Inhaltsverzeichnis

Teil I Einführung

1 Materialauswahl und grundlegende Unterscheidungen ... 17
N. Ilie, U. Lohbauer, M. Rosentritt

Teil II Zahnärztliche Materialien

2 Abformmaterialien ... 23
B. Wöstmann

2.1 Einleitung ... 23

2.2 Grundsätzliche Anforderungen an Abformmaterialien ... 23

2.2.1 Präzision ... 23
2.2.2 Oberflächenreproduktion und Fließfähigkeit ... 24
2.2.3 Hydrophilie ... 24
2.2.4 Deformierbarkeit und Rückstellvermögen 25
2.2.5 Reißfestigkeit ... 26
2.2.6 Dimensionsstabilität ... 27
2.2.7 Desinfizierbarkeit ... 28
2.2.8 Kompatibilität mit Modellmaterialien ... 28
2.2.9 Biokompatibilität ... 29

2.3 Materialspezifische Charakteristika ... 29

2.3.1 Elastomere ... 29
2.3.2 Polysaccharide ... 37
2.3.3 Sonstige Abformmassen ... 40

2.4 Klinische Aspekte ... 41

2.4.1 Abformverfahren ... 41
2.4.2 Abformlöffel ... 44
2.4.3 Modellherstellung ... 47
2.4.4 Biologische Parameter ... 49
2.4.5 Verbesserung der Resultate durch Standardisierung ... 49

2.5 Klinische Studien ... 50

3 Adhäsive ... 56
R. Frankenberger

3.1 Einleitung ... 56

3.2 Definitionen und Voraussetzungen ... 57

3.2.1 Schmelzhaftung ... 58
3.2.2 Dentinhaftung ... 60

3.3 Klassifikation der Adhäsivsysteme ... 64

3.3.1 Self-etch-Adhäsive ... 64
3.3.2 Adhäsive zur Polymerisation ohne Licht ... 65
3.3.3 Adhäsive mit Füllkörperzusatz ... 65
3.3.4 Universaladhäsive ... 66
3.3.5 Konfigurationsfaktor und Haftung ... 67

3.4 Wertung der Adhäsivsysteme ... 68

3.5 Klinische Aspekte ... 70

3.5.1 Klinische Realität beim Dentinbonding ... 70
3.5.2 Klinische Hürden bei der Anwendung ... 71
3.5.3 Biokompatibilität von Adhäsiven ... 73
3.5.4 Postoperative Hypersensitivitäten ... 73
3.5.5 Anwenderstudien ... 74

3.6 Zusammenfassung ... 74

aus: Rosentritt (Hrsg.) u.a., Werkstoffkunde in der Zahnmedizin (ISBN 9783132401082) © 2018 Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York

4 Glasionomerzemente ... 79
U. Lohbauer

4.1 Einführung ... 79
4.2 Historische Entwicklung ... 79
4.3 Chemischer Aufbau und Abbindereaktion ... 80
4.3.1 Säure-Base-Reaktion ... 80
4.3.2 Reaktive Ionomergläser ... 82
4.3.3 Polycarbonsäuren ... 83
4.4 Materialeigenschaften ... 83
4.4.1 Linear-elastische mechanische Eigenschaften ... 83
4.4.2 Verschleiß und Ermüdung ... 84
4.4.3 Thermische Kompatibilität ... 84
4.4.4 Haftung an der Zahnhartsubstanz ... 85
4.4.5 Kariostatische Eigenschaften ... 85
4.4.6 Klinische Bewährung ... 85
4.5 Verstärkungskonzepte ... 86
4.5.1 Verringerung der Porosität ... 86
4.5.2 Partikelverstärkung ... 86
4.5.3 Kunststoffmodifikation ... 87
4.5.4 Kunststoffbeschichtung ... 87
4.6 Zusammenfassung ... 88

