



EUROPA-FACHBUCHREIHE

für Chemieberufe

Lösungsvorschläge
für die Aufgaben im Buch
Technische Mathematik
für Chemieberufe

Grundlagen

5. Auflage

Klaus Brink, Gerhard Fastert, Eckhard Ignatowitz

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselderger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 71411

Autoren:

Dr. Klaus Brink, StR	Leverkusen
Gew. Lehrer Gerhard Fastert, OStR †	Stade
Dr. Eckhard Ignatowitz, StR	Waldbronn

Leitung des Arbeitskreises und Lektorat:

Dr. Eckhard Ignatowitz

Bildentwürfe:

Die Autoren

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern

Foto des Buchtitels:

Mit freundlicher Genehmigung der Dow Deutschland Anlagengesellschaft mbH, Stade

Hinweise für den Benutzer:

Das vorliegende Buch enthält Lösungsvorschläge für sämtliche Aufgaben im Buch „Technische Mathematik für Chemieberufe“, 5. Auflage. Teilweise wurde für eine Aufgabe sowohl ein Lösungsvorschlag mit Größengleichungen und ein Lösungsweg mit Schlussrechnung ausgeführt.

Die Lösungsvorschläge sind in derselben Reihenfolge wie die Aufgaben im Buch „Technische Mathematik für Chemieberufe“ angeordnet.

Das Auffinden des Lösungsvorschlags einer bestimmten Aufgabe ist mit dem Inhaltsverzeichnis und den Seitenverweisen zum Buch „Technische Mathematik für Chemieberufe“, kurz TMCH, leicht möglich. Die Seitenverweise sind durch eine graue Unterlegung markiert. Näheres hierzu auf Seite 6 unten.

5. Auflage 2014, 1. korrigierter Nachdruck 2017

Druck 5 4 3 2

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Behebung von Druckfehlern untereinander unverändert sind.

ISBN 978-3-8085-7145-3

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2014 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten

Satz & Grafik: Wissenschaftliche PublikationsTechnik Kernstock, 73230 Kirchheim/Teck

Druck: Totem, 88-100 Inowrocław, Poland

4.7	Rechnen mit Reaktionsgleichungen	84	6	Berechnungen zum Verlauf chemischer Reaktionen	134
4.7.1	Aufbau von Reaktionsgleichungen.	84	6.1	Reaktionsgeschwindigkeit	134
4.7.2	Aufstellen von Reaktionsgleichungen	84	6.2	Beeinflussung der Reaktionsgeschwindigkeit	135
4.7.3	Oxidationszahlen	85	6.2.1	Einfluss der Konzentration	135
4.7.4	Aufstellen von Redox-Gleichungen	86	6.2.2	Einfluss der Temperatur.	135
	Gemischte Aufgaben zu Kapitel 4.7	90	6.2.3	Einfluss von Katalysatoren	136
4.8	Umsatzberechnung bei chemischen Reaktionen	90	6.4	Massenwirkungsgesetz	137
4.8.1	Umsatzberechnung bei Einsatz reiner Stoffe	90	6.5	Verschiebung der Gleichgewichtslage	137
4.8.2	Umsatzberechnung bei Einsatz verunreinigter oder gelöster Stoffe	93	6.6	Protolysegleichgewichte	140
4.8.3	Umsatzberechnung bei Gasreaktionen	95	6.6.1	Protolysegleichgewicht des Wassers	140
4.8.4	Umsatzberechnung unter Berücksichtigung der Ausbeute	97	6.6.2	Der pH-Wert	140
	Gemischte Aufgaben zu Kapitel 4.8	99	6.6.3	pH-Wert starker Säuren und Basen	141
			6.6.4	pH-Wert schwacher Säuren und Basen	142
5	Rechnen mit Gehaltsgrößen von Mischungen	103	6.7	pH-Wert von Pufferlösungen	143
5.1	Gehaltsgrößen von Mischungen	103	6.8	Löslichkeitsgleichgewichte	144
5.1.1	Massenanteil w	103		Gemischte Aufgaben zu Kap. 6	146
5.1.2	Volumenanteil φ	104	7	Analytische Bestimmungen	150
5.1.3	Stoffmengenanteil χ	105	7.1	Gravimetrische Analysen	150
5.1.4	Umrechnung der verschiedenen Anteile	106	7.1.1	Feuchtigkeits- und Trockengehaltsbestimmungen von Feststoffen.	150
5.1.5	Massenkonzentration β	109	7.1.2	Glührückstandsbestimmungen.	150
5.1.6	Volumenkonzentration σ	110	7.1.3	Bestimmung des Wassergehalts in Ölen	151
5.1.7	Stoffmengenkonzentration c , Äquivalentkonzentration $c(1/z \cdot X)$	110		Gemischte Aufgaben zu Kapitel 7.1	151
5.1.8	Umrechnen der verschiedenen Konzentrationen	112	7.2	Volumetrische Bestimmungen (Maßanalyse)	153
5.1.9	Löslichkeit L^*	115	7.2.4	Titer von Maßlösungen	153
5.2	Umrechnen von Anteilen in Konzentrationen und Löslichkeiten	116	7.2.5	Berechnung von Maßanalysen – Neutralisationstitrations.	153
5.2.1	Umrechnung von Massenanteil $w(X)$ und Stoffmengenkonzentration $c(X)$	116	7.2.5.1	Direkttitrations	153
5.2.2	Umrechnung Massenanteil $w(X)$ und Massenkonzentration $\beta(X)$	117	7.2.5.2	Bestimmung des Titers von Maßlösungen	155
5.2.3	Umrechnung von Massenanteil $w(X)$ und Volumenkonzentration $\sigma(X)$	119	7.2.5.3	Rücktitrationen.	156
5.2.4	Umrechnung von Massenanteil $w(X)$ und Löslichkeit $L^*(X)$	119	7.2.5.4	Oleum-Bestimmungen	157
	Gemischte Aufgaben zu Kapitel 5.2	121	7.2.6	Bestimmung von Abwasserkennwerten.	160
5.3	Gehaltsgrößen beim Mischen, Verdünnen und Konzentrieren von Lösungen	124	7.2.7	Bestimmung der Wasserhärte	161
5.3.1/2	Mischen und Verdünnen von Lösungen.	124	7.2.8	Bestimmung maßanalytischer Kennzahlen	161
5.3.3	Mischen von Lösungs-Volumina	126	7.2.8.1	Säurezahl SZ	161
5.3.4	Konzentrieren von Lösungen	127	7.2.8.2	Verseifungszahl VZ	162
	Gemischte Aufgaben zu Kap. 5	129	7.2.8.3	Esterzahl EZ	163
			7.3	Maßanalytische Bestimmungen mit elektrochemischen Methoden	163
			7.3.1	Potentiometrische Neutralisationstitrations.	163
			7.3.2	Leitfähigkeitstitrations (Konduktometrie)	166
				Gemischte Aufgaben zu Kapitel 7.3	167
			7.4	Optische Analyseverfahren	174
			7.4.1	Fotometrie, Spektroskopie	174
			7.4.2	Refraktometrie	177

Inhaltsverzeichnis

7.4.3	Polarimetrie	178	9.6	Gefrierpunktniedrigung	200
7.5	Chromatografie	179	9.7/8	Temperaturänderung beim Mischen sowie direkten Heizen und Kühlen	200
8	Berechnungen zur Elektrotechnik	183	9.9	Reaktionswärmen bei chemischen Reaktionen	202
8.1	Grundbegriffe der Elektrotechnik	183	9.10	Heiz- und Brennwert von Brennstoffen	204
8.2	Elektrischer Widerstand und Leitwert eines Leiters	183		Gemischte Aufgaben zu Kap.9	204
8.3	Ohm'sches Gesetz	184	10	Bestimmung von Produkteigenschaften	208
8.4	Reihenschaltung von Widerständen	184	10.1	Bestimmung der Dichte	208
8.5	Parallelschaltung von Widerständen	185	10.1.1	Dichtebestimmung mit dem Pyknometer	208
8.6	Gruppenschaltungen, Netzwerke	186	10.1.2/3	Dichtebestimmung mit der hydrostatischen und Westphal'schen Waage	209
8.7	Wheatstone'sche Brückenschaltung	188	10.1.4	Dichtebestimmung mit dem Tauchkörper-Verfahren	210
8.8	Thermische Widerstandsänderung, Widerstandsthermometer	189	10.1.5	Dichtemessung mit dem Aräometer	210
8.9	Thermospannung, Thermoelement	189	10.1.6	Dichtebestimmung nach der Schwingungsmethode	210
8.10	Widerstandsänderung eines Leiters durch Dehnung	190	10.2	Bestimmung technischer Dichten	211
8.11	Elektrische Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad	190	10.3	Bestimmung der Viskosität	212
8.12	Berechnungen zum Drehstromkreis	191	10.3.2	Kugelfall-Viskosimeter nach Höppler	212
8.13	Elektrolytische Stoffabscheidung	192	10.3.3/4	Auslauf- und Rotations-Viskosimeter	213
	Gemischte Aufgaben zu Kap.8	193	10.4	Bestimmung der Oberflächenspannung	215
9	Berechnungen zur Wärmelehre	195	10.5	Bestimmung der Partikelgrößenverteilung von Schüttgütern	216
9.1	Temperaturskalen	195	10.5.4	Auswertung einer Siebanalyse mit einem Tabellenkalkulationsprogramm	223
9.2	Verhalten der Stoffe bei Erwärmung	195	11	Qualitätssicherung	228
9.2.1	Thermische Längenänderung von Feststoffen	195	11.1	Erfassung der Verteilung von Messwerten	228
9.2.2	Thermische Volumenänderung von Feststoffen	195	11.2	Qualitätssicherung mit Qualitätsregelkarten (QRK).	229
9.2.3	Thermische Volumenänderung von Flüssigkeiten	196	11.2.2	Qualitätsregelkarten mit festen Regelgrenzen	229
9.2.4	Thermische Volumenänderung von Gasen	196	11.2.3	Erstellen und Führen von Qualitätsregelkarten	230
9.3	Wärmeinhalt von Stoffportionen	197	11.3	Interpretation von Qualitätsregelkarten	231
9.4	Aggregatzustandsänderungen	198			
9.4.1	Schmelzen, Erstarren	198			
9.4.2	Verdampfen, Kondensieren	198			
9.5	Siedepunkterhöhung	199			

Erläuterungen zu den Seitenangaben:

Die Seitennummer des vorliegenden Buches **Lösungsbuch für Technische Mathematik für Chemie-berufe** ist jeweils am unteren Rand der Seite angegeben.

Die Seitennummern des Lehrbuchs **Technische Mathematik für Chemieberufe**, auf denen sich die Aufgabentexte befinden, sind am rechten bzw. linken Seitenrand genannt.

Zusätzlich ist am rechten und linken Rand die Kapitelnummer des Großkapitels des Buches auf grauem Rasterfeld angegeben.

Beispiel: Auf der gegenüber liegenden Seite 7 befinden sich die Aufgabentexte im Buch **Technische Mathematik für Chemieberufe** auf den Seiten 9, 10 und 11. Am linken Seitenrand sind die Seitennummern der Aufgaben nochmals aufgetragen und mit einem ► markiert: ►9, ►10, ►11.

Durch Blättern mit dem rechten oder linken Daumen können die Großkapitelnummer und die Seitennummern des Buches **Technische Mathematik für Chemieberufe** schnell gefunden werden.

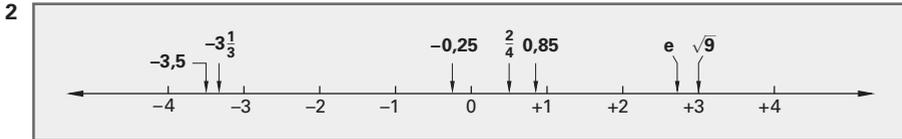
1 Mathematische Grundlagen, praktisches Rechnen

1

1.1 Zahlenarten

- 9
- | | | | | |
|---|------------|------------------------------|---------------|-----------------------|
| 1 | 0,7 | Dezimalzahl; | -18 | negative ganze Zahl; |
| | $\sqrt{3}$ | Wurzelzahl; | $\frac{1}{7}$ | Bruchzahl; |
| | 0 | natürliche Zahl; | -387 | negative ganze Zahl; |
| | $-\pi$ | negative transzendente Zahl; | -0,32 | negative Dezimalzahl. |

► 9
10
11



1.3 Grundrechnungsarten

1.3.1 Addieren und Subtrahieren

- 10
- $59,30a - 27,53a + 7,83b - 21,04b = 31,77a - 13,21b$
 - $8,3x - 7,8a + 2,5x - 9,2a = 8,3x - (7,8a - 2,5x + 9,2a)$
 - $25a - (36b - 19a - 11b - 12a) = 25a - 36b + 19a + 11b + 12a = 56a - 25b$
 - $l_1 = 4520 \text{ mm} - 65 \text{ mm} - 3015 \text{ mm} = 1440 \text{ mm}$
 $l_2 = 2880 \text{ mm} + 1220 \text{ mm} - 3240 \text{ mm} = 860 \text{ mm}$
 $l_{\text{ges}} = 4520 \text{ mm} + 820 \text{ mm} = 5340 \text{ mm}$

