

# Rechnen in der Chemie

Von

**Dr. techn. Ing. Walter Wittenberger**

dzt. Chemiker der AB Bofors Nobelkrut, Bofors (Schweden)  
früher Aussig/Elbe

Zweiter Teil

Mit über 500 entwickelten Übungsbeispielen und  
Übungsaufgaben samt Lösungen und 116 Abbildungen



Springer-Verlag Wien GmbH

1950

**Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung  
in fremde Sprachen, vorbehalten**

**ISBN 978-3-662-35526-8**

**ISBN 978-3-662-36354-6 (eBook)**

**DOI 10.1007/978-3-662-36354-6**

## Vorwort.

Im Vorwort zur 2. Auflage des I. Teiles wurde bereits darauf hingewiesen, daß sich der Verlag aus rein technischen Gründen gezwungen sah, das im Jahre 1947 erschienene „Rechnen in der Chemie“, unter der Bezeichnung I. Teil, als unveränderten, auf photomechanischem Wege hergestellten Neudruck erscheinen zu lassen.

Verlag und Verfasser mußten sich daher entschließen, die geplanten umfangreichen Ergänzungen und Erweiterungen in Form eines eigenen Buches, unter der Bezeichnung II. Teil, herauszubringen. Wir haben diesen Weg gewählt, trotzdem wir uns bewußt waren, daß dieser Ausführung verschiedene Mängel anhaften mußten. Denn wenn auch gegen eine Aufteilung des gesamten Stoffes auf zwei Bände, etwa für Anfänger und Fortgeschrittenere, an sich nichts einzuwenden ist, so müßte doch eine solche, wäre sie von Anfang an geplant gewesen, exakter durchgeführt sein. So aber war es nicht zu umgehen, daß mancher Abschnitt, der nun im II. Teil erscheint, als Ergänzung in den I. Teil gehören würde und umgekehrt. Eine zeitweilige Mitverwendung des I. Teiles wird sich daher als notwendig erweisen und wir müssen die interessierten Kreise um Verständnis für diese Maßnahme bitten und glauben, dieselbe in Anbetracht des dem Buch gesteckten Zieles und im Interesse der Chemiestudenten, deren berufliche Ausbildung wir vor allem in Hinblick auf ihre spätere praktische Tätigkeit unterstützen wollen, verantworten zu können.

Die Anordnung des Stoffes ist ähnlich der des I. Teiles. Ein ausführliches Sachregister soll die Auffindung einer gewünschten Rechnung rasch ermöglichen. Bei der unübersehbaren Fülle des Stoffes kann freilich jeder einzelne Abschnitt nur eine Art Einführung in das betreffende Spezialgebiet darstellen, aber doch die Grundlagen vermitteln; eine ausführliche Behandlung würde jedes Kapitel zu einem eigenen Buch anschwellen lassen. Aber Hauptzweck des Buches soll es ja sein, die vielfältigen Möglichkeiten der rechnerischen Behandlung chemischer, chemisch-

physikalischer und chemisch-technischer Probleme zu zeigen. Es soll vor allem durch eine Auswahl von vollständig entwickelten Beispielen mithelfen, daß bereits der Chemiestudent die bekannte Abneigung gegen die „mathematische Chemie“ ablegt und erkennt, daß letztere nicht nur interessant, sondern auch für seine spätere berufliche Tätigkeit von größtem Nutzen sein kann. Eine große Zahl von Beispielen und Aufgaben ist der Fachbuch- und Zeitschriftenliteratur entnommen (Zusammenstellung der benutzten Literatur siehe S. 363), wodurch eine Verbindung zwischen Lehr- und Lerntätigkeit einerseits und Forschung sowie praktischer Laboratoriums- und Betriebsarbeit andererseits hergestellt sein dürfte.

