



Gliederung der Vorlesung



DITF
DEUTSCHE INSTITUTE FÜR
TEXTIL- und FASERFORSCHUNG

Polymere Biomaterialien:

- 1. Übersicht (10.1.): Analytik, synthetische Polymere,
- 2. Herstellung (24.1.): Synthese, resorbierbare Polymere, Blends, Copolymere, Compunds
- 3. Anforderung (17.1.): Biokompatibilität, Prüfung, Funktionalisierung
- 4. Gele (**29.1.**): Natürliche Polymere, Hydrogele, Drug Delivery
- 5. Fasern (31.1.): Herstellung, textile Verarbeitung
- 6. Anwendung (7.2.): Beispiele polymere Medizinprodukte

Skripte: auf C@mpus unter obigen Kapitelnummern

Zusätzliche Vorlesung am 29.1. um 14:00 st in HS 55.01

Definitionen



Biomaterial

jedes Material, das für eine Wechselwirkung mit biologischen Systemen vorgesehen ist, um ein Gewebe, ein Organ oder eine Funktion im Körper zu bewerten, zu behandeln, zu unterstützen oder zu ersetzen.

Beispiele für Biomaterialien:

- Metalle: Stahl, Titan, Legierungen (Nitinol)
- Keramiken: Aluminiumoxid, Tricalciumphosphat
- Polymere: resorbierbar (Polylactid), nicht resorbierbar (Polyethylenterephthalat, PET)
- **Naturstoffe:** Proteine (Collagen) *verlieren mit jeder Modifikation ihre Konformation*
 X Kohlenhydrate (Stärke, Alginat) *Biokompatibel, Zukunft da leicht modifizierbar*

≠ biobased: Natürliche Rohstoffe

Definitionen



Biomaterial

jedes Material, das für eine Wechselwirkung mit biologischen Systemen vorgesehen ist, um ein Gewebe, ein Organ oder eine Funktion im Körper zu bewerten, zu behandeln, zu unterstützen oder zu ersetzen.

Medizinprodukt

einzelnen oder miteinander verbunden verwendete Instrumente, Apparate, Vorrichtungen, Software, Stoffe oder anderen Gegenstände zur Erkennung, Verhütung, Überwachung, Behandlung oder Linderung von Krankheiten, Verletzungen oder Behinderungen, deren Wirkung nicht metabolisch oder durch Pharmaka erreicht wird.

Implantat

ein in den Körper eingesetztes künstliches Material.

Polymere Biomaterialien



Polymere
organische Makromoleküle aus linearen oder verzweigten Molekülketten, die aus gleichen oder gleichartigen Einheiten (Monomere) aufgebaut sind.

Synthetische Polymere:

- Thermoplaste: aus linearen Molekülen, thermisch umformbar
- Duroplaste: aus vernetzten Molekülen, nur mechanisch bearbeitbar (Harze), *Formstabil*
- Elastomere: i.A. weitmaschig vernetzt, elastisch verformbar (Silikone, PUR)

Natürliche Polymere:

- Proteine: aus Aminosäureketten, 3-dimensionale Faltung, nicht formbar, *z.B. Collagen*
- Kohlenhydrate: i.A. aus Monosacchariden über glycosidische Bindungen gebildete lineare, verzweigte oder vernetzte Polymere

Biotechnologisch hergestellte Polymere:

- in Bakterien oder Zellen synthetisierte spez. natürliche Polymere (z.B. PHB)

Vorteile von Polymeren



- **Mechanische Eigenschaften**
→ Flexibilität, Dehnbarkeit, Dämpfungsverhalten, gewichtsspezifische Festigkeit, Gleitverhalten
- **Optische Eigenschaften**
→ Transparenz möglich, röntgendurchsichtig
- **Chemische/physikalische Eigenschaften**
→ Bio- / Hämo-Kompatibilität, keine elektrische Polwirkung, keine Korrosion, niedrigeres Gewicht, Wasseraufnahme, Degradierbarkeit / Resorbierbarkeit möglich
- **Strukturelle Eigenschaften**
→ Permeabilität, rel. geringe Dichte
- **Sonstige positive Eigenschaften**
→ PREIS, hygienische Gründe (Sterilität bei Einmalverwendung), Verarbeitbarkeit, Kombinationsfähigkeit

Nachteile von Polymeren

Klausurrelevant

Mechanische Eigenschaften

→ volumenspezifische Festigkeit ↓

- **Optische Eigenschaften**

→ in vielen bildgebenden Verfahren nicht sichtbar (Röntgen, U'schall) ↓

- **Chemische/physikalische Eigenschaften**

→ begrenzt degradationsstabil ↓

→ u. U. problematisch zu sterilisieren ↓

- **Sonstige ungünstige Eigenschaften**

→ nur begrenzt wiederverwendbar / resterilisierbar

→ Abfallproblematik!

