

*Martin Bertau, Armin Müller, Peter Fröhlich und  
Michael Katzberg*

## **Industrielle Anorganische Chemie**

Mit einem Geleitwort von K.H. Büchel, H.-H. Moretto  
und P. Woditsch

Vierte, vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage

**WILEY-VCH**  
Verlag GmbH & Co. KGaA

## Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 4. Auflage XIX

Kurzbiografien der Autoren XXI

Geleitwort XXIII

<b>1</b>	<b>Anorganische Grundprodukte</b>	<b>1</b>
1.1	Wasserstoff und seine Verbindungen	1
1.1.1	Wasserstoff	1
1.1.1.1	Allgemeines	1
1.1.1.2	Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung	1
1.1.1.3	Vorkommen und Rohstoffe	3
1.1.1.4	Herstellung von Wasserstoff	3
1.1.1.5	Neue Trends zur Synthese von Wasserstoff	6
1.1.2	Wasser	8
1.1.2.1	Allgemeines	9
1.1.2.2	Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung	9
1.1.2.3	Vorkommen und Rohstoffe	10
1.1.2.4	Aufbereitung von Wasser	11
1.1.3	Wasserstoffperoxid und anorganische Peroxoverbindungen	20
1.1.3.1	Allgemeines	21
1.1.3.2	Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung	22
1.1.3.3	Wasserstoffperoxid	24
1.1.3.4	Peroxoverbindungen	28
1.2	Stickstoff und Stickstoffverbindungen	31
1.2.1	Allgemeines	32
1.2.2	Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung	33
1.2.3	Vorkommen und Rohstoffe	37
1.2.4	Stickstoffverbindungen	38
1.3	Phosphor und seine Verbindungen	50
1.3.1	Allgemeines	50
1.3.2	Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung	51

- 1.3.3 Vorkommen und Rohstoffe für Phosphor und anorganische Phosphorverbindungen 56
- 1.3.4 Herstellung von Phosphor 59
  - 1.3.4.1 Herstellung von weißem Phosphor 59
  - 1.3.4.2 Herstellung von rotem Phosphor 61
- 1.3.5 Herstellung von Phosphorverbindungen 62
  - 1.3.5.1 Phosphorsäure 62
  - 1.3.5.2 Phosphorpentoxid 71
  - 1.3.5.3 Phosphorpentasulfid 72
  - 1.3.5.4 Halogenide des Phosphors 72
  - 1.3.5.5 Säuren und Salze des Phosphors mit  $P^{<5+}$  74
  - 1.3.5.6 Organische Verbindungen des Phosphors 75
- 1.4 Schwefel und Schwefelverbindungen 79
  - 1.4.1 Allgemeines 80
  - 1.4.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 80
  - 1.4.3 Vorkommen und Rohstoffe 81
  - 1.4.4 Herstellung von Schwefel 82
    - 1.4.4.1 Schwefel aus Elementarschwefelvorkommen 82
    - 1.4.4.2 Schwefel aus Schwefelwasserstoff und Schwefeldioxid 82
    - 1.4.4.3 Schwefel aus Pyrit 83
  - 1.4.5 Herstellung und Verwendung von Schwefelverbindungen 83
    - 1.4.5.1 Schwefeldioxid, 100 %ig 83
    - 1.4.5.2 Schwefeltrioxid, 100 %ig 84
    - 1.4.5.3 Schwefelsäure 85
    - 1.4.5.4 Dischwefeldichlorid 95
    - 1.4.5.5 Schwefeldichlorid 95
    - 1.4.5.6 Thionylchlorid 95
    - 1.4.5.7 Sulfurylchlorid 96
    - 1.4.5.8 Chlorsulfonsäure 96
    - 1.4.5.9 Fluorsulfonsäure 97
    - 1.4.5.10 Salze der Schwefligen Säure 97
    - 1.4.5.11 Natriumthiosulfat und Ammoniumthiosulfat 97
    - 1.4.5.12 Natriumdithionit und Natriumhydroxymethansulfinat 98
    - 1.4.5.13 Schwefelwasserstoff 99
    - 1.4.5.14 Natriumsulfid 100
    - 1.4.5.15 Natriumhydrogensulfid 100
    - 1.4.5.16 Schwefelkohlenstoff 100
  - 1.5 Halogene und Halogenverbindungen 101
    - 1.5.1 Fluor und Fluorverbindungen 101
      - 1.5.1.1 Allgemeines 102
      - 1.5.1.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung von Fluor 102
      - 1.5.1.3 Vorkommen und Rohstoffe 103
      - 1.5.1.4 Herstellung von Fluor 105
      - 1.5.1.5 Herstellung und Verwendung von Fluorverbindungen 107
    - 1.5.2 Chlor und Chlorverbindungen 117

