

Allgemein

Implantate:

- Hauptproblem: Verankerung im Knochen -> Knochenzement
- Unterschiedliche E-Module -> ungünstige Umbauvorgänge
- Individuelle Knochenimplantate und resorbierbare Implantate
- Anforderungen: Bioverträglichkeit, Zugfestigkeit, Biegefestigkeit, Reibewiderstand, Korrosionsbeständigkeit, Biokompatibilität

Knochenreaktionen

- Biotoxisch: Entzündungen durch Reaktion mit Gewebe
- Biotolerant (CoC, PEEK, PMMA): teilweise vorteilhaften Einfluss auf Knochenwachstum (distance osteogenesis) *Endogewebsstruktur*
- Bioinert (Ti, α -Al₂O₃): unangreifbar, keine Abstoßung -> Mindestanforderung (contact osteogenesis: stoffschlüssig)
- Bioaktiv (TiO₂, HAp): aktives Unterstützen der Heilung/ Stoffwechsel (bonding osteogenesis: formschlüssig)

Biokompatibilität abhängig von

- Oberflächeneigenschaften (uneben, glatt, porig)
- Chemische Eigenschaften (hydrophil, hydrophob, Korrosionsneigung)
- Mechanische Eigenschaften (Elastizität, Biegefestigkeit)
- Geometrie (scharfe Kanten)

Faserbundwerkstoffe: Nutzung der Eigenschaften

- Physikalische: Röntgentransparenz, Verarbeitbarkeit, Gestaltung, Wirtschaftlichkeit
- Chemische: Biokompatibilität, Inertheit, Korrosionsbeständigkeit, Sterilisierbarkeit
- Mechanische: hohe Kennwerte
- Funktion der Matrix: Stütze der Faser, Kraftübertragung zwischen Fasern, Festigkeit, Schutz (Gewebe + Werkstoff)
 - Polymermatrix (PMC): Einlagerung von Partikeln zur $\uparrow$ der Funktionalität + Festigkeit
 - Metallischer Matrix (MMC): Einlagerung von Partikeln + Fasern zur $\uparrow$ der Festigkeit
 - Keramischer Matrix (CMC): Einlagerung von Partikeln + Fasern zur $\uparrow$ der Schadenstoleranz
 - > höchster Temperaturbereich
- Z.B. Leichtmetall -> bleibende Verformung bei hoher Belastung -> muss hinsichtlich Reibverhalten gestärkt werden -> Einlagerung von Keramik-Pulver

Konzepte zur Schadenstoleranz

- Einlagerung von Fasern zur Verstärkung
- Duktilisierende Phase 10-15% -> verschleißt Risse (Rissüberbrückung)
 - > Zähigkeit wird erhöht (energieabsorbierender Mechanismus)
- Gezieltes Einbringen einer hohen Konzentration von Mikrorissen + Poren
 - > Risse werden gestreut, z.B. Feinkorngraphit)

Härte

- Mohs'sche Härteskala: von 1 (Talk) bis 10 (Diamant)
- Schieffhärte nach Rosiwal: Widerstand gegen Abschliff von 0,03 bis 140000
- Vickershärte: (Kraft über Eindringtiefe) von 3 bis 800

Festigkeit

- Theoretische Festigkeit: Zugspannung, die Atombindungen löst und Struktur trennt
 - > tatsächliche Festigkeit (Mikroigenschaften haben großen Einfluss: Fehler, Defekte,...)
 - Weibullmodul: Bruchwahrscheinlichkeit für Bruchspannung, sollte bei Keramik >20 sein
 - Festigkeitsuntersuchung mit 4-Punkt-Biegeversuch:
 - höchstbelastetes Volumen wird minimiert -> Wahrscheinlichkeit eines unterkritischen Bruchs sinkt, Ergebnis nähert sich Stoffkennwerten
- $V_{Zug} > V_{4-Punkt} > V_{3-Punkt} \rightarrow \sigma_{Zug} < \sigma_{4-Punkt} < \sigma_{3-Punkt}$

