



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für Chemieberufe

Lösungsbuch – Berechnungen zur Chemietechnik

Dr. Eckhard Ignatowitz · Gerhard Fastert · Holger Rapp

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

Europa-Nr.: 71484

Autoren:

Dr. Eckhard Ignatowitz, Dipl.-Ing., Dr.-Ing., StR Waldbronn

Gerhard Fastert, Gew. Lehrer, OStR † Stade

Holger Rapp, Dipl.-Ing., Dipl. Wirt.-Ing. Waldbronn

Leitung des Arbeitskreises und Lektorat:

Dr. Eckhard Ignatowitz

Bildentwürfe:

Die Autoren

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern

Foto des Buchtitelbildes:

Mit freundlicher Genehmigung der Lanxess AG, Köln

1. Auflage 2014, korrigierter Nachdruck 2017

Druck 5 4 3

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

ISBN 978-3-8085-7148-4

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

Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, Radevormwald

Satz: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, Erfstadt

Druck: Konrad Tritsch Print und digitale Medien GmbH, 97199 Ochsenfurt-Hohestadt

Vorwort

Das LÖSUNGSBUCH zum Lehrbuch BERECHNUNGEN ZUR CHEMIETECHNIK bietet Lösungsvorschläge zu den Aufgaben im Lehrbuch BERECHNUNGEN ZUR CHEMIETECHNIK.

Im Text der Aufgaben und Lösungen wird es kurz Lehrbuch genannt.

Für viele Aufgaben aus der Chemietechnik gibt es unterschiedliche Lösungswege und Lösungsmöglichkeiten.

Im vorliegenden LÖSUNGSBUCH ist eine mögliche Lösung vorgestellt. Andere Lösungswege sind möglich und können ebenso richtig sein. Bei gleichen Voraussetzungen sollten die erhaltenen Lösungen identisch sein.

Die Lösungsvorschläge sind im LÖSUNGSBUCH in derselben Reihenfolge wie die Aufgaben im Lehrbuch BERECHNUNGEN ZUR CHEMIETECHNIK angeordnet.

Die Zahlenwerte der Lösungen sind im LÖSUNGSBUCH in der Regel mit dem Taschenrechner berechnet und auf die signifikante Ziffernzahl gerundet.

Die Technik des Rundens sowie die Beschränkung auf die signifikante Ziffernzahl wird im Lehrbuch (Seite 8) ausführlich behandelt.

Beim Zeichnen von Diagrammen als Bestandteil der Lösung werden bevorzugt die im Anhang des Lehrbuchs, Seite 277 bis 288, angebotenen Kopiervorlagen eingesetzt. Andere Formate der Diagramme sind möglich.

Im Kapitel 1 des Lehrbuchs (Seite 16 und folgende) wird das Rechnen und Auswerten von Daten sowie das Erstellen von Kurven und Diagrammen mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel 2010 eingeführt und in einigen Kapiteln mit großen Datenmengen angewandt und vertieft.

Dort sind auch viele Aufgaben gestellt, bei denen eine Lösung mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel 2010 gefordert wird.

Im LÖSUNGSBUCH werden die Lösungen dieser Aufgaben mit Excel 2010 präsentiert. Dabei werden die mit Excel 2010 erstellten Lösungen anhand der Monitorbilder (englisch: screen shots) des Tabellenkalkulationsprogramm Excel 2010 dargestellt.

Das LÖSUNGSBUCH hat ein ausführliches Inhaltsverzeichnis (Seite 4 bis 6). Es ermöglicht einen raschen Überblick über die Kapitel des Buchs.

Das Auffinden des Lösungsvorschlags einer bestimmten Aufgabe aus dem Buch BERECHNUNGEN ZUR CHEMISCHEN TECHNIK ist mit dem Inhaltsverzeichnis und mit den Seitenhinweisen zum Lehrbuch im LÖSUNGSBUCH leicht möglich.

Die Kapitelnummern sind in Großschrift auf jeder Seite gedruckt und durch eine graue Unterlegung gut sichtbar markiert. Durch Blättern mit dem Daumen kann das gesuchte Kapitel und die gesuchte Seite leicht gefunden werden. Näheres dazu auf Seite 6.

Bei einem so umfangreichen Buch wie dem LÖSUNGSBUCH sind Fehler in der Erstellung und Drucklegung nie ganz zu vermeiden. Die Autoren sind jedem Leser dankbar, der durch Hinweise auf Fehler und Verbesserungsvorschläge zur Weiterentwicklung des Buchs beiträgt.

Ihre Vorschläge richten Sie bitte an lektorat@europa-lehrmittel.de.

Sommer 2014

Die Autoren

Inhaltsverzeichnis

| | | | | | |
|----------|---|-----------|-----------------|--|------------|
| 1 | Rechnen und Datenauswertung in der Chemietechnik | 7 | 3 | Berechnungen zur Messtechnik | 47 |
| 1.1 | Genauigkeit beim Rechnen | 7 | 3.1 | Temperaturmessung | 47 |
| 1.2 | Erstellen und Arbeiten mit Diagrammen | 7 | 3.2 | Druckmessung | 48 |
| 1.3 | Prozessdatenauswertung mit dem PC | 10 | 3.3 | Füllstandmessung | 50 |
| 1.3.1 | Datenauswertung mit einem Tabellenkalkulationsprogramm | 10 | 3.4 | Durchfluss- und Mengenmessung | 57 |
| 1.3.2 | Grafische Darstellung von Prozessdaten mit Excel 2010 | 11 | 4 | Datenauswertung und Berechnungen zur Qualitätssicherung | 61 |
| 1.3.3 | Regressionsanalyse von Messreihen mit Excel 2010 | 13 | 4.1 | Statistische Kennwerte | 61 |
| 2 | Berechnungen zu Anlagenkomponenten | 17 | 4.2 | Werkzeuge der Qualitätssicherung | 63 |
| 2.1 | Rohrleitungen | 17 | 4.2.1 und 4.2.2 | Fehler- und Datensammelkarte, Histogramm | 63 |
| 2.1.1 | Stoffströme in Rohrleitungen | 17 | 4.2.3 | Pareto-Diagramm, Pareto-Analyse | 66 |
| 2.1.2 | Rohrabmessungen | 18 | 4.2.4 | Korrelationsdiagramm | 68 |
| 2.1.3 | Nenndruck, Mindestwanddicke | 19 | 4.3 | Qualitätssicherung mit Qualitätsregelkarten (QRK) | 69 |
| 2.1.4 | Masse von Stahlrohren | 19 | 4.3.2 | Prozess-QRK mit festen Regelgrenzen | 69 |
| 2.1.5 | Rohrausdehnung und Kompensatoren | 19 | 4.3.3 | Erstellen und Führen von QRK | 71 |
| 2.1.6 | Regelventile | 20 | 4.3.4 | Erstellen von QRK mit einem Tabellenkalkulationsprogramm | 74 |
| 2.1.7 | Kondensatableiter | 21 | 4.3.5 | Prozess-QRK mit variablen Regelgrenzen | 77 |
| 2.1.8 | Druck in Rohrleitungen | 21 | 4.4 | Prüfung der Prozessfähigkeit | 87 |
| 2.1.9 | Strömungszustände in Rohrleitungen | 22 | 4.5 | Typische Verläufe in Qualitätsregelkarten | 93 |
| 2.1.10 | Druckverlust in Rohrleitungen | 23 | 5 | Berechnungen zur Aufbereitungstechnik | 98 |
| 2.2 | Fördern von Flüssigkeiten mit Pumpen | 25 | 5.1 | Schüttgüter | 98 |
| 2.2.1 | Fördern mit Kreiselpumpen | 25 | 5.2 | Bestimmungen der Partikelgrößenverteilung von Schüttgütern | 99 |
| 2.2.2 | Kavitationsfreier Betrieb von Kreiselpumpen, NPSH-Wert | 28 | 5.2.6.1 | Datenauswertung der Siebanalyse mit dem TKP Excel | 108 |
| 2.2.3 | Fördern mit Kreiskolbenpumpen und Drehkolbenpumpen | 30 | 5.2.6.2 | Grafische Darstellung der Siebanlage mit dem TKP Excel | 109 |
| 2.3 | Fördern von Flüssigkeiten mit Schwerkraft und Druck | 30 | 5.3 | Charakterisierung eines Schüttguts | 117 |
| 2.4 | Verdichten und Fördern von Gasen | 32 | 5.4 | Zerkleinern | 119 |
| 2.5 | Fördern von Feststoffen | 33 | 5.5 | Rühren und Mischen im Rührbehälter | 120 |
| 2.6 | Lagereinrichtungen | 34 | 6 | Berechnungen zu mechanischen Trennprozessen | 124 |
| 2.7 | Rührbehälter | 37 | 6.1 | Kennzeichnung der Trennprozesse beim Klassieren und Sortieren | 124 |
| 2.8 | Projektiertung von Chemieapparaten – Scale-up | 38 | 6.2 | Klassieren mit Siebmaschinen | 126 |
| 2.9 | Druckarten und Druckkräfte in Behältern | 39 | 6.3 | Dekantieren | 126 |
| 2.10 | Elektromotore | 39 | 6.4 | Sedimentieren | 127 |
| 2.11 | Getriebe | 41 | 6.5 | Zentrifugieren mit Sedimentierzentrifugen | 128 |
| 2.12 | Mechanische Belastung von Bauteilen und Apparaten | 42 | 6.6 | Staubabscheidung im Zyklon | 129 |
| 2.13 | Gemischte Aufgaben zu Kapitel 2 | 44 | 6.7 | Filtrieren | 131 |

