

Hans-Georg Elias

Makromoleküle

Band 3
Industrielle Polymere
und Synthesen

6., völlig überarbeitete und erweiterte Auflage

 **WILEY-VCH**

Weinheim · New York · Chichester · Brisbane · Singapore · Toronto

Inhaltsverzeichnis

Weiterführende Literatur und Quellennachweise befinden sich jeweils am Kapitelende.

Motto.....	V
Vorworte	VII
Verzeichnis der Abkürzungen	X
1. Einleitung	1
2. Struktur und Eigenschaften von Polymeren	8
2.1. Chemische Struktur	8
2.1.1. Begriffe	8
2.1.2. Polymernamen	9
2.1.3. Konstitution	10
Strukturbezogene Begriffe	11
Verfahrensbezogene Begriffe	13
Molmassen	14
2.1.4. Konfiguration	16
2.2. Physikalische Struktur	19
2.2.1. Mikrokonformationen	19
2.2.2. Makrokonformationen	19
2.2.3. Morphologie	20
2.2.4. Lösungen, Schmelzen und Gläser	21
2.3. Physikalische Eigenschaften	22
2.3.1. Thermische Eigenschaften	23
2.3.2. Mechanische Eigenschaften	24
2.3.3. Elektrische Eigenschaften	25
3. Rohstoffe	26
3.1. Einführung	26
3.1.1. Natürliche Rohstoffe	26
3.1.2. Synthetische Polymere	28
3.2. Energie	29
3.2.1. Energieträger	29
3.2.2. Produktion	30
3.2.3. Verbrauch an Primärenergie	31
3.2.4. Reichweite	34
3.2.5. Ökologie	36
3.3. Erdgas und Synthesegas	38
3.3.1. Typen	38
3.3.2. Produktion	39
3.3.3. Synthesegas	41
3.3.4. Erd- und Synthesegas als Chemierohstoff	42
3.4. Erdöl	43
3.4.1. Petrochemikalien	43

3.4.2.	Rohöl	44
3.4.3.	Verarbeitung des Rohöls	47
3.4.4	Vorprodukte für Polymere	49
3.5.	Ölschiefer	54
3.6.	Ölsande, Bitumen und Asphalt	55
3.7.	Kohlen	56
3.7.1	Chemische Struktur	56
3.7.2.	Förderung und Vorräte	57
3.7.3.	Steinkohle als Chemierohstoff	58
3.7.4.	Braunkohle	60
3.8.	Holz	60
3.8.1	Struktur, Produktion und Verwendung	60
3.8.2	Naturholz	62
3.8.3	Pressholz	63
3.8.4.	Sperrholz	64
3.8.5.	Polymerholz	64
3.8.6.	Weichgemachtes Holz	65
3.8.7.	Holzschliff	66
3.8.8.	Zellstoff	66
3.8.9.	Holzverzuckerung	67
3.8.10.	Holzvergasung	68
3.9.	Lignine	69
3.10.	Naturharze	70
3.11.	Fette und fette Öle	73
3.12.	Biomasse	75
	Anhang zu Kap. 3: Bruttosozialprodukt und Bruttoinlandprodukt	77
4.	Technische Synthesen	82
4.1.	Polyreaktionen	82
4.1.1.	Monomere für Polymere	82
4.1.2.	Einteilung der Polyreaktionen	83
4.1.3.	Thermodynamische Voraussetzungen	87
4.1.4.	Elementarreaktionen	87
4.1.5.	Polyadditionen und Polykondensationen	90
4.1.6.	Ionische Polymerisationen	92
4.1.7.	Polyinsertionen	93
4.1.8.	Radikalische Polymerisationen	94
4.1.9.	Copolymerisationen	97
4.1.10.	Polymertransformationen	98
4.2.	Technische Verfahren	100
4.2.1.	Übersicht	100
4.2.2.	Katalysatoren und Initiatoren	101
4.2.3.	Polymerisation in Masse	103
4.2.4.	Polymerisation in Suspension	105
4.2.5.	Polymerisation in Emulsion	108
	Phänomene	108

