

6.2.2	Extraorales Scannen	52
6.2.3	Technische Verfahren des Scannens	54
6.2.3.1	Mechanische Verfahren	54
6.2.3.2	Optische Verfahren	54
6.2.3.2.1	Triangulationsverfahren	55
6.2.3.2.2	Signalverarbeitung	56
6.2.3.3	Bildgebende Verfahren	57
	Literatur	59
7.	Modellwerkstoffe	63
7.1	Analoge Herstellung von Modellen	66
7.1.1	Modellarten	66
7.1.2	Anforderungen an Modellwerkstoffe	68
7.1.2.1	Erstarrungszeit	68
7.1.2.2	Dimensionstreue	69
7.1.2.3	Detailtreue	70
7.1.2.4	Druckfestigkeit	70
7.1.2.5	Abriebfestigkeit der Oberfläche	72
7.1.2.6	Kontrastierende Farbe	72
7.1.2.7	Scanbarkeit von Modellen	72
7.1.2.8	Biokompatibilität	73
	– Formaldehyd	73
	– Desinfizierbarkeit	73
7.1.2.9	Kompatibilität mit anderen Dentalmaterialien	73
7.1.2.10	Lagerung	74
7.1.3	Gips als Modellwerkstoff	74
7.1.3.1	Modifikationen des Gipses	74
7.1.3.2	Brennen des Gipses	75
7.1.3.3	Abbindereaktion von Gips	76
7.1.3.4	Dentalgipse und deren Anwendung	77
7.1.3.5	Beeinflussung der physikalischen Eigenschaften	77
	– Durch den Hersteller	77
	– Durch den Zahntechniker	78
7.1.3.6	Verarbeitung von Dentalgips	81
7.1.4	Andere Modellwerkstoffe	81
7.1.4.1	Modellzemente	81
7.1.4.2	Metalle	82
	– Amalgame	82
	– Eutektische Legierungen	82
	– Galvanisieren	82
7.1.4.3	Kunststoffe	82
	– Polymethylmethacrylate	82

	– Epoxidharze	83
	– Polyurethane	83
7.2	Digitale Herstellung von Modellen	83
7.2.1	Modellarten	84
7.2.2	Virtuelle Artikulatoren	86
7.2.3	Verfahren und Modellwerkstoffe	87
7.2.3.1	Additive Verfahren	87
	– Stereolithographie (SLA)	87
	– Digital Light Processing (DLP)	88
	– Polyjet-Modeling	88
	– Selektives Lasersintern (SLS)	88
7.2.3.2	Subtraktive Verfahren	88
Literatur		89

8. Modellierwerkstoffe 91

8.1	Analoges Modellieren von Zahnersatz	93
8.1.1	Verwendung von Modellierwerkstoffen	93
8.1.2	Anforderungen an Modellierwerkstoffe	95
8.1.2.1	Einfache Verarbeitbarkeit	95
8.1.2.2	Formstabilität	96
8.1.2.3	Kontrastierende Farben	96
8.1.2.4	Rückstandsloses Verbrennen	97
8.1.2.5	Kompatibilität mit anderen Werkstoffen	97
8.1.2.6	Lagerung	98
8.1.3	Einteilung der Modellierwerkstoffe	98
8.1.3.1	Wachse	98
	I) Allgemeine Eigenschaften	98
	II) Allgemeine Einteilung	99
	III) Einteilung von Dentalwachsen	99
	a) Gusswachse	100
	b) Modellierwachse	100
	c) Biss- und Registrierwachse	101
	d) Klebewachse	101
8.1.3.2	Werkstoffprüfung	101
	I) Fließverhalten	101
	II) Verhalten beim Trimmen	102
	III) Verhalten beim Erweichen	102
	IV) Rückstand an künstlichen Zähnen	102
	V) Adhäsion während der Lagerung	103
	VI) Verbrennungsrückstand	103
8.1.3.3	Kunststoffe	103
8.1.3.4	Lichthärtende Wachse	104

8.2	Allgemeine Hinweise für die Modellation	105
8.2.1	Hygiene	105
8.2.2	Randspalt von Kronen	106
8.2.3	Innere Passung von Kronen	106
8.2.4	Geometrie	107
8.2.5	Anstiftsystem	108
8.2.5.1	Anwendung	108
8.2.5.2	Ausführung	109
8.2.5.3	Wärmezentrum der Muffel	111
8.2.5.4	Luftabzugs- und Druckausgleichskanäle	111
8.3	Digitale Modellation	112
8.3.1	Gegenüberstellung analog – digital	112
8.3.2	Anwendung	113
8.3.2.1	Vorbereiten des Modells	113
8.3.2.2	Vorbereiten des Designs	113
8.3.2.3	CAD/CAM-Verfahren	113
8.3.2.4	CAD/Cast-Verfahren	114
	Literatur	116
9.	Einbettmassen	119
9.1	Hitzebeständige Einbettmassen	122
9.1.1	Anforderungen an Einbettmassen	122
9.1.1.1	Fließfähigkeit	123
9.1.1.2	Erstarrungszeit	123
9.1.1.3	Druckfestigkeit	124
9.1.1.4	Expansion	124
	– Abbindeexpansion	125
	– Thermische Expansion	125
9.1.1.5	Porigkeit	126
9.1.1.6	Feinkörnigkeit	127
9.1.1.7	Benetzbarkeit	127
9.1.1.8	Oberflächengüte	127
9.1.1.9	Hitzebeständigkeit und Temperaturwechselbeständigkeit	128
9.1.1.10	Chemisch inertes Verhalten	129
9.1.1.11	Biokompatibilität	130
9.1.2	Werkstoffprüfung	130
9.1.2.1	Fließfähigkeit nach DIN EN ISO 15912	131
9.1.2.2	Erstarrungsbeginn nach DIN EN ISO 15912	131
9.1.2.3	Druckfestigkeit nach DIN EN ISO 15912	132
9.1.2.4	Lineare Wärmeausdehnung nach DIN EN ISO 15912	132
9.1.2.5	Hinreichende Expansion nach DIN EN ISO 15912	133

