

Inhalt

Vorwort XI

- 1 Bauchemie** 1
Johann Plank, Dietmar Stephan, Christian Hirsch
 - 2 Explosivstoffe und pyrotechnische Produkte** 169
Andreas Busch, Uwe Krone, Dietrich Eckhardt
 - 3 Anorganische Pigmente** 269
Gerhard Pfaff
 - 4 Organische Farbstoffe und Pigmente** 391
Elmar Steingruber, Hartmut Endriß
 - 5 Schmierstoffe** 543
Georg Lingg, Theo Mang, Wilfried Dresel, Jürgen Braun, Jürgen Omeis
 - 6 Kunstharze und Lacke** 619
Hans-Joachim Streitberger, Heinz-Peter Rink, Wolfgang Bremser
 - 7 Klebtechnik** 735
Walter Brockmann, Paul Ludwig Geiß, Jürgen Klingen, Bernhard Schröder
 - 8 Elektronische Halbleitermaterialien** 815
Wilfried von Ammon, Christian Heedt, Wolfgang Jantz, Rolf Knobel, Ulrich Lambert, Robert Maurer, H. Jörg Osten, Peter Wagner
 - 9 Informations- und Kommunikationstechnik** 973
Norbert Frühauf, Norbert Grote, Volker Laible, Peter Kersten, Hans-Jürgen Matt, Harald Orlamünder, Thomas Pfeiffer, Herbert Schaaf, Gustav Veith, Alexander Weiss, Wiltraud Wischmann, Roman E. Wochele
- Stichwortverzeichnis** 1171

1

Bauchemie

Johann Plank, Dietmar Stephan, Christian Hirsch

1	Einleitung	4
2	Anorganische Bindemittel	6
2.1	Zement	6
2.1.1	Historisches	6
2.1.2	Wirtschaftliches	8
2.1.3	Definition von Klinker, Zement und Zuschlagstoffen	10
2.1.4	Zusammensetzung des Rohmehls	10
2.1.5	Portlandzementklinker	13
2.1.5.1	Nomenklatur der Klinkerphasen	14
2.1.5.2	Alit	15
2.1.5.3	Belit	16
2.1.5.4	Aluminatphase	16
2.1.5.5	Ferritphase	17
2.1.5.6	Weitere Klinkerphasen	17
2.1.5.7	Zusammensetzung und Existenzbereiche	18
2.1.6	Analytik von Rohmehl, Klinker und Zement	18
2.1.7	Zementherstellung	23
2.1.7.1	Rohstoffe und Brennstoffe	23
2.1.7.2	Brennprozess	29
2.1.7.3	Lagerung, Verpackung, Versand	39
2.1.8	Bestandteile von Normzement	40
2.1.8.1	Hauptbestandteile	40
2.1.8.2	Nebenbestandteile	44
2.1.8.3	Calciumsulfat	45
2.1.8.4	(Zement) Zusätze	45
2.1.9	Zemente nach Norm	45
2.1.9.1	Physikalische und chemische Eigenschaften europäischer Normzemente	47
2.1.9.2	Zemente mit Sondereigenschaften	48
2.1.9.3	Tiefbohrzement	48
2.1.10	Hydratation	51

- 2.1.10.1 Reaktion der Silicate (C_3S , C_2S) 52
- 2.1.10.2 Reaktionen des Aluminats (C_3A) 60
- 2.1.10.3 Hydratation des Ferrits (C_4AF) 65
- 2.1.10.4 Hydratation von Zementen 66
- 2.1.10.5 Reaktionen der Nebenbestandteile 71
- 2.1.10.6 Hydratation hüttensandhaltiger Zemente 72
- 2.1.10.7 Hydratation puzzolanischer Stoffe 73
- 2.1.10.8 Erstarrungsverzögerung 74
- 2.1.11 Das Zementsteingefüge 77
- 2.2 Baukalk 80
 - 2.2.1 Historisches und Wirtschaftliches 80
 - 2.2.2 Rohstoffvorkommen 81
 - 2.2.3 Kalkherstellung 81
 - 2.2.3.1 Gewinnung und Aufbereitung des Kalksteins 81
 - 2.2.3.2 Kalkbrennen 82
 - 2.2.3.3 Mahlen des Branntkalkes 86
 - 2.2.3.4 Kalklöschen 86
 - 2.2.4 Verwendung der Kalkprodukte 88
- 2.3 Gips 90
 - 2.3.1 Historisches und Wirtschaftliches 90
 - 2.3.2 Physikalisch-chemische Grundlagen 92
 - 2.3.2.1 Phasen im System $CaSO_4 - H_2O$ 93
 - 2.3.2.2 Kristallstrukturen, Doppelsalze, Mischkristalle 93
 - 2.3.3 Vorkommen und Rohstoffe 97
 - 2.3.3.1 Naturgips, Naturanhydrit 97
 - 2.3.3.2 Chemiegips 98
 - 2.3.3.3 REA-Gips 99
 - 2.3.4 Herstellung von Calciumsulfat-Bindemitteln 100
 - 2.3.4.1 Technische Prozesse 100
 - 2.3.4.2 Eigenschaften abbindefähiger Calciumsulfate 105
 - 2.3.5 Hydratation von $CaSO_4$ -Bindemitteln 105
 - 2.3.5.1 α - und β -Halbhydrat 109
 - 2.3.5.2 Natur-, REA- und Chemieanhydrit 109
 - 2.3.5.3 Eigenschaften verarbeiteter Gipsbaustoffe 111
 - 2.3.5.4 Andere Verwendungsgebiete 111
 - 2.3.5.5 Normen, chemische Analyse und Phasenanalyse 112
- 2.4 Weitere anorganische Bindemittel 113
 - 2.4.1 Tonerdezement 113
 - 2.4.1.1 Herstellung 113
 - 2.4.1.2 Chemische und mineralogische Zusammensetzung 114
 - 2.4.1.3 Hydratation 115
 - 2.4.1.4 Anwendungen 115
 - 2.4.2 Magnesiabinder 118
 - 2.4.3 Phosphatbinder 119
 - 2.4.3.1 Magnesiumphosphatbinder 119

- 2.4.3.2 Calciumphosphatbinder 120
- 2.4.3.3 Aluminiumphosphatbinder 121

- 3 Bauchemische Zusatzmittel 121**
 - 3.1 Verflüssiger 122
 - 3.2 Fließmittel 126
 - 3.2.1 Polykondensate 127
 - 3.2.1.1 Naphthalinsulfonsäure-Formaldehyd-Harze 127
 - 3.2.1.2 Melamin-Formaldehyd-Sulfit-Harze 130
 - 3.2.2 Polycarboxylate 135

- 4 Baustoffsysteme 139**
 - 4.1 Beton 139
 - 4.1.1 Transportbeton 140
 - 4.1.2 Beton für Fertigteile 141
 - 4.1.3 Selbstverdichtender Beton 142
 - 4.2 Mörtel 143
 - 4.2.1 Estriche 144
 - 4.2.2 Ausgleichsmassen 145
 - 4.2.3 Fliesenkleber 146
 - 4.2.4 Fugenmörtel und -massen 147
 - 4.2.5 Einpressmörtel 148
 - 4.2.6 Putze 149
 - 4.3 Gipsbauplatten 150
 - 4.4 Farben und Lacke 153
 - 4.5 Tiefbohrzementierung 154

