

Im Reich der Zwerge oder von Molekülen und Atomen

Die Nanotechnologie arbeitet mit Molekülen und Atomen und wird gleichzeitig von verschiedenen Disziplinen erforscht. Hier laufen Physik, Chemie, Biologie und auch die Medizin zusammen. Das bedeutet, die Nanotechnologie ist eine Querschnittstechnologie, welche grosse Hoffnungen weckt und zugleich Ängste erzeugt. Nanotechnologie gilt als die Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts mit grossem Marktvolumen und enormem Innovationspotenzial. Mit der Einführung des Medizinproduktes NanoBone® der Firma ARTOSS im Jahr 2005 beeinflusst die Nanotechnologie auch die Zahnmedizin. ARTOSS arbeitet mit über zwei Dutzend universitären Forscherguppen in ganz Europa zusammen. In der Schweiz sind es die Universitäten Bern, Genf und Zürich.

Anna-Christina Zysset (Quellenmaterial: PHI 1/2008, S. 12–23; Artoss, Dr. Gerike)

Eine Kuh frisst Gras und produziert Milch. Manche Wissenschaftler halten diesen alltäglichen Vorgang für die natürliche Art der Nanotechnologie. Sie wollen die Umwandlung eines Stoffes in einen völlig anderen künstlich nachahmen. Nanotechnologie – eine interdisziplinäre Wissenschaft, deren mögliche Anwendungsgebiete die unterschiedlichsten Disziplinen umfasst. Die IT-Branche erhofft sich von ihr etwa molekulare Computerbausteine. Neue Werkstoffe könnten mit ihr hergestellt werden, die ungleich kratzester, hitzebeständiger oder belastbarer sind als alles heute Bekannte. Andere hoffen mit dieser Technologie die Energieversorgung neu zu lösen. In der Umwelttechnologie können winzige Nanoroboter giftige Substanzen in ungiftige verwandeln. Und auch in der Medizin soll diese neue Wissenschaft revolutionäre Auswirkungen zeigen.

Das Umsetzen dieser Visionen braucht Erkenntnisse auf den verschiedensten Gebieten. Bis heute weiss man noch nicht genau, was auf der Ebene der Atome und Moleküle genau passiert. Hier laufen die Gesetze der Physik und der Chemie zusammen. Beschäftigt man sich mit lebenden Systemen, kommt noch die Biologie hinzu. Und will man tatsächlich Neues schaffen, ist das Spezialwissen z. B. der Zahnärzte bei der Entwicklung und Verbesserung von NanoBone® offenbar sehr gefragt. (Siehe unseren Beitrag: Vom Knochenersatz zum Knochenaufbaumaterial, S. 441, 5/2008.) Interdisziplinäres Denken ist unumgänglich.

Vom Umgang mit unbekanntem Risiken

Das Risikoprofil der Nanotechnologie ist derzeit noch sehr unklar, das Produktarsenal der Nanotechnologie aber sehr vielfältig. Es reicht von

selbstreinigenden Fensterscheiben, transparenten Sonnencremen, schmutzabweisenden Textilien, kratzfesten Lacken und Farben über neuartige Medikamente für die Krebsbekämpfung bis zu Knochenaufbaumaterialien. Nach Schätzungen von Lux Research soll im Jahr 2015 von einem globalen Marktvolumen von rund USD 2,6 Bd. ausgegangen werden. Im Oktober 2007 wurden in der Woodrow-Wilson-Datenbank 580 Konsumprodukte aufgeführt.

Grundsätzlich birgt jede neue Technologie auch Risiken. Dies gilt für die Atom-, die Gen- wie auch die Nanotechnologie. Letztere ist eine Querschnittstechnologie, die eine extrem breite Anwendungspalette aufweist.

Situation in der Schweiz

In der Schweiz haben die Behörden im Sommer 2006 mit der Ausarbeitung eines Aktionsplanes begonnen. In diesem Rahmen wurde in einem ersten Schritt ein Grundlagenbericht: «Synthetische Nanomaterialien – Risikobeurteilung Risikomanagement» erarbeitet. In einer umfassenden Analyse wurde festgestellt, dass in der Schweiz auf Gesetzesstufe die Voraussetzungen für die Regulierung der Nanotechnologie gegeben seien, dass allerdings auf Verordnungsstufe und im Bereich von Normen und Richtlinien Anpassungen nötig sein werden. Die Schweizer Regelungen setzen verschiedene Werkzeuge wie Autorisierung, Selbstkontrolle, Positiv- und Negativlisten sowie Informationsverpflichtung und Grenzwerte für Emissionen ein.