9.1.2.6	Ausfließtest	133
9.2	Einteilung der Einbettmassen	135
9.2.1	Einteilung nach Anwendungsbereich	136
9.2.2	Einteilung nach dem einzubettenden Material	136
9.2.3	Einteilung nach dem Bindersystem	137
9.2.4	Einteilung nach der Einlegetemperatur	138
9.3	Bestandteile von Einbettmassen	139
9.3.1	Einbettmassepulver	139
9.3.1.1	Bindersysteme	140
	a) Gipsgebundene Einbettmassen	140
	b) Phosphatgebundene Einbettmassen	142
	c) Silikatgebundene Einbettmassen	143
	d) Acetatgebundene Einbettmassen	144
	e) Expansionsfreie Einbettmassen für CAD-Cast-Verfahren	146
9.3.1.2	Feuerfeste Bestandteile	147
9.3.1.3	Füllstoffe	149
9.3.1.4	Zusatzstoffe	149
	a) Hilfsstoffe	149
	b) Pigmente	150
	c) Grafit	150
9.3.2	Anmischflüssigkeit	150
9.3.2.1	Bakterizide in Anmischflüssigkeiten	152
9.3.2.2	Frostschutzmittel in Anmischflüssigkeiten	152
9.4	Verarbeitung von Einbettmassen	153
9.4.1	Einflüsse auf die Erstarrungszeit der Einbettmassen	153
9.4.1.1	Temperatur während der Verarbeitung	154
9.4.2	Dosieren	155
9.4.2.1	Anmischflüssigkeit	155
9.4.2.2	Einbettmassepulver	156
9.4.3	Mischvorgang	157
9.4.3.1	Vorspateln	157
9.4.3.2	Mischen	158
9.4.4	Muffelsysteme	158
9.4.4.1	Muffelsysteme mit Stahlringen – Verwendung von Muffelvlies	159 160
9.4.4.2	Ringlose Muffeln	160
9.4.4.3	Positionieren der Modellation in der Muffel – Wärmezentrum der Muffel	161 161
9.4.4.4	Einfüllen der Einbettmasse in die Muffel	163
9.4.5	Abbindevorgang	164
9.4.6	Vorwärmen der Muffel	164

9.4.6.1	Austreiben von Modellierwachsen	165
9.4.6.2	Austreiben von Modellierkunststoffen	165
	– Vergleich des Ausbrennverhaltens von Wachsen und Kunststoffen	166
9.4.6.3	Einlegetemperatur	168
	– Abbinde- versus thermischer Expansion bei unterschiedlichen Einlegetemperaturen	168
9.4.6.4	Vorwärmtemperatur	169
	– Vorwärm- versus Gießtemperatur	171
9.4.7	Abkühlung der Muffel und der Schmelze beim Gussvorgang	173
9.4.7.1	Erstarrung der Legierung	174
	– Gerichtete Erstarrung	176
9.4.7.2	Abkühlung der Muffel nach dem Guss	177
9.4.8	Ausbetten	177
9.5	Zusammenfassung	179
	Literatur	180
10.	Oberflächenbearbeitung	189
10.1	Trennen	192
10.2	Fräsen und Schleifen	193
10.2.1	Hand- und Winkelstücke	196
10.2.2	Fräser und Schleifkörper für die Zahntechnik	197
10.2.2.1	Fräser	197
10.2.2.2	Diamantierte Schleifkörper und Sinterdiamanten	198
10.2.2.3	Schleifsteine, Gummipolierer, Polierpasten	198
10.2.3	Verschleiß der Fräser und Schleifkörper	199
10.2.4	Pflege der Fräser und Schleifkörper	202
10.2.5	Fehlermöglichkeiten beim Fräsen und Schleifen	203
10.3	Retentionen	204
10.3.1	Makroretention	204
10.3.2	Mikroretention	206
10.4	Abstrahlen	206
10.4.1	Einfluss von Korngröße und Strahl Druck auf die Mikroretention	207
10.4.2	Oberflächenaktivierung	209
10.4.3	Strahlgeräte	210
10.4.4	Strahlmittel	211
10.4.5	Strahlwinkel, Abstand und Abstrahlzeit	211
10.4.6	Wiederverwendung von Strahlmittel	212
10.5	Abdampfen	213
10.6	Polieren	213

