

# Biokeramik



# Übersicht

- Was sind Biokeramiken?
- Vor-und Nachteile von Keramiken
- Fertigungsverfahren
- Aluminiumoxid
- Zirkondioxid
- Hydroxylapatit
- Bioglas
- Faserverbundwerkstoffe

# Was sind Biokeramiken?

- Eine Gruppe von Keramiken, die zur Reparatur und Ersatz von erkrankten oder zerstörten Teilen des Bewegungsapparates benutzt werden.
- Der Bereich Biokeramik ist relativ neu (1970s), aber viele Biokeramiken sind keine neuen Materialien.



# Vor-und Nachteile von Keramiken

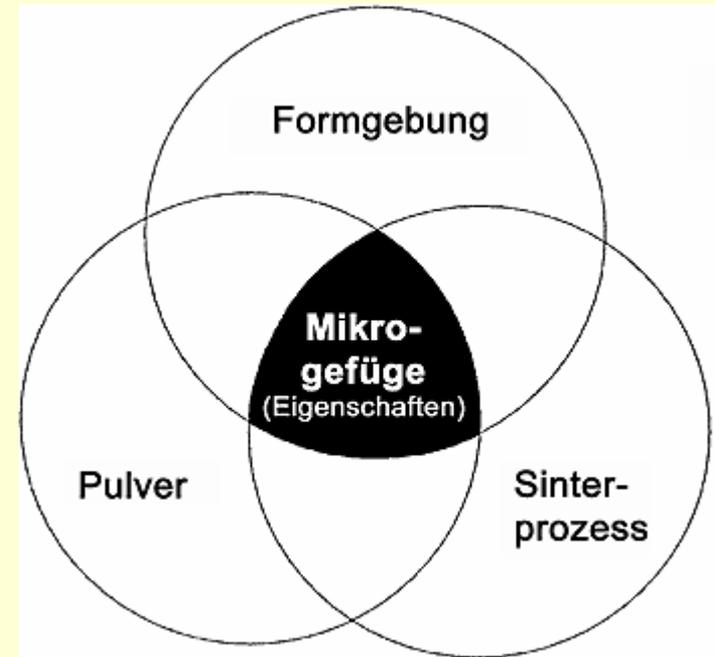
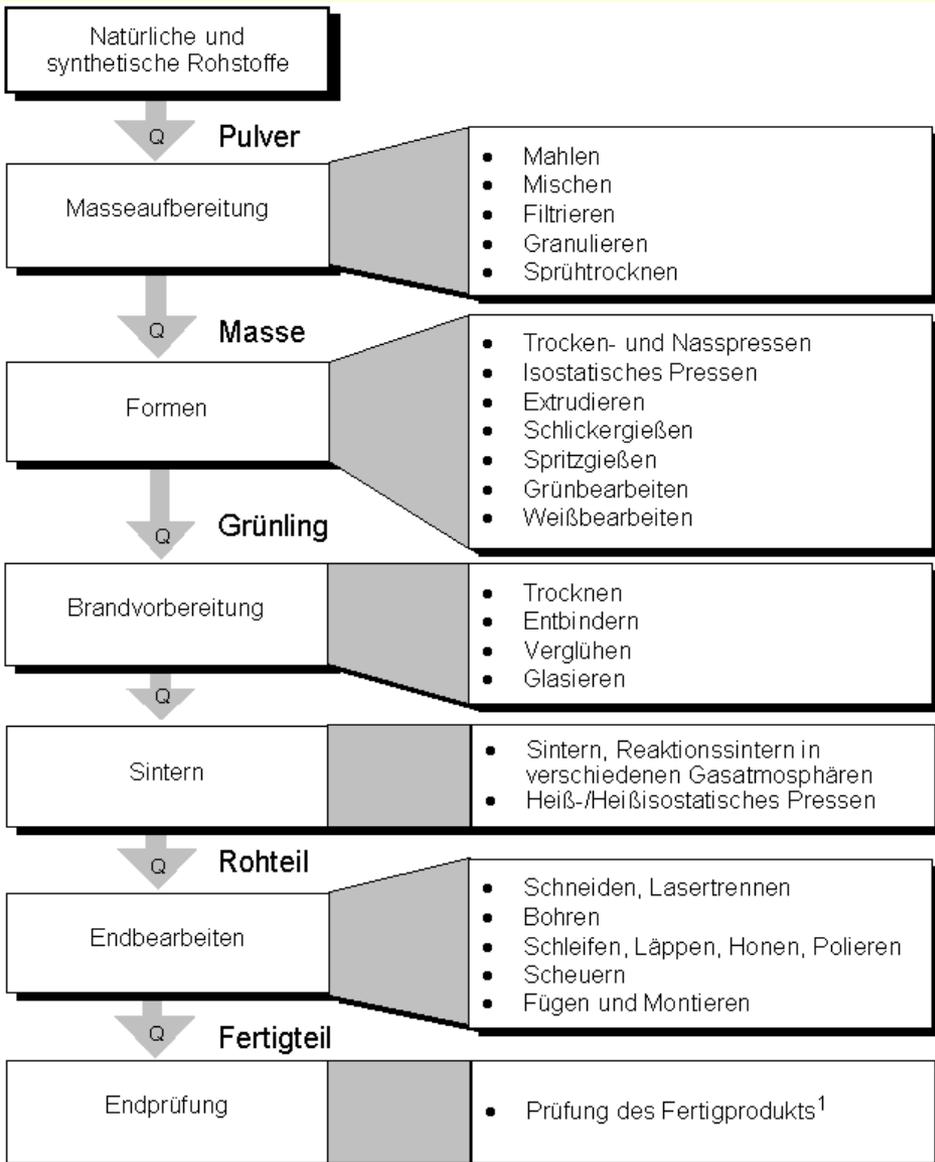
## Vorteile:

- Biokompatibel
- hohe Verschleißresistenz
- Leichtgewicht (bestimmte Zusammensetzungen)

## Nachteile:

- Geringe Bruchfestigkeit
- Schwer herzustellen
- Geringe Zähigkeit
- Nicht resilient

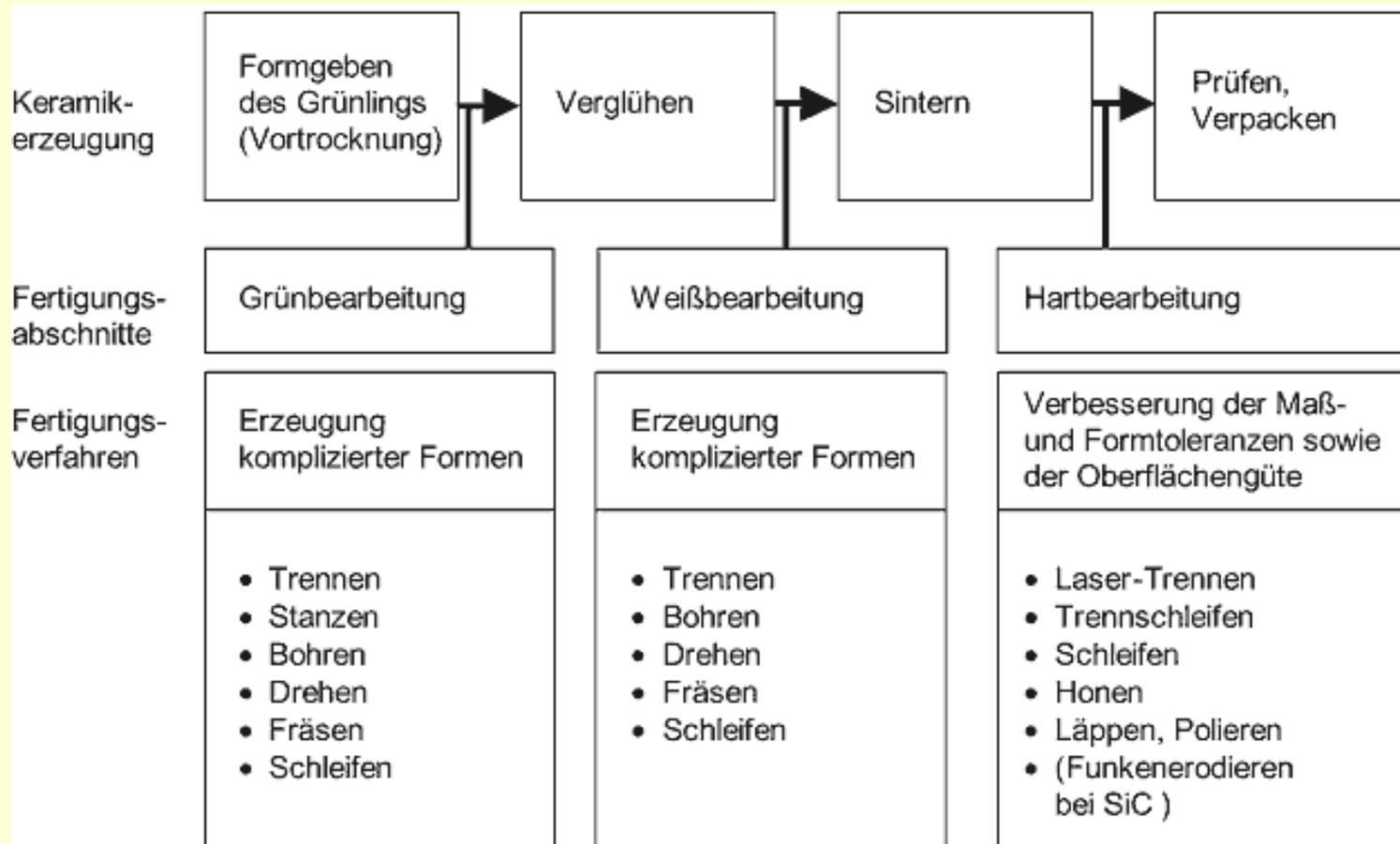
# Fertigungsverfahren



Einflüsse auf das Mikrogefüge

Quelle: Brevier Technische Keramik

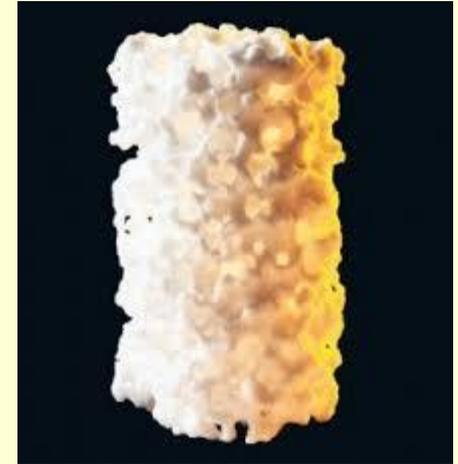
# Fertigungsverfahren



Quelle: Brevier Technische Keramik

# Fertigungsverfahren

- Keramiken aus dem 3D-Drucker



# Aluminium- und Zirkonoxidkeramiken

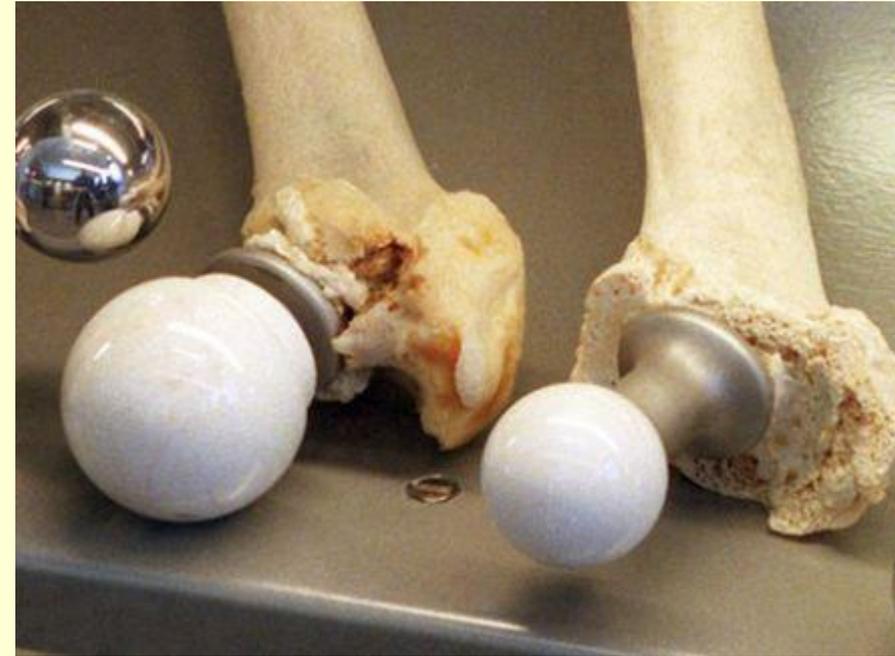
# Aluminiumoxid



Kugeln, Pfannen und Kniekomponente  
aus Aluminiumoxid

[http://www.ceramtec.de/images/mt\\_bioloX\\_delta\\_range.small.jpg](http://www.ceramtec.de/images/mt_bioloX_delta_range.small.jpg), 11.07.2013

17.09.2015



Hüftgelenkersatz aus Metall und  
Aluminiumoxid

[http://wissen.dradio.de/media/thumbs/6/6a5d8f0f1e7e3006c094bc8aef4efa2440x330\\_b3535db83dc50e27c1bb1392364c95a2.jpg](http://wissen.dradio.de/media/thumbs/6/6a5d8f0f1e7e3006c094bc8aef4efa2440x330_b3535db83dc50e27c1bb1392364c95a2.jpg), 11.07.2013

