektronegativität
Dichte

Symbol
schwarz = Feststoff
blau = Flüssigkeit
rot = Gas
grau = unbekannt
unterstrichen = radioaktiv
Dichte
rot = kg / m³
schwarz = kg / dm³
grau = unbestimmt

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

Schraffur
durchgehend = natürliches Element
schraffiert = künstliches Element

Periode

Lanthanoide															
58	140,12	59	140,91	60	144,24	61	144,91	62	150,36	63	151,96	64	157,25	65	158,93
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
Cer 1,12 6,77	Praseodym 1,13 6,48	Neodym 1,14 7,01	Promethium — 7,22	Samarium 1,17 7,54	Europium 5,25	Gadolinium 1,2 7,89	Terbium 8,25	Dysprosium 1,22 8,55	Holmium 1,23 8,78	Erbium 1,24 9,05	Thulium 1,25 9,32	Ytterbium 6,97	Lutetium 1,27 9,84		
90	232,04	91	231,04	92	238,03	93	237,05	94	244,06	95	243,06	96	247,07	97	247,07
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		
Thorium 1,3 11,72	Protactinium 1,5 15,4	Uran 1,38 18,95	Neptunium 1,36 20,45	Plutonium 1,28 19,82	Americium 1,3 13,67	Curium 1,3 13,51	Berkelium 1,3 14,78	Californium 1,3 15,1	Einsteinium 1,3 13	Fermium — 1,3	Mendelevium — 1,3	Nobelium — 1,3	Lawrencium — ?		

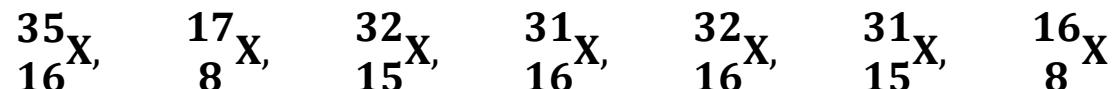
		18
1	He	He
2	Helium — 0,18	Helium — 0,90
5	10,81	6 12,011
B	Bor 2,04 2,46	C Kohlenstoff 2,55 2,26
13	26,982	14 28,085
Al	Aluminium 1,61 2,70	Si Silicium 1,90 2,34
31	69,723	32 72,630
Ga	Gallium 1,81 5,90	Ge Germanium 2,01 5,32
50	118,71	51 121,76
In	Indium 1,78 7,31	Sn Zinn 1,96 7,26
81	204,38	82 207,20
Tl	Thallium 1,62 11,85	Pb Blei 2,33 11,35
113	286,18	114 289,19
Nh	Nihonium — ?	Bi Bismut 2,02 9,75
115	289,20	116 293,20
Fl	Flerovium — ?	Po Polonium 2,0 9,20
117	293,21	118 294,21
Mc	Moscovium — ?	Lv Livermorium — ?
102	259,10	103 262,11
Ts	Tenness — ?	Og Oganesson — ?

		18
1	He	He
2	Helium — 0,18	Helium — 0,90
5	10,81	6 12,011
B	Bor 2,04 2,46	C Kohlenstoff 2,55 2,26
13	26,982	14 28,085
Al	Aluminium 1,61 2,70	Si Silicium 1,90 2,34
31	69,723	32 72,630
Ga	Gallium 1,81 5,90	Ge Germanium 2,01 5,32
50	118,71	51 121,76
In	Indium 1,78 7,31	Sn Zinn 1,96 7,26
81	204,38	82 207,20
Tl	Thallium 1,62 11,85	Pb Blei 2,33 11,35
113	286,18	114 289,19
Nh	Nihonium — ?	Bi Bismut 2,02 9,75
115	289,20	116 293,20
Fl	Flerovium — ?	Po Polonium 2,0 9,20
117	293,21	118 294,21
Mc	Moscovium — ?	Lv Livermorium — ?
102	259,10	103 262,11
Ts	Tenness — ?	Og Oganesson — ?



Actinoide															
58	140,12	59	140,91	60	144,24	61	144,91	62	150,36	63	151,96	64	157,25	65	158,93
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
Cer 1,12 6,77	Praseodym 1,13 6,48	Neodym 1,14 7,01	Promethium — 7,22	Samarium 1,17 7,54	Europium 5,25	Gadolinium 1,2 7,89	Terbium 8,25	Dysprosium 1,22 8,55	Holmium 1,23 8,78	Erbium 1,24 9,05	Thulium 1,25 9,32	Ytterbium 6,97	Lutetium 1,27 9,84		
90	232,04	91	231,04	92	238,03	93	237,05	94	244,06	95	243,06	96	247,07	97	247,07
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		
Thorium 1,3 11,72	Protactinium 1,5 15,4	Uran 1,38 18,95	Neptunium 1,36 20,45	Plutonium 1,28 19,82	Americium 1,3 13,67	Curium 1,3 13,51	Berkelium 1,3 14,78	Californium 1,3 15,1	Einsteinium 1,3 13	Fermium — 1,3	Mendelevium — 1,3	Nobelium — 1,3	Lawrencium — ?		

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



Lösung:



Natürlich auftretende Schwefel-Isotope

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

2. Natürlich vorkommendes Magnesium hat folgende Isotopenhäufigkeiten:

^{24}Mg Atommasse = 23,98504 u 78,99 %

^{25}Mg Atommasse = 24,98584 u 10,00 %

^{26}Mg Atommasse = 25,98259 u 11,01 %

Welche durchschnittliche Atommasse hat Mg?

Lösung:

$$m(\text{av})_{\text{Mg}} = 23,98504 * 0,7899 + 24,98584 \text{ u} * 0,1 + 25,98259 \text{ u} * 0,1101 = \textcolor{red}{24,30505 \text{ u}}$$

Atommasse in u (u = unified atomic mass unit, auch „Dalton“)

- ein Zwölftel der Masse eines neutralen Kohlenstoff-12-Atoms
- $1 \text{ u} \approx 1,6605 \times 10^{-27} \text{ kg}$
- ^{12}C hat **per Definition** die Masse 12 u
- 1 mol ^{12}C wiegt genau 12 g
- $1 \text{ u} \approx 1 \text{ g/mol} / N_A$
- $1 \text{ u} \approx 931,5 \text{ MeV} / c^2$

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

Lösung:

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

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

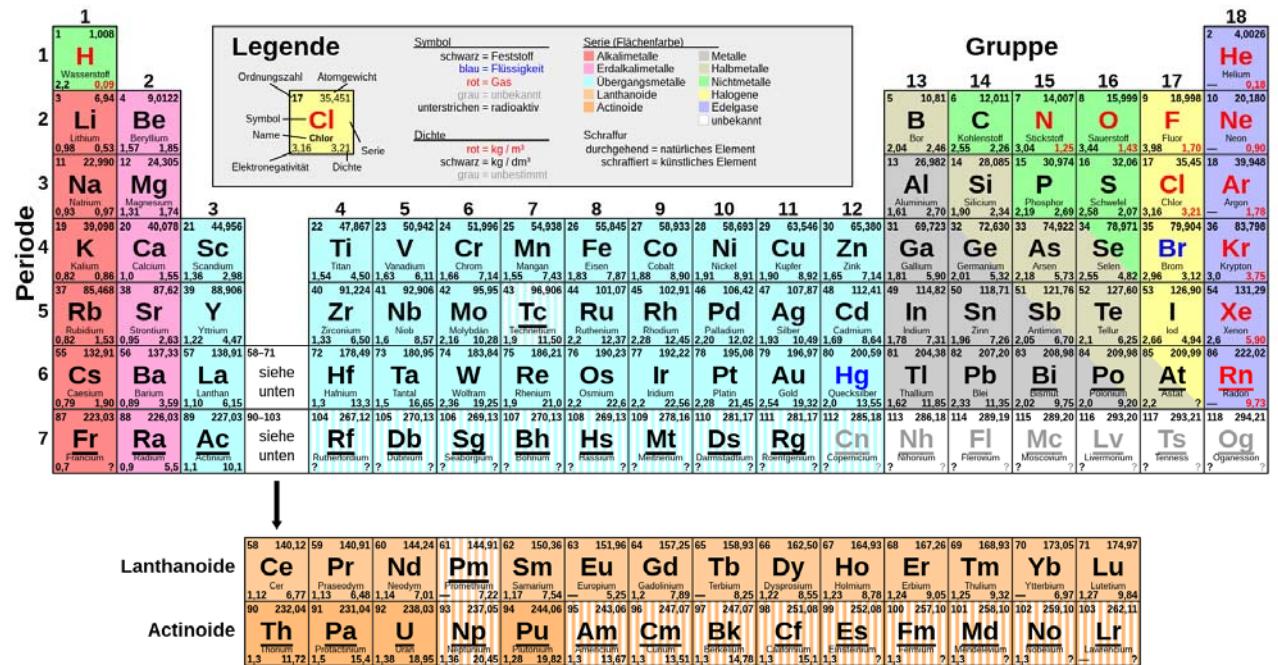
$$X = (107.868 - 55.463) / 0.4812$$

$$X = 108.905$$

^{109}Ag

4. Ergänzen Sie folgende Tabelle:

Lösung:



The image shows a detailed periodic table with the following features:

- Perioden (Periods):** Labeled on the left side of the table.
- Gruppen (Groups):** Labeled at the top right, including Hydrogen (H), Helium (He), Alkalimetalle (Li, Na, K, Rb, Cs, Fr), Erdalkalimetalle (Be, Mg, Sr, Ba, Ra), Übergangsmetalle (Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Nb, Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, I, Pb, Bi, Po, At, Rn), Halbmetalle (P, As, Sb, Te, I, S, Se, Br, Kr), Nichtmetalle (O, N, S, P, Cl, Br, I, F, Ne), Halogene (F, Cl, Br, I), Actinoids (Ac, Th, Pa, U, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm, Md, No, Lr), and Lanthanoids (Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu).
- Legende (Legend):** Located in the top right corner, it defines symbols for different element properties:
 - schwarz = Feststoff (black = solid)
 - blau = Flüssigkeit (blue = liquid)
 - rot = Gas (red = gas)
 - grau = unbekannt (gray = unknown)
 - unterstrichen = radioaktiv (underlined = radioactive)
 - Dichte (Density): rot = kg / m³ (red = kg / m³), schwarz = kg / dm³ (black = kg / dm³), grau = unbestimmt (gray = undetermined)
 - Schraffur (Shading): durchgehend = natürliches Element (solid = natural element), schraffiert = künstliches Element (shaded = synthetic element)
- Periodic Table Grid:** The main grid shows element symbols, atomic numbers, and atomic weights. It includes rows for Hydrogen (H), Helium (He), and the Lanthanoids/Actinoids.

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 ³⁺	21	45	21	24	18
O ²⁻	8	16	8	8	10
N ³⁻	7	14	7	7	10

5. 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)?

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

Lösung:

Umrechnung in kg

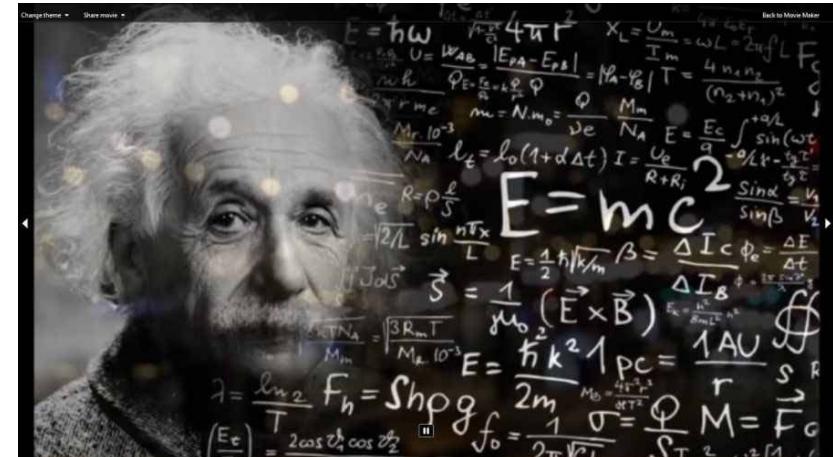
$$\Delta m = 0,03 \cdot 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 4,9815 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$$

Energie über $E = \Delta m c^2$

mit $c \approx 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

$$E = 4,9815 \cdot 10^{-29} \text{ kg} \cdot (3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 \approx 4,48 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

$$E (\text{kJ/mol}) = 4,48 \cdot 10^{-12} \text{ J} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} / 1000 = 2,7 \cdot 10^9 \text{ kJ/mol}$$



$$1 \text{ J} = 1 \text{ W s} = 1 \text{ N m} = 1 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}$$

$$1 \text{ u} \Rightarrow mc^2 \approx 931,5 \text{ MeV} \approx 1,49 \times 10^{-10} \text{ J}$$

Arten radioaktiver Strahlung

α -Strahlung (Alpha)

- Teilchen: ${}_4\text{He}^2$ -Kerne (2 p, 2 n)
- Eigenschaften: stark ionisierend, sehr kurze Reichweite (in Luft ein paar cm, in Gewebe wenige mm)
- Abschirmung: schon Papier, Haut oder wenige cm Luft reichen
- Typisch: schwere Kerne wie U, Th, Po

β^- -Strahlung (Beta-Minus)

- Teilchen: Elektronen aus dem Kern (Umwandlung: Neutron \rightarrow Proton + $e^- + \bar{\nu}_e$)
- Eigenschaften: weniger stark ionisierend als α , Reichweite in Luft: bis einige Meter, in Gewebe: mm – cm
- Abschirmung: dünnes Metall, Plexiglas, Aluminium

β^+ -Strahlung (Beta-Plus)

- Teilchen: Positronen (Antielektronen; Umwandlung: Proton \rightarrow Neutron + $e^+ + \nu_e$)
- Besonderheit: Positron annihiliert mit einem Elektron \rightarrow zwei 511-keV- γ -Quanten
- Abschirmung: ähnlich wie bei β^- , plus Abschirmung der entstehenden γ -Strahlung

γ -Strahlung (Gamma)

- Teilchen: hochenergetische Photonen (elektromagnetische Strahlung) aus dem angeregten Kern
- Eigenschaften: schwach ionisierend pro Wechselwirkung, aber sehr große Reichweite und Eindringtiefe
- Abschirmung: dichte Materialien (Blei, Stahl) oder dicke Betonschichten

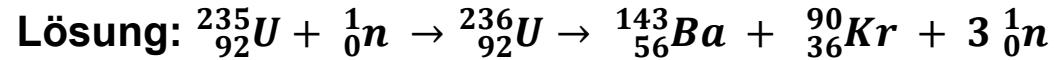
Neutronenstrahlung

- Teilchen: freie Neutronen, z.B. aus spontaner oder induzierter Kernspaltung, seltener aus bestimmten Zerfällen
- Eigenschaften: ungeladen \rightarrow hohe Eindringtiefe, machen Materialien durch (n,γ) , (n,p) , (n,α) etc. selbst radioaktiv
- Abschirmung: wasserstoffreiche Stoffe (Wasser, Polyethylen), + Materialien, die entstehende γ -Strahlung abschirmen

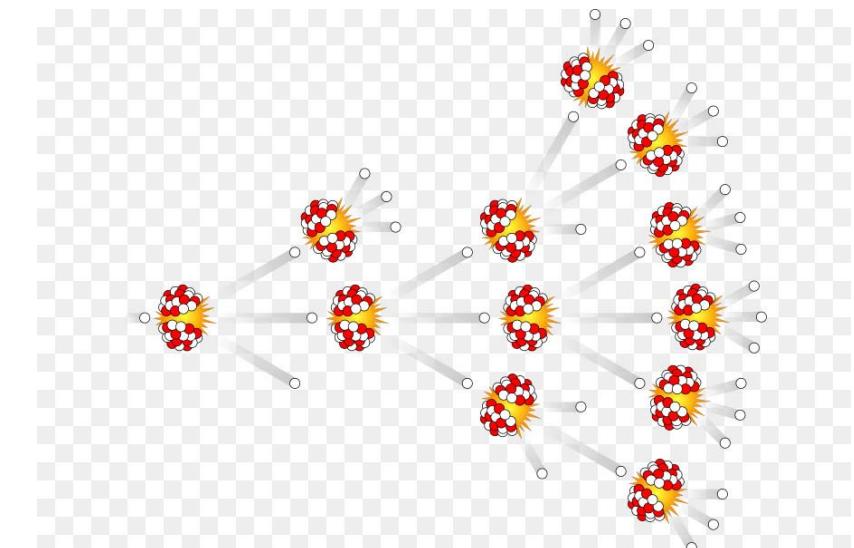
Arten radioaktiver Strahlung – Beispiele

- α -Zerfall: $^{238}_{92}\text{U} \rightarrow ^{234}_{90}\text{Th} + ^4_2\text{He}$
- β^- -Zerfall: $^{14}_6\text{C} \rightarrow ^{14}_7\text{N} + \text{e}^- + \bar{\nu}_\text{e}$
- β^+ -Zerfall: $^{22}_{11}\text{Na} \rightarrow ^{22}_{10}\text{Ne} + \text{e}^+ + \nu_\text{e}$
- γ -Zerfall: $^{60}_{27}\text{Co}^* \rightarrow ^{60}_{27}\text{Co} + \gamma$ oder $^{99\text{m}}_{43}\text{Tc} \rightarrow ^{99}_{43}\text{Tc} + \gamma$
- Neutronenemission (Spaltung): $^{252}_{98}\text{Cf} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{108}_{44}\text{Ru} + 4 \text{ n}$

6. Vervollständigen Sie die folgende Zerfallsgleichung beim Neutroneneinfang von $^{135}\text{Uran}$ und warum handelt es sich dabei um eine Kettenreaktion?