10.6.1	Mechanisches Polieren	214
10.6.2	Elektropolieren	216
10.6.3	Plasmapolieren	217
10.6.4	Vergleich Elektro- und Plasmapolieren	218
10.7	Ätzen	218
10.7.1	Chemisches Ätzen	219
10.7.2	Elektrolytisches Ätzen	219
10.8	Reinigung	219
	Literatur	220
11.	Doublierwerkstoffe	223
11.1	Verwendung von Doublierwerkstoffen	225
11.2	Anforderungen an Dublierwerkstoffe	226
11.2.1	Werkstoffprüfung	226
11.2.1.1	Verflüssigungstemperatur (Typ 1)	226
11.2.1.2	Einfülltemperatur (Typ 1)	227
11.2.1.3	Farbe der Komponenten (Typ 2)	227
11.2.1.4	Wiedergabegenauigkeit	228
11.2.1.5	Verträglichkeit mit Einbettmasse oder Gips	228
11.2.1.6	Rückstellvermögen	229
11.2.1.7	Weiterreißfestigkeit	229
11.2.1.8	Widerstand gegen Pilzbefall (Typ 1)	229
11.3	Einteilung der Doublierwerkstoffe	230
11.3.1	Reversible Doubliermassen	230
11.3.1.1	Bestandteile von Agar-Agar-Dubliermassen	230
11.3.1.2	Verarbeitung von Agar-Agar-Dubliermassen	231
11.3.2	Irreversible Dubliermassen	232
11.3.2.1	Bestandteile von A-Silikon-Dubliermassen	232
11.3.2.2	Verarbeitung von A-Silikon-Dubliermassen	233
11.3.3	Vergleich der beiden Materialgruppen	233
	Literatur	234
12.	Metallische Werkstoffe	235
12.1	Charakteristische Merkmale von Metallen	238
12.2	Einteilung von Metallen	239
12.2.1	Leichtmetall/Schwermetall	239
12.2.2	Chemisches Verhalten	239
12.2.3	Element/Legierung	240
12.2.4	Edelmetall/Nichtedelmetall	242
12.3	Einteilung von Dentallegierungen	242
12.3.1	Einteilung nach Typen gemäß DIN EN ISO 22674	243
12.3.2	Einteilung nach der Indikation	244

12.3.3	Einteilung nach der Verarbeitungstechnik	248
12.3.4	Einteilung nach der Zusammensetzung	248
12.3.4.1	Angabe der Zusammensetzung	249
12.3.4.2	Gefährliche Elemente gemäß DIN EN ISO 22674	250
12.3.4.3	Reinheit von Legierungen	251
12.4	Anforderungen an Dentallegierungen	252
12.4.1	Physikalische Anforderungen	252
12.4.1.1	Elastizitätsmodul	252
12.4.1.2	0,2-%-Dehngrenze	253
12.4.1.3	Zugfestigkeit	254
12.4.1.4	Bruchdehnung	254
12.4.2	Wärmeausdehnungskoeffizient	255
12.4.3	Verarbeitungstemperaturen von Legierungen	257
12.4.3.1	Schmelzintervall	257
12.4.3.2	Gießtemperatur	257
12.4.3.3	Brenntemperatur	258
12.4.3.4	Löttemperatur	259
12.4.4	Härte	259
12.4.5	Korrosion	260
12.4.5.1	Zusammensetzung von Legierungen	261
12.4.5.2	Zahntechnische Verarbeitung	263
	– Gusstechnische Verarbeitung und CAD/CAM-Verfahren	263
	– Oberflächenbearbeitung	264
	– Keramische Brände	265
	– Löten und Schweißen	266
	– Stoffe in der Mundhöhle	266
	– Galvanische Elemente durch Kontakt unterschiedlicher Legierungen	267
	– Übersicht der Einflüsse auf die Korrosion	268
12.5	Bestandteile von Dentallegierungen	268
12.5.1	Edelmetall-Legierungen	268
12.5.1.1	Hauptbestandteile von Edelmetall-Legierungen	268
	I) Angussfähige Edelmetall-Legierungen	270
	II) Gold und Gold-Basis-Legierungen	270
	III) Platin und Platin-Basis-Legierungen	273
	IV) Palladium und Palladium-Basis-Legierungen	273
	V) Silber und Silber-Basis-Legierungen	274
12.5.1.2	Nebenbestandteile von Edelmetall-Legierungen	275
	– Edelmetalle	275
	– Nichtedelmetalle	275
	– Nichtmetalle	276

