

| | |
|---|----|
| 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. Gips Härte | 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 (GIZ) | 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. | Schnitzen 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. | Spannungsrisskorrosion | 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 |