

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Autorenverzeichnis	IX
Die Herausgeber	IX
Die Mitverfasser	XI
Abkürzungsverzeichnis	XIII
Kunststoffe	XIII
Kunststoff-Additive	XVII
Chemikalien	XIX
Analytische Methoden und technische Fachbegriffe	XXI
Normungsorganisationen, Behörden, Normen, Regularien	XXIV
1 Antioxidantien	1
<i>Alex Wegmann, André Le Gal, Daniel Müller</i>	
1.1 Einleitung	1
1.2 Oxidativer Abbau von Polymeren	5
1.2.1 Einleitung	5
1.2.2 Autoxidation	6
1.2.3 Inhibierung der Autoxidation	13
1.3 Wirkungsweise von Antioxidantien	15
1.3.1 H-Donoren	15
1.3.1.1 Aromatische Amine	15
1.3.1.2 Sterisch gehinderte Phenole	16
1.3.2 Hydroperoxidzersetzer	18
1.3.2.1 Phosphite/Phosphonite	19
1.3.2.2 Thiosynergisten	19

1.3.3	Alkylnradikalfänger	20
1.3.3.1	Sterisch gehinderte Aminstabilisatoren (HAS)	20
1.3.3.2	Hydroxylamine	22
1.3.3.3	Benzofuranone	23
1.3.3.4	Acryloyl-modifizierte Phenole	24
1.3.4	Metalldesaktivatoren	25
1.3.5	Multifunktionelle Stabilisatoren	25
1.3.6	Mischungen von Stabilisatoren	25
1.4	Prüfung von Antioxidantien	26
1.4.1	Allgemeine Aspekte	26
1.4.2	Versagensmechanismen in Polymeren	27
1.4.2.1	Amorphe Polymere	27
1.4.2.2	Teilkristalline Polymere	28
1.4.3	Probenvorbereitung	30
1.4.3.1	Labormethoden	30
1.4.3.2	Einarbeitung im Produktionsmaßstab	31
1.4.4	Testmethoden	31
1.4.5	Verarbeitungsstabilität in der Schmelze	33
1.4.6	Thermische Analysen	37
1.4.7	Chemilumineszenz	40
1.4.8	Thermische Langzeitstabilität	40
1.4.8.1	Ofenalterungstechniken	40
1.4.8.2	Versuche unter externer Belastung	46
1.4.9	Vorhersage der Lebensdauer	49
1.5	Stabilisierung ausgewählter Substrate	50
1.5.1	Polyolefine	50
1.5.1.1	Allgemeine Aspekte	50
1.5.1.2	Verarbeitungsstabilisierung in der Schmelze	51
1.5.1.3	Thermische Langzeitstabilisierung	59
1.5.1.4	Einfluss von Füllstoffen und Pigmenten	67
1.5.1.5	Spezielle Anforderungen in besonderen Anwendungen	72
1.5.2	Elastomere und Thermoplastische Elastomere (TPE)	75
1.5.2.1	Allgemeine Aspekte	75
1.5.2.2	Polybutadien Kautschuk (BR)	77
1.5.2.3	Polyisopren Kautschuk (IR)	78
1.5.2.4	Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR)	79
1.5.2.5	Acrylnitril-Butadien-Kautschuk (NBR)	81
1.5.2.6	Ethylen-Propylen-Kautschuke (EPM, EPDM)	82
1.5.2.7	Polystyrol-Polydien-Blockcopolymeren (TPE-S)	82

1.5.3	Styrolpolymere	84
1.5.3.1	Standardpolystyrol (PS)	84
1.5.3.2	Styrol-Acrylnitril-Copolymer (SAN)	85
1.5.3.3	Schlagzähes Polystyrol (PS-I oder (H)IPS)	86
1.5.3.4	Transparentes, schlagzähes Polystyrol (CLIPS)	88
1.5.3.5	Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer (ABS)	90
1.5.3.6	Methylmethacrylat-Butadien-Styrol-Copolymer (MBS)	93
1.5.3.7	Weitere styrolbasierte Pfropfcopolymere	94
1.5.4	Polyamide (PA)	95
1.5.4.1	Aliphatische Polyamide	95
1.5.4.2	Aromatische Polyamide	100
1.5.5	Polyester	100
1.5.5.1	Polyethylenterephthalat (PET)	100
1.5.5.2	Polybutylenterephthalat (PBT)	101
1.5.5.3	Ungesättigte Polyester (UP)	102
1.5.6	Polyoxymethylene (POM)	102
1.5.7	Polycarbonat (PC)	105
1.5.8	Polyurethane (PUR)	106
1.5.9	Polyvinylchlorid (PVC)	109
1.5.10	Polyphenylenether (PPE)	112
1.5.11	Hochleistungsthermoplaste	112
1.5.12	Polymermischungen und -legierungen	113
1.5.13	Biokunststoffe	114
1.6	Technologische Trends	114
1.7	Verzeichnis der chemischen Strukturen, CAS-Nummern, Handelsnamen, und Produzenten von Stabilisatoren	116
1.7.1	Primäre Antioxidantien	116
1.7.2	Sekundäre Antioxidantien (Phosphite/Phosphonite)	124
1.7.3	Sekundäre Antioxidantien (Thiosynergisten)	127
1.7.4	Metalldesaktivatoren	128
1.7.5	Ni-Quencher	129
1.7.6	UV-Absorber	130
1.7.7	Sterisch gehinderte Amine HA(L)S	135
1.7.8	Hersteller/Lieferanten	144
1.8	Literatur	147

