



EUROPA-FACHBUCHREIHE

für Chemieberufe

**Lösungsvorschläge  
für die Aufgaben im Buch  
Technische Mathematik  
für Chemieberufe**

**Grundlagen**

7. Auflage

**Eckhard Ignatowitz, Henrik Althaus, Holger Rapp**

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

**Europa-Nr.: 71411**

Autoren:

Dr. Henrik Althaus, OStR	Himmelforten
Dr. Eckhard Ignatowitz, StR a.D.	Waldbronn
Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Holger Rapp	Waldbronn

Autoren bis zur 5. Auflage:

Gew. Lehrer Gerhard Fastert, OStR †	Stade
Dr. Klaus Brink, OStR a.D. †	Leverkusen

Leitung des Arbeitskreises und Lektorat:

Dr. Eckhard Ignatowitz

Bildentwürfe:

Die Autoren

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern  
Wissenschaftliche PublikationsTechnik Kernstock, 73230 Kirchheim/Teck

Foto des Buchtitels:

© Michael-Stock.adobe.com

**Hinweise für den Benutzer:**

Das vorliegende Buch enthält Lösungsvorschläge für sämtliche Aufgaben im Buch **Technische Mathematik für Chemieberufe**, 6. 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.

7. Auflage 2022

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-8085-8399-9

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

© 2022 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten

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

Druck: Totem, 88-100 Inowroclaw, Poland

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Mathematische Grundlagen, praktisches Rechnen</b>	<b>7</b>	2.5.3	Diagramme zeichnen mit Excel®	41
1.1	Zahlenarten	7	2.5.4	Regressionsanalyse mit Excel®	43
<b>1.3</b>	<b>Grundrechnungsarten</b>	<b>7</b>		<b>Gemischte Aufgaben zu Kap. 2.</b>	<b>44</b>
1.3.1	Addieren und Subtrahieren	7	<b>3</b>	<b>Ausgewählte physikalische Berechnungen</b>	<b>54</b>
1.3.2	Multiplizieren	7	3.1	<b>Größen, Zeichen, Einheiten, Umrechnungen</b>	54
1.3.3	Dividieren	8	3.2	<b>Berechnung von Längen, Flächen, Oberflächen und Volumina</b>	56
<b>1.4</b>	<b>Berechnen zusammengesetzter Ausdrücke</b>	<b>8</b>	3.2.1	Längenberechnung	56
<b>1.5</b>	<b>Bruchrechnen</b>	<b>9</b>	3.2.2	Umfangs- und Flächenberechnung	56
1.5.1	Addieren und Subtrahieren von Brüchen	9	3.2.3	Oberflächen- und Volumenberechnung	57
1.5.2	Multiplizieren und Dividieren von Brüchen	10		Aufgaben	57
<b>1.6</b>	<b>Rechnen mit Potenzen</b>	<b>12</b>	<b>3.3</b>	<b>Berechnung von Masse, Volumen und Dichte</b>	<b>58</b>
<b>1.7</b>	<b>Rechnen mit Wurzeln</b>	<b>13</b>	<b>3.4</b>	<b>Bewegungsvorgänge</b>	<b>60</b>
<b>1.8</b>	<b>Rechnen mit Logarithmen</b>	<b>14</b>	<b>3.5</b>	<b>Strömende Medien in Rohrleitungen</b>	<b>61</b>
1.8.2	Berechnen dekadischer Logarithmen	14	<b>3.6</b>	<b>Kräfte</b>	<b>62</b>
1.8.3	Berechnen natürlicher Logarithmen	14	<b>3.7</b>	<b>Arbeit</b>	<b>62</b>
1.8.4	Logarithmengesetze	14	<b>3.8</b>	<b>Leistung</b>	<b>63</b>
1.8.5	Logarithmieren bei der pH-Wert-Berechnung	15	<b>3.9</b>	<b>Energie</b>	<b>63</b>
<b>1.9</b>	<b>Lösen von Gleichungen</b>	<b>15</b>	<b>3.10</b>	<b>Wirkungsgrad</b>	<b>64</b>
1.9.1	Lösen von Bestimmungsgleichungen	15	<b>3.11</b>	<b>Druck und Druckarten</b>	<b>65</b>
1.9.2	Lösen von Größengleichungen	16	<b>3.12</b>	<b>Druck in Flüssigkeiten</b>	<b>66</b>
<b>1.10</b>	<b>Rechnen mit Winkeln und Winkelfunktionen</b>	<b>16</b>	<b>3.13</b>	<b>Auftriebskraft</b>	<b>67</b>
1.11	Berechnungen mit dem Dreisatz	17	<b>3.14</b>	<b>Druck in Gasen</b>	<b>68</b>
1.12	Berechnungen mit Proportionen	18	<b>3.15</b>	<b>Sättigungsdampfdruck, Partialdruck</b>	<b>69</b>
1.13	Berechnung mit Anteilen	18	<b>3.16</b>	<b>Luftfeuchtigkeit</b>	<b>70</b>
	<b>Gemischte Aufgaben zu Kap. 1.</b>	<b>19</b>		<b>Gemischte Aufgaben zu Kap. 3.</b>	<b>70</b>
<b>2</b>	<b>Auswertung von Messwerten und Prozessdaten</b>	<b>26</b>	<b>4</b>	<b>Stöchiometrische Berechnungen</b>	<b>73</b>
<b>2.1</b>	<b>Messtechnik in der Chemie</b>	<b>26</b>	4.2	<b>Aufbau der chemischen Elemente</b>	<b>73</b>
2.1.1	Grundbegriffe der Messtechnik, Messunsicherheit, Messgenauigkeit	26	4.3	<b>Symbole und Ziffern in chemischen Formeln</b>	<b>73</b>
<b>2.2</b>	<b>Rechnen mit Messwerten</b>	<b>26</b>	4.4	<b>Quantitäten von Stoffportionen</b>	<b>75</b>
<b>2.3</b>	<b>Auswertung von Messwertreihen</b>	<b>27</b>	4.5	<b>Zusammensetzung von Verbindungen und Elementen</b>	<b>77</b>
<b>2.4</b>	<b>Darstellung von Messergebnissen</b>	<b>29</b>	4.6	<b>Empirische Formel, Molekülformel (Teilchenformel)</b>	<b>80</b>
2.4.1	Messwerte in Wertetabellen	29	4.6.1	Berechnung der empirischen Formel einer Verbindung	80
2.4.2	Grafische Darstellung von Messwerten	29	4.6.2	Berechnung der Molekülformel einer Verbindung	81
2.4.3	Arbeiten mit Diagrammen in der Chemietechnik	31	4.6.3	Ermittlung der Molekülformel mit der Elementaranalyse	83
2.4.4	Funktionsgraphen	33		<b>Gemischte Aufgaben zu 4.6.</b>	<b>84</b>
2.4.5	Linearisieren einer Kurve	34			
2.4.6	Verwendung grafischer Papiere	35			
<b>2.5</b>	<b>Versuchs- und Prozessdatenauswertung mit dem Computer</b>	<b>39</b>			
2.5.1	Das Tabellenkalkulationsprogramm Excel®	39			
2.5.2	Auswertung von Messreihen mit Excel®	39			

# Inhaltsverzeichnis

<b>4.7</b>	<b>Berechnungen mit Gasportionen</b> . . . . .	86	<b>5.3</b>	<b>Gehaltsgrößen beim Mischen, Verdünnen und Konzentrieren von Lösungen</b> . . . . .	132
4.7.1	Gase bei Normbedingungen . . . . .	86	5.3.1/2	Mischen und Verdünnen von Lösungen . . . . .	132
4.7.2	Gase bei beliebigen Drücken und Temperaturen . . . . .	88	5.3.3	Volumenberechnung beim Mischen von Lösungen . . . . .	133
4.7.3	Bestimmung der molaren Masse aus der allgemeinen Gasgleichung . . . . .	90	5.3.4	Konzentrieren von Lösungen . . . . .	134
4.7.4	Dichte einer Gasportion . . . . .	90		<b>Gemischte Aufgaben zu Kap. 5.</b> . . . . .	137
<b>4.8</b>	<b>Rechnen mit Reaktionsgleichungen</b> . . . . .	91	<b>6</b>	<b>Berechnungen zum Verlauf chemischer Reaktionen</b> . . . . .	142
4.8.1	Aufbau von Reaktionsgleichungen. . . . .	91	<b>6.1</b>	<b>Reaktionsgeschwindigkeit</b> . . . . .	142
4.8.2	Aufstellen von Reaktionsgleichungen . . . . .	91	<b>6.2</b>	<b>Beeinflussung der Reaktionsgeschwindigkeit</b> . . . . .	143
4.8.3	Oxidationszahlen . . . . .	92	6.2.1	Einfluss der Konzentration . . . . .	143
4.8.4	Aufstellen von Redox-Gleichungen . . . . .	93	6.2.2	Einfluss der Temperatur. . . . .	143
	Gemischte Aufgaben zu 4.8. . . . .	97	<b>6.4</b>	<b>Massenwirkungsgesetz.</b> . . . . .	145
<b>4.9</b>	<b>Umsatzberechnung bei chemischen Reaktionen</b> . . . . .	97	<b>6.5</b>	<b>Verschiebung der Gleichgewichtslage</b> . . . . .	145
4.9.1	Umsatzberechnung bei Einsatz reiner Stoffe . . . . .	97	<b>6.6</b>	<b>Protolysegleichgewichte</b> . . . . .	148
4.9.2	Umsatzberechnung bei Einsatz verunreinigter oder gelöster Stoffe . . . . .	100	6.6.1	Protolysegleichgewicht des Wassers . . . . .	148
4.9.3	Umsatzberechnung bei Gasreaktionen . . . . .	102	6.6.2	Der pH-Wert . . . . .	148
4.9.4	Umsatzberechnung unter Berücksichtigung der Ausbeute . . . . .	104	6.6.3	pH-Wert starker Säuren und Basen . . . . .	149
	Gemischte Aufgaben zu 4.9. . . . .	106	6.6.4	pH-Wert schwacher Säuren und Basen . . . . .	150
<b>5</b>	<b>Rechnen mit Gehaltsgrößen von Mischungen</b> . . . . .	110	<b>6.7</b>	<b>pH-Wert von Pufferlösungen</b> . . . . .	151
<b>5.1</b>	<b>Gehaltsgrößen von Mischungen</b> . . . . .	110	<b>6.8</b>	<b>Löslichkeitsgleichgewichte</b> . . . . .	152
5.1.1	Massenanteil $w$ . . . . .	110		<b>Gemischte Aufgaben zu Kap. 6.</b> . . . . .	154
5.1.2	Volumenanteil $\varphi$ . . . . .	111	<b>7</b>	<b>Analytische Bestimmungen</b> . . . . .	158
5.1.3	Stoffmengenanteil $\chi$ . . . . .	112	<b>7.1</b>	<b>Thermogravimetrische Analysen</b> . . . . .	158
5.1.4	Umrechnung der verschiedenen Anteile . . . . .	113	7.1.1	Feuchtigkeits- und Trockengehaltsbestimmungen von Feststoffen . . . . .	158
	Gemischte Aufgaben . . . . .	115	7.1.2	Glührückstandsbestimmungen. . . . .	158
5.1.5	Massenkonzentration $\beta$ . . . . .	116	7.1.3	Bestimmung des Wassergehalts in Mineralölen. . . . .	159
5.1.6	Volumenkonzentration $\sigma$ . . . . .	117		Gemischte Aufgaben zu 7.1 . . . . .	159
5.1.7	Stoffmengenkonzentration $c$ , Äquivalentkonzentration $c(1/z \cdot X)$ . . . . .	117	<b>7.2</b>	<b>Volumetrische Bestimmungen (Maßanalyse).</b> . . . . .	161
5.1.8	Umrechnen der verschiedenen Konzentrationen . . . . .	119	7.2.4	Titer von Maßlösungen . . . . .	161
5.1.9	Löslichkeit $L^*$ . . . . .	119	7.2.5	Neutralisationstitrations. . . . .	162
	Gemischte Aufgaben . . . . .	121	7.2.5.1	Direkttitrations . . . . .	162
<b>5.2</b>	<b>Umrechnen von Anteilen in Konzentrationen und Löslichkeiten</b> . . . . .	123	7.2.5.2	Rücktitrationen. . . . .	163
5.2.1	Umrechnung von Massenanteil $w(X)$ und Stoffmengenkonzentration $c(X)$ . . . . .	123	<b>7.3</b>	<b>Bestimmung von Abwasserkennwerten</b> . . . . .	164
5.2.2	Umrechnung Massenanteil $w(X)$ und Massenkonzentration $\beta(X)$ . . . . .	124	7.3.1	Biochemischer Sauerstoffbedarf BSB . . . . .	164
5.2.3	Umrechnung von Massenanteil $w(X)$ und Volumenkonzentration $\sigma(X)$ . . . . .	126	7.3.2	Chemischer Sauerstoffbedarf CSB. . . . .	164
5.2.4	Umrechnung von Massenanteil $w(X)$ und Löslichkeit $L^*(X)$ . . . . .	126	<b>7.4</b>	<b>Bestimmung der Wasserhärte</b> . . . . .	165
	Gemischte Aufgaben zu 5.2. . . . .	128	<b>7.5</b>	<b>Bestimmung maßanalytischer Kennzahlen von Fetten</b> . . . . .	165
			7.5.1	Säurezahl SZ . . . . .	165
			7.5.2	Verseifungszahl VZ . . . . .	166
			7.5.3	Esterzahl EZ . . . . .	167
			<b>7.6</b>	<b>Maßanalytische Bestimmungen mit elektrochemischen Methoden</b> . . . . .	167

