

# Materialauswahl für einen anspruchsvollen Lebensraum

## *Werkstoffe für medizinische Implantate*

Referat für Pro Scientia, gehalten von Ladislaus Lang-Quantzendorff  
am 6. Juni 2018 in Graz

Betrachtet man die Schnittstellen technischer Wissenschaften mit dem Alltag des Menschen, nehmen jene Errungenschaften eine besondere Position ein, die besonders lange oder besonders nah am Körper eine oft unentbehrliche Rolle spielen. Man denke hierbei an die hohen Ansprüche, die der Mensch an Kleidung hat oder an das Störpotential, das von andauerndem Maschinenlärm ausgeht. Gesundheitliche Gebrechen werden in zunehmenden Maß durch technische Bauteile ausgeglichen, die direkt im Körper oft für den Rest des Lebens uneingeschränkt leistungsfähig bleiben sollen. Implantate sind somit oft genötigte Darsteller eines interdisziplinär leidigen Spannungsfeldes. Das gehaltene Referat soll Einblick in eine Materialauswahl liefern, bei der nicht nur der Werkstoff, sondern auch seine Umgebung gefährdet ist und nur deren Zusammenspiel langfristige Gesundheit gewährt.

Um die Eignung eines Materials für den Einsatz im Körper zu charakterisieren, hat sich die sogenannte Biokompatibilität als qualitative Messgröße durchgesetzt. Diese liefert Aussagen darüber inwiefern ein Material aufgrund seiner Oberflächeneigenschaften Gewebenekrosen, Genschädigungen, Immunabwehr etc. hervorruft oder aber in gewünschter Weise mit dem Gewebe verwächst. Absolute Biokompatibilität wird zwar nie erreicht, da in der Fehlbarkeit des vom Menschen Geschaffenen immer gewisse Einschränkungen vorliegen, dennoch spricht man von Biomaterialien, sobald sie gewissen Anforderungen genügen.

In der Vielfalt der Einsatzgebiete von Zahnersatz über intravaskuläre Stents bis zu künstlichen Herzklappen wird näher auf orthopädische Implantate eingegangen, deren mechanische Eigenschaften als Plattenosteosynthese oder künstliches Gelenk besonders an die des Knochens herankommen sollten.

Die angewandte Methode ist das Ausschlussverfahren. Dabei wird eine etwa 4000 Werkstoffe und deren Kennwerte umfassenden Datenbank herangezogen, aus der sukzessive weniger Materialien in Betracht gezogen werden. Nach dem Ausschluss aufgrund in der Datenbank vermerkter schädigender Eigenschaften oder festgelegter Grenzwerten nicht entsprechender Unzulänglichkeiten kann die Verwendbarkeit der Übrigen erwogen werden.

Nach dem Aussondern potentiell giftiger chemischer Verbindungen und ungünstiger geometrischer Formen wird näher auf die mechanischen Eigenschaften eingegangen. Sprödbrüche, Ermüdungsbrüche oder plastische Verformung stellen unangenehme oder gefährliche Folgen falscher Auswahl dar. Um zusätzliches Leid der Patienten zu verhindern, wurden folgende Größen berücksichtigt: Die Dehngrenze, als Punkt an welchem sich der Werkstoff dauerhaft verformt, muss genügend hoch gewählt werden um ein Verbiegen des Implantats zu verhindern; Eine ausreichend hohe Zugfestigkeit, als maximal ertragbare Spannung vor dem Bruch, verhindert das Brechen bei einmaliger hoher Belastung; Die Ermüdungsfestigkeit hingegen kann vorhersagen, welcher Last das Material nach oftmalig wiederkehrender Belastung standhält; Um zu verhindern, dass das Implantat bei einer raschen Belastung spröde bricht, werden nur Materialien mit einer genügend hohen Bruchzähigkeit zugelassen.

Eine besondere Rolle spielt der Elastizitätsmodul, der bei Knochen besonders niedrig ist. Das bedeutet, dass sich dieser beim Anlegen einer mechanischen Spannung relativ stark dehnt. Die meisten Metalle jedoch beeindruckt dieselbe Spannung nicht maßgeblich, weshalb bei einem parallel

mit dem Knochen verwachsenen oder verschraubten Implantat der größte Teil der Last von diesem übernommen wird. Weil aber die Knochenbildung durch mechanische Kräfte gefördert wird, hat eine Spannungsabschirmung von Materialien mit niedrigen Elastizitätsmoduli unerwünschte Folgen.

Neben der Einsatztemperatur muss auf die Korrosionsbeständigkeit des Implantatwerkstoffs näher eingegangen werden. Die Atmosphäre im Körper als hochkomplexes sich ständig veränderndes und erneuerndes chemisches Konstrukt bei erhöhter Temperatur neigt dazu fast jede ihm verabreichte Substanz in chemische Reaktionen einzubinden. Deren Produkte wiederum können schädigende Wirkung auf das System ihrer Entstehung, also den Körper selbst, haben. Schließt man gegen Wasser, schwache Säuren und Basen und organische Lösungsmittel unbeständige Materialien aus, bleiben Hochleistungskeramiken, einige Spezial-Kunst- und -Verbundstoffe sowie zahlreiche metallische Werkstoffe übrig.

