

# highlights

Informationsmagazin der Universität Bremen  
University of Bremen Information Magazine

---

## Technische Keramik

Ein Hochleistungswerkstoff „Made in Bremen“



### Environmental research

Are  
Nanoparticles  
Dangerous?

### Medizinrecht

Juristische Fragen  
rund um das  
Gesundheitssystem

### Finance

Gazing  
into  
the Crystal Ball

# Hochleistungskeramik – „Made in Bremen“

Keramik ist nicht gleich Keramik. Viele Menschen denken bei diesem Begriff zunächst an die klassische Keramik – an Waschbecken und Kloschüsseln, an Porzellan und Kacheln. Doch es gibt auch die Technische Keramik. Sie begegnet uns ebenfalls im Alltag: In Auto-Katalysatoren, als Material für künstliche Hüftgelenke, als Isolator bei Zündkerzen oder Freileitungen. Die Temperaturbeständigkeit bis zu 2.500 Grad Celsius macht diesen Werkstoff auch in der Ofentechnik unverzichtbar. In den vergangenen Jahrzehnten hat es bei der Entwicklung der Technischen Keramik große Fortschritte gegeben. Auch in der Umwelttechnik, bei der Energieerzeugung oder bei der Entwicklung von neuen Kompositmaterialien für den industriellen Einsatz

glänzt die Technische Keramik mit vielen neuen Anwendungsmöglichkeiten. Ein noch relativ junges Feld ist die Biokeramik, bei der dieses Material einen engen Kontakt mit der Biologie eingeht – ob passiv als Hüftgelenksgugel und Knochenschraube oder aktiv als Knochenersatzmaterial. Eine der international führenden Forschungsgruppen auf diesem Gebiet arbeitet an der Universität Bremen: das Fachgebiet Keramische Werkstoffe und Bauteile im Fachbereich Produktionstechnik.

*Technische Keramik in unterschiedlicher Porosität.  
Technical ceramics with varying degrees of porosity.*





**K**eramik ist ein fantastisches Material. Ohne diesen Werkstoff wären zum Beispiel Autokatalysatoren, die sehr wirksam schädliche Verbrennungsgase in ungiftige Stoffe umwandeln, gar nicht möglich. Wäre der reinigende Wabenkörper im „Kat“ aus Kunststoff, würde er aufgrund der hohen Temperaturen in Sekundenschnelle schmelzen. Und selbst rostfreier Stahl würde schon nach wenigen Stunden aufgrund der extrem aggressiven Mischung aus Feuchtigkeit und Gasen anfangen zu korrodieren. Keramik hingegen ist extrem widerstandsfähig und verschleißt auch unter diesen widrigen Bedingungen nicht.

Dabei ist schon der Herstellungsprozess von Keramik für diese Anwendung eine Herausforderung. Genutzt werden dafür pulverförmige Partikel aus Aluminiumoxid, Magnesiumoxid und Siliziumoxid. Sie werden mit Bindemitteln und Flüssigkeit zu einer Legierung vermischt und in eine Form gebracht. Beim so genannten Sintern mit Hitze und Druck wird das Material verfestigt. Durch die Beschichtung mit keramischen Nanopartikeln, deren Durchmesser 500-mal kleiner ist als der eines menschlichen Haars, wird dem Material eine Oberfläche verliehen, die pro Gramm mehrere hundert Quadratmeter betragen kann. In den winzigen Öffnungen werden Edelmetalle eingelagert, die als Katalysator wirken und die Abgase reinigen.