1.3.2 Multiplizieren

- 11
- | | |
|--------------------------------|--|
| a) $(+3) \cdot (-15) = -45$ | b) $(+9) \cdot (+7) = 63$ |
| c) $(-7) \cdot (-12) = 84$ | d) $(+5) \cdot 0 = 0$ |
| e) $(0) \cdot (-16) = 0$ | f) $(-3a) \cdot (8b) \cdot (+2c) = -48abc$ |
| g) $(+9x) \cdot (-4y) = -36xy$ | h) $(+13m) \cdot (+4m) \cdot (+2m) = 104m^3$ |
 - | | |
|--|---|
| a) $3(3a - 2b) = 9a - 6b$ | b) $9(7u + 8v) = 63u + 72v$ |
| c) $(-5) \cdot (-4x - 7y) = +20x + 35y$ | d) $(+16) \cdot (0) \cdot (4 + 32) = 0$ |
| e) $(6c - 3d) \cdot (+2a) = 12ac - 6ad$ | f) $-x(y - z) = -xy + xz$ |
| g) $4uv(9r - 5s) = 36uvr - 20uvs$ | h) $-(4ab + 7xy) \cdot (-12) = 48ab + 84xy$ |
| i) $W = p \cdot (V_2 - V_1) = p \cdot V_2 - p \cdot V_1$ | j) $m_M = \varrho_M \cdot \left(\frac{m_1}{\varrho_1} + \frac{m_2}{\varrho_2} \right) = \frac{\varrho_M \cdot m_1}{\varrho_1} + \frac{\varrho_M \cdot m_2}{\varrho_2}$ |
 - | |
|---|
| a) $(7s + 5r) \cdot (3l - 6k) = 21ls - 42ks + 15lr - 30kr$ |
| b) $5(3u - 4v) \cdot 8 \cdot (2w - 9x) = 40 \cdot (6uw - 27ux - 8vw + 36vx)$
$= 240uw - 1080ux - 320vw + 1440vx$ |
| c) $(-4) \cdot (9w + 3x) \cdot (-3) \cdot (8y - 5z) = +12 \cdot (72wy - 45wz + 24xy - 15xz)$
$= 864wy - 540wz + 288xy - 180xz$ |

$$\begin{aligned} \text{d) } 11a(-3b+2x) \cdot (4c-5y) &= 11a \cdot (-12bc + 15by + 8cx - 10xy) \\ &= \mathbf{-132abc + 165aby + 88acx - 110axy} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{4 } 7(5-2x) \cdot (-4) \cdot (-3+6y) \text{ mit } x=3 \text{ und } y=4 \\ 7(5-6) \cdot (-4) \cdot (-3+24) &= 7 \cdot (-1) \cdot (-4) \cdot (21) = \mathbf{+588} \end{aligned}$$

$$\text{5 a) } 2ab + 2ac + 2ad = \mathbf{2a(b+c+d)}$$

$$\text{b) } \pi n r_1 + \pi n r_2 = \mathbf{\pi n(r_1 + r_2)}$$

$$\text{c) } k \cdot A \cdot \vartheta_2 - k \cdot A \cdot \vartheta_1 = k \cdot A \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1)$$

$$\text{d) } \pi r_1^2 + \pi h^2 = \mathbf{\pi(r_1^2 + h^2)}$$

1.3.3 Dividieren

$$\text{► 12 } \text{1 a) } 63 : (-7) = \mathbf{-9}$$

$$\text{b) } (-64) : (-4) = \mathbf{+16}$$

$$\text{c) } (-91) : 13 = \mathbf{-7}$$

$$\text{d) } \frac{105}{15} = \mathbf{7}$$

$$\text{e) } \frac{-96}{8} = \mathbf{-12}$$

$$\text{f) } \frac{-132}{-11} = \mathbf{+12}$$

$$\text{2 a) } \frac{(-7) \cdot (18)}{12} = \mathbf{-10,5}$$

$$\text{b) } \frac{(11) \cdot (-14)}{(-7)} = \mathbf{+22}$$

$$\text{c) } \frac{(-9) \cdot (-18)}{(-36)} = \mathbf{-4,5}$$

$$\text{3 a) } (156 - 72) : 14 = 84 : 14 = \mathbf{6}$$

$$\text{b) } (391 - 144) : (121 - 102) = 247 : 19 = \mathbf{13}$$

$$\text{4 a) } \frac{-12u \cancel{v} \cdot 4}{\cancel{3} \cancel{v}} = \mathbf{-4u}$$

$$\text{b) } \frac{6a-3b}{3} = \frac{\cancel{3}(2a-b)}{\cancel{3}} = \mathbf{2a-b}$$

$$\text{c) } \frac{\cancel{8} \cancel{1} \cancel{x} \cancel{z} \cdot 9}{-\cancel{9} \cancel{z}} = \mathbf{-9x}$$

$$\text{d) } \frac{-187r \cancel{s} + 153r \cancel{s} + 34r \cancel{s}}{-17 \cancel{s}} = \frac{\cancel{17}(-11r + 9r + 2r)}{-\cancel{17}} = \mathbf{0}$$

$$\text{e) } \frac{21 \cdot (-9) \cdot 4x}{(-35) \cdot (-2)} = -\frac{\cancel{7} \cdot 3 \cdot 3 \cdot \cancel{2} \cdot 2 \cdot x}{\cancel{7} \cdot 5 \cdot \cancel{2}} = \mathbf{-\frac{54}{5}x}$$

$$\text{f) } \frac{-(x-5)}{(5-x)} = \frac{-(x-5)}{-(-5+x)} = \frac{-(x-5)}{-(x-5)} = \mathbf{1}$$

$$\text{g) } -\frac{(7x-y) \cdot (3+2b)}{-2b-3} = -\frac{(7x-y) \cdot (\cancel{3}+2b)}{-\cancel{(3+2b)}} = \mathbf{+7x-y}$$

$$\text{5 a) } \frac{7a \cdot (-3)}{5b \cdot (-3)} = \frac{\mathbf{-21a}}{\mathbf{-15b}}$$

$$\text{b) } \frac{3x \cdot (-1)}{-8y \cdot (-1)} = \frac{\mathbf{-3x}}{\mathbf{+8y}}$$

1.4 Berechnen zusammengesetzter Ausdrücke

$$\text{► 13 } \text{1 a) } -4 \cdot (0,2 - 3,2) + (14,5 - 8,5) \cdot (-0,1) = -4 \cdot (-3) + 6 \cdot (-0,1) = 12 - 0,6 = \mathbf{11,4}$$

$$\text{b) } 12x \cdot (-3y) + (0,75x - 0,50x) \cdot (+80) = -36xy + 0,25x \cdot 80 = -36xy + 20x = \mathbf{4x(5 - 9y)}$$

$$\text{2 a) } \frac{(-2,5) \cdot (86 - 82)}{(1,3 - 0,8) \cdot (42 - 38)} = \frac{-2,5 \cdot 4}{0,5 \cdot 4} = \mathbf{-5}$$

$$\text{b) } \frac{222}{37} - \frac{0,125 \cdot (-85 + 117)}{(0,4) \cdot (-8) \cdot (2,5)} = 6 - \frac{0,125 \cdot 32}{-8} = 6 + 0,5 = \mathbf{6,5}$$

$$\text{c) } 24,7 \cdot \frac{(1 - 0,392)}{(1 - 0,065)} = 24,7 \cdot 0,65027 \approx \mathbf{16,1}$$

Rechnen mit dem Dreisatz, Proportionen, Anteilen

1

▶ 31

- 21 16,0 g CH
- ₄
- nehmen 22,4L ein.

125 · 10³g CH₄ nehmen x ein.

$$x = V(\text{CH}_4) = \frac{22,4\text{L} \cdot 125 \cdot 10^3\text{g}}{16,0\text{g}} = 175 \cdot 10^3\text{L} = \mathbf{175\text{m}^3}$$

- 22 0,95t NaCl sind in 1,0t Rohsalz.

2,75t NaCl sind in x Rohsalz.

$$x = m(\text{Rohsalz}) = \frac{1,0\text{t} \cdot 2,75\text{t}}{0,95\text{t}} = 2,8947\text{t} \approx \mathbf{2,9\text{t}}$$

- 23
- $V_{\text{ges}} = 30 \cdot 50\text{L} = 1500\text{L}$

$$\frac{40\text{L}}{1} = \frac{1500\text{L}}{x} \Rightarrow x = \frac{1500\text{L} \cdot 1}{40\text{L}} = 37,5$$

n = 37 Gebinde

- 24 25,00mL Säure neutralisieren 28,24mL Lauge.

32,50mL Säure neutralisieren x Lauge.

$$x = V(\text{Lauge}) = \frac{28,24\text{mL} \cdot 32,50\text{mL}}{25,00\text{mL}} = 36,712\text{mL} \approx \mathbf{36,71\text{mL}}$$

- 25 100g Wasser lösen 35,8g NaCl.

750g Wasser lösen x NaCl.

$$x = m(\text{NaCl}) = \frac{35,8\text{g} \cdot 750\text{g}}{100\text{g}} = 268,5\text{g} \approx \mathbf{269\text{g}}$$

- 26
- $m_1(\text{Lack-Lösung}) = 5,00\text{kg}$
- ;
- $m_1(\text{Feststoff}) = 2,75\text{kg}$
- ;

 $m_2(\text{Lack-Lösung}) = 75,00\text{kg}$; $m_2(\text{Feststoff}) = ?$

Aus 5,00kg Lack-Lösung verbleiben 2,75kg Feststoff.

Aus 75,00kg Lack-Lösung verbleiben x Feststoff.

$$x = m(\text{Feststoff}) = \frac{2,75\text{kg} \cdot 75,00\text{kg}}{5,00\text{kg}} \approx \mathbf{41,3\text{kg}}$$

- 27 a)
- $n = 250$
- Kühlrohre;
- $A = 15\text{dm}^2$
- ;
- $A_{\text{ges}} = ?$

1 Rohr hat 15dm² Austauschfläche.

250 Rohre haben x Austauschfläche.

$$x = A_{\text{ges}} = \frac{15\text{dm}^2 \cdot 250}{1} = 3750\text{dm}^2 \approx \mathbf{38\text{m}^2}$$

- b)
- $3750\text{dm}^2 \cong 100\%$
- Kühlfläche

$$y = \frac{100\% \cdot 5 \cdot 15\text{dm}^2}{3750\text{dm}^2} = \mathbf{2,0\% \text{ Flächenverlust}}$$

- 28
- $m_1(\text{Cl}_2) = 70,9\text{g}$
- ;
- $V_1(\text{Cl}_2) = 22,4\text{L}$
- ;
- $m_2(\text{Cl}_2) = 750\text{g}$
- ;
- $V_2(\text{Cl}_2) = ?$

- a) 70,9g Chlor nehmen 22,4L ein.

750 g Chlor nehmen x ein.

$$x = V_2(\text{Cl}_2) = \frac{22,4\text{L} \cdot 750\text{g}}{70,9\text{g}} = 236,953\text{L} \approx \mathbf{237\text{L}}$$

- b) 1,571g Chlor nehmen 1,00cm
- ³
- ein.

750 g Chlor nehmen x ein.

$$x = V_2(\text{Cl}_2) = \frac{1,00\text{cm}^3 \cdot 750\text{g}}{1,571\text{g}} = 477,403\text{cm}^3 = \mathbf{0,477403\text{L}}$$

$$\frac{236,953\text{L}}{100\%} = \frac{0,447403\text{L}}{y} \Rightarrow y = \frac{0,447403\text{L} \cdot 100\%}{236,953\text{L}} \approx \mathbf{0,2015\%}$$

Volumenverringierung: $100\% - 0,2015\% \approx \mathbf{99,8\%}$

2.3 Auswertung von Messwertreihen

$$f) \varphi = \frac{523 \text{ mL}}{748,3 \text{ mL}} \text{ ergibt formal: } 0,6989175$$

kleinste signifikante Ziffernzahl: 3 $\Rightarrow \varphi \approx 0,699 = \mathbf{69,9\%}$

$$4) \rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho \cdot V = 1,152 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \cdot 200 \text{ L} = 230,4 \text{ kg}$$

kleinste signifikante Ziffernzahl: 3 $\Rightarrow m \approx \mathbf{230 \text{ kg}}$

$$5) V_{\text{ges}} = V_1 + V_2 + u_1 + u_2 = 12,53 \text{ mL} + 7,29 \text{ mL} + (\pm 0,03 \text{ mL} + \pm 0,05 \text{ mL}) \\ = \mathbf{19,82 \text{ mL} \pm 0,08 \text{ mL}}$$

1

► 40
44

2.3 Auswertung von Messwertreihen

Die Lösungen wurden mit einem Taschenrechner ermittelt.

