

Inhaltsverzeichnis

1 Polyurethane: Harmonie zwischen Technologie, Ökonomie und Ökologie	
<i>(Dr. G. Oertel, D. Pelzner, Dr. W. Reichmann, Dr. K. Uhlig)</i>	1
1.1 Die Entwicklung der Polyurethane <i>(Dr. K. Uhlig)</i>	1
1.2 Der Markt für Polyurethane, Kapazitäten – Verbrauch – Prognosen <i>(D. Pelzner)</i>	3
1.3 Ökologische Aspekte der Polyurethane <i>(Dr. G. Oertel, Dr. W. Reichmann)</i>	8
Literatur zu Kapitel 1	9
2 Grundlagen der Polyurethanchemie und Sondergebiete	
<i>(Prof. Dr. D. Dieterich, Prof. Dr. E. Grigat, Dr. W. Hahn, Dr. H. Hesse, Dr. H. G. Schmelzer)</i>	11
2.1 Chemische Grundlagen <i>(Prof. Dr. E. Grigat, Prof. Dr. D. Dieterich)</i>	11
2.1.1 Zum Begriff „Polyurethane“	11
2.1.2 Grundreaktionen der Isocyanat-Gruppen	12
2.1.2.1 Addition nucleophiler Reaktionspartner	12
2.1.2.2 Reaktion von Isocyanatgruppen untereinander	14
2.1.3 Aufbau der Polyurethane	15
2.2 Wichtige Aufbaukomponenten für Polyurethane <i>(Dr. W. Hahn)</i>	17
2.2.1 Isocyanate	17
2.2.2 Polyole	21
2.2.3 Diamine und Polyamine	24
2.2.4 Zusatzstoffe	25
2.3 Herstellungsmethoden für Polyurethane <i>(Prof. Dr. D. Dieterich, Dr. H. G. Schmelzer)</i>	25
2.3.1 Reaktionen ohne Lösemittel	25
2.3.1.1 One-shot-Verfahren	26
2.3.1.2 Prepolymer-Verfahren	26
2.3.2 Reaktion in Lösung	28
2.3.2.1 Ausreagierte Einkomponenten-Systeme	28
2.3.2.2 Reaktive Einkomponenten-Systeme	29
2.3.2.3 Zweikomponenten-Systeme	29
2.3.3 Wäßrige Zweiphasen-Systeme	30
2.3.3.1 Wäßrige Dispersionen	30
2.3.3.2 Eigenschaften von wäßrigen Dispersionen	31
2.4 Sondergebiete <i>(Prof. Dr. D. Dieterich, Dr. H. G. Schmelzer)</i>	33
2.4.1 Spezielle Polymere	33
2.4.1.1 Ionomere	33
2.4.1.2 Polyisocyanurate	33
2.4.1.3 Polyoxazolidinon-polyisocyanurate	33
2.4.1.4 LC-Polyurethane	34
2.4.1.5 Kombinationen mit anderen Polymeren (Blends)	34
2.4.1.6 Organo-Mineral-Produkte	34
2.4.2 Spezielle Zustandsformen	35
2.4.2.1 Wäßrige Lösungen	35
2.4.2.2 Hydrogele	35



2.4.2.3	Pulver	35
2.4.2.4	Mikrokapseln	36
2.4.2.5	Poromere	36
2.4.3	Spezielle Anwendungen	37
2.4.3.1	Medizinische Anwendungen	37
2.4.3.2	Biotechnologie	38
2.4.3.3	Optische Linsen	38
2.4.3.4	Ultradünne Schichten	38
2.4.4	Spezielle Verarbeitung: Thermoformung	38
2.5	Physikalisch-chemische Vorstellungen über die Struktur von Polyurethanen (<i>Prof. Dr. D. Dieterich, Dr. H. Hespe</i>)	39
2.5.1	Polyurethane aus zwei Komponenten ohne Segmentstruktur	39
2.5.2	Segmentierte Polyurethane	40
2.5.2.1	Hart- und Weichsegmente	40
2.5.2.2	Segregation und Domänen-Morphologie	41
2.5.2.3	Morphologie innerhalb der Hartsegment-Domänen	42
2.5.2.4	Einflüsse der Hartsegment-Domänen auf mechanische und thermische Eigenschaften	44
2.5.2.5	Einflüsse der Weichsegment-Matrix auf thermische und mecha- nische Eigenschaften	46
2.5.2.6	Vernetzte Polyurethane	47
2.5.3	Ionomere	48
	Literatur zu Kapitel 2	50
3	Rohstoffe	
	(<i>Prof. Dr. W. Diller, Dr. P. Gupta, Dr. P. Haas, Dr. K. Schauerte, Dr. R. Sundermann, Dr. K. Uhlig</i>)	57
3.1	Polyole (<i>Dr. K. Schauerte, Dr. P. Gupta</i>)	57
3.1.1	Polyether	58
3.1.1.1	Chemischer Aufbau	59
3.1.1.2	Ausgangsstoffe für Polyether	61
3.1.1.3	Technische Herstellung	63
3.1.1.4	Eigenschaften	65
3.1.1.5	Transport und Lagerung	65
3.1.1.6	Qualität und Analyse	67
3.1.2	Polyester	67
3.1.2.1	Chemischer Aufbau	68
3.1.2.2	Ausgangsstoffe für Polyester	69
3.1.2.3	Technische Herstellung	70
3.1.2.4	Eigenschaften	71
3.1.2.5	Transport und Lagerung	73
3.1.2.6	Qualität und Analyse	73
	Literatur zu Kapitel 3.1	74
3.2	Isocyanate (<i>Dr. K. Schauerte, Dr. R. Sundermann</i>)	76
3.2.1	Reaktionsverhalten	76
3.2.2	Ausgangsmaterialien für Isocyanate	77
3.2.3	Technische Herstellung	78
3.2.3.1	Phosgenierung	79
3.2.3.2	Phosgenierungsverfahren	80