In der Praxis wird immer wieder die Erfahrung gemacht, daß zwischen dem Kennen der verschiedenen Formeln und Gesetzmäßigkeiten der Chemie und Technik und dem praktischen Rechnen mit ihnen für den Ungeübten ein oft recht mühsamer Weg zurückzulegen ist. Was aber der Chemiker in der Praxis benötigt, ist ja gerade die Anwendung und Auswertung dieser Gesetzmäßigkeiten. Der Studierende soll sich daher nicht von vornherein auf den Standpunkt stellen, daß die zahlenmäßige Auswertung einer Formel eine selbstverständliche Sache sei. Nicht immer erhält man Meßgrößen, die sich zum unmittelbaren Einsetzen in eine Formel eignen, nicht immer stimmen die Dimensionen der einzelnen Größen überein (häufige Ursache von Fehlergebnissen!). Das Hauptgewicht des Buches liegt daher auf dem praktischen Zahlenbeispiel, auf dem Wege von der Formel zum zahlenmäßig ausgedrückten Resultat. Aus diesem Grunde habe ich auch den Abschnitt 10. Lösungen zu den Aufgaben ziemlich ausführlich gehalten. Freilich verleitet ein in allen Einzelheiten vorgerechnetes Beispiel den Studierenden dazu, den Gedankengang und den Aufbau der Lösung als „selbstverständlich“ zu betrachten — auf sich allein gestellt, würde er, vor allem als Anfänger, bald anderer Meinung sein. Für ein ernsthaftes Studium muß daher gefordert werden, daß jeder soviel Selbstdisziplin besitzt, um die entwickelten Lösungen nur zur Kontrolle der selbst durchgeführten Rechnung heranzuziehen. Alle jene aber, die nicht im Studium stecken, sondern in der Praxis arbeiten, sind, wie ich immer wieder feststellen konnte, besonders an Beispielen, die in allen Einzelheiten entwickelt sind, interessiert.

Jedem einzelnen Abschnitt wurden kurzgefaßte theoretische Erläuterungen vorangestellt. Für ein gründlicheres Studium dieser theoretischen Grundlagen muß aber auf die Lehrbücher

der Mathematik, physikalischen und analytischen Chemie, Chemie-Ingenieur-Technik und auf die verschiedenen Spezialwerke verwiesen werden.

Viele der verwendeten Zahlengrößen sind naturgemäß Tabellen, in erster Linie dem Taschenbuch für Chemiker und Physiker entnommen. Durch die entsprechenden Hinweise (im Buch als Chem. Tasch. mit der betreffenden Tabellenummer vermerkt) kann sich bereits der Student von der Notwendigkeit und dem vielseitigen Gebrauch solcher Tabellenwerke überzeugen.

Der Verlag hat durch seine Bereitwilligkeit zur Herausgabe dieses recht umfangreich gewordenen II. Teiles bewiesen, daß er es ebenfalls als seine Aufgabe betrachtet, die Ausbildung unseres Chemienachwuchses tatkräftig zu fördern. Dafür müssen wir ihm aufrichtig danken. Auch persönlich muß ich dem Verlag für die vorbildliche Zusammenarbeit Dank sagen.

So übergebe ich das Buch den Fachkreisen mit dem Wunsche, daß es dem Chemiestudenten den Übergang in die Praxis erleichtern möge, und daß es manchen von seiner Abneigung dem chemischen Rechnen gegenüber bekehrt. Es hätte seinen Zweck erfüllt, wenn es dem Rechnen in der Chemie dem ihm gebührenden Platz während der Ausbildung sichern helfen könnte und wenn recht viele, die darin blättern, angeregt würden, Papier und Bleistift zur Hand zu nehmen und nun selbst zu rechnen.

Bofors (Schweden), im Herbst 1949.