► 44 1 a) Mittlere Fallzeit:

$$\bar{t} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + \dots}{n}$$

$$\bar{t} = \frac{140,51 \text{ s} + 141,84 \text{ s} + 141,63 \text{ s} + 140,66 \text{ s} + 141,94 \text{ s} + 140,91 \text{ s} + 141,59 \text{ s}}{7}$$

$$\bar{t} = 141,29714 \text{ s} \approx \mathbf{141,30 \text{ s}}$$

Standardabweichung:

$$s = \pm \sqrt{\frac{f_1^2 + f_2^2 + f_3^2 + \dots}{n-1}}$$

Mit der Standardabweichungs-Funktion des Taschenrechners ergibt sich nach Eingabe der Messwerte:

$$s = \pm 0,5887761 \text{ s} \approx \mathbf{\pm 0,59 \text{ s}}$$

$$\text{Relative Standardabweichung: } s_r = \frac{s}{\bar{x}} = \frac{s}{\bar{t}}$$

$$s_r = \frac{\pm 0,5887761 \text{ s}}{141,29714 \text{ s}} = \pm 0,0041669 = \pm 0,41669\% \approx \mathbf{\pm 0,42\%}$$

b) $t = \mathbf{141,30 \text{ s} \pm 0,59 \text{ s}}$ oder $t = \mathbf{141,30 \text{ s} \pm 0,42\%}$

2 Der Mittelwert und die Standardabweichung werden mit den statistischen Funktionen eines Taschenrechners ermittelt.

a) Mittelwert $\bar{x} = 2,6717286 \text{ g} \approx \mathbf{2,6717 \text{ g}}$

Standardabweichung $s = \pm 0,0330146 \text{ g} \approx \mathbf{\pm 0,0330 \text{ g}}$

Relative Standardabweichung $s_r = \frac{s}{\bar{x}} = \pm 0,0123357 = \pm 1,2336\% \approx \mathbf{\pm 1,23\%}$

$$\text{Prozentualer Fehler } F_p = \frac{\pm |x_{\text{max}} - \bar{x}|}{\bar{x}} \cdot 100\%$$

x	2,6735	2,6901	2,7121	2,6588	2,6476	2,6179	2,7021
$\bar{x} - x$	-0,0018	-0,0184	-0,0404	+0,0129	+0,0241	+0,0538	-0,0304

$$\Rightarrow x_{\text{max}} = 2,6179$$

$$\text{Prozentualer Fehler } F_p = \frac{\pm |2,6179 - 2,6717|}{2,6717} \cdot 100\% = \frac{\pm 0,0538}{2,6717} \cdot 100\% = \mathbf{\pm 2,01\%}$$

3 Ausgewählte physikalische Berechnungen

3.1 Größen, Zeichen, Einheiten, Umrechnungen

► 72 1

Physikalische Größen	Einheitennamen	Formelzeichen	Einheitenzeichen
	Newton		N
Länge		l	
	Kubikmeter		m ³
Viskosität		η	
	Candela		cd
	Ampere		A
Energie		W	
	Kelvin		K
	Watt		W
	Bar		bar
Beschleunigung		a	

1

► 72

2

Physikalische Größe	Formelzeichen der	
	intensiven	extensiven
	Größe	
Massenanteil	w	
Stoffmenge		n
Temperatur	ϑ	
Dichte	ρ	
Masse		m
Volumen		V
Druck	p	
Geschwindigkeit	v	
elektrische Spannung	U	
Volumenkonzentration	σ	

3

Vorsatz	Vorsatzzeichen	Potenzschreibweise
Nano	n	10 ⁻⁹
Mikro	μ	10 ⁻⁶
Milli	m	10 ⁻³
Dezi	d	10 ⁻¹
Deka	da	10 ¹
Hekto	h	10 ²
Mega	M	10 ⁶

- 4 a) $d(\text{Lack}) = 45 \mu\text{m}$ b) $\rho(\text{Aceton}) = 791 \text{g/L}$ c) $U_{\vartheta} = 3,5 \text{mV}$
 d) $v(\text{Sole}) = 1,2 \text{m/s}$ e) $\rho(\text{Stahl}) = 7,9 \text{g/cm}^3$ f) $\alpha(\text{Al}) = 24 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$

5 a) $\alpha(\text{Pb}) = \frac{29}{1000000} \cdot \frac{1}{\text{K}} = \frac{29}{10^6} \cdot \frac{1}{\text{K}} = 29 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{\text{K}} = \left[29 \cdot 0,000001 \cdot \frac{1}{\text{K}} \right] = \mathbf{0,000029 \cdot \frac{1}{\text{K}}}$

- b) $N_A = 6023 \cdot 10^{20} = [6,023 \cdot 1000 \cdot 10^{20} = 6,023 \cdot 10^3 \cdot 10^{20}] = 6,023 \cdot 10^{23}$
 $= 6,023 \cdot 10^1 \cdot 10^{23} \cdot 10^{-1} = 6,023 \cdot 10 \cdot 10^{23} \cdot 10^{-1} = 60,23 \cdot 10^{22}$
- c) $m(\text{H}) = 0,00000000000000000000001674 \text{ g} = \mathbf{1,674 \cdot 10^{-24} \text{ g}}$
- d) $d(\text{Na}) = 18,6 \cdot 10^{-11} \text{ m} = [186 \cdot 10^{-12} \text{ m}] = \mathbf{186 \text{ pm}} = [186 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-9} \text{ m}] = \mathbf{0,186 \text{ nm}}$
- e) $\gamma(\text{H}_2\text{O}) = 0,0002 \cdot \frac{1}{\text{K}} = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{1}{\text{K}} = \frac{2}{10^4} \cdot \frac{1}{\text{K}}$
- f) $r(\text{H}_2\text{O}) = 2256 \cdot \frac{\text{J}}{\text{g}} = \left[2256 \cdot \frac{1000 \text{ J}}{1000 \text{ g}} \right] = \mathbf{2256 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = \mathbf{2,256 \frac{\text{kJ}}{\text{g}}}$
- g) $\rho(\text{Luft}) = 1,3 \text{ g/L} = 1,3 \cdot \frac{1000 \text{ g}}{1000 \text{ L}} = \mathbf{1,3 \text{ kg/m}^3} = \left[1,3 \cdot \frac{1000 \text{ mg}}{1000 \text{ mL}} \right] = \mathbf{1,3 \text{ mg/mL}}$
- h) $\rho(\text{Cu}) = 0,017 \cdot \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} = \mathbf{17 \frac{\text{m}\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}} = \mathbf{17 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{mm}}}$
- i) $H_u(\text{H}_2) = 10900 \cdot \text{kJ/m}^3 = \left[10900 \frac{\text{kJ}}{1000 \text{ L}} \right] = \mathbf{10,900 \text{ kJ/L}} = \left[10,900 \cdot \frac{1000 \text{ J}}{\text{L}} \right] = \mathbf{10900 \text{ J/L}}$
- j) $\alpha(\text{Pt}) = 0,0039 \cdot \frac{1}{\text{K}} = 3,9 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{\text{K}} = 39 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{1}{\text{K}} = \frac{39}{10^4} \cdot \frac{1}{\text{K}}$
- k) $v(\text{Licht}) = 299792485 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \left[299792485 \cdot \frac{0,001 \text{ km}}{\frac{1}{3600} \text{ h}} = 299792485 \cdot 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}} \right] = \mathbf{1079300000 \frac{\text{km}}{\text{h}}}$
- l) $d = 0,121 \text{ nm} = \mathbf{121 \text{ pm}} = [121 \cdot 10^{-12} \text{ m}] = \mathbf{1,21 \cdot 10^{-10} \text{ m}}$

► 73 6 Umrechnung der Volumenangaben in Kubikzentimeter:

$$\begin{aligned} 12000 \text{ mm}^3 &= 12 \text{ cm}^3 \\ 0,60 \cdot 10^2 \text{ cm}^3 &= 60 \text{ cm}^3 \\ 0,020 \text{ dm}^3 &= 20 \text{ cm}^3 \\ 1,70 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 &= 170 \text{ cm}^3 \\ 60 \text{ cm}^3 &= 60 \text{ cm}^3 \\ 1,2 \cdot 10^4 \text{ mm}^3 &= 12 \text{ cm}^3 \\ 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ dm}^3 &= 20 \text{ cm}^3 \\ 0,000170 \text{ m}^3 &= 170 \text{ cm}^3 \\ \hline 524 \text{ cm}^3 &= 0,524 \text{ L} \end{aligned}$$

$V = 1,000 \text{ L} - 0,524 \text{ L} = \mathbf{0,476 \text{ L}}$ verbleiben im Messkolben.

7 Umwandlung der Längenangaben in Zentimeter:

$$\begin{aligned} 1,2 \text{ dm} &= 12 \text{ cm} \\ 60 \text{ mm} &= 6,0 \text{ cm} \\ 0,08 \text{ m} &= 8 \text{ cm} \\ 5 \text{ cm} &= 5 \text{ cm} \\ \hline &31 \text{ cm} \end{aligned}$$

Restlänge: $100 \text{ cm} - 31 \text{ cm} = \mathbf{69 \text{ cm}}$

8 Umwandlung der Flächenangaben in Quadratmeter:

$$\begin{aligned} 3,0 \cdot 10^3 \text{ cm}^2 &= 0,30 \text{ m}^2 \\ 2,0 \cdot 10^5 \text{ mm}^2 &= 0,20 \text{ m}^2 \\ 10 \text{ dm}^2 &= 0,10 \text{ m}^2 \\ 0,07 \text{ m}^2 &= 0,07 \text{ m}^2 \\ 1500 \text{ cm}^2 &= 0,15 \text{ m}^2 \\ \hline &0,82 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Filtertuchverbrauch: $0,82 \text{ m}^2 \cong \mathbf{82\%}$

4 Stöchiometrische Berechnungen

4.2 Aufbau der chemischen Elemente

► 110 1

Isotop	Protonen	Neutronen	Elektronen
$^{12}_6\text{C}$	6	6	6
$^{13}_6\text{C}$	6	7	6
$^{14}_6\text{C}$	6	8	6

2 $^{54}_{26}\text{Fe}$, $^{56}_{26}\text{Fe}$, $^{57}_{26}\text{Fe}$, $^{58}_{26}\text{Fe}$

3

Nr.	Isotop	Protonen	Neutronen	Elektronen
a)	$^{35}_{17}\text{Cl}$	17	18	17
b)	$^{238}_{92}\text{U}$	92	146	92
c)	$^{37}_{17}\text{Cl}$	17	20	17
d)	$^{63}_{29}\text{Cu}$	29	34	29
e)	$^{17}_8\text{O}$	8	9	8
f)	$^{27}_{13}\text{Al}$	13	14	13

4 a) $^{40}_{20}\text{Ca}$; $^{42}_{20}\text{Ca}$; $^{40}_{18}\text{Ar}$; $^{36}_{18}\text{Ar}$; $^{40}_{19}\text{K}$; $^{41}_{19}\text{K}$; $^{36}_{16}\text{S}$

b) $^{50}_{23}\text{V}$; $^{51}_{23}\text{V}$; $^{50}_{24}\text{Cr}$; $^{52}_{24}\text{Cr}$; $^{112}_{50}\text{Sn}$; $^{115}_{50}\text{Sn}$; $^{50}_{22}\text{Ti}$

5 a) $^{23}_{11}\text{Na} - 1e \rightarrow ^{23}_{11}\text{Na}^+$

b) $^{64}_{30}\text{Zn} - 2e \rightarrow ^{64}_{30}\text{Zn}^{2+}$

c) $^{16}_8\text{O}^{2-} - 2e \rightarrow ^{16}_8\text{O}$

d) $^{32}_{16}\text{S} + 2e \rightarrow ^{32}_{16}\text{S}^{2-}$

e) $^{56}_{26}\text{Fe}^{2+} - 1e \rightarrow ^{56}_{26}\text{Fe}^{3+}$

f) $^{208}_{82}\text{Pb}^{4+} + 2e \rightarrow ^{208}_{82}\text{Pb}^{2+}$

6

Nr.	Ion	Protonen	Neutronen	Elektronen
a)	$^{35}_{17}\text{Cl}^{1-}$	17	18	18
b)	$^{17}_8\text{O}^{2-}$	8	9	10
c)	$^{37}_{17}\text{Cl}^{1-}$	17	20	18
d)	$^{63}_{29}\text{Cu}^{2+}$	29	34	27
e)	$^{208}_{82}\text{Pb}^{4+}$	82	126	78
f)	$^{27}_{13}\text{Al}^{3+}$	13	14	10

4.3 Symbole und Ziffern in chemischen Formeln

► 111 1

- 2Br₂ : 2 Moleküle Brom aus je 2 Atomen Br
 4Hg : 4 Atome Quecksilber
 CH₄ : 1 Molekül Methan aus 1 Atom C und 4 Atomen H
 BaSO₄ : Eine Formeleinheit Bariumsulfat aus 1 Atom Ba, 1 Atom S und 4 Atomen O
 2NH₄⁺ : 2 Ammonium-Ionen aus je 1 Atom N und 4 Atomen H
 2Zn : 2 Atome Zink
 2Fe²⁺ : 2 Eisen-Ionen
 CO : 1 Molekül Kohlenstoffmonoxid aus 1 Atom C und 1 Atom O
 3Co : 3 Atome Cobalt

