



**EUROPA-FACHBUCHREIHE**  
für Chemieberufe

# Physikalische Chemie

2. neu bearbeitete Auflage

von

Heinz Hug  
Wolfgang Reiser

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

**Europa-Nr: 71519**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b><u>Grundlegende Größen der Physik und Stöchiometrie</u></b>	<b>9</b>
1.1	<b>Physikalische Größen</b>	9
1.1.1	Dichte	9
1.1.2	Druck	10
1.1.3	Elektrische Stromstärke, elektrische Spannung und elektrischer Widerstand	12
1.2	<b>Stöchiometrische Grundbegriffe</b>	13
1.2.1	Grundgesetze der Stöchiometrie	13
1.2.2	Atom- und Molekülmasse	14
1.2.3	Umsatz- und Ausbeuteberechnung	15
1.2.4	Gehaltsangaben von Mischphasen	17
1.3	<b>Aktivität und Fugazität</b>	19
1.3.1	Aktivität	20
1.3.2	Fugazität	21
<b>2</b>	<b><u>Gase</u></b>	<b>22</b>
2.1	<b>Ideale Gase</b>	<b>22</b>
2.2	<b>Gasgesetze idealer Gase</b>	22
2.2.1	Isotherme Zustandsänderung	23
2.2.2	Isobare Zustandsänderung	24
2.2.3	Isochore Zustandsänderung	26
2.2.4	Die allgemeine Zustandsgleichung für ideale Gase (1. Form)	27
2.2.5	Das Gesetz von <i>Avogadro</i>	28
2.2.6	Die universelle Zustandsgleichung idealer Gase (allgemeine Zustandsgleichung 2. Form)	28
2.3	<b>Die Bestimmung der molaren Masse</b>	<b>30</b>
2.4	<b>Mischungen idealer Gase</b>	32
2.4.1	Das Gesetz von <i>Dalton</i>	33
2.4.2	Feuchte Gase	35
2.4.3	Mittlere molare Masse einer Gasmischung	37
2.4.4	Thermische Dissoziation	38
2.5	<b>Reale Gase</b>	41
2.5.1	<i>van-der-waals</i> -Zustandsgleichung	43
2.5.2	Anwendung der <i>van-der-waals</i> -Gleichung	44
2.5.3	Zustandsgebiete	46
2.5.4	Gasverflüssigung durch den <i>Joule-Thomson-Effekt</i>	46
	<b>Übungen zu Kapitel 2</b>	<b>47</b>
<b>3</b>	<b><u>Das chemische Gleichgewicht</u></b>	<b>49</b>
3.1	<b>Das Massenwirkungsgesetz</b>	49
3.2	<b>Berechnung von Gleichgewichten</b>	52
3.3	<b>Die Gleichgewichtskonstante <math>K_p</math> für Gasgleichgewichte</b>	56
3.4	<b>Heterogene Gleichgewichte</b>	59

