

RWTHTHEMEN

Medical Science & Technology

BERICHTE
AUS DER
RHEINISCH-
WESTFÄLISCHEN
TECHNISCHEN
HOCHSCHULE
AACHEN

AUSGABE 1/2014

ISSN-NR.
0179-079X



Wovon Sie früher auch träumten: Jetzt ist die Zeit, es wahr zu machen.

Rohde & Schwarz ist einer der wichtigsten technologischen Schrittmacher. Im Digital-Fernsehen. Im Mobilfunk. Auch in der Funktechnik sind wir federführend. Damit wir das auch bleiben, suchen wir engagierte Mitarbeiter (m/w) oder Studenten (m/w) wie Sie. Wir bieten Ihnen alles, was Sie brauchen, um Ihr Optimum zu erreichen: Flache Hierarchien, harmonische Teams und viel Freiraum. Denn nur so können überragende Ideen entstehen, wie die, die uns bereits in vielen Geschäftsgebieten unter die weltweite Top 3 gebracht haben. Interessiert?

Weitere Informationen unter: www.career.rohde-schwarz.com



Impressum
Herausgegeben im Auftrag des
Rektors der RWTH Aachen
Abteilung 3.1 –
Presse und Öffentlichkeitsarbeit
Templergraben 55
52056 Aachen
Telefon 0241/80-94327
Telefax 0241/80-92324
pressestelle@zhv.rwth-aachen.de
www.rwth-aachen.de

Redaktion:
Sabine Busse
Angelika Hamacher

Titelfoto/Rücktitel:
Peter Winandy, Aachen

Anzeigen:
print'n'press, Aachen
jh@p-n-p.de

Anzeigenberatung:
Liz Rüster
Telefon 06132/43 44 38
liz.ruester@web.de

Gestaltung:
Kerstin Lünenschloß,
Aachen

Druck:
Druckerei und
Verlagsgruppe Mainz GmbH,
Aachen

Gedruckt auf
chlorfrei gebleichtem Papier

Das Wissenschaftsmagazin
„RWTH-Themen“ erscheint
einmal pro Semester.

Nachdruck einzelner Artikel,
auch auszugsweise, nur mit Ge-
nehmigung der Redaktion.
Für den Inhalt der Beiträge
sind die Autoren verantwortlich.

Sommersemester 2014

Medical Science & Technology

Medizin und Technik im 21. Jahrhundert Der Profilbereich „Medical Science & Technology“	5
Von der Herzunterstützung bis zum vollständigen Herzersatz Entwicklung von Blutpumpen	6
Neue Bildgebungsverfahren für die personalisierte Medizin	10
Vitale Stents – Eine Plattformtechnologie für die Medizin?	16
Intelligente Steuerung und Regelung von lebensunterstützenden Systemen: Smart Life Support 2.0	20
Verbesserte und Personalisierte Therapien durch Nanomedizin	22
Die Mechanobiologie erforscht Grundlagen für die Medizintechnik Welche Kräfte wirken auf Zellen und wie beeinflussen sie deren Funktion?	26
„Plug and Play“ in OP und Klinik OR.NET – Sichere dynamische Vernetzung in Operationssaal und Klinik	30
Robotergeführte Patientenliege in der Radiotherapie – Reduktion der Strahlenbelastung gesunder Gewebebestandteile	34
RapidGEN – Personalisierter Kniegelenkersatz Neue Verfahren zur Planung und Herstellung von patientenspezifischen Kniegelenkimplantaten	38
3D-Druck und Biofabrikation Photonische Prozesse in der Medizintechnik	42
Baukasten für personalisierte Herzklappen-Prothesen INTER-Herz: Individuelle Therapien für das rechte Herz	46
BIG opportunities Biologisch intelligente Gele in der Medizin	52
Der Weg zu „lebenden“ Medizinsystemen Campus Cluster Bio-Medizintechnik	56
Buchvorstellung	59
Namen & Nachrichten	60

Vorwort

In diesem Jahr wird es in Aachen zwei hochkarätige Veranstaltungen geben, die für unsere Hochschule einen besonderen Stellenwert haben: Im September verleihen die Stadt Aachen und die RWTH erstmals den Aachener Ingenieurpreis. Am folgenden Tag findet dann das große Graduiertenfest statt, mit dem wir unsere Absolventen verabschieden.

Der Ingenieurpreis wird künftig jedes Jahr verliehen. Er geht an eine Persönlichkeit, die mit ihrem Lebenswerk einen maßgeblichen Beitrag zur positiven Wahrnehmung des Ingenieurwesens geleistet hat oder ihre Disziplin entscheidend weiter entwickelte. Wir loben den Preis gemeinsam mit der Stadt Aachen aus, da wir unseren Standort mit seiner besonderen Bedeutung für das Ingenieurwesen mehr ins Bewusstsein der Öffentlichkeit rücken möchten.

Ein weiteres wichtiges Kriterium bei der Auswahl der Preisträger ist es, dass die Persönlichkeit neben der technischen Leistung auch eine Vorbildfunktion für die junge Generation – insbesondere für Studierende – einnimmt. Daher erfolgt die Verleihung des Aachener Ingenieurpreises in Kombination mit dem Graduiertenfest der RWTH. Dem Preisträger kommt die Ehre zu, in der Key-Note Speech dieser Veranstaltung den Absolventen sein Lebenswerk nahe zu bringen.

Mit dem Graduiertenfest wollen wir Absolventen und Promovenden aus allen neun Fakultäten im großen Stil verabschieden. Wir erwarten zu der Open-Air Veranstaltung im Dressurstadion in der Soers rund 5.000 Teilnehmer. Nach dem erfolgreichen Abschluss des Studiums wollen wir den jungen Menschen ein fröhliches Fest bieten, bevor sie in ihre berufliche Karriere starten und eventuell Aachen verlassen.

Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Ernst Schmachtenberg
Rektor

Medizin und Technik im 21. Jahrhundert

Der Profilbereich „Medical Science & Technology“

In einer Zeit, in der die Weltbevölkerung immer älter wird, rückt die Frage nach einer ausreichenden medizinischen Behandlung und Versorgung in den Fokus der Aufmerksamkeit. Alt werden und alt sein heißt nicht zwangsläufig krank werden und krank sein, jedoch steigt mit zunehmendem Lebensalter das Risiko chronisch zu erkranken. Nicht nur die Auswirkungen des demographischen Wandels, sondern auch viele Menschen tragen durch eine ungesunde Lebensweise dazu bei, dass mehr Wohlstand zu weniger Gesundheit führt: Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems, der Lunge, der Leber sowie Diabetes und Krebs gehören heute zu den häufigsten Krankheiten mit tödlichem Ausgang.

Der medizinische Fortschritt ist immer häufiger gekoppelt an einen Fortschritt in den Natur- und Ingenieurwissenschaften. Das betrifft nicht mehr nur die Diagnose, bei der zum Beispiel moderne bildgebende Verfahren wie CT oder MRT den Klinikalltag bereits maßgeblich verändert haben, sondern zunehmend auch die Therapie, wie die Beispiele Theranostik, Nanomedizin, künstliche Organe und Informationstechnologie zeigen. Für die Zukunft ist zu erwarten, dass sich die Unterschiede zwischen (Bio)Medizin und Technik immer mehr verwischen, wenn biohybride Systeme das Beste aus verschiedenen Welten verbinden werden. Dabei werden zur Lösung der immer komplexer werdenden klinischen Fragestellungen, die Natur- und Ingenieurwissenschaften, die Produktions- und Informationstechnologie sowie die Wirtschafts- und Sozialwissenschaften ein selbstverständlicher Teil der medizinischen Forschung.

Die RWTH Aachen hat diese Entwicklung vor langer Zeit vorausgesehen und darauf 1966 mit der Gründung der Medizinischen Fakultät und 2001 mit der Integration des 1971 gegründeten Helmholtz-Institutes für Biomedizinische Technik reagiert. Im Rahmen des Zukunftskonzeptes II „RWTH 2020: Meeting Global Challenges – The Integrated Interdisciplinary University of Technology“ wurde diese Thematik weiter entwickelt und findet im Profilbereich „Medical Science & Technology“ ihren Ausdruck.

Der Profilbereich hat sich den Auftrag gegeben, die Identifikation und Entwicklung neuer Themen und die Strukturierung der Zusammenarbeit der drei Disziplinen Medizin, Natur- und Ingenieurwissenschaften entlang der gesamten Wertschöpfungskette von der Grundlagenforschung bis zur Erstanwendung neuer diagnostischer und therapeutischer Verfahren am Patienten gemeinsam zu gestalten.

Dabei wurden die drei Forschungsschwerpunkte

- Biohybride Medizinsysteme,
- Bildgebung für diagnostische und therapeutische Zwecke,
- Cyber Medical Systems

identifiziert. Als wesentliche Herausforderung verfolgt der Profilbereich dabei die Translation der Forschung in die Klinik mit der Vision „First in Man“.

Die Grundlage dafür bilden die Stärken der RWTH in den mathematisch-, naturwissenschaftlichen und ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen sowie in der Medizin. Die räumliche Nähe und fächerübergreifende Vernetzung mit der Medizinischen Fakultät und der Uniklinik RWTH Aachen ist dabei ein großer Vorteil, sie wird ergänzt durch die

in Aachen und Jülich angesiedelten Institute der Fraunhofer-Gesellschaft, der Leibniz- und der Helmholtz-Gemeinschaft.

Das Themenfeld Medizin und Technik wird bereits durch vielfältige disziplin- und fakultätsübergreifende Aktivitäten in Forschung und Lehre gelebt: In der Lehre wurden zahlreiche Möglichkeiten zur Aus- und Weiterbildung von hochqualifiziertem wissenschaftlichem Nachwuchs geschaffen. Dazu gehören neben dem internationalen Master-Studiengang „Biomedical Engineering“, der eigens für das Querschnittsthema Medizin und Technik geschaffen wurde, zahlreiche Vertiefungsmöglichkeiten in den MINT-Fächern. Zudem wurde eine deutschlandweit einmalige Brückenprofessur zwischen der Fakultät für Maschinenwesen und der Medizinischen Fakultät geschaffen. Zahlreiche herausragende interdisziplinäre Leuchtturmprojekte und Forschungsvorhaben bereichern schon heute den Forschungsstandort Aachen.

Autoren:

Univ.-Prof. Prof.h.c. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.Ing. Thomas Gries leitet das Institut für Textiltechnik und ist Sprecher des Profilbereichs „Medical Science & Technology“. Dipl.-Chem. Katalin Feher ist Referentin des Profilbereichs „Medical Science & Technology“.

Von der Herzunter- bis zum

Entwicklung von Blutpumpen

Täglich sterben Menschen, die vergeblich auf ein lebensrettendes Spenderherz gewartet haben. Deshalb entwickeln Wissenschaftler der RWTH Aachen mechanische Blutpumpen als Alternative zur Herztransplantation. Der Bedarf ist enorm: Herz-Kreislauf-Erkrankungen sind die häufigste Todesursache in den westlichen Industrienationen und in Deutschland verantwortlich für fast jeden zweiten Todesfall. Versagt eine konventionelle Therapie mit Medikamenten, können oftmals Blutpumpen implantiert werden, die das geschwächte Herz entlasten und gegebenenfalls eine Erholung des Herzens ermöglichen. Bei besonders schweren Erkrankungen muss auf Spenderherzen zurückgegriffen werden, die jedoch nicht in ausreichender Anzahl zur Verfügung stehen. Mechanische Kunstherzen, die das Herz vollständig ersetzen, können diesen Mangel beheben. Doch trotz jahrzehntelanger Forschung gibt es bis heute kein vollständig implantierbares Kunstherz im klinischen Einsatz. Mit dieser Zielrichtung werden am Institut für Angewandte Medizintechnik zwei Blutpumpen entwickelt. Das „ReinVAD-System“ ist eine implantierbare Zentrifugalpumpe, die als Herzunterstützungssystem eingesetzt werden kann. Das „ReinHeart“ ist eine doppelt wirkende pulsatile Verdrängerpumpe, die als Kunstherz das kranke Herz vollständig ersetzt, wenn alle anderen Therapieoptionen nicht mehr in Frage kommen. In beiden Entwicklungsprojekten konnte die technische Machbarkeit der Blutpumpen gezeigt werden. Zur Umsetzung der

ReinVAD-Pumpe in ein marktreifes Produkt wurde bereits ein Spin-Off, die ReinVAD GmbH, gegründet. Zurzeit werden das ReinVAD und das ReinHeart mit ihren patentierten, geräusch- und verschleißarmen Antrieben intensiv getestet, bevor sie im Menschen implantiert werden.

Herausforderungen bei der Entwicklung

Beide Blutpumpen sollen die Mobilität des Patienten wieder herstellen und die Lebensqualität verbessern. Zu diesem Zweck müssen die Systeme vollständig in den Patienten implantiert und die Energie drahtlos übertragen werden, so dass kein Kabel oder Schlauch durch die Haut nach außen geführt wird. Das ReinVAD muss einen variablen Teil bis zu 100 Prozent der Förderleistung des Herzens übernehmen, wobei das Herz im Patienten verbleibt. Beim ReinHeart wird das kranke Herz entnommen und das System übernimmt die Pumpfunktion vollständig. Beide Systeme müssen vollständig wartungsfrei und zuverlässig über viele Jahre im menschlichen Körper funktionieren. Neben einem ausreichenden, physiologischen Fördervolumen müssen die Systeme gleichzeitig so klein wie möglich sein, um bei einer großen Patientengruppe eingesetzt werden zu können. Zusätzlich müssen sich die Systeme in ihrer Förderleistung dem aktuellen Kreislaufzustand und Bedarf anpassen, beispielsweise beim morgendlichen Aufstehen oder bei erhöhter körperlicher Aktivität. Auch ist ein langfristiger Einsatz nur möglich, wenn Körper- und Blutverträglichkeit in

hohem Maße erfüllt werden. All diese Herausforderungen stellen extrem hohe Anforderungen an die Qualität der Entwicklungs- und Prüfprozesse. Deshalb arbeiten Ingenieure, Techniker und Mediziner bei der Entwicklung der beiden Systeme eng zusammen.

Das Herzunterstützungssystem ReinVAD

Das ReinVAD ist ein implantierbares linksventrikuläres Unterstützungssystem, kurz LVAD, das ein magnetisch angetriebenes und hydrodynamisch gelagertes Laufrad besitzt. Der Rotor wird berührungslos im Pumpengehäuse gelagert, so dass keine mechanische Körperreibung anfällt und die Pumpe nahezu verschleißfrei arbeitet. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für eine Implantationsdauer von vielen Jahren. Die Pumpleistung wird automatisch je nach Bedarf angepasst, so dass das im Körper verbleibende natürliche Herz entlastet werden kann. Die erfolgreiche Entwicklung dieses LVADs wird eine lebenserhaltende und kostengünstige Therapie für Patienten ermöglichen, die auf ein Spenderherz warten oder deren Herz sich durch die Entlastung regenerieren kann. Zudem bietet es unheilbar kranken Patienten, die nicht für eine Transplantation in Frage kommen, die Chance auf Verlängerung ihrer Lebenszeit.

Das Kunstherz ReinHeart

Das zentrale Element des ReinHeart-Systems ist die Pumpeinheit, welche die natürlichen Ventrikel funktionell und anatomisch vollständig ersetzt. Sie

besteht aus drei Elementen: den beiden Pumpkammern und dem dazwischenliegenden Antrieb. Beide Pumpkammern sind jeweils durch flexible Membranen vom Antrieb getrennt. Um den Anforderungen einer hohen Lebensdauer gerecht zu werden, wurde ein magnetischer Linearantrieb entwickelt, welcher nur aus sehr wenigen bewegten Teilen besteht und somit extrem verschleißarm ist. Die Antriebseinheit ähnelt in ihrem Funktionsprinzip einem Lautsprecher. Sie besteht aus Permanentmagneten sowie Spulen, welche im Magnetfeld auf einem axial gelagerten Spulenträger montiert sind. Durch Anlegen eines Spulenstromes entsteht eine Kraft, welche mittels gezielter Variation von Spulenstromstärke und -polung zur kontrollierten, oszillierenden Auslenkung des Spulenträgers genutzt werden kann. Auf diese Weise werden zwei Druckplatten, welche mit dem Spulenträger verbunden sind, abwechselnd in die rechte und linke Pumpkammer bewegt und verdrängen somit über die beweglichen Membranen Blut aus den Pumpkammern. Künstliche Ein- und Auslassklappen ermöglichen einen gerichteten Blutfluss durch die Kammern. Die Pumpeinheit wird mittels Gefäßprothesen mit den verbleibenden Vorhöfen und der Aorta beziehungsweise Pulmonalis konnektiert.

Die nötige Energie zum Betrieb der Pumpeinheit wird drahtlos mittels eines transkutanen Energieübertragungssystems übertragen. Dazu wird eine Empfängerspule unter der Haut implantiert und die Senderspule

*Bild 1: Vorstellung der beiden Blutpumpen und des drahtlosen Energieübertragungssystems.
Foto: Peter Winandy*

stützung vollständigen Herzersatz

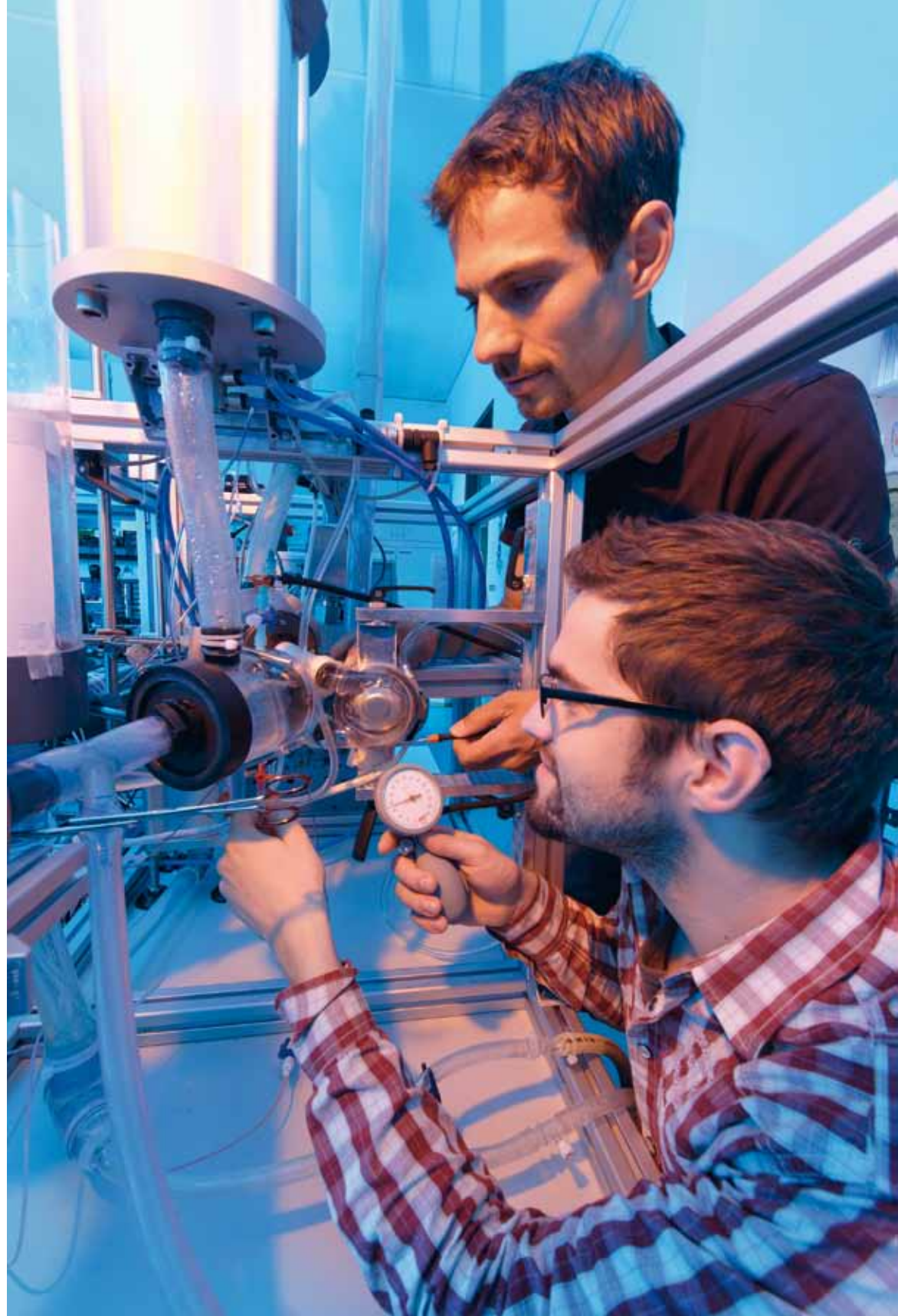


*Bild 2: Testung der Pumpleistung an elektro-hydraulischen Kreislautsimulatoren.
Foto: Peter Winandy*

außen auf die Haut aufgebracht. Die Energieübertragung findet induktiv zwischen diesen beiden Spulen durch die geschlossene Haut hindurch – also ohne Infektionsrisiko – statt. Ein zusammen mit der Steuereinheit implantierbarer Akku stellt eine 30- bis 60-minütige Energieversorgung sicher, so dass der Patient für diesen Zeitraum die externen Komponenten ablegen kann. Dies erhöht in hohem Maße die Mobilität und damit die Lebensqualität des Patienten. Als externe Komponenten trägt der Patient eine Kontrolleinheit mit Benutzeroberfläche und zusätzliche externe Akkus.

Testung

In intensiven in-vitro- und in-vivo-Tests müssen beide Systeme ihre Funktionssicherheit unter Beweis stellen. Dazu gehören die Untersuchungen der Blutverträglichkeit, da jedes blutführende System Hämolyse oder Thrombose hervorrufen kann. Um dieser Gefahr entgegen zu wirken, werden die Pumpkammern der Systeme strömungstechnisch untersucht und daraufhin optimiert. Die geometrischen Auslegungen der Systeme wurden anhand von virtuellen Anatomiestudien basierend auf CT- und MRT-Daten durchgeführt und in Studien überprüft. Darüber hinaus müssen die Langlebigkeit und die Funktionssicherheit der einzelnen Komponenten und des jeweiligen Gesamtsystems nachgewiesen werden. Hierzu wurden Dauertester entwickelt, welche alle verschleißbehafteten Komponenten, wie die Membranen des ReinHearts, in beschleunigten Ermüdungstests prüfen. Die Gesamtsysteme werden in so genannten Systemdauertestern unter körperähnlichen Bedingungen wie Temperatur und pH-Wert hinsichtlich ihrer Langlebigkeit untersucht. Für die kritischen



verschleißbehafteten Komponenten des ReinHearts wurde bereits eine Lebensdauer von fünf Jahren nachgewiesen.

Um die Pumpeigenschaften der Systeme zu untersuchen, werden elektro-hydraulische Kreislautsimulatoren, die den menschlichen Blutkreislauf nachbilden, genutzt. Die Parameter dieser Kreislautsimulatoren können computergesteuert eingestellt werden, um beispielsweise das morgendliche Aufstehen oder andere körperliche Aktivität zu simulieren. Auch der Einfluss unterschiedlicher Dehnbarkeiten des Gefäßsystems wird überprüft. Zusätzlich

wird beim ReinVAD der Einfluss der verbleibenden Ventrikelaktivität auf die hydrodynamische Lagerung getestet. Hier konnte die hydrodynamische Lagerung mit dem frei schwebenden Rotor und damit die Langlebigkeit des Systems validiert werden. Trotz der aufwändigen Testung im Labor können jedoch nicht alle Effekte eines lebenden Organismus abgebildet werden. In-vivo-Versuche sind unvermeidlich, bevor die Systeme im Menschen eingesetzt werden können. Dabei werden auch Implantationstechnik, post-operatives Management sowie Funktionalität des Gesamt-

systems überprüft. Beide Systeme wurden bereits als Vorbereitung klinischer Studien erfolgreich in-vivo validiert.

Autoren:

Dipl.-Ing. Marco Laumen ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehr- und Forschungsgebiet Kardiovaskuläre Technik. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ulrich Steinseifer betreut das Lehr- und Forschungsgebiet Kardiovaskuläre Technik.



Pioniergeist. Der beste Antrieb, die Dinge zu bewegen.

1986 – das Rennboot Virgin Atlantic Challenger II
mit den MTU-Motoren der Baureihe 396 überquert
den Atlantik in ungebrochener Rekordzeit.



Maybach, Daimler, Benz, Rolls und Royce – mit ihrem Pioniergeist haben sie Großes geschafft und im wahrsten Sinne des Wortes vieles in Bewegung gebracht. Ohne diese Leidenschaft wären wir nicht da, wo wir heute sind. Denn mit der traditionell selben Entdeckungsfreude lassen wir uns auch heute inspirieren. So treibt jeder unserer Mitarbeiter die Dinge erfolgreich voran.

Seien Sie neugierig. Realisieren Sie Ihre Ideen und erfahren Sie mehr unter
www.rrpowersystems.com

Powered by pioneers.



Neue Bildgebungs für die

Bild 1: Magnetic Particle Imaging (MPI) Scanner in Schirmkammer. MPI ist eine noch sehr junge medizinische Bildgebungsmodalität (erste Veröffentlichung von Gleich & Weizenecker in nature 2005). Das Bild zeigt Prof. Dr.med. Fabian Kiessling (oben) und Prof. Dr.-Ing. Volkmar Schulz (unten) bei den Vorbereitungen einer Charakterisierungsmessung der superparamagnetischen Nanopartikeln an dem sich am Institut befindlichen Forschungsscanner. Foto: Peter Winandy



10

Die nichtinvasive Bildgebung hat einen hohen Stellenwert im klinischen Alltag, sie wird verwendet, um Krankheiten zu erkennen und Therapien in ihrer Wirksamkeit zu verfolgen. Der Bedarf für diagnostische Bildgebungsverfahren wird künftig steigen und die Anforderungen an die Bildgebung werden sich ändern. Die rein anatomische Darstellung der Krankheit reicht oft nicht für eine korrekte Bewertung aus, und kann Therapieeffekte nicht schnell und genau genug erfassen. Dies ist insbesondere für die molekularen Therapeutika relevant, die zwar eine effektivere Behandlung und eine Reduktion von Nebenwirkungen versprechen, jedoch oft nur bei Subpopulationen der Patienten wirksam sind, häufig in der Langzeittherapie an Wirksam-

keit verlieren und hohe Kosten verursachen. Die präklinische Entwicklung klinisch einsetzbarer Bildgebungsverfahren, Begleit-Diagnostika für spezielle Medikamente und Theranostika (Medikamente die gleichzeitig als Kontrastmittel agieren) steht daher im Vordergrund. Die RWTH-Lehrstühle für Experimentelle Molekulare Bildgebung, Anorganische Chemie und Elektrochemie, Angewandte Medizintechnik sowie das Institut für Tierversuchskunde arbeiten im Rahmen des Projekts ForSaTum mit dem Lehrstuhl für Medizintechnik der Ruhr-Universität Bochum sowie den Firmen Philips, Aplagen, PharmedArtis, Kairos, ITZ Medicom, Digital Medics, invivoContrast und AKM an neuen Bildgebungsverfahren und Diagnostika

für die personalisierte Tumorthherapie. Zwei vielversprechende Bildgebungsverfahren sollen im Folgenden vorgestellt werden: Die molekulare Ultraschallbildgebung und die PET-MRT Hybridbildgebung.

Molekulare Ultraschallbildgebung

Die Ultraschallbildgebung ist – nach dem konventionellen Röntgen – das am häufigsten eingesetzte Bildgebungsverfahren. Stärken der Ultraschallbildgebung sind Echtzeitfähigkeit, fehlende Strahlenbelastung und geringe Kosten. Sie erlaubt sowohl die Darstellung der Gewbeanatomie als auch die funktionelle Gewebekarakterisierung mittels Durchblutungsmessung und Elastizitätsmessung. Will man die Durch-

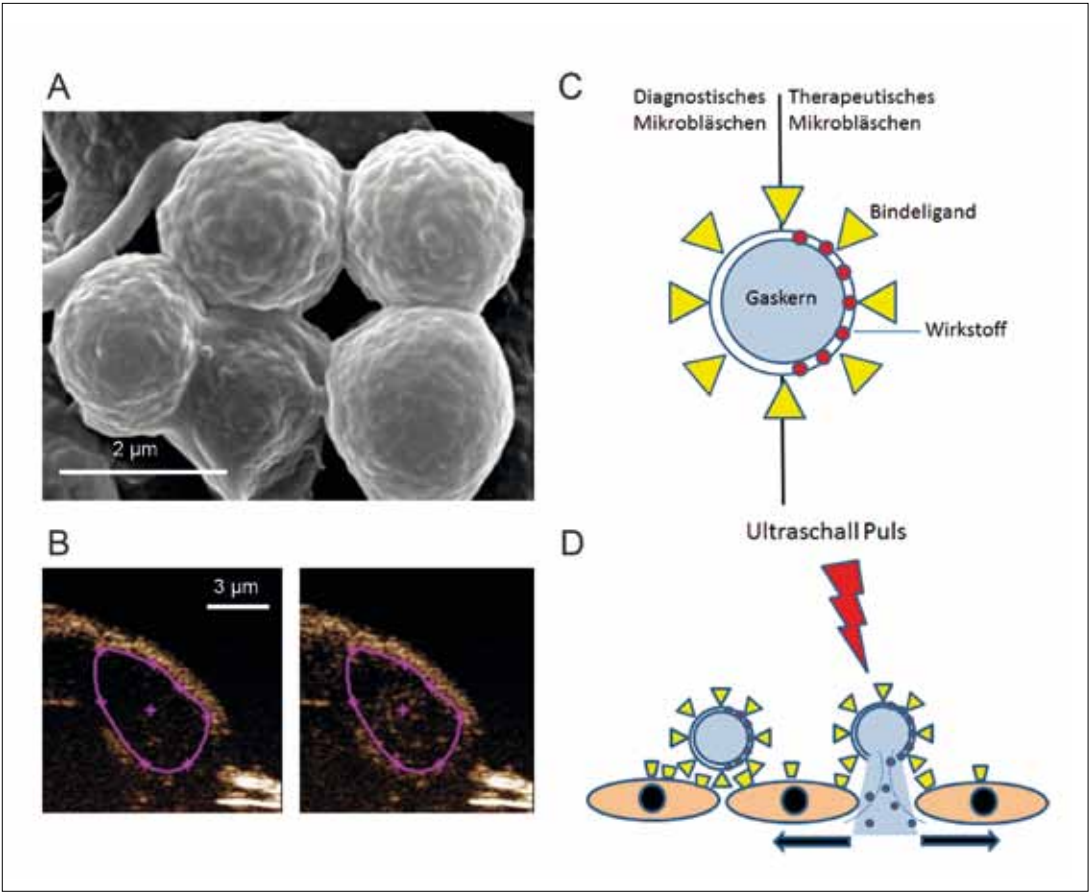
verfahren personalisierte Medizin

Bild 2:
A: Rasterelektronenmikroskopisches Bild polymerer Ultraschall-Mikrobläschen.

B: Ultraschallbild eines Tumors (Lila umrandet) vor und nach Bindung molekularer Ultraschall-Mikrobläschen (orange Punkte).

C: Schematischer Aufbau diagnostischer und therapeutischer Mikrobläschen.

D: Wirkprinzip therapeutischer Mikrobläschen nach Bindung an Blutgefäßwandzellen. Nach der Bindung an das Gefäßsystem werden die Mikrobläschen zerstört und ihr Inhalt freigesetzt. Die Druckwelle erhöht zudem die Gefäßdurchlässigkeit.



blutung des Gewebes im Detail untersuchen, benötig man Kontrastmittel. Dies sind in der Sonographie mikrometergroße Gasbläschen, die eine Hülle aus Polymeren, Phospholipiden oder denaturierten Proteinen aufweisen. Will man nun molekulare Charakteristika veränderter Blutgefäße in krankhaften Geweben nachweisen, müssen auf die Oberfläche dieser Bläschen Moleküle – zum Beispiel Antikörper – aufgebracht werden, die diese an die Zielstruktur binden lassen. In Tumoren sind insbesondere Markermoleküle der krankhaften Blutgefäßbildung (Angiogenese) interessant, da diese die lokale und metastatische Tumorausbreitung stark beeinflusst und als wichtiges Ziel von Therapien dient.

Im Rahmen des Projektes wurden solche polymeren Bläschen hergestellt und erfolgreich im Tierexperiment erprobt. Um diese nun für eine spätere klinische Verwendung weiterzuentwickeln, wurden Bestandteile, die eine allergene Reaktion induzieren können, ersetzt, schließlich erfolgte eine Optimierung hinsichtlich Lagerbarkeit und Chargenstabilität. Die optimierten molekularen Ultraschallkontrastmittel, siehe Bild 2A, konnten hochsensitiv in den Tumoren mit Ultraschall erfasst werden, siehe Bild 2B. Nebenwirkungen wurden nicht beobachtet. Da die Mikrobläschen eine mehrschichtige polymere Hülle aufweisen, können auch Medikamente in deren Hülle eingelagert und über die Mikrobläschen transportiert werden,

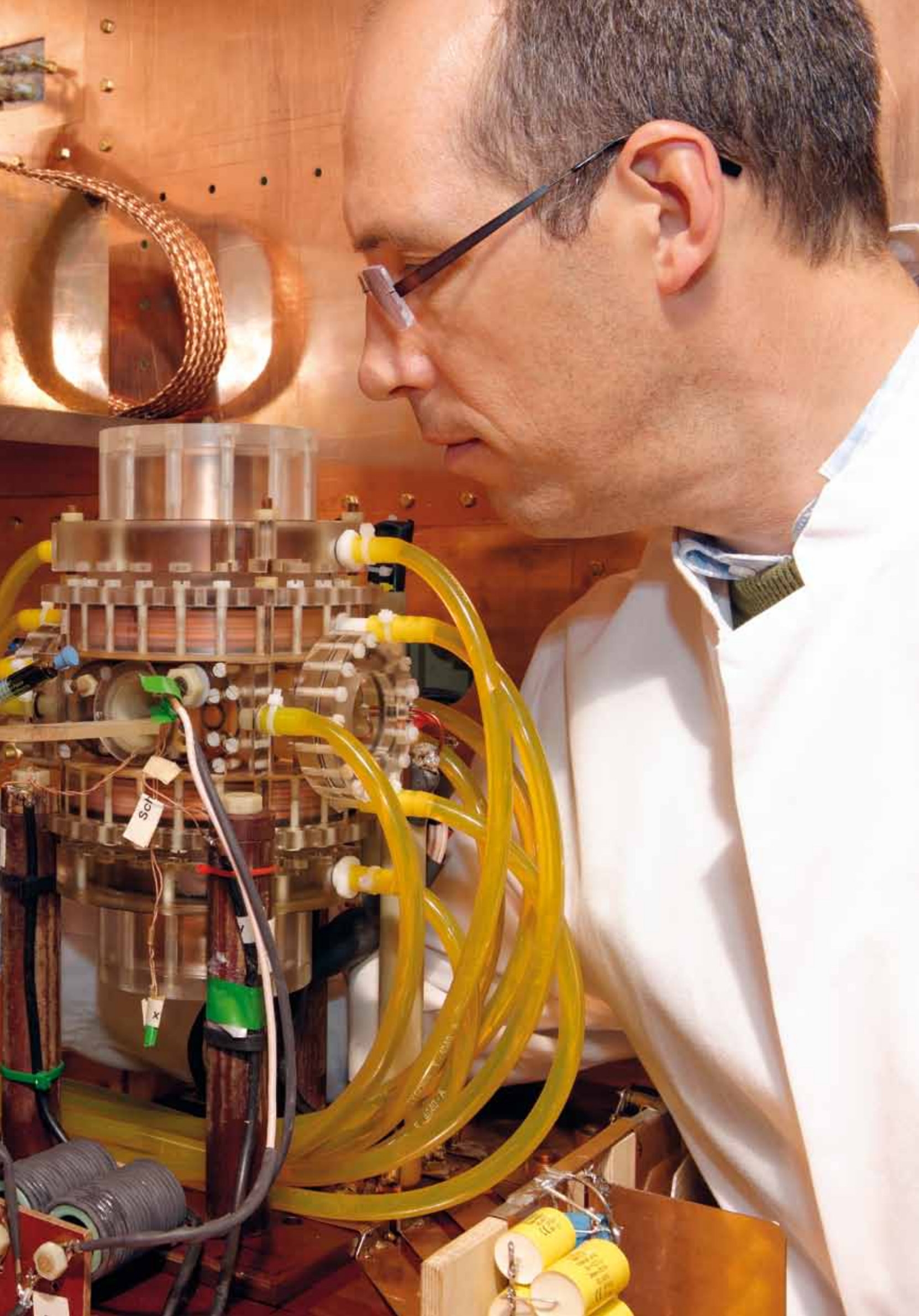
siehe Bild 2C. Beschallt man die Bläschen dann gezielt im Tumor, zerplatzen diese und die Substanzen werden freigesetzt, siehe Bild 2D. Die lokale Substanzfreisetzung führt zu einem Schutz des gesunden Gewebes und erhöht die lokale Anreicherung. Letztere wird zusätzlich durch die Erhöhung der Durchlässigkeit der Blutgefäße verstärkt, die durch das Zerplatzen der Mikrobläschen induziert wird. Die Konzepte der molekularen und theranostischen Ultraschallbildgebung wurden mehrfach ausgezeichnet, zum Beispiel mit dem Promotionspreis der Deutschen Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin 2013 und dem Promotionspreis der Deutschen Röntgengesellschaft 2013, und werden derzeit mit Industriepartnern sowie mit Hilfe

öffentlicher Fördergelder weiter verfolgt.