#### Höchste Präzision für ein Hüftgelenk

„Die große Herausforderung für uns ist, die Keramik in eine Form zu bringen, bei der wir einen technischen Nutzen erzielen“, sagt Professor Kurosch Rezwan, Leiter des Fachgebiets Keramische Werkstoffe und Bauteile. „Wir können einem technisch interessierten Menschen innerhalb eines Tages beibringen, wie man eine absolut runde keramische Kugel mit einer Verlässlichkeit von 50 Prozent herstellt. Aber um eine solche Kugel mit einer Verlässlichkeit von 100 Prozent herzustellen – beispielsweise für ein künstliches Hüftgelenk – waren zehn Jahre intensiver Forschung und Entwicklung notwendig.“ Deshalb werden bei der Herstellung von Hochleistungskeramik Nanopartikel verwendet: Je feiner das Gefüge, desto besser die mechanischen Eigenschaften. Weil ein Hüftgelenk dauerhaft und fehlerfrei funktionieren muss, ist höchste Präzision erforderlich.

Bei der Arbeit mit Keramik bewegen sich Rezwan und Kollegen oftmals auf der molekularen Ebene. Sie beschäftigen sich zum Beispiel mit der Weiterentwicklung von Aerogelen – ultraleichte Festkörper, die fast ausschließlich aus Poren bestehen und damit eine große Oberfläche aufweisen. Das Material aus Siliziumoxid ist fast durchsichtig und lässt den Laien an „verfestigte Luft“ denken. Es hat dabei eine Isolationswirkung, die 50-mal höher ist als die einer normalen Fensterscheibe. Die NASA hat die



*Kurosch Rezwan schaut auf die biokeramische Knochenschraube – eine absolute Neuentwicklung, die eines Tages in der Medizin zum Einsatz kommen soll. Kurosch Rezwan examines a bioceramic bone screw – a brand new development, which will one day be applied in medicine.*

## High performance ceramics – “Made in Bremen”

**Not all ceramics are the same. Most people immediately think of the classical uses – wash basins and toilet bowls, porcelain and tiles. But there is also the field of advanced technical ceramics. This, too, is all around us: in catalytic converters for cars, as materials for artificial hip joints, as isolators for spark plugs or overhead power lines. Its high temperature resistance of up to 2,500 degrees centigrade makes this material indispensable for furnace technology. Over the past decades there has been a rapid development of advanced technical ceramics. Advanced technical ceramics also shines with many new potential applications in the fields of environmental engineering,**

**in power generation, or in the development of new composite materials for industrial application. A still relatively young field is that of bioceramics, which brings this material into close contact with biology – whether passively as hip joints or bone screws, or more actively as synthetic bone substitute. One of the internationally leading research groups in this field is based at the University of Bremen: the specialist group on advanced technical ceramics in the Faculty of Production Engineering.**

**C**eramic is a fantastic material. Without it, for instance, the catalytic converters for automobiles which transform toxic combustion gases into harmless substances would not be conceivable. If the filtering honeycomb segment in the “cat” was made of plastics, for example, it would melt within

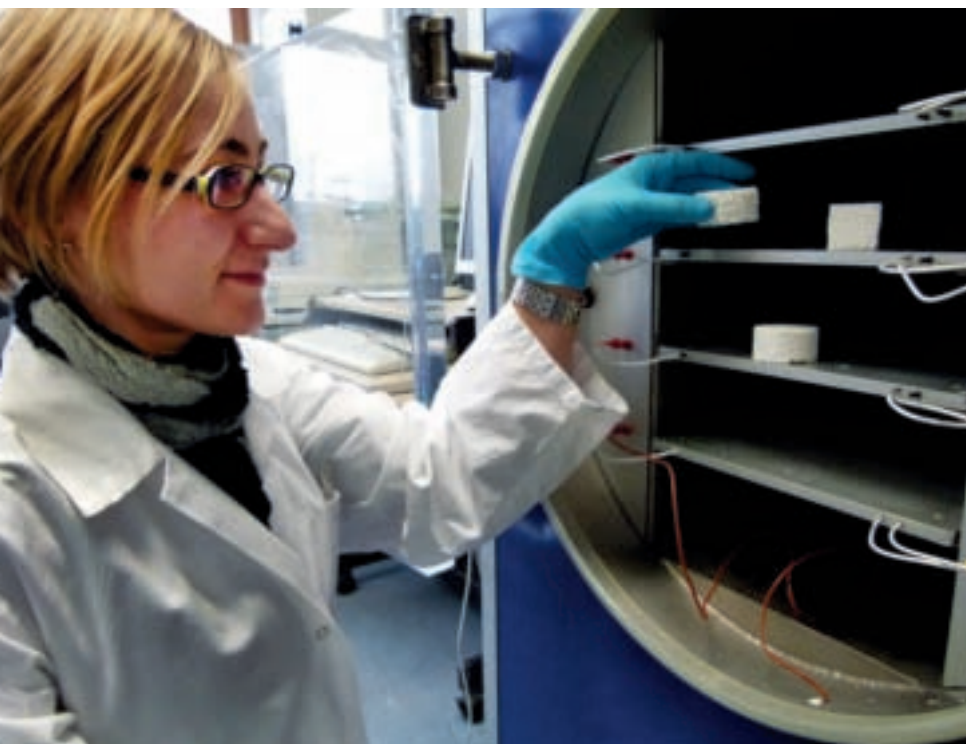
## Die Oberfläche von einem Gramm Hybridkeramik-Material ist so groß wie ein ganzes Basketballfeld.

