

Inhalt

Vorwort zur 4. Auflage	V
Die Autor:innen	VII
1 Die Herausgeber	VII
2 Die Mitverfasser:innen	VIII
Band 1	
1 Einleitung	1
1.1 Kautschuktechnologie	1
1.2 Historische Entwicklung	4
1.2.1 Naturkautschuk	4
1.2.2 Synthesekautschuk	9
2 Aufbau, Herstellung und Eigenschaften von Kautschuk und Elastomeren	15
2.1 Struktur und Eigenschaften	15
2.1.1 Einleitung	15
2.1.2 Verformungsverhalten von Elastomeren	16
2.1.2.1 Thermodynamische Theorie der Gummielastizität	16
2.1.2.2 Statistische Theorie der Gummielastizität	17
2.1.2.3 Verformung hyperelastischer Werkstoffe	20
2.1.2.4 Druckverformung	21
2.1.3 Temperatur- und Zeitabhängigkeit der viskoelastischen Eigenschaften	22

2.1.3.1	Temperaturabhängigkeit	22
2.1.3.2	Zeitabhängigkeit	25
2.1.3.3	Zeit-Temperatur-Superpositionsprinzip	28
2.1.4	Struktur und Eigenschaften	29
2.1.4.1	Chemischer Aufbau	29
2.1.4.2	Mikrostruktur	30
2.1.4.3	Kristallisation	32
2.1.5	Synthese von Kautschuk	33
2.1.5.1	Polymerisation	33
2.1.5.2	Polyaddition und Polykondensation	39
2.1.5.3	Herstellverfahren	40
2.1.6	Klassifizierung von Kautschuk und Elastomeren	42
2.1.6.1	Klassifizierung der Kautschuke	42
2.1.6.2	Klassifizierung der Elastomere	43
2.1.7	Aufbau von Kautschukmischungen und Elastomereigenschaften	46
2.1.7.1	Aufbau von Kautschukmischungen	46
2.1.7.2	Basisanforderungen an Elastomere	47
2.2	Naturkautschuk (NR)	49
2.2.1	Einleitung	49
2.2.2	Vorkommen und Gewinnung	51
2.2.2.1	Vorkommen von Naturkautschuk	51
2.2.2.2	Gewinnung von Naturkautschuk	51
2.2.2.3	Trans-Polyisopren (Guttapercha, Balata)	53
2.2.2.4	Biosynthese von Naturkautschuk	54
2.2.3	Aufbau und Zusammensetzung von Naturkautschuklatex	56
2.2.4	Herstellung und Verarbeitung von Naturkautschuklatex	58
2.2.4.1	Herstellung von Naturkautschuk-Latexkonzentrat	58
2.2.4.2	Modifizierter Latex	60
2.2.4.3	Verarbeitung von Latexkonzentrat	61
2.2.5	Herstellung von Naturkautschuk (Festkautschuk)	64
2.2.5.1	Konventionelle Naturkautschuksorten	64
2.2.5.2	Technisch spezifizierter Kautschuk (TSR)	69
2.2.5.3	Spezialtypen	72
2.2.6	Eigenschaften von Naturkautschuk	72
2.2.6.1	Einfluss der Herstellmethode	72

2.2.6.2	Einfluss der Struktur.....	73
2.2.6.3	Abbauverhalten von Naturkautschuk (Mastikation)	76
2.2.7	Verarbeitung von Naturkautschuk	78
2.2.7.1	Mischen	79
2.2.7.2	Formgeben.....	79
2.2.7.3	Vulkanisation	79
2.2.8	Compounding von Naturkautschuk.....	79
2.2.8.1	Blends mit anderen Kautschuken	79
2.2.8.2	Füllstoffe	80
2.2.8.3	Weichmacher	80
2.2.8.4	Stabilisatoren, Alterungsschutzmittel.....	80
2.2.8.5	Ozonschutzmittel.....	81
2.2.8.6	Vernetzung	81
2.2.9	Eigenschaften der Naturkautschuk-Vulkanisate	83
2.2.9.1	Mechanische Eigenschaften	84
2.2.9.2	Verformungsverhalten.....	85
2.2.9.3	Wärme-, Alterungs- und Witterungsbeständigkeit	85
2.2.9.4	Kälteverhalten	86
2.2.9.5	Elektrische Eigenschaften	86
2.2.9.6	Beständigkeit gegen Chemikalien	86
2.2.10	Anwendung von Naturkautschuk-Vulkanisaten	86
2.2.11	Modifizierter Naturkautschuk	87
2.2.11.1	Vorvernetzter Kautschuk.....	88
2.2.11.2	Deproteinisierter Kautschuk.....	89
2.2.11.3	Pfropf-Kautschuk.....	89
2.2.11.4	Thermoplastischer Naturkautschuk.....	89
2.3	Polybutadien (BR).....	89
2.3.1	Einleitung.....	89
2.3.2	Struktur und Eigenschaften.....	90
2.3.2.1	Mikrostruktur.....	90
2.3.2.2	Makrostruktur	94
2.3.3	Herstellverfahren.....	95
2.3.3.1	Anionische Polymerisation	95
2.3.3.2	Koordinative Polymerisation	97
2.3.3.3	Radikalische Polymerisation von Butadien.....	100

