

Inhalt

Vorwort zur 3. Auflage	V
1 Einleitung	1
<i>Fritz Röthemeyer, Franz Sommer</i>	
1.1 Kautschuktechnologie	1
1.2 Historische Entwicklung	4
1.2.1 Naturkautschuk	4
1.2.2 Synthesekautschuk	9
Literatur zu Kapitel 1	12
2 Aufbau, Herstellung und Eigenschaften von Kautschuk und Elastomeren	13
<i>Franz Sommer, überarbeitet von Armin Holzner</i>	
2.1 Struktur und Eigenschaften	13
2.1.1 Einleitung	13
2.1.2 Verformungsverhalten von Elastomeren	14
2.1.2.1 Thermodynamische Theorie der Gummielastizität	14
2.1.2.2 Statistische Theorie der Gummielastizität	15
2.1.2.3 Verformung hyperelastischer Werkstoffe	17
2.1.2.4 Druckverformung	18
2.1.3 Temperatur- und Zeitabhängigkeit der viskoelastischen Eigenschaften ...	19
2.1.3.1 Temperaturabhängigkeit	20
2.1.3.2 Zeitabhängigkeit	22
2.1.3.3 Zeit-Temperatur-Superpositionsprinzip	25
2.1.4 Struktur und Eigenschaften	26
2.1.4.1 Chemischer Aufbau	26
2.1.4.2 Mikrostruktur	27
2.1.4.3 Kristallisation	29
2.1.5 Synthese von Kautschuk	30
2.1.5.1 Polymerisation	30
2.1.5.2 Polyaddition und Polykondensation	36
2.1.5.3 Herstellverfahren	37
2.1.6 Klassifizierung von Kautschuk und Elastomeren	39
2.1.6.1 Klassifizierung der Kautschuke	39
2.1.6.2 Klassifizierung der Elastomere	40

2.1.7	Aufbau von Kautschukmischungen und Elastomereigenschaften	43
2.1.7.1	Aufbau von Kautschukmischungen	43
2.1.7.2	Basisanforderungen an Elastomere	44
2.2	Naturkautschuk (NR)	45
2.2.1	Einleitung	45
2.2.2	Vorkommen und Gewinnung	47
2.2.2.1	Vorkommen von Naturkautschuk	47
2.2.2.2	Gewinnung von Naturkautschuk	48
2.2.2.3	Trans-Polyisopren (Guttapercha, Balata)	50
2.2.2.4	Biosynthese von Naturkautschuk	50
2.2.3	Aufbau und Zusammensetzung von Naturkautschuklatex	52
2.2.4	Herstellung und Verarbeitung von Naturkautschuklatex	54
2.2.4.1	Herstellung von Naturkautschuk-Latexkonzentrat	54
2.2.4.2	Modifizierter Latex	56
2.2.4.3	Verarbeitung von Latexkonzentrat	57
2.2.5	Herstellung von Naturkautschuk (Festkautschuk)	60
2.2.5.1	Konventionelle Naturkautschuksorten	61
2.2.5.2	Technisch spezifizierter Kautschuk (TSR)	65
2.2.5.3	Spezialtypen	68
2.2.6	Eigenschaften von Naturkautschuk	68
2.2.6.1	Einfluss der Herstellmethode	68
2.2.6.2	Einfluss der Struktur	69
2.2.6.3	Abbauverhalten von Naturkautschuk (Mastikation)	72
2.2.7	Verarbeitung von Naturkautschuk	74
2.2.7.1	Mischen	75
2.2.7.2	Formgeben	75
2.2.7.3	Vulkanisation	75
2.2.8	Compounding von Naturkautschuk	75
2.2.8.1	Blends mit anderen Kautschuken	76
2.2.8.2	Füllstoffe	76
2.2.8.3	Weichmacher	76
2.2.8.4	Stabilisatoren, Alterungsschutzmittel	77
2.2.8.5	Ozonschutzmittel	77
2.2.8.6	Vernetzung	78
2.2.9	Eigenschaften der Naturkautschuk-Vulkanisate	79
2.2.9.1	Mechanische Eigenschaften	80
2.2.9.2	Verformungsverhalten	81
2.2.9.3	Wärme-, Alterungs- und Witterungsbeständigkeit	81
2.2.9.4	Kälteverhalten	82
2.2.9.5	Elektrische Eigenschaften	82
2.2.9.6	Beständigkeit gegen Chemikalien	82
2.2.10	Anwendung von Naturkautschuk-Vulkanisaten	83
2.2.11	Modifizierter Naturkautschuk	83
2.2.11.1	Vorvernetzter Kautschuk	84
2.2.11.2	Deproteinisierter Kautschuk	85
2.2.11.3	Pfropf-Kautschuk	85
2.2.11.4	Thermoplastischer Naturkautschuk	85

2.3	Polybutadien (BR)	85
2.3.1	Einleitung	85
2.3.2	Struktur und Eigenschaften	86
2.3.2.1	Mikrostruktur	86
2.3.2.2	Makrostruktur	90
2.3.3	Herstellverfahren	90
2.3.3.1	Anionische Polymerisation	91
2.3.3.2	Koordinative Polymerisation	92
2.3.3.3	Radikalische Polymerisation von Butadien	95
2.3.4	Verarbeitungsverhalten von Polybutadien	95
2.3.5	Compounding und Eigenschaften	96
2.3.5.1	Verschnitte mit anderen Kautschuken	96
2.3.5.2	Füllstoffe, Weichmacher	97
2.3.5.3	Vernetzung	97
2.3.5.4	Alterungs- und Ozonschutz	97
2.3.5.5	Mischungsherstellung und Weiterverarbeitung	98
2.3.6	Eigenschaften und Anwendung der Vulkanisate	98
2.3.6.1	Eigenschaften	98
2.3.6.2	Anwendung	98
2.4	Polyisopren (IR)	99
2.4.1	Einleitung	99
2.4.2	Herstellung	100
2.4.2.1	Monomer	100
2.4.2.2	Polymerisationsverfahren	100
2.4.2.3	Mikrostruktur	100
2.4.3	Eigenschaften	101
2.4.3.1	Li-Polyisopren	102
2.4.3.2	Ti-Polyisopren	102
2.4.3.3	Nd-Polyisopren	102
2.4.4	Rezeptaufbau, Verarbeitung und Anwendung	103
2.4.4.1	Rezeptaufbau	103
2.4.4.2	Verarbeitung	103
2.4.4.3	Anwendung	103
2.5	Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR)	104
2.5.1	Einleitung	104
2.5.2	Herstellung und Struktur	104
2.5.2.1	Herstellung der Monomere	105
2.5.2.2	Radikalische Emulsionspolymerisation	105
2.5.2.3	Anionische Polymerisation (Lösungs-SBR)	108
2.5.3	Zusammensetzung und Eigenschaften von E-SBR	109
2.5.4	Compounding	111
2.5.4.1	Verarbeitungsverhalten	112
2.5.4.2	Blends	112
2.5.4.3	Füllstoffe	112
2.5.4.4	Weichmacher, Additive	113
2.5.4.5	Alterungs- und Witterungsschutz	113
2.5.4.6	Vernetzungssysteme	113