Polymerisationsgeschwindigkeit	112
Partikel-Bildung	114
Produkteigenschaften	115
4.2.6. Polyreaktionen in Lösung	116
4.2.7. Polymerisation in Fällungsmitteln	118
4.2.8. Polymerisationen in Gasphasen	119
4.3. Reaktoren	121
4.3.1. Viskositäten	122
4.3.2. Reaktortypen	124
Ideale Reaktoren	124
Rührkessel (BR)	126
Strömungsrohre (CPFR)	127
Kaskaden	128
Kontinuierliche Rührkesselreaktoren (CSTR)	128
4.3.3. Rührer	129
Typen	129
Rührleistung	130
Segregierte Reaktoren	131
4.4. Aufbereitung von Polymeren	135
4.5. Wirtschaftliche Aspekte	136
4.5.1. Energie-Aufwand	136
4.5.2. Kapazitäten	137
4.5.3. Kosten und Preise	137
5. Kohlenstoff-Ketten	143
5.1. Kohlenstoffe	143
5.1.1. Diamant	143
5.1.2. Fullerene	144
5.1.3. Graphit	146
5.1.4. Kohlenstoff- und Graphitfasern	147
5.1.5. Glaskohlenstoff	149
5.1.6. Russe	149
5.1.7. Holzkohle	151
5.1.8. Aktivkohle	151
5.2. Poly(olefin)e	151
5.2.1. Bezeichnungen	151
5.2.2. Poly(methylen)	152
5.2.3. Poly(ethylen)e	153
Vorkommen	153
Einteilung der industriellen Poly(ethylen)e	153
PE-LD	155
PE-HD	157
PE-LLD	160
mPE-LLD	161
Eigenschaften	162
5.2.4. Modifizierte Poly(ethylen)e	163

5.2.5.	Ethen-Copolymere	164
	Copolymere mit 1-Olefinen oder Dienen	164
	Copolymere mit Vinylmonomeren	165
	Copolymere mit Acrylverbindungen	166
5.2.6.	Poly(propylen)e	167
	Kapazitäten und Geschichte	167
	Poly(propylen)e durch Übergangsmetall-Katalysatoren ..	167
	Metallocen-Poly(propylen)e	170
	Ataktische Poly(propylen)e	171
	Syndiotaktische Poly(propylen)e	171
	Copolymere mit Kohlenmonoxid	172
5.2.7.	Poly(1-buten)	172
5.2.8.	Poly(4-methyl-1-penten)	172
5.2.9.	Höhere Poly(α -olefin)e	173
5.2.10.	Poly(isobutylen)	174
5.3.	Poly(dien)e	175
5.3.1.	Übersicht	175
5.3.2.	Poly(butadien)e	176
	Anionische Polymerisationen	177
	Alfin-Polymerisationen	177
	Radikalische Polymerisationen zu SBR	178
	Radikalische Copolymerisationen zu NBR	179
	Ziegler-Natta-Polymerisationen	179
5.3.3.	Poly(isopren)e	180
	Natürliche Polyprene	180
	Synthetische Poly(isopren)e	182
	Derivate	184
5.3.4.	Poly(2,3-dimethylbutadien)	185
5.3.5.	Poly(chloropren)	185
5.4.	Poly(cycloolefin)e	186
5.4.1.	Übersicht	186
5.4.2.	Poly(pentenamer)	187
5.4.3.	Norbornen-Polymere	187
5.4.4.	Cycloolefin-Copolymere	189
5.4.5.	Poly(dicyclopentadien)	189
5.4.6.	Poly(octenamer)	190
5.4.7.	Poly(acetylen)e	190
5.5.	Aromatische Poly(kohlenwasserstoff)e	191
5.5.1	Poly(phenylen)e	191
	Verzweigte Poly(phenylen)e	192
	Lineare Poly(phenylen)e	192
5.5.2	Poly(<i>p</i> -xylylen)	194
5.5.3.	Phenolharze	195
	Säurekatalyse	196
	Basenkatalyse	197
	Eigenschaften	197