4.3 Symbole und Ziffern in chemischen Formeln

- 2AlCl_3 : 2 Formeleinheiten Aluminiumchlorid aus je 1 Atom Al und 3 Atomen Cl
 NO_3^- : 1 Nitrat-Ion aus 1 Atom N und 3 Atomen O
 HCO_3^- : 1 Hydrogencarbonat-Ion aus 1 Atom H, 1 Atom C und 3 Atomen O
 NaOH : Eine Formeleinheit Natriumhydroxid aus 1 Atom Na, 1 Atom O und 1 Atom H
 2HNO_3 : 2 Moleküle Salpetersäure aus je 1 Atom H, 1 Atom N und 3 Atomen O
 2CN^- : 2 Cyanid-Ionen aus je 1 Atom C und 1 Atom N
 3O_2 : 3 Moleküle Sauerstoff aus je 2 Atomen O
 2N_2 : 2 Moleküle Stickstoff aus je 2 Atomen N
 2Ar : 2 Atome Argon
 $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$: Eine Formeleinheit Natriumcarbonat-Decahydrat aus 2 Atomen H, 1 Atom C und 3 Atomen O sowie 10 Moleküle Kristallwasser aus je 2 Atomen H und 1 Atom O
- 2** a) 2Cl_2 b) KOH c) CO_2 d) Al_2O_3
 e) 2Zn f) 3CO g) AlCl_3 h) 2CaO
 i) $\text{Al}(\text{OH})_3$ j) SO_2
- 3** KMnO_4 : Eine Formeleinheit Kaliumpermanganat aus 1 Atom K, 1 Atom Mn, 4 Atomen O
 P_4 : Ein Molekül Phosphor aus 4 Atomen P
 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$: Eine Formeleinheit Natriumthiosulfat aus 2 Atomen Na, 2 Atomen S, 3 Atomen O
 $\text{Ba}(\text{OH})_2$: Zwei Formeleinheiten Bariumhydroxid aus 1 Atom Ba und 2 Hydroxidgruppen aus je 1 Atom O und 1 Atom H
 SiO_2 : Ein Molekül Siliciumdioxid aus 1 Atom Si und 2 Atomen O
 S_8 : Ein Molekül Schwefel aus 8 Atomen S
 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$: Eine Formeleinheit Bleinitrat aus 1 Atom Pb, 2 Nitratgruppen aus je 1 Atom N und 3 Atomen O
 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$: Eine Formeleinheit Calciumhydrogencarbonat aus 1 Atom Ca, 2 Hydrogencarbonatgruppen aus je 1 Atom H, 1 Atom C und 3 Atomen O
 $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$: Eine Formeleinheit Ammoniumdihydrogenphosphat aus einer Ammoniumgruppe mit 1 Atom N und 4 Atomen H sowie einer Dihydrogenphosphatgruppe mit 2 Atomen H, 1 Atom P und 4 Atomen O
 HS^- : Ein Hydrogensulfid-Ion aus 1 Atom H und 1 Atom S
 CHCl_3 : Ein Molekül Trichlormethan aus 1 Atom C, 1 Atom H und 3 Atomen Cl
 PO_4^{3-} : Ein Phosphat-Ion aus 1 Atom P und 4 Atomen O
 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$: Eine Formeleinheit Aluminiumsulfat aus 2 Atomen Al und 3 Sulfatgruppen aus je 1 Atom S und 4 Atomen O
 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$: Ein Molekül Ethanol aus 2 Atomen C, 5 Atomen H sowie einer Hydroxylgruppe aus 1 Atom O und 1 Atom H
 HPO_4^{2-} : Ein Hydrogenphosphat-Ion aus 1 Atom H, 1 Atom P und 4 Atomen O
 $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$: Eine Formeleinheit Eisensulfat-Heptahydrat aus 1 Atom Fe, 1 Atom S, 4 Atomen O sowie 7 Molekülen Kristallwasser aus jeweils 2 Atomen H und 1 Atom O
 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$: Ein Komplexion Kupfer(II)-tetraammin aus 1 Atom Cu, 4 Ammoniakgruppen aus je 1 Atom N und 3 Atomen H
 H_2O_2 : Ein Molekül Wasserstoffperoxid aus 2 Atomen H und 2 Atomen O

5 Rechnen mit Gehaltsgrößen von Mischungen

5.1 Gehaltsgrößen von Mischungen

5.1.1 Massenanteil w

► 148 1 $w(\text{HCl}) = \frac{m(\text{HCl})}{m(\text{HCl-Lösung})} = \frac{80,5 \text{ kg}}{250 \text{ kg}} = 0,322 = \mathbf{32,2\%}$

2 $m(\text{Lsg}) = m(\text{Na}_2\text{SO}_4) + m(\text{Wasser}) = 200 \text{ kg} + 550 \text{ kg} = 750 \text{ kg}$

$$w(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{m(\text{Lsg})} = \frac{200 \text{ kg}}{750 \text{ kg}} = 0,26666 \approx \mathbf{26,7\%}$$

3 $w(\text{KOH}) = \frac{m(\text{KOH})}{m(\text{Lsg})} \Rightarrow m(\text{Lsg}) = \frac{m(\text{KOH})}{w(\text{KOH})} = \frac{30 \text{ g}}{0,041} = 731,707 \text{ g} \approx \mathbf{0,73 \text{ kg}}$

4 $w(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{m(\text{Lsg})} \Rightarrow m(\text{NaCl}) = w(\text{NaCl}) \cdot m(\text{Lsg}) = 0,261 \cdot 2,30 \text{ t} = 0,6003 \text{ t} \approx \mathbf{600 \text{ kg}}$

$$m(\text{Wasser}) = m(\text{Lsg}) - m(\text{NaCl}) = 2,30 \text{ t} - 0,6003 \text{ t} = 1,6997 \text{ t} \approx \mathbf{1,70 \text{ t}}$$

5 $w(\text{CaCl}_2) = \frac{m(\text{CaCl}_2)}{m(\text{Lsg})} \Rightarrow m(\text{Lsg}) = \frac{m(\text{CaCl}_2)}{w(\text{CaCl}_2)} = \frac{550 \text{ kg}}{0,30} = 1833,333 \text{ kg} \approx \mathbf{1,8 \text{ t}}$

6 $\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m(\text{Lsg}) = \rho(\text{Lsg}) \cdot V(\text{Lsg}) = 0,940 \text{ kg/dm}^3 \cdot 250 \text{ L} = 235 \text{ kg}$

$$w(\text{NH}_3) = \frac{m(\text{NH}_3)}{m(\text{Lsg})} = \frac{34,97 \text{ kg}}{235 \text{ kg}} = 0,14881 \approx \mathbf{14,9\%}$$

7 $\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m(\text{Lsg}) = \rho(\text{Lsg}) \cdot V(\text{Lsg}) = 1,0427 \text{ g/cm}^3 \cdot 370 \text{ mL} = 385,799 \text{ g}$

$$w(\text{HNO}_3) = \frac{m(\text{HNO}_3)}{m(\text{Lsg})}$$

$$\Rightarrow m(\text{HNO}_3) = w(\text{HNO}_3) \cdot m(\text{Lsg}) = 0,080 \cdot 385,799 \text{ g} = 30,864 \text{ g} \approx \mathbf{31 \text{ g}}$$

8 Berechnung der Masse an gelöster Reinsubstanz Na_2SO_4 :

$$w(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{m(\text{techn.})} \Rightarrow m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = w(\text{Na}_2\text{SO}_4) \cdot m(\text{techn.}) = 0,976 \cdot 250 \text{ g} = 244 \text{ g}$$

Alternativer Rechenweg mit Schlussrechnung:

In 100 g Na_2SO_4 technisch sind 97,6 g Na_2SO_4 enthalten.

In 250 g Na_2SO_4 technisch sind x Na_2SO_4 enthalten.

$$x = m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{97,6 \text{ g} \cdot 250 \text{ g}}{100 \text{ g}} = 244 \text{ g}$$

$$w(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{m(\text{Lsg})} \Rightarrow m(\text{Lsg}) = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{w(\text{Na}_2\text{SO}_4)} = \frac{244 \text{ g}}{0,0250} = 9760 \text{ g}$$

$$m(\text{Wasser}) = 9760 \text{ g} - 244 \text{ g} = 9516 \text{ g} \approx \mathbf{9,52 \text{ kg}}$$

- 9 Berechnung der Masse an Reinsubstanz
- CaCl_2
- :

$$m(\text{CaCl}_2) = \frac{M(\text{CaCl}_2) \cdot m(\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})}{M(\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})} = \frac{110,983 \text{ g/mol} \cdot 5,5 \text{ kg}}{219,075 \text{ g/mol}} = 2,7863 \text{ kg}$$

$$w(\text{CaCl}_2) = \frac{m(\text{CaCl}_2)}{m(\text{Lsg})} = \frac{2,7863 \text{ kg}}{80 \text{ kg} + 2,7863 \text{ kg}} = 0,03366 \approx \mathbf{3,4\%}$$

- 10 Berechnung der Masse an Reinsubstanz
- $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- :

In 100 g Salz sind 98,9 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ enthalten.

In 550 g Salz sind x $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ enthalten.

$$x = m(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = \frac{98,9 \text{ g} \cdot 550 \text{ g}}{100 \text{ g}} = 543,95 \text{ g}$$

Berechnung der Masse an wasserfreiem FeSO_4 :

In 278,018 g/mol $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ sind 151,911 g/mol FeSO_4 enthalten.

In 543,95 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ sind x FeSO_4 enthalten.

$$x = m(\text{FeSO}_4) = \frac{151,911 \text{ g/mol} \cdot 543,95 \text{ g}}{278,018 \text{ g/mol}} = 297,218 \text{ g}$$

$$w(\text{FeSO}_4) = \frac{m(\text{FeSO}_4)}{m(\text{Lsg})} = \frac{0,297218 \text{ kg}}{250 \text{ kg}} = 1,1889 \cdot 10^{-3} \approx \mathbf{119 \text{ ppm}}$$

- 11
- $w(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{m(\text{Lsg})}$

$$\Rightarrow m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = w(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot m(\text{Lsg}) = 0,0250 \cdot 50,0 \text{ kg} = 1,25 \text{ kg}$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O})}{M(\text{Na}_2\text{CO}_3)}$$

$$= \frac{1,25 \text{ kg} \cdot 286,142 \text{ g/mol}}{105,989 \text{ g/mol}} = 3,3747 \text{ kg} \approx \mathbf{3,37 \text{ kg}}$$

- 12
- $w(\text{CaCl}_2) = 2,0 \text{ ppb} = 2,0 \text{ mg/t} = 2,0 \cdot 10^{-9}$

$$w(\text{Ca}^{2+}) = \frac{m(\text{Ca}^{2+})}{m(\text{Lsg})}$$

$$\Rightarrow m(\text{Ca}^{2+}) = w(\text{Ca}^{2+}) \cdot m(\text{Lsg}) = 2,0 \cdot 10^{-9} \cdot 2,50 \text{ t} = 5,0 \cdot 10^{-9} \text{ t} = \mathbf{5,0 \text{ mg}}$$

5.1.2 Volumenanteil φ

$$\blacktriangleright 149 \quad 1 \quad \varphi(\text{CO}_2) = \frac{V(\text{CO}_2)}{V(\text{Luft})} = \frac{0,30 \text{ L}}{1,0 \cdot 10^3 \text{ L}} = 0,00030 = \mathbf{0,30 \text{ ‰}} = \mathbf{3,0 \cdot 10^2 \text{ ppm}}$$

$$2 \quad V(\text{CO}_2) = 500 \text{ m}^3 - 475 \text{ m}^3 = 25 \text{ m}^3$$

$$\varphi(\text{CO}_2) = \frac{V(\text{CO}_2)}{V(\text{Gasgemisch})} = \frac{25 \text{ m}^3}{500 \text{ m}^3} = 0,050 = \mathbf{5,0\%}$$

$$3 \quad \varphi(\text{Benzin}) = \frac{V(\text{Benzin})}{V(\text{Erdöl})} \Rightarrow \mathbf{V(\text{Lsg})} = \frac{V(\text{Benzin})}{\varphi(\text{Benzin})} = \frac{25,0 \text{ m}^3}{0,213} = 117,37 \text{ m}^3 \approx \mathbf{117 \text{ m}^3}$$

$$4 \quad \varphi(X) = \frac{V(X)}{V(\text{ges})} \Rightarrow V(\text{C}_8\text{H}_{10}) = \varphi(\text{C}_8\text{H}_{10}) \cdot V(\text{ges}) = 200 \cdot 10^{-6} \cdot 80,0 \text{ m}^3 = 0,0160 \text{ m}^3 = 16,0 \text{ L}$$

$$M = \frac{m \cdot R \cdot T}{p \cdot V}$$

$$\Rightarrow m(\text{C}_8\text{H}_{10}) = \frac{M(\text{C}_8\text{H}_{10}) \cdot p \cdot V(\text{C}_8\text{H}_{10})}{R \cdot T} = \frac{106,167 \text{ g/mol} \cdot 1,013 \text{ bar} \cdot 16,0 \text{ L}}{0,08314 \frac{\text{bar} \cdot \text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot 293 \text{ K}} \approx \mathbf{70,6 \text{ g}}$$

6 Berechnungen zum Verlauf chemischer Reaktionen

6.1 Reaktionsgeschwindigkeit

► 175 1 $r_D(\text{Br}_2) = -\frac{\Delta c(\text{Br}_2)}{\Delta t} = -\frac{c_2(\text{Br}_2) - c_1(\text{Br}_2)}{t_2 - t_1}$
 $= -\frac{2,0 \text{ mmol/L} - 8,0 \text{ mmol/L}}{60 \text{ s} - 30 \text{ s}} = -\frac{-6,0 \text{ mmol/L}}{30 \text{ s}} = \mathbf{0,20 \text{ mmol/s}}$

Brom zerfällt mit einer durchschnittlichen Reaktionsgeschwindigkeit von 0,20 mmol/s.