PET-MRT Hybridbildgebung
In der Bildgebung von molekularen Prozessen spielt die Positron-Emissions-Tomographie (PET) aufgrund ihrer sehr hohen Sensitivität eine wichtige Rolle. Das Detektionsprinzip basiert auf der Messung von schwach radioaktiven Substanzen, die in den Körper eingebracht werden. Genauer gesagt, detektiert die PET je gemessenem radioaktiven Zerfall zwei hochenergetische gamma-Photonen, die sich aus der Massevernichtung zweier Teilchen, dem Positron und dem Elektron, ergeben. Die besondere Stärke liegt bei der PET in der Tatsache, dass einzelne Moleküle eines Kontrastmittels, die



*Bild 3: Magnetic Particle Imaging (MPI) Gerät: Prof. Dr.-Ing. Volkmar Schulz an einem der weltweit empfindlichsten MPI-Feldgeneratoren, der schnelle dreidimensional Aufnahmen von magnetischen Nanopartikelverteilungen in lebenden Objekten ermöglicht. Das MPI beruht auf der Vermessung der nichtlinearen magnetischen Antwort von superparamagnetischen Partikeln. Für die Bildakquisition werden ausschließlich statische und dynamische magnetische Felder verwendet. MPI zeichnet sich besonders durch seine hohe Ortsauflösung, Sensitivität und Akquisitionsgeschwindigkeit aus. Im Gegensatz zu anderen Verfahren, wie zum Beispiel der Magnetresonanztomographie, kann MPI durchaus 50 Volumina je Sekunde akquirieren.
Foto: Peter Winandy*



Volldigitaler Scanner für simultane PET-MRI Bildgebung



Simultan aufgenommenes MRI-PET Strukturphantom

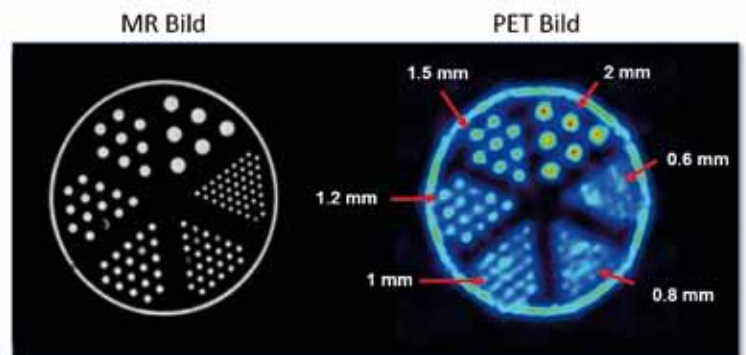


Bild 4: Links: MRT-kompatible PET-System mit 10 volldigitalen PET-Modulen sowie einer integrierten Sende-/Empfangs-HF-spule. Das PET-System ist als Einsatz für ein klinisches 3T MRT konzipiert. Axiales Aufnahmefeld ist ca. 100 mm, innere Durchmesser des PET-Rings ist ca. 216 mm, innerer Durchmesser der HF-Spule ist ca. 45 mm.
Mitte: MRT Bild (T2w, TSE) eines Strukturphantomes, welches mit FDG befüllt wurde und gleichzeitig mit einer PET-Messungen aufgenommen wurde. Das MRT Bild zeigt eine artefaktfreie hohe Auflösung.
Rechts: zugehöriges PET Bild (ca. 11 MBq, ca. 20 min Messzeit), welches die Ortsauflösung von unter 1 mm widerspiegelt.

beispielsweise Bestandteil eines Stoffwechselprozesses sind, radioaktiv markiert werden können. Dadurch können molekulare Prozesse auf makroskopischen Dimensionen in vivo sichtbar gemacht werden. Ein weit verbreitetes Radiopharmakon ist eine radioaktiv markierte Glukose, das ^{18}F -Fludeoxyglucose, kurz FDG. FDG gelangt wie jede Glukose in die Zelle, verbleibt dort aber anschließend. Somit kann zum Beispiel der Glukosebedarf, der für einige Organe, Krebsarten oder Entzündungen charakteristisch ist, durch die PET makroskopisch und dreidimensional dargestellt werden.

Die Stärke der PET, lediglich bestimmte Stoffwechselvorgänge zu visualisieren, führt gleichzeitig dazu, dass nahezu kein anatomischer Bildkontrast in den PET-Bildern enthalten ist. Daher wird die PET üblicherweise mit anatomischen Bildgebungsmodalitäten, wie der Computer-Tomographie (CT) kombiniert. Ein recht neues und noch leistungsfähigeres Verfahren besteht darin, die PET in einen Magnetresonanztomographen (MRT) zu integrieren. Die MRT bietet gegenüber der CT einen wesentlich besseren Weichteilkontrast. Zudem verwendet die MRT im Gegensatz zur CT keinerlei ionisierende Strahlung. Sie bietet darüber hinaus die Messungen von funktionellen Parametern, wie Blutflussgeschwindigkeit, Bewegung, Perfusion, Diffusion oder auch Temperatur. Da die Informationen aus der MRT zur molekularen Information

aus der PET komplementär sind, ist zu erwarten, dass das Hybridverfahren PET-MRT in der personalisierten Medizin in einigen Bereichen Vorteile gegenüber der bisherigen PET-CT bietet wird, diese eventuell sogar teilweise ersetzen wird.

Im Rahmen des Projekts wurden die PET und die MRT zu einem echten hybriden Bildgebungsverfahren kombiniert. Dabei können PET und MRT gleichzeitig vorgenommen werden. Dies bedeutet, dass man anatomische und funktionelle Information des MRTs mit der molekularen Information der PET überlagern kann. Somit ist man in der Lage, für die Bildgebung störende natürliche Bewegungen, wie Atmung oder Herzbewegung, in beiden Bildgebungen zu detektieren und in der Bildrekonstruktion zu korrigieren. Durch die verbesserte zeitliche und räumliche Registrierung wird erwartet, dass sich die Qualität der Daten und Analysen erheblich verbessern wird, und damit sicherere Aussagen für die Diagnose beziehungsweise für den individuellen frühen Therapieerfolg gewonnen werden können.

Um ein derartig komplexes Messverfahren zu ermöglichen, wurde erstmals eine neuartige volldigitale Sensortechnologie für die PET verwendet, die digitalen Silizium-Photomultiplier. Gegenüber herkömmlichen Detektoren verspricht diese Technologie Vorteile hinsichtlich ihrer Sensitivität, Ortsauflösung und Robustheit. So waren bisher auf Sensorseite

für die Signalverarbeitung mehrere analoge Baugruppen nötig. Die digitalen Sensoren integrieren diese Funktionen direkt auf dem Sensor und ermöglichen eine Zählung der detektierten Photonen. Zudem werden die Messungen mit einem hochgenauen Zeitstempel versehen, wodurch die Ankunftszeit der ersten Photonen sehr genau bestimmt werden kann. Weiterhin verspricht diese Technologie durch die Verwendung digitaler Signalpegel einen ungehinderten gleichzeitigen Betrieb der PET und der MRT-Messung.

In nur dreieinhalb Jahren ist es gelungen, die Idee eines volldigitalen PETs in einem Prototyp für die Vorklinik umzusetzen, siehe Bild 4. Herausforderung war hierbei die Vermeidung der störenden Interferenz der beiden Bildgebungen: Obwohl die Verfahren hinsichtlich ihrer Detektionsprinzipien vollkommen unabhängig funktionieren könnten, interferieren die elektronischen Komponenten der PET mit den hohen statischen und dynamischen elektromagnetischen Feldern des MRT sowie mit der hochsensitiven MRT-Messung. Daher wurde während der Aufbauphase der Aspekt der Interferenz stets charakterisiert. Konzipiert wurde der PET-MR-Scanner als Einsatz für ein kommerzielles klinisches MRT. Eine weitere Herausforderung war die angestrebte Bildauflösung von weniger als 1 mm. Hierzu wurden erstmals bei der simultanen PET-MRT Szintillationskristalle verwendet,

die transversale Abmessungen von lediglich 0.93 mm aufweisen. Derzeitige Interferenzuntersuchungen an Phantomen bestätigen, dass die angestrebte Bildauflösung von unter 1 mm auch unter extremen MRT-Bedingungen gewährleistet werden kann, siehe Bild 4. Jetzt werden erste präklinische Anwendungen durchgeführt.

Die entstandene Plattform für innovative Bildgebung und Therapie wird als Bestandteil des, über die Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder geförderten, I3TM-Institutes kontinuierlich weiterentwickelt und methodisch stetig erweitert. So wird im Jahr 2015 Europas erstes kommerzielles Magnetik Particle Imaging (MPI) System in Aachen installiert und beforscht, das mit zeitlicher Auflösung im Millisekunden-Bereich und nanomolarer Sensitivität die Verteilung von Nanopartikeln im Körper nachweisen kann.

Autoren:

Univ.-Prof. Dr.med. Fabian Kiessling ist Inhaber des Lehrstuhls für Experimentelle Molekulare Bildgebung. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Volkmar Schulz leitet das Lehr- und Forschungsgebiet Physik der molekularen Bildgebungssysteme.

Typisch Fischers:
grün denken

Typisch Ford:
grün lenken



DER FORD **FOCUS**

> **EcoBoost-Motorentechnologie**

Das macht Sinn – und trotzdem Spaß: Der sparsamste Benzinmotor der Kompaktklasse glänzt mit einem Verbrauchswert von 4,7 l/100 km (kombiniert). Prima, dass dabei Dein Fahrspaß nicht auf der Strecke bleibt. Denn dank Direkteinspritzung und Turboaufladung liefert der „Kleine“ die Fahrdynamik und Power eines „Großen“. Schön für Dich und Deine Umwelt.

Kraftstoffverbrauch (in l/100 km nach VO (EG) 715/2007 und VO (EG) 692/2008 in der jeweils geltenden Fassung): 5,9 (innerorts), 4,1 (außerorts), 4,7 (kombiniert). CO₂-Emissionen: 109 g/km (kombiniert).



Eine Idee weiter

Vitale Stents

Eine Plattformtechnologie für die Medizin?



Bild 1: Einrüsten einer Flechtmaschine zur Herstellung einer tabulären Flechtstruktur.
Foto: Peter Winandy

16

Lungenkrebs ist weltweit die häufigste Krebsart mit der höchsten Sterberate. Ein Aachener Team aus Medizinern, Naturwissenschaftlern und Ingenieuren sowie eine Reihe von Forschern aus Europa entwickelt ein lebendes Implantat mit textilem Grundgerüst, um die Lebensqualität hinsichtlich Krankenhausaufenthalte und der Atmung bei Lungenkrebspatienten im Endstadium zu verbessern.

Konkret geht es darum, die durch den Lungenkrebs hervorgerufenen Verengungen der Atemwege, so genannte Stenosen, zu behandeln. Bei starken

Verengungen der Luftröhre wird eine normale Atmung verhindert und der Atemstrom eingeschränkt. Dies führt unter anderem zu Husten, Heiserkeit und vor allem zu extremer Kurzatmigkeit. Zusätzlich fällt dem Patienten das Atmen auch ohne körperliche Anstrengung schwer.

Herkömmliche Behandlungsmethoden

Um Verengungen der Atemwege zu behandeln, werden in der Klinik bislang Metallröhrchen – so genannte Stents – verwendet, welche sehr formstabil sind

und somit den Durchmesser der Atemwege vergrößern. Durch diese Aufweitung werden die Symptome allerdings leider nur kurzfristig behandelt. Stents aus Metall haben den Nachteil, dass das Krebsgewebe hindurchwachsen kann, ähnlich wie eine Pflanze durch einen Maschen-drahtzaun. Dies führt zu einer erneuten Verengung des Atemwegs.

Eine neue Verengung der Luftröhre durch Krebsgewebe verhindern beschichtete Stents mit einer durchgängigen Silikonschicht. Diese Stents kann man

sich wie einen Schlauch vorstellen, der durch ein Metallgeflecht verstärkt wird. Aber auch hier gibt es erhebliche Nachteile: Zum einen sind die Stents nicht fest verankert; sie können also zum Beispiel beim Husten verrutschen. Zum anderen sammelt sich bei diesen Stents Schleim in der Lunge, welcher regelmäßig im Krankenhaus abgesaugt werden muss.

Textile Stents

Textile Stents werden seit Jahrzehnten erfolgreich eingesetzt. Am Institut für Textiltechnik werden Metall-Stents in einem Flechtprozess hergestellt. Das Prinzip des maschinellen Flechtens lässt sich mit dem „Maibaumtanz“ vergleichen: Hierbei bewegen sich zwei Gruppen mit Menschen, die ein Band in der Hand halten, auf zwei gegenläufigen und wellenförmigen Bahnen aneinander vorbei. Durch diese Bewegung findet eine Kreuzung der Fäden statt und ein rundes Geflecht

bildet sich oberhalb der Menschengruppen aus. Dieses Prinzip wird für das Flechten von Stents verfolgt. Nach Fertigstellung der geflochtenen Schlauchstruktur wird ein Stent in die gewünschte Länge geschnitten.

Tissue Engineering

Das Tissue Engineering ist eine interdisziplinäre Forschungsrichtung, in der Ingenieure, Biologen und Mediziner zusammenarbeiten, um Ersatzgewebe oder Organe im Reagenzglas zu entwickeln und zu züchten. Dafür werden dem Patienten Zellen entnommen und außerhalb des Körpers kultiviert, so entstehen Implantatstrukturen aus körpereigenem Material! Der Körper erkennt die eigenen Zellen und stößt das jeweilige Gewebe nicht ab. Als Grundgerüst für die Zellen und das entstehende Gewebe werden neben natürlichen Materialien auch oft künstliche Materialien je nach Einsatzbereich und Anforderungen verwendet.

PulmoStent

Im Projekt PulmoStent wird ein personalisierter Atemwegsstent entwickelt, dieser kombiniert die herkömmliche Stenttechnologie mit dem Prinzip des Tissue Engineerings. Der Stent besteht aus einem mehrlagigen Aufbau: Die Innenseite wird mit einer tissue-engineerten Zellschicht, dem so genannten Epithel besiedelt. Diese Zellen bilden auf der Oberfläche zahlreiche Härchen aus, welche die Funktion des Abtransportes von Schleim aus der Lunge in Richtung Mund übernehmen. Vergleichbar ist dies mit dem „Stagediving“ bei einem Konzert: Hierbei legt sich der Künstler auf die nach oben ausgestreckten Hände des Publikums – die hier mit den Härchen zu vergleichen sind – und wird von der Zuschauermasse getragen. Das Grundgerüst des PulmoStents, das die nötige Stabilität gewährleistet, ist eine metallische, geflochtene Stentstruktur. Diese ist in eine Kunststoff-Schicht eingebettet,

welche wiederum das oben beschriebene Einwachsen in die Stentstruktur und die Ausbreitung des Tumorgewebes verhindert. Durch diesen Aufbau kann die natürliche Funktion der Luftröhre wieder hergestellt werden.

Plattformtechnologie

Das Konzept des PulmoStents – die Kombination eines Metall-Stents mit lebendem Gewebe – ist nicht nur in den Luftwegen anwendbar. Für Verengungen der Blutgefäße wurde der „BioStent“ entwickelt, der auf dem gleichen Grundprinzip beruht: Hier wird der Stent von innen mit Endothelzellen besiedelt, die auch im Körper die Blutgefäße auskleiden. Dies garantiert, dass das im Gefäß zirkulierende Blut nur eine echte körpereigene Oberfläche wahrnimmt. Kommt das Blut jedoch in Kontakt mit einer fremden Oberfläche, würde es gerinnen, das heißt so etwas wie eine Kruste innerhalb der Ader bilden, ein

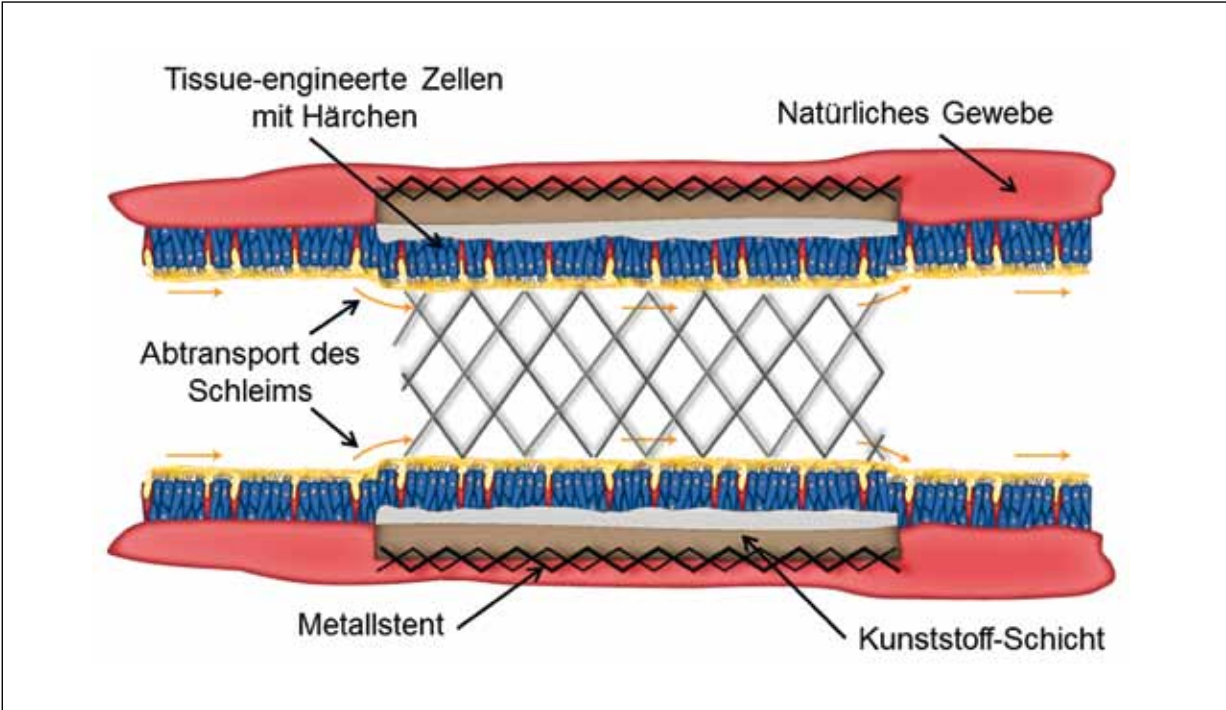
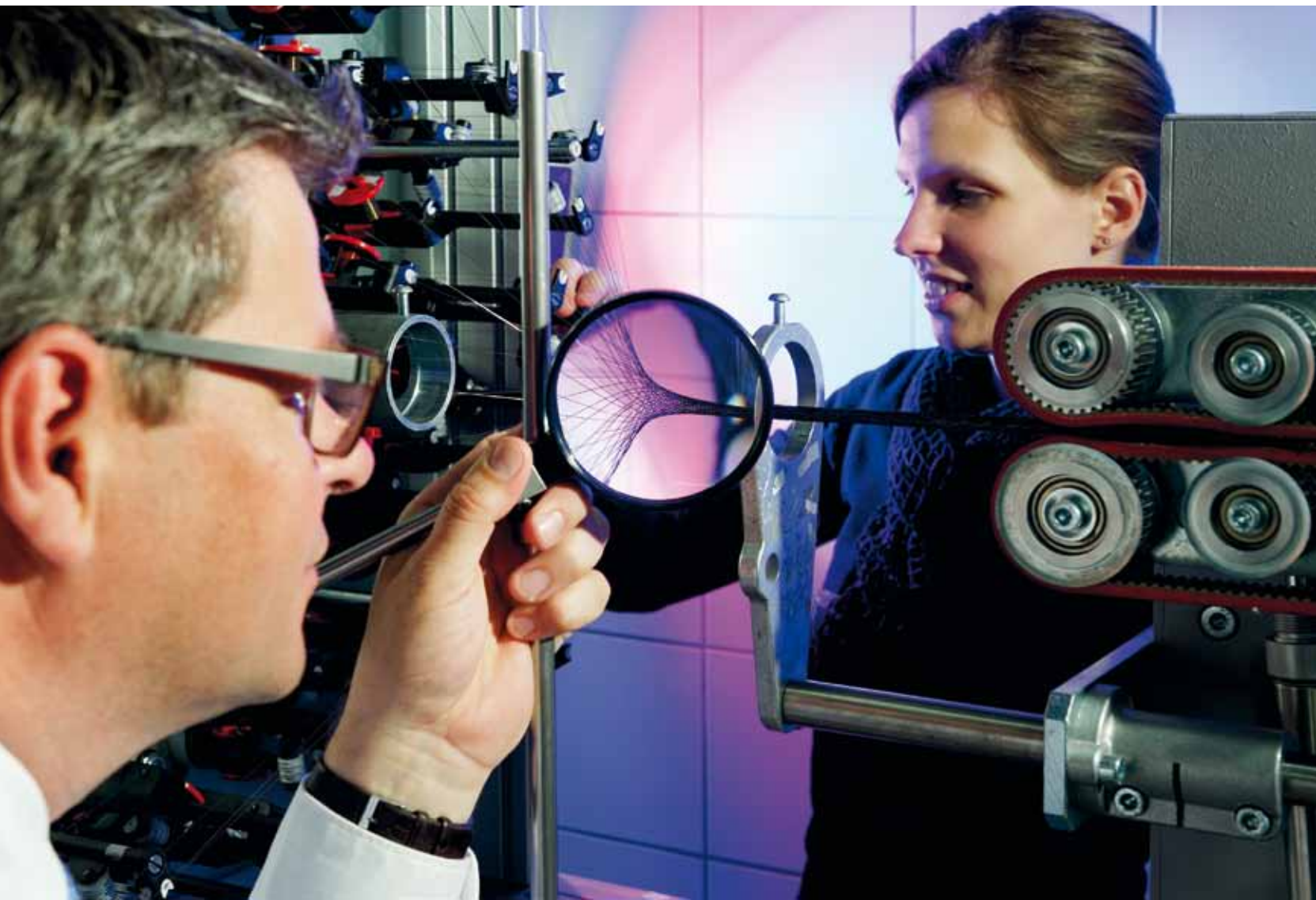


Bild 2: Konzeptbild PulmoStent.



*Bild 3: Herstellung einer geflochtenen Stentstruktur.
Foto: Peter Winandy*

*Bild 4: Optische Untersuchung eines geflochtenen Luftröhrenstents.
Foto: Peter Winandy*

Gerinnsel. Diese können im Blutkreislauf verheerende Folgen haben, wie den Ausfall ganzer Organe.

18 Neben Luftröhren und Blutgefäßen wird derzeit auch ein weiteres Organ erforscht: die Speiseröhre. Hier ist es besonders wichtig, dass die Nahrung von der Speiseröhre aktiv in den Magen transportiert wird und dieser Vorgang durch den Stent nicht verhindert wird. Auch im Fall der Speiseröhre kann ein Stent in Kombination mit Zellen bessere Therapiemöglichkeiten für Speiseröhrenkrebs liefern.

Die hier vorgestellte Plattformtechnologie zeigt einen zukunftsweisenden Bereich des Tissue Engineerings auf, der dazu beiträgt, die Lebensqualität von Patienten zu steigern und Krankenhausaufenthalte zu verringern.

Autoren:

Univ.-Prof. Dr.med. Stefan Jockenhövel hat eine Brückenprofessur für Tissue Engineering & Textile Implants am Institut für Angewandte Medizintechnik, Helmholtz-Institut für Biomedizinische Technik und am Institut für Textiltechnik.

Dr. med. Christian Cornelissen ist Arzt in der Medizinischen Klinik I der Uniklinik RWTH Aachen.

Dipl.-Ing. Kathrin Kleinsteinberg ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Textiltechnik.

Lena Thiebes, M. Sc. ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Angewandte Medizintechnik.



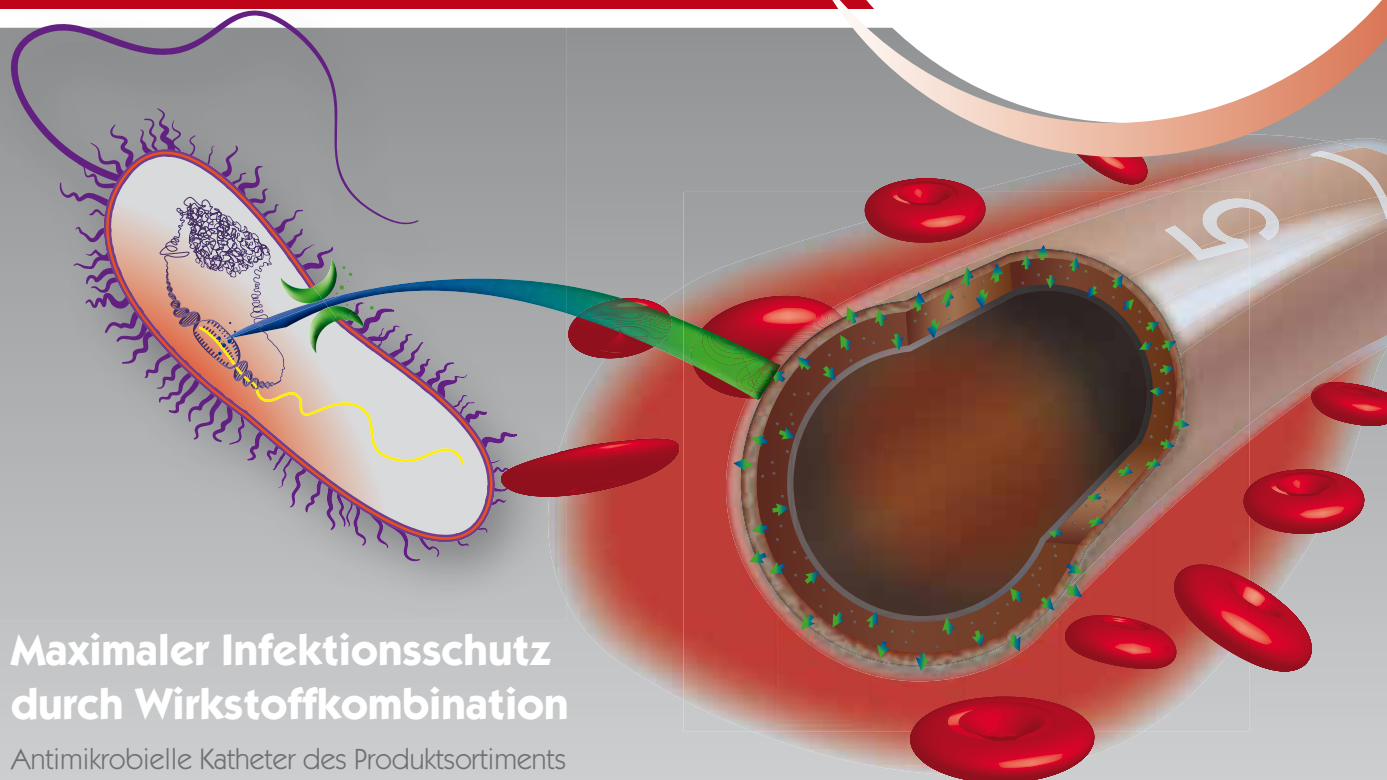
starTM Technologie

Wirkstoffkatheter für Hochrisikopatienten



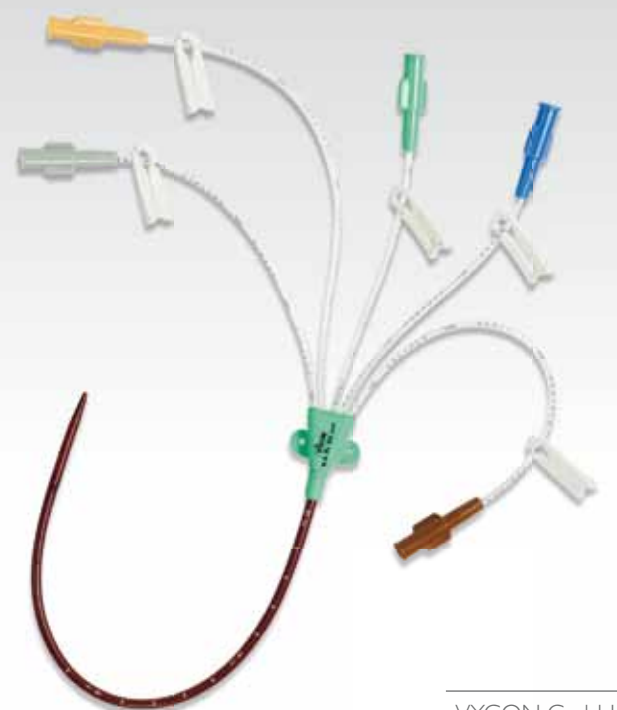
Value Life

www.vygon.de



Maximaler Infektionsschutz durch Wirkstoffkombination

Antimikrobielle Katheter des Produktsortiments **multistar**[®] wurden speziell für die Bedürfnisse von Hochrisikopatienten entwickelt. Dazu zählen Früh- und Neugeborene mit geringem Geburtsgewicht sowie ältere, multimorbide und immunsupprimierte Patienten, deren Anteil ständig steigt.



starTM Technologie: Wirkweise

- Kontrollierte Freisetzung der inkorporierten Wirkstoffe **Miconazol** und **Rifampicin** über die gesamte Liegedauer des Katheters.
- **Miconazol** wirkt fungizid und gegen gram-positive Keime. **Rifampicin** ist hochwirksam gegen schnell wachsende und stoffwechsel-inaktive Mikroorganismen im Biofilm.
- Die Kombination aus **Miconazol** und **Rifampicin** wirkt gegen ein breites Spektrum von Mikroorganismen wie Staphylokokken, Enterobacteriaceae und Candida.
- **In Vivo:** Hohe Wirkstoffkonzentration lokal am Katheter verhindert Keimwachstum.



Besuchen Sie uns auf vygon.de und erfahren Sie mehr über die **starTM** Technologie sowie unser Kathetersortiment.

Intelligente Steuerung und Regelung von Smart Life Support 2.0

Die demographische Entwicklung führt zu einer zunehmend älter und kränker werdenden Patientenschaft mit immer komplexeren Krankheitsverläufen. Gleichzeitig besteht einerseits ein zunehmender Bedarfs nach Standardisierung und andererseits ein Trend zur Individualisierung der Therapie. Gemeinsam mit dem sich schon heute abzeichnenden Fachkräftemangel entsteht so auf deutschen Intensivstationen das Bedürfnis nach zunehmender gerätetechnischer Unterstützung, welche über die rein mechanische Förderung von Flüssigkeiten und Gasen weit hinaus geht. Die Beherrschung der damit einhergehenden, immer größer werdenden Komplexität der therapeutischen Situation wird nur durch Automatisierung gelingen. Als Konsequenz werden medizinische Geräte zukünftig in bisher ungekanntem Umfang über lokale Intelligenz und medizinisches Wissen verfügen und Teilfunktionen der Therapie übernehmen, ähnlich wie dies bei Assistenzsystemen im Kraftfahrzeug heute bereits üblich ist.

Beatmungsgeräte, Dialysemaschinen, Herzunterstützungssysteme und andere lebensunterstützende Geräte werden sich zukünftig selbständig an die Bedürfnisse des Patienten anpassen. Dies wird aber nur dann gelingen, wenn geeignete Modelle über die Physiologie und das individuelle Krankheitsgeschehen existieren und als Basis für die Therapieführung eingesetzt werden können.

Auf einer Intensivstation zählt die Unterstützung von Herz und Lunge zu den wichtigsten Aufgaben. Für beide Organe sind verschiedene Therapiegeräte verfügbar, so dass bereits eine Grundlage zur Therapieoptimierung vorhanden ist. Daher fokussiert sich das Verbundvorhaben der Deutschen Forschungsgemeinschaft „Smart Life Support 2.0“ auf die Therapieführung für diese beiden Organe. Im Folgenden sollen drei neue Vorhaben skizziert werden.