- 1.5.2.1 Allgemeines 118
- 1.5.2.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 118
- 1.5.2.3 Vorkommen und Rohstoffe 120
- 1.5.2.4 Herstellung von Chlor 120
- 1.5.2.5 Herstellung und Verwendung von Chlorverbindungen 131
- 1.5.3 Brom und Bromverbindungen 141
- 1.5.3.1 Allgemeines 142
- 1.5.3.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 142
- 1.5.3.3 Vorkommen und Rohstoffe 144
- 1.5.3.4 Herstellung von Brom 144
- 1.5.3.5 Herstellung von Bromverbindungen 146
- 1.5.4 Iod und Iodverbindungen 147
- 1.5.4.1 Allgemeines 147
- 1.5.4.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 148
- 1.5.4.3 Vorkommen und Rohstoffe 149
- 1.5.4.4 Herstellung von Iod 149
- 1.5.4.5 Herstellung von Iodverbindungen 150
- 1.6 Technische Gase 151
- 1.6.1 Allgemeines 151
- 1.6.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 153
- 1.6.3 Herstellung 155
- 1.6.3.1 Sauerstoff und Stickstoff 155
- 1.6.3.2 Edelgase 156
- 1.6.3.3 Kohlenstoffmonoxid 160
- 1.6.3.4 Kohlenstoffdioxid 163
- 2 Mineralische Dünger 171**
- 2.1 Phosphorhaltige Düngemittel 171
- 2.1.1 Wirtschaftliche Bedeutung 172
- 2.1.1.1 Gesamtphosphordünger 172
- 2.1.1.2 Superphosphat 173
- 2.1.1.3 Tripelsuperphosphat 173
- 2.1.1.4 Ammoniumphosphate 174
- 2.1.1.5 Thomasphosphate 174
- 2.1.2 Rohstoffe 174
- 2.1.3 Gewinnung der Phosphate 175
- 2.1.3.1 Schwefelsäureaufschluss zur Herstellung von Superphosphat 175
- 2.1.3.2 Phosphorsäureaufschluss 176
- 2.1.3.3 Salpetersäureaufschluss 176
- 2.1.3.4 Aufschluss durch Glühverfahren 177
- 2.1.3.5 Thomasphosphat 177
- 2.1.3.6 Ammoniumphosphate 177
- 2.1.3.7 Nitrophosphate 179
- 2.2 Stickstoffhaltige Düngemittel 180
- 2.2.1 Wirtschaftliche Bedeutung 180

- 2.2.1.1 Ammoniumsulfat 181
- 2.2.1.2 Ammoniumnitrat 182
- 2.2.1.3 Harnstoff 182
- 2.2.2 Herstellung von stickstoffhaltigen Düngemitteln 183
  - 2.2.2.1 Ammoniumsulfat 184
  - 2.2.2.2 Harnstoff 184
  - 2.2.2.3 Ammoniumnitrat 187
- 2.3 Kaliumhaltige Düngemittel 189
  - 2.3.1 Vorkommen von Kalisalzen 189
  - 2.3.2 Wirtschaftliche Bedeutung von kaliumhaltigen Düngemitteln 190
  - 2.3.3 Herstellung von kaliumhaltigen Düngemitteln 191
    - 2.3.3.1 Kaliumchlorid 191
    - 2.3.3.2 Kaliumsulfat 193
    - 2.3.3.3 Kaliumnitrat 194
  