3.2.3.3	Aufarbeitung	82
3.2.3.4	Sonstige Herstellungsverfahren	82
3.2.4	Eigenschaften	83
3.2.5	Transport und Lagerung	85
3.2.6	Qualität und Analyse	86
	Literatur zu Kapitel 3.2	86
3.3	Abwandlungsprodukte der Rohstoffe (<i>Dr. K. Schauerte</i>)	88
3.3.1	Abwandlungsprodukte der Polyole	89
3.3.1.1	Füllstoffhaltige Polyole	89
3.3.1.2	Polyol-Propolymere	90
3.3.1.3	Lagerung und Transport	90
3.3.2	Abwandlungsprodukte der Polyisocyanate	91
3.3.2.1	Niedermolekulare Urethan-Polyisocyanate	91
3.3.2.2	Polysiocyanate mit Uretidion-, Isocyanurat- und Carbodiimid- Gruppen	91
3.3.2.3	Polyisocyanate mit Allophanat-, Harnstoff- und Biuret-Grup- pen	94
3.3.2.4	Polyisocyanat-Prepolymere	96
3.3.2.5	Blockierte Polyisocyanate	97
3.3.2.6	Transport und Lagerung	98
3.3.3	Hochmolekulare Polyurethan-Polyole	99
3.3.3.1	Feststoffe	99
3.3.3.2	Lösungen von Feststoffen	101
3.3.3.3	In Lösung hergestellte Polyurethan-Polyole	101
3.3.3.4	Feststoffe aus Lösungen	102
3.3.3.5	Transport und Lagerung	102
	Literatur zu Kapitel 3.3	102
3.4	Hilfs- und Zusatzstoffe für Polyurethane (<i>Dr. P. Haas, Dr. K. Uhlig</i>)	104
3.4.1	Katalysatoren	104
3.4.1.1	Begriffe zur Reaktionskinetik und Katalyse	104
3.4.1.2	Katalysatoren für NCO/NCO-Reaktionen	108
3.4.1.3	Katalysatoren für die NCO/OH-Reaktion	109
3.4.2	Inhibitoren	110
3.4.3	Vernetzer/Kettenverlängerer	111
3.4.3.1	Alkohole	111
3.4.3.2	Amine	111
3.4.3.3	Spezielle Vernetzerprinzipien	112
3.4.4	Tenside	112
3.4.4.1	Emulgatoren	112
3.4.4.2	Schaumstabilisatoren	113
3.4.4.3	Zellregler	115
3.4.5	Treibmittel	115
3.4.6	Zusatzstoffe für die FlammSchutzausrüstung	118
3.4.7	Füllstoffe	119
3.4.8	Alterungsschutzmittel	120
3.4.9	Trennmittel	122
3.4.10	Farbmittel und Farbgebung	122
3.4.11	Spezielle Zusatzstoffe	123
3.4.12	Handhabung, Lagerung, Transport	124
	Literatur zu Kapitel 3.4	125



3.5	Arbeitsmedizinische Aspekte der PUR-Rohstoffe (<i>Prof. Dr. W. Diller</i>)	127
3.5.1	Polyole und andere Isocyanat-Reaktionspartner	127
3.5.2	Isocyanate	128
3.5.2.1	Akute Einwirkung von Isocyanaten	128
3.5.2.2	Wiederholte bzw. chronische Einwirkung von Isocyanaten	130
3.5.3	Hilfs- und Zusatzstoffe	131
3.5.3.1	Katalysatoren	131
3.5.3.2	Vernetzer	132
3.5.3.3	Treibmittel und Lösemittel	132
3.5.3.4	Sonstige Zusätze	133
3.5.4	Verhütung von Gesundheitsschäden	134
	Literatur zu Kapitel 3.5	136
4	Verfahrenstechnik der PUR-Herstellung	
	(<i>H. Boden, K. Schulte</i>)	139
4.1	Grundlagen	139
4.2	Prinzipieller Aufbau von Maschinen und Anlagen	143
4.2.1	Vergleich der Maschinensysteme	143
4.2.2	Vergleich der Anlagensysteme	147
4.3	Verfahrensschritte der Verarbeitung	152
4.3.1	Anliefern und Lagern der Rohstoffe	152
4.3.2	Vorbereiten der Komponenten	155
4.3.3	Dosieren	162
4.3.4	Mischen	174
4.3.5	Eintragen des Reaktionsgemisches	182
4.4	Automatisierungseinrichtung	187
4.5	Sicherheitseinrichtungen	189
	Literatur zu Kapitel 4	192
5	PUR-Weichschaumstoffe	
	(<i>Dr. G. Baatz, Dr. A. Freitag, H. Grammes, Dr. H. W. Illger, Dr. H. Kleimann, Dr. H. Rabe, Dr. K. Recker, Dr. H. G. Schneider, R. Stoer, Dr. Ch. Weber, Dr. K.-D. Wolf</i>)	193
	Einleitung (<i>Dr. H. Kleimann</i>)	193
5.1	Blockschaumstoffe (<i>Dr. G. Baatz, Dr. H. W. Illger, Dr. H. Rabe</i>)	194
5.1.1	Herstellung der Blockschaumstoffe	194
5.1.1.1	Maschinen zur Herstellung der Blockschaumstoffe	195
5.1.1.2	Herstellungsverfahren	197
5.1.1.3	Lagerung der Blockschaumstoffe	203
5.1.1.4	Konfektionierung der Blockschaumstoffe	205
5.1.1.5	Verwertung des Schneidabfalls	210
5.1.1.6	Blockschaumtypen und Rezepturen zur Herstellung	211
5.1.2	Eigenschaften der Blockschaumstoffe	220
5.1.3	Anwendung der Blockschaumstoffe	227
5.1.3.1	Polstermöbel	227
5.1.3.2	Matratzen	228
5.1.3.3	Fahrzeuge	229