2.5.5	Eigenschaften und Anwendung der Vulkanisate	115
2.5.6	Lösungs-SBR (S-SBR)	115
2.5.6.1	Einleitung	115
2.5.6.2	Anionische Polymerisation	116
2.5.6.3	Herstellung von S-SBR	117
2.5.6.4	Eigenschaften und Anwendung von S-SBR	118
2.5.6.5	Eigenschaften der Vulkanisate	119
2.6	Acrylnitril-Butadien-Kautschuk (NBR)	119
2.6.1	Einleitung	119
2.6.2	Herstellung	119
2.6.2.1	Herstellung der Monomere	119
2.6.2.2	Polymerisation	120
2.6.3	Struktur und Eigenschaften von NBR	121
2.6.3.1	Mikrostruktur	121
2.6.3.2	Makrostruktur	122
2.6.3.3	Handelsübliche Typen	123
2.6.3.4	Spezialtypen	123
2.6.4	Compounding	124
2.6.4.1	Blends	125
2.6.4.2	Füllstoffe	126
2.6.4.3	Weichmacher	127
2.6.4.4	Alterungsschutz	128
2.6.4.5	Vernetzung	128
2.6.5	Eigenschaften der Vulkanisate und Anwendungen	129
2.6.5.1	Chemikalienbeständigkeit	130
2.6.5.2	Produkte für den Kontakt mit Lebensmitteln	131
2.6.5.3	Anwendungen	132
2.6.6	Hydrierter Nitrilkautschuk (HNBR)	132
2.6.6.1	Herstellung	132
2.6.6.2	Eigenschaften	133
2.6.6.3	Compounding	133
2.6.6.4	Eigenschaften der Vulkanisate	134
2.7	Ethylen-Propylen-Kautschuk (EPM, EPDM)	135
2.7.1	Einleitung	135
2.7.2	Herstellung	135
2.7.2.1	Monomere	135
2.7.2.2	Polymerisation	135
2.7.2.3	Polymerisationsverfahren	136
2.7.3	Struktur und Eigenschaften	137
2.7.3.1	Mikrostruktur	137
2.7.3.2	Termonomere	139
2.7.3.3	Makrostruktur	140
2.7.3.4	Handelsübliche EP(D)M-Kautschuktypen	140
2.7.4	Compounding	142
2.7.4.1	Blends	143
2.7.4.2	Füllstoffe	143

2.7.4.3	Weichmacher	144
2.7.4.4	Alterungsschutzmittel	144
2.7.4.5	Vernetzung	144
2.7.5	Mischungsherstellung und Verarbeitung	148
2.7.5.1	Mischungsherstellung	148
2.7.5.2	Verarbeitung	149
2.7.5.3	Vulkanisation	149
2.7.6	Eigenschaften der Vulkanisate und Anwendung	149
2.7.6.1	Eigenschaften der Vulkanisate	149
2.7.6.2	Anwendung	150
2.8	Butylkautschuk und Halogen-Butylkautschuk	151
2.8.1	Butylkautschuk (IIR)	151
2.8.1.1	Einleitung	151
2.8.1.2	Herstellung	151
2.8.1.3	Struktur und Eigenschaften	153
2.8.1.4	Compounding	155
2.8.1.5	Eigenschaften der Vulkanisate und Anwendung	158
2.8.2	Halogen-Butylkautschuk (BIIR, CIIR)	160
2.8.2.1	Einleitung	160
2.8.2.2	Herstellung und Struktur	160
2.8.2.3	Eigenschaften	161
2.8.2.4	Compounding	162
2.8.2.5	Eigenschaften der Vulkanisate und Anwendung	165
2.9	Chloroprenkautschuk (CR)	165
2.9.1	Einleitung	165
2.9.2	Herstellung	166
2.9.2.1	Herstellung des Monomers	166
2.9.2.2	Polymerisation	167
2.9.2.3	Schwefelmodifiziertes Polychloropren (Copolymer)	168
2.9.2.4	Mercaptanmodifiziertes Polychloropren (Homopolymer)	168
2.9.2.5	Vorvernetztes Polychloropren	169
2.9.2.6	Handelsübliche Polychloropren-Typen	170
2.9.3	Struktur und Eigenschaften	170
2.9.3.1	Mikrostruktur	170
2.9.3.2	Glasübergangstemperatur und Kristallisation	172
2.9.3.3	Makrostruktur	173
2.9.3.4	Einfluss des Chloratoms	173
2.9.4	Compounding	173
2.9.4.1	Blends	173
2.9.4.2	Füllstoffe	174
2.9.4.3	Weichmacher	174
2.9.4.4	Alterungsschutzmittel	175
2.9.4.5	Vernetzung	175
2.9.5	Verarbeitung	177
2.9.5.1	Lagerung	177
2.9.5.2	Mischungsherstellung	178
2.9.5.3	Verarbeitung	178

2.9.6	Eigenschaften der Vulkanisate	178
2.9.7	Anwendung der Vulkanisate	179
2.9.7.1	Klebstoffe	180
2.10	Chloriertes und chlorsulfoniertes Polyethylen	180
2.10.1	Chloriertes Polyethylen (CM)	180
2.10.1.1	Einleitung	180
2.10.1.2	Herstellung	180
2.10.1.3	Struktur und Eigenschaften	181
2.10.1.4	Compounding	182
2.10.1.5	Eigenschaften der Vulkanisate	182
2.10.2	Chlorsulfoniertes Polyethylen (CSM)	183
2.10.2.1	Einleitung	183
2.10.2.2	Herstellung	183
2.10.2.3	Struktur und Eigenschaften	183
2.10.2.4	Compounding	184
2.10.2.5	Eigenschaften der Vulkanisate und Anwendungen	185
2.10.3	Vernetztes Polyethylen	186
2.11	Epichlorhydrin-Kautschuk (ECO/CO/ETER)	187
2.11.1	Einleitung	187
2.11.2	Herstellung	188
2.11.3	Struktur und Eigenschaften	188
2.11.4	Compounding	189
2.11.4.1	Stabilisierung	189
2.11.4.2	Füllstoffe, Weichmacher	189
2.11.4.3	Vernetzung	190
2.11.5	Eigenschaften der Vulkanisate und Anwendung	190
2.12	Fluorkautschuke (FPM)	191
2.12.1	Fluorkautschuk (FPM)	191
2.12.1.1	Einleitung	191
2.12.1.2	Herstellung	192
2.12.1.3	Struktur und Eigenschaften	193
2.12.1.4	Compounding	195
2.12.1.5	Eigenschaften der Vulkanisate und Anwendung	198
2.12.2	Perfluorkautschuk (FFPM)	199
2.12.2.1	Einleitung	199
2.12.2.2	Herstellung	200
2.12.2.3	Eigenschaften der Vulkanisate	200
2.12.3	Tetrafluorethylen-Propylen-Kautschuk (TFE/P)	200
2.12.3.1	Herstellung und Struktur	200
2.12.3.2	Compounding	201
2.12.3.3	Eigenschaften der Vulkanisate und Anwendung	201
2.13	Acrylatkautschuk (ACM)	202
2.13.1	Einleitung	202
2.13.2	Herstellung	202
2.13.2.1	Monomere	202
2.13.2.2	Polymerisation	203