Auf diese metallischen Werkstoffe eingehend, können die folgenden Feststellungen getroffen werden: Die vorgeschlagenen Legierungen auf Basis von Titan, Nickel, Gold und Silber, sowie hochlegierte Eisenwerkstoffe kommen tatsächlich mit gewissen Modifikationen zum Einsatz. Neben offenen wirtschaftlichen Gesichtspunkten fällt allerdings auf, dass sie verglichen mit Knochen weit höhere Dichten und höhere Elastizitätsmoduli aufweisen. Diese Mängel berücksichtigend soll ein Schritt zurückgetan werden und auf den Ausschluss zu Korrosion neigender Metalle verzichtet werden.

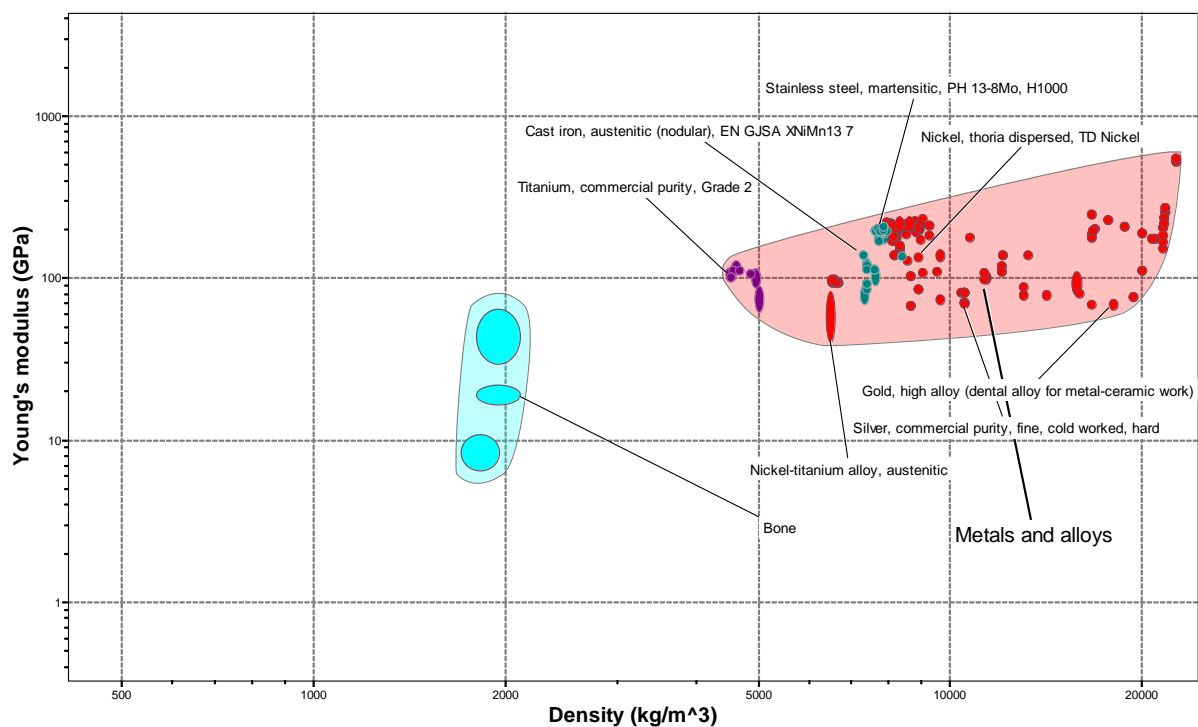


Abbildung 1: Auswahl implantattauglicher metallischer Werkstoffe hinsichtlich ihrer Dichte und ihres Elastizitätsmoduls in logarithmisches Verhältnis aufgetragen. Knochen (Bone) zu Vergleichszwecken. (Graphik erstellt mit CES Selector Edu-Pack 2017.)

