

HANSER

Gottfried Wilhelm Ehrenstein, Sonja Pongratz

# Beständigkeit von Kunststoffen

ISBN-10: 3-446-21851-3

ISBN-13: 978-3-446-21851-2

Inhaltsverzeichnis

Weitere Informationen oder Bestellungen unter  
<http://www.hanser.de/978-3-446-21851-2>  
sowie im Buchhandel

# Inhaltsverzeichnis

## Band 1

1	Grundlagen der Alterung	1
1.1	Einführung in die Kunststoffe	4
1.1.1	Thermoplaste	4
1.1.2	Thermoplastische Elastomere	6
1.1.3	Elastomere	6
1.1.4	Duroplaste	7
1.1.4.1	Epoxidharze	8
1.1.4.2	Phenolharze (PF-Harz)	14
1.1.4.3	UP-Harze	18
1.1.4.4	Vinylesterharz (VE-Harz)	22
1.2	Allgemeines, Begriffsdefinition	24
1.2.1	Begriffsdefinition Alterung	25
1.2.2	Weitere Begriffe	27
1.3	Kurzzeit- und Langzeitverhalten	28
1.3.1	Erweichungsverhalten	28
1.3.2	Alterungsverhalten	29
1.3.3	Chemische Alterungsvorgänge (Chemischer Abbau)	30
1.3.4	Physikalische Alterungsvorgänge und physikalische Alterung	31
1.3.4.1	Physikalische Alterungsvorgänge	31
1.3.4.2	Physikalische Alterung	33
1.4	Einflussfaktoren	34
1.4.1	Einwirkung von Temperatur	35
1.4.1.1	Beschleunigende Wirkung der Temperatur	35
1.4.1.2	Chemischer Abbau	38
1.4.1.3	Physikalische Alterungsvorgänge	43
1.4.2	Einwirkung von Sauerstoff	43
1.4.2.1	Chemischer Abbau	44
1.4.2.2	Physikalische Alterungsvorgänge – Chemo-Kristallisation	49
1.4.2.3	Einwirkung von Ozon	50

1.4.3	Einfluss von Wasser . . . . .	52
1.4.3.1	Chemischer Abbau (Hydrolyse) . . . . .	52
1.4.3.2	Physikalische Alterungsvorgänge . . . . .	53
1.4.3.3	Mechanische Wirkung des Wassers . . . . .	53
1.4.4	Einfluss von mechanischer Belastung . . . . .	54
1.4.5	Einfluss der chemischen und physikalischen Struktur . . . . .	57
1.4.5.1	Einfluss der chemischen Struktur . . . . .	57
1.4.5.2	Einfluss der physikalischen Struktur . . . . .	59
1.4.6	Einfluss von Herstellungsverfahren, Katalysatorresten sowie metallischen Verunreinigungen . . . . .	62
1.4.7	Zusatzstoffe . . . . .	63
1.4.7.1	Glasfasern . . . . .	63
1.4.7.2	Füllstoffe . . . . .	64
1.4.7.3	Pigmente . . . . .	65
1.4.7.4	Einfluss der chemischen Reinheit . . . . .	68
1.4.7.5	Brandschutzausrüstung mit Halogenverbindungen . . . . .	68
1.4.8	Einwirkung von Strahlung . . . . .	68
1.4.8.1	UV-Strahlung . . . . .	68
1.4.8.2	Energiereiche Strahlung . . . . .	70
1.4.9	Atmosphärische Einwirkung . . . . .	71
1.4.9.1	UV-Licht . . . . .	72
1.4.9.2	Temperatur . . . . .	72
1.4.9.3	Luftfeuchtigkeit, Wasser . . . . .	73
1.4.9.4	Gasförmige Schadstoffe . . . . .	75
1.4.9.5	Feste Verunreinigungen . . . . .	77
1.4.9.6	Vorgeschichte . . . . .	77
1.4.10	Einfluss von Chemikalien . . . . .	77
1.4.10.1	Chemische Medieneinwirkung, Solvolyse . . . . .	79
1.4.10.2	Physikalische Medieneinwirkung . . . . .	80
1.4.11	Biologische Einflüsse . . . . .	81
1.5	Vergleich Verarbeitung – Gebrauch . . . . .	81
1.5.1	Alterung während der Verarbeitung . . . . .	82
1.5.2	Alterung im Gebrauch . . . . .	84
1.6	Lebensdauervorhersage . . . . .	87
1.6.1	Voraussetzung zur Erstellung von Lebensdauervorhersagen . . . . .	87
1.6.1.1	Erfassen der Einflussgrößen . . . . .	88
1.6.1.2	Charakterisierung des Schädigungszustandes . . . . .	88
1.6.1.3	Extrapolationsbereich . . . . .	88
1.6.2	Modelle zur Lebensdauervorhersage . . . . .	89
1.6.2.1	Phänomenologische Beschreibung der Alterung . . . . .	89
1.6.2.2	Standardisierte Verfahren . . . . .	91
1.6.2.3	Modelle für Änderungen von Eigenschaften mit der Zeit . . . . .	91
1.6.2.4	Arrhenius-Gleichung . . . . .	93
1.6.2.5	Zeit-Temperatur-Verschiebung . . . . .	95