2.13.3	Struktur und Eigenschaften	204
2.13.4	Compounding	204
2.13.4.1	Vernetzung von ACM mit chlorhaltigen Comonomeren	205
2.13.4.2	Vernetzung von ACM mit Epoxygruppen	206
2.13.4.3	Verarbeitung	206
2.13.5	Eigenschaften der Vulkanisate und Anwendung	206
2.14	Ethylen-Acrylat- und Ethylen-Vinylacetat-Kautschuk	207
2.14.1	Ethylen-Acrylat-Kautschuk (AEM)	207
2.14.1.1	Einleitung	207
2.14.1.2	Struktur und Eigenschaften	207
2.14.1.3	Compounding	208
2.14.1.4	Eigenschaften der Vulkanisate und Anwendung	209
2.14.2	Ethylen-Vinylacetat-Kautschuk (EVM)	210
2.14.2.1	Einleitung	210
2.14.2.2	Herstellung	210
2.14.2.3	Struktur und Eigenschaften	210
2.14.2.4	Compounding	211
2.14.2.5	Eigenschaften der Vulkanisate und Anwendungen	211
2.15	Polysulfidkautschuk (T)	212
2.15.1	Einleitung	212
2.15.2	Herstellung und Struktur	212
2.15.3	Compounding	213
2.15.4	Eigenschaften der Vulkanisate und Anwendung	214
2.16	Silikonkautschuk	214
2.16.1	Einleitung	214
2.16.2	Herstellung	215
2.16.3	Struktur und Eigenschaften	216
2.16.3.1	VMQ	217
2.16.3.2	PMQ, PVMQ	217
2.16.3.3	FVMQ	218
2.16.3.4	Eigenschaften	218
2.16.4	Compounding	218
2.16.4.1	Füllstoffe und Weichmacher	218
2.16.4.2	Stabilisatoren, Flammenschutzmittel	219
2.16.4.3	Vernetzung	219
2.16.5	Handelsübliche Silikonkautschuk-Typen	219
2.16.5.1	Fester Silikonkautschuk (HTV)	220
2.16.5.2	Flüssig-Silikonkautschuk (LSR)	221
2.16.5.3	Kaltvernetzender Silikonkautschuk (RTV)	223
2.16.6	Eigenschaften von Silikonkautschuk-Vulkanisaten	224
2.16.6.1	Permeabilität	225
2.16.6.2	Oberflächenenergie	226
2.16.6.3	Elektrische Eigenschaften, Brennbarkeit	226
2.16.6.4	Mechanische Eigenschaften	226
2.16.7	Anwendung	227

2.17	Polyalkenylene	227
2.17.1	Norbornenkautschuk (PNR)	228
2.17.1.1	Herstellung und Struktur	228
2.17.1.2	Compounding und Eigenschaften der Vulkanisate	229
2.17.1.3	Anwendung	230
2.17.2	Polyoctenamer	230
2.17.2.1	Herstellung	231
2.17.2.2	Struktur und Eigenschaften	231
2.17.2.3	Compounding	231
2.17.2.4	Anwendung	232
2.18	Polyurethankautschuk	232
2.18.1	Polymerisation und Struktur	233
2.18.1.1	Diisocyanate	234
2.18.1.2	Polydirole	234
2.18.1.3	Kettenverlängerer, Vernetzer	235
2.18.2	Herstellverfahren	235
2.18.2.1	Präpolymerprozess	235
2.18.2.2	Einstufenprozess	236
2.18.3	Vernetzung	236
2.18.4	Verarbeitung	236
2.18.5	Elastomereigenschaften	237
2.19	Thermoplastische Elastomere (TPE)	237
2.19.1	Aufbau und Eigenschaften der thermoplastischen Elastomere	238
2.19.1.1	Blockcopolymere	240
2.19.1.2	Polymerblends	244
2.19.1.3	Elastomer-Thermoplast-Legierungen (TPE-V)	245
2.19.2	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	247
	Literatur zu Kapitel 2	249
3	Füllstoffe, Vernetzungsmittel, Additive	259
	<i>Franz Sommer, überarbeitet von Armin Holzner</i>	
3.1	Füllstoffe	259
3.1.1	Einleitung	259
3.1.2	Einteilung der Füllstoffe	261
3.1.3	Verstärkung durch Füllstoffe	262
3.1.3.1	Verstärkung	262
3.1.3.2	Einfluss verstärkender Füllstoffe auf die Viskosität von Kautschuk	264
3.1.3.3	Einfluss verstärkender Füllstoffe auf die Eigenschaften von Elastomeren	266
3.1.4	Ruß	273
3.1.4.1	Herstellung von Ruß	273
3.1.4.2	Theorie der Rußbildung	279
3.1.4.3	Aufbau von Ruß	280
3.1.4.4	Methoden zur Charakterisierung von Ruß	287

3.1.4.5	Chemische Zusammensetzung von Ruß	291
3.1.4.6	Klassifizierung der Ruße	292
3.1.4.7	Elektrische Leitfähigkeit	293
3.1.4.8	Toxikologie	294
3.1.5	Kieselsäuren und Silikate	295
3.1.5.1	Herstellung	295
3.1.5.2	Eigenschaften und Klassifizierung	297
3.1.5.3	Aufbau und Struktur von Kieselsäuren	299
3.1.5.4	Einfluss der Kieselsäuren auf die Eigenschaften von Kautschuk und Elastomeren	301
3.1.5.5	Oberflächenmodifizierung von Kieselsäuren	304
3.1.6	Anorganische Füllstoffe	306
3.1.7	Nanomaterialien	308
3.2	Vernetzungssysteme	310
3.2.1	Einleitung	310
3.2.2	Vernetzungsreaktionen	311
3.2.2.1	Reaktionsverlauf	314
3.2.2.2	Schwefelvernetzungssysteme	315
3.2.2.3	Reaktionsmöglichkeiten der Doppelbindung	316
3.2.2.4	Mechanismus der Schwefelvernetzung	318
3.2.2.5	Schwefel-Beschleuniger-Systeme	327
3.2.2.6	Wirkungsweise der Beschleuniger	331
3.2.2.7	Effizienz der Schwefelvernetzung	341
3.2.2.8	Schwefel	345
3.2.2.9	Aktivatoren	348
3.2.3	Peroxide	350
3.2.3.1	Einleitung	350
3.2.3.2	Reaktionsmechanismus	351
3.2.3.3	Coagenzien	354
3.2.3.4	Organische Peroxide	356
3.2.3.5	Eigenschaften von peroxidvernetzten Vulkanisaten	358
3.2.4	Vernetzung mit reaktiven Harzen	359
3.2.5	Vernetzung mit Chinondioxim-Verbindungen	360
3.2.6	Vernetzung mit Isocyanaten	361
3.2.7	Vernetzungssysteme für Kautschuke mit aktiven Halogenatomen	362
3.2.8	Strahlenvernetzung	363
3.2.8.1	Einleitung	363
3.2.8.2	Photochemische Reaktionen	364
3.2.8.3	Elektronenstrahlen	365
3.2.8.4	Gammastrahlen	365
3.2.8.5	Mechanismus der Strahlenvernetzung	366
3.2.8.6	Anwendung	367
3.3	Weichmacher und Verarbeitungswirkstoffe	367
3.3.1	Weichmacher	368
3.3.1.1	Mineralölweichmacher	371
3.3.1.2	Synthetische Weichmacher	373