2.3.4	Verarbeitungsverhalten von Polybutadien	100
2.3.5	Compounding und Eigenschaften	101
2.3.5.1	Verschnitte mit anderen Kautschuken	101
2.3.5.2	Füllstoffe, Weichmacher	102
2.3.5.3	Vernetzung	102
2.3.5.4	Alterungs- und Ozonschutz	102
2.3.5.5	Mischungsherstellung und Weiterverarbeitung	102
2.3.6	Eigenschaften und Anwendung der Vulkanisate	103
2.3.6.1	Eigenschaften	103
2.3.6.2	Anwendung	103
2.4	Polyisopren (IR)	103
2.4.1	Einleitung	103
2.4.2	Herstellung	105
2.4.2.1	Monomer	105
2.4.2.2	Polymerisationsverfahren	105
2.4.2.3	Mikrostruktur	105
2.4.3	Eigenschaften	106
2.4.3.1	Li-Polyisopren	107
2.4.3.2	Ti-Polyisopren	107
2.4.3.3	Nd-Polyisopren	107
2.4.4	Rezeptaufbau, Verarbeitung und Anwendung	108
2.4.4.1	Rezeptaufbau	108
2.4.4.2	Verarbeitung	108
2.4.4.3	Anwendung	108
2.5	Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR)	108
2.5.1	Einleitung	108
2.5.2	Herstellung und Struktur	109
2.5.2.1	Herstellung der Monomere	109
2.5.2.2	Radikalische Emulsionspolymerisation	110
2.5.2.3	Anionische Polymerisation (Lösungs-SBR)	114
2.5.3	Zusammensetzung und Eigenschaften von E-SBR	114
2.5.4	Compounding	117
2.5.4.1	Verarbeitungsverhalten	117
2.5.4.2	Blends	118
2.5.4.3	Füllstoffe	118

2.5.4.4	Weichmacher, Additive	118
2.5.4.5	Alterungs- und Witterungsschutz	119
2.5.4.6	Vernetzungssysteme	119
2.5.5	Eigenschaften und Anwendung der Vulkanisate	120
2.5.6	Lösungs-SBR (S-SBR)	121
2.5.6.1	Einleitung	121
2.5.6.2	Anionische Polymerisation	121
2.5.6.3	Herstellung von S-SBR	123
2.5.6.4	Eigenschaften und Anwendung von S-SBR	124
2.5.6.5	Eigenschaften der Vulkanisate	125
2.6	Acrylnitril-Butadien-Kautschuk (NBR)	125
2.6.1	Einleitung	125
2.6.2	Herstellung	125
2.6.2.1	Herstellung der Monomere	125
2.6.2.2	Polymerisation	126
2.6.3	Struktur und Eigenschaften von NBR	127
2.6.3.1	Mikrostruktur	127
2.6.3.2	Makrostruktur	128
2.6.3.3	Handelsübliche Typen	128
2.6.3.4	Spezialtypen	129
2.6.4	Compounding	130
2.6.4.1	Blends	131
2.6.4.2	Füllstoffe	132
2.6.4.3	Weichmacher	132
2.6.4.4	Alterungsschutz	134
2.6.4.5	Vernetzung	134
2.6.5	Eigenschaften der Vulkanisate und Anwendungen	135
2.6.5.1	Chemikalienbeständigkeit	136
2.6.5.2	Produkte für den Kontakt mit Lebensmitteln	137
2.6.5.3	Anwendungen	138
2.6.6	Hydrierter Nitrilkautschuk (HNBR)	138
2.6.6.1	Herstellung	138
2.6.6.2	Eigenschaften	139
2.6.6.3	Compounding	139
2.6.6.4	Eigenschaften der Vulkanisate	140