1.6.3	Dimensionierung entsprechend der geforderten Lebensdauer . . . . .	103
1.6.3.1	Abminderungsfaktoren . . . . .	103
1.6.3.2	Lebensdauer für technische Teile bei bevorzugt statischer Beanspruchung . . . . .	113
1.6.3.3	Lebensdauer bei dynamischer Beanspruchung . . . . .	124
1.6.3.4	Lebensdauer bei Rohren . . . . .	137
2	Prüfmethoden . . . . .	139
2.1	Allgemeines . . . . .	142
2.1.1	Möglichkeiten der Lebensdauerprüfung . . . . .	143
2.1.1.1	Simulation der Praxisbedingungen . . . . .	143
2.1.1.2	Zeitraffende Prüfung . . . . .	144
2.1.1.3	Äquivalenz der Strahlungsenergiewirkung . . . . .	145
2.1.1.4	Parallelalterung . . . . .	145
2.1.2	Alterungskriterien . . . . .	146
2.1.3	Messmethoden . . . . .	146
2.1.3.1	Aussehen und Oberflächeneigenschaften . . . . .	147
2.1.3.2	Mechanische Kennwerte . . . . .	150
2.1.3.3	Änderung des chemischen (molekularen) Aufbaus . . . . .	151
2.1.3.4	Messung der Effektivität von Antioxidantien . . . . .	154
2.1.3.5	Bestimmung von Stabilisatoren und deren Konzentration . . . . .	159
2.1.3.6	Änderung der physikalischen Struktur . . . . .	159
2.1.3.7	Weitere Methoden . . . . .	160
2.2	Bewitterung . . . . .	161
2.2.1	Auswahl eines Prüfverfahrens . . . . .	162
2.2.2	Einflussgrößen . . . . .	163
2.2.2.1	Farbe der Proben . . . . .	163
2.2.2.2	Strahlung . . . . .	164
2.2.2.3	Temperatur . . . . .	166
2.2.2.4	Feuchtigkeit . . . . .	167
2.2.2.5	Klimate . . . . .	168
2.2.2.6	Grenzflächenklimate . . . . .	168
2.2.2.7	Weitere Einflussgrößen auf die Bewitterung . . . . .	171
2.2.3	Natürliche Bewitterung . . . . .	171
2.2.3.1	Freibewitterung . . . . .	171
2.2.3.2	Bestrahlung im Naturversuch unter Fensterglas . . . . .	173
2.2.3.3	Sonstiges . . . . .	173
2.2.4	Künstliche Bewitterung . . . . .	174
2.2.4.1	Bestrahlungsquellen . . . . .	175
2.2.4.2	Prüfvorschriften . . . . .	181
2.2.4.3	Geräte zur Prozessüberwachung . . . . .	183
2.2.5	Vergleichbarkeit Freibewitterung – Künstliche Bewitterung . . . . .	184
2.2.6	Simulation saurer Niederschläge: ADF-Test . . . . .	186