- 3 Metalle und ihre Verbindungen 197**
  - 3.1 Alkali- und Erdalkalimetalle und ihre Verbindungen 197
    - 3.1.1 Alkalimetalle und ihre Verbindungen 197
      - 3.1.1.1 Lithium und seine Verbindungen 198
      - 3.1.1.2 Natrium und seine Verbindungen 206
      - 3.1.1.3 Kalium und seine Verbindungen 217
      - 3.1.1.4 Rubidium und seine Verbindungen 220
      - 3.1.1.5 Caesium und seine Verbindungen 221
    - 3.1.2 Erdalkalimetalle und ihre Verbindungen 223
      - 3.1.2.1 Allgemeines 223
      - 3.1.2.2 Beryllium und seine Verbindungen 223
      - 3.1.2.3 Magnesium und seine Verbindungen 225
      - 3.1.2.4 Calcium und seine Verbindungen 230
      - 3.1.2.5 Strontium und seine Verbindungen 234
      - 3.1.2.6 Barium und seine Verbindungen 237
  - 3.2 Aluminium und seine Verbindungen 240
    - 3.2.1 Allgemeines 241
    - 3.2.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 241
      - 3.2.2.1 Aluminiummetall 241
      - 3.2.2.2 Aluminiumverbindungen 242
    - 3.2.3 Vorkommen und Rohstoffe 244
    - 3.2.4 Herstellung von Aluminium 245
      - 3.2.4.1 Recycling 246
    - 3.2.5 Herstellung von Aluminiumverbindungen 246
  - 3.3 Eisen und Stahl 248
    - 3.3.1 Allgemeines 249
    - 3.3.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 249
    - 3.3.3 Vorkommen und Rohstoffe 251
    - 3.3.4 Eisen, metallisch 252
      - 3.3.4.1 Hochofenprozess 253

- 3.3.5 Stahl 256
  - 3.3.5.1 Wind- und Herdfrischverfahren 256
  - 3.3.5.2 Elektroschmelzverfahren 257
  - 3.3.5.3 Edelstahl 258
- 3.3.6 Eisenverbindungen 258
- 3.4 Kupfer 260
  - 3.4.1 Allgemeines 260
  - 3.4.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 261
    - 3.4.2.1 Kupfermetall 261
    - 3.4.2.2 Kupferverbindungen 261
  - 3.4.3 Vorkommen und Rohstoffe 262
    - 3.4.3.1 Sekundärrohstoffe 263
  - 3.4.4 Herstellung von Kupfer 264
    - 3.4.4.1 Pyrometallurgische Herstellung von Kupfer 264
    - 3.4.4.2 Kupferraffination 267
    - 3.4.4.3 Hydrometallurgische Kupfergewinnung 269
  - 3.4.5 Herstellung von Kupferverbindungen 273
- 3.5 Silicium und seine anorganischen Verbindungen 275
  - 3.5.1 Allgemeines 275
  - 3.5.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 276
  - 3.5.3 Vorkommen und Rohstoffe 277
  - 3.5.4 Herstellung von Ferrosilicium und technischem Silicium 277
  - 3.5.5 Herstellung von anorganischen Siliciumverbindungen 279
    - 3.5.5.1 Siliciumhalogenide 280
    - 3.5.5.2 Kieselsäureester  $\text{Si}(\text{OR})_4$  281
- 3.6 Blei und seine Verbindungen 281
  - 3.6.1 Allgemeines 281
  - 3.6.2 Wirtschaftliche Bedeutung 282
  - 3.6.3 Vorkommen 283
  - 3.6.4 Herstellung 284
  - 3.6.5 Bleiverbindungen 287
    - 3.6.5.1 Bleiacetate, -carbonate 287
    - 3.6.5.2 Bleihalogenide 288
    - 3.6.5.3 Bleioxide 288
    - 3.6.5.4 Bleipigmente 291
    - 3.6.5.5 Bleisulfate 291
    - 3.6.5.6 Organische Bleiverbindungen 291
- 3.7 Zinn und seine Verbindungen 293
  - 3.7.1 Allgemeines 293
  - 3.7.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 293
  - 3.7.3 Vorkommen und Rohstoffe 294
  - 3.7.4 Herstellung von Zinn 295
  - 3.7.5 Herstellung und Verwendung von Zinnverbindungen 295
- 3.8 Buntmetalle 296
  - 3.8.1 Titan und seine Verbindungen 296