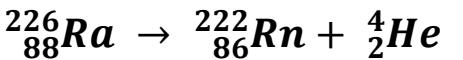


Aus einem Neutron entstehen 3 Neutronen

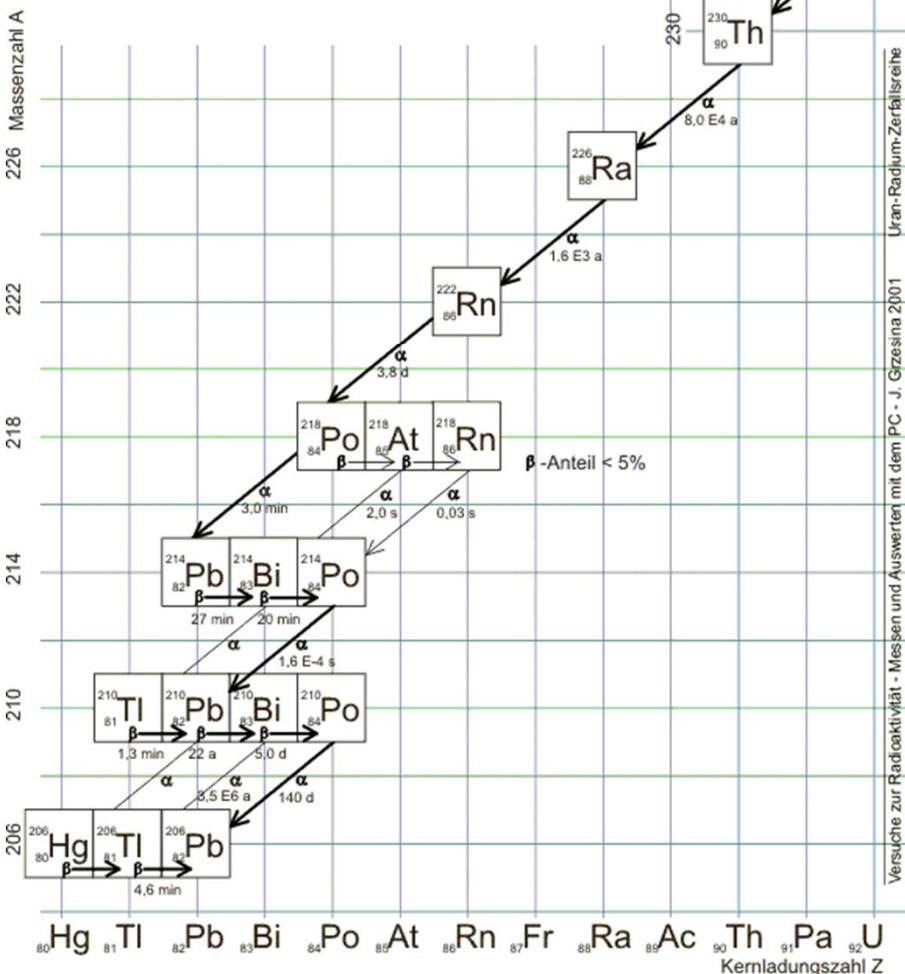


7. $^{226}\text{Radium}$ bildet sich und zerfällt durch Alpha-Zerfall.
Formulieren Sie die Kerngleichungen.

Lösung:

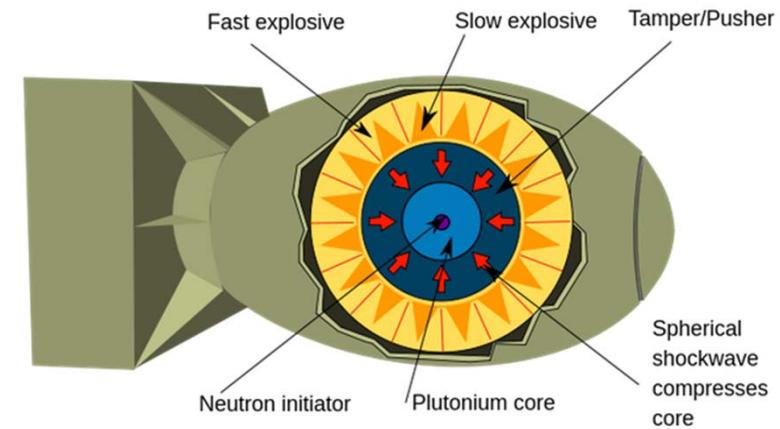
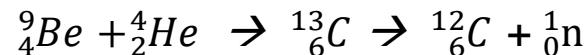
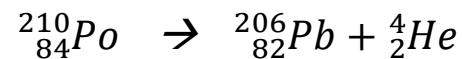


Uran-Radium-Reihe



8. Beschreiben Sie die Funktionsweise einer „Urchins“ (Neutronen-Seeigels) an Hand zweier Kernreaktionen.

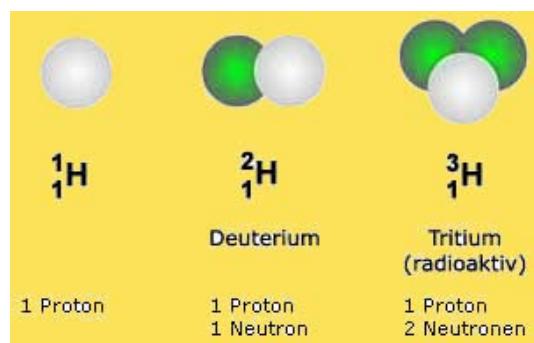
Lösung:



9. Schreiben Sie eine vollständige Gleichung für: $^{16}_8O(t,n)^{18}F$

Lösung: $^{16}_8O + ^3_1T \rightarrow ^{18}_9F + ^1_0n$

Weitere Beispiele:



10. Nennen Sie zwei entscheidende Vorteile für den Einsatz von UF_6 zur Uran-Isotopen trennung.

Lösung:

1. Fluor ist Reinelement
2. UF_6 ist leicht flüchtig.



Es gibt **20 Reinelemente** (Atome mit einheitlicher Massenzahl in der Natur):

Aluminium, Arsen, Beryllium, Bismut, Caesium, Cobalt, Fluor, Gold, Holmium, Iod, Mangan, Natrium, Niob, Phosphor, Praseodym, Rhodium, Scandium, Terbium, Thulium und Yttrium.

UF_6 wird isotopenrein aufgetrennt durch Gasphasenzentrifugation

alpha-Strahlung wurde in der Vorlesung in der Nebelkammer visualisiert

11. Wie groß ist die rel. Masse eines 1s-Elektrons im Kupfer, Gold und Fermium-Atom im Vergleich zu seiner Ruhemasse?

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

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

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

Lösung:

$$m(1sCu) = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{29}{137}\right)^2}}$$

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

$$m(1sFe) = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{100}{137}\right)^2}}$$

$$m_{(29\text{Cu})\text{rel}} = 1.02 \cdot m_0$$

$$m_{(79\text{Au})\text{rel}} = 1.22 \cdot m_0$$

$$m_{(100\text{Fe})\text{rel}} = 1.46 \cdot m_0$$

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:

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

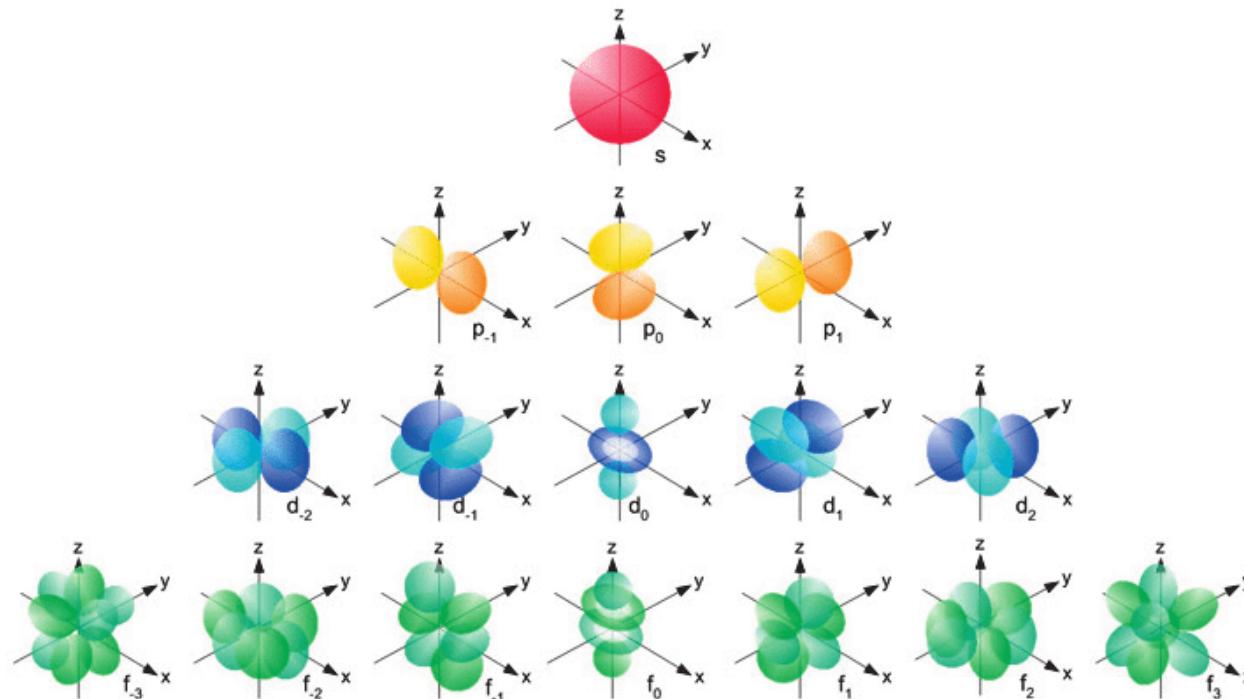
Daraus folgt für die Größen der atomaren Einheiten:

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	$1.055 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
\hbar	Planck Konstante	2π	$6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
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	$2.998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
α	Feinstrukturkonstante	0.00729735	0.00729735
μ_B	Bohr'sches Magneton ($e\hbar/2m_e$)	$\frac{e}{2}$	$9.9274 \cdot 10^{-24} \text{ J/T}$
μ_N	Kernmagneton	$2.732 \cdot 10^{-4}$	$5.051 \cdot 10^{-27} \text{ J/T}$
$4\pi\epsilon_0$	Permittivität des Vakuums	1	$1.113 \cdot 10^{-10} \text{ C}^2/\text{J} \cdot \text{m}$
μ_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 self-consistent expansion?

Lösung: Expansion der d- und f- Orbitale

Die d- und f-Orbitale werden in einer Basis entwickelt und diese Expansion wird so lange **selbstkonsistent nachgeführt**, bis Orbitale und von ihnen erzeugtes Potential zueinander passen.



Anorganische Experimentalchemie

5. Übung:

Säuren & Basen, pH-Wert

- 1. Berechnen sie Molarität und Molalität von**
- 37 %iger HCl ($\rho = 1.2 \text{ g/mL}$)**
 - 96 %iger H_2SO_4 ($\rho = 1.84 \text{ g/mL}$)**

Lösung:

$$37\% \text{ HCl} \quad M = 36,46 \text{ g/mol} \quad \rho = 1.2 \text{ g/mL}$$

Molariät = Konzentration $c = n / V$

$$m = \rho \cdot V = 1,2 \text{ g / mL} \cdot 1000 \text{ mL} = 1200 \text{ g} = 1,2 \text{ kg}$$

$$m(\text{HCl}) = 0,37 \cdot 1200 \text{ g} = 444 \text{ g}$$

$$n = m / M \rightarrow n(\text{HCl}) = 444 \text{ g} / 36,46 \text{ g/mol} = 12,18 \text{ mol}$$

$$\rightarrow c = 12,18 \text{ mol/L}$$

$$m(\text{Schwefelsäure}) = 1840 \text{ g} \quad m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,96 \cdot 1840 \text{ g} = 1766 \text{ g}$$

$$n = 1766 \text{ g} / 98,1 \text{ g/mol} = 18 \text{ mol} \rightarrow c = 18 \text{ mol/L}$$

Molalität $b = [\text{mol/kg}]$

$$\text{HCl: } m = 1200 \text{ g}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = (1 - 0,37) \cdot 1200 \text{ g} = 756 \text{ g} = 0,756 \text{ kg}$$

$$b(\text{HCl}) = n(\text{HCl}) / m(\text{H}_2\text{O}) = 12,18 \text{ mol} / 0,756 \text{ kg} = 16,1 \text{ mol/kg}$$

$$\text{Schwefelsäure: } m(\text{H}_2\text{O}) = (1 - 0,96) \cdot 1,84 \text{ kg} = 0,074 \text{ kg}$$

$$b(\text{H}_2\text{SO}_4) = 18 \text{ mol} / 0,074 \text{ kg} = 243,2 \text{ mol/kg}$$

Molarität und Molalität

- Stoffmengenkonzentration (= Molarität):

– Stoffmenge wird auf das Volumen des Lösungsmittels bezogen

$$- c = \frac{n}{V} = \frac{\text{Stoffmenge}}{\text{Volumen}}$$

– Einheit: mol/l

- Beispiel: 5 Teilchen in einem Liter Wasser

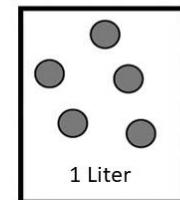


Abb. 1

- Molalität:

– Stoffmenge wird auf die Masse des Lösungsmittels bezogen

$$- b = \frac{n}{m} = \frac{\text{Stoffmenge}}{\text{Masse des Lösungsmittels}}$$

– Einheit: mol/kg

- Beispiel: 5 Teilchen in einem Kilogramm Wasser

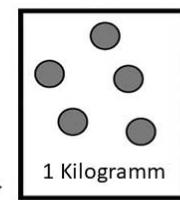
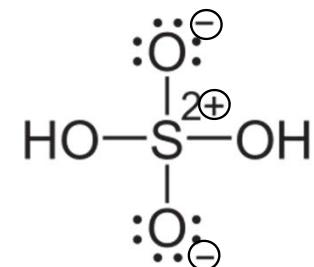


Abb. 2

6

Abb. 1: modifiziert nach Wesseler, W. (2018); Physiologie Bd. 1; In: MEDI-LEARN Verlag (Hrsg.); MEDI-LEARN Skriptenreihe; Kiel: MEDI-LEARN Verlag GbR; medi-learn.de/8_P11-1
Abb. 2: modifiziert nach Wesseler, W. (2018); Physiologie Bd. 1; In: MEDI-LEARN Verlag (Hrsg.); MEDI-LEARN Skriptenreihe; Kiel: MEDI-LEARN Verlag GbR; medi-learn.de/8_P11-1

$$M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98,1 \text{ g/mol}$$



2. Welche ist die konjugierte Base von:

- a) H_3PO_4
- b) H_2PO_4^-
- c) NH_3
- d) HS^-
- e) H_2SO_4
- f) HCO_3^-
- g) Ameisensäure H-COOH
- h) HN_3

Lösung:

- H_2PO_4^-
- HPO_4^{2-}
- NH_2^-
- S^{2-}
- HSO_4^-
- CO_3^{2-}
- H-COO^-
- N_3^-

		Säure	Base
	stark	HCl H_2SO_4 HNO_3 H^+	Cl^- HSO_4^- NO_3^-
	mittelstark	HSO_4^- H_3PO_4 HF	H_2O SO_4^{2-} H_2PO_4^- F^-
	schwach	CH_3COOH H_2CO_3 H_2S H_2PO_4^- NH_4^+	CH_3COO^- HCO_3^- HS^- HPO_4^{2-} NH_3
	sehr schwach	HCO_3^- HPO_4^{2-} H_2O	CO_3^{2-} PO_4^{3-} OH^-
vernachlässigbar	stark	HS^-	S^{2-}

Wichtige Formeln pH-Wert und Säure/Basen

$$pH = -\lg c(H_3O^+)$$

$$c(H_3O^+) = 10^{-pH} \frac{\text{mol}}{\text{l}}$$

$$pOH = -\lg c(OH^-)$$

$$pH + pOH = pK_w$$

$$pH + pOH = 14$$

$$K_w = [H_3O^+][OH^-] \approx 1,0 \cdot 10^{-14}$$

Temperaturabhängig ! $pK_w(99^\circ\text{C}) \approx 12,27$

Schwache Säuren/Basen:

$$[H_3O^+] \approx \sqrt{K_s} c_0$$

$$pH = \frac{1}{2} (pK_s - \log c_0)$$

$$\alpha = c(A^-) / c_0$$

$$\alpha = \sqrt{(K_s/c_0)}$$

Ampholyte:

$$pH \approx \frac{1}{2} (pK_{s1} + pK_{s2})$$

Puffer (Henderson–Hasselbalch)

$$pH = pK_s + \log_{10}([A^-]/[HA])$$

3. Die Lösung einer schwachen Säure HX hat einen pH-Wert von 3.10. Wie groß ist die Konzentration an H_3O^+ .

Lösung:

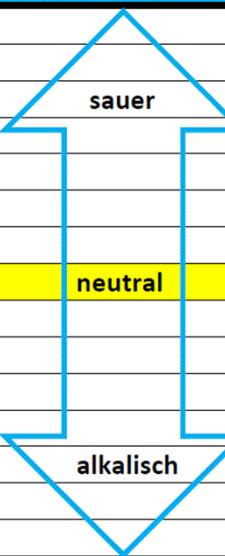


$$\text{pH} = -\lg c(\text{H}_3\text{O}^+)$$

$$c(\text{H}_3\text{O}^+) = 10^{-\text{pH}} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-3.10} = 7.94 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L} \text{ (oder: } c(\text{H}_3\text{O}^+) = 7.94 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L)}$$

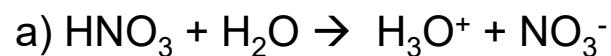
$[\text{H}_3\text{O}^+]$ in mol/L	pH		pOH	$[\text{OH}^-]$ in mol/L
$10^0 = 1$	0		14	10^{-14}
10^{-1}	1		13	10^{-13}
10^{-2}	2		12	10^{-12}
10^{-3}	3		11	10^{-11}
10^{-4}	4		10	10^{-10}
10^{-5}	5		9	10^{-9}
10^{-6}	6		8	10^{-8}
10^{-7}	7	neutral	7	10^{-7}
10^{-8}	8		6	10^{-6}
10^{-9}	9		5	10^{-5}
10^{-10}	10		4	10^{-4}
10^{-11}	11		3	10^{-3}
10^{-12}	12		2	10^{-2}
10^{-13}	13		1	10^{-1}
10^{-14}	14		0	10^0



4. Wie groß sind die Konzentrationen $c(\text{H}_3\text{O}^+)$ und $c(\text{OH}^-)$ in folgenden Lösungen:

- a) 0.015 mol/L HNO_3
- b) 0.0025 mol/L $\text{Ba}(\text{OH})_2$
- c) 0.00030 mol/L HCl
- d) 0.016 mol/L $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Lösung:



starke Säure: $c(\text{H}_3\text{O}^+) = c_0 = 0.015 \text{ mol/L}$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{OH}^-] = K_w = 10^{-14}$$

$$[\text{OH}^-] = K_w / [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-14} / 0.015 = 6.7 \cdot 10^{-13}$$

$$c(\text{OH}^-) = 6.7 \cdot 10^{-13} \text{ mol/L}$$

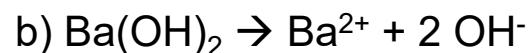
$$pH = -\lg c(\text{H}_3\text{O}^+)$$

$$c(\text{H}_3\text{O}^+) = 10^{-pH} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$pOH = -\lg c(\text{OH}^-)$$

$$pH + pOH = pK_w$$

$$pH + pOH = 14$$

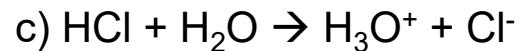


starke Base: $c(\text{OH}^-) = 2 \cdot c_0 = 0.005 \text{ mol/L}$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{OH}^-] = K_w = 10^{-14}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = K_w / [\text{OH}^-] = 10^{-14} / 0.005 = 2.0 \cdot 10^{-12}$$

$$c(\text{H}_3\text{O}^+) = 2.0 \cdot 10^{-12} \text{ mol/L}$$

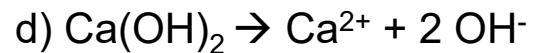


starke Säure: $c(\text{H}_3\text{O}^+) = c_0 = 3.0 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{OH}^-] = K_w = 10^{-14}$$

$$[\text{OH}^-] = K_w / [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-14} / 3.0 \cdot 10^{-4} = 3.3 \cdot 10^{-11}$$

$$c(\text{OH}^-) = 3.3 \cdot 10^{-11} \text{ mol/L}$$



starke Base: $c(\text{OH}^-) = 2 \cdot c_0 = 0.032 \text{ mol/L}$

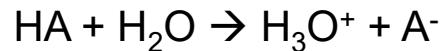
$$[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{OH}^-] = K_w = 10^{-14}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = K_w / [\text{OH}^-] = 10^{-14} / 0.032 = 3.1 \cdot 10^{-13}$$

$$c(\text{H}_3\text{O}^+) = 3.1 \cdot 10^{-13} \text{ mol/L}$$

5. Propansäure (eine einwertige Säure) ist bei einer Konzentration von 0.25 mol/L in Wasser zu 0.72% dissoziiert. Wie groß ist der pH-Wert und pK_s -Wert?

Lösung:



$$\alpha = \frac{c(\text{A}^-)}{c_0}$$

$$c(\text{A}^-) = c(\text{H}_3\text{O}^+)$$

$$\alpha = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c_0}$$

$$c(\text{H}_3\text{O}^+) = \alpha \cdot c_0 = 0.0072 \cdot 0.25 \text{ mol/L} = 0.0018 \text{ mol/L}$$

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] = -\log 0.0018 = 2.74$$

$$\text{pH} = \frac{1}{2} (\text{p}K_s - \log c_0) \rightarrow 2\text{pH} = \text{p}K_s - \log c_0$$

$$\text{p}K_s = 2 \cdot \text{pH} + \log c_0 = 2 \cdot 2.74 + \lg 0.25 = 4.88$$

$$\alpha = \frac{[\text{A}^-]}{c_0}$$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{K_s}{[\text{H}_3\text{O}^+] + K_s}.$$

$$\Leftrightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = K_s \cdot \frac{1 - \alpha}{\alpha}$$

$$\Leftrightarrow \text{pH} = \text{p}K_s + \lg \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

Dissoziationsgrad

Der **Dissoziationsgrad α** bzw. **Protonengrad** gibt das Verhältnis der durch Dissoziation gelösten Säure- bzw. Base-Teilchen zur Gesamtkonzentration der Säure-/Base-Teilchen der Lösung an. α kann Werte von 0 bis 1 (100% Protonierung) annehmen.

→ Ausmaß einer protolytischen Reaktion, bzw. Anteil Säure, der in einer Reaktion mit H_2O zur korrespondierenden Base umgewandelt wurde

$$\alpha = \frac{\text{Konzentration der protolierten HA-Moleküle}}{\text{Konzentration der HA-Moleküle vor der Protonierung}}$$

$$\alpha = \frac{c_0 - [\text{HA}]}{c_0} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{c_0} = \frac{[\text{A}^-]}{c_0}$$

Für einwertige Säure: $[\text{A}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+]$ umstellen: $[\text{H}_3\text{O}^+] = \alpha \cdot c_0$
 $[\text{A}^-] = \alpha \cdot c_0$

$$K_s = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = \frac{\alpha \cdot c_0 \cdot \alpha \cdot c_0}{c_0 - \alpha \cdot c_0} = \frac{\alpha^2 \cdot c_0^2}{c_0 - \alpha \cdot c_0} = c_0 \frac{\alpha^2}{1 - \alpha}$$

$$\text{für schwache Säuren gilt } \alpha \ll 1: \quad K_s = c_0 \cdot \alpha^2 \quad \rightarrow \quad \alpha = \sqrt{\frac{K_s}{c_0}}$$

Protonengrad einer schwachen Säure steigt mit abnehmender Konzentration der Säure!

Ostwaldsches Verdünnungsgesetz (für schwache Säuren)

6. Für Milchsäure ist $K_s = 1.5 \cdot 10^{-4}$ mol/L

a) Wie groß ist $c(H_3O^+)$, wenn 0.16 mol/L Milchsäure in Lösung sind.

b) Wie viel Prozent der Milchsäure sind dissoziiert?

Lösung:

a) $pK_s = -\log K_s = 3.82$ Eine schwache Säure

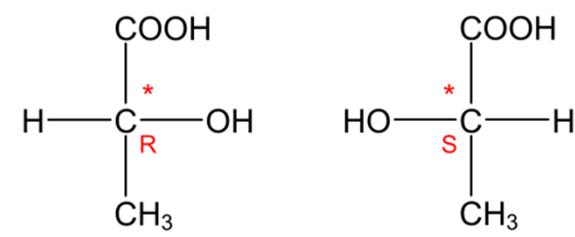
Für schwache Säuren: $pH = \frac{1}{2}(pK_s - \log c_0)$

$$pH = \frac{1}{2}(3.82 - \log 0.16) = 2.308$$

$$[H_3O^+] = 10^{-2.308} = 4.92 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L} \quad (\text{oder: } c(H_3O^+) = 4.92 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L})$$

b) $\alpha = \sqrt{(K_s/c_0)} = \sqrt{(1.5 \cdot 10^{-4}/0.16)} = 0.0306 \text{ oder: } 3.06\%$

Ostwaldsches
Verdünnungsgesetz

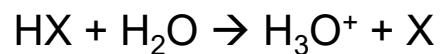


D(-)-Milchsäure

L(+) -Milchsäure

7. Eine Säure HX ist bei $c_0(\text{HX}) = 0.15 \text{ mol/L}$ zu 1.2% dissoziiert. Wie viel % sind bei $c_0(\text{HX}) = 0.030 \text{ mol/L}$ dissoziiert?

Lösung:



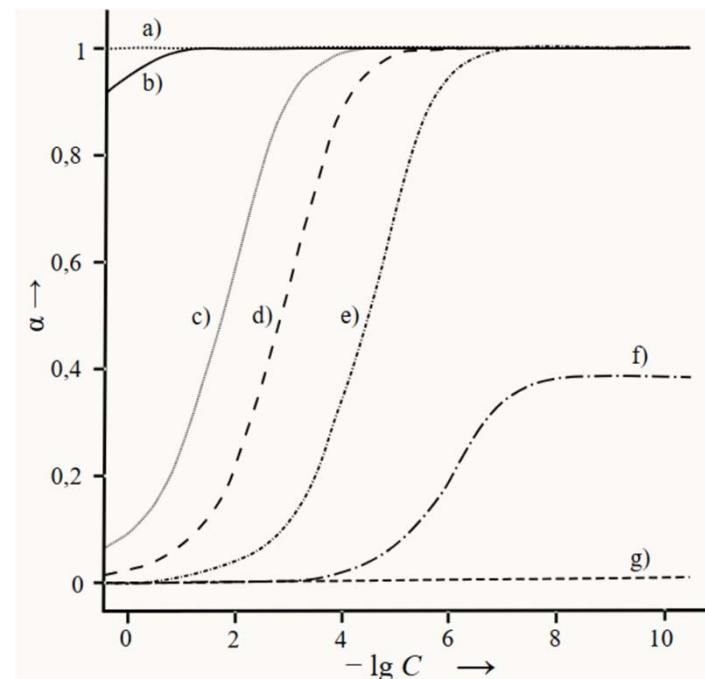
1. Berechnung von K_s

mit $\alpha = \sqrt{K_s/c_0}$ bzw.: $K_s = \alpha^2 c_0$

$$K_s = \alpha^2 c_0 = 0.0122 \cdot 0.15 = 2.16 \cdot 10^{-5}$$

2. Berechnung von Dissoziationsgrad

$$\alpha = \sqrt{K_s/c_0} = \sqrt{(2.16 \cdot 10^{-5}/0.030)} = 0.027 \text{ oder } 2.7\%$$



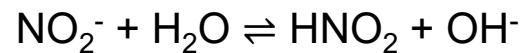
Dissoziationsgrad α von a) HCl , b) HNO_3 , c) HClO_2 , d) HF , e) HOAc , f) HClO , g) HCN in Abhängigkeit ihrer Konzentration.



Je konzentrierter die Säure, desto geringer der Dissoziationsgrad!

**8. Welchen pH-Wert hat eine Lösung von 0.15 mol/L Natriumnitrit (NaNO_2)?
(für HNO_2 : $\text{pK}_s = 3.35$)**

Lösung:



Für NO_2^- ergibt sich der pK_B -Wert aus den pK_s -Wert der konjugierten Säure:

$$\text{pK}_s + \text{pK}_B = 14$$

$$\text{pK}_B = 14 - \text{pK}_s = 14 - 3.35 = 10.65$$

NO_2^- ist eine schwache Base, somit:

$$\text{pOH} = \frac{1}{2} (\text{pK}_B - \lg c_0) = \frac{1}{2} (10.65 - \lg 0.15) = 5.74$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 5.74 = 8.26$$

9. Welchen pH-Wert hat eine Lösung von 0.1 mol/L Ammoniumacetat (NH_4OAc)? $\text{pK}_s(\text{NH}_4^+) = 9.2$; $\text{pK}_s(\text{HOAc}) = 4.7$

Lösung:

Ampholyt:



$$\text{pK}_s(\text{NH}_4^+) = 9.2$$

$$\text{pK}_s(\text{HOAc}) = 4.7$$

$$\text{pH} = \frac{1}{2} \{ \text{pK}_s(\text{NH}_4^+) + \text{pK}_s(\text{HOAc}) \}$$

$$\text{pH} = \frac{1}{2} \{ 9.2 + 4.7 \} = 6.95$$

Für Ampholyte gilt näherungsweise:

$$\text{pH} \approx \frac{1}{2} (\text{pK}_{s1} + \text{pK}_{s2})$$

oder

$$c(\text{H}_3\text{O}^+) \approx \sqrt{K_{s1} K_{s2}}$$

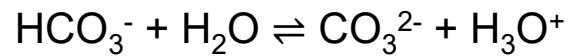
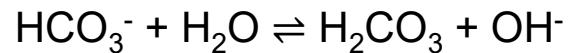
Die Lösung von Ammoniumacetat reagiert neutral!

$$\text{pK}_B(\text{OAc}^-) = 14 - \text{pK}_s(\text{HOAc}) = 14 - 4.7 = 9.3$$

10. Welchen pH-Wert hat eine Lösung von 0.01 mol/L Natriumhydrogencarbonat (NaHCO_3)? $\text{pK}_S(\text{H}_2\text{CO}_3) = 6.4$; $\text{pK}_S(\text{HCO}_3^-) = 10.3$

Lösung:

HCO_3^- ist ein Ampholyt:



$$\text{pH} = \frac{1}{2} \{ \text{pK}_S(\text{HCO}_3^-) + \text{pK}_S(\text{H}_2\text{CO}_3) \}$$

$$\text{pH} = \frac{1}{2} \{ 10.3 + 6.4 \} = 8.35$$

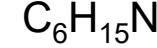
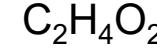
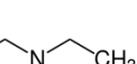
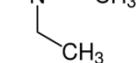
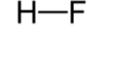
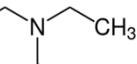
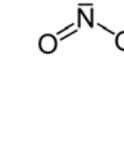
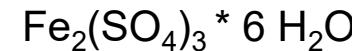
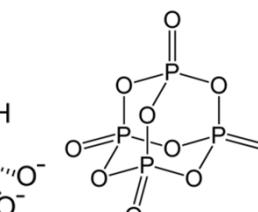
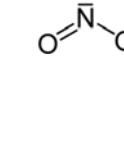
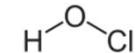
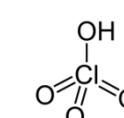
Natriumhydrogencarbonat Lösung ist leicht basisch.

$$\text{pK}_B(\text{HCO}_3^-) = 14 - 6.4 = 7.6$$

11. Geben sie die Summenformel und Struktur folgender Moleküle an:

- Hypochlorige Säure
- Perchlorsäure
- Eisen(III)sulfat hexahydrat
- salpetrige Säure
- Diphosphorpentoxid
- Dinatriumhydrogenphosphat dodecahydrat
- Bromsäure
- Kalilauge
- Schwefelwasserstoff
- Essigsäure
- Methanol
- Fluorwasserstoff
- Triethylamin

Lösung:



6. Übung:

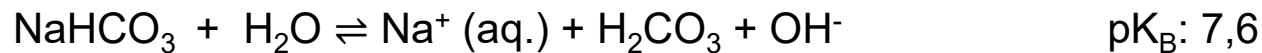
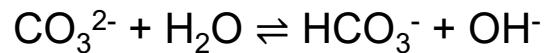
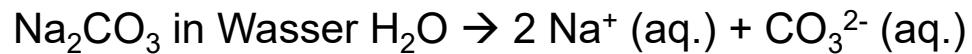
Puffer, Trends im PSE

1. Welchen pH-Wert haben folgende Lösungen: pH > 7, pH < 7, pH = 7? Geben sie auch entsprechende Reaktionsgleichungen an.

a. Natriumcarbonat- bzw. Natriumhydrogencarbonat-Lösung

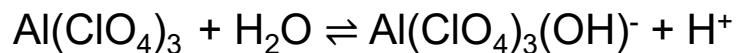
pK_S – Werte der Kohlensäure sind: pK_{S1} = 6,4; pK_{S2} = 10,3

pH > 7



b. Aluminium(III)perchlorat-Lösung

pH < 7 Salz aus schwacher Base und starker Säure



besser: Al(ClO₄)₃ in Wasser: [Al(H₂O)₆]³⁺

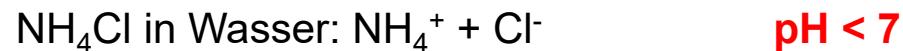


$$K_B \cdot K_S = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^{1+}) \cdot c(\text{A}^{1-}) \cdot c(\text{OH}^{1-}) \cdot c(\text{HA})}{c(\text{A}^{1-}) \cdot c(\text{HA})}$$
$$K_B \cdot K_S = c(\text{H}_3\text{O}^{1+}) \cdot c(\text{OH}^{1-}) = 10^{-14} \frac{\text{mol}^2}{\text{l}^2}$$
$$\text{bzw. } pK_S + pK_B = 14$$

c. Ammoniumchlorid-Lösung ($K_s(\text{HCl}) = 1 * 10^6 \text{ mol/L}$, $K_b(\text{NH}_3) = 1.8 * 10^{-5} \text{ mol/L}$)

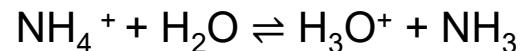
$$pK_s(\text{HCl}) = -6$$

$$pK_b(\text{NH}_3) = 4,74 \quad pK_s(\text{NH}_4^+) = 9,26$$



Cl^- Salz einer starken Säure \rightarrow schwache Base

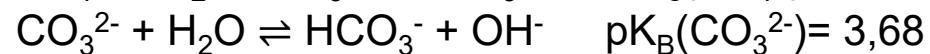
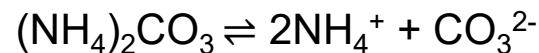
NH_4^+ Salz einer mittelstarken Base \rightarrow mittelschwache Säure



d. Ammoniumcarbonat-Lösung ($K_{S1}(\text{Kohlensäure}) = 4.2 * 10^{-7} \text{ mol/L}$, $K_{S2}(\text{Kohlensäure}) = 4.8 * 10^{-11} \text{ mol/L}$, $K_B(\text{Ammoniak}) = 1.8 * 10^{-5} \text{ mol/L}$)

$$pK_{S1}(\text{H}_2\text{CO}_3) = 6,38$$

$$pK_{S1}(\text{HCO}_3^-) = 10,32$$



Da $pK_s > pK_B \rightarrow \text{pH} > 7$

2. 2 L einer Lösung enthalten 0.10 mol Essigsäure und 0.13 mol Natriumacetat.

(K_s (Essigsäure) = $1.8 \cdot 10^{-5}$ mol/L)

a. Welchen pH-Wert hat diese Lösung?

b. Welchen pH-Wert hat die Lösung nach Zugabe von 0.02 mol KOH?

c. Welchen pH-Wert hat die Lösung nach Zugabe von 10 cm³ einer 2 mol/dm³ Salpetersäure

Lösung?

a)

$c(\text{HOAc}) = 0.05 \text{ mol/L}$; $c(\text{NaOAc}) = 0.065 \text{ mol/L}$

$$\text{pH} = \text{p}K_s + \log_{10} \frac{c(\text{A}^-)}{c(\text{HA})}, \quad = 4,74 + 0,114 = 4,85$$

$$\text{p}K_s = -\log_{10} \left(K_s \cdot \frac{1}{\text{mol}} \right) = 4,74$$

Hendersen-Hasselbalch Gleichung

b) Vorher $\text{HOAc} = 0.1 \text{ mol}$ nach Zugabe: 0.08 mol
 $\text{OAc}^- = 0.13 \text{ mol}$ 0.15 mol

$$\log(0.15/0.08) = 0,273$$

$$\text{pH} = 4,74 + 0,27 = 5,01$$

c) $10 \text{ cm}^3 = 10 \text{ mL}$; $c = 2 \text{ mol/L}$; $n = V \cdot c = 0,01 \text{ L} \cdot 2 \text{ mol/L} = 0,02 \text{ mol}$

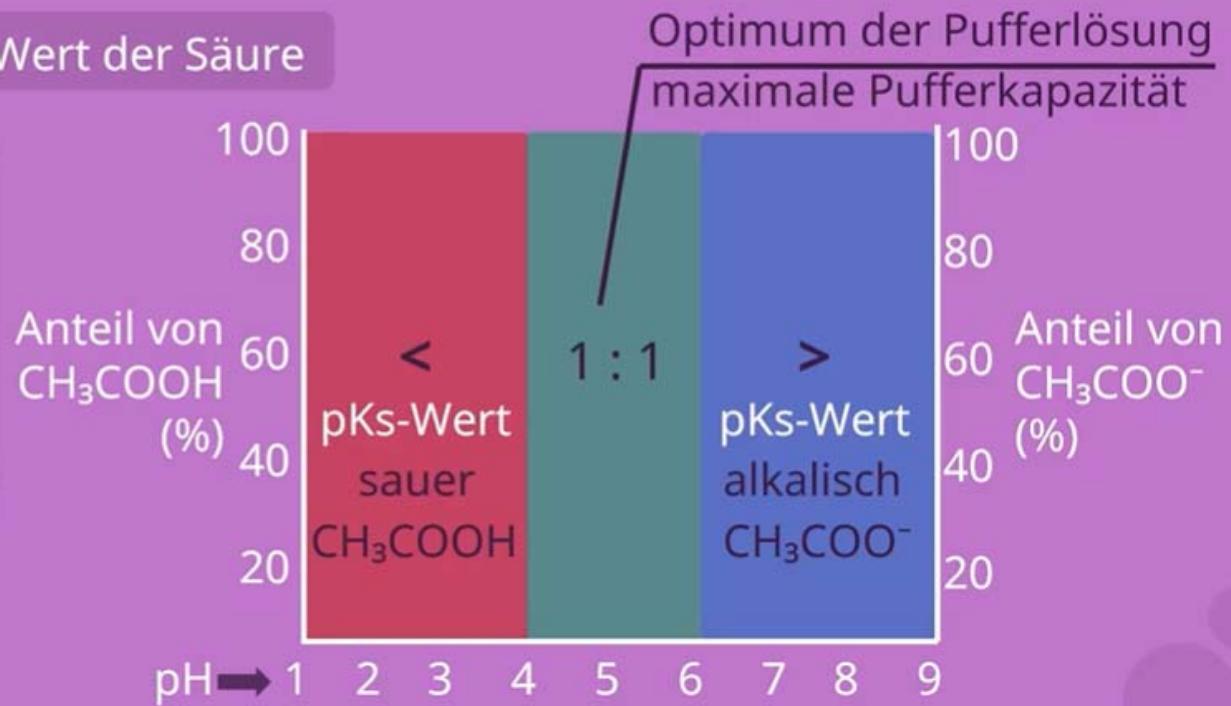
$$\log(0.11/0.12) = -0,038$$

$$\text{pH} = 4,74 - 0,038 = 4,702$$

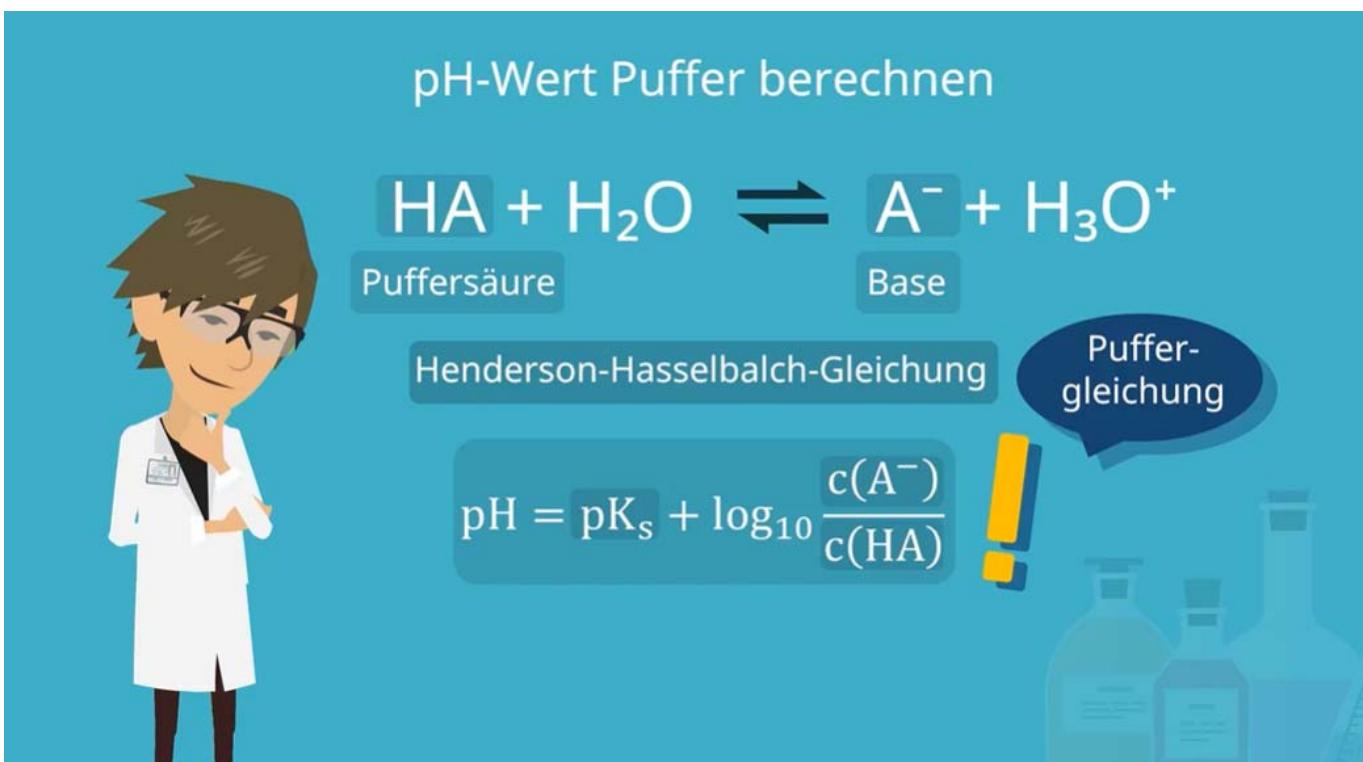
Das Optimum der Pufferlösung

pH-Optimum = pK_s -Wert der Säure

stark  schwach
 pK_s -Wert
 CH_3COOH



pH-Wert Puffer berechnen



Puffersystem	pH-Bereich	
Essigsäure-Acetat-Puffer	3,7 bis 5,7	$\text{H}_3\text{O}^+ + \text{H}_3\text{CCOO}^- \rightleftharpoons \text{H}_3\text{CCOOH} + \text{H}_2\text{O}$
Phosphatpuffer	5,4 bis 8,0	Dinatriumhydrogenphosphat (Na_2HPO_4) + Kaliumdihydrogenphosphat (KH_2PO_4)
Ammoniakpuffer	8,2 bis 10,2	$\text{NH}_3 + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{NH}_4^+$
Kohlensäure-Bicarbonat-Puffer	6,2 bis 8,6	$\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

3. Eine $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ / HPO_4^{2-} -Pufferlösung soll den pH-Wert 6,8 aufweisen.

a) In welchem Konzentrationsverhältnis müssen die beiden Ionensorten dann in der Pufferlösung vorliegen? [pKs von $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$: 7,12]

b) Welche HPO_4^{2-} -Konzentration liegt vor, wenn die Konzentration der $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ -Ionen 0,2 mol/l beträgt?

Lösung:

$$\text{a) pH} = \text{pKs} + \lg \frac{c(\text{Base})}{c(\text{Säure})}$$

$$6,8 = 7,12 + \lg \frac{c(\text{Base})}{c(\text{Säure})}$$

$$-0,32 = \lg \frac{c(\text{Base})}{c(\text{Säure})}$$

$$10^{-0,32} = \frac{c(\text{Base})}{c(\text{Säure})}$$

$$10^{-0,32} = 0,47$$

$$(10^{-0,32})/1 = \frac{c(\text{Base})}{1} = \frac{0,47}{1}$$

$$\text{b) } \frac{c(\text{Base})}{c(\text{Säure})} = \frac{0,47}{1}$$

$$\frac{c(\text{HPO}_4^{2-})}{c(\text{H}_2\text{PO}_4^{2-})} = \frac{c(\text{HPO}_4^{2-})}{0,2 \text{ mol/L}} = \frac{0,47}{1}$$

$$c(\text{HPO}_4^{2-}) = 0,47 \cdot 0,2 \text{ mol/L} = 0,094 \text{ mol/L}$$

4. Ein Essigsäure-Acetat-Puffer soll einen pH-Wert von 5.0 haben. Wieviel NaOH Lösung ($c = 0.5 \text{ mol/L}$) müssen Sie zu einem Liter Essigsäure (0.5 mol/L) zugeben? $\text{pKa} (\text{HOAc}) \approx 4.75$

$$\text{pH} = \text{p}K_S + \log_{10} \frac{c(\text{A}^-)}{c(\text{HA})}, \quad 5.0 = 4.75 + \log ([\text{Ac}^-] / [\text{HAc}])$$

$$0.25 = \log ([\text{Ac}^-] / [\text{HAc}]) \quad \rightarrow \quad ([\text{Ac}^-] / [\text{HAc}]) = 10^{0.25} = 1.78$$

$$n_0(\text{HAc}) = 0.5 \text{ mol}$$

Nach der Neutralisation:

$$\begin{aligned} n(\text{Ac}^-) &= x \\ n(\text{HAc}) &= 0.5 - x \end{aligned} \quad \rightarrow \quad 1.78 = \frac{x}{0.5 - x}$$

$$x = 1.78 (0.5 - x) = 0.89 - 1.78 x$$

$$2.78 x = 0.89 \quad \rightarrow \quad x = 0.32$$

Volumen der NaOH-Lösung

$$c(\text{NaOH}) = 0.5 \text{ mol/L}$$

$$V = n / c = 0.32 \text{ mol} / 0.5 \text{ mol/L} \approx 0.64 \text{ L}$$

Klausuraufgabe 2024

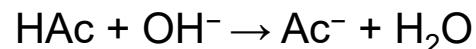
c) Ein Essigsäure-Acetat-Puffer soll einen pH-Wert von 4.5 haben. Wieviel NaOH Lösung ($c = 0.4 \text{ mol/L}$) müssen Sie zu einem Liter Essigsäure (0.4 mol/L) zugeben? ($pK_s \text{ Essigsäure} = 4,7$) [4]

$$\text{pH} = \text{pK}_s + \log(\text{A}^-/\text{HA}) \quad (1/2)$$

$$4,5 = 4,7 + \log(\text{A}^-/\text{HA})$$

$$-0,2 = \log(\text{A}^-/\text{HA}) \quad (1)$$

$$\text{A}^-/\text{HA} = 10^{-0,2} = 0,63 \quad (1/2)$$



$$n(\text{NaOH}) / (0,4 - n(\text{NaOH})) = 0,63 \quad (1/2)$$

$$n(\text{NaOH}) = 0,155 \text{ mol} \quad (1)$$

$$V = n/c = 0,155 \text{ mol} / 0,4 \text{ mol/L} = 0,387 \text{ L} \quad (1/2)$$

Man muss dafür 0,387 L NaOH Lösung zugeben.