– Kornfeiner	276
– Haftoxidbildner	277
12.5.1.3 Funktion der Legierungselemente von EM-Legierungen in der Zahnheilkunde	278
12.5.2 Nichtedelmetall- und edelmetallfreie Legierungen	278
12.5.2.1 Edelmetallhaltige Nichtedelmetall-Legierungen	280
12.5.2.2 Cobalt-Basis-Legierungen	281
I) Nichtaufbrennfähige Cobalt-Basis-Legierungen (Modellguss-Legierungen)	281
II) Aufbrennfähige Cobalt-Basis-Legierungen	283
12.5.2.3 Nickel-Basis-Legierungen	284
– Nickel-Chrom-Legierungen	284
– Nickel-Titan-Legierungen (Nitinol)	286
– Nickel-Kupfer-Legierungen (Monel-Legierungen)	286
12.5.2.4 Metallische Nebenbestandteile von Cobalt-Basis- und Nickel-Basis-Legierungen	287
12.5.2.5 Nichtmetallische Zusätze von Cobalt-Basis- und Nickel-Basis-Legierungen	288
I) Silizium	288
II) Kohlenstoff	288
III) Stickstoff	289
IV) Bor	289
12.5.2.6 Eisenlegierungen	290
12.5.2.7 Titan und Titanlegierungen	290
– Elementares Titan	292
– Titanlegierungen	292
12.5.2.8 Funktion der Legierungselemente von EMF-Legierungen in der Zahnheilkunde	295
12.5.2.9 Galliulegierungen	295
12.5.2.10 Kupfer-Aluminium-Bronzen	295
12.6 Verarbeitung von Dentallegierungen	296
12.6.1 Gerüstgestaltung	297
12.6.2 Gerüsterstellung	298
12.6.2.1 Konventionelle Verfahren	299
– Gießen	299
– Wiedervergießen	300
– Modellgusstechnik	304
– Klammern als Halteelemente	305
– Galvanotechnik	307
– Elektrophorese	308
– Sintern	308
12.6.2.2 Digitale Verfahren	308

	I) CAD-Cast-Verfahren	309
	II) Additive Verfahren	309
	III) Subtraktive Verfahren	309
12.6.3	Wärmebehandlung	310
12.6.4	Oberflächenbearbeitung	311
12.6.5	Verblenden von Gerüsten	313
12.6.5.1	Keramikverblendung	313
12.6.5.2	Kunststoffverblendung	314
12.6.6	Befestigen von Zahnersatz	314
12.6.7	Beschichten von metallischen Oberflächen	315
12.7	Auswahlkriterien für eine Dentallegierung	316
12.8	Zusammenfassung	316
	Literatur	317
13.	Keramische Werkstoffe	335
13.1	Einteilung von Dentalkeramiken	339
13.1.1	Einteilung von Dentalkeramiken nach Indikation	339
13.1.1.1	Gerüstkeramiken	341
13.1.1.2	Verblendkeramiken	341
	I) Verblendkeramiken für metallische Gerüste	342
	II) Verblendkeramiken für keramische Gerüste	344
13.1.1.3	Monolithische Keramiken	344
13.1.2	Einteilung von Dentalkeramiken nach der Zusammensetzung	344
13.1.2.1	Natürliche und synthetische Dentalkeramik	345
13.1.3	Einteilung von Dentalkeramiken nach der Verarbeitung	345
13.1.3.1	Konventionelle (analoge) Verarbeitung	346
13.1.3.2	Verarbeitung mit CAD/CAM-Systemen (digitale Verarbeitung)	346
13.2	Bestandteile von Dentalkeramiken	347
13.2.1	Glasanteil	347
13.2.1.1	Quarz	347
13.2.2	Keramikanteil	348
13.2.2.1	Feldspäte	348
13.2.2.2	Leucit	349
13.2.2.3	Lithiumdisilikat	349
13.2.2.4	Metalloxide	351
13.2.2.5	Farbstoffe und Pigmente	351
13.2.2.6	Trübungsmittel	352
13.3	Werkstoffkundliche Eigenschaften	352
13.3.1	Vergleich Keramik und Metall	352

13.3.2	Werkstoffkundliche Kenngrößen für Keramiken	353
13.3.2.1	Mechanische Kennwerte	353
	I) Elastizitätsmodul	354
	II) Biegefestigkeit	354
	III) Risszähigkeit	355
	IV) Weibull-Modul	357
	V) Alterung von Keramiken	358
13.3.2.2	Härte	358
13.3.2.3	Vergleich der mechanische Werte	359
13.3.3	Thermische Kennwerte	359
13.3.3.1	Schmelzpunkt, Schmelzintervall und Schmelzbereich	359
13.3.3.2	Sintertemperaturen und Brenntemperaturen	359
	I) Schrumpfungsfaktor	360
	II) Verzug durch den Sinterprozess	361
13.3.3.3	Glaserweichungstemperatur	361
13.3.3.4	Wärmeausdehnungskoeffizient	362
13.3.4	Löslichkeit	362
13.3.5	Farbe	363
13.3.6	Radioaktivität	364
13.4	Anwendung keramischer Werkstoffe	365
13.4.1	Allgemeine Hinweise zur Planung und Präparation	366
13.4.2	Allgemeine Hinweise zur Verarbeitung	367
13.5	Dentalkeramiken	368
13.5.1	Glaskeramiken	368
13.5.1.2	Kristallisieren von Gläsern	368
13.5.1.3	Press- und Überpresskeramiken	371
13.5.1.4	Lithiumdisilikat-Keramiken	373
13.5.2	Infiltrationskeramiken	376
13.5.2.1	Mit Glas infiltrierte Keramiken	376
13.5.2.2	Mit Kunststoff infiltrierte Keramiken	378
13.5.3	Oxidkeramiken	380
13.5.3.1	Aluminiumoxid	380
13.5.3.2	Stabilisiertes Zirkoniumdioxid („Zirkon“)	381
	I) Definition	381
	II) Modifikationen von Zirkoniumdioxid	381
	III) Teil- und Vollstabilisierung von Phasen	382
	a) Rissheilung	384
	b) Heilungsbrände	384
	c) Alterungsprozess	385
	IV) Generationen des „Zirkons“	385
	V) Gestaltung des „Zirkon“-Gerüsts	386
	VI) Einfärben	388