| | | | | | |
|---------------------|--|------------|-----------|---|------------|
| 7 | Berechnungen zur Heiz- und Kühltechnik | 134 | 11 | Lösen von Aufgaben aus der Steuerungstechnik | 193 |
| 7.1 | Wärmemengen | 134 | 11.1 | Logische Grundverknüpfungen | 193 |
| 7.2 | Energieträger im Chemiebetrieb | 134 | 11.2 | Zusammengesetzte logische Grundverknüpfungen | 194 |
| 7.3 | Wärmeübertragung in der Chemietechnik | 135 | 11.3 | Rechenregeln der Schaltalgebra | 197 |
| 7.4 | Wärmeübertragung mit Rohrbündelwärmetauschern | 138 | 11.4 | Speicher-Funktionsbausteine | 200 |
| 7.5 | Wärmeableitung in Kondensatoren | 140 | | | |
| 7.6 | Wärmeübertragung in Rührbehältern | 141 | 12 | Berechnungen zur chemischen Reaktionstechnik | 204 |
| | | | 12.1 | Umgesetzte Stoffmengen in Reaktoren | 204 |
| 8 | Berechnungen zu thermischen Trennverfahren | 143 | 12.2 | Kenngrößen der Reaktionsabläufe in Reaktoren | 205 |
| 8.1 | Industrielles Trocknen | 143 | 12.3 | Zeitlicher Ablauf chemischer Reaktionen | 207 |
| 8.2 | Eindampfen von Lösungen | 146 | 12.4 | Beeinflussung der Reaktionsgeschwindigkeit | 207 |
| 8.3 | Kristallisieren aus Lösungen | 147 | 12.5 | Chemisches Reaktionsgleichgewicht, Massenwirkungsgesetz | 208 |
| 8.4 | Destillation | 150 | 12.6 | Reaktionsenthalpie | 209 |
| 8.4.1 | Physikalische Grundlagen | 150 | 12.7 | Betriebsweisen und Reaktortypen in der chemischen Produktion | 210 |
| 8.4.1.3 bis 8.4.1.5 | Siede- und Gleichgewichtsdiagramm, relative Flüchtigkeit (Trennfaktor) | 151 | | | |
| 8.4.2 | Absatzweise einfache Destillation | 158 | 13 | Gemischte Aufgaben zur Prüfungsvorbereitung | 212 |
| 8.5 | Wasserdampfdestillation | 159 | | | |
| 8.6 | Rektifikation | 161 | | Aufgaben zu Kapitel 1 Rechnen und Datenauswertung in der Chemietechnik | 212 |
| 8.6.1 bis 8.6.5 | Rektifikation in Kolonnen mit Austauschböden | 161 | | Aufgaben zu Kapitel 2 Anlagenkomponenten | 217 |
| 8.6.6 | Rektifikation mit Füllkörper- und Packungskolonnen | 166 | | Aufgaben zu Kapitel 3 Messtechnik in Chemieanlagen | 222 |
| 8.6.7 | Kolonnen Durchmesser und Kolonnenhöhe | 168 | | Aufgaben zu Kapitel 4 Datenauswertung und Berechnungen zur Qualitätssicherung | 223 |
| 8.6.8 | Rektifikation azeotroper Gemische | 169 | | Aufgaben zu Kapitel 5 Aufbereitungstechnik | 227 |
| | | | | Aufgaben zu Kapitel 6 Mechanische Trennverfahren | 237 |
| 9 | Berechnungen zu physikalisch-chemischen Trennverfahren | 174 | | Aufgaben zu Kapitel 7 Heiz- und Kühltechnik | 237 |
| 9.1 | Flüssig-Flüssig-Extraktion | 174 | | Aufgaben zu Kapitel 8 Thermische Trennverfahren | 240 |
| 9.1.1 | Absatzweise einfache Flüssig-Flüssig-Extraktion | 174 | | Aufgaben zu Kapitel 9 Physikalisch-chemische Trennverfahren | 245 |
| 9.1.2 | Absatzweise mehrfache Flüssig-Flüssig-Extraktion | 175 | | Aufgaben zu Kapitel 10 Regelungstechnik | 248 |
| 9.1.3 | Kontinuierliche Gegenstrom-Flüssig-Flüssig-Extraktion | 176 | | Aufgaben zu Kapitel 11 Steuerungstechnik | 249 |
| 9.2 | Absorption | 180 | | Aufgaben zu Kapitel 12 Chemische Reaktionstechnik | 251 |
| | | | | | |
| 10 | Berechnungen zur Regelungstechnik | 184 | 14 | Themenübergreifende Projektaufgaben | 253 |
| 10.1 | Elemente des Regelkreises | 184 | | Projektaufgabe 1 | 253 |
| 10.2 | Zwischenwerte des Einheitssignals | 185 | | Projektaufgabe 2 | 255 |
| 10.3 | Zeitverhalten von Regelstrecken | 187 | | | |
| 10.4 | Reglertypen | 189 | | | |
| 10.4.1 | Proportionalregler | 189 | | | |
| 10.4.2 bis 10.4.6 | PI- und PID-Regler | 190 | | | |
| 10.5 | Regelkreisverhalten und Regleranpassung | 191 | | | |

Hinweise für den Benutzer zu den Seitenangaben

Die Seitennummer des vorliegenden Buches LÖSUNGSBUCH BERECHNUNGEN ZUR CHEMIE-TECHNIK ist jeweils am unteren Rand der Seite angegeben.

Die Seitennummer des Lehrbuchs BERECHNUNGEN ZUR CHEMIETECHNIK, auf denen sich die Aufgabentexte befinden, sind am rechten bzw. linken Seitenrand genannt und mit einem ► markiert. Außerdem sind sie in der Kapitelüberschrift genannt.

Zusätzlich ist am rechten und linken Seitenrand die Kapitelnummer des Großkapitels in Großbuchstaben auf grauem Rasterfeld angegeben (Druckregister).

Beispiel: Auf der gegenüberliegenden Seite 7 befinden sich die Aufgabentexte im Buch BERECHNUNGEN ZUR CHEMIETECHNIK in Kapitel 1 auf der Seite 10 und 13.

Durch Blättern mit dem rechten oder linken Daumen können die Großkapitelnummer und die Seitennummern des Lehrbuchs BERECHNUNGEN ZUR CHEMIETECHNIK schnell gefunden werden.

