

Inhaltsverzeichnis

Teil I Grundwissen der organischen Chemie

1	Chemische Bindung in organischen Verbindungen	3
1.1	Einleitung	3
1.2	Grundlagen der chemischen Bindung	3
1.2.1	Wellenmechanisches Atommodell des Wasserstoff-Atoms; Atomorbitale	4
1.2.2	Mehrelektronen-Atome	6
1.3	Die Atombindung (kovalente oder homöopolare Bindung)	7
1.3.1	MO-Theorie der kovalenten Bindung	8
1.3.2	Valence-Bond-Theorie der kovalenten Bindung	10
1.4	Bindungslängen und Bindungsenergien	14
2	Allgemeine Grundbegriffe	17
2.1	Systematik organischer Verbindungen	17
2.2	Nomenklatur	18
2.2.1	Stammsysteme	18
2.2.2	Substituierte Systeme	18
2.2.3	Gruppennomenklatur	20
2.3	Chemische Formelsprache	21
2.4	Isomerie	22
2.5	Grundbegriffe organisch-chemischer Reaktionen	25
2.5.1	Reaktionen zwischen ionischen Substanzen	25
2.5.2	Reaktionen von Substanzen mit kovalenter Bindung	25
2.5.3	Säuren und Basen, Elektrophile und Nucleophile	27
2.5.4	Substituenten-Effekte	28
2.5.5	Zwischenstufen: Carbokationen, Carbanionen, Radikale	31
2.5.6	Übergangszustände	32
2.5.7	Lösemittel-Einflüsse	33
2.5.8	Hammett-Beziehung	34

Teil II Kohlenwasserstoffe

3	Gesättigte Kohlenwasserstoffe (Alkane)	39
3.1	Offenkettige Alkane	39
3.1.1	Bau der Moleküle, Konformationen der Alkane	41
3.1.2	Vorkommen, Gewinnung und Verwendung der Alkane	43
3.1.3	Herstellung von Alkanen	44
3.1.4	Eigenschaften gesättigter Kohlenwasserstoffe	45
3.2	Cyclische Alkane	45
3.2.1	Bau der Moleküle, Konformationen der Cycloalkane	46
3.2.2	Herstellung von Cycloalkanen	52
4	Die radikalische Substitutions-Reaktion (SR)	53
4.1	Herstellung von Radikalen	53
4.2	Struktur und Stabilität	54
4.3	Ablauf von Radikalreaktionen	55
4.4	Selektivität bei radikalischen Substitutions-Reaktionen	56
4.5	Beispiele für Radikalreaktionen	58
4.5.1	Umsetzungen von Alkanen	58
4.5.2	Umsetzungen von Alkenen in Allylstellung	60
5	Ungesättigte Kohlenwasserstoffe (Alkene, Alkine)	63
5.1	Alkene	63
5.1.1	Nomenklatur und Struktur	63
5.1.2	Vorkommen und Herstellung von Alkenen	64
5.1.3	Verwendung von Alkenen	66
5.1.4	Elektronenstrukturen von Alkenen nach der MO-Theorie	69
5.2	Alkine	72
5.3	Biologisch interessante Alkene und Alkine	74
6	Additionen an Alkene und Alkine	77
6.1	Elektrophile Additionen A_E	77
6.1.1	Additionen symmetrischer Verbindungen	78
6.1.2	Additionen unsymmetrischer Verbindungen (Markownikow-Regel)	79
6.1.3	Stereospezifische Syn-Additionen	82
6.2	Cycloadditionen	84
6.2.1	[2+1]-Cycloadditionen	84
6.2.2	[2+2]-Cycloadditionen	85
6.2.3	[3+2]-Cycloadditionen	85
6.2.4	[4+2]-Cycloadditionen	86
6.3	Nucleophile Additionen A_N	89
6.3.1	Nucleophile Additionen von Aminen	89
6.3.2	Nucleophile Epoxidierung von α,β -ungesättigten Carbonylverbindungen (Scheffer-Weitz-Epoxidierung)	89
6.3.3	Michael-Additionen	90