5.1.3.4 Textil	230
5.1.3.5 Verpackung	231
5.1.3.6 Haushalt	232
5.1.3.7 Sonstige Anwendungen	232
5.2 Teppichrückenbeschichtung (<i>Dr. K. Recker</i>)	233
5.2.1 Produkte für die Beschichtung	233
5.2.2 Herstellung	234
5.2.2.1 Umkehrbeschichtung	234
5.2.2.2 Direktbeschichtung	235
5.2.3 Eigenschaften	235
5.3 Weiche PUR-Formschaumstoffe (<i>Dr. H. G. Schneider, R. Stoer,</i> <i>Dr. K.-D. Wolf</i>)	236
5.3.1 Herstellung weicher Formschaumstoffe	236
5.3.1.1 Rohstoffe	236
5.3.1.2 Verfahrenstechnik	241
5.3.2 Eigenschaften von Formschaumstoffen	246
5.3.3 Anwendungen von Weichformschaumstoffen	250
5.4 Halbhart PUR-Formschaumstoffe (<i>Dr. A. Freitag, H. Grammes,</i> <i>Dr. Ch. Weber</i>)	253
5.4.1 Herstellung	253
5.4.1.1 Rohstoffe und Methoden	253
5.4.1.2 Verfahrenstechnik	255
5.4.2 Eigenschaften	259
5.4.2.1 Mechanische Werte	259
5.4.2.2 Dämpfungsverhalten	260
5.4.3 Anwendungen	261
5.4.3.1 Schutzpolster	261
5.4.3.2 EA-Schaumstoffe	262
Literatur zu Kapitel 5	264

6 PUR-Hartschaumstoffe

(<i>R. Bock, Dr. M. Kapps, D. Krettek, Dr. H. Thomas, Dr. R. Walter, Dr. R. Wiedermann,</i> <i>Dr. R. Zöllner</i>)	267
Einleitung (<i>Dr. H. Thomas</i>)	267
6.1 Chemie und Rohstoffe (<i>Dr. M. Kapps</i>)	268
6.1.1 Polyole	268
6.1.2 Polyisocyanate	268
6.1.3 Blähmittel und andere Zusatzmittel	269
6.2 Herstellung von Polyurethan-Hartschaumstoffen (<i>Dr. R. Wiedermann,</i> <i>Dr. R. Zöllner</i>)	271
6.2.1 Herstellung von Blöcken	272
6.2.2 Kontinuierliche Herstellung von Platten	272
6.2.2.1 Dämmplatten	273
6.2.2.2 Verbundplatten mit beidseitig starren Deckschichten	273
6.2.2.3 Kombinationsplatten	274
6.2.3 Diskontinuierliche Herstellung von Platten	274
6.2.3.1 Hüllbauweise	274
6.2.3.2 Füllbauweise	274

XVIII *Inhalt*

6.2.4	Ausschäumen von Hausgeräten	277
6.2.4.1	Gehäuse von Kühl- und Gefriergeräten	278
6.2.4.1.1	Fertigungsanlagen mit bewegten Stützformen	279
6.2.4.1.2	Anlagen mit stationären Stützformen	279
6.2.4.2	Türen und Deckel von Kältegeräten	281
6.2.4.3	Heißwasserspeicher	282
6.2.5	Herstellung von fabrikatorisch gedämmten Rohren	282
6.2.6	Rohrschalen	284
6.2.7	PUR-Ortschaum	284
6.2.7.1	Zweikomponenten-Ortschaum	284
6.2.7.2	Montageschaum	285
6.3	Eigenschaften von PUR-Hartschaumstoffen (<i>R. Bock, Dr. R. Zöllner</i>)	287
6.3.1	Allgemeines	287
6.3.1.1	Isotropie – Anisotropie	287
6.3.1.2	Prüfkörper zur Ermittlung der Eigenschaftswerte	288
6.3.1.3	Zellstruktur	288
6.3.1.4	Offenzelligkeit – Geschlossenzelligkeit	288
6.3.2	Mechanische Eigenschaften	289
6.3.2.1	Druckfestigkeit	289
6.3.2.2	Zugfestigkeit	290
6.3.2.3	Biege- und Scherfestigkeit, Moduln	291
6.3.2.4	Einfluß von Wärme und Zeit auf die Eigenschaften	291
6.3.3	Formbeständigkeit in Wärme und Kälte (Dimensionsstabilität)	292
6.3.4	Wärmeleitfähigkeit	293
6.3.4.1	Einfluß des Zellgases	293
6.3.4.2	Einfluß der Rohdichte	295
6.3.4.3	Einfluß der Temperatur	295
6.3.4.4	Einfluß von Feuchtigkeit	296
6.3.5	Wasseraufnahme	296
6.3.6	Thermische Längenänderung	297
6.3.7	Beständigkeit gegen Chemikalien	297
6.3.8	Brandverhalten	298
6.4	Zusammenhänge zwischen Herstellungsmethoden und Eigenschaften (<i>Dr. R. Walter, Dr. R. Zöllner</i>)	300
6.4.1	Blöcke	300
6.4.2	Kontinuierlich hergestellte Platten mit Deckschichten	301
6.4.2.1	Flexible Deckschichten	302
6.4.2.2	Starre Deckschichten – einseitig	302
6.4.2.3	Starre Deckschichten – beidseitig	303
6.4.3	Diskontinuierlich hergestellte Platten und Formteile	304
6.4.3.1	Platten und Formteile mit Deckschichten	304
6.4.3.2	Hausgeräte	306
6.4.3.3	Vorgefertigte Rohre	307
6.4.4	Polyurethan-Ortschaum	308
6.5	Anwendung von PUR-Hartschaumstoffen (<i>D. Krettek, Dr. R. Walter</i>)	310
6.5.1	Kühltechnik und Hausgeräte	310
6.5.1.1	Kühl- und Gefriergeräte	311
6.5.1.2	Gewerbliche Kühltheken	312
6.5.1.3	Kühlfahrzeuge und -container	312
6.5.1.4	Kühlhäuser und Kühlzellen	313
6.5.1.5	Heißwasserspeicher	314

