

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	4	Stöchiometrische Berechnungen	122
1.13	Berechnungen mit Anteilen	31	4.1	Grundgesetze der Chemie	122
2	Auswertung von Messwerten und Prozessdaten	36	4.2	Aufbau der chemischen Elemente	122
2.1	Messtechnik in der Chemie	36	4.3	Symbole und Ziffern in chemischen Formeln	124
2.1.1	Grundbegriffe der Messtechnik	36	4.4	Quantitäten von Stoffportionen	125
2.1.2	Unsicherheit von Messwerten	37	4.4.1	Stoffmenge	125
2.1.3	Messgenauigkeit im Labor und Chemiebetrieb	38	4.4.2	Molare Masse	126
2.2	Rechnen mit Messwerten	42	4.4.3	Atomare Masseneinheit	127
2.2.1	Signifikante Ziffern	42	4.5	Zusammensetzung von Verbindungen und Elementen	128
2.2.2	Runden	42	4.5.1	Massenanteile von Bestandteilen in Verbindungen	128
2.2.3	Rechnen mit Messwerten ohne angegebene Unsicherheit	43	4.5.2	Masse der Bestandteile in Portionen von Verbindungen	128
2.2.4	Rechnen mit Messwerten mit angegebener Unsicherheit	44	4.5.3	Zusammensetzung von Isotopengemischen	129
2.3	Auswertung von Messwertreihen	45	4.6	Empirische Formel, Molekülformel (Teilchenformel)	130
2.3.1	Statistische Kennwerte	45	4.6.1	Berechnung der empirischen Formel einer Verbindung	131
2.3.2	Absoluter und relativer Fehler	45	4.6.2	Berechnung der Molekülformel einer Verbindung	132
2.3.3	Standardabweichung	46	4.6.3	Ermittlung der Molekülformel mit der Elementaranalyse	133
2.3.4	Gauß'sche Normalverteilung	47	4.7	Berechnungen mit Gasportionen	134
2.3.5	Auswertung mit dem Taschenrechner und Computer	47	4.7.1	Gase bei Normbedingungen	134
2.4	Darstellung von Messergebnissen	49	4.7.2	Gasportionen bei beliebigen Drücken und Temperaturen	136
2.4.1	Messwerte in Wertetabellen	49	4.7.3	Bestimmung der molaren Masse aus der allgemeinen Gasgleichung	138
2.4.2	Grafische Darstellung von Messwerten	50			
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 Titers 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 Abwasserkennwerten ..	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	11	Berechnungen zur Elektrotechnik	377
8.6.4	Hydroxylzahl OHZ	293	11.1	Grundbegriffe der Elektrotechnik	377
8.6.5	Iodzahl IZ	295	11.2	Elektrischer Widerstand und Leitwert eines Leiters	379
8.7	Optische Analyseverfahren	298	11.3	Ohm'sches Gesetz	381
8.7.1	UV/VIS-Spektroskopie	298	11.4	Reihenschaltung von Widerständen	382
8.7.2	Refraktometrie	311	11.5	Parallelschaltung von Widerständen	384
8.7.3	Polarimetrie	314	11.6	Gruppenschaltungen, Netzwerk-Schaltungen	386
8.8	Chromatografie	316	11.7	Wheatstone'sche Brückenschaltung	388
8.8.1	Dünnschichtchromatografie und Papierchromatografie	316	11.8	Thermische Widerstandsänderung, Widerstandsthermometer	389
8.8.2	Säulenchromatografie	317	11.9	Thermospannung, Thermoelement	390
8.8.3	Kenngrößen der Chromatografie	319	11.10	Widerstandsänderung eines Leiters durch Dehnung	392
8.8.4	Trennwirkung einer chromatografischen Säule	320	11.11	Elektrische Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad	393
8.8.5	Detektorempfindlichkeit – Responsefaktor	322	11.12	Leistungsschilder elektrischer Geräte (rating plates)	395