	VII) Verarbeitung von „Zirkon“	388
	VIII) Sintern	388
	IX) Ausarbeiten	389
	X) Befestigen	389
	XI) Allgemeine Bearbeitungshinweise	390
13.5.4	Silikatische Verblendkeramiken	391
13.5.4.1	Schichttechnik	391
	I) Anmischflüssigkeiten	392
	II) Grundmasse (Opaker)	393
	– Pulver- und Pastengrundmassen	393
	III) Bonder	394
	IV) Liner	395
	V) Dentin- und Schneidmassen	395
	VI) Glasurmassen und Malfarben	395
13.6	Keramische Brände	396
13.6.1	Keramiköfen	396
13.6.1.1	Steuerelektronik für Brennprogramme	398
13.6.2	Temperaturprogramme	398
13.6.2.1	Ablauf des Brennzyklus	399
13.6.2.2	Sinterschrumpfung	400
	I) Silberprobe zur Kalibrierung von Keramiköfen	401
	II) Bestimmung des Brenngrads	402
13.6.3	Abkühlphase	403
13.6.4	Die Brände bei der keramischen Verblendung	404
13.6.4.1	Oxidbrand	404
	I) Edelmetall-Legierungen	404
	II) Edelmetallfreie Legierungen	406
	III) Titan und Titanlegierungen	407
	IV) Vergleich der verschiedenen Legierungsarten bezüglich des Oxidbrands	407
13.6.4.2	Washbrand	407
13.6.4.3	Grundmassebrand	408
13.6.4.4	Dentinbrand	408
13.6.4.5	Glanzbrand	409
13.6.5	Oberflächenbehandlung bei analog und digital hergestellten Metallgerüsten	409
13.6.6	Verfärbungen nach den keramischen Bränden	410
13.6.7	Entfernung der Verblendkeramik vom Metallgerüst	410
13.6.8	Fehlermöglichkeiten beim keramischen Verblenden – Reklamationsfall	411
13.7	Metall-Keramik-Verbund	413
13.7.1	Verbundmechanismen	413

13.7.1.1	Adhäsion	414
13.7.1.2	Physikalische Kräfte	414
13.7.1.3	Chemische Bindungen	415
	– Mischoxidbildung	416
13.7.2	Prüfung des Metall-Keramik-Verbunds	418
13.7.3	Versagensmöglichkeiten bei keramischen Verblendungen von Metallgerüsten	419
13.7.3.1	Kohäsives und adhäsives Versagen	419
13.7.3.2	Beeinflussung der Verbundfestigkeit durch Korrosion	421
13.7.3.3	Vergleich von Metall-Keramik- und Keramik-Keramik- Verbundsystemen	421
13.8	Reparatur von Keramikern	422
13.8.1	Reparatur von keramischen Verblendungen	423
13.8.1.1	Intraoral	423
13.8.1.2	Extraoral	424
13.8.1.3	Infiltration von Rissen mit Gläsern	425
13.9	Zusammenfassung	426
	Literatur	426

14. Kunststoffe 439

14.1	Einführung in die Polymerchemie	441
14.1.1	Polyreaktionen	442
14.1.1.1	Monomere, Oligomere und Polymere	443
14.1.1.2	Polymerisationsreaktion	444
	– Radikalische Polymerisation	445
	– Kettenstart (Initiation)	446
	– Kettenwachstum (Propagation)	447
	– Kettenabbruch (Termination)	448
14.1.1.3	Polykondensation	449
14.1.1.4	Polyaddition	450
14.1.2	Polymerisationsschrumpfung	450
14.1.3	Vernetzung der Polymere	451
14.1.3.1	Thermoplaste, Elastomere und Duromere	452
14.1.3.2	Verarbeitung der Kunststoffe	452
	– Thermoplastische Verfahren	452
	– Chemoplastische Verfahren	453
	– CAD/CAM-Verfahren	453
14.2	Bestandteile von radikalisch polymerisierenden Kunststoffen	453
14.2.1	Monomere	454
14.2.1.1	Comonomere	456
	– Haftvermittler	458

14.2.2	Initiatoren	458
14.2.2.1	Photoinitiatoren	459
14.2.3	Akzeleratoren	460
14.2.4	Katalysatoren	463
14.2.5	Inhibitoren	463
14.2.5.1	Sauerstoffinhibierte Schicht	465
14.2.6	Füllstoffe	465
14.2.7	Farbstoffe und Pigmente	468
14.2.8	Fasern	468
14.2.9	UV-Absorber/Lichtstabilisatoren	469
14.2.10	Antioxidantien	470
14.2.11	Weichmacher	471
14.2.12	Rheologische Hilfsstoffe	471
14.2.13	Andere Bestandteile	471
	– Zusammenfassung	473
14.3	Einteilung von Dentalkunststoffen	473
14.3.1	Einteilung gemäß DIN-Normen	473
14.3.1.1	Prothesenkunststoffe	473
14.3.1.2	Kronen- und Verblendwerkstoffe	474
14.3.1.3	Polymerbasierende Restaurationsmaterialien	475
14.4	Anforderungen an Kunststoffe	476
14.4.1	Plastizität beim Stopfen	476
14.4.2	Restmonomergehalt	477
14.4.3	Aushärtungstiefe	477
14.4.4	Polymerisationstiefe	478
14.4.5	Wasseraufnahme und Löslichkeit	478
14.4.6	Farbe und Farbbeständigkeit	480
14.4.7	Festigkeit	480
14.5	Prothesenkunststoffe	482
14.5.1	Künstliche Zähne	483
14.5.2	Herstellung von herausnehmbaren Total- und Teilprothesen	484
14.5.3	Parameter bei der Verarbeitung von Prothesenkunststoffen	486
14.5.3.1	Mischungsverhältnis von Pulver und Flüssigkeit	486
14.5.3.2	Anwendung von Überdruck	487
14.5.3.3	Temperaturverlauf in der Küvette	488
14.5.3.4	Vermeidung von Siedebblasen	491
14.6	Digitale Herstellung von Totalprothesen	492
14.7	Composites	493
14.7.1	Einteilung von Composites	494
14.7.2	Einteilung nach Indikation	494