# Inhaltsverzeichnis

7.6.1	Potentiometrische Neutralisations-	167
7.6.2	Leitfähigkeitstitrationen (Konduktometrie) .	170
	Gemischte Aufgaben zu 7.2 bis 7.6 . . . . .	171
<b>7.7</b>	<b>Optische Analyseverfahren.</b> . . . . .	<b>178</b>
7.7.1	Fotometrie, Spektroskopie . . . . .	178
7.7.2	Refraktometrie . . . . .	181
7.7.3	Polarimetrie . . . . .	182
<b>7.8</b>	<b>Chromatografie</b> . . . . .	<b>183</b>

<b>8</b>	<b>Berechnungen zur Elektrotechnik</b>	<b>188</b>
----------	--	------------

8.1	Grundbegriffe der Elektrotechnik . . . . .	188
8.2	Elektrischer Widerstand und Leitwert eines Leiters . . . . .	188
8.3	Ohm'sches Gesetz . . . . .	189
8.4	Reihenschaltung von Widerständen . . . . .	189
8.5	Parallelschaltung von Widerständen . . . . .	190
8.6	Gruppenschaltungen, Netzwerke . . . . .	191
8.7	Wheatstone'sche Brückenschaltung . . . . .	195
8.8	Thermische Widerstandsänderung, Widerstandsthermometer . . . . .	195
8.9	Thermospannung, Thermoelement . . . . .	196
8.10	Widerstandsänderung eines Leiters durch Dehnung. . . . .	196
8.11	Elektrische Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad . . . . .	197
8.12	Berechnungen zum Drehstromkreis. . . . .	197
8.13	Elektrolytische Stoffabscheidung . . . . .	199
	Gemischte Aufgaben zu Kap. 8. . . . .	200

<b>9</b>	<b>Berechnungen zur Wärmelehre</b>	<b>203</b>
----------	------------------------------------	------------

9.1	Temperaturskalen . . . . .	203
9.2	Verhalten der Stoffe bei Erwärmung . . . . .	203
9.2.1	Thermische Längenänderung von Feststoffen . . . . .	203
9.2.2	Thermische Volumenänderung von Feststoffen . . . . .	204
9.2.3	Thermische Volumenänderung von Flüssigkeiten . . . . .	204
9.2.4	Thermische Volumenänderung von Gasen . . . . .	205
<b>9.3</b>	<b>Wärmeinhalt von Stoffportionen</b> . . . . .	<b>205</b>
<b>9.4</b>	<b>Aggregatzustandsänderungen.</b> . . . . .	<b>206</b>
9.4.1	Schmelzen, Erstarren . . . . .	206
9.4.2	Verdampfen, Kondensieren. . . . .	207
9.4.3	Zusammengesetzte thermische Vorgänge . . . . .	207

<b>9.5</b>	<b>Siedepunkterhöhung</b> . . . . .	<b>207</b>
<b>9.6</b>	<b>Gefrierpunktniedrigung</b> . . . . .	<b>208</b>
<b>9.7</b>	<b>Temperaturänderung beim Mischen</b> . . . . .	<b>208</b>
<b>9.8</b>	<b>Temperaturänderung beim direkten Heizen und Kühlen.</b> . . . . .	<b>209</b>
<b>9.9</b>	<b>Reaktionswärmen bei chemischen Reaktionen</b> . . . . .	<b>210</b>
<b>9.10</b>	<b>Heiz- und Brennwert von Brennstoffen</b> . . . . .	<b>213</b>
	Gemischte Aufgaben zu Kap. 9. . . . .	214

<b>10</b>	<b>Bestimmung von Produkteigenschaften</b>	<b>219</b>
-----------	--	------------

<b>10.1</b>	<b>Bestimmung der Dichte.</b> . . . . .	<b>219</b>
10.1.1	Dichtebestimmung mit dem Pyknometer . . . . .	219
10.1.2/3	Dichtebestimmung mit der hydrostatischen und Westphal'schen Waage . . . . .	220
10.1.4	Dichtebestimmung mit dem Tauchkörper-Verfahren . . . . .	221
10.1.5	Dichtemessung mit dem Aräometer. . . . .	221
10.1.6	Dichtebestimmung mit Biegeschwinger-Messgeräten . . . . .	222
<b>10.2</b>	<b>Bestimmung technischer Dichten</b> . . . . .	<b>223</b>
<b>10.3</b>	<b>Bestimmung der Viskosität</b> . . . . .	<b>224</b>
10.3.2	Kugelfall-Viskosimeter nach Höppler . . . . .	224
10.3.3/4	Auslauf-Viskosimeter und Rotations-Viskosimeter . . . . .	225
<b>10.4</b>	<b>Bestimmung der Oberflächenspannung</b> . . . . .	<b>227</b>
<b>10.5</b>	<b>Bestimmung der Partikelgrößenverteilung von Schüttgütern (Siebanalyse)</b> . . . . .	<b>228</b>
<b>10.6</b>	<b>Auswertung einer Siebanalyse mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel®</b> . . . . .	<b>237</b>
10.6.1	Rechnerische Auswertung der Siebanalyse mit Excel® . . . . .	237
10.6.2	Erstellen von Diagrammen zur Siebanalyse mit Excel® . . . . .	238

<b>11</b>	<b>Qualitätssicherung</b>	<b>241</b>
-----------	---------------------------	------------

<b>11.1</b>	<b>Erfassung der Verteilung von Messwerten</b>	<b>241</b>
<b>11.2</b>	<b>Qualitätssicherung mit Qualitätsregelkarten (QRK).</b> . . . . .	<b>244</b>
11.2.2	Berechnen der Regelgrenzen bei Qualitätsregelkarten. . . . .	244
11.2.3	Erstellen und Führen von Qualitätsregelkarten. . . . .	244
<b>11.3</b>	<b>Interpretation von Qualitätsregelkarten</b> . . . . .	<b>246</b>

### **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 Seite 7 befinden sich die Aufgabentexte im Buch **Technische Mathematik für Chemie-berufe** 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.

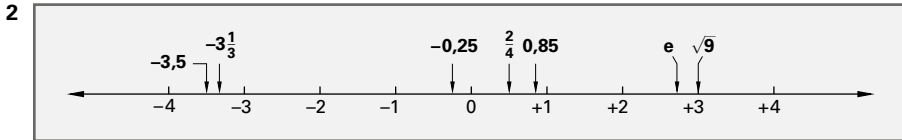
# 1 Mathematische Grundlagen, praktisches Rechnen

1

► 9  
10  
11

## 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
- |                                |  |
|--------------------------------|--|
| 1 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) $(+13m) \cdot (+4m) \cdot (+2m) = 104m^3$ |
- 
- |  |   |
|--|---|
| 2 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) $m_M = \varrho_M \cdot \left( \frac{m_1}{\varrho_1} + \frac{m_2}{\varrho_2} \right) = \frac{\varrho_M \cdot m_1}{\varrho_1} + \frac{\varrho_M \cdot m_2}{\varrho_2}$ |
- 
- 3 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)  $(-4) \cdot (9w + 3x) \cdot (-3) \cdot (8y - 5z) = +12 \cdot (72wy - 45wz + 24xy - 15xz)$   
 $= 864wy - 540wz + 288xy - 180xz$

1

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

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

$$5) a) 2ab + 2ac + 2ad = 2a(b+c+d)$$

$$b) \pi n r_1 + \pi n r_2 = \pi n(r_1 + r_2)$$

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

$$d) \pi r_1^2 + \pi h^2 = \pi(r_1^2 + h^2)$$

### 1.3.3 Dividieren

$$\blacktriangleright 12) 1) a) 63 : (-7) = -9$$

$$b) (-64) : (-4) = +16$$

$$c) (-91) : 13 = -7$$

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

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

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

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

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

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

$$3) a) (156 - 72) : 14 = 84 : 14 = 6$$

$$b) (391 - 144) : (121 - 102) = 247 : 19 = 13$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### 1.4 Berechnen zusammengesetzter Ausdrücke

$$\blacktriangleright 13) 1) a) -4 \cdot (0,2 - 3,2) + (14,5 - 8,5) \cdot (-0,1) = -4 \cdot (-3) + 6 \cdot (-0,1) = 12 - 0,6 = 11,4$$

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

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

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

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



1

$$i) d_i = 2 \cdot \sqrt{\frac{\dot{V}}{\pi \cdot v}} \Rightarrow d_i^2 = \frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot v} \Rightarrow \dot{V} = \frac{\pi \cdot v \cdot d_i^2}{4} \Rightarrow v = \frac{4 \dot{V}}{\pi \cdot d_i^2}$$