2.7	Ethylen-Propylen-Kautschuk (EPM, EPDM)	141
2.7.1	Einleitung.....	141
2.7.2	Herstellung.....	141
2.7.2.1	Monomere	141
2.7.2.2	Polymerisation	141
2.7.2.3	Polymerisationsverfahren	143
2.7.3	Struktur und Eigenschaften	144
2.7.3.1	Microstruktur	144
2.7.3.2	Termonomere.....	146
2.7.3.3	Makrostruktur	147
2.7.3.4	Handelsübliche EP(D)M-Kautschuktypen.....	148
2.7.4	Compounding	150
2.7.4.1	Blends.....	150
2.7.4.2	Füllstoffe	150
2.7.4.3	Weichmacher	151
2.7.4.4	Alterungsschutzmittel.....	152
2.7.4.5	Vernetzung	152
2.7.5	Mischungsherstellung und Verarbeitung.....	156
2.7.5.1	Mischungsherstellung.....	156
2.7.5.2	Verarbeitung.....	157
2.7.5.3	Vulkanisation	157
2.7.6	Eigenschaften der Vulkanisate und Anwendung.....	157
2.7.6.1	Eigenschaften der Vulkanisate.....	157
2.7.6.2	Anwendung.....	158
2.8	Butylkautschuk und Halo-Butylkautschuk.....	159
2.8.1	Butylkautschuk (IIR)	159
2.8.1.1	Einleitung.....	159
2.8.1.2	Herstellung	160
2.8.1.3	Struktur und Eigenschaften	162
2.8.1.4	Compounding	163
2.8.1.5	Eigenschaften der Vulkanisate und Anwendung.....	166
2.8.2	Halo-Butylkautschuk (BIIR, CIIR)	168
2.8.2.1	Einleitung.....	168
2.8.2.2	Herstellung und Struktur.....	169
2.8.2.3	Eigenschaften	170

2.8.2.4	Compounding	171
2.8.2.5	Eigenschaften der Vulkanisate und Anwendung	174
2.9	Chloroprenkautschuk (CR)	174
2.9.1	Einleitung	174
2.9.2	Herstellung	175
2.9.2.1	Herstellung des Monomers	175
2.9.2.2	Polymerisation	176
2.9.2.3	Schwefelmodifiziertes Polychloropren (Copolymer)	177
2.9.2.4	Mercaptanmodifiziertes Polychloropren (Homopolymer)	177
2.9.2.5	Vorvernetztes Polychloropren	178
2.9.2.6	Handelsübliche Polychloropren-Typen	178
2.9.3	Struktur und Eigenschaften	179
2.9.3.1	Mikrostruktur	179
2.9.3.2	Glasübergangstemperatur und Kristallisation	181
2.9.3.3	Makrostruktur	182
2.9.3.4	Einfluss des Chloratoms	182
2.9.4	Compounding	183
2.9.4.1	Blends	183
2.9.4.2	Füllstoffe	183
2.9.4.3	Weichmacher	183
2.9.4.4	Alterungsschutzmittel	184
2.9.4.5	Vernetzung	185
2.9.5	Verarbeitung	186
2.9.5.1	Lagerung	186
2.9.5.2	Mischungsherstellung	187
2.9.5.3	Verarbeitung	187
2.9.6	Eigenschaften der Vulkanisate	187
2.9.7	Anwendung der Vulkanisate	188
2.9.7.1	Klebstoffe	189
2.10	Chloriertes und chlorsulfoniertes Polyethylen	189
2.10.1	Chloriertes Polyethylen (CM)	189
2.10.1.1	Einleitung	189
2.10.1.2	Herstellung	189
2.10.1.3	Struktur und Eigenschaften	190

2.10.1.4	Compounding	191
2.10.1.5	Eigenschaften der Vulkanisate	191
2.10.2	Chlorsulfoniertes Polyethylen (CSM)	192
2.10.2.1	Einleitung	192
2.10.2.2	Herstellung	192
2.10.2.3	Struktur und Eigenschaften	192
2.10.2.4	Compounding	193
2.10.2.5	Eigenschaften der Vulkanisate und Anwendungen	195
2.10.3	Vernetztes Polyethylen	195
2.11	Epichlorhydrin-Kautschuk (ECO/CO/ETER)	196
2.11.1	Einleitung	196
2.11.2	Herstellung	197
2.11.3	Struktur und Eigenschaften	197
2.11.4	Compounding	198
2.11.4.1	Stabilisierung	198
2.11.4.2	Füllstoffe, Weichmacher	198
2.11.4.3	Vernetzung	199
2.11.5	Eigenschaften der Vulkanisate und Anwendung	199
2.12	Fluorkautschuke (FKM, FFKM, TFE/P)	200
2.12.1	Fluorkautschuk (FKM)	200
2.12.1.1	Einleitung	200
2.12.1.2	Herstellung	201
2.12.1.3	Struktur und Eigenschaften	202
2.12.1.4	Compounding	203
2.12.1.5	Eigenschaften der Vulkanisate und Anwendung	207
2.12.2	Perfluorkautschuk (FFKM)	208
2.12.2.1	Einleitung	208
2.12.2.2	Herstellung	209
2.12.2.3	Eigenschaften der Vulkanisate	209
2.12.3	Tetrafluorethylen-Propylen-Kautschuk (TFE/P)	209
2.12.3.1	Herstellung und Struktur	209
2.12.3.2	Compounding	210
2.12.3.3	Eigenschaften der Vulkanisate und Anwendung	210
2.13	Acrylatkautschuk (ACM)	211