Bruchzähigkeit

- Widerstand, den ein Werkstoff dem instabilen Risswachstum entgegensetzt
- K_{IC} -Wert: kritische Spannungsintensitätsfaktor

Keramik

Definition: anorganisch, nichtmetallisch, in Wasser schwer löslich, >30% kristallin, in der Regel bei Raumtemperatur aus Rohmasse geformt, erhalten typische Werkstoffeigenschaften durch Sintervorgang bei hohen Temperaturen (>800°C)

Am häufigsten: Skelett, Knochen, Gelenke, Zähne

Verschiedene Arten von chem. Bindungen treten gleichzeitig auf (Atom-, Ionen-, Metallbindung)
Grad des ionischen Charakters von 0 bis 1

hoher kovalenter Bindungsanteil -> hohe Schmelztemperaturen

Verformungsverhalten: keine plastische Verformung möglich

-> Versagen durch Spannungserhöhung an Kerben (K_t -Wert: Maß für Spannungszustand an Rissspitze)
-> Duktilisierung durch Einlagerung von Verstärkungskomponenten und -phasen (z.B. Fasern)

Festigkeit abhängig von: Werkstoffzusammensetzung, Korngröße, Fertigung, Herstellverfahren

Hohe Festigkeit auch bei hohen Temperaturen, aber: geringe Bruchzähigkeit

Einteilung: Gebrauchskeramik (grob/fein) + technische Keramik (Funktions-/Struktur-)

Funktionskeramik:

- Elektrisch/ magnetisch (Isolator: Al₂O₃)
- Thermisch: Wärmedämmung, Infrarotstrahler (ZrO₂, TiO₂)
- Optisch (Al-, Mg-Oxid)
- Chemisch (Zn-, Sn-Oxid)

Strukturkeramik:

- Mechanisch: Festigkeit, Härte, Kriechbeständigkeit
- Chemisch: korrosionsbeständig, Biokompatibilität, Säure/Lauge
- Tribologisch: verschleißfest, Oberfläche
- Thermisch: Wärmeleitung, -speicherung

Stoffliche Einteilung:

- Oxidkeramik (ionische Bindung, unter O_2 stabil): Aluminium-, Magnesium, Zirkon-, Titanoxid
- Silikatkeramik (mehrfach, hoher Glasanteil)
- Nichtoxidkeramik (kovalente Bindung, extreme Härte, hoher E-Modul, höchste Schmelzpunkte): Siliziumcarbid, Siliziumnitrid, Aluminiumnitrid

Herstellungsverfahren:

- Rohstoffgewinnung/-synthese
- Rohstoffaufbereitung Mahlen, Feinmahlen
- Masseaufbereitung (Compounding) / Mischung eines Feedstock (mit Blick auf Folgeschritt Bauteileigenschaften beeinflussen) -> Pulver
- Formgebung -> „Grüner“ Zustand
- Grünkörperbearbeitung
- Trocknung/ Entbindung (Ausbrennen)
- Vorsintern (Verglühen) / Weißbearbeitung bis $1000^\circ C$ -> „Brauner“ Zustand
- Sintern (Brand) $>1500^\circ C$ -> „Weißer“ Zustand
- Endbearbeitung (Hartbearbeitung, Finishing) -> Rohteil
- -> Fertigteil

Fertigungsverfahren:

- Schaffen der Form (Zusammenhalt schaffen)
- Hauptgruppe 1: Urformen (z.B. Spritzgießen, Extrudieren, Gießen)
- Ändern der Form (Zusammenhalt beibehalten, vermindern, vermehren)
- Hauptgruppe 2-5: Umformen, Trennen, Fügen, Beschichten
- Ändern der Stoffeigenschaften
- Hauptgruppe 6

Aluminiumoxid

- Beste Eigenschaften in Bruchzähigkeit, Tribologie, Biokompatibilität, Korrosionsbeständigkeit
- > Korngröße max. $4\text{ }\mu m$, chem. Reinheit von 99,7%
- Primärer Rohstoff: Bauxit
- Al_2O_3 (Korund)
- Feinkörnig, polykristallin, bei $1800^\circ C$ gesintert
- Hdp (hexagonal-dichteste-Kugelpackung)
- Hohe Dichte
- Hohe Korrosions-, Alters- und Verschleißbeständigkeit