Am 9. April 2008 ist der Bericht des Bundesrates zu synthetischen Nanomaterialien herausgegeben worden. Dieser ist in enger Zusammenarbeit durch das Eidgenössische Departement des Innern (EDI), das Bundesamt für Gesundheit (BAG), das Eidgenössische Volkswirtschaftsdepartement (EVD), das Staatssekretariat für Wirt-



Professor Thomas Gerber von der Preisverleihung des Innovationspreises zusammen mit der Bundesforschungsministerin Frau Dr. Schavan und Frau Professor Vollmar von der Universität Rostock.

Nanotechnologie beschäftigt sich mit der gezielten Herstellung bzw. Manipulation von Strukturen und Materialien, die kleiner sind als 100 nm (1 nm = 10^{-9} m). Nanotechnologie macht sich dabei charakteristische Effekte und Phänomene zunutze, die im Übergangsbereich zwischen atomarer und mesoskopischer Grössenordnung auftreten.

Der Begriff «mesoskopisch» beschreibt den Grössenbereich zwischen wenigen bis zu einigen hundert Nanometern (1 Nanometer = 10^{-9} m = ein milliardstel Meter) – oder anders ausgedrückt, den Grössenbereich zwischen Molekülen und makroskopischer (= mit feinem Auge sichtbarer) Materie.

Neue Sonderforschungsbereiche befassen sich mit mesoskopisch strukturierten Verbundsystemen.

Unter einem Verbundsystem versteht man den Zusammenschluss von Komponenten mit sehr verschiedenen Eigenschaften: zum Beispiel nanometergrossen Metallteilchen, die in eine Hülle von porösen Keramiken eingebettet sind. Prinzipiell zeichnen sich diese Systeme durch eine *strukturgebende* und eine *funktionstragende* Komponente (z. B. das Remodelling) aus.

Ziel dieser Forschung ist, neue Methoden zum Aufbau oder zur Optimierung derartiger mesoskopischer Verbundsysteme zu entwickeln. Mit der Zusammenführung von strukturgebenden und funktionstragenden Komponenten entstehen Materialien, die neuartige, bisher nicht realisierte Eigenschaften und Eigenschaftskombinationen aufweisen. Das biologisch aktive NanoBone[®] resultiert aus der nanoskaligen Struktur im mesoskopischen Verbundsystem, obwohl die chemischen Substanzen unverändert sind.

schaft (Seco) und das Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (Uvek), das Bundesamt für Umwelt, erarbeitet worden. Alle Beteiligten erachten die Möglichkeiten der Nanotechnologie in den Bereichen Ressourceneffizienz und Gesundheitsschutz als von hoher gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Relevanz, die genutzt werden soll. In dem mit viel Umsicht verfassten Bundesratsbericht steht unter anderem:

«Synthetische Nanomaterialien bieten grosse Chancen und vielfältigen Nutzen. Umso wichtiger ist es daher, bereits heute die kritischen offenen Fragen zu behandeln. Das Bedürfnis nach umfassender, ausgewogener, unabhängiger, transparenter und gut verständlicher Information der Bevölkerung ist ausgewiesen. Kommunikation ist eine zentrale Voraussetzung dafür, dass sich die Bevölkerung mit neuen Technologien auseinandersetzen kann.»

Dieser Meinungsbildungsprozess kann durchaus auch prägend auf die Entwicklung von Technologien und deren Anwendung einwirken. Mögliche negative Auswirkungen auf die Gesundheit, die Umwelt und die Gesellschaft müssen so früh wie möglich erkannt und antizipiert werden. In verschiedenen Studien wurde bisher gezeigt, dass ungebundene Nanopartikel aufgrund ihrer geringen Grösse mit der Atemluft über die Lungen bis ins Blut gelangen, sich im Körper verteilen und in andere Organe eindringen können. Auch wurde gezeigt, dass in Abhängigkeit von ihren Eigenschaften bestimmte synthetische Nanopartikel in den Zellen eine schädigende Wirkung entfalten können. Nur auf der Basis einer soliden Risikoabschätzung lassen sich die Gesellschaft und die Wirtschaft vor unnötigen Folgekosten und Fehlinvestitionen schützen, wodurch das ganze Chancenpotenzial der Nanotechnologie genutzt werden kann.