2.13.1	Einleitung.....	211
2.13.2	Herstellung.....	212
2.13.2.1	Monomere.....	212
2.13.2.2	Polymerisation.....	213
2.13.3	Struktur und Eigenschaften.....	213
2.13.4	Compounding und Vernetzung.....	214
2.13.4.1	Diaminische Vernetzung von ACM mit Carboxygruppen im Curesite-Monomer.....	217
2.13.4.2	Schwefel-Seife-Vernetzung von ACM mit Chlor im Curesite-Monomer.....	218
2.13.4.3	Triazin-Vernetzung von ACM mit Chlor im Curesite-Monomer.....	218
2.13.4.4	Vernetzung von ACM mit Dual-Curesite-Monomer.....	220
2.13.4.5	Verarbeitung.....	221
2.13.5	Eigenschaften der Vulkanisate und Anwendung.....	222
2.14	Ethylen-Acrylat- und Ethylen-Vinylacetat-Kautschuk.....	223
2.14.1	Ethylen-Acrylat-Kautschuk (AEM).....	223
2.14.1.1	Einleitung.....	223
2.14.1.2	Struktur und Eigenschaften.....	223
2.14.1.3	Compounding.....	224
2.14.1.4	Eigenschaften der Vulkanisate und Anwendung.....	226
2.14.2	Ethylen-Vinylacetat-Kautschuk (EVM).....	226
2.14.2.1	Einleitung.....	226
2.14.2.2	Herstellung.....	226
2.14.2.3	Struktur und Eigenschaften.....	227
2.14.2.4	Compounding.....	227
2.14.2.5	Eigenschaften der Vulkanisate und Anwendungen.....	228
2.15	Polysulfidkautschuk (T).....	228
2.15.1	Einleitung.....	228
2.15.2	Herstellung und Struktur.....	229
2.15.3	Compounding.....	230
2.15.4	Eigenschaften der Vulkanisate und Anwendung.....	230
2.16	Silikonkautschuk.....	231
2.16.1	Einleitung.....	231
2.16.2	Herstellung.....	232

2.16.3	Struktur und Eigenschaften.....	234
2.16.3.1	VMQ.....	235
2.16.3.2	PMQ, PVMQ.....	235
2.16.3.3	FVMQ.....	235
2.16.3.4	Eigenschaften.....	235
2.16.3.5	Einteilung der Silikonkautschuke.....	236
2.16.4	Compounding.....	236
2.16.4.1	Füllstoffe und Weichmacher.....	236
2.16.4.2	Stabilisatoren, Flammschutzmittel.....	237
2.16.4.3	Vernetzung.....	237
2.16.5	Heißvernetzende Silikonkautschuke.....	240
2.16.5.1	Festsilikonkautschuk (HCR).....	240
2.16.5.2	Flüssigsilikonkautschuk (LSR).....	249
2.16.6	Raumtemperaturvernetzender Silikonkautschuk (RTV).....	253
2.16.6.1	Einkomponentensysteme.....	253
2.16.6.2	Zweikomponentensysteme.....	254
2.16.7	Eigenschaften von Silikonelastomeren.....	255
2.16.7.1	Permeabilität.....	256
2.16.7.2	Oberflächenenergie.....	257
2.16.7.3	Elektrische Eigenschaften, Brennbarkeit.....	257
2.16.7.4	Mechanische Eigenschaften.....	257
2.16.8	Anwendungen.....	259
2.17	Polyalkenylene.....	260
2.17.1	Polyoctenamer (TOR).....	260
2.17.1.1	Herstellung.....	261
2.17.1.2	Struktur und Eigenschaften.....	262
2.17.1.3	Compounding.....	263
2.17.1.4	Verarbeitung.....	264
2.17.1.5	Vernetzung.....	267
2.17.1.6	Anwendung.....	267
2.17.2	Norbornenkautschuk (PNR).....	268
2.17.2.1	Herstellung und Struktur.....	268
2.17.2.2	Compounding und Eigenschaften der Vulkanisate.....	269
2.17.2.3	Anwendung.....	270

2.18	Polyurethankautschuk.....	271
2.18.1	Polyaddition und Struktur.....	271
2.18.1.1	Diisocyanate	273
2.18.1.2	Polydiole.....	274
2.18.1.3	Kettenverlängerer, Vernetzer.....	274
2.18.2	Herstellverfahren.....	274
2.18.2.1	Präpolymerprozess	274
2.18.2.2	Einstufenprozess	275
2.18.3	Vernetzung.....	275
2.18.4	Verarbeitung	276
2.18.5	Elastomereigenschaften	276
2.19	Thermoplastische Elastomere (TPE).....	277
2.19.1	Aufbau und Eigenschaften der thermoplastischen Elastomere	278
2.19.1.1	Blockcopolymere	280
2.19.1.2	Polymerblends	285
2.19.1.3	Elastomer-Thermoplast-Legierungen (TPE-V)	286
2.19.2	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	289
3	Füllstoffe, Vernetzungsmittel, Additive.....	301
3.1	Füllstoffe	301
3.1.1	Einleitung.....	301
3.1.2	Einteilung der Füllstoffe.....	303
3.1.3	Verstärkung durch Füllstoffe.....	304
3.1.3.1	Verstärkung.....	304
3.1.3.2	Einfluss verstärkender Füllstoffe auf die Viskosität von Kautschuk	306
3.1.3.3	Einfluss verstärkender Füllstoffe auf die Eigenschaften von Elastomeren	308
3.1.4	Ruß.....	315
3.1.4.1	Herstellung von Ruß.....	315
3.1.4.2	Theorie der Rußbildung.....	321
3.1.4.3	Aufbau von Ruß	323
3.1.4.4	Methoden zur Charakterisierung von Ruß	330
3.1.4.5	Chemische Zusammensetzung von Ruß.....	334
3.1.4.6	Klassifizierung der Ruße	335