2	Lichtschutzmittel	155
	<i>Markus Grob, Gregor Huber, Heinz Herbst, André Le Gal, Daniel Müller, Howard Priest, Cinzia Tartarini, Andreas Thürmer, Liane Schulz, Alex Wegmann, Wiebke Wunderlich, Jürg Zingg, Manuele Vitali, François Gugumus[†]</i>	
2.1	Einleitung	155
2.2	Photoabbau von Kunststoffen	157
2.2.1	Ultraviolettspektrum des Sonnenlichts	157
2.2.2	Physikalisch-chemische Prozesse, die durch Lichtabsorption auftreten	163
2.2.3	Die Energie des Lichts und dessen Absorption	168
2.2.4	Photooxidationsschema	170
2.2.5	Photooxidation von Polyolefinen	172
2.2.5.1	Photooxidation von PP	179
2.2.5.2	Photooxidation von PE	180
2.2.6	Photooxidation von Elastomeren	184
2.2.7	Photooxidation von Styrol-Kunststoffen	187
2.2.8	Photooxidation von Polyamiden	191
2.2.8.1	Aliphatische Polyamide	191
2.2.8.2	Aromatische Polyamide	193
2.2.9	Photooxidation von Polyvinylchlorid	195
2.2.10	Photooxidation von Polycarbonat	199
2.2.11	Photooxidation von Polyacetalen	204
2.2.12	Photooxidation von PUR	206
2.2.13	Photooxidation von linearen Polyestern	210
2.2.14	Photooxidation von thermoplastischen Polyester-Elastomeren ..	214
2.2.15	Photooxidation von Polyacrylaten und Polymethacrylaten	215
2.2.16	Photooxidation von PPE	219
2.2.17	Photooxidation von Polysulfon	225
2.2.18	Photooxidation von Epoxidharzen	227
2.2.19	Photooxidation von anderen Polymeren	230
2.3	Mechanismen für die UV-Stabilisierung	230
2.3.1	UV-Absorption	231
2.3.2	Quenchen	242
2.3.3	Hydroperoxidzersetzung	244
2.3.4	Abfangen von freien Radikalen	246
2.3.5	Sterisch gehinderte Amine (HALS)	248
2.3.5.1	Stabilisierungsmechanismen der HALS-Oxidationsprodukte	248
2.3.5.2	Stabilisationsmechanismen von HALS	257

2.4	Lichtschutzmittelprüfung	267
2.4.1	Natürliche Bewitterung	267
2.4.2	Künstliche Bewitterung	269
2.4.3	Einfluss von Pigmenten auf die Lichtschutzmittelprüfung	271
2.5	Technische Aspekte der Lichtstabilisierung	273
2.5.1	Stabilität und Flüchtigkeit	274
2.5.2	Löslichkeit, Kompatibilität, Migration und Extraktion von Lichtschutzmitteln	275
2.5.3	Handhabung und Sicherheit	276
2.5.4	Praktische Aspekte der Lichtstabilisierung	276
2.5.5	Strukturen von Lichtschutzmitteln	277
2.6	Stabilisierung von ausgewählten Kunststoffen	277
2.6.1	Stabilisierung von Polyolefinen	277
2.6.1.1	UV-Stabilisierung von PP	278
2.6.1.2	UV-Stabilisierung von PE	317
2.6.1.3	UV-Stabilisierung von Polyolefinen in der Landwirtschaft	344
2.6.2	Stabilisierung von Elastomeren	361
2.6.2.1	Lichtstabilisierung von Klebstoffen	370
2.6.3	Stabilisierung von Styrolpolymeren	377
2.6.4	Stabilisierung von Polyamiden	385
2.6.4.1	Stabilisierung von Polyamidfasern	395
2.6.5	Stabilisierung von Polyvinylchlorid	397
2.6.6	UV-Stabilisierung von Polycarbonat	403
2.6.7	UV-Stabilisierung von Polyacetal	407
2.6.8	UV-Stabilisierung von Polyurethanen	416
2.6.9	UV-Stabilisierung linearer Polyester	425
2.6.10	UV-Stabilisierung ungesättigter Polyester	432
2.6.11	UV-Stabilisierung thermoplastischer Polyester-Elastomere	433
2.6.12	UV-Stabilisierung von Polyacrylaten	433
2.6.13	UV-Stabilisierung von Polyphenylenether	438
2.6.14	UV-Stabilisierung von Polysulfonen	439
2.6.15	UV-Stabilisierung von Epoxidharzen	441
2.6.16	Stabilisierung anderer Polymere	442
2.7	Strukturformeln	442
2.8	Literatur	447

3	PVC-Stabilisatoren	469
	<i>Thomas Hopfmann, Karl-Josef Kuhn, Johannes Kaufhold, Michael Schiller</i>	
3.1	PVC-Markt, Additiv-Markt und Nachhaltigkeit	469
3.2	Thermischer Abbau von PVC	474
3.2.1	Schädigung durch thermische Einflüsse	474
3.2.2	Stabilisatorfunktionen	478
3.3	Stabilisierung von PVC	484
3.3.1	Organozinnstabilisatoren	484
3.3.1.1	Organozinnmercaptide und -sulfide	484
3.3.1.2	Organozinncarboxylate	488
3.3.2	Metallseifenstabilisatoren	489
3.3.2.1	Prinzip der Metallseifenstabilisierung	489
3.3.2.2	Stabilisatorformen	496
3.3.2.3	Bleistabilisatoren	496
3.3.2.4	Ältere Stabilisierungssysteme und Exoten	498
3.3.3	Schwermetallfreie PVC-Stabilisierung	499
3.3.3.1	Organische Stabilisierung	499
3.3.3.2	Weitere stickstoffhaltige, organische Stabilisatoren ...	500
3.3.3.3	Stabilisierung mit Perchloraten	501
3.3.4	Co-Stabilisatoren	501
3.3.4.1	Phosphite	502
3.3.4.2	Polyole	507
3.3.4.3	β -Diketone	508
3.3.4.4	Sterisch gehinderte Amine (HALS)	510
3.3.4.5	Antioxidantien	510
3.3.4.6	Anorganische Co-Stabilisatoren	511
3.4	Richtrezepturen	513
3.5	Prüfverfahren	525
3.5.1	Mischen	526
3.5.2	Farbmessungen	526
3.5.3	Prüfung der Thermostabilität	528
3.5.3.1	Statischer Hitzetest	528
3.5.3.2	Dynamischer Hitzetest	529
3.5.3.3	Bestimmung der HCl-Abspaltung	531
3.5.4	Prüfung des Einflusses von Thermostabilisatoren auf das Verarbeitungsverhalten	532
3.5.5	Prüfung der elektrischen Eigenschaften	534
3.5.6	Bestimmung der Wetter- und Lichtstabilität	534
3.5.7	Spezielle Prüfmethode für Automobilanwendungen	536
3.5.7.1	Fogging-Test	536