Seit einiger Zeit ist bekannt, dass asynchrone pulsatile Linksherz-Unterstützungssysteme eine höhere Erfolgsquote aufweisen als kontinuierliche Systeme. Dabei scheint eine nicht hinreichende systolische Entlastung eine vollständige Erholung des Herzmuskels zu verhindern, andererseits ermöglichen die nicht-geregelten kontinuierlichen Systeme keine graduelle Reduktion der Unterstützungsleistung zur schrittweisen Gewöhnung des Herzmuskels an eine höhere Belastung. Eine intelligente, auf Pathologie-Modellen basierende Steuerung der Pumpenleistung in Abhängigkeit vom Herzzyklus könnte dieses Problem lösen und ist daher Gegenstand des aktuellen Forschungsprojektes „Bela-VAD“. Im Rahmen dieses Vorhabens soll ein Regelungs- und Steuerungskonzept erarbeitet werden, das den linken Ventrikel entsprechend seines Unterstützungsgrades systolisch möglichst optimal entlastet und dabei eine unnötige diastolische Belastung



Bild 1: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.med. Steffen Leonhardt mit Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern im Labor des Philipps Lehrstuhls für medizinische Informationstechnik.
Foto: Peter Winandy

vermeidet. Daneben sollen auch die myokardialen Erholungsprozesse (reverse remodeling) weiter untersucht und ein Konzept für die Optimierung entsprechender Entwöhnungs-Protokolle (weaning) gefunden werden.

In der Vergangenheit wurde immer deutlicher, dass eine zu starke einseitige Entlastung des linken Herzens mit linksventrikulären Unterstützungssystemen je nach vorliegender Pathologie ein – gegebenenfalls vorgeschädigtes – rechtes Herz nicht entlasten, sondern eher in Mitleidenschaft ziehen kann. Ziel des zweiten vorgelegten Verbundvorhabens „PathoMod“ ist daher die objektorientierte Modellierung der komplexen Wechselwirkung zwischen dem linken und dem

rechten Ventrikel einschließlich einer möglichen partiellen Unterstützung bezüglich der Förderleistung. Dazu sollen speziell die Modellierungs-Vorarbeiten aus dem PhysioMod-Projekt an diese Aufgabenstellung angepasst und als Grundlage für das Vorhaben eingebracht werden. Es ist davon auszugehen, dass dadurch ein verbesserter Einblick in die patientenspezifische pathologische Hämodynamik sowie eine Vorhersage der Wirkung und gezielte Ableitung von auf den Patienten abgestimmten Therapien der Rechts-Herz-Insuffizienz ermöglicht werden. Daraus ergibt sich das zweite Ziel des Forschungsvorhabens, nämlich die Erarbeitung eines modellbasierten und individualisierten Regelungs-

Lebensunterstützenden Systemen:

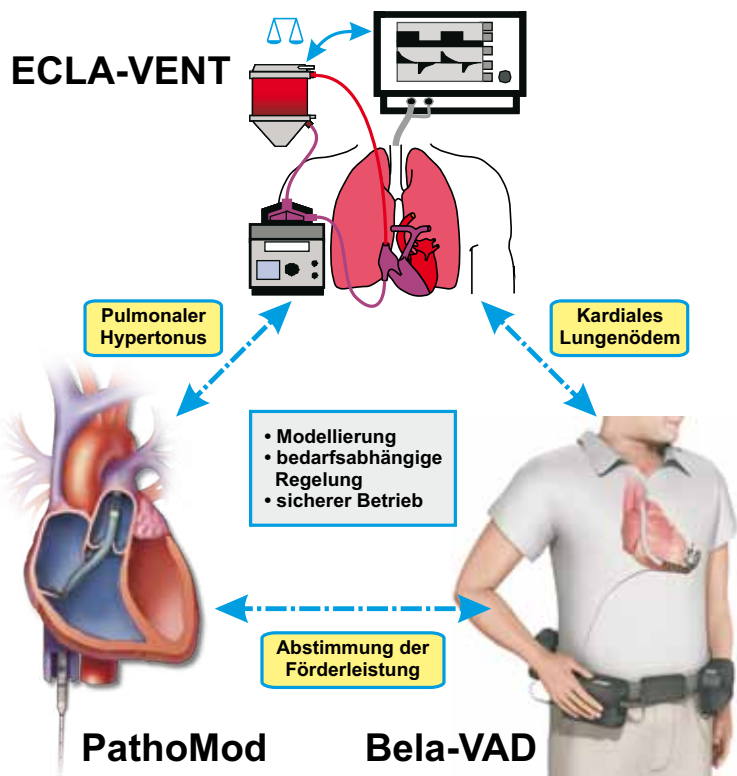


Bild 2: Wechselwirkung der drei beantragten Gemeinschaftsprojekte „PathoMod“, individualisierte Modellierung und Regelung der rechtsventrikulären Herzauswurfleistung, „Bela-VAD“, individualisierte Modellierung und Regelung der linksventrikulären Herzauswurfleistung mit besonderer Beachtung von weaning und reverse modelling, und „ECLA-VENT“, Regelungs- und Sicherheitskonzept für den gemeinsamen Betrieb von Beatmungsmaschinen und extrakorporalen Lungen-Assistenzsysteme.

Konzeptes für die intelligente rechtsventrikuläre Unterstützung. Neben der lungenprotektiven Beatmung ist die extrakorporale Lungenunterstützung (ECLA) insbesondere für besonders schwere Formen des akuten Lungenversagens eine Therapie-Option. Allerdings ist die extrakorporale Lungenunterstützung aufgrund des nichtlinearen Verhaltens nach wie vor schwer einzustellen, komplikationsträchtig und betreuungsintensiv. Um diesem Manko zu begegnen, wurden im Vorgänger-Verbundprojekt „SmartECLA“ bereits Konzepte und Verfahren für den sicheren und geregelten Betrieb der ECLA erarbeitet und erfolgreich im Tierversuch demonstriert. In der Realität werden aber Patienten im akuten

Lungenversagen immer zusätzlich künstlich beatmet. Damit wird ein Teil der Gasaustauschleistung nicht über die ECLA, sondern über den Ventilator erzielt. Da sich beide Therapien über den mittleren Beatmungsdruck und den Blutentzug auf den Kreislauf des Patienten auswirken, ist auch hier eine solide Modellierung der entsprechenden Pathologien eine wichtige Grundlage für die Erarbeitung von Regeln für eine „günstige“, aufeinander abgestimmte Einstellung beider Geräte und die bedarfsabhängige Justierung der Gasaustauschleistung. Während sich das frühere SmartECLA-Vorhaben auf die isolierte Automatisierung der ECLA-Therapie beschränkte, steht im aktuellen Forschungsvorhaben

„ECLA-VENT“ die koordinierte und gleichzeitige Therapie mit der ECLA und der künstlichen Beatmung und die daraus entstehende Wechselwirkung beider Geräte mit dem Kreislaufsystem eines schwerkranken Patienten im Vordergrund. Anhand dieser drei Vorhaben soll im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Paketantrags PAK 183-2 „Smart Life Support“ demonstriert werden, wie die zukünftige teil-automatisierte Therapie auf einer Intensivstation aussehen könnte. Dazu arbeiten Mitarbeiter aus sechs Instituten und Kliniken zusammen. Neben dem Lehrstuhl für Medizinische Informationstechnik sind dies das Institut für Regelungstechnik,

die Klinik für Herz-, Thorax-, und Gefäßchirurgie, der Lehrstuhl Informatik 11 (Software für eingebettete Systeme), die Klinik für Anästhesiologie und das Institut für Angewandte Medizintechnik. Die DFG fördert das Verbundvorhaben über drei Jahre mit 1,9 Millionen Euro.

Autor:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.med. Steffen Leonhardt ist Inhaber des Philips Lehrstuhls für medizinische Informationstechnik am Helmholtz-Institut für Biomedizinische Technik.

Verbesserte und Persona

Durch stetige technologische Fortschritte auf dem Gebiet der Nanotechnologie eröffnet sich in der Medizin ein neues Feld für therapeutische Anwendungen: die Nanomedizin. Diese hat in den letzten Jahren von fundamental neuentwickelten Konstrukten und Konzepten mit therapeutischem Potenzial profitiert, von denen einige nun nach und nach in klinischen Studien getestet werden beziehungsweise bereits getestet wurden und im klinischen Alltag angewendet werden. Als Grundlage dienen verschiedene Wirkstoffträger im Größenordnungsbereich von Nanometern, wie Polymere, Liposome und Mizellen, die benutzt

werden, um Medikamente effektiver zu ihrem Zielort im Körper zu befördern, und somit eine erhöhte Wirkstoffkonzentration am Zielort und eine verbesserte therapeutische Wirkung zu erlangen, siehe Bild 1.

Nanowirkstoffträger werden vor allem in der Tumorthherapie eingesetzt. Die Nanomedizin ermöglicht, dass sich die Eigenschaften des Wirkstoffträgers und des Chemotherapeutikums optimal ergänzen: der Wirkstoffträger vermittelt einen besseren Transport des Chemotherapeutikums zum Tumor, das dort angekommen vom Träger freigesetzt wird und somit erst vor Ort sein volles therapeutisches Potenzial

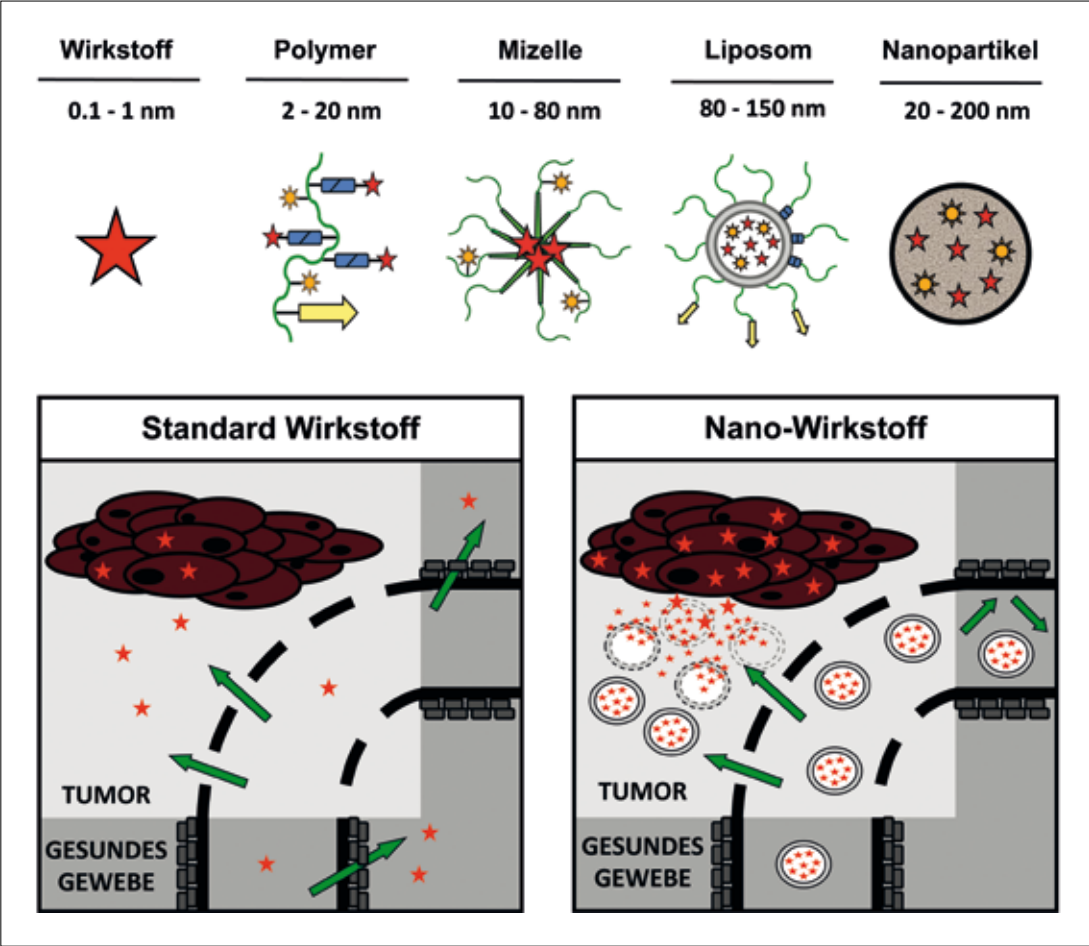


Bild 1: Oben: Beispiele klinisch relevanter Nanowirkstoffträger. Unten: Schematische Darstellung des „Enhanced Permeability and Retention“ (EPR) Effektes, welcher es Nanowirkstoffe erlaubt, sich über Zeit relativ spezifisch in Tumoren anzureichern.

lisierte Therapien durch Nanomedizin

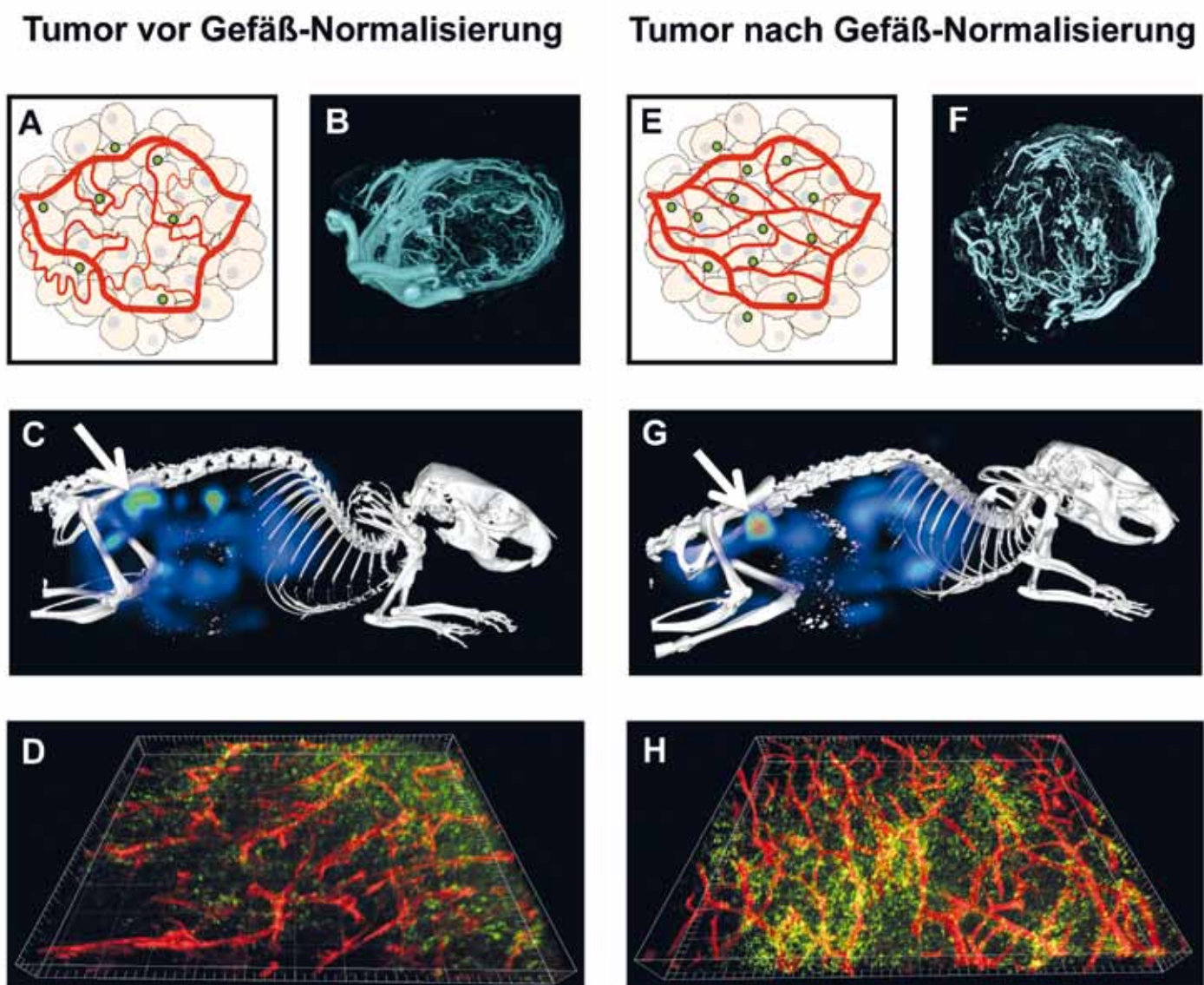


Bild 2: Schematische Darstellung des Effektes der Gefäß-Normalisierung auf die vaskulären Strukturen in Tumoren, sowie auf die Anreicherung und Penetration fluoreszenzmarkierter Nanowirkstoffträger.

A und E: Schematische Darstellung der Gefäß-Normalisierung.

B und F: hochauflösende μ CT Bildgebung der Gefäß-Strukturen in Tumoren.

C und G: Hybrid CT-FMT Bildgebung der Tumoranreicherung (Pfeile) fluoreszenzmarkierter Nanowirkstoffträger.

D und H: Analyse der Tumoranreicherung und der intratumoralen Verteilung fluoreszenzmarkierter Nanowirkstoffträger mittels Multiphotonen-Mikroskopie.

*Bild 3: In vivo Untersuchung der Angiogenese in einer tumortragenden Maus mittels Photoakustik- und Ultraschallbildgebung
Foto: Peter Winandy*

entfaltet. Ohne die Transporthilfe moderner Wirkstoffträger werden Chemotherapeutika aufgrund ihrer geringen Größe sehr schnell aus dem Körper ausgeschieden und haben somit (zu) wenig Zeit sich in Tumoren anzureichern. Darüber hinaus reichern sich Chemotherapeutika auch relativ stark im gesunden Gewebe an. Auch hier greifen Nanowirkstoffträger optimal ein: aufgrund ihrer Größe verhindern sie eine unspezifische Anreicherung in gesundem Gewebe, da die Gefäße dort relativ dicht sind. Lediglich in gesunden Geweben mit gefenstertem Endothelium und hoher Präsenz von phagozytischen Zellen, wie Leber und Milz, kommt es zu einer erhöhten Anreicherung. Diese Organe können aber in der Regel relativ gut mit solchen toxischen Substanzen umgehen, viel besser zumindest als andere gesunde Organe, wie Herz und Nieren, wo sich Chemotherapeutika ansonsten anreichern würden.

Pathologische Angiogenese, die Bildung neuer Blutgefäße, ist eines der wichtigsten Merkmale des Tumorstadiums. Ohne die ständige Ausbildung neuer Gefäße wäre eine ausreichende Versorgung der permanent proliferierenden Tumorzellen mit Sauerstoff und Nährstoffen nicht möglich. Damit sich möglichst viele Blutgefäße bilden und eine hohe Versorgung gewährleistet ist, produzieren Tumorzellen oft Angiogenese-stimulierende Wachstumsfaktoren. Die so induzierte Gefäßneubildung ist jedoch fehlerhaft und ein abnormales unstrukturiertes Gefäßsystem entsteht. Tumorgefäße können Poren mit einer Größe von bis zu 400 nm aufweisen, durch die Nanowirkstoffträger extravasieren können. Diese Eigenschaft in Verbindung mit einer langen Halbwertszeit in Blut kann zu einer hohen Anreicherung des Nanowirkstoffträgers im Tumor führen, siehe Bild 1. Diese passive Tumoranreicherung wird als „Enhanced Permeability and Retention Effect“, kurz EPR Effekt, bezeichnet. Allerdings ist der EPR Effekt in verschiedenen Tumoren unterschiedlich stark ausgeprägt. Hier scheinen vor allem die Wachstumsrate des Tumors, die Anzahl infiltrierter Immunzellen sowie die Reife der Tumorgefäße ausschlaggebend zu sein. Aus diesem Grund liegt ein Schwerpunkt unserer Forschung auf der Charakterisierung und Modulation des EPR Effekts. Durch nicht-invasive Bildgebung, (zum Beispiel Computertomographie,

Positronenemissionstomographie, Magnetresonanztomographie und Ultraschall) werden Gefäßcharakteristika wie relatives Blutvolumen, Perfusion und Permeabilität bestimmt, die eine Abschätzung des EPR Effekts von einzelnen Tumoren erlauben. So können Therapien individualisiert und Patienten im Vorhinein ausgewählt werden, die für eine 'personalisierte' Behandlung mit Nanowirkstoffen in Frage kommen.

Da der EPR Effekt auf der einen Seite die Grundlage der Anreicherung von Nanowirkstoffen bildet, auf der anderen Seite bei vielen klinisch relevanten Tumoren eher hinter den Erwartungen zurück liegt, versuchen wir den EPR nicht nur zu charakterisieren, sondern auch pharmakologisch zu modellieren und zu verstärken. Dafür werden zum Beispiel Mikrobubbles benutzt, die in der Klinik routinemäßig als Ultraschallkontrastmittel eingesetzt werden, die aber auch durch Kavitationseffekte die Durchlässigkeit von Tumorgefäßen erhöhen können. Zudem können Mikrobubbles mit Wirkstoffen beladen werden, um so mittels lokaler Anwendung von Ultraschall die Bubbles spezifisch im Tumor platzen zu lassen, und so die Wirkstoffe dort gezielt freizusetzen.

Die oben erwähnten Bildgebungsverfahren werden nicht nur für die Analyse des EPR Effektes eingesetzt, sondern kommen auch in weiteren Studien zur Anwendung, in denen zum Beispiel die Tumorangiogenese untersucht wird. Die Beeinflussung der Tumorangiogenese, die für eine ausreichende Versorgung des Tumors sorgt, macht sich die anti-angiogene Tumorthherapie zu Nutze, die als Ziel hat, die Sauerstoff- und Nährstoffzufuhr der Tumore zu verringern, und somit Tumore „verhungern“ zu lassen. Da gesundes, nicht-entzündetes Gewebe in der Regel keine neuen Gefäße ausbildet, ist ein derartiger Therapieansatz, der gezielt krankhaft neugebildete Blutgefäße im Tumor angreift, relativ spezifisch. Hier muss jedoch bedacht werden, dass anti-angiogene Therapien klinisch fast immer als Kombinationstherapie mit Chemotherapeutika eingesetzt werden, und dass nach anti-angiogener Intervention mit deutlicher Reduktion der Blutgefäße im Tumor auch entsprechend weniger chemotherapeutische Wirkstoffe im Tumor ankommen. Aus diesem Grund arbeiten



wir nicht nur an traditionellen anti-angiogenen Therapien, die zwar die Nährstoffversorgung im Tumor reduzieren, jedoch auch eine verminderte Wirkstoffanreicherung von Chemotherapeutika verursachen, sondern auch an 'Gefäß-normalisierenden' Therapien, die eine vermehrte Anreicherung von chemotherapeutischen Wirkstoffen im Tumor ermöglichen, siehe Bild 2. So werden im Rahmen eines ERC-Projektes zum Beispiel neuartige anti-inflammatorische und Blutgefäß-normalisierende Nanowirkstoffe eingesetzt, welche die Durchblutung in Tumoren homogener und effizienter machen, so dass der Wirkstofftransport in die Tumore verbessert wird, und so neue und deutlich effektivere

Kombinationstherapien ermöglicht werden.

Um vaskuläre Strukturen und deren Veränderungen nicht-invasiv mit Bildgebungsverfahren visualisieren und quantifizieren zu können, sind verschiedene Techniken etabliert worden, die es ermöglichen, die Mikroarchitektur von Tumorgefäßen mit einer räumlichen Auflösung von unter 10 Mikrometern dreidimensional darzustellen, wie die Mikro-Computertomographie (μ CT). Diese ermöglicht es, nicht-invasive therapiebegleitende Untersuchungen durchzuführen mit denen man Anzahl und Funktion der Tumorgefäße bestimmen und somit im Verlauf die Effektivität der Therapie beurteilen kann. Weiterhin können wir das Gefäßsystem



mit einem polymerisierendem Kontrastmittel ausgießen und das ausgegossene Gefäßnetzwerk ex vivo in hohem Detail mittels hochauflösender μ CT darstellen, siehe Bild 2B und 2F. Optische Bildgebungsverfahren, wie die Fluoreszenztomographie (FMT), welche Verteilungsstudien fluoreszenzmarkierter Nanowirkstoffträger sowie deren Korrelation mit der Expression molekularer Zielstrukturen im Gewebe ermöglicht, werden ebenfalls genutzt. Da nach FMT-Messungen aufgrund fehlender morphologischer Strukturen jedoch eine eindeutige anatomische Zuordnung des Fluoreszenzsignals nicht möglich ist, wurden Protokolle zur CT-FMT Hybrid-Bildgebung entwickelt, die es uns ermöglichen, die Tu-

moranreicherung fluoreszenzmarkierter Wirkstoffträger darzustellen und zu quantifizieren, siehe Bild 2C und 2G. Diese in vivo Verfahren kombinieren wir in der Regel mit ex vivo Multi-Photon mikroskopischen Untersuchungen der Tumoranreicherung und Tumorpenetration fluoreszenzmarkierter Nanowirkstoffträger, siehe Bild 2D und 2H. Die Kombination verschiedener hochauflösender Bildgebungsverfahren ermöglicht somit die Visualisierung und Quantifizierung von Therapieeffekten neuartiger anti-angiogener und Gefäßnormalisierender (Nano-) Therapien, anhand morphologischer, funktioneller und molekularer Parameter der Tumormikrovaskularisierung.

Wir sind optimistisch, dass

durch ein besseres Verständnis und eine verbesserte Bildgebung, sowie durch eine gezielte Beeinflussung der Pathophysiologie und der molekularen Regulationsmechanismen in Tumoren, der Einsatz von Nanomedizinsystemen in seiner Effektivität signifikant erhöht werden kann, und versuchen durch die Kombination von weiterentwickelten Nanowirkstoffträgern und neuartigen Bildgebungsansätzen in den kommenden fünf bis zehn Jahren eine wichtige Grundlage für die personalisierte (Nano-) Medizin zu schaffen.

Autor:
Dr. Dr. Twan Lammers ist Arbeitsgruppenleiter Nanomedizin und Theranostik am Institut für Experimentelle Molekulare Bildgebung.

Die Mechanobiologie erforscht Grundlagen für die

Unser Leben ist maßgeblich von mechanischen Kräften geprägt. Alles kostet Kraft: Gehen, Essen und Atmen. Ständig wirken Kräfte auf und in uns, zum Beispiel als Schallwelle beim Hören, als Puls beim Herzschlag oder als Dehnungsreiz wenn die Blase voll ist.

Die grundlegende biologische Einheit unseres Körpers ist die Zelle. Ein Erwachsener besteht aus mehr Zellen (10^{14}) als die Milchstraße Sterne hat (10^{11}). Es sind diese Zellen, die die Kräfte in unserem Körper messen und erzeugen. Eine durchschnittliche Zelle ist dünner als ein feines Blatt Papier und mit 1 ng so leicht, dass sie auf keiner Waage gewogen werden kann. Wie können so winzige Strukturen Kräfte erfassen und selbst nennenswerte Kräfte entfalten? Diese Fragen stehen im Mittelpunkt der Mechanobiologie. Die Antworten sind nicht nur wissenschaftlich spannend, sondern auch wichtig für das Verständnis und die Behandlung zahlreicher Erkrankungen, da sie für medizintechnische Anwendungen nutzbar gemacht werden können.

Was Zellen spüren

Grundsätzlich haben die meisten Zellen das Bestreben, an einem festen Ort zu bleiben. Dabei sind sie durchaus anpassungsfähig was die Geometrie anbetrifft, siehe Bild 1. Es ist ihnen aber nicht egal, ob der Untergrund auf dem sie leben, weich oder hart ist. Ein Beispiel: Auf weichem Untergrund entwickeln sich Stammzellen eher zu Fettzellen, auf hartem Untergrund eher zu Knochenzellen. Und Zellen, die gerne hart liegen, wandern im

Körper bevorzugt in harte Gewebe. Mechanische Kräfte spielen demzufolge eine bedeutende Rolle bei der Entwicklung des Menschen. Ein anderer Aspekt: Der Umstand, dass Tumoren oft steifer sind als ihre Umgebung, liefert einen neuen Ansatz, um das Wachstum von Tumoren besser zu erklären. Die Härte des Untergrundes entscheidet auch darüber, wie Zellen sich anheften, denn je härter der Untergrund desto ausgeprägter ist das Zellskelett, das Zytoskelett. Das Zytoskelett gibt Zellen die notwendige mechanische Stabilität. Was aber heißt stabil in diesem Zusammenhang? In einer Gemeinschaftsarbeit konnten Wissenschaftler des Instituts für Anatomie und Zellbiologie, des Lehrstuhls für Bildverarbeitung und des Instituts für Werkstoffe der Elektrotechnik mit Kollegen vom Forschungszentrum Jülich bei der Beantwortung dieser Frage jetzt große Fortschritte erzielen, siehe Kasten Seite 29. Diese interdisziplinäre Zusammenarbeit verdeutlicht, dass Fragen der Mechanobiologie nicht von einem Fachgebiet alleine bearbeitet werden können. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Oberflächentopographie: im Gegensatz zu flachen Zellkulturschalen sind unsere Zellen in komplexe Gewebe integriert. Die Anordnung und Struktur der zellulären Anknüpfungspunkte beeinflusst dabei ebenfalls das Zellverhalten. Die Auswirkung von Nanostrukturierung auf Differenzierungsprozesse wird beispielsweise in einem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Kooperationsprojekt des Fraunhofer-Institutes

für Lasertechnik und des Helmholtz-Instituts für Biomedizinische Technik untersucht.

Krankheiten und Therapien

Zellen haben verschiedene Möglichkeiten, äußere Kräfte zu messen. Dazu nutzen sie Ionenkanäle, die beispielsweise durch Dehnung, Scherkräfte, Kälte oder Wärme aktiviert werden; oder sie nutzen Rezeptoren, die Zellen in ihrer Umgebung verankern und Verformungen der Umgebung in das Zellinnere übertragen. Der zelluläre Prozess, der die mechanischen Kräfte in sinnvolle Information übersetzt, wird als Mechanotransduktion bezeichnet. Störungen der Mechanotransduktion sind für zahlreiche Erkrankungen verantwortlich, wie Taubheit, wenn Schallwellen nicht mehr dekodiert werden, oder Muskelschwäche, wenn Kräfte nicht richtig weitergeleitet werden können.

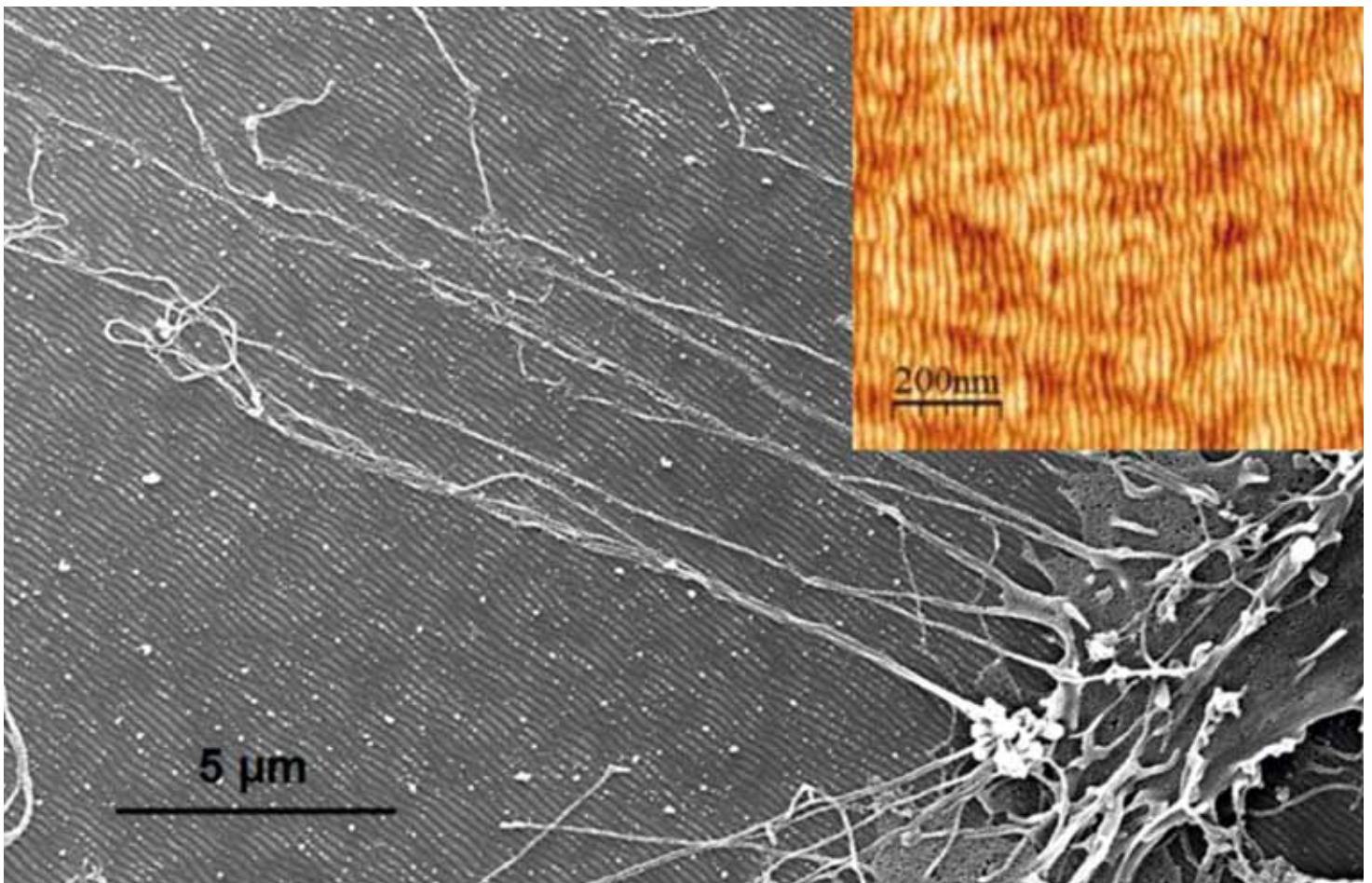
Eine Therapie, die immer wieder erhebliche Kräfte auf Patienten überträgt, ist die künstliche Beatmung. Diese ist bei Patienten mit einem akuten Lungenversagen, das bei schweren Lungenentzündungen oder nach Blutvergiftungen auftreten kann, erforderlich. Die Kunst besteht darin, die Lungen möglichst schonend zu beatmen. Solche Fragen werden in dem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Verbundprojekt „Smart Life Support“ erforscht, in dem die Klinik für Thorax, Herz- und Gefäßchirurgie, die Klinik für Anästhesiologie, das Helmholtz-Institut für Biomedizinische Technik und das Institut für Regelungstechnik zusammen

Welche Kräfte wirken auf Zellen und wie beeinflussen sie deren Funktion?

Medizintechnik

arbeiten. In Ergänzung dazu untersuchen das Institut für Pharmakologie und Toxikologie zusammen mit dem Institut für Numerische Mechanik der TU München die mechanischen Kräfte, die bei der Beatmung entstehen, sowie die damit verbundene Mechanotransduktion. Diese Untersuchungen zielen darauf ab, die bei der künstlichen Beatmung erzeugten Kräfte zu minimieren oder Medikamente zu entwickeln, die die Mechanotransduktion positiv beeinflussen.