Einsatzgebiete für Kunststoffe in der Medizin

Hygienischer Bereich:

*nicht
klausurrelevant*

- Windeln, Einlagen
- OP-Abdeckungen, OP-Bekleidung
- Verbandabdeckungen
- Untersuchungshandschuhe
- Sterilverpackungen

Therapeutischer Bereich:

- Spritzen, Kanülen
- Schläuche:
 - ECC-Sets (extracorp. Kreislauf), Dialyse-Sets, Katheter, Drainagen, Beatmung, Sonden, Endoskope
- Blutbehälter
- Urinauffangbehälter
- orthopädische Mittel
- Drug Delivery

Einsatzgebiete für Polymere in der Medizin



Implantate:

- **'Hilfsmittel'**
→ Nahtmaterial, Osteosynthese, Patches, Knochendefektfüllung
- **Funktionale Prothesen**
→ Bänder, Gelenke, Blutgefäßprothesen, Mittelohr*, Auge / Linse, Kiefer, Zahn, Herzklappen, Oesophagus, Trachea, Herniennetze, Herzklappen
- **Plastische Chirurgie**
→ Brust, Ohr*, Nase*
- **Biohybride Organe**
→ Blutgefäßersatz*, Pankreas (Bauchspeicheldrüse)*, Leber*, Trachea*, Herzklappen
- **Regenerationsmedizin**
→ Zellträger, Matrices

* Überwiegend Forschung

Analytik / Charakterisierung von Polymeren



Bestimmung der Zusammensetzung und grundlegender Eigenschaften

- **Zusammensetzung**
Chem. Elemente, molekulare Struktur, funktionelle Gruppen:
NMR, IR, Elementaranalyse, Elemente-Analyse
- **Molekülmasse** (ehem. Molekulargewicht)
Summe der Atommassen in einem Molekül. In synthetischen Polymeren meistens Gaus-verteilt: GPC, i.V., Lichtstreuung
- **Rheologie**
Verformungs- und Fließeigenschaften der Polymere: Viskosität, MFI (Spritzguss)
- **Mechanische Eigenschaften**
Mechanische Belastbarkeit der Polymere: eModul, Elastizität
- **Thermische Eigenschaften**
Beweglichkeit der Moleküle zueinander in Abhängigkeit von der Temperatur: Kristallinität (DSC), Schmelzpunkt, Glasübergang

*Analytik: nicht genaue Funktion der Methode
sondern: „Verfahren x... liefert den Wert...“*

Analytik: Zusammensetzung NMR



Kernspinresonanzspektroskopie (NMR):

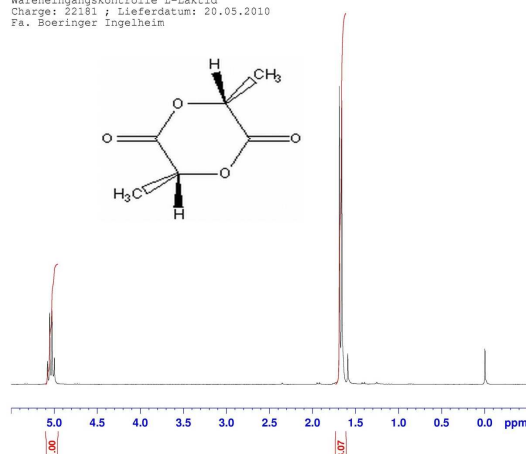
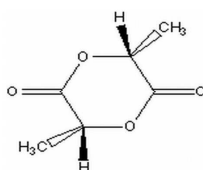
- Sensible Methode zur Strukturaufklärung von Polymeren durch Untersuchung von Wechselwirkungen benachbarter Atome im Molekül
- Verfahren: der Spin von Atomkernen wird durch ein Magnetfeld in verschiedenen energetische Zustände überführt. Durch elektromagnetische Wellen werden Übergänge zwischen diesen Zuständen erzeugt. Die notwendige Energie ist von den Nachbaratomen und den Bindungen des Atoms abhängig.
Gemessen: Einfluss auf ^1H - oder ^{13}C -Atome.
- Darstellung in einem Spektrum als chemische Verschiebung δ (in ppm) gegenüber einer Referenzsubstanz.
- QM: Prüfung auf Identität, Reinheit, Strukturaufklärung

Analytik: Zusammensetzung NMR



Beispiel NMR-Spektrum:

Wareneingangskontrolle L-Laktid
Charge: 22181 ; Lieferdatum: 20.05.2010
Fa. Boehringer Ingelheim