Klinische Medizin

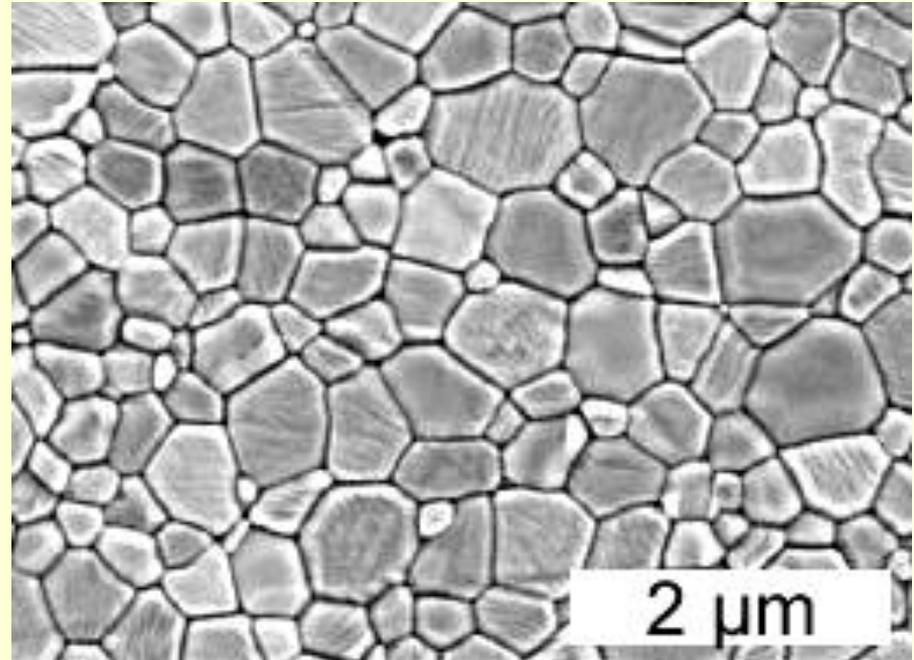
# Aluminiumoxid

## Klinische Anwendung

Die Kombination von  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und UHMWPE stellt eine gute Gleitpaarung dar, z.B.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Kugeln mit UHMWPE-Pfannen.

Das Problem des Abriebs ist bisher ungelöst. Neuere Entwicklungen, wie z.B. andere Werkstoffkombinationen und optimiertes Design, werden möglicherweise dieses Problem mindern oder ganz beseitigen.

	Vorteile	Nachteile
Metall - Metall	geringer Abrieb (0,01mm/Jahr)	Langzeittoxizität durch erhöhten CoCr Serumspiegel allergische Reaktion auf Abriebpartikel
Keramik - Keramik	geringster Abrieb (0,005mm/Jahr)	Empfindlichkeit des Materials Keramikpartikel bei Revisionen von Implantatbrüchen
Metall/Keramik - XL-PE	geringer Abrieb (0,01mm/Jahr)	keine Langzeitergebnisse



Durch Gelcasting geformte und bei 1260 °C drucklos dichtgesinterte Femur-Komponente eines Knie-Gelenkes. Die mittlere Korngröße des MgO-dotierten Gefüges im rechten Bild ist 0,63 μm

[http://www.ikts.fraunhofer.de/de/forschungsfelder/werkstoffe/oxidkeramik/keramiksinterkorundbasis/Hochfeste\\_Implantate\\_komplexer\\_Form/\\_jcr\\_content/contentPar/textblockwithpics/image1.img.jpg/1347967293602.jpg](http://www.ikts.fraunhofer.de/de/forschungsfelder/werkstoffe/oxidkeramik/keramiksinterkorundbasis/Hochfeste_Implantate_komplexer_Form/_jcr_content/contentPar/textblockwithpics/image1.img.jpg/1347967293602.jpg), 11.07.2013

# Zirkondioxid, $ZrO_2$

## Tetragonale $ZrO_2$ -Hochtemperaturphase

- stabilisiert durch Yttriumoxid  $Y_2O_3$  (tetragonal zirconia polycrystalline, TZP) und mit MgO (Partially Stabilized Zirconia) Dotierung

