



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für Chemieberufe

Technische Mathematik und Datenauswertung für Laborberufe

Eckhard Ignatowitz, Henrik Althaus, Ernst Bartels, Holger Rapp

8. Auflage

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

Europa-Nr. 71713

Autoren in alphabetischer Reihenfolge

Dr. Henrik Althaus, OStR	Stade
Dr. Ernst Bartels, StD a. D.	Winsen/Aller
Dr. Eckhard Ignatowitz, StR a. D.	Waldbronn
Holger Rapp, Dipl.-Ing., Dipl.-Wirt.-Ing	Waldbronn

Autoren bis zur 6. Auflage:

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

Leitung des Arbeitskreises und Lektorat:

Dr. Eckhard Ignatowitz

Bildentwürfe: Die Autoren

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern

8. Auflage 2021

Druck 5 4 3 2

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

ISBN 978-3-8085-8383-8

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

© 2021 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Satz: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, 50374 Erftstadt

Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, Radevormwald

Umschlagfoto: © angellodeco – stock.adobe.com

Druck: Plump Druck & Medien GmbH, 53619 Rheinbreitbach

Vorwort

Das Buch **TECHNISCHE MATHEMATIK UND DATENAUSWERTUNG FÜR LABORBERUFE** ist ein Lehr- und Übungsbuch für die schulische und betriebliche Ausbildung im Bereich fachbezogener Berechnungen sowie der Labordaten- und Prozessdatenauswertung.

Dieses Lehrbuch ist geeignet für Auszubildende zum Chemielaborant/in, Lacklaborant/in und Biologiela-
borant/in. Auch in den Berufsfachschulen Chemisch-technischer Assistent/in, Biologisch-technischer As-
sistent/in, Pharmazeutisch-technischer Assistent/in und Umwelt-technischer Assistent/in, an Fachschulen
für Biotechniker, Chemotechniker und Umweltschutztechniker sowie in der Fachoberschule Technik (Fach-
richtung Chemie), der Berufsoberschule und in naturwissenschaftlich ausgerichteten Gymnasien ist es
einsetzbar.

Die Auswahl der Inhalte orientiert sich an den Rahmenlehrplänen für die Ausbildungsberufe Chemielabo-
rant/Chemielaborantin, Biologielaorant/Biologielaorantin und Lacklaborant/Lacklaborantin.

Dieses Buch vermittelt neben den mathematischen Grundkenntnissen die Vielfalt der berufsbezogenen
mathematischen Kenntnisse aus den Bereichen Chemie, Physik, Statistik, Reaktionskinetik, Analytik, Qua-
litätssicherung, Beschichtungsstoffe und Informatik. Es ist ein kompetenter Begleiter während der Ausbil-
dung und ein guter Vorbereiter auf die Prüfung.

Durch seinen modularen Aufbau ist das Buch uneingeschränkt für den Lernfeld-orientierten Unterricht ge-
eignet. Den Beispielen und Übungsaufgaben liegen konsequent Problemstellungen aus dem Berufsalltag
der Laborberufe zugrunde. Besonderer Wert wurde darauf gelegt, die zahlreichen Vorgänge und Geräte
durch Abbildungen zu veranschaulichen. Wichtige Gesetzmäßigkeiten und Formeln sind optisch hervor-
gehoben.

Am Ende eines Kapitels folgen zahlreiche praxisorientierte Übungsaufgaben, die zur Festigung des Erlern-
ten, zur Leistungskontrolle oder zur Prüfungsvorbereitung verwendet werden können.

Die Lösungen der Beispielaufgaben sind überwiegend mit Größengleichungen gerechnet. Wo es sinnvoll
ist, wird alternativ auch die Schlussrechnung angewendet. Dabei wird das Runden der Ergebnisse auf die
Anzahl signifikanter Ziffern oder Stellen konsequent berücksichtigt.

In einigen Kapiteln werden die Möglichkeiten zur Nutzung von Taschenrechnern mit Statistikfunktionen
sowie eines Tabellenkalkulationsprogramms bei der rechnerischen oder grafischen Auswertung von Daten
und Datenreihen vorgestellt.

Die im Rahmenlehrplan der Laborberufe geforderte Kompetenz zur Nutzung englischsprachlicher Informa-
tionsquellen wird durch die Angabe der Fachbegriffe in englischer Sprache (jeweils in Klammern hinter der
deutschen Bezeichnung) im Text sowie im Sachwortverzeichnis unterstützt.

Bei den Bestimmungsmethoden physikalischer oder chemischer Größen sind im Text oder in den tabella-
rischen Übersichten die entsprechenden DIN-Normen angegeben. Die Bezeichnung von Stoffen folgt den
Vorgaben der IUPAC, aber auch die in der Anlagen- und Laborpraxis üblichen technischen Namen werden
aufgeführt, soweit sie von der IUPAC als weiterhin erlaubt gekennzeichnet sind.

Zum Lehrbuch **Technische Mathematik und Datenauswertung für Laborberufe** gibt es ein **Lösungsbuch**
mit durchgerechneten Lösungswegen sowie methodischen Hinweisen (Europa-Nr. 71764).

In der **8. Auflage** des vorliegenden Buches wurde eine Vielzahl von Verbesserungen durchgeführt:

- Ein neues, vielfarbiges Layout wurde realisiert, das die schnelle Erfassung der Inhalte erleichtert.
- Die Aufgaben wurden durch präzise Formulierungen und Bilder anschaulicher gestaltet.