8.8.6	Auswertung Säulenchromatografischer Analysen – Kalibriermethoden	323	11.13	Elektrische Leistung bei verschiedenen Stromarten	395
9	Statistische Methoden in Biologie und analytischer Chemie	334	12	Elektrochemische Berechnungen	399
9.1	Datengewinnung	334	12.1	Elektrolytische Stoffabscheidung	399
9.2	Kennwerte zur Charakterisierung von Datenreihen	334	12.2	Leitfähigkeit von Elektrolyten	402
9.2.1	Kennwerte zur Charakterisierung der mittleren Lage von Daten	335	12.2.1	Spezifische Elektrolyt-Leitfähigkeit	402
9.2.2	Kennwerte zur Charakterisierung der Streuung von Stichprobenwerten	337	12.2.2	Konzentrationspezifische Leitfähigkeits-Kennwerte	403
9.3	Korrelation von Datenreihen	339	12.3	Elektrochemische Potenziale	406
9.4	Regressionsanalyse von Datenreihen	340	12.3.1	Halbzellenpotenziale (half-element potential)	406
9.5	Statistische Prüfverfahren (Signifikanztests)	341	12.3.2	Bezugselektroden	407
9.5.1	Prüfung zweier arithmetischer Mittelwerte: <i>t</i> -Test (Student-Test, Sollwert <i>t</i> -Test)	342	12.3.3	Galvanische Zellen (galvanic cell)	408
9.5.2	Prüfung zweier Varianzen: <i>F</i> -Test (Fisher-Test)	343	12.3.4	Konzentrationszelle (concentration cell)	409
9.5.3	Der χ^2 -Test (χ^2 -Test)	344	12.3.5	Nernst'sche Gleichung (Nernst equation)	409
10	Qualitätssicherung in der Chemie	348	12.3.6	Homogene Redoxsysteme (homogeneous redox-systems)	410
10.1	Validierung analytischer Verfahren	348	12.3.7	pH-abhängige Redoxsysteme (pH-dependent systems)	410
10.1.1	Richtigkeit und Präzision von Messwerten	348	12.3.8	Bestimmung des Löslichkeitsprodukts	411
10.1.2	Untersuchung der Richtigkeit von Messwerten	349	13	Berechnungen zur Wärmelehre	413
10.1.3	Untersuchung der Präzision von Messwerten	354	13.1	Temperaturskalen	413
10.2	Qualitätssicherung in der Produktionsüberwachung	363	13.2	Verhalten der Stoffe bei Erwärmung	414
10.2.1	Erfassung der Verteilung von Messwerten	363	13.2.1	Thermische Längenänderung von Feststoffen	414
10.3	Qualitätsregelkarten in der Produktionsüberwachung	365	13.2.2	Thermische Volumenänderung von Feststoffen	415
10.3.1	Aufbau und Funktion von Qualitätsregelkarten QRK	365	13.2.3	Thermische Volumenänderung von Flüssigkeiten	416
10.3.2	Berechnen der Regelgrenzen bei Lage-Qualitätsregelkarten	367	13.2.4	Thermische Volumenänderung von Gasen	418
10.3.3	Interpretation von Lage-Qualitätsregelkarten	369	13.3	Wärmeinhalt von Stoffportionen	419
10.3.4	Regelgrenzen in Streuungs-Qualitätsregelkarten	371	13.4	Aggregatzustandsänderungen	421
10.3.5	Bewertung von Streuungs-Qualitätsregelkarten	372	13.4.1	Schmelzen und Erstarren	421
10.3.6	Erstellen und Führen von Qualitätsregelkarten	373	13.4.2	Verdampfen, Kondensieren	422
10.4	Qualitätsregelkarten für das analytische Labor	374	13.4.3	Zusammengesetzte thermische Vorgänge	422
10.4.1	Blindwert-Regelkarte	374	13.5	Temperaturänderung beim Mischen von Flüssigkeiten	423
10.4.2	Wiederfindungsraten-Qualitätsregelkarte	375	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 Gefriertemperatur 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 distillation)	482		Kopiervorlage: Qualitätsregelkarte	535
				Sachwortverzeichnis	536