

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

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

1. Spalte \uparrow \uparrow 2. Spalte

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

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

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)

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

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

Zahlenbeispiel

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

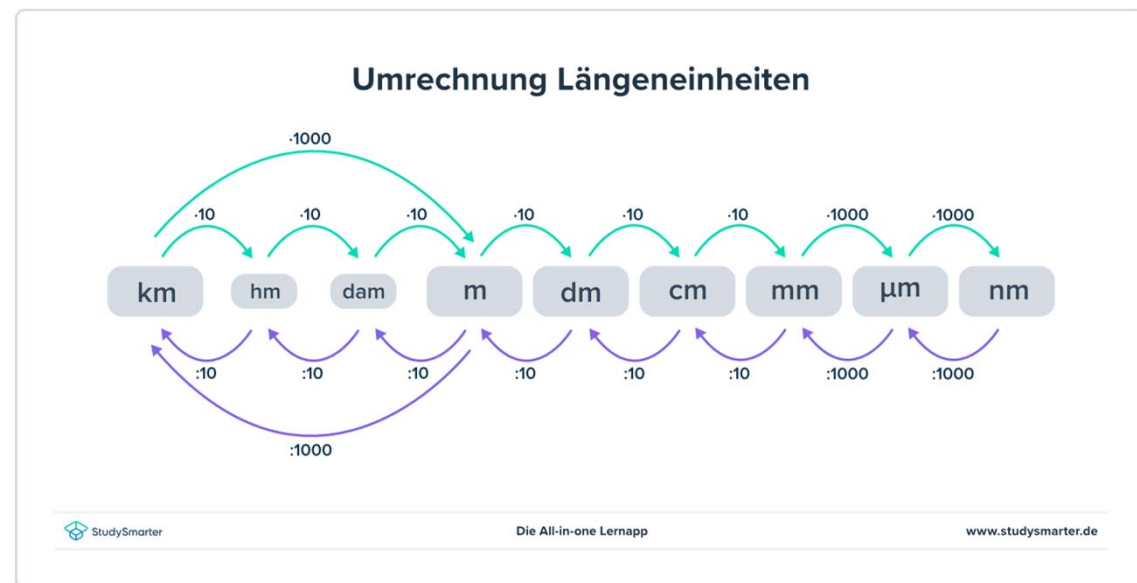
$$\det A = \underline{1 \cdot 4 \cdot 2} + \underline{2 \cdot (-1) \cdot 5} + \underline{3 \cdot (-2) \cdot 5} - \underline{3 \cdot 4 \cdot 5} - \underline{1 \cdot (-1) \cdot 6} - \underline{2 \cdot (-2) \cdot 2} = -84$$

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

Lösung:

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

Dezimal	Potenz	Präfix	Zeichen
0,000 000 000 000 001	10^{-15}	Femto	f
0,000 000 000 000 01	10^{-14}		
0,000 000 000 000 1	10^{-13}		
0,000 000 000 001	10^{-12}	Piko	p
0,000 000 000 01	10^{-11}		
0,000 000 000 1	10^{-10}		
0,000 000 001	10^{-9}	Nano	n
0,000 000 01	10^{-8}		
0,000 000 1	10^{-7}		
0,000 001	10^{-6}	Mikro	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:

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

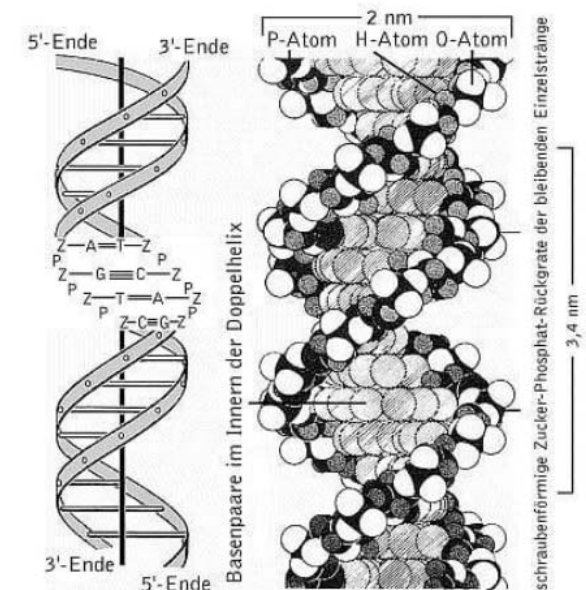
Gesamtzahl BP:

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

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 CO₂ und Kohlenmonoxid?

Zeichnen Sie eine Strukturformel dieser Verbindungen.

Lösung:

M(CO₂) = 44,0 g/mol; **m(CO₂) = 66,0 g**

M(CO) = 28,0 g/mol; **m(CO) = 42,00 g**



Atommasse in u (Durchschnittswert aus den natürlich vorkommenden Isotopen)

35,45

17

Cl ← Elementsymbol

Protonenzahl
= Kernladungszahl
= Ordnungszahl

Hauptgruppen								
Hauptgruppen-Name	Alkalimetalle	Erdalkalimetalle	Borgruppe	Kohlenstoff-Silicium-Gruppe	Stickstoff-Phosphor-Gruppe	Chalkogene	Halogene	Edelgase
Hauptgruppen (HG)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
IUPAC-Gruppe	1	2	16	14	15	16	17	18
Periode	1.01u	16,00u						4,00u
1.	H 1 Wasserstoff 1 2,2	O 8 Sauerstoff -2,-1 3,4						He 2 Helium -- --
2.	6,94u Li 3 Lithium 1 1,0	9,01u Be 4 Beryllium 2 1,6	10,81u B 5 Bor 2,0	12,01u C 6 Kohlenstoff -4...4 2,5	14,01u N 7 Stickstoff -3...5 3,0	16,00u O 8 Sauerstoff -2,-1 3,4	19,00u F 9 Fluor -1 4,0	20,18u Ne 10 Neon -- --
3.	22,99u Na 11 Natrium 1 0,9	24,31u Mg 12 Magnesium 2 1,3	26,98u Al 13 Aluminium 3 1,6	28,09u Si 14 Silicium 4 1,9	30,97u P 15 Phosphor ±3, 5 2,2	32,07u S 16 Schwefel ±2, 6 2,6	35,45u Cl 17 Chlor ±1 3,2	39,95u Ar 18 Argon -- --

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 = $n = m / M = 2000 \text{ g} / 12 \text{ g/mol} = 166,6 \text{ mol}$

Molekulare Masse Kohlenstoffdioxid:

$$M(\text{CO}_2) = 12,0 \text{ g/mol} + 16,0 \text{ g/mol} * 2 = 44,0 \text{ g/mol}$$

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

Standardbed. (SATP, 25°C): $V = n * V_{m\emptyset} = 166,6 \text{ mol} * 24,46 \text{ Liter/mol} = 4075 \text{ L}$

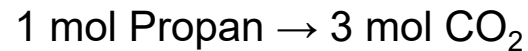
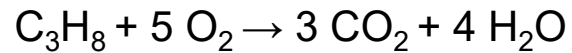
Bei höheren Temperaturen:

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

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



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.



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

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

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

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

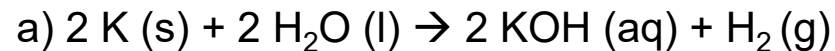
$$m(CO_2) = 17,045 \text{ mol} \cdot 44,0 \text{ g mol}^{-1} = 750 \text{ g} = \textcolor{red}{0,750 \text{ kg}}$$



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

- a) Stellen Sie die korrekte Reaktionsgleichung auf.**
- b) Welche qualitative Aussage über die Entropie dieser Reaktion können Sie treffen?**
- c) Berechnen Sie die molare Masse von Kaliumhydroxid?**
- d) 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) $5 \text{ g} / 39,1 \text{ g/mol} = 0,128 \text{ mol} \rightarrow 0,064 \text{ mol Wasserstoff} * 22,4 \text{ L} = 1,43 \text{ L}$

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: $T\Delta S < 0$

Rubidium und Cesium in Wasser:

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

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

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

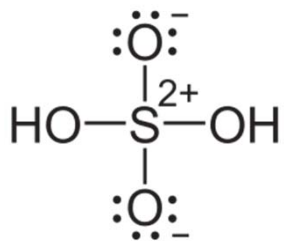
9. Wie schwer ist ein halber Liter 100% Schwefelsäure der Dichte 1.84 g/cm³?
Wieviel mol H₂SO₄ sind enthalten?

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

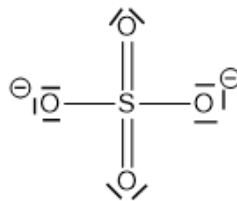
$$1840 \text{ g} \cdot 0.5 = \mathbf{920 \text{ g}}$$

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

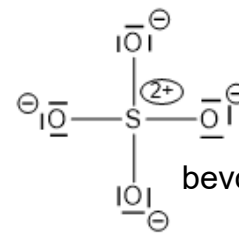
$$n = m / M = 920 \text{ g} / 98.1 \text{ g/mol} = \mathbf{9.38 \text{ mol}}$$



Schwefelsäure



Formel I

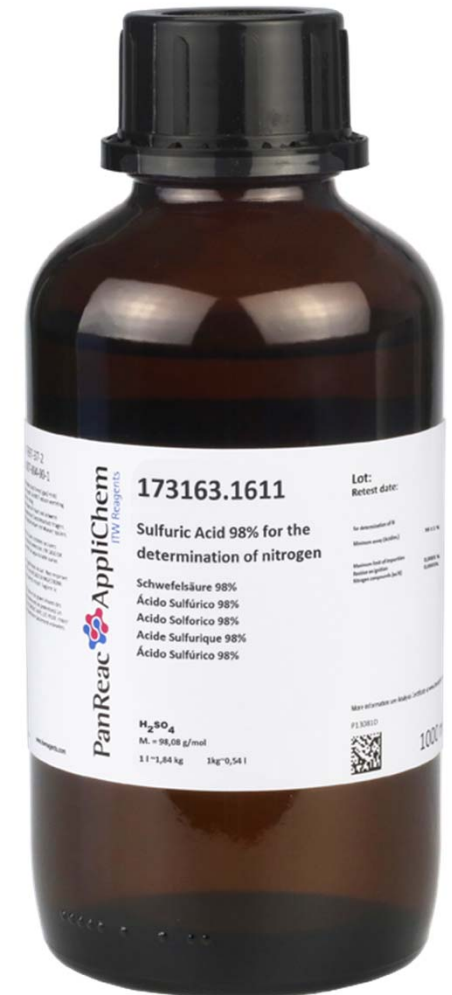


Formel II

bevorzugte Schreibweise

Sulfat-Anion

Formel I: Oktettüberschreitung



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

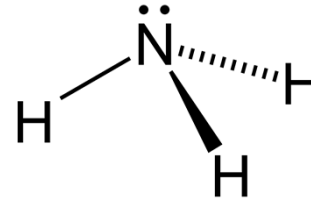
1 Liter Ammoniak wiegen 906 g

25% von 906 g sind NH₃ = 226,5 g

M(NH₃) = 17,0 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

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

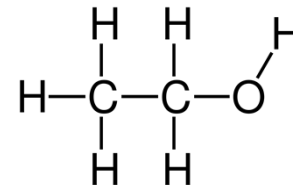
$$V = V_2 - V_1 = 87,5 \text{ mL}$$

Alternativ:

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

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

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



Strukturformel von Ethanol

12. Welche Konzentration hat 70%(v/v) Ethanol (C₂H₆O)? 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

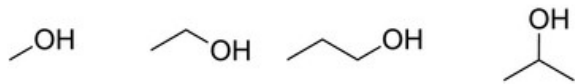
$M(\text{Ethanol, C}_2\text{H}_6\text{O}) = 2 \cdot 12,0 \text{ g/mol} + 6 \cdot 1,0 \text{ g/mol} + 1 \cdot 16,0 \text{ g/mol} = 46 \text{ g/mol}$

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

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:



Methanol	Ethanol	Propanol	Isopropanol
Methyl alcohol	Ethyl alcohol	Propyl alcohol	Isopropyl alcohol
MeOH	EtOH	PrOH	iPrOH
Methanol	Ethanol	Propan-1-ol	Propan-2-ol
CH ₃ OH	CH ₃ CH ₂ OH	CH ₃ CH ₂ CH ₂ OH	CH ₃ CHOHCH ₃
CH ₄ O	C ₂ H ₆ O	C ₃ H ₈ O	C ₃ H ₈ O



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

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

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

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

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

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

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

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

2. Mathematik, Basics, Integrale

Berechnen Sie die folgenden bestimmten Integrale.

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

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

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

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

3. Erläutern sie:

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

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

Lösung:

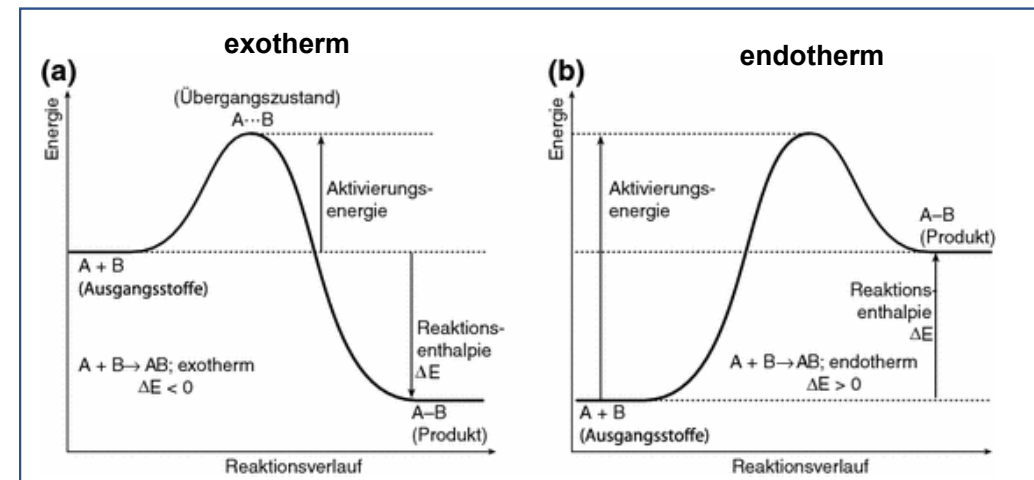
a) $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$

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

$\Delta G > 0$: endergonisch

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

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



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

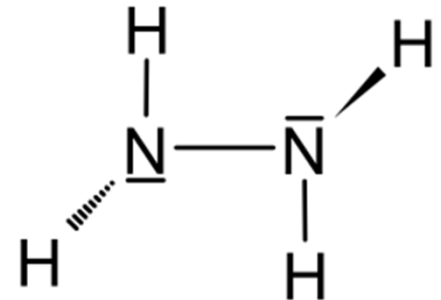


Lösung:

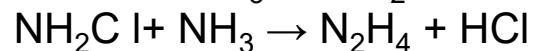
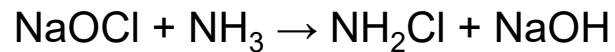
$$M(\text{N}_2\text{H}_4) = 2 \cdot 14,0 \text{ g mol}^{-1} + 4 \cdot 1,0 \text{ g mol}^{-1} = 32,0 \text{ g mol}^{-1}$$

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

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



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:

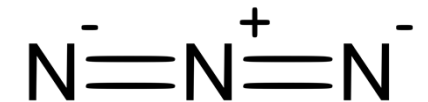
$$\text{a) } M(\text{N}_2) = 2 \cdot 14,0 \text{ g mol}^{-1} = 28,0 \text{ g mol}^{-1}$$

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

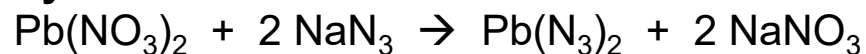
Bildung von 3 mol N_2 : - 42,7 kJ

Bildung von 53,54 mol N_2 : - 42,7 kJ · 53,57 mol / 3 mol = -762,5 kJ

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

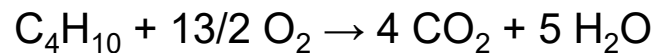


Synthese Bleiazid:



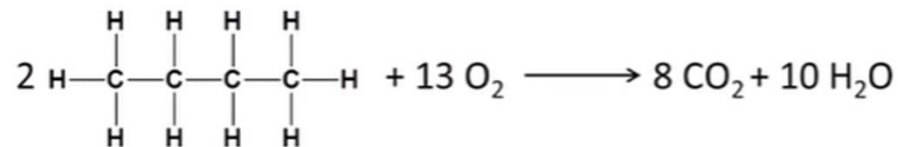
6. Butangas (C_4H_{10} , $\Delta_f H = -126 \text{ kJ mol}^{-1}$) verbrennt mit Sauerstoff zu Kohlendioxid ($\Delta_f H (\text{CO}_2(\text{g})) = -393 \text{ kJ mol}^{-1}$), und Wasserdampf $\Delta_f H (\text{H}_2\text{O}(\text{g})) = -242 \text{ kJ mol}^{-1}$. $R = 8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

a) Formulieren Sie die korrekte Reaktionsgleichung!



b) Wie hoch ist die Reaktionsenthalpie?

$$\begin{aligned} \Delta_R H &= \text{Summe Bildungsenthalpie Produkte} - \text{Summe Bildungsenthalpie Edukte} = \\ &[4 \cdot (-393) + 5 \cdot (-242)] - [1 \cdot (-126) + 13/2 \cdot (0)] = -2656 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

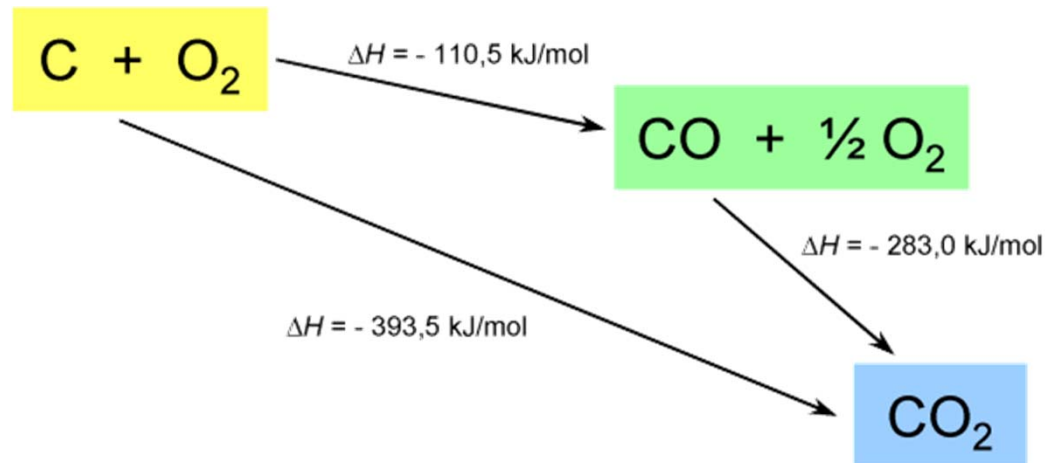


Strukturformel von Butan

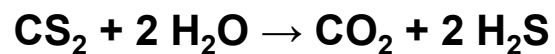
7. Was beschreibt der Satz von Hess?

