

Vorwort	15
Geschichtliches zur Werkstoffkunde	16
Einflüsse auf dentale Werkstoffe in der Mundhöhle	18
Werkstoffkunde der Nichtmetalle	19
1. Gips	20
1.1. Gegenwärtige Verwendung in der Zahnmedizin	20
1.2. Gipsabbau und Vorkommen in Deutschland	20
1.3. Gipspulvergewinnung	20
1.3.1. Brennverfahren und Gipsmodifikationen	21
1.3.2. Synthetische Gipsherstellung	23
1.4. Der Abbindevorgang des Gipses	23
1.4.1. Interkristallines Wasser (überschüssiges Wasser)	25
1.4.2. Wassermenge, Kristallstruktur und Bindungsverhalten des H ₂ O zu CaSO ₄	25
1.5. Beeinflussung der Abbindezeit – Volumenverhalten und Abbindeexpansion ...	28
1.5.1. Beschleunigung der Abbindezeit	28
1.5.2. Verzögerung der Abbindezeit	28
1.6. Volumenverhalten und Abbindeexpansion	29
1.7. Gipshärte	31
1.7.1. Die Oberflächenhärte von Gips	32
1.7.1.1. Die Oberfläche des abgebundenen Gipses	32
1.8. Beeinflussung wichtiger Gipseigenschaften	34
2. Einbettmassen	35
2.1. Anforderungen an Einbettmassen	35
2.2. Zusammensetzung und Einteilung der Einbettmassen	35
2.2.1. Allgemeine Zusammensetzung	35
2.2.2. Einteilung der Einbettmassen	36
2.2.3. Gipsgebundene Einbettmassen	36
Exkurs: Gipszersetzung, Schwefelschäden an Legierungen und deren Folgen ..	38
2.2.4. Gipsfreie Einbettmassen	38
2.2.4.1. Phosphatgebundene (zementartig gebundene) Einbettmassen	38
2.2.4.2. Silikatgebundene (ethylsilikatgebundene) Einbettmassen	39

2.3.	Eigenschaften der verschiedenen Einbettmassen	40
2.3.1.	Porosität und Oberflächenstruktur	40
2.3.2.	Expansionsverhalten	40
2.3.2.1.	Abbindeexpansion	41
2.3.2.2.	Thermische Expansion	42
2.4.	Das Einbetten	44
2.5.	Löteinbettmassen	45
3.	Kunststoffe	46
3.1.	Definition: Kunststoffe	46
3.2.	Verwendung von Kunststoffen	46
3.3.	Bildung von Kunststoffen durch Polyreaktionen	47
3.3.1.	Polymerisation	47
3.3.1.1.	Radikalische Polymerisation	48
3.3.1.2.	Ionische Polymerisation	48
3.3.2.	Polykondensation	50
3.3.3.	Polyaddition	50
3.4.	Physikalische Eigenschaften	51
3.4.1.	Kettenbildung bei Kunststoffen	51
3.4.1.1.	Polymerisationsgrad, Vernetzungsgrad	52
3.4.1.2.	Strukturmerkmale der Polymere: Thermoplaste, Elastomere, Duromere	52
3.4.2.	Kristallinitätsgrad	54
3.5.	Verschiedene Polymere	56
3.5.1.	Homopolymer	56
3.5.2.	Polymergemisch	56
3.5.2.	Mischpolymere	56
3.6.	Formgebung dentaler Kunststoffe	57
3.6.1.	Das thermoplastische Verfahren	57
3.6.2.	Das chemoplastische Verfahren	58
3.7.	Prothesenbasiskunststoff: Polymethacrylsäuremethylester	59
3.7.1.	Einleitung	59
3.7.2.	Herstellung des Methacrylsäuremethylesters (Monomer)	60
3.7.3.	Herstellung des Polymethacrylsäuremethylesters (Polymer)	61
3.7.3.1.	Polymerisationsvorgang im Überblick	61
3.7.3.2.	Die Startphase im Detail	62
3.7.4.	Eigenschaften des Monomers	63