*Bild 1: Pseudopodien von humanen Osteoblasten-ähnlichen Zellen, die sich entlang einer maßgeschneiderten Nanostruktur einer Aluminiumoxid (Al_2O_3) Monokristall-Oberfläche ausgerichtet haben.
Quelle: Lehr- und Forschungsgebiet Zahnärztliche Werkstoffkunde und Biomaterialforschung*



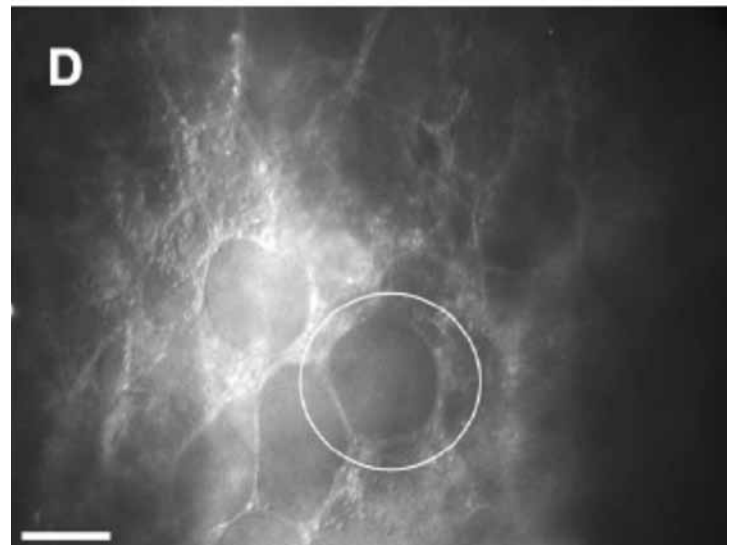
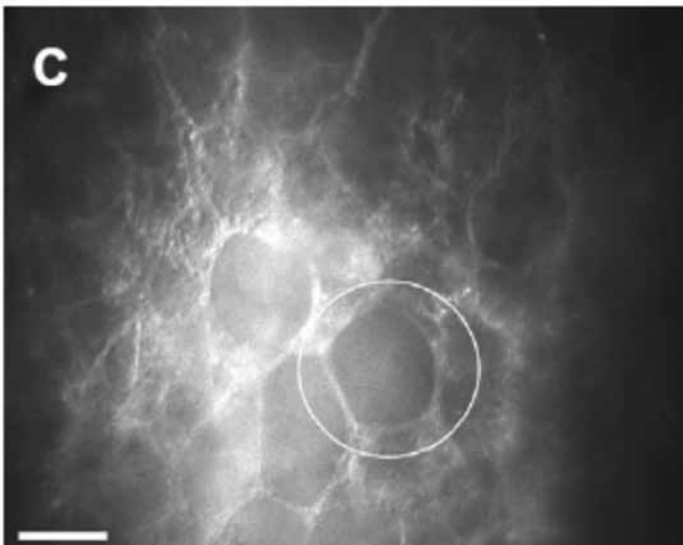
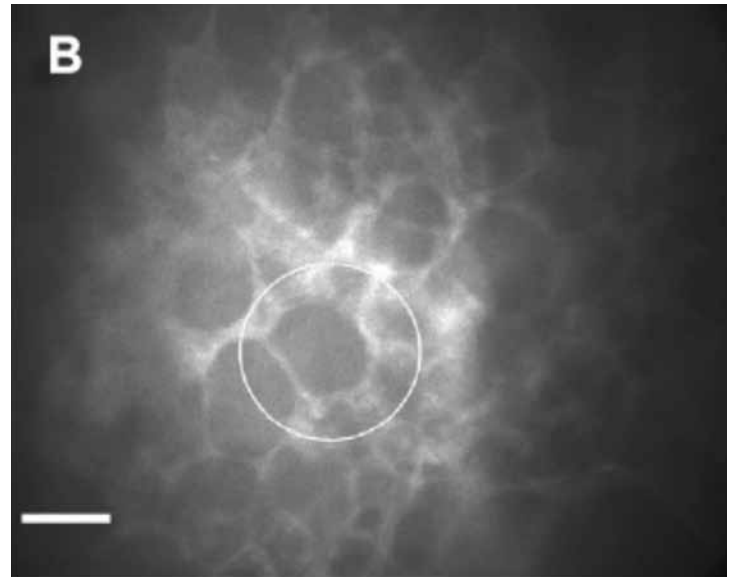
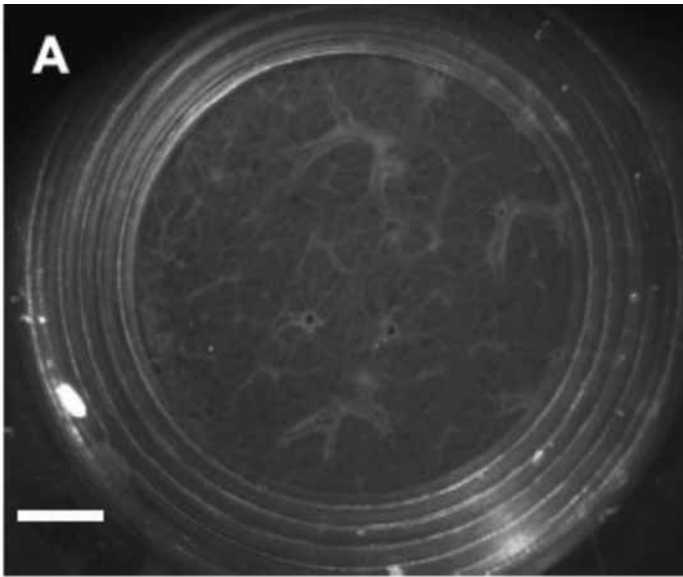


Bild 2: Dehnung von Lungengewebe in einem Bioreaktor unter dem Mikroskop (A). Die wabenförmigen Strukturen sind die Alevolen, in denen der Gasaustausch stattfindet. Die Abbildungen verdeutlichen die Dehnung der Alevolen bei einem tiefen Atemzug.
Quelle: Institut für Pharmakologie und Toxikologie

Wachstum mit Kraft

Die Ergebnisse der Mechanobiologie zeigen, dass Zellen, und damit unser gesamter Organismus, nur vor dem Hintergrund der mechanischen Kräfte innerhalb und außerhalb der Zelle verstanden werden können. Das bedeutet auch, dass die bisherigen Ansätze der Zellkultur überdacht werden müssen. In der klassischen Zellkultur, wie sie sich in nahezu jedem biomedizinischen Labor findet, werden Zellen in Plastikschalen ausgesät und dann in Brutschränken unter statischen Bedingungen inkubiert. Unter diesen Bedingungen wachsen die Zellen auf einem Untergrund, der millionenfach härter ist als die natürliche Umgebung und ohne zusätzliche mechanische Einflüsse. Wie problematisch dieses Vorgehen sein kann, lässt sich an den Hemmstoffen der Cyclooxygenase-2 (COX-2) illustrieren, die vor etwa 15 Jahren als magenfreundliche Nachfolger des Medikaments Aspirin gefeiert

wurden – bis sich herausstellte, dass ihre dauerhafte Einnahme Herzinfarkte begünstigen kann. Man hatte die COX-2-Hemmstoffe an Endothelzellen – diese kleiden die Blutgefäße von innen aus – in der klassischen Zellkultur getestet, in der die COX-2 bei der Produktion von Schutzfaktoren gegen Gefäßprobleme keine große Rolle spielt. Daraus hatte man geschlossen, dass diese Medikamente sicher sein würden. Im Körper sind die Endothelzellen allerdings Scherkräften ausgesetzt, verursacht durch das vorbeifließende Blut. Durch die Scherkräfte wird die COX-2 angeschaltet und Prostazyklin freigesetzt. Dieser blutflussabhängige Schutzmechanismus wird durch COX-2 Hemmstoffe beeinträchtigt und erklärt die beobachteten Nebenwirkungen.

Es wird in Zukunft unerlässlich sein, Zellen auf weichen Untergründen und unter ihrer typischen mechanischen Belastung zu züchten, so wie dies derzeit

in einem durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft geförderten Projekt des Lehrstuhls für Pharmakologie und Toxikologie und des Instituts für Werkstoffe der Elektrotechnik geschieht. Man kann mechanische Kräfte auch gezielt zur Züchtung von Zellen für therapeutische Zwecke einsetzen. Dazu werden Zellen in Bioreaktoren ausgesät und dort mechanisch stimuliert zur Züchtung von Knochen- und Knorpelzellen, von Herzmuskelzellen oder von Atemwegen. Auf diesem Wege sollen biologische Implantate zur Heilung von Knochenbrüchen, Herzkrankungen oder Atemwegsdefekten gewonnen werden.

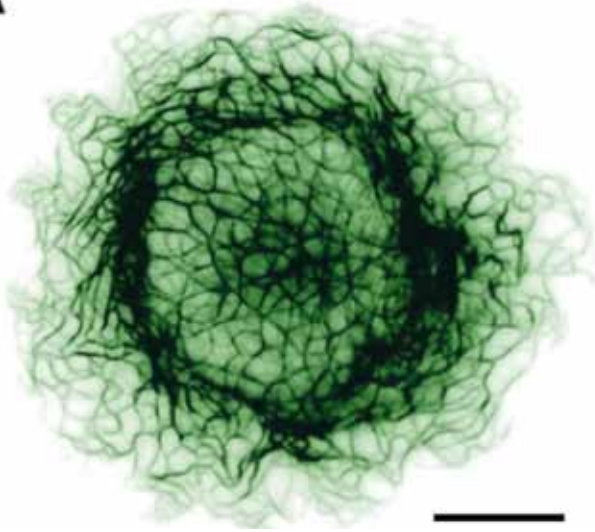
Boost-Fund-Projekt „MechCell“

Mechanobiologie ist ein relativ neues Gebiet, dessen Fragen nur gelöst werden können, wenn Biomediziner und Ingenieure eng zusammen arbeiten. Das Boost-Fund-Projekt „MechCell“ bietet hierfür beste Voraussetzungen:

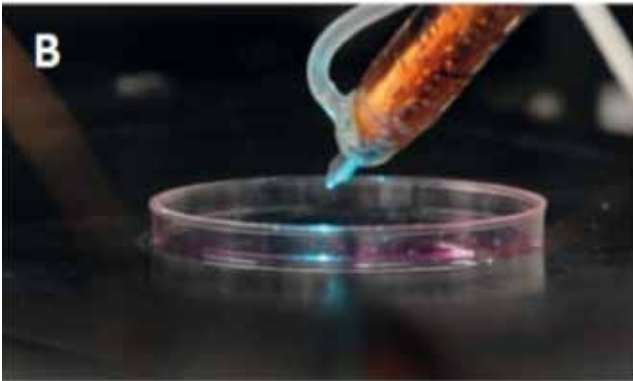
Mit der Berücksichtigung der mechanischen Dimension gewinnt die Zellbiologie eine wesentliche Erweiterung mit hoher Relevanz für die Grundlagenforschung, sowie für das Verständnis von Krankheiten und deren Therapie.

Autor:
Univ.-Prof. Dr.rer.nat. Stefan Uhlig ist Inhaber des Lehrstuhls für Pharmakologie und Toxikologie.

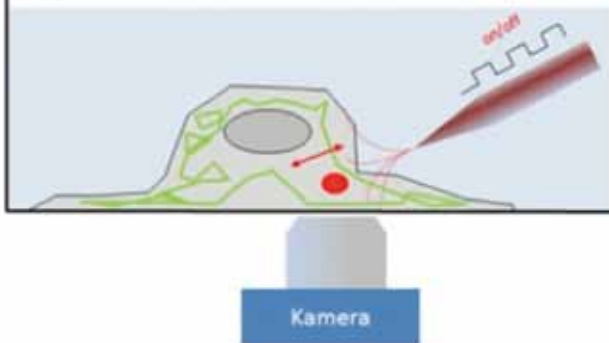
A



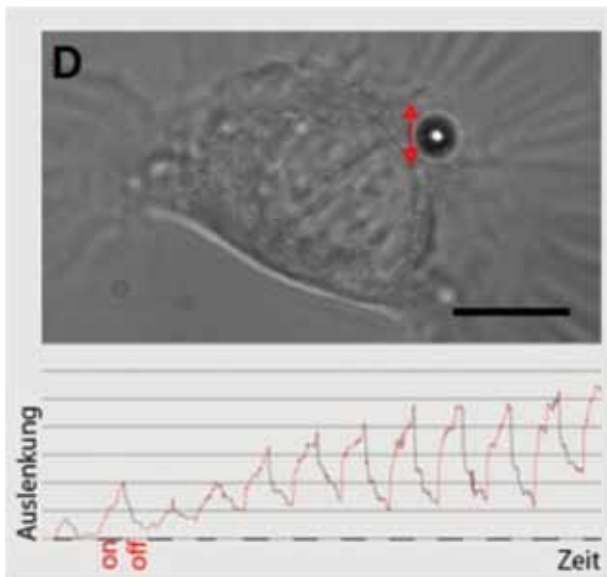
B



C



D



Untersuchung der mechanischen Eigenschaften des Zytoskeletts in lebenden Zellen

Die Zellfestigkeit wird ganz wesentlich von fadenförmigen Gerüststrukturen bestimmt, die ein hochkomplexes dreidimensionales Netzwerk im Zellinneren ausbilden, das Zytoskelett. In den Oberflächenzellen, die besonders starken mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt sind, findet sich ein stark entwickeltes Zytoskelett, das größtenteils aus Keratinen aufgebaut ist. Die Abbildung A zeigt das Keratinzytoskelett einer einzelnen Zelle in einer Kulturschale. Mit einem genetischen Trick wurde es so markiert, dass es grün leuchtet. Man kann erkennen, dass es ein dicht gebündeltes Mattenwerk um den in der Mitte der Zelle liegenden Zellkern bildet. Der Größenbalken entspricht 1/100 mm. Störungen der Netzbildung sind unter anderem Ursache von Blasenbildenden Hautkrankheiten. Um herauszufinden, wie sich die zugrunde liegenden Veränderungen des Keratinzytoskeletts auf intrazelluläre mechanische Eigenschaften auswirken, wurde der in B und C gezeigte Experimentalaufbau entwickelt. Hierbei werden Epithelzellen von normalen und veränderten Hautzellen in Kulturschalen gezüchtet. In das Zellinnere werden magnetische Kügelchen mit einem Durchmesser von etwa 1/500 mm durch Spezialverfahren eingeschleust, die mit Hilfe eines sehr starken Elektromagneten (rechts) mit definierten Kräften bewegt werden. Bei Einschalten des Magneten wandern die Kügelchen in Richtung auf den Magneten zu, beim Ausschalten schnellen sie wieder etwas zurück. Die zu beobachtenden Bewegungsmuster erlauben Rückschlüsse auf die viskoelastischen Eigenschaften des Zellinneren. Das Beispiel in D zeigt eine mikroskopische Aufnahme einer Zelle, die ein Magnetkügelchen aufgenommen hat (Größenbalken wiederum 1/100 mm). Die beobachteten Auslenkungen des Kügelchens bei Ein- und Ausschalten des Magneten (on, off) sind darunter zu sehen. Mit den Messergebnissen konnten wir unsere Hypothese bestätigen, dass dem Keratinzytoskelett eine zentrale Bedeutung für die biomechanischen Eigenschaften von Oberflächenzellen zukommt. Rudolf Leube.

„Plug and Play“ in OP

OR.NET – Sichere dynamische



Viele werden das Problem kennen: Die neue HiFi-Anlage im Wohnzimmer soll der Raumgröße gemäß einen guten Sound beziehungsweise eine entsprechende Musikleistung ermöglichen. Wie stelle ich nun meine Musikanlage zusammen? Eine gute HiFi-Anlage besteht aus mehreren Geräten, die das Abspielen verschiedener Medien ermöglicht und einem Verstärker, der die Signale über Boxen an die Außenwelt weitergibt. Klangfreunde können sich die einzelnen Geräte nach ihren Wünschen zusammenstellen, die besten Teilkomponenten mit einem passenden Funktionsspektrum aussuchen und diese dann nach Lust und Laune kombinieren. Auch in einem Operationssaal kommen mehrere Geräte zum Einsatz, die möglichst gut „zusammenspielen“ sollen. Doch über Möglichkeiten, die für Käufer von HiFi-Systemen obligatorisch sind, verfügen Operationsteams und Klinikbetreiber heute nicht. Einen integrierten Operationssaal gibt es nur aus einer Hand als herstellerspezifische Lösung. Ist dieser einmal installiert, ist für Kliniken und Chirurgen heute eine flexible Zusammenstellung der jeweils „besten“ Geräte für eine optimale operative Versorgung des Patienten technisch nur sehr eingeschränkt möglich. Durch die mangelnde Flexibilität können teilweise deutlich höhere Kosten entstehen und die Einführung neuer innovativer Lösungen blockiert oder verzögert werden.

Im Gesundheitswesen findet seit geraumer Zeit ein Paradigmenwechsel statt: weg von Inselösungen hin zu standardisierten, vernetzten Systemen. So sind Integration und Vernetzung im Bereich der medizinischen IT und dem Operationssaal bereits seit

Jahren ein großes Thema. Zurzeit bieten die Medizinprodukte nur eine eingeschränkte Interoperabilität. Was heißt das? Die (Daten-) Schnittstellen von Medizinprodukten sind nicht offen, sondern proprietär. Damit sind die Vernetzung beziehungsweise der Datenaustausch meist nur zwischen Produkten eines Herstellers oder bestimmten Fabrikaten untereinander möglich – und auch das oft nur sehr eingeschränkt. Gemeinsame Standards für den Datenaustausch und die Vernetzung einzelner Medizinprodukte untereinander, sowie mit angrenzenden IT-Systemen fehlen. Ein weiteres Problem stellt die Sicherheit dar. Die heutigen Medizinprodukte sind ein großes Risiko für die IT-Netze, da es oft keinen oder nur einen sehr eingeschränkten Virenschutz gibt. Gleichzeitig bergen aufeinander nicht abgestimmte Medizinprodukte erhebliche Fehlbedienungsrisiken. Damit verbunden ist die Problematik des Risikomanagements, da die Betreiber in der Verantwortung sind, wenn sie Medizinprodukte in „Eigenregie“ untereinander vernetzen und in Verbindung mit IT-Systemen einsetzen.

Diese Probleme adressiert das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Projekt OR.NET. Bisherige grundlegende Konzepte für die sichere dynamische Vernetzung von Medizinprodukten im OP sollen im Gesamtkontext klinischer IT-Systeme zusammengeführt und standardisiert weiterentwickelt werden. Neben der technischen Entwicklung stehen dabei auch die Aspekte der zukünftigen Zulassung als Medizinprodukt, der Betriebstauglichkeit im Alltag eines Krankenhauses sowie der internationalen Standardisierung durch Normungsgre-

mien im Fokus. Hierfür werden im Projekt OR.NET grundlegende Konzepte für die sichere dynamische Vernetzung von Medizinprodukten und IT-Systemen erarbeitet, evaluiert und in Normierungsaktivitäten überführt.

Kernziele des Projektes sind dabei:

- Eine standardisierte Interoperabilität für alle Medizingeräte und IT-Systeme. Die Betreiber können unabhängig von der Koppelung der Medizingeräte ihre Kaufentscheidung treffen und somit zur freien Marktentwicklung beitragen.
- Sichere Medizinprodukte beziehungsweise Lösungen und Produkte mit denen die Medizinprodukte ohne Zusatzaufwand in die Krankenhaus-Netze integriert werden können.
- Sichere Bedienung durch eine Optimierung der Mensch-Maschinen-Interaktion.
- Zulassung von Kombinationen von Medizinprodukten und IT-Systemen über definierte Architektur- und Schnittstellenstandards, die den Betrieb flexibel vernetzbarer modularer Systeme mit einem in der klinischen Praxis umsetzbaren Risikomanagement ermöglichen.

Bei OR.NET bilden 50 Projektpartner und über 20 assoziierte Partner aus ganz Deutschland ein interdisziplinäres Konsortium aus klinischen Anwendern und Betreibern, Wissenschaftlern, Herstellern, Standardisierungsorganisationen und regulierenden Stellen. In den nächsten drei Jahren steht ein Gesamtbudget von rund 18,5 Millionen Euro zur Verfügung, wovon rund 15 Millionen Euro aus Bundesmitteln stammen. Sprecher des Projektkonsortiums ist Prof. Dr. med. Björn Bergh, Direktor des Zentrums für Informations- und Medizintechnik



(ZIM) am Universitätsklinikum Heidelberg. Koordinatoren und stellvertretende Sprecher sind Prof. Dr.-Ing. Klaus Radermacher, Leiter des Lehrstuhls für Medizintechnik im Helmholtz-Institut für Biomedizinische Technik der RWTH Aachen und Prof. Dr. Tim C. Lüth, Leiter des Lehrstuhls für Mikrotechnik und Medizingeräte-technik der Technischen Universität München.

An der RWTH Aachen entsteht unter der Leitung des Lehrstuhls für Medizintechnik ein Teildemonstrator zur minimal-invasiven computerunterstützten Wirbelsäulenchirurgie. Dieser wird in enger Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für medizinische Informationstechnik, Prof. Leonhardt, sowie den Kliniken für Neurochirurgie, Prof. H. Clusmann, Anästhesiologie, Prof. R. Rossaint, und Orthopädie, Prof.

und Klinik

Vernetzung in Operationssaal und Klinik



M. Tingart, der Uniklinik RWTH Aachen und zahlreichen Industriepartnern entwickelt. Mit dem Demonstrator sollen typische Szenarien und Herausforderungen, wie sie typischerweise bei Wirbelsäulenoperationen auftreten, genau analysiert und durch entsprechend flexible und sichere Vernetzungslösungen besser unterstützt werden.

Neben der Integration der für diese Demonstration erforderlichen Geräte und Funktionalitäten wird zudem ein Prototyp für einen integrierten anästhesiologischen Arbeitsplatz aufgebaut. Dieser berücksichtigt den jeweiligen Nutzungskontext, wie den Operationssaal oder die postoperative Nachsorge, sowie die Möglichkeit einer fachlichen Supervision durch einen „Tele-Oberarzt“. Unter besonderer Berücksichtigung innovativer, interdisziplinär

entwickelter Bedienkonzepte sollen intelligente Alarmkonzepte und situationsadaptive Entscheidungsunterstützungs-Systeme entwickelt werden.

Neben den notwendigen technischen Entwicklungen, die mit den Partnern des Gesamtkonsortiums entstehen, verfolgen die Aachener Wissenschaftler folgende wichtige Aspekte:

- Ein sicheres Bedienkonzept der vernetzten Geräte – auch aus dem sterilen Bereich heraus – durch eine prospektive Bewertung und Optimierung der Mensch-Maschine-Interaktion.
- Die Kondensation von patientenindividuellen Informationen für eine vereinfachte Entscheidungsunterstützung und eine intraoperative Datenpräsentation, besonders im Bereich der Anästhesie.
- Die Erforschung und Entwick-

lung von Risikomanagementtools, für Human-Risiken und technische Risiken, die den Betreiber bei einer modularen Risikoanalyse unterstützen.

- Methoden, Techniken und Werkzeuge für einen automatisierbaren Nachweis sicherer Systeme bei der Inbetriebnahme sowie dem Betrieb.
- Entwicklung von effizienten Zulassungsstrategien, -methoden und -pfaden für Softwarekomponenten und Geräte offene modularer Systeme unter besonderer Berücksichtigung der Anforderungen an die Zulassung aus juristischer Sicht sowie aus Betreibersicht.

Bis Herbst 2015 wird der Demonstrator in Aachen entstehen, um eine dynamische Vernetzung von Medizingeräten und IT-Systemen im Operationssaal zu zeigen. Außerdem steht er zum

Testen der entwickelten Konzepte und Tools zur Verfügung.
www.ornet.org

Autoren:

Dipl.-Inform. Julia Benzko ist Assistentin der Projektleitung OR.NET mit dem Forschungsschwerpunkt Mensch-Maschine-Interaktion im Operationssaal am Lehrstuhl für Medizintechnik.

Dipl.-Ing. Armin Janß ist Leiter des Teams Integration, Risikomanagement und Usability-Engineering am Lehrstuhl für Medizintechnik sowie Leiter des OR.NET-Teilprojekts TP3 Zulassungsfähigkeit.



*Bild 1: So könnte es aussehen:
Sichere und einfache Geräte-
nutzung im integrierten offenen
Operationssaal der Zukunft
Foto: Peter Winandy*



Robotergeführte Patientenliege in der Radiotherapie

Herz-Kreislauferkrankungen sind in Deutschland nach wie vor die häufigste Todesursache, 40,2 Prozent aller Sterbefälle in 2013 waren darauf zurückzuführen. Zweithäufigste Todesursache sind Krebserkrankungen: Insgesamt erliegen in Deutschland jährlich 221.500 Menschen einem Krebsleiden. Die am häufigsten diagnostizierten Krebsarten sind Tumore in den Verdauungs- oder in den Atmungsorganen. Bei den Behandlungsmethoden spielt die Radiotherapie eine wichtige Rolle. Sie ist eine etablierte Technik zur Zerstörung von Tumorzellen, deren Anwendung allerdings auch stets eine Schädigung gesunder Zellen mit sich bringt. Ist die Lage des zu bestrahlenden Tumors unveränderlich und bekannt, so kann mithilfe physikalischer Modelle ein Therapieplan ausgearbeitet werden, der eine exakte Dosisapplikation und somit minimale Belastung gesunder Zellen gewährleistet.

34 Zielkonflikt bei der Behandlung
Variiert die Gewebelage während der Bestrahlung als Konsequenz physiologischer Vorgänge, wie durch Atmung, Herzschlag oder Verdauung, so erschwert dies die Berechnung und Anwendung einer optimalen Dosisverteilung. In der aktuellen medizinischen Praxis wird oft eine Anpassung des Fokusbereiches der Bestrahlung an die statistische Positionsverteilung des zu zerstörenden Tumorgewebes praktiziert.

Dies bedeutet eine Ausdehnung des Fokusbereiches der Bestrahlung so weit, dass das Tumorgewebe zu jedem Zeitpunkt in diesem Bereich enthalten ist. Diese Praxis hat zur Folge, dass auch gesundes, den Tumor umlagerndes Gewebe hohen Strahlendosen ausgesetzt wird. Dies führt zu einer Verschärfung der Nebenwirkungen der Radiotherapie und macht in einigen Fällen eine Anwendung dieser Therapieform unmöglich. Es liegt also ein Zielkonflikt vor: An erster Stelle geht es um die Zerstörung des kranken Gewebes mit einer hohen Strahlendosis. Gleichzeitig hat die Schonung des gesunden Gewebes durch eine möglichst geringe Bestrahlung hohen Stellenwert.

Überwinden des Zielkonfliktes durch integrative Forschung

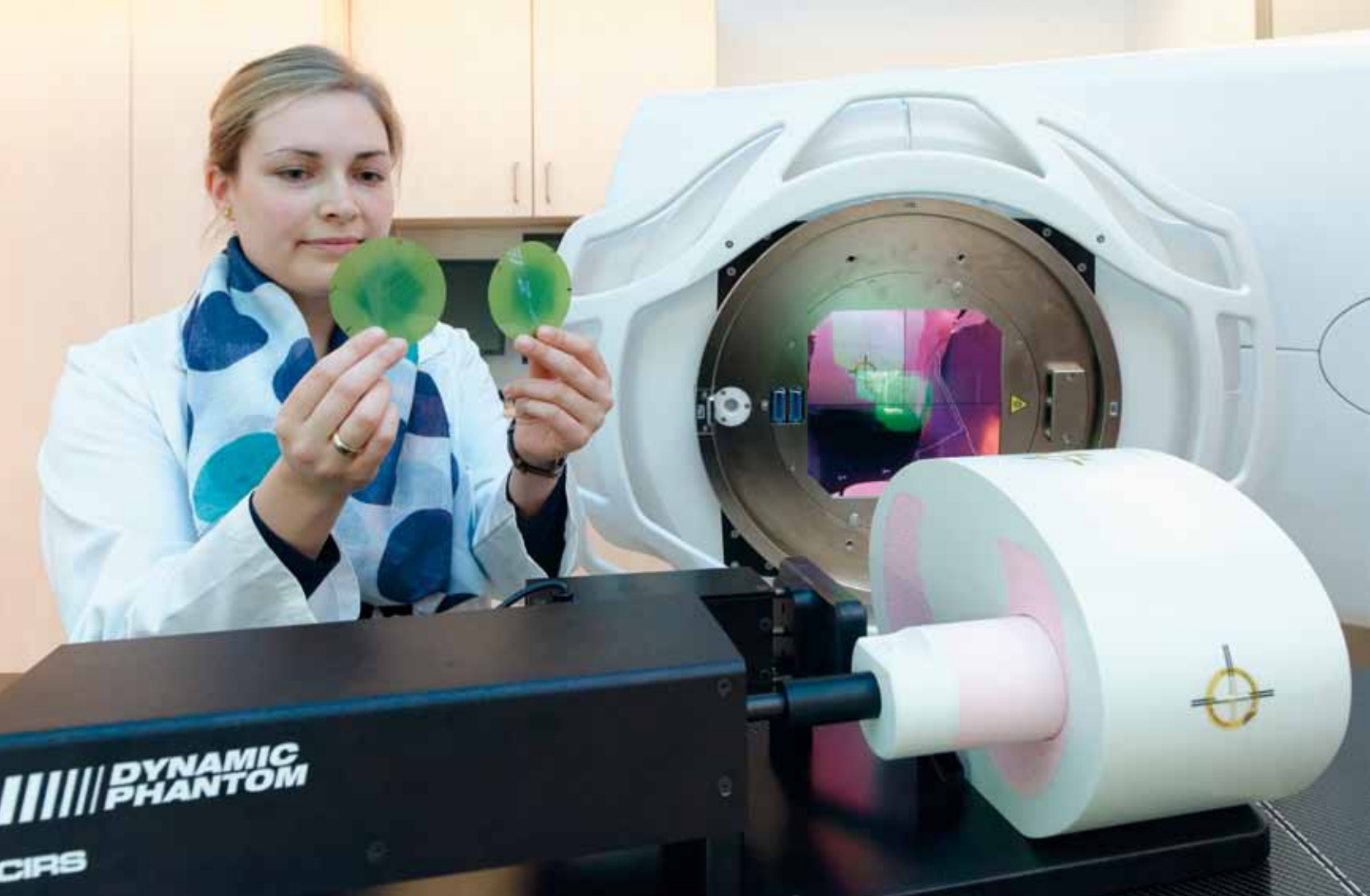
Um diesen Zielkonflikt zu überwinden, hat sich an der RWTH ein interdisziplinäres Forscherteam aus Forschungsinstituten und deutschen Medizintechnik-Unternehmen formiert. Kern des in diesem Verbund verfolgten Lösungsansatzes ist eine robotergeführte Patientenliege: Sie kompensiert individuell die Tumorbewegung und so die Position des Tumors im Verhältnis zum Therapiestrahle durch die entsprechende Gegenbewegung des Tisches. Damit kann das Zielvolumen verkleinert und möglichst nah um den Tumor herum festgelegt werden. Auf diese Weise wird weniger umliegendes, gesundes Gewebe in Mitleidenschaft gezogen und der Patient erleidet weniger toxische Nebenwirkungen.

*Bild 1: Das Forscherteam der RWTH und der Uniklinik RWTH Aachen hat sich das Ziel gesetzt, den üblichen Tischpositionierer durch eine flexible Roboterkinematik zu ersetzen.
Foto: Peter Winandy*



Reduktion der Strahlenbelastung gesunder Gewebebestandteile





*Bild 2: Durch den Einsatz der robotergeführten Patientenliege soll im Fall von Bewegungen physiologischen Ursprungs der Zielgewebestrukturen eine signifikante Reduktion der Strahlenbelastung gesunder Gewebebestandteile erreicht werden.
Foto: Peter Winandy*

*Bild 3: Zum Team gehören Ärzte und Physikerinnen der Klinik für Radioonkologie und Strahlentherapie, Mathematiker aus dem Institut für Regelungstechnik und Elektrotechnikerinnen aus dem Institut für Angewandte Medizintechnik.
Foto: Peter Winandy*

Die Entwicklung der robotergeführten Patientenliege findet in Kooperation mit Industrieunternehmen und Forschungsinstituten statt, die fachübergreifend ihre Kompetenzen einbringen. „In den letzten Jahren haben wir es an der RWTH geschafft, zahlreiche Forschungsprojekte zu initiieren, die sich durch einen interdisziplinären Verbund auszeichnen. Nun müssen wir noch einen Schritt weitergehen und auch die fundamentalen Wissenschaften wie zum Beispiel Mathematik und Physik in unsere Forschungsprojekte mit der Industrie integrieren“, so Professor Dirk Abel, Leiter des Instituts für Regelungstechnik.

Zum Team gehören deswegen Ärzte und Physiker der Klinik für Radioonkologie und Strahlentherapie, Mathematiker aus dem Institut für Regelungstechnik und Elektrotechniker aus dem Institut für Angewandte Medizintechnik. Zu den Industrieunternehmen gehören Robotik-Spezialisten, Messtechnikhersteller zur Überwachung der Dosimetrie während der Bestrahlung und ein Spezialist für Carbonfaser-verstärkten Kunststoff (CFK), der für das Design der Patientenliege

hinsichtlich der speziellen Anforderungen an die Radiotherapie verantwortlich ist. „Die RWTH Aachen ist für uns Unternehmer ein idealer Platz, zukunftsfähige Technologien zu entwickeln, weil so viele unterschiedliche fachliche Disziplinen räumlich und inhaltlich eng und trotzdem mit unterschiedlichen Blickwinkeln zusammen arbeiten“, freut sich der Konsortialführer des Forschungsteams Matthias Buck von der Firma BEC aus Reutlingen.

Das Forschungsprojekt ist in zwei Phasen aufgeteilt. In der ersten Phase wurden von den Forschungsinstituten Grundlagen für eine robotergeführte Patientenliege erforscht. Das Ergebnis der Arbeiten sind drei Grundlagen. Dazu gehört ein auf Inertialsensorik basierendes Messsystem, das die externe Atembewegung der Patienten erfasst und über ein multidimensionales Kennfeld Rückschlüsse auf die interne Position des Tumors erlaubt. Zweitens wurde ein so genanntes 4D-Phantom entwickelt, ein Messsystem, das es ermöglicht, Rückschlüsse auf die lokale Dosisverteilung von bewegten Tumoren während der Bestrahlung zu ziehen. Die dritte Grundlage ist

eine Software für die Prädiktion und Kompensierung der Atembewegung als Grundlage für die Roboterregelung. In der zweiten Phase steht nun die Umsetzung der entwickelten Technologien in ein Produkt an.

Nutzen für Patient und Klinik

Durch die entwickelten Produkte kann im Fall von Bewegungen physiologischen Ursprungs der Zielgewebestrukturen eine signifikante Reduktion der Strahlenbelastung gesunder Gewebebestandteile erreicht werden. Das Team hat sich bislang auf Tumorbewegungen, die durch die Atmung hervorgerufen werden, konzentriert. Dabei geht es vor allem um die Behandlung von Tumorerkrankungen in der Lunge sowie in den mit dem Zwerchfell verbundenen Organen Leber, Nieren und Bauchspeicheldrüse. Diese machen fast 25 Prozent aller 221.500 Krebssterbefälle pro Jahr in Deutschland aus. Der Einsatz einer solchen Robotergeführten Patientenliege birgt aber nicht nur für die Patienten, sondern auch für die Kliniken als Endnutzer viele Vorteile. Die Nachführung der Atembewegung unter expliziter Berücksichtigung



Anzeige

des Ziels einer Optimierung der Dosisverteilung führt zu geringeren Zerstörung von gesundem Gewebe und so zu kürzeren Regenerationszeiten der Patienten. Ein zweiter Vorteil ist die Kompatibilität der Robotergeführten Patientenliege mit einer beliebigen klinischen Umgebung – also die Unabhängigkeit von einer speziellen Strahlentherapie-Gerätetechnik. Außerdem erlaubt die Robotergeführte Patientenliege einen schnelleren Patientenwechsel, womit sich die Behandlungsprozesse in der Strahlentherapie signifikant beschleunigen lassen.