3.8.1.1	Allgemeines	296
3.8.1.2	Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung	296
3.8.1.3	Vorkommen und Rohstoffe	297
3.8.1.4	Herstellung von Titan	297
3.8.2	Vanadium	298
3.8.2.1	Allgemeines	298
3.8.2.2	Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung	298
3.8.2.3	Vorkommen und Rohstoffe	299
3.8.2.4	Vanadium, metallisch	300
3.8.2.5	Ferrovandium	300
3.8.2.6	Vanadiumverbindungen	301
3.8.3	Chrom und seine Verbindungen	301
3.8.3.1	Vorkommen	302
3.8.3.2	Herstellung	302
3.8.3.3	Wirtschaftliche Bedeutung	304
3.8.3.4	Chromverbindungen	306
3.8.4	Wolfram und seine Verbindungen	313
3.8.4.1	Allgemeines	313
3.8.4.2	Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung	314
3.8.4.3	Vorkommen und Rohstoffe	315
3.8.4.4	Gewinnung von Wolfram	316
3.8.4.5	Gewinnung von Wolframverbindungen	317
3.8.5	Mangan und Manganverbindungen	317
3.8.5.1	Allgemeines	317
3.8.5.2	Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung	318
3.8.5.3	Vorkommen und Rohstoffe	319
3.8.5.4	Herstellung von Mangan	320
3.8.5.5	Herstellung von Manganverbindungen	321
3.8.6	Molybdän und seine Verbindungen	326
3.8.6.1	Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung	327
3.8.6.2	Vorkommen und Rohstoffe	328
3.8.6.3	Gewinnung von Molybdän	329
3.8.6.4	Ferromolybdän	329
3.8.6.5	Gewinnung der Molybdänverbindungen	330
3.8.7	Cobalt	330
3.8.7.1	Allgemeines	330
3.8.7.2	Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung	331
3.8.7.3	Vorkommen und Rohstoffe	333
3.8.7.4	Herstellung von Cobalt	334
3.8.7.5	Herstellung von Cobaltverbindungen	338
3.8.8	Nickel	339
3.8.8.1	Allgemeines	339
3.8.8.2	Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung	340
3.8.8.3	Vorkommen und Rohstoffe	341
3.8.8.4	Herstellung von Nickel	342

- 3.8.8.5 Herstellung von Nickelverbindungen 348
- 3.8.9 Zink und seine Verbindungen 350
  - 3.8.9.1 Allgemeines 350
  - 3.8.9.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 350
  - 3.8.9.3 Vorkommen und Rohstoffe 351
  - 3.8.9.4 Herstellung von Zink 351
  - 3.8.9.5 Herstellung und Verwendung von Zinkverbindungen 352
- 3.9 Edelmetalle 352
  - 3.9.1 Gold und seine Verbindungen 352
    - 3.9.1.1 Allgemeines 353
    - 3.9.1.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 353
    - 3.9.1.3 Vorkommen und Rohstoffe 354
    - 3.9.1.4 Gewinnung und Herstellung von Gold 356
    - 3.9.1.5 Herstellung von Goldverbindungen 357
  - 3.9.2 Silber und seine Verbindungen 358
    - 3.9.2.1 Allgemeines 358
    - 3.9.2.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 359
    - 3.9.2.3 Vorkommen und Rohstoffe 359
    - 3.9.2.4 Herstellung von Silber 360
    - 3.9.2.5 Herstellung und Verwendung von Silberverbindungen 362
  - 3.9.3 Platin, Palladium und seine Verbindungen 363
    - 3.9.3.1 Allgemeines 364
    - 3.9.3.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 364
    - 3.9.3.3 Vorkommen und Rohstoffe 366
    - 3.9.3.4 Herstellung von Platin und Palladium 367
    - 3.9.3.5 Herstellung und Verwendung von Platin- und Palladiumverbindungen 369
  - 3.9.4 Osmium und seine Verbindungen 371
    - 3.9.4.1 Allgemeines 371
    - 3.9.4.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 372
    - 3.9.4.3 Vorkommen und Rohstoffe 372
    - 3.9.4.4 Herstellung und Verwendung von Osmiumverbindungen 373
  - 3.9.5 Iridium und seine Verbindungen 373
    - 3.9.5.1 Allgemeines 373
    - 3.9.5.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 374
    - 3.9.5.3 Vorkommen und Rohstoffe 375
    - 3.9.5.4 Herstellung von Iridium 375
    - 3.9.5.5 Herstellung und Verwendung von Iridiumverbindungen 375
  - 3.9.6 Rhodium und seine Verbindungen 376
    - 3.9.6.1 Allgemeines 376
    - 3.9.6.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 377
    - 3.9.6.3 Vorkommen und Rohstoffe 378
    - 3.9.6.4 Herstellung von Rhodium 378
    - 3.9.6.5 Herstellung und Verwendung von Rhodiumverbindungen 378
  - 3.9.7 Rhenium und seine Verbindungen 379