Lösungsvorschläge zu den Aufgaben von Kapitel 1 Rechnen und Datenauswertung in der Chemietechnik

1

▶ 10
13

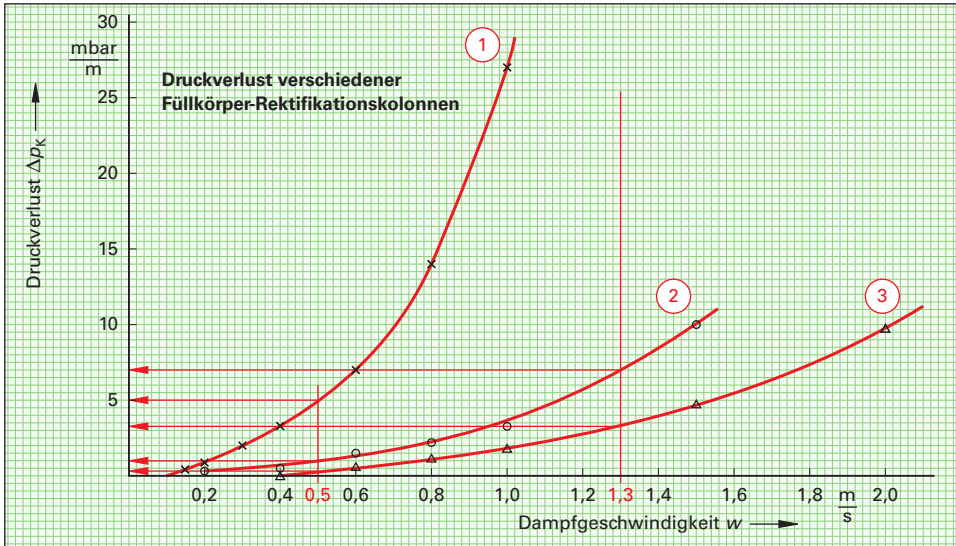
Lösungen der Aufgaben zu 1.1 Genauigkeit beim Rechnen (Seite 10)

1. a) $\dot{V} = 27,830 \text{ m}^3/\text{h}$ b) $m = 0,0923 \text{ kg}$ c) $\vartheta = 80,3 \text{ }^\circ\text{C}$ d) $p = 25,0 \text{ bar}$
5 signifikante 3 signifikante 3 signifikante 3 signifikante
Ziffern Ziffern Ziffern Ziffern
2. a) $\dot{m}_{\text{HD}} = 70,271 \text{ kg/h} \approx 70,3 \text{ kg/h}$; b) $\dot{V} = 7,093 \text{ L/s} \approx 7,1 \text{ L/s}$;
c) $P = 72,453 \text{ kW} \approx 72,5 \text{ kW}$; d) $S_v = 123,04 \text{ cm}^2/\text{g} \approx 123,0 \text{ cm}^2/\text{g}$;
3. a) $p_{\text{ges}} = 21,691 \text{ bar} + 7,24 \text{ bar} \approx 28,93 \text{ bar}$
b) $V_{\text{ges}} = 3,98 \text{ m}^3 + 5,725 \text{ m}^3 + 0,2473 \text{ m}^3 \approx 9,95 \text{ m}^3$
c) $m = 782,4 \text{ mol} \cdot 132,17 \text{ g/mol} = 103409,81 \text{ g} \approx \mathbf{103,4 \text{ kg}}$
d) $\rho = \frac{45,4820 \text{ g}}{28,90 \text{ cm}^3} = 1,574 \text{ g/cm}^3$
e) $m_{\text{ges}} = 8,924 \text{ t} + 1,62 \text{ t} = 10,544 \text{ t} \approx \mathbf{10,54 \text{ t}}$
4. Gegeben: $V_{\text{ges}} = 3280 \text{ L}$; $\rho = 1106,2 \text{ kg/m}^3$;
 $V_{\text{Fass}} = \frac{3280 \text{ L}}{82} = 40,00 \text{ L}$;
 $m_{\text{Fass}} = \rho \cdot V_{\text{Fass}} = 40,00 \text{ L} \cdot 1106,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 40,00 \text{ L} \cdot 1106,2 \frac{\text{kg}}{1000 \text{ L}} = 44,248 \text{ kg} \approx \mathbf{44,25 \text{ kg}}$
Erläuterung: Bei den gegebenen Daten ist die niedrigste Anzahl der signifikanten Ziffern 4.
⇒ Das Ergebnis kann auch nur mit 4 signifikanten Ziffern angegeben werden.
5. $V_1 = 5280 \text{ L}$; $u_1 = \pm 1 \% \cdot 5280 \text{ L} = \pm 52,8 \text{ L}$;
 $V_2 = 1240 \text{ L}$; $u_2 = \pm 0,5 \% \cdot 1240 \text{ L} = \pm 6,2 \text{ L}$;
 $V_{\text{ges}} = V_1 + V_2 + u_1 + u_2 = 5280 \text{ L} + 1240 \text{ L} \pm 52,8 \text{ L} \pm 6,2 \text{ L} = \mathbf{6520 \text{ L} \pm 59 \text{ L}}$

Lösungen der Aufgaben zu 1.2 Erstellen und Arbeiten mit Diagrammen (Seite 13)

1. a) Man verwendet das Millimeterpapier der Kopiervorlage (Seite 277 im Lehrbuch).
Zur Festlegung der Achsteilungen bestimmt man die Spannen der Messwerte.
Abszisse: Spanne der Dampfgeschwindigkeiten: 0 bis 2,0 m/s
Als Abszissenlänge wird gewählt: 10 cm
Abszissen-Maßstab: $1 \text{ cm} \hat{=} \frac{2,0 \text{ m/s}}{10 \text{ cm}} \hat{=} 0,20 \frac{\text{m/s}}{\text{cm}}$
Ordinate: Spanne von Δp_K : 0 bis 30 mbar/m
Als Ordinatenlänge wird gewählt: 6 cm
Ordinaten-Maßstab: $1 \text{ cm} \hat{=} \frac{30 \text{ mbar/m}}{6 \text{ cm}} \hat{=} 5 \frac{\text{mbar/m}}{\text{cm}}$
Die Koordinaten werden beschriftet und die Einheitenzeichen an den Achsen eingetragen (nachfolgendes Bild).
Die Messpunkte werden in das Diagrammfeld eingetragen.
Für jede Füllkörperkolonne werden gleiche Messpunkte x, ○, △ verwendet.

Die Messpunkte werden zu einer Ausgleichskurve verbunden und mit einer Nummer versehen. Das Diagramm erhält seine Überschrift.



b) Man verwendet das im Anhang des Lehrbuchs (Seite 280) dargestellte doppelt-logarithmische Papier und verkleinert es auf 70 %.

Die Abszisse wird gemäß der Spanne der Dampfgeschwindigkeit beschriftet (**Bild**). Ebenso die Ordinate.

Die Messpunkte werden eingetragen und mit einer Ausgleichskurve verbunden.

c) Dampfgeschwindigkeit $w = 0,5 \text{ m/s}$

$$\textcircled{3} \Delta p_K = 0,45 \frac{\text{mbar}}{\text{m}}$$

$$\textcircled{2} \Delta p_K = 0,80 \frac{\text{mbar}}{\text{m}}$$

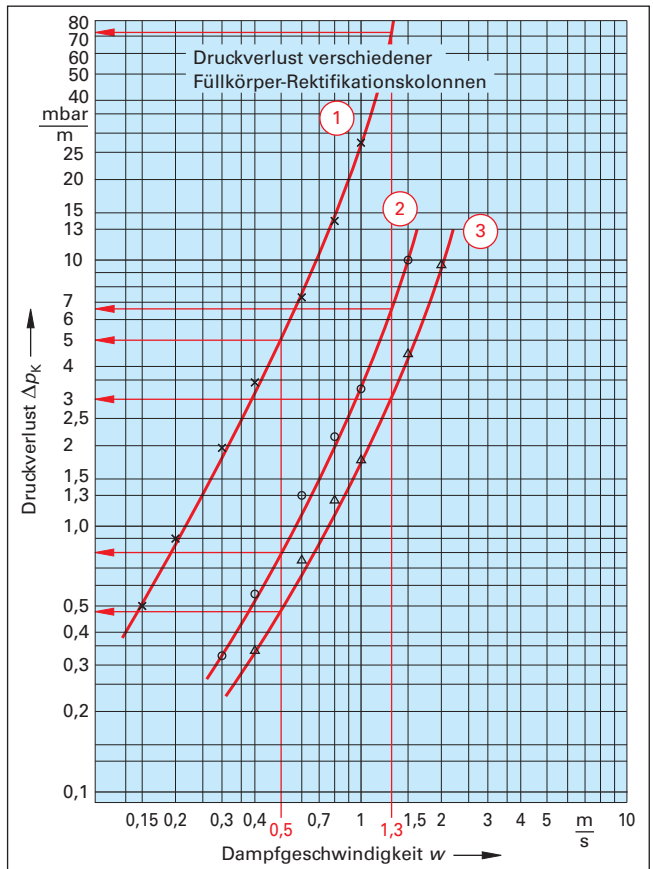
$$\textcircled{1} \Delta p_K = 5,0 \frac{\text{mbar}}{\text{m}}$$