**Walter Wittenberger**

## Inhaltsverzeichnis.

	Seite
1. Allgemeines Rechnen .....	1
A. Grundbegriffe der analytischen Geometrie .....	1
Rechtwinklige Koordinaten 1. — Gleichungen geometrischer Linien 2. — Transformation der Koordinaten 4. — Polarkoordinaten 5. — Räumliche Koordinaten 6.	
B. Flächen- und Körperberechnungen .....	6
Dreieck 6. — Regelmäßige Vielecke (Polygone) 6. — Unregelmäßige Flächen 7. — Kegelschnitte 7. — Schiefes Prisma und schiefer Zylinder 7. — Schiefe Pyramide und schiefer Kegel 8. — Schiefabgeschnittener Zylinder 8. — Zylinderhuf 8 — Zylindrischer Ring 8. — Kugelsektor 8. — Kugelzone 9. — Dreiachsiges Ellipsoid 9.	
C. Trigonometrische Funktionen .....	9
Kreisfunktionen (zyklometrische Funktionen) 9. — Besondere Werte der Winkelfunktionen 9. — Umwandlung der Winkelfunktionen ineinander 10. — Zusammengesetzte Winkel 10.	
D. Logarithmen .....	11
Der BRIGGSche oder dekadische Logarithmus 11. — Der natürliche Logarithmus 11.	
2. Grundzüge der höheren Mathematik .....	12
A. Differentialrechnung .....	12
Der Differentialquotient 12. — Zusammenstellung der Differentialquotienten der einfachen Funktionen 13. — Differentiationsregeln 14. — Der zweite Differentialquotient oder die zweite Abteilung 17. — Maxima und Minima 18.	
B. Integralrechnung .....	20
Das unbestimmte Integral 20. — Die einfachsten Integralformen 21. — Sätze und Integrationsmethoden 22. — Bestimmte Integrale 24. — Länge ebener Kurven (Rektifikation) 25. — Berechnung des Flächeninhaltes (Quadratur) 26. — Oberfläche von Rotationskörpern (Komplanation) 28. — Inhalt von Rotationskörpern (Kubatur) 28.	

	Seite
C. Reihen .....	29
Allgemeines 29. — Formeln für die Reihenentwicklung 30. — Integration durch Reihen 32.	
D. Anwendungen auf physikalisch-chemische Aufgaben ...	33
Molwärme 33. — Größte Dichte des Wassers 33. — Brechungsgesetz 34. — Dampfdruckformel 34. — Genauigkeit eines Meßergebnisses 35. — Temperatur- abhängigkeit der Suszeptibilität 35. — Differenz der Molwärmern 36. — Isothermische Gaskompression 37. — Radioaktiver Zerfall 38. — Luftdruck 39. — Monomole- kulare Reaktion 41. — Bimolekulare Reaktion 42. — Zer- fall von Stickoxydul 43. — Molwärmern fester Körper 44.	
3. Graphisches Rechnen .....	45
A. Zusammenhang zweier veränderlicher Größen .....	45
Graphische Darstellung von Naturgesetzen 45. — Unterdrückter Nullpunkt 46. — Mehrdeutige Funktionen 46. — Unstetige Funktionen 47.	
B. Graphische Papiere .....	47
Arten der graphischen Papiere 47. — Darstellung auf graphischen Papieren 48. — Graphische Integration und Näherungsformeln 49.	
C. Graphische Darstellung von drei abhängigen Größen ...	51
D. Graphische Darstellung binärer und ternärer Gemische	53
Binäre Gemische 53. — Ternäre Gemische 56.	
E. Graphische Rechentafeln (Nomographie) .....	57
Anwendung von Nomogrammen 57. — Konstruktion von Nomogrammen 57.	
4. Das Meßergebnis .....	63
A. Kontrolle des Rechenergebnisses .....	63
Kontrolle des Rechenergebnisses 63. — Rechenhilfen beim Zahlenrechnen 64. — Rechenhilfen für über- schlagliche chemische Rechnungen 65.	
B. Schreibweise der Zahlen und Formeln .....	66
Abrunden von Zahlen 66. — Mathematische Zeichen und Formelzeichen 66. — Schreibweise der Zahlen und Dimensionen 68.	
C. Maßeinheiten .....	70
Einheiten des physikalischen und technischen Maß- systems 70. — Umrechnung von Maßeinheiten 73. — Konzentrationsangaben 74. — Einheiten des britischen und amerikanischen Maßsystems 75.	
D. Aufstellung einer Formel aus den Meßergebnissen .....	76
Allgemeines 76. — Bestimmung der Konstanten einer Gleichung auf graphischem Wege 78. — Ausgleichs- rechnung 83.	
E. Fehlerrechnung .....	84
Der mittlere Fehler 84. — Das GAUSSSCHE Fehlerver- teilungsgesetz 88.	

