

Aufbau der Vorlesung „Materialien für Implantate“

Teil 1 (Keramik)

Dozent: Prof. Dr. rer. nat. Dr. h.c. mult. Rainer Gadow

Telefon: +49 (0) 711 685-68301

E-Mail: ifkb@ifkb.uni-stuttgart.de

Institut für Fertigungstechnologie keramischer Bauteile (IFKB)

Allmandring 7b

70569 Stuttgart



Teil 2 (Metalle)

Dozent: PD Dr.-Ing. Michael Seidenfuss

Telefon: +49 (0) 711 685-62590

E-Mail: michael.seidenfuss@imwf.uni-stuttgart.de

Institut für Materialprüfung, Werkstoffkunde und Festigkeitslehre (IMWF)

Pfaffenwaldring 32

70569 Stuttgart

Teil 3 (Polymere)

Dozent: Hon. Prof. Dr. Michael Doser

Telefon: +49 (0) 711 / 93 40 – 263

E-Mail: michael.doser@itv-denkendorf.de

Institut für Textil- und Verfahrenstechnik (ITV)

Körschtalstraße 26

73770 Denkendorf



Termine:

Prüfungstermin wird noch bekannt gegeben

Zusätzliche Vorlesungstermine:

29.01.18

Prof. Doser 14:00 – 15:30; Raum 55.01



Modul 3.3: Materialien für Implantate

Dozent:
o. Prof. Dr. rer. nat. Dr. h.c. mult. Rainer Gadow

im WS-17/18

**Institut für Fertigungstechnologie
keramischer Bauteile (IFKB)**



Skript zur Vorlesung:

<http://www.ifkb.uni-stuttgart.de/lehre/downloads/>
Passwort: medtec-jdfr-ws1718





Gegründet 1995

Start im Verfügungsgebäude Vaihingen 1997

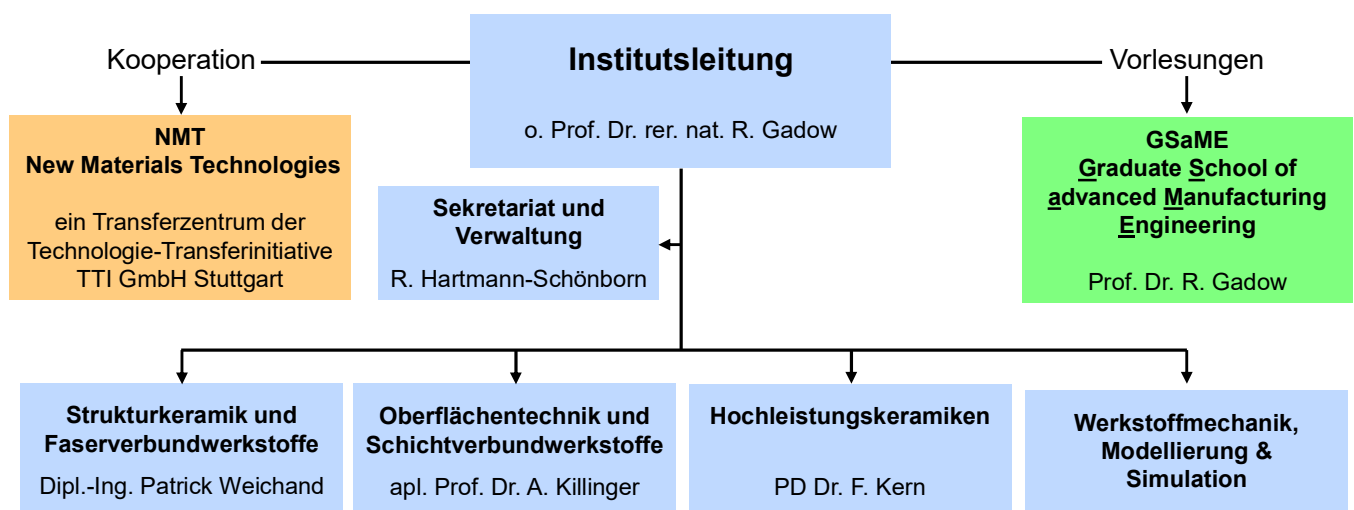
Übernahme des Institutsneubaus 2000

20 Mitarbeiter in vier Abteilungen

(Ingenieure, Naturwissenschaftler und Techniker)



Organigramm / Kompetenzen und Inhalte des Instituts



Inhaltliche Orientierung zum 1. Teil der Vorlesung

Teil I: Einführung

*Warum innovative Werkstoffe in der Medizin?
Systematik der Werkstoffgruppen, Geschichtlicher Überblick*

Teil II: Medizinisch relevante Werkstoffe

*Metalle und deren Legierungen, Keramische Werkstoffe,
Polymere, Faserverbundwerkstoffe*

Teil III: Keramische Werkstoffe

*Begriffserklärungen, Charakterisierungsmethoden,
Keramische Werkstoffe, Biogläser*

Teil IV: Wechselwirkungen zwischen Gewebe und Werkstoffen

*Anforderung an die Werkstoffe,
Biokompatibilität, Infektion*



Literaturempfehlungen zur Vorlesung „Neue Materialien für Implantate“

- Wintermantel, E., Ha, S.W.: Medizintechnik mit biokompatiblen Werkstoffen und Verfahren, 3. Auflage, Springer Verlag, 2002, ISBN 3-540-41261-1
- Wintermantel, E., Ha, S.W.: Medizintechnik - Life Science Engineering, 5. Auflage, Springer Verlag, 2009, ISBN 978-3-540-93935-1
- Grading, R., Gollwitzer, H.: Ossäre Integration; Berlin u.a., Springer-Verlag, 2006, ISBN 978-3-540-22721-2
- Schmalz, G., Arenholt-Bindslev, D.: Biokompatibilität zahnärztlicher Werkstoffe; 1. Auflage, Elsevier, 2004, ISBN 978-3437051906
- Ceramic Transactions, Vol. 110, Bioceramics: Materials and Applications III, eds. L. George; R. P. Rusin; G. S. Fischman; V. Janas, The American Ceramic Society, 2000, ISBN 1-57498-102-1
- Ratner, B.D.: Biomaterials Science. An Introduction to Materials in Medicine, 2. Auflage, Academic Press, 2004, ISBN 978-0125824637
- Wintermantel, E., Ha, S.W.: Biokompatible Werkstoffe und Bauweisen, Springer Verlag, 1996, ISBN 3-540-59405-1
- Shackelford, J.F.: Werkstofftechnologie für Ingenieure, 6. Auflage, 2005, Pearson Studium, ISBN 3-8273-7159-7



Teil I

Einführung

Warum innovative Werkstoffe in der Medizin?