Dampfgeschwindigkeit $w = 1,3 \text{ m/s}$

$$\textcircled{3} \Delta p_K = 3,0 \frac{\text{mbar}}{\text{m}}$$

$$\textcircled{2} \Delta p_K = 6,5 \frac{\text{mbar}}{\text{m}}$$

$$\textcircled{1} \Delta p_K = 7,2 \frac{\text{mbar}}{\text{m}}$$



d) Nachteile des linearen Diagramms:

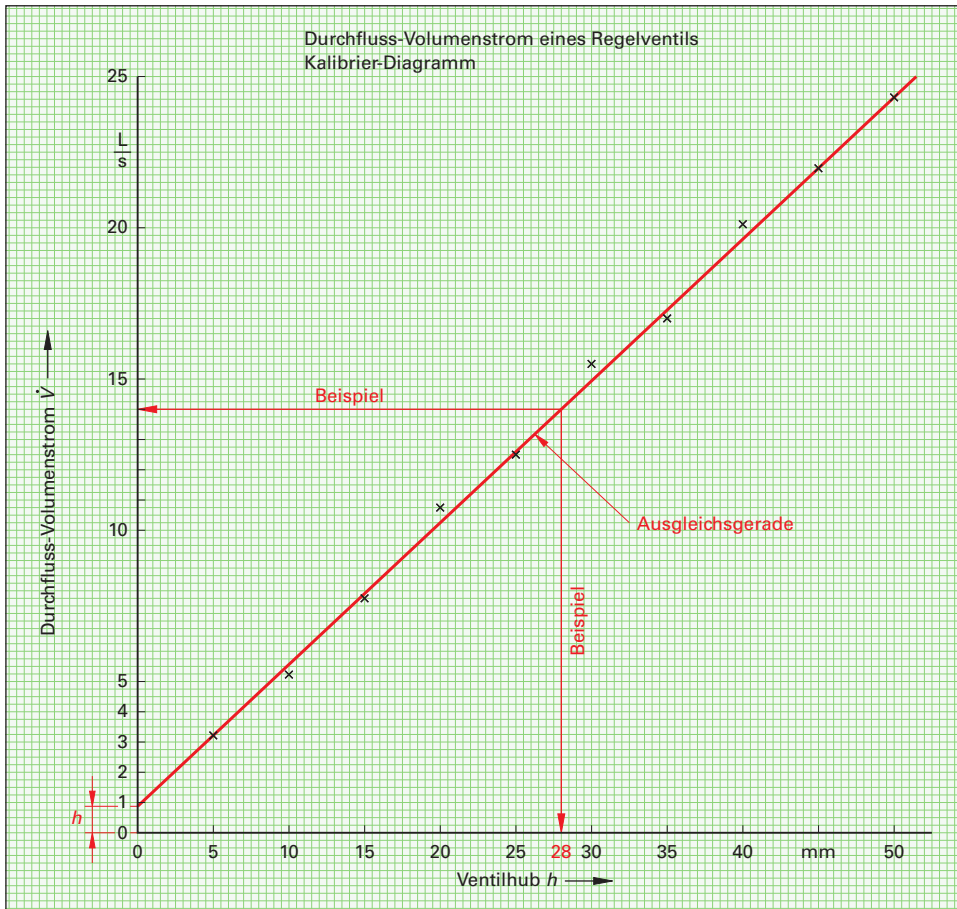
Bei kleinen w -Werten können die Δp_K -Werte nur sehr ungenau abgelesen werden.

Vorteile des doppelt-logarithmischen Diagramms:

- Sowohl bei kleinen als auch großen w -Werten können die Δp_K -Werte genau abgelesen werden.
- Durch den „fast-linearen“ Verlauf der Ausgleichskurven kann der Kurvenverlauf über ihr Ende hinaus hinreichend genau verlängert werden. Dadurch lassen sich Δp_K -Werte über den Kurvenverlauf hinaus durch Extrapolation recht genau bestimmen,

z.B. $w = 1,3 \text{ m/s} \Rightarrow \textcircled{1} \Delta p_K = 72 \frac{\text{mbar}}{\text{m}} ;$

2. a)
b)



c) Aus dem Kalibrier-Diagramm wird abgelesen: $b = 0,9 \text{ L/s}$

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{24,4 \text{ L/s} - 0,9 \text{ L/s}}{50 \text{ mm}} = 0,47 \frac{\text{L/s}}{\text{mm}}$$

$$\Rightarrow \dot{V} = 0,47 \frac{\text{L/s}}{\text{mm}} \cdot h + 0,9 \text{ L/s} \quad (\text{Ausgleichsgeradengleichung})$$

d) Aus dem Diagramm wird bei $h = 28 \text{ mm}$ abgelesen: $\dot{V} = 14,0 \text{ L/s}$

1

1.3 Prozessdatenauswertung mit dem PC

Lösung der Aufgabe zu 1.3.1 Datenauswertung mit einem Tabellenkalkulationsprogramm (Seite 16)

▶ 16

Lösung mit Zahlen

a)

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | |
|------|--------------------------|-------------------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| 1 | Aufgabe zu 1.3.1 | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Tankdurchmesser D in m | 8,20 | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | |
| b) { | 4 | Füllhöhe h in m | 0,00 | 0,25 | 0,50 | 0,75 | 1,00 | 1,50 | 2,00 | 2,50 | 3,00 | 3,50 | 4,10 |
| | 5 | Tankvolumen V_h in m ³ | 0,00 | 6,61 | 13,27 | 20,02 | 26,93 | 41,37 | 57,00 | 74,19 | 93,35 | 114,87 | 144,35 |

Lösung mit Formeln

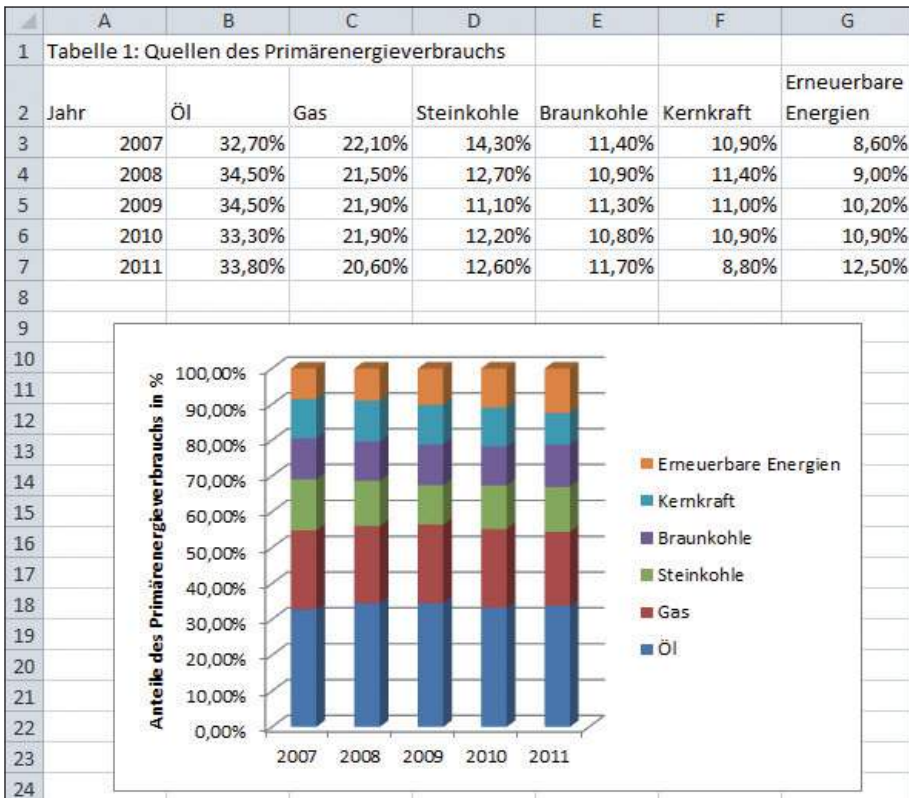
a)

| | A | B | C | D |
|------|--------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | Aufgabe zu 1.3.1 | | | |
| 2 | Tankdurchmesser D in m | 8,2 | | |
| 3 | | | | |
| b) { | 4 | Füllhöhe h in m | 0 | 0,25 |
| | 5 | Tankvolumen V_h in m ³ | =PI()*B4/2*(\$B\$2^2/4 + B4^2/3) | =PI()*C4/2*(\$B\$2^2/4 + C4^2/3) |