Die Schweizer Forschenden engagieren sich verstärkt im 7. Forschungsprogramm der EU, welches bis 2013 läuft und über ein Budget von

54 Milliarden Euro verfügt. Für ein kleines Land wie die Schweiz, wo der Kreis der Forschenden pro Fachgebiet eben auch begrenzt ist, ist dieser fachliche Austausch von grösster Bedeutung, insbesondere für die Antizipierung möglicher Risiken.

Nanoprodukte halten Einzug in die Zahnmedizin

Ein synthetisches nanostrukturiertes Knochenaufbaumaterial bietet die Firma ARTOSS GmbH. Die Redaktorin unterhielt sich deshalb mit dem Physiker Dr. Walter Gerike, Miteigentümer und Geschäftsführender Gesellschafter von ARTOSS GmbH.

Dr. Gerike: «Die biologischen Strukturen im menschlichen Körper zeichnen sich durch eine besondere Nanostruktur aus. Dies ist nachvollziehbar, denn der Körper muss ja zuerst die kleinsten Einheiten aus Atomen und Molekülen über Nanostrukturen hin zu makroskopischen Strukturen aufbauen», erzählt Physiker Dr. Walter Gerike. Weiter meint mein Gesprächspartner: «Deshalb beschäftigte sich Professor Dr. Thomas Gerber, Lehrstuhlinhaber für nanostrukturierte Materialien am Institut für Physik in Rostock, zuerst eingehend mit der Struktur des menschlichen Knochens, um Knochenersatz- resp. Knochenaufbaumaterial mit neuen Biomaterialien zu entwickeln.»

Zysset: «Wie kam es zur Entwicklung neuer Biomaterialien für Knochenersatz und -Aufbau?»

Dr. Gerike: «Die Entwicklung der NanoBone[®]-Technologie begann 1997 an der Universität Rostock. Der Lehrstuhlinhaber für *Nanostrukturierte Materialien* am Institut für Physik (Prof.

Thomas Gerber) wandte sich im Rahmen einer Ausschreibung zur Förderung der interdisziplinären klinischen Forschung an zwei Forschergruppen an der Medizinischen Fakultät der Universität. Zusammen mit einem Team, das bereits herkömmliche Biomaterialien für den Knochenersatz in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie untersuchte (Prof. Bienengräber und Henkel), und mit einer orthopädischen Forschergruppe (Prof. Dörfling) wurde ein gemeinsames Projekt begonnen, welches als Ziel hatte, *neue* Biomaterialien für den Knochenersatz und Knochenaufbau zu entwickeln.

Für Thomas Gerber war das Gebiet der Knochenersatzmaterialien zu diesem Zeitpunkt noch völlig unbekannt. Am Institut für Physik in der Arbeitsgruppe *Nanostrukturierte Materialien* wurden zuvor vor allem angewandte technische Fragestellungen bearbeitet. Mit modernen Methoden der Bestimmung von Strukturen bis in den atomaren Bereich wurden insbesondere Struktur-Eigenschafts-Beziehungen erforscht. Ziel dieser Arbeiten war die Entwicklung neuer Materialien z. B. für die Auto- oder Glasindustrie. Dabei wurde u. a. die Sol-Gel-Methode zur Herstellung hochporöser amorpher Substanzen genutzt.»

«Wie kam die Sol-Gel-Technik nun in der Medizin zur Anwendung?»

«Das Interesse für die medizinischen Anwendungen mag zum Teil auch daher rühren, dass der Vater von Prof. Gerber ein angesehener Zahnarzt in Mecklenburg-Vorpommern war und somit ein späteres Anwendungsgebiet für die Entwicklung von Knochenersatzmaterialien praktisch von zu Hause mitgegeben wurde. Zudem war Thomas Gerber eng mit der Ausbildung angehender Mediziner verbunden. Er hielt die Physikvorlesung für die Studenten der Zahnmedizin und Medizin ab und war auch für deren physikalische Praktika verantwortlich.»