- ⇒ Geschichtlicher Überblick
- ⇒ Systematik der Werkstoffgruppen

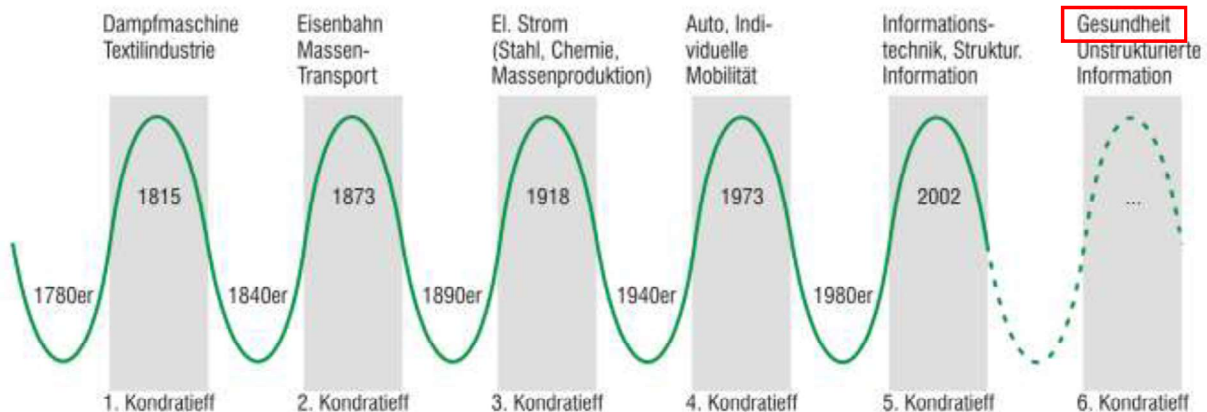


Medizintechnik – Wirtschaftsentwicklung



Zyklischen Wirtschaftsentwicklung

Theorie zur zyklischen Wirtschaftsentwicklung von:
Nikolai Kondratjew



1. Periode (ca. 1780–1849): *Dampfmaschinen-Kondratjew*

2. Periode (ca. 1849–1890): *Eisenbahn-Kondratjew*

3. Periode (ca. 1890–1940): *Elektrotechnik- und Schwermaschinen-Kondratjew*

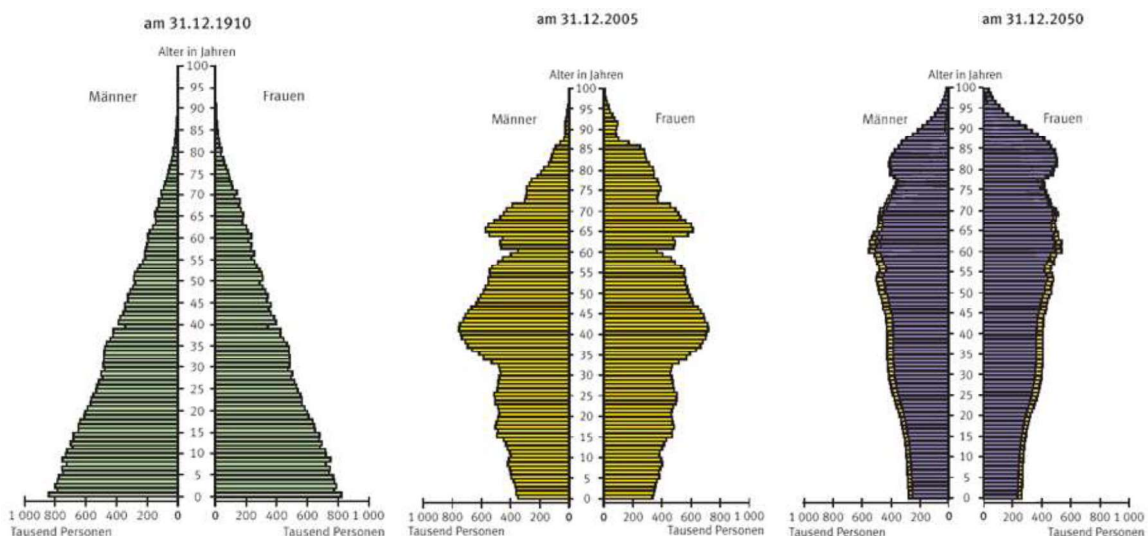
4. Periode (ca. 1940–1990): *Einzweck-Automatisierungs-Kondratjew*

5. Periode (ab 1990): *Informations- und Kommunikations-Technik-Kondratjew*



Zyklischen Wirtschaftsentwicklung

Kommender „6. Kondratjew-Zyklus“ wird nach Expertenmeinung beherrscht werden von den Themen Gesundheit, Wellness und Bildung, die damit zu Schlüsselfaktoren der Wirtschaft werden.



Wachstumsfaktoren:

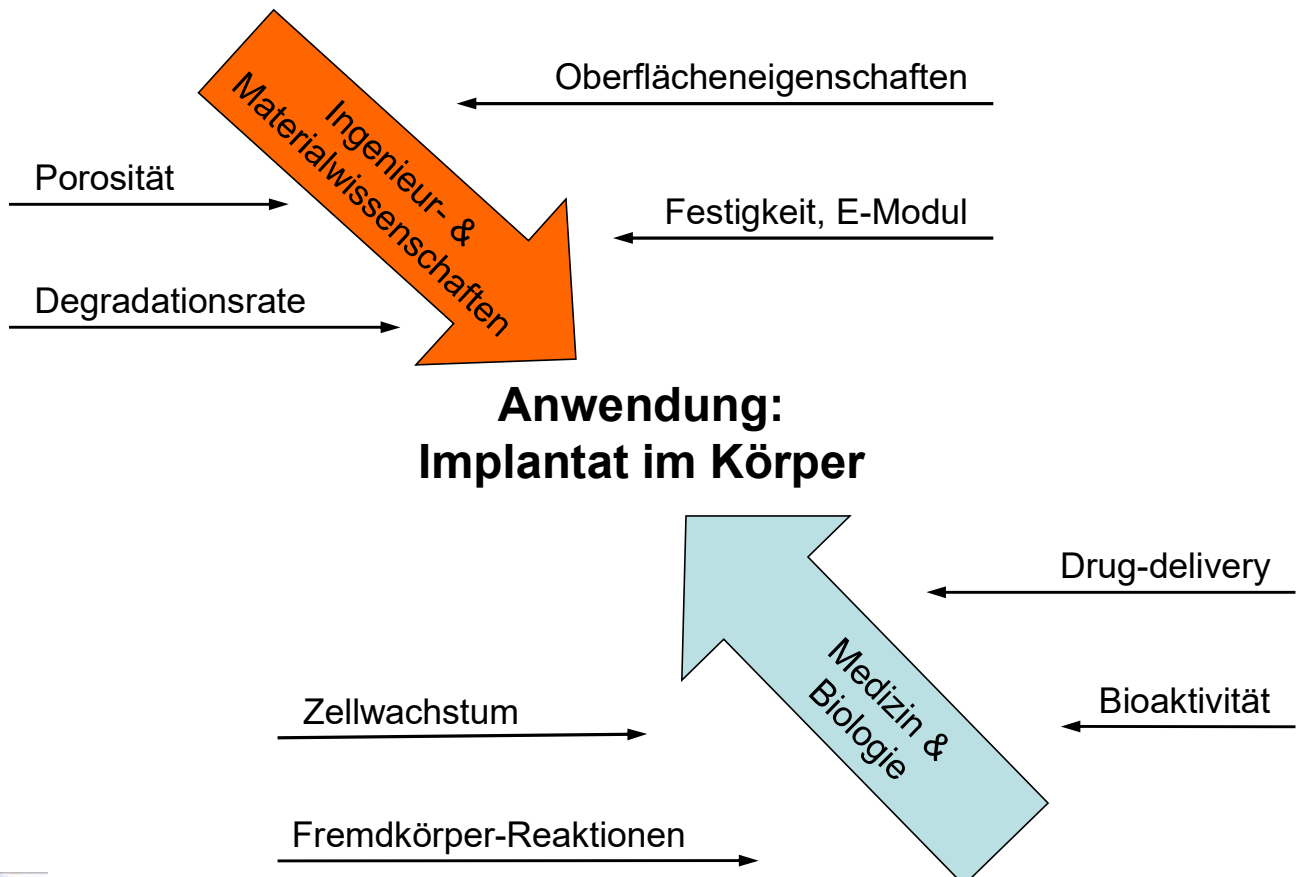
- Wirtschaftliche Bedeutung von Gesundheit
- Steigende Lebenserwartung, Überalterung der Bevölkerung
- Technologischer Fortschritt (z.B. Gentechnologie, Nanotechnologie)
- Wachsendes individuelles Gesundheitsbewusstsein („Wellness-Trend“)