wärmeisolierende Wirkung dieses leichten Keramikwerkstoffes bei einer Mars Expedition genutzt, um sensible Elektronik vor den hohen Temperaturschwankungen auf dem Planeten zu schützen. In einem anderen Projekt sammelten Aerogel-Kollektoren im Weltraum Sternenstaub ein.

### Aerogel-inspirierte Hybridkeramik zur Schadstoffreinigung

Die Bremer Forscher wollen das Material für eine andere Verwendung in Form einer Hybridkeramik nutzen. Weil die Oberfläche

Gase so voneinander trennen, dass sie verwendbar werden. Die große Oberfläche von Hybridkeramik-Membranen und die Tatsache, dass sich die Membran nicht verbraucht und der Trennprozess ohne Energieaufwand läuft, machen dieses Material extrem interessant.“ Dafür funktionalisieren die Forscher das Material, fügen ihm also zusätzliche Eigenschaften hinzu. „Die Oberflächenherstellung beherrschen wir schon sehr gut. Die aktuelle Herausforderung ist, die molekulare Struktur so zu verändern, dass weitere selektive Funktionen möglich werden – und damit neue Anwendungen.“



*Ein noch junger Werkstoff für neue Anwendungen: Dr. Laura Treccani entnimmt aus einem Hightech-Gefriertrockner die Biokeramiken, die für den Einsatz als Knochenersatzmaterial hergestellt worden sind.*