---

2.2.7	Belichtung und Bewitterung von Schaumstoffen . . . . .	189
2.2.8	Bewitterung von Gummi . . . . .	189
2.2.8.1	Statischer Ozonkammertest . . . . .	191
2.2.8.2	Dynamischer Ozonkammertest . . . . .	191
2.3	Beständigkeit gegen energiereiche Strahlung . . . . .	192
2.4	Thermische und thermisch-oxidative Beständigkeit . . . . .	193
2.4.1	Kurzzeitige Temperatureinwirkung . . . . .	193
2.4.2	Langzeitige Temperatureinwirkung . . . . .	193
2.4.2.1	Auswahl eines Prüfverfahrens . . . . .	193
2.4.2.2	Ofenalterung . . . . .	194
2.4.2.3	Oxidationsinduktionszeit und -temperatur . . . . .	199
2.4.2.4	Zeitstandprüfung . . . . .	200
2.4.2.5	Thermisch-oxidative Beständigkeit von Elastomeren . . . . .	200
2.5	Chemische Beständigkeit . . . . .	203
2.5.1	Definition der chemischen Beständigkeit . . . . .	203
2.5.2	Praxistests und Erfahrungen . . . . .	204
2.5.3	Immersionsversuch . . . . .	204
2.5.4	Zeitstandprüfung . . . . .	206
2.5.5	Spannungsrisssbeständigkeit . . . . .	208
2.5.5.1	Spannungszustand von Bauteilen . . . . .	209
2.5.5.2	Spannungsrisssbeständigkeit von Kunststoffen bei Medienkontakt . . . . .	211
2.6	Biologische Beständigkeit . . . . .	219
2.6.1	Prüfung der Beständigkeit gegen Mikroorganismen . . . . .	219
2.6.2	Kompostierbarkeit von biologisch abbaubaren Kunststoffen . . . . .	220
2.6.2.1	Chemische Prüfung . . . . .	221
2.6.2.2	Prüfung auf vollständige biologische Abbaubarkeit . . . . .	222
2.6.2.3	Prüfung auf Kompostierbarkeit (Desintegration) . . . . .	222
2.6.2.4	Prüfung der Qualität der Komposte . . . . .	222
2.6.2.5	Prüfung auf vollständige anaerobe Abbaubarkeit . . . . .	223
2.6.3	Bestimmung der anaeroben Abbaubarkeit von Polymeren . . . . .	223
2.6.3.1	Faulgasproduktion . . . . .	223
2.6.3.2	Verfahren mit Faulschlamm als Inokulum . . . . .	223
2.6.3.3	Verfahren mit vergorenem Bioabfall als Inokulum . . . . .	224
2.6.4	Biokompatibilitäts-Tests . . . . .	224
2.7	Normen, UL-Karten . . . . .	227
2.7.1	Normen . . . . .	227
2.7.1.1	Allgemeine Normen . . . . .	227
2.7.1.2	Bewitterung . . . . .	229
2.7.1.3	Energereiche Strahlung . . . . .	233
2.7.1.4	Thermische und thermisch-oxidative Beständigkeit . . . . .	234
2.7.1.5	Chemische Beständigkeit . . . . .	236
2.7.1.6	Biologische Beständigkeit . . . . .	238

---

2.7.2	Plastics Recognition Yellow Cards	240
2.8	Anforderungskataloge	242
2.8.1	Apparate, Behälter, Rohre, Tanks	242
2.8.2	Bauwesen	243
2.8.3	Elektrotechnik	245
2.8.3.1	Thermische Alterung von Kabeln	245
2.8.3.2	Spannungsrisssbeständigkeit von Kabeln	246
2.8.4	Automobil	246
2.8.4.1	Belastungen eines Automobils	247
2.8.4.2	Prüfung der Witterungsbeständigkeit	250
2.8.4.3	Airbagmodul	251
2.8.4.4	PUR-Halbhartschaum	252
2.8.4.5	Vergrauungsprüfung	252
2.8.4.6	Umweltsimulationstests an Kraftstoff führenden Kunststoffbauteilen	252
2.8.5	Medizintechnik	255
2.8.6	Gummi- und Kunststoffschläuche	256
3	Stabilisierung	257
3.1	Grundlagen	260
3.1.1	Marktentwicklung	260
3.1.2	Grundlagen der Stabilisierung	261
3.1.3	Einflussgrößen	263
3.1.3.1	Füllstoffe	263
3.1.3.2	Schadgase	263
3.1.3.3	Einwirkung von Säuren	263
3.2	Antioxidantien	264
3.2.1	Primäre Antioxidantien (H-Donatoren und Radikalfänger)	264
3.2.1.1	Phenolische Antioxidantien	265
3.2.1.2	Lactone	266
3.2.1.3	Sterisch gehinderte Amine (HAS)	267
3.2.1.4	Aromatische Amine	268
3.2.1.5	Hydroxylamine	268
3.2.2	Sekundäre Antioxidantien (Hydroperoxidzersetzer)	268
3.2.2.1	Phosphite und Phosphonite	270
3.2.2.2	Thiostabilisatoren	271
3.2.3	Bifunktionale Stabilisatoren	271
3.2.4	Stabilisatorblends	271
3.3	Thermostabilisatoren, PVC-Stabilisatoren	271
3.4	Lichtstabilisatoren	272
3.4.1	UV-Absorber	272
3.4.2	Quencher	274