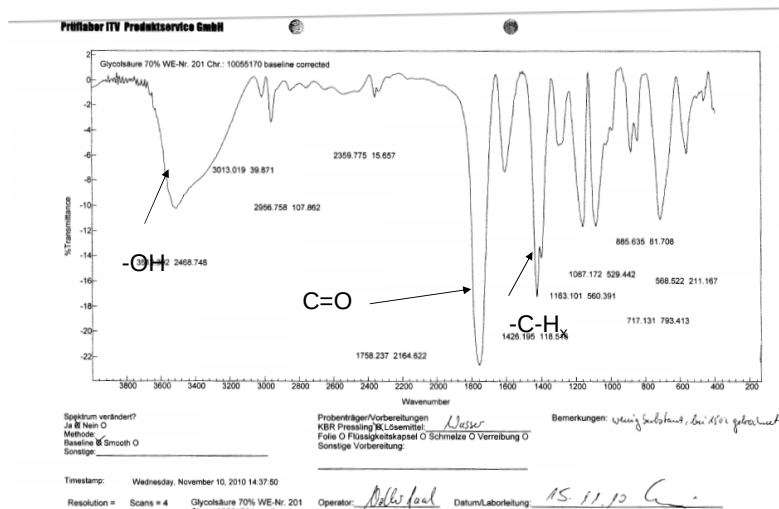
Current Data Parameters
NAME L-Laktid 2010-05-25
EXPNO 1
PROCNO 1
F2 - Acquisition Parameters
Date_ 20100525
Time 6.34
INSTRUM spect
PROBHD 5 mm Multinuc1
PULPROG zgpg30
TD 65536
SOLVENT D2O
NS 16
DS 2
SWH 5175.983 Hz
FIDRES 0.078979 Hz
AQ 6.3307776 sec
RG 456.1
CW 96.600 usec
DE 6.00 usec
TE 300.2 K
OL 1.00000000 sec
MCREST 0 sec
MCRESL 0.01500000 sec
===== CHANNEL f1 =====
NUC1 1H
P1 16.50 usec
PL1 0 dB
SFO1 250.131447 MHz
F2 - Processing parameters
SI 32768
SF 250.139993 MHz
WDW EM
SSB 0
LB 0.30 Hz
GB 0
PC 1.00

Infrarot-Spektrometrie (IR):

- Absorption von infraroter Strahlung (0,8 - 1000 μm)
- Charakteristische Absorptionsfrequenzen für bestimmte Bindungen
→ Strukturaufklärung, QM
- mehrere Arten der Schwingungsbeeinflussung von Bindungen
→ mehrere Banden pro Bindung möglich
- Heute meistens FTIR: Fourier-Transformation aus einem Interferogramm
→ schneller, besseres Signal-Rausch-Verhältnis.

Analytik: Zusammensetzung IR

Beispiel IR-Spektrum Glycolsäure (HO-CO-CH₂-OH):



Analytik: Zusammensetzung Elemente

Elementaranalyse:

- Bestimmung der Nichtmetalle (CHNS, P, Halogene)
- Methode: Verbrennen mit reinem Sauerstoff, dann Bestimmung der entstandenen Gase mit IR oder Gaschromatographie
- Bestimmung der Summenformel, Strukturaufklärung

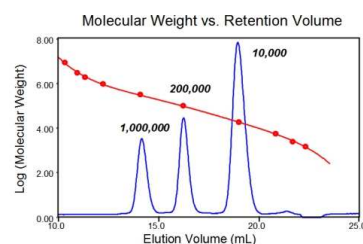
Element-Analyse (Metalle, Halbmetalle):

- Atomabsorptionsspektrometrie (AAS): Atomisierung der Probe mit Gasflamme oder elektrisch, Vergleich der Lichtstrahlen definierter Wellenlänge (mit/ohne Absorption).
- Inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES): Anregung der Elemente mit heißem Argonplasma
Emissionsspektren mehrerer Ionen mit Polychromator in kurzer Zeit.

Analytik: Molekülmasse GPC, Lichtstreuung

Gelpermeationschromatographie (GPC):

- Säule mit porösen Kugeln
- je kleiner das Molekül, desto langsamer läuft es durch die Säule



Lichtstreuung:

- abhängig von der Zahl und Größe der Moleküle in Lösung.
- MW - Bestimmung über die Extrapolation von Konzentrationsreihen und dem Rayleigh-Verhältnis

Analytik: Molekülmasse i.V.