Lösungen der Aufgaben zu 1.3.2 Grafische Darstellung von Prozessdaten mit Excel 2010 (Seite 19)

1. Arbeitsschritte: – Daten in Arbeitsblatt eingeben

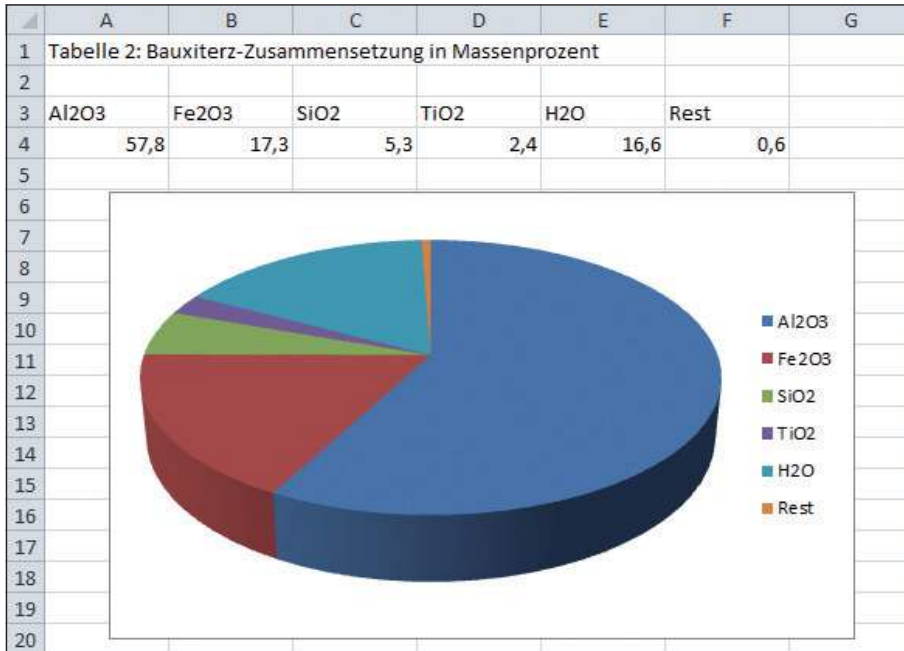
- Datenfeld mit Bezeichnung markieren (durch Ziehen mit linker Maustaste)
- Einfügen – Säule – Gestapelte Säulen – Daten auswählen
- Zeile/Spalte wechseln
- Mit rechter Maustaste auf y-Achse – Achse formatieren
- Achsoptionen: Maximum – Fest 1,0
- Mit rechter Maustaste auf x-Achse – Daten auswählen
- Horizontale Achsenbeschriftung – Bearbeiten – Bereich auswählen
- Jahre von 2007 bis 2011 in der Tabelle markieren
- ⇒ Diagramm erscheint



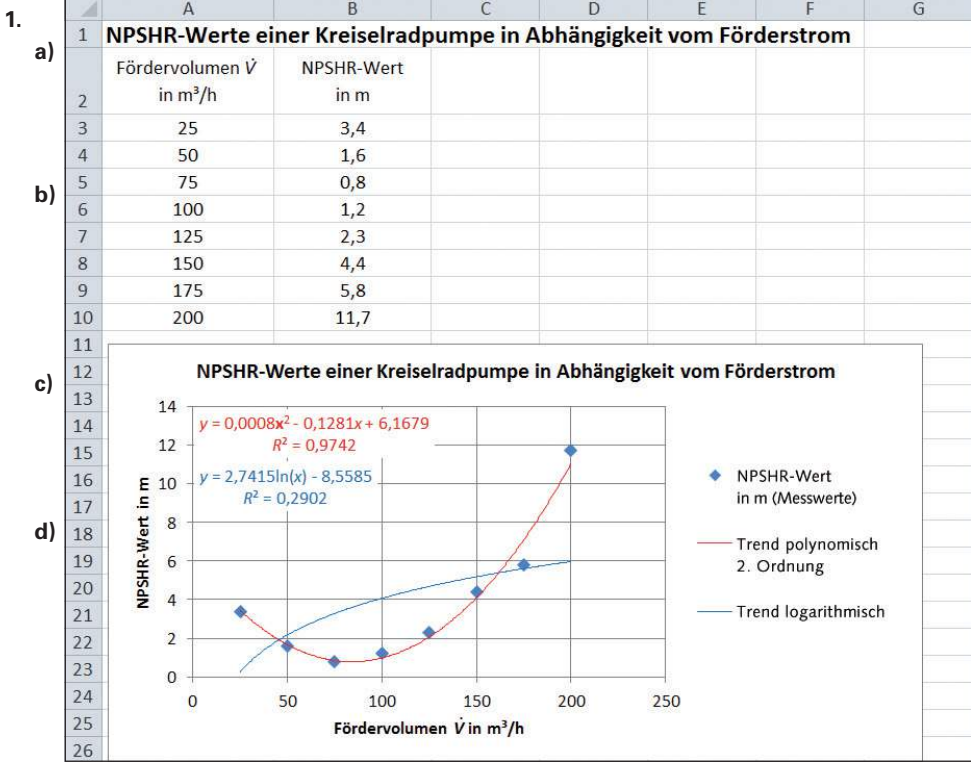
1

► 19

- 2. Arbeitsschritte:** – Daten in Arbeitsblatt eingeben
 – Datenfeld mit Bezeichnung markieren
 – Einfügen – Kreis – 3D – Kreis
 – ⇒ Diagramm erscheint



**Lösungen der Aufgaben zu
1.3.3 bis 1.3.5 Regressionsanalyse mit Excel 2010 (Seite 23)**



zu c) Es liegt eine Abhängigkeit vor: polynomisch 2. Ordnung
d. h. $y = ax^2 + bx + c$ mit $R^2 = 0,9742$

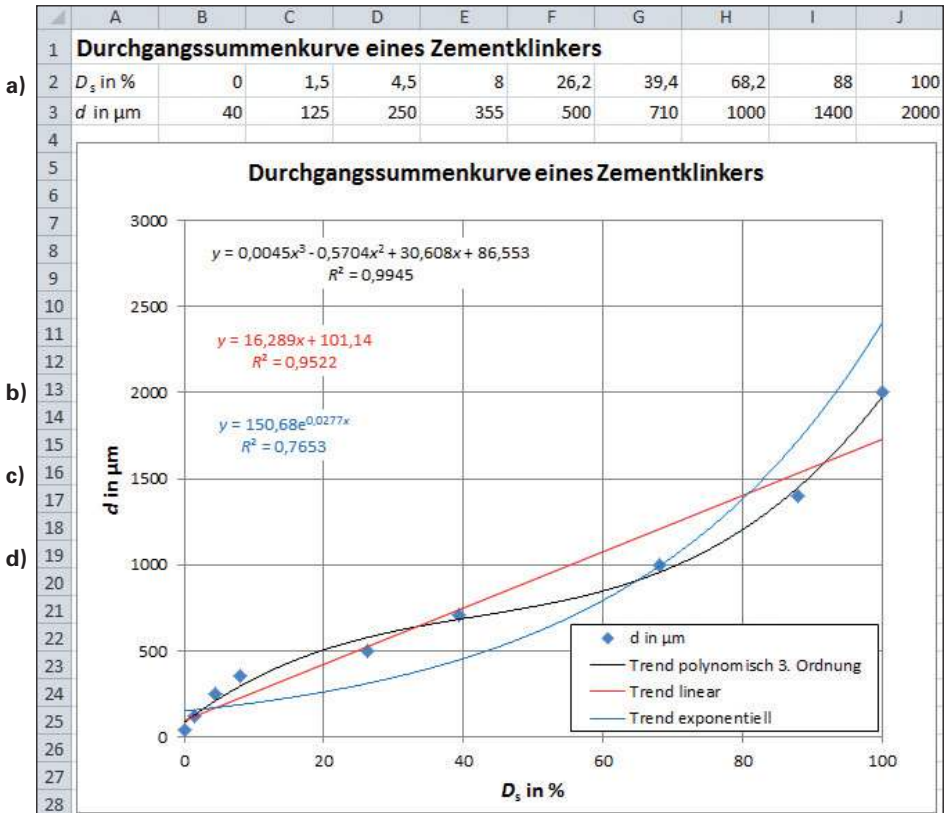
Da R^2 nahe bei 1 liegt, liegt eine gute Übereinstimmung der Trendlinie mit den Messwerten vor.