5.5.4. Poly(armethylen)e	199
5.5.5. Poly(benzocyclobuten)e	199
5.6. Andere Poly(kohlenwasserstoff)e	201
5.6.1. Cumaron-Inden-Harze	201
5.6.2. Harzöl-Harze	201
5.6.3. Pinen-Harze	201
5.6.4. Polymere aus ungesättigten Naturölen	202
5.7. Poly(vinylverbindung)en	202
5.7.1. Poly(styrol)	203
Ataktische Homopolymere	203
Stereoreguläre Poly(styrol)e	204
Copolymere	205
5.7.2. Substituierte Poly(styrol)e	206
5.7.3. Poly(vinylacetat)	207
5.7.4. Poly(vinylalkohol)	208
5.7.5. Poly(vinylacetal)e	209
5.7.6. Poly(vinylether)	209
5.7.7. Poly(<i>N</i> -vinylverbindung)en	210
Poly(<i>N</i> -vinylcarbazol)	211
Poly(<i>N</i> -vinylpyrrolidon)	211
5.8. Poly(halogenkohlenwasserstoff)e	212
5.8.1. Poly(vinylchlorid)	212
Homopolymerisationen	212
Struktur	213
Eigenschaften	214
Derivate	216
Copolymere	216
5.8.2. Poly(vinylidenchlorid)	216
5.9. Fluor enthaltende Polymere	217
5.9.1. Poly(tetrafluorethylen)	217
Polymerisation	217
Verarbeitung und Eigenschaften	218
5.9.2. Copolymere des Tetrafluorethens	219
5.9.3. Poly(chlortrifluorethylen)	220
5.9.4. Poly(vinylfluorid)	220
5.9.5. Poly(vinylidenfluorid)	220
5.10. Poly(acrylverbindung)en	221
5.10.1. Poly(acrylsäure)	221
5.10.2. Poly(acrylsäureester)	222
5.10.3. Poly(acrolein)	224
5.10.4. Poly(acrylnitril)	224
5.10.5. Poly(acrylamid)	225
5.10.6. Poly(α -cyanacrylat)e	226
5.10.7. Poly(methylmethacrylat)	226
Polymerisation in Masse	227
Polymerisation in Lösung	228

Polymerisation in Suspension	228
5.10.8. Poly(2-hydroxyethylmethacrylat)	229
5.10.9. Poly(methacrylimid)	229
5.10.10. Poly(methacrylnitril)	229
5.11. Poly(allylverbindung)en	230
5.12. Aliphatische Polyketone	231
6. Kohlenstoff-Sauerstoff-Ketten	238
6.1. Übersicht	238
6.2. Poly(acetal)e	238
6.2.1. Übersicht	238
6.2.2. Poly(oxymethylen)e	239
Monomere	239
Poly(formaldehyd)e	240
Acetal-Copolymere	241
Stabilisierung von Acetal-Copolymeren	243
Eigenschaften	243
6.2.3. Poly(acetaldehyd)	244
6.2.4. Poly(fluoral)	244
6.2.5. Poly(chloral)	245
6.2.6. Poly(phthalaldehyd)	246
6.2.7. Poly(diphenolformal)e	246
6.2.8. Poly(1,3-dioxolan)	246
6.2.9. Poly(aceton)	247
6.3. Polyether	248
6.3.1. Poly(oxyethylen)e	248
6.3.2. Poly(propylenoxid)	248
6.3.3. Poly(epichlorhydrin)	249
6.3.4. Poly[1,2-di(chlormethyl)ethylenoxid]	250
6.3.5. Phenoxy-Harze	250
6.3.6. Epoxid-Harze	251
Typen	251
Synthesen	252
Härtung	253
6.3.7. Poly(tetrahydrofuran)	255
6.3.8. Furan-Harze	255
6.3.9. Polyphenylenoxide	255
Synthese	256
Eigenschaften	257
6.4. Polyketone	258
6.4.1. Poly(kohlensuboxid)	258
6.4.2. Polyaryletherketone	259
6.5. Aliphatische AB-Polyester	261
6.5.1. Poly(α -hydroxyessigsäure)	262
6.5.2. Poly(lactid)	262
6.5.3. Poly(hydroxypropionsäure)n	263