Neu aufgenommen wurden die Themen:

- Bestimmung von Abwasser-Kennwerten (Seiten 280 bis 285) und Bestimmung der Wasserhärte (Seiten
286 bis 289)
- Verdünnungsstrategien bei fotometrischen Bestimmungen (Seiten 307 bis 310)
- Moderne Analysegeräte, z. B. Biegeschwinger (Seite 444), Molare Masse (Seite 465).

Die Autoren und der Verlag freuen sich über kritisch-konstruktive Hinweise und Verbesserungsvorschläge
zum Buch. Bitte richten Sie Ihre Zuschriften per e-mail an: Lektorat@europa-lehrmittel.de

Inhaltsverzeichnis

1	Mathematische Grundlagen, praktisches Rechnen	8	2.5	Versuchs- und Prozessdatenauswertung mit dem Computer	59
1.1	Zahlenarten	8	2.5.1	Das Tabellenkalkulationsprogramm Excel	59
1.2	Größen, Einheiten, Zeichen, Formeln	9	2.5.2	Auswertung von Messreihen mit Excel	61
1.3	Grundrechnungsarten	10	2.5.3	Diagramme zeichnen mit Excel	64
1.3.1	Addieren und Subtrahieren	10	2.5.4	Regressionsanalyse mit Excel	68
1.3.2	Multiplizieren	11			
1.3.3	Dividieren	12	3	Ausgewählte physikalische Berechnungen	74
1.4	Berechnen zusammengesetzter Ausdrücke	13	3.1	Größen, Zeichen, Einheiten, Umrechnungen	74
1.5	Bruchrechnen	14	3.2	Berechnung von Längen, Flächen, Oberflächen und Volumina	79
1.5.1	Addieren und Subtrahieren von Brüchen	14	3.2.1	Längenberechnung	79
1.5.2	Multiplizieren und Dividieren von Brüchen	15	3.2.2	Umfangs- und Flächenberechnung	80
1.6	Rechnen mit Potenzen	16	3.2.3	Oberflächen- und Volumenberechnung	81
1.7	Rechnen mit Wurzeln	18	3.3	Berechnung von Masse, Volumen und Dichte	83
1.8	Rechnen mit Logarithmen	20	3.4	Bewegungsvorgänge	88
1.8.1	Definition des Logarithmus	20	3.5	Strömende Medien in Rohrleitungen	92
1.8.2	Berechnen dekadischer Logarithmen	21	3.6	Kräfte	94
1.8.3	Berechnen natürlicher Logarithmen	21	3.7	Arbeit	97
1.8.4	Logarithmengesetze	22	3.8	Leistung	99
1.8.5	Logarithmieren bei der pH-Wert-Berechnung	22	3.9	Energie	101
1.9	Lösen von Gleichungen	23	3.10	Wirkungsgrad	103
1.9.1	Lineare Bestimmungsgleichungen	23	3.11	Druck und Druckarten	105
1.9.2	Quadratische Bestimmungsgleichungen	24	3.12	Druck in Flüssigkeiten	106
1.9.3	Wurzelgleichungen	25	3.13	Auftriebskraft	109
1.9.4	Exponentialgleichungen	25	3.14	Gaskinetik	111
1.9.5	Umstellen von Größengleichungen	26	3.15	Druck in Gasen, Gasgesetze	112
1.10	Rechnen mit Winkeln und Winkelfunktionen	27	3.16	Sättigungsdampfdruck, Partialdruck	114
1.11	Berechnungen mit dem Dreisatz	28	3.17	Luftfeuchtigkeit	116
1.12	Berechnungen mit Proportionen	30			
1.13	Berechnungen mit Anteilen	31	4	Stöchiometrische Berechnungen	122
2	Auswertung von Messwerten und Prozessdaten	36	4.1	Grundgesetze der Chemie	122
2.1	Messtechnik in der Chemie	36	4.2	Aufbau der chemischen Elemente	122
2.1.1	Grundbegriffe der Messtechnik	36	4.3	Symbole und Ziffern in chemischen Formeln	124
2.1.2	Unsicherheit von Messwerten	37	4.4	Quantitäten von Stoffportionen	125
2.1.3	Messgenauigkeit im Labor und Chemiebetrieb	38	4.4.1	Stoffmenge	125
2.2	Rechnen mit Messwerten	42	4.4.2	Molare Masse	126
2.2.1	Signifikante Ziffern	42	4.4.3	Atomare Masseneinheit	127
2.2.2	Runden	42	4.5	Zusammensetzung von Verbindungen und Elementen	128
2.2.3	Rechnen mit Messwerten ohne angegebene Unsicherheit	43	4.5.1	Massenanteile von Bestandteilen in Verbindungen	128
2.2.4	Rechnen mit Messwerten mit angegebener Unsicherheit	44	4.5.2	Masse der Bestandteile in Portionen von Verbindungen	128
2.3	Auswertung von Messwertreihen	45	4.5.3	Zusammensetzung von Isotopengemischen	129
2.3.1	Statistische Kennwerte	45	4.6	Empirische Formel, Molekülformel (Teichenformel)	130
2.3.2	Absoluter und relativer Fehler	45	4.6.1	Berechnung der empirischen Formel einer Verbindung	131
2.3.3	Standardabweichung	46	4.6.2	Berechnung der Molekülformel einer Verbindung	132
2.3.4	Gauß'sche Normalverteilung	47	4.6.3	Ermittlung der Molekülformel mit der Elementaranalyse	133
2.3.5	Auswertung mit dem Taschenrechner und Computer	47	4.7	Berechnungen mit Gasportionen	134
2.4	Darstellung von Messergebnissen	49	4.7.1	Gase bei Normbedingungen	134
2.4.1	Messwerte in Wertetabellen	49	4.7.2	Gasportionen bei beliebigen Drücken und Temperaturen	136
2.4.2	Grafische Darstellung von Messwerten	50	4.7.3	Bestimmung der molaren Masse aus der allgemeinen Gasgleichung	138
2.4.3	Arbeiten mit Diagrammen in der Chemie	52			
2.4.4	Funktionsgraphen	54			
2.4.5	Linearisieren einer Kurve	56			
2.4.6	Verwendung grafischer Papiere	57			

