

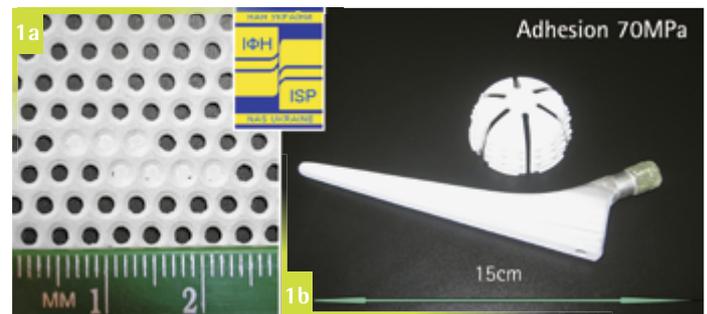
Mit 1200 m/s ans Ziel

NEUARTIGE BIOAKTIVE BESCHICHTUNGEN FÜR MEDIZINISCHE IMPLANTATE

Die Qualität der medizinischen Versorgung gehört zu den bedeutungsvollsten, globalen Themen der Wissenschaft. Physiker, Ingenieure, Biologen und Chemiker arbeiten zusammen an neuen Materialien und Methoden für den klinischen Einsatz, damit die Lebensqualität nach Erkrankungen verbessert und die Lebenserwartung erhöht wird. Das Institut für Mehrphasenprozesse der Fakultät für Maschinenbau arbeitet an innovativen Materialsystemen für Osteosynthese-Implantate.

Das erste Titanimplantat wurde 1965 von Prof. Per-Ingvar Brånemark in der Zahnmedizin eingesetzt. Seitdem werden titanbasierte Implantate rund um den Globus genutzt. Die Implantate zeichnen sich durch eine hohe Biokompatibilität aus, dennoch sind leider einige Probleme aufgetreten, die das Material mit sich bringt. So kann es aufgrund der nicht auf die mechanischen Eigenschaften von Knochengewebe angepassten Titanlegierungen bei der Osteosynthese (der operativen Behandlung von Knochenbrüchen mit Implantaten) zu Schwierigkeiten kommen. Knochen brauchen zur erfolgreichen Heilung einen mechanischen Stimulus, der die Osteoblasten anregt, neues Knochengewebe zu bilden. Da es wegen der mechanischen Festigkeit von Titanimplantaten zur Abschirmung der Druckbelastung vom Knochengewebe kommen kann, ist es möglich, dass sich der Knochen aufgrund der fehlenden Belastung abbaut (das so genannte Stress Shielding). Dies kann eine erneute Operation nötig machen, die den Patienten belastet und die Lebensqualität deutlich reduziert.

Ein vielversprechendes Material für die Verwendung in der Orthopädie ist Magnesium, da es über ähnliche mechanische Eigenschaften wie Knochen verfügt, sowie biokompatibel



und bioabbaubar (biodegradierbar) ist. Da der Abbau von Magnesiumlegierungen gerade direkt nach der Implantation zu schnell vonstatten geht und die damit verbundene Bildung von gasförmigem Wasserstoff zu groß ist, ist die Steuerung der Korrosion in den ersten Tagen nach Implantation wichtig. Bei auf Kalziumphosphat basierten Beschichtungen von Implantaten, konnte eine besser angepasste Korrosionsgeschwindigkeit festgestellt werden [1]. Die herkömmlichen Techniken zur Beschichtung von Implantaten sind in der erzeugbaren Schichtdicke von Beschichtungen aus Hydroxyapatite (HA), Zirkonoxid (ZrO_2) und Tricalciumphosphat (TCP) limitiert und gewährleisten keinen Erhalt der Kristallstruktur des eingesetzten Rohstoffs. Solche Beschichtungen sollten eine hohe Haftung und eine angepasste Schichtdicke aufweisen, damit ihre Funktion über einen langen Zeitraum gewährleistet ist.