Intrinsische Viskosität (auch inherente V. / i.V.):

- Bestimmung z.B. über den Kapillareffekt in einem Ubbelohde Viskosimeter (Rückflussgeschwindigkeit des gelösten Polymers in einer Kapillare)
- die Viskosität der Lösung ist abhängig von der Einwaage und dem Molekülmasse der gelösten Substanz. Gemessen wird die Rückflusszeit der Lösung mit Substanz gegen die Rückflusszeit des reinen Lösungsmittels.
- Einheit: dL/g

Analytik: Rheologie Viskosität / MFI



Viskosität:

- „Zähigkeit“: Verformungs- und Fließeigenschaften der Polymere unter definierten Bedingungen, z.B. in der Schmelze oder in Lösung
- Einheit: $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$.

Melt Flow Index (MFI / MVI)

- Fließverhalten eines Thermoplasten bei bestimmter Umgebungsbedingung (Druck / Temperatur)
- Einheit: $\text{m}^3/10 \text{ min.}$
- Je kleiner die Schmelzviskosität desto höher der MVI

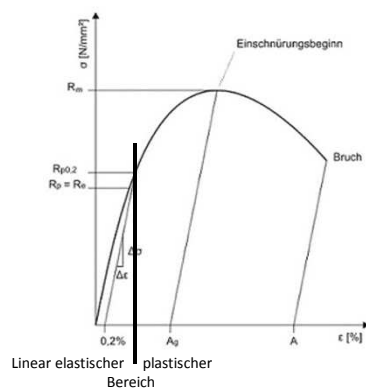
Analytik: Mechanische Eigenschaften Festigkeit / Modul

Festigkeit:

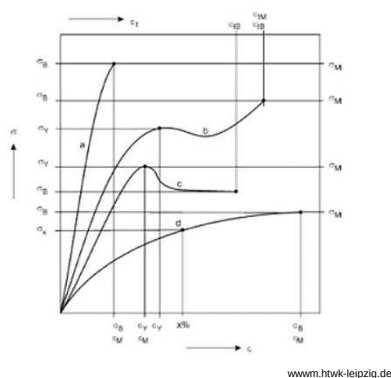
- Widerstand eines Werkstoffes gegen plastische Verformung
- Unterschieden wird nach Belastungsart:
 - Dauerfestigkeit, Festigkeit unter dynamischer Belastung
 - Druckfestigkeit
 - Zugfestigkeit
 - Biege-, Scherfestigkeit
- Einheit: $\text{Pa} = \text{N/m}^2$, meistens $\text{N/mm}^2 = \text{MPa}$
- Am häufigsten bestimmt wird die Zugfestigkeit mit Hilfe eines Spannungs-Dehnungsdiagramms

Analytik: Mechanische Eigenschaften

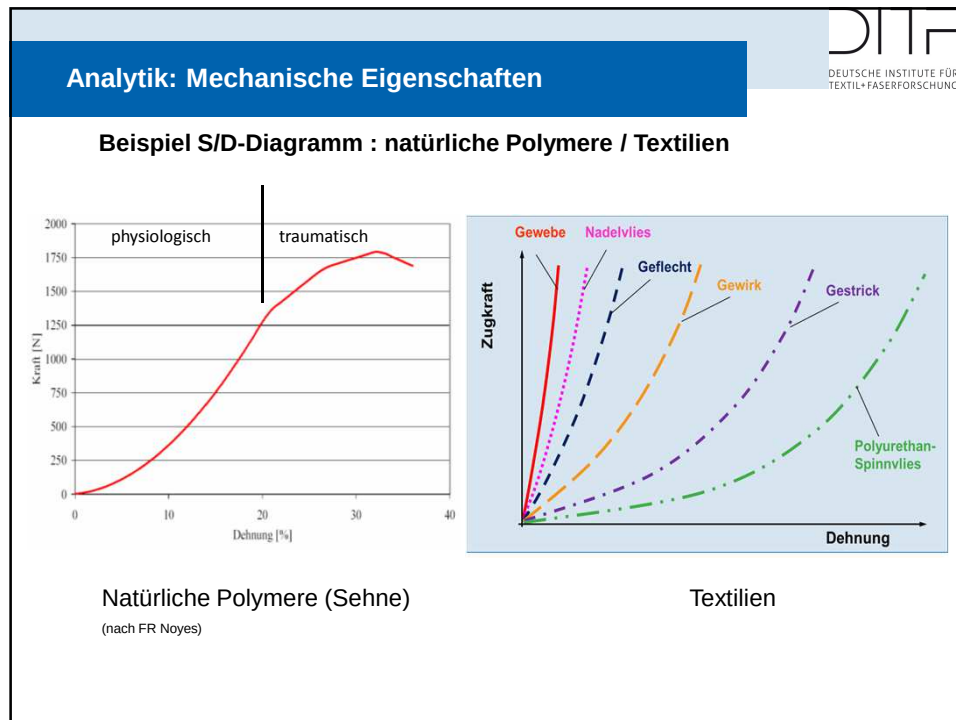
Beispiel Spannungs (Kraft)-Dehnungs-Diagramm für duktile Materialien:



Metalle



Kunststoffe



DIFF
DEUTSCHE INSTITUTE FÜR
TEXTIL+FASERFORSCHUNG

Analytik: Mechanische Eigenschaften

Dehnung / Elastizität

E-Modul:

- Proportionalitätskonstante für das linear elastische Verhalten eines Materials (dabei gilt das Hookesche Gesetz)
- Steife Materialien haben einen hohen, elastische Materialien einen geringen E-Modul
- Einheit ebenfalls MPa, meist GPa (1 kN/mm²)
- Stahl 200 GPa, Titan 105 GPa, Mg 42 GPa, Knochen 20 GPa, Polyester 1-5 GPa
zu niedrig

Elastizität:

- Elastische Materialien verändern die Form durch Krafteinwirkung und kehren in ihre ursprüngliche Form zurück, viskoelastische Materialien relaxieren nicht vollständig → geringe Formstabilität.

Analytik: Thermische Eigenschaften Kristallinität

Kristallinität:

- Bei Polymeren die teilweise geordnete Anordnung der Molekülketten zueinander. Entsteht aus Lösung, beim Erstarren oder Verstrecken.
- Kristallinität hat Einfluss auf optische, thermische, mechanische Eigenschaften
- Angabe in %
- Bestimmung z.B. über
 - Differential Scanning Calorimetry (DSC)
 - Röntgenstrukturanalyse



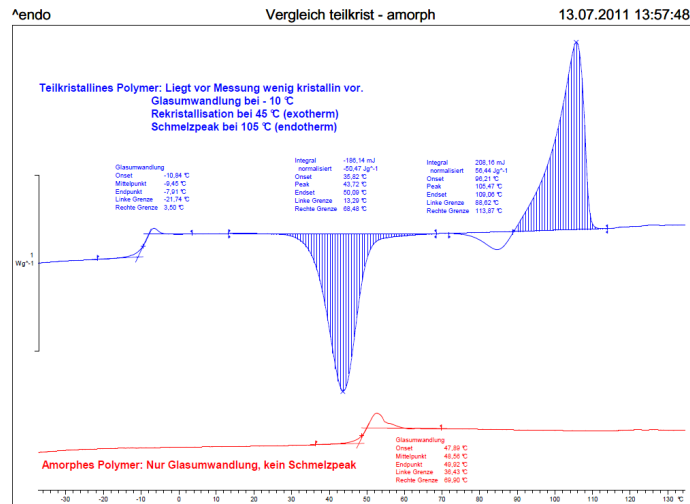
Analytik: Thermische Eigenschaften Glasübergang / Schmelzpunkt

Glasübergangstemperatur (T_g) / Schmelzpunkt (T_m):

- Glasübergang: Temperatur, oberhalb derer die Molekülketten amorpher Bereiche beweglich werden. Unterhalb des T_g sind Polymere spröde, darüber 'erweichen' sie, je nach Anteil amorpher Bereiche.
- Polymere mit kristallinen Bereichen haben auch einen Schmelzpunkt, an dem diese Bereiche aufschmelzen.
- Bestimmt werden T_g und T_m ebenfalls mit der DSC.
- Elastomere sind nur oberhalb des T_g elastisch verwendbar, Amorphe Thermoplaste sind nur unterhalb des T_g ausreichend formstabil, Teilkristalline Thermoplaste können auch über dem T_g verwendet werden.

Analytik: Thermische Eigenschaften

Beispiel für ein DSC : *Zeigt aufgenommene Energie des Materials*

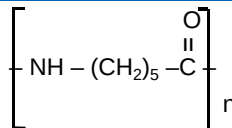


Synthetisch hergestellte Polymere in der Medizin

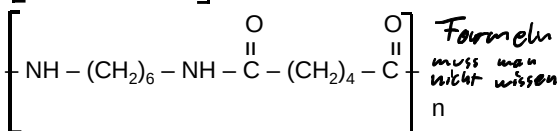
- Polyester (PES), auch Polyethylenterephthalat (PET) genannt
- Polyamide (PA)
- Polyethylen (PE), UHMW-PE (ultra-high-molecular-weight polyethylene)
- Polymethylmethacrylat (PMMA)
- Polytetrafluorethylen (PTFE)
- Polyurethane (PUR)
- Polysiloxane (PS), auch Silikone bzw. Silicone genannt
- Polycarbonate (PC)
- Polysulfon (PSU)
- Polyvinylalkohol (PVA)
- Polyvinylchlorid (PVC)
- Polyetherketon (PEEK)
- usw.