6.5.2	Bausektor	314
6.5.2.1	Dämmplatten	315
6.5.2.2	Verbundelemente (Sandwich)	324
6.5.2.3	Spezial-Elemente	329
6.5.2.4	Wandbausteine mit integrierter Wärmedämmung	331
6.5.2.5	Spritzschaum	333
6.5.2.6	Montageschaum	335
6.5.3	Dämmung im technischen Bereich	335
6.5.3.1	Dämmung von Rohren	335
6.5.3.1.1	Halbschalen und Formteile	336
6.5.3.1.2	Vorgedämmte Rohre	336
6.5.3.1.3	Ortschaum	338
6.5.3.2	Dämmung von Behältern	339
6.5.3.2.1	Normaler Temperaturbereich	339
6.5.3.2.2	Tieftemperaturbereich	340
6.5.4	Automobilindustrie	341
6.5.4.1	Innenraumverkleidung	342
6.5.4.2	Hohlraumausschäumung	344
6.5.5	Transportsektor	345
6.5.5.1	Kühlfahrzeuge	345
6.5.5.2	Wärmedämmung bei Spezialtransporten	346
6.5.5.3	Wohnwagen und mobile Wohneinheiten	346
6.5.6	Schiffbau	347
6.5.6.1	Dämmung der Kühlkammern von Fischereifahrzeugen	347
6.5.6.2	Bootsbau	347
6.5.7	Verpackung	347
6.5.7.1	Direktumschäumung	347
6.5.7.2	Transportschutz in Fahrzeugen	349
6.5.8	Sonstige Einsatzgebiete	349
6.5.8.1	PUR-Hartschaumstoffe für den Gartenbau	350
6.5.8.2	Sportartikel	350
6.5.8.3	Möbel	350
6.5.8.4	Solartechnik	351
6.5.8.5	Radome	351
6.6	Verfestigung von Kohle und Nebengestein (<i>Dr. M. Kapps</i>)	352
6.6.1	Verfestigung	352
6.6.1.1	Patronenverfahren	353
6.6.1.2	Injektionsverfahren	353
	Literatur zu Kapitel 6	354

7 Integralschaumstoffe und RIM-Werkstoffe

<i>(Dr. G. Avar, H. Boden, Dr. A. Freitag, Dr. U. Knipp, Dr. H. Lüdke, Dr. U. Maier, Dr. H.-J. Meiners, Dr. H. Müller, Dr. H. M. Rothermel, K. Schulte, Dr. P. Seifert, Dr. Ch. Weber)</i>		355
7.1	Einführung (<i>Dr. H. M. Rothermel</i>)	355
7.2	Technologie der Herstellung (<i>H. Boden, Dr. U. Maier, K. Schulte</i>)	356
7.2.1	Dosier- und Mischtechnik	356
7.2.2	Formteilgestaltung	357
7.2.3	Werkzeuggestaltung	359
7.2.4	Schließenheiten	364

7.3 Flexible Integralschaumstoffe und RIM-Werkstoffe (<i>Dr. G. Avar, Dr. A. Freitag, Dr. H. Lüdke, Dr. H.-J. Meiners, Dr. P. Seifert, Dr. Ch. Weber</i>)	369
7.3.1 Chemie und Rohstoffe	369
7.3.2 Füll- und Verstärkungsstoffe	371
7.3.3 Eigenschaften	376
7.3.3.1 Schuhindustrie	376
7.3.3.2 Flexible Werkstoffe für den Fahrzeugbau	378
7.3.4 Herstellung und Anwendung von Formteilen	384
7.3.4.1 Schuhindustrie	384
7.3.4.2 Fahrzeugbau	390
7.3.4.3 Sonstige technische Anwendungen	395
7.4 Harte Integralschaumstoffe und RIM-Werkstoffe (<i>Dr. G. Avar, Dr. U. Knipp, Dr. H. Müller</i>)	396
7.4.1 Chemie und Rohstoffe	396
7.4.2 Füll- und Verstärkungsstoffe	397
7.4.3 Eigenschaften	401
7.4.4 Herstellung von Formteilen und Anwendungen	405
7.4.4.1 Einsatz von harten Integralschaumstoffen bzw. mikroporösen harten PUR-Formteilen	405
7.4.4.2 Herstellung von harten PUR-RIM-Formteilen	407
7.4.4.3 Anwendungen von hartem PUR-Integralschaumstoff und harten mikroporösen Produkten	407
Literatur zu Kapitel 7	415