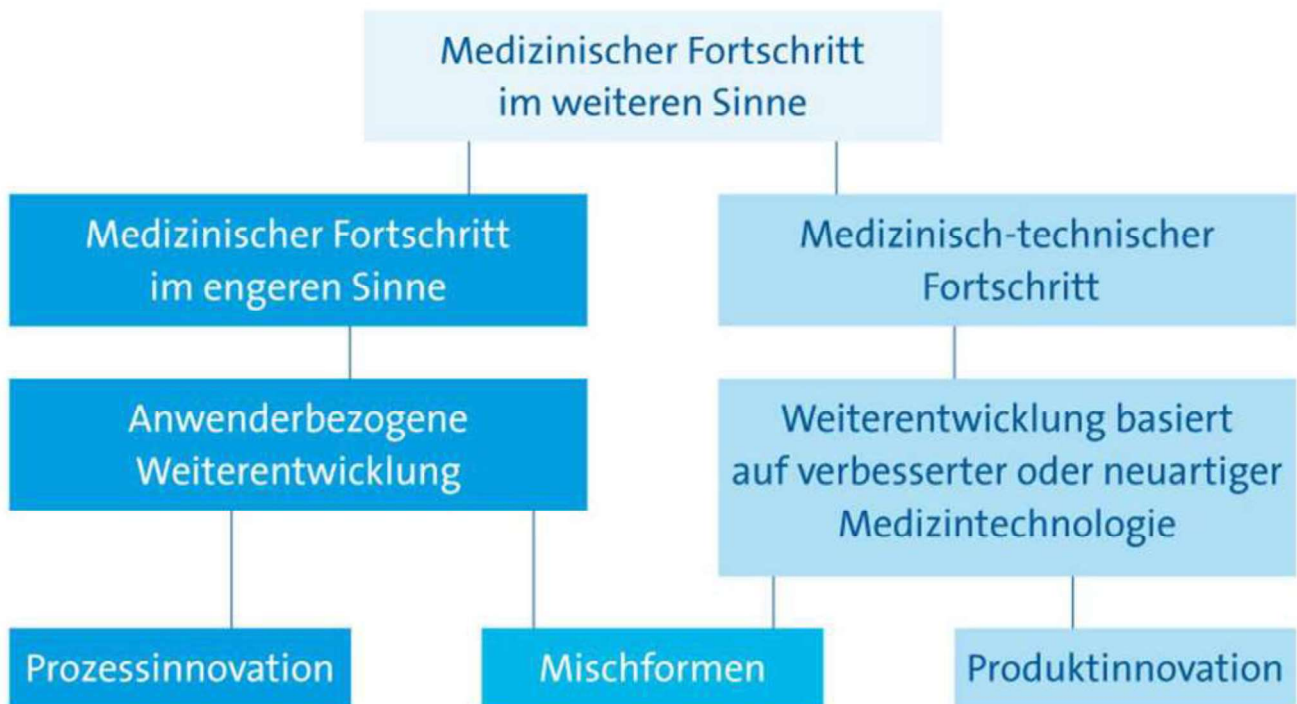
Produktentwicklung und Innovation



Innovative Werkstoffe



Arten von Innovation



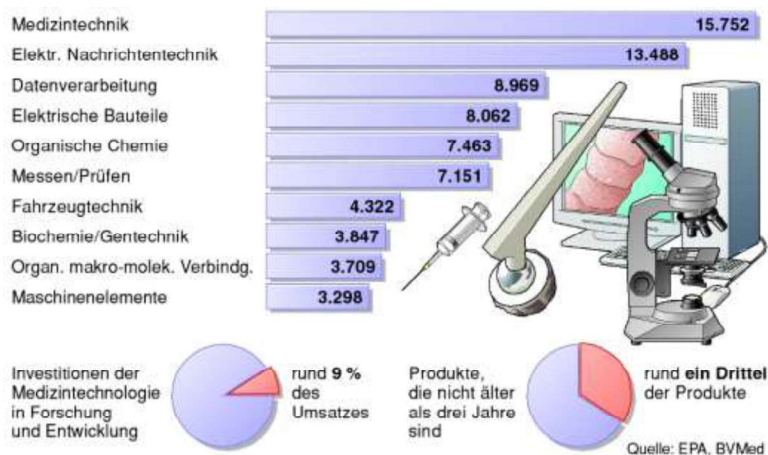
<http://www.bvmed.de>

3.3 Materialien für Implantate WS-17/18
Institut für Fertigungstechnologie keramischer Bauteile, Universität Stuttgart

Einführung
Seite 15 / 35

Medizintechnik – eine Innovative Branche

Zahl der Anmeldungen 2006 beim Europäischen Patentamt:



Zahl der Anmeldungen 2008 beim Europäischen Patentamt:



auf technischem Gebiet



<http://www.bvmed.de>

3.3 Materialien für Implantate WS-17/18
Institut für Fertigungstechnologie keramischer Bauteile, Universität Stuttgart

Einführung
Seite 16 / 35

Medizintechnik in Deutschland – eine bedeutende Branche



12000 Unternehmen,
davon 1250 mit mehr als 20 Beschäftigten



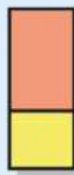
170 000 Arbeitsplätze
+ 29 000 im Einzelhandel für medizinische
und orthopädische Güter
+ 7 000 Gesundheitstechniker



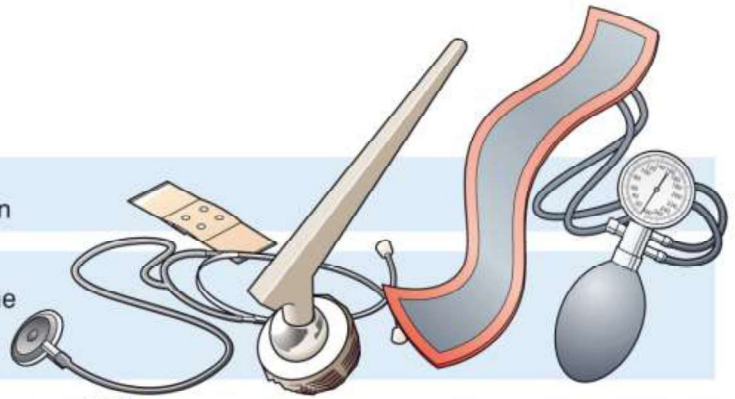
Produktion im Wert von
17,4 Mrd. Euro
davon

Exportumsatz **11,2 Mrd. Euro**

Inlandsumsatz **6,2 Mrd. Euro**



*ohne Investitionsgüter

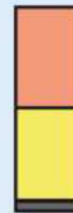


Gesundheitsausgaben für Medizinprodukte*
über 22 Mrd. Euro
davon

Hilfsmittel **10,9 Mrd. Euro**

sonst. medizinischer Bedarf **9,7 Mrd. Euro**

Verbandmittel **ca. 1 Mrd. Euro**



Quelle: BVMed, Spectaris, Stat. Bundesamt

Geschichtlicher Überblick, Gegenwart und Ausblick

Geschichte der Implantate



Geschichte der Zahnmedizin, Malvin E. Ring

Schon die Etrusker

- um 450 v. Chr. - ersetzten fehlende Zähne durch Brücken. In das Goldband wurden natürliche Zähne, oder solche, die aus Elfenbein o.Ä. geschnitzt wurden, genietet.

Früher Zahnersatz, Beispiel aus **Attika**, 300 vor Christus



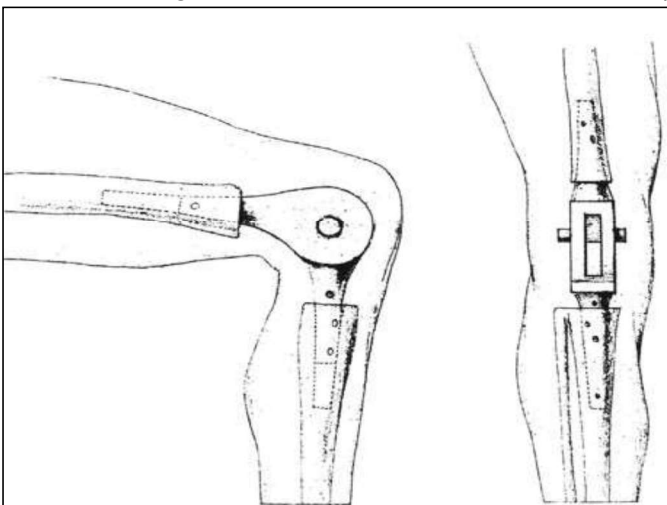
Römischer Zahnersatz, ca. 300 vor Christus



Geschichte der Implantate

Geschichte der Endoprothetik begann 1890 mit Themistocles Gluck. Er war der erste, der die Idee eines künstlichen Gelenks in die Tat umsetzte.

Kniescharniergelenke nach Gluck aus Elfenbein (1890)



Anpassen einer Prothese (1915)



<http://www.rainerregiment.at>

Erst die Erfindung der mechanisch festen und korrosionsstabilen CoCrMo-Legierung Vitallium durch Venable und Stuck in den dreißiger Jahren des vorigen Jahrhunderts führten, durch Judet 1946, zu beachtlichen Erfolgen und ermöglichte auch die Erfindung stielendiger Prothesen durch z.B. Moore und Thomsen.