4.7.4	Dichte einer Gasportion	139	6.5	Massenwirkungsgesetz für Gasgleichgewichte	214
4.8	Rechnen mit Reaktionsgleichungen	140	6.6	Verschiebung der Gleichgewichtslage	216
4.8.1	Aufbau von Reaktionsgleichungen	140	7	Rechnen mit Ionengleichgewichten	220
4.8.2	Aufstellen von Reaktionsgleichungen	142	7.1	Protolysegleichgewichte	220
4.8.3	Oxidationszahlen	145	7.1.1	Protolysegleichgewicht des Wassers	220
4.8.4	Aufstellen von Redox-Gleichungen	147	7.1.2	pH-Wert	221
4.9	Umsatzberechnung bei chemischen Reaktionen	151	7.1.3	pH-Wert starker Säuren und Basen	223
4.9.1	Umsatzberechnung bei Einsatz reiner Stoffe	151	7.1.4	Dissoziationsgrad α , Protolysegrad	224
4.9.2	Umsatzberechnung bei Einsatz verunreinigter oder gelöster Stoffe	153	7.1.5	Berechnung des pH-Werts aus der Säure- und Basenkonstante	225
4.9.3	Umsatzberechnung bei Gasreaktionen	157	7.1.6	pH-Wert schwacher Säuren und Basen	227
4.9.4	Umsatzberechnung unter Berücksichtigung der Ausbeute	159	7.1.7	pH-Wert mehrprotoniger Säuren	228
4.10	Kernreaktionen	166	7.1.8	Das Ostwald'sche Verdünnungsgesetz	229
5	Rechnen mit Gehaltsgrößen von Mischungen	168	7.1.9	pH-Wert von Pufferlösungen	230
5.1	Gehaltsgrößen von Mischungen	168	7.1.10	Lage von Protolysegleichgewichten	232
5.1.1	Massenanteil w	170	7.2	Löslichkeitsgleichgewichte	233
5.1.2	Volumenanteil φ	172	8	Analytische Bestimmungen	237
5.1.3	Stoffmengenanteil χ	173	8.1	Thermogravimetrische Analysen	238
5.1.4	Umrechnen der verschiedenen Anteile	175	8.1.1	Feuchtigkeits- und Trockengehaltsbestimmungen von Feststoffen	238
5.1.5	Massenkonzentration β	177	8.1.2	Bestimmung des Wassergehalts in Ölen	239
5.1.6	Volumenkonzentration σ	178	8.1.3	Glührückstandsbestimmungen	240
5.1.7	Stoffmengenkonzentration c und Äquivalentkonzentration $c(1/z \cdot X)$	179	8.1.4	Thermogravimetrie	241
5.1.8	Umrechnen der verschiedenen Konzentrationen	181	8.1.5	Gravimetrische Fällungsanalysen	243
5.1.9	Löslichkeit L^*	183	8.2	Volumetrische Bestimmungen (Maßanalyse)	246
5.2	Umrechnen von Anteilen – Konzentrationen – Löslichkeiten	185	8.2.1	Durchführung einer Maßanalyse	246
5.2.1	Umrechnung Massenanteil $w(X) \Leftrightarrow$ Stoffmengenkonzentration $c(X)$	185	8.2.2	Maßanalyse mit aliquoten Teilen	246
5.2.2	Umrechnung Massenanteil $w(X) \Leftrightarrow$ Massenkonzentration $\beta(X)$	186	8.2.3	Gehaltsangaben von Maßlösungen	247
5.2.3	Umrechnung: Massenanteil $w(X) \Leftrightarrow$ Volumenkonzentration $\sigma(X)$	186	8.2.4	Herstellen von Maßlösungen	249
5.2.4	Umrechnung: Massenanteil $w(X) \Leftrightarrow$ Löslichkeit $L^*(X)$	187	8.2.5	Titer von Maßlösungen	250
5.3	Gehaltsgrößen beim Mischen, Verdünnen und Konzentrieren von Lösungen	189	8.2.6	Einstellen einer Maßlösung	251
5.3.1	Mischen von Lösungen	189	8.2.7	Neutralisationstitrations	252
5.3.2	Verdünnen von Lösungen	191	8.2.8	Bestimmung des Titors von Maßlösungen	256
5.3.3	Volumenberechnung beim Mischen von Lösungen	192	8.2.9	Rücktitrationen	258
5.3.4	Konzentrieren von Lösungen	193	8.2.10	Mehrstufige Neutralisationstitrations	260
6	Berechnungen zum Verlauf chemischer Reaktionen	197	8.2.11	Indirekte Titration – Mehrfachbestimmung	261
6.1	Reaktionsgeschwindigkeit	197	8.2.12	Oleum-Bestimmungen	262
6.2	Beeinflussung der Reaktionsgeschwindigkeit	200	8.2.13	Redox-Titrations (Oxidimetrie)	264
6.2.1	Einfluss der Konzentration auf die Reaktionsgeschwindigkeit	200	8.2.14	Fällungstitrations	270
6.2.2	Grafische Ermittlung der Reaktionsordnung	204	8.2.15	Komplexometrische Titrations	271
6.2.3	Einfluss der Temperatur auf die Reaktionsgeschwindigkeit	207	8.3	Maßanalytische Bestimmungen mit elektrochemischen Methoden	275
6.2.4	Einfluss von Katalysatoren auf die Reaktionsgeschwindigkeit	210	8.3.1	Potenziometrische Neutralisationstitrations	275
6.3	Chemisches Gleichgewicht	211	8.3.2	Leitfähigkeitstitrations (Konduktometrie)	278
6.4	Massenwirkungsgesetz	212	8.4	Bestimmung von Abwasserkenwerten	280
			8.4.1	Biochemischer Sauerstoffbedarf BSB	280
			8.4.2	Chemischer Sauerstoffbedarf CSB	284
			8.5	Bestimmung der Wasserhärte	286
			8.5.1	Definition und Berechnung der Wasserhärte	286
			8.5.2	Bestimmung der Wasserhärte durch komplexometrische Titration	287
			8.5.3	Bestimmung der Härtebereiche mit Teststreifen	289
			8.6	Bestimmung maßanalytischer Kennzahlen organischer Stoffe	290
			8.6.1	Säurezahl SZ	290
			8.6.2	Verseifungszahl VZ	291