### Rechnen mit dem Dreisatz, Proportionen, Anteilen

▶ 31

- 21** 16,0 g CH<sub>4</sub> nehmen 22,4L 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** 0,95t 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 15dm<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)  $3750\text{dm}^2 \cong 100\%$  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.  
750g Chlor nehmen x ein.  
 $x = V_2(\text{Cl}_2) = \frac{22,4\text{L} \cdot 750\text{g}}{70,9\text{g}} = 236,953\text{L} \approx \mathbf{237\text{L}}$

## 2.3 Auswertung von Messwertreihen

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

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

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

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

Standardabweichung:

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

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

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

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

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

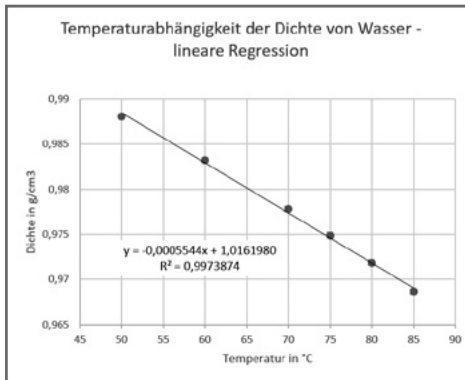
$x$	2,6735	2,6901	2,7121	2,6588	2,6476	2,6179	2,7021
$\bar{x} - x$	-0,0018	-0,0184	-0,0404	+0,0129	+0,0241	<b>+0,0538</b>	-0,0304

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

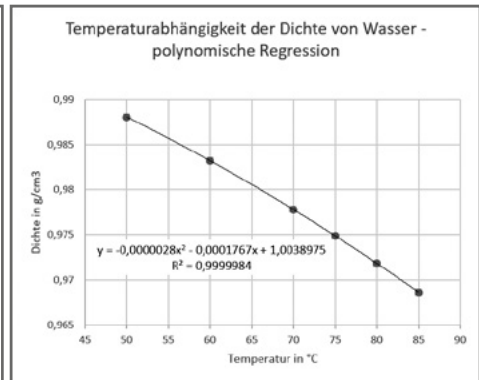
$$\text{Prozentualer Fehler } F_p = \frac{\pm |2,6179 - 2,6717|}{2,6717} \cdot 100\% = \frac{\pm 0,0538}{2,6717} \cdot 100\% = \mathbf{\pm 2,01\%}$$

b) Kalibrierdiagramme der Dichtebestimmung mit Regressionsdaten

lineare Regression



polynomische Regression



Die polynomische Regression zeigt mit dem Bestimmtheitsmaß  $R^2 = 0,9999984 \approx 1$  im Vergleich zur linearen Regression mit  $R^2 = 0,99739$  eine sehr hohe Übereinstimmung der gemessenen Werte mit der Regressionskurve.

c) Berechnung der gesuchten Dichtewerte mit Hilfe der ermittelten polynomischen Funktion:

$$y = -0,0000028x^2 - 0,0001767x + 1,0038975$$

Die Gleichung lautet mit eingesetzten Größen:

$$\rho = -0,0000028 \cdot \vartheta^2 - 0,0001767 \cdot \vartheta + 1,0038975$$

Die entsprechende Funktion in Excel<sup>®</sup> lautet für die Temperatur 55°C in **Zelle D3**:

$$=-0,0000028*(C3^2)-0,0001767*C3+1,0038975$$

In der Tabelle unter a) sind in **Spalte D** die Ergebnisse der Bestimmungen aufgeführt:

$$\rho(\text{H}_2\text{O}, 55^\circ\text{C}) = 0,98571; \quad \rho(\text{H}_2\text{O}, 65^\circ\text{C}) = 0,98058; \quad \rho(\text{H}_2\text{O}, 78^\circ\text{C}) = 0,97308$$

# 3 Ausgewählte physikalische Berechnungen

## 3.1 Größen, Zeichen, Einheiten, Umrechnungen

1

► 72

► 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		$a$	

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)  $d(\text{Lack}) = 45 \mu\text{m}$                       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)  $\alpha(\text{Pb}) = \frac{29}{1000000} \cdot \frac{1}{\text{K}} = \frac{29}{10^6} \cdot \frac{1}{\text{K}} = 29 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{\text{K}} = \left[ 29 \cdot 0,000001 \cdot \frac{1}{\text{K}} \right] = \mathbf{0,000029 \cdot \frac{1}{\text{K}}}$

b)  $l = 14,2 \text{ cm}$

c)  $F = m \cdot g \Rightarrow m = \frac{F}{g} = \frac{1,13 \text{ N}}{9,81 \text{ N/kg}} = 0,115 \text{ kg} = 115 \text{ g}$

d)  $D = \frac{F}{s} = \frac{1,3 \text{ N}}{5,5 \text{ cm}} \approx 0,24 \text{ N/cm}$

18 Berechnung der Masse an Sauerstoff im feuchten Gas:

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

Mit  $M(\text{O}_2) = 32,0 \text{ g/mol}$  folgt:

$$m(\text{O}_2) = \frac{(1010 \text{ mbar} - 23,4 \text{ mbar}) \cdot 0,250 \text{ L} \cdot 32 \text{ g} \cdot \text{mol} \cdot \text{K}}{0,0831 \cdot 10^3 \text{ mbar} \cdot \text{L} \cdot \text{mol} \cdot 293 \text{ K}} \approx 324 \cdot 10^{-3} \text{ g} = 324 \text{ mg}$$

Berechnung des Volumens an Sauerstoff im feuchten Gas:

$$\frac{p(\text{O}_2)}{p_{\text{ges}}} = \frac{V(\text{O}_2)}{V_{\text{ges}}}$$

$$\Rightarrow V(\text{O}_2) = \frac{p(\text{O}_2) \cdot V_{\text{ges}}}{p_{\text{ges}}} = \frac{(p_{\text{amb}} - p_s(\text{H}_2\text{O})) \cdot V_{\text{ges}}}{p_{\text{ges}}} = \frac{(1010 \text{ mbar} - 23,4 \text{ mbar}) \cdot 250 \text{ mL}}{1010 \text{ mbar}} \approx 244 \text{ mL}$$

19 a)  $W_H = m \cdot g \cdot h = \rho \cdot V \cdot g \cdot h = 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot 10,00 \text{ m}^3 \cdot 9,81 \text{ N/kg} \cdot 3,00 \text{ m} = 294 \cdot 10^3 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot \text{m}$   
 $= 294 \text{ kNm} = 294 \text{ kJ}$

b)  $W_H = \frac{294 \text{ kJ}}{2} = 147 \text{ kJ}$

*Begründung:* Im Steigrohr muss ständig die Förderhöhe von 3,00 m überwunden werden. Beim Bodenrohr beträgt die mittlere Förderhöhe 1,50 m.

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

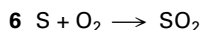
6

Nr.	Ion	Protonen	Neutronen	Elektronen
a)	$^{35}_{17}\text{Cl}^{-}$	17	18	18
b)	$^{17}_8\text{O}^{2-}$	8	9	10
c)	$^{37}_{17}\text{Cl}^{-}$	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



$$M(\text{SO}_2) = 64,06 \text{ g/mol}; \quad M(\text{S}) = 32,06 \text{ g/mol}$$

Berechnung der Masse an Schwefeldioxid, die bei der Verbrennung entsteht:

$$p \cdot V = \frac{m(\text{SO}_2)}{M} \cdot R \cdot T$$

$$\Rightarrow m(\text{SO}_2) = \frac{p \cdot V \cdot M}{R \cdot T} = \frac{1,052 \text{ bar} \cdot 5,0 \cdot 10^3 \text{ L} \cdot 64,06 \text{ g/mol} \cdot \text{mol} \cdot \text{K}}{0,08314 \text{ bar} \cdot \text{L} \cdot 486 \text{ K}} = 8,34 \cdot 10^3 \text{ g} = 8,34 \text{ kg}$$

Umsatzberechnung:

64,06 kg SO<sub>2</sub> entstehen aus 32,06 kg S.

8,34 kg SO<sub>2</sub> entstehen aus x S.

$$x = m(\text{S}) = \frac{8,34 \text{ kg} \cdot 32,06 \text{ kg}}{64,06 \text{ kg}} \approx 4,2 \text{ kg}$$

Berechnung der Masse an Heizöl:

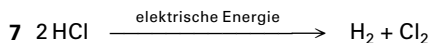
$$\rho = \frac{m(\text{Heizöl})}{V} \Rightarrow m(\text{Heizöl}) = \rho \cdot V = 830 \text{ kg/m}^3 \cdot 1 \text{ m}^3 = 830 \text{ kg}$$

Berechnung des Massenanteils an Schwefel im Heizöl:

830 kg Heizöl enthalten 4,2 kg S.

100 kg Heizöl enthalten y S.

$$y = \frac{100 \text{ kg} \cdot 4,2 \text{ kg}}{830 \text{ kg}} = 0,503 \text{ kg} \Rightarrow w(\text{S}) \approx 0,50\%$$



$$M(\text{HCl}) = 36,46 \text{ g/mol}; \quad M(\text{Cl}_2) = 70,91 \text{ g/mol}$$

a) Umsatzberechnung:

22,4 L Cl<sub>2</sub> entstehen aus 2 · 36,46 g HCl.

22,4 m<sup>3</sup> Cl<sub>2</sub> entstehen aus 2 · 36,46 kg HCl.

25 · 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup> Cl<sub>2</sub> entstehen aus x HCl.

$$x = m(\text{HCl}) = \frac{25 \cdot 10^3 \text{ m}^3 \cdot 2 \cdot 36,46 \text{ kg}}{22,4 \text{ m}^3} = 81383,93 \text{ kg} \approx 81,4 \text{ t}$$

Gehaltsberechnung:

w(HCl) = 22% ⇒ 100 t HCl-Lösung enthalten 22 t HCl und 78 t H<sub>2</sub>O. Die Masse an Wasser bleibt beim Elektrolysieren konstant. Die Masse an Hydrogenchlorid in der Salzsäure wird von 22 t auf 18 t verringert.

Für die Salzsäure mit w(HCl) = 18% gilt:

$$w(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{m(\text{HCl}, 18\%)} \Rightarrow m(\text{HCl}, 18\%) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{w(\text{H}_2\text{O})} = \frac{7,8 \text{ t}}{0,82} = 95,122 \text{ t}$$

100 t 22%ige Salzsäure

–95,122 t 18%ige Salzsäure

≈ 4,88 t HCl werden elektrolysiert.

Für 4,88 t HCl werden 100 t Salzsäure mit w(HCl) = 22% benötigt.

Für 81,384 t HCl werden x Salzsäure mit w(HCl) = 22% benötigt.

$$x = m(\text{HCl}, 22\%) = \frac{81,384 \text{ t} \cdot 100 \text{ t}}{4,88 \text{ t}} = 1668,4 \text{ t} \approx 1668 \text{ t}$$

b) Berechnung der Masse an Chlor:

22,4 m<sup>3</sup> Cl<sub>2</sub> haben eine Masse von 70,9 kg.

25 · 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup> Cl<sub>2</sub> haben eine Masse von z.

$$z = m(\text{Cl}_2) = \frac{25 \cdot 10^3 \text{ m}^3 \cdot 70,91 \text{ kg}}{22,4 \text{ m}^3} = 79140,63 \text{ kg} \approx 79 \text{ t}$$

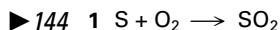
Berechnung des Volumens an Chlor:

1,57 t Cl<sub>2</sub> haben ein Volumen von 1 m<sup>3</sup>.