$r_D(\text{CO}_2) = r_D(\text{Br}_2) = \mathbf{0,20 \text{ mmol/L} \cdot \text{s}}$

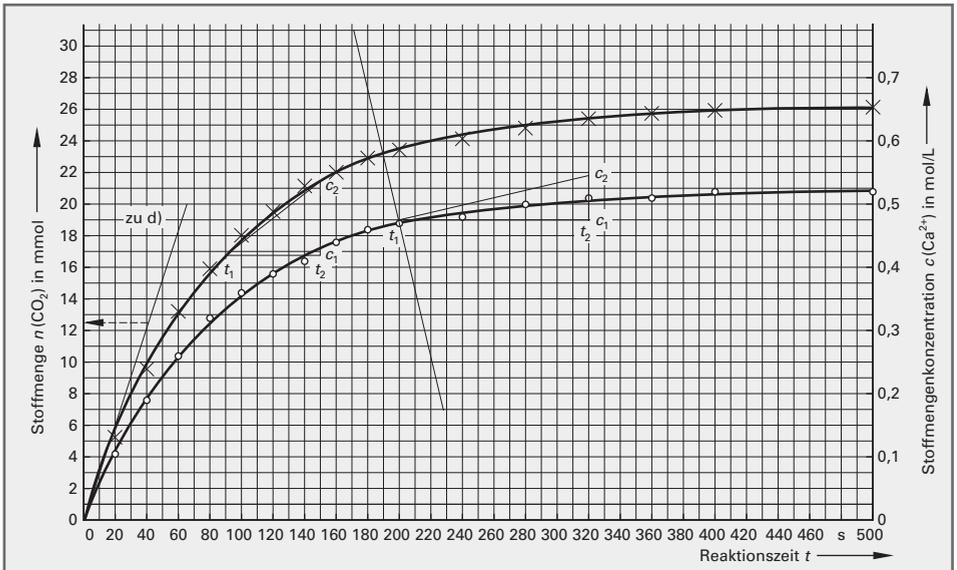
$r_D(\text{H}^+) = 2 \cdot r_D(\text{Br}_2) = 2 \cdot 0,20 \text{ mmol/L} \cdot \text{s} = \mathbf{0,40 \text{ mmol/L} \cdot \text{s}}$

CO₂ und H⁺-Ionen bilden sich mit einer durchschnittlichen Reaktionsgeschwindigkeit von 0,20 mmol/L · s bzw. 0,40 mmol/L · s.

2 a) Berechnung der Stoffmengen $n(\text{CO}_2)$ und $c(\text{Ca}^{2+})$

t in s	20	40	60	80	100	120	140	160
$n(\text{CO}_2)$ in mmol	5,23	9,54	13,2	15,9	18,0	19,5	21,1	22,0
$c(\text{Ca}^{2+})$ in mol/L	0,105	0,19	0,26	0,32	0,36	0,39	0,42	0,44

t in s	180	200	240	280	320	360	400	500
$n(\text{CO}_2)$ in mmol	22,9	23,4	24,1	24,8	25,4	25,7	25,9	26,1
$c(\text{Ca}^{2+})$ in mol/L	0,46	0,47	0,48	0,50	0,51	0,51	0,52	0,52



Die Stoffmenge $n(\text{Ca}^{2+})$ ist gleich der Stoffmenge $n(\text{CO}_2)$ zum Zeitpunkt t_n .

Die Stoffmengenkonzentration $c(\text{Ca}^{2+})$ errechnet sich nach:

$c(\text{Ca}^{2+}) = \frac{n(\text{Ca}^{2+})}{V(\text{Lsg})}$, z. B. für 20 s: $c(\text{Ca}^{2+}) = \frac{5,23 \text{ mmol}}{50 \text{ mL}} = 0,105 \text{ mol/L}$

1

► 175

6.2 Beeinflussung der Reaktionsgeschwindigkeit

$$\text{b) } r_{\text{D}}(\text{CO}_2) = \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{18,0 \text{ mmol} - 15,9 \text{ mmol}}{100 \text{ s} - 80 \text{ s}} = \frac{2,1 \text{ mmol}}{20 \text{ s}} = \mathbf{0,105 \text{ mmol/s}}$$

$$\text{c) } r_{\text{D}}(\text{CO}_2) = \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{21,4 \text{ mmol} - 16,8 \text{ mmol}}{150 \text{ s} - 90 \text{ s}} = \mathbf{0,077 \text{ mmol/s}}$$

$$r_{\text{D}}(\text{Ca}^{2+}) = \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{0,445 \text{ mol/L} - 0,34 \text{ mol/L}}{150 \text{ s} - 90 \text{ s}} = \mathbf{1,75 \frac{\text{mmol}}{\text{L} \cdot \text{s}}}$$

$$\text{d) } r_{\text{M}}(\text{Ca}^{2+}) = \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{0,545 \text{ mol/L} - 0,475 \text{ mol/L}}{320 \text{ s} - 200 \text{ s}} \approx \mathbf{0,583 \frac{\text{mmol}}{\text{L} \cdot \text{s}}}$$

Aus der Reaktionsgleichung folgt:

Die Abnahme der H^+ -Ionen erfolgt mit doppelt so großer Geschwindigkeit wie die Zunahme an CO_2 :

$$r(\text{H}^+) = 2 \cdot r(\text{CO}_2)$$

$$r(\text{CO}_2) = \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{12,8 \text{ mmol} - 0 \text{ mmol}}{40 \text{ s} - 0 \text{ s}} = 0,32 \text{ mmol/s}$$

$$r_0(\text{H}^+) = 2 \cdot r(\text{CO}_2) = 2 \cdot 0,32 \text{ mmol/s} = \mathbf{0,64 \text{ mmol/s}}$$

6.2 Beeinflussung der Reaktionsgeschwindigkeit

6.2.1 Einfluss der Konzentration

► 177 1 a) $z = c(\text{A}) \cdot c(\text{B}) = 3 \cdot 4 = \mathbf{12}$

b) $z = c(\text{A}) \cdot c(\text{B}) = 6 \cdot 4 = \mathbf{24}$

Eine Verdopplung der Konzentration A bewirkt eine Verdopplung der Stoßzahl: $z \sim c(\text{A})$

2 $r = k \cdot c(\text{H}_2) \cdot c(\text{Cl}_2)$

3 Ansatz I: $r_{\text{I}} = c(\text{A}) \cdot c(\text{B}) = 2 \text{ mol/L} \cdot 4 \text{ mol/L} = 8 (\text{mol/L})^2$

Ansatz II: $r_{\text{II}} = c(\text{A}) \cdot c(\text{B}) = 0,1 \text{ mol/L} \cdot 10 \text{ mol/L} = 1 (\text{mol/L})^2$

Ansatz I läuft mit deutlich höherer Reaktionsgeschwindigkeit ab.

6.2.2 Einfluss der Temperatur

► 179 1 $n \approx \frac{\vartheta_2 - \vartheta_1}{10 \text{ K}} = \frac{75^\circ \text{C} - 19,5^\circ \text{C}}{10 \text{ K}} = 5,5$

$$t_2 \approx \frac{t_1}{2^n} = \frac{53 \text{ s}}{2^{5,5}} = \mathbf{1,2 \text{ s}}$$

2 $n \approx \frac{\vartheta_2 - \vartheta_1}{10 \text{ K}} = \frac{22^\circ \text{C} - 60^\circ \text{C}}{10 \text{ K}} = -3,8$

$$r_2 \approx 2^n \cdot r_1 = 2^{-3,8} \cdot 8,0 \text{ mmol/min} = \mathbf{0,57 \text{ mmol/min}}$$

1

► 175
177
179

7 Analytische Bestimmungen

7.1 Gravimetrische Analysen

7.1.1 Feuchtigkeits- und Trockengehaltsbestimmungen von Feststoffen

► 199 1 $w_{\text{xer}} = \frac{m_{\text{xer}}}{m_{\text{hyg}}} = \frac{1,523 \text{ g}}{8,374 \text{ g}} = 0,181872 \approx 18,19\%$

2 $w(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{m_{\text{hyg}}} \Rightarrow m(\text{H}_2\text{O}) = w(\text{H}_2\text{O}) \cdot m_{\text{hyg}} = 0,0735 \cdot 8,254 \text{ g} = 0,60667 \text{ g}$
 $m_{\text{xer}} = m_{\text{hyg}} - m(\text{H}_2\text{O}) = 8,254 \text{ g} - 0,60667 \text{ g} \approx 7,65 \text{ g}$

3 $m_{\text{hyg}} = 5,4563 \text{ g}; m_{\text{xer}} = 5,4123 \text{ g}$
 $m(\text{H}_2\text{O}) = m_{\text{hyg}} - m_{\text{xer}} = 5,4563 \text{ g} - 5,4123 \text{ g} = 0,0440 \text{ g}$
 $w(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{m_{\text{hyg}}} = \frac{0,0440 \text{ g}}{5,4563 \text{ g}} = 8,06407 \cdot 10^{-3} \approx 0,8064\%$

4 $m_{\text{hyg}} = 4,308 \text{ g}; m_{\text{xer}} = 2,835 \text{ g}$
 $m(\text{fA}) = m_{\text{hyg}} - m_{\text{xer}} = 4,308 \text{ g} - 2,835 \text{ g} = 1,473 \text{ g}$
 $w(\text{fA}) = \frac{m(\text{fA})}{m_{\text{hyg}}} = \frac{1,473 \text{ g}}{4,308 \text{ g}} = 0,341922 \approx 34,19\%$

5 $m_{\text{hyg}} = 10,4561 \text{ g}; m_{\text{xer}} = 1,7542 \text{ g}$
 $w_{\text{xer}} = \frac{m_{\text{xer}}}{m_{\text{hyg}}} = \frac{1,7542 \text{ g}}{10,4561 \text{ g}} = 0,167768 \approx 16,78\%$

6 100 g Braunstein enthalten 54,72 g MnO_2 und 0,33 g H_2O .
99,67 g Trockensubstanz enthalten 54,72 g MnO_2 .
100 g Trockensubstanz enthalten x MnO_2 .
 $x = m(\text{MnO}_2) = \frac{54,72 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}}{99,67 \text{ g}} = 54,9012 \text{ g}$

$w_{\text{Tr}}(\text{MnO}_2) \approx 54,90\%$

Alternativer Lösungsweg mit Größengleichung:

$m_{\text{xer}} = m_{\text{hyg}} - m(\text{H}_2\text{O}) = 100 \text{ g} - 0,33 \text{ g} = 99,67 \text{ g}$

$w(\text{MnO}_2) = \frac{m(\text{MnO}_2)}{m_{\text{xer}}} = \frac{54,72 \text{ g}}{99,67 \text{ g}} = 0,549012 \approx 54,90\%$

7 Masse an Feuchtgut: $m_{\text{hyg}} = m_2 - m_1 = 9,95 \text{ kg} - 2,15 \text{ kg} = 7,80 \text{ kg}$
Masse an Trockengut: $m_{\text{xer}} = m_3 - m_1 = 7,12 \text{ kg} - 2,15 \text{ kg} = 4,97 \text{ kg}$
 $w(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{m_{\text{hyg}}} = \frac{m_{\text{hyg}} - m_{\text{xer}}}{m_{\text{hyg}}} = \frac{7,80 \text{ kg} - 4,97 \text{ kg}}{7,80 \text{ kg}} = 0,36282 \approx 36,3\%$

7.1.2 Glührückstandsbestimmungen

► 200 1 $w_{\text{rsd}} = \frac{m_{\text{rsd}}}{m(\text{Probe})} = \frac{0,140 \text{ g}}{2,000 \text{ g}} = 0,07000 \approx 7,00\%$

2 $m(\text{Probe}) = 4,825 \text{ g}; m_{\text{rsd}} = 0,315 \text{ g}$

a) $w_{\text{rsd}} = \frac{m_{\text{rsd}}}{m(\text{Probe})} = \frac{0,315 \text{ g}}{4,825 \text{ g}} = 0,06528 \approx 6,53\%$

$$b) w_{\text{rsd}} = \frac{m_{\text{rsd}}}{m(\text{Probe})}$$

$$\Rightarrow m(\text{Asche}) = w(\text{Asche}) \cdot m(\text{Probe}) \\ = 0,06528 \cdot 250 \cdot 10^3 \text{t} = 16321,24 \text{t} \approx \mathbf{1,63 \cdot 10^3 \text{t}}$$

$$3 \quad m(\text{Probe}) = m(\text{Tiegel} + \text{Probe}) - m(\text{Tiegel, leer}) = 36,75 \text{g} - 32,18 \text{g} = 4,57 \text{g}$$

$$m_{\text{rsd}} = m(\text{Tiegel} + \text{Glühr.}) - m(\text{Tiegel, leer}) = 33,42 \text{g} - 32,18 \text{g} = 1,24 \text{g}$$

$$\text{Glühverlust } m_{\text{V}} = m(\text{Probe}) - m_{\text{rsd}} = 4,57 \text{g} - 1,24 \text{g} = 3,33 \text{g}$$

$$w_{\text{V}} = \frac{m_{\text{V}}}{m(\text{Probe})} = \frac{3,33 \text{g}}{4,57 \text{g}} = 0,728665 \approx \mathbf{72,9\%}$$

$$4 \quad m(\text{Probe}) = 1,523 \text{g}; \quad m_{\text{rsd}} = 1,283 \text{g}$$

$$\text{Glühverlust } m_{\text{V}} = m(\text{Probe}) - m_{\text{rsd}} = 1,523 \text{g} - 1,283 \text{g} = 0,249 \text{g}$$

$$a) w_{\text{V}} = \frac{m_{\text{V}}}{m(\text{Probe})} = \frac{0,249 \text{g}}{1,523 \text{g}} = 0,16349 \approx \mathbf{16,35\%}$$

b) 16,35 % Glühverlust ergeben 0,249 g Massenabnahme.