3.3.2	Verarbeitungswirkstoffe	375
3.3.2.1	Fettsäuren und Fettsäure-Derivate	376
3.3.2.2	Fettsäureester und Fettalkohole	376
3.3.2.3	Faktis	376
3.4	Alterungs-, UV- und Ozonschutzmittel	377
3.4.1	Mechanismus der Oxidation	377
3.4.2	Oxidationsstabilisatoren (Antioxidantien)	378
3.4.2.1	Präventive Stabilisatoren	379
3.4.2.2	Antioxidantien	379
3.4.3	Ozonschutzmittel	381
3.4.3.1	Schutzmaßnahmen	382
3.4.3.2	Ozonschutzwachse	382
3.4.3.3	Paraphenyldiamine	382
3.5	Sonstige Additive	383
3.5.1	Klebrigmacherharze	383
3.5.2	Pigmente, Farbstoffe	384
3.5.3	Treibmittel	384
3.5.4	Flammschutzmittel	385
3.5.5	Haftmittel	385
3.5.5.1	Haftung zu Stahldrähten	386
3.5.5.2	Haftvermittler für Metalle	386
	Literatur zu Kapitel 3	386
4	Verfahren zur Herstellung von Kautschukmischungen	393
	<i>Fritz Röthemeyer</i>	
4.1	Einführung	394
4.2	Wesentliche Mischungsbestandteile	397
4.3	Mischstufen	402
4.3.1	Mastizieren	402
4.3.2	Grundmischen	405
4.3.2.1	Füllstoffinkorporation	405
4.3.2.2	Füllstoffdispersion	406
4.3.2.3	Füllstoffe und Verarbeitungsverhalten	409
4.3.3	Fertigmischen	411
4.4	Mischverfahren	413
4.4.1	Mischen auf Walzwerken	413
4.4.1.1	Betriebsparameter	414
4.4.1.2	Mastizieren	418
4.4.1.3	Grund- und Fertigmischen	419
4.4.2	Mischen in Innenmischern	419
4.4.2.1	Konstruktive Merkmale von Innenmischern	419
4.4.2.2	Vor- und nachgeschaltete Anlagen	424
4.4.2.3	Rheologische und thermodynamische Grundlagen	427
4.4.2.4	Einflussgrößen auf den Mischvorgang	432
4.4.2.5	Einstufenmischen	452

4.4.3	Ausformen und Abkühlen der Mischungen	459
4.4.4	Kontinuierliche Mischverfahren	460
4.5	Mischungsprüfung	463
4.6	Betriebspraxis Mischen	466
	Verwendete Formelzeichen zu Kapitel 4	468
	Literatur zu Kapitel 4	470
5	Verfahren zur Herstellung von Lösungen aus Kautschukmischungen	473
	<i>Fritz Röthemeyer</i>	
5.1	Lösungsmittel und Löslichkeit	473
5.2	Herstellung von Kautschuklösungen	475
5.2.1	Lösvorgang	475
5.2.2	Lösverfahren	477
5.2.3	Lösungsprüfung	482
5.2.4	Betriebspraxis Lösen	484
5.2.5	Anordnung der Lösungsherstellung im Werkslayout (insbesondere Reifenwerke)	485
	Literatur zu Kapitel 5	485
6	Rheologisches und thermodynamisches Verhalten von Kautschukmischungen	487
	<i>Fritz Röthemeyer</i>	
6.1	Rheologisches Verhalten von Kautschukmischungen und Vulkanisaten	487
6.1.1	Zeitabhängigkeit der rheologischen Eigenschaften bei statischer Beanspruchung	488
6.1.2	Viskoelastische Körper bei periodischer Beanspruchung	495
6.2	Stationäres rheologisches Verhalten von Kautschukmischungen	500
6.2.1	Viskosität von Kautschukmischungen	500
6.2.2	Strömungsvorgänge	504
6.3	Wärmedissipation, -übertragung und -leitung	508
6.4	Vernetzungsverhalten von Kautschukmischungen	514
	<i>Franz Sommer</i>	
6.4.1	Grundlagen	514
6.4.2	Bestimmung der Vernetzungsdichte	515
6.4.3	Zeitlicher Verlauf der Vernetzungsreaktion	517
6.4.3.1	Vulkametrie	517
6.4.4	Reaktionskinetik	519
6.4.5	Bestimmung von Reaktionsordnung, Geschwindigkeitskonstante und Reaktionszeit	522
6.4.6	Temperaturabhängigkeit der Vernetzungsreaktion	522
6.5	Anisotherme Vulkanisation	523

6.6	Mischungsprüfung	528
	<i>Sven Wießner</i>	
6.6.1	Scherrheologische Verfahren	528
6.6.1.1	Scherscheibenviskosimeter nach Mooney	528
6.6.1.2	Oszillationsrheometer	530
6.6.1.3	Rubber-Process-Analyzer (RPA)	531
6.6.1.4	Prozessfähigkeitscharakterisierung im Laborkneter	533
6.6.2	Kapillarrheologische Verfahren	534
6.6.2.1	Viskoelastometer-Prüfung	534
6.6.2.2	Extrusionsrheometer	536
6.6.3	Defoprüfung	537
6.6.3.1	Messprinzip	537
6.6.4	Korrelationen der Prüfverfahren	538
6.7	Möglichkeiten der Simulation des Verarbeitungsprozesses und des Bauteilverhaltens in der Kautschuktechnologie	539
	<i>Edmund Haberstroh</i>	
6.7.1	Fließvorgänge im Spritzgießprozess	540
6.7.2	Vulkanisationsverhalten eines Gummi-Metall-Bauteils in der Kavität eines Spritzgießwerkzeugs	540
6.7.3	Verformungsverhalten eines Gummi-Metall-Bauteils unter Last	543
	Verwendete Formelzeichen zu Kapitel 6	545
	Literatur zu Kapitel 6	547
7	Prüfung von Elastomeren	551
	<i>Franz Sommer, überarbeitet von Wolfgang Fidi</i>	
7.1	Einleitung	551
7.1.1	Prüfmethode(n)	553
7.1.2	Herstellung der Prüfkörper	555
7.1.3	Streuung der Messwerte	555
7.2	Prüfung der quasistatischen mechanischen Eigenschaften	557
7.2.1	Härteprüfung	557
7.2.1.1	Grundlagen	557
7.2.1.2	Prüfmethode(n)	558
7.2.1.3	Normen	559
7.2.1.4	Präzision	561
7.2.2	Zugversuch	561
7.2.2.1	Grundlagen	561
7.2.2.2	Prüfmethode	563
7.2.2.3	Normen	563
7.2.2.4	Präzision	564
7.2.3	Druckversuch	564
7.2.3.1	Grundlagen	564
7.2.3.2	Normen	566
7.2.3.3	Präzision	567