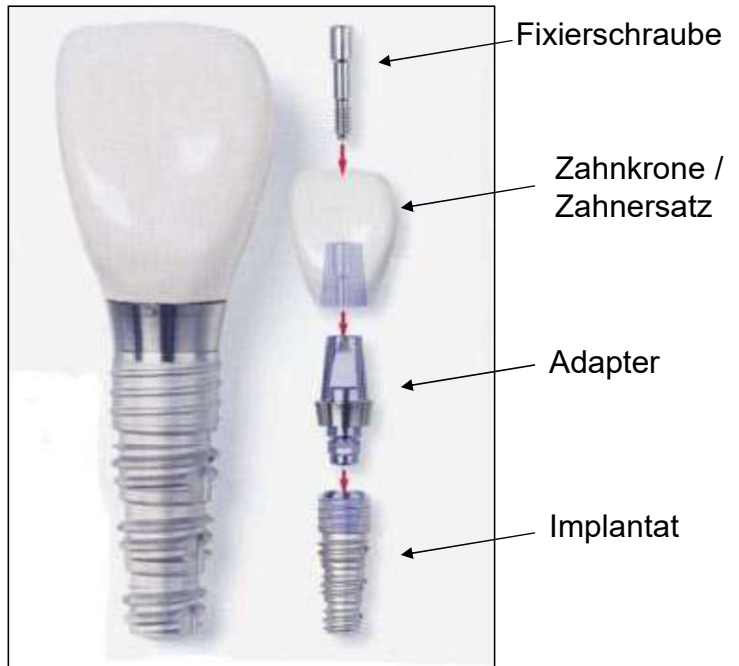
Gegenwart der Implantate

Das Brånemark-Implantatsystem

Brånemark entwickelte ein Implantatsystem mit einer Schraube aus Reintitan, das bis heute -in modifizierter Form - verwendet wird. (ca. 1965)



www.nobelbiocare.com

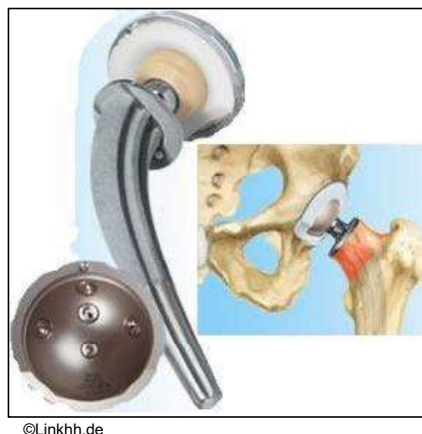


Zur Zeit gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Implantatsysteme, die aber im Wesentlichen sehr ähnlich sind. Als Material für Implantate (künstliche Zahnwurzeln) hat sich Titan durchgesetzt, da es stabil und biologisch sehr verträglich ist und selbst bei Allergikern in der Regel keine Unverträglichkeiten auslöst.

Gegenwart der Implantate

Hauptproblem aller Endoprothesenentwicklungen dieser Zeit blieb die mangelhafte Verankerung der Prothesenstiele im knöchernen Lager. Die unterschiedlichen Elastizitätsmodule von Metallstiel und Knochen führten durch eine mangelhafte Kraftübertragung zu ungünstigen Umbauvorgängen im Knochen und zur Lockerung der Implantate.

Oberflächenersatzprothesen



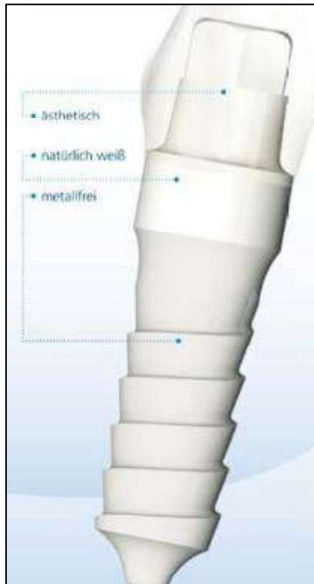
©Linkhh.de



Achsgeführte Endoprothese

Der entscheidende Fortschritt in der Entwicklung der Endoprothetik gelang Anfang der sechziger Jahre des 20. Jahrhunderts dem Engländer Charnley. Er ergänzte den Hüftkopfersatz um eine künstliche Hüftpfanne und verankerte diese Totalprothese mit so genanntem Knochenzement.

Zukunft der Implantate



<http://www.burghartswieser.de>

Neu: Keramik-Implantate aus Zirkondioxid

Ganzheitlich spezialisierte Zahnärzte verwenden in jüngster Zeit vermehrt metallfreie Keramik-Implantate aus Zirkondioxid. Metalle beeinträchtigen die Abwehrzellen: Metallionen wandern ab und lagern sich in Lymphknoten, im Lungengewebe und Milz ein. Zirkondioxid ist ein extrem biokompatibles Material von hoher Biege- und Bruchfestigkeit. Langzeitstudien zur Osseointegration von Zirkondioxid stehen kurz vor dem Abschluss. Positive Ergebnisse werden erwartet.



NobelReplace™ von Nobel Biocare

Es ist biologisch sehr gut verträglich und hat darüber hinaus den Vorteil, dass es durch seine weiße Farbe der natürlichen Zahnfarbe näher kommt.

Zukunft der Implantate

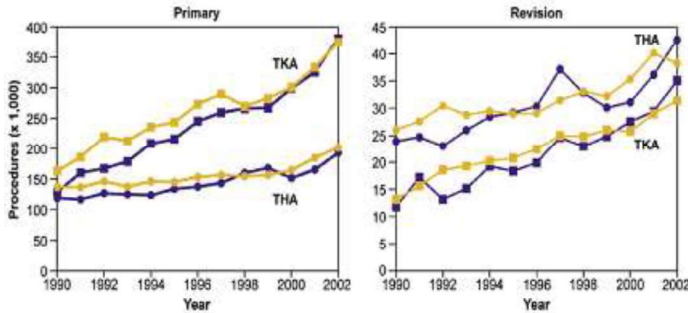
"Wenn das so weitergeht, haben bald alle 60- bis 65-jährigen Rentner ein neues Knie oder eine neue Hüfte", sagt der Vizechef der Barmer GEK, Dr. Rolf-Ulrich Schlenker (Ärzte Zeitung, 27.07.2010)



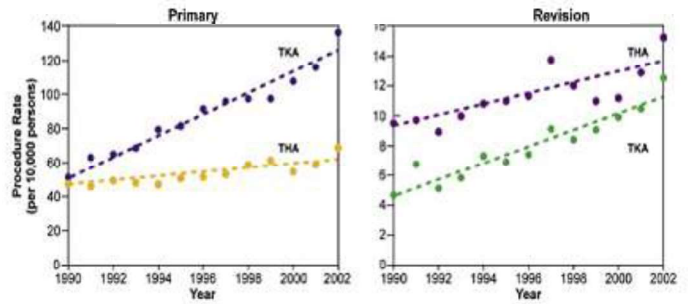
Derzeit kostet die Implantation einer neuen Hüfte die Kassen im Schnitt 7626 Euro, die eines neuen Knies durchschnittlich 7373 Euro.