- 5 Ausblick 155**

- 6 Literatur 158**

2

Explosivstoffe und pyrotechnische Produkte**Abschnitt 1:***Andreas Busch**Basiert auf dem Beitrag von Rolf Laffrenz und Paul Lings
(beide Dynamit Nobel AG, Leverkusen) aus der 4. Auflage***Abschnitt 2:***Uwe Krone, Dietrich Eckhardt*

- 1 **Explosivstoffe** 172
- 1.1 Allgemeines 172
 - 1.1.1 Geschichte der Explosivstoffe 172
 - 1.1.2 Definitionen 173
 - 1.1.3 Umsetzung von Explosivstoffen 174
 - 1.1.3.1 Chemische Umsetzung 174
 - 1.1.3.2 Geschwindigkeit der Umsetzung 175
 - 1.1.3.3 Zündung 176
 - 1.1.3.4 Detonationsfähigkeit 177
 - 1.1.4 Beurteilung der Explosivstoffe 179
 - 1.1.4.1 Ermittlung thermodynamischer Daten 179
 - 1.1.4.2 Ermittlung der sprengtechnischen Eigenschaften 180
 - 1.1.4.3 Empfindlichkeit gegen mechanische Beanspruchungen 180
 - 1.1.4.4 Empfindlichkeit gegen thermische Beanspruchungen 182
 - 1.1.4.5 Chemische Stabilität 183
 - 1.1.5 Sicherheit 184
 - 1.1.6 Rechtliche Vorschriften 185
 - 1.1.6.1 Sprengstoffgesetz 185
 - 1.1.6.2 Transportvorschriften 186
 - 1.1.6.3 Andere Vorschriften 187
- 1.2 Eigenschaften und Herstellung einzelner Explosivstoffe 188
 - 1.2.1 Salpetersäureester 188
 - 1.2.1.1 Glycerintrinitrat (Nitroglycerin) 188
 - 1.2.1.2 Ethylenglykoldinitrat (Nitroglykol) 193
 - 1.2.1.3 Diethylenglykoldinitrat (Diglykoldinitrat, DEGN) 194
 - 1.2.1.4 Pentaerythrittetranitrat (PETN, Nitropenta) 194

- 1.2.1.5 Cellulosenitrate (Nitrocellulosen, NC) 195
- 1.2.1.6 Mannithexanitrat (Nitromannit, MHN) 196
- 1.2.1.7 Stärkenitrate (Nitrostärken) 197
- 1.2.2 Aromatische Nitroverbindungen 198
 - 1.2.2.1 1,3,5-Trinitrobenzol 198
 - 1.2.2.2 2,4,6-Trinitrotoluol (TNT) 199
 - 1.2.2.3 2,4,6-Trinitro-*m*-xylol (Xylit) 203
 - 1.2.2.4 2,4,6-Trinitrochlorbenzol (Pikrylchlorid) 204
 - 1.2.2.5 1,3,5-Trichlor-2,4,6-trinitrobenzol (TCTNB) 204
 - 1.2.2.6 2,4,6-Trinitrophenol (Pikrinsäure) 205
 - 1.2.2.7 2,4,6-Trinitroresorcin (Tricin, Styphninsäure) 206
 - 1.2.2.8 1,3,5-Triamino-2,4,6-trinitrobenzol (TATB) 206
 - 1.2.2.9 2,4,6,2',4',6'-Hexanitrodiphenylamin (Dipicrylamin, Hexyl) 207
 - 1.2.2.10 2,4,6,2',4',6'-Hexanitrostilben (HNS) 208
- 1.2.3 Aliphatische Nitroverbindungen 208
 - 1.2.3.1 Nitromethan 208
 - 1.2.3.2 Tetranitromethan (TNM) 209
- 1.2.4 Nitroamine 209
 - 1.2.4.1 1,3,5-Trinitro-1,3,5-triazacyclohexan (Hexogen) 210
 - 1.2.4.2 1,3,5,7-Tetranitro-1,3,5,7-tetraazacyclooctan (Octogen, HMX) 213
 - 1.2.4.3 *N*-Methyl-*N*-2,4,6-tetranitroanilin (Tetryl) 214
 - 1.2.4.4 Nitroguanidin (Nigu) 215
 - 1.2.4.5 Ethylendinitroamin (EDNA) 216
 - 1.2.4.6 Tetranitroglykoluril (Sorguy) 217
- 1.2.5 Schwermetallsalze anorganischer und organischer Verbindungen 217
 - 1.2.5.1 Bleiazid 218
 - 1.2.5.2 Quecksilberfulminat (Knallquecksilber) 218
 - 1.2.5.3 Bleitritroresorcinat (Bleistyphnat, Tricinat) 219
- 1.2.6 Azoverbindungen 220
 - 1.2.6.1 Diazodinitrophenol (Dinol) 220
 - 1.2.6.2 Tetrazen (Tetrazolylguanyltetrazenhydrat) 221
- 1.2.7 Anorganische und organische Nitrate und Perchlorate 222
 - 1.2.7.1 Ammoniumperchlorat 222
 - 1.2.7.2 Methylamminnitrat (MAN) 222
 - 1.2.7.3 Ethylendiamindinitrat (EDDN, PH-Salz) 223
- 1.3 Explosivstoffmischungen 223
 - 1.3.1 Herstellungsverfahren 224
 - 1.3.2 Pulverförmige Sprengstoffe 225
 - 1.3.2.1 Schüttbare Sprengstoffe 225
 - 1.3.2.2 Wettersprengstoffe 226
 - 1.3.3 Gelatinöse Sprengstoffe 228
 - 1.3.3.1 Sprengelatine 228
 - 1.3.3.2 Gelatinedynamite bzw. Eurodyn-Sprengstoffe 228
 - 1.3.4 Wasserhaltige Sprengstoffe 229
 - 1.3.5 Schwarzpulver (Sprengpulver, Sprengsalpeter) 232

- 1.3.6 Zünd- und Anzündmittel 233
 - 1.3.6.1 Sprengkapseln 233
 - 1.3.6.2 Elektrische, elektronische und nicht-elektrische Zünder 234
 - 1.3.6.3 Sprengschnüre 234
 - 1.3.6.4 Schwarzpulverzündschnüre 235
- 1.3.7 Treibladungspulver 235
 - 1.3.7.1 Einbasige Treibladungspulver 236
 - 1.3.7.2 Zweibasige Treibladungspulver 236
 - 1.3.7.3 Dreibasige Treibladungspulver 237

- 2 Pyrotechnische Produkte 237**
 - 2.1 Die pyrotechnische Industrie in Deutschland 237
 - 2.2 Definitionen 239
 - 2.3 Der pyrotechnische Satz 239
 - 2.3.1 Komponenten 239
 - 2.3.2 Oxidationsmittel 240
 - 2.3.3 Reduktionsmittel 240
 - 2.3.4 Binder 240
 - 2.3.5 Sonstige Zuschlagstoffe 241
 - 2.4 Abbrand pyrotechnischer Sätze 241
 - 2.4.1 Die chemischen Steuerungsparameter 242
 - 2.4.2 Die physikalischen Steuerungsparameter 242
 - 2.4.3 Die Reaktionskette 243
 - 2.5 Produktgruppen 244
 - 2.5.1 Feuerwerk 244
 - 2.5.2 Pyrotechnische Produkte für technische Zwecke 247
 - 2.5.2.1 Anzündmittel 249
 - 2.5.2.2 Signalmittel 252
 - 2.5.2.3 Pyrotechnische Gasgeneratoren 254
 - 2.5.3 Produkte der militärischen Pyrotechnik 255
 - 2.5.3.1 Wurfkörper 256
 - 2.5.3.2 Pyrotechnische Munition 257
 - 2.5.3.3 Pyrotechnische Baugruppen 258
 - 2.5.3.4 Pyrotechnische Nebelmittel 258
 - 2.6 Rechtliche Aspekte (Deutschland) 260
 - 2.6.1 Sprengstoffrecht 260
 - 2.6.2 Waffenrecht 263
 - 2.6.3 Andere rechtliche Bestimmungen 263
 - 2.7 Zukünftige Entwicklungspotenziale 264
 - 2.8 Die Pyrotechnische Industrie in Deutschland 264