3.4.3 Radikalfänger und Hydroperoxidzersetzer . . . . .	274
3.5 Biostabilisatoren . . . . .	277
3.6 Sonstige Stabilisatoren . . . . .	277
3.6.1 Gleitmittel . . . . .	277
3.6.2 Sonstige Zuschlagstoffe . . . . .	277
3.6.3 Metalldeaktivatoren, Komplexbildner . . . . .	278
3.6.4 Hydrolysestabilisatoren . . . . .	278
3.7 Stabilisierung einzelner Polymere . . . . .	278
3.7.1 Polyolefine . . . . .	278
3.7.1.1 Thermische Oxidation . . . . .	278
3.7.1.2 Lichtschutz . . . . .	278
3.7.2 Styrolpolymerisate . . . . .	280
3.7.2.1 Thermische Oxidation . . . . .	280
3.7.2.2 Lichtstabilisierung . . . . .	280
3.7.3 Polycarbonat und Blends . . . . .	281
3.7.3.1 Thermische Oxidation . . . . .	281
3.7.3.2 Lichtschutz . . . . .	282
3.7.3.3 Hydrolyse-Stabilisatoren . . . . .	282
3.7.4 Polymethylmethacrylat . . . . .	283
3.7.4.1 Thermische Oxidation . . . . .	283
3.7.4.2 Lichtschutz . . . . .	283
3.7.5 Polyvinylchlorid . . . . .	283
3.7.5.1 Thermische Beständigkeit . . . . .	283
3.7.5.2 Lichtschutz . . . . .	287
3.7.6 Polyoxymethylen . . . . .	288
3.7.6.1 Endgruppenstabilisierung . . . . .	288
3.7.6.2 Einbau von Comonomeren . . . . .	288
3.7.6.3 Stabilisierung gegen thermisch-oxidativen Abbau . . . . .	289
3.7.6.4 Lichtschutz . . . . .	289
3.7.7 Thermoplastische Polyester . . . . .	290
3.7.7.1 Thermischer Abbau während der Verarbeitung . . . . .	290
3.7.7.2 Thermische Oxidation . . . . .	290
3.7.7.3 Thermische Oxidation von Polyethylenterephthalat . . . . .	291
3.7.7.4 Lichtschutz . . . . .	291
3.7.7.5 Hydrolyse . . . . .	291
3.7.8 Polyamide . . . . .	291
3.7.8.1 Thermische Oxidation . . . . .	291
3.7.8.2 Lichtschutz . . . . .	295
3.7.8.3 Teilaromatische und aromatische Polyamide . . . . .	296
3.7.9 Cellulose und Derivate . . . . .	297
3.7.9.1 Thermische Belastung und Oxidation . . . . .	297
3.7.9.2 Lichtschutz . . . . .	297
3.7.10 Polyurethane . . . . .	297
3.7.10.1 Thermische Oxidation . . . . .	297

3.7.10.2	Lichtschutz . . . . .	298
3.7.10.3	Hydrolyse . . . . .	298
3.7.11	Thermoplastische Polyurethane . . . . .	298
3.7.12	Tetrafluorethylen-Ethylen-Copolymer . . . . .	298
3.7.13	Hochtemperatur-Thermoplaste . . . . .	299
3.7.13.1	Polyarylate . . . . .	299
3.7.13.2	Polyphenylenether und Blends . . . . .	299
3.7.13.3	Polyphenylensulfid . . . . .	300
3.7.14	Duroplaste . . . . .	302
3.7.14.1	Lagerstabilität vor der Verarbeitung . . . . .	302
3.7.14.2	Formstoffe: Härtung . . . . .	304
3.7.14.3	Formstoffe: Strukturelle Aspekte . . . . .	304
3.7.14.4	Konstruktive Aspekte . . . . .	308
3.7.15	Elastomere . . . . .	309
3.7.15.1	Thermische Oxidation . . . . .	310
3.7.15.2	Lichtschutz . . . . .	310
3.8	Stabilisierung von Rezyklaten . . . . .	310
4	Verarbeitung . . . . .	313
4.1	Auswirkungen der Verarbeitung auf den Gebrauch . . . . .	315
4.1.1	Einflussparameter . . . . .	317
4.1.1.1	Verarbeitungsparameter . . . . .	318
4.1.1.2	Prozessschritte . . . . .	324
4.1.1.3	Aufbau der Kunststoffe . . . . .	327
4.1.1.4	Einfluss von metallischen Verunreinigungen . . . . .	332
4.1.1.5	Einfluss von Katalysatorresten . . . . .	332
4.1.1.6	Einfluss der Atmosphäre . . . . .	333
4.1.2	Verarbeitung von Thermoplasten . . . . .	333
4.1.2.1	Herstellung von Formmassen . . . . .	334
4.1.2.2	Extrusion . . . . .	336
4.1.2.3	Spritzgießen . . . . .	343
4.1.2.4	Umformprozesse . . . . .	345
4.1.2.5	Gießformen . . . . .	345
4.2	Recycling . . . . .	347
4.3	Verhalten einzelner Polymere . . . . .	348
4.3.1	Polyolefine . . . . .	348
4.3.1.1	Einfluss der Herstellungsverfahren und Katalysatoren . . . . .	348
4.3.1.2	Polyethylen . . . . .	351
4.3.1.3	Polypropylen . . . . .	352
4.3.2	Styrolpolymerisate . . . . .	357
4.3.2.1	Polystyrol . . . . .	357
4.3.2.2	ABS . . . . .	358
4.3.3	Polycarbonat . . . . .	361