Hingegen ergibt z. B. eine logarithmische Trendkurve (ln) eine ganz schlechte Übereinstimmung ($R^2 = 0,2902$).

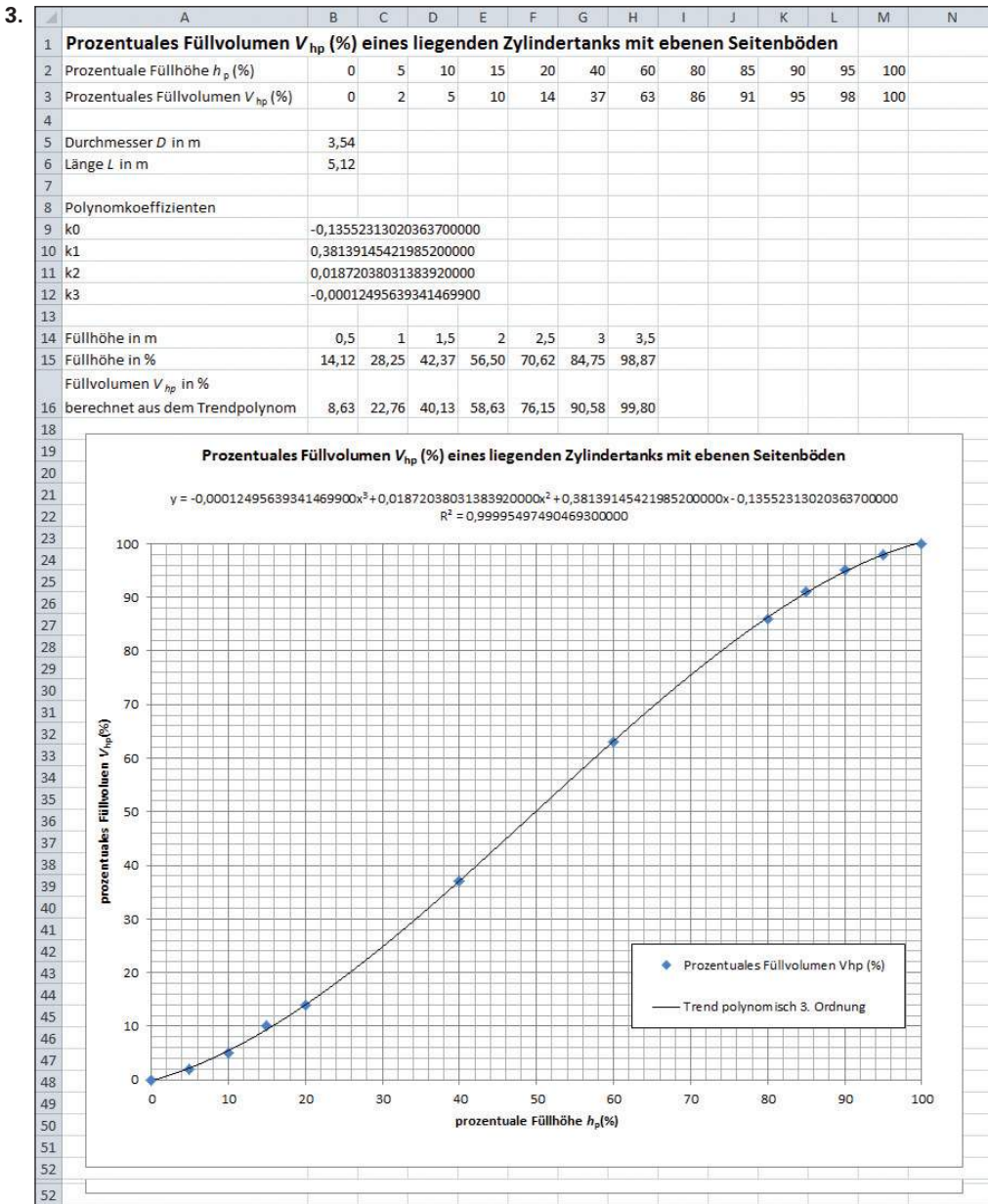
1

2.

► 23

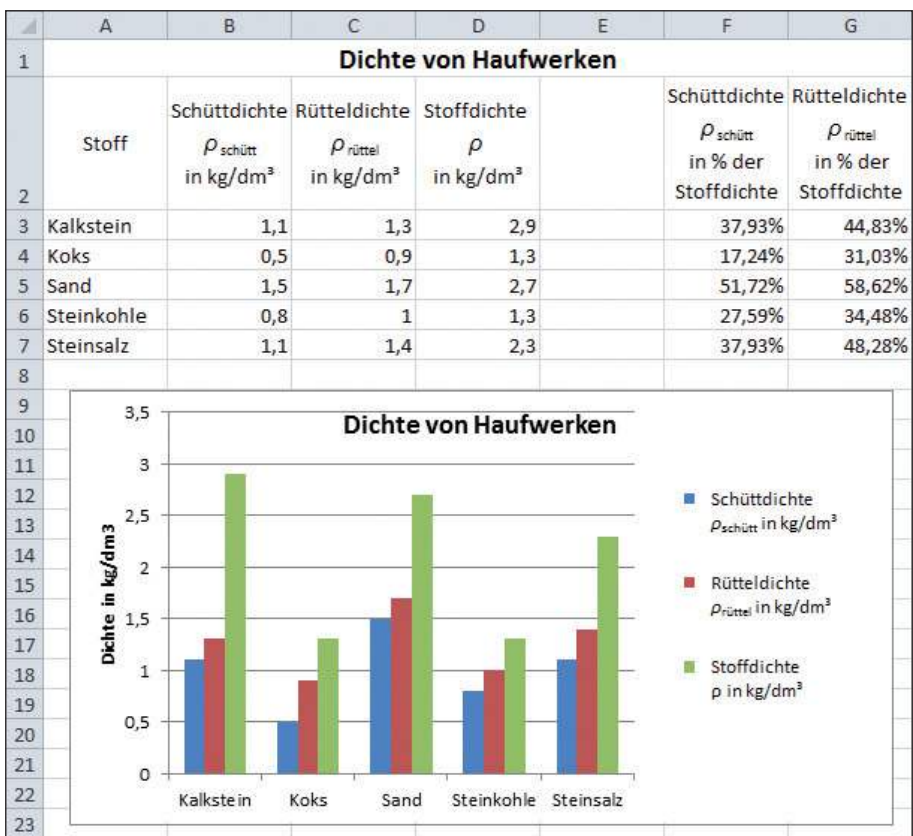


zu c) R^2 ist beim Trend polynomisch 3. Ordnung mit $R^2 = 0,9945$ am nächsten bei 1.
 ⇒ Es liegt eine polynomische Abhängigkeit 3. Ordnung vor.



- a) Vorliegendes Excel-Arbeitsblatt: Zeilen 2, 3
- b) Zeilen: 5 bis 12
- c) Zeilen: 14, 15 sowie 18 bis 52
- d) Zeilen: 5/6 sowie 16

4.