79,141 t Cl<sub>2</sub> haben ein Volumen von x.

$$x = V(\text{Cl}_2) = \frac{79,141 \text{ t} \cdot 1 \text{ m}^3}{1,57 \text{ t}} = 50,41 \text{ m}^3 \approx \mathbf{50 \text{ m}^3}$$

#### 4.9.4 Umsatzberechnung unter Berücksichtigung der Ausbeute

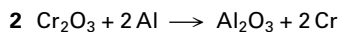


$$M(\text{SO}_2) = 64,06 \text{ g/mol}; \quad M(\text{S}) = 32,06 \text{ g/mol}$$

$$n(\text{S}) = n(\text{SO}_2) \Rightarrow \frac{m(\text{S})}{M(\text{S})} = \frac{m(\text{SO}_2)}{M(\text{SO}_2)} \Rightarrow m(\text{SO}_2) = \frac{m(\text{S})}{M(\text{S}) \cdot M(\text{SO}_2)}$$

$$\text{mit } \eta(\text{SO}_2) = \frac{m(\text{SO}_2)}{m_{\text{ber}}(\text{SO}_2)} \text{ folgt: } \eta(\text{SO}_2) = \frac{m(\text{SO}_2) \cdot M(\text{S})}{m(\text{S}) \cdot M(\text{SO}_2)}$$

$$\eta(\text{SO}_2) = \frac{39,8 \text{ t} \cdot 32,06 \text{ g/mol}}{20,0 \text{ t} \cdot 64,06 \text{ g/mol}} = 0,9959 \approx \mathbf{99,6\%}$$



$$M(\text{Cr}) = 51,996 \text{ g/mol}; \quad M(\text{Cr}_2\text{O}_3) = 151,990 \text{ g/mol}$$

Umsatzberechnung:

Aus 151,990 t Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> entstehen 2 · 51,996 t Cr.

Aus 1,000 t Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> entstehen x Cr.

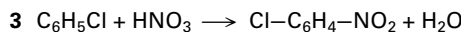
$$x = m(\text{Cr}) = \frac{1,000 \text{ t} \cdot 2 \cdot 51,996 \text{ t}}{151,990 \text{ t}} = 0,6842 \text{ t} \approx \mathbf{684 \text{ kg}}$$

Berechnung der Masse an Chrom unter Berücksichtigung der Ausbeute:

Bei 100%iger Ausbeute entstehen 684,2 kg Cr.

Bei 87%iger Ausbeute entstehen y Cr.

$$y = m(\text{Cr}) = \frac{87\% \cdot 684,2 \text{ kg}}{100\%} = 595,3 \text{ kg} \approx \mathbf{595 \text{ kg}}$$



$$M(\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}) = 112,56 \text{ g/mol}; \quad M(\text{Cl-C}_6\text{H}_4\text{-NO}_2) = 157,56 \text{ g/mol}$$

Umsatzberechnung:

157,56 t Cl-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>-NO<sub>2</sub> entstehen aus 112,56 t C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Cl.

50 t Cl-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>-NO<sub>2</sub> entstehen aus x C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Cl.

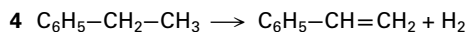
$$x = m(\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}) = \frac{50 \text{ t} \cdot 112,56 \text{ t}}{157,56 \text{ t}} = 35,72 \text{ t}$$

Berechnung der Masse an C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Cl unter Berücksichtigung der Ausbeute:

65 g C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Cl werden von 100 g C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Cl zu Cl-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>-NO<sub>2</sub> umgesetzt.

35,72 t C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Cl werden von y C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Cl zu Cl-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>-NO<sub>2</sub> umgesetzt.

$$y = m(\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}) = \frac{100 \text{ g} \cdot 35,72 \text{ t}}{65 \text{ g}} = 54,95 \text{ t} \approx \mathbf{55 \text{ t}}$$



$$M(\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH=CH}_2) = 104,15 \text{ g/mol}; \quad M(\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_2\text{-CH}_3) = 106,17 \text{ g/mol}$$

Umsatzberechnung:

104,15 t Styrol entstehen aus 106,17 t Ethylbenzol.

10 t Styrol entstehen aus x Ethylbenzol.

$$x = m(\text{Ethylbenzol}) = \frac{10 \text{ t} \cdot 106,17 \text{ t}}{104,15 \text{ t}} = 10,194 \text{ t} \approx \mathbf{10,2 \text{ t}}$$



$$\begin{array}{r}
 2 \quad \begin{array}{c}
 \begin{array}{c}
 w \quad m : \rho = V \\
 \hline
 59,7\% \quad 50,0 \text{ (g)} : 1,365 \text{ g/mL} = 36,6300 \text{ mL} \Rightarrow 500 \text{ mL} \\
 \swarrow \quad \nearrow \\
 50,0\% \\
 \nwarrow \quad \nearrow \\
 0\% \quad 9,7 \text{ (g)} : 1,00 \text{ g/mL} = 9,7 \text{ mL} \Rightarrow V_2 \\
 \hline
 59,7 \text{ (g)} : 1,310 \text{ g/mL} = 45,5275 \text{ mL} \Rightarrow V_M
 \end{array}
 \end{array}
 \end{array}$$

$$V_M(\text{H}_2\text{O}) = \frac{500 \text{ mL} \cdot 9,7 \text{ mL}}{36,6300 \text{ mL}} = 132,405 \text{ mL} \approx \mathbf{132 \text{ mL}}$$

$$V_M(\text{HNO}_3, 50,0\%) = \frac{500 \text{ mL} \cdot 45,5275 \text{ mL}}{36,6300 \text{ mL}} = 622,065 \text{ mL} \approx \mathbf{622 \text{ mL}}$$

$$\begin{array}{r}
 3 \quad \begin{array}{c}
 \begin{array}{c}
 w \quad m : \rho = V \\
 \hline
 50,0\% \quad 35,0 \text{ (g)} : 1,526 \text{ g/mL} = 22,936 \text{ mL} \Rightarrow V_1 \\
 \swarrow \quad \nearrow \\
 35,0\% \\
 \nwarrow \quad \nearrow \\
 0\% \quad 15,0 \text{ (g)} : 1,00 \text{ g/mL} = 15,0 \text{ mL} \Rightarrow V_2 \\
 \hline
 50,0 \text{ (g)} : 1,380 \text{ g/mL} = 36,232 \text{ mL} \Rightarrow 5,0 \text{ m}^3
 \end{array}
 \end{array}
 \end{array}$$

$$V_1(\text{NaOH}, 50,0\%) = \frac{22,936 \text{ mL} \cdot 5,0 \text{ m}^3}{36,232 \text{ mL}} = 3,1652 \text{ m}^3 \approx \mathbf{3,2 \text{ m}^3}$$

$$V_2(\text{H}_2\text{O}) = \frac{15,0 \text{ mL} \cdot 5,0 \text{ m}^3}{36,232 \text{ mL}} = 2,0699 \text{ m}^3 \approx \mathbf{2,1 \text{ m}^3}$$

### 5.3.4 Konzentrieren von Lösungen

$$\blacktriangleright 174 \quad 1 \quad m(\text{Salzzusatz}) = 8 \cdot 25,0 \text{ kg} = 200 \text{ kg}$$

$$m(\text{Gesamtlösung}) = m(\text{Lsg}) + m(\text{Salzzusatz}) = 2000 \text{ kg} + 200 \text{ kg} = 2200 \text{ kg}$$

In der Ausgangslösung vorhandene Masse Salz:

$$w_1(\text{Salz}) = \frac{m_1(\text{Salz})}{m_1(\text{Lsg})} \Rightarrow m_1(\text{Salz}) = w_1(\text{Salz}) \cdot m_1(\text{Lsg}) = 0,125 \cdot 2000 \text{ kg} = 250 \text{ kg}$$

$$\text{Gesamtmasse an gelöstem Salz: } m_2(\text{Salz}) = 200 \text{ kg} + 250 \text{ kg} = 450 \text{ kg}$$

Berechnung des Massenanteils der neuen Lösung:

$$w_2(\text{Salz}) = \frac{m_2(\text{Salz})}{m_2(\text{Lsg})} = \frac{450 \text{ kg}}{2200 \text{ kg}} = 0,204545 \approx \mathbf{20,5\%}$$

### 5.3 Gehaltsgrößen beim Mischen, Verdünnen und Konzentrieren von Lösungen

2  $m_M = m_1 + m_2 = 136 \text{ g} + 500 \text{ g} = 636 \text{ g}$

100 g Lösung enthalten 25,0 g  $\text{NH}_3$ .

636 kg Lösung enthalten  $x$   $\text{NH}_3$ .

$$x = \frac{25,0 \text{ g} \cdot 636 \text{ kg}}{100 \text{ g}} = 159 \text{ kg}$$

Masse des vorhandenen  $\text{NH}_3$ :  $m(\text{NH}_3) = 159 \text{ kg} - 136 \text{ kg} = 23,0 \text{ kg}$

$$w_2(\text{NH}_3) = \frac{m(\text{NH}_3)}{m(\text{Lsg})} = \frac{23,0 \text{ kg}}{500 \text{ kg}} = 0,0460 \approx \mathbf{4,60\%}$$

3

$$\begin{array}{ccc} 100\% & 26,0 \text{ (g)} & \Rightarrow m_1 \\ & \swarrow \quad \searrow & \\ & 36,5\% & \\ & \swarrow \quad \searrow & \\ 10,5\% & 63,5 \text{ (g)} & \Rightarrow 800 \text{ kg} \\ \hline & 89,5 \text{ (g)} & \end{array}$$

$$m_1(\text{HCL}) = \frac{800 \text{ kg} \cdot 26,0 \text{ g}}{63,5 \text{ g}} = 327,559 \text{ kg} \approx \mathbf{326 \text{ kg}}$$

4 Berechnung der Masse an Lösung:

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m_1 = \rho_1 \cdot V_1 = 1,095 \text{ g/cm}^3 \cdot 250 \text{ mL} = 273,75 \text{ g}$$

$$m_M = m_1 + m_2 = 273,75 \text{ g} + 40,0 \text{ g} = 313,75 \text{ g}$$

$$m_1 \cdot w_1 + m_2 \cdot w_2 = m_M \cdot w_M$$

$$\Rightarrow w_M = \frac{m_1 \cdot w_1 + m_2 \cdot w_2}{m_M} = \frac{273,75 \text{ g} \cdot 0,105 + 40,0 \text{ g} \cdot 0,980}{313,75 \text{ g}} = 0,21655 \approx \mathbf{21,7\%}$$

5  $M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106,0 \text{ g/mol}$ ;  $M(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 286,1 \text{ g/mol}$

*Vorüberlegung:* Berechnung des Massenanteils  $w(\text{Na}_2\text{CO}_3)$  von Kristallsoda:

$$w(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{M(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O})} = \frac{106,0 \text{ g/mol}}{286,1 \text{ g/mol}} = 0,3705 = 37,05\%$$