Autoren:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Abel ist Inhaber des Lehrstuhls und Leiter des Instituts für Regelungstechnik. Univ.-Prof. Dr. med. Michael J. Eble ist Direktor der Klinik für Radioonkologie und Strahlentherapie. Univ.-Prof. Dr.rer.nat. Catherine Disselhorst-Klug ist Leiterin des Lehr- und Forschungsgebiets Rehabilitations- und Präventionstechnik.







Raum für Momente

Monheimsallee 48 | 52062 Aachen | Fon +49 241 - 913 123 0
info@eurogress-aachen.de | www.eurogress-aachen.de

POWER-RADACH.de

RapidGEN – Personalisie

Neue Verfahren zur Planung und



Das Knie ist das größte und gleichzeitig auch eines der komplexesten Gelenke des Körpers. Traumatische oder alters- beziehungsweise verschleißbedingte (arthrotische) Funktionseinschränkungen und Schmerzen stellen eine maßgebliche Einschränkung der Lebensqualität sowie der Mobilität und Eigenständigkeit dar. Die demografische Entwicklung mit einer stetig steigenden Lebenserwartung führt zu einer

starken Zunahme gelenkersetzender operativer Maßnahmen. In 2012 wurden in Deutschland rund 200.000 primäre Knieprothesen implantiert und 17.000 Revisionseingriffe durchgeführt. Alleine die Kosten für die stationäre Behandlung beliefen sich auf circa 1,6 Milliarden Euro, mit einem durchschnittlichen Krankenhausaufenthalt von sieben bis 17 Tagen. Zu den genannten stationären Behandlungskosten kommen Kosten für Arbeitsausfallzeiten, Pflege und Rehabilitation hinzu. Studien in den USA sagen einen Anstieg der Fallzahlen von mehr als 600 Prozent in

den nächsten 20 Jahren voraus. Insbesondere die zunehmende Versorgung jüngerer Patienten stellt eine große Herausforderung für die Haltbarkeit und individuell angepasste Funktionalität der Implantate dar. Aus sozioökonomischer und demografischer Sicht gewinnt die Steigerung der therapeutischen Effektivität und Effizienz durch minimal-invasive Eingriffe, kürzere Hospitalisierungs-, Rehabilitations- und Pflegezeiten sowie eine rasche Rückkehr in das Arbeitsleben beziehungsweise die Gewährleistung von Mobilität und Autonomie bis ins hohe Alter hinein zunehmend an Bedeutung.

Arter Kniegelenkersatz

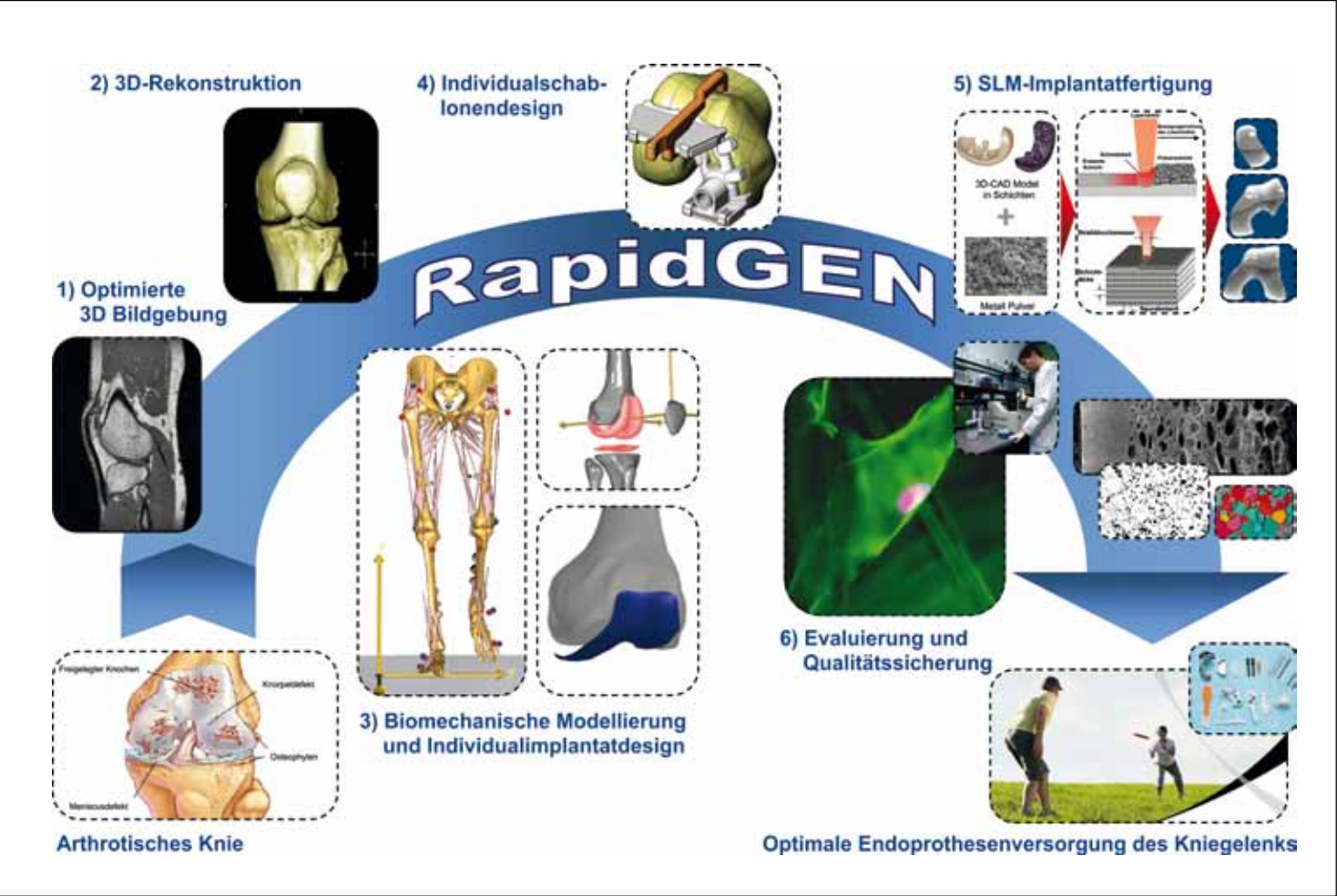
Herstellung von patientenspezifischen Kniegelenkimplantaten

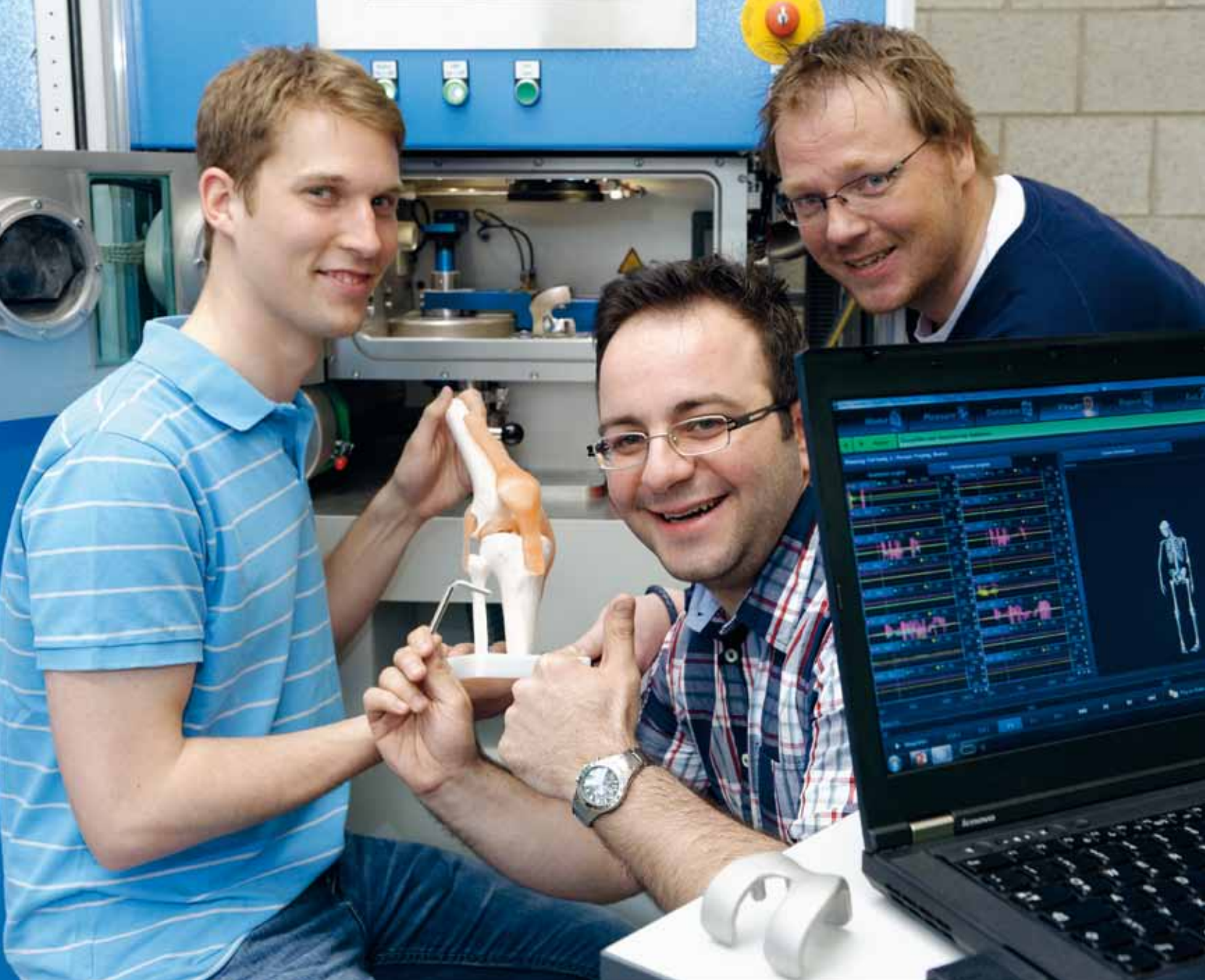
Bild 1: Das personalisierte Planungsmodell des Kniegelenkes mit Berücksichtigung der Muskeln- und Bänderfunktionen erlaubt die detaillierte Untersuchung des Einflusses von krankhaften Deformationen und Variationen im Gelenkdesign und ermöglicht damit eine optimale Planung der Implantatsgeometrie im individuellen Fall.
Foto: Peter Winandy

Bild 2: Die Schritte 1 bis 6 zeigen die RapidGEN-Gesamtverfahrenskette bei der personalisierten Kniegelenkendoprothesenversorgung.

Personalisierte Therapien brauchen innovative Lösungen
Nur wenige Hersteller tragen der Tatsache Rechnung, dass zwei von drei Kniegelenkersatzoperationen Frauen betreffen, indem sie Implantate entwickelt haben, die durchschnittliche Spezifika weiblicher Kniegelenke hinsichtlich Größe und Form berücksichtigen. Trotzdem handelt es sich nur um statistische Durchschnittsgeometrien. Das Kniegelenk weist allerdings in besonderem Maße individuelle Varianzen in Form und Funktion auf. Studien zur individuellen Gelenkgeometrie zeigen, dass die tibiale, also das Schienbein betreffende, Komponente von Standardimplantaten nur 67 Prozent des tragfähigen kortikalen, das heißt des kompakten äußeren Knochens nutzt. Kleine Abweichungen in der Form des Implantates können zu Komplikationen führen, die von postoperativen Schmerzen im Gelenk bis hin zum frühzeitigen Versagen der Prothese reichen können. Personalisierte Therapieverfahren, die auf die individuellen Erfordernisse des Patienten spezifisch angepasst sind, erfordern jedoch innovative medizintechnische Lösungen.

Planung mit 3D-Modellen
Bei der computergestützten Planung einer Kniegelenkersatzoperation werden zunehmend nicht mehr nur Implantate „von der Stange“ in Betracht gezogen, sondern auch Implantatgeometrien für jeden Patienten individuell





*Bild 3: Die RapidGEN-Gesamtverfahrenskette beginnend bei der Bildverarbeitung, der Informationsakquise für die biomechanische Modellierung, der biomechanischen Modellerstellung und Simulation sowie der patientenspezifischen Implantatfertigung mittels SLM-Technik ist am Lehrstuhl für Medizintechnik vollständig abgebildet.
Foto: Peter Winandy*

gestaltet. Damit die individuellen biomechanischen Erfordernisse optimal berücksichtigt werden können und gleichzeitig der zeitliche und finanzielle Aufwand für die Planung und Fertigung des Implantates im Klinikalltag machbar und bezahlbar bleiben, sind modernste Verfahren der automatischen Verarbeitung von klinischen Bilddaten ebenso erforderlich, wie die Simulation des menschlichen Stütz- und Bewegungsapparates und computer-gestützte automatisierte Konstruktionsprozesse und Fertigungsverfahren. Aus unterschiedlichen dreidimensionalen Bilddaten des betroffenen Gelenkes kann ein 3D-Planungsmodell generiert und mit gespeicherten Informationen zur Funktion und Biomechanik des gesunden Kniegelenkes verglichen werden. 3D-Simulationen von Gelenken, Muskeln und Bändern erlauben eine detaillierte Untersuchung des Einflusses von krankhaften Deformationen und Variationen im individuellen

Gelenkdesign. Hierbei können alltägliche Bewegungsmuster wie zum Beispiel Gehen oder Treppensteigen dynamisch simuliert werden. Diese Informationen helfen dem Orthopäden, den individuellen Kniegelenkersatz besser als bisher möglich zu planen, die Bewegungen und Kräfte im neuen Kniegelenk genauer zu analysieren und so die Konsequenzen des Eingriffes gezielter vorherzusagen und zu beeinflussen.

RapidGEN

Anschließend werden diese individuellen Implantate durch Selective Laser Melting (SLM) generativ, schichtweise aufgebaut (siehe Folgeartikel „Photonische Prozesse in der Medizintechnik: 3D-Druck und Biofabrikation“). Als Ausgangsmaterial für die Implantate dient dabei eine hochreine, nach Industriestandard beschriebene Legierung für medizinische Anwendungen auf Cobalt-Basis in Pulverform.

Der SLM-Fertigungsprozess läuft dabei unter einer Schutzgasatmosphäre aus Argon ab.

Im Rahmen des Forschungsprojektes wird vor allem der Einfluss der Herstellungsparameter auf die Eigenschaften des fertigen Bauteils/Implantats untersucht. Die Untersuchungen hinsichtlich der Qualität des so verarbeiteten Werkstoffes erstrecken sich von der Prüfung der mechanischen und physikalischen Eigenschaften bis hin zu Untersuchungen der Biokompatibilität. Ein wichtiges Kriterium sind dabei die Eigenschaften der konkurrierenden, konventionell hergestellten Implantate und Werkstoffe. Ziel ist es, mindestens deren mechanische Eigenschaften zu erreichen oder sogar zu übertreffen.

Für die Charakterisierung des Werkstoffes werden umfangreiche metallographische Untersuchungen und mechanische Prüfungen durchgeführt. Dazu zählen sowohl einfache Zugversuche als auch Dauerschwingversuche und die Analyse der Versagensursachen an SLM generierten Proben. Zur möglichst exakten operativen Implan-

tation werden für den Operateur Patienten-individuelle Instrumente und Bearbeitungsschablonen gefertigt. Dieses Verfahren wurde ebenfalls am Helmholtz-Institut für Biomedizinische Technik in Aachen entwickelt und kommt mittlerweile weltweit zum Einsatz. Internationale klinische Vergleichsstudien haben gezeigt, dass die Genauigkeit des chirurgischen Eingriffs hierdurch verbessert werden kann und gleichzeitig die den Patienten belastende Operations- und Narkosezeiten im Vergleich zu anderen computergestützten Verfahren deutlich reduziert werden. Das vom Lehrstuhl für Medizintechnik des Helmholtz-Institutes für Biomedizinische Technik mit dieser Zielsetzung koordinierte Projekt RapidGEN wird mit insgesamt 2,3 Millionen Euro vom Ministerium für Innovation, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen und von der Europäischen Union gefördert. Beteiligte RWTH-Institute sind neben dem Lehrstuhl für Medizintechnik und der Klinik für Orthopädie, die Klinik für Diagnostische und Interventionelle

Radiologie, der Lehrstuhl für Lasertechnik und das Institut für Werkstoffanwendungen im Maschinenbau. Die Wissenschaftler erhalten circa 1,6 Millionen Euro, die übrigen Mittel fließen unter anderem an die Firma SurgiTAIX AG in Herzogenrath – ein Spin-Off der RWTH Aachen mit dem Schwerpunkt chirurgische Planungssoftware und die Firma Realizer GmbH in Borcheln mit dem Schwerpunkt SLM Fertigungstechnik. Zur weltweiten Vermarktung der Entwicklungen aus NRW kooperieren die Projektpartner mit der Firma Confor-mis Inc., dem führenden Anbieter von Knieindividualimplantaten aus den USA. Darüber hinaus sind bereits jetzt für die Forscher und Industriepartner zahlreiche weitere vielversprechende Anwendungen für die entwickelten Konzepte und Technologien erkennbar. Der Projektträger Jülich (PTJ) ist zuständig für die Betreuung des Projektes von Seiten des Ministeriums für Innovation, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen.

Autoren:
Dipl.-Ing. Ghaith Al Hares ist Assistent der Projektleitung RapidGEN und Teamleiter Medizinische Bildverarbeitung am Lehrstuhl für Medizintechnik. Dipl.-Ing. (FH) Jörg Eschweiler, M.Sc., ist Teamleiter Biomechanische Modellierung und Simulation am Lehrstuhl für Medizintechnik.

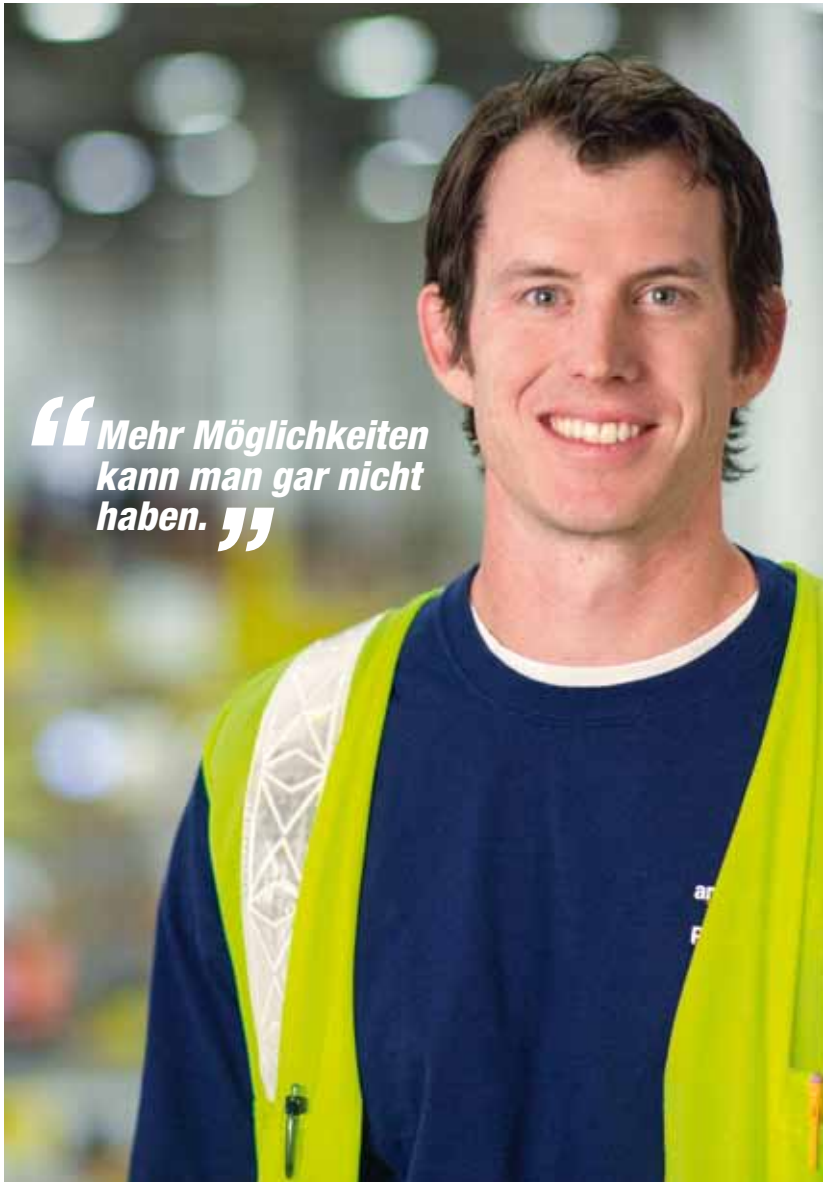
Anzeige

Vom Masterstudium zur Junior-Führungskraft (m/w) Logistik

Stellen Sie sich ein globales Unternehmen vor, bei dem alleine auf der deutschen Webseite in 24 Stunden bis zu 4,6 Millionen Artikel bestellt werden, die in neun Logistikzentren von mehreren Tausend Kollegen zusammengestellt, verpackt und termingerecht versendet werden. Unmöglich? Nicht für das Team von Amazon Operations.

Und jetzt kommen Sie! Ergreifen Sie die Chance, wachsen Sie in eine Führungsrolle hinein und übernehmen Sie direkt nach dem Masterstudium die Steuerung, Förderung und Motivation eines unserer operativen Teams in der Warenannahme, Wareneinlagerung, Kommissionierung oder Verpackung. Hier können Sie sich durch Top-Leistungen für weiterführende Aufgaben bis hinauf ins Top-Management empfehlen. Ihr Abschluss eines technischen oder wirtschafts-orientierten Studiums mit Fokus Logistik/Supply Chain ist der entscheidende Schritt in unser maßgeschneidertes Entwicklungsprogramm. Sie sollten schon interessante Praktika und idealerweise Auslandserfahrung vorweisen können und sich als smarte, kommunikative und selbstbewusste Persönlichkeit präsentieren. Wenn Sie jetzt noch das Talent haben, Probleme schnell zu erkennen und kluge Lösungen zu finden, sowie fließend Deutsch und Englisch sprechen, erleben Sie vielleicht schon bald Mentoring „at its best“.

Machen Sie jetzt den entscheidenden Karriereschritt:
www.amazon-operations.de



“Mehr Möglichkeiten kann man gar nicht haben.”

3D-Druck und Biofabrik

Photonische Prozesse in der

42 **A**uto oder Fahrrad defekt? Kein Problem – ab in die Werkstatt oder zum Fachhändler und ein Ersatzteil für den „Patienten“ besorgen. In der heutigen Zeit ist die Verfügbarkeit von Ersatzteilen jeglicher Art eine Grundvoraussetzung für das moderne Leben. Für die Fertigung von mechanischen Ersatzteilen kommen die verschiedensten Verfahren zum Einsatz. So werden beispielsweise metallische Bauteile durch zerspanende Verfahren, zum Beispiel Fräsen oder Drehen, beziehungsweise umformende wie Tiefziehen, Gießen oder Sintern hergestellt. Ein neuer Trend in der modernen Fertigungstechnik sind die generativen Verfahren. Bei generativen oder additiven Verfahren wird ausgehend von einem digitalen 3D-Modell im Computer Aided Design, kurz CAD, durch physikalische Prozesse, wie Schmelzen, oder chemische Prozesse, wie Polymerisation, ein Bauteil mit nahezu beliebig komplexer Geometrie erzeugt. Fachleute nennen diese Vorgehensweise Computer Aided Manufacturing, CAM. Die bekanntesten generativen Verfahren sind dabei für Kunststoffe das SLS – Selective Laser Sintering – und die Stereolithographie. Bei Metallen kommt das SLM – Selective Laser Melting – als Verfahren zur Anwendung. Selbst im Heimgebrauch für die Herstellung von kleinen Modellen aus Kunststoff haben generative Verfahren wie beispielsweise das FDM (Fused deposition modeling) mit kostengünstigen 3D-Druckern bereits Einzug gehalten.

Produktvielfalt ermöglicht Individualität

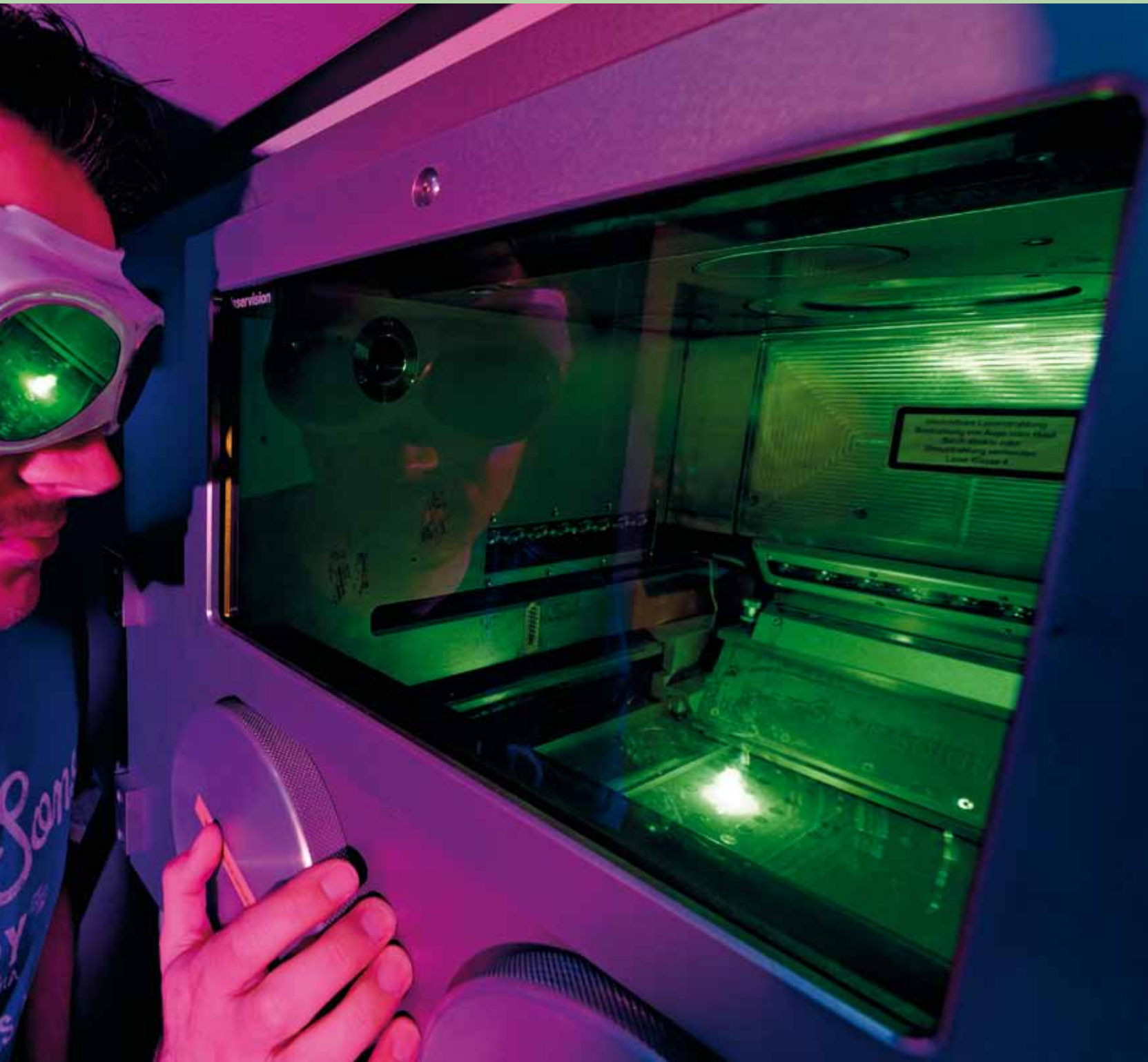
Doch was ist, wenn das Ersatzteil nicht für ein Auto oder Fahrrad bestimmt ist, sondern für einen menschlichen „Patienten“? Können diese Fertigungstechnologien auch auf medizinische Fragestellungen und Produkte angewendet werden? Für gewisse Anwendungen im Bereich des Hartgewebe-Implantats, wie beispielsweise Knochen oder Gebiss, lautet die Antwort bereits „ja“. Schon heute wird das SLM-Verfahren für die industrielle Serienfertigung zum Beispiel für Dentalrestaurationen aus Kobalt-Chrom sowie für individuelle Hüftpfannen aus Titan eingesetzt. Beim SLM entstehen Bauteile in hauchdünnen Schichten aus feinstem Pulver, indem es selektiv entsprechend einem in Schichten aufgeteilten CAD-Modell mittels Laserstrahlung aufgeschmolzen und mit den darunterliegenden Schichten schmelzmetallurgisch verbunden wird. Durch den schichtweisen Aufbau lassen sich Bauteile von beinahe beliebiger Komplexität herstellen.

Gerade im Bereich des Knochen- und Gelenkersatzes eröffnen sich dadurch völlig neue Möglichkeiten. Zum einen können Implantate patientenspezifisch gestaltet und gefertigt werden (personalisierte Medizintechnik). Zum anderen wird die Integration von offenen, interkonnektiven Porenstrukturen in die Implantate ermöglicht. Dadurch kann zum Beispiel die Festigkeit des Implantates an die biomechanische Belastung ange-



ation

Medizintechnik



*Bild 1: Herstellung eines individualisierten Kniegelenkersatzes mittels SLM.
Foto: Peter Winandy*

passt oder das Einwachsen von neuem Gewebe in das Implantat begünstigt werden. Die Werkstoffeigenschaften wie die Festigkeit der generativ hergestellten Implantate liegen im gleichen Bereich wie die von gegossenen oder geschmiedeten Implantaten und entsprechen daher den Anforderungen für einen medizinischen Einsatz.

Um das SLM-Verfahren weiter zu etablieren, arbeiten Wissenschaftler des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT aktuell mit anderen Instituten der RWTH und der Uniklinik RWTH Aachen sowie mit Partnern aus der Wirtschaft an der Entwicklung einer Prozesskette, die von der Planung über die biomechanische Modellierung bis zur Herstellung von individualisiertem Kniegelenkersatz mittels SLM reicht (siehe auch Artikel „Plug and Play“ in OP und Klinik, Seite 30).

Mitwachsende Implantate

Aber nicht nur im Bereich des permanenten Knochen- und Gelenkersatzes wird an der Weiterentwicklung des Verfahrens geforscht. Auch bei den biodegradierbaren Implantaten, wollen die Forscher in enger Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für

Lasertechnik ILT die Vorteile des SLM-Verfahrens nutzbar machen. Im Gegensatz zu gängigen, nicht degradierbaren Implantaten aus Metallen oder Kunststoffen werden biodegradierbare Implantate vom Körper abgebaut und im Idealfall durch körpereigenen Knochen ersetzt. Somit werden Entnahmeoperationen von Implantaten nach einem abgeschlossenen Heilungsprozess überflüssig und es könnte sogar ein „mitwachsendes“ Implantat für Anwendungen in der Kinderchirurgie realisiert werden. Gerade bei biodegradierbaren Implantaten ist die Möglichkeit, interkonnektive Porenstrukturen zu integrieren, ein entscheidender Vorteil gegenüber konventionellen Herstellungsverfahren. Schon direkt nach der Implantation kann körpereigenes Gewebe in das gesamte Fremdmaterial einwachsen, so dass eine natürliche Stärkung während des Abbauprozesses erreicht wird. Gleichzeitig kann die Menge an abzubauendem Material durch solche Porenstrukturen drastisch reduziert werden. Für einen Kompositwerkstoff aus einem abbaubaren Polymer und einer osteokonduktiven Biokeramik, also einer Keramik mit einer Leitstruktur für die Neubildung

von Knochen, konnte das Potenzial des SLM für die generative Fertigung von bioresorbierbaren Implantaten bereits in einer Kleinierstudie erfolgreich nachgewiesen werden. In Kooperation mit Forschern des Fraunhofer-ILT wird aber schon an der nächsten Evolutionsstufe der biodegradierbaren Implantate geforscht. Die Weiterentwicklung des SLM zur Verarbeitung von biodegradierbaren Metallen wie Magnesiumlegierungen soll zukünftig den Einsatz von biodegradierbaren, maßgeschneiderten Implantaten mit interkonnektiver Porenstruktur auch für stärker belastete Regionen im Körper ermöglichen, für die die mechanische Stabilität von Implantaten, auf Basis von biodegradierbaren Polymer-Keramik-Kompositwerkstoffen, nicht ausreichend ist. Dabei werden vor allem aufgrund der Reaktivität von Magnesiumlegierungen völlig neue Anforderungen an die Anlagentechnik und Prozessführung gestellt. Auch das im Vergleich zu anderen Metallen wie Titan kleine Prozessfenster zwischen Schmelz- und Verdampfungstemperatur, bedeutet hier eine neue Herausforderung.

Medizinischer Gewebeersatz
Knochen und Zahnprothesen sind ein mögliches Einsatzgebiet für die generative Fertigung, doch welche Möglichkeiten und Aussichten gibt es im Bereich der Weichgewebe, wie zum Beispiel Blutgefäße, Fettgewebe oder sogar Organe?

Für die Herstellung von Weichgewebe im Labor als medizinischer Gewebeersatz oder als Testsystem für Pharmazeutika müssen neben einem biologisch aktiven Stützgerüst und einer Biologisierung durch Zellen weitere wissenschaftliche und technologische Hürden genommen werden, um eine langzeitstabile und biologisch funktionale Gewebestruktur zu erhalten. Ein wesentlicher Punkt hierbei ist eine Vaskularisierung, also die Ausbildung von Blutgefäßen im Zellkonstrukt, um eine ausreichende Nährstoffversorgung und einen Abtransport von Stoffwechselprodukten zu ermöglichen.

Der Lehrstuhl für Lasertechnik LLT widmet sich in enger Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT und einem europäischen Konsortium (ArtiVasc 3D) der Entwicklung von vaskularisiertem Weichgewebe für die Herstellung von künst-



lichem Gewebersatz wie zum Beispiel Haut. Die künstliche Vaskularisierung soll Weichgewebe mit mehreren Millimetern Dicke ermöglichen und das umgebende Gewebe nach dem Einwachsen mit Nährstoffen versorgen. Auf derzeit noch rein wissenschaftlicher Ebene wird der Einsatz von generativen Verfahren für die Fertigung von künstlichen Blutgefäßen geprüft. Mit Hilfe von laserbasierter Stereolithographie und Multiphotonenpolymerisation werden verzweigte Gefäßstrukturen in der Größenordnung vom Millimeter- bis hin zum Mikrometerbereich hergestellt. Für die biologische Funktionalisierung werden die künstlichen Gefäße mit blutgefäßbildenden Zellen, wie beispielsweise Endothelzellen und Perizyten, besiedelt. Die resultierenden Blutgefäße werden mit anderen Technologien und Materialien wie elektrogewebenen Vliesen und Hydrogelen, zum Beispiel auf Hyaluronbasis, kombiniert und zu einem Hautmodell zusammengeführt. Das angestrebte künstliche Gewebe kann im Rahmen der Pharmaforschung zukünftig dazu beitragen, den Einsatz von Tierversuchen zu reduzieren.

