

# Dauerhafte und zeitweilige Implantate

FORSCHUNG ZUM WOHL DES PATIENTEN

Dauerhafte und zeitweilige Implantate sind die beiden zentralen Themen des Sonderforschungsbereiches Biomedizintechnik (SFB599), der interdisziplinär das Wissen der Human- und Tiermedizin sowie der Ingenieurwissenschaften zusammenführt, um durch die entstehenden Synergieeffekte

die Implantattechnologie zum Wohl der Patienten voranzutreiben.

Exemplarisch werden die Visionen und Strategien zweier Teilprojekte aus fertigungstechnischer Sicht vorgestellt.



Im Teilprojekt »Automatisierte Freiformflächenbearbeitung und Prüfung verschleißarmer Keramiken« werden beständige keramische Prothesen unter medizinischen und technischen Gesichtspunkten mit dem Ziel optimierter Standzeiten entwickelt, gefertigt und geprüft.

Es handelt sich um geometrisch komplexen Gelenkersatz mit keramischen Funktionsflächen, wie beispielsweise Knieimplantate, für den es neuartige Bearbeitungsstrategien zu entwickeln gilt.

»Funktionsangepasste Bearbeitung medizinischer Implantate« ist das Thema des zweiten dargestellten Teilprojektes, welches die Entwicklung und Herstellung von abbaubaren

Kleinimplantaten aus Magnesiumbasislegierungen umfasst.

Zielsetzung ist dabei, durch die mechanische Bearbeitung die Implantatzersetzung gesteuert zu beeinflussen, damit beispielsweise ein nach einem Bruch wieder zusammenwachsender Knochen nach und nach seine Funktion wieder selbst übernimmt. Dies wird exemplarisch an Knochenschrauben erforscht.

## Einsatz von hart-hart-Materialpaarungen zur Lebensdauererlängerung

Allein in Deutschland werden mit steigender Tendenz pro Jahr 60.000 bis 70.000 Knieprothesen implantiert.

In erster Linie wird diese endoprothetische Behandlung, abgesehen von mechanischen Voraussetzungen wie Fehlpositionen und Übergewicht durch den Gelenkverschleiß, mit zunehmendem Alter notwendig. Die Arthrose ist durch die Abnutzung des Gelenkknorpels gekennzeichnet und löst schmerzende Entzündungen und Reizungen aus. Besonders oft ist das Kniegelenk von Gonarthrose betroffen.

Zum Einsatz kommt heute der so genannte Oberflächen-gelenkersatz aus Kobalt-Chrom-Legierungen mit einem Polyethylen (PE)-Zwischenteil. Neuere Entwicklungen setzen Titan-Legierungen mit Titan-Nitrid-Beschichtungen (TiN) ein. Trotz kraftverlaufopti-

mierter Gestaltung beträgt die heutige Lebensdauer nur etwa 10 bis 15 Jahre.

Konventionelle Prothesen bilden mit den Zwischenelementen aus Polyethylen (PE) eine hart-weich-Kombination von Materialien. Ein Verschleiß der weicheren Funktionsfläche tritt hierbei auf. Vorwiegend der Abrieb des Zwischenelements bewirkt das Versagen des künstlichen Gelenks. Vor allem werden die Befestigungsstellen zwischen Körper und Implantat durch immunologische Abwehrreaktionen verbunden mit Knochenabbau geschädigt.

Diese Punkte begrenzen die Lebensdauer der Implantate und verursachen kostenintensive und patientenbelastende Revisionsoperationen.

Auf dem Gebiet der Endoprothetik bei Hüftgelenken kommen seit vielen Jahren auch Keramikimplantate zum Einsatz. Sowohl Gelenkpfanne als auch Kugelpfanne werden dabei als hart-hart Paarung aus Keramik angefertigt.

Derartige Gelenke, in denen beide Oberflächen aus keramischen Materialien bestehen, haben entscheidende Vorzüge im Vergleich mit einer Metall-PE-Kombination. Dieses sind die niedrigen Reibungskoeffizienten, um mehr als den Faktor 200 geringerer Abrieb und bioverträglichere Abriebpartikel.

Exemplarisch am Kniegelenk soll zukünftig erreicht werden, dass sich der Werkstoff Keramik auch für komplexe Gelenkimplantate durchsetzt.

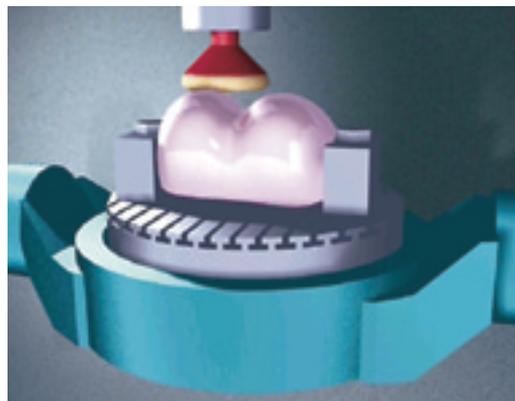
Im Gegensatz zum Hüftimplantat stellt die Herstellung dieser Freiformflächen hohe Anforderungen an das Bearbeitungsverfahren. Hierfür ist die Entwicklung von Fertigungsverfahren und Werkzeugen zur Herstellung komplex geformter keramischer Bauteile erforderlich.