37,05%    5,1 (g)

$$\begin{array}{ccc} & \swarrow \quad \searrow & \\ & 12,0\% & \\ & \swarrow \quad \searrow & \\ 6,90\% & 25,05 \text{ (g)} & \Rightarrow 550 \text{ kg} \\ \hline & 30,15 \text{ (g)} & \Rightarrow m_M \end{array}$$

$$m_M = \frac{550 \text{ kg} \cdot 30,15 \text{ g}}{25,05 \text{ g}} = 661,976 \text{ kg} \approx \mathbf{662 \text{ kg}}$$

$$5 \quad w(\text{NaOH}) = 1,49\%; \quad \rho(\text{Lsg}) = 1,015 \text{ g/mL}; \quad M(\text{NaOH}) = 39,9971 \text{ g/mol}$$

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

$$\text{Mit } c(\text{NaOH}) = \frac{n(\text{NaOH})}{V(\text{Lsg})} \text{ und } \rho(\text{Lsg}) = \frac{m(\text{Lsg})}{V(\text{Lsg})} \text{ folgt durch Einsetzen:}$$

$$c(\text{NaOH}) = c(\text{OH}^-) = \frac{w(\text{NaOH}) \cdot \rho(\text{Lsg})}{M(\text{NaOH})}$$

$$c(\text{OH}^-) = \frac{0,0149 \cdot 1015 \text{ g/L}}{39,9971 \text{ g/mol}} = 0,37811 \text{ mol/L}$$

$$\text{pOH} = -\lg c(\text{OH}^-) = -\lg 0,37811 = 0,4224$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 0,4224 = 13,5776 \approx \mathbf{13,578}$$

## 6.6.4 pH-Wert schwacher Säuren und Basen

► 197 1 a)  $c(\text{HCOOH}) = 0,25 \text{ mol/L}; \quad \alpha = 0,0270$

$$c(\text{H}_3\text{O}^+) = \alpha \cdot c(\text{HCOOH}) = 0,0270 \cdot 0,25 \text{ mol/L} = 6,75 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$\text{pH} = -\lg c(\text{H}_3\text{O}^+) = -\lg(6,75 \cdot 10^{-3}) = \mathbf{2,2}$$

b)  $c(\text{NH}_3) = 0,50 \text{ mol/L}; \quad \alpha = 0,0059$

$$c(\text{OH}^-) = \alpha \cdot c(\text{NH}_3) = 0,0059 \cdot 0,50 \text{ mol/L} = 2,95 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$\text{pOH} = -\lg c(\text{OH}^-) = -\lg(2,95 \cdot 10^{-3}) = 2,530$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 2,530 \approx \mathbf{11,5}$$

c)  $c(\text{HNO}_2) = 0,12 \text{ mol/L}; \quad \alpha = 6,12\%$

$$c(\text{H}_3\text{O}^+) = \alpha \cdot c(\text{HNO}_2) = 0,0612 \cdot 0,12 \text{ mol/L} = 0,007344 \text{ mol/L}$$

$$\text{pH} = -\lg c(\text{H}_3\text{O}^+) = -\lg 0,007344 = \mathbf{2,1}$$

2  $c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,050 \text{ mol/L}; \quad \text{pH} = 3,03$

$$c(\text{H}_3\text{O}^+) = 10^{-\text{pH}} = 10^{-3,03} \text{ mol/L} = 9,3325 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$$

$$c(\text{H}_3\text{O}^+) = \alpha \cdot c(\text{CH}_3\text{COOH}) \Rightarrow \alpha = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c(\text{CH}_3\text{COOH})} = \frac{9,3325 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}}{0,050 \text{ mol/L}} = 0,018665 \approx \mathbf{1,9\%}$$

3  $\text{p}K_S(\text{Milchsäure}) = 3,9; \quad c(\text{Milchsäure}) = 0,10 \text{ mol/L}$

$$\text{pH} = \frac{\text{p}K_S - \lg c(\text{Säure})}{2} = \frac{3,9 - \lg 0,10}{2} = 2,45 \approx \mathbf{2,5}$$

$$K_S(\text{Milchsäure}) = 10^{-\text{p}K_S} = 10^{-3,9} \text{ mol/L}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_S}{c_0}} = \sqrt{\frac{10^{-3,9} \text{ mol/L}}{0,10 \text{ mol/L}}} = 0,03548 \approx \mathbf{3,5\%}$$

4 a)  $\text{p}K_S(\text{HNO}_2) = 3,34; \quad c(\text{HNO}_2) = 0,20 \text{ mol/L}$

$$\text{pH} = \frac{\text{p}K_S - \lg c(\text{Säure})}{2} = \frac{3,34 - \lg 0,20}{2} = 2,0195 \approx \mathbf{2,0}$$

b)  $\text{p}K_B(\text{NH}_3) = 4,75; \quad c(\text{NH}_3) = 0,50 \text{ mol/L}$

$$\text{pOH} = \frac{\text{p}K_B - \lg c(\text{Base})}{2} = \frac{4,75 - \lg 0,50}{2} = 2,5255$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 2,5255 = 11,4745 \approx \mathbf{11,5}$$

c)  $\text{p}K_S(\text{CH}_3\text{COOH}) = 4,76; \quad c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,015 \text{ mol/L}$

$$\text{pH} = \frac{\text{p}K_S - \lg c(\text{Säure})}{2} = \frac{4,76 - \lg 0,015}{2} = 3,2920 \approx \mathbf{3,3}$$

1

► 195  
197

## 6.7 pH-Wert von Pufferlösungen

d)  $pK_B(\text{CH}_3\text{COONa}) = 9,24$ ;  $c(\text{CH}_3\text{COONa}) = 0,15 \text{ mol/L}$

$$pOH = \frac{pK_B - \lg c(\text{Base})}{2} = \frac{9,24 - \lg 0,15}{2} = 5,03195$$

$$pH = 14 - pOH = 14 - 5,03195 = 8,9680 \approx \mathbf{9,0}$$

5  $M(\text{CH}_3\text{COONa}) = 82,034 \text{ g/mol}$ ;  $pK_B(\text{CH}_3\text{COONa}) = 9,24$

$$c(X) = \frac{n(X)}{V(\text{Lsg})}$$

Mit  $n(X) = \frac{m(X)}{M(X)}$  folgt durch Einsetzen:

$$c(\text{Ac}) = \frac{m(\text{Ac})}{M(\text{Ac}) \cdot V(\text{Lsg})} = \frac{12,30 \text{ g}}{82,034 \text{ g/mol} \cdot 1,000 \text{ L}} = 0,14994 \text{ mol/L}$$

$$pOH = \frac{pK_B - \lg c(\text{Base})}{2} = \frac{9,24 - \lg 0,14994}{2} = 5,032044$$

$$pH = 14 - pOH = 14 - 5,032044 = 8,96795 \approx \mathbf{8,97}$$

6  $pK_S(\text{Propansäure}) = 4,87$ ;  $c(\text{Propansäure}) = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$

$$K_S(\text{Propansäure}) = 10^{-pK_S} = 10^{-4,87} \text{ mol/L}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_S}{c_0}} = \sqrt{\frac{10^{-4,87} \text{ mol/L}}{2,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}}} = 0,23229 \approx \mathbf{23\%}$$

7 a)  $pK_S(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}) = 4,87$ ;  $pK_B(\text{C}_2\text{H}_5\text{COO}^-) = 14 - pK_S(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}) = 14 - 4,87 = \mathbf{9,13}$

b)  $pK_B(\text{NH}_3) = 4,75$ ;  $pK_S(\text{NH}_4^+) = 14 - pK_B(\text{NH}_3) = 14 - 4,75 = \mathbf{9,25}$

## 6.7 pH-Wert von Pufferlösungen

► 198 1 a)  $pK_S(\text{CH}_3\text{COOH}) = 4,76$ ;  $c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,32 \text{ mol/L}$ ;  $c(\text{CH}_3\text{COONa}) = 0,12 \text{ mol/L}$

$$pH = pK_S + \lg \frac{c(\text{Salz})}{c(\text{Säure})} = 4,76 + \lg \frac{0,12 \text{ mol/L}}{0,32 \text{ mol/L}} = 4,76 - 0,42597 = 4,33403 \approx \mathbf{4,33}$$

b)  $pK_S(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 7,21$ ;  $c(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 0,55 \text{ mol/L}$ ;  $c(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 0,155 \text{ mol/L}$

$$pH = pK_S + \lg \frac{c(\text{Salz})}{c(\text{Säure})} = 7,21 + \lg \frac{0,155 \text{ mol/L}}{0,55 \text{ mol/L}} = 7,21 - 0,55003 = 6,65997 \approx \mathbf{6,66}$$

2 *Anmerkung:* Es wird von einem unveränderten Volumen ausgegangen.

a) Berechnung der zugefügten Stoffmenge  $c(\text{NaOH})$ ;  $M(\text{NaOH}) = 39,9971 \text{ g/mol}$

$$c(X) = \frac{n(X)}{V(\text{Lsg})}$$

Mit  $n(\text{NaOH}) = \frac{m(X)}{M(X)}$  folgt durch Einsetzen:

$$c(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH}) \cdot V(\text{Lsg})} = \frac{0,55 \text{ g}}{39,9971 \text{ g/mol} \cdot 1,000 \text{ L}} = 0,013751 \text{ mol/L}$$

pH-Wert des Puffers vor der NaOH-Zugabe:

$$pH = pK_S + \lg \frac{c(\text{Salz})}{c(\text{Säure})} = 4,76 + \lg \frac{0,25 \text{ mol/L}}{0,20 \text{ mol/L}} = 4,76 + 0,09691 = 4,8569 \approx \mathbf{4,86}$$

$$3 \quad \beta = 10,000 \text{ g/L}; \quad \alpha = 1,000^\circ; \quad [\alpha]_D^{20} = 66,45 \frac{\text{grad}}{\text{dm} \cdot \text{g/mL}}$$

$$\beta = 10,000 \text{ g/L} = 10,000 \frac{\text{g}}{1000 \text{ mL}} = 0,010000 \text{ g/mL}$$

$$a) \quad \alpha = [\alpha]_D^{20} \cdot l \cdot \beta$$

$$\Rightarrow l = \frac{\alpha}{[\alpha]_D^{20} \cdot \beta} = \frac{1,000^\circ \cdot \text{dm} \cdot \text{g/mL}}{66,45^\circ \cdot 0,010000 \text{ g/mL}} \approx \mathbf{1,505 \text{ dm}}$$

$$b) \quad \alpha = 3,726^\circ$$

$$\beta = \frac{\alpha}{[\alpha]_D^{20} \cdot l} = \frac{3,726^\circ}{66,45 \frac{\text{grad}}{\text{dm} \cdot \text{g/mL}} \cdot 1,505 \text{ dm}} = 0,03726 \text{ g/mL} = \mathbf{37,26 \text{ g/L}}$$

$$4 \quad [M]_D^{20} = [\alpha]_D^{20} \cdot M$$

$$a) \quad M(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6) = 176,126 \text{ g/mol}$$

$$[M]_D^{20}(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6) = 24,0 \frac{\text{grad}}{\text{dm} \cdot \text{g/mL}} \cdot 176,126 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 4227,02 \frac{\text{grad}}{\text{dm} \cdot \text{mol/mL}} \approx \mathbf{4,23 \cdot 10^3 \frac{\text{grad}}{\text{dm} \cdot \text{mol/mL}}}$$

$$b) \quad M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 180,157 \text{ g/mol}$$

$$[M]_D^{20}(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = -89,1 \frac{\text{grad}}{\text{dm} \cdot \text{g/mL}} \cdot 180,157 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = -16052,0 \frac{\text{grad}}{\text{dm} \cdot \text{mol/mL}} \approx \mathbf{-1,61 \cdot 10^4 \frac{\text{grad}}{\text{dm} \cdot \text{mol/mL}}}$$

$$c) \quad M(\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}_{12}) = 360,314 \text{ g/mol}$$

$$[M]_D^{20}(\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}_{12}) = 66,45 \frac{\text{grad}}{\text{dm} \cdot \text{g/mL}} \cdot 360,314 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 23942,9 \frac{\text{grad}}{\text{dm} \cdot \text{mol/mL}} \approx \mathbf{2,394 \cdot 10^4 \frac{\text{grad}}{\text{dm} \cdot \text{mol/mL}}}$$