Langfristig orientieren sich die Forschungsaktivitäten in Richtung der Herstellung von medizinischem Gewebersatz sowie komplexen, künstlichen Blutgefäßsystemen. In einem alternativen Ansatz verfolgt der Lehrstuhl für Lasertechnik LLT in Zusammenarbeit mit dem Institut für Angewandte Medizintechnik AME derzeit eine biohybride Lösung dieser Fragestellung. Biohybrid bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die technischen Materialien ein feines Gerüst vorgeben, an denen in einem Bioreaktor durch Ansiedelung von Zellen selbstständig natürliche Blutgefäße ausgebildet werden. Im Rahmen der ERS Seed-Fund Förderung der RWTH wurde eine erste Machbarkeitsstudie als Projekt „HypeVasc“ zu diesem Thema gefördert. Weitere Projekte zu diesem Ansatz sollen folgen und die Initiativen zwischen Medizin und Technik in Richtung biohybrider Fertigungstechnologien der RWTH stärken.

Neben den generativen Prozessen selbst spielen die Materialien und die Zell-Materialbeziehung sowie Zell-Oberflächen-Wechselwirkungen eine besondere Rolle. Neue Anwendungen erfordern neue, ange-

passte Materialien. Bei stereolithographischen Prozessen liegt die besondere Herausforderung in der Entwicklung neuer lichthärtender Polymersysteme, die in der Biokompatibilität, der Prozessierbarkeit und in der Einstellbarkeit von Produkteigenschaften wie Festigkeit oder Elastizität den Ansprüchen medizinischer Anwendungen entsprechen. Der Lehrstuhl für Lasertechnik LLT beschäftigt sich dabei in enger Kooperation mit material- beziehungsweise polymerwissenschaftlichen Partnern mit der Entwicklung und Prüfung neuer Materialsysteme. Bei den lichthärtenden Systemen für 3D-Druckprozesse wie beispielsweise der Stereolithographie, projektionsbasierten Druckverfahren wie Digital Light Processing (DLP) und der Mehrphotonenpolymerisation (MPP) konzentriert sich der Lehrstuhl für Lasertechnik LLT auf die Formulierung der Photoharze und die Weiterentwicklung der Anlagentechnik für das optimale Zusammenspiel von Prozess und Material. Dabei sind konventionelle Photoharze, zum Beispiel Acrylat- oder Epoxyharze, sowie neuartige Materialsysteme auf Thiol-En Basis Gegenstand aktueller Forschung.

Fernziel der gebündelten Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Bereich Biofabrikation und 3D-Druck ist die zeitnahe, individualisierte und wirtschaftliche Herstellung von Hart- und Weichgewebeimplantaten. So könnte es in rund 15 bis 20 Jahren möglich sein, einem Patienten nach einem Unfall ohne lange Wartezeiten einen maßgeschneiderten Wirbel mit elastischer Bandscheibe zu implantieren. Oder einen Patienten nach einem Brandunfall großflächig Haut aus körpereigenen Zellen zu implantieren, ohne dass er langwierige und schmerzvolle Transplantationen über sich ergehen lassen müsste. Die Entwicklung von generativ gefertigten, medizinischen Implantaten verfolgt die RWTH im gemeinsamen Bestreben von Wissenschaftlern aus den Bereichen Medizin und Technik begleitet von Materialwissenschaftlern und Biologen.



Autoren:
Dipl.-Chem. Holger Leonards ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Lasertechnik sowie des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik Aachen ILT, Dipl.-Phys. Lucas Jauer ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik Aachen.

Bild 2: Generative Fertigung von Blutgefäßmodellen durch Photopolymerisation.

*Bild 3: Verzweigte Modelle für Blutgefäße (Maßstab 10:1).
Fotos: Peter Winandy*

Baukasten

INTER-Herz: Individuelle Therapien für das rechte Herz

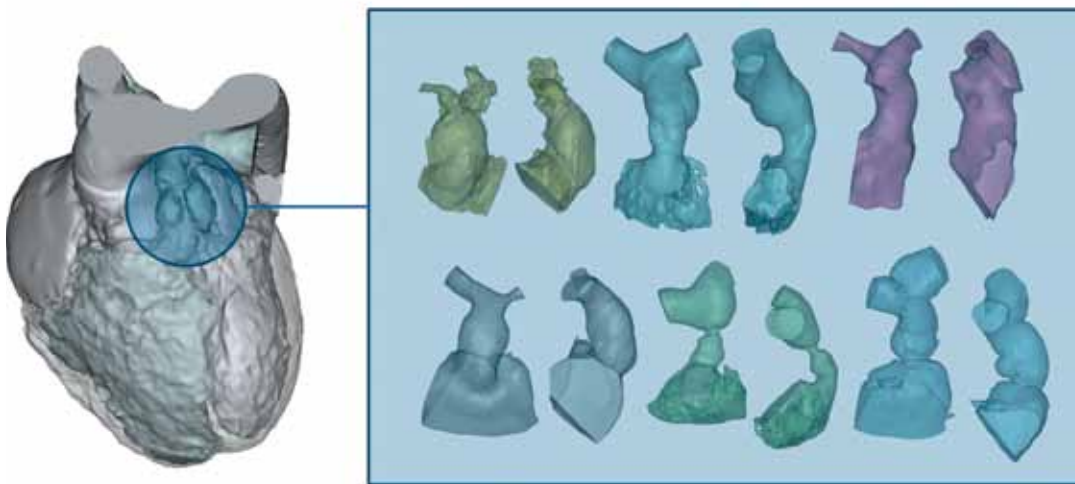


Bild 1:
Die Anatomie der Gefäße zwischen der rechten Herzkammer und der Lunge kann bei Patienten mit angeborenen Herzfehlern sehr unterschiedlich sein.

Bild 2:
Mit Hilfe virtueller anatomischer Modelle kann die Patientenanatomie genau untersucht werden.

Jährlich werden in Deutschland circa 6.000 Kinder mit Herzfehlern geboren, das entspricht fast einem Prozent aller Neugeborenen. Solche Fehler können in verschiedensten Ausprägungen auftreten und machen oftmals einen chirurgischen Eingriff erforderlich.

Im Rahmen des Projekts „INTER-Herz: Individuelle Therapieverfahren für Erkrankungen des Rechten Herzens“ sollen Therapieverfahren für angeborene Herzfehler individuell abgestimmt und optimiert werden. Ein Schwerpunkt liegt auf Erkrankungen des Ausflusstraktes der rechten Herzkammer, also dem Teil des Herzens, der den Lungenkreislauf versorgt, einschließlich der Auslassklappe. Standardisierte Behandlungsmethoden lassen sich hier kaum verwirklichen, da diese Erkrankungen meist mit komplexen und ungleichartigen Anatomien verbunden sind, siehe Bild 1. Für die Patienten soll hier mit Hilfe personalisierter Methoden eine optimale Behandlung und eine damit einhergehende Steigerung der Lebensqualität erreicht werden.

Personalisierte Therapie

Der erste Schritt auf dem Weg zu einer optimalen, individuell abgestimmten Behandlungsmethode ist im Projekt INTER-Herz immer die virtuelle, dreidimensionale Rekonstruktion der Patientenanatomie, siehe Bild 2. Auf Basis bildgebender Daten werden davon realistische, flexible Modelle aus Kunststoff hergestellt und spezielle Prothesen für das rechte Herz entwickelt. Diese Prothesen sind so anpassbar, dass sie eine patientenspezifische Adaptation erlauben, siehe Bild 4. Im Unterschied dazu sind die derzeit auf dem Markt erhältlichen Prothesen kaum anpassbar und können daher bei komplexen Anatomien des rechten Herzens nur selten eingesetzt werden.

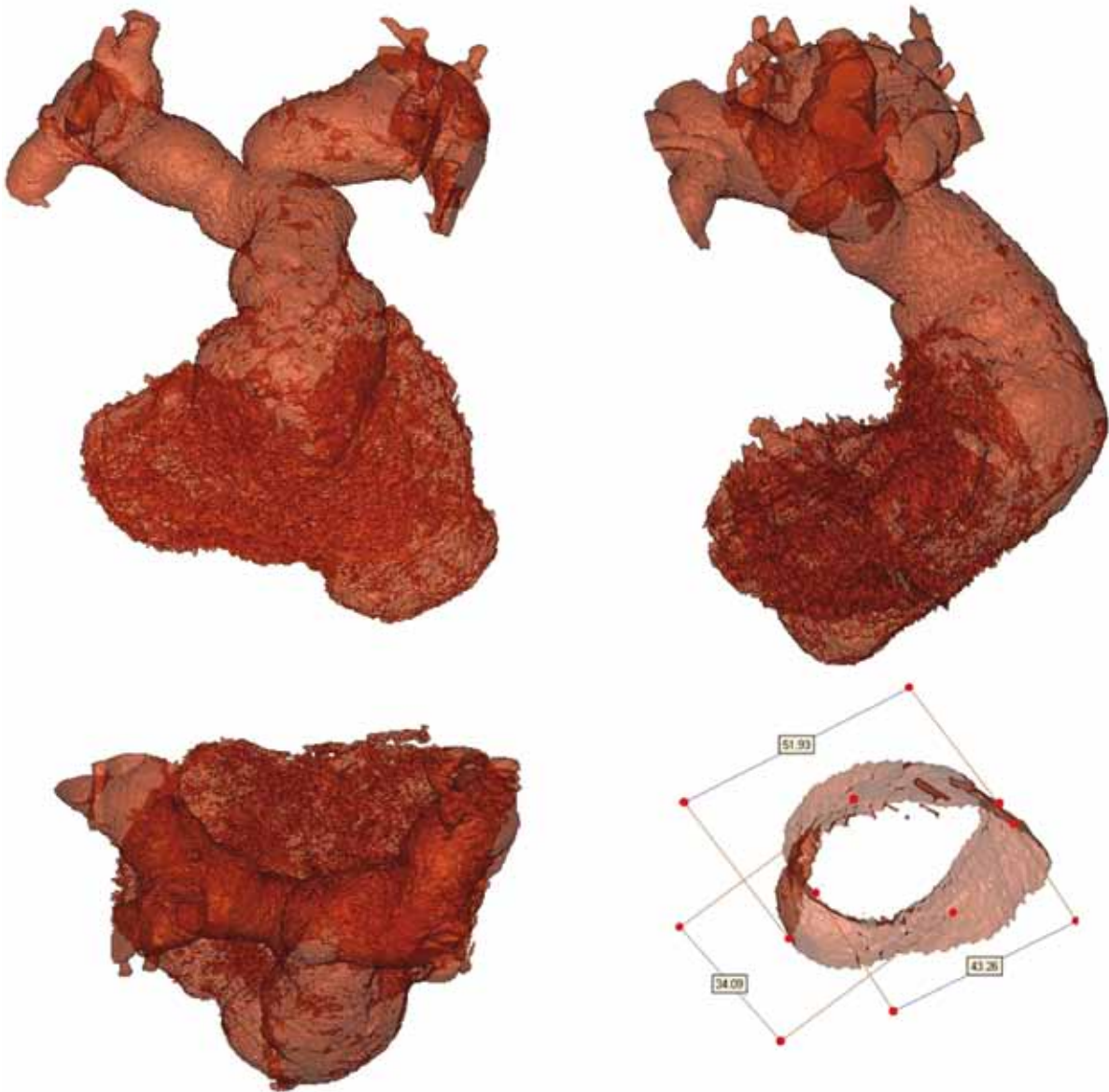
Die operative Behandlung von einer Fehlbildung oder Erkrankungen am rechten Herzen erfordern großes Geschick, eine ausgeprägte räumliche Vorstellungskraft und eine detaillierte präoperative Planung. Häufig werden Korrekturen von angeborenen Herzfehlern in mehreren Schritten und somit mehreren operativen Eingriffen

durchgeführt, wodurch sich die präoperative Planung umso notwendiger und komplizierter gestaltet. Durch den Einsatz von maßstabsgetreuen, elastischen Anatomiemodellen kann sich der behandelnde Arzt ein genaues Bild einer komplexen Anatomie machen und quasi das zu operierende Herz bereits vor Beginn des Eingriffs in der Hand halten. Um den Einfluss einer anatomischen Veränderung durch einen geplanten operativen Eingriff abschätzen zu können, werden außerdem Strömungssimulationen an 3D-Modellen der angestrebten Herzfehlerkorrekturen durchgeführt. Sie bieten eine grundlegende Orientierungshilfe bei der Planung von komplexen Eingriffen. Ziel ist es, sich gemeinsam mit dem operierenden Chirurgen bereits vor der Operation ein Bild der von ihm geplanten Lösung und deren Qualität machen zu können.

Personalisierte Prothesen

In vielen Fällen wird zur effektiven Behandlung eines Rechts Herzfehlers eine Herzklappenprothese benötigt. Derartige

für personalisierte Herzklappen-Prothesen



Prothesen können auf zwei Arten implantiert werden: offen chirurgisch oder interventionell über einen Katheter. Der Goldstandard ist die klassische, chirurgische Implantation durch eine Operation am offenen Herzen. Hierbei kann der Chirurg zudem Anpassungen und Korrekturen an der umgebenden Anatomie vornehmen. Im Projekt INTER-Herz wird für einen solchen Eingriff eine Gefäßprothese mit integrierter Herzklappe, auch als Konduitprothese bezeichnet, entwickelt, siehe Bild 5.

Die interventionelle Implantation einer Herzklappe über einen Katheter ist zwar weniger traumatisierend als der offene chirurgische Eingriff, birgt allerdings auch höheren Risiken und erlaubt kaum zusätzliche Korrekturen. Die derzeit verfügbaren katheterbasierten Herzklappenprothesen sind für die Therapie von angeborenen Herzfehlern mit komplexen und individuell unterschiedlichen Anatomien nur sehr bedingt geeignet. Für solche Fälle werden im INTER-Herz

Projekt neben den Konduitprothesen auch maßgeschneiderte Herzklappenprothesen für die katheterbasierte Implantation entwickelt, siehe Bild 6. Sie sind modular aufgebaut und können aus verschiedenen, standardisierten Komponenten eines Baukastensystems zu einer individuell angepassten Prothese zusammen gesetzt werden. Durch die Standardisierung der Komponenten wird eine wirtschaftliche Herstellung der Prothesen mit reproduzierbar hoher Qualität sicherge-

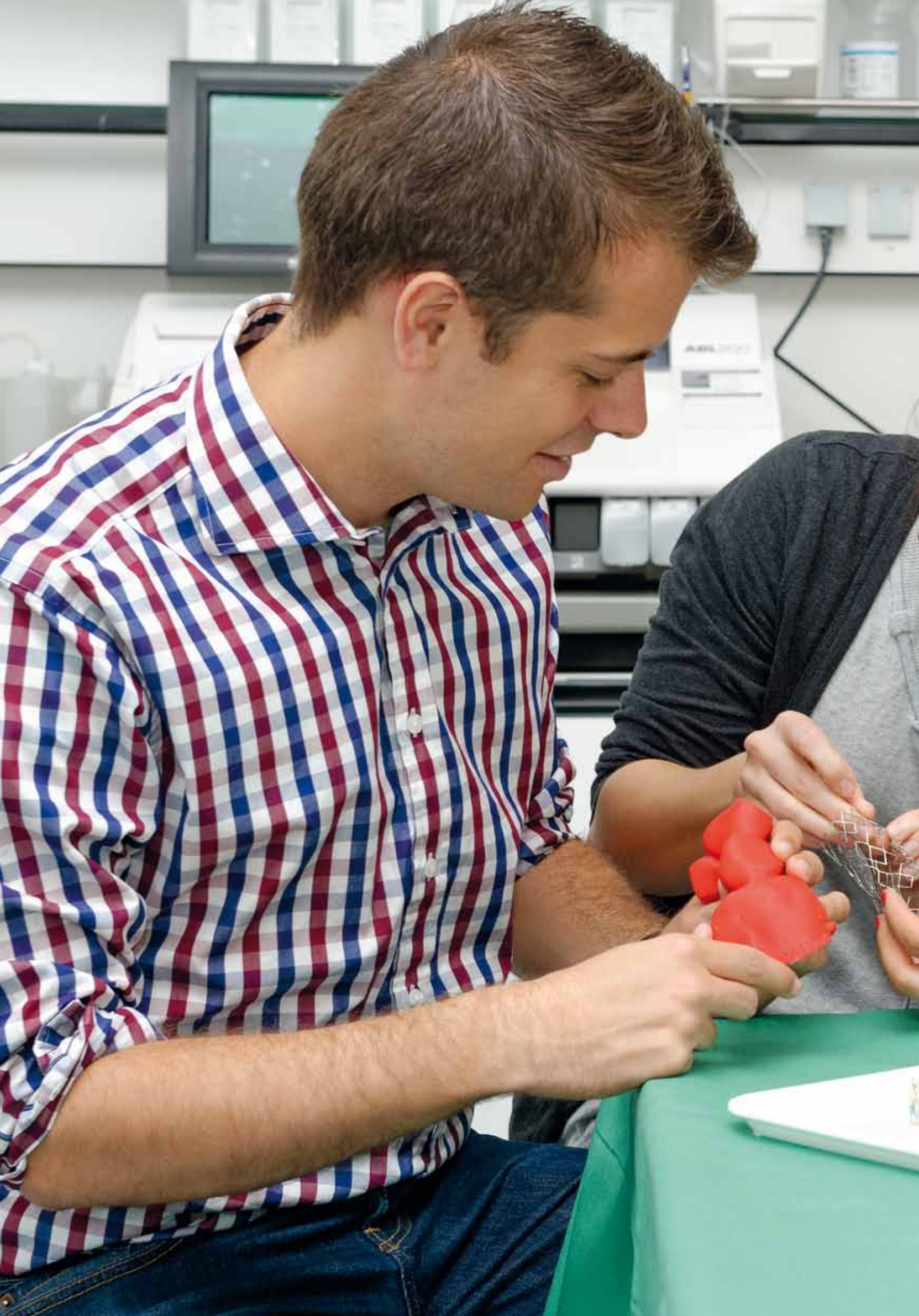




Bild 3: Maximilian Kütting, Desirée Pott und Stephanie Schmitz setzen eine individuelle, auf dreidimensional aufbereiteten Patientendaten basierende Herzklappenprothese zusammen.
Foto: Peter Winandy

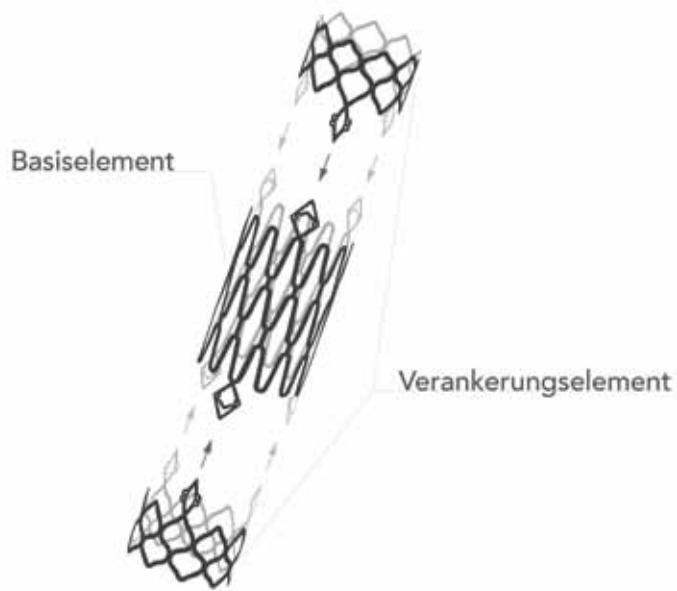


Bild 4:
Die verschiedenen Elemente des im Projekt entwickelten Baukastensystems lassen sich zu einer minimalinvasiv einsetzbaren Herzklappe zusammensetzen



Bild 5:
Gefäßprothese mitsamt künstlicher Herzklappe.

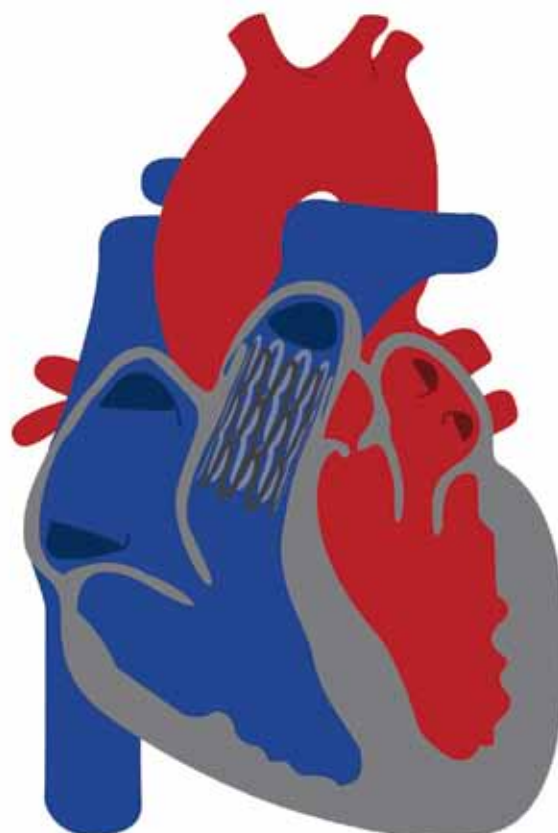
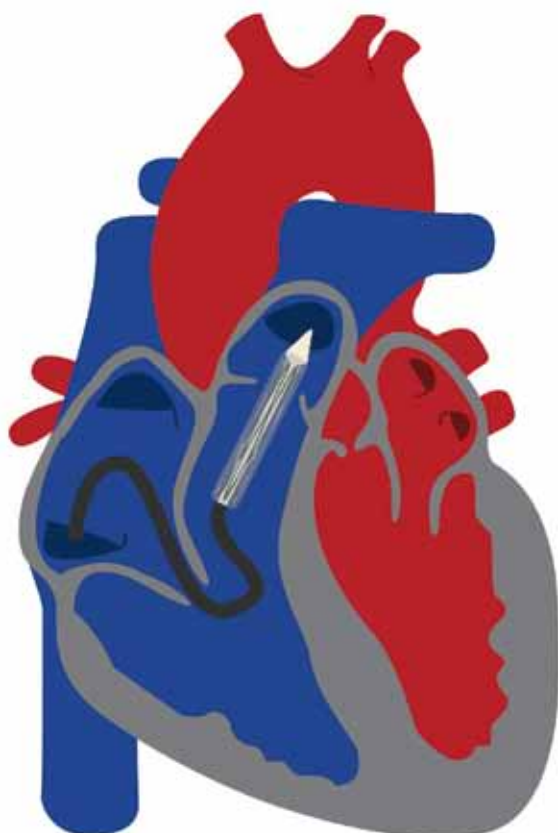
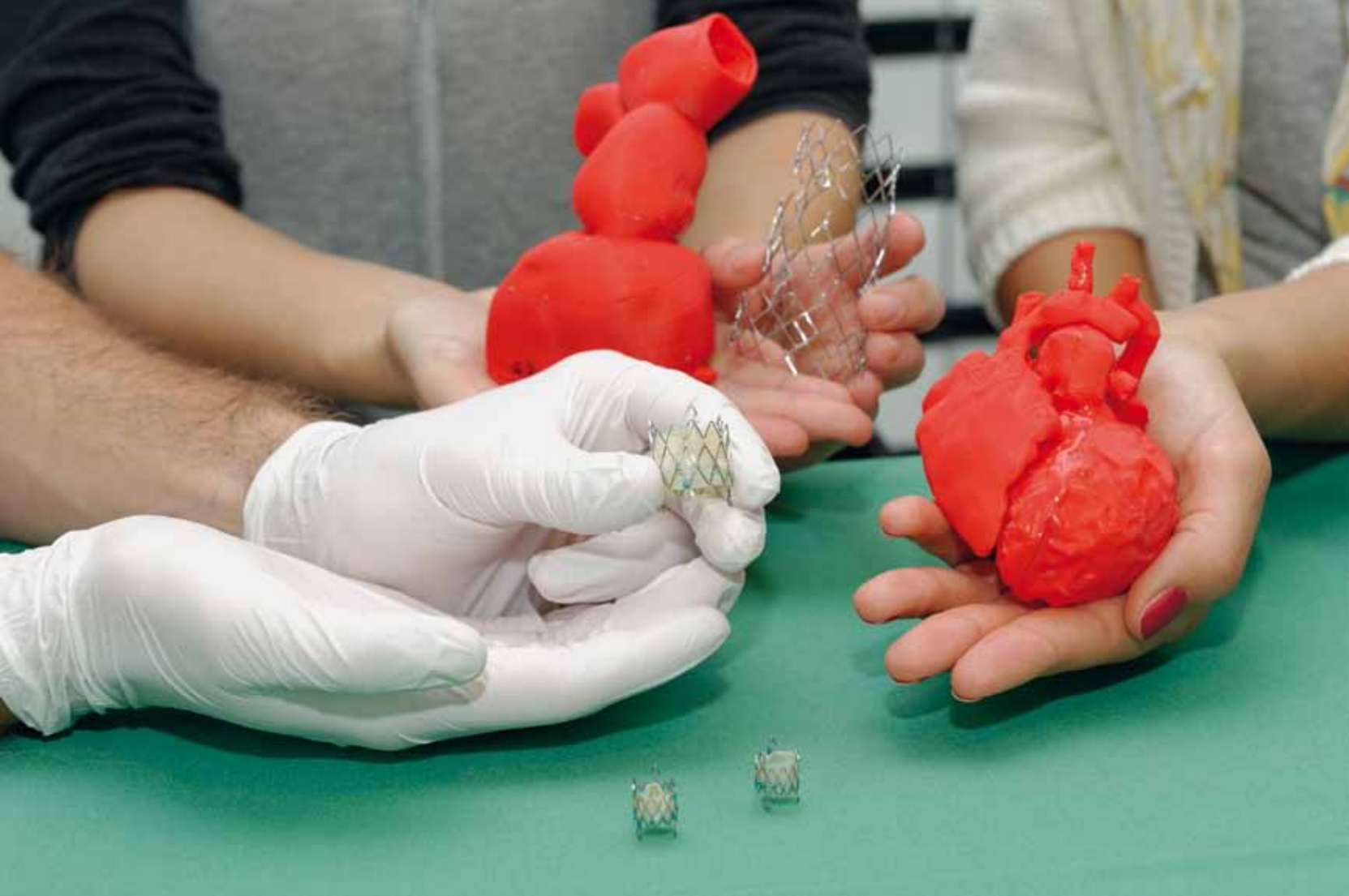


Bild 6:
Die individualisierte Herzklappenprothese lässt sich mit Hilfe eines Katheters über das Gefäßsystem ins Herz einbringen und wird dort eingesetzt.



*Bild 7: Das Baukastensystem ermöglicht den Aufbau individueller Prothesen zur Behandlung komplexer Herzfehler. Mit Hilfe dreidimensional ausgedruckter Anatomiemodelle können operative Eingriffe optimal geplant werden.
Foto: Peter Winandy*

stellt. Letzteres ist insbesondere im Hinblick auf die spätere klinische Zulassung von großer Bedeutung. Demgegenüber wären komplett neu entwickelte Prothesen für jede individuelle Anatomie nicht nur aufwändig und teuer, sie wären vor ihrem Einsatz auch nicht ausreichend prüfbar. Eine klinische Zulassung wäre deutlich problematischer.

Das zentrale, klappenartige Funktionselement der katheterbasiert implantierbaren Herzklappenprothese kann zudem als Klappenelement in die Konduitprothese eingesetzt werden. Die Entwicklungsprozesse werden dadurch kombiniert und effizient gestaltet.

Der klinische Einsatz als Ziel

Die entwickelten individualisierten Prothesen werden eine Versorgungslücke bei der operativen und der minimal-invasiven Behandlung von Rechtsherzerkrankungen schließen. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass sie auch tatsächlich im klinischen Alltag ankommen. Zu diesem Zweck

wird von Projektbeginn an ein besonderer Fokus auf zulassungsgerechte Entwicklungsprozesse gelegt, indem branchenübliche Industriestandards bei der Planung, Entwicklung, Validierung und Dokumentation angesetzt werden. So erarbeitete ein interdisziplinäres Team bestehend aus Ingenieuren, Mediziner und Industriepartnern zunächst die Anforderungen für ein System zur Behandlung von Rechtsherzerkrankungen unter Berücksichtigung von therapeutischen Aspekten, klinischer Anwendung, Produktionsprozessen, Risikobetrachtung und regulatorischen Vorgaben und setzte sie in Designspezifikationen um. Hierbei kann unter anderem auch auf eine jahrzehntelange Erfahrung des Lehr- und Forschungsgebiets Kardiovaskuläre Technik in der Herzklappenentwicklung, -testung und -zulassung zurückgegriffen werden.

Durch den patientenspezifischen Ansatz beim Aufbau der Prothesen wird sichergestellt, dass jeder Patient eine auf ihn

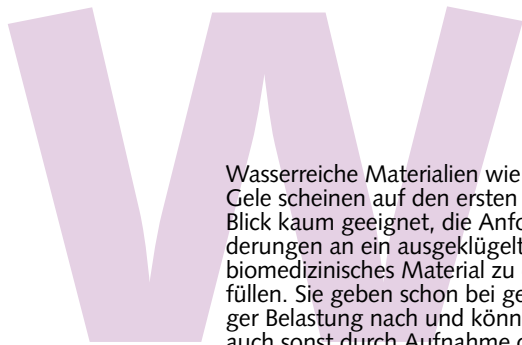
zugeschnittene Prothese erhält. Gleiches gilt für die optimierte präoperative Planung anhand von 3D-Modellen. Hierbei hat der behandelnde Arzt die Möglichkeit, einen komplexen Eingriff individuell für einen Patienten detailliert zu planen und bereits im Vorfeld einer Operation virtuell durchzuführen. Im Ergebnis erhält der Patient eine optimale Therapie unter Berücksichtigung der individuellen Anforderungen. Dieses Projekt ist Gewinner des Wettbewerbs PerMed.NRW und wird für drei Jahre durch NRW-EU Ziel 2-Mittel gefördert.
www.ame.hia.rwth-aachen.de

Autoren

Dipl.-Ing. Maximilian Kütting ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Angewandte Medizintechnik/Lehr- und Forschungsgebiet Kardiovaskuläre Technik. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ulrich Steinseifer leitet das Lehr- und Forschungsgebiet Kardiovaskuläre Technik.

BIG opportunities

Biologisch intelligente Gele



Wasserreiche Materialien wie Gele scheinen auf den ersten Blick kaum geeignet, die Anforderungen an ein ausgeklügeltes biomedizinisches Material zu erfüllen. Sie geben schon bei geringer Belastung nach und können auch sonst durch Aufnahme oder Abgabe von Substanzen leicht verändert werden. Doch gerade wegen ihrer Ähnlichkeit zu weichem, körpereigenem Gewebe und ihrer Reaktion auf Umgebungsreize gewinnen insbesondere wassergequollene Gele, so genannte Hydrogele, in der Biomedizin an Bedeutung. Als hochelastische Polymernetzwerke ähneln Hydrogele einem mit Wasser vollgesogenen Schwamm.

Hydrogele können aus biologischem oder synthetischem Material hergestellt werden. Biologische Materialien wie Kollagen, Gelatin, Hyaluronsäure oder Alginat besitzen eigene funktionelle Komponenten, die auf natürliche Weise mit Zellen, Proteinen und anderen Bausteinen des Körpers interagieren. Allerdings ist sowohl die Bandbreite der Interaktionen als auch die Struktur dieser biologischen Materialien für viele medizinische Anwendungen zu komplex und nur bedingt kontrollierbar. Probleme bereiten darüber hinaus die Gewinnung der Materialien, Kontaminationen, unerwünschte Immunreaktionen sowie unzureichende mechanische Eigenschaften. Synthetische Hydrogele werden dagegen aus spezifisch

ausgewählten molekularen Bausteinen hergestellt, wobei oftmals Teilsegmente von biologischen Molekülen eingearbeitet werden. Auf diese Weise können Spezialisten die Eigenschaften der Hydrogele entsprechend der geplanten Anwendung maßschneidern.

Mit der Entwicklung von Hydrogelen für den Einsatz in der Medizin beschäftigen sich nur wenige Forschungseinrichtungen weltweit, allen voran die bekannte École polytechnique fédérale de Lausanne sowie die North Western University und das Georgia Institute of Technology in den USA. Ebenfalls auf diesem Gebiet forscht das Aachener DWI – Leibniz-Institut für Interaktive Materialien. Das besondere Merkmal der DWI-Forschung: Für medizinische Anwendungen werden hier responsive Hydrogele entwickelt – Hydrogele also, die durch externe Reize wie Infrarot-Licht schaltbar sind. Dabei ist das DWI im Sonderforschungsbereich 985 „Funktionelle Mikrogele und Mikrogelsysteme“ organisiert, in dem Naturwissenschaftler, Ingenieure und Mediziner der RWTH, der Uniklinik RWTH Aachen sowie des Forschungszentrums Jülich ihre Kompetenzen verbinden.

Das Team der DWI-Wissenschaftler beschäftigt sich mit unterschiedlichen Architekturen von Hydrogelen: von gewissermaßen eindimensionalen Partikelstrukturen über funktionale Beschichtungen bis hin zu dreidimensionalen gewebeähnlichen Gerüsten. Für ihre Forschung greifen die Wissenschaftler auf eine Art Werkzeugkiste aus nichttoxischen, biokompatiblen Präpolymeren zurück. Bei der Herstellung der Hydrogele legen die Wissenschaftler besonderen Wert auf die exakte Kontrolle

der Gelierungsbedingungen. Auf diese Weise gewährleisten sie den Schutz empfindlicher therapeutischer Moleküle, die in das Polymernetzwerk eingeschlossen werden.