	Seite
F. Interpolation und Extrapolation . . . . .	92
Interpolation 92. — Extrapolation 96.	
G. Näherungsweise Lösung numerischer Gleichungen . . . . .	97
5. Lösungen . . . . .	99
A. Löslichkeitskurven . . . . .	99
B. Mischungsrechnung . . . . .	100
Verdünnen von Lösungen nach dem spezifischen Gewicht 100. — Berechnung des Mischungsverhältnisses aus der Stoffbilanz 101. — Herstellung und Wieder- belebung von Mischsäure 101. — Partialvolumina 103.	
C. Lösungen von Salzgemischen . . . . .	104
D. Maßanalyse . . . . .	106
Normallösungen 106. — Maßanalytische Temperatur- korrektur 108. — Eichen von Meßgeräten 109.	
6. Gasvolumina . . . . .	111
A. Druck . . . . .	111
Korrektur der Barometerstandablesung 111. — Norm- zustand 112.	
B. Gasmischungen . . . . .	112
Das DALTONSche Gesetz 112. — Teilweise Sättigung eines Gases mit Feuchtigkeit 114.	
C. Löslichkeit der Gase . . . . .	115
D. Spezifisches Gewicht der Gase . . . . .	117
Dampfdichte 117. — Theoretische Berechnung des spezifischen Gewichtes eines einheitlichen Dampfes 118.	
E. Dissoziation von Gasen . . . . .	119
F. Die kinetische Gastheorie . . . . .	121
LOSCHMIDTSche Zahl 121. — Stoßzahl und freie Weg- länge 121. — Molwärme 124.	
G. Die kritischen Daten . . . . .	127
Die Zustandsgleichung nach VAN DER WAALS 127. — Die kritischen Daten 129.	
7. Physikalisch-chemische Rechnungen . . . . .	133
A. Optische Eigenschaften . . . . .	133
Lichtbrechungsverhältnis 133. — Kolorimetrie 136.	
B. Oberflächenspannung . . . . .	137
Oberflächenspannung und Oberflächenenergie 137. — Messung der Oberflächenspannung 138. — Temperatur- abhängigkeit der Oberflächenenergie 140. — Der Para- chor 142.	
C. Zähigkeit . . . . .	143
Zähigkeit von Flüssigkeiten 143. — Zähigkeit von Gasen 144.	
D. Chemische Thermodynamik . . . . .	145
Der erste Hauptsatz 145. — Der zweite Hauptsatz. Entropie 149.	



	Seite
E. Massenwirkungsgesetz . . . . .	157
Gleichgewichtskonstante 157. — Löslichkeitsprodukt 161. — Säuren-Basen-Gleichgewicht 163. — Ionenaktivität 172.	
F. Elektrochemie . . . . .	176
Elektromotorische Kräfte 176. — Leitfähigkeit 187.	
G. Thermochemie . . . . .	191
Thermochemische Reaktionsgleichungen 191. — Temperaturabhängigkeit der Wärmetönung 192. — Temperaturabhängigkeit der Gleichgewichtslage 194. — Lösungswärme 202. — Temperaturabhängigkeit der EMK 203.	
H. Zweistoffsysteme . . . . .	205
Phasenregel 205. — Verteilungssatz von NERNST 205. — Dampfdruck- und Gefrierpunktniedrigung verdünnter Lösungen 208. — Dampfdruck 210. — Siedediagramme 219. — Wasserdampfdestillation 227. — Adsorption 229.	
J. Reaktionsgeschwindigkeit . . . . .	230
Monomolekulare Reaktionen 230. — Bimolekulare Reaktionen 232. — Reaktionsordnung 233. — Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit 234.	
K. Diffusion . . . . .	235
L. Photochemie . . . . .	236
M. Chemische Konstitution und physikalische Eigenschaften . . . . .	237
Allgemeines 237. — Schmelzpunkt und Siedepunkt 238. — Molvolumen und Dichte 239. — Molrefraktion 239. — Oberflächenspannung 239. — Thermochemische Daten 239. — Dielektrizitätskonstante 240. — Temperaturabhängigkeit verschiedener Eigenschaften 241.	
8. Chemisch-technische Rechnungen . . . . .	241
A. Stoffbilanz und Wärmebilanz . . . . .	241
B. Flüssigkeitsströmung . . . . .	242
Bodendruck 242. — Ausströmen aus einer Öffnung 242. — Strömungsverhältnisse in Rohren 244. — Laminare und turbulente Strömung 246. — Reibungsverluste in Rohren 247.	
C. Gasströmung . . . . .	250
Strömung von Gasen in Rohren 250. — Ausströmen von Gasen aus einer Öffnung 252. — Der Zug im Schornstein 255.	
D. Sedimentation . . . . .	256
Die Formel von STOKES 256. — Schlämmanalyse 258. — Klassieren 261.	
E. Viskosität von Schmierölen . . . . .	263
Konventionelle Viskositätszahlen 263. — Absolute Zähigkeit 264.	

