



Klein, aber oho!

Nano als Gegenwarts- und Zukunftstechnologie

STEFAN GROTEFELD (Hrsg.)

Debatte Nr. 78

Juni 2015

Redaktion:

Stefan Grotefeld, Reformierte Kirche Kanton Zürich

Vereinigung Christlicher Unternehmer Schweiz (VCU)

Geschäftsstelle, Allmeindstrasse 11, Postfach 262, CH-8716 Schmerikon

Tel. 055 286 14 80, Fax 055 286 14 81

info@vcu.ch, www.vcu.ch

Inhalt

Vorwort Stefan Grotefeld	4-5
Nano-Forschung am AMI – ein Überblick Christoph Weder	6-11
Nanostrukturierte, antimikrobielle Beschichtungen für Implantate Katharina M. Fromm	12-15
Nanomaterialien für 3D Drucker Bettina Steinmann	16-19
Chancen und Risiken der Nanotechnologie Sergio Bellucci	20-25
Übersicht der Referentinnen und Referenten	26-27
Übersicht der bisherigen Publikationen	28-31

Die vorliegende Broschüre gibt in gekürzter Form die Vorträge wieder, die an der gleichnamigen Tagung vom 25. April 2015 gehalten wurden.

Vorwort

Prof. Dr. Stefan Grotefeld

Leiter Abt. Lebenswelten, Reformierte Landeskirche Zürich

Nano galt und gilt als Technologie der Zukunft. Weniger bekannt ist, dass sie bereits heute in vielen Bereichen Verwendung findet, in Textilien zum Beispiel und in Kosmetika, in PET-Flaschen und Sportgeräten oder in Imprägnier- und Versiegelungsmitteln. Nano ist also längst nicht mehr nur eine Zukunfts-, sondern bereits eine Gegenwartstechnologie, deren Bedeutung für unseren Alltag wir uns freilich nur selten bewusst sind.

Das mag damit zu tun haben, dass Nanopartikel unvorstellbar klein sind – ungefähr 2'000 mal dünner als ein Haar. Dieser Umstand macht Nanopartikel besonders reaktionsfähig und eben deshalb sind sie so vielversprechend für Forschung und Wirtschaft. Von einer jährlichen Wachstumsrate auf dem Weltmarkt von bis 15 Prozent ist die Rede. Die Chancen, die die Nanotechnologie eröffnet, sind also beträchtlich. Allerdings ist sie auch nicht frei von Risiken. Kritikerinnen und Kritiker warnen vor negativen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt.

Nachdem die VCU Schweiz sich bereits 2007 an ihrer Jahrestagung mit der Nanotechnologie befasst hatte, bot die diesjährige Tagung den Teilnehmenden die Gelegenheit, eines der weltweit führenden Institute im Bereich der Nanoforschung zu besuchen: das 2008 in Fribourg gegründete Adolphe Merkle Institut, das auf weiche Nanomaterialien wie Kunststoffe spezialisiert ist, die für viele Wirtschaftszweige von grosser Relevanz sind. Davon, dass das Adolphe Merkle Institut auf herausragende Weise Grundlagenforschung und anwendungsorientierte Forschung in Zusammenarbeit mit Partnern aus der Industrie verbindet, konnten sich die Besucherinnen und Besucher der Tagung bei der eindrucklichen Führung durch die Räume des Instituts überzeugen.

„Nannos“ ist das altgriechische Wort für Zwerg. Dass man Zwerge nicht unterschätzen sollte, lernt man bereits als Kind. Denn in Märchen spielen Zwerge oft eine gewichtige Rolle, manchmal zum Nutzen und manchmal zum Schaden der Protagonistinnen und Protagonisten. Wer Märchen hört oder liest, der weiss also: Das Kleine kann nicht nur gross sein, es birgt auch Gefahren. Dass dies auch für die Nanotechnologie gilt, war den nach Fribourg gereisten Mitgliedern der VCU Schweiz durchaus bewusst.

Die im Folgenden abgedruckten Texte dokumentieren die an der Tagung gehaltenen Referate, die die Chancen und die Risiken dieser neuen Technologie beleuchteten. Der Vortragsstil wurde für diese Veröffentlichung beibehalten. Um der besseren Verständlichkeit willen wurden die Vorträge lediglich leicht überarbeitet, da wir an dieser Stelle darauf verzichten, die an der Tagung gezeigten Slides ebenfalls abzudrucken. Wer nicht an der Tagung teilnehmen konnte, kann sich deshalb auch so einen guten Eindruck von der Tagung machen.