3.1.4.7	Elektrische Leitfähigkeit	337
3.1.4.8	Toxikologie	338
3.1.5	Kieselsäuren und Silikate	338
3.1.5.1	Fällungsverfahren	340
3.1.5.2	Thermische Verfahren	341
3.1.5.3	Eigenschaften und Klassifizierung	343
3.1.5.4	Aufbau und Struktur von Kieselsäuren	352
3.1.5.5	Einfluss der Kieselsäuren auf die Eigenschaften von Kautschuk und Elastomeren	355
3.1.5.6	Oberflächenmodifizierung von Kieselsäuren	359
3.1.5.7	Produktüberblick und Trends aktueller Entwicklungen ..	365
3.1.5.8	Reifenkennzeichnung und Silan-Bindungseffizienz	366
3.1.6	Anorganische Füllstoffe	368
3.1.7	Nanomaterialien	371
3.2	Vernetzungssysteme	376
3.2.1	Einleitung	376
3.2.2	Vernetzungsreaktionen	377
3.2.2.1	Reaktionsverlauf	381
3.2.2.2	Schwefelvernetzungssysteme	382
3.2.2.3	Reaktionsmöglichkeiten der Doppelbindung	383
3.2.2.4	Mechanismus der Schwefelvernetzung	385
3.2.2.5	Schwefel-Beschleuniger-Systeme	394
3.2.2.6	Wirkungsweise der Beschleuniger	399
3.2.2.7	Effizienz der Schwefelvernetzung	409
3.2.2.8	Schwefel	413
3.2.2.9	Aktivatoren	416
3.2.3	Peroxide	419
3.2.3.1	Einleitung	419
3.2.3.2	Reaktionsmechanismus	419
3.2.3.3	Coagenzien	422
3.2.3.4	Organische Peroxide	425
3.2.3.5	Eigenschaften von peroxidvernetzten Vulkanisaten	427
3.2.4	Vernetzung mit reaktiven Harzen	429
3.2.5	Vernetzung mit Chinondioxim-Verbindungen	430
3.2.6	Vernetzung mit Isocyanaten	431

3.2.7	Vernetzungssysteme für Kautschuke mit aktiven Halogenatomen	431
3.2.8	Strahlenvernetzung.....	433
3.2.8.1	Einleitung.....	433
3.2.8.2	Photochemische Reaktionen.....	434
3.2.8.3	Elektronenstrahlen.....	434
3.2.8.4	Gammastrahlen.....	435
3.2.8.5	Mechanismus der Strahlenvernetzung.....	436
3.2.8.6	Anwendung.....	437
3.3	Weichmacher und Verarbeitungswirkstoffe.....	437
3.3.1	Weichmacher.....	438
3.3.1.1	Mineralölweichmacher.....	441
3.3.1.2	Synthetische Weichmacher.....	444
3.3.2	Verarbeitungswirkstoffe.....	446
3.3.2.1	Fettsäuren und Fettsäure-Derivate.....	447
3.3.2.2	Fettsäureester und Fettalkohole.....	447
3.3.2.3	Faktis.....	447
3.4	Alterungs-, UV- und Ozonschutzmittel.....	447
3.4.1	Mechanismus der Oxidation.....	448
3.4.2	Oxidationsstabilisatoren (Antioxidantien).....	450
3.4.2.1	Präventive Stabilisatoren.....	450
3.4.2.2	Antioxidantien.....	450
3.4.3	Ozonschutzmittel.....	453
3.4.3.1	Schutzmaßnahmen.....	454
3.4.3.2	Ozonschutzwachse.....	454
3.4.3.3	Paraphenylendiamine.....	455
3.5	Sonstige Additive.....	455
3.5.1	Klebrigmacherharze.....	455
3.5.2	Pigmente, Farbstoffe.....	456
3.5.3	Treibmittel.....	457
3.5.4	Flammschutzmittel.....	457
3.5.5	Haftmittel.....	458
3.5.5.1	Haftung zu Stahldrähten.....	459
3.5.5.2	Haftvermittler für Metalle.....	459