7.2.4	Prüfung unter Schubbeanspruchung	567
7.2.4.1	Grundlagen	567
7.2.4.2	Normen	568
7.2.5	Prüfung des Weiterreißwiderstandes	569
7.2.5.1	Grundlagen	569
7.2.5.2	Prüfmethoden	569
7.2.5.3	Normen	569
7.2.5.4	Präzision	571
7.3	Prüfung der viskoelastischen Eigenschaften	571
7.3.1	Dynamische Prüfverfahren	571
7.3.1.1	Grundlagen	571
7.3.1.2	Prüfmethoden	572
7.3.1.3	Normen	573
7.3.2	Rückprallelastizität	574
7.3.2.1	Grundlagen	574
7.3.2.2	Normen	575
7.3.2.3	Präzision	575
7.4	Dauerschwingversuch (Ermüdung)	576
7.4.1	Grundlagen	576
7.4.2	Dauerknickversuch und Risswachstum	577
7.4.2.1	Normen	577
7.4.3	Prüfung der Wärmebildung und des Zermübwiderstandes im Dauerschwingversuch (Flexometerprüfung)	578
7.4.3.1	Normen	579
7.5	Prüfung der Relaxation und Retardation	580
7.5.1	Grundlagen	580
7.5.1.1	Viskoelastische Vorgänge	580
7.5.1.2	Chemische Vorgänge	581
7.5.2	Spannungsrelaxation	581
7.5.2.1	Grundlagen	581
7.5.2.2	Prüfmethode	582
7.5.2.3	Normen	582
7.5.3	Verformungsrest – bleibende Verformung	583
7.5.3.1	Zugverformungsrest	583
7.5.3.2	Druckverformungsrest	584
7.5.4	Retardation – Kriechen	585
7.5.4.1	Grundlagen	585
7.5.4.2	Normen	586
7.6	Prüfung des Kälteverhaltens	587
7.6.1	Grundlagen	587
7.6.1.1	Einfrierverhalten	587
7.6.1.2	Kristallisationsverhalten	588
7.6.2	Prüfmethoden	588
7.6.2.1	Prüfung des Einfrierverhaltens	588
7.6.2.2	Ermittlung des Kristallisationsverhaltens/Kältelagerung	589

7.7	Abrieb und Verschleiß	590
7.7.1	Grundlagen	590
7.7.2	Prüfmethoden	591
7.7.2.1	Normen	591
7.8	Künstliche Alterung	593
7.8.1	Einfluss von Wärme und Sauerstoff	594
7.8.1.1	Prüfmethoden	594
7.8.1.2	Normen	594
7.8.2	Einfluss von Ozon	595
7.8.2.1	Grundlagen	595
7.8.2.2	Prüfverfahren	595
7.8.2.3	Normen	596
7.8.3	Künstliche und natürliche Bewitterung	596
7.8.3.1	Künstliche Bewitterung – ISO 4892/DIN 53 387	596
7.8.3.2	Bewitterung im Freien – DIN 53 386	596
7.9	Elektrische Eigenschaften	597
7.9.1	Grundlagen	597
7.9.2	Prüfmethoden	597
7.10	Permeation	598
7.10.1	Grundlagen	598
7.10.2	Normen	599
7.10.2.1	ISO 1399 – Messung der Gasdurchlässigkeit bei konstantem Volumen	599
7.10.2.2	ISO 2782 – Messung der Gasdurchlässigkeit bei konstantem Druck	599
7.10.3	Flüssigkeitsdurchlässigkeit	599
7.10.3.1	ISO 6179	599
7.11	Quellungsprüfung	600
7.11.1	Grundlagen	600
7.11.2	Normen	600
	Literatur zu Kapitel 7	601

8 Verfahren zur Herstellung von Halbzeugen durch Kalandrieren 603

Fritz Röthemeyer

8.1	Strömungsvorgänge im Walzenspalt	605
8.1.1	Geschwindigkeitsverteilung	605
8.1.2	Druckaufbau	609
8.1.3	Durchsatzverhalten	614
8.1.4	Temperaturentwicklung	615
8.1.5	Kalandereffekt und Schrumpf	617
8.2	Walzendurchbiegung und Kompensation	620
8.2.1	Walzenbombierung	621
8.2.2	Walzenschränkung	622
8.2.3	Walzengegenbiegung	623
8.2.4	Zusammenwirken von Spaltlast und Kompensationsmaßnahmen	623

8.3	Kalanderlinie	625
8.3.1	Kalanderbeschickung	625
8.3.1.1	Vorwärmwalzwerke	626
8.3.1.2	Vorwärmextruder	628
8.3.1.3	Roller-Head-Anlage	629
8.3.2	Kalander	633
8.3.2.1	Bauformen	633
8.3.2.2	Walzen	634
8.3.2.3	Antrieb	637
8.3.2.4	Zusatzeinrichtungen	637
8.3.3	Nachfolgeeinrichtungen	637
8.3.3.1	Kühlung	638
8.3.3.2	Aufwicklung	642
8.4	Produktionsverfahren und -anlagen	643
8.4.1	Ausformen von Platten aus Kautschukmischungen	645
8.4.2	Friktionieren von Gewebe	645
8.4.3	Belegen von Geweben	646
8.5	Basisprobleme des Kalandrierens	647
8.5.1	Der sichere Kalanderprozess, das funktionstüchtige Produkt und seine Abhängigkeit von Eigenklebrigkeit, Konfektionsklebrigkeit und Fremdklebrigkeit der Kautschukmischungen (Priorität 1)	648
8.5.2	Entwicklung einer optimalen Schrumpfstrecke (Priorität 2)	649
8.5.3	Walzenbombage bei großen Spaltkräften (Priorität 3)	649
8.5.4	Produktqualität und Spaltdruck (Priorität 4)	650
8.5.5	Entwicklung einer optimalen Kalanderfütterung (Priorität 5)	651
8.6	Betriebspraxis Kalandrieren	651
	Verwendete Formelzeichen zu Kapitel 8	653
	Literatur zu Kapitel 8	654
9	Verfahren zur Herstellung von Halbzeugen durch Streichen	657
	<i>Fritz Röthemeyer</i>	
9.1	Imprägnieren	657
9.2	Streichen	658
9.2.1	Geschwindigkeitsverteilung	661
9.2.2	Trocknen	669
9.2.3	Sicherheitsmaßnahmen	673
9.2.4	Wickeln	673
9.2.5	Vulkanisieren	674
9.2.6	Betriebspraxis	674
	Verwendete Formelzeichen in Kapitel 9	675
	Literatur zu Kapitel 9	676