3.5.7.2	Lagerungstest	536
3.5.7.3	Aminresistenz	536
3.6	Stabilisatorenhersteller in Europa	537
3.7	Literaturverzeichnis	542
4	Säurefänger	549
	<i>Stefan Fokken, Frank Reichwald</i>	
4.1	Einführung	549
4.2	Grundprinzip der Wirkungsweise (Ablauf)	550
4.3	Physikalische und chemische Beschreibung der Additive	552
4.3.1	Metallseifen	552
4.3.2	Hydrotalcite	555
4.3.3	Hydrocalumit	557
4.3.4	Zeolithe	558
4.3.5	Oxide und Hydroxide	559
4.4	Einarbeitung von Additiven in Polymere	563
4.5	Austestung von Additiven in Polymeren	563
4.5.1	Untersuchung des Korrosionswiderstandes	563
4.5.2	Mehrfachextrusion	564
4.5.3	Gelbfärbungsindex (Yellowness Index YI, DIN ISO 6167)	565
4.5.4	Schmelzflussindex/Schmelzvolumenindex (MFR, ASTM D1238, DIN ISO 1133)	565
4.5.5	Filtrationsindex (FI, ASTM D3218, DIN EN 13900-5)	566
4.6	Formulierungsbeispiele und Additivverhalten in verschiedenen Polyolefinen	566
4.7	Wechselwirkungen mit anderen Additiven	577
4.8	Technologietrends	577
4.9	Zusammenfassung	578
4.10	Liste der Hersteller nach Produktgruppen	579
4.11	Literatur	580
5	Oberflächenaktive Zusatzstoffe	583
	<i>Eric Richter, Ottmar Schacker</i>	
5.1	Einführung	583
5.2	Gleitmittel	584
5.2.1	Einleitung	584
5.2.2	Chemie der Gleitmittel	584
5.2.2.1	Fettalkohole	586

5.2.2.2	Fettsäuren und deren Salze	587
5.2.2.3	Fettsäureamide	587
5.2.2.4	Fettsäureester	587
5.2.2.5	Montansäureester	588
5.2.2.6	Polyolefinwachse	588
5.2.2.7	Polare Polyolefinwachse	589
5.2.2.8	Paraffine	589
5.2.2.9	Spezialitäten	589
5.2.3	Stoffcharakterisierung	590
5.2.4	Wirkungsweise	592
5.2.5	Anwendungstechnische Prüfung	600
5.2.5.1	Laborkneter	600
5.2.5.2	Extrusimeter	601
5.2.5.3	Kapillarrheologie	602
5.2.5.4	Laborwalzwerk	603
5.2.5.5	Druckfiltertest	604
5.2.5.6	Foliennote	605
5.2.5.7	Spritzgießen	605
5.2.5.8	Fertigteilprüfung	605
5.2.6	Anwendung	606
5.2.6.1	Polyvinylchlorid	607
5.2.6.2	Polyolefine	610
5.2.6.3	Technische Thermoplaste	612
5.2.6.4	Elastomere	618
5.2.6.5	Pigmentdispergierung	621
5.3	Verarbeitungshilfsmittel	623
5.3.1	Einführung	623
5.3.2	Chemie der Verarbeitungshilfsmittel für PVC	624
5.3.2.1	Stoffcharakterisierung	626
5.3.2.2	Wirkungsweise	627
5.3.2.3	Anwendungstechnische Prüfung	629
5.3.2.4	Anwendung	632
5.3.3	Chemie der Verarbeitungshilfsmittel für Polyolefine	634
5.3.3.1	Stoffcharakterisierung	636
5.3.3.2	Wirkungsweise	636
5.3.3.3	Anwendungstechnische Prüfung	640
5.3.3.4	Anwendung	641
5.4	Antistatika	642
5.4.1	Einführung	642
5.4.2	Chemie der Antistatika	644
5.4.2.1	Interne Antistatika	644