Polyamid (PA)

Strukturformel von PA 6 (Perlon) :



Strukturformel von PA 6.6 (Nylon):



- Eigenschaften:**

- relativ hohe Feuchtigkeitsaufnahme → dadurch hohe in vivo-Degradation
→ nach 2 Monaten einen Abfall der Reißkraft um nahezu 60 - 80 %
- geringe Biostabilität: → nur für Kurzzeit-Implantation geeignet
- Schmelzpunkte: PA6: 220°C, PA6.6: 260°C, teilkristallin, geringe Kristallinität
- Glasübergang: 50 – 60 °C

- Verarbeitung:** Extrusion

- Medizinische Produkte:** Kurzzeitanwendungen

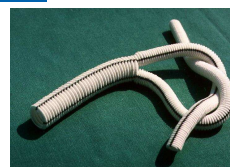
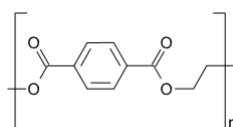
→ z. B. Schlauchsysteme, chirurgische Nähfäden, ...

Polyethylenterephthalat (PET)

- Eigenschaften:**

- mäßige Querempfindlichkeit bei relativ hoher Reißfestigkeit
- Texturierung von Fasern möglich
→ Erhöhung der Dehnbarkeit
- Langzeitstabil
- Kriechbeständigkeit:
→ besser als bei Polyolefinen (PE, PP), schlechter als bei Hochmodul-Fasern
- E-Modul: 4,5 GPa, Glasübergang 70°C, Schmelzpunkt: ca. 250°, geringe Kristallinität

Strukturformel:



Gefäßprothese

- Verarbeitung:** Schmelzspinnen (Fasern), Blasextrusion (Folien)

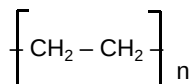
- Weiterverarbeitung der Fasern durch alle textilen Prozesse
→ Formgebung (z. B. Plissierung) durch Thermofixierung bei 180°C
→ Gefahr der thermomechanischen Degradation

- Medizinische Produkte:** Gefäßersatz (fast ausschließlich), Nahtmaterial, Kreuzbandersatz, Patches, ...
Curv Ansatz

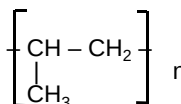
Polyolefine: Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP)



Strukturformel von PE:



von PP:



Eigenschaften:

- Biokompatibilität, gute Gewebeverträglichkeit
- Biostabilität → nur geringe Festigkeitsabnahme nach langer Implantationszeit
- gutes Verschleißverhalten durch geringen Reibungskoeffizienten
- starkes Kriechen *↓ nur sinnvoll wenn zeitlich limitiert*
- Knickempfindlichkeit → Probleme bei Schlauchmaterial oder Katheter
- Unterschiedliche Polymertypen: amorphe und teilkristalline Varianten

- **Verarbeitung:** - Verpressen + mechanische Nachbearbeitung,
- Spritzguss, Schmelzextrusion,
- Gelspinning-Verfahren (Hochmodul-Fasern, z. B. DYNEEMA SK60)

- **Medizinische Produkte:** Gelenkersatz (Hüftpfannen, Kniegelenk, Fingergelenk, ...)
Einmalartikel (Katheter, extracorp. Schlauchsysteme, ...)
Nahtmaterial, Netze, Oxygenierungsmembranen

Ultrahochmolekulares Polyethylen (UHMWPE)



UHMWPE (ultra high molecular weight polyethylene) = ultrahochmolekulares Polyethylen mit einer mittleren Molmasse von bis zu 6000 kg/mol und einer Dichte von 0,93 - 0,94 g/cm³

Eigenschaften:

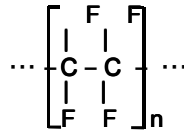
- Biokompatibilität, gute Gewebeverträglichkeit
- Biostabilität → nur geringe Festigkeitsabnahme nach langer Implantationszeit
- gute Verschleiß- und **Abriebfestigkeit**, trotzdem Partikelproblematik
- niedriger Reibungskoeffizient und somit sehr gute Gleiteigenschaften
- hohe chemische Beständigkeit
- gute Dimensionsstabilität
- hoch kristallin (85%), Schmelzpunkt ca 150°C



- **Verarbeitung:** - Extrusion- und Formpress-Verfahren
→
- Gelspinning-Verfahren
→ Hochmodul-Fasern, z. B. **Dyneema®** (DSM), GUR® (Ticona)
(auf ihr Gewicht bezogen, zu den stärksten bekannten künstlichen Fasern)

Polytetrafluorethylen (PTFE) = Teflon

Strukturformel:

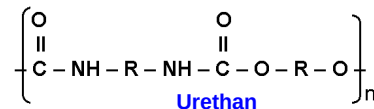


Eigenschaften:

- chemisch sehr stabil, **hydrophob** (m. Wasser 126°C),
- „biologisch inert“: *kein Zellwachstum/Integration mit Gerinnungsfaktoren*
 - keine knöchernes Einwachsen und bindegewebige Einscheidung
- geringe Grenzflächenspannung → geringe Thrombogenität
- durchschnittliche Fibrinogenadsorption, geringe Blutplättchenadhäsion
- gute Gewebe- und Blutverträglichkeit
- **geringe Kriechfestigkeit → Kriechanfälligkeit**
- rel. hohe Kristallinität (ca. 90%), Glasübergang 127°C, Schmelzpunkt 327°C
- **Verarbeitung:** Pastenextrusion (zu Schläuchen, Bändchen), Sintern, Strecken
→ ePTFE
- **Produktamen:** Teflon (DuPont), Gore-Tex (GORE)
- **Medizinische Produkte:** Gefäßprothesen (< 6 mm), Katheter, (Kreuzband)

Polyurethane (PUR)

Strukturformel:



Eigenschaften:

- einstellbare Härte und Dehnbarkeit
- ausgezeichnete Blut- und Gewebeverträglichkeit
- Thrombogenität beeinflussbar
 - z. B. durch Copolymerisation mit Silikonelastomeren
 - Veränderung der grenzflächenphysikalischen Eigenschaften
- meist Elastomere, hohe Reißdehnungen möglich → bis zu 600 %
- hydrolytischer in vivo-Abbau möglich
 - abhängig von Ausgangskomponenten und Verarbeitung
- Extrusionstypen enthalten Gleitmittel und Antioxidantien → nicht biostabil
- **Verarbeitung:** Extrusion, Spritzguss, Vliesstoffherstellung (Fasersprühverfahren, Elektrosinnen), Phasenseparationsverfahren aus Lösung
- **Medizinische Produkte:** Einmalartikel, Hirnhautersatz, Elastan, Kondome

Polycarbonat (PC)

Strukturformel:



- **Eigenschaften:**

- gute Biokompatibilität
- gute Biostabilität
- weitgehend amorph, transparent
- hartes Material: relativ spröde (T_g : 220-230°C)
- Verarbeitung meist über 300°C

- **Verarbeitung:**
 - Spritzguss, Extrusion
 - Lösung

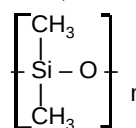
- **Medizinische Produkte:** *Nur in Ausätzen*

- Membranen
- mechanisch belastete Teile
- Stents für Herzklappen
- Gehäuseteile: Herzschrittmacher
- Einmalartikel

Polysiloxane (Silikone)

= in Form von Silikonelastomeren vernetzte organische Makromoleküle, deren Ketten aus Silicium-Sauerstoff-Segmenten bestehen

Strukturformel von Dimethylsiloxan :



- **Eigenschaften:**

- mechanische Eigenschaften von Materialtyp abhängig
 - Grad der Vernetzung, Art und Anteil des Füllstoffes (z. B. SiO_2), ...
 - Verbesserung durch Blends (Gemische) bzw. Copolymere mit PUR
- geringe mechanische Festigkeit (aufgrund der Beweglichkeit der Si – O- Bindung
 - durch Zusatz von Füllstoffen besserbar
- Füllstoffe verschlechtern die Blutverträglichkeit
- relativ geringe Proteinadsorption

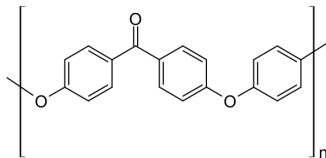
- **Verarbeitung:** Kalt-Extrusion + Vernetzung unter Hitze, Heißextrusion, Spitzguss

- **Medizinische Produkte:** Implantate (plastische Chirurgie, Fingergelenkprothese), Katheter, extracorporale Schlauchsysteme, ...