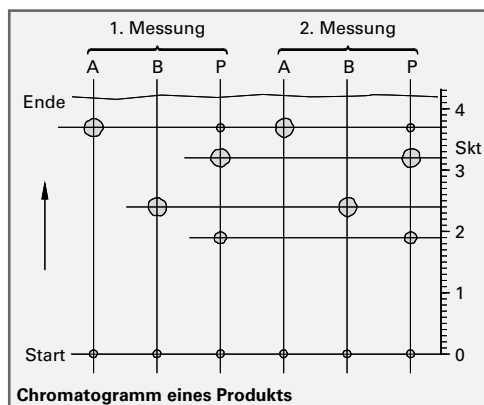
## 7.8 Chromatografie

- 253 1 a) Im Produkt (P) ist noch ein kleiner Anteil des Edukts A enthalten, da das Produkt einen kleinen Fleck mit der Laufstrecke des Edukts A besitzt.

Das Edukt B ist nicht im Produkt enthalten. Das Chromatogramm des Produktes P enthält keinen Fleck mit der Laufstrecke des Edukts B.

Das Produkt besteht aus 2 Komponenten: P1 und P2.

- b) Aus dem Chromatogramm wird abgelesen:



$$l = 4,2; \quad a_A = 3,7; \quad a_B = 2,4; \quad a_{P1} = 1,9; \quad a_{P2} = 3,2; \quad a_{P3} = 3,7$$

$$R_{fA} = \frac{a_A}{l} = \frac{3,7}{4,2} = \mathbf{0,88}; \quad R_{fB} = \frac{2,4}{4,2} = \mathbf{0,57}; \quad R_{fP1} = \frac{1,9}{4,2} = \mathbf{0,45}; \quad R_{fP2} = \frac{3,2}{4,2} = \mathbf{0,76};$$

$$R_{fP3} = R_{fA} = \mathbf{0,88}$$

- 2  $L = 30,0 \text{ cm}$ ;  $t_{\text{RA}} = 16,40 \text{ min}$ ;  $t_{\text{RB}} = 17,63 \text{ min}$ ;  $t_{\text{M}} = 1,30 \text{ min}$ ;  
 $w_{\text{bA}} = 1,11 \text{ min}$ ;  $w_{\text{bB}} = 1,21 \text{ min}$

a) Auflösung:  $R_s = \frac{2 \cdot (t_{\text{RB}} - t_{\text{RA}})}{w_{\text{bB}} - w_{\text{bA}}} = \frac{2 \cdot (17,63 - 16,40) \text{ min}}{(1,21 - 1,11) \text{ min}} = \mathbf{24,6}$

b) Bodenzahl:  $N = 16 \cdot \left( \frac{t_{\text{RA}}}{w_{\text{bA}}} \right)^2 = 16 \cdot \left( \frac{16,40 \text{ min}}{1,11 \text{ min}} \right)^2 = 3492,70 \text{ Böden} \approx \mathbf{3493 \text{ Böden}}$

c) Bodenhöhe:  $H = \frac{L}{N} = \frac{30,0 \text{ cm}}{3492,70 \text{ Böden}} = \mathbf{8,6 \cdot 10^{-3} \text{ cm pro Boden}}$

- 3 a) Nettoretentionszeit  $t'_{\text{RA}}$ :

$$t'_{\text{RA}} = t_{\text{RA}} - t_{\text{M}} = 3,3 \text{ min} - 1,4 \text{ min} = \mathbf{1,9 \text{ min}}$$

- b) Retentionsfaktor  $k_{\text{B}}$

$$k_{\text{B}} = \frac{t_{\text{RB}} - t_{\text{M}}}{t_{\text{M}}} = \frac{5,7 \text{ min} - 1,4 \text{ min}}{1,4 \text{ min}} \approx \mathbf{3,1}$$

- c) Auflösung A/B

$$R_s = \frac{2 \cdot (t_{\text{RB}} - t_{\text{RA}})}{w_{\text{bB}} - w_{\text{bA}}} = \frac{2 \cdot (5,7 - 3,3) \text{ min}}{15,8 \text{ s} - 10,5 \text{ s}} = 0,91 \text{ min/s} = 54,34 \approx \mathbf{54}$$

- d) Trennfaktor A/B

$$\alpha = \frac{k_{\text{B}}}{k_{\text{A}}} = \frac{t_{\text{RB}} - t_{\text{M}}}{t_{\text{RA}} - t_{\text{M}}} = \frac{(5,7 - 1,4) \text{ min}}{(3,3 - 1,4) \text{ min}} = \mathbf{2,3}$$

- e) Trennstufenzahl  $N_{\text{B}}$

$$N_{\text{B}} = 16 \cdot \left( \frac{t_{\text{RB}}}{w_{\text{bB}}} \right)^2 = 16 \cdot \left( \frac{5,7 \cdot 60 \text{ s}}{15,8 \text{ s}} \right)^2 \approx \mathbf{7496 \text{ Stufen}}$$

- f) Bodenhöhe  $H_{\text{B}}$

$$H_{\text{B}} = \frac{L}{N_{\text{B}}} = \frac{14,5 \text{ cm}}{7496 \text{ Stufen}} = \mathbf{1,93 \cdot 10^{-3} \text{ cm/Stufe}}$$

- g) Strömungsgeschwindigkeit

$$\bar{u} = \frac{L}{t_{\text{M}}} = \frac{14,5 \text{ cm}}{1,4 \text{ min}} = \mathbf{10 \text{ cm/min}}$$

- h) Peakflächen

$$A_{\text{A}} = h_{\text{A}} \cdot w_{\text{hA}} = 3,8 \text{ mm} \cdot 1,5 \text{ mm} = \mathbf{5,7 \text{ mm}^2}$$

$$A_{\text{B}} = h_{\text{B}} \cdot w_{\text{hB}} = 3,7 \text{ mm} \cdot 2,5 \text{ mm} = \mathbf{9,3 \text{ mm}^2}$$

- 4  $A(\text{O}_2) = 363489 \text{ C}$ ,  $A(\text{CO}_2) = 22598 \text{ C}$

Gesamtfläche:

$$A_{\text{ges}} = A(\text{O}_2) + A(\text{CO}_2) = 363489 \text{ C} + 22598 \text{ C} = 386087 \text{ C}$$

$$w(\text{CO}_2) = \frac{A(\text{CO}_2)}{A_{\text{ges}}} = \frac{22598 \text{ C}}{386087 \text{ C}} = 0,05853 \approx \mathbf{5,85 \%}$$

- 5  $\beta_{\text{Kal1}} = 1,75 \text{ mg/100 mL}$ ,  $A_{\text{Kal1}} = 22486 \text{ C}$

$$\beta_{\text{Kal2}} = 5,05 \text{ mg/100 mL}, \quad A_{\text{Kal2}} = 37334 \text{ C}$$

$$m(\text{Probe}) = 100 \text{ mg, verdünnt auf } 1000 \text{ mL}; \quad A_{\text{Pr}} = 27153 \text{ C}$$

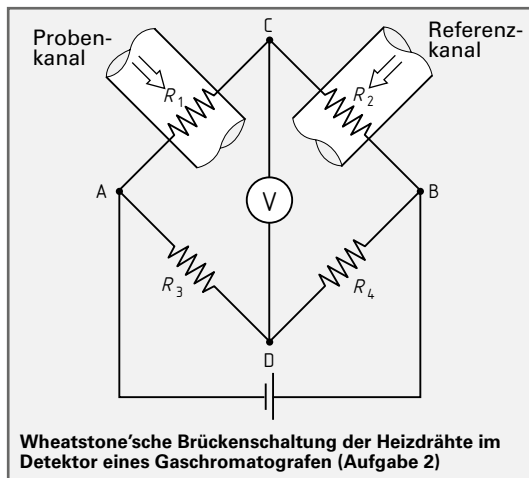
Berechnung der Steigung  $m$ :  $A = m \cdot \beta + b$

$$m = \frac{\Delta A}{\Delta \beta} = \frac{37334 \text{ C} - 22486 \text{ C}}{(5,05 - 1,75) \text{ mg/100 mL}} = 4499,4 \frac{\text{C} \cdot 100 \text{ mL}}{\text{mg}}$$

## 8.7 Wheatstone'sche Brückenschaltung

$$\blacktriangleright 266 \quad 1 \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \Rightarrow R_4 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1} = \frac{1,5 \text{ k}\Omega \cdot 6,4 \text{ k}\Omega}{1,2 \text{ k}\Omega} \approx 8,0 \text{ k}\Omega$$

$$\begin{aligned} 2 \quad \frac{R_1}{R_2} &= \frac{R_3}{R_4} \\ \Rightarrow R_1 &= \frac{R_2 \cdot R_3}{R_4} \\ &= \frac{82,5 \Omega \cdot 127,5 \Omega}{123,6 \Omega} \\ &\approx 85,1 \Omega \end{aligned}$$



$$3 \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \Rightarrow R_4 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1} = \frac{82,6 \Omega \cdot 84,3 \Omega}{86,6 \Omega} \approx 80,4 \Omega$$

## 8.8 Thermische Widerstandsänderung, Widerstandsthermometer

$$\blacktriangleright 268 \quad 1 \quad R_w = R_k \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\vartheta) = 65 \Omega \cdot \left(1 + 0,0048 \frac{1}{\text{K}} \cdot 2480 \text{ K}\right) = 838,76 \Omega \approx 0,84 \text{ k}\Omega$$

$$2 \quad \Delta R = R_k \cdot \alpha \cdot \Delta\vartheta \Rightarrow \Delta\vartheta = \frac{\Delta R}{R_k \cdot \alpha} = \frac{186 \Omega - 100 \Omega}{100 \Omega \cdot 0,00385 \frac{1}{\text{K}}} = 223,3 \text{ K} \approx 223 \text{ K}$$

$$T_{\text{Ende}} = T_{\text{Anfang}} + \Delta T = 273 \text{ K} + 223 \text{ K} = 496 \text{ K}$$

$$\frac{\vartheta_{\text{Ende}}}{^\circ\text{C}} = \frac{T_{\text{Ende}}}{\text{K}} - 273 = \frac{496 \text{ K}}{\text{K}} - 273 = 223 \Rightarrow \vartheta_{\text{Ende}} = 223 \text{ }^\circ\text{C}$$

Berechnung der Grenzabweichung:

$$\begin{aligned} \Delta\vartheta &= \pm(0,30 \text{ }^\circ\text{C} + 0,002 \cdot |\vartheta_{\text{Ende}}|) \\ &= \pm(0,30 \text{ }^\circ\text{C} + 0,002 \cdot |223 \text{ }^\circ\text{C}|) = \pm 0,752 \text{ }^\circ\text{C} \approx \pm 1 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \vartheta_{\text{Ende}} = 223 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$3 \quad R_w = R_k \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\vartheta) \Rightarrow R_k = \frac{R_w}{(1 + \alpha \cdot \Delta\vartheta)} = \frac{1,85 \Omega}{1 + 0,0043 \frac{1}{\text{K}} \cdot 15 \text{ K}} = 1,7379 \Omega \approx 1,7 \Omega$$

$$4 \quad \Delta R = R_k \cdot \alpha \cdot \Delta\vartheta \Rightarrow \alpha = \frac{\Delta R}{R_k \cdot \Delta\vartheta} = \frac{37,6\%}{100\% \cdot 80 \text{ K}} = 0,0047 \frac{1}{\text{K}}$$

Ein Abgleich mit der Tabelle auf Seite 267 im Lehrbuch ergibt:

Es handelt sich um **Aluminium**.