5.4.2.2	Permanente Antistatika	647
5.4.3	Stoffcharakterisierung	648
5.4.4	Wirkungsweise	648
5.4.4.1	Interne Antistatika	648
5.4.4.2	Permanente Antistatika	653
5.4.5	Anwendungstechnische Prüfung	654
5.4.6	Anwendung	655
5.5	Antifogging-Additive	660
5.5.1	Einführung	660
5.5.2	Chemie der Antifogging-Additive	660
5.5.3	Stoffcharakterisierung	663
5.5.4	Wirkungsweise	663
5.5.5	Anwendungstechnische Prüfung	664
5.5.6	Anwendung	668
5.6	Slip-Additive	669
5.6.1	Einführung	669
5.6.2	Chemie der Slip-Additive	670
5.6.3	Charakterisierung und Prüfung der Slip-Additive	670
5.6.4	Wirkungsweise und Einsatz der Slip-Additive	671
5.7	Handelsnamen und Lieferanten	673
5.8	Literatur	676
6	Nukleierungsmittel und Transparenzverstärker	679
	<i>Ralph D. Maier, Per Magnus Kristiansen</i>	
6.1	Einleitung	679
6.2	Nukleierung und Kristallisation semikristalliner Polymere	679
6.2.1	Strukturelle Merkmale und Parameter	680
6.2.2	Der Kristallisationsvorgang	681
6.2.3	Definitionen	683
6.2.3.1	Primäre Nukleierung	683
6.2.3.2	Sekundäre Nukleierung	684
6.2.4	Kristallisationskinetik	684
6.2.4.1	Isotherme Kristallisation	684
6.2.4.2	Nicht-isotherme Kristallisation	685
6.2.4.3	Kristallisationskinetik in Theorie und Praxis	685
6.2.5	Morphologie-Bausteine	686
6.3	Heterogene Nukleierungsmittel	687
6.3.1	Strukturelle Merkmale	687
6.3.2	Bedeutung der Epitaxie	688

6.3.3	Wirkungsweise	688
6.3.3.1	Auswirkungen auf die Kristallisationskinetik	689
6.3.3.2	Effizienz von Nukleierungsmitteln	689
6.3.3.3	Einfluss auf die Morphologie	692
6.3.3.4	Einfluss auf Verarbeitungs- und Anwendungseigenschaften	694
6.3.3.5	Struktur-Eigenschaftsbeziehungen	696
6.4	Nukleierungsmittel und Clarifier für Polypropylen	697
6.4.1	Nukleierungsmittel-Klassen	697
6.4.1.1	Anorganische Nukleierungsmittel	698
6.4.1.2	Salze von Carbonsäuren	698
6.4.1.3	Sorbitolacetale	699
6.4.1.4	Nukleierungsmittel auf Kolophonium-Basis	700
6.4.1.5	Carbonsäureamide	701
6.4.1.6	Salze von Organophosphorsäuren	702
6.4.1.7	Pigmente	703
6.4.1.8	Metallsalze organischer Hydroxyverbindungen	704
6.4.1.9	Polymere Nukleierungsmittel	704
6.4.1.10	Sonstige Nukleierungsmittel	704
6.4.1.11	Effizienz	704
6.4.2	Nukleierung der β -Modifikation	705
6.4.2.1	β -Nukleierungsmittel	705
6.4.2.2	Wirkungsweise	705
6.4.2.3	β -Selektivität	706
6.4.2.4	Mechanische Eigenschaften	706
6.4.3	Indirekte Nukleierung der γ -Modifikation	707
6.4.4	Transparenzverstärker	708
6.4.4.1	Klassen von Transparenzverstärkern	708
6.4.4.2	Phasenverhalten	709
6.4.5	Praktische Aspekte der PP-Nukleierung	712
6.4.5.1	Konzentrationsbereich	712
6.4.5.2	Eigenschaftsspektrum von nukleiertem PP	712
6.4.5.3	Eigenschaftsspektrum von Transparenzverstärkern ...	714
6.4.5.4	Wechselwirkung mit anderen Additiven	715
6.5	Nukleierung von Polyamiden	716
6.5.1	Polyamid 6	716
6.5.2	Polyamid 66	717
6.6	Nukleierung von Polyethylterephthalat	717
6.6.1	Heterogene Nukleierung	718
6.6.2	Chemische Nukleierung	718
6.6.2.1	Mechanismus	718

6.6.2.2	Chemische Nukleierungsmittel	719
6.6.2.3	Nebenwirkungen	719
6.6.3	Nukleierung durch Metallhydroxide	720
6.6.4	Nukleierung durch Weichmachung	720
6.6.5	Praktische Aspekte der PET-Nukleierung	720
6.7	Nukleierung von Polyethylen	721
6.7.1	Polyethylen hoher Dichte	721
6.7.2	Polyethylene niederer Dichten	722
6.8	Nukleierung von Polylactid	723
6.9	Nukleierung von Poly-1-buten	724
6.10	Nukleierung sonstiger semikristalliner Polymere	724
6.11	Resümee und Ausblick	725
6.12	Liste kommerzieller Nukleierungsmittel, Handelsnamen und Hersteller	726
6.13	Literatur	729
7	Farbmittel	737
	<i>Joachim Jandke, Roger A. Reinicker</i>	
7.1	Einleitung	737
7.2	Farbe	737
7.2.1	Definition des Begriffs Farbe	737
7.2.1.1	Die Lichtquelle	738
7.2.1.2	Absorption durch das Farbmittel	738
7.2.1.3	Observation	739
7.2.2	Metamerismus	740
7.2.3	Transparenz und Opazität	741
7.2.4	Dichroismus – Optische Anisotropie	741
7.3	Farbmittel	741
7.3.1	Begriffsdefinitionen	741
7.3.1.1	Pigmente	741
7.3.1.2	Farbstoffe	743
7.3.1.3	Nomenklatur	743
7.3.2	Eigenschaften, Prüfmethode und Bewertung der Leistungsfähigkeit	743
7.3.2.1	Hitzebeständigkeit	744
7.3.2.2	Lichtehttheit	745
7.3.2.3	Wetterbeständigkeit	745
7.3.2.4	Migrationsverhalten	746
7.3.2.5	Abrasionsverhalten	747