4.3.4	Polymethylmethacrylat . . . . .	362
4.3.5	Polyvinylchlorid . . . . .	362
4.3.6	Polyoxymethylen . . . . .	364
4.3.7	Thermoplastische Polyester . . . . .	366
4.3.7.1	Polybutylterephthalat . . . . .	366
4.3.7.2	Polyethylterephthalat . . . . .	367
4.3.8	Polyamide . . . . .	369
4.3.8.1	Polyamid 6 und Polyamid 66 . . . . .	370
4.3.8.2	Polyamid 46 . . . . .	371
4.3.8.3	Polyamid 11 und 12 . . . . .	372
4.3.8.4	Herstellung von Fasern . . . . .	373
4.3.9	Fluorpolymere . . . . .	373
4.3.9.1	Polytetrafluorethylen . . . . .	373
4.3.9.2	Polytrifluorchlorethylen . . . . .	373
4.3.9.3	Polyvinylidenfluorid . . . . .	373
4.3.9.4	Polyvinylfluorid . . . . .	374
4.3.10	Hochtemperatur-Thermoplaste . . . . .	374
4.3.10.1	Polyphenylensulfid . . . . .	374
4.3.10.2	Weitere Hochtemperatur-Thermoplaste . . . . .	376
4.3.11	Polyurethane . . . . .	376
4.3.12	Duroplaste . . . . .	377
4.3.12.1	Verarbeitung von Duroplasten . . . . .	377
4.3.12.2	Härtung von Duroplasten . . . . .	378
4.3.12.3	Einfluss der Faserverstärkung . . . . .	392
4.3.12.4	Polyesterharze . . . . .	404
4.3.12.5	Epoxidharze . . . . .	406
4.3.12.6	Kondensationsharze . . . . .	406
5	Anwendung . . . . .	409
5.1	Werkstoffauswahl im Hinblick auf die Lebensdauer . . . . .	419
5.2	Beständigkeit gegen atmosphärische Einflüsse . . . . .	427
5.2.1	Einfluss von Licht: lichtinduzierter Abbau . . . . .	427
5.2.1.1	Absorption von Licht . . . . .	427
5.2.1.2	Photo-Chemie von Hydroperoxiden . . . . .	429
5.2.1.3	Photoinduzierte Reaktionen . . . . .	431
5.2.2	Bewitterungsbeständigkeit einzelner Polymere . . . . .	432
5.2.2.1	Polyolefine . . . . .	432
5.2.2.2	Styrolpolymerisate . . . . .	445
5.2.2.3	Polycarbonat und Blends . . . . .	456
5.2.2.4	Polymethylmethacrylat . . . . .	466
5.2.2.5	Polyvinylchlorid . . . . .	473
5.2.2.6	Polyoxymethylen . . . . .	486
5.2.2.7	Thermoplastische Polyester . . . . .	489
5.2.2.8	Polyamide . . . . .	492