- 3.9.7.1 Allgemeines 379
- 3.9.7.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 380
- 3.9.7.3 Vorkommen und Rohstoffe 380
- 3.9.7.4 Herstellung von Rhenium 381
- 3.9.7.5 Herstellung und Verwendung von Rhenium(VII)-Verbindungen 381
- 3.9.8 Quecksilber und seine Verbindungen 382
  - 3.9.8.1 Allgemeines 383
  - 3.9.8.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 383
  - 3.9.8.3 Vorkommen und Rohstoffe 385
  - 3.9.8.4 Herstellung von Quecksilber 385
  - 3.9.8.5 Herstellung und Verwendung von Quecksilberverbindungen 386
- 3.10 Anhang 392
  
- 4 Halbleiter- und Technologiemarkaterialien 395**
  - 4.1 Silicium als Halbleiter 395
    - 4.1.1 Allgemeines 396
    - 4.1.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 397
    - 4.1.3 Vorkommen und Rohstoffe 398
    - 4.1.4 Herstellung von Reinstsilicium 399
  - 4.2 Germanium 407
    - 4.2.1 Allgemeines 408
    - 4.2.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 408
    - 4.2.3 Vorkommen und Rohstoffe 409
    - 4.2.4 Herstellung von Germanium 409
  - 4.3 Gallium 409
    - 4.3.1 Allgemeines 410
    - 4.3.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 410
    - 4.3.3 Vorkommen und Rohstoffe 410
    - 4.3.4 Herstellung von Gallium 411
  - 4.4 Indium 411
    - 4.4.1 Allgemeines 412
    - 4.4.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 412
    - 4.4.3 Vorkommen und Rohstoffe 413
    - 4.4.4 Herstellung von Indium 413
  - 4.5 Bor 414
    - 4.5.1 Allgemeines 414
    - 4.5.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 414
    - 4.5.3 Vorkommen und Rohstoffe 415
    - 4.5.4 Herstellung von Bor 415
  - 4.6 Arsen 416
    - 4.6.1 Allgemeines 416
    - 4.6.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 416
    - 4.6.3 Vorkommen und Rohstoffe 417
    - 4.6.4 Herstellung von Arsen 417
  - 4.7 Antimon 418

- 4.7.1 Allgemeines 418
- 4.7.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 419
- 4.7.3 Vorkommen und Rohstoffe 419
- 4.7.4 Herstellung von Antimon 420
- 4.8 Seltene Erden 420
  - 4.8.1 Allgemeines 421
  - 4.8.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 422
  - 4.8.3 Vorkommen und Rohstoffe 422
  - 4.8.4 Herstellung der Seltenen Erden 423
    - 4.8.4.1 Scandium 423
    - 4.8.4.2 Yttrium, Lanthan und Lanthanoide 423
- 4.9 Niob 425
  - 4.9.1 Allgemeines 425
  - 4.9.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 426
  - 4.9.3 Vorkommen und Rohstoffe 426
  - 4.9.4 Herstellung 427
- 4.10 Tantal 427
  - 4.10.1 Allgemeines 428
  - 4.10.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 428
  - 4.10.3 Vorkommen und Rohstoffe 429
  - 4.10.4 Herstellung von Tantal 430
- 4.11 Verbindungshalbleiter 430
  
- 5 Organosiliciumverbindungen 433**
  - 5.1 Industriell bedeutende Organosiliciumverbindungen 433
    - 5.1.1 Nomenklatur 433
  - 5.2 Technisch bedeutende Silane 434
    - 5.2.1 Unsubstituierte Silane 434
    - 5.2.2 Halogensilane 434
    - 5.2.3 Organosilane 436
  - 5.3 Siloxane/Silicone 439
    - 5.3.1 Allgemeines 439
    - 5.3.2 Nomenklatur 439
    - 5.3.3 Wirtschaftliche Situation 440
    - 5.3.4 Herstellung 441
    - 5.3.5 Technische Durchführung der Polymerisation 445
    - 5.3.6 Herstellung verzweigter Polysiloxane 446
  - 5.4 Technische Siliconprodukte 447
    - 5.4.1 Siliconöle 447
    - 5.4.2 Siliconöfolgeprodukte 449
    - 5.4.3 Siliconkautschuke 450
      - 5.4.3.1 Kaltvulkanisierender Einkomponenten-Siliconkautschuk 450
      - 5.4.3.2 Kaltvulkanisierender Zweikomponentensiliconkautschuk 450
      - 5.4.3.3 Heißvulkanisierender, peroxidisch vernetzender Siliconkautschuk 451
      - 5.4.3.4 Heißvulkanisierender, additionsvernetzender Siliconkautschuk 452