6.5.4.	Pol(hydroxyfettsäure)n	264
6.5.5.	Poly(pivalolacton)	267
6.5.6.	Poly(β -malonsäureester)	267
6.5.7.	Poly(ϵ -caprolacton)	268
6.5.8.	Andere Poly(ω -hydroxyalkanoat)e	268
6.6.	Aliphatische AA/BB-Polyester	269
6.6.1	Poly(alkylenkarbonat)e	269
6.6.2.	Andere Poly(alkylenalkanoat)e	270
6.6.3.	Alkydharze	270
6.7.	Ungesättigte Polyester	271
6.8.	Aromatische Polyester	272
6.8.1.	Polycarbonate	272
6.8.2.	Poly(<i>p</i> -hydroxybenzoat)e	275
6.8.3.	Poly(ethylenoxybenzoat)	277
6.8.4.	Poly(ethylenterephthalat)	277
6.8.5.	Poly(1,4-bismethylencyclohexanterephthalat)	279
6.8.6.	Poly(trimethylenterephthalat)	279
6.8.7.	Poly(butylenterephthalat)	279
6.8.8.	Thermoplastische Polyester-Elastomere	280
6.8.9.	Poly(alkylenaphthalat)e	281
6.8.10.	Polyarylate	281
6.9.	Polyorthoester	282
6.10.	Polyanhydride	283
7.	Polysaccharide	287
7.1.	Saccharide	287
7.1.1.	Übersicht	287
7.1.2.	Einfache Zucker	287
7.1.3.	Nomenklatur	292
7.1.4.	Biosynthese	294
7.1.5.	Wirtschaftliche Bedeutung	294
7.2.	Poly(α -glucose)n	295
7.2.1.	Übersicht	295
7.2.2.	Stärke	297
	Vorkommen	297
	Gewinnung	297
	Verwendung	298
	Modifikation von Stärken	299
	Stärke als Rohstoff	300
	Molmassen	300
	Amylose	301
	Amylopektin	303
	Physikalische Struktur der Stärkekörper	304
7.2.3.	Glycogen	305
7.2.4.	Dextrine	306
7.2.5.	Dextrane	307

7.2.6.	Poly(dextrose)	308
7.2.7.	Poly[α -(1 \rightarrow 3)-D-glucose]n	308
7.2.8.	Pullulan	308
7.3.	Cellulose	309
7.3.1.	Chemische Struktur	309
7.3.2.	Physikalische Struktur	311
7.3.3.	Physikalische Eigenschaften	313
7.3.4.	Cellulosische Naturfasern	314
	Vorkommen	314
	Struktur	316
7.3.5.	Bakteriencellulose	318
7.3.6.	Synthetische Cellulose	319
7.3.7.	Regenerierte Cellulosen	319
	Cuoxam-Verfahren	319
	Viskose-Verfahren	320
	Organosolv-Verfahren	322
7.3.8.	Mercerisierung	322
7.3.9.	Cellulosederivate	323
	Reaktionen der Cellulose	324
	Cellulosenitrate	326
	Celluloseacetate	326
	Celluloseether	329
7.3.10.	Chitin und Chitosan	329
7.3.11.	Murein	330
7.3.12.	Xanthan	330
7.4.	Mucopolysaccharide	331
7.4.1.	Hyaluronsäure	333
7.4.2.	Chondroitinsulfate	333
7.4.3.	Heparin	333
7.4.4.	Keratansulfat	334
7.5	Poly[β -(1 \rightarrow 3)-D-glucose]n	334
7.6.	Gellan-Gruppe	335
7.7.	Poly(galactose)n	336
7.7.1	Agar-Agar	336
7.7.2	Agarose und Agaropektin	337
7.7.3.	Carageen(an)	338
7.7.4.	Furcelleran und Funoran	339
7.7.5.	Pektine	339
7.7.6.	Tragantn	340
7.7.7.	G. Ghatti	341
7.7.8.	Gummi Arabicum	341
7.8.	Poly(mannose)n	342
7.8.1.	Guaran	342
7.8.2.	Carobin	343
7.8.3.	Alginate	343
7.9.	Hemicellulosen	344

7.9.1.	Hemicellulosen der Harthölzer	345
7.9.2.	Hemicellulosen der Weichhölzer	346
7.9.3.	Hemicellulosen der Gräser	347
7.10.	Poly(fructose)n	348
8.	Kohlenstoff-Schwefel-Ketten	352
8.1.	Aliphatische Polysulfide mit Monoschwefel	352
8.1.1.	Polythioacetale	352
8.1.2.	Polysulfide	352
8.2.	Aliphatische Polysulfide mit Polyschwefel	354
8.3.	Poly(phenylensulfid)	356
8.3.1.	Synthesen	356
8.3.2.	Eigenschaften	357
8.4.	Aromatische Polysulfidether	358
8.5.	Polysulfone	359
8.5.1.	Poly(alkylensulfon)e	359
8.5.2.	Poly(phenylensulfon)	361
8.5.3.	Polyethersulfone	361
	Polysulfonierungen	362
	Polyether-Synthese	362
	Polyarylensulfidsulfone	363
	Eigenschaften	363
8.6.	Polymere mit Schwefel in Ringstrukturen	365
8.6.1.	Poly(thiophen)e	365
	Synthesen	365
	Eigenschaften	366
8.6.2.	Andere Polymere	366
9.	Kohlenstoff-Stickstoff-Ketten	368
9.1.	Polyimine und verwandte Polymere	368
9.1.1.	Nomenklatur	368
9.1.2.	Polyisocyanide	368
9.1.3.	Polycyanide	369
9.1.4.	Poly(dinitril)e und Poly(tetranitril)e	370
9.1.5.	Polycyanoacetylene	370
9.1.6.	Poly(ethylenimin)e	371
	Lineare Poly(ethylenimin)e	371
	Substituierte lineare Poly(ethylenimin)e	372
	Verzweigte unsubstituierte Poly(ethylenimin)e	372
	Substituierte Polyimine	373
9.1.7.	Poly(formaldazin)	373
9.1.8.	Poly(anilin)	373
9.1.9.	Imin-Dendrimere	377
	Chemische Struktur und Synthesen	377
	Poly(1,3-trimethylenimin)-Dendrimere (POPAM)	377
	Polyamidoamin-Dendrimere (PAMAM)	378