«Für welche Teildisziplinen war Knochenersatz wichtig?»

«Da verschiedene Materialien in Form von Granulaten für kleinere Defekte bereits erhältlich waren, forderten die Kliniker zuerst Knochenersatzmaterial in Form von Blöcken, um grössere Defekte bei kieferchirurgischen bzw. orthopädischen Eingriffen behandeln zu können. Für Gerber war das Ziel von Anfang an, ein synthetisches Knochenersatzmaterial oder besser Kno-

Aufbau des Knochens

Knochen besteht aus Knochenzellen (Osteozyten), die in die sogenannte Knochenmatrix eingebettet sind. Die extrazelluläre Matrix wiederum setzt sich aus Wasser (ca. 10%), aus organischen Proteinen (ca. 20%) und aus anorganischem Material, insbesondere Hydroxylapatit (HA) zusammen. Sehr kleine HA-Plättchen (ca. $40 \times 40 \times 3-4$ nm) liegen locker zwischen den Kollagenfibrillen und sind insbesondere für die Festigkeit des Knochens verantwortlich.

chenaufbaumaterial zu entwickeln, welches die eigene natürliche Knochenbildung im Körper anregt und in dem Masse verschwindet, wie wieder eigener vitaler Knochen die Funktion übernimmt. Dieser Prozess läuft ununterbrochen im Körper ab. Der natürliche Knochen wird ständig ab- und aufgebaut. Man nennt diesen Prozess Remodelling. Damit reagiert der Organismus auf eventuelle Ermüdungserscheinungen, die zur Fraktur führen könnten, und nimmt eine unaufhörliche Optimierung der Knochenmasse in Bezug auf ein günstiges Verhältnis von Stabilität zu Energieverbrauch aufgrund der höheren Masse vor.»

«Wie ist Professor Gerber vorgegangen?»

«Für einen Physiker liegt es natürlich näher, die anorganische Phase der extrazellulären Knochenmatrix als Modell für ein Knochenersatzmaterial zu nehmen. Kollagen als Ausgangsstoff scheidet deshalb als Grundlage aus. Wie wir wissen, ist das auch richtig so, weil Kollagen nach Implantation immer über eine sogenannte resorptive Entzündung abgebaut wird. Dieser Prozess stört die Knochenregeneration. Erst nach dem Abklingen der resorptiven Entzündung kann neuer Knochen entstehen. Ein vollständig synthetisches Produkt herzustellen, ist auch deshalb wichtig, um ethische Bedenken bzw. ein Restrisiko der Auslösung von Allergien oder der

Die Sol-Gel-Methode

Der Sol-Gel-Prozess ist ein Verfahren zur Synthese von Gelen auf Basis eines Sols. Den Sol-Gel-Prozess kann man vereinfacht in zwei Teilprozesse/-reaktionen unterteilen. Erstens die Hydrolyse und zweitens die Kondensation. Bei den typischen Sol-Gel-Prozessen laufen Hydrolyse und Kondensationsprozesse meist gleichzeitig ab. Dabei bilden sich zunächst Feststoffpartikel von wenigen Nanometern Grösse, welche in dem Dispersionsmittel kolloidal verteilt sind. Diese können sich vernetzen und zu einem Gel kondensieren.

Insider wissen das Sol-Gel-Verfahren schon lange zu schätzen. Grundlagenforscher experimentieren seit Jahrzehnten mit Solen, um neue chemische Verbindungen und Strukturen zu schaffen. Sole entstehen, wenn flüssige Komponenten durch chemische Reaktion kleine Teilchen bilden. Wird ein solches Sol eingedickt, entsteht ein Gel – wie beim Einkochen von Johannisbeergelee. Das eigentliche Geheimnis liegt in der Wahl der Prozessparameter. Je nach Konzentration des Lösungsmittels wird das Sol dünn wie Wasser oder dick wie Honig. Die Sol-Gel-Technik hat einen entscheidenden Vorteil, sie kommt mit Temperaturen von fünfhundert Grad Celsius aus, während das Sintern als klassisches Verfahren mehr als achthundert Grad Celsius benötigt.