5 Dentale Befestigungsmaterialien ... 92

5.1 Aufgaben und klinische Anwendung ... 92
M. Behr, M. Rosentritt
5.1.1 Unterschiede Befestigung Zahn – Implantat 92
5.1.2 Formen der Befestigung von Restaurationen 93
5.1.3 Einteilung der Befestigungsmaterialien ... 103
5.2 Phenolate ... 103
M. Behr, S. Hahnel, M. Rosentritt
5.2.1 Zinkoxid-Eugenol-Zemente, Zinkoxid-Ethoxybenzoesäure-Zemente, eugenolfreie Zinkoxidzemente ... 103
5.3 Phosphate ... 106
5.3.1 Zinkoxid-Phosphat-Zemente ... 106
5.4 Polycarboxylate ... 109
5.4.1 Zinkoxid-Carboxylat-Zemente ... 109
5.4.2 Glasionomerzemente ... 111
5.5 Polymethacrylate ... 117
5.5.1 Polycarbonsäuremodifizierte Komposite/Kompomere ... 117
5.5.2 Befestigungskomposite ... 118

6 Kunststoffe ... 130
M. Rosentritt

6.1 Einleitung ... 130
6.1.1 Polymermaterialien ... 130
6.1.2 Polymerisation ... 132
6.1.3 Monomere ... 133
6.1.4 Hilfsstoffe ... 134
6.1.5 Wichtige Begriffe ... 134
6.2 Temporäre Kunststoffe ... 135
6.2.1 Einführung ... 135
6.2.2 Klinische Herstellung ... 136
6.2.3 Aufbau, Struktur, Zusammensetzung ... 136
6.2.4 Eigenschaften ... 138
6.2.5 Grenzflächen ... 138
6.2.6 Beständigkeit und Degradation ... 139
6.2.7 Klinische Studien und Bewährung ... 140
6.2.8 Klinische Aspekte ... 140
6.2.9 Zusammenfassung ... 141
6.3 Prothesenkunststoffe ... 141
6.3.1 Einführung ... 141
6.3.2 Aufbau, Struktur, Zusammensetzung ... 142
6.3.3 Eigenschaften ... 147
6.3.4 Grenzflächen ... 148
6.3.5 Alterung, Degradation, Lebensdauer und Versagen ... 150
6.3.6 Klinische Studien und Bewährung ... 150
6.3.7 Klinische Aspekte ... 151
6.3.8 Zusammenfassung ... 151

aus: Rosentritt (Hrsg.) u.a., Werkstoffkunde in der Zahnmedizin (ISBN 9783132401082) © 2018 Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York

6.4 Prothesenzähne ... 151

6.4.1 Einführung ... 151
6.4.2 Aufbau, Struktur, Zusammensetzung ... 152
6.4.3 Eigenschaften ... 155
6.4.4 Grenzflächen ... 156
6.4.5 Beständigkeit und Degradation ... 159
6.4.6 Klinische Studien und Bewährung ... 160
6.4.7 Klinische Aspekte ... 160
6.4.8 Zusammenfassung ... 160

6.5 Versiegelungsmaterialien und Lacke ... 160

6.5.1 Einführung ... 160
6.5.2 Aufbau, Struktur, Zusammensetzung ... 161
6.5.3 Eigenschaften ... 162
6.5.4 Grenzflächen ... 162
6.5.5 Beständigkeit und Degradation ... 162
6.5.6 Klinische Studien und Bewährung ... 163
6.5.7 Klinische Aspekte ... 163
6.5.8 Zusammenfassung ... 163

6.6 Faserverstärkte Kunststoffe ... 163

6.6.1 Einführung ... 163
6.6.2 Aufbau, Struktur, Zusammensetzung ... 164
6.6.3 Eigenschaften ... 165
6.6.4 Grenzflächen ... 165
6.6.5 Alterung, Degradation, Lebensdauer und Versagen ... 166
6.6.6 Klinische Studien und Bewährung ... 166
6.6.7 Klinische Aspekte ... 166
6.6.8 Zusammenfassung ... 167