5.4.3.5	Eigenschaften von Silicongummi	453
5.4.4	Siliconharze	453
5.4.5	Silicon-Copolymere, -Blockcopolymere und -Pfpofcopolymere	454
<b>6</b>	<b>Anorganische Festkörper</b>	<b>457</b>
6.1	Silikatische Erzeugnisse	457
6.1.1	Glas	457
6.1.1.1	Allgemeines	457
6.1.1.2	Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung	460
6.1.1.3	Vorkommen und Rohstoffe	461
6.1.1.4	Herstellung von Glas	463
6.1.1.5	Glaseigenschaften und Verwendung	468
6.1.1.6	Herstellung von Alkalisilikaten	469
6.1.2	Zeolithe	470
6.1.2.1	Allgemeines	470
6.1.2.2	Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung	473
6.1.2.3	Vorkommen und Rohstoffe	475
6.1.2.4	Herstellung von synthetischen Zeolithen	475
6.2	Anorganische Fasern	478
6.2.1	Einführung	479
6.2.2	Verfahren zur Herstellung von anorganischen Fasern	481
6.2.2.1	Natürliche Mineralfasern	481
6.2.2.2	Künstliche Mineralfasern	482
6.2.2.3	Synthetische keramische Fasern	496
6.2.2.4	Kohlenstofffasern	502
6.2.2.5	Metallfasern	504
6.2.3	Ausgewählte Fasereigenschaften und Anwendungsfelder	505
6.2.3.1	Einführung	505
6.2.3.2	Natürliche Mineralwollen	508
6.2.3.3	Künstliche Mineralwollen	509
6.2.3.4	Textilglasfasern	511
6.2.3.5	Polykieselsäurefasern	513
6.2.3.6	Synthetische keramische Fasern	516
6.2.3.7	Kohlenstofffasern	518
6.2.3.8	Metallfasern	520
6.2.3.9	Faser-Verbundwerkstoffe	522
6.2.4	Physiologische und legislative Aspekte	526
6.3	Baustoffe	527
6.3.1	Allgemeines	528
6.3.2	Kalk	529
6.3.2.1	Allgemeines	529
6.3.2.2	Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung	529
6.3.2.3	Vorkommen und Rohstoffe	530
6.3.2.4	Gebannter Kalk	530
6.3.2.5	Gelöschter Kalk	531