Auf diese Weise sollen Lebensdauer und Biokompatibilität von Implantaten deutlich verbessert werden.

### Flexible Fertigung komplexer Keramikimplantate

Um die Zeiträume zwischen chirurgischen Eingriffen zu verlängern, sollen an die Stelle von konventionellen Materialpaarungen (Titan/PE) verschleißarme Keramikfunktionsflächen treten.

Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, Strategien zur automatisierten Freiformflächenbearbeitung und Prüfung von keramischen Knieimplantaten zu entwickeln.



Die Entwicklung beziehungsweise Anpassung der Bearbeitungsverfahren Schleifen und Polieren nach keramikgerechter Konstruktion mit anschließender Qualitäts- und Funktionsprüfung sind wesentliche projektbestimmende Aspekte. Eine an Keramikimplantate angepasste Konstruktion berücksichtigt die vorteilhaften Kontaktbedingungen von kugelförmigen Prothesenpaarungen, wie beispielsweise bei keramischen Hüftgelenken.

Dreidimensionale komplexe Geometrien werden von einem CAD/CAM-System in fünfachsiger interpolierende Werkzeugwege umgewandelt.

Als Komplettbearbeitung in einer Aufspannung gliedert sich der Prozess in zwei Schritte. Durch einen Schleifprozess wird die Makrogeometrie erzeugt, wobei es das Ziel ist, den Aufwand für den Folgeschritt, das Polieren, zu minimieren. Der Polierprozess

sorgt für die erforderliche Mikrogeometrie. Auch Taktiken zur Verschleiß- und Werkzeugabdrängungskompensation sollen im Prozess berücksichtigt werden.

Oberflächengüte sowie Genauigkeiten werden bei der Qualitäts- und Funktionsprüfung der erzeugten keramischen Funktionsflächen ermittelt. Als relevante Kenngrößen bezüglich der Funktionseigenschaften werden Festigkeiten und Eigenspannungszustände bestimmt.

Einflüsse von unterschiedlichen Implantatgeometrien auf die Prothesenfunktion, resultierend aus Werkstoffwahl und Bearbeitung, werden untersucht. Dazu werden Analysen in einem Knie-

simulator durchgeführt.

Die Entwicklung des anpassungsfähigen Schleif- und Polierprozesses ist so ausgerichtet, dass er auf beliebige Freiformflächen und Regelgeometrien übertragen werden kann, so dass auch Patienten mit anderen Implantaten, wie beispielsweise für Hand- oder Sprunggelenke, von den lebensdauerverlängernden Maßnahmen profitieren können.

### Temporäre Knochenimplantate

Ein weiterer Ansatz der gegenwärtigen Medizintechnologie ist es, Implantate zu verwenden, die sich nach Erfüllung ihrer Aufgaben im Körper zersetzen und so einen weiteren Eingriff zum Entfernen des Implantates unnötig machen.

In der Orthopädie zur Frakturversorgung ersetzen solche zeitweiligen Knochenimplantate in immer größerem Anteil permanente Implantate, spezi-

Abbildung 1 (links)  
Die konventionelle Gelenkprothese stellt eine hart-weich-Paarung von Materialien dar.

Abbildung 2  
Die Bearbeitung komplexer Geometrien aus Keramik erfordert die Entwicklung geeigneter Strategien.

ell im Einsatzbereich kleinvolumiger Implantate. Diese Implantate übernehmen vorübergehend die Knochenfunktion bis sie, nach sukzessiver Zersetzung, durch neu gebildeten Knochen ersetzt werden.

Das übergeordnete Ziel des folgend beschriebenen Teilprojektes ist die Entwicklung und Herstellung von zeitweiligen Kleinimplantaten aus

Zielsetzung ist die gerichtete Steuerung der Implantatdegradation durch eine definierte Einstellung der Randzoneneigenschaften aus der mechanischen Bearbeitung.

Es sind Implantate zu entwickeln, deren Degradationsgeschwindigkeit an das Nachwachsen des Knochens angepasst ist und die zeitgleich trotz Abbau hinreichend lange

deren geringe mechanische Festigkeit eingeschränkt auf Belastungsbereiche mit geringen Zug-, Scher- und Kompressionskräften. Deswegen können Polymere, verglichen mit den mechanischen Kennwerten für konventionelle Osteosynthesematerialien wie chirurgische Stähle, auf lange Sicht keinen vollwertigen Ersatz bisheriger Materialien darstellen.



Abbildung 3  
Durch gezielte Bearbeitungsmethoden bei der Herstellung der Implantate soll die Resorbiergeschwindigkeit an das Nachwachsen des Knochens angepasst werden.