Wirkstoffapplikation mit winzigen Gelpartikeln

Ein wichtiges Anwendungsgebiet der Hydrogele ist die Wirkstoffapplikation. DWI-Wissenschaftler entwickeln hierfür 100 bis 500 Nanometer große Hydrogel-Partikel, so genannte Nano-Hydrogele, deren Polymerketten durch Disulfid-Brücken-Bindungen vernetzt und mit Wirkstoffen beladen sind, siehe Bild 1. Im Gegensatz zu vielen anderen Wirkstoffapplikationssystemen tarnen sich Nano-Hydrogele durch ihren hohen Wassergehalt vor den Zellen des Immunsystems und verweilen besonders lange in der Blutbahn. Die Wirkstoff-beladenen Partikel sind im extrazellulären Raum stabil. Sobald die Partikel jedoch in eine Zielzelle, beispielsweise eine Tumorzelle, eindringen, bewirken die reduktiven Bedingungen in der Zelle einen Aufbruch der Disulfid-Brücken-Bindungen und führen damit zu einer Freisetzung des Wirkstoffs. Per Positronen-Emissions-Tomographie können Partikel, die mit schwach radioaktivem Gallium-68 markiert wurden, in Echtzeit im Körper verfolgt werden. In einem ähnlichen Ansatz wird synthetisches Trägermaterial mit Elastin kombiniert, dem Hauptbestandteil elastischen Gewebes. Weil die daraus resultierenden Gelpartikel bereits auf kleine Änderungen der Temperatur oder des pH-Werts reagieren, sehen die DWI-Forscher hier den Ansatz für ein weiteres Wirkstoffapplikationssystem.

in der Medizin

Werkzeugkasten Nano-Hydrogel

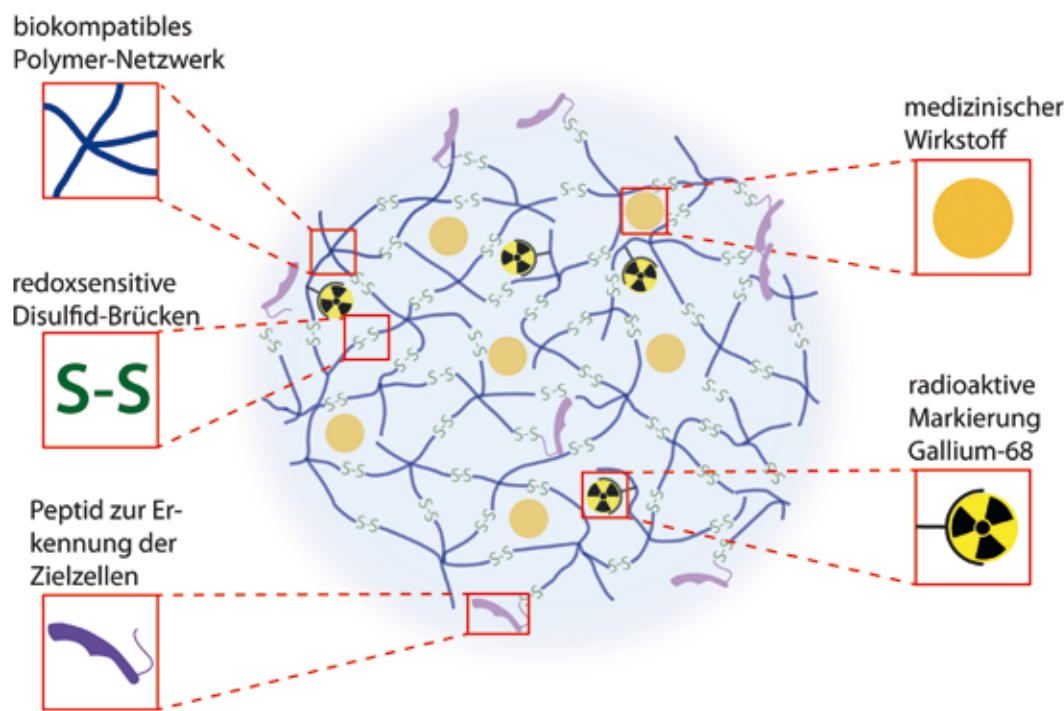
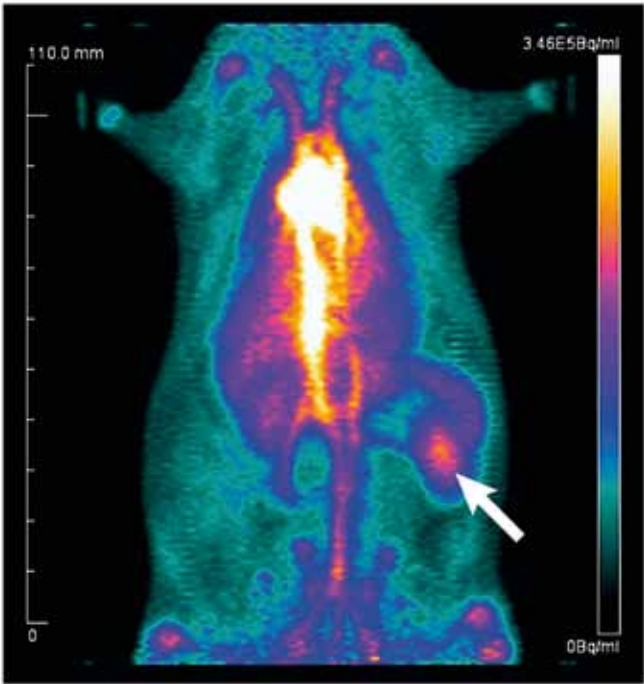


Bild 1: Links: Die Eigenschaften eines Nano-Hydrogels können gezielt maßgeschneidert und kombiniert werden. Hier eine Auswahl der wichtigsten Komponenten.

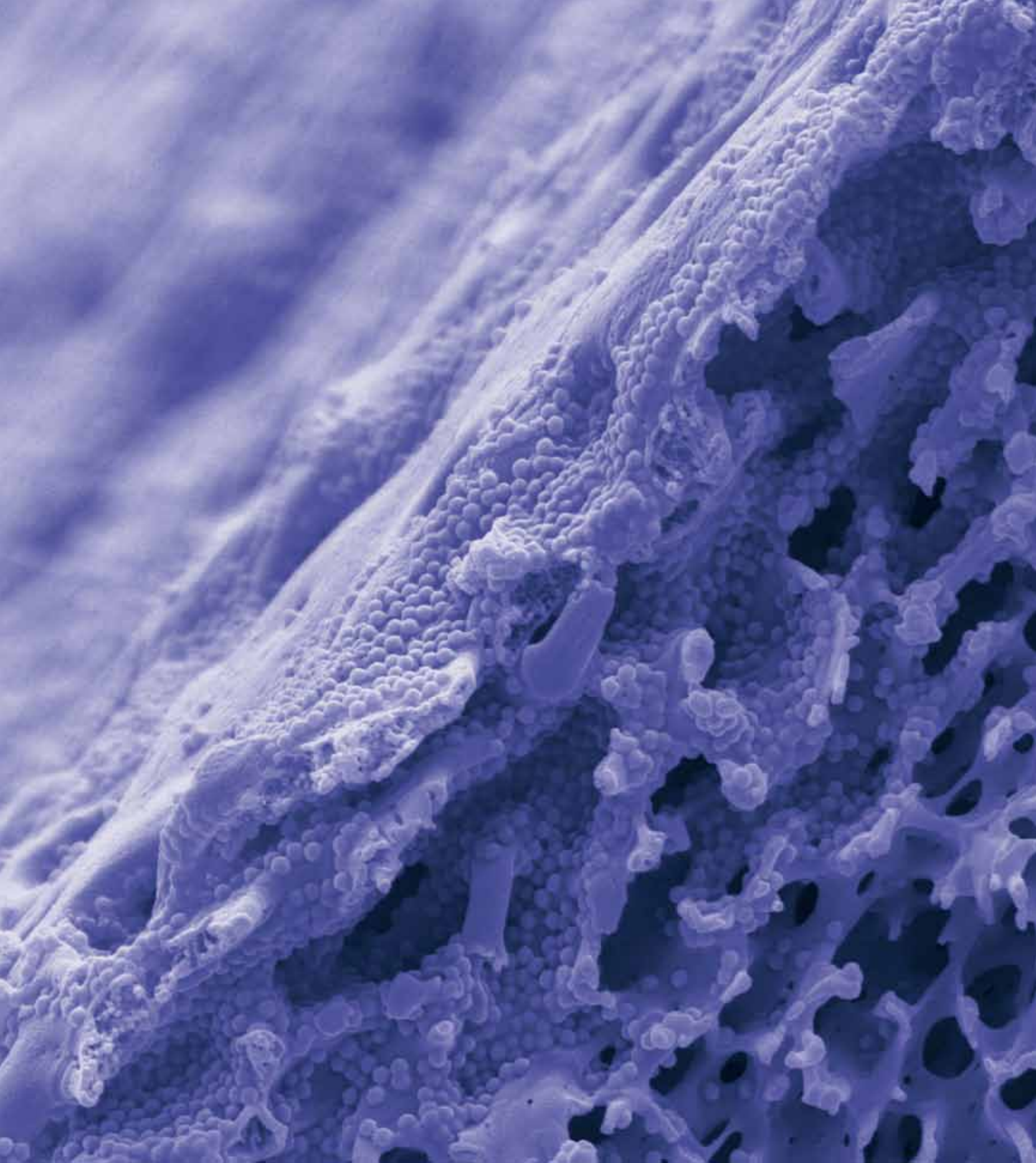
Unten ist die Lokalisierung von Gallium-68 markierten Nano-Hydrogelen in einer lebenden Ratte zu sehen. Die Aufnahme entstand mittels Positronen-Emissions-Tomographie. Bemerkenswert ist die verhältnismäßig geringe Lokalisierung in der Leber (Pfeil), es findet also kein verfrühter Abbau der Nano-Hydrogele statt.

Lokalisierung in der Ratte

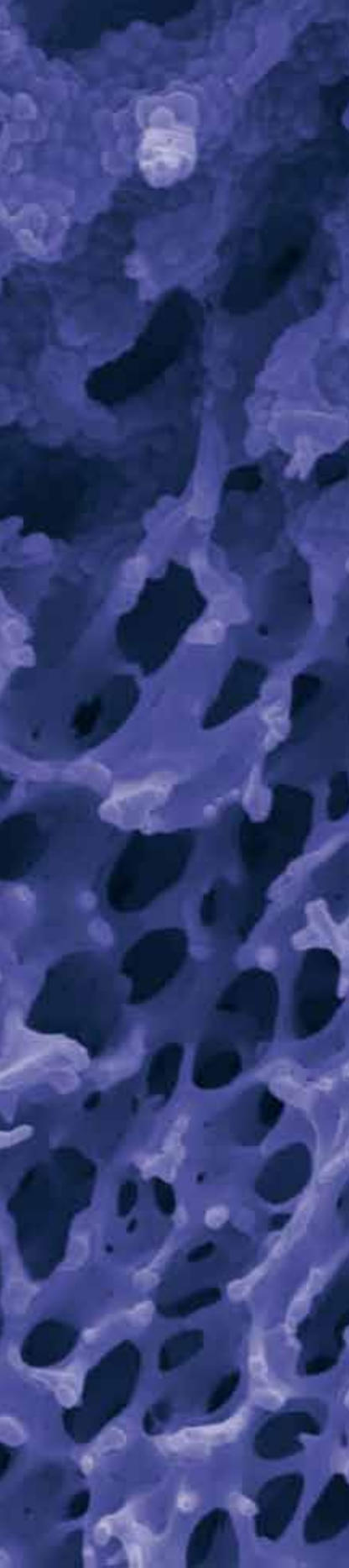


In Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern der Uniklinik RWTH Aachen und des Helmholtz-Instituts für Biomedizinische Technik entwickeln DWI-Wissenschaftler aktuell Mikrogele zur Beseitigung bakterieller Enterotoxine im Darm. Übermäßiger Befall mit den als Krankenhauskeim bekannten Clostridien führt zu schwerem Durchfall. Dabei lösen nicht die Bakterien selbst die Krankheit aus, sondern von ihnen ausgeschiedene Enterotoxine. Die Verwendung von Antibiotika ist hier sehr umstritten, da sie nicht nur den übermäßigen Clostridien-Befall bekämpfen, sondern die gesamte natürliche Darmflora angreifen. Abhilfe schaffen sollen Glycan-funktionalisierte Mik-

rogele, die spezifisch die Gifte binden. Die so in den Mikrogele integrierten Enterotoxine werden anschließend mit dem Stuhlgang ausgeschieden. Neben diesen eindimensionalen Partikelstrukturen kommen die Mikrogele auch als zweidimensionale Beschichtungen in Membranen zum Einsatz. Synthetische, polymerbasierte Membranen werden als Hämodialysatoren und Blutoxygenatoren zur Organunterstützung oder Organersatz verwendet. Dabei haben die Membranen lediglich eine Transferfunktion für Stoffabbauprodukte in der Dialyse oder für Sauerstoff und Kohlendioxid in einer Anwendung als künstliche Lunge. Neue ther-



*Bild 2: Elektronenmikroskopische Aufnahme einer Membran, die mit Mikrogelen beschichtet wurde.
Bild: Daniel Menne*



peutische Funktionen zur akuten Unterstützung von Organen werden zurzeit am DWI erforscht, wobei die heutigen Membranen durch spezielle Mikrogele um molekular-spezifische adsorptive Funktionen verbessert werden, siehe Bild 2.

3D-Gerüste für die regenerative Medizin

Im Bereich der regenerativen Medizin und des Tissue Engineerings werden innovative bioinspirierte Strukturen entwickelt, die durch Nachahmung der natürlichen dreidimensionalen Zell-Umgebung den Regenerationsprozess fördern. Die spezifischen Interaktionen zwischen Zellen und einem synthetischen Material sind dabei eine wichtige Herausforderung, um Zellen zu funktionalem Gewebe zu organisieren. DWI-Wissenschaftler konnten eine neue Methode etablieren, bei der die Eigenschaften von elektrogesponnenen Polyester-Fasern durch eine Hydrogel-Beschichtung und Funktionalisierung mit Zelladhäsions-anregenden Peptiden stark verändert wurden. Während die Beschichtung unspezifische Protein-Anlagerungen verhindert, wird die Anheftung von Zellen an die Fasern gefördert, siehe Bild 3. Die Ergebnisse sind ein direktes Beispiel dafür, dass synthetische Materialien das Zell-Verhalten gezielt beeinflussen können. Zellen erhalten eine Fülle an Informationen aus dem umliegenden Gewebe, einschließlich der extrazellulären Matrix, welche die Zellen einerseits umgibt und sie

im Gewebe voneinander separiert. Beim Tissue Engineering muss das synthetische Material genau diese instruktive Funktion zumindest teilweise übernehmen, um das Überleben der Zellen zu ermöglichen und das Verhalten der einzelnen Zellen zu kontrollieren. Eine zurzeit am DWI entstehende Nachwuchsgruppe nimmt sich genau dieser Herausforderung an: Hier werden injizierbare, hierarchisch strukturierte Hydrogele hergestellt, die erst an Ort und Stelle im Körper gelieren und die Bedingungen einer extrazellulären Matrix imitieren. Es ist eine besondere Herausforderung dieses hierarchischen Tissue Engineerings, die vor Ort im Körper entstehende Struktur im Detail zu beherrschen. Diese Methode könnte zukünftig bei der Regeneration von Rückenmarksverletzungen Anwendung finden, wobei die in vivo-Gelierung im Körper eine minimalinvasive Therapie ermöglicht.

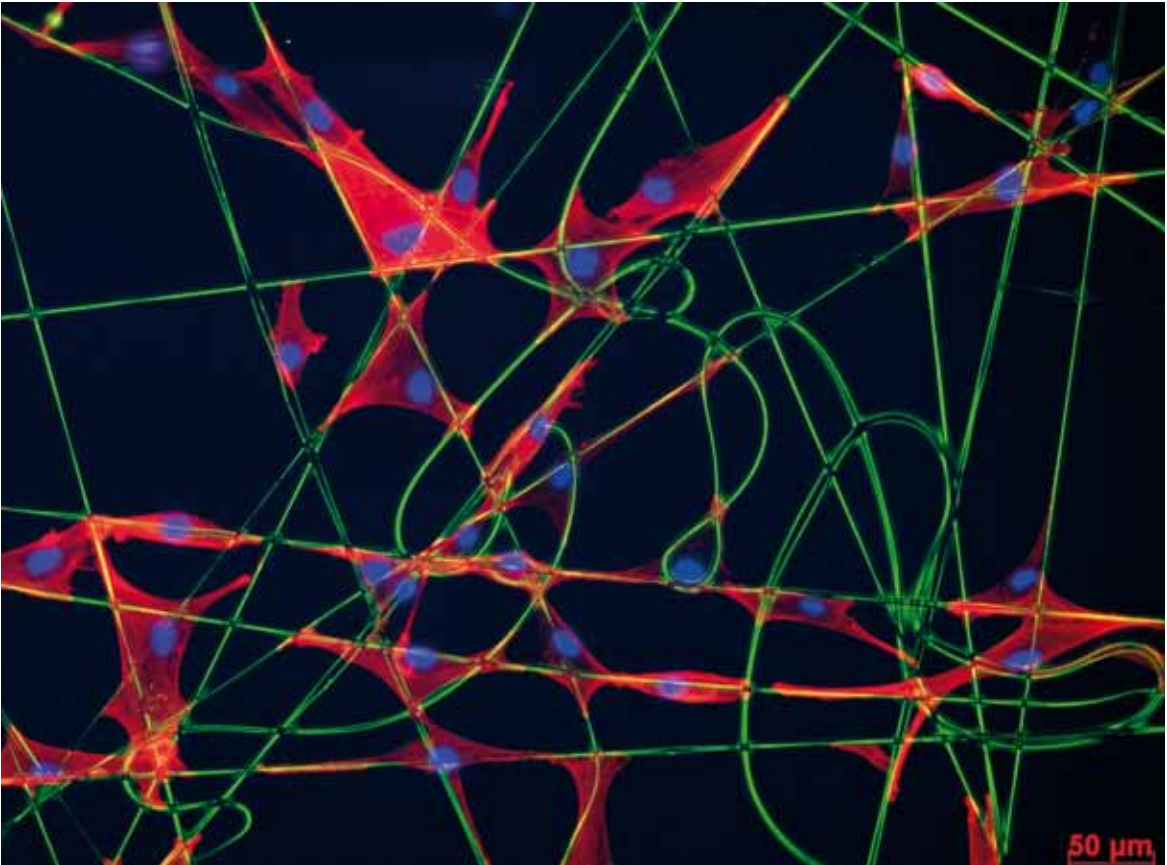
Autoren:

Dr. Janine Hillmer ist am DWI – Leibniz-Institut für Interaktive Materialien für die Öffentlichkeitsarbeit zuständig.

Dr. Laura De Laporte ist Nachwuchsgruppenleiterin am DWI, Dr. Smriti Singh gehört dem Nachwuchsgruppen-Team als Projektleiterin an.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Matthias Wessling ist Mitglied der Wissenschaftlichen Leitung des DWI – Leibniz-Institut für Interaktive Materialien und hat den Lehrstuhl für Chemische Verfahrenstechnik inne.

*Bild 3: Beschichtete Fasern (grün) bilden eine dreidimensionale Gerüststruktur zur Anlagerung von Zellen (rot).
Bild: Prof. Dr. Jürgen Groll*



Der Weg zu „lebenden“

„Hybrid“ können nicht nur die PKW der neuen Generation, sondern auch medizintechnische Systeme, dann allerdings insbesondere ‚biohybrid‘. Es geht um die Erweiterung technischer Therapie- und Diagnosesysteme um biologische Komponenten zu einer stabil funktionierenden Einheit – das macht biohybride Medizinsysteme aus. Dies sind zum Beispiel Wirkstoff-beschichtete Gefäßstützen, so genannte Stents, mit einer lebenden Schicht körpereigener Zellen ummantelt; Kontrastmittel, die entartete Zellen erkennbar binden und über Wirkstoffe spezifisch eliminieren können, Theranostik genannt, oder Unterstützungssysteme für geschwächte Herzen und Lungen, die bedarfsgerecht oder smart arbeiten und aufgrund biofunktionalisierter Oberflächen die Bildung gefährlicher Gerinnsel unterdrücken. Allein diese Beispiele zeigen, welche enormen Fortschritte für die Langlebigkeit, Immunverträglichkeit und sogar die Personalisierung zukünftiger Medizintechnik möglich sind.

Große Chancen bergen auch große Herausforderungen. Die Komplexität eines vitalen, zellbesiedelten, Implantates steigt gegenüber rein technischen Lö-

sungen sprunghaft an. So müssen beispielsweise die Zellen auf einer Herzklappe regelrecht trainiert, also belastet werden, bevor sie im Patienten ihre Aufgabe übernehmen können. In speziell entwickelten Bioreaktoren, siehe Bild 1, erhalten die Implantate – jedes einzelne – ihre notwendige Fitness. Dieser und viele weitere Aspekte aus der Entwicklung haben gezeigt, dass für derartige Innovationen die Produzierbarkeit zwischen Massen- und Maßfertigungen neu erdacht werden muss. Es reicht nun nicht mehr, sich erst nach der Forschungsphase mit der Herstellung zu beschäftigen, vielmehr müssen produktionstechnische Aspekte von Beginn an Teil der Entwicklung werden. Damit ändert sich auch der Verlauf der Forschung, die Arbeitsweise der Wissenschaftler aus den unterschiedlichsten Fachrichtungen, die sich dann auch in einer neuen Prozessführung in den Laboren niederschlagen muss, siehe Bild 2.

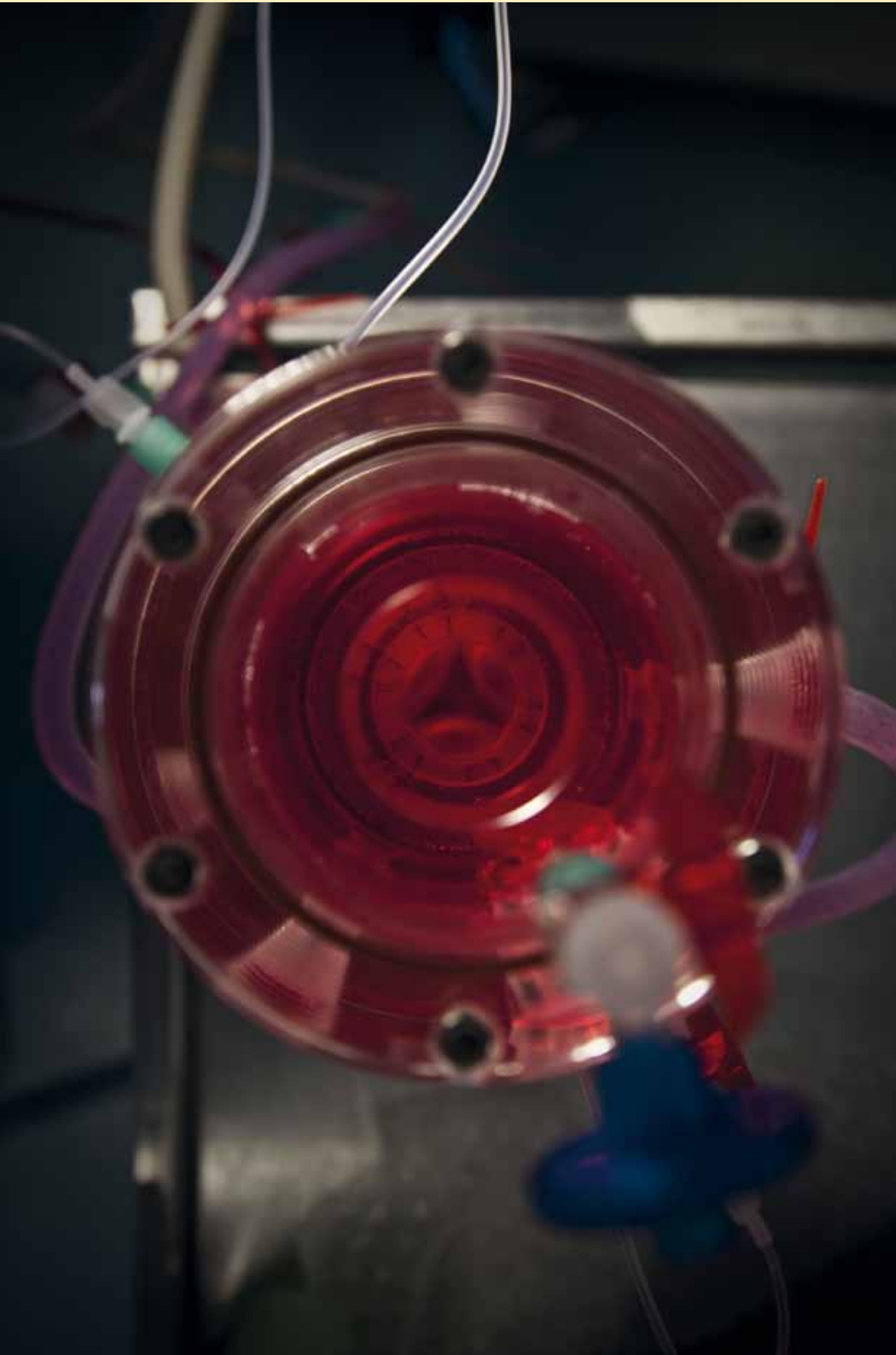
Interdisziplinarität und langfristig stabile Zusammenarbeit auf allen Ebenen sind notwendig, um diese Herausforderungen zu meistern. Im „Integrated Interdisciplinary Institute of Technology for Medicine (I³TM)“,

einer Maßnahme des Zukunftskonzepts der RWTH, haben sich zahlreiche Wissenschaftler unterschiedlichster akademischer Fachrichtungen der RWTH und des Forschungszentrums Jülich zusammengeschlossen, um unter anderem die Geheimnisse einer biohybriden Lunge zu entschlüsseln. Für den Erfolg ist aber auch die Kooperation über die Hochschullabore hinaus unabdingbar. Dies ist der Kerngedanke des Campus-Clusters Bio-Medizintechnik: Schulterschluss zwischen Akademia, Unternehmen und -firmen zwischen Organunterstützung, Bildgebung und bildgeführter Therapie, intelligenten Implantaten, pharmazeutischer Produktentwicklung bis hin zur Personal Health Care sind nicht nur typisch für die medizintechnische Branche, sondern auch notwendig für die angestrebten Durchbrüche auf dem Weg zu „lebenden“ Medizinsystemen.

Die Zukunft im Campus-Cluster hat bereits begonnen. Von Norden her markiert das

Medizinsystemen

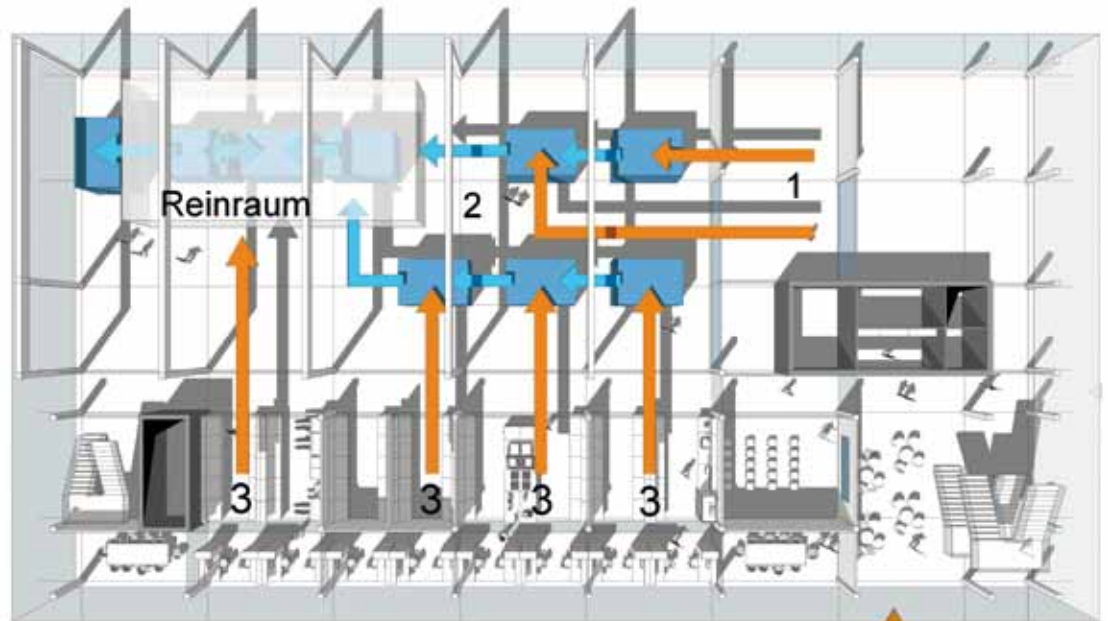
Campus Cluster Bio-Medizintechnik



zukünftige Center for Biohybrid Medical Systems (CBMS) den Übergang zur Clusterfläche, die sich mit ersten Firmenansiedlungen sowie Spin-offs anschließt und am südlichen Zipfel in das neu entstehende Lehr- und Weiterbildungsgebäude der Medizinischen Fakultät mündet. Denn schließlich werden neuartige Medizinsysteme auch neuartige Qualifikationsprofile hervorbringen, damit die Forschungsergebnisse am Ende heilbringend beim Patienten ankommen.

Autoren:
Dr. Robert Farkas ist Leiter der Abteilung Science Management im Institut für Angewandte Medizintechnik und geschäftsführend für das Campus-Cluster Bio-Medizintechnik tätig.
Univ.-Prof. Dr. med. Dipl.-Ing. Thomas Schmitz-Rode ist Direktor des Instituts für Angewandte Medizintechnik und Sprecher des Campus-Clusters Bio-Medizintechnik.

*Bild 2: Im Forschungsneubau CBMS wird künftig auch räumlich die Kooperation zwischen den Fachdisziplinen zur Entwicklung biohybrider Medizinsysteme gefördert: Biologie, Elektrotechnik, Chemie, Maschinenbau (3), Bildgebung (1) und zentrale Prototypen-Produktion (2).
Quelle:
AME & Carpus + Partner AG*



*Bild 3: Auf dem Weg zur personalisierten Versorgung: Individuelle Gangauffälligkeiten werden dem Patienten via Tablet/ Smartphone-App im Rahmen einer maßgeschneiderten, technisch assistierten Rehabilitation zur Verfügung gestellt.
(AME - RPE)
Foto: Peter Winandy*



Bücher

Theologie an der RWTH Aachen University in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts, 1954 – 2001

von Univ.-Prof. i.R. Dr.theol. Dr. theol.habil. Johannes Floß, erschienen im Einhard-Verlag

Technische Hochschulen sind nicht der angestammte Ort von Geisteswissenschaften, erst recht nicht der Theologie. Und dennoch ist in den Technischen Hochschulen seit ihrer Entstehung im 19. Jahrhundert die ein oder andere geisteswissenschaftliche Disziplin vertreten. Womöglich wollte damals dieser neue Hochschultyp damit nur seine Augenhöhe zu den traditionellen Universitäten unterstreichen. Das wissenschaftliche Niveau der verschiedenen technischen Disziplinen steigerte sich rasch gegenüber ihren Anfängen in den Polytechnischen Schulen. Geisteswissenschaftliche Disziplinen sollten nun den Studierenden der Ingenieurwissenschaften die Möglichkeit bieten, ihre fachwissenschaftliche Ausbildung durch allgemeinbildende Inhalte zu ergänzen. Das war, vereinfacht gesagt, die Situation und die Funktion von geisteswissenschaftlichen Disziplinen an Technischen Hochschulen bis 1933. Die Nazizeit markiert eine Zäsur. Geisteswissenschaftliche Professuren werden entweder umgewidmet oder durch Rassenideologie bedingte und politisch motivierte Relegierungen von Fachvertretern der Geisteswissenschaften eliminiert - in Aachen war davon unter anderem der jüdische Germanist Ludwig Strauß, ein Schwiegersohn Martin

Bubers, betroffen. Nach Kriegsende türmten sich auch in Aachen riesige Trümmerberge auf. Der geistig-moralische Schutthaufen, den die Naziherrschaft hinterließ, war nicht minder gewaltig dazu weit komplexer als ersterer. Während sich Trümmer wegräumen ließen, konnte man den geistig-moralischen Verwerfungen nicht einfach durch Verdrängung beikommen. Leider war das jedoch im besiegten Deutschland eine sehr verbreitete Haltung. Wie soll man in dieser Situation einen Neubeginn starten? Unter Aufsicht US-amerikanischer Besatzungsbeamter fand am 20. Dezember 1945 die erste Senatssitzung der RWTH statt. Am 3. Januar 1946 wurde die Hochschule, in Anwesenheit des britischen University Education Control Officer Mr. Arthur W. J. Edwards wiedereröffnet. In der Rede des damaligen Rektors Paul Röntgen lassen Signale aufhorchen, die die Absicht zu einem radikalen Neubeginn erkennen lassen. Röntgen skizziert Vorstellungen von der Heranbildung eines neuen Ingenieurs-Typs. Er solle nicht nur Spezialist sein, sondern eine neue Geisteshaltung müsse ihm vermittelt werden, das um die letzten Dinge kreisende ehrfurchtsvolle Staunen sei zu fördern, die Lehre sei in den technischen Fächern auf das Grundsätzliche zu beschränken,

die dadurch gewonnene Zeit müsse dem Studium der Geisteswissenschaften zugeführt werden. Als Konsequenz fordert er einen weiteren Ausbau der Fakultät für allgemeine Wissenschaften. Mit Recht fragt man sich, ob diese Vorstellungen der genuinen Vision eines Ingenieurs der Metallurgie entstammen oder ob nicht hier der britische University Education Control Officer als Einflüsterer fungierte. Starke Indizien sprechen für die zuletzt geäußerte Annahme. An dieser Stelle beginnt nun die Recherche zur Geschichte der Theologie in der RWTH in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhundert mit der Frage nach der Motivation der Implementierung geisteswissenschaftlicher Disziplinen, darunter auch evangelische und katholische Theologie in die RWTH. Anhand der Vorlesungsverzeichnisse der RWTH von 1954 bis 2001 wird die stufenweise Entwicklung der Theologie dargestellt und abschließend nach der Quintessenz gefragt. Teil II der Studie umfasst drei Anhänge: In Anhang I werden in einer tabellarischen Zusammenschau alle Personalangaben und Lehrangebote, wie sie in den Vorlesungsverzeichnissen der RWTH vom Sommersemester 1954 bis zum Wintersemester 2001/2002 dokumentiert sind, in Kurzform aufgelistet. Die Angaben der Evangelischen Theologie

und der Katholischen Theologie sind dabei auf einhundert Seiten parallel zueinander dargestellt. Anhang II bietet in Ablichtung die Vereinbarung zwischen den Rektoren der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn und der RWTH Aachen vom 3. Juli 1986 über Kooperation bezüglich des SII-Studiengangs. Diese Zusammenarbeit findet vornehmlich durch die Mitwirkung der Bonner Fakultät in Berufungsverfahren für theologische Professuren in Aachen statt. Außerdem eröffnet die Vereinbarung Aachener Studierenden unter bestimmten Voraussetzungen die Möglichkeit zu einer theologischen Promotion in Bonn. Das schließt auch die eventuelle Mitwirkung von Aachener Theologieprofessoren im Bonner Promotionsverfahren ein. In Anhang III sind die beiden für die Stiftungsprofessur „Klaus Hemmerle“ einschlägigen Grundlegendendokumente abgelichtet, erstens das von der Katholischen Theologie konzipierte Strukturpapier der Philosophischen Fakultät in der Erstfassung von 1993 und der Neufassung von 2006 und zweitens die Satzung der Klaus-Hemmerle-Gesellschaft zur Förderung des interdisziplinären Dialogs. Ein Personenregister rundet die Studie ab.

