



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  
Düsselberger 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

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Mathematische Grundlagen, praktisches Rechnen</b>	<b>7</b>		
1.1	Zahlenarten	7	2.5.1	Datenauswertung mit einem Tabellenkalkulationsprogramm
1.3	Grundrechnungsarten	7	2.5.2	Grafische Aufbereitung von Versuchs- und Prozessdaten, Diagrammart
1.3.1	Addieren und Subtrahieren	7	2.5.3	Computergestützte Auswertung von Messreihen durch Regression
1.3.2	Multiplizieren	7		<b>Gemischte Aufgaben zu Kap.2</b>
1.3.3	Dividieren	8		
1.4	Berechnen zusammengesetzter Ausdrücke	8	<b>3</b>	<b>Ausgewählte physikalische Berechnungen</b>
1.5	Bruchrechnen	9		<b>53</b>
1.5.1	Addieren und Subtrahieren von Brüchen	9	3.1	Größen, Zeichen, Einheiten, Umrechnungen
1.5.2	Multiplizieren und Dividieren von Brüchen	10		<b>53</b>
1.6	Rechnen mit Potenzen	12	3.2	Berechnung von Längen, Flächen, Oberflächen und Volumina
1.7	Rechnen mit Wurzeln	13		<b>55</b>
1.8	Rechnen mit Logarithmen	14	3.2.1	Längenberechnung
1.8.2	Berechnen dekadischer Logarithmen	14	3.2.2	Umfangs- und Flächenberechnung
1.8.3	Berechnen natürlicher Logarithmen	14	3.2.3	Oberflächen- und Volumenberechnung
1.8.4	Logarithmengesetze	14		<b>56</b>
1.8.5	Logarithmieren bei der pH-Wert-Berechnung	15	3.3	Berechnung von Masse, Volumen und Dichte
1.9	Lösen von Gleichungen	15		<b>57</b>
1.9.1	Lösen von Bestimmungsgleichungen	15	3.4	Bewegungsvorgänge
1.9.2	Lösen von Größengleichungen	16		<b>59</b>
1.10	Rechnen mit Winkeln und Winkelfunktionen	16	3.5	Strömende Medien in Rohrleitungen
1.11	Berechnungen mit dem Dreisatz	17		<b>60</b>
1.12	Berechnungen mit Proportionen	18	3.6	Kräfte
1.13	Berechnung mit Anteilen	18		<b>61</b>
	<b>Gemischte Aufgaben zu Kap.1</b>	<b>19</b>	3.7	Arbeit
				<b>61</b>
<b>2</b>	<b>Auswertung von Messwerten und Prozessdaten</b>	<b>26</b>	3.8	Leistung
				<b>62</b>
2.1	Messtechnik in der Chemie	26	3.9	Energie
2.1.1	Grundbegriffe der Messtechnik, Messunsicherheit, Messgenauigkeit	26		<b>62</b>
2.2	Rechnen mit Messwerten	26	3.10	Wirkungsgrad
2.3	Auswertung von Messwertreihen	27		<b>63</b>
2.4	Darstellung von Messergebnissen	29	3.11	Druck und Druckarten
2.4.1	Messwerte in Wertetabellen	29		<b>64</b>
2.4.2	Grafische Darstellung von Messwerten	29	3.12	Druck in Flüssigkeiten
2.4.3	Arbeiten mit Diagrammen in der Chemietechnik	31		<b>65</b>
2.4.4	Funktionsgraphen	33	3.13	Auftriebskraft
2.4.5	Linearisieren einer Kurve	34		<b>66</b>
2.4.6	Verwendung grafischer Papiere	35	3.14	Druck in Gasen
2.5	Versuchs- und Prozessdatenauswertung mit einem Computer	39		<b>67</b>
			3.15	Sättigungsdampfdruck, Partialdruck
				<b>68</b>
			3.16	Luftfeuchtigkeit
				<b>69</b>
				<b>Gemischte Aufgaben zu Kap.3</b>
				<b>69</b>
<b>4</b>	<b>Stöchiometrische Berechnungen</b>	<b>72</b>		
4.2	Aufbau der chemischen Elemente	72		
4.3	Symbole und Ziffern in chemischen Formeln	72		
4.4	Quantitäten von Stoffportionen	74		
4.5	Zusammensetzung von Verbindungen und Elementen	76		
4.6	Berechnungen mit Gasportionen	79		
4.6.1	Gase bei Normbedingungen	79		
4.6.2	Gase bei beliebigen Drücken und Temperaturen	81		
4.6.3	Bestimmung der molaren Masse aus der allgemeinen Gasgleichung	83		
4.6.4	Dichte einer Gasportion	83		