Quelle: Tiermedizinische Hochschule Hannover

Magnesiumbasislegierungen und die Entwicklung einer Bearbeitungstechnologie für Kleinfragment-Implantate. Dafür ist insbesondere der Einfluss der Oberflächenausbildung und der Randzoneneigenschaften, aber auch der Geometrie auf die Resorptionskinetik zu ermitteln.

die mechanischen Belastungen ertragen. Die eingesetzten temporären Implantatwerkstoffe sollten dem Knochenmaterial in Bezug auf die mechanischen Kennwerte weitgehend entsprechen und vollständig abbaubar sein.

Bislang werden temporäre Implantate vorwiegend aus Osteosynthesematerialien, den Polymer-Implantatwerkstoffen PHB, PLA und PHV/PHB, verwendet. Das Einsatzgebiet dieser Werkstoffe ist jedoch durch

**Biokompatible Magnesiumlegierungen**

Eine Lösung stellen hier neue technische Magnesiumbasislegierungen dar, die sich mit jeweils deutlich höherer Zugfestigkeit und höherem E-Modul bei nachgewiesener Körperverträglichkeit als resorbierbarer Implantatwerkstoff anbieten.

Die hohe Zersetzungsgeschwindigkeit des Magnesiums im menschlichen Körper spricht zurzeit noch gegen einen Einsatz von Magnesiumimplantaten. Bei Magnesiumbasislegierungen ist die Korrosionsgeschwindigkeit und damit das Degradationsverhalten stark von der Oberflächenbeschaffenheit und der eingebrachten Spannungen nach werkstofflicher Bearbeitung abhängig.



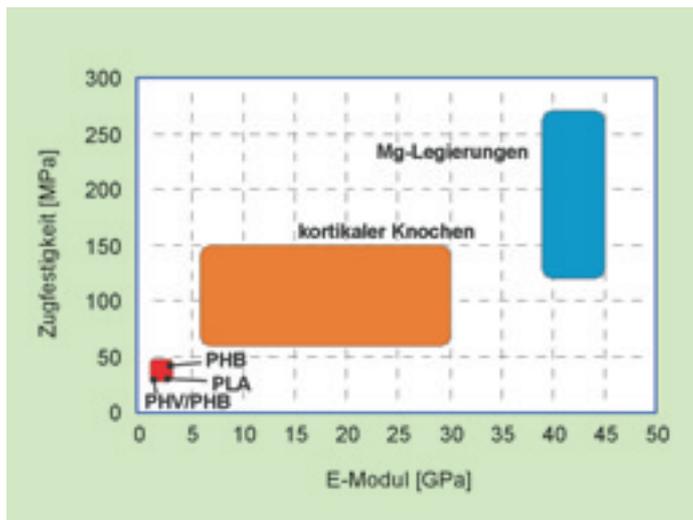
**Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena**  
Jahrgang 1959, ist Leiter des IFW der Universität Hannover.



**Dipl.-Ing. Christian Podolsky**  
Jahrgang 1971, ist Leiter der Abteilung Zerspanung am IFW der Universität Hannover.



**Dipl.-Ing. (FH) Marijke van der Meer**  
Jahrgang 1975, ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am IFW der Universität Hannover.



tungsrichtlinien dazu zu befolgen sind und welchen Einfluss die Gestaltung, die Oberflächenausbildung und die Randzoneneigenschaften der Implantate auf die Degradationskinetik haben.

Durch die Entwicklung von Bearbeitungsstrategien einerseits von Kniegelenkersatz exemplarisch für dauerhafte Implantate und andererseits von Magnesiumschrauben als Beispiel für zeitweilige Implantate, tragen die vorgestellten Teilprojekte dazu bei, innerhalb des Sonderforschungsbereiches 599 die biomedizintechnischen Entwicklungen zum Wohl des Patienten voranzutreiben.

Abbildung 4  
*Magnesium vereint Biokompatibilität und Resorbierbarkeit mit ausreichender Zugfestigkeit.*

Der Bearbeitungseinfluss auf die korrosiven und mechanischen Eigenschaften von Magnesiumlegierungen soll hier erforscht werden, um ein temporäres Implantat zu fertigen, das möglichst genau zwischen Biokompatibilität und mechanischer Anforderung einstellbar ist. Die Implantate müssen dabei über einen bestimmten Zeitraum hinweg, nämlich bis der Heilungsprozess abgeschlossen ist, trotz des Materialabbaus die bio-mechanischen Funktionen erfüllen.

Es ist zu analysieren, mit welchen Verfahren schlanke, dünnwandige Implantate aus verschiedenen resorbierbaren Magnesiumlegierungen am besten herstellbar sind, welche charakteristischen Randzoneneigenschaften sich aus den verschiedenen Bearbeitungsverfahren und Prozessrandbedingungen ergeben sowie mit welchen Methoden Implantate mit guten biomechanischen Eigenschaften hergestellt werden können. Es gilt zu erforschen, welche Gestal-