6.7 PAEK-Werkstoffe ... 167
B. Stawarczyk, M. Rosentritt

6.7.1 Einführung ... 167
6.7.2 Aufbau, Struktur, Zusammensetzung ... 167
6.7.3 Eigenschaften ... 167
6.7.4 Grenzflächen ... 170
6.7.5 Alterung ... 171
6.7.6 Klinische Studien und Bewährung ... 171
6.7.7 Klinische Aspekte ... 172
6.7.8 Zusammenfassung ... 173

6.8 Kunststoffe für spezielle Anwendungen 173

6.8.1 Kunststoffe für spezielle Anwendungen in subtraktiver, additiver, konventioneller oder lichthärtender Verarbeitung ... 173
6.8.2 Kunststoffe zur Folienverarbeitung im Tiefziehverfahren ... 176

7 Direkte und indirekte Komposite ... 183
N. Ilie, B. Stawarczyk

7.1 Einführung ... 183

7.2 Aufbau, Struktur, Zusammensetzung ... 183

7.2.1 Organische Matrix ... 183
7.2.2 Füllkörper ... 190
7.2.3 Haftvermittler ... 194
7.2.4 Initiatoren und andere Additive ... 195

7.3 Klassifikation und Entwicklungsschritte der Komposite ... 200

7.4 Direkte Füllungskomposite ... 201

7.4.1 Kompositklassen ... 201
7.4.2 Eigenschaften plastischer Komposite ... 206
7.4.3 Klinische Aspekte ... 212

7.5 Indirekte Komposite ... 212

7.5.1 Kunststoffbasierte CAD/CAM-Materialien ... 212
7.5.2 Verblendkomposite ... 222

7.6 Lichtpolymerisation ... 223

7.6.1 Lichtpolymerisationsgeräte ... 223
7.6.2 Klinische Aspekte der Lichtpolymerisation 225
7.6.3 Tipps für eine korrekte Lichtpolymerisation 228
7.6.4 Polymerisation diverser Materialien ... 229

7.7 Zusammenfassung ... 232

8 Keramische Materialien ... 239
U. Lohbauer, R. Belli, M. Wendler

8.1 Geschichtliche Entwicklung der Dentalkeramik ... 239

8.2 Glas und Keramik – Grundlagen ... 240

8.2.1 Glas ... 240
8.2.2 Keramik ... 240
8.2.3 Glaskeramik ... 243

aus: Rosentritt (Hrsg.) u.a., Werkstoffkunde in der Zahnmedizin (ISBN 9783132401082) © 2018 Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York

8.3 Rohstoffe und Aufbereitung 244

8.4 Herstellung und Formgebung 246

8.4.1 Additive Formgebung im Schlickerverfahren 246
8.4.2 Heißpressverfahren (Lost-wax-Verfahren) 246
8.4.3 Subtraktive Formgebung im CAD/CAM-Verfahren 247

8.5 Schmelzen und Sintern 248

8.6 Eigenschaften keramischer Materialien 250

8.6.1 Thermische Eigenschaften 250
8.6.2 Mechanische Eigenschaften 250
8.6.3 Chemische und biologische Eigenschaften 258
8.6.4 Oberflächeneigenschaften 259
8.6.5 Optische Eigenschaften 262

8.7 Aufbau und Mikrostruktur dentalkeramischer Materialien 265

8.7.1 Amorphe und kristalline Phasen 265
8.7.2 Glasphase 267
8.7.3 Kristalline Phase 268
8.7.4 Polykristalline Kornstrukturen 269

8.8 Beschreibung der Materialklassen 270

8.8.1 Silikatkeramiken 271
8.8.2 Lithiumdisilikatglaskeramiken 273
8.8.3 Lithiumsilikatglaskeramik 275
8.8.4 Oxidkeramiken (nichtsilikatische Keramiken) 275
8.8.5 Verbundkeramiken 279

8.9 Verblendete Restaurationen 280

8.9.1 Mechanische Eigenschaften von Verblendsystemen 282
8.9.2 Haftung zwischen Gerüst und Verblendung 283
8.9.3 Eigenspannungen 283
8.9.4 Verblendverfahren 284