- 3 Literatur 265**

3

Anorganische Pigmente*Gerhard Pfaff*

- 1 Grundlagen, allgemeine Eigenschaften, Koloristik 273**
 - 1.1 Definitionen und Einteilung 273
 - 1.2 Historisches und wirtschaftliche Bedeutung 274
 - 1.3 Allgemeine chemische und physikalische Eigenschaften 275
 - 1.4 Koloristik anorganischer Pigmente 280
 - 1.4.1 Grundlagen 280
 - 1.4.2 Ursachen der Farbe bei Buntpigmenten 284
 - 1.4.3 Farbmetrik 286
 - 1.4.4 Optische Kenngrößen 287
 - 1.5 Anwendungstechnisches Verhalten 288
 - 1.5.1 Pigment-Bindemittel-Wechselwirkungen 288
 - 1.5.2 Stabilität gegenüber Witterung, Licht, Temperatur und Chemikalien 288

- 2 Allgemeine Herstellmethoden 290**
 - 2.1 Mechanische Aufbereitungsverfahren 290
 - 2.1.1 Mahlen 291
 - 2.1.2 Klassieren 292
 - 2.1.3 Mischen und Fördern 292
 - 2.2 Fällungsreaktionen 293
 - 2.3 Calcinationsverfahren 294
 - 2.4 Sonstige Methoden 295
 - 2.4.1 Schmelzflussreaktionen 295
 - 2.4.2 Hydrothermalreaktionen 296
 - 2.4.3 Reaktionen in der Gasphase 296

- 3 Weißpigmente 296**
 - 3.1 Titandioxid-Pigmente 297
 - 3.1.1 Grundlagen und Eigenschaften 297
 - 3.1.2 Herstellung 298
 - 3.1.2.1 Rohstoffe 298
 - 3.1.2.2 Sulfatverfahren 301
 - 3.1.2.3 Chloridverfahren 305

- 3.1.2.4 Nachbehandlung 307
- 3.1.2.5 Abwasser- und Abgasbehandlung 308
- 3.2 Zinksulfid-Pigmente 310
 - 3.2.1 Grundlagen und Eigenschaften 310
 - 3.2.2 Herstellung 311
- 3.3 Zinkoxid-Pigmente 314
 - 3.3.1 Grundlagen und Eigenschaften 314
 - 3.3.2 Herstellung 315
- 4 Buntpigmente 317**
 - 4.1 Eisenoxid-Pigmente 317
 - 4.1.1 Grundlagen und Eigenschaften 317
 - 4.1.1.1 Natürliche Eisenoxid-Pigmente 318
 - 4.1.1.2 Synthetische Eisenoxid-Pigmente 318
 - 4.1.2 Herstellung 320
 - 4.1.2.1 Festkörperreaktionen 321
 - 4.1.2.2 Fällungsverfahren 322
 - 4.1.2.3 Laux-Verfahren 325
 - 4.1.2.4 Weitere Verfahren für Eisenoxid-Pigmente 327
 - 4.2 Chromoxid-Pigmente 327
 - 4.2.1 Grundlagen und Eigenschaften 327
 - 4.2.2 Herstellung 328
 - 4.3 Komplexe anorganische Buntpigmente 330
 - 4.3.1 Grundlagen und Eigenschaften 330
 - 4.3.1.1 Rutil-Pigmente 332
 - 4.3.1.2 Spinell-Pigmente 333
 - 4.3.1.3 Zirkon-Pigmente (Zirconiumsilicat-Farbkörper) 334
 - 4.3.2 Herstellung 335
 - 4.4 Cadmium-Pigmente 336
 - 4.4.1 Grundlagen und Eigenschaften 336
 - 4.4.2 Herstellung 338
 - 4.5 Chromat- und Molybdat-Pigmente 339
 - 4.5.1 Grundlagen und Eigenschaften 339
 - 4.5.2 Herstellung 342
 - 4.6 Ultramarin-Pigmente 343
 - 4.6.1 Grundlagen und Eigenschaften 343
 - 4.6.2 Herstellung 345
 - 4.7 Eisenblau-Pigmente 347
 - 4.7.1 Grundlagen und Eigenschaften 347
 - 4.7.2 Herstellung 349
 - 4.8 Bismutvanadat-Pigmente 351
 - 4.8.1 Grundlagen und Eigenschaften 351
 - 4.8.2 Herstellung 353
 - 4.9 Cersulfid-Pigmente 354
 - 4.9.1 Grundlagen und Eigenschaften 354

- 4.9.2 Herstellung 356
- 4.10 Oxonitrid-Pigmente 357
 - 4.10.1 Grundlagen und Eigenschaften 357
 - 4.10.2 Herstellung 358

- 5 Schwarzpigmente (Ruß) 358**
 - 5.1 Grundlagen und Eigenschaften 358
 - 5.2 Herstellung 359
 - 5.2.1 Furnaceruß-Verfahren 361
 - 5.2.2 Gasruß- und Channelruß-Verfahren 361
 - 5.2.3 Flammruß-Verfahren 362
 - 5.2.4 Thermalruß-Verfahren 362
 - 5.2.5 Acetylenruß-Verfahren 363
 - 5.2.6 Weitere Verfahren für Ruß-Pigmente 363
 - 5.2.7 Oxidative Nachbehandlung von Ruß-Pigmenten 364

- 6 Spezialpigmente 364**
 - 6.1 Effektpigmente 364
 - 6.1.1 Perlglanzpigmente 365
 - 6.1.1.1 Grundlagen und Eigenschaften 365
 - 6.1.1.2 Herstellung 367
 - 6.1.2 Metalleffektpigmente 368
 - 6.1.2.1 Grundlagen und Eigenschaften 368
 - 6.1.2.2 Herstellung 369
 - 6.1.3 Pigmente mit Metallschichten 370
 - 6.1.3.1 Grundlagen und Eigenschaften 370
 - 6.1.3.2 Herstellung 370
 - 6.2 Transparente Pigmente 371
 - 6.2.1 Grundlagen und Eigenschaften 371
 - 6.2.2 Herstellung 371
 - 6.2.2.1 Transparente Eisenoxide 371
 - 6.2.2.2 Transparentes Eisenblau 372
 - 6.2.2.3 Transparentes Cobaltblau und Cobaltgrün 372
 - 6.2.2.4 Transparentes Titandioxid 372
 - 6.2.2.5 Transparentes Zinkoxid 373
 - 6.3 Lumineszenz-Pigmente 373
 - 6.3.1 Grundlagen und Eigenschaften 373
 - 6.3.2 Herstellung 373
 - 6.4 Magnetische Pigmente 375
 - 6.4.1 Grundlagen und Eigenschaften 375
 - 6.4.2 Herstellung 376
 - 6.4.2.1 Eisenoxid-Pigmente 376
 - 6.4.2.2 Chromdioxid-Pigmente 377
 - 6.4.2.3 Metallische Eisen-Pigmente 377
 - 6.4.2.4 Bariumferrit-Pigmente 377