3.7.5. Eigenschaften des Polymers	64
3.7.5.1. Biegefestigkeit des Polymers	65
3.7.6. Splitter- und Perlpolymerisat	66
3.7.7. Verarbeitung von Heißpolymerisat	67
3.7.7.1. Verarbeitungsfehler im Umgang mit Heißpolymerisat	68
3.7.8. Verarbeitung von Kaltpolymerisat	69
3.7.9. Lichthärtende Einkomponentensysteme in der (Total-)Prothetik	70
3.7.10. Biokompatibilität von (P)MMA aus zahnmedizinischer Sicht	70
3.8. Luxene® und Polyacetale	71
3.9. Polykarbonate	71
3.10. Provisorien auf Epiminbasis	72
3.11. Weichbleibende Kunststoffe	73
3.11.1. Äußere Weichmachung	75
3.11.2. Innere Weichmachung	75
3.12. Füllungs – und Verblendkunststoffe	75
3.12.1. Einleitung	75
3.12.2. Komposite	76
3.12.2.1. Die organische Phase	76
3.12.2.1.1. Zusatzstoffe der organischen Phase	79
Exkurs: Eine Methode zur Verlängerung der Verarbeitungszeit von Komposit	79
3.12.2.2. Anorganische Phase	81
3.12.2.3. Haftvermittler/Silanisierung	83
3.12.2.4. Die Polymerisationsschrumpfung	86
3.12.2.5. Haftungsmechanismen zwischen Zahnhartsubstanz und Kunststoff	89
Geschichtlicher Überblick über die Adhäsiv-Entwicklung	97
Exkurs: Universal-Adhäsive (Markteinführung 2011)	98
3.13. Glasionomerezemente (GlZ)	103
3.14. Kompomere	108
3.15. Ormocere	111
3.16. Silorane	114
3.17. Kunststoffe für die Herstellung von Provisorien	116
3.17.1. Materialien für die provisorische Versorgung	116
3.17.2. Materialien für die Eingliederung provisorischer Versorgung	118
3.18. Biokompatibilität von Füllungskunststoffen aus zahnmedizinischer Sicht	118
3.19. Isoliermittel Gips-Kunststoff	119
3.19.1. Gründe für die Isolierung Gips <-> Kunststoff	119
3.19.2. Materialien zur Isolierung	119

4.	Abformwerkstoffe	121
4.1.	Anforderungen an Abformwerkstoffe und Einteilung	121
4.2.	Irreversibel starre Abformwerkstoffe	122
4.2.1.	Abdruckgips	122
4.2.2.	Zink-Eugenol-Pasten	122
4.2.3.	Kunststoff-Abdruckpasten	123
4.3.	Reversibel starre Abformwerkstoffe	123
4.3.1.	Thermoplastische Kompositionsabformmassen	123
4.4.	Irreversibel elastische Abformwerkstoffe	125
4.4.1.	Alginat, irreversibles Hydrokolloid	125
	Exkurs: Kolloide Lösungen und Gele	125
4.4.1.1.	Alginatabformmaterial	126
4.4.2.	Elastomere Abformmaterialien	128
4.4.2.1.	Silikone (Polysiloxane)	128
4.4.2.2.	Polysulfide, Thiokole	134
4.4.2.3.	Polyether	135
4.5.	Reversibel elastische Abformwerkstoffe, reversibles Hydrokolloid, Agar-Agar ...	137
4.6.	Indikationen der verschiedenen Abformwerkstoffe und -techniken	138
4.6.1.	Abformtechniken	139
4.7.	Vergleichende Bewertung wichtiger Eigenschaften von Abformwerkstoffen	143
4.8.	Desinfektion von Abformmaterialien	144
4.9.	Biokompatibilität dentaler Abformmaterialien aus zahnmedizinischer Sicht	145
5.	Wurzelkanalfüllwerkstoffe	146
5.1.	Guttapercha	146
5.2.	Erhärtende Wurzelkanalfüllpasten	147
5.2.1.	Pasten auf Zinkoxid-Eugenol-Basis	147
5.2.2.	Pasten auf Zinkoxid-Eugenol-Basis mit Medikamentenzusätzen	148
5.2.3.	Pasten auf Epoxidharz-Basis	148
5.2.4.	Pasten auf Polydimethylsiloxan-Basis	149
5.2.5.	Pasten auf Methacrylat-Basis (Komposit-Basis)	149
5.2.6.	Kalziumhydroxidhaltige Pasten auf Salicylat-Basis	149
5.2.7.	Pasten auf Glasionomerzement-Basis	149
5.2.8.	Pasten auf Guttapercha-Basis	150
5.2.9.	Pasten auf Trikalziumsilikat-Basis	150
5.3.	Wurzelkanalfüllstifte	150
5.3.1.	Halbfeste WF-Stifte	151