8.10 Degradationsprozesse 287

8.10.1 Chemische Degradation durch Wasser ... 288
8.10.2 Mechanische Ermüdung 291

8.11 Klinische Aspekte zu indirekten Keramikrestaurationen 293

8.11.1 Indikation: Die richtige Wahl treffen 293
8.11.2 Biomechanik: Präparationsrichtlinien für den klinischen Erfolg 293
8.11.3 Enorales Anpassen der Okklusion und Befestigungskonzepte 296
8.11.4 Reparatur und Nachsorge 297

8.12 Klinischer Erfolg dentalkeramischer Restaurationen 297

8.12.1 Inlays und Onlays 298
8.12.2 Einzelzahnkronen 299
8.12.3 Mehrgliedriger festsitzender Zahnersatz .. 300
8.12.4 Zirkonoxid in der Implantologie 300

8.13 Ursachen und Strategien zur Vermeidung von Keramikfrakturen ... 300

8.13.1 Einführung in die Methode der klinischen Fraktografie 300
8.13.2 Ursachen für Frakturverluste 301
8.13.3 Maßnahmen zur Vermeidung von Chippings und Frakturen 305

9 Metalle 311
R. Strietzel

9.1 Metallische Werkstoffe 311

9.1.1 Geschichte 311
9.1.2 Lieferformen 311
9.1.3 Metall als Medizinprodukt 311

9.2 Definition und Einteilung 311

9.2.1 Struktur der Metalle 313
9.2.2 Einteilung nach Indikation 315
9.2.3 Einteilung nach Verarbeitung 316
9.2.4 Einteilung nach Zusammensetzung 317

9.3 Eigenschaften der Metalle 323

9.3.1 Schmelzpunkt und Schmelzintervall 323
9.3.2 Wärmeausdehnungskoeffizient 326
9.3.3 Mechanische Eigenschaften 326
9.3.4 Chemische Eigenschaften 330
9.3.5 Biologische Eigenschaften 334

9.4 Herstellung von metallischen Gerüsten 337

9.4.1 Konventionelle Herstellungsverfahren 337
9.4.2 CAD/CAM-Verfahren 339

aus: Rosentritt (Hrsg.) u.a., Werkstoffkunde in der Zahnmedizin (ISBN 9783132401082) © 2018 Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York

9.5 Einfluss der zahntechnischen Verarbeitung auf die Eigenschaften von Dentallegierungen ... 340

9.6 Verbundsysteme mit Metallen ... 340

9.6.1 Metall-Keramik-Verbundsysteme ... 340

9.6.2 Metall-Kunststoff-Verbundsysteme ... 344

9.7 Fügetechniken für Metalle ... 346

9.8 Beschichtungen ... 347

10 Präparations-, Schleif- und Poliermittel ... 353
M. Schmidtke, J. Forstreuter

10.1 Einführung ... 353

10.2 Vorbemerkungen zum Schleifen und Polieren ... 353

10.2.1 Körnungen ... 353
10.2.2 Schnittgeschwindigkeiten/Rotationsenergie auf der Oberfläche ... 354
10.2.3 Hartmetallinstrumente ... 355
10.2.4 Diamantinstrumente ... 355
10.2.5 Keramisch gebundene Werkzeuge ... 355
10.2.6 Gummipolierer ... 356

10.3 Finieren ... 356

10.3.1 Finieren verschiedener Materialien ... 356

10.4 Intraorale Politur ... 357

10.4.1 Einleitung ... 357
10.4.2 Form des Polierers ... 358
10.4.3 Randbemerkung – Körnungsgröße und der große Unterschied zu diamantierten Instrumenten ... 361

10.5 Politur der verschiedenen Materialklassen ... 362

10.5.1 Einleitung ... 362
10.5.2 Amalgam ... 362
10.5.3 Komposite ... 362
10.5.4 VMK – Verbund-Metall-Keramik ... 363
10.5.5 Silikatkeramiken als Einzelversorgung, Inlay oder Onlay ... 364
10.5.6 Monolithische Zirkonoxidkronen ... 364
10.5.7 Vollkeramik ... 364
10.5.8 Randbemerkung zum Thema Glanzbrand ... 365