<b>4.7</b>	<b>Rechnen mit Reaktionsgleichungen</b>	84
4.7.1	Aufbau von Reaktionsgleichungen	84
4.7.2	Aufstellen von Reaktionsgleichungen	84
4.7.3	Oxidationszahlen	85
4.7.4	Aufstellen von Redox-Gleichungen	86
	Gemischte Aufgaben zu Kapitel 4.7	90
<b>4.8</b>	<b>Umsatzberechnung bei chemischen Reaktionen</b>	90
4.8.1	Umsatzberechnung bei Einsatz reiner Stoffe	90
4.8.2	Umsatzberechnung bei Einsatz verunreinigter oder gelöster Stoffe	93
4.8.3	Umsatzberechnung bei Gasreaktionen	95
4.8.4	Umsatzberechnung unter Berücksichtigung der Ausbeute	97
	Gemischte Aufgaben zu Kapitel 4.8	99

<b>5</b>	<b>Rechnen mit Gehaltsgrößen von Mischungen</b>	103
----------	---	-----

<b>5.1</b>	<b>Gehaltsgrößen von Mischungen</b>	103
5.1.1	Massenanteil $w$	103
5.1.2	Volumenanteil $\varphi$	104
5.1.3	Stoffmengenanteil $\chi$	105
5.1.4	Umrechnung der verschiedenen Anteile	106
5.1.5	Massenkonzentration $\beta$	109
5.1.6	Volumenkonzentration $\sigma$	110
5.1.7	Stoffmengenkonzentration $c$ , Äquivalentkonzentration $c(1/z \cdot X)$	110
5.1.8	Umrechnen der verschiedenen Konzentrationen	112
5.1.9	Löslichkeit $L^*$	115
<b>5.2</b>	<b>Umrechnen von Anteilen in Konzentrationen und Löslichkeiten</b>	116
5.2.1	Umrechnung von Massenanteil $w(X)$ und Stoffmengenkonzentration $c(X)$	116
5.2.2	Umrechnung Massenanteil $w(X)$ und Massenkonzentration $\beta(X)$	117
5.2.3	Umrechnung von Massenanteil $w(X)$ und Volumenkonzentration $\sigma(X)$	119
5.2.4	Umrechnung von Massenanteil $w(X)$ und Löslichkeit $L^*(X)$	119
	Gemischte Aufgaben zu Kapitel 5.2	121
<b>5.3</b>	<b>Gehaltsgrößen beim Mischen, Verdünnen und Konzentrieren von Lösungen</b>	124
5.3.1/2	Mischen und Verdünnen von Lösungen	124
5.3.3	Mischen von Lösungs-Volumina	126
5.3.4	Konzentrieren von Lösungen	127
	Gemischte Aufgaben zu Kap. 5	129

<b>6</b>	<b>Berechnungen zum Verlauf chemischer Reaktionen</b>	134
----------	---	-----

<b>6.1</b>	<b>Reaktionsgeschwindigkeit</b>	134
<b>6.2</b>	<b>Beeinflussung der Reaktionsgeschwindigkeit</b>	135
6.2.1	Einfluss der Konzentration	135
6.2.2	Einfluss der Temperatur	135
6.2.3	Einfluss von Katalysatoren	136
<b>6.4</b>	<b>Massenwirkungsgesetz</b>	137
<b>6.5</b>	<b>Verschiebung der Gleichgewichtslage</b>	137
<b>6.6</b>	<b>Protolysegleichgewichte</b>	140
6.6.1	Protolysegleichgewicht des Wassers	140
6.6.2	Der pH-Wert	140
6.6.3	pH-Wert starker Säuren und Basen	141
6.6.4	pH-Wert schwacher Säuren und Basen	142
<b>6.7</b>	<b>pH-Wert von Pufferlösungen</b>	143
<b>6.8</b>	<b>Löslichkeitsgleichgewichte</b>	144
	Gemischte Aufgaben zu Kap. 6	146

<b>7</b>	<b>Analytische Bestimmungen</b>	150
----------	---------------------------------	-----