### TZP:

- Korngröße  $<1\mu m$  und
- bewirkt hohe Biege- und Zugfestigkeit

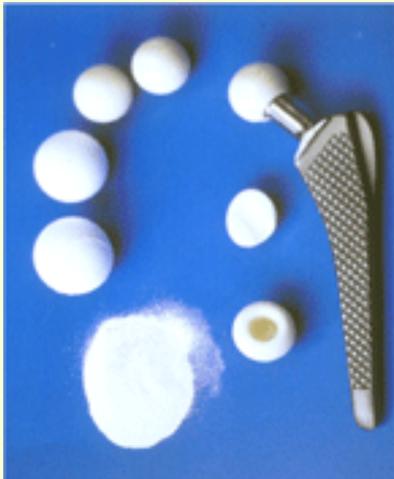
# Zirkondioxid, Einsatzbereiche



Extremitätengelenke



Dental Implantat



Hüftgelenke



Gerüst für eine dentale Prothese

# Zirkondioxid, Eigenschaften

- geringe Temperatur-Leitfähigkeit
- Schmelzpunkt 2700°C
- Biegefestigkeit 900 – 1250 MPa
- Hohe Wärmedehnung ( $\alpha=11 \times 10^{-6}/\text{K}$ , ähnlich zu einigen Stahlsorten)
- Sehr gute thermische Isolation beziehungsweise niedrige Wärmeleitfähigkeit (2,5 bis 3 W/mK)
- Sehr hoher Widerstand gegen die Ausbreitung von Rissen, hohe Risszähigkeiten (6,5 bis 8 MPa/m)

# Hydroxylapatit

# Hydroxylapatit (HA)

HA bildet die Grundlage der Hartschubstanz aller Wirbeltiere und entsteht im Körper durch Biomineralisation. Er ist in Knochen zu etwa 40%, in der Kalzifizierungszone von Gelenkknorpel, im Zahnbein (Dentin) zu 70%, und im Zahnschmelz (Enamelum) zu 95% enthalten.

Aufgrund der relativ geringen Ermüdungsfestigkeit wird HA vor allen in Beschichtungen und Pulvern eingesetzt.

# Hydroxylapatit (HA)

Es besitzt folgende positive Eigenschaften :

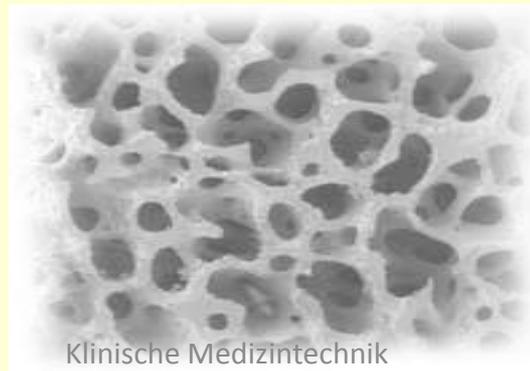
- keine Bildung von fibrillärem Gewebe
- rasches Anwachsen von Knochengewebe
- Ausbildung einer Verbindung zwischen Implantat und Gewebe mit hoher Festigkeit.
- Kürzere Heilungsphase als bei Implantaten mit Metalloberfläche
- reduzierte Freisetzung metallischer Ionen

# Hydroxylapatit (HA)



Kragenloses, zementfreies und vollständig mit Hydroxylapatit beschichtetes Implantat

Beispiel eines patientenindividuellen Implantats für einen Defekt im Schädelbereich samt passendem Kunststoff-Schädelmodell



Keramischer Knochenersatz aus Hydroxylapatit

# HA Löslichkeit

Da *Hydroxylapatit* als Festkörper oder als Beschichtung in der *klinischen* Anwendung immer einer wässrigen *Umgebung* ausgesetzt ist, ist das Löslichkeitsverhalten von großer Bedeutung und hängt von den folgenden Parametern ab:

- niedriger *pH-Wert* führt zu einer erhöhten Löslichkeit
- Große *spezifische Oberfläche* führt zu einer erhöhten Löslichkeit
- *Gitterdefekte* durch Verunreinigungen oder Leerstellen erhöhen die Löslichkeit
- Substitution: Die Substitution von  $\text{OH}^-$ -Ionen mit Fluorid-Ionen verringert die Löslichkeit von HA

# HA mechanische Eigenschaften

<b>Dichte</b> [g/cm <sup>3</sup> ]	<b>E-Modul</b> [GPa]	<b>Druckfestigkeit</b> [MPa]	<b>Zugfestigkeit</b> [MPa]	<b>Biegefestigkeit</b> [MPa]
3.05–3.15	80–120	300–900	40–200	100–120

Mechanische Eigenschaften können durch die Herstellungs- und Sinterbedingungen eingestellt werden