## 8.9 Thermospannung, Thermoelement

### ► 269 1 Thermoelement Typ J

Aus der Tabelle von Seite 269 im Lehrbuch entnimmt man:  $\kappa = 52,69 \mu\text{V/K}$

$$\vartheta_{\text{mes}} = 100^\circ\text{C} \Rightarrow T_{\text{mes}} = 273\text{K} + 100\text{K} = 373\text{K};$$

$$\vartheta_{\text{ver}} = 0^\circ\text{C} \Rightarrow T_{\text{ver}} = 273\text{K}$$

$$U_{\vartheta} = \kappa \cdot (T_{\text{mes}} - T_{\text{ver}}) = 52,69 \frac{\mu\text{V}}{\text{K}} \cdot (373\text{K} - 273\text{K}) = 5269 \mu\text{V} \approx \mathbf{5,27\text{mV}}$$

$$2 \quad U_{\vartheta} = \kappa(T_{\text{mes}} - T_{\text{ver}}) \Rightarrow \frac{U_{\vartheta}}{\kappa} = T_{\text{mes}} - T_{\text{ver}}$$

$$\Rightarrow T_{\text{mes}} = \frac{U_{\vartheta}}{\kappa} + T_{\text{ver}} = \frac{0,155\text{mV}}{51,7 \mu\text{V} \cdot \text{K}^{-1}} + 293\text{K} = 3,00\text{K} + 293\text{K} = 296\text{K}$$

$$\frac{\vartheta_{\text{mes}}}{^\circ\text{C}} = \frac{T_{\text{mes}}}{\text{K}} - 273 = 296 - 273 = 23 \Rightarrow \vartheta_{\text{mes}} = \mathbf{23^\circ\text{C}}$$

### 3 a) Berechnung der Regelabweichung in Grad Celsius

$$\Delta\vartheta = \vartheta_{\text{Soll}} - \vartheta_{\text{Ist}} = 180^\circ\text{C} - 120^\circ\text{C} = \mathbf{60^\circ\text{C}}$$

oder mit den Formelzeichen nach DIN19221 (1993)

$$e = w - y = 180^\circ\text{C} - 120^\circ\text{C} = \mathbf{60^\circ\text{C}}$$

### b) Berechnung der Regelabweichung in mV

$$U_{\vartheta} = \kappa(T_{\text{mes}} - T_{\text{ver}})$$

$$U_{\vartheta,180^\circ\text{C}} = 55,15 \frac{\mu\text{V}}{\text{K}} (453\text{K} - 293\text{K}) = 8,824\text{mV}$$

$$U_{\vartheta,120^\circ\text{C}} = 55,15 \frac{\mu\text{V}}{\text{K}} (393\text{K} - 293\text{K}) = 5,515\text{mV}$$

$$\Delta U_{\vartheta} = U_{\vartheta,180^\circ\text{C}} - U_{\vartheta,120^\circ\text{C}} = 8,824\text{mV} - 5,515\text{mV} \approx \mathbf{3,31\text{mV}}$$

## 8.10 Widerstandsänderung eines Leiters durch Dehnung

### ► 270 1 $\Delta R = R_0 \cdot k \cdot \varepsilon = 175\Omega \cdot 4,0 \cdot 1,4\text{mm/m} = 980\text{m}\Omega \approx \mathbf{0,98\Omega}$

$$2 \quad \Delta R = R_0 \cdot k \cdot \varepsilon \Rightarrow \varepsilon = \frac{\Delta R}{R_0 \cdot k} = \frac{41,2\text{m}\Omega}{300\Omega \cdot 2,2} = 0,062 \cdot 10^{-3} = \mathbf{62 \frac{\mu\text{m}}{\text{m}}}$$

$$3 \quad \Delta R = R_0 \cdot k \cdot \varepsilon \Rightarrow k = \frac{\Delta R}{R_0 \cdot \varepsilon}$$

$$\text{Mit } \frac{\Delta R}{R_0} = \Delta R_{\text{relativ}} \text{ folgt: } k = \frac{\Delta R_{\text{rel}}}{\varepsilon} = \frac{80 \mu\Omega/\Omega}{20 \mu\text{m/m}} = 4,0$$

Ein Abgleich mit der Tabelle auf Seite 270 im Lehrbuch ergibt:

Als Leiterwerkstoff sollte die Legierung Platin–Wolfram gewählt werden.



$$3 \quad M(\text{Campher}) = 152,24 \text{ g/mol}$$

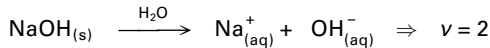
$$\begin{aligned} \Delta \vartheta_b &= \frac{K_b(\text{Ethanol}) \cdot m(\text{Campher}) \cdot \nu}{M(\text{Campher}) \cdot m(\text{Ethanol})} \\ &= \frac{1,20 \frac{\text{K} \cdot \text{kg}}{\text{mol}} \cdot 100 \text{ g} \cdot 1}{152,24 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 100 \text{ g}} \approx 7,88 \cdot 10^{-3} \text{ K} \end{aligned}$$

⇒ Die Siedetemperatur des Ethanols wird durch die Denaturierung **nicht** nennenswert beeinflusst.

$$4 \quad w(\text{NaOH}) = 20,3\%$$

⇒ 100 kg NaCl-Lösung enthalten 20,3 kg Natriumchlorid und 79,7 kg Wasser.

$$M(\text{NaOH}) = 40,0 \text{ g/mol}$$



$$\Delta \vartheta_b = \frac{K_b(\text{H}_2\text{O}) \cdot m(\text{NaOH}) \cdot \nu}{M(\text{NaOH}) \cdot m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0,521 \text{ K} \cdot 10^3 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot 20,3 \text{ g} \cdot 2}{40 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot 79,7 \text{ g}} = 6,635 \text{ K} \approx 6,6 \text{ K}$$

$$\Rightarrow \vartheta_b(\text{NaCl-Lsg}) = 100,0^\circ\text{C} + 6,6 \text{ K} = 106,6^\circ\text{C}$$

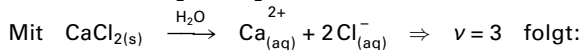
## 9.6 Gefrierpunktniedrigung

$$\blacktriangleright 296 \quad 1 \quad M(\text{Glycol}) = 62,068 \text{ g/mol}$$

$$\Delta \vartheta_m = \frac{K_m(\text{H}_2\text{O}) \cdot m(\text{Glycol}) \cdot \nu}{M(\text{Glycol}) \cdot m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{1,858 \frac{\text{K} \cdot \text{kg}}{\text{mol}} \cdot 11,1 \text{ kg} \cdot 1}{62,068 \text{ g/mol} \cdot 100 \text{ g}} = 3,322 \text{ K} \approx 3,32^\circ\text{C}$$

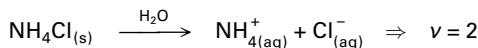
$$\Rightarrow \vartheta_m = 0^\circ\text{C} - 3,32^\circ\text{C} = -3,32^\circ\text{C}$$

$$2 \quad \Delta \vartheta_m = \frac{K_m(\text{H}_2\text{O}) \cdot m(\text{CaCl}_2) \cdot \nu}{M(\text{CaCl}_2) \cdot m(\text{H}_2\text{O})}$$



$$\Delta \vartheta_m = \frac{1,858 \frac{\text{K} \cdot \text{kg}}{\text{mol}} \cdot 17,2 \text{ kg} \cdot 3}{111,0 \text{ g/mol} \cdot 100 \text{ g}} = 8,637 \text{ K} \approx 8,64 \text{ K}$$

$$3 \quad w(\text{NH}_4\text{Cl}) = 10,0\% \Rightarrow 100,0 \text{ kg NH}_4\text{Cl-Lsg} \text{ enthalten } 10,0 \text{ kg NH}_4\text{Cl} \text{ und } 90,0 \text{ kg H}_2\text{O}.$$



$$\Delta \vartheta_m = \frac{K_m(\text{H}_2\text{O}) \cdot m(\text{NH}_4\text{Cl}) \cdot \nu}{M(\text{NH}_4\text{Cl}) \cdot m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{1,858 \frac{\text{K} \cdot \text{kg}}{\text{mol}} \cdot 10,0 \text{ kg} \cdot 2}{53,5 \text{ g/mol} \cdot 90,0 \text{ g}} = 7,717 \text{ K} \approx 7,72^\circ\text{C}$$

$$\Rightarrow \vartheta_m = 0^\circ\text{C} - 7,72^\circ\text{C} = -7,72^\circ\text{C}$$

$$4 \quad M(\text{gel. Stoff}) = \frac{K_m(\text{Campher}) \cdot m(\text{gel. Stoff})}{m(\text{Campher}) \cdot \Delta \vartheta_m} = \frac{40,0 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot 1,034 \text{ g}}{\text{mol} \cdot 53,458 \text{ g} \cdot 4,23 \text{ K}} = 0,18291 \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \approx 183 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

## 9.7 Temperaturänderung beim Mischen

$$\blacktriangleright 298 \quad 1 \quad \vartheta_m = \frac{m_1 \cdot \vartheta_1 + m_2 \cdot \vartheta_2}{m_1 + m_2} = \frac{85,0 \text{ g} \cdot 22,5^\circ\text{C} + 45,5 \text{ g} \cdot 97,5^\circ\text{C}}{85,0 \text{ g} + 45,5 \text{ g}} \approx 48,6^\circ\text{C}$$

$$2 \quad c_1 \cdot m_1 \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_M) = c_2 \cdot m_2 \cdot (\vartheta_E - \vartheta_A)$$

$$\Rightarrow m_2 = \frac{c_1 \cdot m_1 \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_M)}{c_2 \cdot (\vartheta_E - \vartheta_A)} = \frac{m_1 \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_M)}{\vartheta_E - \vartheta_A} \quad (\text{da } c_1 = c_2)$$

$$= \frac{250 \text{ kg} \cdot (86^\circ\text{C} - 27^\circ\text{C})}{22,5^\circ\text{C} - 12,5^\circ\text{C}} = 1475 \text{ kg} \approx \mathbf{1,5 \text{ t}}$$

$$3 \quad Q_{\text{auf}} = Q_{\text{ab}}$$

Mit  $c = \text{konst}$  gilt  $\dot{m}_F \cdot \Delta\vartheta_F = m_A \cdot \Delta\vartheta_A$