5. Geben Sie die Elektronenkonfiguration von Fe, Cu, K⁺, B, Cl, Zn²⁺ und Pb²⁺ an.

Lösung:

$$K^+ = 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 = [\text{Ar}]$$

$$\text{Fe} = [\text{Ar}] 4s^2 3d^6$$

$$\text{Cu} = [\text{Ar}] 4s^1 3d^{10}$$

$$\text{B} = 1s^2 2s^2 2p^1$$

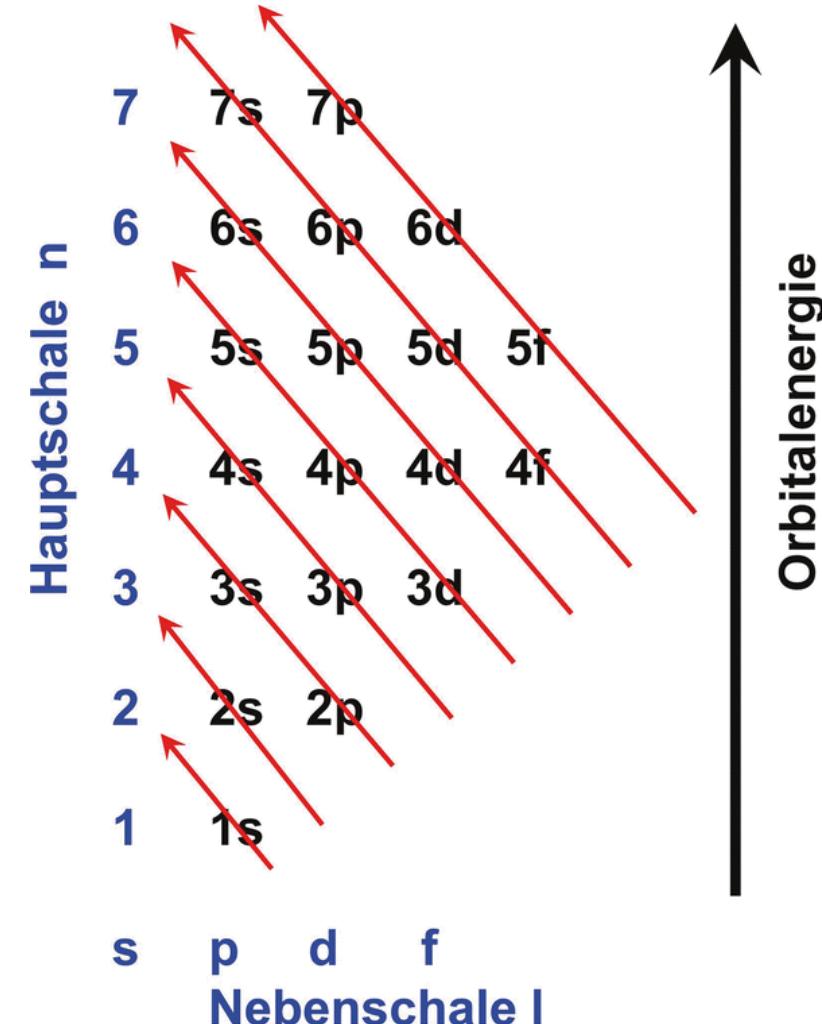
$$\text{Cl} = 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$$

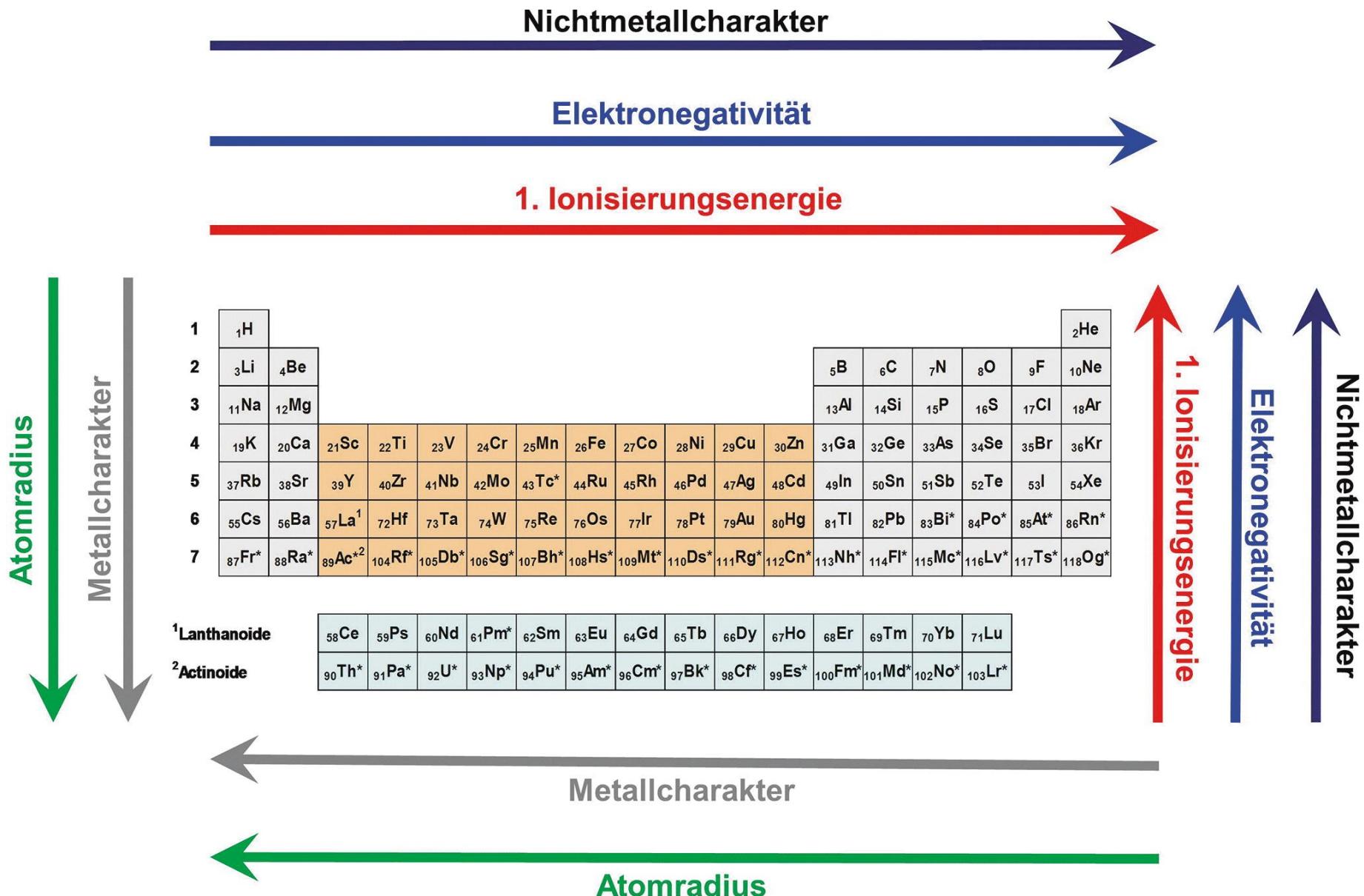
$$\text{Zn}^{2+} = [\text{Ar}] 3d^{10}$$

$$\text{Pb}^{2+} = [\text{Xe}] 6s^2 4f^{14} 5d^{10} 6p^0$$

Elektronenkonfiguration der Elemente (Ordnungszahl 1 ... 36)

O.Z	El.	Elektronenkonfiguration
1	H	1s ¹
2	He	1s ²
3	Li	1s ² 2s ¹
4	Be	1s ² 2s ²
5	B	1s ² 2s ² 2p ¹
6	C	1s ² 2s ² 2p ²
7	N	1s ² 2s ² 2p ³
8	O	1s ² 2s ² 2p ⁴
9	F	1s ² 2s ² 2p ⁵
10	Ne	1s ² 2s ² 2p ⁶
11	Na	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ¹
12	Mg	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ²
13	Al	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ¹
14	Si	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ²
15	P	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ³
16	S	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁴
17	Cl	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁵
18	Ar	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶
19	K	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 4s ¹
17	Cl	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁵
18	Ar	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶
19	K	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 4s ¹
20	Ca	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 4s ²
21	Sc	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ¹ 4s ²
22	Ti	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ² 4s ²
23	V	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ³ 4s ²
24	Cr	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ⁵ 4s ¹
25	Mn	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ⁵ 4s ²
26	Fe	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ⁶ 4s ²
27	Co	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ⁷ 4s ²
28	Ni	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ⁸ 4s ²
29	Cu	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰ 4s ¹
30	Zn	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰ 4s ²
31	Ga	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰ 4s ² 4p ¹
32	Ge	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰ 4s ² 4p ²
33	As	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰ 4s ² 4p ³
34	Se	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁴
35	Br	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁵
36	Kr	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁶





6. Sagen Sie den größten und den kleinsten Radius in folgenden Reihen voraus und begründen Sie kurz Ihre Aussage:

Lösung:

- a) $\text{Se}^{2-} > \text{Br}^- > \text{Rb}^+ > \text{Sr}^{2+}$** Anionen haben größeren Radius
- b) $\text{Nb}^{5+} < \text{Zr}^{4+} < \text{Y}^{3+}$** Je höher die positive Ladung desto kleiner der Radius
- c) $\text{Co}^{4+} < \text{Co}^{3+} < \text{Co}^{2+} < \text{Co}$**
- d) $\text{Sb} > \text{P} > \text{Cl}$**

PERIODENSYSTEM DER ELEMENTE

The image shows the periodic table of elements. At the top center, the title 'PERIODENSYSTEM DER ELEMENTE' is displayed in large, bold, black letters. To the left, a vertical column labeled 'PERIODEN' lists the periods from 1 to 7. The table is divided into groups: Group 1 (IA), Group 2 (IIA), Groups 13-18 (IIIa-VA), and Group 18 (VIIIA). Each element cell contains its symbol, name, atomic number, and atomic mass. A central box highlights Boron (B) with its IUPAC symbol 'B', atomic number '13', relative atomic mass '10.811', and name 'BOR'. The table also includes a legend for element groups: IUPAC EMPFEHLUNGEN (1985) for groups IA-VA, and CHEMICAL ABSTRACT SERVICE (1986) for group VIIIA. The legend also defines the following terms: ORDNUNGSZAHL (ORDENUNGZAHL), ELEMENTSYMBOL, RELATIVE ATOMMASSE (1), and NAME DES ELEMENTES.

Copyright © 2017 Eni Generalić



www.periodni.com

(1) Atomic weights of the elements 2013,
Pure Appl. Chem., **88**, 265-291 (2016)

Lanthaniden															Actiniden				
57 138.91	58 140.12	59 140.91	60 144.24	61 (145)	62 150.36	63 151.96	64 157.25	65 158.93	66 162.50	67 164.93	68 167.26	69 168.93	70 173.05	71 174.97	89 (227)	90 232.04	91 231.04	92 238.03	93 (237)
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Ac	Th	Pa	U	Np
LANTHAN	CER	PRASEODYM	NEODYM	PROMETHIUM	SAMARIUM	EUROPIUM	GADOLINIUM	TERBIUM	DYSPROSIIUM	HOLMIUM	ERBIUM	THULIUM	YTTERBIUM	LUTETIUM	ACTINIUM	THORIUM	PROTACTINIUM	URAN	NEPTUNIUM

7. Wählen Sie die passende Antwort und begründen Sie diese kurz:

a) Der größte Radius: Na^+ , Ne , F^-

Anionen sind größer

b) Das größte Volumen: S^{2-} , Se^{2-} , Te^{2-}

Innerhalb der Gruppe steigt der Radius

c) Höchste Ionisierungsenergie: Na , **Mg**, Al

je größer das Element desto geringer I_e

Mg: letzter Elektron in einem **3s-Orbital** → stabil gefülltes s-Unterschale ($3s^2$).

Al: neues Elektron in einem **3p-Orbital** ($3s^23p^1$) → 3p ist energetisch höher und weniger stark gebunden als 3s.

d) Größter Energiebedarf, um ein Elektron zu entfernen: Fe , Fe^{2+} , **Fe** $^{3+}$

e) Höchste Elektronenaffinität nach Pauling: O , **F**, Ne

f) Kleinster Radius: Sc , Ti , **V**

innerhalb der Periode nimmt Kernladung zu

g) Das größte Volumen: **S** $^{2-}$, Ar , Ca^{2+}

h) Niedrigste Ionisierungsenergie: K , Rb , **Cs**

weniger Kernladung auf äußere Schalen

i) Höchste Elektronegativität: **N**, P , As

EN steigt von links → rechts und unten → oben

j) Höchste Elektronegativität nach Pauling: P , S , **Cl**, Ar

8. Trends im PSE

Kennzeichnen Sie die Trends mit „> oder <“

- | | | | |
|------------------------------|---------------------|---|---------------------|
| a) Ionenradius: | Cl^- | > | K^+ |
| b) Ionenradius: | Mg^{2+} | > | Al^{3+} |
| c) Gitterenergie: | AgF | > | AgI |
| d) Gitterenergie: | NaI | < | SrSe |
| e) Wärmeleitfähigkeit | C(Diamant) | > | Al |
| f) elektrische Leitfähigkeit | C(Diamant) | < | C(Graphit) |
| g) 1. Ionisierungsenergie | Ca | > | K |
| h) Härte nach Lewis | Mg^{2+} | > | Ca^{2+} |
| i) Löslichkeit in Wasser | AgF | > | AgI |
| j) Säurestärke | HCl | < | HBr |

Anorganische Experimentalchemie

7. Übung: Bindungstheorie, VB, MO

„Hab letztens einen Chemiewitz erzählt“.

„Keine Reaktion“

Konstruieren Sie zwei geeignete Coulsen-Fischer Orbitale.

Lösung:

$$A = a + \mu \cdot b \quad B = b + \mu \cdot a$$

Hauptmerkmale der Coulsen-Fischer-Orbitale:

1. **Linearkombination aus Atomorbitalen (LCAO):** Die Coulson-Fischer-Orbitale basieren auf der Methode der Linearkombination von Atomorbitalen, wobei die Molekülorbitale als gewichtete Summen der Atomorbitale dargestellt werden:

$$\Psi = c_1 \phi_A + c_2 \phi_B$$

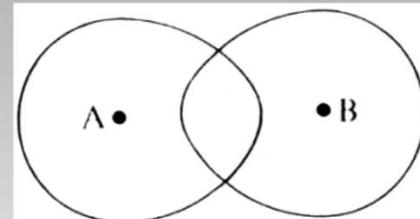
Hierbei sind ϕ_A und ϕ_B die Atomorbitale der beteiligten Atome, und c_1 und c_2 die Gewichtungsfaktoren.

2. **Maximale Überlappung:** Die Konstruktion der Coulson-Fischer-Orbitale erfolgt so, dass die Überlappung der beteiligten Atomorbitale maximiert wird. Dadurch wird eine stärkere chemische Bindung zwischen den Atomen im Molekül gefördert.
 3. **Optimierung der Bindung:** Die Methode berücksichtigt explizit die chemischen Bindungsverhältnisse im Molekül und passt die Koeffizienten (c_1, c_2) so an, dass die Elektronendichte in der Bindungsregion maximiert wird.
 4. **Anschauliche Darstellung der Bindung:** Diese Orbitale sind besonders nützlich, um Bindungseigenschaften in kleinen Molekülen (z.B. Wasserstoff oder Methan) zu analysieren und qualitativ zu verstehen.