8 Massive PUR-Werkstoffe

(<i>Dr. A. Awater, Dr. J. Franke, Dr. K.-H. Hentschel, H. G. Hoppe, Prof. Dr. R. Hoscheid, Dr. H. Kleimann, Dr. E. C. Prolingheuer, Dr. K. Recker, Dr. H. D. Ruprecht, B. Stelle, Dr. H.-G. Wussow</i>)	417
Einführung (<i>Dr. H. Kleimann</i>)	417
8.1 PUR-Gießsysteme (<i>Dr. A. Awater, Dr. J. Franke, Dr. K.-H. Hentschel, Dr. E. C. Prolingheuer, Dr. H. D. Ruprecht</i>)	419
8.1.1 PUR-Gießelastomere	419
8.1.1.1 Basisrohstoffe	421
8.1.1.2 Entwässerung von Polyolen	423
8.1.1.3 Heißgieß-Systeme: Herstellung und Verarbeitung	424
8.1.1.4 PUR-Kaltgießsysteme	429
8.1.1.5 Reaktivbeschichtung durch Sprühauftrag	431
8.1.1.6 Eigenschaften von PUR-Gießelastomeren	432
8.1.2 Gießharze	438
8.1.2.1 Elektrosektor	438
8.1.2.1.1 Reaktionspartner	439
8.1.2.1.2 Reaktionsmassen	440
8.1.2.1.3 Reaktionsformstoffe, Einteilung und Charakterisierung	444
8.1.2.1.4 Neuentwicklungen	448
8.1.2.2 Dichtstoffe	452
8.2 Thermoplastische Polyurethane (<i>H. G. Hoppe, Dr. H.-G. Wussow</i>)	455
8.2.1 Herstellung	455
8.2.1.1 Laborverfahren	455

8.2.1.2 Technische Verfahren	456
8.2.1.3 Mischungen mit anderen Chemiewerkstoffen	456
8.2.2 Verarbeitung	457
8.2.2.1 Vorbehandlung des Granulats	457
8.2.2.2 Nachbehandlung der Fertigteile	457
8.2.2.3 Verwendung von Abfällen	457
8.2.2.4 Einfärben	457
8.2.2.5 Spritzgießen	458
8.2.2.6 Extrudieren	460
8.2.2.7 Kalandrieren	461
8.2.2.8 Kleben/Schweißen	462
8.2.3 Eigenschaften	462
8.2.3.1 Wärmestandfestigkeit	463
8.2.3.2 Kälteverhalten	465
8.2.3.3 Dynamisches Verhalten	465
8.2.3.4 Gasdurchlässigkeit	466
8.2.3.5 Chemische Beständigkeit	466
8.3 Spezial-Elastomere (<i>Dr. K. Recker</i>)	468
8.3.1 Urethon-Kautschuk	468
8.3.1.1 Herstellung	468
8.3.1.2 Vulkanisations-Systeme	469
8.3.1.3 Besonderheiten bei der Verarbeitung	471
8.3.1.4 Eigenschaften der Vulkanisate	471
8.3.1.5 Wasservernetzung	472
8.3.2 Faserverstärkte, massive Polyurethane	472
8.3.2.1 Ausgangsprodukte	472
8.3.2.2 Verarbeitung	473
8.3.2.3 Eigenschaften	473
8.3.2.4 Anwendungen	474
8.4 Anwendung von massiven PUR-Werkstoffen (<i>Dr. J. Franke, Dr. K. H. Hentschel, H. G. Hoppe, Prof. Dr. R. Hoscheid, Dr. H. D. Ruprecht, B. Stelle</i>)	474
8.4.1 Anwendungen von gegossenen PUR-Elastomeren	476
8.4.1.1 Rollen und Radbandagen	476
8.4.1.2 Walzenbezüge	477
8.4.1.3 Dämpfungs- und Federelemente	479
8.4.1.4 Antriebs Elemente	481
8.4.1.5 Verschleißteile	482
8.4.1.6 Dichtungen und Abstreifer	484
8.4.1.7 PUR-Gießreifen	485
8.4.1.8 Anwendung im Bauwesen	486
8.4.1.8.1 Sport- und Spielflächen	486
8.4.1.8.2 Steinzeugrohr-Dichtungen	488
8.4.1.8.3 Schalmatten	489
8.4.1.8.4 Anwendungen von PUR-Dichtstoffen	489
8.4.1.8.5 Sprühbeschichtungen	493
8.4.2 Anwendungen von PUR-Gießharzen	495
8.4.2.1 Kabelvergußmassen	495
8.4.2.2 Meßwandler für Mittel- und Hochspannungstechnik	496
8.4.2.3 Isolatoren, Durchführungen, Schalterbau	496

8.4.2.4	Bauteile für Niederspannungstechnik und Elektronik	497
8.4.2.5	PUR-Isolatoren für Freiluftanwendungen	499
8.4.3	Anwendung von thermoplastischen Polyurethanen (TPU)	501
8.4.3.1	Anwendungen im Fahrzeugsektor	502
8.4.3.1.1	Lagerschalen und Abdichtungen für Gelenke	502
8.4.3.1.2	Membranen	503
8.4.3.1.3	Karosserieteile	504
8.4.3.2	Siebbauteile	505
8.4.3.3	Laufrollen	506
8.4.3.4	Riemen für Antrieb und Förderung	507
8.4.3.5	Dichtungen	508
8.4.3.6	Schläuche	508
8.4.3.7	Kabel und Leitungen	509
8.4.3.8	Folien	510
8.4.2.9	Skischuhe/Eishockeyschuhe	511
8.4.3.10	Sportschuhsohlen/Schuhabsätze	511
8.4.4	Anwendungen von Spezial-Elastomeren	512
8.4.4.1	Anwendungen von PUR-Kautschuk	512
8.4.4.2	Anwendungen von wasservernetzten PUR-Elastomeren	513
8.4.4.3	Anwendungen von 1-Komponenten-PUR-Elastomeren	513
	Literatur zu Kapitel 8	514
9	Ermittlung von Zusammensetzungen und Eigenschaften der Polyurethane	
	<i>(J. Hoffmann, Dr. U. Maier, Dr. F. H. Prager, Dr. J. Vogel)</i>	517
9.1	Ermittlung der chemischen Zusammensetzung (<i>Dr. J. Vogel</i>)	517
9.1.1	Nachweismethoden und Aufschlußverfahren	517
9.1.2	Identifizierung der Stoffgruppen	519
9.1.2.1	Identifizierung der Polyurethane	519
9.1.2.2	Isocyanate	519
9.1.2.3	Rest-NCO-Gruppen	520
9.1.2.4	Freie, monomere Isocyanate	521
9.1.2.5	Polyester	521
9.1.2.6	Polyether	521
9.1.2.7	Vernetzer; Hilfs- und Zusatzstoffe	522
9.1.3	Spurenanalytik	522
9.1.3.1	Isocyanate	522
9.1.3.2	Amine	523
9.1.3.3	Fluorchlorkohlenwasserstoffe	523
9.2	Ermittlung der Werkstoffeigenschaften (<i>J. Hoffmann</i>)	524
9.2.1	Genormte Prüfverfahren	524
9.2.2	Prüfkörper-Herstellung	530
9.2.3	Bestimmung der linearen Abmessungen	532
9.2.4	Bestimmung der Dichte/Rohdichte	532
9.2.5	Ermittlung der Zellstruktur	534
9.2.6	Bestimmung des Anteils offener und geschlossener Zellen in Schaumstoffen	534
9.2.7	Ermittlung der mechanischen Eigenschaften in Kurzzeitversuchen	535
9.2.7.1	Zugversuche	535
9.2.7.2	Weiterreißversuche	537
9.2.7.3	Druckversuche	537