Lösung:

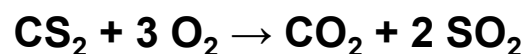
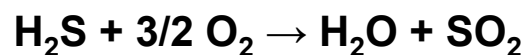
z.B. Der Satz von Hess besagt, dass der Weg einer chemischen Reaktion keinen Einfluss auf die Reaktionsenthalpie der Gesamtreaktion hat. Die Reaktionsenthalpie der Gesamtreaktion ist somit auch von der Anzahl der Teilreaktionen unabhängig. Die Enthalpieänderung der gesamten Reaktion ist die Summe der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



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



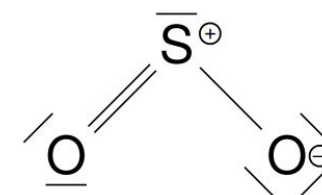
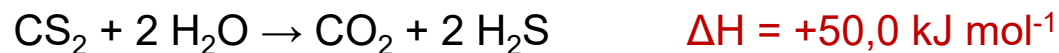
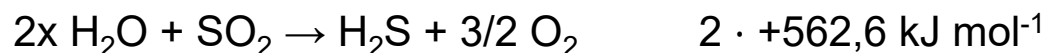
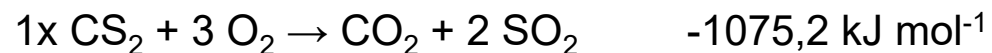
mit Hilfe der Gleichungen:



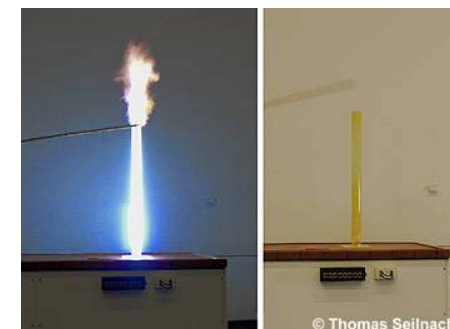
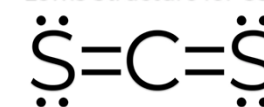
$$\Delta_R H = -562,6 \text{ kJ mol}^{-1}$$

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

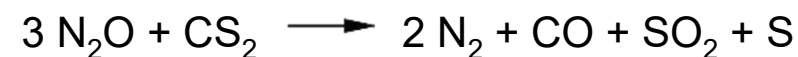
Lösung:



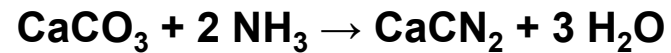
Lewis Structure for CS₂



Versuch: Bellender Hund



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



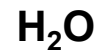
$$\Delta_R H^\circ = +90,1 \text{ kJ mol}^{-1}$$



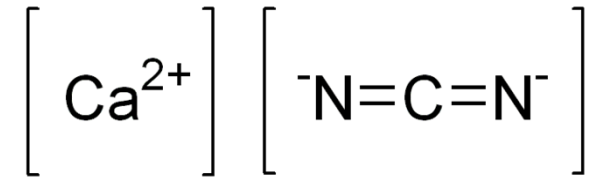
$$\Delta_f H^\circ = -1206,3 \text{ kJ mol}^{-1}$$



$$\Delta_f H^\circ = -46,19 \text{ kJ mol}^{-1}$$



$$\Delta_f H^\circ = -241,8 \text{ kJ mol}^{-1}$$



Lösung:

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

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

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

$$815,5 \text{ kJ mol}^{-1} \qquad \qquad \qquad + (-1298,68 \text{ kJ mol}^{-1})$$

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

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) Standardbedingungen

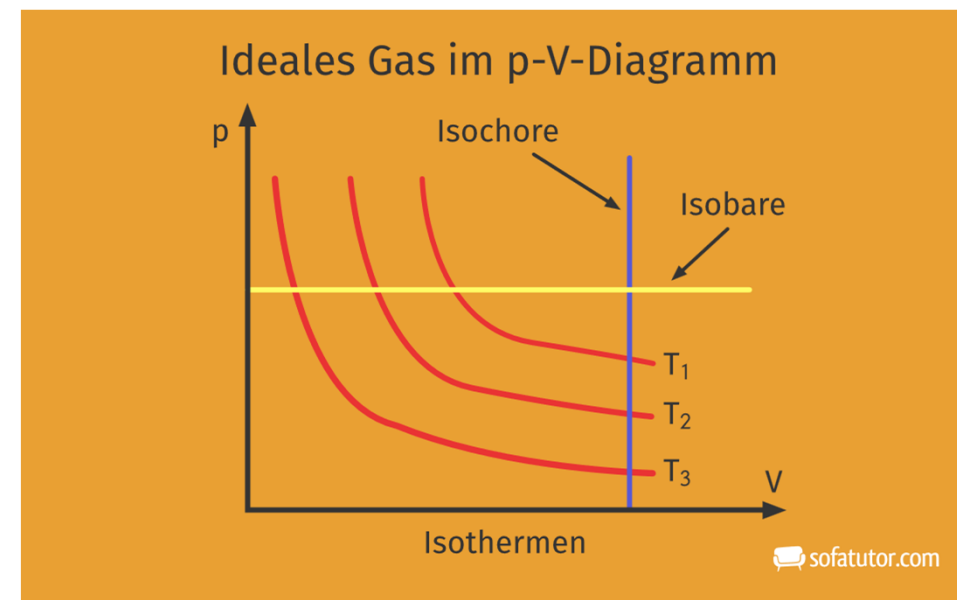
$$V_m = 24,4 \text{ mol/L} \rightarrow n = 0,8 \text{ L} / 24,4 \text{ mol/L} = 0,0328 \text{ mol}$$

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

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 Erhöhung	
		...der Temperaturder Konzentration an
(1) $C + H_2O \rightleftharpoons CO + H_2$	+ 175,4	\longrightarrow	$H_2O \longrightarrow$
(2) $N_2 + 3 H_2 \rightleftharpoons 2 NH_3$	- 92,0	\longleftarrow	$H_2 \longrightarrow$
(3) $CO + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2$	- 2,9	\longleftarrow	$CO \longrightarrow$
(4) $CO_2 + C \rightleftharpoons 2 CO$	+ 172,4	\longrightarrow	$CO \longleftarrow$

Kohlevergasung

Haber-Bosch-Verfahren

Wassergas-Shift-Reaktion

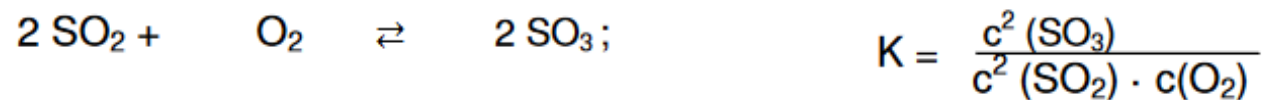
Boudouard-Gleichgewicht

2. Massenwirkungsgesetz und Gleichgewichtskonstante

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

Lösung:

a) Schwefeldioxid wird durch Luftsauerstoff zu Schwefeltrioxid oxidiert.



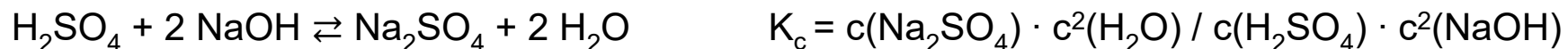
b) Schwefeltrioxid addiert sich an H_2SO_4 zu Dischwefelsäure.



c) Dischwefelsäure wird hydrolisiert zu Schwefelsäure.



d) Schwefelsäure wird durch 2 Äquivalente Natriumhydroxid neutralisiert.

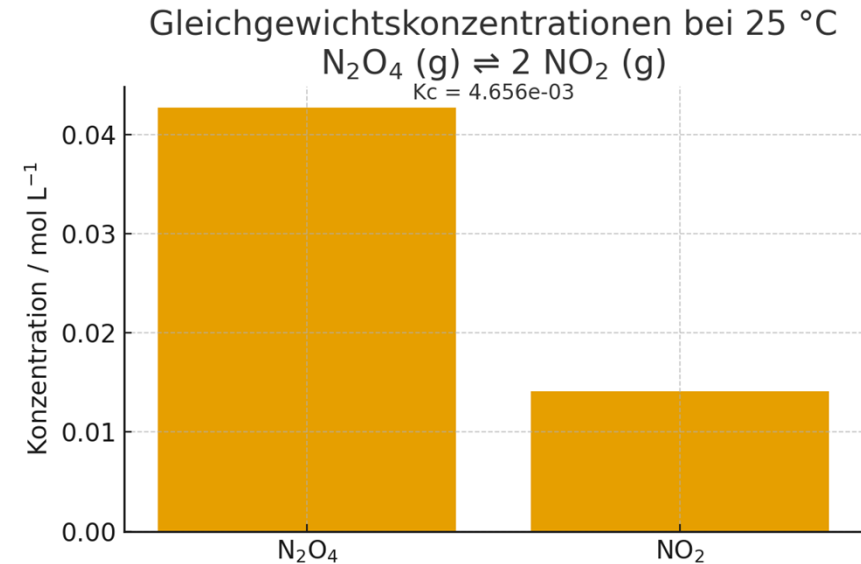


3. Für die Reaktion $\text{N}_2\text{O}_4 (\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NO}_2 (\text{g})$ wurden bei 25°C folgende Konzentrationen für ein im Gleichgewicht befindliches Gemisch gefunden:

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

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

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.

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

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

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

Lösung:

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

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

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

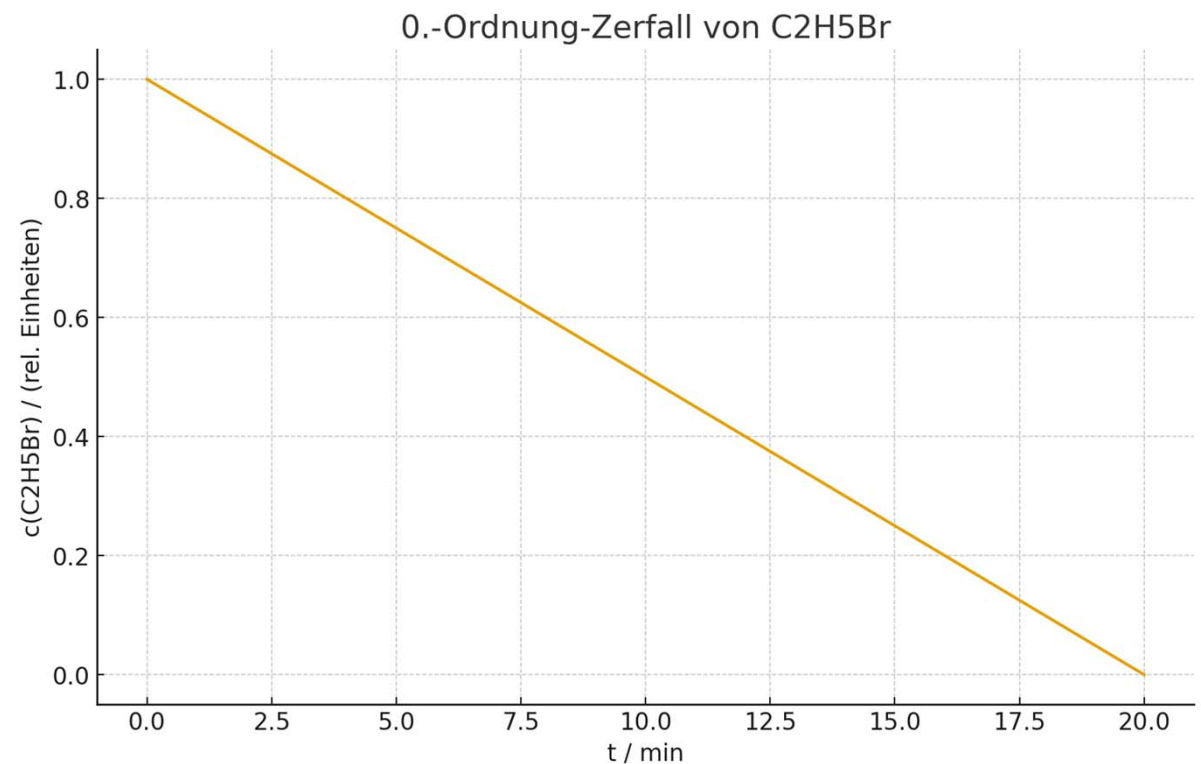
$$\rightarrow n(t) = 1,0 \text{ mol} - t \cdot 0,05 \text{ min/mol}$$

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

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

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

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



5. Die Halbwertszeit des radioaktiven Zerfalls von ^{14}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?

a = Jahr

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

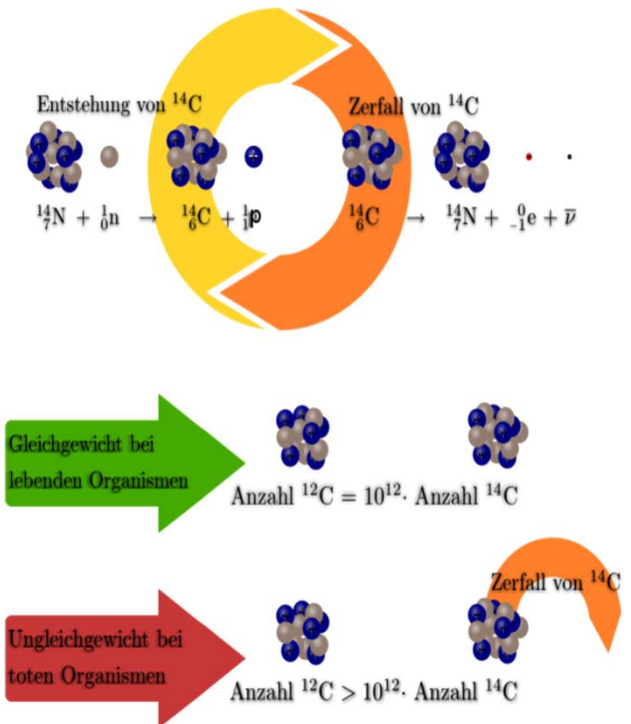
$$[^{14}\text{C}] = [^{14}\text{C}]_0 e^{-k t} \rightarrow \ln \frac{[^{14}\text{C}]}{[^{14}\text{C}]_0} = -k t \rightarrow \ln \frac{[^{14}\text{C}]_0}{[^{14}\text{C}]} = k t$$

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

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

logarithmische Integrationsregel

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

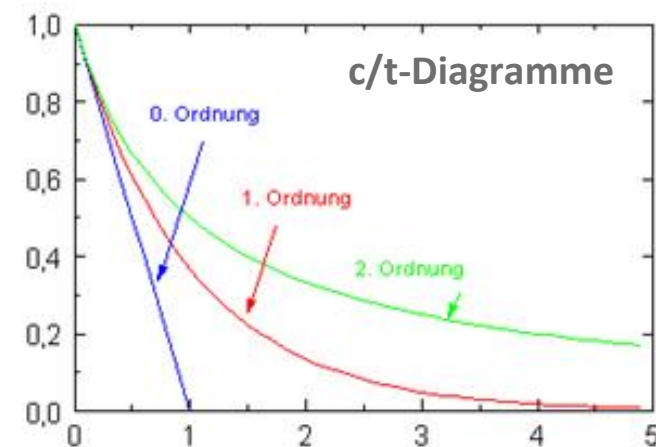


6. Wir betrachten erneut eine Reaktion erster Ordnung. Anfangskonzentration = 0,5 mol. Halbwertszeit = 40s. Welche Konzentration liegt nach 70 s vor?

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

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

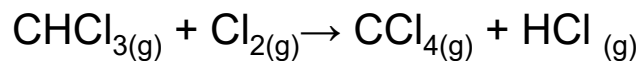
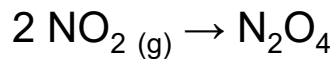
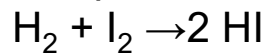
- Die Stoffmengenabnahme ist anfangs groß, dann allmählich abnehmend (exponentielle Abklingkurve).
- Die Reaktionsgeschwindigkeit ist direkt proportional zur Konzentration eines Stoffes
- Die Reaktionszeit ist unabhängig von der Ausgangskonzentration
- Beispiel: $2 \text{ N}_2\text{O}_5(\text{g}) \rightarrow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



2. Ordnung

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

Beispiele:



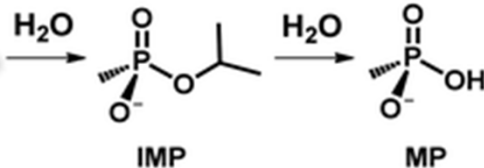
1 ½. Ordnung

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

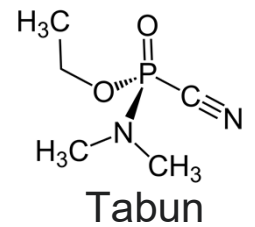
Reaktionsgeschwindigkeit nichtlinear und möglicherweise durch eine Mischung verschiedener Mechanismen definiert.

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

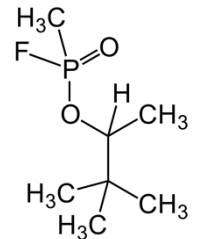
Lösung: Geschwindigkeit: alkalisch > sauer > neutral



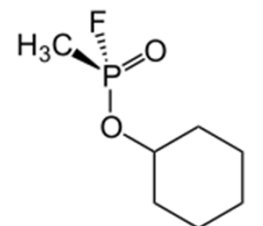
Phosphonsäureester
(oft Giftgase)



G-Reihe
German, IG Farben

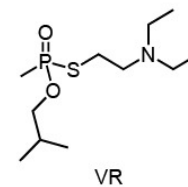
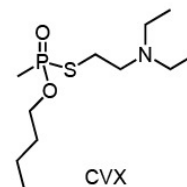
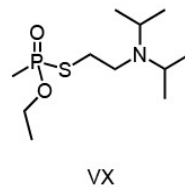


Soman

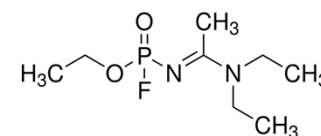
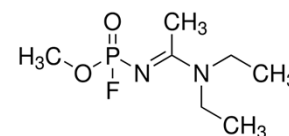
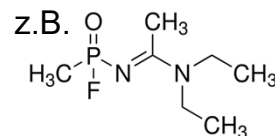


Cyclosarin

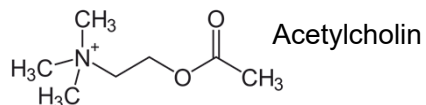
V-Reihe „venom(ous)“ („giftig“)
(ca. 5-mal so giftig wie G Reihe)



Nowitschok-Kampfstoffe (A-Agents)



Cholinesteraseinhibitor



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

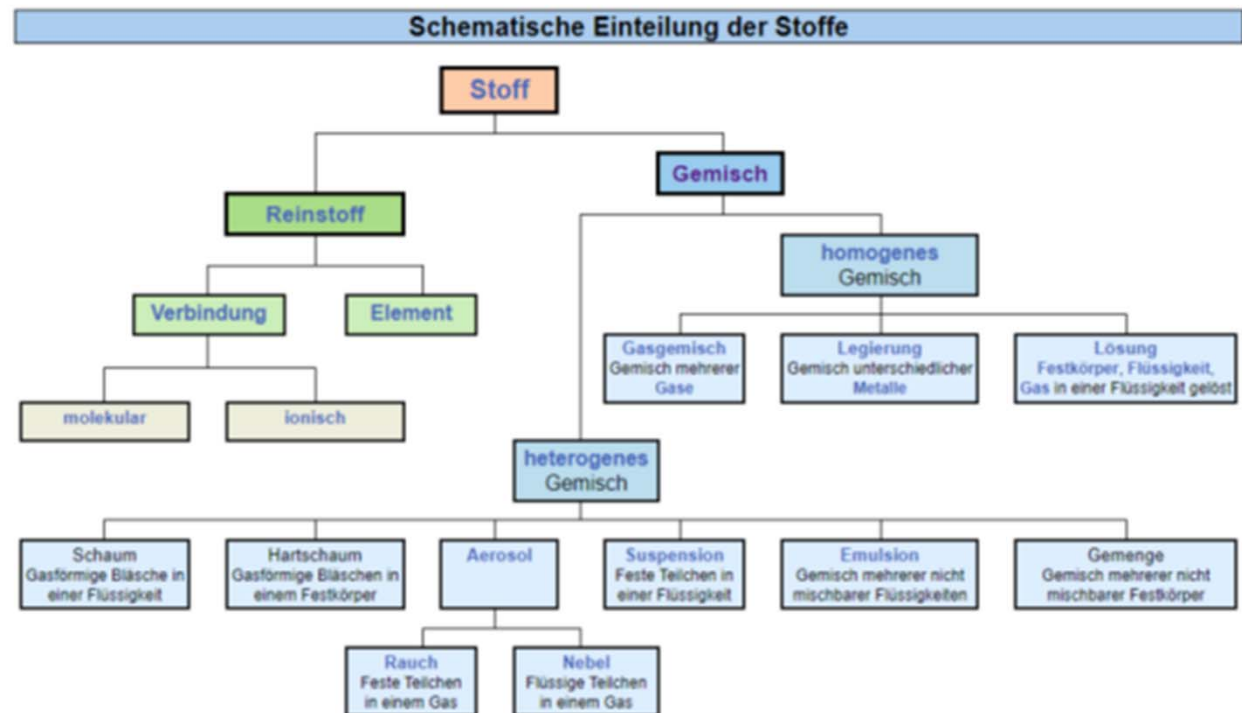
8. Wie nennt man ein heterogenes Gemisch, das aus

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

b) aus 2 nichtmischbaren Flüssigkeiten **Emulsion**

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

besteht?