Struktur und Eigenschaften	378
9.1.10. Benzochinon-haltige Polyimine	379
9.2. Polyamide	380
9.2.1. Übersicht	380
9.2.2. Aliphatische AA/BB-Polyamide	381
Typen	381
Monomere	381
Technische Synthesen	382
Mechanismus	385
Eigenschaften	386
Verwendung	388
9.2.3. Aliphatische AB-Polyamide	388
Übersicht	388
Monomere	390
Hydrolytische Polymerisation	391
Anionische Lactam-Polymerisationen	393
Kationische Lactam-Polymerisationen	393
Polykondensationen	393
Andere Polyamid-Bildungen	396
Eigenschaften und Verwendung	397
9.2.5. Verzweigte AA/BB-Polyamide	398
Hyperverzweigte Polyamide	398
Versamide	399
9.2.6. Aramide	400
AB-Typ	400
AA/BB-Typen	402
9.2.7. Andere aromatische und cycloaliphatische Polyamide	404
Polyphthalamide	404
Poly(<i>m</i> -xylylenadipamid)	405
Poly[bis(4-aminocyclohexan)methylendodecanamid] ..	406
Polyamid 6-3T	407
Andere transparente Polyamide	408
9.3. Polyharnstoffe und Aminoharze	410
9.3.1. Polyharnstoffe	410
9.3.2. Aminoharze	410
Monomere	410
Synthese	411
Technische Produkte	413
9.3.3. Polyhydrazide	414
9.4. Polycyanate	414
9.4.1. Übersicht	414
9.4.2. Polyamid 1 und Cyamelid	415
9.4.3. Poly(isocyanat)e	415
9.4.4. Cyanatester-Harze	416
9.4.5. Polyisocyanurate	417
9.5. Polyurethane	417

9.5.1.	Übersicht	417
9.5.2.	Synthesen	418
9.5.3.	Rohstoffe	419
	Diisocyanate	419
	Hydroxylverbindungen	421
9.5.4.	Anwendungen	422
	Elastomere	423
	Schaumstoffe	424
	Überzüge und Anstrichmittel	425
	Klebstoffe	426
	Reproduktionstechnik	426
9.6.	Polyimide	426
9.6.1.	<i>In-situ</i> gebildete Polyimide	427
	Polyimide aus Tetracarbonsäuren	427
	Polyesterimide (PEI (ISO, ASTM))	429
	Polyamidimide (PAI)	430
	Polyetherimide (PEI (DIN))	430
	PMR-Polyimide	430
	Eigenschaften	432
9.6.2	Vorgeformte Imidgruppen	433
	Polybismaleimide (BMI)	433
	BT-Harze	434
9.6.3.	Andere Polyimide	434
9.6.4.	Polycarbodiimide	435
9.6.5.	Polyuretdione	435
9.7.	Polyazole	435
9.7.1.	Übersicht	435
9.7.2.	Poly(pyrrol)e	437
9.7.3.	Poly(benzimidazol)e	437
9.7.4.	Poly(benzoxazol)e und Poly(benzthiazol)e	440
9.7.5.	Oxazol- und Oxadiazol-Polymere	442
	Poly(2-oxazolin)e	442
	Poly(2-oxazolidon)e	443
	Poly(oxadiazol)e	443
9.7.6.	Poly(terephthaloyloximidazon)	444
9.7.7.	Polyhydantoine	446
9.7.8.	Polyparabansäuren	447
9.7.9.	Poly(triazol)e	447
9.8.	Polyazine	448
9.8.1.	Übersicht	448
9.8.2.	Polychinoline	448
9.8.3.	Poly(phenylchinoxalin)e	449
9.8.4	Polytriazine	450
9.9.	Andere C-N-Polymere	451
9.9.1.	Nitroso-Kautschuk	451
9.9.2.	Azo-Polymere	451