Übertragung von Infektionen völlig auszuschliessen.»

«Wie unterscheidet sich Gerbers Ansatz vom Üblichen?»

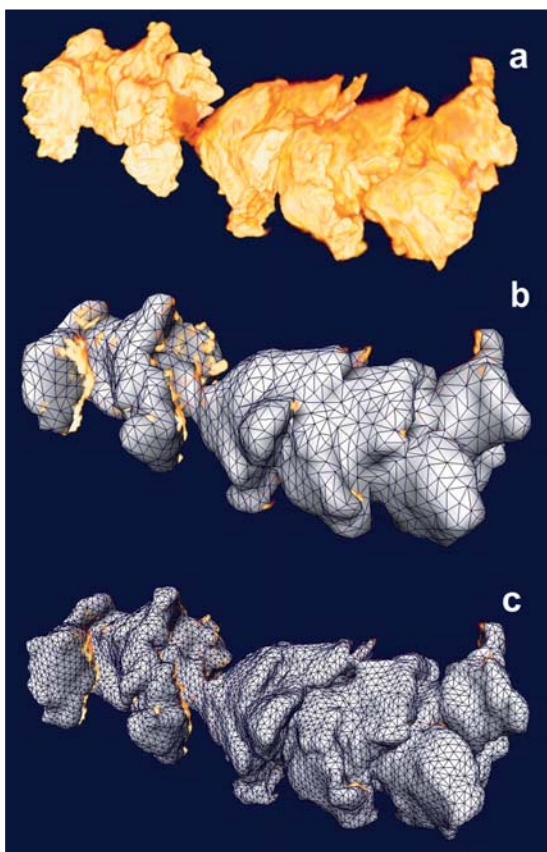
«Der neue Ansatz von Prof. Gerber betrifft die lockere Packung von nanokristallinem HA. Diese Packung wird erreicht, indem die HA-Teilchen (Kantenlänge < 100 nm) in eine Kieselgelmatrix gebracht werden, die selbst porös im Nanometerbereich ist. Für die Herstellung wird das Sol-Gel-Verfahren genutzt (siehe oben). Dadurch wird dann eine makroskopische Struktur (Granulat) erreicht. Man kann sich das vorstellen wie einen Rosinenkuchen: Die Rosinen wären dann die HA-Teilchen, die in den Teig (Kieselgel) eingebettet sind, wobei der Teig selbst Poren besitzt.

Bei NanoBone® liegen also keine freien Nanoteilchen vor, die in der Tat Probleme im Körper machen könnten, sondern es handelt sich um Nanostrukturen, die ganz offensichtlich der extrazellulären Struktur des natürlichen Knochens sehr ähnlich sind.

Mit dem völlig neuen nanoskaligen Aufbau des Knochenaufbaumaterials verliess Gerber offenbar bereits hinlänglich bekannte Wege. Deshalb hat ARTOSS kein weiteres Knochenersatzmaterial auf der Basis von tierischem oder humanem Ausgangsmaterial bzw. gesintertem Hydroxylapatit (HA) oder Tricalciumphosphat (TCP) oder einer Mischform aus beiden auf den Markt gebracht.»

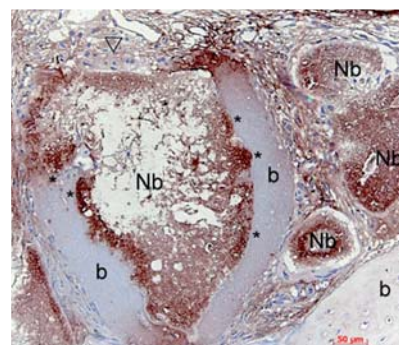
«Wie kam es zur Gründung von ARTOSS?»

«Thomas Gerber hat bereits vor der Entwicklung von NanoBone® Patente angemeldet und erteilt bekommen. Auch für NanoBone® besteht ein weitreichender Patentschutz (Europa, USA, Japan, China, Indien, Russland, Australien). Zuerst hatte Gerber versucht, mit Industriepartnern zusammenzuarbeiten. Da diese Versuche jedoch nicht erfolgreich verliefen, hat er sich entschlossen, eine eigene Firma zu gründen. Da er aber weiterhin auch an der Universität arbeiten wollte und die Forschung mit der Universität auch wesentlicher Bestandteil seiner Philosophie ist, suchte er nach einem Partner für die Unternehmensgründung.»