Gleitpaarungen:

- Keramik/Polyethylen (UHMWPE) für weniger aktive Patienten
- Keramik/Keramik für sportlich aktive Patienten (Abrieb minimal)
- aber: hohe Sprödigkeit, große Wandstärke benötigt

- Hüftgelenkskugeln
- Dentalimplantate, Zahnsparagelenklammern
- Gesichtschirurgie
- Mitohrimplantate

Zirkonoxid

- Eigenschaften:
 - Höchste Biegezug- und Zugfestigkeit bei Keramiken
 - Hohe Bruchzähigkeit
 - Hohe Korrosions- und Verschleißbeständigkeit
 - Niedrige Wärmeleitfähigkeit (Dämmung)
 - Sauerstoffionenleitfähigkeit (Sensorik)
 - E-Modul ähnlich Stahl
 - Rohstoff: Schwermetallseifen
 - Kristallmodifikation entsprechend der Menge der Dotierung:
 - Voll stabilisiert (FSZ)
 - Teilstabilisiert (TSZ)
 - Tetragonal (TZO)
 - Kristallstruktur bei Erwärmung:
 - monoklin – (Volumenabnahme) – tetragonal – (Volumenzunahme) – kubisch – Schmelze
 - durch legieren nicht kubisch, sondern tetragonal -> Stabilisierung
 - viel Y_2O_3 erhält kubische Phase
 - Umwandlungsverstärkung des TZP: hohe Spannungen -> Mikrorisse -> Umwandlung von tetragonal in monokline Phase in den Risspitzen -> Volumenzunahme -> Druckspannungen wirken Risswachstum entgegen -> Zähigkeitssteigerung
 - Hauptanwendung:
 - TZP (tetragonales, stabilisiertes, Y_2O_3 dotiertes ZrO_2)
 - PSZ (MgO dotiertes ZrO_2)
 - Nachteil: hydrothermale Alterung
 - bei erhöhter Temperatur, Druck und feuchter Umgebung -> metastabile tetragonale Phase neigt dazu sich in die stabile monokline Phase umzuwandeln
 - beginnt an der Oberfläche -> Volumenzunahme -> erhöhte Rauigkeit -> Mikrorisse
 - Hüftgelenkskugel, Dentatechnik
- (Titanoxid: besonders gute Verträglichkeit mit Blut, aber schlechtere mechanische Eigenschaften -> Beschichtung, keine massiven Implantate)

Hydroxylapatit

- Calciumphosphat: exzellente Biokompatibilität
in Säure alle löslich, in Wasser schwer löslich: beeinflusst durch pH-Wert, Oberfläche, Gitterdefekte, Substitution von OH durch F
- HAP: $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$
-> Möglichst originalgetreue Kopie des Knochengewebes
- Eigenschaften:
 - + keine Bildung von fibrilärem Gewebe
 - + rasches Anwachsen von Knochengewebe Verbindung mit hoher Festigkeit
 - + verkürzte Heilungsphase
 - + reduzierte Freisetzung metallischer Ionen
- geringe Festigkeit -> nur nicht last tragende Anwendung: Beschichtung von Oxidkeramiken und Struktur immer näher und Zell-Werkstoff-Verbund möglich
- Beschichtungsmethoden: thermische Spritzverfahren, Sintern, Abscheidung
- Thermokinetisches Beschichtungsverfahren: in Vakuum -> sehr aufwendig
- Orthopädische Implantate
- Knochenersatz
- Dentalimplantate/ Kieferchirurgie: Platten, Schrauben
- Ohrimplantate
- Wirbelsatz

Biogläser

- Gesichtschirurgie
- Dentalimplantate
- Knochenersatz
- Wirbelsatz
- Orthopädische Implantate