6.5	Korrosionsschutzpigmente	378
6.5.1	Grundlagen und Eigenschaften	378
6.5.2	Herstellung	379
7	Füllstoffe	380
7.1	Grundlagen und Eigenschaften	380
7.2	Herstellung	382
7.2.1	Natürliche Füllstoffe	382
7.2.2	Synthetische Füllstoffe	383
8	Ausblick	384
9	Literatur	385

4

Organische Farbstoffe und Pigmente

Elmar Steingruber (1–4, 6, 7, 10), Hartmut Endriß (5, 8, 9)

- 1 Einleitung 395**
 - 1.1 Definition von organischen Farbstoffen und Pigmenten 395
 - 1.2 Geschichtliche Entwicklung der Farbstoffindustrie 397
 - 1.3 Wirtschaftliche Bedeutung 399
- 2 Aufbau von farbigen organischen Systemen 410**
 - 2.1 Physikalische Grundlagen 410
 - 2.2 Beispiele für farbige Systeme 411
- 3 Chemische Verfahrensstufen zum Aufbau von organischen Farbsystemen 413**
 - 3.1 Sulfonierung 413
 - 3.2 Nitrierung 414
 - 3.3 Halogenierung 414
 - 3.4 Oxidation 414
 - 3.5 Reduktion 415
 - 3.6 Substitution 415
 - 3.7 Kondensation 416
 - 3.8 Cyclisierung 417
 - 3.9 Alkylierung 417
 - 3.10 Komplexierung 418
 - 3.11 Diazotierung und Azokupplung 419
 - 3.12 Schwefelung 421
- 4 Organische Farbstoffe 422**
 - 4.1 Textilfarbstoffe 423
 - 4.1.1 Farbstoffe für Cellulosefasern 423
 - 4.1.1.1 Direktfarbstoffe 423
 - 4.1.1.2 Küpenfarbstoffe 424
 - 4.1.1.3 Reaktivfarbstoffe 429
 - 4.1.1.4 Schwefelfarbstoffe 434
 - 4.1.1.5 Indigo 434

Winnacker/Küchler. *Chemische Technik: Prozesse und Produkte.*

Herausgegeben von Roland Dittmeyer, Wilhelm Keim, Gerhard Kreysa, Alfred Oberholz
Band 7: Industrieprodukte.

Copyright © 2004 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

ISBN: 3-527-30772-9

- 4.1.2 Farbstoffe für Wolle und Polyamidfasern 436
- 4.1.3 Farbstoffe für Polyesterfasern 437
- 4.1.4 Farbstoffe für Polyacrylnitrilfasern 441
- 4.1.5 Farbstoffe für den Textildruck 444
- 4.1.6 Pigmente für den Textil-Pigmentdruck 444
- 4.2 Lederfarbstoffe 445
- 4.3 Papierfarbstoffe 446
- 4.4 Solventfarbstoffe 449
- 4.5 Farbstoffe für andere nichttextile Anwendungsgebiete 450
- 4.6 Functional Dyes 453

5 Organische Pigmente 456

- 5.1 Azo-Pigmente 456
 - 5.1.1 Hansagelb-Pigmente 457
 - 5.1.2 Disazo-Pigmente 458
 - 5.1.3 Benzimidazolone-Pigmente 459
 - 5.1.4 β -Naphthol-Pigmente 459
 - 5.1.5 Pyrazolochinazolone-Pigmente 460
 - 5.1.6 Naphthol AS-Pigmente 460
 - 5.1.7 Verlackte Azo-Pigmente 461
- 5.2 Polycyclische Pigmente 462
 - 5.2.1 Chinophthalon-Pigmente 462
 - 5.2.2 Anthrachinon-Pigmente 463
 - 5.2.3 Flavanthron-Pigmente 463
 - 5.2.4 Isoindolin-Pigmente 463
 - 5.2.5 Isoindolinon-Pigmente 465
 - 5.2.6 Pyranthron- und Anthanthron-Pigmente 465
 - 5.2.7 Perinon-Pigmente 466
 - 5.2.8 Chinacridon-Pigmente 466
 - 5.2.9 Diketopyrrolopyrrol-Pigmente 467
 - 5.2.10 Perylen-Pigmente 467
 - 5.2.11 Thioindigo-Pigmente 467
 - 5.2.12 Dioxazin-Pigmente 468
 - 5.2.13 Indanthron-Pigmente 469
 - 5.2.14 Triphenylmethan-Pigmente 469
- 5.3 Metallkomplex-Pigmente 470
 - 5.3.1 Nickel-Grüngold 470
 - 5.3.2 Azomethin-Kupferkomplexe 470
 - 5.3.3 Dioxim-Nickelkomplexe 471
 - 5.3.4 Isoindolinon-Cobaltkomplexe 471
 - 5.3.5 Kupferphthalocyanine 472

6 Verfahrenstechnische Prozesse zur Herstellung von organischen Farbstoffen und Pigmenten 473

- 6.1 Grundlegende Verfahrensstufen 473
 - 6.1.1 Synthesereaktionen 474
 - 6.1.2 Produktabtrennung durch Filtration 475
 - 6.1.3 Trocknung 478
 - 6.1.4 Trockenmahlung 480
 - 6.1.5 Dispergieren und Nasszerkleinerung 481
 - 6.1.6 Trockenzerkleinerung durch Kugelmühlen 484
 - 6.1.7 Zerstäubungstrocknung 485
 - 6.1.8 Mischen und Abfüllen 486
- 6.2 Apparative Ausstattung und Auslegung von Produktionsanlagen 487
- 6.3 Sicherheit und Umweltschutz bei der Herstellung 495

7 Anwendung von organischen Farbstoffen 498

- 7.1 Textilfarbstoffe 498
 - 7.1.1 Handelsformen und Standardisierung von Farbstoffen 498
 - 7.1.2 Rezepterstellung 500
 - 7.1.3 Färbeverfahren 501
 - 7.1.4 Textildruckverfahren 509
 - 7.1.5 Nachwäsche, Entwässerung und Trocknung 513
 - 7.1.6 Mess- und Regeltechnik bei Textilfärbung und Textildruck 514
- 7.2 Anwendung von Leder- und Papierfarbstoffen 515
- 7.3 Echtheiten und anwendungstechnische Anforderungen 516

8 Anwendung von organischen Pigmenten 518

- 8.1 Allgemeines 518
- 8.2 Anwendungstechnik 519
- 8.3 Lackindustrie 520
 - 8.3.1 Pigmente für Lacke 520
 - 8.3.2 Pigmentpräparationen 521
 - 8.3.3 Pigmentierung von Lacken 521
- 8.4 Druckfarbenindustrie 522
 - 8.4.1 Pigmente für Druckfarben 522
 - 8.4.2 Pigmentierung von Druckfarben 523
- 8.5 Kunststoffindustrie 524
 - 8.5.1 Pigmente für die Kunststoffindustrie 524
 - 8.5.2 Pigmentpräparationen 526
 - 8.5.3 Recycling 527
 - 8.5.4 Pigmentierung von Kunststoffen 527
- 8.6 Weitere Industriebereiche 529