10 Verfahren zur Herstellung von Halbzeugen durch Extrudieren	677
<i>Fritz Röthemeyer</i>	
10.1 Extruder	678
10.1.1 Warmextruder	678
10.1.2 Kaltextruder	679
10.1.3 Förderverhalten	681
10.1.3.1 Einzugszone	681
10.1.3.2 Austragszone	684
10.1.4 Temperaturverhalten	698
10.1.5 Misch- und Homogenisierverhalten	708
10.1.5.1 Mischschnecken	708
10.1.5.2 Stiftzylinder	709
10.1.6 Entgasen	711
10.1.7 Maschinenbauliche Merkmale	715
10.1.8 Extruder mit Zahnradpumpe	717
10.2 Extrusionswerkzeuge	720
10.2.1 Bauarten	723
10.2.1.1 Geradeaus-Spritzkopf	723
10.2.1.2 Umlenk-Spritzkopf	724
10.2.1.3 Mehrfach-Spritzköpfe	726
10.2.2 Werkzeugauslegung nach rheologischen Gesichtspunkten	729
10.2.2.1 Extrusionsdruck	729
10.2.2.2 Flussausgleich	731
10.2.2.3 Fließstrukturen	737
10.2.2.4 Elastizität und Spritzquellung	738
10.2.2.5 Elastizität und Schrumpf	743
10.2.2.6 Mundstückoberfläche	744
10.3 Nachfolgeeinrichtungen	746
10.4 Betriebspraxis Extrudieren	746
Verwendete Formelzeichen zu Kapitel 10	748
Literatur zu Kapitel 10	750
11 Verfahren der kontinuierlichen Vulkanisation	753
<i>Franz Sommer, überarbeitet von Wolfgang Fidi</i>	
11.1 Allgemeines	755
11.1.1 Vakuumextruder	756
11.1.2 Vulkanisationsanlagen und Verfahren	757
11.2 Thermische Grundlagen der kontinuierlichen Vulkanisation	759
11.2.1 Wärmeübertragung	759
11.2.1.1 Wärmeleitung	759
11.2.1.2 Wärmeübertragung durch Konvektion	761
11.2.1.3 Wärmeübergang durch Strahlung	762
11.2.2 Dissipative Erwärmung	764
11.2.2.1 Energiezufuhr durch viskose Dissipation (Schererwärmung)	764
11.2.2.2 Erwärmung durch elektromagnetische Wellen	764

11.3	Bestimmung der Vernetzungszeit	764
11.4	Kontinuierliche Vulkanisationsverfahren unter Druck	766
11.4.1	Rotationsvulkanisationsverfahren	767
11.4.1.1	Anlage	767
11.4.1.2	Vorteile/Nachteile	768
11.4.1.3	Anwendung	769
11.4.2	Doppelbandpressen	769
11.4.2.1	Anwendung	769
11.4.3	Ummantelungsverfahren	769
11.4.3.1	Bleimantel-Verfahren	769
11.4.3.2	Kunststoffmantel-Verfahren	770
11.4.4	Rohrverfahren	770
11.4.4.1	Kontinuierliche Dampfrohranlagen (CV-Anlagen)	773
11.4.4.2	Semikontinuierliche Dampfrohr-Anlagen	774
11.4.4.3	Heißgas-Anlagen	775
11.4.4.4	Infrarot-Rohranlagen	776
11.4.4.5	Flüssigkeitsbad-Anlagen (PLVC-Anlagen)	777
11.5	Drucklose kontinuierliche Vulkanisationsverfahren	778
11.5.1	Heißluftverfahren	779
11.5.1.1	Heißluftanlagen	779
11.5.2	Schockverfahren	783
11.5.2.1	Schockanlagen	783
11.5.3	Wirbelbettverfahren	784
11.5.3.1	Verfahrensprinzip	784
11.5.3.2	Wirbelbettanlage	784
11.5.4	Flüssigkeitsbadverfahren	786
11.5.4.1	Verfahrensprinzip der Flüssigkeitsbadvulkanisation	786
11.5.4.2	Salzbadverfahren	788
11.5.5	Scher-Spritzkopf-Verfahren	792
11.5.5.1	Verfahrensprinzip	792
11.5.5.2	Anlage	793
11.5.5.3	Vorteile/Nachteile	794
11.5.5.4	Anwendung	795
11.5.6	Mikrowellenvulkanisationsverfahren	795
11.5.6.1	Prinzip der Erwärmung durch Mikrowellen	795
11.5.6.2	Aufbau eines Mikrowellensystems	798
11.5.6.3	Leistung einer UHF-Anlage	799
11.5.6.4	UHF-Anlage	800
11.5.6.5	Vorteile/Nachteile	802
11.5.6.6	Anwendung	802
11.5.7	Strahlenvernetzungsverfahren	803
11.5.7.1	Prinzip der Strahlenvernetzung	804
11.5.7.2	Aufbau einer Elektronenbeschleunigeranlage	805
11.5.7.3	Vorteile/Nachteile	807
11.5.7.4	Anwendung	807
11.5.7.5	Vergleich verschiedener Vulkanisationsverfahren	808

11.6	Vor- und nachgeschaltete Anlagen	809
11.7	Abluftreinigung	811
11.7.1	Thermische Nachverbrennung	812
11.7.2	Elektrofilter	812
11.7.3	Tiefbettfilter	813
11.7.4	Adsorptionsverfahren	813
11.7.5	Biofilter	813
11.7.6	Wäscher	813
11.8	Aufbau von Mischungen für die drucklose kontinuierliche Vulkanisation	814
11.8.1	Kautschuk	814
11.8.2	Füllstoffe	815
11.8.3	Weichmacher	815
11.8.4	Verarbeitungswirkstoffe	816
11.8.5	Faktis	816
11.8.6	Alterungs- und Ozonschutzmittel	816
11.8.7	Vernetzungssysteme für die kontinuierliche Vulkanisation	817
11.8.7.1	Schwefelvernetzungssysteme	817
11.8.7.2	Peroxidvernetzungssysteme	818
11.8.7.3	Vernetzungssysteme für Chloroprenkautschuk	818
11.8.8	Herstellung und Rezeptaufbau von Moosgummiprofilen	819
11.8.8.1	Rezeptaufbau	819
11.8.8.2	Herstellverfahren	819
	Literatur zu Kapitel 11	820
12	Verfahren zur Herstellung von Elastomerformteilen	823
	<i>Fritz Röthemeyer</i>	
12.1	Pressverfahren	823
12.1.1	Prozessparameter	823
12.1.1.1	Druck	825
12.1.1.2	Temperatur	826
12.1.1.3	Vulkanisation	827
12.1.2	Pressenbauarten	829
12.1.3	Werkzeuge	830
12.1.4	Einsatzgebiete	831
12.2	Spritzprägeverfahren	832
12.3	Transferpressverfahren	834
12.3.1	Prozessparameter	835
12.3.1.1	Druck	835
12.3.1.2	Temperatur	838
12.3.1.3	Vulkanisation	839
12.3.2	Pressenbauarten	841
12.3.3	Werkzeuge	841
12.3.4	Flashless-Werkzeuge	842
12.3.5	Einsatzgebiete	845