Plasmaspritzverfahren, welche zur Beschichtung von titanbasierten Implantaten mit bioaktiven Schichten verwendet werden, haben folgende Nachteile: (i) Änderung der Kristallstruktur des Pulvers während des Beschichtungsvorganges, (ii) ungenügende Haftung, (iii) Notwendigkeit einer Wärmebehandlung nach der Beschichtung, (iv) schlechte Effektivität. In einer Kollaboration mit dem Institut für Halbleiterphysik der Nationalen Akademie der Wissenschaften der Ukraine werden neue Beschichtungstechnologien entwickelt, um strukturell perfekte und homogene Beschichtungen mit einer hohen Haftung auf Magnesiumimplantaten zu erhalten. Es wurde eine neuartige Detonationsbeschichtungsmethode (GDD, engl. gas-detonation deposition) eingesetzt, um bioaktive und inerte Beschichtungen für die medizinische Anwendung zu erzeugen. Es konnte gezeigt werden, dass

mit dieser Methode im Vergleich zu herkömmlichen Plasmaspritzverfahren eine

kann [2,3]. GDD kann zum Beispiel zur Erzeugung von HA-Beschichtungen auf Hüft-

Die Technik der GDD soll nun auf Magnesium-Implantaten angewendet werden. Zurzeit wird die Oberflächenmorphologie von HA, TCP und ZrO₂ untersucht, die mit Hilfe von GDD auf einen Magnesiumzylinder beschichtet wurden. Die GDD-Technik nutzt die Energie einer Mischung aus explosiven Gasen (Wasserstoff und Sauerstoff), um bioaktive Pulver mit hoher Geschwindigkeit von 1200–1400m/s auf

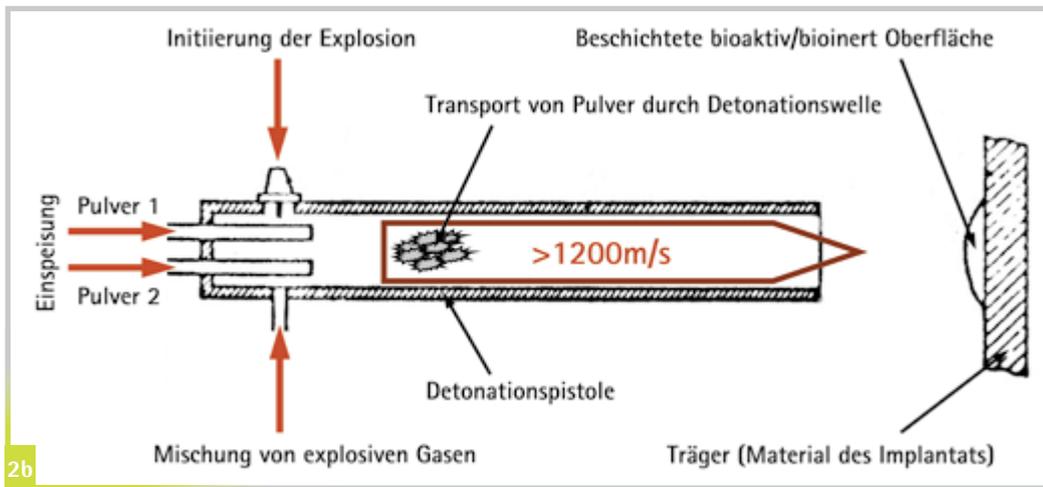
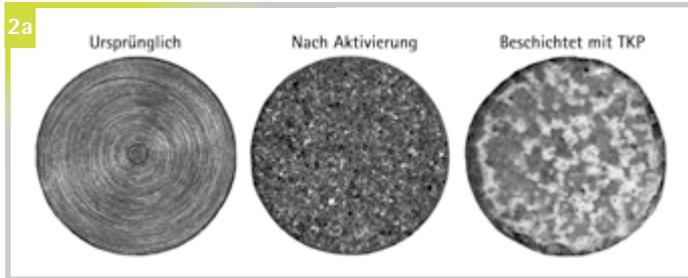


Abbildung 1 (links) Medizinische Implantate mit Hydroxyapatit-Beschichtung, generiert mittels der GDD-Methode: chirurgisches Netz (A) und Hüftgelenkimplantat (B)

Abbildung 2 Allgemeine Darstellung der Beschichtungsprozesse mit vorläufiger Aktivierung der Oberfläche (A) durch Verwendung der neuartigen GDD-Methode (B). TCP-Tricalciumphosphate

fünffach höhere Haftung der Beschichtungen auf Titanimplantaten erzeugt werden

gelenkimplantaten sowie auf chirurgischen Netze verwendet werden (Abbildung 1).