9 Produktsicherheit und Toxikologie organischer Farbstoffe und Pigmente 529

- 9.1 Organische Farbstoffe 529
 - 9.1.1 Bestimmung der Exposition 529
 - 9.1.2 Akute Toxizität 530
 - 9.1.3 Sensibilisierung 530
 - 9.1.4 Mutagenität 530
 - 9.1.5 Cancerogenität 530
- 9.2 Organische Pigmente 532
 - 9.2.1 Akute Toxizität 532
 - 9.2.2 Sensibilisierung 532
 - 9.2.3 Subchronische Toxizität 532
 - 9.2.4 Chronische Toxizität 532
 - 9.2.5 Toxikologie von Azo-Farbstoffen 533
 - 9.2.6 Zersetzung von Diarylid-Pigmenten 534
 - 9.2.7 Inhalationsrisiko durch Pigmentstaub 534
- 9.3 Toxikologisch und ökologisch bedingte Einschränkungen in der Verwendung 535
 - 9.3.1 Richtlinien und Gesetze zur Verwendung von Pigmenten für Lebensmittelbedarfsgegenstände 535
 - 9.3.2 Kinderspielzeug 535
 - 9.3.3 Weitere EU Richtlinien 536

10 Literatur 536

5

Schmierstoffe

Georg Lingg, Theo Mang, Wilfried Dresel, Jürgen Braun, Jürgen Omeis

- 1 **Schmierstoffe und ihre Bedeutung** 546
- 2 **Grundöle auf Mineralölbasis** 548
 - 2.1 Historischer Überblick und Ausblick 548
 - 2.2 Chemische Charakterisierung von Mineralöl 549
 - 2.3 Raffination 551
 - 2.3.1 Destillation 551
 - 2.3.2 Entasphaltierung 552
 - 2.3.3 Traditionelle Raffinationsverfahren 553
 - 2.3.3.1 Säureraffination 553
 - 2.3.3.2 Lösungsmittelextraktion 554
 - 2.3.4 Lösungsmittelentparaffinierung 555
 - 2.3.5 Finishing 556
 - 2.4 Grundölherstellung durch Hydrieren und Hydrocracken 558
 - 2.4.1 Herstellung naphthenischer Grundöle durch Hydrierung 558
 - 2.4.2 Herstellung von Weißölen 560
 - 2.4.3 Hydrocracken von Schmierölen 560
 - 2.4.4 Katalytische Entparaffinierung 561
 - 2.4.5 Schmierölherstellung aus Wachsen 562
 - 2.4.6 Hybridprozesse 563
 - 2.4.7 All-Hydrogen-Route 564
 - 2.4.8 Gas-to-Liquids 565
 - 2.5 Siede- und Verdampfungsverhalten von Grundölen 566
 - 2.6 Grundölklassen und Bewertung der verschiedenen Grundöle aus Mineralölen 568
- 3 **Synthetische Grundöle** 568
 - 3.1 Synthetische Kohlenwasserstoffe 569
 - 3.1.1 Polyalphaolefine 569
 - 3.1.2 Polyinternolefine 571
 - 3.1.3 Polybutene 571
 - 3.1.4 Alkylaromaten 572

Winnacker/Küchler. *Chemische Technik: Prozesse und Produkte.*

Herausgegeben von Roland Dittmeyer, Wilhelm Keim, Gerhard Kreysa, Alfred Oberholz
Band 7: *Industrieprodukte.*

Copyright © 2004 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim
ISBN: 3-527-30772-9

- 3.2 Halogenierte Kohlenwasserstoffe 572
- 3.3 Synthetische Ester 573
 - 3.3.1 Ester von Carbonsäuren 573
 - 3.3.1.1 Dicarbonsäureester 573
 - 3.3.1.2 Polyolester 574
 - 3.3.1.3 Andere Carbonsäureester 575
 - 3.3.1.4 Komplexeester 575
 - 3.3.1.5 Teilfluorierte Carbonsäureester 575
 - 3.3.2 Phosphorsäureester 576
- 3.4 Polyalkylenglykole 576
- 3.5 Andere Polyether 578
 - 3.5.1 Perfluorierte Polyether 578
 - 3.5.2 Polyphenylether 579
 - 3.5.3 Polysiloxane (Siliconöle) 580
- 3.6 Andere Synthetische Grundöle 582
- 3.7 Mischungen synthetischer Grundöle 583

- 4 Additive 583**
 - 4.1 Antioxidantien (AO) 583
 - 4.1.1 Mechanismen von Oxidation und Antioxidantien 584
 - 4.1.2 Verbindungen 585
 - 4.2 Viskositätsverbesserer (VII, VI-Improver, VI-Modifier) 588
 - 4.2.1 Mechanismus der VI-Verbesserung 588
 - 4.2.2 Struktur und Chemie der Viskositätsverbesserer 589
 - 4.3 Pour Point Depressants (PPD, Stockpunktserniedriger) 589
 - 4.4 Detergenzien und Dispersantien (DD) 591
 - 4.4.1 Metallhaltige Verbindungen (Detergenzien) 592
 - 4.4.2 Aschefreie Dispersantien (AD) 593
 - 4.5 Entschäumer 593
 - 4.6 Demulgatoren 595
 - 4.7 Farbstoffe 595
 - 4.8 Hochdruck- und Verschleißzusätze (EP, Extreme-Pressure-Additive und AW, Antiwear-Additive) 595
 - 4.9 Reibungsminderer (Friction Modifiers, FM) 599
 - 4.10 Korrosionsinhibitoren 600
 - 4.10.1 Rostschutzadditive 600
 - 4.10.2 Metallpassivatoren 601

- 5 Schmierstoffe und deren Anwendung 603**
 - 5.1 Verbrennungskraftmaschinen 603
 - 5.2 Getriebeöle 604
 - 5.3 Hydraulikflüssigkeiten 604
 - 5.4 Verdichteröle 605
 - 5.5 Turbinenöle 606
 - 5.6 Metallbearbeitung 607

5.7	Schmierfette	608
5.7.1	Schmierfettkomponenten	609
5.7.2	Schmierfettstruktur	610
5.7.3	Schmierfetherstellung	611
5.8	Festschmierstoffe	611
5.8.1	Strukturschmierstoffe	612
5.8.2	Mechanische Schmierstoffe	612
5.8.3	Seifen	613
5.8.4	Chemisch aktive Substanzen	613
6	Literatur	613

6

Kunstharze und Lacke

Hans-Joachim Streitberger, Heinz-Peter Rink, Wolfgang Bremser

- 1 Einleitung 622**
 - 1.1 Definitionen und Abgrenzungen 622
 - 1.2 Wirtschaftliche Bedeutung 622
 - 1.3 Prinzipien der Zusammensetzung von Beschichtungsstoffen 624
 - 1.3.1 Filmbildner/Harze 624
 - 1.3.2 Lösemittel 625
 - 1.3.3 Pigmente, Effektstoffe und Füllstoffe 626
 - 1.3.4 Additive 626
- 2 Lackharze 627**
 - 2.1 Verarbeitungsformen von Filmbildnern 627
 - 2.1.1 Lösemittel-basierende Systeme 629
 - 2.1.2 Organische Dispersionen 630
 - 2.1.3 Wässrige Dispersionen 630
 - 2.1.4 Pulverlackharze 633
 - 2.1.5 Vernetzkomponenten 634
 - 2.1.6 Dispergierharze 634
 - 2.2 Polykondensationsharze 635
 - 2.2.1 Begriffsdefinitionen 635
 - 2.2.2 Verwendungen von Alkydharzen und Polyestern 636
 - 2.2.3 Rohstoffe 639
 - 2.2.4 Herstellung von gesättigten Polyestern 641
 - 2.2.5 Herstellung von Alkydharzen 644
 - 2.2.6 Herstellung von ungesättigten Polyesterharzen (UP-Harze) 645
 - 2.2.7 Modifizierte Polyester- und Alkydharze 646
 - 2.2.8 Wasserlösliche Alkydharze und Polyester 649
 - 2.2.9 Sonstige Polykondensationsharze 650
 - 2.3 Polyadditionsharze 651
 - 2.3.1 Begriffsdefinitionen 651
 - 2.3.2 Verwendung von Epoxid- und Polyurethanharzen 652

Winnacker-Küchler, *Chemische Technik: Prozesse und Produkte*.

