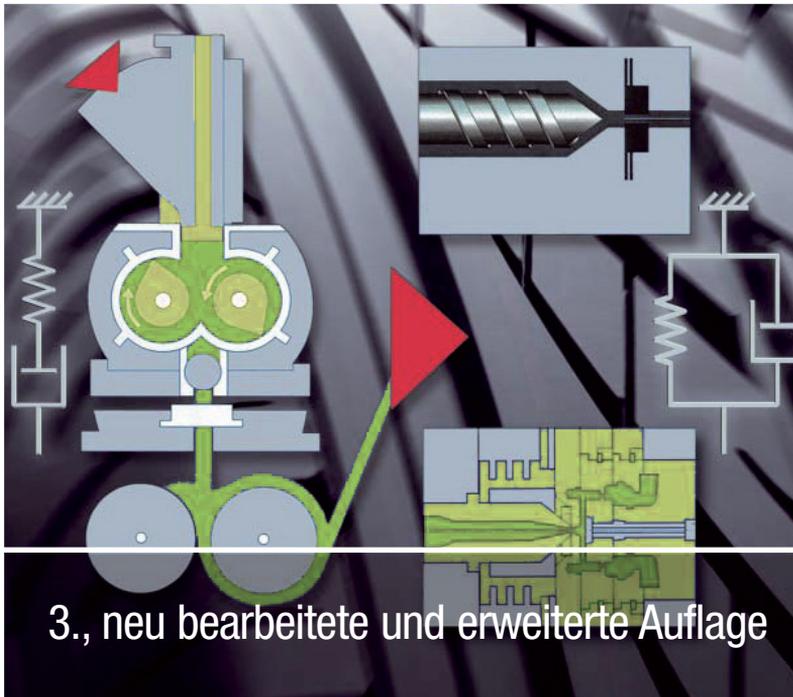


Fritz Röthemeyer
Franz Sommer

Kautschuk Technologie

Werkstoffe – Verarbeitung – Produkte



3., neu bearbeitete und erweiterte Auflage

HANSER



Blieben Sie auf dem Laufenden!

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

www.hanser-fachbuch.de/newsletter

Die Internet-Plattform für Entscheider!

- **Exklusiv:** Das Online-Archiv der Zeitschrift Kunststoffe!
- **Richtungweisend:** Fach- und Brancheninformationen stets top-aktuell!
- **Informativ:** News, wichtige Termine, Bookshop, neue Produkte und der Stellenmarkt der Kunststoffindustrie

***Kunststoffe*.DE**

Immer einen Click voraus!

Fritz Röthemeyer
Franz Sommer

Kautschuk Technologie

Werkstoffe - Verarbeitung - Produkte

3., neu bearbeitete und erweiterte Auflage

An diesem Buch haben außerdem mitgewirkt:

Peter Bartholmei, Jürgen Bebermeier, Anton Besche, Karin Czech-Scharif-Afschar,
Wolfgang Fidi, Edmund Haberstroh, Alistair Hill, Armin Holzner, Roland Jansen,
Eckhard Kreipe, Mischa Lucyshyn, Edgar Mumme, Klaus Schobert, Klaus Schütte,
Rainer Stark, Jens Storre, Horst Strothenk, Peter Tegtmeier, Horst E. Toussaint,
Hartwig Voß, Gerhard De Vries, Sven Wiesner, Meinolf Ziebarth

HANSER

Die Autoren:

Prof. Dr.-Ing. Fritz Röthemeyer, Burgwedelerstraße 67, 30916 Isernhagen

Prof. Dr. rer. nat. Franz Sommer, Roseggerstraße 5, A-2540 Bad Vöslau

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek:

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.d-nb.de>> abrufbar.