9.2.7.4	Eindruckversuche/Härtebestimmungen	538
9.2.7.5	Biegeversuche	540
9.2.7.6	Schub-/Scherversuche	540
9.2.7.7	Bestimmung von Elastizitätsmoduln	540
9.2.7.8	Kurzzeitversuche an Kernverbunden	541
9.2.7.9	Schlag- und Stoßversuche	542
9.2.8	Ermittlung der mechanischen Eigenschaften in Langzeitversuchen unter ruhender Last bzw. konstanter Verformung	544
9.2.8.1	Zeitstandversuche	544
9.2.8.2	Druckverformungsrest/Zugverformungsrest	545
9.2.9	Ermittlung der mechanischen Eigenschaften unter periodisch wechselnder Last bzw. Verformung	546
9.2.9.1	Dauerschwingversuch an harten Integralschaumstoffen	546
9.2.9.2	Dauerschwingversuch an weichelastischen Schaumstoffen	546
9.2.9.3	Dauerknickversuche	546
9.2.10	Ermittlung der Temperaturabhängigkeit der Eigenschaften	547
9.2.10.1	Bestimmung der thermischen Ausdehnung	547
9.2.10.2	Ermittlung der Temperaturabhängigkeit der Elastizitätsmoduli und der mechanischen Dämpfung	548
9.2.10.3	Kurzzeitversuche bei unterschiedlichen Temperaturen	549
9.2.10.4	Ermittlung der Erweichungstemperatur	550
9.2.10.5	Konturstabilität in Kälte und Wärme	551
9.2.10.6	Langzeitversuche in Abhängigkeit von der Temperatur	551
9.2.11	Untersuchung des Alterungsverhaltens	551
9.2.11.1	Belichtung und Bewitterung	552
9.2.11.2	Ermittlung der Beständigkeit gegen Gase, Flüssigkeiten und Festkörper	552
9.2.12	Ermittlung des Abrieb- und Verschleißverhaltens	553
9.2.13	Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit	553
9.2.14	Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit	554
9.2.15	Bestimmung der Wasseraufnahme	555
9.2.16	Bestimmung der akustischen Eigenschaften	556
9.2.17	Bestimmung elektrischer und dielektrischer Eigenschaften	557
9.3	Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit durch Fertigteilprüfungen	
	(J. Hoffmann)	558
9.3.1	Simulation von Praxisbeanspruchungen	558
9.3.2	Meßmethoden der Fertigteilprüfung	560
9.3.2.1	Maßhaltigkeit, Formteilmasse und Formteilabmessungen	560
9.3.2.2	Mechanische Beanspruchungen	560
9.3.3	Beispiele für Fertigteilprüfungen	561
9.3.3.1	Prüfung von PUR-Schuhsohlen	561
9.3.3.2	Untersuchung von Kraftfahrzeugsitzen	563
9.3.3.3	Untersuchungen an Stoßfängern für Kraftfahrzeuge	565
9.3.3.4	Autodach-Innenverkleidung	566
9.3.3.5	Fernheizungsrohre	567
9.3.3.6	Rollen- und Walzenprüfung	567
9.4	Rechnerunterstützte Auslegung mit Hilfe der Finite Elemente Methode	
	(Dr. U. Maier)	568
9.4.1	Formfüllberechnungen für dünnwandige Formteile aus massiven PUR-Systemen	569

9.4.2 Thermische Berechnungen bei der Verarbeitung massiver PUR-Systeme	571
9.4.3 Statische Berechnungen	573
9.4.4 Schwindungs- und Verzugsabschätzung	574
9.5 Brandverhalten – Brandschutztechnische Prüfung und Bewertung (<i>Dr. F. H. Prager</i>)	576
9.5.1 Brandrisiken bei der Herstellung und Lagerung	577
9.5.2 Brandrisiken bei der Anwendung	578
9.5.2.1 Allgemein übliche Laborverfahren	578
9.5.2.2 Bergbausektor	578
9.5.2.3 Elektrosektor	579
9.5.2.4 Verkehrssektor	579
9.5.2.5 Möbel und Einrichtungen	581
9.5.2.6 Baubereich	582
9.5.3 Brandparallelererscheinungen	588
9.5.3.1 Brennendes Abtropfen	588
9.5.3.2 Rauchgasdichte	588
9.5.3.3 Rauchgastoxizität	591
Literatur zu Kapitel 9	593