7.3.2.6	Plate-Out	747
7.3.2.7	Kreiden	747
7.3.2.8	Einfluss auf die rheologischen Eigenschaften	748
7.3.2.9	Verzug	748
7.3.3	Farbmittel-Klassen	748
7.3.3.1	Weißes Farbmittel	749
7.3.3.2	Schwarzes Farbmittel	749
7.3.3.3	Anorganische Farbpigmente	750
7.3.3.4	Organische Farbmittel	752
7.3.3.5	Effektpigmente	763
7.3.3.6	Wichtige Pigmente und Farbstoffe für die Einfärbung von Kunststoffen	764
7.4	Einfärbetechnologie	776
7.4.1	Einarbeitung des Farbmittels	776
7.4.1.1	Dispergierung	777
7.4.1.2	Verteilung und Homogenisierung	779
7.4.1.3	Dispergiertechnologie	779
7.4.2	Auswahlkriterien für Farbmittel	780
7.4.3	Probleme bei der Dispergierung	782
7.4.4	Lieferformen	782
7.4.4.1	Pulverpigmente	782
7.4.4.2	Staubarme rieselfähige Pigmente	783
7.4.4.3	Pigmentmischungen	783
7.4.4.4	Feste Farbkonzentrate	783
7.4.4.5	Flüssige Farbkonzentrate	785
7.5	Einfärben von Kunststoffen	788
7.5.1	Einfärbung von PVC	788
7.5.1.1	Pigmente und Pigmentformen	789
7.5.1.2	Wechselwirkungen mit Bestandteilen des Compounds	789
7.5.1.3	Verarbeitung	790
7.5.1.4	Anforderung der Anwendung und Prüfbedingungen ..	793
7.5.2	Einfärbung von Polyolefinen	794
7.5.2.1	Pigmente und Pigmentformen	794
7.5.2.2	Wechselwirkungen mit dem Kunststoff und den Kunststoffadditiven	796
7.5.2.3	Verarbeitung	797
7.5.2.4	Anwendungen und Prüfung	800
7.5.3	Einfärbung von Styrolkunststoffen und Acrylkunststoffen	802
7.5.3.1	Kriterien für die Einfärbung	802
7.5.3.2	Farbmittel für Polystyrol, PMMA und SAN	802
7.5.3.3	Farbmittel für ABS und ASA	803

7.5.4	Einfärbung von Polyamiden und Polycarbonat	803
7.5.5	Einfärbung von Polyurethanen	805
7.5.6	Einfärbung von Thermoplastischen Polyestern und anderen technischen Kunststoffen	805
7.6	Prüfverfahren	807
7.7	Trends und Zukunftsaussichten	808
7.8	Liste der Farbmittellieferanten	809
7.9	Literatur	811
8	Optische Aufheller	813
	<i>Alfred G. Oertli</i>	
8.1	Einleitung	813
8.2	Wirkmechanismen optischer Aufheller	814
8.3	Auswahl optischer Aufheller	816
8.4	Struktur optischer Aufheller	818
8.5	Einarbeitung optischer Aufheller	818
8.6	Prüfung optischer Aufheller	819
8.6.1	Migration und Ausschwitzen	819
8.6.2	Effekt des Aufhellens	819
8.6.3	Lichtstabilität	821
8.7	Eigenschaften optischer Aufheller in verschiedenen Kunststoffen	822
8.7.1	Polyvinylchlorid (PVC)	822
8.7.2	Polystyrol und Styrol-Copolymere	823
8.7.3	Polycarbonat	825
8.7.4	Polyurethan	826
8.7.5	Polyolefine	827
8.7.6	Polymethylmethacrylat (PMMA)	827
8.7.7	Ungesättigte Polyester	828
8.7.8	Polyethylenterephthalat (PET)	829
8.7.9	Polyamidfasern	829
8.8	Technologische Trends	830
8.9	Index von Handelsnamen, Herstellern und Verkäufern	831
8.10	Literatur	832
9	Vernetzung und kontrollierter Abbau von Polyolefinen	833
	<i>Dan Munteanu[†]</i>	
9.1	Einleitung	833

9.2	Grundlagen der Polyolefin-Vernetzung und kontrollierter Abbau	836
9.2.1	Erzeugung und Verbleib von Makroradikalen in Polyolefinen	836
9.2.1.1	Systeme mit freien Radikalen	836
9.2.1.2	Kettenspaltung, Verzweigung und Vernetzung	839
9.2.1.3	Pfropfen funktioneller Monomere	841
9.2.2	Strahlenvernetzung	843
9.2.3	Peroxidvernetzung	846
9.2.4	Silanvernetzung	847
9.2.4.1	Silanfunktionalisierte Polyolefine	847
9.2.4.2	Feuchtigkeitsvernetzung von silanfunktionalisierten Polyolefinen	850
9.3	Vernetzung, Kettenspaltung und Pfropfen mit organischen Peroxiden	853
9.3.1	Strukturen und allgemeine Eigenschaften	854
9.3.2	Peroxidzerersetzung	858
9.3.3	Lagerung und Sicherheitsanforderungen	866
9.3.4	Wichtige Hersteller und Handelssorten der Peroxide	868
9.4	Organofunktionelle Silane	871
9.4.1	Strukturen und allgemeine Eigenschaften	871
9.4.2	Flüssige Silanformulierungen	873
9.4.3	Trockensilanformulierungen	874
9.5	Einarbeitung von Peroxiden und Silanen in Polyolefine	877
9.5.1	Dosieren von festen Zusatzstoffen	879
9.5.2	Sprühen flüssiger Zusatzstoffe	879
9.5.3	Direktes Einspritzen von flüssigen Zusatzstoffen	880
9.5.4	Sicherheitsanforderungen beim Dosieren	880
9.6	Technische Aspekte der Peroxidvernetzung	882
9.6.1	Auswahl der Peroxide	882
9.6.2	Verfahrensparameter	885
9.6.2.1	Verarbeitungs- und Vernetzungstemperatur	885
9.6.2.2	Peroxidkonzentration	886
9.6.2.3	Polyolefinstruktur	887
9.6.2.4	Vernetzungskoagenzien	889
9.6.2.5	Stabilisatorpakete und Scorch-Verzögerer	890
9.6.2.6	Füllstoffe und andere Hilfsstoffe	893
9.6.2.7	Haltbarkeit	893
9.6.3	Vernetzungstechniken	894
9.6.3.1	Draht- und Kabelisolierung	894
9.6.3.2	Rohre	896
9.6.3.3	Spritzgießen und Rotationsformen	897
9.6.4	Peroxidverwandte Vernetzungstechniken	898
9.6.4.1	UHF-Vernetzung	898