8.6.3	Esterzahl EZ	293
8.6.4	Hydroxylzahl OHZ	293
8.6.5	Iodzahl IZ	295
8.7	Optische Analyseverfahren	298
8.7.1	UV/VIS-Spektroskopie	298
8.7.2	Refraktometrie	311
8.7.3	Polarimetrie	314
8.8	Chromatografie	316
8.8.1	Dünnschichtchromatografie und Papierchromatografie	316
8.8.2	Säulenchromatografie	317
8.8.3	Kenngrößen der Chromatografie	319
8.8.4	Trennwirkung einer chromatografischen Säule	320
8.8.5	Detektorempfindlichkeit – Responsefaktor	322
8.8.6	Auswertung Säulenchromatografischer Analysen – Kalibriermethoden	323
9	Statistische Methoden in Biologie und analytischer Chemie	334
9.1	Datengewinnung	334
9.2	Kennwerte zur Charakterisierung von Datenreihen	334
9.2.1	Kennwerte zur Charakterisierung der mittleren Lage von Daten	335
9.2.2	Kennwerte zur Charakterisierung der Streuung von Stichprobenwerten	337
9.3	Korrelation von Datenreihen	339
9.4	Regressionsanalyse von Datenreihen	340
9.5	Statistische Prüfverfahren (Signifikanztests)	341
9.5.1	Prüfung zweier arithmetischer Mittelwerte: t-Test (Student-Test, Sollwert t-Test)	342
9.5.2	Prüfung zweier Varianzen: F-Test (Fisher-Test)	343
9.5.3	Der χ^2 -Test (χ^2 -Test)	344
10	Qualitätssicherung in der Chemie	348
10.1	Validierung analytischer Verfahren	348
10.1.1	Richtigkeit und Präzision von Messwerten	348
10.1.2	Untersuchung der Richtigkeit von Messwerten	349
10.1.3	Untersuchung der Präzision von Messwerten	354
10.2	Qualitätssicherung in der Produktionsüberwachung	363
10.2.1	Erfassung der Verteilung von Messwerten	363
10.3	Qualitätsregelkarten in der Produktionsüberwachung	365
10.3.1	Aufbau und Funktion von Qualitätsregelkarten QRK	365
10.3.2	Berechnen der Regelgrenzen bei Lage-Qualitätsregelkarten	367
10.3.3	Interpretation von Lage-Qualitätsregelkarten	369
10.3.4	Regelgrenzen in Streuungs-Qualitätsregelkarten	371
10.3.5	Bewertung von Streuungs-Qualitätsregelkarten	372
10.3.6	Erstellen und Führen von Qualitätsregelkarten	373
10.4	Qualitätsregelkarten für das analytische Labor	374
10.4.1	Blindwert-Regelkarte	374
10.4.2	Wiederfindungsraten-Qualitätsregelkarte	375
11	Berechnungen zur Elektrotechnik	377
11.1	Grundbegriffe der Elektrotechnik	377
11.2	Elektrischer Widerstand und Leitwert eines Leiters	379
11.3	Ohm'sches Gesetz	381
11.4	Reihenschaltung von Widerständen	382
11.5	Parallelschaltung von Widerständen	384
11.6	Gruppenschaltungen, Netzwerk-Schaltungen	386
11.7	Wheatstone'sche Brückenschaltung	388
11.8	Thermische Widerstandsänderung, Widerstandsthermometer	389
11.9	Thermospannung, Thermoelement	390
11.10	Widerstandsänderung eines Leiters durch Dehnung	392
11.11	Elektrische Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad	393
11.12	Leistungsschilder elektrischer Geräte (rating plates)	395
11.13	Elektrische Leistung bei verschiedenen Stromarten	395
12	Elektrochemische Berechnungen	399
12.1	Elektrolytische Stoffabscheidung	399
12.2	Leitfähigkeit von Elektrolyten	402
12.2.1	Spezifische Elektrolyt-Leitfähigkeit	402
12.2.2	Konzentrationspezifische Leitfähigkeits-Kennwerte	403
12.3	Elektrochemische Potenziale	406
12.3.1	Halbzellenpotenziale (half-element potential)	406
12.3.2	Bezugselektroden	407
12.3.3	Galvanische Zellen (galvanic cell)	408
12.3.4	Konzentrationszelle (concentration cell)	409
12.3.5	Nernst'sche Gleichung (Nernst equation)	409
12.3.6	Homogene Redoxsysteme (homogeneous redox-systems)	410
12.3.7	pH-abhängige Redoxsysteme (pH-dependent systems)	410
12.3.8	Bestimmung des Löslichkeitsprodukts	411
13	Berechnungen zur Wärmelehre	413
13.1	Temperaturskalen	413
13.2	Verhalten der Stoffe bei Erwärmung	414
13.2.1	Thermische Längenänderung von Feststoffen	414
13.2.2	Thermische Volumenänderung von Feststoffen	415
13.2.3	Thermische Volumenänderung von Flüssigkeiten	416
13.2.4	Thermische Volumenänderung von Gasen	418
13.3	Wärmeinhalt von Stoffportionen	419
13.4	Aggregatzustandsänderungen	421
13.4.1	Schmelzen und Erstarren	421
13.4.2	Verdampfen, Kondensieren	422
13.4.3	Zusammengesetzte thermische Vorgänge	422
13.5	Temperaturänderung beim Mischen von Flüssigkeiten	423
13.6	Kalorimetrie (calorimetry)	425
13.7	Temperaturänderung beim direkten Heizen und Kühlen	426
13.8	Reaktionswärmen bei chemischen Reaktionen	428
13.9	Heizwert und Brennwert von Brennstoffen	432