6.4	Radikalische Additionen A_R	90
6.5	Di-, Oligo- und Polymerisationen, Dominoreaktionen	91
7	Aromatische Kohlenwasserstoffe (Arene)	93
7.1	Chemische Bindung in aromatischen Systemen	93
7.2	Elektronenstrukturen cyclisch-konjugierter Systeme nach der MO-Theorie	95
7.3	Beispiele für aromatische Verbindungen; Nomenklatur	96
7.4	Vorkommen und Herstellung	98
7.5	Eigenschaften und Verwendung	100
7.6	Reaktionen aromatischer Verbindungen	102
7.6.1	Additionsreaktionen aromatischer Verbindungen	102
7.6.2	Reaktionen von Alkylbenzolen in der Seitenkette	104
8	Die aromatische Substitution S_{Ar}	107
8.1	Die elektrophile aromatische Substitution ($S_{E,Ar}$)	107
8.1.1	Allgemeiner Reaktionsmechanismus	107
8.1.2	Mehrfachsubstitution	108
8.1.3	Substitutionen an kondensierten Aromaten	113
8.2	Beispiele für elektrophile Substitutionsreaktionen	114
8.2.1	Nitrierung	114
8.2.2	Sulfonierung	115
8.2.3	Halogenierung	117
8.2.4	Alkylierung nach <i>Friedel-Crafts</i>	118
8.2.5	Acylierung nach <i>Friedel-Crafts</i>	119
8.3	Die nucleophile aromatische Substitution ($S_{N,Ar}$)	121
8.3.1	Monomolekulare nucleophile Substitution am Aromaten ($S_{N1,Ar}$)	121
8.3.2	Bimolekulare nucleophile Substitution am Aromaten ($S_{N2,Ar}$)	121

Teil III Verbindungen mit einfachen funktionellen Gruppen

9	Halogen-Verbindungen	127
9.1	Chemische Eigenschaften	127
9.2	Verwendung	128
9.3	Herstellungsmethoden	129
9.4	Biologisch interessante Halogen-Kohlenwasserstoffe	131
10	Die nucleophile Substitution (S_N) am gesättigten C-Atom	133
10.1	Der S_N1 -Mechanismus	133
10.1.1	Auswirkungen des Reaktionsmechanismus	134
10.2	Der S_N2 -Mechanismus	136
10.3	S_N -Reaktionen mit Retention	137

10.4	Das Verhältnis S_N1/S_N2 und die Möglichkeiten der Beeinflussung einer S_N -Reaktion	138
10.4.1	Konstitution des organischen Restes R	138
10.4.2	Das angreifende Nucleophil	140
10.4.3	Lösemittleffekte	141
10.4.4	Ambidente Nucleophile	141
11	Die Eliminierungs-Reaktionen (E1, E2)	143
11.1	α - oder 1,1-Eliminierung	144
11.2	β - oder 1,2-Eliminierung	144
11.2.1	Eliminierung nach einem E1-Mechanismus	144
11.2.2	Eliminierung nach einem E1cB-Mechanismus	145
11.2.3	Eliminierung nach einem E2-Mechanismus	145
11.3	Das Verhältnis von Eliminierung zu Substitution	147
11.4	Isomerenbildung bei Eliminierungen	148
11.5	Beispiele für wichtige Eliminierungs-Reaktionen	150
11.5.1	<i>anti</i> -Eliminierungen	150
11.5.2	<i>syn</i> -Eliminierungen (thermische Eliminierungen)	150
12	Sauerstoff-Verbindungen	153
12.1	Alkohole (Alkanole)	153
12.1.1	Beispiele und Nomenklatur	153
12.1.2	Herstellung von Alkoholen	155
12.1.3	Reaktionen der Alkohole	158
12.2	Phenole	163
12.2.1	Beispiele und Nomenklatur	163
12.2.2	Herstellung von Phenolen	163
12.2.3	Eigenschaften von Phenolen	166
12.2.4	Reaktionen von Phenolen	166
12.2.5	Biologisch interessante Phenole	169
12.3	Ether	170
12.3.1	Herstellung	170
12.3.2	Eigenschaften der Ether	171
12.3.3	Reaktionen der Ether	172
13	Schwefel-Verbindungen	175
13.1	Thiole	175
13.1.1	Herstellung	176
13.1.2	Vorkommen	177
13.1.3	Reaktionen	177
13.2	Thioether (Sulfide)	178
13.2.1	Herstellung	178
13.2.2	Reaktionen	178