9.6.4.2	Vernetzung mit hochstabilen Initiatoren	899
9.7	Technische Aspekte der Silanvernetzung	899
9.7.1	Silangepropfte Polyolefine	900
9.7.1.1	Zweistufiges Verfahren	900
9.7.1.2	Einstufiges Verfahren	903
9.7.1.3	Trockensilan-Verfahren	904
9.7.2	Ethylen-Silan-Random-Copolymere	905
9.7.3	Vernetzen silanmodifizierter Polyolefine mittels Feuchtigkeit ..	908
9.7.3.1	Einfluss der Verfahrensparameter	908
9.7.3.2	Vernetzungstechniken	909
9.8	Strukturen und Eigenschaften von vernetzten Polyolefinen	914
9.8.1	Strukturen	914
9.8.2	Analytische Methoden zur Untersuchung der Polyolefin- vernetzung	915
9.8.3	Allgemeine Eigenschaften	918
9.9	Spezifische Eigenschaften und Anwendungen von vernetzten Polyolefinen	919
9.9.1	Produktdifferenzierung und Technologiewettbewerb	920
9.9.2	Draht- und Kabelisolierungen	922
9.9.2.1	Isolierung von Niederspannungskabeln	924
9.9.2.2	Isolierung von Mittelspannungskabeln	924
9.9.2.3	Isolierung von Hochspannungskabeln	926
9.9.3	Rohr- und Rohrleitung	928
9.9.4	Vernetzte Schäume	935
9.9.5	Andere Anwendungen	938
9.10	Kontrollierter Abbau von Polypropylen	940
9.10.1	Einfluss der Prozessparameter	943
9.10.1.1	Auswahl der Peroxide	944
9.10.1.2	Peroxidkonzentration	946
9.10.1.3	Verarbeitungstemperatur	947
9.10.1.4	Abbauverhältnis	948
9.10.1.5	Verarbeitungsanlagen	949
9.10.1.6	Stabilisierungspakete und andere Zusatzstoffe	951
9.10.2	Viskositätsabbau von Random- und Impactcopolymeren	953
9.10.3	Eigenschaften von abgebauten Polypropylenen	955
9.10.4	Peroxidfreier Viskositätsabbau	956
9.11	Technologische Trends und Ausblick	961
9.12	Liste der Lieferanten, Hersteller und Handelsnamen	965
9.13	Literatur	966

10 Chemische Treibmittel	979
<i>Helmut Hurnik</i>	
10.1 Einleitung	979
10.2 Wirkungsweise von Treibmitteln	979
10.2.1 Allgemeine Anforderungen für die Auswahl	981
10.2.2 Charakterisierung von Treibmitteln	981
10.3 Produktklassen und Wirkmechanismen	982
10.3.1 Azoverbindungen	983
10.3.1.1 Azodicarbonsäurediamid (ADC)	983
10.3.1.2 Zersetzungsmechanismus	984
10.3.1.3 Beeinflussung der Zersetzung	985
10.3.2 Hydrazin-Derivate	989
10.3.2.1 <i>p</i> -Toluolsulfonylhydrazid (TSH)	989
10.3.2.2 <i>p,p'</i> -Oxybis(benzolsulfonylhydrazid) (OBSh)	990
10.3.3 Semicarbazide	992
10.3.3.1 <i>p</i> -Toluolsulfonylsemicarbazid (TSSC)	992
10.3.4 Tetrazole	993
10.3.4.1 5-Phenyltetrazol (5-PT)	993
10.3.5 N-Nitrosoverbindungen	994
10.3.5.1 N,N'-Dinitrosopentamethylentetramin (DNPT)	994
10.3.6 Carbonate	995
10.3.6.1 Natriumhydrogencarbonat (NaHCO ₃)	995
10.3.6.2 Zersetzungsmechanismus	996
10.4 Funktionsadditive	997
10.5 Treibmittel-Zubereitungen	998
10.6 Prüfung chemischer Treibmittel	1001
10.7 Einarbeitung der Treibmittel	1002
10.7.1 Sicherheitsaspekte	1002
10.7.2 Lieferformen	1002
10.7.3 Anwendungen	1003
10.7.4 Polymere	1004
10.7.5 Wirtschaftliche Bedeutung	1005
10.8 Verarbeitungsverfahren und Einsatzgebiete	1006
10.9 Der Markt für chemische Treibmittel	1009
10.10 Technologischer Trend und Ausblick	1010
10.11 Herstellerverzeichnis und Handelsnamen	1011
10.12 Literatur	1012