17,1 % Glühverlust ergeben x Massenabnahme.

$$x = \Delta m = \frac{0,249 \text{g} \cdot 17,1\%}{16,35\%} = 0,26042 \text{g} \approx \mathbf{0,260 \text{g}}$$

7.1.3 Bestimmung des Wassergehalts in Ölen

$$1 \quad w(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{m_{\text{hyg}}} = \frac{0,203 \text{g}}{120,2 \text{g}} = 1,6889 \cdot 10^{-3} \approx \mathbf{0,169\%}$$

$$2 \quad w(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{m_{\text{hyg}}} = \frac{0,10 \text{g}}{27,25 \text{g}} = 3,6697 \cdot 10^{-3} \approx \mathbf{0,37\%}$$

Gemischte Aufgaben zu 7.1 Gravimetrische Analysen

$$\blacktriangleright 201 \quad 1 \quad w(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{m_{\text{hyg}}} = \frac{0,4563 \text{g}}{2,1187 \text{g}} = 0,215368 \approx \mathbf{21,54\%}$$

$$2 \quad w_{\text{xer}} = \frac{m_{\text{xer}}}{m(\text{Probe})} = \frac{2,2584 \text{g}}{2,3415 \text{g}} = 0,96451 \approx \mathbf{96,45\%}$$

$$w(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{m_{\text{hyg}}} = \frac{m_{\text{hyg}} - m_{\text{xer}}}{m_{\text{hyg}}} = \frac{2,3415 \text{g} - 2,2584 \text{g}}{2,3415 \text{g}} = 0,03549 \approx \mathbf{3,550\%}$$

$$3 \quad w(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{m_{\text{hyg}}} \Rightarrow m(\text{H}_2\text{O}) = w(\text{H}_2\text{O}) \cdot m_{\text{hyg}} = 0,0745 \cdot 1,7650 \text{g} = 0,131493 \text{g}$$

$$m_{\text{xer}} = m_{\text{hyg}} - m(\text{H}_2\text{O}) = 1,7650 \text{g} - 0,131493 \text{g} = 1,63351 \text{g} \approx \mathbf{1,63 \text{g}}$$

$$4 \quad m(\text{H}_2\text{O}) = m_{\text{hyg}} - m_{\text{xer}} = 10,6532 \text{g} - 1,8432 \text{g} = 8,8100 \text{g}$$

$$w(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{m_{\text{hyg}}} = \frac{8,8100 \text{g}}{10,6532 \text{g}} = 0,8269816 \approx \mathbf{82,698\%}$$

$$5 \quad a) \quad w(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{m_{\text{hyg}}} = \frac{m_{\text{hyg}} - m_{\text{xer}}}{m_{\text{hyg}}} = \frac{20,543 \text{g} - 20,241 \text{g}}{20,543 \text{kg}} = 0,014701 \approx \mathbf{1,470\%}$$

b) 100 g Salz enthalten 1,470 g H₂O.

5000 kg Salz enthalten x H₂O.

$$x = \frac{1,470 \text{g} \cdot 5,0 \cdot 10^3 \text{kg}}{100 \text{g}} = 73,50 \text{kg H}_2\text{O}$$

8 Berechnungen zur Elektrotechnik

8.1 Grundbegriffe der Elektrotechnik

$$\blacktriangleright 249 \quad 1 \quad I = \frac{Q}{t} = \frac{3,5 \cdot 10^{13} e^-}{60 s} \approx 5,83 \cdot 10^{11} \frac{e^-}{s}$$

$$6,25 \cdot 10^{18} e^-/s = 1 A$$

$$5,83 \cdot 10^{11} e^-/s = x A$$

$$x A = \frac{5,83 \cdot 10^{11} e^-/s \cdot 1 A}{6,25 \cdot 10^{18} e^-/s} = 0,9328 \cdot 10^{-7} A$$

$$I \approx 9,3 \cdot 10^{-8} A$$

$$2 \quad I = \frac{Q}{t} \Rightarrow Q = I \cdot t = 0,20 A \cdot 15 \cdot 60 s = 180 C \approx 0,18 kC$$

$$3 \quad 1 \quad \text{Ampere} = 6,25 \cdot 10^{18} e^-/s$$

$$0,0030 \text{ Ampere} = 1,88 \cdot 10^{16} e^-/s$$

$$n \approx 1,9 \cdot 10^{16} e^-/s$$

$$4 \quad I = \frac{Q}{t} \Rightarrow t = \frac{Q}{I} = \frac{88 A \cdot h}{1,85 A} = 47,6 h \approx 48 h$$

$$5 \quad I = \frac{Q}{t} = \frac{2,7 \cdot 10^6 C}{2,5 h} = 1,08 \cdot 10^6 \frac{C}{h} = 300 \frac{C}{s} = 300 A \approx 0,30 kA$$

$$6 \quad I = \frac{Q}{t} \Rightarrow t = \frac{Q}{I} = \frac{12000 A \cdot s}{350 A} \approx 34 s$$

$$7 \quad I = \frac{Q}{t} = \frac{10^{-7} C/cm^2 \cdot 100 cm \cdot 36000 cm}{60 s} \approx 6,0 mA$$

8.2 Elektrischer Widerstand und Leitwert eines Leiters

$$\blacktriangleright 250 \quad 1 \quad R = \frac{\rho \cdot l}{A} = \frac{0,49 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \cdot 100 m}{\frac{\pi}{4} \cdot (0,35 mm)^2} \approx 0,51 k\Omega$$

$$2 \quad R = \frac{\rho \cdot l}{A} \Rightarrow A = \frac{\rho \cdot l}{R} = \frac{0,0178 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \cdot 1,00 m}{7,12 m\Omega} = 2,50 mm^2$$

$$3 \quad R = \frac{\rho \cdot l}{A} \Rightarrow A = \frac{\rho \cdot l}{R} = \frac{0,108 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \cdot 0,20 m}{2,75 \Omega} \approx 0,00785 mm^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \Rightarrow d = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,00785 mm^2 \cdot 4}{\pi}} = 0,100 mm \approx 0,10 mm$$

$$4 \quad R = \frac{\rho \cdot l}{A} = \frac{0,0178 \Omega \cdot \frac{mm^2}{m} \cdot 14,0 m}{200 mm \cdot 20,0 mm} \approx 62,3 \mu\Omega$$

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{62 \cdot 10^{-6} \Omega} \approx 16,1 \cdot 10^3 S = 16,1 kS$$

1

► 249
250

$$5 \quad R_{Al} = R_{Cu} \Rightarrow \frac{\rho_{Al} \cdot l_{Al}}{A_{Al}} = \frac{\rho_{Cu} \cdot l_{Cu}}{A_{Cu}}$$

$$\text{Mit } A = \frac{\pi}{4} d^2 \text{ folgt: } \frac{\rho_{Al} \cdot l_{Al}}{d_{Al}^2} = \frac{\rho_{Cu} \cdot l_{Cu}}{d_{Cu}^2}$$

$$\text{Mit } l_{Al} = l_{Cu} \text{ folgt: } \frac{\rho_{Al}}{d_{Al}^2} = \frac{\rho_{Cu}}{d_{Cu}^2} \Rightarrow d_{Cu} = \sqrt{\frac{d_{Al}^2 \cdot \rho_{Cu}}{\rho_{Al}}} = \sqrt{\frac{4,0 \text{ mm}^2 \cdot 0,0178 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}}{0,0278 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}}} \approx \mathbf{1,6 \text{ mm}}$$

8.3 Ohm'sches Gesetz

$$\blacktriangleright 251 \quad 1 \quad R = \frac{U}{I} = \frac{3,3 \text{ V}}{11,7 \text{ kA}} = 0,282 \cdot 10^{-3} \Omega \approx \mathbf{0,28 \text{ m}\Omega}$$

$$2 \quad I = \frac{U}{R} = \frac{230 \text{ V}}{200 \Omega} \approx \mathbf{1,15 \text{ A}}$$

$$3 \quad U = R \cdot I = 19 \Omega \cdot 3,0 \text{ mA} = \mathbf{57 \text{ mV}}$$

$$4 \quad I = \frac{U}{R} = \frac{400 \text{ V}}{8,0 \Omega} = \mathbf{50 \text{ A}}$$

$$5 \quad U = R \cdot I = 28 \Omega \cdot 8,0 \text{ A} = \mathbf{224 \text{ V}} \Rightarrow \mathbf{230 \text{ V}}$$

$$6 \quad R = \frac{U}{I} = \frac{230 \text{ V}}{6,0 \text{ A}} \approx \mathbf{38 \Omega}$$

8.4 Reihenschaltung von Widerständen

$$\blacktriangleright 253 \quad 1 \quad R_{\text{ges}} = \frac{U}{I} = \frac{230 \text{ V}}{5,0 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 46 \text{ k}\Omega$$

$$R_{\text{ges}} = R_1 + R_2 + R_3 \Rightarrow R_1 = R_{\text{ges}} - R_2 - R_3 = 46 \text{ k}\Omega - 2 \text{ k}\Omega - 4 \text{ k}\Omega = \mathbf{40 \text{ k}\Omega}$$

$$2 \quad R_L = \frac{\rho \cdot l}{A} = \frac{0,0178 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \cdot 10 \text{ m} \cdot 2}{6,0 \text{ mm}^2} = 59,3 \text{ m}\Omega$$

$$R_{\text{ges}} = \frac{U_{\text{ges}}}{I} = \frac{230 \text{ V}}{40 \text{ A}} = \mathbf{5,75 \Omega}$$

$$R_{\text{ges}} = R_H + R_L \Rightarrow R_H = R_{\text{ges}} - R_L = 5,75 \Omega - 0,06 \Omega = 5,69 \Omega$$

$$U_L = R_L \cdot I = 59,3 \text{ m}\Omega \cdot 40 \text{ A} = 2,37 \text{ V} \approx \mathbf{2 \text{ V}} \cong \mathbf{1 \% \text{ der Netzspannung}}$$

$$U_H = R_H \cdot I = 5,69 \text{ m}\Omega \cdot 40 \text{ A} = 227,6 \text{ V} \approx \mathbf{228 \text{ V}}$$

$$3 \quad R_{\text{ges}} = R_1 + R_2 + R_3 = 30 \Omega + 125 \Omega + 80 \Omega = \mathbf{235 \Omega}$$

$$I = \frac{U_2}{R_2} = \frac{120 \text{ V}}{125 \Omega} = \mathbf{0,960 \text{ A}}$$

$$U_1 = R_1 \cdot I = 30 \Omega \cdot 0,960 \text{ A} \approx \mathbf{29 \text{ V}}$$

$$U_3 = R_3 \cdot I = 80 \Omega \cdot 0,960 \text{ A} \approx \mathbf{77 \text{ V}}$$

$$U_{\text{ges}} = U_1 + U_2 + U_3 = 29 \text{ V} + 120 \text{ V} + 77 \text{ V} = \mathbf{226 \text{ V}}$$

$$4 \quad \text{a) } R_{\text{ges}} = \frac{U_{\text{ges}}}{I} = \frac{230 \text{ V}}{1,6 \text{ A}} \approx \mathbf{144 \Omega}$$

$$\text{b) } U_1 = R_1 \cdot I = 60 \Omega \cdot 1,6 \text{ A} = \mathbf{96 \text{ V}}$$

$$U_3 = R_3 \cdot I = 40 \Omega \cdot 1,6 \text{ A} = \mathbf{64 \text{ V}}$$

9 Berechnungen zur Wärmelehre

9.1 Temperaturskalen

► 273 1 $\frac{\vartheta}{^{\circ}\text{C}} = 2,5 \cdot \frac{T}{\text{K}} - 273 = 2,5 \cdot \frac{293\text{K}}{\text{K}} - 273 = 732,5 - 273 = 459,5 \Rightarrow \vartheta = 459,5^{\circ}\text{C} \approx 460^{\circ}\text{C}$

2 $\frac{T_1}{\text{K}} = \frac{\vartheta_1}{^{\circ}\text{C}} + 273 = \frac{-35^{\circ}\text{C}}{^{\circ}\text{C}} + 273 = 238 \Rightarrow T_1 = 238\text{K}$

$\frac{\vartheta_2}{^{\circ}\text{C}} = \frac{T}{\text{K}} - 273 = \frac{268\text{K}}{\text{K}} - 273 = -5 \Rightarrow \vartheta_2 = -5^{\circ}\text{C}$

$\Delta\vartheta = |\vartheta_1| - |\vartheta_2| = 35^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C} = 30\text{K}; \Delta T = T_2 - T_1 = 268\text{K} - 238\text{K} = 30\text{K}$

3 $\Delta T = \Delta\vartheta = 40\text{K}$

$\frac{T_1}{\text{K}} = \frac{\vartheta_1}{^{\circ}\text{C}} + 273 = \frac{-3^{\circ}\text{C}}{^{\circ}\text{C}} + 273 = 270 \Rightarrow T_1 = 270\text{K}$

$T_2 = T_1 - \Delta T = 270\text{K} - 40\text{K} = 230\text{K}; \frac{\vartheta_2}{^{\circ}\text{C}} = \frac{T_2}{\text{K}} - 273 = \frac{230\text{K}}{\text{K}} - 273 = -43 \Rightarrow \vartheta_2 = -43^{\circ}\text{C}$

4 $\frac{T}{\text{K}} = \frac{\vartheta}{^{\circ}\text{C}} + 273 = \frac{-183^{\circ}\text{C}}{^{\circ}\text{C}} + 273 = 90 \Rightarrow T = 90\text{K}$

⇒ Sauerstoff hat eine höhere Siedetemperatur als Stickstoff.