Zukunft der Implantate

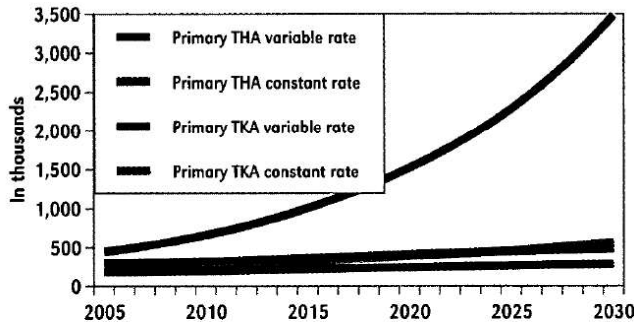
Primary & Revision THA / TKA Procedures



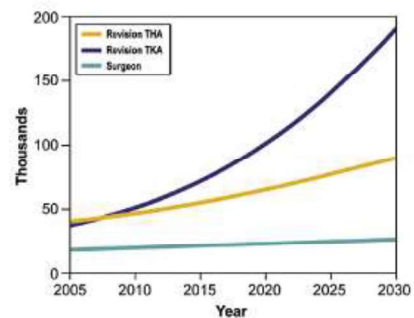
Primary & Revision THA / TKA Rates



Projected primary THA / TKA Procedures



Projected THA / TKA Revision Procedures



- Primary THA estimated to **grow by 174%**, from 208,600 in 2005 to 572,100 by 2030
- Primary TKA projected to grow from 450,400 to 3.48 million procedures (**> 673%**)

1) Mater Manag Health Care. 2006 Jul;15(7):61-2.

3.3 Materialien für Implantate WS-17/18

Institut für Fertigungstechnologie keramischer Bauteile, Universität Stuttgart

Einführung

Seite 25 / 35

Zukunft der Implantate



MaterialNews vom 02.07.2008

Während Ersatz aus Titan lediglich Lücken schließt, fördert ein neuartiges resorbierbares Implantat die Regeneration des Körpers: Es ist maßgeschneidert und schwindet im selben Maße wie der Knochen nachwächst.

Individuelle Knochenimplantate, die in ihrer Struktur dem natürlichen Knochen gleichen, lassen sich leicht fertigen: Ein Simulationsprogramm zunächst die innere Struktur und Porosität; eine Rapid Prototyping-Maschine »backt« aus Metallpulver das Implantat.



MaterialNews vom 04.06.2010

3.3 Materialien für Implantate WS-17/18

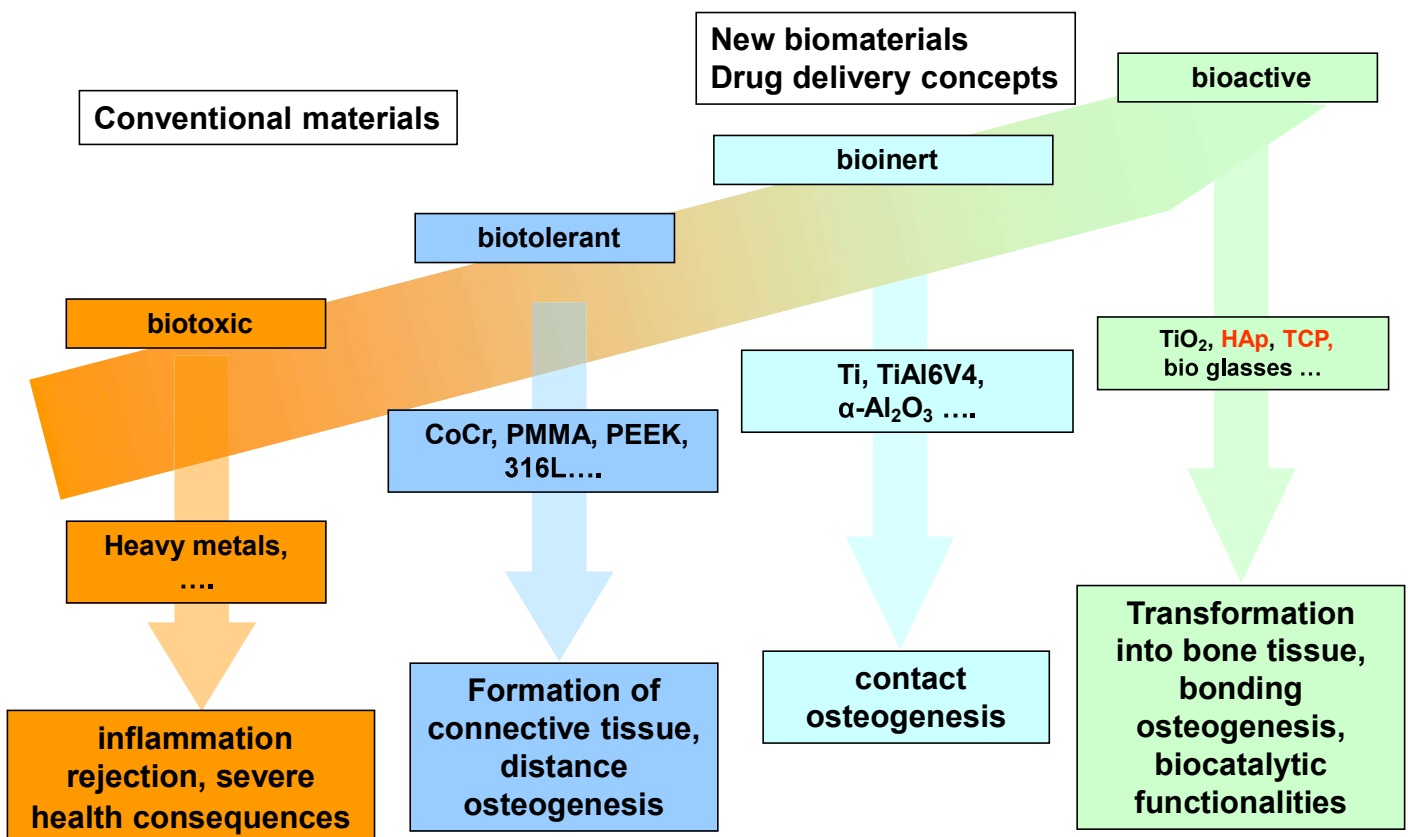
Institut für Fertigungstechnologie keramischer Bauteile, Universität Stuttgart