<b>7.1</b>	<b>Gravimetrische Analysen</b>	150
7.1.1	Feuchtigkeits- und Trockengehaltsbestimmungen von Feststoffen	150
7.1.2	Glührückstandsbestimmungen	150
7.1.3	Bestimmung des Wassergehalts in Ölen	151
	Gemischte Aufgaben zu Kapitel 7.1	151
<b>7.2</b>	<b>Volumetrische Bestimmungen (Maßanalyse)</b>	153
7.2.4	Titer von Maßlösungen	153
7.2.5	Berechnung von Maßanalysen – Neutralisationstitrations	153
7.2.5.1	Direkttitrations	153
7.2.5.2	Bestimmung des Titers von Maßlösungen	155
7.2.5.3	Rücktitrationen	156
7.2.5.4	Oleum-Bestimmungen	157
7.2.6	Bestimmung von Abwasserkennwerten	160
7.2.7	Bestimmung der Wasserhärte	161
7.2.8	Bestimmung maßanalytischer Kennzahlen	161
7.2.8.1	Säurezahl SZ	161
7.2.8.2	Verseifungszahl VZ	162
7.2.8.3	Esterzahl EZ	163
<b>7.3</b>	<b>Maßanalytische Bestimmungen mit elektrochemischen Methoden</b>	163
7.3.1	Potentiometrische Neutralisationstitrations	163
7.3.2	Leitfähigkeitstitrations (Konduktometrie)	166
	Gemischte Aufgaben zu Kapitel 7.3	167
<b>7.4</b>	<b>Optische Analyseverfahren</b>	174
7.4.1	Fotometrie, Spektroskopie	174
7.4.2	Refraktometrie	177

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
<b>8</b>	<b>Berechnungen zur Elektrotechnik</b>	<b>183</b>	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	<b>10</b>	<b>Bestimmung von Produkteigenschaften</b>	<b>208</b>
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
<b>9</b>	<b>Berechnungen zur Wärmelehre</b>	<b>195</b>	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	<b>11</b>	<b>Qualitätssicherung</b>	<b>228</b>
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.

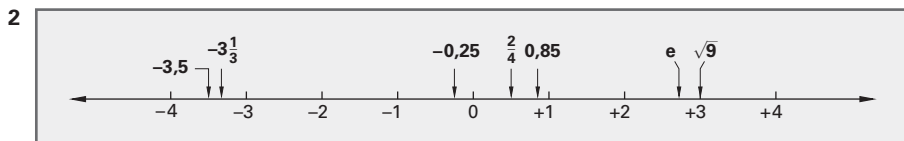
Durch Blättern mit dem rechten oder linken Daumen können die Großkapitelnummer und die Seitennummern des Buches **Technische Mathematik für Chemieberufe** schnell gefunden werden.

# 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. |



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

1

► 11  
12  
13

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

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

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

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

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

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

### 1.3.3 Dividieren

► 12

$$\begin{aligned} \text{1 a) } 63 : (-7) &= \mathbf{-9} & \text{b) } (-64) : (-4) &= \mathbf{+16} & \text{c) } (-91) : 13 &= \mathbf{-7} \\ \text{d) } \frac{105}{15} &= \mathbf{7} & \text{e) } \frac{-96}{8} &= \mathbf{-12} & \text{f) } \frac{-132}{-11} &= \mathbf{+12} \\ \text{2 a) } \frac{(-7) \cdot (18)}{12} &= \mathbf{-10,5} & \text{b) } \frac{(11) \cdot (-14)}{(-7)} &= \mathbf{+22} & \text{c) } \frac{(-9) \cdot (-18)}{(-36)} &= \mathbf{-4,5} \\ \text{3 a) } (156 - 72) : 14 &= 84 : 14 = \mathbf{6} & \text{b) } (391 - 144) : (121 - 102) &= 247 : 19 = \mathbf{13} \\ \text{4 a) } \frac{-12u \cancel{v} \cdot 4}{\cancel{3} \cancel{v}} &= \mathbf{-4u} \\ \text{b) } \frac{6a-3b}{3} &= \frac{\cancel{3}(2a-b)}{\cancel{3}} = \mathbf{2a-b} \\ \text{c) } \frac{8\cancel{1}x\cancel{2} \cdot 9}{-\cancel{9}\cancel{2}} &= \mathbf{-9x} \\ \text{d) } \frac{-187\cancel{r}\cancel{s} + 153\cancel{r}\cancel{s} + 34\cancel{r}\cancel{s}}{-17\cancel{s}} &= \frac{\cancel{17}(-11r + 9r + 2r)}{-\cancel{17}} = \mathbf{0} \\ \text{e) } \frac{21 \cdot (-9) \cdot 4x}{(-35) \cdot (-2)} &= -\frac{\cancel{7} \cdot 3 \cdot 3 \cdot \cancel{2} \cdot 2 \cdot x}{\cancel{7} \cdot 5 \cdot \cancel{2}} = \mathbf{-\frac{54}{5}x} \\ \text{f) } \frac{-(x-5)}{(5-x)} &= \frac{-(x-5)}{-(-5+x)} = \frac{-(x-5)}{-(x-5)} = \mathbf{1} \\ \text{g) } -\frac{(7x-y) \cdot (3+2b)}{-2b-3} &= -\frac{(7x-y) \cdot \cancel{(3+2b)}}{-\cancel{(3+2b)}} = \mathbf{+7x-y} \\ \text{5 a) } \frac{7a \cdot (-3)}{5b \cdot (-3)} &= \mathbf{-\frac{21a}{15b}} & \text{b) } \frac{3x \cdot (-1)}{-8y \cdot (-1)} &= \mathbf{-\frac{3x}{8y}} \end{aligned}$$