<b>3.5</b>	<b>Die Verschiebung der Gleichgewichtslage. . . . .</b>	<b>.60</b>
<b>3.6</b>	<b>Protolysegleichgewichte. . . . .</b>	<b>.63</b>
3.6.1	Autoprotolyse des Wassers. . . . .	63
3.6.2	pH- und pOH-Wert starker Säuren und Basen. . . . .	64
3.6.3	pH- und pOH-Wert schwacher Säuren und Basen. . . . .	66
3.6.4	pH-Wert von Salzlösungen. . . . .	72
3.6.5	Pufferlösungen. . . . .	75
3.6.6	Protolyse mehrprotoniger Säuren. . . . .	78
3.6.7	Löslichkeitsprodukt. . . . .	79
	<b>Übungen zu Kapitel 3. . . . .</b>	<b>83</b>
<b>4</b>	<b><u>Energie und Molekularbewegung. . . . .</u></b>	<b>.87</b>
<b>4.1</b>	<b>Energiebegriff und Energieerhaltungssatz. . . . .</b>	<b>.87</b>
<b>4.2</b>	<b>Kinetische Gastheorie oder das molekulare Modell des idealen Gases. . . . .</b>	<b>.88</b>
<b>4.3</b>	<b>Temperatur, kinetische Energie und Wärme. . . . .</b>	<b>.90</b>
<b>4.4</b>	<b>Maxwell/Boltzmann-Verteilung. . . . .</b>	<b>.92</b>
<b>4.5</b>	<b>Wärmelehre, Reaktionswärme, Brennwert und Heizwert. . . . .</b>	<b>.96</b>
	<b>Übungen zu Kapitel 4. . . . .</b>	<b>.104</b>
<b>5</b>	<b>Allgemeine und chemische Thermodynamik. . . . .</b>	<b>.106</b>
<b>5.1</b>	<b>System und Phase. . . . .</b>	<b>.107</b>
<b>5.2</b>	<b>Zustandsgröße und Zustandfunktion. . . . .</b>	<b>.108</b>
<b>5.3</b>	<b>Volumenänderungsarbeit. . . . .</b>	<b>.110</b>
<b>5.4</b>	<b>Reversible und irreversible Prozesse. . . . .</b>	<b>.111</b>
<b>5.5</b>	<b>Nullter Hauptsatz der Thermodynamik. . . . .</b>	<b>.115</b>
<b>5.6</b>	<b>Erster Hauptsatz der Thermodynamik. . . . .</b>	<b>.115</b>
5.6.1	Die innere Energie und die Enthalpie. . . . .	118
5.6.2	Molare Bildungsenthalpie und molare Bildungsenergie. . . . .	122
5.6.3	Der Satz von Hess und die Reaktionsenthalpie. . . . .	123
5.6.4	Phasenumwandlungsenthalpien. . . . .	127
5.6.5	Isochore und isobare Zustandsänderung des idealen Gases. . . . .	131
5.6.6	Enthalpieänderung in Lösungen. . . . .	133
5.6.7	Molekulare Interpretation der Wärmekapazität. . . . .	137
5.6.8	Temperaturabhängigkeit der Wärmekapazität. . . . .	142
5.6.9	Temperaturabhängigkeit der Reaktionsenthalpie. . . . .	144
5.6.10	Zustandsänderung des idealen Gases im adiabatischen System. . . . .	146
5.6.11	f Polytrope Prozesse. . . . .	150
<b>5.7</b>	<b>Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik. . . . .</b>	<b>.152</b>
5.7.1	Die Entropie als kalorische Größe. . . . .	153
5.7.2	Entropie bei Zustandsänderungen von Gasen. . . . .	158
5.7.3	Entropie und Unordnung. . . . .	160
5.7.4	Der Carnot-Kreisprozess und der Wirkungsgrad von Wärmekraftmaschinen. . . . .	161
5.7.5	Exergie und Anergie. . . . .	165
5.7.6	Phasenumwandlungsentropien. . . . .	168
5.7.7	Steckbrief der Entropie. . . . .	169
<b>5.8</b>	<b>Der dritte Hauptsatz der Thermodynamik. . . . .</b>	<b>.169</b>