11	Flammschutzmittel	1015
	<i>Jürgen Troitzsch</i>	
11.1	Einleitung	1015
11.2	Der Vorgang des Brennens	1016
11.2.1	Brandablauf	1016
11.2.2	Die Flamme	1018
11.3	Markt	1020
11.4	Kunststoffe und Flammschutzmittel	1021
11.4.1	Verbrennungsprozess und Wirkungsweise von Flammschutzmitteln	1021
11.4.2	Halogenhaltige Flammschutzmittel	1023
11.4.2.1	Bromhaltige Flammschutzmittel	1024
11.4.2.2	Chlorhaltige Flammschutzmittel	1028
11.4.3	Phosphorhaltige Flammschutzmittel	1029
11.4.4	Stickstoffhaltige Flammschutzmittel	1033
11.4.5	Intumeszierende Flammschutzmittel	1035
11.4.6	Anorganische Flammschutzmittel	1037
11.4.6.1	Aluminiumhydroxid	1038
11.4.6.2	Magnesiumhydroxid	1038
11.4.6.3	Borhaltige Flammschutzmittel	1039
11.4.6.4	Zink-/Zinnhaltige-Flammschutzmittel	1040
11.4.6.5	Antimontrioxid als Synergist für halogenhaltige Kunststoffe	1041
11.4.6.6	Weitere synergistisch wirkende Flammschutzmittel ..	1042
11.4.6.7	Expandierbarer Graphit	1042
11.4.6.8	Nanocomposites als Flammschutzmittel	1043
11.5	Flammschutzmittelrezepturen für wichtige Polymere	1044
11.6	Nationale und internationale Brandprüfungen	1047
11.6.1	Bauwesen	1048
11.6.1.1	Deutschland	1048
11.6.1.2	Frankreich	1048
11.6.1.3	Vereinigtes Königreich	1049
11.6.1.4	Europäische Union	1050
11.6.2	Elektrotechnik, Elektronik, Kabel	1056
11.6.2.1	Brandtests	1057
11.6.2.2	Brandtests für Kabel und Leitungen	1059
11.6.3	Verkehrswesen	1060
11.6.3.1	Kraftfahrzeuge	1060
11.6.3.2	Schienenfahrzeuge	1061

11.7	Zukünftige Entwicklungen	1063
11.7.1	Flammschutzmittelmärkte	1063
11.7.2	Vorschriften und Prüfverfahren	1064
11.8	Lieferanten von Flammschutzmitteln	1065
11.9	Literatur	1068
12	Füllstoffe und Verstärkungsmittel	1069
	<i>Michael Knerr, Emil Hersche</i>	
12.1	Einleitung	1069
12.1.1	Definitionen	1069
12.1.2	Wirtschaftliche Bedeutung von Füllstoffen	1070
12.2	Eigenschaften von Füllstoffen	1071
12.2.1	Formfaktor	1071
12.2.2	Korngrößenverteilung	1072
12.2.2.1	Mittlerer Teilchendurchmesser (d 50 %)	1073
12.2.2.2	Oberer Schnitt	1073
12.2.2.3	Die spezifische Oberfläche als Maß für den Feinstanteil	1073
12.2.3	Oberflächenenergie	1074
12.2.4	Weitere Eigenschaften von Füllstoffen	1074
12.3	Eigenschaften gefüllter Kunststoffe	1075
12.3.1	Einfluss des Formfaktors	1075
12.3.1.1	Sphärische oder kubische Zuschlagstoffe	1075
12.3.1.2	Plättchen- und faserförmige Füllstoffe	1077
12.3.2	Einfluss der Korngrößenverteilung	1078
12.3.2.1	Einfluss des oberer Schnitts	1078
12.3.2.2	Einfluss der spezifischen Oberfläche	1079
12.3.3	Wirkung einer Oberflächenbeschichtung	1079
12.3.4	Weitere Eigenschaften modifizierter Kunststoffe	1080
12.4	Anwendungskriterien für Füllstoffe und Verstärkungsmittel in Thermoplasten	1083
12.5	Beschreibung der einzelnen Zuschlagstoffe	1086
12.5.1	Runde und kubische Partikel	1086
12.5.1.1	Natürliche Calciumcarbonate	1086
12.5.1.2	Synthetische, gefällte Calciumcarbonate	1088
12.5.1.3	Dolomit	1089
12.5.1.4	Calciumsulfat	1089
12.5.1.5	Bariumsulfat (Schwerspat)	1090
12.5.1.6	Glaskugeln	1090
12.5.1.7	Synthetische Silica	1090

12.5.1.8	Natürliche Silica	1091
12.5.1.9	Silikatkugeln	1091
12.5.1.10	Feldspat und Nephelin-Syenit	1091
12.5.1.11	Industrieruß	1091
12.5.1.12	Holzmehl	1092
12.5.1.13	Metalle und Metalloxide	1092
12.5.2	Plättchenförmige Partikel	1093
12.5.2.1	Talk	1093
12.5.2.2	Kaolin	1095
12.5.2.3	Glimmer	1095
12.5.2.4	Graphit	1096
12.5.2.5	Aluminiumhydroxid und Magnesiumhydroxid	1096
12.5.3	Nadel- und faserförmige Partikel	1097
12.5.3.1	Wollastonit	1097
12.5.3.2	Whiskers	1098
12.5.3.3	Asbest	1098
12.5.3.4	Glasfasern	1098
12.5.4	Weitere Mineralien	1099
12.5.5	Organische Füllstoffe und Verstärkungsmittel	1100
12.5.6	Elektrisch leitende Zusatzstoffe	1100
12.5.7	Nanofüllstoffe	1100
12.6	Haftvermittler	1101
12.7	Verarbeitung füllstoffhaltiger und verstärkter Kunststoffe	1102
12.7.1	PVC-U Profilextrusion	1102
12.7.2	Rohrextrusion	1104
12.7.3	Compoundieren	1105
12.7.4	Kabelextrusion	1107
12.7.5	Blas- und Flachfolienextrusion	1108
12.7.6	Plattenextrusion und Thermoformen	1109
12.7.6.1	Zuschlagstoffe beim Thermoformen	1109
12.7.6.2	Plattenextrusion	1110
12.7.6.3	Thermoformprozess	1111
12.7.7	Spritzgießen	1113
12.7.8	Holzmehlverarbeitung	1113
12.7.9	Blasformen	1114
12.7.10	Rezyklieren	1115
12.8	Anwendungen füllstoffhaltiger und verstärkter Kunststoffe	1116
12.8.1	PVC-Profile	1116
12.8.2	Mineralien in Rohren	1117
12.8.3	PVC-Plastisol-Produkte	1119
12.8.4	Produkte aus ungesättigten Polyesterharzen	1120