### 1.4 Berechnen zusammengesetzter Ausdrücke

► 13

$$\begin{aligned} \text{1 a) } -4 \cdot (0,2 - 3,2) + (14,5 - 8,5) \cdot (-0,1) &= -4 \cdot (-3) + 6 \cdot (-0,1) = 12 - 0,6 = \mathbf{11,4} \\ \text{b) } 12x \cdot (-3y) + (0,75x - 0,50x) \cdot (+80) &= -36xy + 0,25x \cdot 80 = -36xy + 20x = \mathbf{4x(5-9y)} \\ \text{2 a) } \frac{(-2,5) \cdot (86-82)}{(1,3-0,8) \cdot (42-38)} &= \frac{-2,5 \cdot 4}{0,5 \cdot 4} = \mathbf{-5} \\ \text{b) } \frac{222}{37} - \frac{0,125 \cdot (-85+117)}{(0,4) \cdot (-8) \cdot (2,5)} &= 6 - \frac{0,125 \cdot 32}{-8} = 6 + 0,5 = \mathbf{6,5} \\ \text{c) } 24,7 \cdot \frac{(1-0,392)}{(1-0,065)} &= 24,7 \cdot 0,65027 \approx \mathbf{16,1} \end{aligned}$$



**Rechnen mit dem Dreisatz, Proportionen, Anteilen**

- 21 16,0 g CH
- <sub>4</sub>
- nehmen 22,4 L ein.

125 · 10<sup>3</sup> g CH<sub>4</sub> 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 0,95 t NaCl sind in 1,0 t Rohsalz.

2,75 t 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 25,00 mL Säure neutralisieren 28,24 mL Lauge.

32,50 mL Säure neutralisieren x Lauge.

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

- 25 100 g Wasser lösen 35,8 g NaCl.

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

Aus 75,00 kg 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 15 dm<sup>2</sup> 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)
- $3750 \text{ dm}^2 \triangleq 100\%$
- 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) 70,9 g Chlor nehmen 22,4 L 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) 1,571 g Chlor nehmen 1,00 cm
- <sup>3</sup>
- 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:**  $100\% - 0,2015\% \approx \mathbf{99,8\%}$

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

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

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

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

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

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$x$	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	<b>+0,0538</b>	-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 <sup>3</sup>
Viskosität		$\eta$	
	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	$\vartheta$	
Dichte	$\varrho$	
Masse		$m$
Volumen		$V$
Druck	$p$	
Geschwindigkeit	$v$	
elektrische Spannung	$U$	
Volumenkonzentration	$\sigma$	

3

Vorsatz	Vorsatzzeichen	Potenzschreibweise
Nano	n	10 <sup>-9</sup>
Mikro	μ	10 <sup>-6</sup>
Milli	m	10 <sup>-3</sup>
Dezi	d	10 <sup>-1</sup>
Deka	da	10 <sup>1</sup>
Hekto	h	10 <sup>2</sup>
Mega	M	10 <sup>6</sup>

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

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

$$\text{b) } N_A = 6023 \cdot 10^{20} = [6,023 \cdot 1000 \cdot 10^{20} = 6,023 \cdot 10^3 \cdot 10^{20}] = 6,023 \cdot 10^{23} \\ = 6,023 \cdot 10^1 \cdot 10^{23} \cdot 10^{-1} = 6,023 \cdot 10 \cdot 10^{23} \cdot 10^{-1} = 60,23 \cdot 10^{22}$$

$$\text{c) } m(\text{H}) = 0,000000000000000000000001674 \text{ g} = \mathbf{1,674 \cdot 10^{-24} \text{ g}}$$

$$\text{d) } d(\text{Na}) = 18,6 \cdot 10^{-11} \text{ m} = [186 \cdot 10^{-12} \text{ m}] = \mathbf{186 \text{ pm}} = [186 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-9} \text{ m}] = \mathbf{0,186 \text{ nm}}$$

$$\text{e) } \gamma(\text{H}_2\text{O}) = 0,0002 \cdot \frac{1}{\text{K}} = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{1}{\text{K}} = \frac{2}{10^4} \cdot \frac{1}{\text{K}}$$