10 PUR-Anstrichstoffe und Beschichtungen

(<i>Dr. M. Dahm, H. Ehlert, Dr. F. Müller, Dr. H. Toepsch, Prof. Dr. H. Träubel, W. Wieczorrek</i>)	599
10.1 Lacke, Anstrichmittel und Beschichtungen (<i>W. Wieczorrek</i>)	599
10.1.1 Lösemittelhaltige lufttrocknende Reaktionslacke	599
10.1.1.1 2-Komponenten-PUR-Lacke	599
10.1.1.2 1-Komponenten-PUR-Lacke	603
10.1.1.3 Herstellung	604
10.1.1.4 Verarbeitung	605
10.1.1.5 Eigenschaften der Lackierung	606
10.1.1.6 Anwendungen	608
10.1.2 Lösemittelhaltige nichtreaktive Polyurethane	609
10.1.3 Lösemittelhaltige, mit Luftsauerstoff trocknende Polyurethane	610
10.1.4 Lösemittelhaltige 1-Komponenten-Einbrennlacke	611
10.1.5 Lösemittelfreie Beschichtungen und Lacke	615
10.1.5.1 2-Komponenten-Beschichtungen	615
10.1.5.2 1-Komponenten-Beschichtungen, feuchtigkeitshärtend	617
10.1.5.3 PUR-modifizierte Epoxidharz-Systeme	617
10.1.5.4 Ofentrocknende lösemittelfreie Beschichtungen	618
10.1.6 PUR-Pulverlacke	618
10.1.7 PUR-Beschichtungen aus wäßriger Phase	620
10.1.8 Arbeitshygienische Maßnahmen bei der Verarbeitung von PUR-Lacken	620
10.2 Polyurethane für Textil, Papier und Leder (<i>Prof. Dr. H. Träubel, H. Ehlert, Dr. H. Toepsch, Dr. F. Müller, Dr. M. Dahm</i>)	621
10.2.1 Textile Anwendung	621
10.2.1.1 Textilausrüstung	621
10.2.1.2 Textilbeschichtung	622
10.2.1.2.1 Auswahl des textilen Substrates	623
10.2.1.2.2 Der Aufbau der PUR-Produkte	623

10.2.1.2.3	Beschichtungsverfahren	625
10.2.1.2.4	Zurichten (Finish) der PUR-Beschichtungen	625
10.2.1.3	Vliesbindung	626
10.2.1.4	Poromere Kunstleder	626
10.2.1.4.1	Polyaddition aus Dispersion	629
10.2.1.4.2	Polyaddition in Lösung	629
10.2.1.4.3	Der Markt für poromere Kunstleder	630
10.2.2	Papier	630
10.2.2.1	Polyurethan-Dispersionen für die Beschichtung von Papieren	631
10.2.2.1.1	Eigenschaften der Polyurethanfilme	631
10.2.2.1.2	Verarbeitung der Polyurethandispersionen	631
10.2.2.1.3	Verwendung für Papiere zur Lebensmittel- verpackung	632
10.2.2.1.4	Sonstige Einsatzgebiete der Polyurethan- Dispersion bei der Papierbeschichtung	632
10.2.2.2	Polyurethan-Dispersionen und -Lösungen für die Leimung von Papier	633
10.2.3	Kohlefreie Durchschreibepapiere	634
10.2.3.2	Mikrokapseln	634
10.2.3.3	Die Produktion kohlefreier Durchschreibepapiere	635
10.2.4	Leder	635
10.2.4.1	Einsatz in Gerbung, Nachgerbung, Färbung	636
10.2.4.2	Zurichtung	637
10.2.4.2.1	Imprägnierung und Grundierung des Leders	637
10.2.4.2.2	Appretur	637
10.2.4.2.3	Lackleder	638
10.2.4.2.4	Folienzurichtung	639
10.2.4.3	Spezialverfahren	639
	Literatur zu Kapitel 10	641

11 Polyurethan-Klebstoffe

(Dr. M. Dollhausen)	643
11.1	Einführung	643
11.2	Polyisocyanate	644
11.3	Zweikomponenten-Reaktions-Klebstoffe	646
11.3.1	Polyisocyanate	646
11.3.2	Polyole	646
11.3.3	Hilfsstoffe	647
11.3.4	Herstellung und Verarbeitung	648
11.3.5	Klebung	649
11.4	Einkomponenten-Reaktions-Klebstoffe	650
11.4.1	Isocyanatopolyurethane	650
11.4.2	Mehrphasensysteme mit ummanteltem Isocyanat	651
11.5	Lösemittel-Klebstoffe	652
11.5.1	Hydroxylpolyurethane	653
11.5.2	Hilfsstoffe	653
11.5.3	Herstellung und Verarbeitung	654
11.5.4	Klebung	654

11.6 Dispersions-Klebstoffe	656
11.6.1 Herstellung	656
11.6.2 Hilfsstoffe	656
11.6.3 Verarbeitung	656
11.6.4 Klebungen	657
11.7 Schmelzklebstoffe	657
11.7.1 Herstellung	657
11.7.2 Verarbeitung	657
11.7.3 Klebungen	658
11.8 Einsatzgebiete	658
11.8.1 Schuhindustrie	658
11.8.2 Kunststoff-Verarbeitung	659
11.8.3 Verpackungsherstellung	660
11.8.4 Bekleidungsindustrie	661
11.8.5 Fahrzeugbau	661
11.8.6 Bauindustrie	662
11.9 Produktsicherheit, Arbeitsschutz	662
Literatur zu Kapitel 11	663