12.8.5	Kabel und Drähte	1122
12.8.6	Blas- und Flachfolien	1123
12.8.7	Platten und tiefgezogene Formteile	1126
12.8.8	Spritzgegossene Artikel	1127
12.8.9	Holzfaserverbundwerkstoffe	1128
12.8.10	Blasgeformte Kunststoff-Hohlkörper	1128
12.8.11	Nukleierung semikristalliner Polymere durch Mineralien	1129
12.8.12	Füllstoffe in technischen Kunststoffen	1130
12.9	Ausblick, technologischer Trend	1130
12.10	Verzeichnis der Handelsnamen und Hersteller von Füllstoffen und Verstärkungsmitteln	1132
12.11	Literatur	1136
13	Biozide Wirkstoffe	1139
	<i>Dietmar Ochs</i>	
13.1	Einleitung	1139
13.2	Grundlagen	1139
13.2.1	Schadorganismen	1139
13.2.1.1	Bakterien	1140
13.2.1.2	Pilze	1141
13.2.1.3	Algen	1141
13.2.1.4	Biofilme	1142
13.2.2	Rahmenbedingungen für Mikробenwachstum	1142
13.2.3	Wirkung von Bioziden	1144
13.3	Anwendungen und Effekte	1146
13.3.1	Verwendungszwecke	1146
13.3.2	Anforderungsprofil	1147
13.3.3	Biostabilisation von Kunststoffen und Beschichtungen	1148
13.3.3.1	Mikrobiell bedingte Schädigungsformen bei Kunststoffen	1148
13.3.3.2	Mikrobiologisch anfällige Kunststoffanwendungen	1148
13.3.3.3	Folgen mikrobieller Angriffe auf Kunststoffe	1150
13.3.3.4	Anfällige Substrate	1152
13.3.4	Hygienische Oberflächen	1153
13.3.4.1	Komplementäre Verwendung von bioziden Kunststoffen und Reinigungsprodukten	1156
13.3.4.2	Anwendungen im privaten Bereich	1157
13.4	Stoffe und Technologien	1159
13.4.1	Freisetzung und Aktivität	1159
13.4.2	Wirkstoffe	1160
13.4.2.1	Additive	1160

13.4.3	Immobilisierte Biozide	1163
13.4.4	Regenerationsmethode	1164
13.4.5	Photokatalytisch aktive Oberflächen	1164
13.4.6	Trends und neuere Entwicklungen	1165
13.4.6.1	Antimikrobielle Substanzen natürlichen Ursprungs ...	1165
13.4.6.2	Anti-adhäsive Oberflächen	1165
13.5	Testmethoden	1167
13.5.1	Agardiffusionstestverfahren	1168
13.5.2	Testverfahren mit direkter Kontamination der Prüfmuster ...	1170
13.5.3	Testmethoden zur Prüfung der Stabilität von Kunststoffen ...	1172
13.5.4	Allgemeine Betrachtungen der Testung von antimikrobiellen Effekten	1174
13.5.5	Standardtestmethoden	1176
13.6	Regulatorische Bestimmungen	1178
13.6.1	Europa	1178
13.6.2	USA	1179
13.6.3	REACH-Verordnung	1179
13.7	Herstellerverzeichnis	1180
13.8	Literatur	1183
14	Additiv-Präparationen für die Polyolefin-Stabilisierung	1189
	<i>Andreas Thürmer, Thomas Gfrörer</i>	
14.1	Einleitung	1189
14.2	Eintrag von Additiven in Polymergries	1190
14.3	Dispersion von Additiven in Polymeren	1191
14.4	Dosiergenauigkeit, Hygiene, Sicherheit	1193
14.5	Methoden der Herstellung von CSB	1195
14.5.1	Agglomerations-Technologien	1195
14.5.1.1	Walzenkompaktierung	1195
14.5.1.2	Pelletierprozess	1197
14.5.2	Extrusionstechnologie	1199
14.6	Zusammenfassung	1201
14.7	Literatur	1202
15	Additive für das werkstoffliche Recycling von Kunststoffen ..	1203
	<i>Rudolf Pfaendner</i>	
15.1	Einleitung	1203
15.2	Eigenschaften von Kunststoffzyklen	1204

15.3	Additive zur Qualitätsverbesserung von Rezyklaten	1206
15.3.1	Nachstabilisierung	1206
15.3.1.1	Polypropylen (PP)	1208
15.3.1.2	Polyethylen (PE)	1211
15.3.1.3	Polyethylenterephthalat (PET)	1212
15.3.1.4	Polyvinylchlorid (PVC)	1213
15.3.1.5	Sonstige Kunststoffrezyklate	1213
15.3.2	Reaktive Additive/Reparatur der Vorschädigung	1213
15.3.3	Kompatibilisatoren/Schlagzähigkeitsmodifikatoren	1215
15.3.4	Sonstige Additive für Rezyklate	1218
15.4	Zusammenfassung und Ausblick	1220
15.5	Literatur	1221
	Stichwortverzeichnis	1225