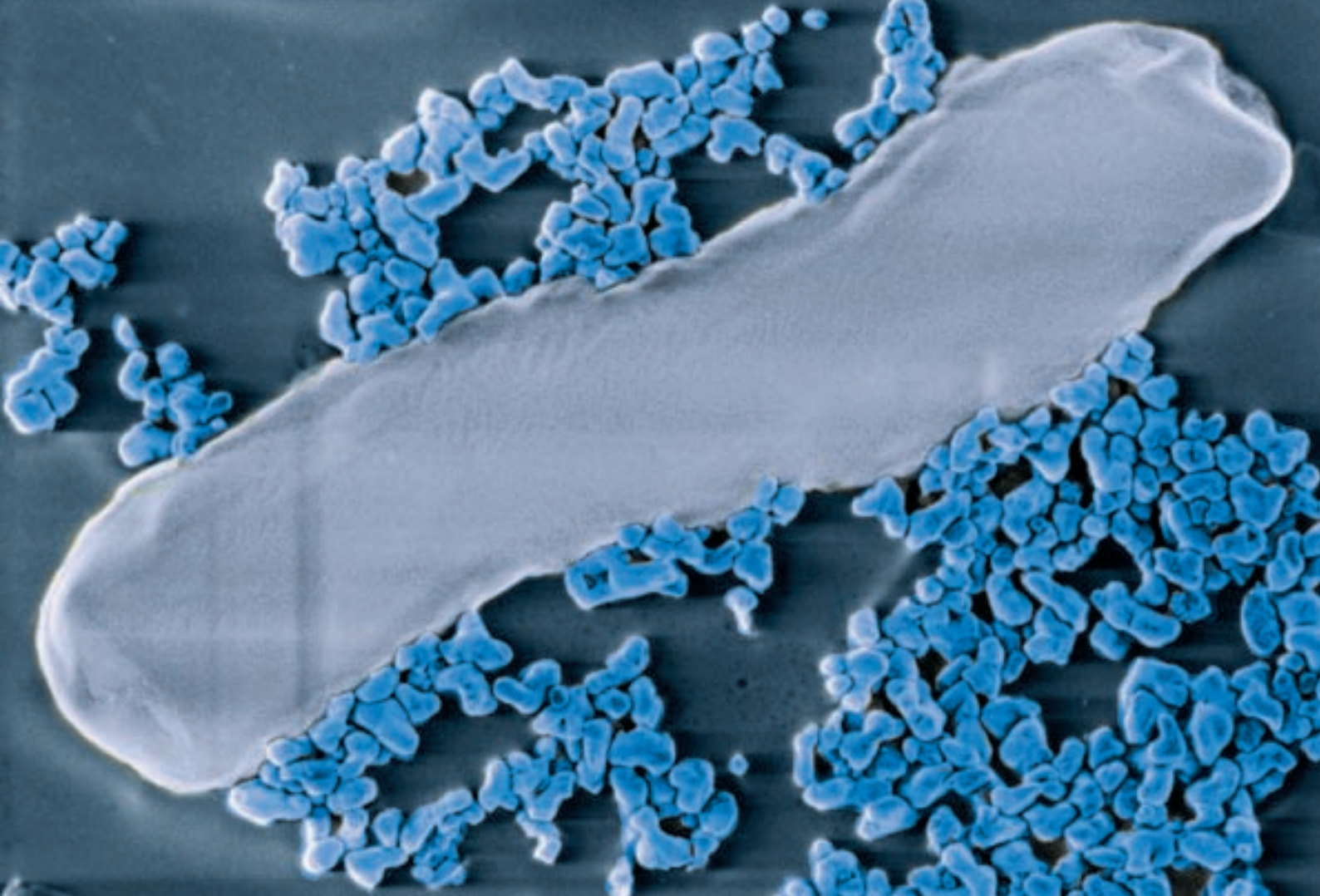
*A relatively new material for a completely new application: Dr. Laura Treccani removes bioceramics, which were created for application as bone replacement material, from a high-tech freeze-dryer.*

eines einzelnen Gramms so groß ist wie ein ganzes Basketballfeld, möchten sie nun ganz gezielt in minimaler Menge Platin in die Struktur einbinden. „Dieses Edelmetall kann als Katalysator durch chemische Reaktionen giftige Gase in nichtgiftige umwandeln. Je größer die Oberfläche ist, desto höher ist natürlich auch die Reinigungswirkung“, erläutert Kurosch Rezwan. Der weitere Gedanke dahinter: „Es gibt sehr viele Gasgemische, die noch nicht nutzbar sind“, sagt Kurosch Rezwan. „Wir wollen die verschiedenen

Die Funktionalisierung von mikroporöser Keramik könnte eines Tages auch bei der Reinigung von problematisch belastetem Abwasser helfen. „Wir denken immer, dass das in der Kläranlage gereinigte Wasser am Ende wieder sauber ist“, sagt Kurosch Rezwan. „Das ist ein Irrglaube. In Wirklichkeit ist es immer noch belastet – mit Keimen, Hormonen und Bakterien.“ Östrogene im Wasser haben beispielsweise dazu geführt, dass in den USA die Sexualorgane männlicher Fische und Krokodile verkümmern und die Fortpflanzung dieser Arten schwer gestört ist. Forscher der Universität Frankfurt/Main fanden heraus, dass in zwölf von 20 untersuchten Mineralwässern Chemikalien vorkommen, die menschlichen Hormonen ähneln. Ins Abwasser kommen diese Hormone durch die östrogenhaltigen Präparate der Pharmaindustrie, etwa die Antibabypille.