5 $\Delta T_{\text{KCl}} = 283\text{K} - 261\text{K} = 22\text{K}$

$\Delta T_{\text{NH}_4\text{Cl}} = 283\text{K} - 258\text{K} = 25\text{K}$

⇒ Mit der **Kältemischung** $\text{H}_2\text{O}/\text{NH}_4\text{Cl}$ kann die größere Temperaturdifferenz erreicht werden.

1

► 273
274
275

9.2 Verhalten der Stoffe bei Erwärmung

9.2.1 Thermische Längenänderung von Feststoffen

Hinweis: Die Werte für den thermischen Längenausdehnungskoeffizienten α von Feststoffen sind aus der Tabelle im Lehrbuch, Seite 274, entnommen.

► 274 1 $\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\vartheta = 6,000\text{m} \cdot 17 \cdot 10^{-6}\text{K}^{-1} \cdot 35\text{K} = 3,57 \cdot 10^{-3}\text{m} \approx 3,6\text{mm}$

2 $\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\vartheta \Rightarrow \alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot \Delta\vartheta} = \frac{125 \cdot 10^{-6}\text{m}}{600 \cdot 10^{-3}\text{m} \cdot (45,86^{\circ}\text{C} - 20,18^{\circ}\text{C})} = 8,11 \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$

3 $\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\vartheta \Rightarrow \Delta\vartheta = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot \alpha} = \frac{15,0\text{cm} \cdot 10^6\text{K}}{80,0 \cdot 10^2\text{cm} \cdot 16} \approx 117\text{K}$

► 275 4 $\Delta\vartheta = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot \alpha} = \frac{2,0\text{mm} \cdot 10^6\text{K}}{143\text{mm} \cdot 18} \approx 777\text{K}$

5 $\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\vartheta = 380,0\text{m} \cdot 16 \cdot 10^{-6}\text{K}^{-1} \cdot 163,0\text{K} \approx 99,1\text{cm}$

9.2.2 Thermische Volumenänderung von Feststoffen

1 $\Delta V = V_0 \cdot 3 \cdot \alpha \cdot \Delta\vartheta = 200\text{L} \cdot 3 \cdot 16 \cdot 10^{-6}\text{K}^{-1} \cdot 10\text{K} = 96\text{cm}^3$

2 $\Delta V = V_0 \cdot 3 \cdot \alpha \cdot \Delta\vartheta = \frac{\pi}{6} \cdot d^3 \cdot 3 \cdot \alpha \cdot \Delta\vartheta = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot d^3 \cdot \alpha \cdot \Delta\vartheta$
 $= \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot 26,86^3 \text{m}^3 \cdot 11,5 \cdot 10^{-6}\text{K}^{-1} \cdot 75\text{K} \approx 26\text{m}^3$

$$3 \quad \Delta V = V_0 \cdot 3 \cdot \alpha \cdot \Delta \vartheta \Rightarrow \Delta \vartheta = \frac{\Delta V}{V_0 \cdot 3 \cdot \alpha} = \frac{10 \cdot 10^{-6} \text{ L} \cdot \text{K}}{100 \text{ mL} \cdot 3 \cdot 8,1 \cdot 10^{-6}} \approx \mathbf{4,1 \text{ K}}$$

$$4 \quad V_{\vartheta} = V_0 \cdot (1 + 3 \cdot \alpha \cdot \Delta \vartheta) = 60 \text{ L} \cdot (1 + 3 \cdot 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1} \cdot 20 \text{ K}) \approx \mathbf{60,04 \text{ L}}$$

$$5 \quad \Delta V = V_0 \cdot 3 \cdot \alpha \cdot \Delta \vartheta$$

$$\text{Mit } V_0 = V_1 = \frac{\pi}{6} \cdot d_1^3 \quad \text{und} \quad \Delta V = V_2 - V_1 = \frac{\pi}{6} \cdot d_2^3 - \frac{\pi}{6} \cdot d_1^3 = \frac{\pi}{6} (d_2^3 - d_1^3)$$

folgt nach dem Umstellen nach $\gamma = 3 \cdot \alpha$:

$$\gamma = \frac{\frac{\pi}{6} (d_2^3 - d_1^3)}{\frac{\pi}{6} \cdot d_1^3 \cdot \Delta \vartheta} = \frac{d_2^3 - d_1^3}{d_1^3 \cdot \Delta \vartheta} = \frac{(33,21 \text{ mm})^3 - (33,15 \text{ mm})^3}{(33,15 \text{ mm})^3 \cdot 100,02 \text{ K}} = \mathbf{54 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}}$$

9.2.3 Thermische Volumenänderung von Flüssigkeiten

Hinweis: Die Werte für den Volumenausdehnungskoeffizienten γ_{Fl} von Flüssigkeiten sind aus der Tabelle im Lehrbuch, Seite 276, entnommen.

$$\blacktriangleright 276 \quad 1 \quad V_{\vartheta} = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta \vartheta) = 1250 \text{ L} \cdot [1 + 1,19 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1} \cdot (28^\circ \text{C} - 9,5^\circ \text{C})] = 1277,5 \text{ L} \approx \mathbf{1,28 \text{ m}^3}$$

$$2 \quad V_{\vartheta} = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta \vartheta) \Rightarrow \frac{m}{\rho_{100}} = \frac{m}{\rho_{20}} \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta \vartheta)$$

$$\text{Mit } m = \text{konst folgt: } \rho_{100} = \frac{\rho_{20}}{1 + \gamma \cdot \Delta \vartheta} \Rightarrow \gamma = \frac{\frac{\rho_{20}}{\rho_{100}} - 1}{\Delta \vartheta} = \frac{\frac{0,99821 \text{ g/cm}^3}{0,95835 \text{ g/cm}^3} - 1}{80,0 \text{ K}} \approx \mathbf{0,520 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}}$$

$$\blacktriangleright 277 \quad 3 \quad \Delta V_{\text{rel}} = V_0 \cdot (\gamma_{\text{Flü}} - \gamma_{\text{Beh}}) \cdot \Delta \vartheta = 1,70 \text{ cm}^3 \cdot (1,25 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1} - 3 \cdot 18 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}) \cdot 150 \text{ K} \\ = 1,70 \text{ cm}^3 \cdot 11,96 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1} \cdot 150 \text{ K} \approx \mathbf{0,305 \text{ cm}^3}$$

$$4 \quad \Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta \vartheta = 20 \cdot 10^3 \text{ m}^3 \cdot 0,83 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1} \cdot 25 \text{ K} = \mathbf{415 \text{ m}^3}$$

$$5 \quad \Delta V_{\text{rel}} = V_0 \cdot (\gamma_{\text{Flü}} - \gamma_{\text{Beh}}) \cdot \Delta \vartheta = V_0 \cdot (\gamma_{\text{Flü}} - 3 \cdot \alpha) \cdot \Delta \vartheta \\ = 48,7586 \text{ cm}^3 \cdot (0,96 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1} - 3 \cdot 8,1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}) \cdot 10 \text{ K} \\ = 48,7586 \text{ cm}^3 \cdot 9,357 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1} \cdot 10 \text{ K} \approx \mathbf{0,456 \text{ cm}^3}$$

$$6 \quad V_{\vartheta} = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta \vartheta) = \frac{m}{\rho} \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta \vartheta) = \frac{6000 \text{ kg} \cdot \text{L}}{1,261 \text{ kg}} \cdot (1 + 0,59 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1} \cdot 47,3 \text{ K}) \approx \mathbf{4,89 \text{ m}^3}$$

$$7 \quad \Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta \vartheta = 1,000 \text{ cm}^3 \cdot 1,08 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1} \cdot 60 \text{ K} = 0,0648 \text{ cm}^3$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{0,867 \text{ g}}{1,0648 \text{ cm}^3} \approx \mathbf{0,81 \text{ g/cm}^3}$$

$$8 \quad \Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta \vartheta \Rightarrow \frac{\Delta V}{V_0} = \gamma \cdot \Delta \vartheta = 1,43 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1} \cdot 41 \text{ K} \approx 5,9 \cdot 10^{-2} = \mathbf{5,9\%}$$

$$9 \quad \Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta \vartheta \Rightarrow \Delta \vartheta = \frac{\Delta V}{V_0 \cdot \gamma} = \frac{1,0 \text{ L} \cdot 10^3 \text{ K}}{100,0 \text{ L} \cdot 0,59} \approx 17 \text{ K}$$

$$T_{\text{E}} = T_{\text{A}} + \Delta \vartheta = 273 \text{ K} + 17 \text{ K} = \mathbf{290 \text{ K}}$$

$$\frac{\vartheta_{\text{E}}}{^\circ \text{C}} = \frac{T_{\text{E}}}{\text{K}} - 273 = \frac{290 \text{ K}}{\text{K}} - 273 = 37 \Rightarrow \vartheta_{\text{E}} = \mathbf{37^\circ \text{C}}$$

9.2.4 Thermische Volumenänderung von Gasen

$$1 \quad \Delta V = V_0 \cdot \frac{1}{273 \text{ K}} \cdot \Delta \vartheta = 2000 \text{ m}^3 \cdot \frac{1}{273 \text{ K}} \cdot 20 \text{ K} \approx \mathbf{146,5 \text{ m}^3}$$

10 Bestimmung von Produkteigenschaften

10.1 Bestimmung der Dichte

10.1.1 Dichtebestimmung mit dem Pyknometer

$$\blacktriangleright 297 \quad 1 \quad \rho = \frac{\Delta m}{V} \Rightarrow V = \frac{\Delta m}{\rho} = \frac{74,0416 \text{ g} - 22,5543 \text{ g}}{0,9982 \text{ g/cm}^3} = 51,58 \text{ cm}^3 \Rightarrow \Delta V = 1,58 \text{ cm}^3$$

50 cm³ entspricht 100 % Volumenabweichung.

1,58 cm³ entspricht x Volumenabweichung.

$$x = \frac{1,58 \text{ cm}^3 \cdot 100\%}{50 \text{ cm}^3} = 3,2\%$$

Die Volumenabweichung des Pyknometers beträgt **3,2%** des Nennvolumens.

$$2 \quad \rho_{\text{Öl}} = \frac{m_{\text{Öl}}}{V_{\text{Öl}}}, \quad m_{\text{Öl}} = m_{\text{D}} - m_{\text{A}} = 54,5649 \text{ g} - 26,7349 \text{ g} = 27,8300 \text{ g}$$

$$V_{\text{Öl}} = V_{\text{Pyk}} = \frac{m_{\text{D}} - m_{\text{A}}}{\rho_{\text{Flü}}} = \frac{52,5334 \text{ g} - 26,7349 \text{ g}}{0,9982 \text{ g/cm}^3} = 25,8450 \text{ cm}^3$$

$$\rho_{\text{Öl}} = \frac{27,8300 \text{ g}}{25,8450 \text{ cm}^3} \approx \mathbf{1,077 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}}$$

$$\blacktriangleright 298 \quad 3 \quad \text{a) } \rho = \frac{\Delta m}{V} \Rightarrow V = \frac{\Delta m}{\rho} = \frac{46,0437 \text{ g} - 21,0348 \text{ g}}{0,9982 \text{ g/cm}^3} \approx \mathbf{25,054 \text{ cm}^3}$$

$$\text{b) } \Delta V = 25,054 \text{ mL} - 25 \text{ mL} = 0,054 \text{ mL}$$

Die Volumenabweichung des Pyknometers von 0,054 mL vom Nennvolumen wird **wesentlich unterschritten**.

$$4 \quad \rho = \frac{\Delta m}{V} = \frac{92,5851 \text{ g} - 30,8601 \text{ g}}{50,0765 \text{ cm}^3} \approx \mathbf{1,2326 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}}$$

$$5 \quad \rho(\text{Probe}) = \frac{m(\text{Probe})}{V(\text{Pyk})} = \frac{m_{\text{B}} - m_{\text{A}}}{\rho(\text{H}_2\text{O})} = \frac{44,2325 \text{ g} - 21,0316 \text{ g}}{\frac{45,9324 \text{ g} - 21,0316 \text{ g}}{0,9982 \text{ g/cm}^3}} = \mathbf{0,9301 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}}$$

$$6 \quad \rho(\text{Öl}) = \frac{m(\text{Öl})}{V(\text{Pyk})} = \frac{m_{\text{B}} - m_{\text{A}}}{\rho(\text{H}_2\text{O})} = \frac{51,0954 \text{ g} - 31,3685 \text{ g}}{\frac{56,5127 \text{ g} - 31,3685 \text{ g}}{0,9982 \text{ g/cm}^3}} = \mathbf{0,7831 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}}$$

$$7 \quad \rho_{\text{LM}} = \frac{m_{\text{LM}}}{V_{\text{Pyk}}} = \frac{m_{\text{PL}} - m_{\text{P}}}{\rho(\text{H}_2\text{O})} = \frac{63,9567 \text{ g} - 23,4689 \text{ g}}{\frac{74,1243 \text{ g} - 23,4689 \text{ g}}{0,9982 \text{ g/cm}^3}} = \mathbf{0,7978 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}}$$

$$8 \quad \rho_{\text{E}} = \frac{m_{\text{E}}}{V_{\text{Pyk}}} = \frac{m_{\text{PE}} - m_{\text{P}}}{m_{\text{PW}} - m_{\text{P}}} \cdot \rho(\text{H}_2\text{O}) = \frac{87,7368 \text{ g} - 35,3798 \text{ g}}{85,7654 \text{ g} - 35,3798 \text{ g}} \cdot 0,9979 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = \mathbf{1,037 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}}$$

$$9 \quad \rho(\text{Zucker}) = \frac{m_{\text{B}} - m_{\text{A}}}{m_{\text{D}} - m_{\text{A}} - m_{\text{C}} + m_{\text{B}}} \cdot \rho(\text{C}_6\text{H}_{12}) \\ = \frac{16,4470 \text{ g} - 13,8792 \text{ g}}{63,9531 \text{ g} - 13,8792 \text{ g} - 65,2112 \text{ g} + 16,4470 \text{ g}} \cdot 0,7791 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \\ = \frac{2,5678 \text{ g}}{1,3097 \text{ g}} \cdot 0,7791 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \approx \mathbf{1,528 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}}$$