# Bioglas

# Bioglas

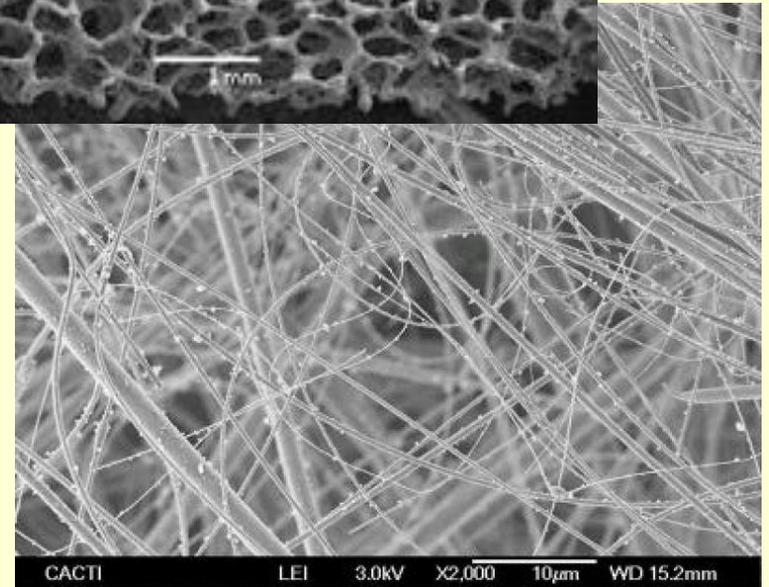
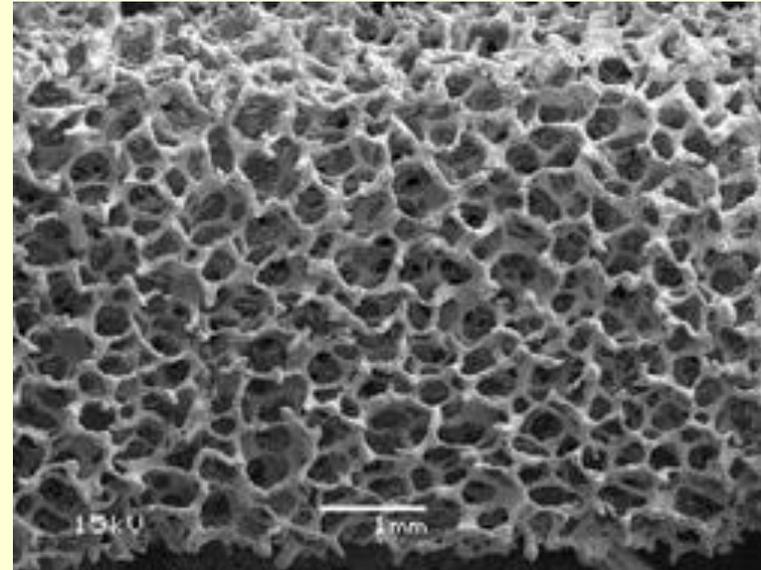
**Hauptvorteil** der Biogläser ist die rasche und direkte Anbindung an den Knochen. *In vitro-* und *in vivo*-Untersuchungen haben gezeigt, dass sich auf der Oberfläche von Biogläsern eine carbonatreiche Apatitschicht abscheidet, die auf eine Reihe von Ionenaustausch- und Lösungs-Wiederausscheidungs-Reaktionen zurückzuführen ist.

**Nachteile** von Biogläsern sind ihre geringen mechanischen Eigenschaften und ihre geringe Bruchzähigkeit, weshalb diese Werkstoffe als Bauteile für lasttragende Implantate nicht geeignet sind.

# Bioglas



Auf Borat basierende Biogläser zeigen viel versprechende Eigenschaften in der Wundbehandlung