13.3	Sulfonsäuren	180
13.3.1	Herstellung	180
13.3.2	Verwendung von Sulfonsäuren	180
13.4	Technisch und biologisch wichtige Schwefel-Verbindungen	181
14	Stickstoff-Verbindungen	183
14.1	Amine	183
14.1.1	Nomenklatur	183
14.1.2	Herstellung von Aminen	184
14.1.3	Eigenschaften der Amine	189
14.1.4	Reaktionen der Amine	191
14.1.5	Biochemisch wichtige Amine	194
14.2	Nitroverbindungen	196
14.2.1	Nomenklatur und Beispiele	196
14.2.2	Herstellung	196
14.2.3	Eigenschaften und Reaktionen von Nitroverbindungen	197
14.2.4	Verwendung von Nitroverbindungen	199
14.3	Azoverbindungen	200
14.3.1	Herstellung der Azoverbindungen	200
14.4	Hydrazoverbindungen	202
14.4.1	Herstellung der Hydrazoverbindungen	202
14.4.2	Reaktionen der Hydrazoverbindungen	202
14.5	Diazoverbindungen	203
14.5.1	Herstellung von Diazo- und Diazoniumverbindungen	203
14.5.2	Reaktionen von Diazo- und Diazoniumverbindungen	204
15	Elementorganische Verbindungen	207
15.1	Bindung und Reaktivität	207
15.2	Synthetisch äquivalente Gruppen	208
15.3	Eigenschaften elementorganischer Verbindungen	209
15.4	Beispiele für elementorganische Verbindungen (angeordnet nach dem Periodensystem)	209
15.4.1	I. Gruppe: Lithium	209
15.4.2	II. Gruppe: Magnesium	209
15.4.3	III. Gruppe: Bor, Aluminium	211
15.4.4	IV. Gruppe: Silicium, Zinn, Blei	212
15.4.5	V. Gruppe: Phosphor	214
15.4.6	I. Nebengruppe: Kupfer	216
15.4.7	II. Nebengruppe: Zink, Cadmium, Quecksilber	217