das Implantat zu transferieren (Abbildung 2b). In einem ersten Schritt werden die Prozessparameter der GDD optimiert, um die gewünschte Qualität und Dicke der Beschichtungen zu erhalten. Der optimierte Prozess wurde anschließend zur Beschichtung von Magnesiumzylindern mit den Maßen 5 mm (Durchmesser) zu 2 mm (Dicke) verwendet. Vor der Beschichtung wurden die Oberflächen mit kleinen abrasiven Partikeln aktiviert (Abbildung 2a). Die Topographie der fertigen Beschichtungen wurde mit Hilfe eines Auflichtmikroskops (Abbildung 3b) unter 100facher Vergrößerung untersucht und analysiert. Hoch aufgelöste Aufnahmen und die Analyse der atomaren Oberflächenzusammensetzung wurde mit einem Rasterelektronen-Mikroskop mit

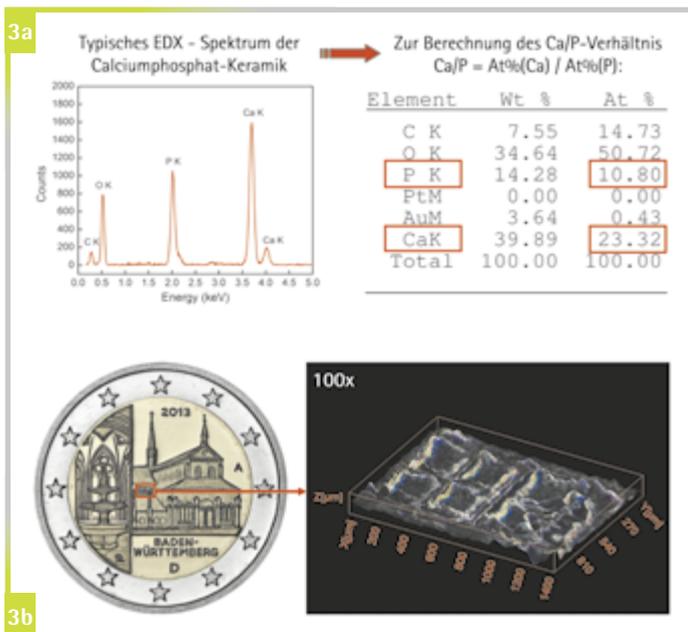


Abbildung 3 Energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDX) für die Analyse des Ca/P-Verhältnisses (A) und 3D-Mikroskopie für die Untersuchung der Morphologie erzeugter Beschichtungen (B)

EDX Funktion durchgeführt (Abbildung 3a). Mit dieser Analyse wurde das Verhältnis von Calcium zu Phosphat (Ca/P-Verhältnis) berechnet.

Die Analyse der erzeugten Schichten zeigte eine Abhängigkeit der Topographie von dem verwendeten Pulver. Abbildung 4 zeigt die Oberflä-

chen der durch GDD erzeugten Beschichtungen mit ZrO_2 und HA. Die Oberfläche der HA Beschichtung weist eine geringere Homogenität als die

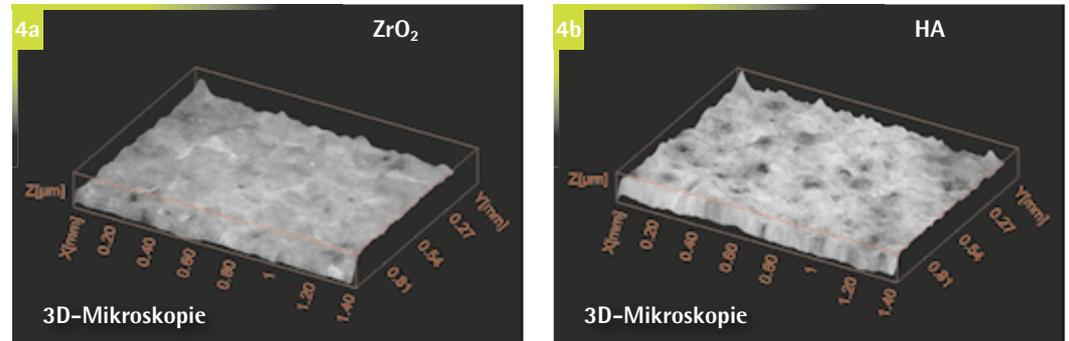


Abbildung 4
Auflichtmikroskopische und REM-Bilder der Oberflächenmorphologie von ZrO_2 - und Hydroxyapatit (HA)-Beschichtungen auf Magnesiumzylindern. Maßstabbalken 200 μm