4	Verfahren zur Herstellung von Kautschukmischungen	469
4.1	Einführung	470
4.2	Wesentliche Mischungsbestandteile	473
4.3	Mischstufen	478
4.4	Mischaggregate	479
4.4.1	Knetter (Innenmischer)	479
4.4.2	Walzwerke	488
4.4.2.1	Betriebsparameter	489
4.4.2.2	Mastizieren	493
4.4.2.3	Grund- und Fertigmischen auf Walzwerken	494
4.4.2.4	Einsatzzwecke von Walzwerken	495
4.4.3	Kontinuierliche Mischer	495
4.5	Materialbeschickungsanlage (Upstream-Equipment)	498
4.6	Nachfolge-Einrichtungen (Downstream Equipment)	504
4.7	Verfahrenstechnische Vorgänge im Mischer	511
4.7.1	Mastizieren	511
4.7.2	Grundmischen	513
4.7.2.1	Füllstoffinkorporation	513
4.7.2.2	Füllstoffdispersion	516
4.7.2.3	Füllstoffe und Verarbeitungsverhalten	520
4.7.2.4	Öleinarbeitung	523
4.7.2.5	Kautschukverschnitte	525
4.7.3	Fertigmischen	525
4.7.4	Strömungsverhältnisse im Knetter – optimale Füllgrade	527
4.7.5	Einfluss der Betriebsparameter auf den Mischprozess	533
4.7.6	Rohstoffeinflüsse auf den Mischprozess	538
4.7.7	Ansätze zur Prozessregelung	540
4.7.8	Energiebilanz	541
4.7.9	Zieltemperaturen beim Mischen	544
4.8	Einstufenmischen	547
4.9	Mischungsprüfung	557
4.10	Betriebspraxis Mischen	560

5	Verfahren zur Herstellung von Lösungen aus Kautschukmischungen	569
5.1	Lösungsmittel und Löslichkeit	569
5.1.1	Lösungspolymere	569
5.1.2	Lösungsmittel und Löslichkeit	570
5.2	Herstellung von Kautschuklösungen	572
5.2.1	Lösvorgang	572
5.2.2	Lösverfahren	574
5.2.3	Lösungsprüfung	579
5.2.4	Betriebspraxis Lösen	582
5.3	Prozesssteuerung beim Lösen	583
6	Rheologisches und thermodynamisches Verhalten von Kautschukmischungen	587
6.1	Rheologisches Verhalten von Kautschukmischungen und Vulkanisaten ..	587
6.1.1	Zeitabhängigkeit der rheologischen Eigenschaften bei statischer Beanspruchung	588
6.1.2	Viskoelastische Körper bei periodischer Beanspruchung	596
6.1.3	Transientes (zeitabhängiges) rheologisches Verhalten/Schwingungsrheometrie	601
6.2	Stationäres rheologisches Verhalten von Kautschukmischungen	609
6.2.1	Beschreibung der Strukturviskosität	609
6.2.1.1	Einpunktmessung nach Röthemeyer	611
6.2.2	Rheologische Anomalien von Kautschukmischungen	613
6.2.2.1	Dehnviskosität	613
6.2.2.2	Füllstoffeinfluss	615
6.2.2.3	Wandgleiten	618
6.2.3	Rheometrie von Kautschukmischungen	621
6.2.4	Strömungsvorgänge	627
6.3	Wärmedissipation, -übertragung und -leitung	632
6.4	Vernetzungsverhalten von Kautschukmischungen	638
6.4.1	Grundlagen	638
6.4.2	Bestimmung der Vernetzungsdichte	639
6.4.3	Zeitlicher Verlauf der Vernetzungsreaktion	641
6.4.3.1	Vulkametrie	641

6.4.4	Reaktionskinetik.	643
6.4.5	Bestimmung von Reaktionsordnung, Geschwindigkeitskonstante und Reaktionszeit.	646
6.4.6	Temperaturabhängigkeit der Vernetzungsreaktion	647
6.5	Anisotherme Vulkanisation	648
6.6	Mischungsprüfung	652
6.6.1	Scherrheologische Verfahren	653
6.6.1.1	Scherscheibenviskosimeter nach Mooney.	653
6.6.1.2	Oszillationsrheometer	655
6.6.1.3	Rubber-Process-Analyzer (RPA)	656
6.6.1.4	Prozessfähigkeitscharakterisierung im Laborkneter	658
6.6.2	Kapillarrheologische Verfahren	658
6.6.2.1	Viskoelastometer-Prüfung.	658
6.6.2.2	Extrusionsrheometer	658
6.6.3	Defoprüfung	659
6.6.3.1	Messprinzip.	660
6.6.4	Korrelationen der Prüfverfahren.	661
7	Prüfung von Elastomeren	667
7.1	Einleitung	667
7.1.1	Prüfmethoden.	669
7.1.2	Herstellung der Prüfkörper.	671
7.1.3	Streuung der Messwerte.	672
7.2	Prüfung der quasistatischen mechanischen Eigenschaften.	673
7.2.1	Härteprüfung	673
7.2.1.1	Grundlagen	673
7.2.1.2	Prüfmethoden.	675
7.2.1.3	Normen	675
7.2.1.4	Präzision	678
7.2.2	Zugversuch.	678
7.2.2.1	Grundlagen	678
7.2.2.2	Prüfmethode.	679
7.2.2.3	Normen	680
7.2.2.4	Präzision	681
7.2.3	Druckversuch	681