13.10	Neutralisationsenthalpie	434	15.2	Wasserdampfdestillation	484
13.11	Lösungsenthalpie	434	15.3	Rektifikation (Gegenstrom-Destillation) ..	486
13.12	Reaktionsenthalpie, Entropie, freie Reaktionsenthalpie	435	15.3.1	Vorgänge in der Rektifikationskolonne ...	486
14	Bestimmung von Produkteigenschaften	440	15.3.2	Bestimmung der erforderlichen Trennstufen	487
14.1	Bestimmung der Dichte	440	15.3.3	Rektifikation mit Füllkörperkolonnen (packed column)	488
14.1.1	Dichtebestimmung mit dem Pyknometer	441	15.4	Flüssig-Flüssig-Extraktion (Solvent-Extraktion)	490
14.1.2	Dichtebestimmung mit Biegeschwinger-Messgeräten	444	16	Berechnungen mit Beschichtungsstoffen	493
14.1.3	Dichtemessung mit dem Aräometer	446	16.1	Gehaltsgrößen von Beschichtungsstoffen	493
14.1.4	Dichtebestimmung mit der hydrostatischen Waage	447	16.1.1	Massenanteile in Beschichtungsstoffen ..	494
14.1.5	Dichtemessung mit der Westphal'schen Waage	448	16.1.2	Pigment-Volumenkonzentration PVK in Beschichtungsstoffen	496
14.2	Bestimmung technischer Dichten von Schüttgütern	449	16.1.3	Pigment-Bindemittel-Massenverhältnis ..	497
14.2.1	Bestimmung der Schütt- und Rütteldichte	449	16.1.4	Umrechnung von Rezepturen	498
14.2.2	Bestimmung der Pressdichte	449	16.2	Bestimmung der Kenngrößen von Beschichtungen	500
14.3	Bestimmung der Viskosität	451	16.2.1	Experimentell bestimmte Größen	500
14.3.1	Dynamische und kinematische Viskosität	451	16.2.2	Berechnete Größen	501
14.3.2	Kugelfall-Viskosimeter nach Höppler	452	16.3	Schichtdicke von Beschichtungen	503
14.3.3	Auslauf-Viskosimeter	453	16.4	Verbrauch und Ergiebigkeit von Beschichtungsstoffen	506
14.3.4	Rotations-Viskosimeter	454	16.5	Maßanalytische Kennzahlen von Beschichtungsstoffen	510
14.4	Bestimmung der Oberflächenspannung ..	455	16.5.1	Aminzahl, H-aktiv-Äquivalentmasse	510
14.4.1	Bügelverfahren oder Ringverfahren	456	16.5.2	Isocyanatmassenanteil, Isocyanat-Äquivalentmasse	512
14.4.2	Tropfenmethode	456	16.5.3	Hydroxylzahl, Hydroxyl-Äquivalentmasse ..	512
14.4.3	Kapillarmethode	457	16.5.4	Epoxid-Äquivalentmasse, Epoxidwert ..	514
14.5	Bestimmung der molaren Masse	458	16.6	Mischen von Zweikomponenten-Lacken (2-K – Lacke)	515
14.5.1	Molare Masse aus den Gasgesetzen	458	16.6.1	2-Komponenten-Lacke mit Hydroxylgruppen und Isocyanatgruppen ..	515
14.5.2	Molare Masse aus der Dampfdruckerniedrigung	460	16.6.2	2-Komponenten-Lacke mit Epoxid-Gruppen und aktivem Wasserstoff	516
14.5.3	Molare Masse aus der Siedepunkterhöhung	461	17	Anhang	518
14.5.4	Molare Masse aus der Gefrierpunkterniedrigung	463		Griechisches Alphabet	518
14.5.5	Moderne Geräte zur Bestimmung der Gefrieretemperatur und molaren Masse ..	465		Physikalische Konstanten	518
14.5.6	Molare Masse aus dem osmotischen Druck	467		Tabelle: Korrelationskoeffizient	519
14.6	Bestimmung der Partikelgrößenverteilung von Schüttgütern	469		Tabelle: t -Verteilung	520
14.6.1	Auswertung einer Siebanalyse	469		Tabelle: F -Verteilung	521
14.6.2	Darstellung und Auswertung einer Siebanalyse im RRSB-Netz	471		Tabelle: χ^2 -Verteilung	524
14.6.3	Bestimmung der spezifischen Oberfläche von Schüttgütern	473		Kopiervorlage: Wahrscheinlichkeitsnetz	525
14.7	Auswertung einer Siebanalyse mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel ...	474		Tabelle: Tabellenwerte zur Prüfung auf Normalverteilung mit dem David-Hartley-Pearson-Test	526
14.7.1	Rechnerische Auswertung der Siebanalyse mit Excel	474		Tabelle: Tabellenwerte zum Ausreißertest nach Grubbs	527
14.7.2	Erstellen von Diagrammen zur Siebanalyse mit Excel	475		Tabelle: Tabellenwerte zum Ausreißertest nach Dixon	528
15	Trennen von Flüssigkeitsgemischen ..	477		Tabelle: Umrechnungsformeln für Gehaltsgrößen	529
15.1	Destillieren	477		Kopiervorlage: Millimeterpapier	530
15.1.1	Dampfdruck von Flüssigkeiten	477		Kopiervorlage: Einfach-Logarithmenpapier	531
15.1.2	Siedeverhalten homogener Flüssigkeitsgemische	477		Kopiervorlage: Doppelt-Logarithmenpapier	532
15.1.3	Siedediagramm	480		Kopiervorlage: Vordruck zur Datenerfassung einer Siebanalyse	533
15.1.4	Gleichgewichtsdiagramm	480		Kopiervorlage: Histogramm	533
15.1.5	Durchführen einer einfachen Destillation ..	481		Kopiervorlage: RRSB-Netz für die Siebanalyse ..	534
15.1.6	Fraktionierte Destillation (fractional destillation)	482		Kopiervorlage: Qualitätsregelkarte	535
				Sachwortverzeichnis	536