Herausgegeben von Roland Dittmeyer, Wilhelm Keim, Gerhard Kreysa, Alfred Oberholz
Band 7 *Industrieprodukte*.

Copyright © 2004 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim
ISBN 3-527-30772-9

- 2.3.3 Rohstoffe und Herstellung von Epoxidharzen 653
- 2.3.4 Rohstoffe und Herstellung von Polyurethanharzen 658
- 2.3.5 Herstellung von wässrigen PUR-Dispersionen 662
- 2.3.6 Modifizierte PUR-Harze 666
- 2.4 Polymerisatharze 669
 - 2.4.1 Begriffe/Anwendungen 669
 - 2.4.2 Grundlagen der radikalischen Polymerisation 670
 - 2.4.3 Verarbeitungsformen und Syntheseverfahren 672
 - 2.4.4 Kunststoffe als Filmbildner 675
 - 2.4.5 Spezialpolymere 677
 - 2.4.6 Polyacrylate und Polymethacrylate 679
- 2.5 Vernetzer 683
 - 2.5.1 Definitionen 683
 - 2.5.2 Anwendungen und Typen für flüssige Lacke 684
 - 2.5.2.1 Kondensationsreaktionen 684
 - 2.5.2.2 Additionsreaktionen 688
 - 2.5.3 Typen für Pulverlacke 695
- 2.6 Harze für UV- oder Elektronenstrahl-Härtung 698
 - 2.6.1 Definition und Anwendungen 698
 - 2.6.2 Rohstoffe und Herstellung 699
- 2.7 Spezialharze 702
 - 2.7.1 Sol-Gel-Systeme für kratzfeste Beschichtungen 703
 - 2.7.2 Fluorharze für wartungsfreie Beschichtungen 703
- 2.8 Ausblick 704

- 3 Lacke und Beschichtungsverfahren 704**
 - 3.1 Rohstoffe 705
 - 3.1.1 Lösemittel 705
 - 3.1.2 Pigmente und Füllstoffe 710
 - 3.1.3 Additive 712
 - 3.2 Fertigung 713
 - 3.2.1 Flüssiglacke 713
 - 3.2.2 Pulverlacke 715
 - 3.3 Applikationsverfahren 716
 - 3.3.1 Vorbemerkung 716
 - 3.3.2 Tauchen 717
 - 3.3.3 Elektrottauchen 717
 - 3.3.4 Autophoresis 719
 - 3.3.5 Wirbelsintern 719
 - 3.3.6 Streichen, Rollen, Walzen, Gießen 720
 - 3.3.7 Spritzen und Sprühen 721
 - 3.4 Trocknung 725
 - 3.4.1 Trocknung und Härtung durch Wärmeübertragung 725
 - 3.4.2 Härtung durch Strahlung 726
 - 3.5 Sicherheit, Umwelt und Gesundheit 727

3.6	Prüfungen und Qualitätskonzepte	727
3.7	Ausblick	729
4	Literatur	729

7

Klebtechnik

Walter Brockmann, Paul Ludwig Geiß, Jürgen Klingen, Bernhard Schröder
(Dieser Beitrag entstand unter der Mitarbeit von Bernd Kühneweg, Jörg Naß und Petra Wolters)

- 1 **Position der Klebtechnik im Bereich der Verbindungsverfahren** 738
- 2 **Geschichtliche Entwicklung** 740
- 3 **Adhäsion und die Klassifizierung von Klebstoffen** 743
 - 3.1 Adhäsion 743
 - 3.2 Klassifizierung von Klebstoffen 745
 - 3.3 Physikalisch härtende Klebstoffe 747
 - 3.3.1 Kontaktklebstoffe 747
 - 3.3.2 Plastisole 748
 - 3.3.3 Schmelzklebstoffe 748
 - 3.3.4 Permanent-klebrige, nicht härtende Klebstoffe 749
 - 3.4 Chemisch härtende Klebstoffe 750
 - 3.4.1 Zweikomponenten-Klebstoffe 750
 - 3.4.2 Warmhärtende Einkomponenten-Klebstoffe 751
 - 3.4.3 Kalthärtende Einkomponenten-Klebstoffe 751
 - 3.4.4 Mikroverkapselte Klebstoffe 752
 - 3.5 Allgemeine Verarbeitungshinweise 752
- 4 **Aufbau und Eigenschaften der Klebstoffe** 753
 - 4.1 Haftklebstoffe 753
 - 4.1.1 Einführung 753
 - 4.1.2 Chemie der Haftklebstoffe 754
 - 4.1.3 Physikalische Eigenschaften der Haftklebstoffe 757
 - 4.1.3.1 Zeitabhängiges Verhalten von Haftklebstoffen 758
 - 4.1.3.2 Klebrigkeit (Tack) 758
 - 4.1.3.3 Schälwiderstand 759
 - 4.1.3.4 Kriechverhalten (Creep) 759
 - 4.2 Kontaktklebstoffe 760
 - 4.2.1 Zusammensetzung der Kontaktklebstoffe 760

- 4.2.2 Verhalten und Anwendungen der Kontaktklebstoffe 761
- 4.3 Schmelzklebstoffe 762
 - 4.3.1 Thermoplastische Schmelzklebstoffe 763
 - 4.3.2 Heißsiegel-Klebstoffe 764
 - 4.3.3 Platisole 765
 - 4.3.4 Schmelzkleblacke 765
 - 4.3.5 Reaktive Schmelzklebstoffe auf Polyurethanbasis 765
 - 4.3.6 Reaktive Epoxidharz-Schmelzklebstoffe 766
 - 4.3.7 Trends in der Schmelzklebstoff-Technik 766
- 4.4 Phenolharz-Klebstoffe 767
 - 4.4.1 Chemie der Phenolharz-Klebstoffe 767
 - 4.4.2 Verhalten und Anwendungen der Phenolharz-Klebstoffe 770
- 4.5 Epoxidharz-Klebstoffe 771
 - 4.5.1 Epoxidharze 771
 - 4.5.2 Reaktionen von Epoxidharzen 772
 - 4.5.3 Eigenschaften von Epoxidharz-Klebstoffen 774
 - 4.5.4 Anwendungen 775
- 4.6 Polyurethan-Klebstoffe 776
 - 4.6.1 Darstellung von Polyurethanen 776
 - 4.6.2 Verwendete Rohmaterialien für die Klebstoffanwendung 778
 - 4.6.3 Struktur und Eigenschaften 779
 - 4.6.3.1 Einkomponenten-Polyurethan-Klebstoffe 780
 - 4.6.3.2 Zweikomponenten-Polyurethan-Klebstoffe 780
- 4.7 Acrylat-Klebstoffe 780
 - 4.7.1 Physikalisch härtende Acrylate 781
 - 4.7.1.1 Lösungsmittelhaltige Klebstoffe 781
 - 4.7.1.2 Dispersionsklebstoffe 781
 - 4.7.1.3 Kontaktklebstoffe auf Acrylatbasis 781
 - 4.7.2 Chemisch härtende Acrylate 781
 - 4.7.2.1 Anaerob härtende Acrylate 781
 - 4.7.2.2 Cyanacrylate 782
 - 4.7.2.3 Strahlenhärtende Acrylate 783
- 4.8 Silikone 784
 - 4.8.1 Einkomponenten-Systeme 784
 - 4.8.2 Zweikomponenten-Systeme 785
 - 4.8.2.1 Kondensationsvernetzung 785
 - 4.8.2.2 Additionsvernetzung 786
- 5 Anwendungen der Klebtechnik 786**
 - 5.1 Einleitung 786
 - 5.2 Transportwesen 788
 - 5.2.1 Flugzeugbau 789
 - 5.2.2 Kraftfahrzeugbau 791
 - 5.2.3 Eisenbahnwesen 794
 - 5.2.4 Schiffbau 795