10.6 Aufbereitung von Polierern ... 365

11 Implantat- und Abutmentwerkstoffe ... 368
D. Snétivy, M. Kraft

11.1 Einführung ... 368

11.2 Titan und Titanlegierungen ... 369

11.2.1 Einleitung ... 369
11.2.2 Reintitan ... 370
11.2.3 Titanlegierungen ... 371
11.2.4 Korrosionsbeständigkeit ... 372
11.2.5 Biokompatibilität ... 372
11.2.6 Klinische Erfahrung ... 373

11.3 Zirkoniumdioxid ... 373

11.3.1 Einleitung ... 373
11.3.2 Zirkoniumdioxid als Implantat- und Abutmentwerkstoff ... 374
11.3.3 Besondere mechanische Eigenschaften von kristallinen Keramiken ... 375
11.3.4 Biokompatibilität ... 375
11.3.5 Klinische Erfahrung mit Zirkoniumdioxid-Abutments ... 376
11.3.6 Klinische Erfahrung mit Zirkoniumdioxid-Implantaten ... 376

11.4 PEEK und PEKK ... 376

11.4.1 Einleitung ... 376
11.4.2 Struktur und Eigenschaften ... 377
11.4.3 Beständigkeit gegen Chemikalien, Temperatur und Alterung ... 378
11.4.4 Biokompatibilität ... 379
11.4.5 Klinische Erfahrung ... 379

11.5 Goldlegierungen, Kobalt-Chrom, Tantal ... 380

11.5.1 Goldlegierungen ... 380
11.5.2 Kobalt-Chrom ... 380
11.5.3 Tantal ... 380
11.5.4 Kombination von Metallen und Kontaktkorrosion ... 380

aus: Rosentritt (Hrsg.) u.a., Werkstoffkunde in der Zahnmedizin (ISBN 9783132401082) © 2018 Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York

11.6 Oberflächen ... 380
11.6.1 Osseointegration ... 380
11.6.2 Weichgewebeintegration ... 382

12 Knochenersatzmaterialien ... 386
J. Will, A. Boccaccini, U. Gbureck

12.1 Einleitung ... 386
12.2 Anatomische Grundlagen ... 386
12.3 Mechanismen der Knochenregeneration 387
12.4 Einteilung der KEM nach ihrer Herkunft 387
12.4.1 Autogene Transplantate ... 391
12.4.2 Allogene Transplantate ... 391
12.4.3 Xenogene Transplantate ... 392
12.4.4 Alloplastische Transplantate ... 393
12.5 Einteilung der KEM anhand ihrer chemischen Zusammensetzung ... 393
12.5.1 Hydroxylapatit ... 393
12.5.2 Trikalziumphosphate ... 394
12.5.3 Biphasische Werkstoffe ... 394
12.5.4 Kalziumphosphatzemente ... 394
12.5.5 Bioaktive Gläser ... 395
12.5.6 Polymere ... 395
12.5.7 Kompositmaterialien (Verbundwerkstoffe) 396
12.6 Zusammenfassung ... 396

13 Speichelersatzmittel ... 400
S. Hahnel

13.1 Einführung ... 400
13.2 Klinische Speichelersatzmittel ... 400
13.2.1 Zusammensetzung ... 400
13.2.2 Anforderungen an klinische Speichelersatzmittel ... 401
13.2.3 Eigenschaften von klinischen Speichelersatzmitteln ... 401
13.3 Speichelersatzmittel für Laboruntersuchungen ... 404

Teil III Moderne Technologien

14 Digitale Abformmethoden ... 409
S. Reich, B. Wöstmann

14.1 Einleitung ... 409
14.2 Funktionsprinzipien der Scannersysteme 409
14.3 Workflow ... 411
14.3.1 Versorgung natürlicher Zähne ... 411
14.3.2 Implantatversorgung ... 413
14.4 Historische Entwicklung ... 418
14.5 Zukünftige Entwicklungen ... 419
14.6 Aktuelle Abformsituation ... 419
14.7 Aktuelle Bewertung digitaler Systeme 420