14.7.2.1	Einteilung nach der Matrix	494
	– Composites basierend auf Bis-GMA	494
	– Hybridcomposites	495
	– Compomere	496
	– Ormocere	496
14.7.3	Einteilung nach Füllstoffen	497
14.7.4	Einteilung nach der Konsistenz	498
14.7.5	Einteilung nach der Polymerisationsart	498
14.7.5.1	Chemischpolymerisierende Composites	499
14.7.5.2	Photopolymerisierende Composites	500
	– Aushärtungstiefe	500
14.7.5.3	Dualhärtende Composites	502
14.8	Polyaryletherketone (PAEK)	503
14.9	Spezialkunststoffe	505
14.10	Metall-Kunststoff-Verbund	506
14.10.1	Makro- und Mikroretention	508
14.10.2	Adhäsion	508
14.10.3	Chemische Bindungen	509
14.10.3.1	Verbund über Oxidschichten	510
14.10.3.2	Verbund über Silikatschichten	510
14.10.4	Metall-Kunststoff-Verbundprüfung	512
14.11	Reparatur von Kunststoffen	516
14.11.1	Extraoral	516
14.11.2	Intraoral	517
14.11.3	Verbundmechanismen	517
14.11.3.1	Mechanischer Verbundmechanismus	517
14.11.3.2	Chemischer Verbundmechanismus	518
14.12	Zusammenfassung	519
	Literatur	519
15.	Fügetechniken	525
15.1	Definition und Verbindungsarten	527
15.2	Löten	529
15.2.1	Anforderungen an Lötverbindungen	530
15.2.2	Arbeitstemperatur der Lote	530
15.2.3	Zusammensetzung der Lote	531
15.2.4	Gestaltung des Lötspalts	532
15.2.5	Einfluss der Temperatur beim Löten	533
15.2.6	Löteinbettmassen	534
15.2.7	Flussmittel	535
15.2.8	Löten mit der offenen Flamme	536
15.2.9	Punktschweißen u. Löten mit dem Punktschweißgerät	537

15.2.10	Löten im Keramikofen	539
15.2.11	Beurteilung der Qualität der Lötverbindung	540
15.2.11.1	Mechanische Festigkeit von gelöteten Restaurationen	540
15.2.11.2	Korrosion von gelöteten Restaurationen	541
15.3	Schweißen	543
15.3.1	Laserschweißen	544
15.3.1.1	Das Laserschweißgerät	546
15.3.2	Sicherheitsaspekte beim Laserschweißen	547
15.3.3	Einstellparameter am Laserschweißgerät	547
15.3.3.1	Leistung	548
15.3.3.2	Pulsdauer	549
15.3.3.3	Fleckdurchmesser	550
15.3.3.4	Pulsfrequenz	551
15.3.3.5	Pulsformen	552
15.3.3.6	Einfluss der Parameter	552
15.3.3.7	Laserschweißnähte	553
	– I-Naht	554
	– Doppelte Y-Naht	554
	– X-Naht und V-Naht	554
15.3.4	Setzen der Schweißpunkte	555
15.3.5	Verwendung von Schutzgas	557
15.3.6	Schweißseignung von Grundwerkstoffen und Zusatzwerkstoffen	560
15.3.6.1	Schweißzusatzwerkstoffe	562
15.3.7	Beurteilung Qualität der Schweißverbindung	563
	– Visuelle Prüfung	563
	– Mechanische Prüfung	563
	– Mikroskopische Prüfung	563
	– Mechanische Prüfung	563
	– Korrosionsprüfung	564
15.3.7.1	Mechanische Festigkeit von lasergeschweißten Restaurationen	564
15.3.7.2	Korrosion von lasergeschweißten Restaurationen	564
15.3.8	Keramische Verblendung von lasergeschweißten Objekten	565
15.3.9	Phasern	566
15.3.10	Vergleich von Löten und Schweißen	567
15.4	Angießen	570
15.4.1	Anwendungen für das Angießen	571
15.4.2	Nicht-angussfähige Legierungen	571
15.5	Kleben	573