	Seite
F. Technische Thermodynamik .....	266
Übersicht über die Zustandsänderungen 266. — Isothermische Zustandsänderung 266. — Adiabatische Zustandsänderung 267. — Polytropische Zustandsänderung 267. — Der CARNOTSche Kreisprozeß 269. — Gemischte Aufgaben aus der Thermodynamik 271.	
G. Wärmenutzung .....	272
Wärmebilanz einer Dampfkesselfeuerung 272. — Nutzeffekt eines Gaserzeugers 278. — Wirkungsgrad einer Tauchbrenneranlage 281.	
H. Wärmeübergang .....	281
Wärmeleitung und Wärmeübergang 281. — Wärmedurchgangszahl 283. — Wärmestrahlung 289.	
J. Verdampfen und Destillieren .....	290
Verdampfungswärme 290. — Einfachverdampfung 292. — Mehrfachverdampfung 294. — Theoretische Bodenzahl eines Rektifizierapparates 300.	
K. Trocknen .....	306
Das $I$ - $X$ -Diagramm 306. — Anwendung des $I$ - $X$ -Diagrammes auf die Verdunstungstrocknung 309.	
L. Filtration .....	314
9. Technische Rechnungen .....	316
A. Fördereinrichtungen .....	316
Kolbenpumpe 316. — Kreiselpumpe 317. — Mammutpumpe (Luftheber) 318. — Förderschnecke 319. — Transportband 320. — Becherwerk 321.	
B. Hebezeuge .....	322
Schraube 322. — Flaschenzug 323. — Differentialflaschenzug 323.	
C. Pressen .....	324
Schraubenpresse 324. — Hydraulische Presse 324.	
D. Zerkleinerungsmaschinen .....	324
Walzwerk 324. — Kugelmühle 325. — Kollergang 326.	
E. Zentrifugen .....	328
F. Kraftübertragung .....	329
Transmissionen 329. — Übersetzungsverhältnis 329. — Riemenabmessungen 330. — Elektromotor 331.	
G. Druckgefäße .....	332
Sicherheitsventil 332. — Wandstärke von Druckgefäßen 332.	
10. Lösungen zu den Aufgaben .....	335
11. Tabellen und Tafeln .....	361
Wasserdampftafel 361. — Molwärmern $C_p$ einiger Gase 362.	
Benutzte Literatur .....	363
Sachverzeichnis .....	366

### **Berichtigung.**

Im **I. Teil**, 1. und 2. Aufl., S. 167, Aufgabe 378, sind die beiden Zahlen für den Thiosulfatverbrauch zu vertauschen. Es muß also richtig heißen: Verbrauch 31,6 ml; für den Blindversuch 46,6 ml.

Im **II. Teil**, S. 191, letzte Zeile, lies:  $C_6H_5COOH$  statt:  $C_5H_8COOH$ .