Polyetherketone (PEEK)

Strukturformel:

*steht noch am Anfang
der Entwicklung*



Eigenschaften:

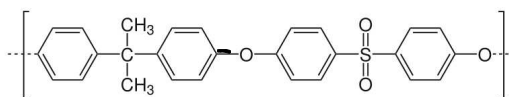
- hohe mechanische Festigkeit, Steifigkeit und Dimensionsstabilität
- geringer Reibungskoeffizient und hohe Verschleißfestigkeit
- hohe Biokompatibilität
- gute Röntgentransparenz
- wiederholt sterilisierbar (auch mit Heißdampf)
- hochtemperaturbeständig (Schmelztemperatur beträgt 335 °C, Glasübergang bei 145°C)
- beständig gegen fast alle organischen und anorganischen Chemikalien
- beständig gegen Hydrolyse (auch bis etwa 280 °C)
- nicht beständig gegen UV- Strahlung und gegen saure oxidierende Bedingungen

• **Verarbeitung:** Extrusion (Filamente, Folien, Platten), Spritzgießen, Formpressen

• **Anwendung:** Implantate (z. B. Wirbelsäulenimplantate, Dentalimplantate, ...),
Medizingeräte, Gehäuse.
Bandscheibenersatz (Cages)

Polysulfon (PSU)

Strukturformel:



Eigenschaften:

- amorpher Thermoplast
- hohe mechanische Festigkeit, Steifigkeit und Dimensionsstabilität
- geringer Reibungskoeffizient und hohe Verschleißfestigkeit
- hohe Biokompatibilität
- durchsichtig, gute Röntgentransparenz
- wiederholt sterilisierbar (auch mit Heißdampf)
- hochtemperaturbeständig (Glasübergangstemperatur beträgt 335 °C)
- Chemikalienbeständig
- beständig gegen Hydrolyse (auch bis etwa 280 °C)
- nicht beständig gegen UV- Strahlung und gegen saure oxidierende Bedingungen

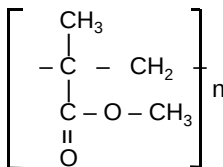
• **Verarbeitung:** Extrusion (300°, Folien, Platten), Spritzgießen, Formpressen (280°)
Kapillarmembranen (Fällung)

• **Anwendung:** Dialysemembranen, Gehäuse

Polymethylmetacrylat (PMMA)

DIIF
DEUTSCHE INSTITUTE FÜR
TEXTIL+FASERFORSCHUNG

Strukturformel:



- **Eigenschaften :**

- Zweikomponentenmaterial (Gemisch aus Binder und Härter)
- relativ gute Biokompatibilität
- Biostabilität
- Toxizität des Monomers (Problem!)

- **Verarbeitung:** - Pulver und Flüssigkeit zusammen gemischt

- Aushärtung (exotherme Polymerisation)

→ Erwärmung der Umgebung bis 100°C möglich (Problem!)

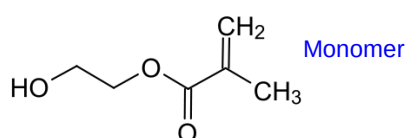
- **Medizinische Produkte:** - Knochenzement (Verankerung von Gelenkproth.)

- plastische Chirurgie
- Schädel-Abdeckungen
- Intraocularlinsen

Poly- Hydroxyethylmethacrylat (Poly- HEMA)

DIIF
DEUTSCHE INSTITUTE FÜR
TEXTIL+FASERFORSCHUNG

Strukturformel:



- **Eigenschaften:**

- sehr hydrophil, Hydrogel
- Wasseranteil < 40%
- geringe Proteinbindung
- billig
- Nachteil: wenig Luftdurchlässigkeit

- **Verarbeitung:** Rotationsgießen

- **Anwendung:** weiche Kontaktlinsen, Zahnfüllstoffe



www.staedtlioptik.com

Degradation, Resorption, Biostabilität von Kunststoffen



- **Degradation** = Verlust der chemischen Integrität und damit der mechanischen Stabilität, verursacht durch
 - Spaltung von Molekülketten
 - Abnahme der Molekülmasse
 - unter Umständen Beibehaltung der äußeren Form
- **Resorption** = Volumenverlust (Degradation vorhanden), verbunden mit
 - Abbau des Materials unter Verlust der äußeren Form
 - Freisetzung niedermolekularer Bestandteile → Desintegration
 - Abtransport und Ausscheidung über den Stoffwechsel
- **Biologische Abbaubarkeit** = Abbau des Materials im biologischen Milieu durch
 - Mikroorganismen (Bakterien, Pilzen)
 - Hydrolyse, Enzyme, Macrophagen (in vivo)
- **Biostabilität** = niedrige oder fehlende Wechselwirkung zwischen Kunststoff und dem biologischen Milieu

Resorbierbare Materialien



Synthetische Materialien: → Kunststoffe, s. Vorlesung Polymersynthese

- Polymilchsäure (Polylactid, PLA)
- Polyglykolsäure (PGA)
- Polydioxanon (PDS)
- Copolymere, z. B. mit E-caprolacton (PCL)

Natürliche Polymere (Biobased Polymers): s. Vorlesung Hydrogele

Proteine

- Collagen, Gelatine
- Fibrin
- uam: Seide, Resilin, Casein, Keratin

Polysaccharide

- Cellulose
- Chitosan
- Alginat