Startup gewinnt in den USA

RWTH-Wissenschaftler belegten den ersten Platz beim weltweit größten Business Plan Wettbewerb in den USA mit den höchsten Preisgeldern. In der Vorauswahl des „Rice Business Plan Competition“ musste sich das Team „Medical Adhesive Revolution (MAR)“ gegen rund 1.200 Mitbewerber durchsetzen. Gemeinsam mit 41 weiteren Teams wurden die Aachener zur Endrunde an die Rice University in Houston, Texas, eingeladen. Sie präsentierten ihre Geschäftsidee vor Investoren und Unternehmern, anschließend stellten sie sich den kritischen Fragen des Publikums. In diesem Finale überzeugten die Doktoranden Marius Rosenberg und Alexander Schüller am Lehrstuhl Wirtschaftswissenschaften für Ingenieure und Naturwissenschaftler (WIN). Rosenberg ist zugleich Geschäftsführer der siegreichen Firma, Schüller leitet das RWTH-Gründerzentrum. Das Produkt der Firma ist ein biologisch abbaubarer Klebstoff für medizinische Anwendungen. Besonders überzeugte die Jury das bereits weit fortgeschrittene Entwicklungsstadium, welches Ergebnis der guten Zusammenarbeit zwischen Wirtschaft und Wissenschaft in der Region ist. Der MAR-Wundkleber kann auf der Haut zum Schließen von Schnitt- und Platzwunden eingesetzt werden, aber auch als biologisch abbaubareres Produkt im Körper zum Stoppen von starken Blutungen an Organen oder dem luftdichten Verschluss von Wunden, beispielsweise bei einer Lungenperforation. Der Kleber verschließt die Wunden in Sekunden, ist elastisch und präzise anwendbar.

Aachener Team gewinnt

Die „Carologistics“ konnten das Finalspiel der „RoboCup Logistics League“ für sich entscheiden: Das Team von Mitarbeitern der RWTH und der FH Aachen gewann mit 81:40 gegen den amtierenden Weltmeister, die „BendingUnits“ der Technischen Universität München. Zum Aachener Team gehörten seitens der RWTH Mitarbeiter des Institutsclusters IMA/ZLW & IfU (Lehrstuhl für Informationsmanagement im Maschinenbau, Zentrum für Lern- und Wissensmanagement, An-Institut für Unternehmenskybernetik e.V.) unter Leitung von Univ.-Prof. Dr.rer.nat. Sabina Jeschke und die Knowledge-Based Systems-Gruppe am Lehr- und Forschungsgebiet Informatik 5 (Wissensbasierte Systeme) unter Leitung von Univ.-Prof. Gerhard Lakemeyer, PH.D.. Für die FH Aachen gingen Beschäftigte des Fachbereichs für Elektrotechnik und Informationstechnik, Arbeitsgruppe Prof. Alexander Ferrein, an den Start. Aufgabe war es, die Logistikprozesse eines – von Industrie 4.0 inspirierten – Produktionsszenarios möglichst optimal mit einem Team von autonomen mobilen Robotern umzusetzen. Neben den klassischen Problemen mobiler Robotik wie Lokalisierung, Navigation und Computer-Vision ergaben sich auch Planungs- und Kooperationsaufgaben.

Auszeichnungen für zwei Informatik-Absolventen

Die Absolventen Dr. Raimondas Sasnauskas und Hossein Shafagh wurden für ihre Abschlussarbeiten ausgezeichnet. Diese entstanden am Lehrstuhl für Informatik 4 (Kommunikation und Verteilte Systeme) unter Leitung von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Wehrle. Die Fachgruppe „Kommunikation und Verteilte Systeme“ der Gesellschaft für Informatik und der Informationstechnischen Gesellschaft des Verbands der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.v., kurz VDE, verleiht jährlich einen Preis für die beste Dissertation und für die beste Master-Arbeit.

Sasnauskas entwickelte in seiner Dissertation „Symbolic Execution of Distributed Systems“ ein Testverfahren, das auch selten auftretende Implementierungsfehler in verteilten Systemen effizient erkennt. So wird Netzwerksoftware sicherer und zuverlässiger. Sasnauskas wurde zusätzlich von Dr. Cristian Cadar vom Imperial College London betreut. Seit Juli 2013 forscht der Nachwuchswissenschaftler als Postdoctoral Researcher an der School of Computing der University of Utah, USA.

Shafagh analysiert in seiner Master-Arbeit mit dem Titel „Leveraging Public-Key-based Authentication for Internet of Things“ das Sicherheitsprotokoll Datagram TLS (DTLS) hinsichtlich seiner Einsetzbarkeit in ressourcenbeschränkten Netzwerken. Die Arbeit wurde zusätzlich vom Swedish Institute of Computer Science betreut. Shafagh promoviert inzwischen an der ETH Zürich.

Namen

Hertha-Sponer-Preis für Anne Schukraft

Die Deutsche Physikalische Gesellschaft hat Dr. Anne Schukraft mit dem Hertha-Sponer-Preis für ihre Promotion ausgezeichnet. Mit ihrer hervorragenden wissenschaftlichen Arbeit hat Schukraft ein verbessertes Verständnis systematischer Fehlerquellen und eine deutliche Erhöhung der experimentellen Empfindlichkeit von IceCube geliefert. IceCube ist das größte Neutrino-Teleskop der Welt, das am Südpol Spuren von Neutrinos aus dem Weltall auffängt. Die Auszeichnung ist mit 3.000 Euro dotiert und soll vor allem jüngere Wissenschaftlerinnen unterstützen und mehr Frauen für die Physik gewinnen. Der Preis wurde im Rahmen eines Festaktes der Deutschen Physikalischen Gesellschaft in Berlin verliehen. Dr. Anne Schukraft studierte Physik an der RWTH Aachen und wurde am Lehr- und Forschungsgebiet Experimentalphysik promoviert. Sie war Stipendiatin der Konrad-Adenauer-Stiftung und der Deutschen Telekom Stiftung. Für ihre herausragenden Leistungen erhielt sie zahlreiche Preise und Auszeichnungen. Seit Oktober 2013 arbeitet sie als Postdoktorandin am Fermi National Accelerator Laboratory, Warrenville (USA).

Studenten gewinnen Service-Innovation-Award

Das FIR an der RWTH Aachen, das M2M Competence Center der Deutschen Telekom AG und die Walter-Eversheim-Stiftung haben auf dem 17. Aachener Dienstleistungsforum zwei Studierende der RWTH mit dem Service-Innovation-Award 2014 ausgezeichnet. 37 Studenten in 16 Teams hatten die Herausforderung angenommen und innovative Konzepte für neue Dienstleistungen durch den Einsatz von Machine-to-Machine(M2M)-Lösungen erarbeitet. Überzeugt hat die Arbeit der Studierenden Jennifer Willigers und Benedikt Moser mit einem Geschäftsmodell für den Einsatz von 3D-Druckern in Industrieparks. „Wir sind sehr angetan von der Kreativität und dem Engagement der Studenten. Auch den zweiten und dritten Platz konnten sich Studierende der RWTH sichern. Platz zwei ging an Ines Marieke Hasenkamp und Daniel Lamers für ihren Vorschlag, Schädlingsbefall mittels M2M auszuwerten. Platz drei ging an Jannick Peine, Prabhjeet Singh und Elias Ostromuhoff für ihre Idee, die Nutzungsdaten von Maschinen für den Wiedereinsatz zu verwenden. Der Service-Innovation-Award wird seit 2011 jährlich verliehen und ist fester Bestandteil der Forschungs- und Entwicklungstransferleistungen im Campus-Cluster Logistik am RWTH Aachen Campus.

Johann-Philipp-Reis-Preis 2013 für Bernd Geiser

Dr.-Ing. Bernd Geiser, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Nachrichtengeräte und Datenverarbeitung, wurde mit dem Johann-Philipp-Reis-Preis 2013 geehrt. Dieser erinnert an den Erfinder des Telefons Johann Philipp Reis und wird alle zwei Jahre für bedeutende Neuerungen in der Nachrichtentechnik vergeben. Stifter des Preises sind der Verband Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. VDE, die Deutsche Telekom sowie die Städte Friedrichsdorf und Gelnhausen. Der Preis ist mit 10.000 Euro dotiert.

Bernd Geiser promovierte im April 2012 zum Thema „High Definition Telephony over Heterogeneous Networks“ am Institut für Nachrichtengeräte und Datenverarbeitung unter Leitung von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Vary. Im Rahmen seiner Dissertation entwickelte er Algorithmen und Verfahren zur Verbesserung der Sprachqualität beim Telefonieren. Die Entwicklungen verbinden die verbesserte Qualität mit hoher Wirtschaftlichkeit: Ein Ansatz nutzt beispielsweise die versteckte Übertragung von Zusatzinformation im digitalen Sprachsignal. Aus diesen kann das Empfangsgerät zusätzliche Audiofrequenzen erzeugen und somit die Sprachqualität deutlich erhöhen. Umfangreiche und kostspielige Umrüstungen des Übertragungsnetzes entfallen, lediglich die Endgeräte müssen ausgetauscht werden.

Wallenberg Academy Fellowship für Janine Splettstößer

Seit Januar 2014 forscht Univ.-Prof. Dr.rer.nat. Janine Splettstößer vom Lehr- und Forschungsgebiet Theoretische Physik der RWTH Aachen an der Chalmers University of Technology in Schweden. Splettstößer hat ein Wallenberg Academy Fellowship erhalten, sie bekommt damit in den nächsten fünf Jahren rund 1,3 Millionen Euro für ihre Forschungsprojekte. Die Knut und Alice Wallenberg Foundation ist eine Schwedische Stiftung, die sich vor allem der Forschungsförderung widmet. Splettstößer wurde von der Chalmers University of Technology in Schweden für die Auszeichnung vorgeschlagen.

Splettstößer studierte an der Universität Karlsruhe und promovierte 2007 an der Scuola Normale Superiore in Pisa und der Ruhr-Universität Bochum. Nach zweijähriger Tätigkeit an der Universität Genf kam sie im Rahmen des NRW-Rückkehrer-Programms nach Deutschland. Im Oktober 2009 übernahm sie die Leitung einer Nachwuchsforschergruppe an der RWTH Aachen.

Zwei RWTH-Professoren erhalten höchstdotierten deutschen Forschungspreis

Gleich zwei Professoren der RWTH Aachen gehören zu den Preisträgern des Gottfried Wilhelm Leibniz-Programms: Dr.rer.nat. Leif Kobbelt, Universitätsprofessor für Computergraphik und Multimedia, und Dr.-Ing. Rainer Waser, Universitätsprofessor für Werkstoffe der Elektrotechnik. Der Gottfried Wilhelm Leibniz-Preis gilt als der wichtigste Forschungsförderpreis in Deutschland. Mit ihm würdigt die DFG herausragende Forscher, die frühzeitig exzellente grundlegende Leistungen auf ihren Arbeitsgebieten erbracht haben und von denen erwartet wird, dass sie die Forschungslandschaft in Deutschland nachhaltig prägen werden. Die Preisträger erhalten für ihre Forschungen jeweils 2,5 Millionen Euro.

Kobbelt genießt national und international einen hervorragenden Ruf in Sachen Computergraphik. Zu seinen Forschungsschwerpunkten gehören 3D-Anwendungen, Interaktive Visualisierung sowie Mobile Multimedia-Anwendungen. Nach Studium und Promotion im Fach Informatik an der Universität Karlsruhe war Kobbelt an der University of Wisconsin in Madison (USA), der Universität Erlangen-Nürnberg und dem Max-Planck-Institut für Informatik in Saarbrücken tätig, bevor er 2001 an die RWTH wechselte. Im Sommer 2013 wurde Kobbelt bereits mit dem ERC Advanced Grant des Europäischen Forschungsrates ausgezeichnet, der mit über zwei Millionen Euro dotiert ist.

Waser studierte Chemie in Darmstadt und in Southampton. Nach seiner Promotion arbeitete er zunächst im Philips Forschungslaboratorium in Aachen. 1992 wurde er an die RWTH Aachen berufen, fünf Jahre später wurde er zudem Direktor am heutigen Peter Grünberg Institut des Forschungszentrums Jülich. Seine Forschung ist darauf ausgerichtet, Speicherelemente zu verkleinern und dadurch energieeffizienter zu gestalten.

Waser gründete das Electronic Materials Research Lab (EMRL): Es besteht aus dem Institut für Werkstoffe der Elektrotechnik (IWE II) der RWTH Aachen sowie dem Institut für Elektronische Materialien (IEM) am Forschungszentrum Jülich. Beide Einrichtungen werden von ihm geleitet und gehören zur Sektion „Fundamentals of Future Information Technology“ der Jülich Aachen Research Alliance (JARA-FIT). Seit 2006 ist Waser Mitglied der Nordrhein-Westfälischen Akademie der Wissenschaften

und der Künste und engagiert sich im Sonderforschungsbereich 917 „Resistiv schaltende Chalkogenide für zukünftige Elektronikanwendungen“ oder kurz „Nanoswitches“, der ebenfalls durch die DFG gefördert wird. Hier untersucht ein interdisziplinärer Verbund von Naturwissenschaftlern und Ingenieuren der RWTH und des Forschungszentrums Jülich drei unterschiedliche Schaltmechanismen der neuartigen Nanoschalter. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen sollen neue Chalkogenidzellen erforscht werden, die ultraschnell und extrem energieeffizient schalten. Dies könnte unter anderem die digitalen Speicher revolutionieren.

Zweiter ERC Grant für RWTH-Professor Magnus Rueping

Univ.-Prof. Dr.rer.nat. Magnus Rueping vom Lehrstuhl für Organische Chemie erhält einen Consolidator Grant des European Research Council, kurz ERC. Der 41-jährige Wissenschaftler wird damit zum zweiten Mal durch den Europäischen Forschungsrat ausgezeichnet: Rueping wurde zunächst mit dem ERC Starting Grant – der an Nachwuchswissenschaftler zwei bis sieben Jahren nach der Promotion vergeben wird – gefördert. Der Chemiker erhielt zwischen 2007 und 2012 nahezu 1 Millionen Euro für seine Forschung. Der Consolidator Grant geht an Wissenschaftler, deren Promotion sieben bis zwölf Jahre zurückliegt. Bewilligt wurden jetzt fast 2 Millionen Euro für Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der „Nachhaltigen Katalyse und Technologieentwicklung“. Rueping lehrt und forscht seit 2009 an der RWTH, er studierte an der TU Berlin und promovierte 2002 an der ETH Zürich. Anschließend forschte er an der Harvard University, bis er 2004 – ohne zu habilitieren – direkt auf eine Professur an die Goethe-Universität Frankfurt berufen wurde. Rueping wurde bereits mit verschiedenen Preisen ausgezeichnet, beispielsweise dem Dozentenstipendium des Fonds der Chemischen Industrie, dem ORCHEM Preis der Gesellschaft Deutscher Chemiker und dem Chemiepreis der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen.

Forschung zur Vielfalt des Bodens

Wissenschaftler vom Lehrstuhl für Umweltbiologie und Chemo-dynamik arbeiten im Rahmen des Projekts „GBIF-Edaphobase: Informationssystem, Daten-Repository, Daten-Infrastruktur und Service-Plattform für die Bodenzoologie“ zur Biodiversität des Bodens. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung finanziert die Arbeiten für die Dauer von vier Jahren mit 540.000 Euro. Weitere Projektpartner sind das Senckenberg Museum für Naturkunde in Görlitz, das Staatliche Museum für Naturkunde in Karlsruhe, die ECT Oekotoxikologie GmbH in Flörsheim am Main, der Botanische Garten und das Botanische Museum der Freien Universität Berlin sowie gaiac – Forschungsinstitut für Ökosystemanalyse und -bewertung e.V. an der RWTH Aachen.

Basis der Arbeit ist das im Senckenberg Museum für Naturkunde Görlitz entwickelte Informationssystem „Edaphobase“. Dieses fasst Daten zur Bodenbiodiversität in großer Zahl zusammen und macht sie für verschiedene Auswertungsverfahren nutzbar. Das Informationssystem soll nun zu einem Beurteilungsinstrument für Daten in Deutschland ausgebaut und mit den nationalen Biodiversitätsinitiativen und -institutionen vernetzt werden. Edaphobase ist damit auch im globalen Maßstab ein Pilotprojekt zur Beurteilung der Auswirkungen unterschiedlicher Stressoren auf die Umwelt.

Forschungsrahmenvertrag unterzeichnet

Die Siemens AG und die RWTH Aachen haben einen gemeinsamen Rahmenvertrag zur Auftragsforschung unterzeichnet. Die RWTH gilt als eine von weltweit acht top strategischen Hochschulkooperationen der Siemens AG und gehört dem Siemens-Format „Center of Knowledge Interchange“ (CKI) an. Nach der Initiierung der beiden Siemens-Forschungsbereiche „Silectric Powertrain“ und „Seltene Erden“ in 2011 und 2012 bildet der neue Rahmenvertrag einen wichtigen Meilenstein in der 10-jährigen Zusammenarbeit.

Auszeichnung für Uwe Conrath

Mit dem Wissenschaftspreis der Deutschen Phytomedizinischen Gesellschaft e.V. ist Univ.-Prof. Dr.rer.nat. Uwe Conrath für seine wegweisenden, wissenschaftlichen Leistungen ausgezeichnet worden. Conrath – seit 2004 Professor für Biochemie und Molekularbiologie der Pflanzen – erforscht das Abwehrsystem von Pflanzen. „Er und sein Team untersuchen, wie es Pflanzen schaffen, ihre Abwehrreaktionen schneller zu aktivieren, als Pflanzen, die krank werden. Dabei spielt ein als „Priming“ bezeichneter Mechanismus eine wichtige Rolle, bei dessen Aufklärung Conrath Pionierarbeiten geleistet hat. Für diese wurde er nun ausgezeichnet. Zum Beispiel kann eine Erstinfektion von Pflanzen diese vor einem Zweitbefall schützen. Die Pflanze kann ihr Immunsystem entsprechend aufbauen, indem sie nach der Erstinfektion die für die Abwehr von Krankheitserregern erforderlichen Eiweißmoleküle synthetisiert und auch Änderungen beim Erbgut als Informationsspeicher über die Erstinfektion vornimmt. „Das Priming ist auch eine gute Alternative und eine sinnvolle Ergänzung zu giftigen Chemikalien. Unsere Forschungsarbeiten sind auch für die Humanmedizin von großer Bedeutung, da das Priming auch in Menschen und Wirbeltieren vorkommt, dort aber bislang kaum erforscht wurde“, erläutert Conrath.

Promotionspreis für Danilo Bzdok und Professor Simon Eickhoff

Der Promotionspreis der Deutschen Gesellschaft für Psychiatrie und Psychotherapie, Psychosomatik und Nervenheilkunde zeichnet junge Forscherinnen und Forscher und ihre Betreuer für die besten Dissertationen im Fachgebiet der Psychiatrie und Psychotherapie aus. Der mit insgesamt 24.000 Euro dotierte Preis wurde unter anderem an Dr.med. Danilo Bzdok und seinen Promotionsbetreuer, Professor Dr.med. Simon B. Eickhoff, für die Promotion zum Thema „Funktionelle Spezialisierung für soziale Prozesse im menschlichen Gehirn“. Die Arbeit entstand im Rahmen des Doktorandenprogramms des Internationalen Graduiertenkollegs „Schizophrenie und Autismus“. Die beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler arbeiten sowohl an den Fachkliniken der Uniklinik RWTH Aachen als auch am Forschungszentrum Jülich und an der University of Pennsylvania.

Janina Fels und Christoph Michels im Jungen Kolleg

Die RWTH-Wissenschaftler Prof. Dr.-Ing. Janina Fels und Dr.phil. Christoph Michels wurden in das Junge Kolleg der Nordrhein-Westfälischen Akademie der Wissenschaften und Künste aufgenommen. Dieses wurde 2006 zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses mit finanzieller Unterstützung der Stiftung Mercator gegründet. Bis zu 30 herausragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aller Fachrichtungen können für eine Dauer von maximal vier Jahren berufen werden, sie erhalten ein jährliches Forschungsstipendium und Reisemittel. Zum Zeitpunkt der Aufnahme dürfen die Mitglieder nicht älter als 36 Jahre sein. Im Jungen Kolleg haben sie Gelegenheit, ihre Projekte in interdisziplinären Arbeitsgruppen zu diskutieren.

Prof. Dr.-Ing. Janina Fels ist seit Oktober 2012 Juniorprofessorin für Medizinische Akustik und arbeitet zudem als Gastwissenschaftlerin am Institut für Neurowissenschaften und Medizin, Strukturelle und funktionelle Organisation des Gehirns am Forschungszentrum Jülich. Sie untersucht die Wahrnehmung und Kommunikation in komplexen akustischen Szenen – beispielsweise in Klassenräumen und Großraumbüros – und deren Verarbeitung. So entwickelt sie Modelle und Algorithmen für Au-

diosysteme und Schallexperimente, die neue Möglichkeiten in der Hörgeräteversorgung eröffnen. Fels studierte Elektrotechnik an der RWTH und promovierte am RWTH-Institut für Technische Akustik, Forschungsaufenthalte führten sie in die USA und nach Dänemark. Im März 2013 wurde Fels bereits mit dem Lothar-Cremer-Preis der Deutschen Gesellschaft für Akustik e.V. ausgezeichnet.

Dr.phil. Christoph Michels, geboren 1977, ist seit 2009 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Alte Geschichte. Er studierte Geschichte, Klassische Archäologie und Kunstgeschichte an der Ruhr-Universität Bochum. Im Rahmen des von der DFG geförderten internationalen Graduiertenkollegs „Politische Kommunikation von der Antike bis ins 20. Jahrhundert“ wurde Michels in einem Cotutelle-Verfahren an den Universitäten Innsbruck und Frankfurt am Main promoviert. Seine Forschungsschwerpunkte liegen zeitlich in der hellenistischen Epoche und der römischen Kaiserzeit. Er beschäftigt sich primär mit den sprachlichen und bildlichen Zeugnissen des antiken Diskurses über die Charakteristika legitimer Herrschaft sowie mit der Analyse von Kulturkontakten und Identitätskonstruktion. Sein Habilitationsprojekt widmet sich der Regierungspraxis des römischen Kaisers Antoninus Pius (138-161 n.Chr.).

Innovationspreis des Landes NRW für Prof. Hopmann

Mit dem Innovationspreis des Landes Nordrhein-Westfalen wurde Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Hopmann, Inhaber des Lehrstuhls für Kunststoffverarbeitung und Leiter des Instituts für Kunststoffverarbeitung in Industrie und Handwerk e.V., in der Kategorie Innovation ausgezeichnet. Der Preis ist mit 100.000 Euro dotiert. Hopmann studierte an der RWTH Maschinenbau und promovierte am Institut für Kunststoffverarbeitung, wo er bis 2004 als Oberingenieur und stellvertretender Institutsleiter tätig war. Nach beruflichen Stationen in der Industrie kehrte er im April 2011 an die RWTH und das IKV zurück.

Verbundprojekt zu psychischen Erkrankungen
Das Bundesministerium für Bildung und Forschung fördert ein neues Forschungsnetz zu psychischen Erkrankungen. Zu den ausgewählten Projekten gehört „APIC – Antipsychotika-induzierte strukturelle und funktionelle Gehirnveränderungen“, das von der Klinik für Psychiatrie, Psychotherapie und Psychosomatik der Uniklinik RWTH Aachen koordiniert wird. Auch die Universität Köln, die Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf und das Forschungszentrum Jülich sind beteiligt. Schwerpunktmäßig werden die wissenschaftler Fragestellungen am Beispiel der Schizophrenie nachgehen. So sollen in einer groß angelegten klinischen Studie die Hirnveränderungen mit Hilfe moderner bildgebender Verfahren bei verschiedenen Medikamenten untersucht werden. Zudem ist geplant, die Modifizierungen im Gehirn und den Therapieerfolg bei verschiedenen Therapieformen zu vergleichen. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung finanziert das Forschungsnetz mit rund vier Millionen Euro.

Ehrenprofessur für Prof. Poprawe
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Reinhart Poprawe, Leiter des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT und des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT, wurde in Peking zum Ehrenprofessor ernannt. Als Rektoratsbeauftragter für die Volksrepublik China engagiert sich Poprawe seit Jahren für die Zusammenarbeit zwischen der RWTH und der Tsinghua University, er ist Schirmherr der Strategischen Partnerschaft zwischen beiden Hochschulen, die seit 2013 vom DAAD gefördert wird. Zu den erklärten Zielen dabei gehört die Förderung der Mobilität von Wissenschaftlern und Mitarbeitern der Administration sowie eine bessere Sichtbarkeit der RWTH in der internationalen Forschungslandschaft. Wichtige Grundlage für die Teilnahme an diesem DAAD-Programm waren unter anderem die bereits seit Jahren bestehenden intensiven Kontakte der beiden Partnerhochschulen in der Forschungszusammenarbeit sowie das „RWTH – Tsinghua Doppelmasterprogramm“ im Bereich Maschinenbau mit insgesamt mehr als 500 Absolventen seit dem Start 2001.

Batteriegroßspeicher entsteht in Aachen
Der weltweit erste modulare Batteriegroßspeicher mit einer Leistungsklasse von fünf Megawatt entsteht in Aachen. Das E.ON Energy Research Center an der RWTH Aachen, der Energieversorger E.ON SE, die Batteriehersteller Exide Technologies GmbH mit seiner Geschäftseinheit GNB® Industrial Power, beta-motion GmbH sowie der Wechselrichter-Hersteller SMA Solar Technology AG sind hieran beteiligt. Das Projekt mit dem Titel „M5BAT – Modularer multi-Megawatt multi-Technologie Mittelspannungsbatteriespeicher“ wird im Rahmen der Förderinitiative „Energiespeicher“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie mit insgesamt 6,5 Millionen Euro gefördert. Die Besonderheit von „M5BAT“ ist der modulare Aufbau des Speichers, bei dem unterschiedliche Batterie-Technologien optimal miteinander verknüpft werden. So werden Lithium-Ionen-Batterien beispielsweise als kurzfristige Leistungsspeicher eingesetzt, Hochtemperatur-Batterien eignen sich für die Energiebereitstellung über mehrere Stunden, und Bleibatterien kommen sowohl bei kurzen als auch bei mittleren Entladezeiten zum Einsatz.

Namen & Nachrichten

Aldenhoven Testing Center eröffnet

Das Aldenhoven Testing Center of RWTH Aachen University GmbH wurde eröffnet. Neben der bereits seit 2009 genutzten Fahrdynamikfläche stehen jetzt auch ein Ovalkurs, eine Bremsenstrecke, unterschiedliche Schlechtwegelemente, ein Handlingkurs und ein Steigungshügel zur Verfügung. Möglich sind nun Forschung an Fahrzeugen und deren Subsystemen in ihrer Gesamtheit und damit die Verbesserung der Sicherheit, der Energieeffizienz und des Fahrerlebnisses. Verschiedene Fahrsituationen wie eine Kolonnenfahrt, die Wirkung von Assistenzsystemen oder auch die Untersuchung von Kollisions- und Kreuzungssituationen lassen sich hier sicher, reproduzierbar und ohne Behinderung des realen Straßenverkehrs untersuchen. Auch Themenstellungen rund um den Verbrennungsmotor und hybride Antriebskonzepte und Brennstoffzellensystemen werden erforscht.

Drittmittel so hoch wie nie

Die RWTH konnte ihre Drittmittelausgaben um weitere 33 Millionen Euro steigern. Die Ausgaben liegen jetzt bei 354 Millionen Euro – dies ist eine Steigerung um zehn Prozent. Professorinnen und Professoren mit ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern forschen mit Drittmitteln in Grundlagen- und anwendungsbezogener Forschung. Neben einzelnen Projekten werden die Mittel für die Exzellenzinitiative, Sonderforschungsbereiche, Stiftungslehrstühle, Verbundforschung, Forschergruppen, Juniorprofessuren, Graduiertenkollegs und die internationale Zusammenarbeit eingeworben. Die größten interdisziplinären Querschnittsforschungsthemen sind die Materialforschung mit 52 Millionen Euro, Life Sciences und Medizintechnik mit 44 Millionen Euro sowie die Energieforschung mit 37 Millionen Euro. Die Drittmittel kommen von öffentlichen Geldgebern inklusive der EU mit 123 Millionen Euro, aus Industrie und Wirtschaft mit 102 Millionen Euro sowie von der Deutschen Forschungsgemeinschaft mit 88 Millionen Euro. Aber auch Stiftungen, Verbände, Privatpersonen und weitere Forschungsförderer ermöglichen zusätzliche Forschungsprojekte.

Erfolgreich im

Professorinnen-Programm II

Die RWTH Aachen konnte mit ihrem Antrag im Professorinnen-Programm II überzeugen, sie erhält bis zu 2,25 Millionen Euro Anschubfinanzierung für die Berufung von drei Professorinnen. Das BMBF und die Bundesländer übernehmen in den ersten fünf Jahren die Finanzierung, jährlich stehen bis zu 150.000 Euro pro Professur zur Verfügung. Ziel ist, den Anteil von Professorinnen in Universitäten, Fachhochschulen und künstlerischen Hochschulen zu steigern.

Bereits im Jahr 2007 gab es eine erste Ausschreibung im Professorinnen-Programm, die RWTH konnte seinerzeit 1,5 Millionen Euro einwerben.



**MIT
PILZEN
MEHR ERDÖL
FÖRDERN?**

**Wie das geht, steht auf
unserer Website**

www.wintershall.com



JARA

Jülich Aachen Research Alliance

Jülich Aachen Research Alliance –
Kompetenzen bündeln,
Zukunft gestalten

JARA-BRAIN

Das Gehirn im Fokus –
Psychische Erkrankungen besser
behandeln
Ein Plus an Lebensqualität – Therapie
Alternative für Magersucht Patienten

JARA-ENERGY

Können Privathaushalte die
Energiewende bewirken?
Erneuerbare Energie rund um die Uhr
– neue Technologie für fortschrittliche
Energiespeicherung

JARA-FAME

Das Verschwinden der Antimaterie
durch Symmetriebrechung
fundamentaler physikalischer Gesetze
Mit kosmischer Strahlung auf
der Suche nach der Antimaterie

JARA-FIT

Schnell geschaltet –
Datenspeicherung von morgen
Graphen – Material der Zukunft

JARA-HPC

Computersimulation –
Grundlage moderner Forschung
Arbeiten 3.0 – Das Simulationslabor

IN DER NÄCHSTEN
AUSGABE

Jeder Erfolg hat seine Geschichte.



BOSCH
Technik fürs Leben

Beste Karrierechancen für engagierte Vordenkerinnen

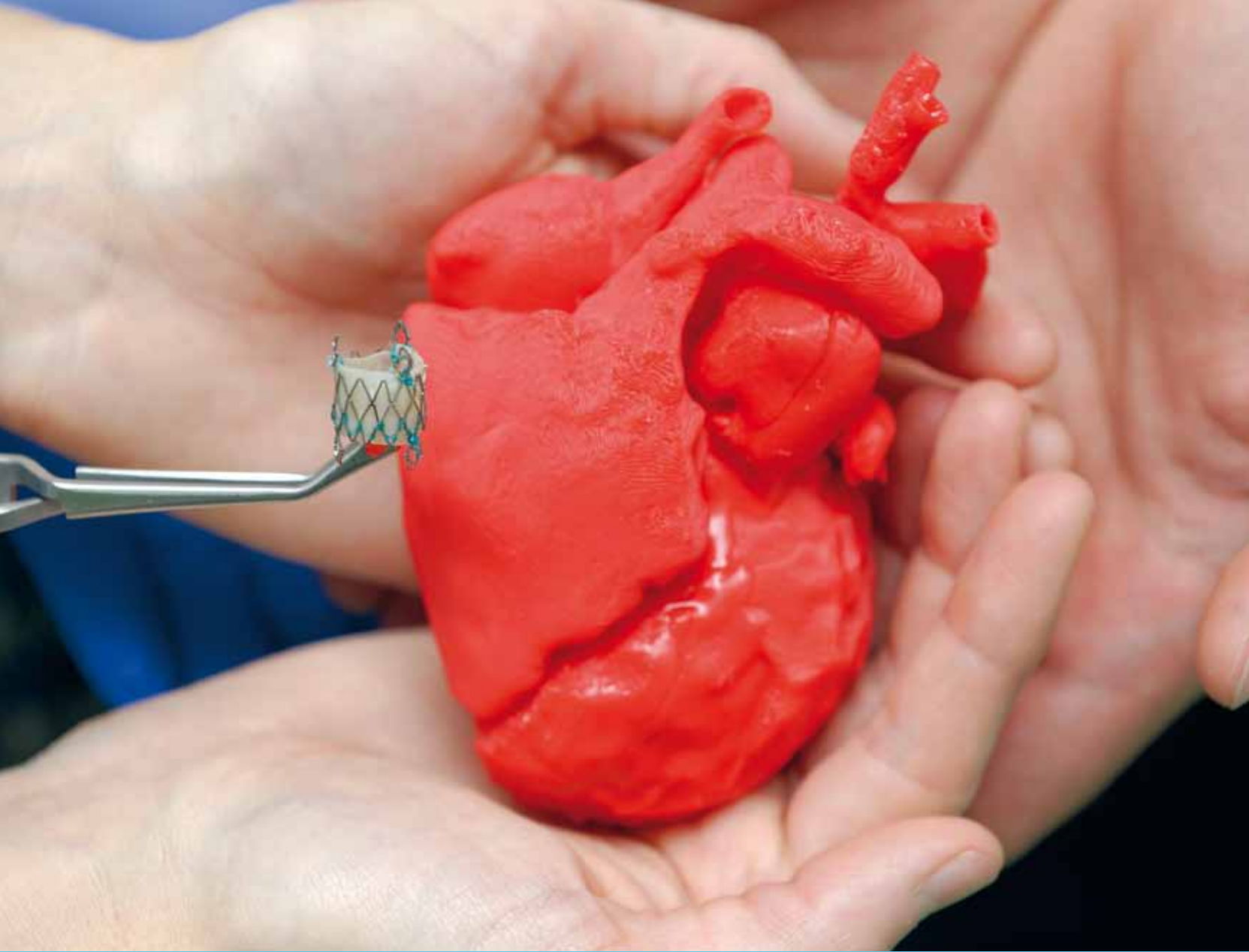
Wir verstehen Arbeit als wichtigen Teil in der Gesamtheit des Lebens. Nehmen Sie die Chance bei uns wahr, Ihre beruflichen Ziele und privaten Wünsche in bestmöglicher Balance zu realisieren. Zukunftsweisende Ideen kommen nicht von ungefähr. Sondern von starken Persönlichkeiten, die ihre Talente voll entfalten wollen. Bei Bosch können Sie es: Wir bieten Ihnen attraktive Einstiegsmöglichkeiten. In einem innovativen Umfeld, das viel Platz lässt für Ihre individuelle Work-Life-Balance.

Jeder Erfolg hat seinen Anfang.

Bewerben Sie sich jetzt.

www.bosch-career.de





Medical Science & Technology

**RWTHAACHEN
UNIVERSITY**