Einführung

Seite 26 / 35

Übersicht der Werkstoffe in der Medizintechnik

Biomaterialien: Übersicht Knochenreaktionen



Anwendungsbeispiele von Werkstoffen in der Medizintechnik

Anwendungen	Werkstoffe		
	Metalle	Polymere	Keramische Werkstoffe
Osteosynthese, Gelenkersatz	Rostfreie Stähle Titan und Ti-Legierungen Co-Cr-Legierungen	Polyethylen (UHMWPE) Polymethylmethacrylat	Aluminiumoxid Zirkonoxid Calciumphosphate
Dentalchirurgie	Titan und Ti-Legierungen Co-Cr-Legierungen Amalgam (Hg-Ag-Sn) Goldlegierungen	Polymethylmethacrylat	Aluminiumoxid Zirkonoxid Calciumphosphate Porzellan
Gefäßchirurgie	Co-Cr-Legierungen Ni-Ti-Legierungen	Polyester Polytetrafluorethylen Polysiloxane Polyurethane	
Chirurgische Instrumente	Rostfreie Stähle Titanlegierungen		
Ophthalmologie		Polymethylmethacrylat Polysiloxane Hydrogele	

E. Wintermantel · S.-W. Ha Medizintechnik – Life Science Engineering.

3.3 Materialien für Implantate WS-17/18

Institut für Fertigungstechnologie keramischer Bauteile, Universität Stuttgart

Einführung

Seite 29 / 35

Metalle als Implantatwerkstoffe

Geschichtlicher Überblick über die Entwicklung von Metallen als Implantatwerkstoffe für medizinische Anwendungen

Jahr	Entdecker/ Verfasser	Bemerkungen
1565	Petronius	Behandlung einer angeborenen Gaumenspalte mit einer Goldplatte.
17. Jhdt.	Hieronymus Fabricius	Verwendung von Eisen-, Gold- und Bronzedrähten bei der Wundnaht.
1775	Lapeyode/ Sicre	Erster Nachweis über den Gebrauch von Knochen-drähten.
1829	Levert	Wissenschaftliche Arbeit über die Verträglichkeit von Metallen im Körper. In dieser Arbeit wird gezeigt, dass Platin am wenigsten Irritationen verursacht, zudem wurde die Toxizität von Blei nachgewiesen.
1860-83	J. Lister	Entwicklung der Antisepsis. Erfolgreiche Durchführung von Operationen mit Silberdraht zur Fixation von gebrochenen Kniescheiben.
1886	H. Hansmann	Entwicklung der ersten Knochenplatte aus Stahl mit einem Nickelüberzug.
1893-1912	W.A. Lane	Entwicklung von Stahlschrauben und -platten für die Knochenbruchbehandlung.
1909	A. Lambotte	Entwicklung von Platten aus Al, Ag und Cu.
1912	W. O'Neil Sherman	Entwicklung einer Knochenplatte aus mit Vanadium legiertem Stahl hoher Festigkeit und Zähigkeit.

Jahr	Entdecker/ Verfasser	Bemerkungen
ab 1920	Krupp	Herstellung von CrNi-Stählen (CrNi188) und CrNi-Mo-Stählen (CrNiMo1810) brachte entscheidende Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit.
1930	Erdle	Entwicklung einer CoCr-Legierung (Vitalium) und erste Anwendung als Gussprothese.
1936	C.S. Venable W.G. Stuck	Entwicklung einer Gusslegierung auf Kobalt- und Chrombasis, die erstmals im Dentalsektor unter dem Namen Vitalium® (Howmedica, Inc.) eingeführt wurde.
1938	P. Wiles	Erste Prothese für den totalen Hüftgelenkersatz.
1940-1950	Leventhal	Untersuchung von Tantal, Titan sowie von kaltverformbaren wolfram- und nickelhaltigen Kobaltlegierungen als Implantatwerkstoffe.
1946	J. und R. Judet	Erste unter biomechanischen Gesichtspunkten konzipierte Hüftprothese.
ab 1946	J. Cotton	Kommerzielle Herstellung von Titan und Titanlegierungen.
1960	Charnley	Entwicklung von modularen Hüftgelenkendoprothesen

Metalle als Implantatwerkstoffe werden in der Medizin für zwei Hauptanwendungen eingesetzt:

- Prothesen des totalen Gelenkersatzes wie beispielsweise Hüft-, Knie und Schulterprothesen
- Fixationselemente zur Stabilisierung von Frakturen. Z.B. Osteosyntheseplatten, Marknägeln, Schrauben, Drähte und Stents.

E. Wintermantel · S.-W. Ha Medizintechnik – Life Science Engineering.

3.3 Materialien für Implantate WS-17/18

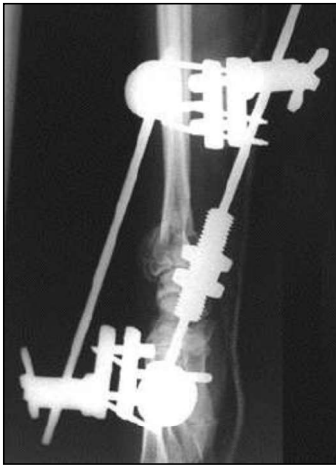
Institut für Fertigungstechnologie keramischer Bauteile, Universität Stuttgart

Einführung

Seite 30 / 35

Metalle als Implantatwerkstoffe

Stahl-Implantat



Externes Fixationssystem



Mittelohrimplantat

Ti-Implantate



Hüftgelenkschaft

CoCrMo-Implantat



Femurkomponente
Kniegelenk



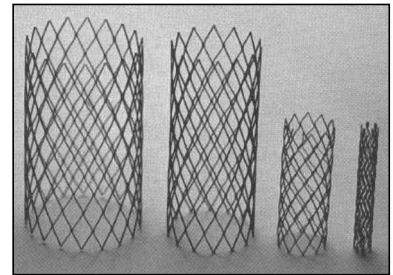
Dentalimplantat

Tantal-Implantat



Hüftgelenkschale

Formgedächtnislegierung



Stents (TiNi)

Keramische Werkstoffe für Implantate

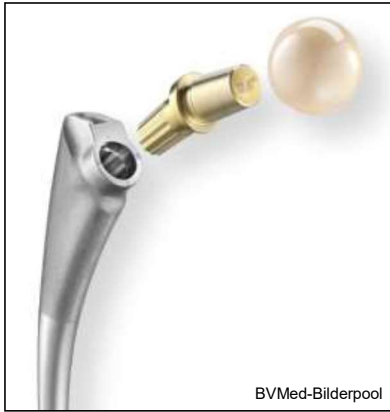
Am häufigsten werden keramische Werkstoffe in Medizinprodukten im Zusammenhang mit dem menschlichen Skelett, den Knochen, Gelenken und Zähnen eingesetzt.