ISBN: 978-3-446-43776-0

E-Book-ISBN: 978-3-446-43760-9

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Alle in diesem Buch enthaltenen Verfahren bzw. Daten wurden nach bestem Wissen erstellt und mit Sorgfalt getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die in diesem Buch enthaltenen Verfahren und Daten mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Verfahren oder Daten oder Teilen davon entsteht.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG genannten Sonderfälle – reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© Carl Hanser Verlag, München 2013

Herstellung: Steffen Jörg

Coverconcept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München

Coverrealisierung: Stephan Rönigk

Satz, Druck und Bindung: Kösel, Krugzell

Printed in Germany

Vorwort zur 3. Auflage

Kautschuktechnologie umfasst sowohl die Werkstoffherstellung und das Verarbeitungsverhalten, als auch das Wissen um die Eigenschaften viskoelastischer Materialien. Bei den vernetzungsfähigen Werkstoffen handelt es sich um *viskoelastische Flüssigkeiten*, bei den Vulkanisaten/Elastomeren um *elastoviskose Festkörper*. Die einzigartigen Eigenschaften dieser Werkstoffgruppe sind daher im Unterschied zu anderen klassischen Materialien in hohem Maße zeit- und temperaturabhängig. Ihre Beherrschung erfordert das kombinierte Wissen von Chemikern, Physikern und Ingenieuren. Kautschuktechnologie wird deshalb mitunter als *multifakultativ* apostrophiert.

Es fehlt nicht an sehr guter Literatur über den einen oder anderen Aspekt der Kautschuktechnologie, z. B. über die Polymere/Kautschuke oder über das Compoundieren oder über die Verarbeitung oder über die rechnergestützte Simulation bei der Produkt- und Verfahrensentwicklung oder über die Vielfalt der Elastomerprodukte. Es fehlt jedoch eine zusammenfassende Darstellung, die alle Aspekte des multifakultativen Wissensgebietes in ihren Abhängigkeiten verbindet. Diese Lücke hat das vorliegende Buch durch die erste Auflage geschlossen.

Ausgangspunkt hierzu war die Dozententätigkeit der aus der Gummiindustrie (Continental/ContiTech bzw. Semperit AG) kommenden Autoren im *Weiterbildungsstudium Kautschuktechnologie* an der Universität Hannover. Die entsprechenden Vorlesungsmanuskripte, in denen sowohl Theorie als auch Praxis zu Wort kommen, waren der Grundstein, aber längst nicht alles: es mussten viele Kapitel ergänzt und auch Mitautoren für die vielseitige Welt der Elastomerprodukte, die Qualitätssicherung und den Umweltschutz gewonnen werden. Darüber hinaus gab es viele Gespräche mit den Mitgliedern der Fachbeiräte Elastomerverarbeitung der VDI Gesellschaft Kunststofftechnik und des Instituts für Kunststoffverarbeitung an der RWTH Aachen und den Dozenten des Weiterbildungsstudiums Kautschuktechnologie.

Der Inhalt des Buches erstreckt sich über folgende Gebiete:

- Werkstoff-/Mischungsherstellung,
- Eigenschaften der Elastomere und deren Prüfung,
- Rheologisches, thermodynamisches und reaktionskinetisches Verhalten von Kautschukmischungen und Vulkanisaten,

- Aufbau, Herstellung und Eigenschaften von Kautschuk,
- Eigenschaften von Füllstoffen, Vernetzungssystemen und Additiven,
- Basistechnologien der Kautschukverarbeitung Kalandrieren, Streichen, Extrudieren, Konfektionieren, Pressen, Spritzgießen und Vulkanisieren,
- Verarbeitung von Thermoplastischen Elastomeren,
- Automation in der Kautschukverarbeitung,
- Qualitätssicherung,
- Überblick über die Technischen Elastomerprodukte und Reifen,
- Recycling, Gefahrstoffmanagement und Umweltschutz.

Bei der Darstellung des Stoffes wird besonderer Wert darauf gelegt, zunächst die grundsätzlichen physikalisch-chemischen Zusammenhänge zu erläutern und dann auf die verfahrenstechnischen und maschinenbaulichen Notwendigkeiten einzugehen. Wo immer sinnvoll, werden Beispiele angeführt, die die Analyse der jeweiligen Problemstellung auch quantitativ ergänzen. Die hierfür erforderlichen Stoffdaten werden als Richtwerte zur Verfügung gestellt.