5.2.2.9	Cellulose und Derivate . . . . .	497
5.2.2.10	Fluorpolymere . . . . .	498
5.2.2.11	Hochtemperatur-Thermoplaste . . . . .	499
5.2.2.12	Thermoplastische Elastomere . . . . .	503
5.2.2.13	Elastomere . . . . .	507
5.2.2.14	Polyurethane . . . . .	517
5.2.2.15	Duroplaste . . . . .	522
5.3	Beständigkeit gegen energiereiche Strahlung . . . . .	526
5.3.1	Grundlagen . . . . .	526
5.3.2	Wirkungsmechanismen . . . . .	530
5.3.2.1	Strahlenvernetzung . . . . .	531
5.3.2.2	Abbau . . . . .	533
5.3.3	Einflussfaktoren . . . . .	534
5.3.3.1	Einfluss der Bestrahlungsquelle . . . . .	535
5.3.3.2	Einfluss der Dosisleistung . . . . .	535
5.3.3.3	Einfluss der Atmosphäre . . . . .	536
5.3.3.4	Einfluss der Temperatur . . . . .	538
5.3.3.5	Einfluss von Füllstoffen . . . . .	539
5.3.3.6	Einfluss von Stabilisatoren . . . . .	539
5.3.4	Anwendung der Bestrahlungstechnologie bei Kunststoffen . . . . .	539
5.3.4.1	Gezielte Vernetzung von Kunststoffen . . . . .	539
5.3.4.2	Sterilisation von Kunststoffen . . . . .	540
5.3.5	Stabilisierung und Sensibilisierung . . . . .	540
5.3.5.1	Stabilisierung . . . . .	541
5.3.5.2	Sensibilisierung . . . . .	541
5.3.6	Beständigkeit gegen energiereiche Strahlung . . . . .	542
5.3.7	Verhalten einzelner Polymere bei energiereicher Strahlung . . . . .	545
5.3.7.1	Polyolefine . . . . .	545
5.3.7.2	Styrolpolymerisate . . . . .	550
5.3.7.3	Polycarbonat . . . . .	553
5.3.7.4	Polymethylmethacrylat . . . . .	554
5.3.7.5	Polyvinylchlorid . . . . .	554
5.3.7.6	Polyvinylalkohol . . . . .	556
5.3.7.7	Polyoxymethylen . . . . .	556
5.3.7.8	Thermoplastische Polyester . . . . .	558
5.3.7.9	Polyamide . . . . .	559
5.3.7.10	Cellulose und Derivate . . . . .	564
5.3.7.11	Hochtemperatur-Thermoplaste . . . . .	564
5.3.7.12	Thermoplastisches Polyurethan . . . . .	566
5.3.7.13	Elastomere . . . . .	567
5.3.8	Beständigkeit gegen Laserstrahlung . . . . .	568
5.3.9	Strahlung der unteren Erdumlaufbahn . . . . .	569
5.4	Thermischer und thermisch-oxidativer Abbau . . . . .	570
5.4.1	Dauergebrauchstemperaturen auf Grundlage von Erfahrungswerten . . . . .	570
5.4.2	Begriffsklärung . . . . .	572

5.4.2.1	Differenzierung thermischer, thermisch-oxidativer Abbau	572
5.4.2.2	Tempern	574
5.4.3	Verhalten einzelner Polymere	574
5.4.3.1	Polyolefine	574
5.4.3.2	Styrolpolymerisate	583
5.4.3.3	Polycarbonat und Blends	592
5.4.3.4	Polymethylmethacrylat	601
5.4.3.5	Polyvinylchlorid	602
5.4.3.6	Polyoxymethylen	603
5.4.3.7	Thermoplastische Polyester	606
5.4.3.8	Polyamide	615
5.4.3.9	Cellulose und Derivate	633
5.4.3.10	Fluorpolymere	633
5.4.3.11	Hochtemperatur-Thermoplaste	635
5.4.3.12	Thermoplastische Elastomere	641
5.4.3.13	Elastomere	643
5.4.3.14	Polyurethane	651
5.4.3.15	Duroplaste	652
5.4.3.16	Siloxane	658
5.4.4	Belastung unter kurzzeitigen Spitzentemperaturen	658
5.5	Beständigkeit gegen Chemikalieneinwirkung	662
5.5.1	Diffusionsvorgänge bei der Chemikalieneinwirkung	663
5.5.1.1	Wechselwirkungen und Transportmechanismen	663
5.5.1.2	Wasseraufnahme	665
5.5.2	Einflussfaktoren	666
5.5.2.1	Kunststoff	666
5.5.2.2	Einwirkmedien	666
5.5.2.3	Temperatur	668
5.5.2.4	Einwirkzeit	668
5.5.2.5	Konzentration	668
5.5.2.6	Werkstoffspezifische Faktoren	668
5.5.3	Physikalisch und chemisch aktive Medien	669
5.5.3.1	Physikalisch aktives Medium	670
5.5.3.2	Chemische Reaktionen – Chemisch aktives Medium	674
5.5.4	Spannungsrisssbeständigkeit	675
5.5.5	Hydrolyse	676
5.5.6	Zeitstandverhalten	676
5.5.6.1	Einfluss der Temperatur	678
5.5.6.2	Einfluss der Umgebungsbedingungen	679
5.5.6.3	Einfluss des Mediums	679
5.5.6.4	Einfluss des Werkstoffs	680
5.5.6.5	Einfluss der Verarbeitung	681
5.5.6.6	Einfluss von Stabilisatoren	681
5.5.7	Möglichkeiten zur Verbesserung der Chemikalienbeständigkeit	684
5.5.8	Beständigkeit von Verstärkungsfasern	685