Die Forscher im Fachgebiet Keramische Werkstoffe und Bauweisen suchen nun nach einem Verfahren, mit dem sie Enzyme gezielt auf der Keramik-Oberfläche anbringen können, um Bakterien unschädlich zu machen. „Enzyme kommen seit Jahrmillionen als Schutz vor bakterieller Verunreinigung in der Natur wie zum Beispiel im Hühnerei vor. Sie sollen als eine Art biologischer Katalysator wirken und die Bakterien zerstören“, so Rezwan. „Gegen Enzyme können Bakterien auch nicht resistent werden, so wie gegen Antibiotika.“ Die Herausforderung liegt nun darin, die Enzyme in ihrer Lage exakt zu positionieren – denn sie haben ein aktives katalytisches Zentrum, das dem Bakterium zugewandt sein muss. „Wir reden hier davon, mehrere 100.000 Enzyme auf molekularer Ebene ideal auszurichten. Dazu schauen wir, wie wir die Materialoberfläche gestalten müssen und welche Verbindungsmoleküle wir einbauen können, die dann die





*Entwicklungen für die Medizin der Zukunft: Keramische Nanopartikel mit antibakteriellen Eigenschaften umgeben ein Bakterium.*

*Development for the medicine of the future: ceramic nanoparticles with antibacterial properties surround a bacterium.*

seconds due to the extremely high temperatures. And even stainless steel would corrode within only a few hours because of its exposure to the extremely aggressive mixture of humidity and gases. Ceramics, in contrast, are extremely robust and show no signs of wear – even under these hostile conditions.

However, the production of ceramics for this application poses quite a challenge. The process involves the use of pulverized particles of aluminium oxide, magnesium oxide, and silicon oxide. With the addition of binding agents and liquids, they are blended into an alloy before being molded into shape. Using a mixture of heat and pressure, the material is then solidified via a process called sintering. When coated with ceramic nanoparticles, the diameter of which is 500 times smaller than that of a human hair, the material takes on properties which make it possible for just one gram to cover a surface area of several hundred square meters. Precious metals are embedded into tiny openings, which act as catalytic converters and filter exhaust gases.

#### **Highest precision for a hip joint**

“The great challenge is to give the ceramic a shape which will allow us to exploit it technologically”, says Prof. Kurosch Rezwan, leader of the specialist area on

advanced ceramic materials and components. “We can teach a technologically-minded person how to produce a spherical ceramic ball with 50 percent mechanical reliability within just a day or so. But in order to produce such a ball with 100 percent reliability – for instance for use as an artificial hip joint – more than ten years of intensive research and development is needed.” That is why the production of high performance ceramics involves the use of nanoparticles: the finer the microstructure, the better the mechanical properties. Since a hip joint has to function faultlessly and reliably over the long-term, extreme precision is called for.

In their work surrounding all things ceramic, Rezwan and his colleagues often operate on the molecular level. They are, for instance, interested in the further development of aerogels – ultra light-weight solids, which are almost exclusively made up of pores, and can therefore cover a large surface area. The material, which is made of silicone oxide, is almost transparent and conjures up the image of “solidified air” to the layman. However, it demonstrates insulation properties which are 50 times more efficient than those of a normal glass window. NASA used the insulating properties of this light-weight ceramic material on a recent mission to Mars to protect sensitive electronic equipment from the extreme temperature fluctuations

on the planet’s surface. In another project, aerogel collectors are also used to collect star dust from space.

