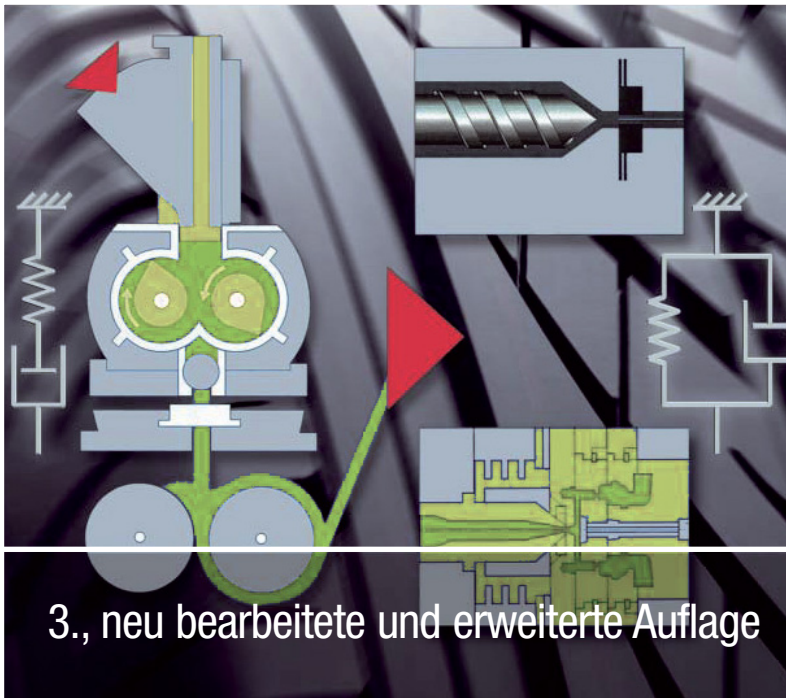


Fritz Röthemeyer
Franz Sommer

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 Synthetikautschuk | 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 |