Lösungsvorschläge zu den Aufgaben von Kapitel 2 Berechnungen zu Anlagenkomponenten

2.1 Rohrleitungen

Lösungen der Aufgaben zu 2.1.1 Stoffströme in Rohrleitungen (Seite 24)

1. Gegeben:

$$\text{Klärbecken: } D = 14,20 \text{ m, } h_{\max} = 2,45 \text{ m}$$

$$\Rightarrow V_{\text{KB}} = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot h_{\max} = \frac{\pi}{4} \cdot (14,20 \text{ m})^2 \cdot 2,45 \text{ m} = 388,0 \text{ m}^3$$

$$\text{Zulaufkanal: } b = 0,80 \text{ m, } h = 0,54 \text{ m} \Rightarrow A = h \cdot b = 0,80 \text{ m} \cdot 0,54 \text{ m} = 0,432 \text{ m}^2$$

$$v = 0,25 \text{ m/s}$$

$$\text{a) } \dot{V} = A \cdot v = 0,432 \text{ m}^2 \cdot 0,25 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \mathbf{0,108 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}$$

$$\text{b) } \dot{V} = \frac{V_{\text{KB}}}{t} \Rightarrow t = \frac{V_{\text{KB}}}{\dot{V}} = \frac{388 \text{ m}^3}{0,108 \text{ m}^3/\text{s}} = 3593 \text{ s} = 3593 \cdot \frac{1}{3600} \text{ h} = \mathbf{0,998 \text{ h} \approx 1 \text{ h}}$$

2. Gegeben: $D = 1,60 \text{ m, } V_{\max} = 4,20 \text{ m}^3, \text{ DN } 125 \Rightarrow d_i = 131,7 \text{ mm}$ (Lehrbuch Seite 242)

$$\text{a) } \dot{V} = \frac{V}{t} = \frac{4,20 \text{ m}^3}{2,8 \text{ min}} = \frac{4,20 \text{ m}^3}{2,8 \cdot 60 \text{ s}} = 0,025 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = \mathbf{25 \frac{\text{L}}{\text{s}}}$$

$$\text{b) } \dot{V} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \cdot v \Rightarrow v = \frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot d_i^2} = \frac{4 \cdot 0,025 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \cdot (0,1317 \text{ m})^2} = \mathbf{1,835 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$\text{c) } \dot{V} = \frac{\pi}{4} v_2 \cdot D^2 \Rightarrow v_2 = \frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 0,025 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \cdot (1,60 \text{ m})^2} = 0,012434 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,012434 \frac{\text{m} \cdot 60}{\text{min}} \approx \mathbf{0,746 \frac{\text{m}}{\text{min}}}$$

Steighöhe pro Minute: 0,746 m.

3. Gegeben: $\dot{V} = 12,00 \text{ L/s}$; DN 150 ; DN 100 ;

Aus dem Buch CHEMIETECHNIK oder einem Tabellenbuch wird entnommen:

DN 150 : $\Rightarrow d_{i1} = 159,3 \text{ mm}$; DN 100 : $\Rightarrow d_{i2} = 107,1 \text{ mm}$;

$$\text{a) } \dot{V} = A_1 \cdot \bar{v}_1 \Rightarrow \bar{v}_1 = \frac{\dot{V}}{A_1} ; \text{ mit } A_1 = \frac{\pi \cdot d_{i1}^2}{4} = \frac{\pi \cdot (159,3 \text{ mm})^2}{4} \approx 1,993 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$\bar{v}_1 = \frac{12,00 \text{ L/s}}{1,993 \cdot 10^4 \text{ mm}^2} = \frac{12,00 \text{ dm}^3/\text{s}}{1,993 \cdot \text{dm}^2} \approx 6,021 \text{ dm/s} \approx \mathbf{0,6021 \text{ m/s}}$$

$$\text{b) } A_1 \cdot \bar{v}_1 = 2 \cdot A_2 \cdot \bar{v}_2 ; \text{ mit } A_1 = \frac{\pi}{4} \cdot d_{i1}^2 \text{ und } A_2 = \frac{\pi}{4} \cdot d_{i2}^2$$

$$\bar{v}_2 = \frac{A_1 \cdot \bar{v}_1}{2 \cdot A_2} = \frac{\frac{\pi}{4} \cdot d_{i1}^2 \cdot \bar{v}_1}{2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_{i2}^2} = \frac{d_{i1}^2 \cdot \bar{v}_1}{2 \cdot d_{i2}^2}$$

$$\bar{v}_2 = \frac{(159,3 \text{ mm})^2 \cdot 0,6021 \text{ m/s}}{2 \cdot (107,1 \text{ mm})^2} = \mathbf{0,6660 \text{ m/s}}$$

4. Gegeben: DN 65 $\Rightarrow d_{i1} = 70,3$ mm (Lehrbuch Seite 242), $\dot{V}_1 = 6,20$ L/s = $0,00620$ m³/s,
 $\rho_s = 1,240$ g/cm³ = 1240 kg/m³, Anzahl der Filtertrennräume: 25,
 Einzelfilterfläche: $0,80$ m²

$$a) \dot{m} = \rho_s \cdot \dot{V}_1 = 1,240 \text{ g/cm}^3 \cdot 6,20 \text{ L/s} = 1,240 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \cdot 6,20 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}} = 7,688 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \approx \mathbf{7,69 \frac{kg}{s}}$$

$$b) \dot{m} = \rho_s \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_{i1}^2 \cdot v_1 \Rightarrow v_1 = \frac{4 \cdot \dot{m}}{\rho_s \cdot \pi \cdot d_{i1}^2}$$

$$v_1 = \frac{4 \cdot 7,688 \text{ kg/s}}{1,240 \text{ kg/dm}^3 \cdot \pi \cdot (0,703 \text{ dm})^2} = 15,97 \frac{\text{dm}}{\text{s}} \approx \mathbf{1,60 \text{ m/s}}$$

$$c) \dot{m} = \rho_s \cdot A_2 \cdot v_2 \Rightarrow v_2 = \frac{\dot{m}}{\rho_s \cdot A^2} \text{ mit GesamtfILTERFLÄCHE: } A_2 = 2 \cdot 25 \cdot 0,80 \text{ m}^2 = 40,0 \text{ m}^2$$

$$v_2 = \frac{7,688 \text{ kg/s}}{1240 \text{ kg/m}^3 \cdot 40,0 \text{ m}^2} = 0,000155 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,155 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \approx \mathbf{0,16 \frac{mm}{s}}$$

5. Gegeben: DN 80 $\Rightarrow d_{i1} = 82,5$ mm, DN 15 $\Rightarrow d_{i2} = 17,3$ mm (Lehrbuch Seite 242),
 Anzahl der Rohre: 44, $\dot{V} = 8400$ L/h = $8,400$ m³/h

Lösung:

$$\dot{V} = \frac{\pi}{4} \cdot v_1 \cdot d_{i1}^2 \Rightarrow v_1 = \frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot d_{i1}^2} = \frac{4 \cdot 8,400 \text{ m}^3/\text{h}}{\pi \cdot (0,0825 \text{ m})^2} = 1571,381 \frac{\text{m}}{\text{h}} = \frac{1571,381 \text{ m}}{3600 \text{ s}} \approx \mathbf{0,436 \frac{m}{s}}$$

$$\dot{V} = 44 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot v_2 \cdot d_{i2}^2 \Rightarrow v_2 = \frac{4 \cdot \dot{V}}{44 \cdot \pi \cdot d_{i2}^2} = \frac{4 \cdot 8,400 \frac{1}{3600} \text{ m}^3/\text{s}}{44 \cdot \pi \cdot (0,0173 \text{ m})^2} \approx \mathbf{0,226 \frac{m}{s}}$$

Lösungen der Aufgaben zu 2.1.2 Rohrabmessungen (Seite 26)

1. Gegeben: $V = 2400$ L ; $t = 3$ min ; $\bar{v} = 1,50$ m/s;

$$d_{i,\text{erf}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{\dot{V}}{\pi \cdot \bar{v}}} ; \text{ mit } \dot{V} = \frac{V}{t} = \frac{2400 \text{ L}}{3 \text{ min}} = 800 \frac{\text{L}}{\text{min}} = 0,800 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \text{ und } v = 1,50 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 90,0 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$$d_{i,\text{erf}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{0,800 \text{ m}^3/\text{min}}{\pi \cdot 90,0 \text{ m/min}}} = 0,1063846 \text{ m} \approx \mathbf{106 \text{ mm}}$$

\Rightarrow Gewählte Nennweite: **DN 100** ($d_i = 107,1$ mm)