- 6.3.2.6 Dampfgehärtete Baustoffe 533
- 6.3.3 Zement 533
  - 6.3.3.1 Allgemeines 533
  - 6.3.3.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 535
  - 6.3.3.3 Rohstoffe 535
  - 6.3.3.4 Portlandzement 535
  - 6.3.3.5 Hüttenzemente 539
  - 6.3.3.6 Puzzolanemente 539
  - 6.3.3.7 Tonerdezement 541
  - 6.3.3.8 Asbestzement 541
  - 6.3.3.9 Sonstige Zementarten 542
  - 6.3.3.10 Vorgänge beim Erstarren von Zement 542
- 6.3.4 Gips 544
  - 6.3.4.1 Allgemeines 544
  - 6.3.4.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 547
  - 6.3.4.3 Vorkommen und Rohstoffe 548
  - 6.3.4.4 Chemieanhydrit aus der Flusssäureherstellung 550
  - 6.3.4.5 Chemiegips 550
- 6.3.5 Grobkeramische Produkte für die Bauindustrie 552
- 6.3.6 Blähprodukte 553
  - 6.3.6.1 Allgemeines 553
  - 6.3.6.2 Vorkommen und Rohstoffe 554
  - 6.3.6.3 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 556
  - 6.3.6.4 Herstellung von Blähprodukten 556
  - 6.3.6.5 Blähprodukte aus Gläsern (Foam-glass) 558
- 6.3.7 Geopolymere 558
  - 6.3.7.1 Allgemeines 558
  - 6.3.7.2 Verwendung und wirtschaftliche Bedeutung 559
  - 6.3.7.3 Vorkommen und Rohstoffe 559
  - 6.3.7.4 Reaktion 560
  - 6.3.7.5 Eigenschaften 561
- 6.4 Keramik 562
  - 6.4.1 Allgemeines 563
  - 6.4.2 Einteilung der keramischen Erzeugnisse 563
  - 6.4.3 Allgemeine Verfahrensschritte zur Herstellung von Keramiken 565
  - 6.4.4 Tonkeramische Erzeugnisse 565
    - 6.4.4.1 Zusammensetzung und Rohstoffe 567
    - 6.4.4.2 Abbau und Aufbereitung von Rohkaolin 569
    - 6.4.4.3 Herstellung tonkeramischer Massen 569
      - 6.4.4.4 Formgebungsverfahren 570
      - 6.4.4.5 Trocknungsverfahren 574
      - 6.4.4.6 Keramischer Brand 574
    - 6.4.4.7 Eigenschaften und Anwendung tonkeramischer Produkte 577
  - 6.4.5 Sonderkeramische Erzeugnisse 579
    - 6.4.5.1 Oxidkeramik 579

- 6.4.5.2 Elektro- und Magnetokeramik 585
- 6.4.5.3 Feuerfeste Keramik 591
- 6.4.5.4 Nichtoxidkeramik 599
- 6.5 Hartstoffe 609
  - 6.5.1 Allgemeines 609
  - 6.5.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 610
  - 6.5.3 Allgemeine Herstellungsverfahren und Eigenschaften von Metallcarbiden 610
    - 6.5.4 Carbide der IV. Nebengruppe 611
      - 6.5.4.1 Titancarbid 611
      - 6.5.4.2 Zirconiumcarbid und Hafniumcarbid 613
    - 6.5.5 Carbide der V. Nebengruppe 613
      - 6.5.5.1 Vanadiumcarbid 613
      - 6.5.5.2 Niobcarbid und Tantalcarbid 613
    - 6.5.6 Carbide der VI. Nebengruppe 613
      - 6.5.6.1 Chromcarbid 613
      - 6.5.6.2 Molybdän-carbid 614
      - 6.5.6.3 Wolframcarbid 614
      - 6.5.6.4 Hartmetalllegierungen auf Basis von Wolframcarbid 615
    - 6.5.7 Thoriumcarbid und Urancarbid 616
    - 6.5.8 Metallnitride 617
    - 6.5.9 Metallboride 618
    - 6.5.10 Metallsilicide 619
  - 6.6 Kohlenstoffmodifikationen 620
    - 6.6.1 Allgemeine Vorbemerkungen 620
      - 6.6.2 Diamant 620
        - 6.6.2.1 Allgemeines 621
        - 6.6.2.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 622
        - 6.6.2.3 Gewinnung natürlicher Diamanten 623
        - 6.6.2.4 Herstellung synthetischer Diamanten 624
      - 6.6.3 Natürlicher Graphit 626
        - 6.6.3.1 Allgemeines 627
        - 6.6.3.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 627
        - 6.6.3.3 Vorkommen, Rohstoffe und Gewinnung 629
      - 6.6.4 Synthetischer Kohlenstoff und synthetischer Graphit 630
        - 6.6.4.1 Allgemeines 633
        - 6.6.4.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 633
        - 6.6.4.3 Vorkommen und Rohstoffe 634
        - 6.6.4.4 Herstellung von synthetischem Kohlenstoff und synthetischem Graphit 635
      - 6.6.5 Spezielle Kohlenstoff- und Graphitarten 640
        - 6.6.5.1 Allgemeines 641
        - 6.6.5.2 Pyrokohlenstoff und Pyrographit 642
        - 6.6.5.3 Glaskohlenstoff und Schaumkohlenstoff 643
        - 6.6.5.4 Graphitfolien und -membranen 644