$$\text{f) } r(\text{H}_2\text{O}) = 2256 \cdot \frac{\text{J}}{\text{g}} = \left[ 2256 \cdot \frac{1000 \text{ J}}{1000 \text{ g}} \right] = \mathbf{2256 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = \mathbf{2,256 \frac{\text{kJ}}{\text{g}}}$$

$$\text{g) } \rho(\text{Luft}) = 1,3 \text{ g/L} = 1,3 \cdot \frac{1000 \text{ g}}{1000 \text{ L}} = \mathbf{1,3 \text{ kg/m}^3} = \left[ 1,3 \cdot \frac{1000 \text{ mg}}{1000 \text{ mL}} \right] = \mathbf{1,3 \text{ mg/mL}}$$

$$\text{h) } \rho(\text{Cu}) = 0,017 \cdot \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} = \mathbf{17 \frac{\text{m}\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}} = \mathbf{17 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{mm}}}$$

$$\text{i) } H_u(\text{H}_2) = 10900 \cdot \text{kJ/m}^3 = \left[ 10900 \frac{\text{kJ}}{1000 \text{ L}} \right] = \mathbf{10,900 \text{ kJ/L}} = \left[ 10,900 \cdot \frac{1000 \text{ J}}{\text{L}} \right] = \mathbf{10900 \text{ J/L}}$$

$$\text{j) } \alpha(\text{Pt}) = 0,0039 \cdot \frac{1}{\text{K}} = 3,9 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{\text{K}} = 39 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{1}{\text{K}} = \frac{39}{10^4} \cdot \frac{1}{\text{K}}$$

$$\text{k) } v(\text{Licht}) = 299792485 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \left[ 299792485 \cdot \frac{0,001 \text{ km}}{\frac{1}{3600} \text{ h}} = 299792485 \cdot 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}} \right] = \mathbf{1079300000 \frac{\text{km}}{\text{h}}}$$

$$\text{l) } d = 0,121 \text{ nm} = \mathbf{121 \text{ pm}} = [121 \cdot 10^{-12} \text{ m}] = \mathbf{1,21 \cdot 10^{-10} \text{ m}}$$

► 73 6 Umrechnung der Volumenangaben in Kubikzentimeter:

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

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

7 Umwandlung der Längenangaben in Zentimeter:

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

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

8 Umwandlung der Flächenangaben in Quadratmeter:

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

**Filtertuchverbrauch:**  $0,82 \text{ m}^2 \hat{=} \mathbf{82 \%}$

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

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

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

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

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

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

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

- $2\text{Br}_2$  : 2 Moleküle Brom aus je 2 Atomen Br  
 $4\text{Hg}$  : 4 Atome Quecksilber  
 $\text{CH}_4$  : 1 Molekül Methan aus 1 Atom C und 4 Atomen H  
 $\text{BaSO}_4$  : Eine Formeleinheit Bariumsulfat aus 1 Atom Ba, 1 Atom S und 4 Atomen O  
 $2\text{NH}_4^+$  : 2 Ammonium-Ionen aus je 1 Atom N und 4 Atomen H  
 $2\text{Zn}$  : 2 Atome Zink  
 $2\text{Fe}^{2+}$  : 2 Eisen-Ionen  
 $\text{CO}$  : 1 Molekül Kohlenstoffmonoxid aus 1 Atom C und 1 Atom O  
 $3\text{Co}$  : 3 Atome Cobalt

$2 \text{AlCl}_3$	: 2 Formeleinheiten Aluminiumchlorid aus je 1 Atom Al und 3 Atomen Cl
$\text{NO}_3^-$	: 1 Nitrat-Ion aus 1 Atom N und 3 Atomen O
$\text{HCO}_3^-$	: 1 Hydrogencarbonat-Ion aus 1 Atom H, 1 Atom C und 3 Atomen O
$\text{NaOH}$	: Eine Formeleinheit Natriumhydroxid aus 1 Atom Na, 1 Atom O und 1 Atom H
$2 \text{HNO}_3$	: 2 Moleküle Salpetersäure aus je 1 Atom H, 1 Atom N und 3 Atomen O
$2 \text{CN}^-$	: 2 Cyanid-Ionen aus je 1 Atom C und 1 Atom N
$3 \text{O}_2$	: 3 Moleküle Sauerstoff aus je 2 Atomen O
$2 \text{N}_2$	: 2 Moleküle Stickstoff aus je 2 Atomen N
$2 \text{Ar}$	: 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)  $2 \text{Cl}_2$                       b)  $\text{KOH}$                       c)  $\text{CO}_2$                       d)  $\text{Al}_2\text{O}_3$   
e)  $2 \text{Zn}$                       f)  $3 \text{CO}$                       g)  $\text{AlCl}_3$                       h)  $2 \text{CaO}$   
i)  $\text{Al}(\text{OH})_3$                       j)  $\text{SO}_2$