Biokeramische Werkstoffe	Medizinische Anwendungsgebiete
Aluminiumoxid	Hüftgelenksgugeln Dentalimplantate Gesichtschirurgie Mittelohrimplantate
Zirkonoxid	Hüftgelenksgugel
Hydroxylapatit	Orthopädische Implantate Knochenersatz Dentalimplantate Ohrimplantate Wirbelsatz
Bioaktive Gläser und Glaskeramiken	Implantate für die Gesichtschirurgie Dentalimplantate Knochenersatz Wirbelsatz Orthopädische Implantate

Bei Hüftgelenk-Endoprothesen werden Aluminiumoxid sowie Zirkonoxid für Hüftkugeln und Calciumphosphate in Form von Hydroxylapatit als Beschichtung auf Prothesenschäften eingesetzt.

Keramische Werkstoffe für Implantate

Zirkonoxid



Aufbau Hüftgelenk



Handgelenk

Hydroxylapatit (HAP)



Mittelohrimplantat

Bioglass



scaffolds

Aluminiumoxid



Keramikköpfe mit den dazugehörigen Keramikpfannen



Zweiteiliges Dentalimplantat

Polymere in der Medizintechnik

Polymer	Anwendung
Polymethylmethacrylat (PMMA)	Knochenzement, Intraokulare Linsen und harte Kontaktlinsen, künstliche Zähne, Zahnfüllmaterial
Polyurethan (PUR)	Künstliche Blutgefäße und Blutgefäßbeschichtungen, Hautimplantate, künstliche Herzklappen, Dialysmembranen, Infusionsschläuche, Schlauchpumpen
Polysiloxane	Brustimplantate, künstliche Sehnen, kosmetische Chirurgie, künstliche Herzen und Herzklappen, Beatmungsbälge, heisssterilisierbare Bluttransfusionsschläuche, Dialyseschläuche, Dichtungen in medizinischen Geräten, Katheter und Schlauchsonden, künstliche Haut, Blasenprothesen
Polyetheretherketon (PEEK)	Matrixwerkstoff für kohlenstoffaserverstärkte Verbundwerkstoffimplantate wie z. B. Osteosyntheseplatten und Hüftgelenkschäfte
Polysulfon (PSU)	Matrixwerkstoff für kohlenstoffaserverstärkte Verbundwerkstoffimplantate wie z. B. Osteosyntheseplatten und Hüftgelenkschäfte, Membranen für Dialyse
Polyhydroxyethylmethacrylat (PHEMA)	Kontaktlinsen, Harnblasenkatheter, Nahtmaterialbeschichtung

Polymer	Anwendung
Polyethylen (PE)	Gelenkpfanne für Hüftgelenkendoprothese, künstliche Knieprothesen, Sehnen- und Bänderersatz, Spritzen, Katheterschläuche, Verpackungsmaterial
Polypropylen (PP)	Komponenten für Blutoxygenatoren und Nierendialyse, Fingergelenk Prothesen, Herzklappen, Nahtmaterial, Einweg-Spritzen, Verpackungsmaterial
Polyethylenterephthalat (PET)	Künstliche Blutgefäße, Sehnen- und Bänderersatz, Nahtmaterial
Polyvinylchlorid (PVC)	Extrakorporale Blutschläuche, Blutbeutel und Beutel für Lösungen für intravenöse Anwendungen, Einwegartikel
Polycarbonat (PC)	Komponenten für Dialysegeräte, unzerbrechliche, sterile Flaschen, Spritzen, Schläuche, Verpackungsmaterial
Polyamide (PA)	Nahtmaterial, Katheterschläuche, Komponenten für Dialysegeräte, Spritzen, Herzmitralkappen
Polytetrafluorethylen (PTFE)	Gefäßimplantate

Polymere werden in fast allen medizinischen Bereichen eingesetzt; die Hauptanwendungsgebiete sind:

Therapie

- Langzeit- und Kurzzeitimplantate, z. B. künstliche Blutgefäße, künstliche Herzklappen, Katheter oder Nahtmaterial.
- Kontrollierte therapeutische Systeme (controlled drug delivery systems).
- Neue Technologien für Gewebekulturen in vitro (tissue engineering);

Diagnostik

- Diagnostik-Hilfsmittel für die klinische Labortestung

Polymere in der Medizintechnik

PMMA-Knochenzement



<http://konzern.heraeus.de>

PHEMA



<http://www.optik-perlick.de>

z.B. Polyvinylchlorid



<http://www.chemgapedia.de>



**Zementierte
Endoprothese**

Kontaktlinse

UHMWPE Ultra-high-molecular-weight polyethylene



<http://www.ikt.uni-erlangen.de>

Infusionsbeutel und -Schläuche, Spritze

Polypropylen (PP)



<http://de.academic.ru>

Tibiaimplantat als Gelenkersatz

Nahtmaterial

Faserverbundwerkstoffe für Implantate

Nutzung der physikalischen Eigenschaften des Verbundwerkstoffs

- Röntgentransparenz
- Artefaktfreiheit
- Verarbeitbarkeit und Gestaltung
- Wirtschaftlichkeit

Nutzung der chemischen Eigenschaften des polymeren Matrixwerkstoffs

- Biokompatibilität
- Inertheit, Korrosionsbeständigkeit
- Sterilisierbarkeit

Nutzung der mechanischen Eigenschaften der Verstärkungsfasern

- hohe mechanische Kennwerte

Implantate



Anlagen



Prothesen