Beispiele

- Totalendoprothesen
 - o Körperbau des Patienten entscheidend
 - o Schaft: rau oder glatt, Einsatzdauer 15-20 Jahre, dann Lockerung
 - o zementiert: sofort belastbar, aber kein Einwachsen möglich
 - o zementfrei: Einwachsen, Torsionsstabilisierung durch vieleckige Querschnitte
 - o Gelenkpfanne: Selbstschneidend (außen Metall, innen Polyethylen) oder zementiert (Polyethylen)
 - o Kugelkopf: Keramik oder Metall
 - o Kombination: tribologischen Gesichtspunkten auf Schaft aufgesteckt oder verschweißt
- Stress-shielding: erheblich höhere mechanische Kennwerte bei Metallen und keramischen Werkstoffen -> mechanische Abschirmung des Knochens durch das Implantat -> Störung des GGW zwischen Knochenauf- und abbau: Knochen wird zu stark entlastet und resorbiert

• Zahnfüllung/-krone

- o Komposite 6-8 Jahre
 - o Glasionomerzemente 5-7 Jahre
 - o Kompolymere abrasionsstabil 13-15 Jahre
 - o Amalgam sehr lange
 - o Gold
- Anforderungen:
- o Ausreichende Härte und Festigkeit
 - o Widerstandsfähigkeit gg chem. und elektrochem. Einflüsse
 - o Schlechte Wärmeleitfähigkeit
 - o Form-, Volumenbeständig
 - o Ästhetik
 - o Biologisch verträglich
 - o Einfache Verarbeitung

Metalle

2 Hauptanwendungen: Prothesen, Fixationselemente

Merkmale:

- Kristallin
- Glanz
- Festigkeit, Formbarkeit, Verfestigungsvermögen
- Elektrische und Wärmeleitfähigkeit
- Zersetzung in geeigneten Säuren und Salzbildung

Mechanisches Verhalten:

- Reversibel: Hook'sches Gesetz $\sigma = E \cdot \epsilon$
Formänderung bei Entlasten vollständig abgebaut: Endzustand = Ausgangszustand
- Irreversibel: plastische oder viskos
Zugversuch: Δl und F wird gemessen
- Zyklische Belastung
Wöhlerkurve: statischer Bereich (10-20x) – Zeitfestigkeit (bis $2 \cdot 10^5$ x) – Dauerfestigkeit
beeinflusst durch: Korrosion, Oberfläche, Mittelspannung

Kristallgittertypen:

- | Kristallgittertypen: | Packungsdichte: |
|---|-----------------|
| • Kubisch raumzentriert (krz): Würfel mit Atom in der Mitte
α -Eisen, Chrom, Vanadin, β -Titan (>885°C) | 68% |
| • Kubisch flächenzentriert (kfz): Würfel mit Atomen in der Mitte der Seitenflächen
Austenit, Cobalt | 74% |
| • Hexagonal dichtestgepackt (hdp): 2 sechseckige Prismen mit Atom in der Mitte
Mg, α -Titan (<885°C) | 74% |

Je mehr Symmetrieebenen, desto duktiler (plastisch verformbar), $kfz > kkr > hdp$

Polymorphie (Allotropie): Umwandlung in anderes Atomgitter bei best. Temperatur
-> Änderung der Eigenschaften + Volumen

Kristallfehler

- Nulldimensional (Punktfehler): Leerstelle, Zwischengitteratom, Substitutionsatome
-> Verzerrung der Gitterebenen -> plastische Verformung erschwert -> Festigkeitsanstieg
- Eindimensional (Linienfehler): Stufenversetzung -> verschiebt sich immer um 1 weiter
- Zweidimensional (Flächenfehler): Stapelfehler, Antiphasengrenze (bei Legierungen), Kleinwinkelkorngrenzen, Großwinkelkorngrenzen, Zwillingsgrenze (Gitter klappt um, bei Krafteinwirkung)
- Dreidimensional (räumlich): Ansammlung von Leerstellen (Lunker) oder substituierenden Atomen bei Verfestigung des Materials