Teil IV Verbindungen mit ungesättigten funktionellen Gruppen

16	Aldehyde, Ketone und Chinone	221
16.1	Nomenklatur und Beispiele	221
16.2	Herstellung von Aldehyden und Ketonen	222
16.2.1	Oxidation von Alkoholen	222
16.2.2	Oxidation aktivierter C–H-Bindungen	224
16.2.3	Reduktion von Carbonsäurederivaten	225
16.2.4	Umsetzung von Carbonsäurederivaten mit metallorganischen Verbindungen	226
16.2.5	<i>Friedel-Crafts</i> -Acylierungen	227
16.2.6	Oxidative Spaltungsreaktionen	228
16.3	Spezielle Carbonylverbindungen	228
16.3.1	α -Hydroxycarbonylverbindungen	228
16.3.2	β -Hydroxycarbonylverbindungen	230
16.3.3	1,2-Dicarbonylverbindungen	231
16.3.4	1,3-Dicarbonylverbindungen	232
16.3.5	1,4-Dicarbonylverbindungen	233
16.3.6	1,5-Dicarbonylverbindungen	234
16.3.7	α -Halogencarbonylverbindungen	234
16.3.8	α,β -Ungesättigte (vinyloge) Aldehyde und Ketone	235
16.4	Eigenschaften und Verwendung	236
16.5	Redoxreaktionen von Carbonylverbindungen	237
16.5.1	Reduktion zu Alkoholen	237
16.5.2	Reduktion zu Kohlenwasserstoffen	238
16.5.3	Oxidationsreaktionen	239
16.5.4	Redoxverhalten der Chinone	240
17	Reaktionen von Aldehyden und Ketonen	245
17.1	Additionen von Hetero-Nucleophilen	246
17.1.1	Addition von „Hydrid“	246
17.1.2	Reaktion mit <i>O</i> -Nucleophilen	248
17.1.3	Reaktion mit <i>N</i> -Nucleophilen	250
17.1.4	Reaktion mit <i>S</i> -Nucleophilen	253
17.2	Additionen von Kohlenstoff-Nucleophilen	254
17.2.1	Umsetzungen mit Blausäure bzw. Cyanid	254
17.2.2	Umsetzungen mit <i>Grignard</i> -Reagenzien	256
17.2.3	Umsetzungen mit Acetyliden	256
17.2.4	Umsetzungen mit Phosphor-Yliden	256
17.3	Additionen von Carbonylverbindungen	257
17.3.1	Bildung und Eigenschaften von Carbanionen	257
17.3.2	Aldol-Reaktion	258
17.3.3	<i>Mannich</i> -Reaktion	261
17.3.4	<i>Perkin</i> -Reaktion	262
17.3.5	<i>Erlenmeyer</i> Azlactonsynthese	263

17.3.6	<i>Knoevenagel</i> -Reaktion	263
17.3.7	<i>Darzens</i> Glycidester-Synthese	264
17.3.8	<i>Michael</i> -Reaktion	264
17.3.9	<i>Robinson</i> -Anellierung	265
18	Carbonsäuren	267
18.1	Nomenklatur und Beispiele	267
18.2	Herstellung von Carbonsäuren	268
18.3	Eigenschaften von Carbonsäuren	269
18.3.1	Substituenteneinflüsse auf die Säurestärke	270
18.4	Reaktionen von Carbonsäuren	272
18.4.1	Reduktion	272
18.4.2	Abbau unter CO ₂ -Abspaltung (Decarboxylierung)	272
18.4.3	Bildung von Derivaten (s. Kap. 19)	272
18.5	Spezielle Carbonsäuren	272
18.5.1	Dicarbonsäuren	272
18.5.2	Hydroxycarbonsäuren	276
18.5.3	Oxocarbonsäuren	280
18.5.4	Halogencarbonsäuren	283
19	Derivate der Carbonsäuren	287
19.1	Reaktionen von Carbonsäurederivaten	288
19.1.1	Hydrolyse von Carbonsäurederivaten zu Carbonsäuren	289
19.1.2	Umsetzung von Carbonsäurederivaten mit Aminen	289
19.1.3	Umsetzung mit Alkoholen zu Carbonsäureestern	290
19.2	Herstellung und Eigenschaften von Carbonsäurederivaten	291
19.2.1	Carbonsäureanhydride	291
19.2.2	Carbonsäurehalogenide	293
19.2.3	Carbonsäureamide	293
19.2.4	Carbonsäureester	295
19.2.5	Lactone	298
19.2.6	Spezielle Carbonsäurederivate	300
20	Reaktionen von Carbonsäurederivaten	301
20.1	Reaktionen an der Carbonylgruppe	301
20.1.1	Reaktionen von Carbonsäureestern	301
20.1.2	Reaktionen von Carbonsäurehalogeniden und -anhydriden	304
20.1.3	Reaktionen von Carbonsäureamiden	305
20.1.4	Reaktionen von Nitrilen	306
20.2	Reaktionen in α -Stellung zur Carbonylgruppe	308
20.2.1	Reaktionen von Carbonsäureestern	308
20.2.2	Reaktionen von 1,3-Dicarbonylverbindungen	313
20.2.3	Reaktionen von Carbonsäurehalogeniden und -anhydriden	317
20.2.4	Reaktionen von Carbonsäurenitrilen	319