Mit  $m = \rho \cdot V$  folgt:

$$\rho_F \cdot \dot{V}_F \cdot \Delta\vartheta_F = \rho_A \cdot \dot{V}_A \cdot \Delta\vartheta_A \Rightarrow \dot{V}_F = \frac{\rho_A \cdot \dot{V}_A \cdot \Delta\vartheta_A}{\rho_F \cdot \Delta\vartheta_F}$$

$$\dot{V}_F = \frac{1,128 \text{ g/L} \cdot 1250 \text{ m}^3/\text{h} \cdot (40,0^\circ\text{C} - 20,0^\circ\text{C})}{1,256 \text{ g/L} \cdot (20,0^\circ\text{C} - 8,0^\circ\text{C})} \approx \mathbf{1871 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$4 \quad Q_1 = Q_2 \Rightarrow c_1 \cdot m_1 \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_m) = c_2 \cdot m_2 \cdot (\vartheta_m - \vartheta_2)$$

Mit  $c_1 = c_2$  und  $m \sim V$  folgt:

$$V_1 (\vartheta_1 - \vartheta_m) = V_2 (\vartheta_m - \vartheta_2) \Rightarrow V_2 = \frac{V_1 (\vartheta_1 - \vartheta_m)}{(\vartheta_m - \vartheta_2)} = \frac{60 \text{ L} \cdot (50^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C})}{40^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C}} = \mathbf{24 \text{ L}}$$

## 9.8 Temperaturänderung beim direkten Heizen und Kühlen

► 299 1  $m_1 = m_E = 300 \text{ kg}$ ;  $c_1 = c_E = 2,1 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ;  $\vartheta_m = 0^\circ\text{C} \Rightarrow T_m = 273 \text{ K}$ ;  $q = 335 \text{ kJ}/\text{kg}$   
 $m_2 = m_W = 1200 \text{ kg}$ ;  $c_2 = c_W = 4,19 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ;  $\vartheta_2 = 22^\circ\text{C} \Rightarrow T_2 = 295 \text{ K}$

$$T_{\text{ME}} = \frac{m_1 \cdot (c_1 \cdot \vartheta_m - q) + c_2 \cdot m_2 \cdot \vartheta_2}{c_1 \cdot m_1 + c_2 \cdot m_2}$$

$$= \frac{300 \text{ kg} \cdot (2,1 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \cdot 273 \text{ K} - 335 \text{ kJ}/\text{kg}) + 4,19 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \cdot 1200 \text{ kg} \cdot 295 \text{ K}}{2,1 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \cdot 300 \text{ kg} + 4,19 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \cdot 1200 \text{ kg}}$$

$$= \frac{71490 \text{ kJ} + 1483260 \text{ kJ}}{630 \text{ kJ}/\text{K} + 5028 \text{ kJ}/\text{K}} \approx 275 \text{ K}$$

$$\Rightarrow \vartheta_{\text{ME}} \approx 275 \text{ K} - 273 \text{ K} = \mathbf{2^\circ\text{C}}$$

2 Wärmemenge, die zum Erwärmen des Stahlkessels erforderlich ist:

$$Q_1 = c_1 \cdot m_1 \cdot \Delta\vartheta = 0,482 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 152 \text{ kg} \cdot (63^\circ\text{C} - 23^\circ\text{C}) = 2930,56 \text{ kJ}$$

Wärmemenge, die zum Erwärmen der Sodalösung erforderlich ist:

$$Q_2 = c_2 \cdot m_2 \cdot \Delta\vartheta = 3,62 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 212 \text{ kg} \cdot (63^\circ\text{C} - 23^\circ\text{C}) = 30697,6 \text{ kJ}$$

Insgesamt muss zum Erwärmen des gefüllten Rührkessels  $Q_{\text{ges}}$  aufgewandt werden:

$$Q_{\text{ges}} = Q_1 + Q_2 = 2930,56 \text{ kJ} + 30697,6 \text{ kJ} = 33628,16 \text{ kJ}$$

Der kondensierende Sattdampf und das daraus entstehende Kondensat liefern die Wärmemenge

$$Q_{\text{ges}} = r \cdot m_D + c_W \cdot m_D \cdot \Delta\vartheta = m_D \cdot (r + c_W \cdot \Delta\vartheta)$$

Durch Umstellen erhält man:

$$m_D = \frac{Q_{\text{ges}}}{r + c \cdot \Delta\vartheta} = \frac{33628,16 \text{ kJ}}{2256 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (100^\circ\text{C} - 63^\circ\text{C})} = \frac{33628,16 \text{ kJ}}{2256 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 155,03 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 13,948 \text{ kg} \approx \mathbf{13,9 \text{ kg}}$$

## 10.5 Bestimmung der Partikelgrößenverteilung von Schüttgütern

- 331 1 a) Der Massenanteil Rückstand in Prozent (Spalte 3) wird mit der Gleichung  $w_R = \frac{R}{R_{\text{ges}}} \cdot 100\%$  berechnet.

Die Rückstandssumme (Spalte 4) wird durch Aufaddieren der Rückstände gebildet.

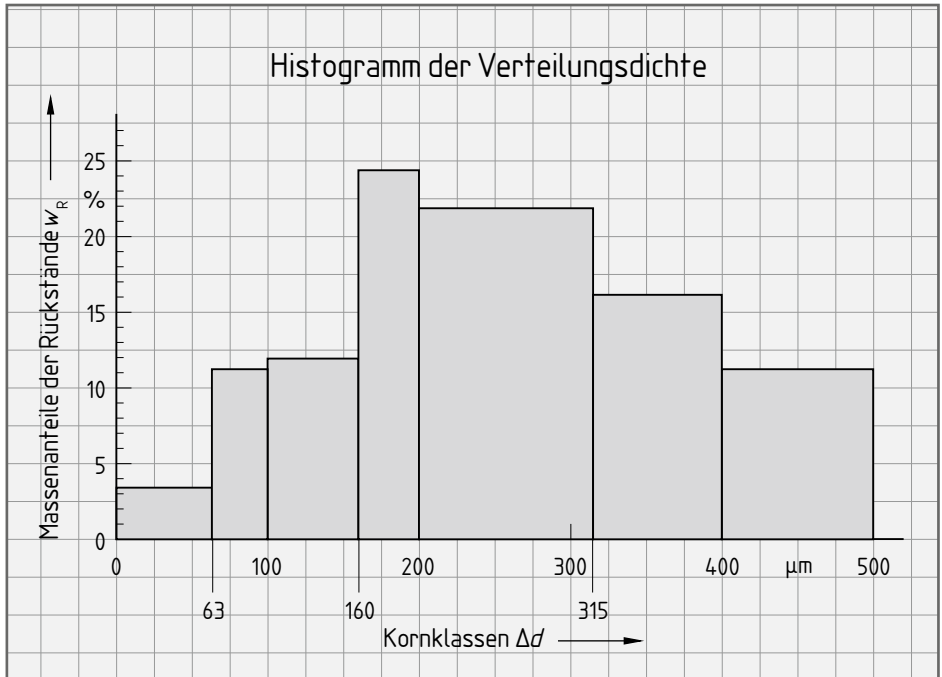
Die Durchgangssumme in Prozent (Spalte 5) wird mit  $D_S = 100\% - R_S$  errechnet.

Die errechneten Werte werden in die Auswertetabelle eingetragen.

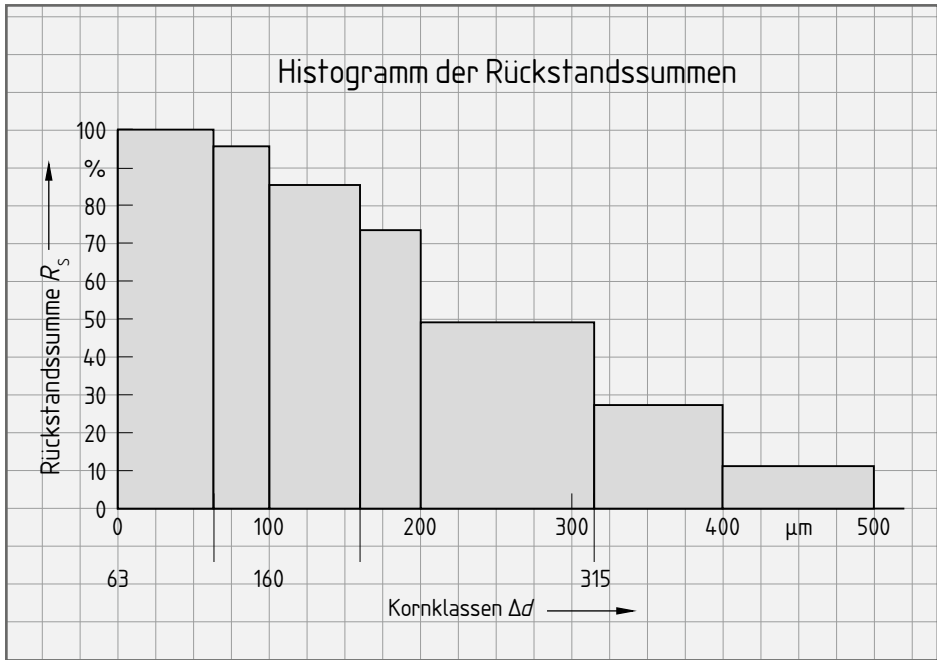
Tabelle: Messwerte und Berechnungswerte einer Siebanalyse				
Einwaage: 75,7g				
Kornklassen in $\mu\text{m}$	Rückstand in g	Massenanteil Rückstand $w_R$ in %	Rückstandssumme $R_S$ in %	Durchgangssumme $D_S$ in %
> 500	0,0	0	0	99,9
400 bis 500	8,5	11,2	11,2	88,7
315 bis 400	12,2	16,1	27,3	72,6
200 bis 315	16,5	21,8	49,1	50,8
160 bis 200	18,4	24,3	73,4	26,5
100 bis 160	9,0	11,9	85,3	14,6
63 bis 100	8,5	11,2	96,5	3,4
0 bis 63	2,6	3,4	99,9	0
Gesamt:	75,7			

*Hinweis:* Durch das Vernachlässigen der zweiten Stelle nach dem Komma (Spalte 3) wird nicht 100% Rückstandssumme (Spalte 4), sondern nur 99,9% erhalten.

- b) Die  $w_R$ -Werte werden über den  $\Delta d$ -Kornklassen in ein Histogramm eingetragen. (Kopiervorlage für ein Histogramm auf Seite 349 im Lehrbuch)



Die  $R_S$ -Werte werden über den  $\Delta d$ -Kornklassen in ein Histogramm eingetragen.



Die  $D_S$ -Werte werden über den  $\Delta d$ -Kornklassen in ein Histogramm eingetragen.