5.5.8.1	Glasfasern . . . . .	685
5.5.8.2	Kohlenstofffasern . . . . .	691
5.5.8.3	Aramidfasern . . . . .	691
5.5.8.4	Chemikalienbeständigkeit von GFK . . . . .	692
5.5.9	Verhalten einzelner Polymere . . . . .	698
5.5.9.1	Polyolefine . . . . .	698
5.5.9.2	Styrolpolymerisate . . . . .	711
5.5.9.3	Polycarbonat und Blends . . . . .	720
5.5.9.4	Polymethylmethacrylat . . . . .	728
5.5.9.5	Polyvinylchlorid . . . . .	728
5.5.9.6	Polyoxymethylen . . . . .	731
5.5.9.7	Thermoplastische Polyester . . . . .	736
5.5.9.8	Polyamide . . . . .	740
5.5.9.9	Cellulose und Derivate . . . . .	762
5.5.9.10	Fluorpolymere . . . . .	763
5.5.9.11	Hochtemperatur-Thermoplaste . . . . .	766
5.5.9.12	Thermoplastische Elastomere . . . . .	776
5.5.9.13	Elastomere . . . . .	780
5.5.9.14	Polyurethane . . . . .	794
5.5.9.15	Duroplaste . . . . .	798
5.6	Biologische Beständigkeit und Bioabbaubarkeit . . . . .	818
5.6.1	Grundlagen . . . . .	818
5.6.1.1	Mikro- und makrobiologische Schädigung, biologischer Abbau . . . . .	818
5.6.1.2	Einflussgrößen . . . . .	826
5.6.1.3	Schutz von Kunststoffen gegen Befall durch Mikroorganismen . . . . .	831
5.6.2	Biologisch abbaubare Kunststoffe . . . . .	831
5.6.3	Biokompatibilität und biomedizinische Anwendungen . . . . .	834
5.6.3.1	Einsatz biologisch abbaubarer Kunststoffe in der Medizintechnik . . . . .	838
5.6.3.2	Sterilisation . . . . .	838
5.6.3.3	Katalysatoren in biologischen Medien . . . . .	841
5.6.4	Verhalten einzelner Polymere gegenüber biologischen Medien . . . . .	843
5.6.4.1	Polyethylen . . . . .	843
5.6.4.2	Polypropylen . . . . .	845
5.6.4.3	Styrolpolymerisate . . . . .	848
5.6.4.4	Polyoxymethylen . . . . .	848
5.6.4.5	Polyvinylchlorid . . . . .	848
5.6.4.6	Vinylchlorid-Vinylacetat-Copolymere . . . . .	852
5.6.4.7	Polymethylmethacrylat . . . . .	853
5.6.4.8	Polyvinylalkohol . . . . .	853
5.6.4.9	Polycarbonat . . . . .	853
5.6.4.10	Cellulose und Derivate . . . . .	853
5.6.4.11	Polyamid . . . . .	854
5.6.4.12	Polyester . . . . .	855
5.6.4.13	Polyurethane und thermoplastische Polyurethane . . . . .	863
5.6.4.14	Polyurethan-Harnstoffe . . . . .	863
5.6.4.15	Fluorpolymere . . . . .	864

5.6.4.16	Polyetheretherketon . . . . .	864
5.6.4.17	Polysiloxan . . . . .	865
5.6.4.18	Elastomere . . . . .	865
5.6.4.19	Duroplaste . . . . .	866
5.7	Mechanisches Langzeitverhalten von FVK . . . . .	867
5.7.1	Kriechen . . . . .	867
5.7.2	Zeitstandfestigkeit . . . . .	869
5.7.2.1	Beschreibung . . . . .	869
5.7.2.2	Unidirektionale Faserverbundprofile . . . . .	871
5.7.2.3	Lamine . . . . .	874
5.7.2.4	Miner-Regel . . . . .	876
5.7.3	Dynamische Belastung . . . . .	878