15 CAD/CAM-Technologie ... 425
M. Zimmermann, A. Mehl

15.1 Einführung ... 425
15.1.1 Geschichte der CAD/CAM-Technologie ... 425
15.1.2 Dentale CAD/CAM-Technologie ... 425
15.2 Digitaler Workflow und CAD/CAM-Komponenten ... 427
15.2.1 Digitaler Workflow ... 427
15.2.2 Interventionsmöglichkeit ... 428
15.2.3 Kompatibilität ... 428

aus: Rosentritt (Hrsg.) u.a., Werkstoffkunde in der Zahnmedizin (ISBN 9783132401082) © 2018 Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York

15.2.4 Verfahrensmöglichkeiten des Digitalen Dentalen Workflow ... 429
15.2.5 Materialien ... 431

15.3 Digitalisierungsverfahren ... 431

15.3.1 Prinzipien der 3D-Oberflächenerfassung ... 431
15.3.2 Methoden der 3D-Oberflächenerfassung ... 432
15.3.3 Intraoralscanner ... 432
15.3.4 Laborscanner ... 434
15.3.5 Vorteile Digitalisierungsverfahren ... 434
15.3.6 Nachteile Digitalisierungsverfahren ... 435

15.4 CAD-Software ... 435

15.4.1 Prinzip ... 435
15.4.2 Berechnungsverfahren ... 435
15.4.3 Vorteile ... 436

15.5 CAM-Software ... 437

15.5.1 Prinzip ... 437

15.6 Fertigungsverfahren ... 439

15.6.1 Prinzip ... 439
15.6.2 Additive Fertigungsverfahren ... 439
15.6.3 Subtraktive Fertigungsverfahren ... 440
15.6.4 Chairside- und Labside-Fertigungsverfahren 441

15.7 CAD/CAM-Indikationsspektrum ... 442

16 Additive Fertigung in der digitalen Zahnmedizin ... 448
J. Stampfl, R. Gmeiner

16.1 Einleitung ... 448

16.2 Verfügbare additive Fertigungstechnologien ... 448

16.2.1 Wannen-Fotopolymerisation („vat photopolymerization") ... 448
16.2.2 Pulverbettschmelzen („powder bed fusion" – PBS) ... 450
16.2.3 Materialdruck („material jetting") ... 451

16.3 Anwendungen in der Zahnmedizin ... 452

16.3.1 Zahntechnische Modelle als Ersatz für Gipsmodelle ... 453
16.3.2 Direkte Herstellung von Restaurationen ... 453
16.3.3 Bohrschablonen für die Implantologie ... 453
16.3.4 Aufbissschienen für die Kieferorthopädie ... 454
16.3.5 Verlorene Wachsformen (Lost-wax-Modell) ... 454

17 Innovative Technologien ... 456
V. Preis, M. Rosentritt

17.1 Einleitung ... 456

17.2 Selektives Lasermelting (SLM) ... 456

17.2.1 Technik ... 456
17.2.2 Werkstoffe ... 457
17.2.3 Indikationen und Studien ... 457

17.3 Gussverfahren mit 3D-Modell ... 457

17.3.1 Technik ... 457
17.3.2 Werkstoffe ... 457
17.3.3 Indikationen und Studien ... 457

17.4 Funkenerosion ... 458

17.4.1 Technik ... 458
17.4.2 Werkstoffe ... 459
17.4.3 Indikationen und Studien ... 459

17.5 Fräsen und Sintern ... 459

17.5.1 Technik ... 459
17.5.2 Werkstoffe ... 459
17.5.3 Indikationen und Studien ... 459

17.6 Fräsen und Kleben: digitale Prothesen ... 459

17.6.1 Technik ... 459
17.6.2 Werkstoffe ... 460
17.6.3 Indikationen und Studien ... 460

Sachverzeichnis ... 462

aus: Rosentritt (Hrsg.) u.a., Werkstoffkunde in der Zahnmedizin (ISBN 9783132401082) © 2018 Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York