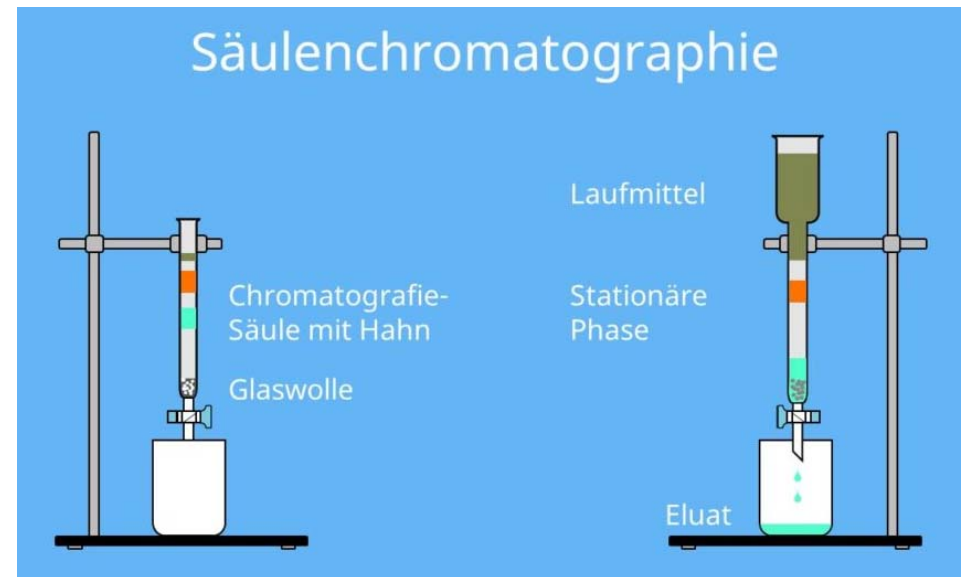
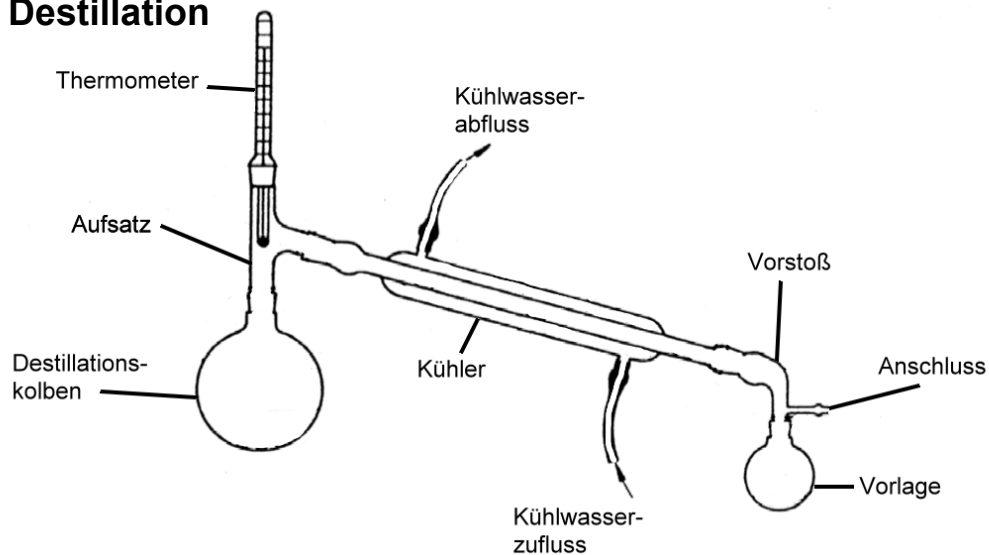
9. Nennen Sie zwei Methoden mit denen man ein homogenes Gemisch trennen kann und die dazugehörige physiko-chemische Eigenschaft auf der die Trennung basiert.

z.B. Destillation (Siedepunkt, Dampfdruck)

Chromatographie (Polarität)

fraktionierte Kristallisation (Löslichkeit, Kristallisationsenthalpie)

Destillation



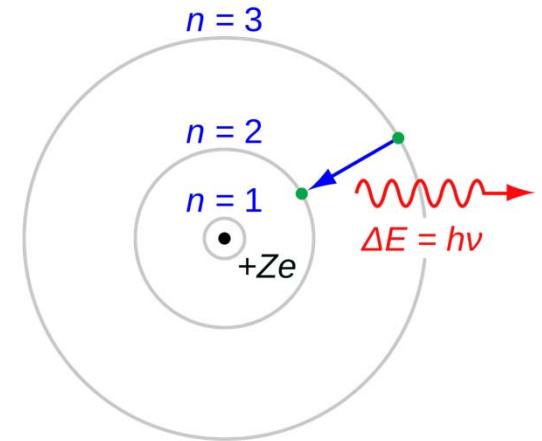
fraktionierte Kristallisation: zB. Temperaturabhängigkeit der Löslichkeit KNO_3 und NaCl (z. B. 1:1 Masseverhältnis)

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.

$$x = 2$$

$$y = -2$$



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

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

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


$$\Rightarrow \frac{mn^2h^2}{r4\pi^2m^2r^2} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad \Rightarrow \quad r = \frac{n^2h^2\epsilon_0}{\pi me^2}$$

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

Lichtquanten

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

1900, Planck:



Max Planck (1858-1947)

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

$$c = \lambda\nu$$

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

11. Welche Flammenfarben erwarten Sie für:

(a) Na **gelb**

(b) Ba **grün**

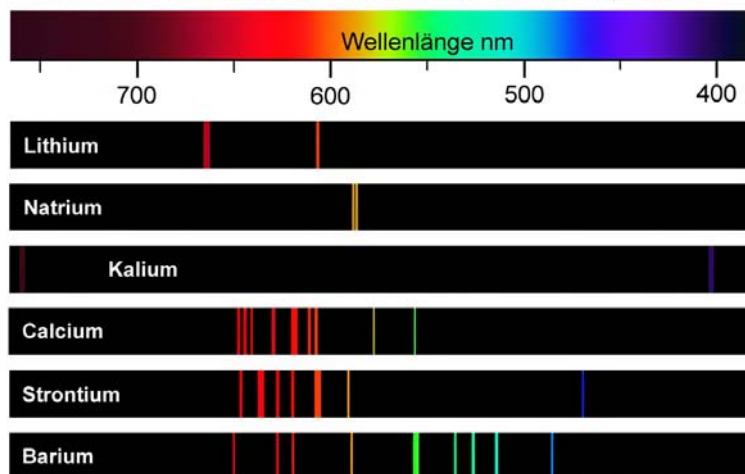
(c) Sr **rot**

(d) Cu **grün**

(e) B(OMe)_3 **grün**

Linienpektren der Alkali- und Erdalkalimetalle

Auswahl beobachtbarer Linien der Emissionsspektren



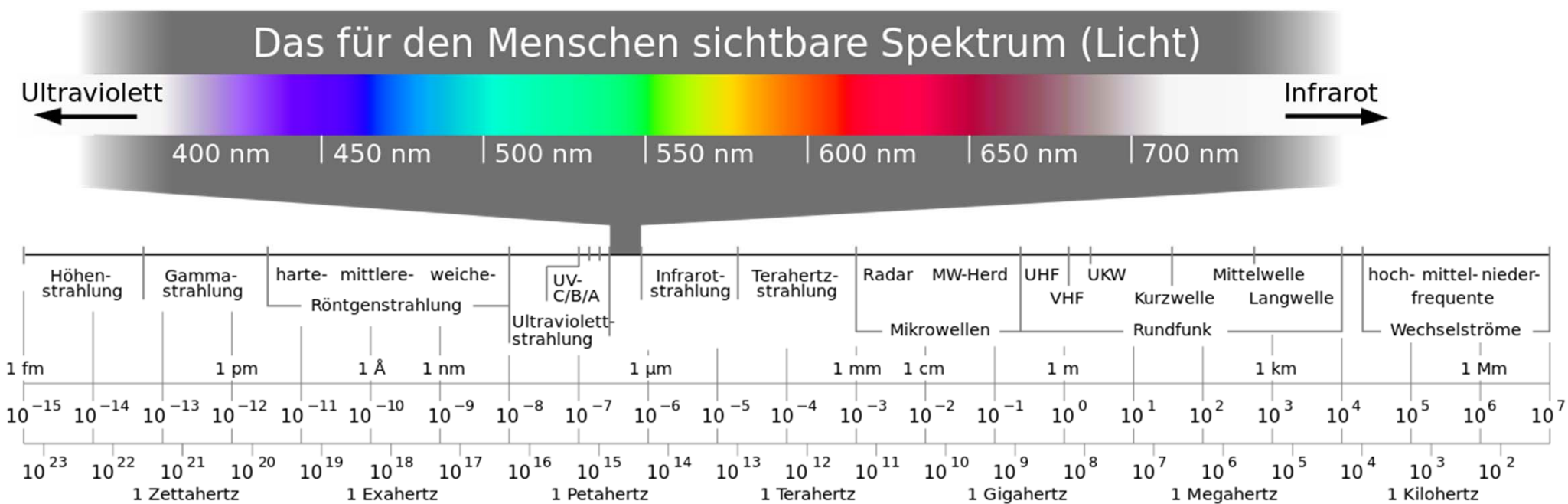
© Thomas Seilnacht



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

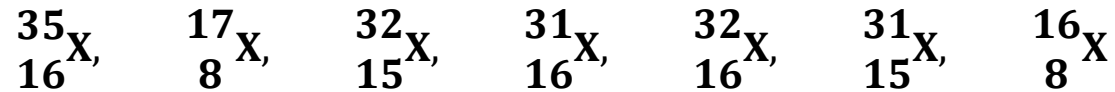


Übung 4:

Isotope, Kernchemie, Relativistik

<div><div><div>Legende</div><div><div>Ordnungszahl</div><div>Atomgewicht</div><div>Symbol</div><div>Name</div><div>Elektronegativität</div><div>Dichte</div><div>Serie</div></div><div><div><div>17</div><div>35,451</div><div>Cl</div><div>Chlor</div><div>3,16</div><div>3,21</div></div></div></div><div><div>Symbol</div><div>schwarz = Feststoff</div><div>blau = Flüssigkeit</div><div>rot = Gas</div><div>grau = unbekannt</div><div>unterstrichen = radioaktiv</div><div>Dichte</div><div>rot = kg / m³</div><div>schwarz = kg / dm³</div><div>grau = unbestimmt</div></div><div><div>Serie (Flächenfarbe)</div><div>Alkalimetalle</div><div>Erdalkalimetalle</div><div>Übergangsmetalle</div><div>Lanthanoide</div><div>Actinoide</div><div>Metalle</div><div>Halbmetalle</div><div>Nichtmetalle</div><div>Halogene</div><div>Edelgase</div><div>unbekannt</div></div><div><div>Schraffur</div><div>durchgehend = natürliches Element</div><div>schraffiert = künstliches Element</div></div></div>																		<div><div>Gruppe</div><div><div>13</div><div>14</div><div>15</div><div>16</div><div>17</div></div></div>																																			
<div><div>1</div><div>1,008</div><div>H</div><div>Wasserstoff</div><div>2,2</div><div>0,09</div></div>																		<div><div>2</div><div>4,0026</div><div>He</div><div>Helium</div><div>—</div><div>0,18</div></div>																																			
<div><div>2</div><div>6,94</div><div>Li</div><div>Lithium</div><div>0,98</div><div>0,53</div></div> <div><div>4</div><div>9,0122</div><div>Be</div><div>Beryllium</div><div>1,57</div><div>1,85</div></div>																		<div><div>10</div><div>20,180</div><div>Ne</div><div>Neon</div><div>—</div><div>0,90</div></div>																																			
<div><div>11</div><div>22,990</div><div>Na</div><div>Natrium</div><div>0,93</div><div>0,97</div></div> <div><div>12</div><div>24,305</div><div>Mg</div><div>Magnesium</div><div>1,31</div><div>1,74</div></div>																		<div><div>13</div><div>26,982</div><div>Al</div><div>Aluminium</div><div>1,61</div><div>2,70</div></div> <div><div>14</div><div>28,085</div><div>Si</div><div>Silicium</div><div>1,90</div><div>2,34</div></div> <div><div>15</div><div>30,974</div><div>P</div><div>Phosphor</div><div>2,19</div><div>2,69</div></div> <div><div>16</div><div>32,06</div><div>S</div><div>Schwefel</div><div>2,58</div><div>2,07</div></div> <div><div>17</div><div>35,45</div><div>Cl</div><div>Chlor</div><div>3,16</div><div>3,21</div></div>																		<div><div>18</div><div>39,948</div><div>Ar</div><div>Argon</div><div>—</div><div>1,78</div></div>																	
<div><div>3</div><div>39,098</div><div>K</div><div>Kalium</div><div>0,82</div><div>0,86</div></div> <div><div>20</div><div>40,078</div><div>Ca</div><div>Calcium</div><div>1,0</div><div>1,55</div></div> <div><div>21</div><div>44,956</div><div>Sc</div><div>Scandium</div><div>1,36</div><div>2,98</div></div>																		<div><div>31</div><div>69,723</div><div>Ga</div><div>Gallium</div><div>1,81</div><div>5,90</div></div> <div><div>32</div><div>72,630</div><div>Ge</div><div>Germanium</div><div>2,01</div><div>5,32</div></div> <div><div>33</div><div>74,922</div><div>As</div><div>Arsen</div><div>2,18</div><div>5,73</div></div> <div><div>34</div><div>78,971</div><div>Se</div><div>Selen</div><div>2,55</div><div>4,82</div></div> <div><div>35</div><div>79,904</div><div>Br</div><div>Brom</div><div>2,96</div><div>3,12</div></div>																		<div><div>36</div><div>83,798</div><div>Kr</div><div>Krypton</div><div>3,0</div><div>3,75</div></div>																	
<div><div>4</div><div>85,468</div><div>Rb</div><div>Rubidium</div><div>0,82</div><div>1,53</div></div> <div><div>38</div><div>87,62</div><div>Sr</div><div>Strontium</div><div>0,95</div><div>2,63</div></div> <div><div>39</div><div>88,906</div><div>Y</div><div>Yttrium</div><div>1,22</div><div>4,47</div></div>																		<div><div>40</div><div>91,224</div><div>Zr</div><div>Zirkonium</div><div>1,33</div><div>6,50</div></div> <div><div>41</div><div>92,906</div><div>Nb</div><div>Niob</div><div>1,6</div><div>8,57</div></div> <div><div>42</div><div>95,95</div><div>Mo</div><div>Molybdän</div><div>2,16</div><div>10,28</div></div> <div><div>43</div><div>96,906</div><div>Tc</div><div>Technetium</div><div>1,9</div><div>11,50</div></div> <div><div>44</div><div>101,07</div><div>Ru</div><div>Ruthenium</div><div>2,2</div><div>12,37</div></div> <div><div>45</div><div>102,91</div><div>Rh</div><div>Rhodium</div><div>2,28</div><div>12,45</div></div> <div><div>46</div><div>106,42</div><div>Pd</div><div>Palladium</div><div>2,20</div><div>12,02</div></div> <div><div>47</div><div>107,87</div><div>Ag</div><div>Silber</div><div>1,93</div><div>10,49</div></div> <div><div>48</div><div>112,41</div><div>Cd</div><div>Cadmium</div><div>1,69</div><div>8,64</div></div>																		<div><div>49</div><div>114,82</div><div>In</div><div>Indium</div><div>1,78</div><div>7,31</div></div> <div><div>50</div><div>118,71</div><div>Sn</div><div>Zinn</div><div>1,96</div><div>7,26</div></div> <div><div>51</div><div>121,76</div><div>Sb</div><div>Antimon</div><div>2,05</div><div>6,70</div></div> <div><div>52</div><div>127,60</div><div>Te</div><div>Tellur</div><div>2,1</div><div>6,25</div></div> <div><div>53</div><div>126,90</div><div>I</div><div>Iod</div><div>2,66</div><div>4,94</div></div> <div><div>54</div><div>131,29</div><div>Xe</div><div>Xenon</div><div>2,6</div><div>5,90</div></div>																	
<div><div>5</div><div>132,91</div><div>Cs</div><div>Caesium</div><div>0,79</div><div>1,90</div></div> <div><div>56</div><div>137,33</div><div>Ba</div><div>Barium</div><div>0,89</div><div>3,59</div></div> <div><div>57</div><div>138,91</div><div>La</div><div>Lanthan</div><div>1,10</div><div>6,15</div></div>																		<div><div>58–71</div><div>siehe unten</div></div>																		<div><div>55</div><div>178,49</div><div>Hf</div><div>Hafnium</div><div>1,3</div><div>13,3</div></div> <div><div>73</div><div>180,95</div><div>Ta</div><div>Tantal</div><div>1,5</div><div>16,65</div></div> <div><div>74</div><div>183,84</div><div>W</div><div>Wolfram</div><div>2,36</div><div>19,25</div></div> <div><div>75</div><div>186,21</div><div>Re</div><div>Rhenium</div><div>1,9</div><div>21,0</div></div> <div><div>76</div><div>190,23</div><div>Os</div><div>Osmium</div><div>2,2</div><div>22,6</div></div> <div><div>77</div><div>192,22</div><div>Ir</div><div>Iridium</div><div>2,2</div><div>22,56</div></div> <div><div>78</div><div>195,08</div><div>Pt</div><div>Platin</div><div>2,28</div><div>21,45</div></div> <div><div>79</div><div>196,97</div><div>Au</div><div>Gold</div><div>2,54</div><div>19,32</div></div> <div><div>80</div><div>200,59</div><div>Hg</div><div>Quecksilber</div><div>2,0</div><div>13,55</div></div>																	
<div><div>6</div><div>223,03</div><div>Fr</div><div>Francium</div><div>?</div><div>0,7</div></div> <div><div>88</div><div>226,03</div><div>Ra</div><div>Radium</div><div>?</div><div>0,9</div></div> <div><div>89</div><div>227,03</div><div>Ac</div><div>Actinium</div><div>5,5</div><div>1,1</div></div>																		<div><div>90–103</div><div>siehe unten</div></div>																		<div><div>81</div><div>204,38</div><div>Tl</div><div>Thallium</div><div>1,62</div><div>11,85</div></div> <div><div>82</div><div>207,20</div><div>Pb</div><div>Blei</div><div>2,33</div><div>11,35</div></div> <div><div>83</div><div>208,98</div><div>Bi</div><div>Bismut</div><div>2,02</div><div>9,75</div></div> <div><div>84</div><div>209,98</div><div>Po</div><div>Polonium</div><div>2,0</div><div>9,20</div></div> <div><div>85</div><div>209,98</div><div>At</div><div>Astat</div><div>2,2</div><div>?</div></div> <div><div>86</div><div>222,02</div><div>Rn</div><div>Radon</div><div>?</div><div>9,73</div></div>																	
<div><div>7</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																		<div><div>104</div><div>267,12</div><div>Rf</div><div>Rutherfordium</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																		<div><div>113</div><div>286,18</div><div>Nh</div><div>Nihonium</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																	
<div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																		<div><div>105</div><div>270,13</div><div>Db</div><div>Dubnium</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																		<div><div>114</div><div>289,19</div><div>Fl</div><div>Flerovium</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																	
<div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																		<div><div>106</div><div>269,13</div><div>Sg</div><div>Seaborgium</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																		<div><div>115</div><div>289,20</div><div>Mc</div><div>Moscovium</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																	
<div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																		<div><div>107</div><div>270,13</div><div>Bh</div><div>Bohrium</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																		<div><div>116</div><div>293,20</div><div>Lv</div><div>Livermorium</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																	
<div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																		<div><div>108</div><div>269,13</div><div>Hs</div><div>Hassium</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																		<div><div>117</div><div>293,21</div><div>Ts</div><div>Tenness</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																	
<div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																		<div><div>109</div><div>278,16</div><div>Mt</div><div>Meitnerium</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																		<div><div>118</div><div>294,21</div><div>Og</div><div>Oganesson</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																	
<div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																		<div><div>110</div><div>281,17</div><div>Ds</div><div>Darmstadtium</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																		<div><div>119</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																	
<div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																		<div><div>111</div><div>281,17</div><div>Rg</div><div>Roentgenium</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																		<div><div>120</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																	
<div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																		<div><div>112</div><div>285,18</div><div>Cn</div><div>Copernicium</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																		<div><div>121</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																	
<div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																		<div><div>113</div><div>286,18</div><div>Nh</div><div>Nihonium</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																		<div><div>122</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																	
<div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																		<div><div>114</div><div>289,19</div><div>Fl</div><div>Flerovium</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																		<div><div>123</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																	
<div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																		<div><div>115</div><div>289,20</div><div>Mc</div><div>Moscovium</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																		<div><div>124</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																	
<div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																		<div><div>116</div><div>293,20</div><div>Lv</div><div>Livermorium</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																		<div><div>125</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																	
<div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																		<div><div>117</div><div>293,21</div><div>Ts</div><div>Tenness</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																		<div><div>126</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																	
<div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																		<div><div>118</div><div>294,21</div><div>Og</div><div>Oganesson</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																		<div><div>127</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div><div>?</div></div>																	