Legierungen (techn. Metalle in der Regel aus mind. 2 Elementen)

- Ziele:
 - Chem. Beständigkeit
 - Festigkeit
 - Bruch-/ Verformungsverhalten
 - Verschleiß
 - Physikalische, elektrische, mechanische Eigenschaften
 - Biokompatibilität
 - Verarbeitung
 - Optik, Preis
- Substitutions- oder Einlagerungsmischkristall
- Linsendiagramm:
 - oberhalb Liquiduslinie -> alle flüssig
 - unterhalb Soliduslinie -> alle fest (Mischkristall)

Anforderungen Implantatwerkstoffe:

- Mechanisch
 - Dauerhafte Funktionserfüllung
 - Eigenschaften an Implantationsumgebung angepasst
 - Geringer Verschleiß
 - Gute Verarbeitung
 - Bruchsicherheit
- Korrosion
 - Beständig gegen Körperflüssigkeiten (Elektrolytbildung)
 - Keine Wechselwirkung mit anderen Implantaten
- Biomedizinisch
 - nicht allergen, toxisch, fibrogen, karzinogen
 - keine Abstoßungsreaktionen
 - bioaktiv: heilungsfördernd

Austenitische Stähle

- Eisen-Kohlenstoffdiagramm
 - 0-2% C -> Stahl
 - Austenit: γ -MK ab 711°C (kfz) -> durch γ -stabilisierende Elemente Temperaturbereich nach unten erweitern (Mn, Ni, N, Co)
 - 2-7% C -> Gusseisen
 - Eigenschaften:
 - Korrosionsbeständigkeit durch Bildung eines Passivfilms (Cr_2O_3) -> kann durch mechanische Einwirkung oder Verunreinigung zerstört werden
 - kann durch Umgebungsbedingungen negativ beeinflusst werden
 - Sehr gut zu reinigen/ desinfizieren
 - Biokompatibilität: Allergien (Chrom, Nickel) möglich
- Lockern von Hüftprothesen durch Sensibilisierung erhöhte Metallkonzentrationen, wenn Legierungselemente in Lösung gehen

Kobalt

- Eigenschaften
 - hochfest, besonders widerstandsfähig
 - mechanische Eigenschaften abh. von Karbidverteilung und Korngröße
 - allotrop wie Titan: T<400 -> α -Kobalt (hex); T>400 -> β -Kobalt (kfz)
 - unedel
 - stets in Legierungen: geringerer Verschleiß als andere Implantate durch Metall-Metall-Gleitpaarung
 - Biokompatibilität: Kombination CoCr-Legierung – Austenit -> Korrosion Austenit CoCrNi-Legierungen korrodieren in biologischer Umgebung
- Cr und Ni-Ionen müssen über Niere ausgeschieden werden

- Anwendungen
 - CoCrMo (Guss) Gelenkersatz (Hüfte, Schulter, Knie, Ellbogen, Finger), Knochenplatten, -schrauben, künstliche Herzklappen
 - CoCrMo (Schmiede) Gelenkersatz
 - CoCrWNI Gelenkersatz, Herzklappen, Drähte, Instrumente
 - CoNiCrMo Hüftgelenkschaft