## Band 2

Kunststoffe, Gummi und deren Abkürzungen und andere Abkürzungen	881
A Beständigkeitstabellen	889
A.1 Polyolefine . . . . .	889
A.1.1 Resistenzfaktoren von Polyolefin-Rohren . . . . .	889
A.1.2 Beständigkeitstabelle von Polyolefinen . . . . .	893
A.1.3 Medienlisten des DIBt . . . . .	950
A.1.3.1 Vorbemerkungen zu den Medienlisten des DIBt . . . . .	950
A.1.3.2 Medienlisten für Polyolefine . . . . .	951
A.2 Styrolpolymerisate . . . . .	961
A.2.1 Beständigkeitstabellen . . . . .	961
A.2.2 Spannungsrissauslösende Medien für Styrolpolymerisate . . . . .	981
A.3 Polycarbonat und Polymethylmethacrylat . . . . .	982
A.3.1 Beständigkeitstabellen . . . . .	982
A.3.2 Spannungsrissauslösende Medien für Polymethylmethacrylat . . . . .	984
A.4 Thermoplastische Polyester . . . . .	985
A.5 Polyoxymethylen . . . . .	996
A.6 Polyamide . . . . .	1007
A.6.1 Beständigkeitstabelle von PA 6 und PA 66 . . . . .	1007
A.6.2 Beständigkeitstabelle von Polyamid 46, 610 und 612 . . . . .	1021
A.6.3 Beständigkeitstabelle weiterer Polyamide . . . . .	1023
A.7 Cellulose und Derivate . . . . .	1034

---

A.8 Polyvinylchlorid . . . . .	1036
A.8.1 Resistenzfaktoren von PVC-Rohren . . . . .	1036
A.8.2 Beständigkeitstabelle von PVC . . . . .	1038
A.8.3 Medienliste des DIBt für PVC . . . . .	1073
A.9 Polyphenylsulfid . . . . .	1078
A.10 Polyetherimid . . . . .	1081
A.11 Polyimid, Polyamidimid, Polyphenylenether, Polyetheretherketon . . . . .	1083
A.12 Polyethersulfon und Polysulfon . . . . .	1088
A.13 Fluorpolymere . . . . .	1093
A.13.1 Beständigkeitstabelle von Fluorpolymeren . . . . .	1093
A.13.2 Beständigkeit von PTFE (Teflon) . . . . .	1100
A.13.3 Beständigkeitstabelle von PVDF . . . . .	1104
A.13.4 Medienliste des DIBt für PVDF . . . . .	1120
A.14 Flüssigkristalline Polymere LCP . . . . .	1125
A.15 Polyurethane . . . . .	1130
A.15.1 Polyurethane . . . . .	1130
A.15.2 Thermoplastische Polyurethane . . . . .	1134
A.15.2.1 Chemikalienbeständigkeit von TPU . . . . .	1134
A.15.2.2 Quellverhalten von TPU in Lösungsmitteln . . . . .	1135
A.16 Elastomere . . . . .	1138
A.16.1 Beständigkeitstabelle von Schlauchwerkstoffen . . . . .	1138
A.16.2 Beständigkeitstabellen von Elastomeren . . . . .	1146
A.17 Duroplaste . . . . .	1168
A.17.1 Beständigkeitstabellen von Duroplasten . . . . .	1168
A.17.2 Medienlisten des DIBt für Chemieschutzschichten . . . . .	1177
A.17.2.1 Vorbemerkungen zu den Medienlisten 40-2.1.1 bis 40-2.1.3 . . . . .	1177
A.17.2.2 Medienliste 40-20.1.1 . . . . .	1178
A.17.2.3 Medienliste 40-20.1.2 . . . . .	1181
A.17.2.4 Medienliste 40-20.1.3 . . . . .	1183
A.17.2.5 Medienliste 40-3.2 und 40-3.4: GFK-Lamine mit thermoplastischer Auskleidung aus PP und PVC-U . . . . .	1190
A.18 Chemikalienbeständigkeit in CAMPUS . . . . .	1195
Literaturverzeichnis . . . . .	1197
Stichwortverzeichnis . . . . .	1309