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



Lösung:

S O P S S P O

Natürlich auftretende Schwefel-Isotope

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

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:

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

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
- $1 \text{ u} \approx 1 \text{ g/mol} / N_{\text{A}}$
- $1 \text{ u} \approx 931,5 \text{ MeV} / c^2$

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:

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

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

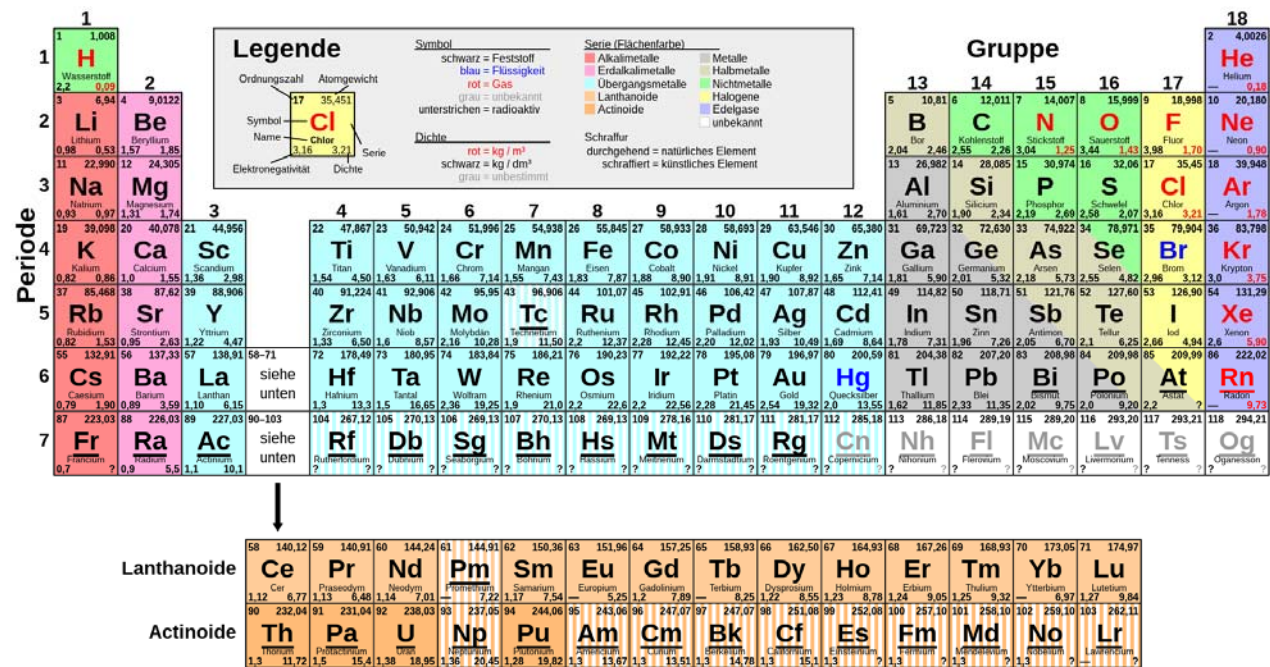
$$X = (107.868 - 55.463) / 0.4812$$

$$X = 108.905$$

^{109}Ag

4. Ergänzen Sie folgende Tabelle:

Lösung:



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

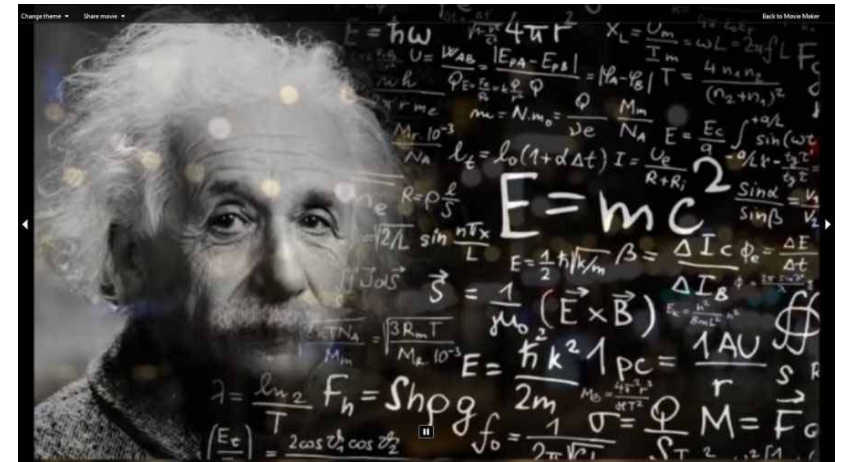
$$\Delta m = 0,03 \cdot 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 4,9815 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$$

Energie über $E = \Delta m c^2$

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

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

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



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

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

Arten radioaktiver Strahlung

α -Strahlung (Alpha)

- Teilchen: ${}_2\text{He}^2$ -Kerne (2 p, 2 n)
- Eigenschaften: stark ionisierend, sehr kurze Reichweite (in Luft ein paar cm, in Gewebe wenige μm)
- 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^+ + ν_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

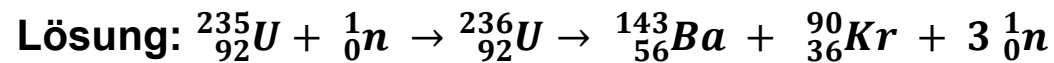
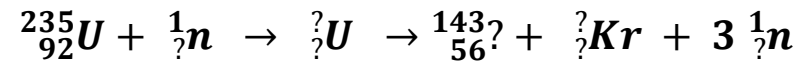
Neutronenstrahlung

- 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

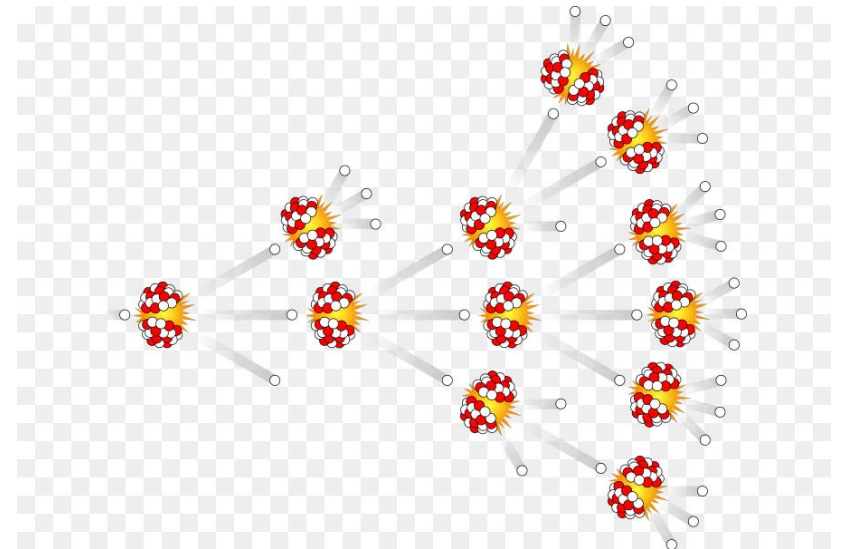
- α -Zerfall: ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$
- β^- -Zerfall: ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + e^- + \bar{\nu}_e$
- β^+ -Zerfall: ${}^{22}_{11}\text{Na} \rightarrow {}^{22}_{10}\text{Ne} + e^+ + \nu_e$
- γ -Zerfall: ${}^{60}_{27}\text{Co}^* \rightarrow {}^{60}_{27}\text{Co} + \gamma$ 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 ^{235}U und warum handelt es sich dabei um eine Kettenreaktion?



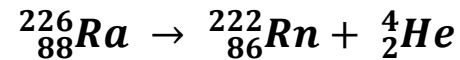
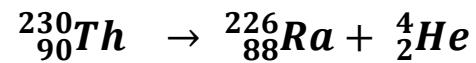
Aus einem Neutron entstehen 3 Neutronen

U	92
Uran-Isotope	
^{234}U - 0,0054(5) %	☢
^{235}U - 0,7204(6) %	☢
^{238}U - 99,2742(10) %	☢
238,02891(3)	

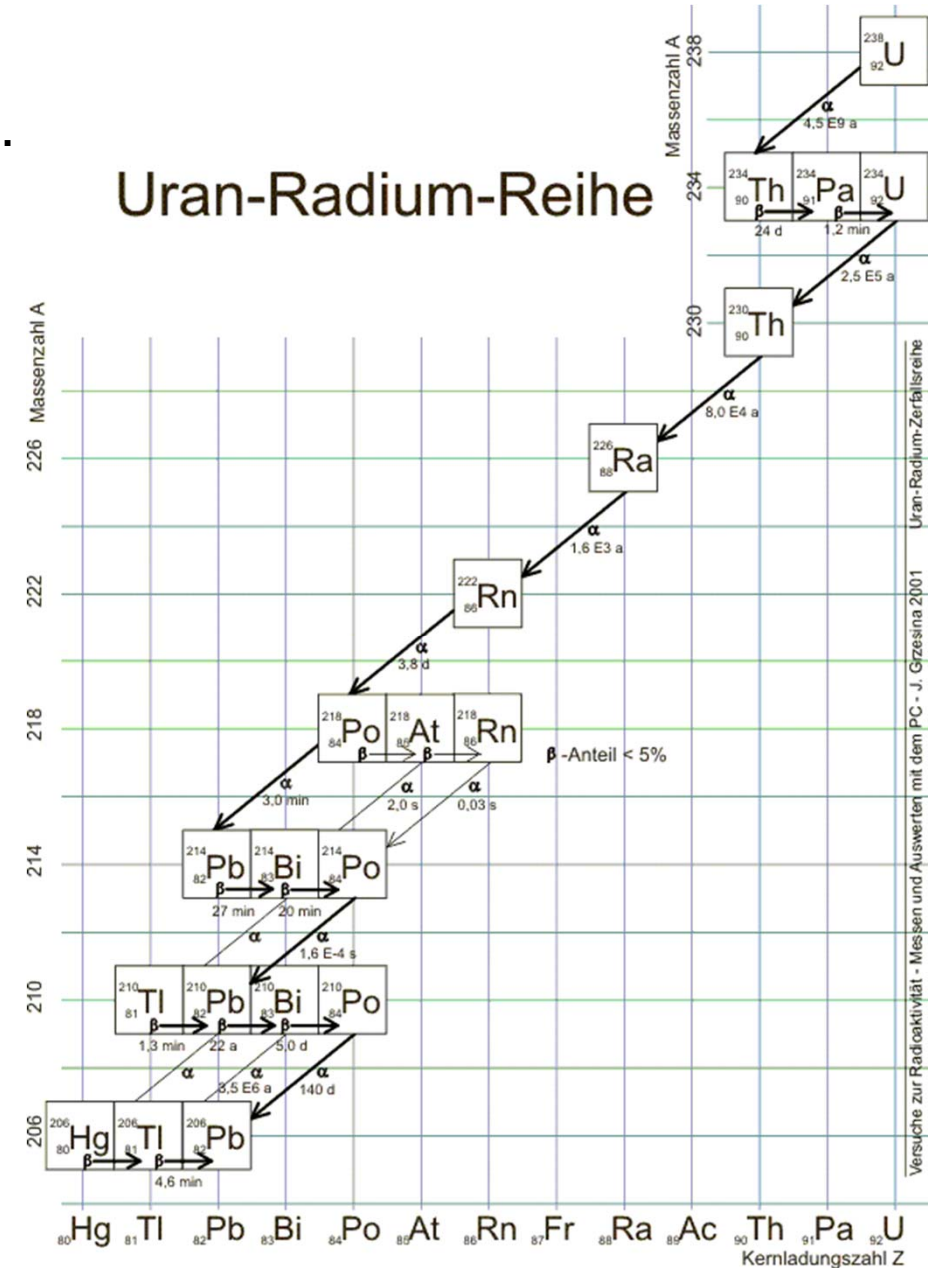


7. ^{226}Ra bildet sich und zerfällt durch Alpha-Zerfall.
Formulieren Sie die Kerngleichungen.

Lösung:

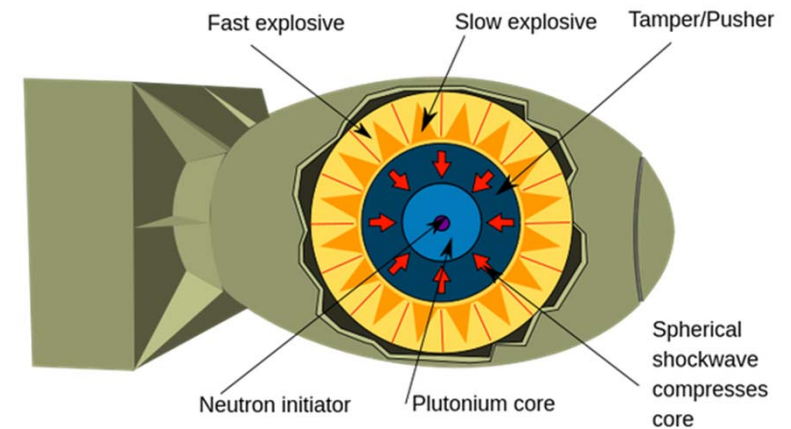
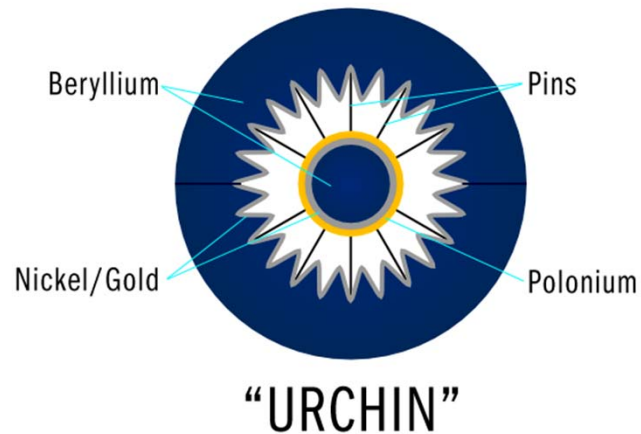
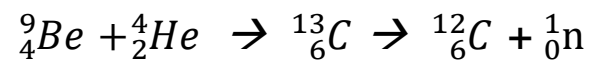
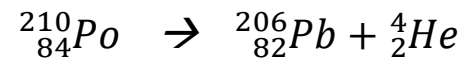


Uran-Radium-Reihe



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

Lösung:

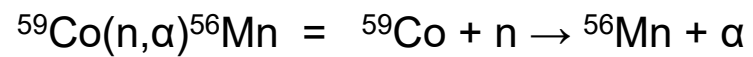
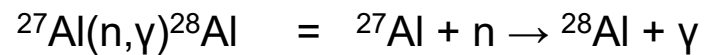


9. Schreiben Sie eine vollständige Gleichung für: $^{16}\text{O}(\text{t},\text{n})^{18}\text{F}$

Lösung: $^{16}_8\text{O} + ^3_1\text{T} \rightarrow ^{18}_9\text{F} + ^1_0\text{n}$



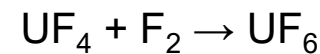
Weitere Beispiele:



10. Nennen Sie zwei entscheidende Vorteile für den Einsatz von UF₆ zur Uran-Isotopentrennung.

Lösung:

1. Fluor ist Reinelement
2. UF₆ 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.

UF₆ 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?