10. Peptide und Proteine	455
10.1. Übersicht	455
10.1.1. Definitionen	455
10.1.2. α -Aminosäuren	457
10.1.3. Makrokonformationen	459
10.2. Poly(α -aminosäure)n	460
10.2.1. Synthese	460
10.2.2. Polymere	461
10.3. Poly(β -aminosäure)n	462
10.4. Proteine	463
10.4.1. Übersicht	463
10.4.2. Enzyme	464
Einteilung	464
Herstellung von Enzymen	465
Struktur und Wirksamkeit	465
Immobilisierung	467
Industrielle Nutzung	469
10.4.3. Kollagen	470
Übersicht über Skleroproteine	470
Synthese und Struktur	470
Naturleder	471
Gelatine	471
10.4.4. Proteingummien	472
Elastin	472
Resilin und Abductin	473
10.4.5. Proteinfasern	474
Seide	474
Wolle	475
Eiweißfasern	476
Casein	476
10.4.6. Technische Proteine	477
11. Anorganische Polymere	481
11.1. Einleitung	481
11.2. Bor-Polymere	483
11.2.1. Elementares Bor	483
11.2.2. Bor-Stickstoff-Verbindungen	484
11.2.3. Bor-Kohlenstoff-Verbindungen	484
11.2.4. Poly(carboransiloxan)e	484
11.2.5. Bor-Wasserstoff- und Bor-Sauerstoff-Verbindungen	486
11.3. Silicium-Polymere	486
11.3.1. Polysilane	487
11.3.2. Poly(carbosilan)e	488
11.3.3. Poly(silazan)e	490
11.3.4. Poly(kieselsäure)n	490
11.3.5. Silicate	491

Strukturen	491
Synthesen	493
11.3.6. Silicatgläser	495
11.3.7. Faserförmige Silicate	496
11.3.8. Schichtsilicate	497
11.3.9. Zement und Beton	499
11.3.10. Keramische Werkstoffe	501
11.3.11. Silicone	501
Silicat-Umwandlungen	502
Polyreaktionen	502
Äquilibrierung	503
Polymeranaloge Umwandlungen	504
Produkte	504
11.3.12. Siliciumdioxid	506
11.4. Germanium- und Zinn-Polymeren	507
11.5. Phosphor-Polymeren	507
11.5.1. Elementarer Phosphor	507
11.5.2. Poly(phosphorsäure) und deren Salze	508
11.5.3. Poly(phosphorsäureester)	509
11.5.4. Polyphosphonate	510
11.5.5. Polyphosphazene	511
11.6. Schwefel-Polymeren	513
11.6.1. Elementarer Schwefel	513
11.6.2. Poly(thiazyl)	515
11.7. Selen-, Tellur- und Gallium-Polymeren	516
11.7.1. Elemente	516
11.7.2. Galliumchalkogenide	516
11.8. Organometall-Polymeren	517
12. Anhang	523
12.1. SI-Einheiten und IUPAC-Symbole	523
Tab. 12-1 Physikalische Grundgrößen und SI-Grundeinheiten	523
Tab. 12-2 Abgeleitete SI-Einheiten und IUPAC-Symbole	524
Tab. 12-3 Neben oder mit SI-Einheiten verwendete ältere Einheiten	525
Tab. 12-4 Vorsätze für SI-Einheiten im Dezimalsystem	526
Tab. 12-5 Vorsätze für binäre Systeme	526
Tab. 12-6 Vorsatzzeichen in der U.S.Finanz- und Gaswirtschaft	527
Tab. 12-7 Römische Zahlenzeichen	527
Tab. 12-8 Fundamentale Konstanten	527
12.2. Konzentrationen	528
12.3. Zahlwörter	529
Tab. 12-9 Zahlwörter und Multiplikativpräfixe	529
Tab. 12-10 Griechische Zahlen	530
12.4. Abkürzungen von Namen für Polymeren	530

Sachregister	534
Englische Fachausdrücke	563