- 3  $\text{KMnO}_4$  : Eine Formeleinheit Kaliumpermanganat aus 1 Atom K, 1 Atom Mn, 4 Atomen O  
 $\text{P}_4$  : 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  
 $\text{SiO}_2$  : Ein Molekül Siliciumdioxid aus 1 Atom Si und 2 Atomen O  
 $\text{S}_8$  : 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  
 $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{PO}_4$  : 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  
 $\text{HS}^-$  : Ein Hydrosulfid-Ion aus 1 Atom H und 1 Atom S  
 $\text{CHCl}_3$  : Ein Molekül Trichlormethan aus 1 Atom C, 1 Atom H und 3 Atomen Cl  
 $\text{PO}_4^{3-}$  : 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  
 $\text{HPO}_4^{2-}$  : 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  
 $\text{H}_2\text{O}_2$  : 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  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ :

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

Alternativer Rechenweg mit Schlussrechnung:

In 100 g  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  technisch sind 97,6 g  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  enthalten.

In 250 g  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  technisch sind  $x$   $\text{Na}_2\text{SO}_4$  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  $\text{CaCl}_2$ :

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

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

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  $\text{FeSO}_4$ :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

5.1.2 Volumenanteil  $\varphi$ 

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

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

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

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

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

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

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



## 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.

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

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

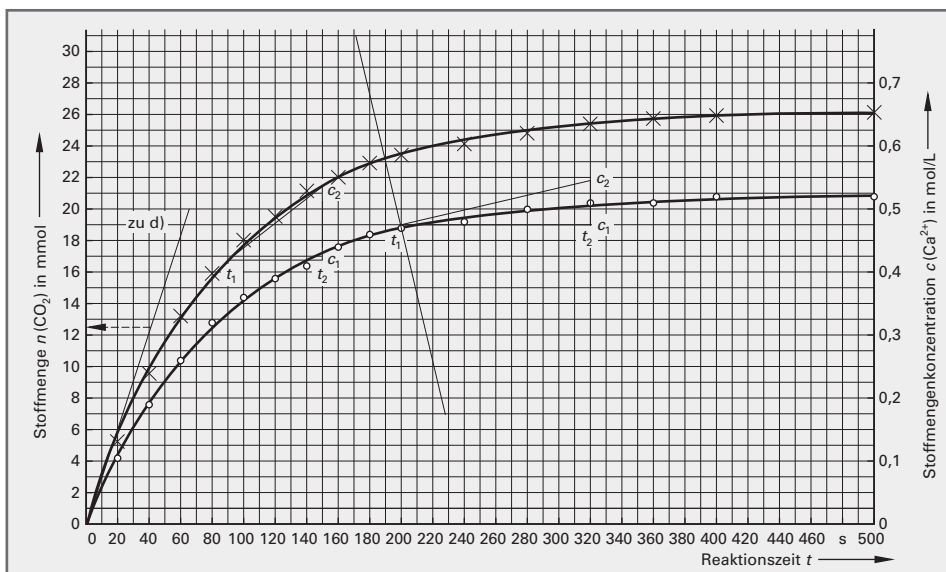
$\text{CO}_2$  und  $\text{H}^+$ -Ionen bilden sich mit einer durchschnittlichen Reaktionsgeschwindigkeit von 0,20 mmol/L · s bzw. 0,40 mmol/L · s.

- 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:

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

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

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

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

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

Aus der Reaktionsgleichung folgt:

Die Abnahme der  $\text{H}^+$ -Ionen erfolgt mit doppelt so großer Geschwindigkeit wie die Zunahme an  $\text{CO}_2$ :

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

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

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

1

► 175  
177  
179

## 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:  $r_I = c(\text{A}) \cdot c(\text{B}) = 2 \text{ mol/L} \cdot 4 \text{ mol/L} = 8 (\text{mol/L})^2$

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

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

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

## 7 Analytische Bestimmungen

### 7.1 Gravimetrische Analysen

#### 7.1.1 Feuchtigkeits- und Trockengehaltsbestimmungen von Feststoffen

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

2  $w(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{m_{\text{hyg}}} \Rightarrow m(\text{H}_2\text{O}) = w(\text{H}_2\text{O}) \cdot m_{\text{hyg}} = 0,0735 \cdot 8,254 \text{ g} = 0,60667 \text{ g}$   
 $m_{\text{xer}} = m_{\text{hyg}} - m(\text{H}_2\text{O}) = 8,254 \text{ g} - 0,6067 \text{ g} \approx \mathbf{7,65 \text{ g}}$