Vom Nanometerbereich bis in makroskopische Größenordnungen werden Materialien so designt, dass optimale Wechselwirkungen mit dem Gewebe erreicht werden. Durch Andocken von autologen Proteinen an die Nanostruktur des Materials und durch fraktale Oberflächen wird z. B. erreicht, dass Stammzellen in knochenbildende Zellen differenzieren. Die Abbildung zeigt die Bestimmung der fraktalen Dimension der Oberfläche. Je kleiner die Dreiecke sind, die die Oberfläche bedecken, umso grösser ist die beschriebene Fläche. Mit einer fraktalen Dimension von 2,2 geht die Fläche ins Volumen über.

NanoBone®-Partikel mit Tannenzapfenform



Immunhistologische Untersuchung einer Humanen Biopsie. Mit Braun ist eine starke BMP-2-Reaktion in der Matrix des NanoBone-Partikels (Nb) zu erkennen. (Neugebildeter Knochen b.)

«Wann stiegen Sie in das Projekt ein?»

«Ich habe seinerzeit bei Professor Gerber Physik studiert. Ich hatte zuvor ein eigenes Medizintechnikunternehmen mit 100 Mitarbeitern aufgebaut und fand die neue Herausforderung derart interessant, sodass wir einen gemeinsamen Geschäftsplan ausarbeiteten. So entstand die ARTOSS GmbH im September 2003. Heute sind wir beide zu je fünfzig Prozent Eigentümer von ARTOSS und Geschäftsführende Gesellschafter. 2004 wurde bei ARTOSS ein Qualitätssicherungssystem nach DIN EN ISO 13485: 2003 aufgebaut, und seit Dezember 2004 ist die Firma zertifiziert. Die erste Produktzulassung erfolgte dann im Januar 2005 für die erste Familie der NanoBone-Granulate.»

«Wo kann das Knochenaufbaumaterial eingesetzt werden?»

«Die Anwendung von NanoBone® ist nicht nur auf dentale Anwendungen beschränkt, sondern wird bei Knochendefekten oder zum Knochenaufbau im gesamten Skelettsystem eingesetzt. Neben den Studien im Bereich der dentalen Implantologie, die die besondere Leistungsfähigkeit von NanoBone® zeigen, wurde auch eine sehr erfolgreiche Studie zum Einsatz von NanoBone® an der Wirbelsäule durchgeführt. Heute arbeitet ARTOSS bei der Weiterentwicklung der NanoBone®-Technologie mit über zwei Dutzend universitären Forschergruppen in ganz Europa zusammen. In der Schweiz mit den Universitäten Bern, Genf und Zürich.»

«Wie geht es weiter?»

«Im Herbst dieses Jahres findet die Markteinführung der zweiten Generation von NanoBone®-Knochenaufbaumaterialien statt. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass das verwendete synthetische HA nun in der Morphologie und Dimension dem natürlichen HA entspricht (Plättchen 40×40×3–4 nm). Ausserdem können die Struktur und der Anteil an Kieselgel zwischen 0% und 50% variiert werden. Damit kann die Resorptionsgeschwindigkeit entsprechend der zu behandelnden Indikation variiert werden. Ausserdem sind ab Herbst NanoBone®-Blöcke verfügbar. Diese sind für die Behandlung von grösseren Knochendefekten gedacht und sollen die Entnahme von autologen Knochenblöcken aus dem Kieferwinkel oder sogar aus der Hüfte ersetzen und damit neue Behandlungsoptionen eröffnen.»

Zukunftsvisionen

«Wäre es denkbar, dass man z. B. in ferner Zukunft die Zahn-Implantate mit einem NanoBone®-Coating ausrüstet oder einen Zement mit NanoBone® (z. B. in der Orthopädie) versteht?»