12 Polyurethansysteme und Polyisocyanate als Ausgangsstoffe für Bindemittel

(Dr. J. Franke, Dr. M. Kapps, Dr. K. Recker, Dr. H. Reiff, Dr. H.-D. Ruprecht, H. I. Sachs) 665

Einleitung *(Dr. M. Kapps)* 665

12.1 Bindung von Forst- und landwirtschaftlichen Produkten *(H. I. Sachs)* 666

 12.1.1 Bindung forstwirtschaftlicher Produkte 666

 12.1.1.1 Herstellung 666

 12.1.1.2 Eigenschaften 667

 12.1.1.3 Anwendungen 670

 12.1.2 Bindung landwirtschaftlicher Produkte 671

 12.1.2.1 Herstellung 671

 12.1.2.2 Eigenschaften 672

 12.1.2.3 Anwendungen 672

12.2 Bindung sonstiger Produkte *(Dr. H.-D. Ruprecht, H. I. Sachs)* 672

 12.2.1 Gummigranulat 672

 12.2.1.1 Herstellung 672

 12.2.1.2 Eigenschaften 673

 12.2.1.3 Anwendungen 673

 12.2.2 PUR-Hartschaumabfälle 673

 12.2.2.1 Herstellung 673

 12.2.2.2 Eigenschaften 673

 12.2.2.3 Anwendung 674

 12.2.3 Anorganische Produkte 674

 12.2.3.1 Herstellung 674

 12.2.3.2 Eigenschaften 674

 12.2.3.3 Anwendung 674

12.3 Kernsandbindung *(Dr. J. Franke)* 675

12.4 Glasfaserschichten *(Dr. K. Recker, Dr. H. Reiff)* 676

 12.4.1 Herstellung 676

12.4.2	Eigenschaften	676
12.4.2.1	Verarbeitungseigenschaften	676
12.4.2.2	Glasfasereigenschaften	677
12.4.2.3	Eigenschaften der verstärkten Kunststoffe	677
	Literatur zu Kapitel 12	678
13	Polyurethan-Elastomerfasern	
	<i>(Dr. H. Gall, Dr. M. Kausch)</i>	679
13.1	Synthese segmentierter Polyurethane	679
13.1.1	Ausgangsstoffe	679
13.1.2	Aufbaureaktionen	680
13.1.2.1	Herstellung der NCO-Prepolymeren	680
13.1.2.2	Kettenverlängerung	681
13.1.3	Vernetzte Elastane	681
13.1.4	Thermoplastische Elastane	681
13.1.5	Additive	681
13.2	Spinnverfahren	682
13.2.1	Trockenspinnprozeß	682
13.2.2	Naßspinnprozeß	683
13.2.3	Reaktiv-Spinnprozeß	683
13.2.4	Schmelzspinnprozeß	683
13.2.5	Präparationen	683
13.3	Physikalische Vernetzungsstruktur der segmentierten Polyharnstoff-Polyurethan-Elastomeren	684
13.3.1	Einfluß der Hartsegmente	684
13.3.2	Einfluß der Weichsegmente	684
13.4	Eigenschaften von Elastan-Filamentgarn und ihre Messung	685
13.4.1	Mechanische Eigenschaften	685
13.4.2	Thermisches Verhalten	686
13.4.3	Chemisches Verhalten	687
13.5	Verarbeitung und Einsatzgebiete	688
13.5.1	Garnstufe	688
13.5.2	Verwendung in textilen Flächengebilden	689
13.5.2.1	Maschenware	689
13.5.2.2	Webware	691
13.5.2.3	Färbung und Ausrüstung Elastan-haltiger Flächengebilde	691
13.5.2.4	Eigenschaften der Elastan enthaltenden Fertigware	692
	Literatur zu Kapitel 13	693
14	Polyurethane und Umwelt	
	<i>(L. Abele, M. Jokel, Dr. M. Mann, U. Walber, Dr. E. Weigand)</i>	695
14.1	Voraussetzungen für die industrielle Fertigung von Polyurethanen	695
14.2	Arbeitsschutz bei der Herstellung und Verarbeitung	697
14.2.1	Vorschriften und Richtlinien	697

XXVIII *Inhalt*

14.2.2	Maßnahmen am Arbeitsplatz	698
14.2.2.1	Lösemittelfreie Rohstoffsysteme bei stationärer Verarbeitung	700
14.2.2.2	Lösemittelfreie Rohstoffsysteme bei nichtstationärer Verarbeitung	703
14.2.2.3	Verarbeitung lösemittelhaltiger Systeme	703
14.2.2.4	Verarbeitung von Polyurethanen	704
14.3	Transport, Entladung und Lagerung	704
14.3.1	Transport	704
14.3.2	Entladung	705
14.3.3	Lagerung	705
14.4	Ökologie der Polyurethane	706
14.4.1	Emission	707
14.4.2	Flüssige und feste Rohstoffe	707
14.4.3	Entsorgung	708
14.5	Polyurethane als Bedarfsgegenstände	710
14.6	Treibmittel für PUR-Schaumstoffe	710
14.6.1	Einleitung	710
14.6.1.1	Umweltrelevanz der FCKW	710
14.6.1.2	Gesetzgebung	710
14.6.2	Reduktion und Verzicht auf FCKW in PUR-Schaumstoffen	711
14.6.2.1	PUR-Weichschaumstoffe	711
14.6.2.2	PUR-Integralschaumstoffe	711
14.6.2.3	PUR-Verpackungsschaumstoffe und -Montageschaumstoffe	712
14.6.2.4	PUR-Hartschaumstoffe	712
14.6.3	Ausblick	715
14.7	Wiederverwertung von Polyurethanen	716
	Literatur zu Kapitel 14	717

15 Handelsprodukte

(Z. Galler, N. Künstler)	721
------------------------------------	-----

Sachwortverzeichnis	731
-------------------------------	-----