5.3.1.1.	Guttapercha-Stifte	151
5.3.1.2.	Stifte auf Polyester-Basis	151
5.3.2.	Feste WF-Stifte	151
5.3.2.1.	Silberstifte	151
5.3.2.2.	Titanstifte	152
5.3.2.3.	Kunststoffstifte	152
5.4.	Biokompatibilität von Wurzelkanalfüllwerkstoffen aus zahnmedizinischer Sicht	152
6.	Keramische Massen	153
6.1.	Verwendung und Eigenschaften keramischer Massen	153
6.2.	Einordnung der Dentalkeramik innerhalb der silikatischen Werkstoffe	154
6.3.	Siliziumdioxid und Silikate	154
6.4.	Dentale Keramiksysteme	158
6.5.	Konventionelle keramische Massen (feldspathaltige Keramik)	159
6.5.1.	Verarbeitungsprinzip: Das Sintern	160
6.5.2.	Herstellung von Mineralzähnen	162
6.5.2.1.	Das Solila-Prinzip	162
6.5.3.	Herstellung einer klassischen Mineralmantelkrone	163
6.5.4.	Weitere Indikationen für vollkeramische Restaurationen: Inlays, Onlays, Veneers und Implantate	165
6.5.5.	Aufbrennkeramik: Herstellung von Keramikverblend-Restaurationen und Haftmechanismen zwischen Keramik und Metall	165
6.5.5.1.	Leuzitverstärkte Keramiken	169
6.6.	Glaskeramik	169
6.6.1.	Der Glaszustand des Quarzes	169
6.6.2.	Metallkationen als „Trennstellenbildner“	169
6.6.3.	Glas(keramik) in der Zahnmedizin	171
6.6.4.	Glaskeramische Fertigungsverfahren	171
6.6.4.1.	Gießkeramiken	171
6.6.4.2.	Presstechnische Fertigung	172
6.6.4.3.	Infiltrationskeramisches System	173
6.7.	Computergestützte Frästechnik – CAD/CAM-Systeme	175
6.7.1.	Beispiele für CAD/CAM-Systeme und Kopierschleifsysteme	176
6.7.1.1.	CAD/CAM: Cerec (Sirona)	176
6.7.1.2.	Kopierschleifen: Celay (Mikrona)	177
6.7.2.	Werkstoffe für CAD/CAM-Systeme	177

6.7.2.1. Silikatische Werkstoffe	177
6.7.2.2. Lithiumdisilikat	178
6.7.2.3. Oxidverstärkte Werkstoffe	178
6.8. Biokompatibilität von keramischen Massen aus zahnmedizinischer Sicht	180
7. Wachse	182
7.1. Chemische Zusammensetzung und Eigenschaften	182
7.2. Einteilung der Wachse nach ihrer Herkunft	183
7.3. Einteilung der Wachse nach ihrer Verarbeitung	184
8. Modellwerkstoffe	187
9. Schleif- und Poliermittel	191
9.1. Schleifmittel	191
9.2. Schleifwerkzeuge, Schleifkörper und Schleifpasten	191
9.2.2. Bindemittel	193
9.3. Schleifwerkzeuge	193
9.3.1. Werkzeugschäfte	193
9.3.2. Diamanten	193
9.3.3. Steine	193
9.3.4. Gummipolierer	194
9.3.5. Poliermittel	195
9.3.6. Fräswerkzeuge	195
9.3.6.1. Klassifizierung der Hartmetallfräser nach DIN EN ISO 6360-1	196
9.3.6.2. Farbcodierung und Kurzzeichen Verzahnungsart Hartmetallfräser	196
Werkstoffkunde der Metalle	197
1. Einführung in die Metallkunde	198
1.1. Definition und Eigenschaften	198
1.2. Vorkommen von Metallen und Aufbereitung von Erzen	199
1.2.1. Die Aufbereitung des Erzes	200
1.2.2. Die Reduktion des Metalls	201
1.2.3. Die Reinigung des Metalls (Raffination)	201

2.	Das Metallgefüge	202
2.1.	Kristalline Festkörperstruktur der Metalle	202
2.2.	Metallgefüge	203
2.3.	Kristallstrukturen von Metallen	204
2.4.	Plastische Verformbarkeit von Metallen und Defektstrukturen	205
3.	Reine Metalle und ihre Verwendung in der Zahnmedizin	207
4.	Legierungen im Allgemeinen	215
4.1.	Struktur und Gefüge von Legierungen	215
4.1.1.	Struktur von Legierungen	215
4.1.2.	Gefüge von Legierungen und Homogenisieren von Metallen	216
4.1.3.	Homogenisieren von Metallen	218
4.2.	Zustandsdiagramme binärer Legierungen	219
4.2.1.	Vollkommene Löslichkeit in festem Zustand (Mischkristalle)	220
4.2.2.	Vollkommene Unlöslichkeit im festen Zustand (Kristallgemisch)	220
4.2.3.	Teilweise (beschränkte) Löslichkeit im festen Zustand (Mischkristalle) ...	221
5.	Dentallegierungen	224
5.1.	Physikalische Größen zur Bewertung von Legierungseigenschaften	224
5.2.	Übersicht über physikalische und mechanische Eigenschaften von Dentallegierungen	226
5.3.	Einteilung von Dentallegierungen	226
5.3.1.	Edelmetall-Legierungen	228
5.3.1.1.	Hochgoldhaltige Legierungen	228
5.3.1.2.	Goldreduzierte Legierungen	229
5.3.1.3.	Palladiumbasislegierungen	230
5.3.2.	Mundbeständige NEM-Legierungen	232
5.3.2.1.	Nickel-Chrom-Basislegierungen	234
5.3.2.2.	Kobalt-Chrom-Basis-Legierungen	236
5.3.2.3.	Titanbasislegierungen	237
5.3.2.4.	Stähle	239
5.3.3.	Biokompatibilität von Dentallegierungen aus zahnmedizinischer Sicht	239