21	Kohlensäure und ihre Derivate	321
21.1	Beispiele und Nomenklatur	321
21.2	Herstellung von Kohlensäurederivaten	322
21.3	Harnstoff und Derivate	323
21.3.1	Synthese von Harnstoff	323
21.3.2	Eigenschaften und Nachweis	323
21.3.3	Verwendung von Harnstoff	324
21.3.4	Synthesen mit Harnstoff	325
21.3.5	Derivate des Harnstoffs	326
21.4	Cyansäure und Derivate	327
21.5	Schwefel-analoge Verbindungen der Kohlensäure	329
22	Heterocyclen	331
22.1	Nomenklatur	331
22.2	Heteroaliphaten	332
22.3	Heteroaromaten	334
22.3.1	Fünfgliedrige Ringe	334
22.3.2	Sechsgliedrige Ringe	338
22.3.3	Tautomerie der Heteroaromaten	340
22.4	Retrosynthese von Heterocyclen	341
22.5	Synthesen von Heterocyclen über Dicarbonylverbindungen	342
22.6	Weitere Synthesen für heterocyclische Fünfringe	343
22.7	Weitere Synthesen für heterocyclische Sechsringe	345
22.7.1	Pyridin-Synthese nach <i>Hantzsch</i>	345
22.7.2	Chinoline	346
22.7.3	Indole	347

Teil V Reaktionsmechanismen und Stereochemie

23	Wichtige Reaktionsmechanismen im Überblick	351
23.1	Reaktive Zwischenstufen	351
23.1.1	Carbeniumionen	351
23.1.2	Carbanionen	353
23.1.3	Carbene	354
23.1.4	Radikale	356
23.2	Reaktionstypen	357
23.2.1	Additions-Reaktionen	357
23.2.2	Eliminierungs-Reaktionen	358
23.2.3	Substitutions-Reaktionen	359
23.2.4	Radikal-Reaktionen	362
23.2.5	Umlagerungen	363
23.2.6	Redox-Reaktionen	364
23.2.7	Heterolytische Fragmentierung	364
23.2.8	Phasentransfer-Katalyse und Kronenether	365

24	Orbital-Symmetrie und Mehrzentrenreaktionen	369
24.1	Chemische Bindung und Orbital-Symmetrie	369
24.2	Elektrocyclische Reaktionen	371
24.3	Cycloadditionen	373
24.3.1	<i>Diels-Alder</i> -Reaktion	373
24.3.2	$[2\pi+2\pi]$ -Cycloadditionen	375
24.3.3	Antarafaciale und suprafaciale Reaktionen	376
24.4	Sigmatrope Reaktionen	377
24.4.1	Wasserstoffverschiebungen	378
24.4.2	Kohlenstoffverschiebungen	379
25	Stereochemie	381
25.1	Stereoisomere	381
25.2	Molekülchiralität	383
25.2.1	Prochiralität	386
25.3	Schreibweisen und Nomenklatur der Stereochemie	388
25.3.1	D,L-Nomenklatur	389
25.3.2	<i>R,S</i> -Nomenklatur (<i>Cahn-Ingold-Prelog</i> -System)	389
25.4	Beispiele zur Stereochemie	391
25.4.1	Verbindungen mit mehreren chiralen C-Atomen	391
25.4.2	Verbindungen mit gleichen Chiralitätszentren	392
25.4.3	Chirale Verbindungen ohne chirale C-Atome	393
25.5	Herstellung optisch aktiver Verbindungen	394
25.5.1	Trennung von Racematen (Racematspaltung)	394
25.5.2	Stereochemischer Verlauf von chemischen Reaktionen	396
25.5.3	Asymmetrische Synthese	398
26	Photochemie	401
26.1	Multiplizität <i>M</i> von elektronischen Zuständen	401
26.2	<i>Jablonski</i> -Diagramm	402
26.3	Beispiele für photochemische Reaktionen	404
 Teil VI Chemie von Naturstoffen und Biochemie		
27	Chemie und Biochemie	409
27.1	Einführung und Überblick	409
27.2	Biokatalysatoren	412
27.3	Stoffwechselvorgänge	415
28	Kohlenhydrate	417
28.1	Monosaccharide	417
28.1.1	Struktur und Stereochemie	417
28.1.2	Reaktionen und Eigenschaften	421
28.1.3	Synthese von Zuckern	425