↓

Coulson, Fischer (1949)

Goddard (1973) → GVB



$$A = a + \mu b \quad B = b + \mu a$$

$$a = b + \varphi_{1s}$$

$$\begin{aligned}\Psi^{\text{VB}} &= A(1)B(2) + A(2)B(1) \\ &= (1 + \mu^2) (a(1)b(2) + b(1)a(2)) + 2\mu(a(1)a(2) + b(1)b(2))\end{aligned}$$

$$\rightarrow \psi^{CF} = N(a(1)b(2) + b(1)a(2)) \\ + \lambda(a(1)a(2) + b(1)b(2))$$

Coulson-Fischer-Orbitale sind vor allem in der theoretischen Chemie von Bedeutung, da sie eine Brücke zwischen der formalen Quantenmechanik und der chemischen Anschauung schlagen. Sie wurden insbesondere in der Frühzeit der Quantenchemie verwendet, um das Konzept der chemischen Bindung in einfachen Molekülen besser zu verdeutlichen.

2. Welches sind die Valenzorbitale bei

- Hauptgruppen-Elementen
- Übergangsmetallen?

Lösung:

HG: s,p

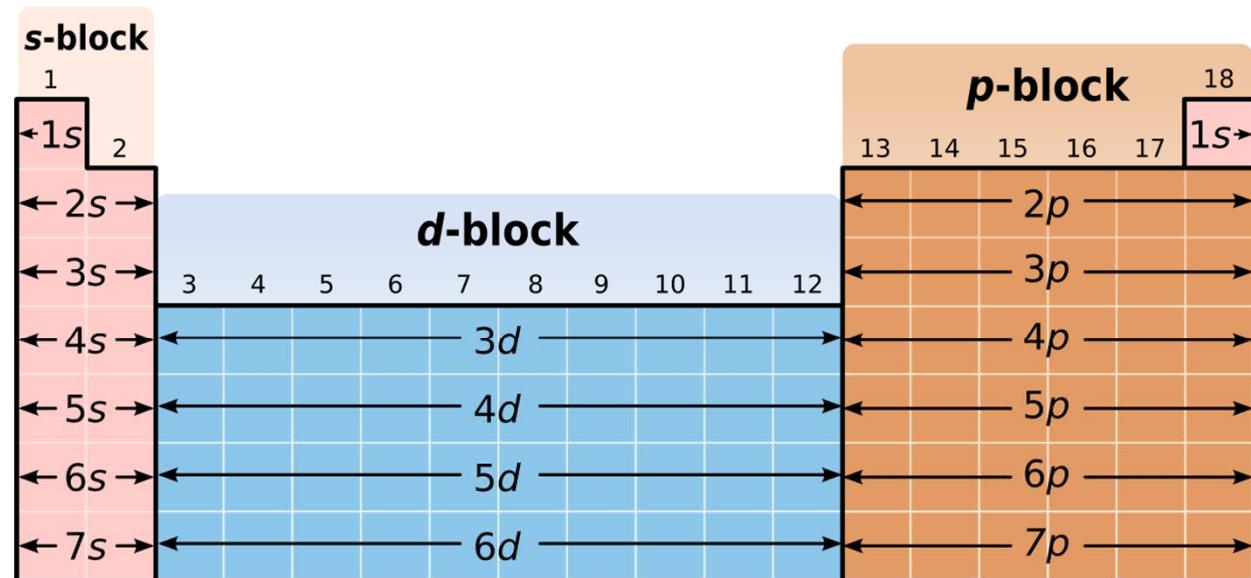
NG: s,d

3. Welche Orbitale dienen zur Polarisation bei

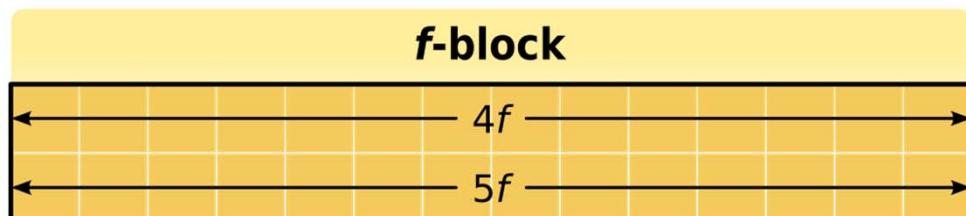
- Hauptgruppen-Elementen
- Übergangsmetallen?

HG: d

NG: p



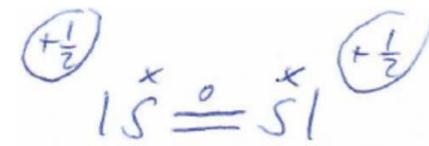
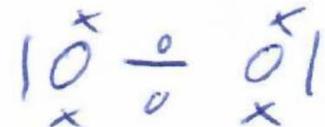
Orbital / Block	Anzahl Elektronen	umfasst Elemente der ...
s	2	Elemente der 1. und 2. Hauptgruppe sowie Helium
p	6	übrige Hauptgruppenelemente
d	10	alle Nebengruppenelemente
f	14	alle Lanthanoide und Actinoide



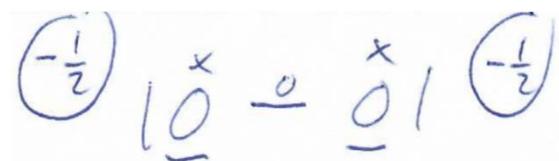
4. Zeichnen Sie je eine sinnvolle Lewis-Formel für den Grundzustand für:
 O_2 , B_2 und S_2^+ .

Lösung:

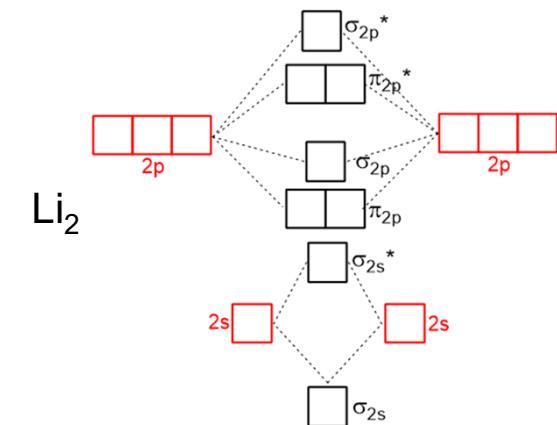
Unter Berücksichtigung des Spins !



O_2^- -Ion



5. Geben Sie die Bindungsordnungen an für:



Lösung:

$\frac{1}{2}$

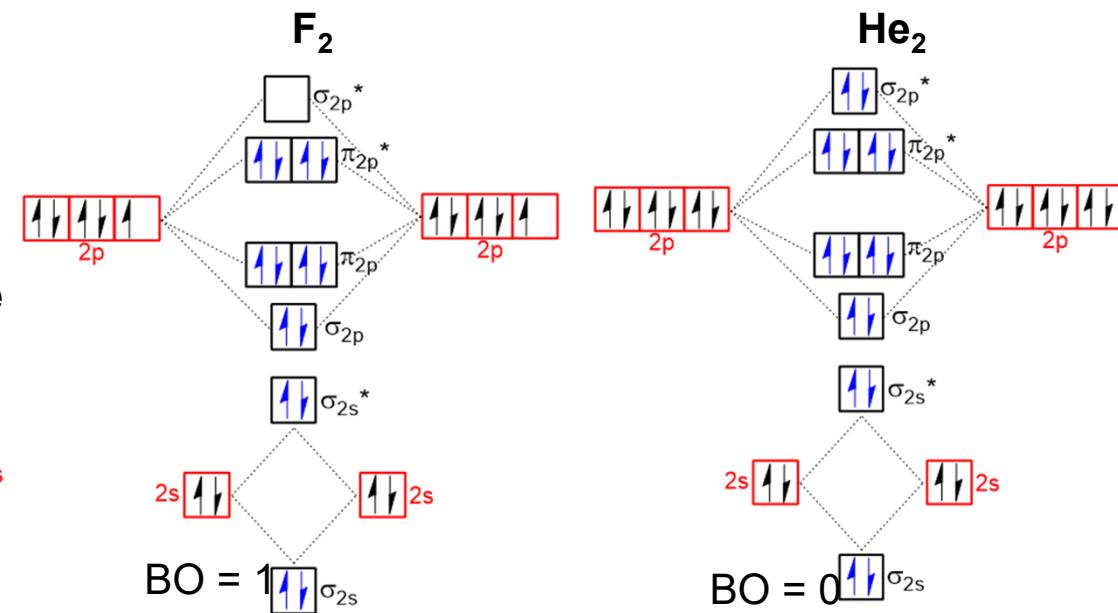
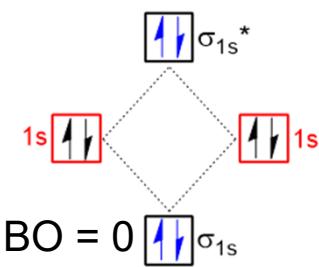
$\frac{1}{2}$

0

1

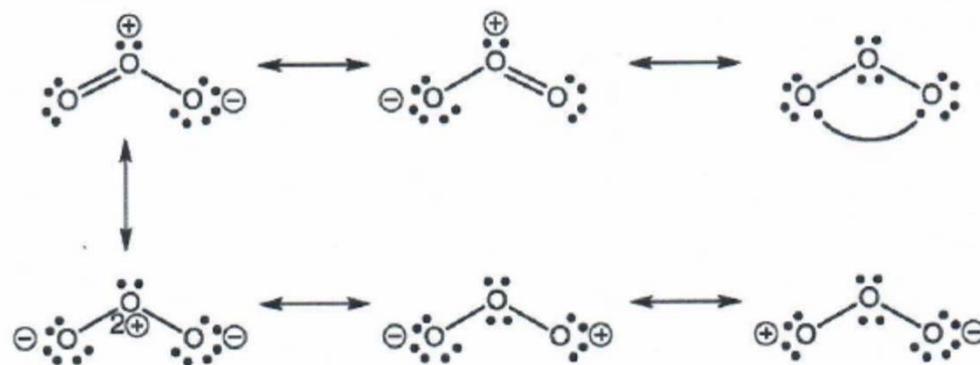
Bindungsordnung

- Zahl der effektiven Bindungen in einem Molekül
- (Bindende MO – Anti-bindende MO)

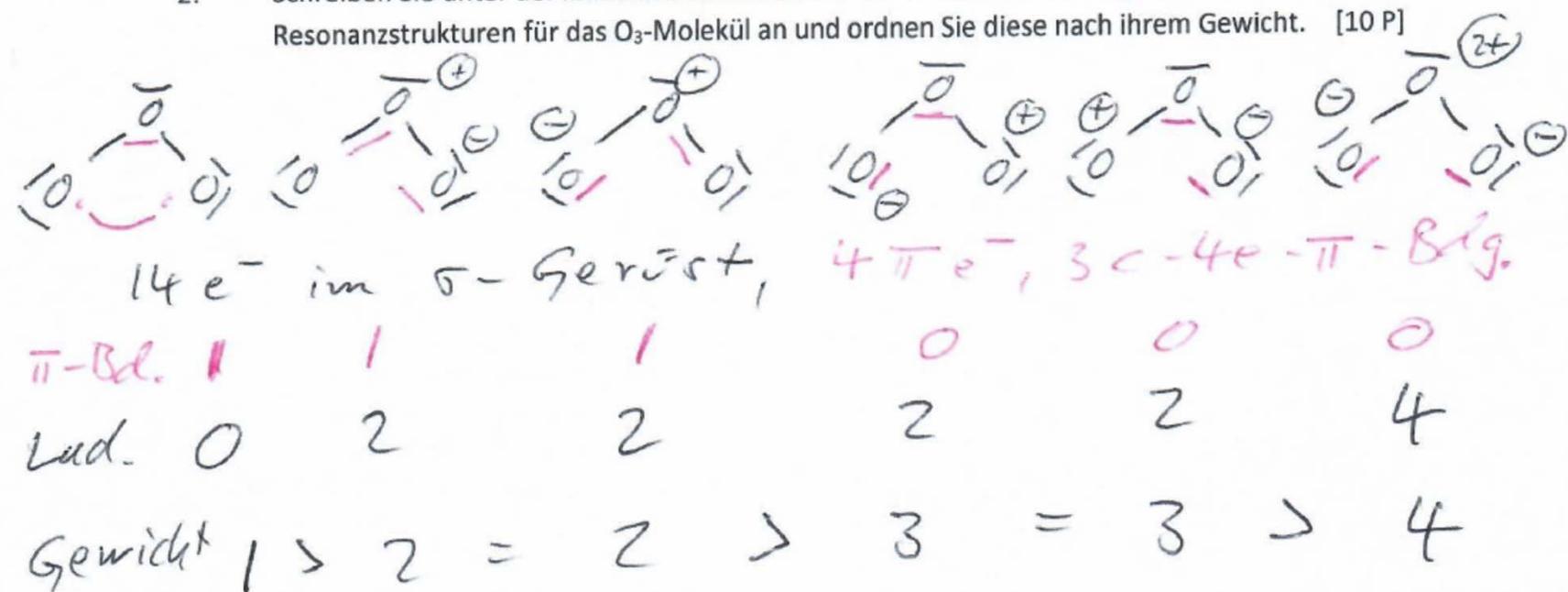


6. Schreiben Sie das komplette π -Resonanzschema für das Ozon-Molekül am (minimaler Basissatz).

Lösung:

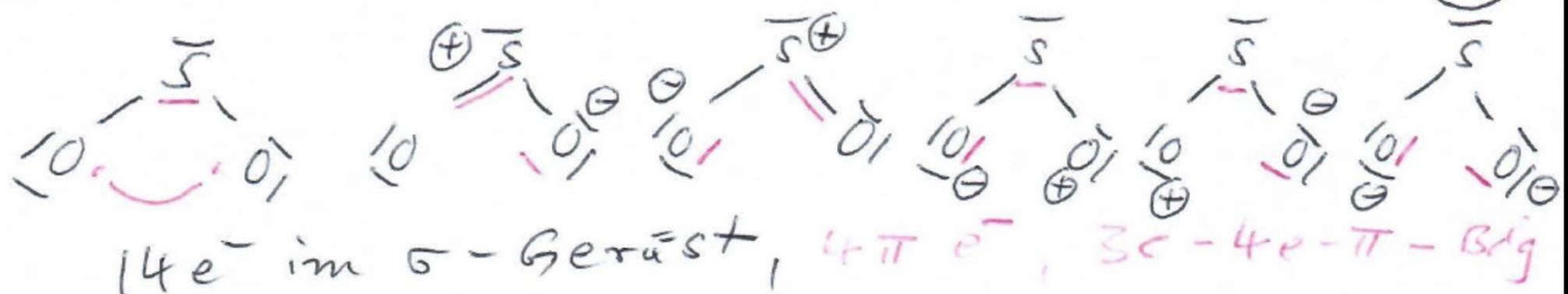


2. Schreiben Sie unter der Annahme eines minimalen Basissatzes alle möglichen π -Resonanzstrukturen für das O_3 -Molekül an und ordnen Sie diese nach ihrem Gewicht. [10 P]



Frage aus Altklausur

2. Schreiben Sie unter der Annahme eines minimalen Basissatzes alle möglichen π -Resonanzstrukturen für das SO_2 -Molekül an und ordnen Sie diese nach ihrem Gewicht. [10 P]