#### **Aerogel-inspired hybrid ceramics for removal of pollutants**

The Bremen researchers want to use the material in form of a hybrid ceramic for a different application altogether. Since the surface of a single gram is as vast as that of a basketball court, they want to embed a minimal amount of platinum into the structure. “This precious metal has the ability to act as a catalytic converter by turning toxic gases into nontoxic ones through chemical reactions. The larger the surface area, the higher the cleansing effect”, explains Kurosch Rezwan. The driving idea behind this: “There are numerous gaseous mixtures which aren’t exploitable yet”, says Kurosch Rezwan. “We want to separate different gases from each other in a manner which will allow us to make use of them. The large surface area of hybrid ceramic membranes, together with the fact that the membrane doesn’t wear and the separation process is implementable without energy consumption, makes this material extremely interesting.” In order to use it, the researchers first have to functionalize the material, which means that they equip it with additional properties. “We are pretty much in control of the surface production.

gewünschte Orientierung der daran andockenden Enzyme vorgeben. Momentan sind wir dabei noch sehr stark mit grundlagenwissenschaftlichen Fragen beschäftigt.“

Viel Aufsehen hat das Fachgebiet zuletzt durch eine Neuerung auf einem anderen Gebiet erregt – durch die biokeramische Knochenschraube. Zusammen mit Partnern aus Medizin, Forschung und Industrie wurde eine Schraube entwickelt und getestet, die in ihrer chemischen Zusammensetzung fast vollständig dem anorganischen Hauptbestandteil des Knochens – dem Calciumphosphat – gleicht. Hergestellt wird sie mit einem neuartigen Pulver-Spritzgießverfahren. „Die Biokeramik-Schraube kann bei der Behandlung von Kreuzbandrissen im Knie die bislang verwendeten Plastik- oder Metallschrauben ersetzen. Ihr Vorteil ist, dass sie nach der Heilung nicht wieder entfernt werden muss“, sagt Kuroschi Rezwan. „Die Schraube wird stattdessen durch körpereigene biologische Prozesse auf natürliche Weise aufgelöst. Das dabei freigesetzte Calcium wird direkt in den neu wachsenden Knochen eingebaut und beschleunigt sogar noch den Heilungsverlauf.“ Derzeit wird diese Erfindung patentiert. Das globale Marktpotenzial schätzen Rezwan und seine Projektpartner auf rund 400 Millionen Euro: „Allein in Deutschland gibt es jährlich 60.000 Kreuzbandrisse“, so der Forscher. Für die exzellente Kooperation zwischen Wissenschaft und mittelständischer Wirtschaft erhielten Rezwan und seine Mit-

streiter Ende 2011 den Bernd-Artin Wessels-Preis der Bremer „unifreunde“.

#### Neues Verfahren für günstiges Knochenersatzmaterial

Erfolge haben Rezwan und seine Mitarbeiter auch bei der Entwicklung von künstlichem Knochenersatzmaterial erzielt. Bislang wird für die Behandlung von komplexen Brüchen oft noch Material aus Rinderknochen verwendet, das teuer ist und dem Arzt lediglich in sehr kleinen „Portionen“ zur Verfügung steht. „Es wäre für uns kein Problem, ein Material mit der gleichen Struktur aus Calciumphosphat zu einem Bruchteil der Kosten und in beliebigen Größen herzustellen“, sagt Rezwan. „Allerdings müsste dieses Material nach dem Sintern funktionalisiert werden – und anschließend bräuhete der Knochen Jahre, um es aufzulösen.“ Die Bremer Forscher haben einen bahnbrechenden neuen Prozess gefunden, mit dem das Calciumphosphatpulver und Proteine in einem Schritt und ohne Sinterprozess miteinander verbunden werden können: „Wir schockgefrieren die flüssige Mischung und trocknen sie dann ganz vorsichtig. Dieses ‚Gefriergeleieren‘ gelingt sehr gut. Es erlaubt uns, beliebige Wirkstoffe mit einzubauen – beispielsweise Antibiotika oder Wachstumsmoleküle – ohne diese in ihrer Wirkung zu beeinträchtigen. Unser Ziel ist es, schon bald medizinisch

effektives Knochenersatzmaterial herstellen zu können, das die Knochenheilung sogar noch beschleunigt.“