Titan

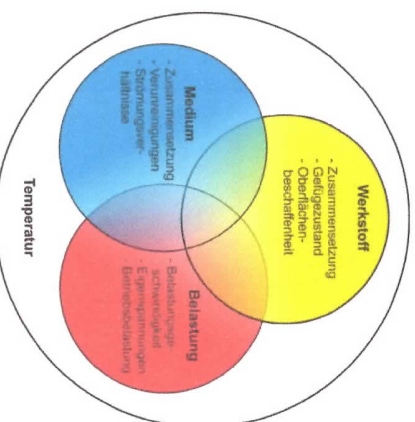
- **Eigenschaften:**
 - Schwerstes Leichtmetall
 - Höchste Korrosionsbeständigkeit (gegen Säuren)
 - Duktil und widerstandsfähig (E-Modul ähnlich Knochen)
 - Gut schmelzbar
 - Geringe Beimengen an O_2 erhöhen Festigkeit deutlich
 - Bio-inert -> keine Allergien
 - Biokompatibilität:
- Bildung einer reinen TiO_2 -Schicht als Voraussetzung Einfluss der Oberflächenstruktur auf Einwachsen in Gewebe
- **Titanlegierungen**
 - Reines Titan: Grade 1 – 5
 - Medizintechnik: Grade 5
 - $TiAl_6V_4$ (früher) -> $TiAl_6Nb$, (bessere Biokompatibilität)
- Hohe Festigkeit, gutes Ermüdungsverhalten
- **Anwendung:**
 - Endoprothesen (Hüfte, Schulter, Knie)
 - Dentalimplantate, Stents
 - Bandscheibenersatz
 - OP-Instrumente
 - Beschichtungen
 - In Kombination mit Nickel: Formgedächtnislegierungen (Ohrimplantate)
- (Einweg-Effekt: das Martensit wird plastisch verformt, bei Erhitzen ändert es sich wieder in seine ursprüngliche Form, die bei erneutem abkühlen erhalten bleibt)

Magnesium

- **Eigenschaften:**
 - Sehr gutes Festigkeits-Gewicht-Verhältnis
 - Niedrige Bearbeitungskosten
 - Schweißbar
 - Gute Dämpfungseigenschaften
 - Schutzschicht mit Sauerstoff
 - natürlich
 - Biokompatibilität:
- Bioverträglich, degradierbar -> wird vom Körper abgebaut
- > Basis für nachwachsendes Gewebe
- Abbaurate/Dichte/Festigkeit einstellbar durch Legierung/Schutzschicht fördert Knochengewebewachstum
- **Anwendungen:**
 - Stents, Stützgeflechte
 - Knochenimplantate, -schrauben, -platten, -nägel
 - Drug Delivery System: kontinuierliche Freisetzung von Wirkstoffen

Korrosion

- **Definition:** unerwünschte, von der Oberfläche ausgehende chemische, physikalische oder elektro-chemische Reaktion eines Werkstoffs mit seiner Umgebung, die mit einem Schädigungsprozess ausgehend von der Oberfläche verbunden ist
- **Einflüsse:**
- **Arten:**
 - Kontaktkorrosion (elektro-chemische Korrosion): durch Elektrolyt mit Konzentrationsgefälle, 2 unterschiedliche Metalle, unterschiedliche Werkstoffzustände, unedleres Metall löst sich verstärkt auf (Opferanode) -> edleres wird geschützt
 - Lochfraßkorrosion (in austenitischen Stählen: edle Passivschicht – unedles Metall)
 - Spaltkorrosion (Schraubenverbindung)
 - Spannungsrisskorrosion (anfälliger Werkstoff, Zugspannungen, spez. Elektrolyt)



Tribologische Beanspruchung

- **Definition Verschleiß:** Werkstoffabtrag an der Oberfläche unter überwiegend mechanischer Einwirkung (Kräfte + Relativbewegungen)
- Reibung und Verschleiß beschreiben Reaktionsverhalten eines Werkstoffs auf Beanspruchung -> keine Werkstoffkenngrößen, sondern Systemeigenschaften
- Tribologisches System beschreibt Reibmechanismen
- Grundkörper, Gegenkörper, Zwischenstoff/Umgebungsmedium, Belastung/Bewegung
- **Verschleißmechanismen:**
 - Adhäsion (atomare + molekulare WW in Kontaktzone -> Bruch)
 - Abrasion (Furchung durch harte Rauberger eines Gegenkörpers od. harte körnige Gegenstoffe -> Mikrozerspannung)
 - Ermüdung (im Mikrobereich durch wiederholte mechanische Krafteinwirkung in Grenzschicht -> Rissbildung, Dauerbruch)
 - Ablation (Zersetzen, Verdampfen durch Energiedichte an Oberfläche) (können überlagern und von chem. Reaktionen begleitet sein)