12.4	Transferpressverfahren mit Kaltkanal	845
12.4.1	Prozessparameter	846
12.4.2	Werkzeuge	847
12.5	Transferspritzpressverfahren	848
12.5.1	Prozessparameter	848
12.5.2	Transferspritzpressverfahren mit Kaltkanal	849
12.6	Spritzgießverfahren	850
12.6.1	Verfahrensablauf	850
12.6.2	Prozessparameter	853
12.6.2.1	Vorlagetemperatur	858
12.6.2.2	Einspritztemperatur	863
12.6.2.3	Einspritzgeschwindigkeit	868
12.6.2.4	Nachdruck	870
12.6.2.5	Staudruck	871
12.6.2.6	Vulkanisationszeit	871
12.6.2.7	Maschineneinrichten	877
12.6.3	Spritzgießmaschinen	879
12.6.3.1	Spritzeinheiten	880
12.6.3.2	Schließeinheiten	884
12.6.3.3	Auslegung von Spritz- und Schließeinheit	885
12.6.3.4	Kombinationen von Spritz- und Schließeinheit	887
12.6.4	Spritzgießwerkzeuge	888
12.6.4.1	Werkzeugaufbau	889
12.6.4.2	Werkzeugauslegung nach rheologischen Gesichtspunkten	890
12.6.4.3	Werkzeugauslegung nach thermodynamischen Gesichtspunkten	894
12.6.4.4	Kaltkanalverfahren	897
12.6.4.5	Gratarme Fertigung	902
12.6.4.6	Gummi-Metall-Verbindungen	903
12.6.4.7	Werkzeugparameter	906
12.6.5	Endbearbeitung	910
12.6.6	Optimale Formnestzahl und Verfahrensvergleich	911
12.6.7	Betriebspraxis	915
	Verwendete Formelzeichen zu Kapitel 12	917
	Literatur zu Kapitel 12	918
13	Gummiverbundkörper	923
	<i>Franz Sommer</i>	
13.1	Einleitung	923
13.2	Festigkeitsträger	925
13.2.1	Rohstoffe zur Faserherstellung	926
13.2.2	Herstellung und Eigenschaften synthetischer Garne	927
13.2.2.1	Spinnen	927
13.2.2.2	Verstrecken	927
13.2.2.3	Nachbehandeln	928

13.2.2.4	Zwirnen	928
13.2.2.5	Stahlcordherstellung	928
13.2.2.6	Eigenschaften der Synthesefasern	929
13.2.3	Aufbau von Garnen und Corden	930
13.2.4	Weiterverarbeitung der Fäden	931
13.3	Haftsysteme	932
13.3.1	Haftsysteme für textile Festigkeitsträger	932
13.3.1.1	Resorcin-Formaldehyd-Latex-Haftsysteme (RFL)	933
13.3.1.2	Polyfunktionelle Haftmittelsysteme	934
13.3.1.3	Haftsysteme in der Kautschukmischung (Direkthaftung)	934
13.3.2	Haftsysteme für Stahldrähte	934
13.3.2.1	Zinkhaftung	935
13.3.2.2	Messinghaftung	935
13.4	Gummi-Metall-Verbunde	936
13.4.1	Vorbehandlung der Metallteile	937
13.4.2	Reinigungsmethoden	938
13.4.3	Haftmittel	939
13.5	Kunststoff-Kautschuk-Verbund	940
13.6	Reifen – Anisotrope Verbundkörper	941
	<i>Gerhard De Vries</i>	
13.6.1	Reifengruppen	941
13.6.2	Charakterisierung von Reifen	942
13.6.3	Aufbau eines Radialreifens	943
13.6.4	Reifenbauverfahren	949
13.6.4.1	Fertigungsschritt 1: Aufbau der Karkasse	949
13.6.4.2	Fertigungsschritt 2: Komplettierung des Reifenrohlings	954
13.6.4.3	Einstufen Reifenaufbaumaschinen	958
13.6.4.4	Lkw-Radialreifen	959
13.6.5	Vulkanisation von Reifen	960
13.6.5.1	Ablauf der Arbeitsschritte	961
13.6.5.2	Außenmedium	961
13.6.5.3	Innenmedium	962
13.6.5.4	Ablauf der Vulkanisation	963
13.6.5.5	Entladen des Reifens	963
13.6.6	Endinspektion von Reifen	964
13.6.6.1	Manuelle Sichtkontrolle	964
13.6.6.2	Tire Uniformity (Reifengleichförmigkeit)	964
13.6.6.3	Geometrie	966
13.6.6.4	Dynamische Unwucht	967
13.6.6.5	Röntgenkontrolle	967
13.6.6.6	Sortierung	967
13.6.7	Reifenkennzeichnung	968
	Literatur zu Kapitel 13	969

14 Verarbeitung von Thermoplastischen Elastomeren	971
<i>Fritz Röthemeyer</i>	
14.1 Überblick über die Werkstoffe	972
14.2 Verarbeitung	978
14.2.1 Spritzgießen	980
14.2.2 Extrudieren	983
14.2.3 Blasformen	986
14.2.4 Weiterverarbeitung	988
14.3 Anwendungen	988
Literatur zu Kapitel 14	992
15 Automation in der Kautschuk verarbeitenden Industrie	995
<i>Fritz Röthemeyer</i>	
15.1 Prozesssteuerung und -regelung	997
15.2 Prozesssteuerung beim Mischen	1002
15.3 Prozesssteuerung beim Lösen	1010
15.4 Prozesssteuerung beim Kalandrieren	1013
15.5 Prozesssteuerung beim Streichen	1018
15.6 Prozesssteuerung beim Extrudieren	1020
15.7 Prozesssteuerung beim Spritzgießen	1029
15.8 Rechnerverbund	1042
15.9 Handling	1043
Verwendete Formelzeichen zu Kapitel 15	1048
Literatur zu Kapitel 15	1051
16 SPC – Prozessüberwachung und Produktbeurteilung	1055
<i>Mischa Lucyshyn</i>	
16.1 Das Prozessmodell	1055
16.2 Arten von Prüfungen	1057
16.2.1 Prüfung der Prozessparameter	1057
16.2.2 Prüfung der Produkte	1058
16.2.3 Freigabeproofungen	1058
16.2.4 Prüfungen nach Kundenspezifikation	1058
16.2.5 Stichproben und 100 % Kontrolle	1059
16.3 Messsystemfähigkeit	1059
16.4 Statistische Charakterisierung von Prozessen	1060
16.5 Prozessstabilität	1063
16.5.1 Typen von Regelkarten	1068
16.6 Prozessfähigkeit	1071
16.6.1 Fähigkeitsindizes und Ausschussraten	1073
16.6.2 Kurzzeit- und Langzeitfähigkeit	1073
16.6.3 Fähigkeitsindizes unter Verwendung der lokalen Standardabweichung s_i	1073
16.6.4 Zusammenfassung	1074

16.7	Praktische Überlegungen zum Einsatz von SPC	1075
16.7.1	Auswahl der Prüfmerkmale	1075
16.7.2	Festlegung von Stichprobenhäufigkeit und Stichprobenumfang	1075
16.7.3	Sortiergrenzen	1077
16.7.4	Ablaufdiagramm zur Anwendung der Regelkarten	1077
16.7.5	Ablaufdiagramm zur Bewertung von Prozessen	1078
	Verwendete Abkürzungen und Formelzeichen Kapitel 16	1078
	Literatur zu Kapitel 16	1080
	Normen	1080
17	Elastomerprodukte	1081
17.1	Elastomerbeschichtete Gewebe – moderne Verbundwerkstoffe mit Tradition	1081
	<i>Peter Bartholmei, Jens Storre</i>	
17.1.1	Beschichtete Gewebe stehen am Anfang	1081
17.1.2	Die Material- und Produktvielfalt ist riesengroß	1082
17.1.3	Stoffe schützen Menschen	1084
17.1.4	Der Verkehr rollt auch ohne Reifen, aber nicht ohne beschichtete Gewebe	1088
17.1.5	Stoffe sind undurchdringlich	1090
17.1.6	Wer denkt beim Zeitungslesen schon an beschichtete Gewebe	1091
17.1.7	Stoffe stehen zwar am Anfang, sie sind jedoch noch nicht am Ende	1095
17.2	Antriebsriemen	1096
	<i>Klaus Schütte</i>	
17.2.1	Flachriemen	1097
17.2.2	Ummantelte Keilriemen (UMKR)	1098
17.2.3	Flankenoffene Keilriemen (FOKR)	1099
17.2.4	Keilrippenriemen (KRR)	1100
17.2.5	Industrieanwendungen	1102
17.2.6	Synchronriemen/Zahnriemen (GZR)	1103
17.2.7	Ausblick	1104
17.3	Formteile	1105
	<i>Jürgen Bebermeier</i>	
17.3.1	Faltenbälge und Achsmanschetten	1105
17.3.2	Puffer und Schienen	1107
17.3.3	Triebwerkslager	1108
17.3.4	Hydrolager	1109
17.3.5	Membranen für Druckluft-Bremszylinder	1111
17.3.6	Dichtungen, Reibräder	1112
17.4	Die Luftfederung, eine regelbare Federung für Fahrzeuge	1112
	<i>Hartwig Voß</i>	
17.4.1	Anwendungsgebiete der Luftfederung	1112
17.4.2	Luftfedertypen, Bauarten der Luftfedern	1114
17.4.2.1	Luftfedern für Straßenfahrzeuge	1114
17.4.2.2	Luftfedern für Schienenfahrzeuge	1115