Ausführlich behandelt sind die Kautschuke und deren Eigenschaften, wobei der steigenden Bedeutung des nachwachsenden Rohstoffs Naturkautschuk besondere Aufmerksamkeit gewidmet ist. Großer Wert wird auf die Zusammenhänge zwischen Struktur und Eigenschaften der Polymere und Füllstoffe gelegt.

Inhalt und Darstellung sind so abgefasst, dass das Buch sowohl der Aus- und Weiterbildung als auch bei der täglichen Arbeit als Nachschlagewerk für die in der Branche tätigen Chemiker, Physiker und Ingenieure dienen kann.

Bei der 3. Auflage der „Kautschuktechnologie“ hatten die Autoren die Möglichkeit, die Aktualität des Buches zu überprüfen, gegebenenfalls neueren Erkenntnissen anzupassen und wenn nötig Ergänzungen vorzunehmen. Die Überprüfungen konzentrierten sich dabei weniger auf die chemischen und ingenieurwissenschaftlichen Grundlagen, die sich ja im Grundsatz nicht ändern, als vielmehr auf deren Einfluss auf die in der Praxis eingesetzten Werkstoffe und Technologien.

Bei der Überprüfung der Texte wurden die Autoren von kompetenten Experten, die im Inhaltsverzeichnis bei den Kapiteln und Abschnitten im Einzelnen benannt werden, unterstützt, denen wir dafür zu großem Dank verpflichtet sind.

Darüber hinaus wurde bei den Überprüfungen Wert darauf gelegt, neue Polymere und Füllstoffe z. B. aus der Nanotechnologie und Fortschritte in den Verarbeitungsverfahren zu berücksichtigen. Besonderheiten in den Basistechnologien für die Herstellung von Reifenaufbauteilen wurden ebenso eingefügt wie die Fortschritte in der Automation, insbesondere beim Spritzgießen von Elastomerformteilen.

Obwohl im vorliegenden Buch das Werkstoffverhalten bei der Verarbeitung zum Verständnis und schnellen Überblick auf der Grundlage chemischer und physikalischer Gesetzmäßigkeiten beschrieben wird, ist ein kurzer Einblick in die gegen-

wärtigen Möglichkeiten der numerischen Simulation komplexer Vorgänge bei Fertigungsprozessen und im Produktverhalten in Abschnitt 6.7 „Möglichkeiten der Simulation des Verarbeitungsprozesses und des Bauteilverhaltens in der Kautschuktechnologie“ angefügt.

Fortschritte in der Mischungsprüfung machten die Neufassung des Abschnitts 6.6 „Mischungsprüfung“ erforderlich. Bei den Gummiverbundkörpern waren bisher Reifen nicht berücksichtigt worden. Die Behandlung dieser Produktgruppe erfordert eigentlich eine separate Darstellung. Dennoch erschien es bei der dritten Auflage sinnvoll, einen kurzen Einblick in diese wichtige Produktgruppe zur Abrundung der Gummiverbundkörper in Abschnitt 13.6 „Reifen – Anisotrope Verbundkörper“ zu geben. In den vorausgegangenen Auflagen waren Hydraulikschläuche bei der Einführung in die Vielfalt der Technischen Elastomerprodukte zu kurz gekommen, diese Lücke füllt Abschnitt 17.8 „Hydraulikschläuche“.

Kapitel 16 „SPC – Prozessüberwachung und Produktbeurteilung“ wurde der Wichtigkeit des Themas entsprechend neu verfasst.

Die Autoren hoffen, dass sie mit der dritten überarbeiteten Auflage dem technologischen Fortschritt der letzten zehn Jahre wenigstens ansatzweise Rechnung getragen haben, ohne den Rahmen des Buches zu sprengen.

Ein besonderer Dank gilt dem Carl Hanser Verlag und insbesondere Frau Monika Stüve für das Lektorat und die kritischen Kommentare.

Fritz Röthemeyer, Isernhagen

Franz Sommer, Bad Vöslau

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	Deproteinierter 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