1 Mathematische Grundlagen, praktisches Rechnen

1

Basis des Rechnens in der Chemie sind die grundlegenden mathematischen Rechnungsarten sowie deren praktische Anwendung mit dem Taschenrechner oder dem Computer.

1.1 Zahlenarten

Beim Rechnen unterscheidet man die **bestimmten Zahlen** sowie die **allgemeinen Zahlen**.

Während die bestimmten Zahlen einen festen Wert haben, wie z.B. 3, 9, 5, $\frac{1}{2}$ usw., stehen die allgemeinen Zahlen, wie z.B. x , y , z , als Platzhalter für beliebige Zahlen.

■ Bestimmte Zahlen

Die bestimmten Zahlen kann man weiter in verschiedene Zahlenarten untergliedern.

Zahlenarten der bestimmten rationalen Zahlen	Beispiele
Natürliche Zahlen: Sie sind die zum Zählen benutzten Zahlen. Es sind positive ganze Zahlen sowie Null (0). Sie werden normalerweise ohne Pluszeichen (+) geschrieben.	0, 1, 2, 3, 4, ..., 10, 11, 12, ..., 37, ..., 59, 60, 61, ..., 107, ...
Die negativen ganzen Zahlen erhält man durch Subtrahieren einer größeren natürlichen Zahl von einer kleineren natürlichen Zahl. Beispiel: $5 - 7 = -2$; $15 - 29 = -14$	-1, -2, -3, ..., -18, -19, ...
Die ganzen Zahlen umfassen die natürlichen Zahlen (positive ganze Zahlen) und die negativen ganzen Zahlen.	0, 1, 2, 3, 4, ..., 71, 72, 73, ... -1, -2, -3, -4, ..., -21, -22, ...
Gebrochene Zahlen , auch Bruchzahlen genannt, sind Quotienten aus zwei ganzen Zahlen. Quotient ist der Name für einen Bruch, d.h. eine nicht ausgeführte Divisionsaufgabe ganzer Zahlen. Bruchzahlen können positiv und negativ sein.	$\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{2}{3}, \frac{5}{3}, 1\frac{1}{6}, \frac{7}{9}, \dots$ $-\frac{1}{2}, -\frac{1}{3}, -\frac{5}{3}, -2\frac{1}{3}, -\frac{7}{9}, \dots$
Dezimalzahlen sind Zahlen mit einem Komma. Es können positive und negative Dezimalzahlen sein.	1,748, 0,250, -8,32, -2,0, -0,5, -7,8316, 4,57, 7,8

Die bislang genannten Zahlen bezeichnet man insgesamt als **rationale Zahlen**. Außerdem gibt es die Gruppe der **irrationalen Zahlen**. Es sind bestimmte Zahlen.