«Ja, auch eine Beschichtung von metallischen Implantaten mit der NanoBone®-Technologie ist möglich. Dabei geht es um alle metallischen Implantate und nicht nur Zahnimplantate. Ziel ist es, eine schnellere Knochenverbindung des Implantates zu erreichen und es somit früher belasten zu können. Ausserdem könnten die Implantate dann vielleicht auch in «dünneren Knochen», also in ein knochenschwaches Lager implantiert werden.»

«Ist die NanoBone®-Technologie auch im Kampf gegen Osteoporose einsetzbar?»

«Auch diese Richtung wird bereits bei neueren Forschungsprojekten von ARTOSS verfolgt, um z. B. osteoporotische Frakturen behandelbar zu machen. Etwas aufwändiger könnte die Zulassungsprozedur werden. Wenn die NanoBone®-Technologie nämlich zur Behandlung der Osteoporose vor der Fraktur eingesetzt wird, könnte es sich vielleicht nicht mehr um ein Medizinprodukt, sondern um ein Arzneimittel handeln. Damit wären dann andere Zulassungsvorausset-

zungen zu erfüllen. Es ist aber insgesamt eine sehr spannende Thematik!»

«Denken Sie, dass mit Fortschreiten der Nanotechnologie gewisse Paradigmen in der Medizin völlig umgestossen werden?»

«Nanotechnologie wird aus meiner Sicht tatsächlich neue diagnostische und therapeutische Möglichkeiten in der Medizin eröffnen. Das liegt natürlich daran, dass die biologischen (und letztlich auch die medizinischen) Prozesse auf der Ebene der Nanowelt stattfinden. Zum Beispiel enthält unser Körper im Knochen nanopartikuläres Hydroxylapatit (HA). Bietet man solche Strukturen dem Körper an, kommt es zu ganz anderen Wirkmechanismen, als wenn man wie bisher makroskopisch gearbeitet und gedacht hat. Also es kommt noch einiges auf die Medizin zu.»

Siehe auch *Clin. Oral Impl. Res.* **19**, 2008/1016–1026
WERNER GÖTZ et al.: Immunohistochemical characterization of nanocrystalline hydroxyapatite silica gel (NanoBone®) osteogenesis: a study on biopsies from human jaws.



Universitätsnachrichten Bern

Gratulation zur Beförderung

PD Dr. Thomas von Arx ist von der Universitätsleitung per 1. August 2008 zum assoziierten Professor befördert worden. Dieser Titel entspricht dem früheren Titularprofessor.

Professor Dr. Daniel Buser (Foto: zvg)



Diese Beförderung ist die Belohnung für die hervorragende Arbeit, die Thomas von Arx seit neun Jahren an den Zahnmedizinischen Kliniken leistet.

Er kam 1999 als Oberarzt zurück an die Klinik für Oralchirurgie und Stomatologie der ZMK Bern. Er baute an der Klinik mit viel Wissen, Akribie und zielstrebigem Einsatz seine beiden Spezialgebiete auf, die apikale bzw. endodontische Chirurgie und die Zahntraumatologie. Daneben war er verantwortlich für den Aufbau des Wei-

terbildungsprogramms und beteiligte sich auch bei der Studentenausbildung mit zahlreichen Vorlesungen. 2002 wurden seine Verdienste von der Medizinischen Fakultät mit der *Venia docendi* gewürdigt, und er wurde zum Privatdozenten befördert.

Seither hat er seine hohe wissenschaftliche Produktivität aufrechterhalten und in führenden internationalen zahnmedizinischen Zeitschriften publiziert. Er hat in den letzten Jahren vor allem den Bereich der apikalen Chirurgie durch innovative Neuerungen in der Operationstechnik und Visualisierung weiter verfeinert und die klinischen Ergebnisse durch zahlreiche prospektive Studien dokumentiert. Thomas von Arx hat sich in den letzten Jahren international einen erstklassigen Namen geschaffen, und er wird heute regelmässig als Referent zu bedeutenden internationalen Kongressen eingeladen. Damit ist er zu einem prominenten Mitglied des Dozententeams der ZMK Bern geworden.

Die ZMK Bern gratulieren Thomas von Arx herzlich zu seiner akademischen Beförderung. Wir freuen uns auf eine weiterhin angenehme und erfolgreiche Zusammenarbeit!