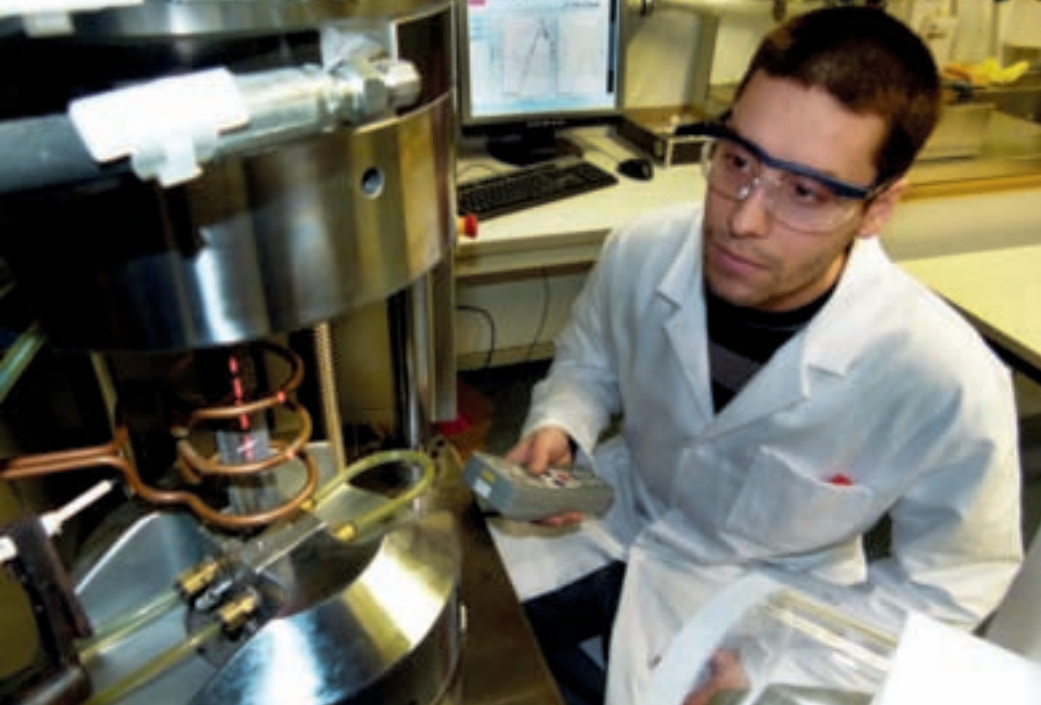
Mittlerweile gehören Kuroschi Rezwan und sein Team zu den weltweit führenden Gruppen auf dem Gebiet der keramischen Werkstoffe und Bauteile. Dazu passt auch eine Auszeichnung der führenden Biomaterialfachzeitschrift „Biomaterials“. In einem Fachartikel für diese Publikation hatte Rezwan bereits 2006 seine Überlegungen zu gänzlich neuen Knochenersatzwerkstoffen formuliert. Dieser Text wurde kürzlich von „Biomaterials“ als der in den vergangenen Jahren weltweit meistzitierte Fachaufsatz zu diesem Thema ausgezeichnet.

*Blick in kleinste Dimensionen: Petra Lücke analysiert mit einem Rasterelektronenmikroskop die Mikrostruktur von Knochenersatzmaterial.*

*A glance into the smallest dimensions: Petra Lücke analyses the microstructure of bone replacement material with a scanning electron microscope.*







*Arbeit an der Hochtemperaturprüfanlage: Mateus Vieira Carlesso untersucht die mechanischen Eigenschaften der hergestellten keramischen Bauteile.*

*Work on the high-temperature test facility: Mateus Vieira Carlesso examines the mechanical properties of the advanced technical ceramics being developed.*

The current challenge lies in modifying the molecular structure in a manner which will enable the creation of further selective functions – bringing with it new applications.”