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

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

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

6 100 g Braunstein enthalten 54,72 g  $\text{MnO}_2$  und 0,33 g  $\text{H}_2\text{O}$ .  
99,67 g Trockensubstanz enthalten 54,72 g  $\text{MnO}_2$ .  
100 g Trockensubstanz enthalten x  $\text{MnO}_2$ .

$$x = m(\text{MnO}_2) = \frac{54,72 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}}{99,67 \text{ g}} = 54,9012 \text{ g}$$

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

Alternativer Lösungsweg mit Größengleichung:

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

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

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

#### 7.1.2 Glührückstandsbestimmungen

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

17,1 % Glühverlust ergeben x Massenabnahme.

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

1

► 200  
201

### 7.1.3 Bestimmung des Wassergehalts in Ölen

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

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

### Gemischte Aufgaben zu 7.1 Gravimetrische Analysen

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

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

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

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

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

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

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

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

b) 100 g Salz enthalten 1,470 g H<sub>2</sub>O.

5000 kg Salz enthalten x H<sub>2</sub>O.

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

## 8 Berechnungen zur Elektrotechnik

### 8.1 Grundbegriffe der Elektrotechnik

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1

$\blacktriangleright$  249  
250

### 8.2 Elektrischer Widerstand und Leitwert eines Leiters

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### 8.3 Ohm'sches Gesetz

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

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

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

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

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

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

### 8.4 Reihenschaltung von Widerständen

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$\Rightarrow$  Sauerstoff hat eine höhere Siedetemperatur als Stickstoff.

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

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

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

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

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

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

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

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  $\gamma_{\text{Fl}}$  von Flüssigkeiten sind aus der Tabelle im Lehrbuch, Seite 276, entnommen.

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

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

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

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

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

$$5 \quad \Delta V_{\text{rel}} = V_0 \cdot (\gamma_{\text{Flü}} - \gamma_{\text{Beh}}) \cdot \Delta \vartheta = V_0 \cdot (\gamma_{\text{Flü}} - 3 \cdot \alpha) \cdot \Delta \vartheta$$

$$= 48,7586 \text{ cm}^3 \cdot (0,96 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1} - 3 \cdot 8,1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}) \cdot 10 \text{ K}$$

$$= 48,7586 \text{ cm}^3 \cdot 9,357 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1} \cdot 10 \text{ K} \approx \mathbf{0,456 \text{ cm}^3}$$

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

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

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

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

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

$$T_E = T_A + \Delta \vartheta = 273 \text{ K} + 17 \text{ K} = \mathbf{290 \text{ K}}$$

$$\frac{\vartheta_E}{^\circ\text{C}} = \frac{T_E}{\text{K}} - 273 = \frac{290 \text{ K}}{\text{K}} - 273 = 37 \Rightarrow \mathbf{\vartheta_E = 37^\circ\text{C}}$$

### 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

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

50 cm<sup>3</sup> entspricht 100 % Volumenabweichung.

1,58 cm<sup>3</sup> 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  $\rho_{\text{Öl}} = \frac{m_{\text{Öl}}}{V_{\text{Öl}}}; m_{\text{Öl}} = m_{\text{D}} - m_{\text{A}} = 54,5649 \text{ g} - 26,7349 \text{ g} = 27,8300 \text{ g}$

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

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

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

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

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

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

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

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

9  $\rho(\text{Zucker}) = \frac{m_{\text{B}} - m_{\text{A}}}{m_{\text{D}} - m_{\text{A}} - m_{\text{C}} + m_{\text{B}}} \cdot \rho(\text{C}_6\text{H}_{12})$   

$$= \frac{16,4470 \text{ g} - 13,8792 \text{ g}}{63,9531 \text{ g} - 13,8792 \text{ g} - 65,2112 \text{ g} + 16,4470 \text{ g}} \cdot 0,7791 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$
  

$$= \frac{2,5678 \text{ g}}{1,3097 \text{ g}} \cdot 0,7791 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \approx 1,528 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

## 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 <sup>3</sup>	18,0956 cm <sup>3</sup>	18,0489 cm <sup>3</sup>	18,4688 cm <sup>3</sup>
Volumen an Recyclat	6,9345 cm <sup>3</sup>	7,1160 cm <sup>3</sup>	7,1627 cm <sup>3</sup>	6,7828 cm <sup>3</sup>
Dichte des Recyclats	1,4307 g/cm <sup>3</sup>	1,4674 g/cm <sup>3</sup>	1,2434 g/cm <sup>3</sup>	1,5906 g/cm <sup>3</sup>