- 5.3 Bauwesen 796
- 5.4 Elektronikindustrie 797
 - 5.4.1 Thermisch leitfähige Klebstoffe 797
 - 5.4.2 Elektrisch leitfähige Klebstoffe 799
 - 5.4.3 Underfill-Materialien 800
 - 5.4.4 Funktionelle Klebebänder 801
 - 5.4.5 Spacer 802
 - 5.4.6 Labeling 802
- 5.5 Maschinen- und Apparatebau 802
 - 5.5.1 Maschinenbau 803
 - 5.5.2 Haushaltsgeräteindustrie 803
 - 5.5.3 Motoren- und Getriebebau 804
 - 5.5.4 Konstruktionen aus rostfreiem Stahl 805
- 5.6 Medizin 806
 - 5.6.1 Medizinprodukte mit kurzzeitigem, oberflächlichem Körperkontakt 806
 - 5.6.2 Medizinprodukte mit Körperkontakt bis zu 30 Tagen 806
 - 5.6.3 Medizinprodukte mit Körperkontakt über 30 Tage 807
- 6 Zukunftstrends 809**
 - 6.1 Wirtschaftliche Trends 809
 - 6.2 Technische Trends 810
- 7 Literatur 811**

8

Elektronische Halbleitermaterialien

Wilfried von Ammon (3.1.2.1–3.1.2.3), Christian Heedt (3.1.2.4.1–3.1.2.4.7), Wolfgang Jantz (4.1–4.8, 4.9.1, 4.10), Rolf Knobel (3.1.3, 4.9.2), Ulrich Lambert (3.1.2.4.8–3.1.2.4.10), Robert Maurer (5), H. Jörg Osten (3.2, 3.3), Peter Wagner (1, 2, 3.1.1, 3.4, 6)

- 1 **Einleitung** 817
- 2 **Physikalische Grundlagen** 819
 - 2.1 Elektronische und phononische Bandstruktur 820
 - 2.2 Störstellen und Gitterdefekte 826
 - 2.3 Ladungsträgerstatistik und Transporteigenschaften 829
 - 2.4 Optische Eigenschaften 835
 - 2.5 Oberflächen, Grenzflächen und Raumladungszonen 837
 - 2.6 Anwendungen und technische Bedeutung der Kenngrößen 838
 - 2.7 Messverfahren 842
- 3 **Elementhalbleiter** 844
 - 3.1 Silicium 844
 - 3.1.1 Grundlegende Kenngrößen 844
 - 3.1.2 Silicium für Elektronikanwendungen 853
 - 3.1.2.1 Herstellung von Rohsilicium 853
 - 3.1.2.2 Herstellung von polykristallinem Reinstsilicium 856
 - 3.1.2.3 Herstellung von Siliciemeinkristallen 858
 - 3.1.2.4 Herstellung von Silicium-Scheiben 875
 - 3.1.3 Silicium für photovoltaische Anwendungen 896
 - 3.1.3.1 Einführung 896
 - 3.1.3.2 Materialanforderungen 898
 - 3.1.3.3 Aufbau und Wirkungsweise kristalliner Solarzellen 900
 - 3.1.3.4 Kristallisation von Silicium für Solarzellen 902
 - 3.1.3.5 Sägeverfahren 907
 - 3.1.3.6 Amorphes Silicium 908
 - 3.2 Germanium 910
 - 3.2.1 Allgemein 910
 - 3.2.2 Vorkommen und Gewinnung 911

Winnacker/Küchler. *Chemische Technik: Prozesse und Produkte.*

Herausgegeben von Roland Dittmeyer, Wilhelm Keim, Gerhard Kreysa, Alfred Oberholz
Band 7: *Industrieprodukte.*

Copyright © 2004 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

ISBN: 3-527-30772-9

- 3.2.3 Physikalische Eigenschaften 915
- 3.3 Silicium-Germanium-Schichten 919
 - 3.3.1 Allgemein 919
 - 3.3.2 Herstellung durch Heteroepitaxie 921
 - 3.3.2.1 Epitaxieformen 921
 - 3.3.2.2 Pseudomorphes Wachstum und Spannungsrelaxation 921
 - 3.3.3 Physikalische Eigenschaften verspannter $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ -Schichten 924
 - 3.3.4 Ternäre Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Schichten 926
 - 3.3.5 Gegenwärtige Anwendungen in der Mikroelektronik 929
 - 3.3.5.1 Allgemein 929
 - 3.3.5.2 SiGe-Heterobipolartransistoren 929
 - 3.3.5.3 SiGe-Heterofeldeffekttransistoren 931
- 3.4 Andere Elementhalbleiter 934

- 4 Verbindungshalbleiter 935**
 - 4.1 Einführung 935
 - 4.2 Übersicht der technologisch relevanten Verbindungshalbleiter 939
 - 4.3 Rohstoffe 940
 - 4.4 Kristallzüchtung 941
 - 4.5 Optimierung der Kristallqualität 946
 - 4.6 Charakterisierung 951
 - 4.7 Scheibenherstellung 953
 - 4.8 Standardisierung 954
 - 4.9 Anwendungen 955
 - 4.9.1 Elektronische und optoelektronische Anwendungen 955
 - 4.9.2 Dünnschichtsolarzellen aus Verbindungshalbleitern 956
 - 4.9.2.1 Aufbau und Eigenschaften von Solarzellen aus Kupfer-Indium-Diselenid 956
 - 4.9.2.2 Dünnschichtsolarzellen aus Cadmiumtellurid 957
 - 4.10 Ausblick 958

- 5 Organische Halbleiter 959**

- 6 Ausblick 961**

- 7 Literatur 963**

9

Informations- und Kommunikationstechnik

Norbert Frühauf (6.3.3), Norbert Grote (4.4.1), Volker Laible (4.4.2.3, 6.2.4, 6.3.4.2), Peter Kersten (6.4.2.1, 6.4.2.2), Hans-Jürgen Matt (6.2.2, 6.3.2), Harald Orlamünder (1, 4.1, 5, 6.1, 6.2, 6.2.3, 6.3.4.1), Thomas Pfeiffer (4.4.3), Herbert Schaaf (2), Gustav Veith (4.5), Alexander Weiss (4.2, 4.3.2, 4.3.3), Wiltraud Wischmann (4.3.1), Roman E. Wochele (3, 6.3.1)