# Knochenbildung an der Bioglasoberfläche

1.	Rascher Austausch von $\text{Na}^+$ oder $\text{K}^+$ mit $\text{H}^+$ oder $\text{H}_3\text{O}^+$ aus der Lösung.
2.	Spaltung von Si-O-Si-Bindungen und Bildung von Silanolgruppen (Si-OH) an der Grenzfläche zwischen Glasoberfläche und Lösung: $\text{Si} - \text{O} - \text{Si} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Si} - \text{OH} + \text{HO} - \text{Si}$
3.	Kondensation der Silanolgruppen gemäss: $\text{Si} - \text{OH} + \text{HO} - \text{Si} \rightarrow \text{Si} - \text{O} - \text{Si} + \text{H}_2\text{O}$ und Bildung einer an Alkalimetallen verarmten $\text{SiO}_2$ -Oberfläche
4.	Eindiffusion von $\text{Ca}^{2+}$ und $\text{PO}_4^{3-}$ -Ionen in die Oberfläche und Wachstum einer amorphen CaO- $\text{P}_2\text{O}_5$ -reichen Schicht auf der Oberfläche
5.	Schichtwachstum und Inkorporierung von $\text{OH}^-$ , $\text{CO}_3^{2-}$ oder $\text{F}^-$ -Anionen aus der Lösung und Bildung einer carbonat- und/ oder fluoridhaltigen Apatitschicht.
6.	Adsorption von biologischen Substanzen
7.	Beginn der Macrophagentätigkeit
8.	Anhaften von Stammzellen
9.	Differenzierung der Stammzellen
10.	Bildung von Matrix
11.	Kristallisation der Matrix

# Faserverbundwerkstoffe

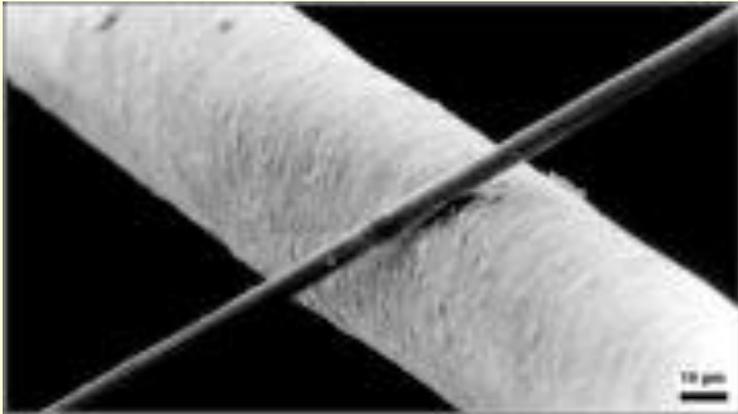
# Biokompatible Faserverbundwerkstoffe

Durch Einbettung von **Kohlenstoff- oder Glasfasern** in eine thermoplastische Matrix wird eine räumliche Variation der makroskopischen mechanischen Eigenschaften induziert (Anisotropie).

Faserverbundwerkstoffe zeigen positive Eigenschaften:

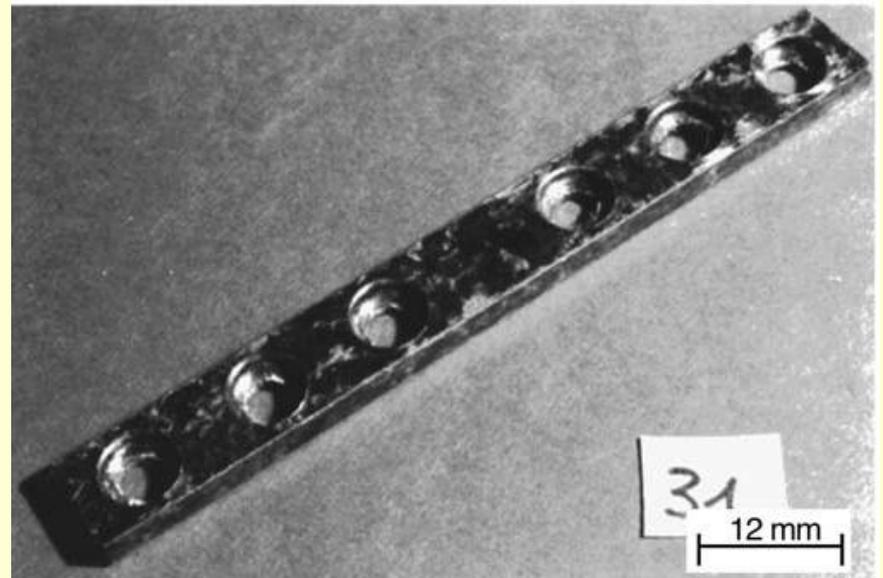
- **Allergierisiko**: keine allergischen Reaktionen durch freigesetzte Metallionen zu erwarten.
- **Röntgentransparenz**: gegebenenfalls Beimengung von Kontrastmitteln
- **Artefaktfreiheit** in modernen diagnostischen Verfahren, wie z.B. CT oder NMR

# Biokompatible Faserverbundwerkstoffe



6 µm dicke Kohlenstoff-Faser im Vergleich zu einem 50 µm dicken Menschenhaar

[de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstofffaser](http://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstofffaser)