Zahlenarten der bestimmten irrationalen Zahlen	Beispiele
Wurzelzahlen	$\sqrt{2} = 1,4142136\dots$; $\sqrt{3} = 1,7320508\dots$
Transzendente Zahlen	$\pi = 3,1415927\dots$; $e = 2,7182818\dots$
Die irrationalen Zahlen sind nicht periodische Dezimalzahlen mit unendlich vielen Stellen.	

■ Zahlenstrahl

Die bestimmten Zahlen lassen sich außer durch Ziffern (siehe Beispiele oben) auch zeichnerisch auf einem Zahlenstrahl als Strecke darstellen (**Bild 1**). Vom Nullpunkt aus nach rechts liegen die positiven Zahlen, nach links die negativen Zahlen.

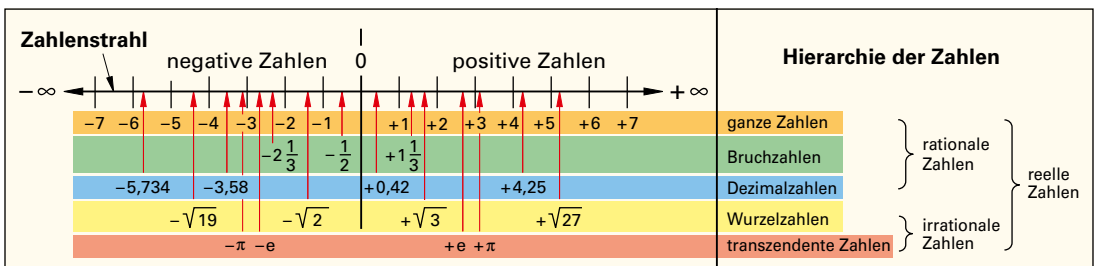


Bild 1: Zahlenarten und ihre Lage auf dem Zahlenstrahl, Hierarchie der Zahlen

Allgemeine Zahlen

Die allgemeinen Zahlen, auch Variable genannt, stehen als Platzhalter für eine beliebige Zahl.

In der Mathematik werden für die allgemeinen Zahlen die kleinen Buchstaben des Alphabets verwendet.

Beispiele
 a, b, c, \dots $u, v, w, \dots,$ x, y, z

In der technischen Mathematik benutzt man kleine oder große Buchstaben zur Benennung einer Variablen. Sie sind meist der Anfangsbuchstabe des deutschen oder englischen Namens der Variablen, wie z.B. l für Länge oder V für das Volumen.

$l, b, t, v, \dots, A, V, U, T, \dots$
 l Länge, b Breite, t Zeit (time), h Höhe,
 A Fläche (aerea), V Volumen, U Umfang,
 T thermodynamische Temperatur, ...

Aufgaben zu Zahlenarten

1. Zu welcher Zahlenart gehören folgende Zahlen:
 $0,7, -18, \sqrt{3}, 1/7, 0, -387, -\pi, -0,32$?

2. Wo liegen auf dem Zahlenstrahl die Zahlen:
 $-3\frac{1}{3}, 0,85, e, -0,25, \sqrt{9}, \frac{2}{4}, -3,50$?
Zeichnen Sie die Zahlen in den Zahlenstrahl ein.

1.2 Größen, Einheiten, Zeichen, Formeln

In chemischen Berechnungen wird meist mit Größen und Einheiten gerechnet, die mit mathematischen Zeichen in Formeln verknüpft sind.

Größen, Einheiten

Mit einer Größe (engl. physical quantity) werden chemische oder physikalische Eigenschaften beschrieben. Zu ihrer Kurzschreibweise benutzt man ein Größenzeichen, z.B. l für die Länge. Der Wert einer Größe besteht aus einem Zahlenwert und einem Einheitenzeichen, z.B. 5,8 kg. Das Einheitenzeichen ist eine Kurzform des Einheitennamens, z.B. kg für Kilogramm.

Beispiel: Die Länge einer 3,40 Meter langen Rohrleitung beträgt: $l = 3,40 \text{ m}$.

Es gibt 7 **Basisgrößen**, auf die sich alle Größen zurückführen lassen (**Tabelle 1**).

Mathematische Zeichen

Die mathematischen Zeichen (engl. mathematical symbols) dienen zur Kurzbezeichnung einer mathematischen Operation (**Tabelle 2**).

Beispiel: Sollen zwei Zahlen multipliziert werden, so setzt man zwischen die Zahlen einen Multiplikationspunkt, z.B. $3 \cdot 5$.

Für Flächenformate und räumliche Abmessungen ist auch das Multiplikationskreuz \times zugelassen.

Beispiel: $3 \text{ m} \times 5 \text{ m}$

Formeln, Größengleichungen

Die gesetzmäßigen Zusammenhänge zwischen Größen werden durch Größengleichungen (engl. equations) oder Formeln (engl. formula) ausgedrückt. Mithilfe von Größengleichungen lassen sich durch Umstellen und Auflösen die gesuchten Größen berechnen (Seite 23).