17.4.3	Regelprinzip der Luftfederung	1116
17.4.4	Vorteile der Luftfederung	1116
17.4.5	Aufbau der Luftfederbälge	1118
17.4.6	Rollbälge als Federelemente	1119
17.4.7	Anwendungsbeispiele	1120
17.4.7.1	Luftfedern als Achsfedern im Nutzfahrzeug	1120
17.4.7.2	Luftfedern zur Humanisierung des Arbeitsplatzes	1122
17.4.7.3	Luftfedern in Schienenfahrzeugen	1123
17.4.7.4	Luftfedern in Personenwagen	1124
17.4.8	Zusammenfassung	1126
17.5	Extrudierte Elastomerprofile	1127
	<i>J. W. A. Hill, R. Jansen, E. Mumme</i>	
17.5.1	Herstellungsverfahren	1128
17.5.2	Elastomervarianten	1129
17.5.3	Befestigungssysteme	1130
17.5.4	Oberflächenveredelung von Elastomerprofilen	1132
17.5.5	Profile mit variablem Querschnitt	1134
17.5.6	Sonderprofile	1135
17.5.6.1	Pneumatisch steuerbare Elastomerprofile	1135
17.5.6.2	Kontakt-/Schaltprofile	1136
17.5.6.3	Sonstige Profile	1137
17.5.7	Anwendungsbeispiele für Elastomerprofile	1137
17.5.7.1	Elastomerdichtungen in Kraftfahrzeugen	1138
17.5.7.2	Elastomerprofile für das Bauwesen	1139
17.5.8	Toleranzen	1140
17.6	Technische Schläuche – Hochleistungsverbundkörper	1141
	<i>Anton Besche</i>	
17.6.1	Werkstoffe	1141
17.6.2	Konstruktion	1144
17.6.3	Moderne umweltfreundliche Schlauch-Konzeptionen	1145
17.6.3.1	Kraftstoffschläuche	1145
17.6.3.2	Kältemittelschläuche	1146
17.6.3.3	Servolenkungsschläuche (Dehnschläuche)	1147
17.6.3.4	Hydraulikbremschläuche	1148
17.6.3.5	Kühlwasserschläuche	1149
17.6.3.6	Kraftfahrzeug-Schlauchbögen	1150
17.6.3.7	Abzweigschläuche	1150
17.7	Transportbänder	1151
	<i>Peter Tegtmeier, überarbeitet von Meinolf Ziebarth</i>	
17.7.1	Einteilung, Anforderungen und Prüfung von Fördergurten	1152
17.7.2	Stahlseilfördergurte	1154
17.7.2.1	Allgemeines	1154
17.7.2.2	Gurtaufbau und Konstruktion	1155
17.7.2.3	Haftung zwischen Gummi und Stahl	1157

17.7.3	Gewebeebänder	1160
17.7.3.1	Allgemeines	1160
17.7.3.2	Gurtaufbau und Konstruktion	1161
17.7.3.3	Sicherheitsmerkmale von Fördergurten	1163
17.7.4	Rollwiderstand	1165
17.8	Hydraulikschläuche	1166
	<i>Wolfgang Fidi</i>	
17.8.1	Übersicht und Anwendung	1166
17.8.2	Schlauchtypen und deren Auswahl	1167
17.8.3	Aufbau eines Hydraulikschlauchs	1169
17.8.3.1	Seele	1170
17.8.3.2	Verstärkungsmaterial	1171
17.8.3.3	Decke	1172
17.8.3.4	Normprüfungen für Hydraulikschläuche	1173
	Literatur zu Kapitel 17	1174
18	Recycling von Elastomeren	1177
	<i>Fritz Röthemeyer</i>	
18.1	Vermeidung von Abfällen	1177
18.2	Recycling vulkanisierter Abfälle und/oder Produkte	1182
	Literatur zu Kapitel 18	1188
19	Gefahrstoffmanagement, Umweltschutz und Altgummiverwertung	1189
	<i>Karin Czech-Scharif-Afschar, Eckhard Kreipe, Klaus Schobert, Rainer Stark, Horst Strothenk</i>	
19.1	Einleitung	1189
19.2	Umwelt- und Arbeitsschutzaspekte von Rohmaterialien	1191
19.2.1	Gesetzliche Vorgaben	1191
19.2.2	Einflussnahme auf die Rohstoffauswahl	1195
19.2.3	Arbeitshygiene und Umweltrelevanz bei der Verarbeitung	1200
19.2.3.1	Einsatz von Silanen in Fahrzeugreifen/Ethanolemissionen [19.22]	1201
19.2.3.2	Vulkanisationsdämpfe	1202
19.2.3.3	Die Nitrosaminproblematik	1203
19.3	Emissionen in der Nutzungsphase	1204
19.3.1	Partikelemissionen und Elutionsverhalten	1205
19.3.2	Verdunstungsemissionen	1208
19.4	Energieverbrauch im dynamischen Einsatz	1210
19.4.1	Produkt-Ökobilanz eines Pkw-Reifens	1211
19.4.1.1	Sachbilanz	1212
19.4.1.2	Wirkungskategorien/Umweltpotenziale	1215
19.4.1.3	Bewertung und Ausblick	1217

19.5 Entsorgung gebrauchter Produkte: Verwertung und Beseitigung	1218
19.5.1 Wieder- und Weiterverwendung von Altreifen	1219
19.5.2 Werkstoffliche Verwertung	1220
19.5.2.1 Gummigranulat und Gummimehl	1220
19.5.2.2 Regenerierung	1221
19.5.3 Rohstoffliche Verwertung	1222
19.5.4 Verwertung als Energieträger	1222
19.5.4.1 Herstellung von Portlandzement	1222
19.5.4.2 Altreifenverwertung in der Zementindustrie	1224
19.5.4.3 Altreifenverwertung in Kraftwerken	1225
19.5.5 Verwertung technischer Alt-Elastomere	1225
Literatur zu Kapitel 19	1226
Autoren	1231
Index	1233