PET - Polyethylenterephthalat

Polyester

- langzeitstabil
- Kriechbeständigkeit ist o.k.
- relativ hohe Reißfestigkeit
- Gefäßersatz, Nahtmaterial
- Schmelzspinnen, Blasextrusion → textile Prozesse
→ Formgebung durch Thermofixierung

PA - Polyamid (Nylon, Perlon)

- relativ hohe Feuchtigkeitsaufnahme
- hohe in-vivo Degradation
- Kurzzeitleimplanate
- Verarbeitung: Extrusion

PE - Polyethylen & PP - Polypropylen

POLYOLEFINE

- Biokompatibilität
- gute Gewebeverträglichkeit
- gutes Verschleißverhalten
- Kriechen + Knickempfindlichkeit
- Gelenkerersatz, Einmalartikel, Nahtmaterial
- Verpressen + mech. Nachbearbeitung,
Spritzguss, & Schmelzextrusion

Poly-HEMA - Poly-Hydroxyethylmetacrylat

- sehr hydrophil, Hydrogel
- kostengünstig
- weiche Kontaktlinsen, Zahnfüllstoffe

UHMWPE - Ultrahochmolekulares Polyethylen

- Biokompatibilität & Gewebeverträglichkeit
- Biostabilität
- gute Verschleiß- & Abriebfestigkeit
- gute Gleiteigenschaften
- Extrusions- & Formpress-Verfahren, Gelspinning
- Hüftprothesen

PTFE - Polytetrafluorethylen (Teflon, Gore-Tex)

- chemisch sehr stabil, hydrophob
- biologisch inert, geringe Thrombogenität
- Gefäßprothesen, Katheter
- Verarb.: Pastenextrusion, Sintern, Strecken
- ~~Einstellbar~~

PUR - Polyurethan

≡ Elastomer

- Blut- & Gewebeverträglichkeit
- hohe Reißdehnung möglich (bis 600%)
- Einmalartikel, Hirnhautersatz, Kondome, Katheterschläuche
- Extrusion, Spritzguss
- einstellbare Härte und Dehnbarkeit

PC - Polycarbonat

- Biokompatibilität / -stabilität
- hartes, sprödes Material
- weitgehend amorph, transparent
- Spritzguss, Extrusion
- mechanisch belastete Teile, Gehäuseteile (Herzschnittmacher)

Silikone - Polysiloxane Elektrom.

- aus Silicium-Sauerstoff-Segmenten
- Kalt-Extrusion & Vernetzung unter Hitze, Heißextr., Spritzguss
- Implantate (plastische Chirurgie, Fingergelenkprothese), Katheter

PEEK - Polyetherketone

- hohe mech. Festigkeit
- geringe Reibung, Verschleiß
- Röntgentransparent
- sehr beständig gegen Chemikalien, Hitze
- Extrusion, Spritzgießen, Formpressen
- Implantate (Wirbelsäule, Dental), Gehäuse

PSU - Polysulfon

- ~ wie PEEK (außer Anwendung)
- Dialysemembranen, Gehäuse

PMMA - Polymethylmetacrylat

- Zweikomponentenmaterial
- Toxizität des Monomers
- Knochenzement, plastische Chirurgie
- exotherme Polymerisation (Flüssigkeit + Pulver)
- Biostabilität

Materialien für Implantate

22.10.14

Michael Seidenfuß

- Passwort ILLAS: IMWF-Imp
- Werkstoffkunde für Ingenieure ist online
- REM (Rasterelektronenmikroskop) ~ 50nm
- TEM (Transielektronenmikroskop) ~ 5nm
- RTM (Rastertunnelmikroskop) ~ bis atomare Ebene



- vorläufiger Klausurtermin 09.03.2015, 11³⁰ - 12³⁰ V47.02, V47.03
- Gadow, IFKB (Keramik)
- bis 1930er besonders Kobalt-Legierungen
- Polymere! Bsp können, sind PR
Polyamide: Nahtmaterial
→ in fast allen med. Bereichen

Kurzzeit ↔ Langzeit

ifub. ...

hp ¹³DownMT@4415

PDF MedTec@1415