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

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

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

Lösung:

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

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

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

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

$$m(79Au)_{\text{re}} = 1.22 \cdot m_0$$

$$m(100Fe)_{\text{re}} = 1,46 \cdot m_0$$

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:

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

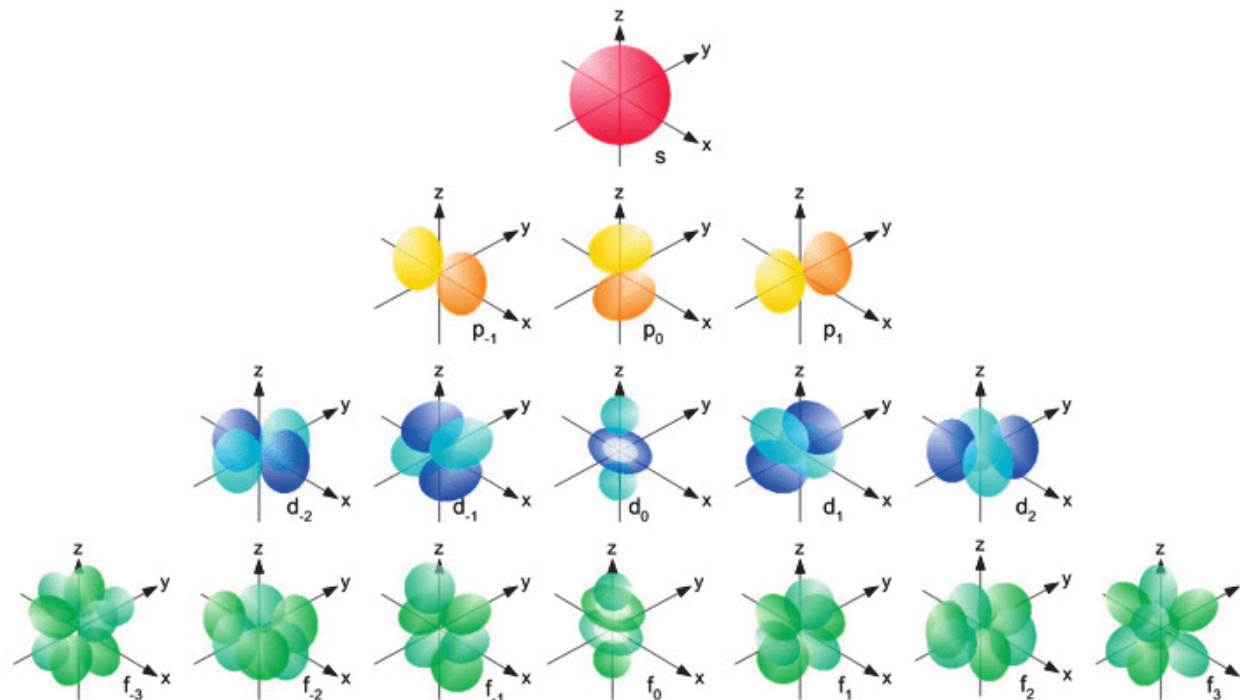
Daraus folgt für die Größen der atomaren Einheiten:

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	$1.055 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
h	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 ($e\hbar/2m_e$)	$\frac{1}{2}$	$9.9274 \cdot 10^{-24} \text{ J/T}$
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

a. 37 %iger HCl ($\rho = 1.2 \text{ g/mL}$)

b. 96 %iger H_2SO_4 ($\rho = 1.84 \text{ g/mL}$)

Lösung:

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

Molalität = 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

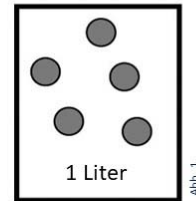


Abb. 1

- Beispiel: 5 Teilchen in einem Liter Wasser

- Molalität:

- Stoffmenge wird auf die Masse des Lösungsmittels bezogen

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

- Einheit: mol/kg

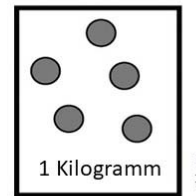


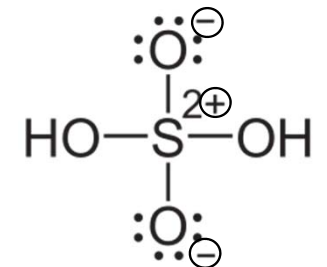
Abb. 2

- Beispiel: 5 Teilchen in einem Kilogramm Wasser

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

Wichtige Formeln pH-Wert und Säure/Basen

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

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

$$pH + pOH = pK_w$$

$$pH + pOH = 14$$

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] \approx 1,0 \cdot 10^{-14}$$

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

Schwache Säuren/Basen:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] \approx \sqrt{K_s c_0}$$

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

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

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

Ampholyte:

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

Puffer (Henderson–Hasselbalch)

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

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

Lösung:

(Schwache Säure: $\text{HX} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{X}^-$)

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

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

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

$[\text{H}_3\text{O}^+]$ in mol/L	pH		pOH	$[\text{OH}^-]$ in mol/L
$10^0 = 1$	0	sauer	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	neutral	8	10^{-8}
10^{-7}	7		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	alkalisch	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:

a) $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{NO}_3^-$

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

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

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

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

b) $\text{Ba}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Ba}^{2+} + 2 \text{OH}^-$

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

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

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

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

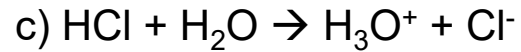
$$pH = -\lg c(\text{H}_3\text{O}^+)$$

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

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

$$pH + pOH = pK_w$$

$$pH + pOH = 14$$

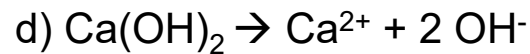


starke Säure: $c(\text{H}_3\text{O}^+) = c_0 = 3.0 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$

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

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

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



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

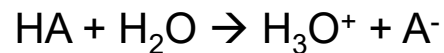
$$[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{OH}^-] = K_w = 10^{-14}$$

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

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

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:



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

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

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

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

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

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

$$\text{pK}_s = 2 \cdot \text{pH} + \log c_0 = 2 \cdot 2.74 + \lg 0.25 = \mathbf{4.88}$$

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

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

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

$$\Leftrightarrow \text{pH} = \text{pK}_s + \lg \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

Dissoziationsgrad

Der **Dissoziationsgrad** α bzw. Protolysegrad 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% Protolyse) annehmen.

→ Ausmaß einer protolytischen Reaktion, bzw. Anteil Säure, der in einer Reaktion mit H₂O zur korrespondierenden Base umgewandelt wurde

$$\alpha = \frac{\text{Konzentration der protolysierten HA-Moleküle}}{\text{Konzentration der HA-Moleküle vor der Protolyse}}$$

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

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

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

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

Ostwaldsches Verdünnungsgesetz (für schwache Säuren)

Protolysegrad einer schwachen Säure steigt mit abnehmender Konzentration der Säure!

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

a) Wie groß ist $c(\text{H}_3\text{O}^+)$, wenn 0.16 mol/L Milchsäure in Lösung sind.

b) Wie viel Prozent der Milchsäure sind dissoziiert?

Lösung:

a) $\text{p}K_s = -\log K_s = 3.82$

Eine schwache Säure

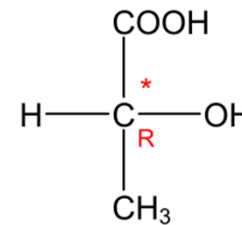
Für schwache Säuren: $\text{pH} = 1/2(\text{p}K_s - \log c_0)$

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

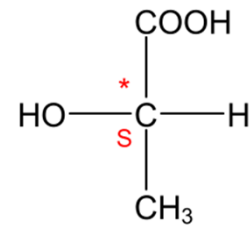
$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-2.308} = 4.92 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L} \quad (\text{oder: } c(\text{H}_3\text{O}^+) = 4.92 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L})$$

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

Ostwaldsches
Verdünnungsgesetz



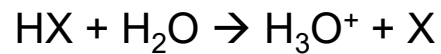
D(-)-Milchsäure



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:



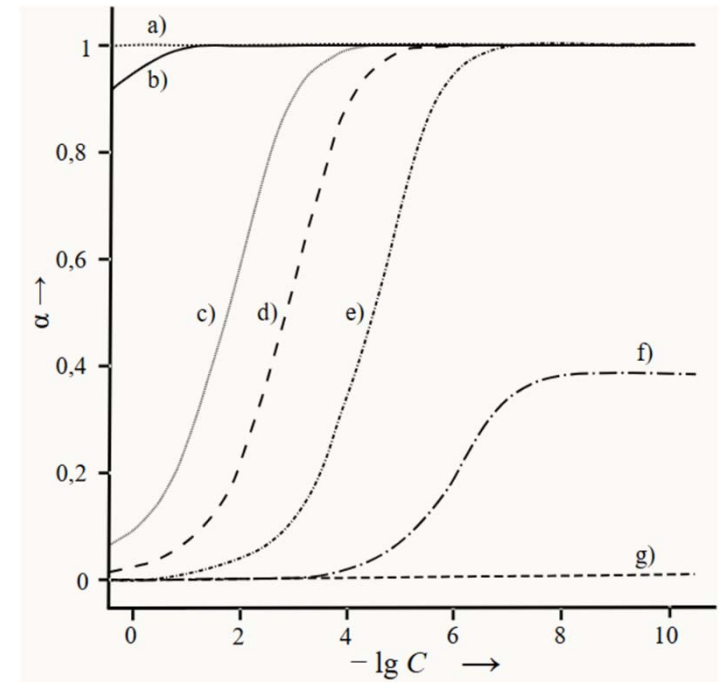
1. Berechnung von K_s


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

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

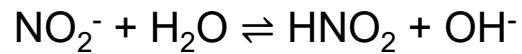


Dissoziationsgrad α von a) HCl, b) HNO_3 , c) HClO_2 , d) HF, e) HOAc, f) HClO, g) HCN in Abhängigkeit ihrer Konzentration. 

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)? $\text{pK}_\text{S}(\text{NH}_4^+) = 9.2$; $\text{pK}_\text{S}(\text{HOAc}) = 4.7$

Lösung:

Ampholyt:



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

$$\text{pK}_\text{S}(\text{HOAc}) = 4.7$$

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

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

Für Ampholyte gilt näherungsweise:

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

oder

$$c(\text{H}_3\text{O}^+) \approx \sqrt{K_{\text{S}1} K_{\text{S}2}}$$

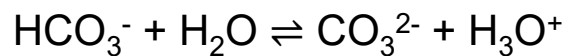
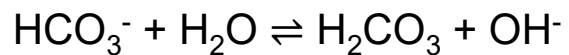
Die Lösung von Ammoniumacetat reagiert neutral!

$$\text{pK}_\text{B}(\text{OAc}^-) = 14 - \text{pK}_\text{S}(\text{HOAc}) = 14 - 4.7 = 9.3$$

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

Lösung:

HCO_3^- ist ein Ampholyt:



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

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

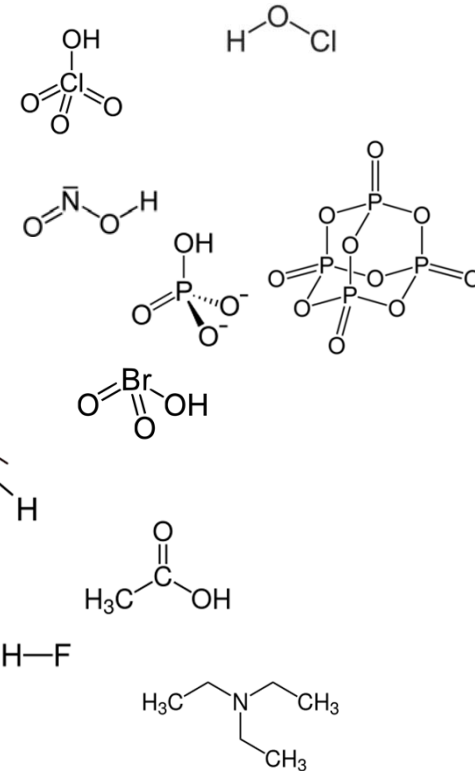
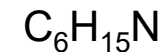
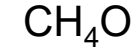
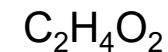
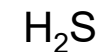
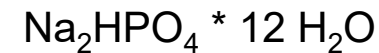
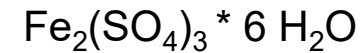
Natriumhydrogencarbonat Lösung ist leicht basisch.

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

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:

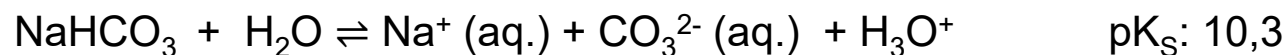
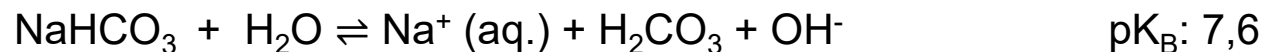
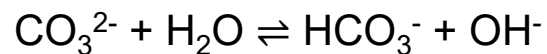
Puffer, Trends im PSE

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

a. Natriumcarbonat- bzw. Natriumhydrogencarbonat-Lösung

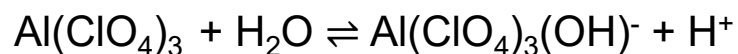
pKs – Werte der Kohlensäure sind: $\text{pK}_{\text{S}1} = 6,4$; $\text{pK}_{\text{S}2} = 10,3$

pH > 7



b. Aluminium(III)perchlorat-Lösung

pH < 7 Salz aus schwacher Base und starker Säure



$$K_\text{B} \cdot K_\text{S} = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^{1+}) \cdot c(\text{A}^{1-}) \cdot c(\text{OH}^{1-}) \cdot c(\text{HA})}{c(\text{A}^{1-}) \cdot c(\text{HA})}$$

$$K_\text{B} \cdot K_\text{S} = c(\text{H}_3\text{O}^{1+}) \cdot c(\text{OH}^{1-}) = 10^{-14} \frac{\text{mol}^2}{\text{l}^2}$$

bzw. $\text{pK}_\text{S} + \text{pK}_\text{B} = 14$

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

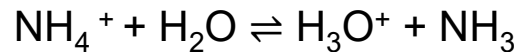
$$\text{p}K_s(\text{HCl}) = -6$$

$$\text{p}K_b(\text{NH}_3) = 4,74 \quad \text{p}K_s(\text{NH}_4^+) = 9,26$$

NH_4Cl in Wasser: $\text{NH}_4^+ + \text{Cl}^-$ **pH < 7**

Cl^- Salz einer starken Säure \rightarrow schwache Base

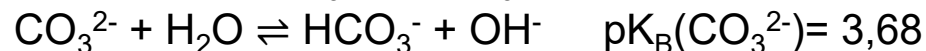
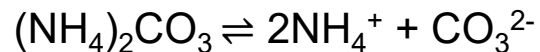
NH_4^+ Salz einer mittelstarken Base \rightarrow mittelschwache Säure



d. Ammoniumcarbonat-Lösung ($K_{s1}(\text{Kohlensäure}) = 4.2 \cdot 10^{-7} \text{ mol/L}$, $K_{s2}(\text{Kohlensäure}) = 4.8 \cdot 10^{-11} \text{ mol/L}$, $K_b(\text{Ammoniak}) = 1.8 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$)

$$\text{p}K_{s1}(\text{H}_2\text{CO}_3) = 6,38$$

$$\text{p}K_{s1}(\text{HCO}_3^-) = 10,32$$



Da $\text{p}K_s > \text{p}K_b \rightarrow \text{pH} > 7$

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

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

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 HOAc = 0.1 mol nach Zugabe: 0,08 mol
OAc⁻ = 0.13 mol 0,15 mol

$$\log(0,15/0,08) = 0,273$$

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

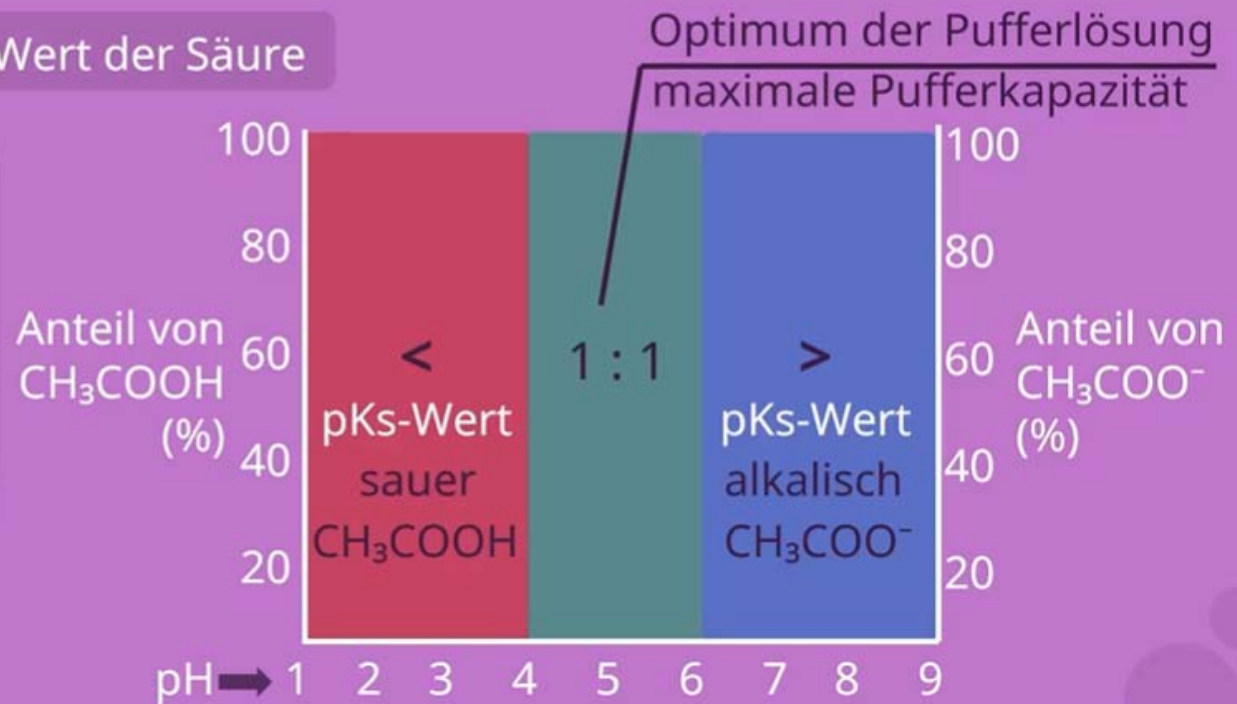
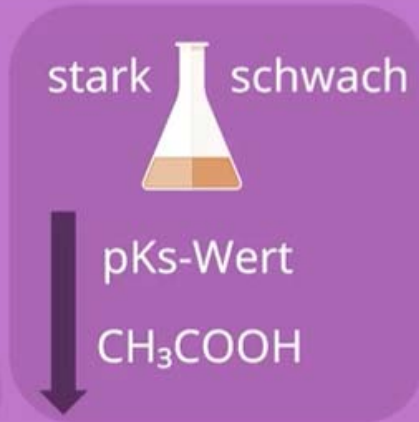
c) 10 cm³ = 10mL; $c = 2 \text{ mol/L}; n = V \cdot c = 0,01 \text{ L} \cdot 2 \text{ mol/L} = 0,02 \text{ mol}$

$$\log(0,11/0,12) = -0,038$$

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

Das Optimum der Pufferlösung

pH-Optimum = pKs-Wert der Säure



pH-Wert Puffer berechnen



Puffersäure

Base

Henderson-Hasselbalch-Gleichung

Puffer-
gleichung

$$\text{pH} = \text{pK}_s + \log_{10} \frac{c(\text{A}^-)}{c(\text{HA})}$$



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

a) In welchem Konzentrationsverhältnis müssen die beiden Ionensorten dann in der Pufferlösung vorliegen? [pKs von H_2PO_4^- : 7,12]

b) Welche HPO_4^{2-} -Konzentration liegt vor, wenn die Konzentration der H_2PO_4^- -Ionen 0,2 mol/l beträgt?