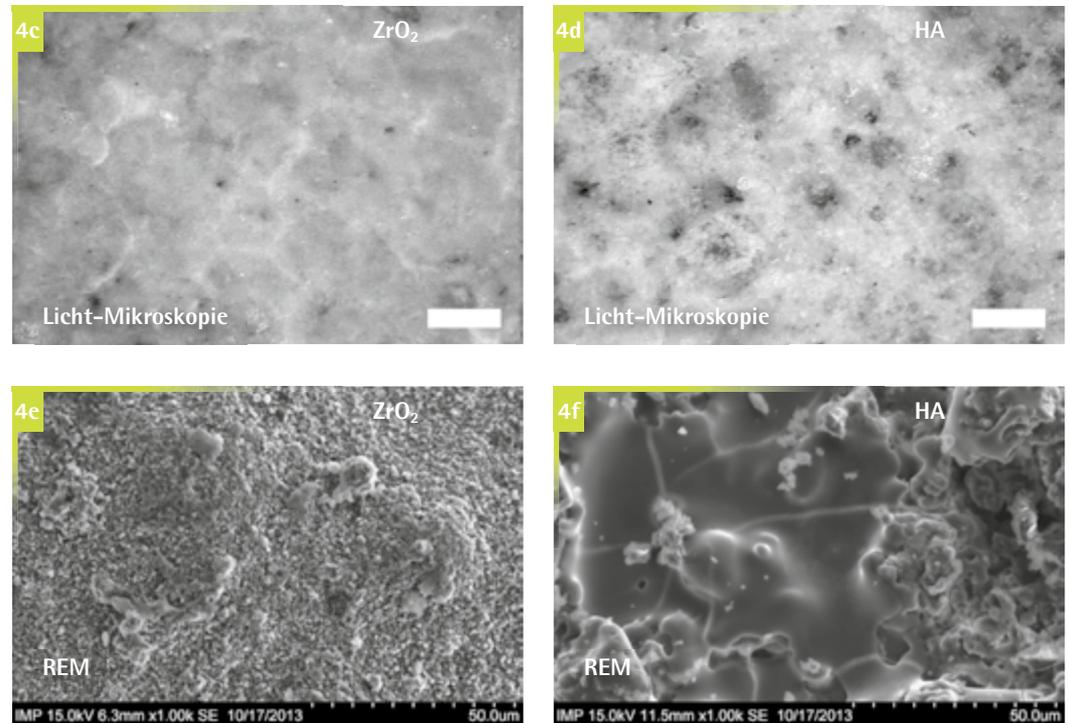
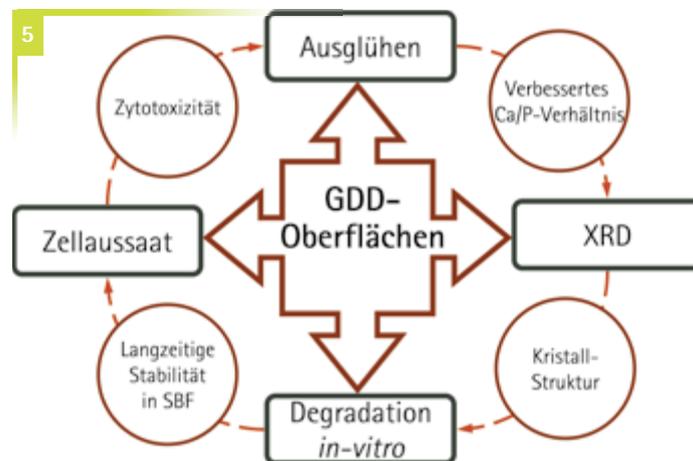


Abbildung 5
Was müsste in der Zukunft getan werden?