28.2	Disaccharide	426
28.2.1	Allgemeines	426
28.2.2	Beispiele für Disaccharide	427
28.3	Oligo- und Polysaccharide (Glycane)	429
28.3.1	Makromoleküle aus Glucose	429
28.3.2	Makromoleküle mit Aminosuktern	431
29	Aminosäuren, Peptide und Proteine	435
29.1	Aminosäuren	435
29.1.1	Einteilung und Struktur	435
29.1.2	Aminosäuren als Ampholyte	437
29.1.3	Gewinnung und Synthesen von Aminosäuren	439
29.1.4	Reaktionen von Aminosäuren	442
29.2	Peptide	443
29.2.1	Hydrolyse von Peptiden	444
29.2.2	Peptid-Synthesen	446
29.2.3	Biologisch wichtige Peptide	451
29.3	Proteine	453
29.3.1	Struktur der Proteine	453
29.3.2	Beispiele und Einteilung der Proteine	456
29.3.3	Eigenschaften der Proteine	457
30	Lipide	459
30.1	Überblick über die Lipid-Gruppe	459
30.2	Fettsäuren und Fette	460
30.3	Komplexe Lipide	462
30.3.1	Phospholipide	462
30.3.2	Glycolipide	463
30.3.3	Biochemische Bedeutung komplexer Lipide	464
30.4	Wachse	464
31	Nucleotide und Nucleinsäuren	467
31.1	Nucleotide	467
31.1.1	Energiespeicherung mit Phosphorsäureverbindungen	468
31.1.2	Nucleotide in Nucleinsäuren	470
31.2	Nucleinsäuren	471
31.2.1	Aufbau der DNA	473
31.2.2	Aufbau der RNA	474
32	Terpene und Carotinoide	477
32.1	Biogenese von Terpenen	477
32.2	Beispiele für Terpene	479

33	Steroide	483
33.1	Biosynthese der Steroide	483
33.2	Beispiele für Steroide	485
33.2.1	Sterine	485
33.2.2	Gallensäuren	485
33.2.3	Steroid-Hormone	486
33.2.4	Corticoide	488
33.2.5	Herzaktive Steroide	489
33.2.6	Sapogenine und Steroid-Alkaloide	489
34	Alkaloide	491
34.1	Pyrrolidin- und Piperidin-Alkaloide	492
34.2	Pyridin-Alkaloide	493
34.3	Tropan-Alkaloide	493
34.4	Pyrrolizidin-, Indolizidin- und Chinolizidin-Alkaloide	495
34.5	Indol-Alkaloide	496
34.5.1	Substituierte Indole	497
34.5.2	Carbazol-Alkaloide	497
34.5.3	Carbolin-Alkaloide	498
34.5.4	Ergolin-Alkaloide	499
34.6	Isochinolin-Alkaloide	500
34.7	Chinolin-Alkaloide	502
34.8	Weitere Alkaloide	503
35	Natürliche Farbstoffe	505