- 1 Einleitung 977**
 - 1.1 Grundlagen 977
 - 1.2 Geschichtliche Entwicklung 980
 - 1.2.1 Die Computertechnik – Rechnen und Steuern 980
 - 1.2.2 Die Nachrichtentechnik – Speichern und Übertragen 981
 - 1.2.3 Computertechnik und Nachrichtentechnik treffen sich 983
 - 1.3 Die Zukunft: Konvergenz 984
 - 1.4 Der Markt der Informations- und Kommunikationstechnik 986
 - 1.5 Die Chemie in der Informations- und Kommunikationstechnik 986

- 2 Basismaterialien der Elektrotechnik 988**
 - 2.1 Grundlagen 988
 - 2.2 Basismaterialien für Schaltungsträger 989
 - 2.2.1 Basismaterialien für Leiterplatten 989
 - 2.2.2 Basismaterialien für Hybride 992
 - 2.3 Kontaktmaterialien 993
 - 2.3.1 Schaltkontakte 993
 - 2.3.2 Steckkontakte 994
 - 2.4 Weichlote 995

- 3 Speichern von Informationen 997**
 - 3.1 Einführung 997
 - 3.2 Grundlagen 1000
 - 3.3 Magnetische Speichermedien 1002
 - 3.3.1 Magnetbänder 1004
 - 3.3.2 Festplatten 1006
 - 3.4 Optische Speichermedien 1012

- 3.4.1 Compact Disc 1012
- 3.4.2 CD-R und CD-RW 1018
- 3.4.3 DVD, Digital Versatile Disc 1022
- 3.4.4 DVD-R, DVD+R, DVD-RW, DVD+RW, DVD-RAM 1023
- 3.4.5 Bluray-Disc, BD 1023

- 4 Übertragen von Informationen 1025**
 - 4.1 Grundlagen 1025
 - 4.2 Elektrische Kabel 1027
 - 4.2.1 Materialien für elektrische Kabel 1028
 - 4.2.1.1 Leiter und ihre Ummantelung 1028
 - 4.2.1.2 Kabelmantel 1031
 - 4.2.1.3 Dielektrikum 1032
 - 4.2.2 Typen von elektrischen Kabeln 1033
 - 4.2.2.1 Kabel mit Kupferdoppeladern 1033
 - 4.2.2.2 Koaxialkabel 1034
 - 4.2.2.3 Seekabel 1035
 - 4.3 Optische Kabel (Glasfasern) 1036
 - 4.3.1 Materialien für optische Fasern 1037
 - 4.3.1.1 Physikalische Grundlagen der Lichtführung in optischen Fasern 1037
 - 4.3.1.2 Überblick über die Materialklassen 1039
 - 4.3.1.3 Glas 1040
 - 4.3.1.4 Polymere 1047
 - 4.3.2 Typen von Fasern 1048
 - 4.3.3 Typen von Glasfaserkabeln und ihre Aufbauelemente 1052
 - 4.4 Optische Komponenten 1057
 - 4.4.1 Optische Wandler 1057
 - 4.4.1.1 Halbleitermaterialien für aktive optische Komponenten 1058
 - 4.4.1.2 Optische Sender 1059
 - 4.4.1.3 Optische Empfänger 1063
 - 4.4.1.4 Optische Signalverarbeitung 1065
 - 4.4.2 Passive Optische Komponenten 1067
 - 4.4.2.1 Faseroptische Komponenten 1067
 - 4.4.2.2 Integrierte Optische Komponenten 1068
 - 4.4.2.3 Mikromechanische Komponenten 1072
 - 4.4.3 Optische Verstärker 1075
 - 4.4.3.1 EDFAs und andere Seltenerd-dotierte Faserverstärker 1076
 - 4.4.3.2 Raman-Faserverstärker 1085
 - 4.4.3.3 Halbleiter-Verstärker 1086
 - 4.5 Praxisbeispiel – Optische DWDM-Übertragung 1088

- 5 Verarbeiten von Informationen 1092**
 - 5.1 Einleitung 1092
 - 5.2 Aufbau eines Computers 1093

- 5.3 Typen von Computern 1095
- 5.4 Prozessorchips und Technologiefragen 1097

- 6 Ein- und Ausgabe von Informationen 1101**
 - 6.1 Grundlagen 1101
 - 6.2 Eingabegeräte 1103
 - 6.2.1 Taktile Eingaben 1103
 - 6.2.1.1 Computertastatur 1103
 - 6.2.1.2 Computermaus 1104
 - 6.2.1.3 Touch Screen 1105
 - 6.2.1.4 Grafiktablett 1105
 - 6.2.2 Akustische Eingabe von Tonsignalen 1105
 - 6.2.2.1 Kohlemikrofon 1107
 - 6.2.2.2 Elektrodynamische Mikrofone 1107
 - 6.2.2.3 Magnetische Mikrofone 1108
 - 6.2.2.4 Kondensator Mikrofone 1108
 - 6.2.2.5 Piezoelektrische Mikrofone 1111
 - 6.2.2.6 Optische Mikrofone 1112
 - 6.2.2.7 Mikrofon Zusätze: Stative und Windschutz 1112
 - 6.2.3 Optische Eingaben 1112
 - 6.2.3.1 Photoeffekt 1112
 - 6.2.3.2 Bauelemente zur Erkennung von Licht 1113
 - 6.2.3.3 Kameraröhren 1115
 - 6.2.3.4 Halbleiterkameras 1117
 - 6.2.3.5 Scanner 1120
 - 6.2.4 Erfassung physikalischer Parameter (Sensoren) 1120
 - 6.3 Ausgabeapparate 1123
 - 6.3.1 Drucktechniken 1123
 - 6.3.1.1 Einleitung 1123
 - 6.3.1.2 Anforderungen 1123
 - 6.3.1.3 Impact-Drucker 1124
 - 6.3.1.4 Non-Impact-Drucker 1129
 - 6.3.2 Akustische Ausgabe von Tonsignalen 1145
 - 6.3.2.1 Physikalische Grundlagen und Eigenschaften 1145
 - 6.3.2.2 Das elektrodynamische Prinzip 1146
 - 6.3.2.3 Das Isodynamische Prinzip 1150
 - 6.3.2.4 Das elektrostatische Prinzip 1151
 - 6.3.2.5 Das piezoelektrische Prinzip 1152
 - 6.3.2.6 Plasma- oder Ionen-Lautsprecher 1153
 - 6.3.2.7 Schallabstrahlung: Lautsprecherboxen und Hörner 1153
 - 6.3.3 Anzeigetechniken (optische Ausgaben) 1153
 - 6.3.3.1 Einleitung 1153
 - 6.3.3.2 Kathodenstrahlröhren 1154
 - 6.3.3.3 Flüssigkristallanzeige 1155
 - 6.3.3.4 Anorganische und organische Leuchtdioden 1158

- 6.3.3.5 Plasmabildschirme 1160
- 6.3.3.6 Elektrophoretische Anzeigen 1161
- 6.3.3.7 Sonstige Technologien 1162
- 6.3.4 Sonstige Ausgabetechniken 1162
 - 6.3.4.1 Taktile Ausgabeverfahren 1162
 - 6.3.4.2 Mikromechanische Aktuatoren 1163

- 7 **Literatur** 1165