7.2.3.1	Grundlagen	681
7.2.3.2	Normen	683
7.2.3.3	Präzision	684
7.2.4	Prüfung unter Schubbeanspruchung	684
7.2.4.1	Grundlagen	684
7.2.4.2	Normen	685
7.2.5	Prüfung des Weiterreißwiderstandes	686
7.2.5.1	Grundlagen	686
7.2.5.2	Prüfmethoden	686
7.2.5.3	Normen	686
7.2.5.4	Präzision	688
7.3	Prüfung der viskoelastischen Eigenschaften	688
7.3.1	Dynamische Prüfverfahren	688
7.3.1.1	Grundlagen	688
7.3.1.2	Prüfmethoden	690
7.3.1.3	Normen	690
7.3.2	Rückprallelastizität	691
7.3.2.1	Grundlagen	691
7.3.2.2	Normen	692
7.3.2.3	Präzision	693
7.4	Dauerschwingversuch (Ermüdung)	693
7.4.1	Grundlagen	693
7.4.2	Dauerknickversuch und Risswachstum	694
7.4.2.1	Normen	695
7.4.3	Prüfung der Wärmebildung und des Zermübungswiderstandes im Dauerschwingversuch (Flexometerprüfung)	695
7.4.3.1	Normen	696
7.5	Prüfung der Relaxation und Retardation	697
7.5.1	Grundlagen	697
7.5.1.1	Viskoelastische Vorgänge	697
7.5.1.2	Chemische Vorgänge	698
7.5.2	Spannungsrelaxation	699
7.5.2.1	Grundlagen	699
7.5.2.2	Prüfmethode	699
7.5.2.3	Normen	699

7.5.3	Verformungsrest – bleibende Verformung.	700
7.5.3.1	Zugverformungsrest	701
7.5.3.2	Druckverformungsrest	701
7.5.4	Retardation – Kriechen	703
7.5.4.1	Grundlagen	703
7.5.4.2	Normen	704
7.5.5	TSSR	705
7.6	Prüfung des Kälteverhaltens	707
7.6.1	Grundlagen	707
7.6.1.1	Einfrierverhalten	707
7.6.1.2	Kristallisationsverhalten	709
7.6.2	Prüfmethoden	709
7.6.2.1	Prüfung des Einfrierverhaltens	709
7.6.2.2	Ermittlung des Kristallisationsverhaltens/Kältelagerung	710
7.7	Abrieb und Verschleiß	710
7.7.1	Grundlagen	710
7.7.2	Prüfmethoden	711
7.7.2.1	Normen	712
7.8	Künstliche Alterung	714
7.8.1	Einfluss von Wärme und Sauerstoff	715
7.8.1.1	Prüfmethoden	715
7.8.1.2	Normen	715
7.8.2	Einfluss von Ozon	716
7.8.2.1	Grundlagen	716
7.8.2.2	Prüfverfahren	716
7.8.2.3	Normen	717
7.8.3	Künstliche und natürliche Bewitterung	717
7.8.3.1	Künstliche Bewitterung – ISO 4892/DIN 53 387	717
7.8.3.2	Bewitterung im Freien – DIN 53 386	718
7.9	Elektrische Eigenschaften	718
7.9.1	Grundlagen	718
7.9.1.1	Definition	718
7.9.2	Prüfmethoden	719
7.10	Permeation	719

7.10.1 Grundlagen	719
7.10.2 Normen.....	720
7.10.2.1 ISO 1399 – Messung der Gasdurchlässigkeit bei konstantem Volumen	720
7.10.2.2 ISO 2782 – Messung der Gasdurchlässigkeit bei konstantem Druck.....	720
7.10.3 Flüssigkeitsdurchlässigkeit	721
7.10.3.1 ISO 6179	721
7.11 Quellungsprüfung.....	721
7.11.1 Grundlagen	721
7.11.2 Normen.....	722
7.11.2.1 ISO 1817 – Bestimmung des Verhaltens gegenüber Flüssigkeiten.....	722
7.12 Chemisch analytische Verfahren.....	723

Band 2

8 Herstellung von Bahnen und gummierten Geweben durch Kalandrieren	729
8.1 Strömungsvorgänge im Walzenspalt	731
8.2 Walzendurchbiegung und Kompensation.....	746
8.3 Kalandrierlinie	751
8.4 Produktionsverfahren und -anlagen	772
8.5 Basisprobleme des Kalandrierens	776
8.6 Betriebspraxis Kalandrieren	780
9 Verfahren zur Herstellung von Halbzeugen durch Streichen..	787
9.1 Beschichtungsanlagen	787
9.2 Imprägnieren.....	789
9.3 Streichen	790
9.4 Trocknen.....	801
9.5 Sicherheitsmaßnahmen	805
9.6 Wickeln	806
9.7 Vulkanisieren.....	806
9.8 Betriebspraxis	807