15.5.1	Gestaltung der Klebeverbindung	573
15.5.2	Anwendungen für das Kleben	574
	– Implantatabutment	574
	– Doppelkronen	574
	– Geschiebe	574
15.6	Geschiebetechnik	575
15.6.1	Doppelkronen	576
15.6.1.1	Teleskopkronen	576
	– Einfluss von Speichel auf die Reibungskraft	578
15.6.1.2	Konuskronen	578
15.6.1.3	Doppelkronen mit Spielpassung	579
15.6.1.4	Werkstoffe für Doppelkronen	579
15.6.1.5	Die CAD/CAM-Fertigung	580
15.6.1.6	Korrosion von Doppelkronen	581
15.6.2	Stege	582
15.6.2.1	Konfektionierte Stege	583
15.6.2.2	Individuelle Stege	583
15.6.2.3	Festigkeit von Stegen	584
15.7	Geschiebe	587
15.7.1	Konfektionierte Geschiebe	587
15.7.1.1	Konfektionierte Geschiebe aus Metall	587
15.7.1.2	Konfektionierte Geschiebe aus ausbrennbarem Kunststoff	588
15.7.2	Individuelle Geschiebe	589
15.8	Riegel	590
15.9	Schrauben	591
	Literatur	592
16.	Befestigungswerkstoffe	601
16.1	Einteilung der Befestigungswerkstoffe	603
16.2	Anforderungen an Befestigungswerkstoffe	604
16.3	Zemente	605
16.3.1	Zinkphosphat-Zement	606
16.3.2	Zinkoxid-Eugenol-Zement	609
16.3.3	Eugenolfreier Zinkoxid-Zement	610
16.3.4	Ethoxybenzoesäure-Zement	610
16.3.5	Carboxylat-Zement	611
16.3.6	Zinksulfat-Zement	612
16.3.7	Glasionomerezement	612
16.3.8	Verbund zu den zahntechnischen Werkstoffen	614
16.4	Adhäsive Befestigungssysteme	615
16.4.1	Verbund zur Zahnhartsubstanz	615

16.4.1.1	Schmelz-Ätztechnik	616
16.4.1.2	Dentin-Ätztechnik	616
16.4.1.3	Bestandteile der Komponenten	618
16.4.2	Verbund zu den zahntechnischen Werkstoffen	618
16.4.2.1	Metalle	619
16.4.2.2	Keramiken	620
16.4.2.3	Kunststoffe	620
16.4.3	Anforderungen an Befestigungscomposites	620
	Literatu	621
17.	Implantate	623
17.1	Implantatkomponenten	625
17.1.1	Indikationen für Implantate	627
17.1.2	Kontraindikationen für Implantate	627
17.2	Implantat (Endostruktur)	629
17.2.1	Implantatwerkstoffe	630
17.2.1.1	Titan und Titanlegierungen	630
	– Titanunverträglichkeit	630
17.2.1.2	Zirkoniumdioxid	631
17.2.1.3	Mechanische Belastbarkeit von Implantaten	631
17.2.1.4	Oberflächen von Implantaten aus Titan und Titanlegierungen	633
17.2.1.5	Parodontium und Osseointegration	635
	– Zahnhalteapparat (Parodontium)	635
	– Osseointegration	635
17.2.1.6	Biokompatibilität	635
17.2.1.7	Sterilität	636
17.3	Abutment (Mesostruktur)	637
17.3.1	Implantat-Abutment-Verbindung	638
17.3.2	Abutmentwerkstoffe	640
17.3.2.1	Titan und Titanlegierungen	640
17.3.2.2	Cobalt-Chrom-Legierungen	641
17.3.2.3	Edelmetalllegierungen	642
17.3.2.4	Keramiken	642
17.3.2.5	Kunststoffe	643
17.3.3	Emergenzprofil	644
17.3.4	Platform Switching	644
17.4	Suprastruktur (Exostruktur) und Suprakonstruktion	645
17.4.1	Sheffield-Test	646
17.5	Implantologie	647
17.5.1	Planungsschablone für die geführte Pilotbohrung	647

17.5.2	Bohrschablone für die navigierte Implantation	648
17.5.3	Implantationszeitpunkt	649
17.5.4	Einzeitige und zweizeitige Implantation	649
	– Einzeitige Implantation	649
	– Zweizeitige Implantation	649
17.5.5	Implantatabformung und Implantatmodell	650
	– Geschlossene Abformung und Implantatmodell	651
	– Offene Abformung und Implantatmodell	651
17.6	Korrosion von implantatgetragenen Zahnersatz	652
17.6.1	Bildung eines galvanischen Elements zwischen Implantat und Abutment	653
	Literatur	656
18.	Füllungswerkstoffe	661
18.1	Einteilung von Kavitäten	663
18.2	Anforderungen an Füllungswerkstoffe	664
18.3	Einteilung von Füllungswerkstoffen	664
18.4	Direkte Füllungswerkstoffe	666
18.4.1	Metalle	666
18.4.1.1	Amalgame	667
18.4.1.2	Stopfgold	670
18.4.1.3	Galliumlegierungen	670
18.4.2	Füllungscomposites	671
18.4.2.1	Composites	672
18.4.2.2	Keramik-Inserts	675
18.4.2.3	Ormocere	676
18.4.2.4	Silorane	676
18.4.3	Zemente	677
18.4.3.1	Glasionomerzemente	677
18.4.3.2	Kunststoffmodifizierte Glasionomerzemente	678
18.4.3.3	Compomere	678
18.4.3.4	Glascarbomere	679
18.4.3.5	Silikatzemente	679
18.4.3.6	Silikophosphatzemente	679
18.5	Indirekte Füllungswerkstoffe	680
18.5.1	Metalle	680
18.5.1.1	Goldlegierungen	680
18.5.1.2	Galvanogold	681
18.5.2	Keramiken	681
18.5.2.1	Glaskeramiken	682
18.5.2.2	Hybridkeramik	683
18.5.3	Composites	684