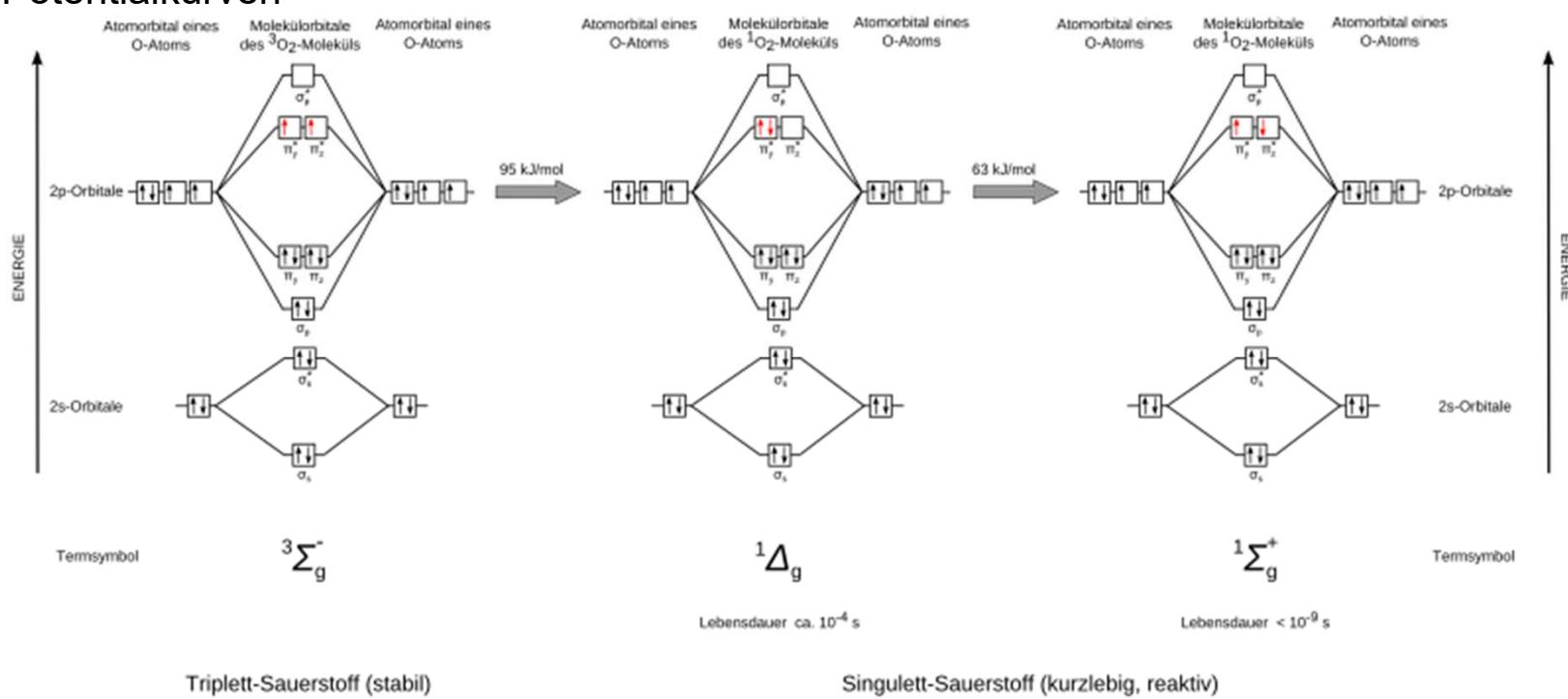
π -Brüge: 1 1 1 0 0 0
Zadungen 0 2 2 2 2 4
Gewicht = 1 > 2 = 2 > 3 = 3 > 4

7. Erklären Sie, warum beim O₂-Molekül im Grundzustand (³S_g) sowie im 1. angeregten Zustand (¹Δ_g) und im 2. angeregten Zustand (¹Σ_g⁺) die Bindungslängen nahezu identisch sind (1.2 Å).

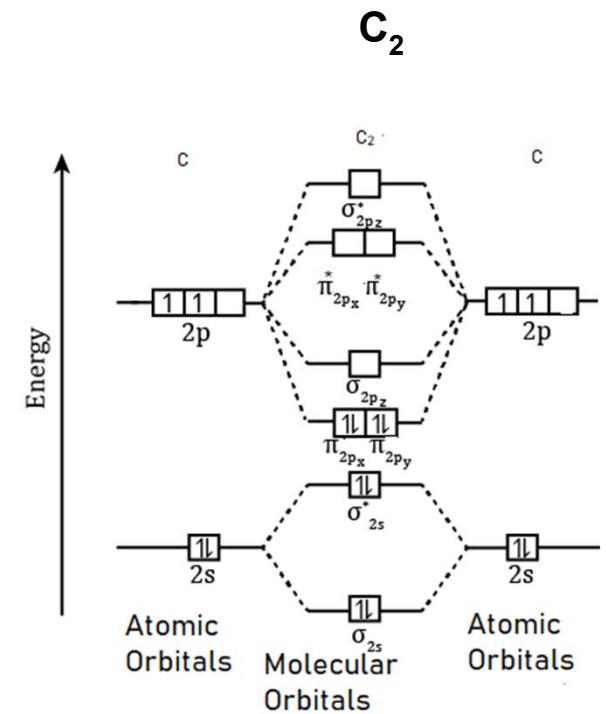
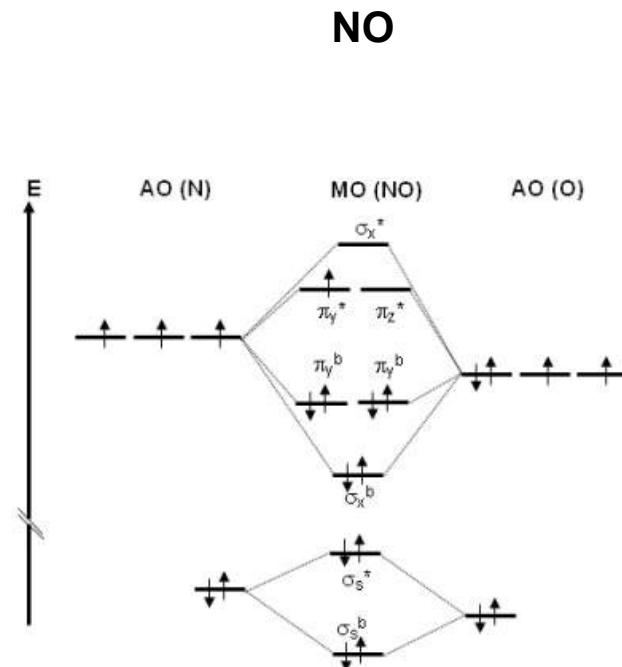
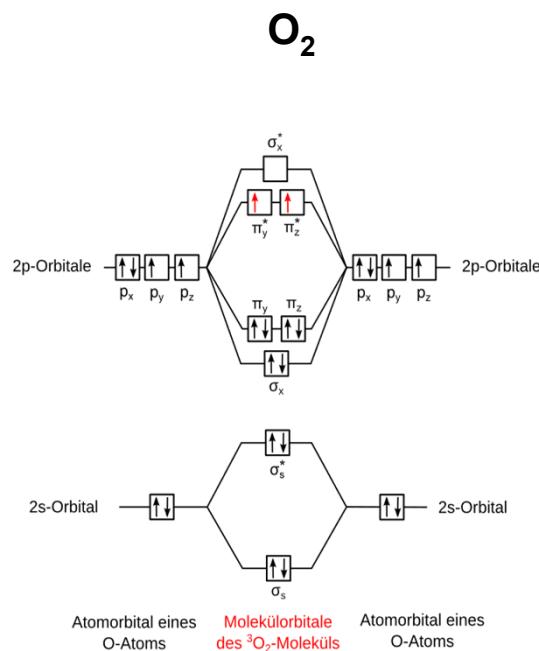
Lösung:

Für alle drei Zustände gilt $B_{MO} = (b-a) / 2 = 2$

Gleiche Minima der Potentialkurven

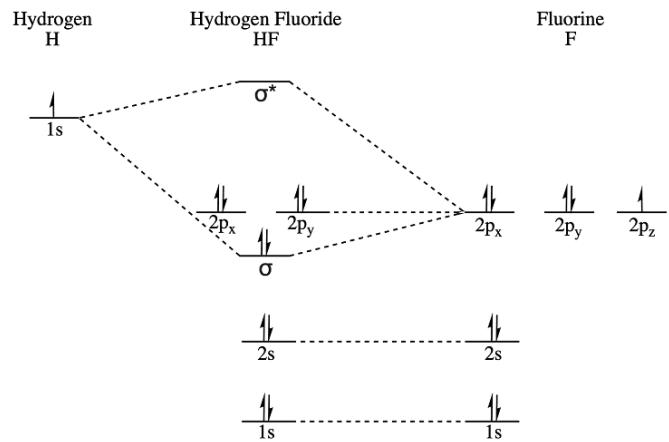


8. Zeichnen Sie die MO Diagramme von a) O₂ b) NO c) C₂

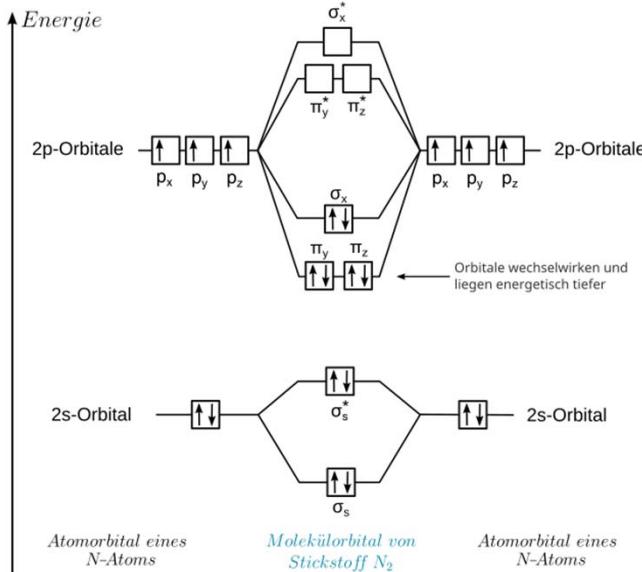


Weitere MO Diagramme

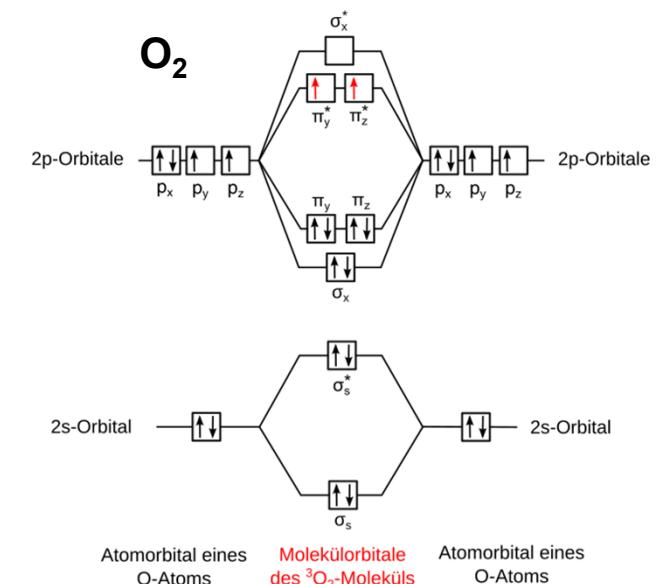
HF



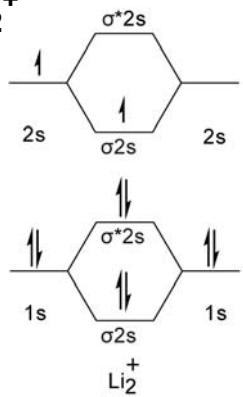
N₂



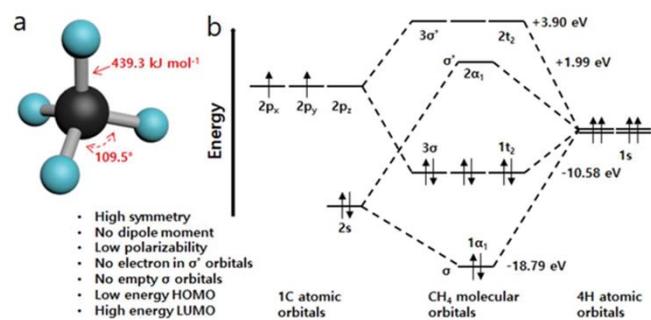
O₂



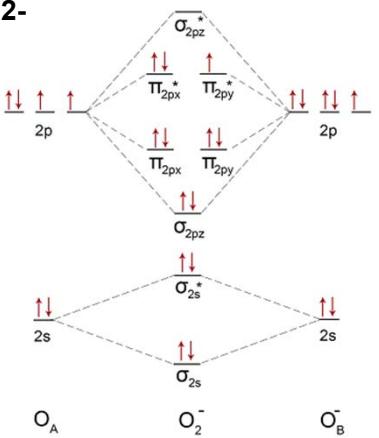
Li₂⁺



CH₄

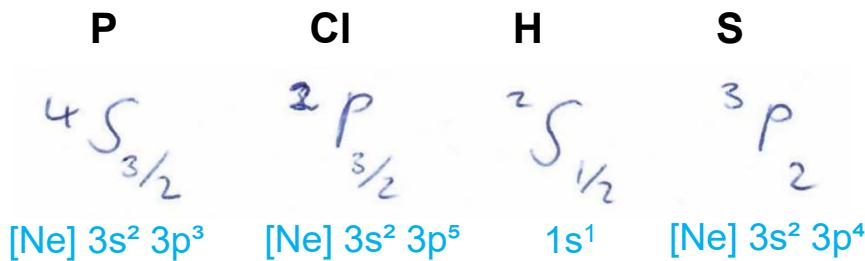


O₂²⁻



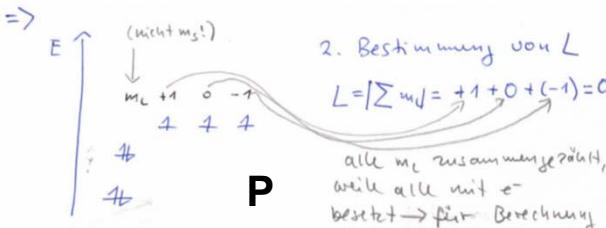
$2S+1 L_J$

9. Geben Sie nach der 3. Hund'schen Regel die Termsymbole im Grundzustand an für:



$L = 0$	1	2	3
S	P	D	F

L = Bahndrehimpuls
 J = Gesamtdrehimpuls
 $(L+S), (L+S-1), \dots L-S$



Schale weniger als halbvolle: $J = |L-S|$
 Schale weniger als halbvolle: $J = L+S$
 Schale genau halbvolle: $L = 0 \rightarrow J = S$

Erste Hundsche Regel

„Volle Schalen und Unterschalen haben den Gesamtdrehimpuls Null.“

Zweite Hundsche Regel

„Der Gesamtspin nimmt den maximal möglichen Wert an, die Spins der einzelnen Elektronen stehen also möglichst parallel.“

Dritte Hundsche Regel

https://acvorl.cup.uni-muenchen.de/site/assets/files/1001/bestimmung_von_termsymbolen.pdf

„Erlaubt das Pauli-Prinzip mehrere Konstellationen mit maximalem Gesamtspin S , dann werden die Unterzustände mit der Magnetquantenzahl m_l so besetzt, dass der **Gesamt-Bahndrehimpuls L maximal** wird,“

n	l	m_l	m_s	$\# e^-$	$\# e^- / Schale$
1	0	0	$\pm \frac{1}{2}$	2	2
2	0	0	$\pm \frac{1}{2}$	2	8
	1	-1, 0, 1	$\pm \frac{1}{2}$	6	
3	0	0	$\pm \frac{1}{2}$	2	18
	1	-1, 0, 1	$\pm \frac{1}{2}$	6	
	2	-2, -1, 0, 1, 2	$\pm \frac{1}{2}$	10	
4	0	0	$\pm \frac{1}{2}$	2	32
	1	-1, 0, 1	$\pm \frac{1}{2}$	6	
	2	-2, -1, 0, 1, 2	$\pm \frac{1}{2}$	10	
	3	-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3	$\pm \frac{1}{2}$	14	

Bestimmung der Termsymbole:

$$2s+1 L_J$$

$$S = |\sum m_S|$$

$$L = |\sum m_L|$$

- Schale weniger als halbvolle: $J = |L-S|$
- Schale mehr als halbvolle: $J = L+S$
- Schale genau halbvolle: $L=0$
 $\Rightarrow J = S \text{ (bzw. } |S|)$