Teil VII Angewandte Chemie

36	Organische Grundstoffchemie	511
36.1	Erdöl	511
36.1.1	Vorkommen und Gewinnung	511
36.1.2	Erdölprodukte	512
36.1.3	Verfahren der Erdölveredelung	512
36.2	Erdgas	515
36.3	Kohle	515
36.3.1	Vorkommen und Gewinnung	515
36.3.2	Kohleveredelung	515
36.4	Acetylen-Chemie	516
36.5	Oxo-Synthese (Hydroformylierung)	517
36.6	Wichtige organische Chemikalien	518

37	Kunststoffe	523
37.1	Herstellung	523
37.1.1	Reaktionstypen	523
37.1.2	Polymerisation	524
37.1.3	Polykondensation	526
37.1.4	Polyaddition	527
37.1.5	Metathese-Reaktion	527
37.2	Polymer-Technologie	528
37.2.1	Durchführung von Polymerisationen	528
37.2.2	Verarbeitung von Kunststoffen	529
37.3	Charakterisierung von Makromolekülen	529
37.4	Strukturen von Makromolekülen	531
37.4.1	Polymere aus gleichen Monomeren	531
37.4.2	Polymere mit verschiedenen Monomeren	532
37.4.3	Polymere mit Chiralitätszentren	533
37.5	Reaktionen an Polymeren	534
37.5.1	Abbaureaktionen	534
37.5.2	Aufbaureaktionen	534
37.5.3	Polymeranaloge Reaktionen	534
37.6	Gebrauchseigenschaften von Polymeren	535
37.7	Beispiele zu den einzelnen Kunststoffarten	537
37.7.1	Bekannte Polymerisate	537
37.7.2	Bekannte Polykondensate	538
37.7.3	Bekannte Polyaddukte	539
37.7.4	Halbsynthetische Kunststoffe	540
38	Farbstoffe	541
38.1	Theorie der Farbe und Konstitution der Farbmittel	541
38.2	Einteilung der Farbstoffe nach dem Färbeverfahren	543
38.3	Einteilung der Farbstoffe nach den Chromophoren	545
39	Chemie im Alltag	549
39.1	Medikamente	549
39.1.1	Antibiotika	550
39.1.2	Antivirale Arzneistoffe	552
39.1.3	Antitumor-Arzneistoffe	553
39.1.4	Blutdrucksenkende Arzneistoffe	553
39.1.5	Cholesterinsenkende Arzneistoffe	555
39.1.6	Entzündungshemmer	556
39.1.7	Potenzmittel	556
39.1.8	Psychopharmaka	556
39.2	Tenside	558

39.3 Biozide	560
39.3.1 Insektizide	560
39.3.2 Fungizide	561
39.3.3 Herbizide	561
39.3.4 Vorratsschutz	562
39.3.5 Neuere Entwicklungen	562
39.3.6 Natürlich vorkommende Insektizide	564
40 Chemikaliensicherheit und Gefahrstoffrecht	565
40.1 Einführung und rechtliche Grundlagen	565
40.1.1 Entwicklung von 1980 bis heute	565
40.1.2 Rechtliche Begriffe in der EU und in Deutschland zur Gesetzgebung	566
40.1.3 Wichtige chemikalienrechtliche Regelungen in der EU . . .	568
40.2 Kernbereiche des EU- und des nationalen Chemikalienrechts in Einzeldarstellungen	571
40.2.1 CLP – Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Chemikalien	571
40.2.2 REACH – Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien	576
40.2.3 ChemG – Chemikaliengesetz	581
40.2.4 GefStoffV – Gefahrstoffverordnung	584
40.2.5 ChemVerbotsV – Inverkehrbringen von Chemikalien	587
Nobelpreise für Chemie	589
Methodenregister	601
Aufgaben	619
Lösungen zu den Aufgaben	645
Literaturnachweis und Literatúrauswahl an Lehrbüchern	677
Stichwortverzeichnis	679