der ZrO₂-Beschichtung auf, wobei beide Oberflächen sehr homogen sind. Auf der HA-Beschichtung sind zum Teil umgeschmolzene HA-Partikel zu erkennen. Die Proben mit der TCP-Beschichtungen weisen ebenfalls einige Unebenheiten auf, die auf die hohe Durchmesser- und Verteilung des eingesetzten TCP-Pulvers zurückzuführen ist. Mit der beschriebenen Beschichtungsmethode können Schichtdicken von bis zu 230 µm (Mikrometer) in 20 Sekunden erzeugt werden, welche mit herkömmlichen Verfahren nicht zu erreichen sind. Darüber hinaus wurde gezeigt, dass die GDD-Methode das Ca/P Verhältnis des ursprünglichen eingesetzten Pulvers nicht verändert. Es ist möglich, mit der hier beschriebenen Technik die Qualität von derartigen Beschichtungen zu erhöhen. Durch die erhöhte Adhäsion der erzeugten Schichten kann die Biokompatibilität, das Abbauverhalten sowie die Leistungsfähigkeit von Magnesiumimplantaten verbessert werden.

Aufgrund dieser Zusammenarbeit konnte gezeigt werden, dass die GDD-Methode sehr effektiv ist und bioaktive und bioinerte Beschichtungen auf Magnesium erzeugen kann. Die erzeugten Beschichtungen besitzen eine hohe Haftung auf dem Implantatmaterial (70–80 MPa) und weisen eine homogene Oberflächenmorphologie auf (siehe *Abbildung 4*). Die EDX-Analyse der erzeugten Schichten auf Magnesium zeigte keine Veränderung des Ca/P Verhältnis im Vergleich zu dem eingesetzten Rohstoff auf. Dies beweist, dass die GDD-Methode die Eigenschaften des Ursprungsmaterials nicht verändert und die Erzeugung von Beschichtungen auf Implantat-Materialien ermöglicht.



Prof. Dr. Birgit Glasmacher

Jahrgang 1958, leitet seit 2006 das Institut für Mehrphasenprozesse an der Leibniz Universität Hannover und ist Sprecherin des Vorstands des Zentrums für Biomedizintechnik (zbm) der Fakultät für Maschinenbau. Ihre Forschungsschwerpunkte liegen den Bereichen mehrphasiger Strömungen, Visualisierung und Simulation sowie Verfahrenstechnik in der Medizin. Kontakt: glasmacher@impt.uni-hannover.de

Zur Validierung der erzeugten Beschichtungen mittels GDD laufen weitere Untersuchungen, die die Kristallstruktur, das veränderte Degradationsverhalten von Magnesium sowie die Zytotoxizität analysieren [4] (*Abbildung 5*).

Danksagung

Wir bedanken uns bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft und dem SFB 599 für die Teilfinanzierung des Projektes. Besonderer Dank geht an das Institut für Halbleiterphysik der Nationalen Akademie der Wissenschaften in Kiew der Ukraine, vor allem an Prof. Nikolay Klyui und Dr. Vladimir Temchenko, für die Möglichkeit, mit der GDD-Methode zu arbeiten.



Dipl.-Ing. Florian Evertz

Jahrgang 1978, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und Oberingenieur am Institut für Mehrphasenprozesse der Leibniz Universität Hannover. Sein Forschungsschwerpunkt ist die in vitro Magnesium-Degradationsanalyse unter statischen und dynamischen Bedingungen. Kontakt: evertz@imp.uni-hannover.de

Referenzen

- [1] S. Shadanbaz, G.J. Dias, *Acta Biomaterialia* 8, 2012, 20–30
- [2] N.I. Klyui, V.P. Temchenko, A.P. Gryshkov, *Functional Materials* 18(3), 2011, 285–292
- [3] M.I. Klyui, V.P. Temchenko, O.P. Gryshkov et al., *Functional Materials* 20(2), 2013, 163–171
- [4] F. Evertz, M. Kietzmann, H. Hauser, P. Müller, B. Glasmacher, *The International Journal of Artificial Organs* 35(8), 2011, 565



MSc. Oleksandr Gryshkov

Jahrgang 1985, ist Doktorand im Exzellenzcluster REBIRTH und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Mehrphasenprozesse der Leibniz Universität Hannover. Seine Forschungsschwerpunkte sind Entwicklung und Validation einer Methode für Verkapselung von Stammzellen in Alginate-Kapseln mittels Hochspannung. Kontakt: gryshkov@imp.uni-hannover.de