<b>5.9</b>	<b>Die Spontanität chemischer Reaktionen</b> . . . . .	<b>170</b>
5.9.1	Der <i>gibbssche</i> Satz . . . . .	171
5.9.2	Anwendung des <i>g/bbsschen</i> Satzes auf das chemische Gleichgewicht . . . . .	177
5.9.3	Temperatur-und Druckabhängigkeit der Gleichgewichtskonstante. . . . .	183
	<b>Übungen zu Kapitel 5</b> . . . . .	<b>186</b>
<b>6</b>	<b>Reaktionskinetik</b> . . . . .	<b>192</b>
<b>6.1</b>	<b>Die Reaktionsgeschwindigkeit</b> . . . . .	<b>192</b>
<b>6.2</b>	<b>Konzentrationsabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit</b> . . . . .	<b>195</b>
<b>6.3</b>	<b>Zeitabhängigkeit der Konzentration</b> . . . . .	<b>198</b>
6.3.1	Reaktionen 1. Ordnung . . . . .	198
6.3.2	Reaktionen 2. Ordnung . . . . .	202
6.3.3	Reaktionen nullter Ordnung . . . . .	205
<b>6.4</b>	<b>Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit</b> . . . . .	<b>206</b>
<b>6.5</b>	<b>Katalyse</b> . . . . .	<b>210</b>
6.5.1	Homogene Katalyse . . . . .	212
6.5.2	Heterogene Katalyse . . . . .	213
	<b>Übungen zu Kapitel 6</b> . . . . .	<b>217</b>
<b>7</b>	<b>Phasengleichgewichte</b> . . . . .	<b>219</b>
<b>7.1</b>	<b>Der Dampfdruck</b> . . . . .	<b>219</b>
<b>7.2</b>	<b>Phasendiagramme von Einkomponentensystemen</b> . . . . .	<b>222</b>
<b>7.3</b>	<b>Phasendiagramme von Mehrkomponentensystemen und Systeme mit Mischungslücken</b> . . . . .	<b>224</b>
<b>7.4</b>	<b>Phasengleichgewichte flüchtiger Zweikomponentensysteme</b> . . . . .	<b>227</b>
7.4.1	Dampfdruckdiagramme . . . . .	227
7.4.2	Isotherme Gleichgewichtskurve . . . . .	228
7.4.3	Isobares Siedediagramm . . . . .	229
7.4.4	Destillation . . . . .	231
7.4.5	Rektifikation . . . . .	234
7.4.6	Trägerdampfdestillation . . . . .	236
<b>7.5</b>	<b>Phasengleichgewichte nichtflüchtiger Zweikomponentensysteme</b> . . . . .	<b>238</b>
<b>7.6</b>	<b>Absorptionsgleichgewicht und <i>henry-daltonscbes</i> Gesetz</b> . . . . .	<b>242</b>
<b>7.7</b>	<b>Wernfscher Verteilungssatz</b> . . . . .	<b>243</b>
<b>7.8</b>	<b>Adsorptionsgleichgewichte</b> . . . . .	<b>246</b>
	<b>Übungen zu Kapitel 7</b> . . . . .	<b>247</b>
<b>8</b>	<b>Lösungen</b> . . . . .	<b>250</b>
<b>8.1</b>	<b>Kolligative Eigenschaften</b> . . . . .	<b>250</b>
<b>8.2</b>	<b>Binäre Mischungen mit nur einer flüchtigen Komponente</b> . . . . .	<b>250</b>
8.2.1	Dampfdruckerniedrigung . . . . .	250
8.2.2	Siedepunktserhöhung . . . . .	253
8.2.3	Gefrierpunktserniedrigung . . . . .	254
8.2.4	Osmose . . . . .	258
8.2.5	Kolligative Eigenschaften von Elektrolytlösungen . . . . .	262
	<b>Übungen zu Kapitel 8</b> . . . . .	<b>264</b>

<b>9</b>	<b><u>Elektrochemie</u></b> .....	<b>265</b>
9.1	<b>Elektrolyte</b> .....	265
9.2	<b>Elektrolyse</b> .....	267
9.2.1	Vorgänge bei der Elektrolyse .....	267
9.2.2	Elektrolyse wässriger Lösungen .....	268
9.2.3	Quantitative Gesetze der Elektrolyse .....	270
9.3	<b>Leitfähigkeit</b> .....	273
9.4	<b>Wanderungsgeschwindigkeit und Ionenbeweglichkeit</b> .....	<b>276</b>
9.5	<b>Molare Leitfähigkeit</b> .....	<b>281</b>
9.6	<b>Die Leitfähigkeit starker und schwacher Elektrolyte</b> .....	283
9.7	<b>Hittorfsche Überführungszahlen</b> .....	289
9.8	<b>Praktische Anwendungen von Leitfähigkeitsmessungen</b> .....	292
9.8.1	Bestimmung der Protolysekonstante .....	292
9.8.2	Bestimmung des Löslichkeitsprodukts .....	293
9.8.3	Leitfähigkeitstitration (Konduktometrie) .....	294
9.9	<b>Galvanische Elemente</b> .....	296
9.9.1	Galvanisches Halbelement und galvanische Kette .....	296
9.9.2	Das Potential einer Zelle und die Potentialdifferenz .....	298
9.9.3	Elektrochemische Spannungsreihe .....	300
9.9.4	<i>Nernstsche</i> Gleichung .....	304
9.9.5	Elektroden 1. und 2. Art .....	310
9.9.6	Potentiometrie .....	313
9.9.7	Elektrolyse und galvanische Polarisierung .....	314
9.9.8	Technisch wichtige galvanische Elemente .....	318
9.9.9	Korrosion .....	322
	<b>Übungen zu Kapitel 9</b> .....	324
	<b><u>Anhang</u></b> .....	<b>328</b>
	<b>Elektrochemische Spannungsreihe mit den Standardpotentialen wichtiger Redoxpaare ...</b>	328
	<b>Lösungen zu den Übungsaufgaben</b> .....	329
	<b>Sachwortverzeichnis</b> .....	<b>370</b>
	<b>Formelzeichen</b> .....	<b>376</b>