Schale weniger als halbvolle: $J = |L-S|$

Schale weniger als halbvolle: $J = L+S$

Schale genau halbvolle: $L=0 \rightarrow J = S|$

Quantenzahlen

n

HQZ $n = 1, 2, 3, \dots$

- Größe des Orbitals
- Energie (vgl. Bohr)
- Gesamtkontenzahl: $n-1$

l

NQZ $l = 0, 1, 2, \dots, n-1$

- Gestalt des Orbitals
- Gesamtdrehimpuls
- l Knoten im Winkel (X) Teil

$$\underline{L^2} X_{l,m_L}(\vartheta, \varphi) = l(l+1)\hbar^2 X$$

m_L

MQZ $m_L = l, l-1, \dots, 0, \dots, -l$

- Orientierung des Orbitals im Raum

$$\underline{L_z} \Phi_{m_L}(\varphi) = m_L \hbar \Phi_z(\varphi)$$

m_s

SQZ $m_s = \pm \frac{1}{2}; \alpha, \beta; \uparrow, \downarrow$

Hauptquantenzahl (n)
Nebenquantenzahl (l)
Magnetische Quantenzahl (m_L)
Spinquantenzahl (m_s)

$$\underline{s^2} \chi_s = s(s+1)\hbar^2 \chi_s$$

$$\underline{s_z} \chi_s = m_s \hbar \chi_s$$

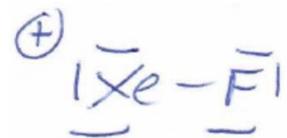
8. Übung:

Wasserstoff, Edelgase, Halogene

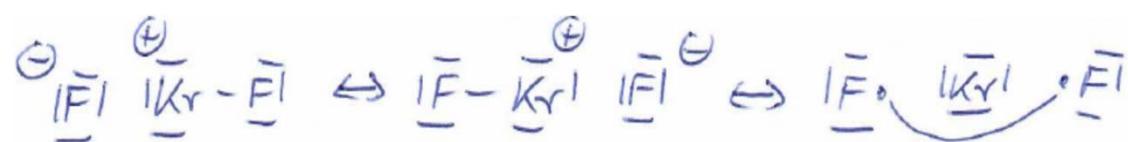
1. Formulieren Sie die Reaktionsgleichungen für

- a) die Knallgasreaktion:** $2 \text{ H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ H}_2\text{O}$
- b) das SMR-Verfahren (Steam-Reforming-Verfahren):** $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3 \text{ H}_2$
- c) das WGSR-Verfahren (water-gas-shift-reaction):** $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$
- d) Hydrolyse von Calciumhydrid:** $\text{CaH}_2 + 2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ H}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2$
- e) die Reaktion von Kalium in Wasser:** $2 \text{ K} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ KOH} + \text{H}_2$
- f) die Reaktion von Zink in verdünnter Salzsäure:** $\text{Zn} + 2 \text{ HCl} \rightarrow \text{H}_2 + \text{ZnCl}_2$

2. Zu welcher Interhalogenverbindung ist das Fluoroxenyl-Kation isoelektronisch?

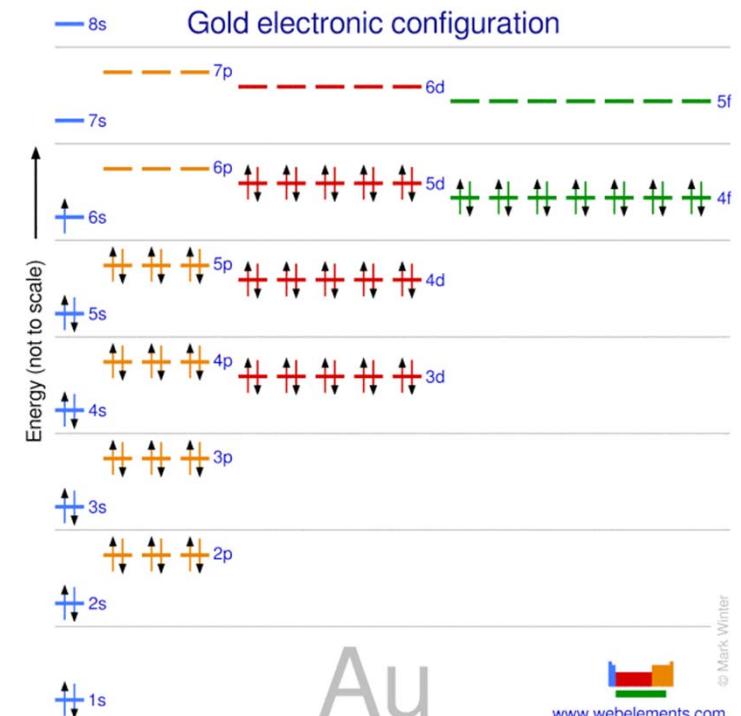


3. Schreiben Sie die drei wichtigsten mesomeren Resonanzstrukturen für KrF_2 an.



4. Welche neutralen binären Fluor-Verbindungen des Goldes kennt man?

AuF_1 , AuF_3 , AuF_5



5. Nennen Sie für F, Cl, Br, und I jeweils ein natürliches Vorkommen!

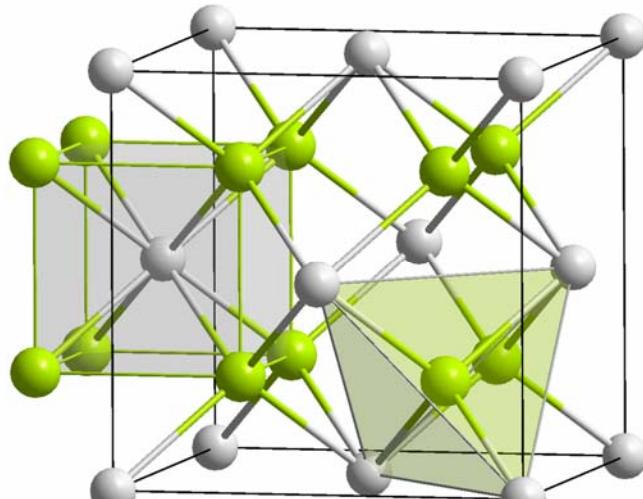
CaF_2

NaCl

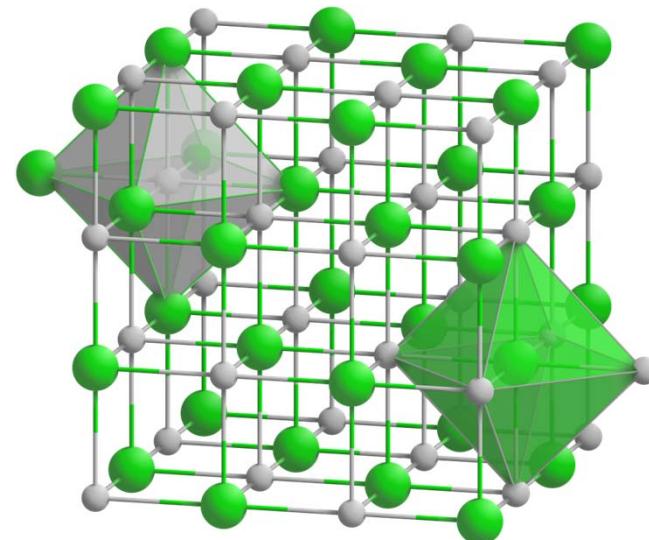
AgBr (Bromargyrit)

im Meerwasser als Bromid (z. B. MgBr_2)

Kaliumiodid (KI)



CaF_2



NaCl, AgBr, KI

6. Alle Halogene bilden Verbindungen der Formel HOX. Geben Sie die Struktur und den Namen der Verbindungen sowie die Oxidationszahl des jeweiligen Halogens an.

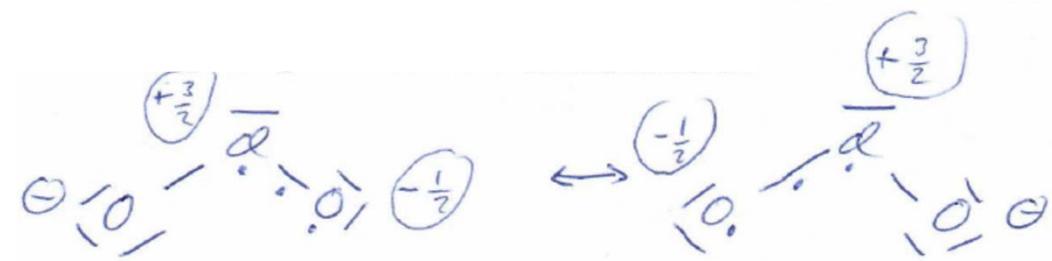
Lösung:

Struktur: gewinkelt

OZ:

HOF	Hypofluorige Säure	-1
HOCl	Hypochlorige Säure	+1
HOBr	Hypobromige Säure	+1
HOI	Hypoiodige Säure	+1

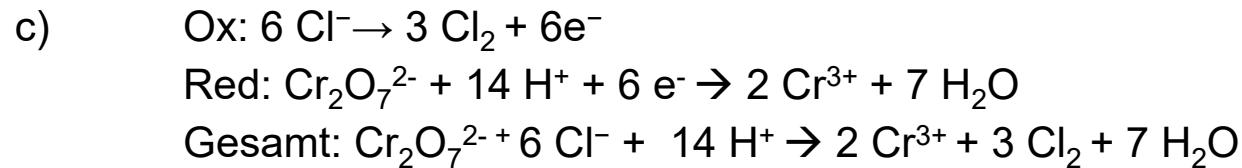
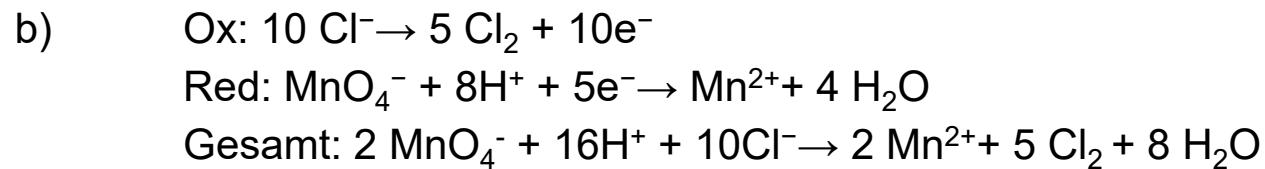
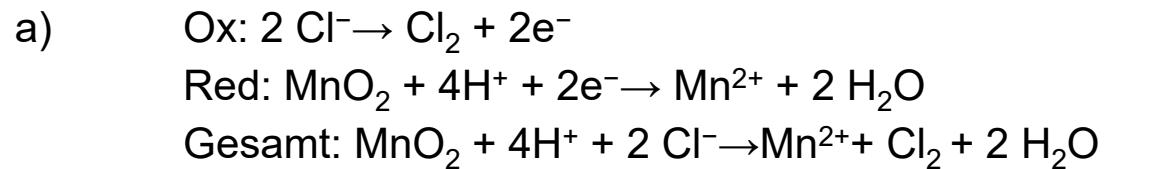
7. Schreiben Sie eine gute Lewis-Formel für das ClO_2 -Molekül an.



8. Formulieren Sie die Reaktionsgleichungen für die Synthese von Chlor aus Chlorid mit den folgenden Oxidationsmitteln im sauren Milieu!

- a) MnO_2
- b) MnO_4^-
- c) $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$

bei allen Reaktionen: Oxidation: $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$



9. Erhitzt man Kaliumchlorat(V) so entsteht KCl und KClO_4 .

(a) Formulieren sie die Reaktionsgleichung.



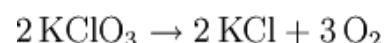
(b) Beschreiben Sie die Struktur des Perchlorat(VII)-Anions.

tetraedrisch

Erhitzen über den Schmelzpunkt



Beim Erhitzen über 550 °C zerfällt es komplett in Sauerstoff und Kaliumchlorid. Diese Zersetzung findet bei Zugabe von Mangandioxid (Braunstein) als Katalysator schon bei 150 bis 200 °C statt



10. Nennen Sie 3 Pseudohalogene.

–CN, –N₃, –OCN, –NCO, –CNO, –SCN, –NCS, –SeCN

Bromcyan Br-CN

Iodazid I-N₃

HCN (Blausäure)

Dicyan NC-CN

HNCO (Isocyansäure)

HCNO (Knallsäure)

HNCS (Isothiocyanäure)

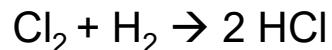
HN₃ (Stickstoffwasserstoffsäure)

- Es existieren zumeist Dimere
- Es existieren *Pseudohalogenwasserstoffsäuren*
- Die Salze AgX sind schwer löslich.
- In alkalischer Lösung kommt zur Disproportionierung
- Die Pseudohalogene bilden untereinander und mit den Halogenen

Verbindungen, die den Interhalogenverbindungen entsprechen

**11. Wie viel Gramm HCl Gas können sie maximal erhalten, wenn sie 20 g Chlorgas und 3 L Wasserstoffgas zur Reaktion bringen.
 Erstellen sie zuerst die Reaktionsgleichung. Wie kann die Reaktion gestartet werden?
 Skizzieren Sie den Energieverlauf ($\Delta_f H(HCl) = -92 \text{ kJ/mol}$)**

Lösung:



$$M(\text{Cl}_2) = 70,0 \text{ g/mol}, M(\text{H}_2) = 2,0 \text{ g/mol}, M(\text{HCl}) = 36,5 \text{ g/mol}$$

$$20 \text{ g Cl}_2 \text{ entsprechen } n = m/M = 0,28 \text{ mol}$$

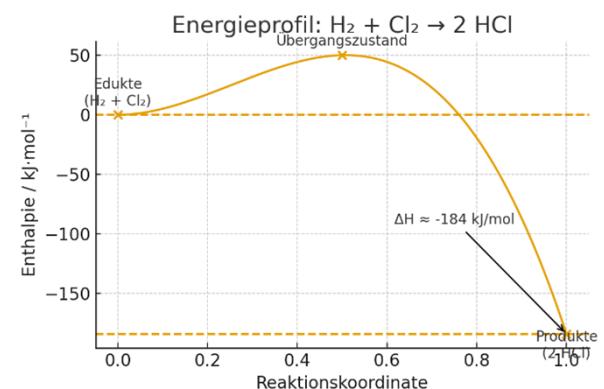
$$3 \text{ L H}_2 \rightarrow 0,134 \text{ mol } (3 \text{ L} / 22,4 \text{ L mol}^{-1})$$

$$\text{also maximal } 0,268 \text{ mol HCl}$$

$$m(\text{HCl}) = 0,268 \text{ mol} * 36,5 \text{ g/mol} = 9,78 \text{ g}$$

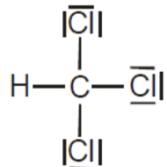
Reaktion kann z.B. mit Blitzlichtlampe oder Funken gestartet werden.

Von 0 kJ/mol mit Aktivierungsenergieberg zu $2 \times -92 \text{ kJ/mol}$.

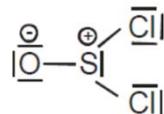


12. Zeichnen Sie die Valenzstrichformeln für folgende Moleküle einschließlich der Formalladungen und benennen diese.

a) HCCl_3

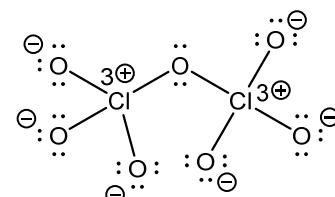


b) OSCl_2



Thionylchlorid

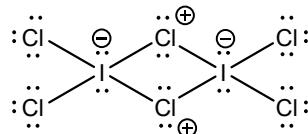
c) Cl_2O_7



Dichlorheptaoxid
(Perchlorsäureanhydrid)

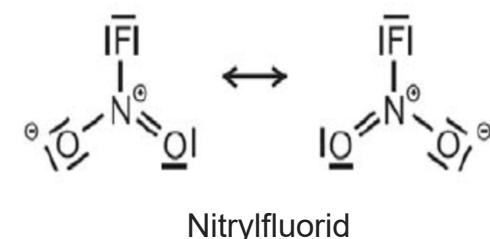
d) O_2NF (N-Atom ist Zentralatom)

e) Dimer von ICl_3



f) IF_7

Diiodhexachlorid



Nitrylfluorid

g) **Bromcyan**



lineares Molekül

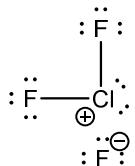
h) I_5^-



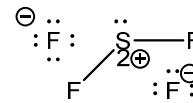
Pentaiodid-Anion, gewinkelt

Iodheptafluorid, Pentagonale Bipyramide,

i) ClF_3



Chlortrifluorid, T-förmig



Schwefeltetrafluorid, wippenförmig

j) SF_4