Lösung:

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

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

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

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

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

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

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

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

4. Ein Essigsäure-Acetat-Puffer soll einen pH-Wert von 5.0 haben. Wieviel NaOH Lösung (c = 0.5 mol/L) müssen Sie zu einem Liter Essigsäure (0.5 mol/L) zugeben? $pK_a(\text{HOAc}) \approx 4,75$

$$\text{pH} = pK_s + \log_{10} \frac{c(\text{A}^-)}{c(\text{HA})}, \quad 5,0 = 4,75 + \log ([\text{Ac}^-] / [\text{HAc}])$$

$$0,25 = \log ([\text{Ac}^-] / [\text{HAc}]) \quad \longrightarrow \quad ([\text{Ac}^-] / [\text{HAc}]) = 10^{0,25} = 1,78$$

$$n_0(\text{HAc}) = 0,5 \text{ mol}$$

Nach der Neutralisation:

$$n(\text{Ac}^-) = x$$

$$n(\text{HAc}) = 0,5 - x$$

$$\longrightarrow \quad 1,78 = \frac{x}{0,5 - x}$$

$$x = 1,78 (0,5 - x) = 0,89 - 1,78 x$$

$$2,78 x = 0,89 \quad \rightarrow \quad x = 0,32$$

Volumen der NaOH-Lösung

$$c(\text{NaOH}) = 0,5 \text{ mol/L}$$

$$V = n / c = 0,32 \text{ mol} / 0,5 \text{ mol/L} \approx \mathbf{0,64 \text{ L}}$$

Klausuraufgabe 2024

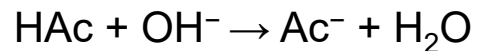
c) Ein Essigsäure-Acetat-Puffer soll einen pH-Wert von 4.5 haben. Wieviel NaOH Lösung ($c = 0.4 \text{ mol/L}$) müssen Sie zu einem Liter Essigsäure (0.4 mol/L) zugeben? ($pK_s \text{ Essigsäure} = 4.7$) [4]

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

$$4.5 = 4.7 + \log(A^-/\text{HA})$$

$$-0.2 = \log(A^-/\text{HA}) \quad (1)$$

$$A^-/\text{HA} = 10^{-0.2} = 0.63 \quad (1/2)$$



$$n(\text{NaOH}) / (0.4 - n(\text{NaOH})) = 0.63 \quad (1/2)$$

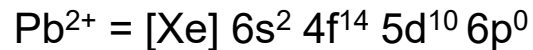
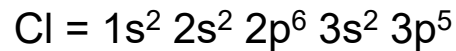
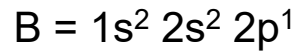
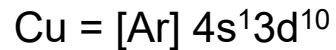
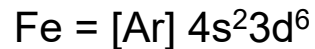
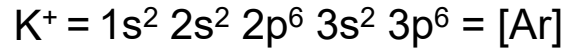
$$n(\text{NaOH}) = 0.155 \text{ mol} \quad (1)$$

$$V = n/c = 0.155 \text{ mol} / 0.4 \text{ mol/L} = 0.387 \text{ L} \quad (1/2)$$

Man muss dafür 0.387 L NaOH Lösung zugeben.

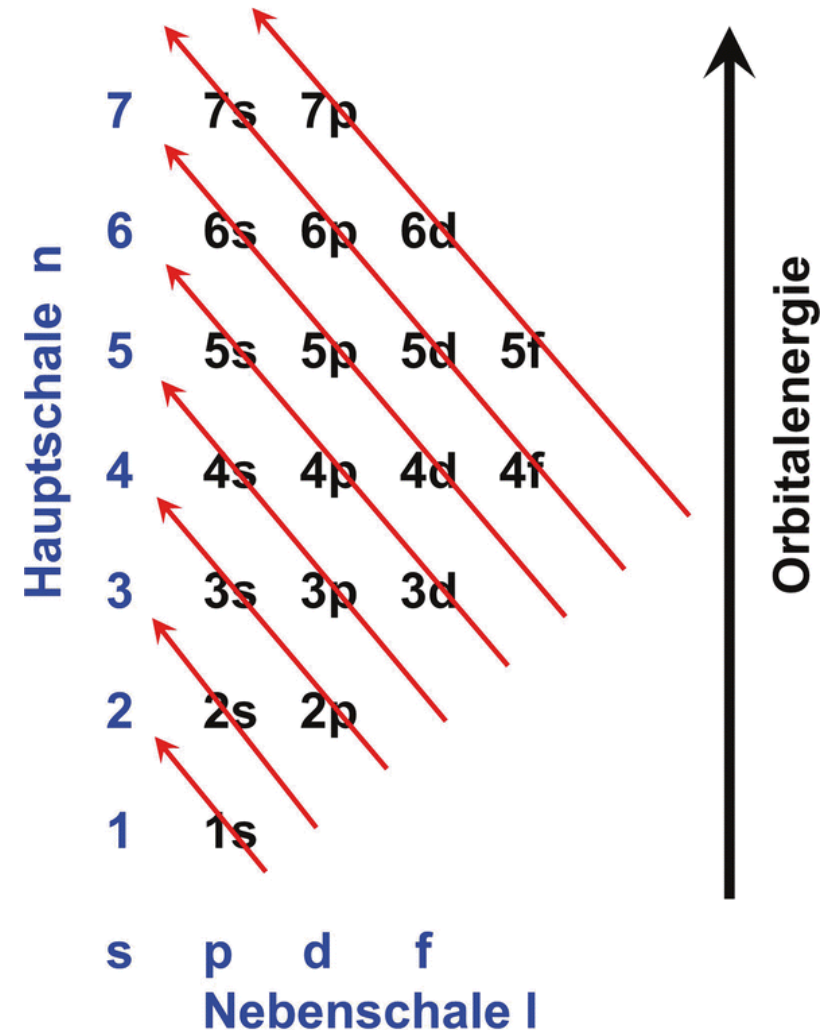
5. Geben Sie die Elektronenkonfiguration von Fe, Cu, K⁺, B, Cl, Zn²⁺ und Pb²⁺ an.

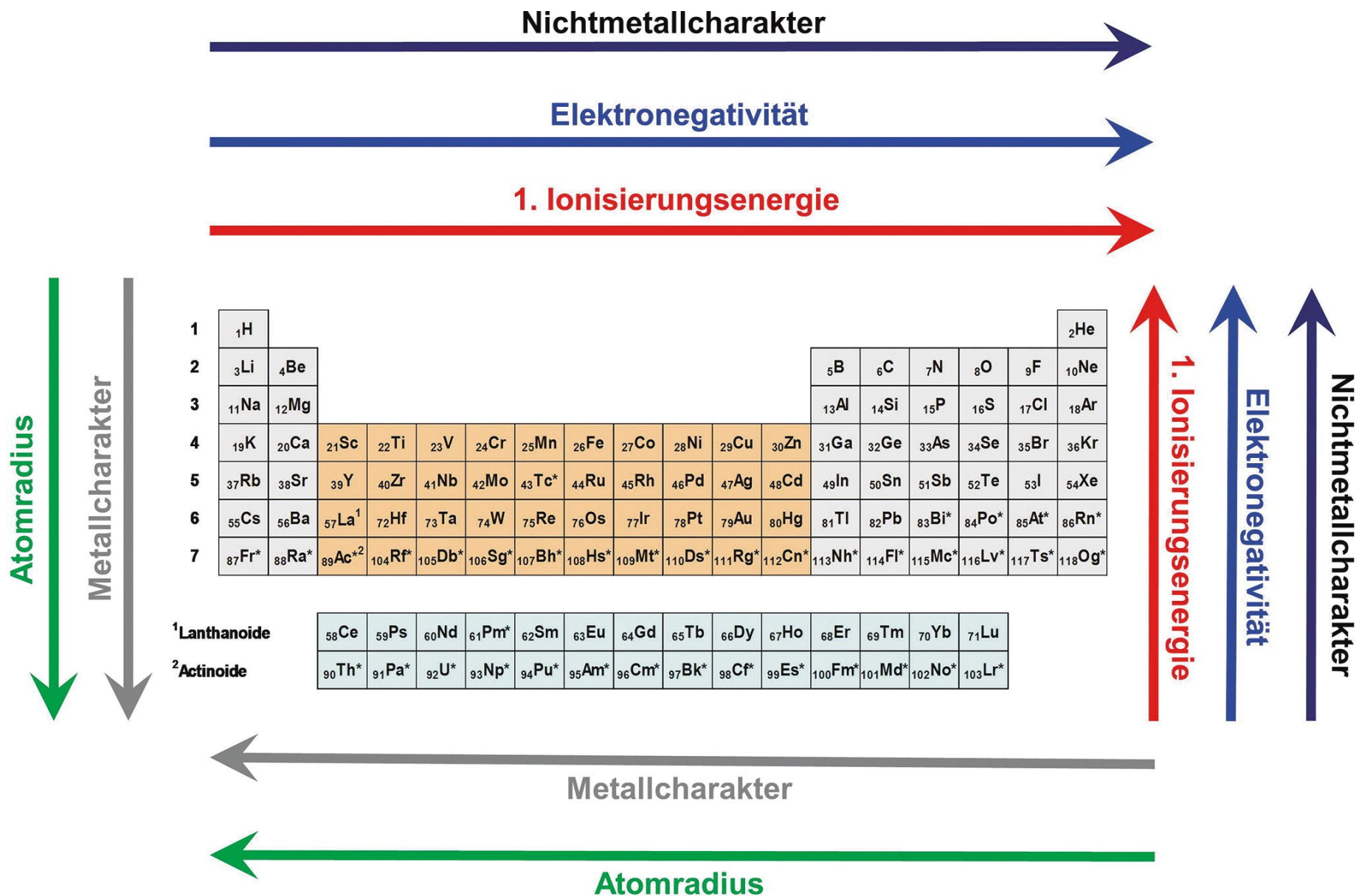
Lösung:



Elektronenkonfiguration der Elemente (Ordnungszahl 1 ... 36)

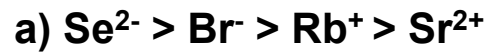
O.Z.	El.	Elektronenkonfiguration
1	H	1s ¹
2	He	1s ²
3	Li	1s ² 2s ¹
4	Be	1s ² 2s ²
5	B	1s ² 2s ² 2p ¹
6	C	1s ² 2s ² 2p ²
7	N	1s ² 2s ² 2p ³
8	O	1s ² 2s ² 2p ⁴
9	F	1s ² 2s ² 2p ⁵
10	Ne	1s ² 2s ² 2p ⁶
11	Na	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ¹
12	Mg	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ²
13	Al	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ¹
14	Si	1s ² 2s ² 2p ⁶ 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
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:

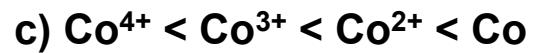
Lösung:



Anionen haben größeren Radius



Je höher die positive Ladung desto kleiner der Radius



PERIODENSYSTEM DER ELEMENTE

PERIODEN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H WASSERSTOFF	2 He HELIUM																
2	3 Li LITHIUM	4 Be BERYLLIUM																
3	11 Na NATRIUM	12 Mg MAGNESIUM																
4	19 K KALIUM	20 Ca CALCIUM	21 Sc SCANDIUM	22 Ti TITAN	23 V VANADIUM	24 Cr CHROM	25 Mn MANGAN	26 Fe EISEN	27 Co KOBALT	28 Ni NICKEL	29 Cu KUPFER	30 Zn ZINK	31 Ga GALLIUM	32 Ge GERMANIUM	33 As ARSEN	34 Se SELEN	35 Br BROM	36 Kr KRYPTON
5	37 Rb RUBIDIUM	38 Sr STRONTIUM	39 Y YTTRIUM	40 Zr ZIRKON	41 Nb NIOB	42 Mo MOLYBDÄN	43 Tc TECHNETIUM	44 Ru RUTHENIUM	45 Rh RHODIUM	46 Pd PALLADIUM	47 Ag SILBER	48 Cd KADMIUM	49 In INDIUM	50 Sn ZINN	51 Sb ANTIMON	52 Te TELLUR	53 I IOD	54 Xe XENON
6	55 Cs CÄSIUM	56 Ba BARIUM	57-71 La-Lu Lanthaniden	72 Hf HAFNIUM	73 Ta TANTAL	74 W WOLFRAM	75 Re RHENIUM	76 Os OSMIUM	77 Ir IRIDIUM	78 Pt PLATIN	79 Au GOLD	80 Hg QUECKSILBER	81 Tl THALLIUM	82 Pb BLEI	83 Bi BISMUT	84 Po POLONIUM	85 At ASTAT	86 Rn RADON
7	87 Fr FRANCIUM	88 Ra RADIUM	89-103 Ac-Lr Actiniden	104 Rf RUTHERFORDIUM	105 Db DUBNIUM	106 Sg SEABORGIUM	107 Bh BOHRIUM	108 Hs HASSIUM	109 Mt MEITNERIUM	110 Ds DARMSTADIUM	111 Rg ROENTGENIUM	112 Cn COPERNICIUM	113 Nh NIHONIUM	114 Fl FLEROVIUM	115 Mc MOSCOVIUM	116 Lv LIVERMORIUM	117 Ts TENNESSI	118 Og OGANESSON

ELEMENTGRUPPEN
IUPAC EMPFEHLUNGEN
(1985)

ELEMENTGRUPPEN
CHEMICAL ABSTRACT SERVICE
(1986)

ORDNUNGSZAHL
5

ELEMENTSYMBOL
B

RELATIVE ATOMMASSE (1)
10.811

NAME DES ELEMENTES
BOR



www.periodni.com

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

Copyright © 2017 Eni Generali

LANTHANIDEN

57 138.91 La LANTHAN	58 140.12 Ce CER	59 140.91 Pr PRASEODYM	60 144.24 Nd NEODYM	61 (145) Pm PROMETHIUM	62 150.36 Sm SAMARIUM	63 151.96 Eu EUROPIUM	64 157.25 Gd GADOLINIUM	65 158.93 Tb TERBIUM	66 162.50 Dy DYSPROSIUM	67 164.93 Ho HOLMIUM	68 167.26 Er ERBIUM	69 168.93 Tm THULIUM	70 173.05 Yb YTTERBIUM	71 174.97 Lu LUTETIUM
-----------------------------------	-------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------

ACTINIDEN

89 (227) Ac ACTINIUM	90 232.04 Th THORIUM	91 231.04 Pa PROTACTINIUM	92 238.03 U URAN	93 (237) Np NEPTUNIUM	94 (244) Pu PLUTONIUM	95 (243) Am AMERICIUM	96 (247) Cm CURIUM	97 (247) Bk BERKELIUM	98 (251) Cf CALIFORNIUM	99 (252) Es EINSTEINIUM	100 (257) Fm FERMIUM	101 (258) Md MENDELEVIUM	102 (259) No NOBELIUM	103 (262) Lr LAWRENCIUM
-----------------------------------	-----------------------------------	--	-------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	---------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------

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** ($3s^2 3p^1$) → 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	$\text{C}(\text{Diamant})$	>	Al
f) elektrische Leitfähigkeit	$\text{C}(\text{Diamant})$	<	$\text{C}(\text{Graphit})$
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“

1. Beim H_2 -Molekül mögen die $1s$ -AOs gegeben sein als
 $1s$ am Atom A = a $1s$ am Atom B = b.
 Konstruieren Sie zwei geeignete Coulson-Fischer Orbitale.

Lösung:

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

Hauptmerkmale der Coulson-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.

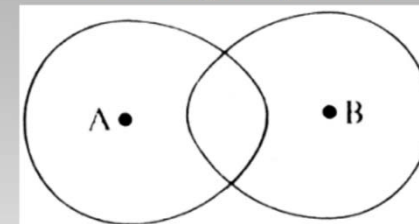
2. **Maximale Überlappung:** Die Konstruktion der Coulson-Fischer-Orbitale erfolgt so, dass die Überlappung der beteiligten Atomorbitale maximiert wird. Dadurch wird eine stärkere chemische Bindung zwischen den Atomen im Molekül gefördert.
3. **Optimierung der Bindung:** Die Methode berücksichtigt explizit 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-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.

Coulson, Fischer (1949)

Goddard (1973) → GVB



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

$$a = b + \mu \phi_{1s}$$

$$\psi^{VB} = A(1)B(2) + A(2)B(1)$$

$$= (1 + \mu^2) (a(1)b(2) + b(1)a(2)) + 2\mu(a(1)a(2) + b(1)b(2))$$

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

2. Welches sind die Valenzorbitale bei

- Hauptgruppen-Elementen
- Übergangsmetallen?

Lösung:

HG: s,p

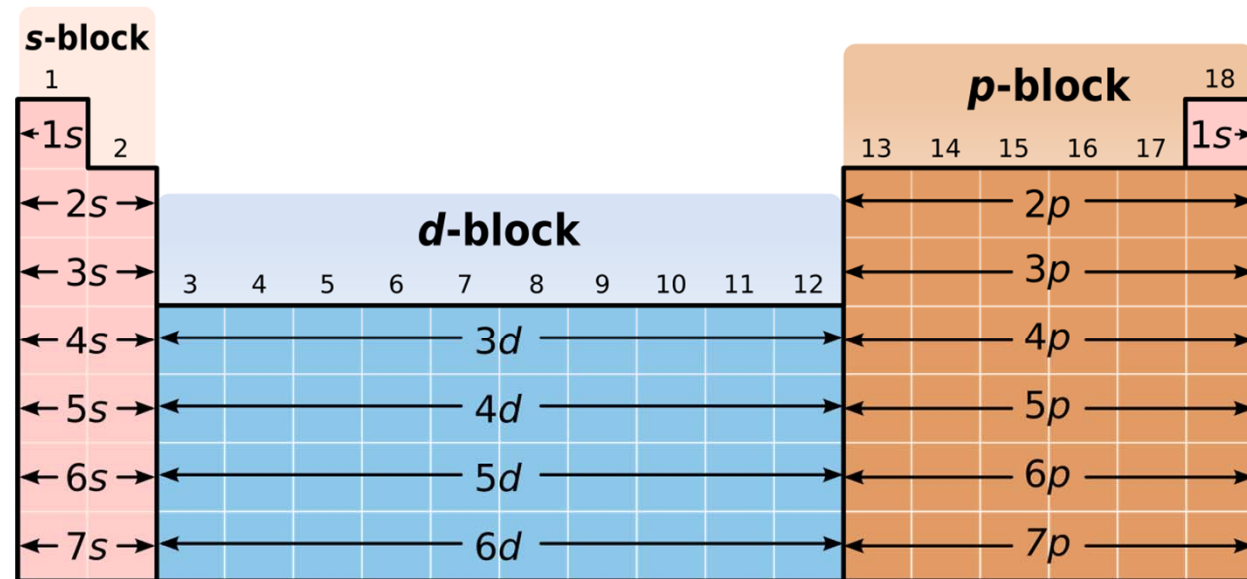
NG: s,d

3. Welche Orbitale dienen zur Polarisierung bei

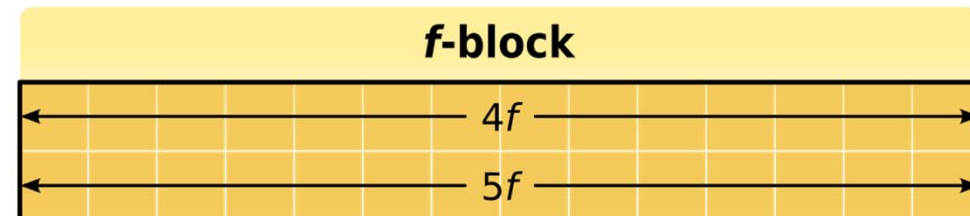
- Hauptgruppen-Elementen
- Übergangsmetallen?