Gestrickverstärkte 6-Loch Osseosyntheseplatte für die Ulna, hergestellt mittels Netshape Pressverfahren

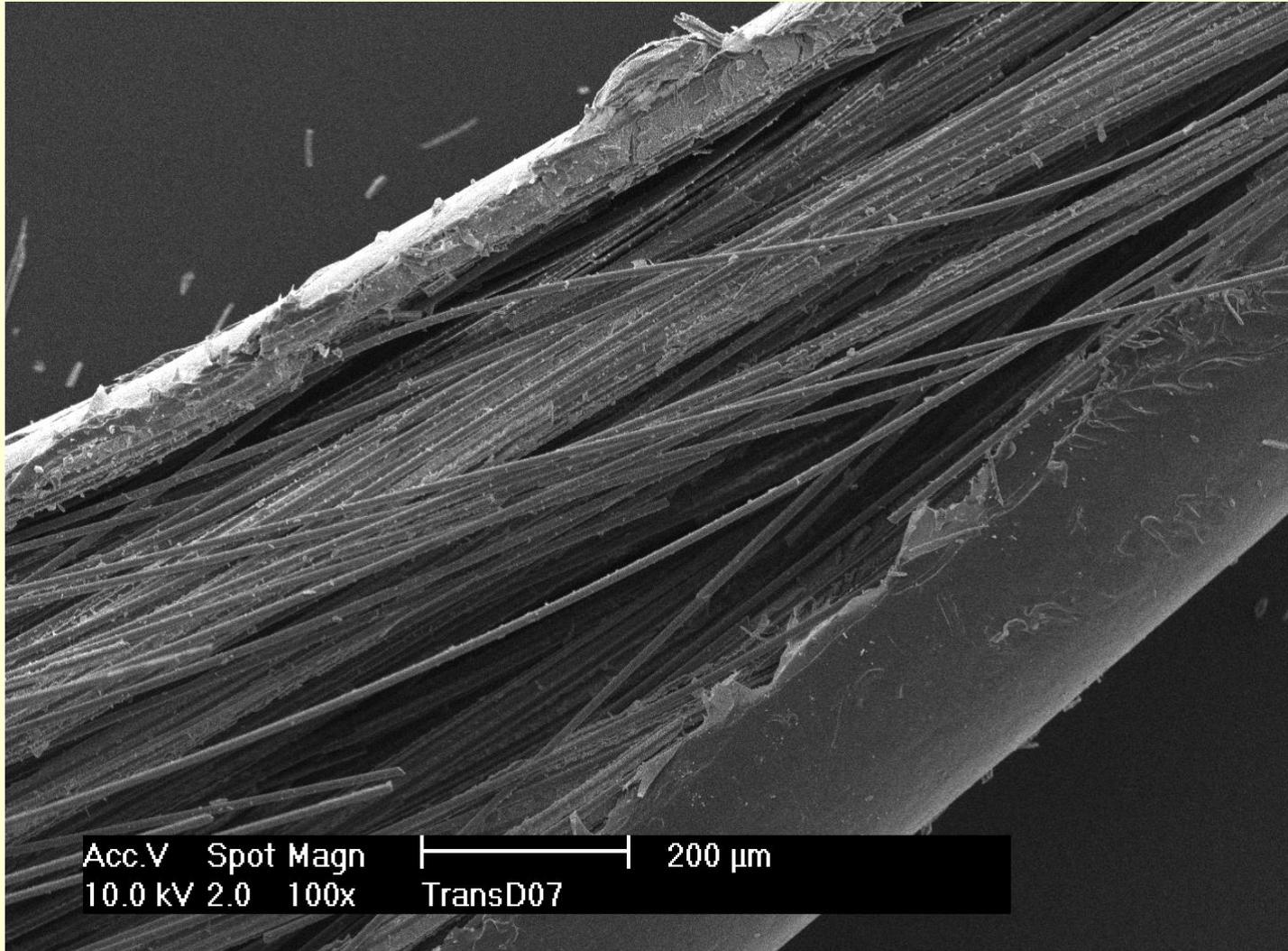
# Faserverbundwerkstoffe

## Funktion der Matrix

Aus z.B. Epoxidharze, Polysulfon, Polyamide, PEEK:

- mechanisches Stützen der Faser
- Kraftübertragung von Faser zu Faser
- Festigkeit bei Beanspruchung senkrecht zur Faserrichtung
- Schutz vor aggressiven Medien
- Schutz des Gewebes vor Faserpartikeln
- Interphasen (Übergangsphasen) und Interfaces (Grenzflächen)

# Faserverbundwerkstoffe



# Pause