10	Verfahren zur Herstellung von Halbzeugen durch Extrudieren.....	811
10.1	Extruder	812
10.2	Extrusionswerkzeuge.....	859
10.3	Nachfolgeeinrichtungen	900
10.4	Prozesssteuerung beim Extrudieren	901
10.5	Betriebspraxis Extrudieren	912
11	Verfahren der kontinuierlichen Vulkanisation	921
11.1	Allgemeines	924
11.2	Thermische Grundlagen der kontinuierlichen Vulkanisation.....	927
11.3	Bestimmung der Vernetzungszeit.....	934
11.4	Energieeffizienz von Vulkanisationsverfahren.....	937
11.5	Kontinuierliche Vulkanisationsverfahren unter Druck	940
11.6	Drucklose kontinuierliche Vulkanisationsverfahren.....	953
11.7	Weitere Vulkanisationsverfahren.....	985
11.8	Vor- und nachgeschaltete Anlagen	989
11.9	Abluftreinigung.....	991
11.10	Aufbau von Mischungen für die drucklose kontinuierliche Vulkanisation.....	993
12	Verfahren zur Herstellung von Elastomerformteilen	1005
12.1	Pressverfahren	1007
12.2	Spritzprägeverfahren.....	1015
12.3	Transferpressverfahren	1016
12.4	Transferpressverfahren mit Kaltkanal	1028
12.5	Transferspritzpressverfahren	1031
12.6	Spritzgießverfahren.....	1033
12.7	Prozesssteuerung beim Spritzgießen.....	1107
12.8	Prozesssimulation bei der Herstellung von Formteilen	1119
13	Gummiverbundkörper	1137
13.1	Gummi/Metall-Verbunde.....	1138
13.2	Gummi/Kunststoff-Verbunde	1162
13.3	Gummi/Faden- und Gummi/Gewebe-Verbunde	1164

14	Reifen	1181
14.1	Reifengruppen	1181
14.2	Charakterisierung von Reifen	1182
14.3	Aufbau eines Radialreifens	1183
14.4	Reifenbauverfahren	1190
14.5	Vulkanisation von Reifen	1202
14.6	Entladen des Reifens	1206
14.7	Innovationen in der Reifenfertigung	1207
14.8	Endinspektion von Reifen	1208
14.9	Sortierung	1212
14.10	Reifenkennzeichnung	1213
15	Verarbeitung von Thermoplastischen Elastomeren	1217
15.1	Überblick über die Werkstoffe	1218
15.2	Verarbeitung	1224
15.3	Anwendungen	1234
16	SPC – Prozessüberwachung und Produktbeurteilung	1239
16.1	Das Prozessmodell	1239
16.2	Arten von Prüfungen	1241
16.3	Messsystemfähigkeit	1243
16.4	Statistische Charakterisierung von Prozessen	1244
16.5	Prozessstabilität	1247
16.6	Prozessfähigkeit	1259
16.7	Praktische Überlegungen zum Einsatz von SPC	1263
17	Elastomerprodukte	1271
17.1	Elastomerbeschichtete Gewebe – moderne Verbundwerkstoffe mit Tradition	1271
17.2	Antriebsriemen	1288
17.3	Formteile	1297
17.4	Die Luftfederung, eine regelbare Federung für Fahrzeuge	1304
17.5	Extrudierte Elastomerprofile	1320
17.6	Technische Schläuche – Hochleistungsverbundkörper	1337
17.7	Fördergurte	1348
17.8	Hydraulikschläuche	1365

18	Umweltaspekte und Recycling von Altgummi	1377
18.1	Aufkommen und Mengen	1377
18.2	Vermeidung von Abfall	1379
18.3	Recycling nach Ende des Lebenszyklus	1381
18.4	Umweltaspekte der Altgummiverwertung	1398
18.5	Ökobilanzierung von Elastomerprodukten	1398
19	Gefahrstoffe, Umwelt- und Arbeitsschutz	1405
19.1	Einleitung	1405
19.2	Handhabung von Rohstoffen und Chemikalien	1410
19.3	Gesetze, Verordnungen und Richtlinien	1410
19.4	Einflussnahme auf Rohstoffauswahl	1430
19.5	Gefahrenpotenzial bei der Verarbeitung	1438
19.6	Gefahrenpotenzial in der Gebrauchsphase	1440
20	Konstruktion und Auslegung von Elastomerbauteilen	1449
20.1	Mechanisches Werkstoffverhalten von Elastomeren	1450
20.2	Werkstoffauswahl	1456
20.3	Mechanische Auslegung mit der FEM	1457
20.4	Konstruktion von Elastomerbauteilen	1465
	Gesamtindex Band 1 und Band 2	1469