2. Gegeben: $\dot{V} = 726$ L/h ; DN = 40 $\Rightarrow d_i = 43,1$ mm = $0,431$ dm

$$\dot{V} = A \cdot \bar{v} \Rightarrow \bar{v} = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{\dot{V}}{\frac{\pi}{4} \cdot d_i^2} = \frac{726 \text{ L/h} \cdot 4}{\pi \cdot (0,431 \text{ dm})^2} \approx \frac{4976 \text{ dm}}{3600 \text{ s}}$$

$$\bar{v} \approx 1,38 \frac{\text{dm}}{\text{s}} \approx \mathbf{0,138 \frac{m}{s}}$$

3. Gegeben: $\dot{V} = 10,30$ m³/h = $\frac{10,30 \text{ m}^3}{3600 \text{ s}} \approx 28,61 \cdot 10^{-4}$ m³/s ; $\bar{v} = 1,00$ m/s

$$a) d_{i,\text{erf}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{\dot{V}}{\pi \cdot \bar{v}}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{28,61 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}}{\pi \cdot 1,00 \cdot \text{m} \cdot \text{s}}} \approx 6,04 \cdot 10^{-2} \text{ m} \approx \mathbf{60,4 \text{ mm}}$$

b) Nennweite: **DN 65** ($d_i = 70,3$ mm)

Lösungen der Aufgaben zu 2.1.3 Nenndruck, Mindestwanddicke (Seite 27, oben)

1. Gegeben: PN 6 ; Rohrleitung DN 200 ;

Aus der Tabelle 1, Seite 25 im Lehrbuch wird für DN 200 ein $d_i = 207,3$ mm abgelesen.

2. Gegeben: $\dot{V} = 610$ L/min ; $\bar{v} = 80$ cm/s;

$$a) d_{i, \text{erf}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{\dot{V}}{\pi \cdot \bar{v}}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{610 \text{ L/min}}{\pi \cdot 80 \text{ cm/s}}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{10,17 \text{ dm}^3/\text{s}}{\pi \cdot 80 \cdot 0,1 \text{ dm/s}}} = 2 \cdot \sqrt{0,4047 \text{ dm}^3} = 1,27 \text{ dm}$$

$$d_{i, \text{erf}} = 12,7 \text{ cm} = \mathbf{127 \text{ mm}}$$

$$b) \Rightarrow \mathbf{DN 125} (d_i = 131,7 \text{ mm})$$

3. Gegeben: $p_e = 3,5$ bar ;

$$\Rightarrow \mathbf{PN 6}$$

4. Gegeben: Rohrleitung DIN 125 ; PN 16 ; $T_{\text{Rest}} = 1,80$ mm ; $R_e = 245$ N/mm² ;
 $z = 0,85$;

$$\text{DN 125} \Rightarrow d_i = 131,7 \text{ mm} ; \text{PN 16} \Rightarrow p_c = 16 \text{ bar} ; 1 \text{ bar} = 0,1 \text{ N/mm}^2 ;$$

$$R_e = 245 \text{ N/mm}^2 ; f = \frac{R_e}{1,5} = \frac{245 \text{ N/mm}^2}{1,5} \approx 163 \text{ N/mm}^2 ; z = 0,85 ; e = 1,8 \text{ mm.}$$

$$e = \frac{p_c \cdot d_i}{2 \cdot f \cdot z - p_c} = \frac{16 \text{ bar} \cdot 131,7 \text{ mm}}{2 \cdot 163 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,85 - 16 \text{ bar}} = \frac{16 \cdot 0,1 \text{ N/mm}^2 \cdot 131,7 \text{ mm}}{2 \cdot 163 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,85 - 16 \cdot 0,1 \text{ N/mm}^2}$$

$$e = 0,7649 \text{ mm} \approx \mathbf{0,76 \text{ mm}} \Rightarrow e_{\text{ord}} = 200 \% \cdot 0,76 \text{ mm} = 1,52 \text{ mm}$$

Die erforderliche Mindestwanddicke ist 1,52 mm.

Die Rohrleitung mit einer Restwanddicke von 1,80 mm kann der Druckbelastung in den nächsten Jahren standhalten.

Lösungen der Aufgabe zu 2.1.4 Masse von Stahlrohren (Seite 27, unten)

- Gegeben: $d_a = 168,3$ mm ; $T = 4,5$ mm ; $\zeta_{\text{ASt}} = 7,97$ kg/dm³ ;

$$M = (168,3 - 4,5) \cdot 4,5 \cdot 0,0246615 \cdot \frac{797}{785} \text{ in kg/m}$$

$$M \approx 18,456 \text{ kg/m}$$

$$m = M \cdot L \cdot n = 18,456 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot 6 \text{ m} \cdot 47 \approx \mathbf{5205 \text{ kg}}$$

Lösungen der Aufgaben zu 2.1.5 Rohrausdehnung und Kompensatoren (Seite 28)

1. Gegeben: $l = 285$ m ; $\alpha = 0,012$ mm/(m · K) ; $\vartheta_1 = 8$ °C ; $\vartheta_2 = 258$ °C ;

$$\Delta l_{\text{komp}} = 260 \text{ mm}$$

$$\Delta l_{\text{ges}} = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \vartheta = 285 \text{ m} \cdot 0,012 \frac{\text{mm}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot (258 \text{ °C} - 8 \text{ °C}) = 885 \text{ mm}$$

$$\text{Anzahl der Kompensatoren: } n = \frac{\Delta l_{\text{ges}}}{\Delta l_{\text{komp}}} = \frac{885 \text{ mm}}{260 \text{ mm}} \approx \mathbf{3,29}$$

\Rightarrow Es sind **4 Kompensatoren** erforderlich.

2. Gegeben: $l_0 = 42,62 \text{ m}$; $\vartheta_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; $\vartheta_{\min} = -30 \text{ }^\circ\text{C}$; $\vartheta_{\max} = 82 \text{ }^\circ\text{C}$;
 $l_B = 41,4 \text{ cm}$;

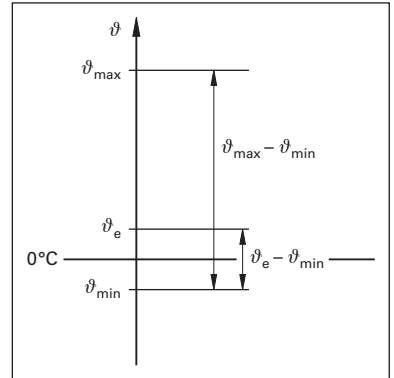
a) $\Delta l_{\text{ges}} = l_0 \cdot \alpha \cdot (\vartheta_{\max} - \vartheta_{\min}) = 42,62 \text{ m} \cdot 0,012 \frac{\text{mm}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot [82 \text{ }^\circ\text{C} - (-30 \text{ }^\circ\text{C})] \approx 57 \text{ mm}$

b) $l_E = l_B + \Delta l_{\text{VSp}}$

$$\Delta l_{\text{VSp}} = \frac{\Delta l_{\text{ges}}}{2} - \frac{\Delta l_{\text{ges}} \cdot (\vartheta_e - \vartheta_{\min})}{\vartheta_{\max} - \vartheta_{\min}}$$

$$= \frac{57 \text{ mm}}{2} - \frac{57 \text{ mm} \cdot [20 \text{ }^\circ\text{C} - (-30 \text{ }^\circ\text{C})]}{82 \text{ }^\circ\text{C} - (-30 \text{ }^\circ\text{C})}$$

$$\approx 3,1 \text{ mm}$$



2

▶ 28
30

Lösungen der Aufgaben zu 2.1.6 Regelventile (Seite 30)

1. 8,5 mm Hub entspricht $\dot{V} = 26,4 \text{ m}^3/\text{h}$

21,3 mm Hub entspricht \dot{V}_x

$$\dot{V}_x = \frac{26,4 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 21,3 \text{ mm}}{8,5 \text{ mm}} \approx 66,2 \text{ m}^3/\text{h}$$

2. Gegeben:

Nebenstehende Ventil-Kennlinie

Daraus wird abgelesen:

2 % $\Delta \dot{V}$:
bei 10 bis 20 % h

5 % $\Delta \dot{V}$:
bei 43 bis 53 % h

10 % $\Delta \dot{V}$:
bei 62 bis 72 % h

20 % $\Delta \dot{V}$:
bei 82 bis 92 % h