6.	Amalgame	241
6.1.	Zusammensetzung	242
6.1.1.	Kupfer-Amalgame (nicht mehr verwendet)	242
6.1.2.	Silber-Zinn-Amalgame	242
6.2.	Herstellung und Darreichungsformen	244
6.3.	Eigenschaften der Amalgame	245
6.3.1.	Festigkeit	246
6.3.2.	Dimensionsänderung	246
6.3.3.	Creep	247
6.3.4.	Anlaufen und Korrosion	247
6.4.	Legen einer Amalgamfüllung	248
6.4.1.	Kavitätenpräparation/Unterfüllung	248
6.4.2.	Anmischen: Trituration	248
6.4.3.	Einbringen und Kondensieren	248
6.4.4.	Schneiden und Ausarbeiten	249
6.4.5.	Polieren und Feinkorrektur	249
6.5.	Biokompatibilität von Amalgam aus zahnmedizinischer Sicht	249
6.5.1.	Absolute und relative Kontraindikation	250
6.5.3.	Umgang mit Amalgamen in der zahnmedizinischen Praxis	252
6.5.4.	Basiswissen über Hg-Freisetzung aus Amalgamfüllungen und mögliche Diagnostik	252
7.	Korrosion	253
7.1.	Chemische Korrosion	254
7.2.	Elektrochemische Korrosion	254
7.2.1.	Der Speichel als Elektrolyt	254
7.2.2.	Galvanische Elemente und elektrochemische Spannungsreihe	255
7.2.3.	Korrosionspotenziale	257
7.2.4.	Formen von Korrosion	258
7.2.4.1.	Gleichmäßige Oberflächenkorrosion/Muldenkorrosion	259
7.2.4.2.	Spannungsrissskorrosion	259
7.2.4.3.	Selektive Korrosion	259
7.2.4.4.	Kontaktelemente	259
7.2.4.5.	Lokalelemente	261
7.2.4.6.	Belüftungselement, Spaltkorrosion und Lochfraßkorrosion	262

8.	Metallverarbeitung	265
8.1.	Kaltverformung	266
8.2.	Wärmebehandlungen	267
8.2.1.	Rekristallisieren/Weichglühen	267
8.2.2.	Homogenisieren	267
8.2.3.	Ausscheidungshärten (Vergüten)	268
8.2.3.	Sintern (Fräsrohlinge aus vorgesintertem Kobalt-Chrom für die CAD/CAM-Technik)	268
8.2.4.	Funkenerosion (Elektroerosion)	270
8.3.	Fügen – Metallische Verbindungen	270
8.3.1.	Angussverfahren	270
8.3.2.	Löten in der Zahntechnik	271
8.3.3.	Schweißen	272
9.	Das zahnärztliche Gussverfahren	274
9.1.	Gussverfahren	274
9.2.	Tiegelmaterialien	274
9.3.	Schmelzen von Metallen	275
9.4.	Volumenverhalten des Metalls	276
9.5.	Kompensation der festen Schwindung	278
9.6.	Korrektes Anbringen der Gusskanäle – Kompensation der Erstarrungsschwindung	278
9.7.	Einbetten	280
9.8.	Ausschmelzen des Wachses und Vorwärmen der Muffel	280
9.9.	Gussfehler	281
9.9.1.	Gussfehler im Inneren des Gussobjektes	282
9.9.2.	Gussfehler an der Oberfläche des Gussobjektes	282
9.9.3.	Unvollständiger Guss und Passungenauigkeiten	283
9.10.	Ausbetten	283
9.11.	Abbeizen (Absäuern)	283
9.12.	Ausarbeiten und Polieren	284

Verfahren zur Werkstoffprüfung	285
1. Einleitung	286
2. Prüfverfahren	288
2.1. Zugversuch	288
2.1.1. Prüfprinzip	288
2.2. Härteprüfung	289
2.2.1. Härteprüfung nach Brinell (HB)	290
2.2.2. Härteprüfung nach Vickers (HV)	291
2.2.3. Härteprüfung nach Rockwell (HRC)	292
2.2.4. Härteprüfung nach Knoop (HK)	292
2.2.5. Härteprüfungen nach Shore (HS)	293
2.2.5. Härteskala nach Mohs	293
2.3. Biegeversuch	293
2.4. Dauerschwingversuch (DIN 50100)	294
3. Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung	296
3.1. Lichtmikroskopie	296
3.2. Strukturanalyse	297
Quellenverzeichnis	298
Index	306
Anhang	315