HG: d

NG: p



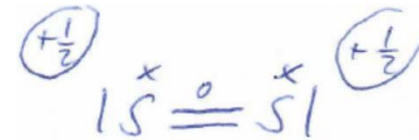
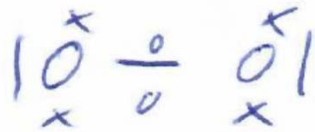
Orbital /Block	Anzahl Elektronen	umfasst Elemente der ...
s	2	Elemente der 1. und 2. Hauptgruppe sowie Helium
p	6	übrige Hauptgruppenelemente
d	10	alle Nebengruppenelemente
f	14	alle Lanthanoide und Actinoide



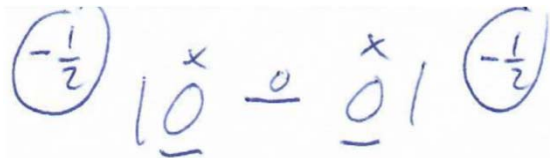
4. Zeichnen Sie je eine sinnvolle Lewis-Formel für den Grundzustand für:
 O_2 , B_2 und S_2^+ .

Lösung:

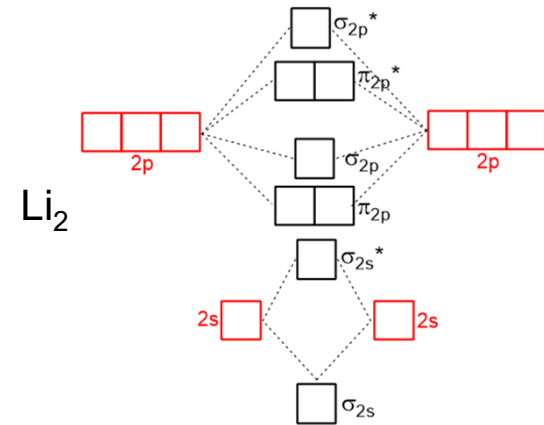
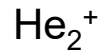
Unter Berücksichtigung des Spins !



O_2^- -Ion



5. Geben Sie die Bindungsordnungen an für:



Lösung:

$\frac{1}{2}$

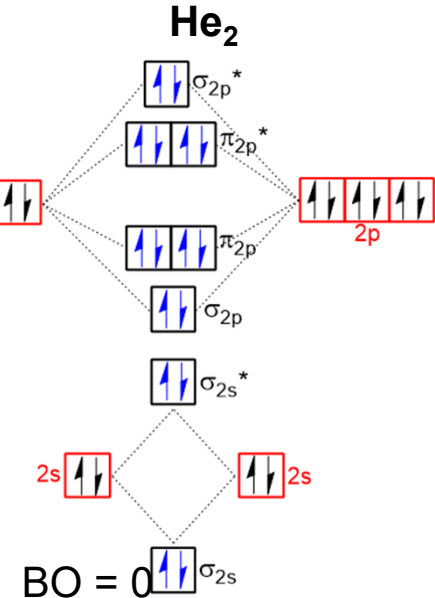
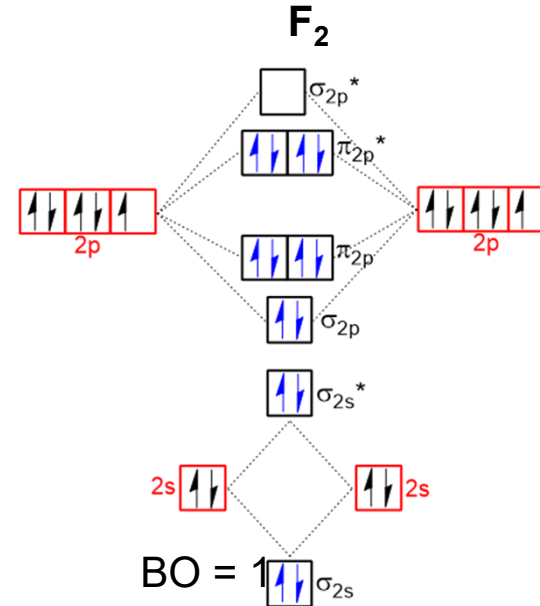
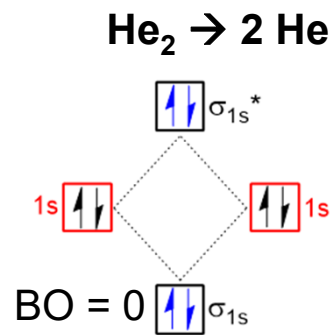
$\frac{1}{2}$

0

1

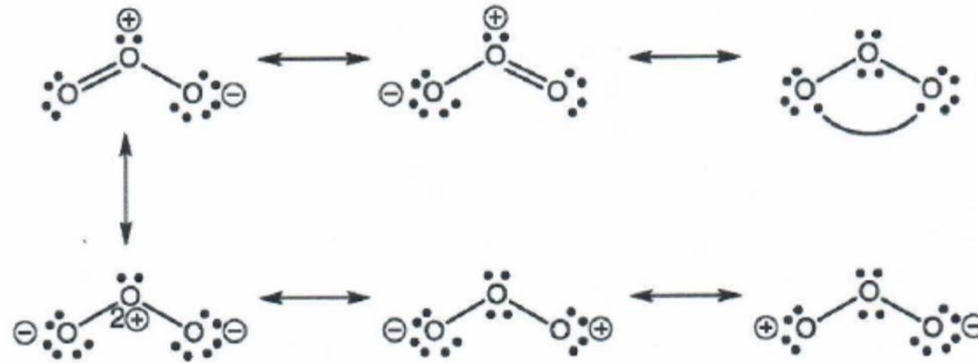
Bindungsordnung

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

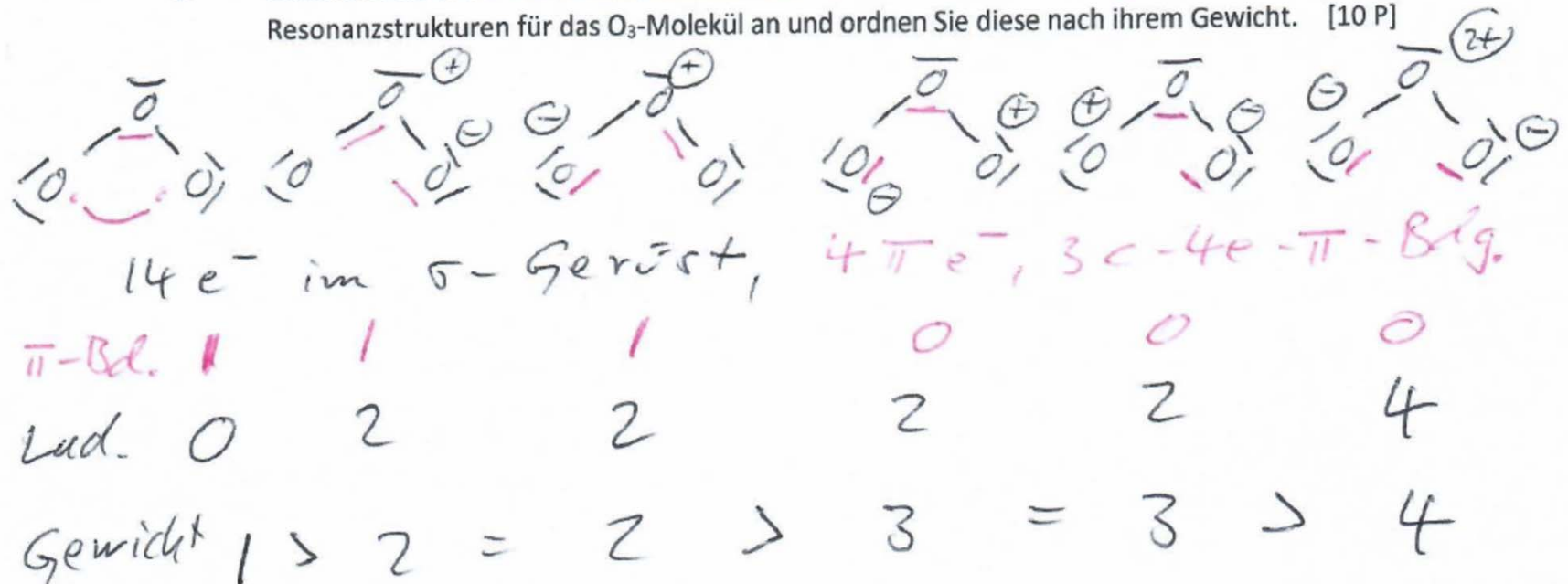


6. Schreiben Sie das komplette π -Resonanzschema für das Ozon-Molekül am (minimaler Basissatz).

Lösung:

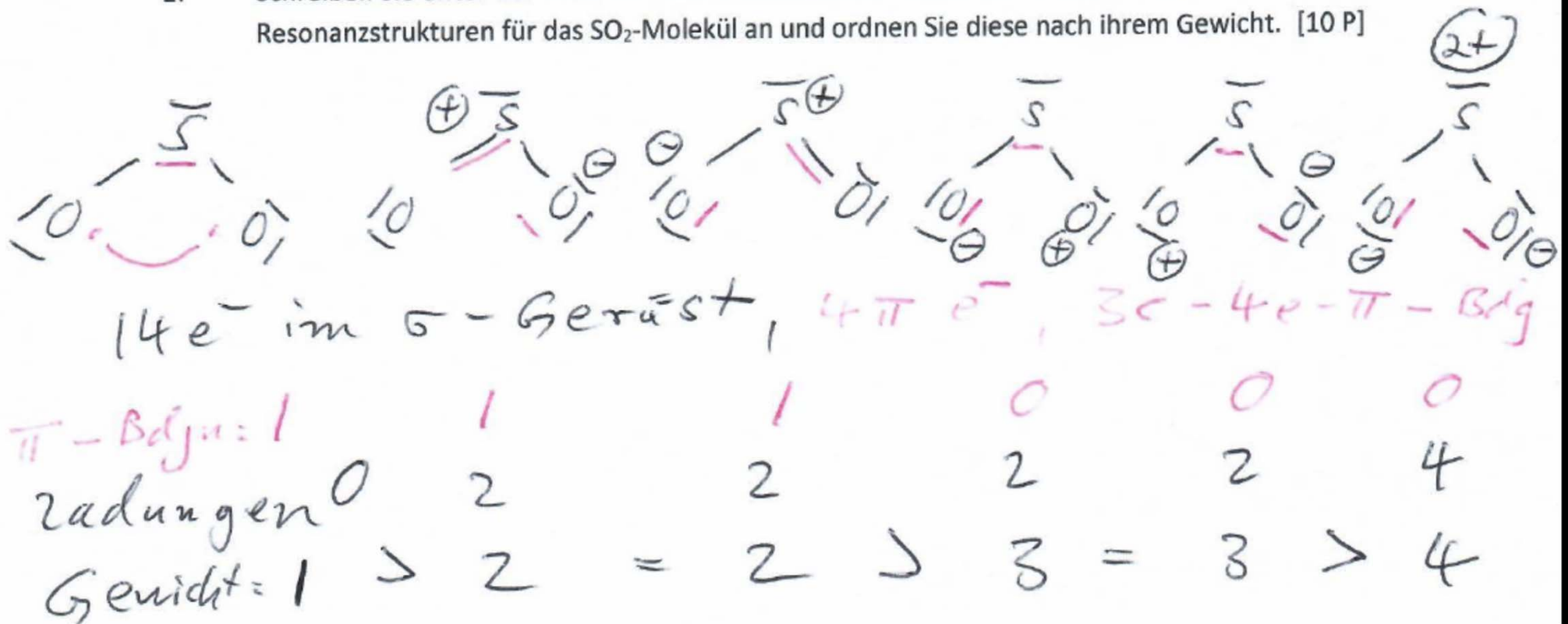


2. Schreiben Sie unter der Annahme eines minimalen Basissatzes alle möglichen π -Resonanzstrukturen für das O_3 -Molekül an und ordnen Sie diese nach ihrem Gewicht. [10 P]



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]

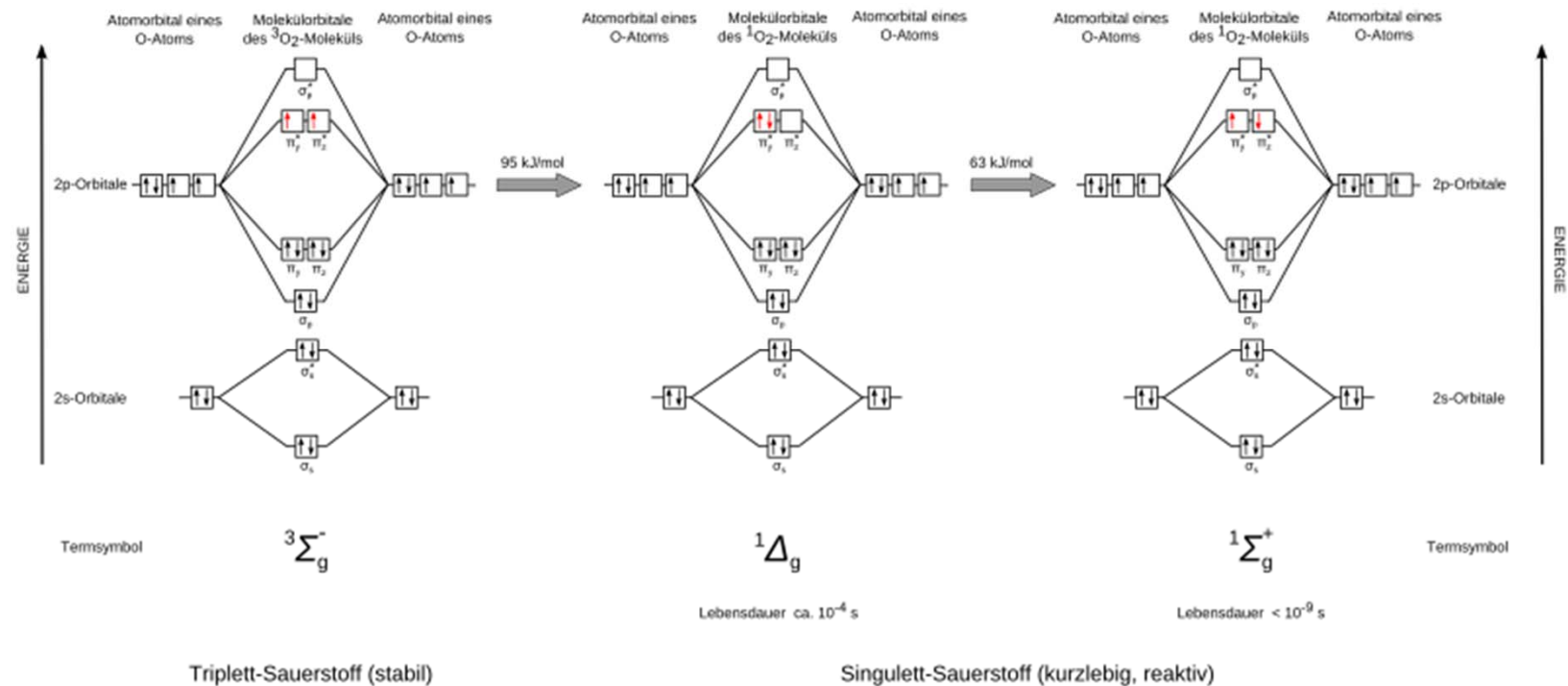


7. Erklären Sie, warum beim O₂-Molekül im Grundzustand (³Σ_g) sowie im 1. angeregten Zustand (¹Δ_g) und im 2. angeregten Zustand (¹Σ_g) die Bindungslängen nahezu identisch sind (1.2 Å).

Lösung:

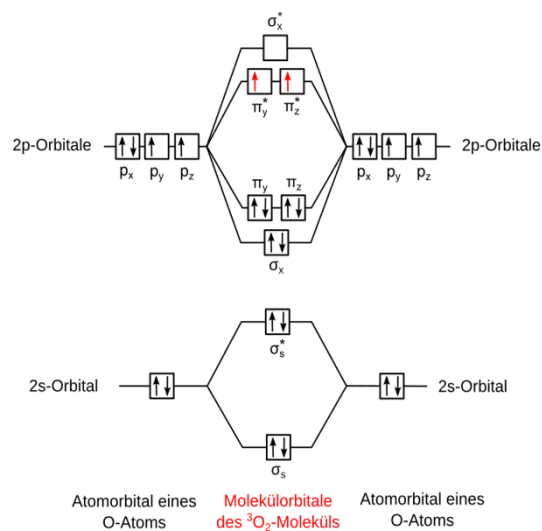
Für alle drei Zustände gilt $B_{MO} = (b-a) / 2 = 2$