18.5.4	Vergleich von direkten und indirekten Füllungswerkstoffen	684
	Literatur	685
19.	Sonstige Materialien	693
19.1	Gase	695
19.1.1	Farbkennzeichnung von Gasflaschen	695
19.1.2	Brenngase	697
19.1.3	Schutzgase	698
19.1.3.1	Edelgase als Schutzgase	698
19.1.3.2	Stickstoff als Schutzgas	699
19.1.4	Formiergase	699
19.1.5	Druckluft	700
19.2	Säuren	701
19.2.1	Einteilung von Säuren	701
19.2.2	Neutralisationsreaktion	703
19.3	Lösungsmittel	703
19.3.1	Lösungen	704
19.3.2	Löslichkeit	704
19.3.3	Einteilung der Lösungsmittel	704
19.3.4	Das Lösungsmittel Wasser	705
19.3.4.1	Härtegrad	705
19.3.4.2	Destillation	706
19.3.4.3	Umkehrosmose	706
19.3.4.4	Ionenaustausch	707
19.4	Oberflächenentspannungsmittel	708
19.5	Tiegelmaterialien	710
19.5.1	Keramiktiegel	711
19.5.2	Grafittiegel und Glaskohlenstofftiegel	712
19.5.3	Tiegeleinsätze	714
19.6	Flussmittel und Schmelzpulver	715
	Literatur	716
20.	MDR, Normen und SI-Einheiten	717
20.1	Medizinprodukterichtlinie (MDD) und Medizinprodukteverordnung (MDR)	719
20.1.1	Medizinprodukterichtlinie (MDD)	721
20.1.2	Medizinprodukteverordnung (MDR)	721
20.1.3	Definition eines Medizinprodukts	724
20.1.4	Zweckbestimmung und bestimmungsgemäßer Gebrauch	726

20.1.5	Grundlegende Sicherheits- und Leistungsanforderungen	726
20.1.5.1	CMR-Stoffe	727
20.1.5.2	Phthalate und Bisphenol-A	728
20.1.5.3	Nanomaterialien	728
20.1.6	Klassifizierung von Medizinprodukten	729
20.1.6.1	Klassifizierung von Produkten im Dentalbereich	730
20.1.7	Sonderanfertigungen	731
20.1.8	EU-Konformitätserklärung und CE-Konformitätskennzeichnung	733
20.1.9	Benannte Stellen	733
20.1.10	CE-Zeichen	734
20.1.11	Risikobasierter Ansatz der MDD und MDR	735
20.1.11.1	PDCA-Methode	735
20.1.12	Haltbarkeit von Medizinprodukten	736
20.1.13	Verantwortliche Person (Qualified Person)	737
20.1.13.1	Sicherheitsbeauftragter für Medizinprodukte	737
20.1.13.2	Medizinprodukteberater	740
20.1.14	Nachverfolgbarkeit von Medizinprodukten	741
20.1.15	Verpackung, Kennzeichnung und Gebrauchsanweisung	742
20.1.15.1	Gebrauchsanweisung	744
20.1.15.2	Symbole auf Verpackungen, Etiketten, und Gebrauchsanweisungen	745
20.2	Normen	750
20.2.1	Normungsgremien	750
20.2.2	Normenreihen und Normenarten	752
20.2.2.1	Harmonisierte Normen	755
20.2.3	Entstehung einer Norm	755
20.2.4	Verzeichnis der Dental-Normen	756
20.2.5	Qualitätsmanagementsysteme	762
20.2.5.1	DIN EN ISO 9001: Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen	762
20.2.5.2	DIN EN ISO 13485: Medizinprodukte – Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen für regulatorische Zwecke	763
20.3	Gefahrstoffe und Gefahrgüter	764
20.3.1	Gefahrstoff	765
20.3.2	Gefahrgut	766
20.3.3	Sicherheitsdatenblatt	766
20.4	Gebrauchsmuster, Geschmacksmuster, Marken und Patente	766

20.4.1	Gebrauchs- und Geschmacksmuster	766
20.4.2	Marken	767
20.4.3	Patente	768
20.5	Physikalische Einheiten im SI-System	769
20.5.1	SI-Vorsätze	769
20.5.2	SI-Basiseinheiten	770
20.5.2.1	Definition der Basiseinheiten	770
20.5.3	Abgeleitete Größen und SI-Einheiten	770
20.5.4	Einheiten außerhalb des SI-Systems	773
20.6	Bezeichnung von chemischen Stoffen	773
20.6.1	IUPAC-Nomenklatur	773
20.6.1.1	Anorganische Verbindungen	774
20.6.1.2	Organische Verbindungen	774
20.6.2	CAS-Nummern	775
	Literatur	777
21.	Erweiterter Index	779
	Danksagung	807