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

1

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

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

► 298  
300

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

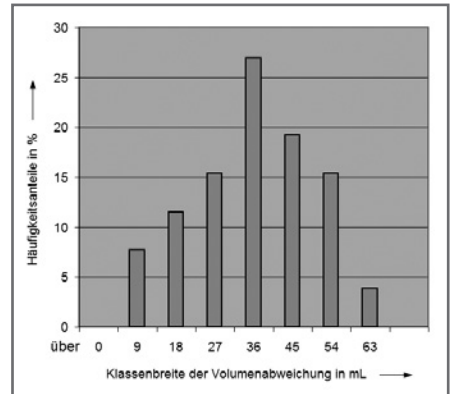
## 11.1 Erfassung der Verteilung von Messwerten

- 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	<b>Tabelle: Sammelkarte der Volumen-</b>							
2	<b>abweichung Flüssigwaschmittel</b>							
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	II	2	7,7		
8	2	18	27	III	3	11,5		
9	3	27	36	IIII	4	15,4		
10	4	36	45	IIII II	7	26,9		
11	5	45	54	IIII	5	19,2		
12	6	54	63	IIII	4	15,4		
13	7	63	72	I	1	3,8		
14	8							
15				Summen:	26	100,0		

c) Säulendiagramm



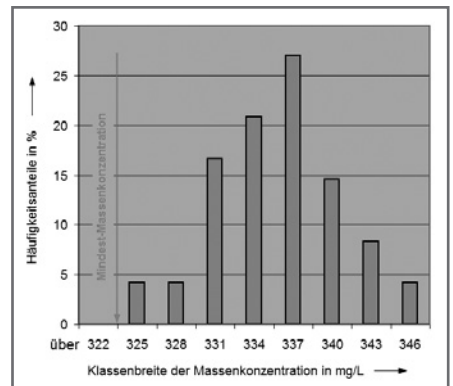
Die Werte sind annähernd normalverteilt.

- 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	<b>Tabelle: Sammelkarte der Massen-</b>							
2	<b>konzentration von Lösung B42</b>							
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	II	2	4,2		
8	2	328	331	II	2	4,2		
9	3	331	334	IIII III	8	16,7		
10	4	334	337	IIII II	10	20,8		
11	5	337	340	IIII III III	13	27,1		
12	6	340	343	IIII II	7	14,6		
13	7	343	346	IIII	4	8,3		
14	8	346	349	II	2	4,2		
15				Summen:	48	100,0		

c) Säulendiagramm



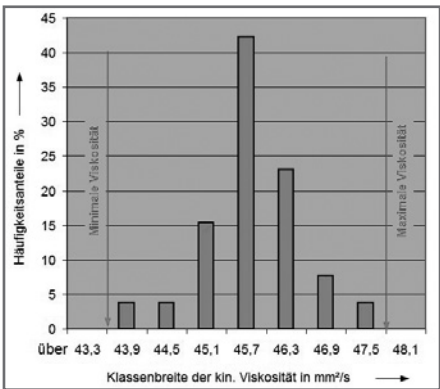
Die Werte sind nur bedingt normalverteilt, der Mittelpunkt ist gering nach rechts verschoben.

- 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 <sup>2</sup> /s; Toleranz: ± 2,3 mm <sup>2</sup> /s							
4	Toleranzgrenzen: 43,7 mm <sup>2</sup> /s, 48,3 mm <sup>2</sup> /s							
5	Nr.	v in mm <sup>2</sup> /s		Anzahl Werte pro Klassenbreite		Anzahl		Anteil in %
6	0	von 43,3	bis 43,9			0		0,0
7	1	43,9	44,5	I		1		3,8
8	2	44,5	45,1	I		1		3,8
9	3	45,1	45,7	IIII		4		15,4
10	4	45,7	46,3	IIII III I		11		42,3
11	5	46,3	46,9	IIII I		6		23,1
12	6	46,9	47,5	II		2		7,7
13	7	47,5	48,1	I		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						
4	Probe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Toleranz		
5	Messwerte	x <sub>1</sub>	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	OTG: 54 mg/L	
6		x <sub>2</sub>	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	UEG 52,8	
7		x <sub>3</sub>	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 <sub>4</sub>	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 <sub>5</sub>	47,6	49,1	52,4	47,6	49,2	49,7	52,3	51,0	49,7	50,2	48,6	47,2	49,5	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	$\bar{s} = 1,030$	