Gleiche Minima der Potentialkurven

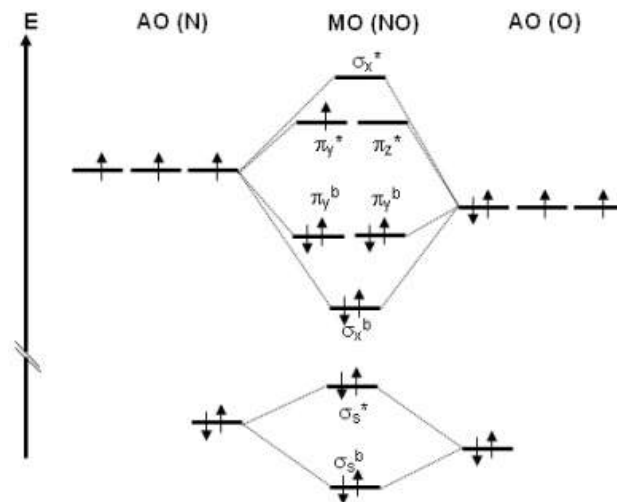


8. Zeichnen Sie die MO Diagramme von a) O_2 b) NO c) C_2

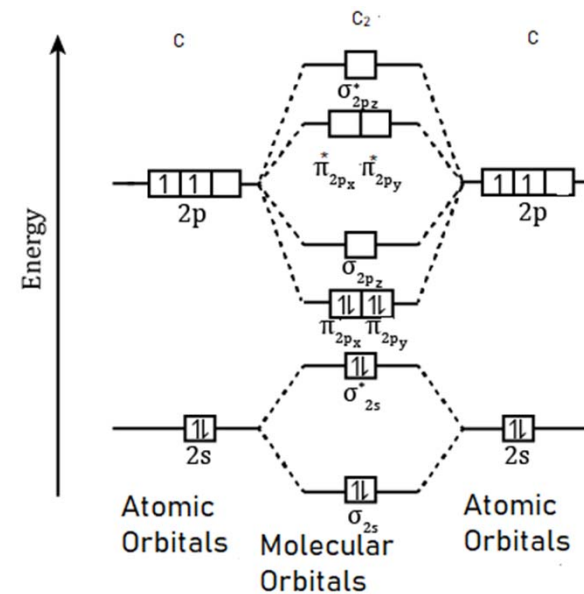
O_2



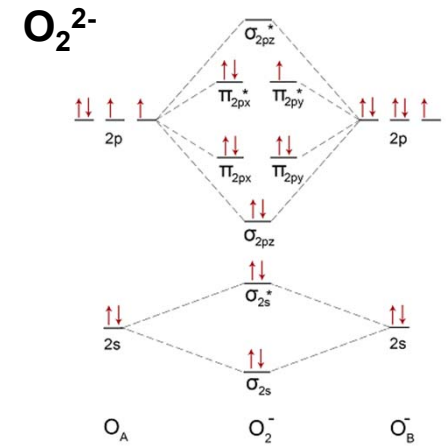
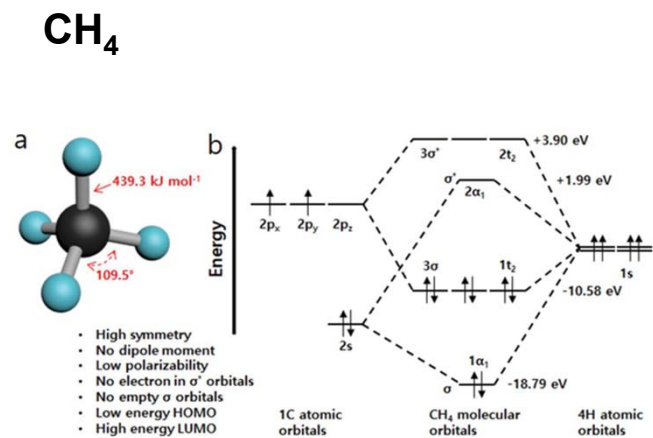
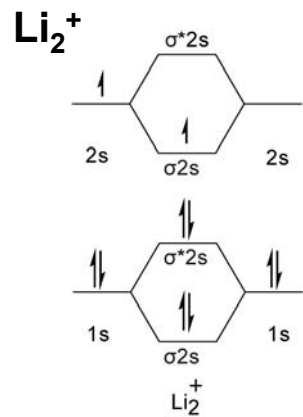
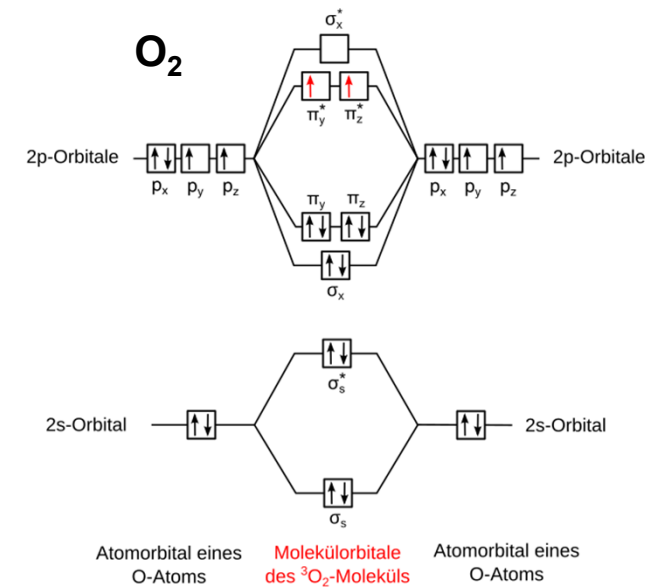
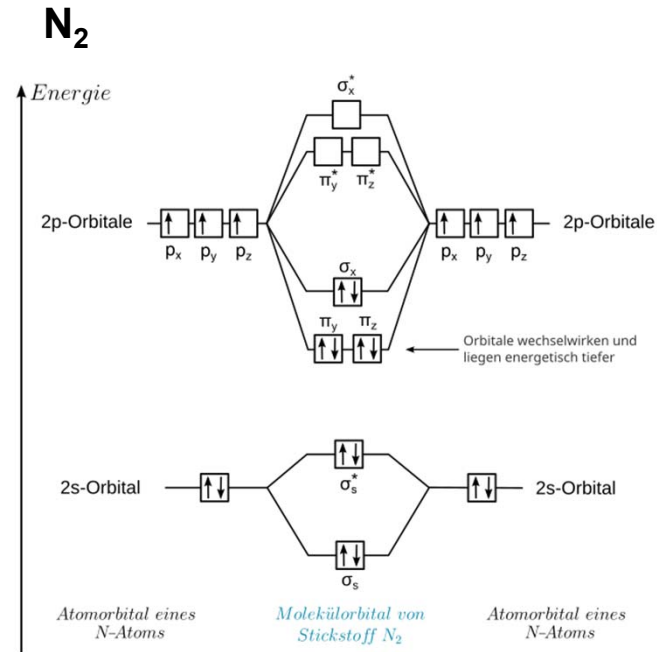
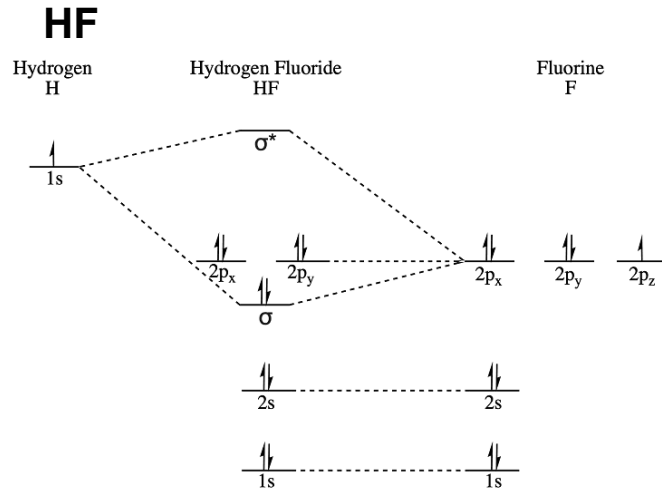
NO



C_2



Weitere MO Diagramme

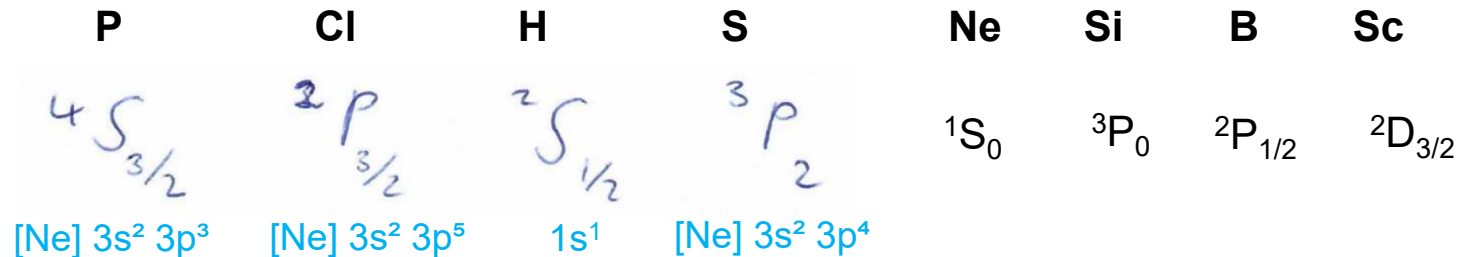


$$2S+1L_J$$

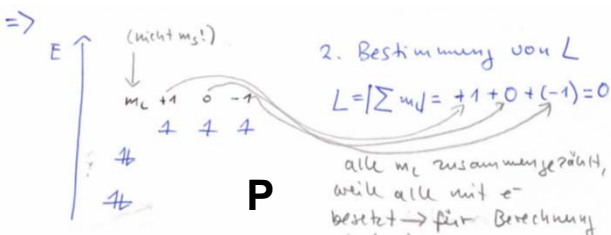
9. Geben Sie nach der 3. Hund'schen Regel die Termsymbole im Grundzustand an für:

$$L = 0 \ 1 \ 2 \ 3$$

$$S \ P \ D \ F$$



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



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

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	$\pm 1/2$	2	2
2	0	0	$\pm 1/2$	2	8
	1	-1, 0, 1	$\pm 1/2$	6	
3	0	0	$\pm 1/2$	2	18
	1	-1, 0, 1	$\pm 1/2$	6	
	2	-2, -1, 0, 1, 2	$\pm 1/2$	10	
4	0	0	$\pm 1/2$	2	32
	1	-1, 0, 1	$\pm 1/2$	6	
	2	-2, -1, 0, 1, 2	$\pm 1/2$	10	
	3	-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3	$\pm 1/2$	14	

Bestimmung der Termsymbole:

$$2S+1 \quad L_J$$

$$S = |\sum m_s|$$

$$L = |\sum m_l|$$

• Schale weniger als halbvoll: $J = |L - S|$

• Schale mehr als halbvoll: $J = L + S$

• Schale genau halbvoll: $L = 0$

$$\Rightarrow J = S \text{ (bzw. } |L - S|)$$

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

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

Schale genau halbvoll: $L = 0 \rightarrow J = S$

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)

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

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

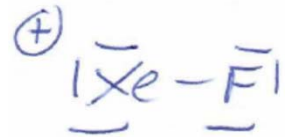
8. Übung:

Wasserstoff, Edelgase, Halogene

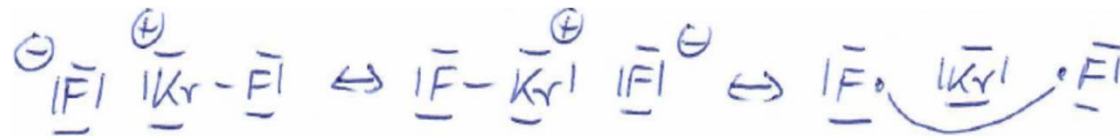
1. Formulieren Sie die Reaktionsgleichungen für



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

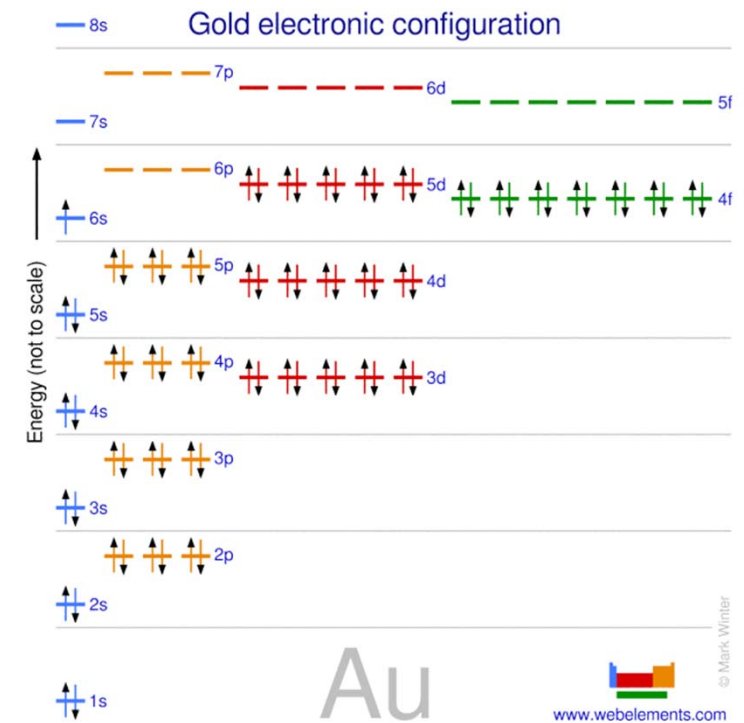


3. Schreiben Sie die drei wichtigsten mesomeren Resonanzstrukturen für KrF_2 an.



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

AuF , AuF_3 , AuF_5



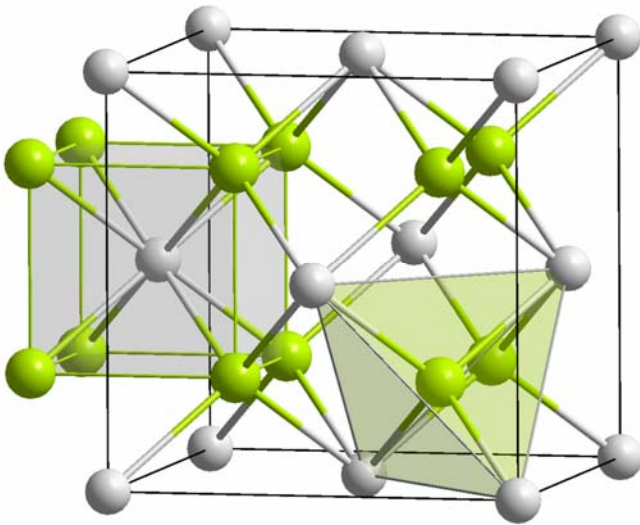
5. Nennen Sie für F, Cl, Br, und I jeweils ein natürliches Vorkommen!

CaF_2

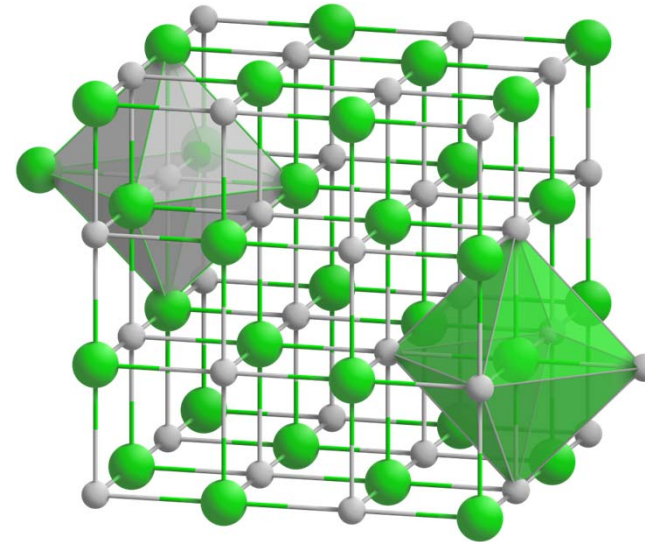
NaCl

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.

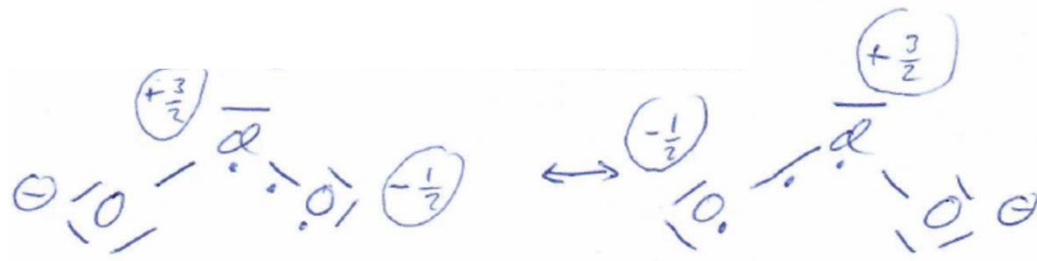
Lösung:

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: $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$

a) Ox: $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$

Red: $\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$

Gesamt: $\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+} + \text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

b) Ox: $10\text{Cl}^- \rightarrow 5\text{Cl}_2 + 10\text{e}^-$

Red: $\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$

Gesamt: $2\text{MnO}_4^- + 16\text{H}^+ + 10\text{Cl}^- \rightarrow 2\text{Mn}^{2+} + 5\text{Cl}_2 + 8\text{H}_2\text{O}$

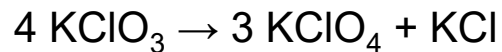
c) Ox: $6\text{Cl}^- \rightarrow 3\text{Cl}_2 + 6\text{e}^-$

Red: $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$

Gesamt: $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 6\text{Cl}^- + 14\text{H}^+ \rightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 3\text{Cl}_2 + 7\text{H}_2\text{O}$

9. Erhitzt man Kaliumchlorat(V) so entsteht KCl und KClO₄.

(a) Formulieren sie die Reaktionsgleichung.



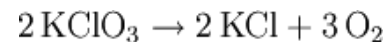
(b) Beschreiben Sie die Struktur des Perchlorat(VII)-Anions.

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.

$-\text{CN}$, $-\text{N}_3$, $-\text{OCN}$, $-\text{NCO}$, $-\text{CNO}$, $-\text{SCN}$, $-\text{NCS}$, $-\text{SeCN}$

Bromcyan Br-CN

Iodazid I-N_3

Dicyan NC-CN

HCN (Blausäure)

HNCO (Isocyansäure)

HCNO (Knallsäure)

HNCS (Isothiocyansäure)

HN_3 (Stickstoffwasserstoffsäure)

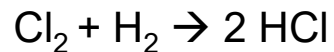
- Es existieren zumeist Dimere
- Es existieren *Pseudohalogenwasserstoffsäuren*
- Die Salze AgX sind schwer löslich.
- In alkalischer Lösung kommt zur Disproportionierung
- Die Pseudohalogene bilden untereinander und mit den Halogenen Verbindungen, die den Interhalogenverbindungen entsprechen

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 ($\Delta_f H(\text{HCl}) = -92 \text{ kJ/mol}$)

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 g Cl_2 entsprechen $n = m/M = 0,28 \text{ mol}$

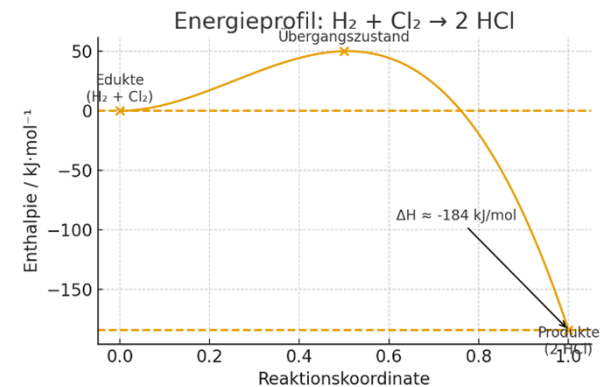
3L $\text{H}_2 \rightarrow 0,134 \text{ mol}$ ($3\text{L} / 22,4\text{L mol}^{-1}$)

also maximal 0,268 mol HCl

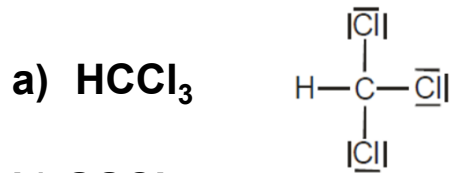
$m(\text{HCl}) = 0,268 \text{ mol} * 36,5 \text{ g/mol} = 9,78 \text{ g}$

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

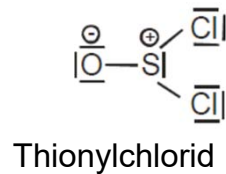
Von 0 kJ/mol mit Aktivierungsenergieberg zu 2 x -92 kJ/mol.



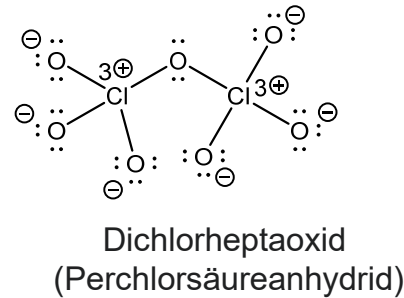
12. Zeichnen Sie die Valenzstrichformeln für folgende Moleküle einschließlich der Formalladungen und benennen diese.



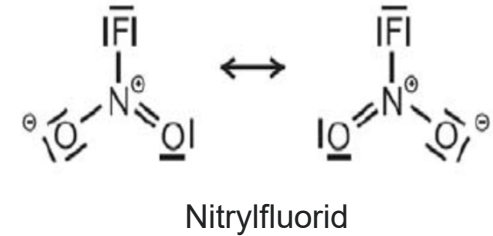
b) OSCl_2



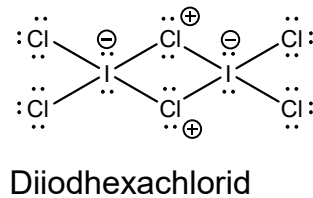
c) Cl_2O_7



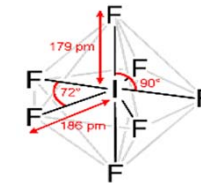
d) O_2NF (N-Atom ist Zentralatom)



e) Dimer von ICl_3



f) IF_7



Iodheptafluorid, Pentagonale Bipyramide,

g) Bromcyan $\text{Br}-\text{C}\equiv\text{N}$ lineares Molekül

h) I_5^- Pentaiodid-Anion, gewinkelt

i) ClF_3



j) SF_4