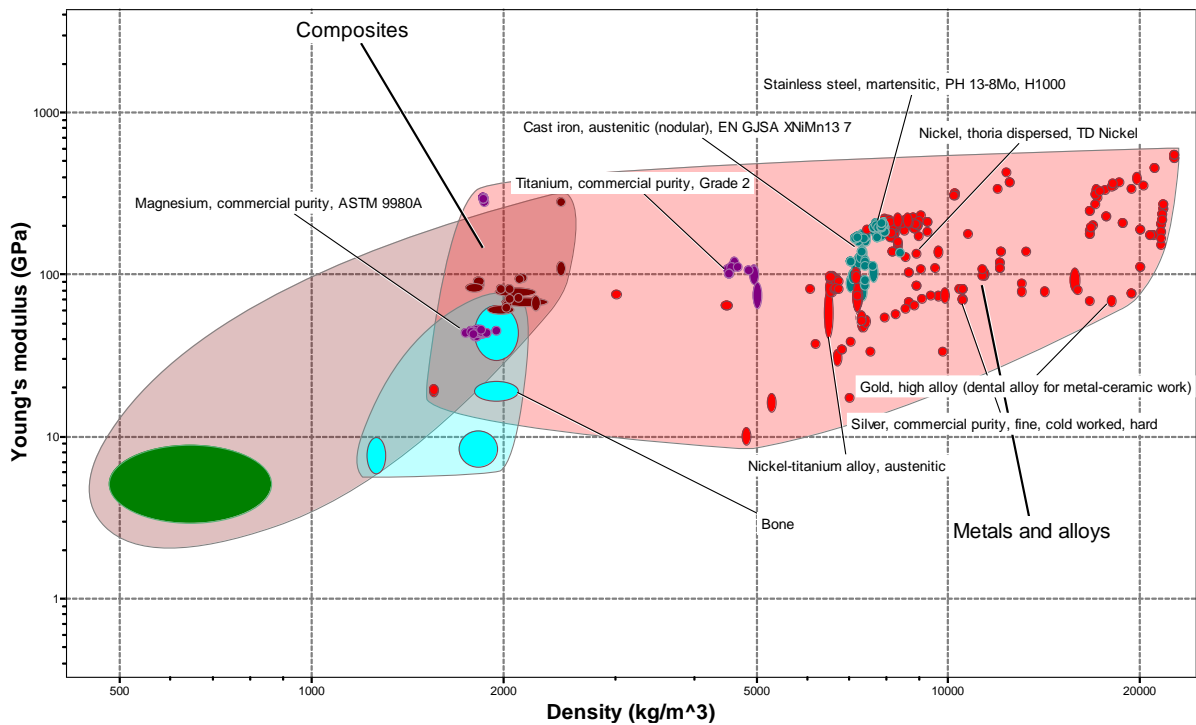


Abbildung 2: Der Inhalt von Abbildung 1 erweitert durch nicht korrosionsbeständige Werkstoffe. Die dargestellten Magnesiumwerkstoffe weisen eine ähnliche Dichte und einen an Knochen angenäherten Elastizitätsmodul auf. (Graphik erstellt mit CES Selector EduPack 2017.)

Eine Gruppe von Magnesiumwerkstoffen rückt nun ins Blickfeld, die durchaus erstrebenswerte Eigenschaften aufweist. Trotz geringen Elastizitätsmoduls und geringer Dichte kann durch Legierung eine ausreichende Festigkeit erzielt werden. Während der konservative Ansatz ein Lösen von Bestandteilen des Biomaterials im Organismus ausschließt, kommt hier die Korrosion dem Patienten sogar zugute. Somit kann auf Folgeoperationen, die bei wachsenden Kindern unerlässlich sind, verzichtet werden, nachdem sich das Implantat, in seiner heilbehelfenden Wirkung obsolet geworden, auflöst. Gleichzeitig klingt jeglicher störende Effekt ab. Nun eröffnet aber diese innovative Gruppe von Biomaterialien, die auch auf Seite der Polymere erfolgreich ist, ein viel breiteres Feld an Forschungsbereichen. In deren Mittelpunkt steht das Einstellen der richtigen Auflösungszeit durch geschickte Legierungsbildung und Oberflächenbehandlung. Damit verbunden kann auch die schädigende Wirkung von Korrosionsprodukten hintangehalten werden.

## Literatur

- [1] D. F. Williams, "On the nature of biomaterials," *Biomaterials*, vol. 30, no. 30, pp. 5897–5909, 2009.
- [2] G. Lütjering and J. C. Williams, *Titanium*, 2nd ed. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2007.
- [3] I. J. Polmear, "Magnesium Alloys," *Light Alloy*, vol. 2, pp. 237–297, 2005.
- [4] Q. Chen and G. A. Thouas, "Metallic implant biomaterials," *Mater. Sci. Eng. R Reports*, vol. 87, pp. 1–57, 2015.
- [5] D. F. Williams, "On the mechanisms of biocompatibility," *Biomaterials*, vol. 29, no. 20, pp. 2941–2953, 2008.
- [6] R. Zeng, W. Dietzel, F. Witte, N. Hort, and C. Blawert, "Progress and challenge for magnesium alloys as biomaterials," *Adv. Eng. Mater.*, vol. 10, no. 8, pp. 3–14, 2008.
- [7] J. Draxler *et al.*, "The potential of isotopically enriched magnesium to study bone implant degradation in vivo," *Acta Biomater.*, vol. 51, pp. 526–536, 2017.
- [8] Y. Zheng, *Magnesium Alloys as Degradable Biomaterials*. 2015.