This functionalizing of microporous ceramics might one day be used for cleaning up polluted wastewater. “Most people believe that when water is put through a wastewater treatment plant it is clean when it comes out the other side”, says Kurosch Rezwan. “This is a fallacy. In truth it is still contaminated – with germs, hormones, and bacteria.” Estrogen in the water has, for instance, led to the disturbing fact that in the USA the reproductive organs of fish and crocodiles have atrophied, severely impacting the reproductive capacity of these species. Researchers at the University of Frankfurt/Main have revealed that twelve out of twenty examined samples of mineral waters contain traces of chemicals that are identical to human hormones. These hormones find their way into the wastewater through pharmaceutical products containing estrogen, such as the contraceptive pill.

Researchers in the special area of technical ceramic materials and components are now investigating a process which will allow them to embed enzymes directly onto the ceramic surface, thus rendering bacteria harmless. “Nature has made use of enzymes for protection against bacterial contamination for millions of years, like in chicken eggs, for example. They work as a kind of biological catalytic converter and destroy the bacteria”, says Rezwan. “And bacteria can’t develop resistance to enzymes like they do against antibiotics.” The challenge now lies in trying to position the enzymes accurately – as it is their active catalytic centre that has to be exposed to the bacterium. “Here, we are talking about positioning several 100,000 enzymes with high precision on a molecular

level. For this purpose we have to examine how to structure the material’s surface, and which type of binding molecules we should embed to obtain the desired orientation of the docking enzymes. Currently we are still very much focused on the basic research questions. “

Recently, the research group caused something of a sensation due to an innovation in a different field – namely by developing a biomechanical bone screw. In collaboration with partners from the fields of medicine, research, and industry, they developed and tested a screw, the chemical composition of which was almost identical to that of the main inorganic component of bone – calcium phosphate. It is produced using a novel technique of powder injection molding. “The bioceramic screw can replace the previously commonplace plastic or metal screws used in the treatment of cruciate ligament tears in the knee joint. Its main advantage is that it doesn’t require removal after the healing process is completed”, says Kurosch Rezwan. “Instead, the screw dissolves naturally through the body’s innate biological processes. The calcium released in this process is directly incorporated into the re-growing bone, even accelerating the healing process.” This invention is currently being patented. Rezwan and his project partners estimate the global market potential to be around 400 million euros: “In Germany alone there are about 60,000 cruciate ligament tears per

year”, says the researcher. For their excellent research collaboration and bringing science together with medium-sized business, at the end of 2011 Rezwan and his colleagues were awarded the Bernd-Artin Wessels Prize by the Bremen friends of the University society “unifreunde”.

#### **New procedure for price-efficient synthetic bone substitution material**

Rezwan and his colleagues have also been highly successful in their development of synthetic bone substitution material. Up to now, complex fractures were repaired using material from bovine bone, which is expensive and only available to physicians in very small amounts. “It would be no problem for us to produce a material having the same structure as calcium phosphate for a fraction of the cost and made-to-measure”, says Rezwan. “However, this material would have to be functionalized after the sintering – and furthermore, the bone would take years to dissolve.” The Bremen researchers have developed a groundbreaking new process, in which calcium phosphate powder and proteins can be bound in one single step without the need for sintering: “We flash freeze the liquid mixture and then very carefully dry it. This ‘freeze-gelating’ processing runs very smoothly. It allows us to incorporate any desired active ingredients – for instance antibiotics or growth molecules – without compromising their effect. Our aim is to very soon produce medicinally effective bone substitution material that will even also accelerate bone healing.”

Today, Kurosch Rezwan and his team belong to the globally leading research groups in the field of advanced ceramics and materials design. An award by the leading journal on biomaterials, aptly named “Biomaterials”, underscores this achievement. They published a scientific article by Rezwan, outlining his thoughts on the subject of entirely novel approaches to bone substitution materials as far back as 2006. “Biomaterials” recently recognized this article as the globally most referenced article on this subject in the past years.



**Prof. Dr.-Ing Kurosch Rezwan**  
**Fachgebiet Keramische Werkstoffe und Bauteile**  
**Fachbereich Produktionstechnik**  
**Tel. (+49) 0421 / 218-64930**  
**krezw@uni-bremen.de**  
**www.ceramics.uni-bremen.de**