1

▶ 297
298

10 Berechnung Recyclat I:

$$\rho_I = \frac{m_I}{V_I}; \quad m_I = m_B - m_A = 30,6531 \text{ g} - 20,7316 \text{ g} = 9,9215 \text{ g}$$

$$V_I = V_{\text{Pyk}} - \frac{m_C - m_B}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} = 25,216 \text{ cm}^3 - \frac{48,8973 \text{ g} - 30,6531 \text{ g}}{0,9982 \text{ g/cm}^3} = 6,9345 \text{ cm}^3$$

$$\rho_I = \frac{9,9215 \text{ g}}{6,9345 \text{ cm}^3} \approx 1,4307 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Recyclat Nr.	I	II	III	IV
Pyknometer mit Recyclat	30,6531 g	31,1735 g	29,6375 g	31,4567 g
Masse an Recyclat	9,9215 g	10,4419 g	8,9059 g	10,7251 g
Pyknometer mit Wasser und Recyclat	48,8973 g	49,2365 g	47,6539 g	49,8923 g
Masse an Wasser	18,2442 g	18,0630 g	18,0164 g	18,4356 g
Volumen an Wasser	18,2771 cm ³	18,0956 cm ³	18,0489 cm ³	18,4688 cm ³
Volumen an Recyclat	6,9345 cm ³	7,1160 cm ³	7,1627 cm ³	6,7828 cm ³
Dichte des Recyclats	1,4307 g/cm ³	1,4674 g/cm ³	1,2434 g/cm ³	1,5906 g/cm ³

10.1.2 und 10.1.3 Dichtebestimmung mit der hydrostatischen und Westphal'schen Waage

► 300 1 $\rho_K = \frac{m_K \cdot \rho_{\text{Flü}}}{m_K - m_S}$

$$\Rightarrow \rho_{\text{Flü}} = \frac{\rho_K (m_K - m_S)}{m_K} = \frac{2,25 \text{ g/cm}^3 (4,8760 \text{ g} - (4,8760 \text{ g} - 2,653 \text{ g}))}{4,8760 \text{ g}} = 1,22 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

2 $\rho_{\text{MS}} = \frac{m_{\text{MS}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}}}{m_{\text{MS}} - m_S} = \frac{14,5062 \text{ g} \cdot 0,9982 \text{ g/cm}^3}{14,5062 \text{ g} - 12,785 \text{ g}} = 8,4128 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

3 Das Volumen des Tauchkörpers beträgt: $V_K = \frac{m_K}{\rho_K} = \frac{7,4225 \text{ g}}{2,70 \text{ g/cm}^3} = 2,7491 \text{ cm}^3$.

Der Tauchkörper verdrängt somit:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = V(\text{H}_2\text{O}) \cdot \rho(\text{H}_2\text{O}) = 2,7491 \text{ cm}^3 \cdot 0,9982 \text{ g/cm}^3 = 2,7441 \text{ g Wasser.}$$

Seine scheinbare Masse beträgt demzufolge:

$$m_S = m_K - m_{\text{H}_2\text{O}} = 7,4225 \text{ g} - 2,7441 \text{ g} = 4,6784 \text{ g} \approx 4,68 \text{ g}$$

4 $\rho_{\text{Flü}} = \frac{m_K - m_S}{V_K}$

Mit $V_K = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{\rho(\text{H}_2\text{O})}$ folgt:

$$\rho_{\text{Flü}} = \frac{(m_K - m_S) \cdot \rho(\text{H}_2\text{O})}{m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{(12,1345 \text{ g} - 7,4950 \text{ g}) \cdot 0,9982 \text{ g/cm}^3}{4,991 \text{ g}} = 0,9279 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

5 Das Testbenzin hat die Dichte: $\rho(\text{Benzin}) = 0,811 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

6 Das Ethanol-Wasser-Gemisch hat die Dichte: $\rho(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}/\text{H}_2\text{O}) = 0,8449 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

11 Qualitätssicherung

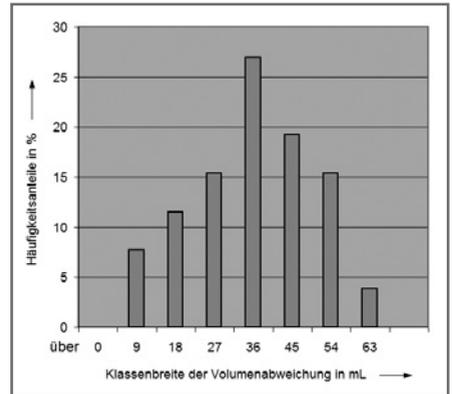
11.1 Erfassung der Verteilung von Messwerten

- 323 1 a) mit $x_{\max} = 65 \text{ mL}$ und $x_{\min} = 14 \text{ mL}$ folgt:
 Spannweite: $R = x_{\max} - x_{\min} = 65 \text{ mL} - 14 \text{ mL} = 51 \text{ mL}$
 mit $n = 26$ folgt die Anzahl der Klassen: $k = \sqrt{26} = 5,1 \approx 6$ Klassen
 Klassenbreite: $b = \frac{R}{k} = \frac{51 \text{ mL}}{6} = 8,5 \text{ mL} \approx 9 \text{ mL}$

b) Datensammelkarte

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Tabelle: Sammelkarte der Volumen-							
2	abweichung Flüssigwaschmittel							
3	Sollwert: 2000 mL; Toleranz: +80 mL							
4	Klasse	Volumen in ml		Anzahl Volumen	An-	Anteil		
5	Nr.	von	bis	pro Klassenbreite	zahl	in %		
6	0	0	9		0	0,0		
7	1	9	18		2	7,7		
8	2	18	27		3	11,5		
9	3	27	36		4	15,4		
10	4	36	45		7	26,9		
11	5	45	54		5	19,2		
12	6	54	63		4	15,4		
13	7	63	72		1	3,8		
14	8							
15					Summen:	26	100,0	

c) Säulendiagramm



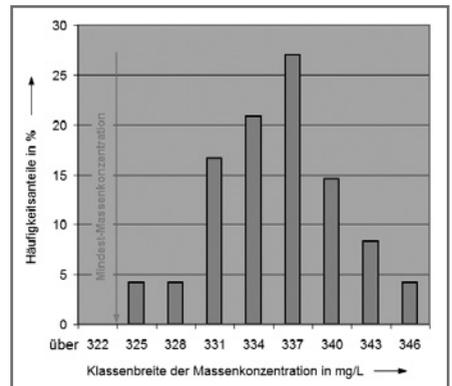
Die Werte sind annähernd normalverteilt.

- 2 a) mit $x_{\max} = 347 \text{ mg/L}$ und $x_{\min} = 327 \text{ mg/L}$ folgt:
 Spannweite: $R = x_{\max} - x_{\min} = 347 \text{ mg/L} - 327 \text{ mg/L} = 20 \text{ mg/L}$
 mit $n = 48$ folgt die Anzahl der Klassen: $k = \sqrt{48} = 6,93 \approx 7$ Klassen
 Klassenbreite: $b = \frac{R}{k} = \frac{20 \text{ mg/L}}{6} = 2,86 \text{ mg/L} \approx 3 \text{ mg/L}$

b) Datensammelkarte

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Tabelle: Sammelkarte der Massen-							
2	konzentration von Lösung B42							
3	Sollwert: 325 mg/L; Toleranz: + 25 mg/L							
4	Klasse	β in mg/L		Anzahl Werte	An-	Anteil		
5	Nr.	von	bis	pro Klassenbreite	zahl	in %		
6	0	322	325		0	0,0		
7	1	325	328		2	4,2		
8	2	328	331		2	4,2		
9	3	331	334		3	6,3		
10	4	334	337		10	20,8		
11	5	337	340		13	27,1		
12	6	340	343		7	14,6		
13	7	343	346		4	8,3		
14	8	346	349		2	4,2		
15					Summen:	48	100,0	

c) Säulendiagramm



Die Werte sind nur bedingt normalverteilt, der Mittelpunkt ist gering nach rechts verschoben.

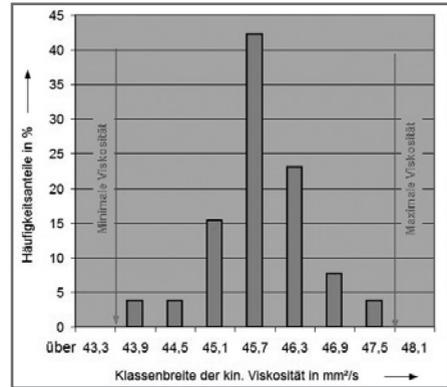
11.2 Qualitätssicherung mit Qualitätsregelkarten (QRK)

- 324 3 a) mit $x_{\max} = 47,5 \text{ mm}^2/\text{s}$ und $x_{\min} = 43,9 \text{ mm}^2/\text{s}$ folgt:
 Spannweite: $R = x_{\max} - x_{\min} = 47,5 \text{ mm}^2/\text{s} - 43,9 \text{ mm}^2/\text{s} = 3,6 \text{ mm}^2/\text{s}$
 mit $n = 26$ folgt die Anzahl der Klassen: $k = \sqrt{26} = 5,1 \approx 6$ Klassen
 Klassenbreite: $b = \frac{R}{k} = \frac{3,6 \text{ mm}^2/\text{s}}{6} = 0,6 \text{ mm}^2/\text{s}$
 Toleranz $\pm 5\% \Rightarrow 46 \text{ mm}^2/\text{s} \cdot 0,05 = 2,3 \text{ mm}^2/\text{s} \Rightarrow 46 \text{ mm}^2/\text{s} \pm 2,3 \text{ mm}^2/\text{s}$
 Toleranzgrenzen: $v_{\max} = 48,3 \text{ mm}^2/\text{s}$; $v_{\min} = 43,7 \text{ mm}^2/\text{s}$

b) Datensammelkarte

A	B	C	D	E	F	G	H	I	
3	Sollwert: 46 mm ² /s; Toleranz: ± 2,3 mm ² /s								
4	Toleranzgrenzen: 43,7 mm ² /s, 48,3 mm ² /s								
5	Nr.	von	bis	Anzahl Werte pro Klassenbreite		Anzahl	Anteil in %		
6	0	43,3	43,9			0	0,0		
7	1	43,9	44,5			1	3,8		
8	2	44,5	45,1			1	3,8		
9	3	45,1	45,7			4	15,4		
10	4	45,7	46,3			11	42,3		
11	5	46,3	46,9			6	23,1		
12	6	46,9	47,5			2	7,7		
13	7	47,5	48,1			1	3,8		
14	8	48,1	48,7			0	0,0		
15	Summen:						26	100,0	

c) Säulendiagramm



Die Werte sind annähernd normalverteilt, die Mittenlage leicht nach rechts verschoben.

11.2 Qualitätssicherung mit Qualitätsregelkarten (QRK)

11.2.2 Qualitätsregelkarten mit festen Regelgrenzen

► 327 1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
1	Behälter: B14A												Stichprobengröße/-Frequenz:							
2	Merkmal: Chlorid Massenkonzentration in mg/L												5 Proben alle 2 Stunden							
3	Datum: 15.08.2010												Sollwert: 50 ±4 mg/L			Toleranz				
4	Probe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	OTG: 54 mg/L			
5	Messwerte	x ₁	51,3	50,0	52,1	47,4	50,1	47,6	49,9	52,3	49,0	50,1	49,4	47,1	50,4	48,7	48,1	UTG: 46 mg/L		
6		x ₂	48,8	48,9	53,1	49,4	49,3	48,3	50,5	53,6	49,7	50,1	47,1	47,6	48,4	49,6	50,0	OEG 52,8		
7		x ₃	49,8	51,5	51,0	47,4	50,0	49,7	48,4	52,1	50,7	50,3	49,4	49,7	51,7	49,0	50,2	UEG 46,7		
8		x ₄	49,6	52,0	52,4	49,8	50,3	47,8	49,8	50,8	49,1	50,4	52,0	47,2	50,9	48,0	50,4	OWG 51,8		
9		x ₅	47,6	49,1	52,4	47,6	49,2	49,7	52,3	51,0	49,7	50,2	48,6	47,2	49,6	47,6	50,0	UWG 47,7		
10		\bar{x} :	49,4	50,3	52,2	48,3	49,8	48,6	50,2	52,0	49,6	50,2	49,3	47,8	50,2	48,6	49,7	$\bar{\bar{x}} = 49,7$		
11		s:	1,361	1,398	0,765	1,180	0,497	1,018	1,413	1,128	0,677	0,130	1,778	1,101	1,276	0,795	0,932	$\bar{s} = 1,030$		

1

► 324
327