- 6.6.6 Carbon Black 645
  - 6.6.6.1 Allgemeines 647
  - 6.6.6.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 647
  - 6.6.6.3 Herstellung von Carbon Black 651
- 6.6.7 Aktivkohle 656
  - 6.6.7.1 Allgemeines 657
  - 6.6.7.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 657
  - 6.6.7.3 Vorkommen und Rohstoffe 659
  - 6.6.7.4 Herstellung von Aktivkohle 659
- 6.7 Füllstoffe 662
  - 6.7.1 Allgemeines 665
  - 6.7.2 Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung 666
  - 6.7.3 Vorkommen, Rohstoffe und Herstellung von Füllstoffen 668
    - 6.7.3.1 Natürliche Füllstoffe 668
    - 6.7.3.2 Synthetische Füllstoffe 670
- 6.8 Anorganische Pigmente 675
  - 6.8.1 Allgemeines 676
  - 6.8.2 Weißpigmente 680
    - 6.8.2.1 Titandioxid 682
    - 6.8.2.2 Lithopone und Zinksulfidpigmente 688
    - 6.8.2.3 Zinkoxid-Weißpigmente 689
  - 6.8.3 Buntpigmente 690
    - 6.8.3.1 Eisenoxidpigmente 694
    - 6.8.3.2 Chrom(III)-oxidpigmente 699
    - 6.8.3.3 Chromat- und Molybdatpigmente 701
    - 6.8.3.4 Mischphasenpigmente und keramische Farbkörper 702
    - 6.8.3.5 Cadmiumpigmente 704
    - 6.8.3.6 Bismutvanadatpigmente 705
    - 6.8.3.7 Eisenblaupigmente 706
    - 6.8.3.8 Ultramarinpigmente 707
  - 6.8.4 Spezialpigmente 708
    - 6.8.4.1 Korrosionsschutzpigmente 709
    - 6.8.4.2 Effektpigmente 711
    - 6.8.4.3 Lumineszenzpigmente 713
    - 6.8.4.4 Magnetpigmente 713
- 7 Kernbrennstoffkreislauf 721**
  - 7.1 Die Bedeutung der Kernenergie in der Energiewirtschaft 721
  - 7.2 Allgemeines zum Brennstoffkreislauf 725
  - 7.3 Verfügbarkeit von Uran 726
  - 7.4 Kernreakortypen 728
    - 7.4.1 Allgemeines 729
    - 7.4.2 Leichtwasserreaktoren 729
      - 7.4.2.1 Siedewasserreaktoren 729
      - 7.4.2.2 Druckwasserreaktoren 730

7.4.3	Graphitmoderierte Reaktoren	730
7.4.3.1	Gasgekühlte Reaktoren	730
7.4.3.2	Leichtwassergekühlte Reaktoren	731
7.4.4	Schwerwasserreaktoren	732
7.4.5	Schnellbrutreaktoren	732
7.5	Kernbrennstoffgewinnung	733
7.5.1	Urankonzentrat-(„Yellow-cake“-)Gewinnung	736
7.5.1.1	Uran aus Uranerzen	736
7.5.1.2	Uran aus Phosphaterzen bzw. Nassphosphorsäure	740
7.5.1.3	Uran aus Meerwasser	741
7.5.2	Konversion von Urankonzentrat zu Uranhexafluorid	741
7.5.2.1	Allgemeines	741
7.5.2.2	Nassverfahren zur Herstellung von UF <sub>6</sub>	741
7.5.2.3	Trockenverfahren zur Herstellung von UF <sub>6</sub>	742
7.5.3	<sup>235</sup> U-Anreicherung	743
7.5.4	Rekonversion von UF <sub>6</sub> in Kernbrennstoffe	744
7.5.4.1	In Urandioxid	744
7.5.5	Andere Urankernbrennstoffe	746
7.5.5.1	Uranmetall	746
7.5.5.2	Uran-Plutonium-Mischoxide	746
7.5.6	Herstellung der Brennelemente	747
7.6	Entsorgung von Kernkraftwerken	747
7.6.1	Allgemeines	750
7.6.2	Teilschritte der Entsorgung	752
7.6.2.1	Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente	752
7.6.2.2	Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente	752
7.6.2.3	Weiterverarbeitung der Uran- bzw. Plutoniumlösungen	754
7.6.2.4	Konditionierung der radioaktiven Abfälle	755
7.6.2.5	Endlagerung radioaktiver Abfälle	757

<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>761</b>
-----------------------------	------------