Tabelle 1: Basisgrößen und ihre Einheiten (nach SI)			
Physikalische Größen	Größenzeichen	Einheitenname	Einheitenzeichen
Länge	l	Meter	m
Masse	m	Kilogramm	kg
Stoffmenge	n	Mol	mol
Zeit	t	Sekunde	s
Thermodynamische Temperatur	T	Kelvin	K
Stromstärke	I	Ampere	A
Lichtstärke	I_v	Candela	cd

Tabelle 2: Mathematische Zeichen (DIN 1302)			
Zeichen	Bedeutung	Zeichen	Bedeutung
$+, -$	plus, minus	$<, >$	kleiner, größer
$:, -, /$	geteilt durch, pro	\leq, \geq	kleiner gleich, größer gleich
\cdot, \times	mal	Δ	Differenz
$=, \neq$	ist gleich, ist ungleich	\dots	und so weiter
\approx	beträgt rund	∞	unendlich
\equiv	identisch gleich	\pm	plus/minus
\sim	proportional	$ a $	Betrag von a
$\hat{=}$	entspricht	$\sqrt{}$	Wurzel

Beispiel für Größengleichungen:

Fläche $A = l \cdot b$ Gewichtskraft $F_G = m \cdot g$
Volumen $V = l \cdot b \cdot h$ Geschwindigkeit $v = \frac{s}{t}$

1.3 Grundrechnungsarten

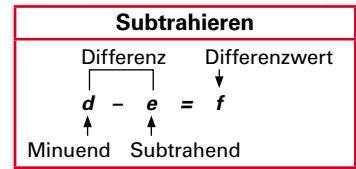
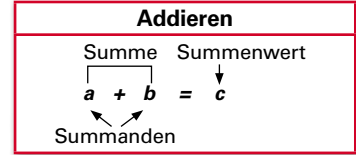
1

1.3.1 Addieren und Subtrahieren

Diese beiden Rechnungsarten werden wegen ihrer aus Strichen bestehenden mathematischen Zeichen (+, −) auch als Strichrechnungen bezeichnet.

Beim **Addieren** (Zusammenzählen, engl. to add) werden die einzelnen Summanden zusammengezählt. Das Ergebnis heißt Summenwert oder kurz Summe.

Beim **Subtrahieren** (Abziehen, engl. to subtract) zieht man von einer Zahl eine andere Zahl ab. Das Ergebnis ist der Differenzwert, einfach auch Differenz genannt.



Rechenregeln und Klammern beim Addieren und Subtrahieren	
Rechenregeln	Beispiele
Nur gleichartige allgemeine Zahlen bzw. Größen können addiert bzw. subtrahiert werden.	$8\text{ m}^2 + 72\text{ cm}^2 + 7,5\text{ m}^2 - 23\text{ cm}^2 = 15,5\text{ m}^2 + 49\text{ cm}^2$
Die einzelnen Glieder in einer Strichrechnung können vertauscht werden (Kommutativgesetz).	$5 - 16 + 7 = -16 + 7 + 5 = -4;$ $11x - 3x + 9x = 11x + 9x - 3x = 17x$
Einzelne Glieder können zu Teilsummen bzw. Teildifferenzen zusammengefasst werden (Assoziativgesetz).	$2 + 5 - 2 - 1 = 7 - 3 = 4$ $8u - 3v + 3u + 8v = 11u + 5v$
Klammern beim Addieren und Subtrahieren	
Klammern, () oder [], fassen Teilsummen bzw. Teildifferenzen zusammen. Das Vorzeichen der Glieder in der Klammer kann sich durch das Setzen oder Weglassen von Klammern ändern.	
Steht ein + Zeichen vor einer Klammer, so kann man sie weglassen, ohne dass sich die Vorzeichen der Glieder in der Klammer ändern.	$25 + (5 - 3) = 25 + 5 - 3 = 27;$ $7a + (3a - 9a) = 7a + 3a - 9a = 1a = a$
Steht ein − Zeichen vor einer Klammer, so muss man beim Weglassen der Klammer das Vorzeichen aller Glieder in der Klammer umkehren. Setzt man eine Klammer, vor der ein − Zeichen steht, so muss man ebenfalls das Vorzeichen aller Glieder, die in der Klammer stehen, umkehren.	$16 - (3 - 2 + 8 - 5) = 16 - 3 + 2 - 8 + 5 = 12$ $5x - (2x + 9a - 7b) = 5x - 2x - 9a + 7b$

Aufgaben zum Addieren und Subtrahieren

- Ermitteln Sie das Ergebnis:
 $59,30 a - 27,53 a + 7,83 b - 21,04 b$
- Klammern Sie aus:
 $8,3 x - 7,8 a + 2,5 x - 9,2 a$
- Lassen Sie die Klammer weg und berechnen Sie das Ergebnis:
 $25 a - (36 b - 19 a - 11 b - 12 a)$
- Ermitteln Sie die Maße l_1 , l_2 , l_{ges} der Rohrleitung in **Bild 1**. Die Maße in der Zeichnung sind in mm angegeben.

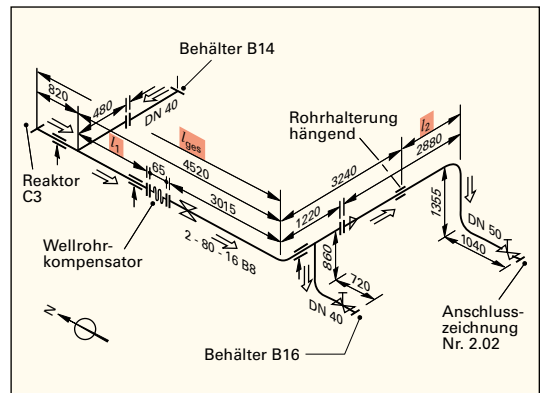


Bild 1: Maße in einer Rohrleitungszeichnung