Der Text von Professor Christoph Weder, dem Leiter des AMI, gibt einen Überblick über die Forschung an seinem Institut, bei der man der Natur sorgfältig über die Schulter schaut, während Professor Katharina Fromm einen auch für Laien faszinierenden Einblick in die Welt der Nano-Forschung am Beispiel nanostrukturierter, antimikrobieller Beschichtungen für Implantate gewährt. Dass und inwiefern anwendungsorientierte Nanoforschung von grosser Bedeutung für die Industrie sein kann, zeigt Bettina Steinmann in ihrem Referat über „Nanomaterialien für 3D Drucker“, während Sergio Bellucci von TA Swiss die mit der Nanotechnologie verbundenen Risiken beleuchtet, vor denen man sich seiner Einschätzung nach zwar nicht unbedingt ängstigen muss, die es aber sorgfältig und unter Einbeziehung der Bevölkerung zu evaluieren gilt.

Nano-Forschung am AMI – ein Überblick

Prof. Dr. Christoph Weder
Direktor Adolphe Merkle Institute, Fribourg

Herzlich willkommen am AMI Adolphe Merkle Institut! Es freut mich, dass Ihr Weg Sie hierhin geführt hat und Sie sich entschieden haben, Ihre Arbeitstagung bei uns zu machen. Das ist eine grosse Ehre für uns.

Es ist nicht ganz einfach, in 15 Minuten darzulegen, was das AMI ist, was Nano ausmacht und was wir hier alles tun. Ich werde mich bemühen, einen möglichst guten Überblick zu geben. Es wurde schon gesagt, das Adolphe Merkle Institut existiere dank einer grosszügigen Stiftung von Adolphe Merkle. Unser Institut trägt seinen Namen und es ist als Public Private Partnership der Adolphe Merkle Stiftung und der Universität Freiburg entstanden. Wir sind ein interdisziplinäres Kompetenzzentrum für Nanoforschung und -lehre auf dem Gebiet weicher Nanomaterialien.

Das AMI möchte gerne eine führende Position in Grundlagen- und auch anwendungsorientierter Forschung einnehmen und wir engagieren uns für Lehre und Forschung. Wir möchten Innovation stimulieren und unsere Kollegen in der Industrie in ihrer Tätigkeit unterstützen. Nanomaterialien lassen sich in allen Materialklassen finden und mit unserem relativ kleinen Team können wir nur einen kleinen Teil dieses Gebiets kompetent abdecken. Darum haben wir uns entschieden, uns auf weiche Nanomaterialien zu konzentrieren. Diese Materialklasse schliesst zum Beispiel Kunststoffe und Verbundwerkstoffe ein, die Sie vielleicht aus Tennisschlägern oder neuen Flugzeugen kennen. Wir untersuchen Klebstoffe, dünne Schichten und kleinste Nanopartikel, interessieren uns für biologische Nanomaterialien und wir nehmen Konzepte und Strukturen, die wir in natürlichen Materialien finden, als Beispiel und versuchen diese Konzepte auf künstliche Materialien zu übertragen. Unsere Forschung und Lehre ist im höchsten Masse interdisziplinär. Wir haben in unserem Team heute drei Lehrstühle, einen für die Physik weicher Materialien, einen für die Chemie von Kunststoffen und einen für Bio-Nanomaterialien, in welchem die Wechselwirkungen zwischen Nanomaterialien und lebenden Zellen im Zentrum steht. Ein vierter Lehrstuhl ist in Planung, er wird sich mit Biophysik beschäftigen. Das AMI beherbergt heute drei Nachwuchsgruppen, welche sich mit Polymerchemie, der Selbstorganisation von Nanomaterialien sowie spezieller Analysetechniken beschäftigen.

Unser Institut basiert auf der Kernidee, dass Nanoforschung keine monodisziplinäre Angelegenheit ist, sondern dass ein Wechselspiel verschiedener Kompetenzen, insbesondere aus den Gebieten der Chemie, Physik und Biologie, nötig ist, so dass Synergien entstehen, um Forschung in diesem Bereich betreiben zu können. Ein Kernthema an unserem Institut ist das bioinspirierte Design neuer responsiver Materialien. Das sind Materialien, die ihre Eigenschaften auf Kommando ändern und sich selbst organisieren können. Wir fragen nach Chancen und Risiken von Nanomaterialien insbesondere im Zusammenspiel der Wirkungen von Nanomaterialien mit menschlichen Zellen.

Das AMI ist rapide gewachsen. Seit 2008 haben wir unsere Mitarbeiterzahl ungefähr vervierfacht, wir beschäftigen heute etwa 85 Mitarbeiter auf gut 80 Vollzeitstellen. Die meisten unserer Mitarbeiter sind Forschende, hauptsächlich Doktoranden und Postdoktoranden. Wir bekommen eine sehr, sehr grosszügige finanzielle Unterstützung von der Adolphe Merkle Stiftung und das Institut wäre nicht ohne diese Stiftung möglich. Die Universität bzw. der Kanton Freiburg unterstützen uns ebenfalls essentiell. Die Gelder, die wir durch Drittmittel einwerben, sind etwa gleich hoch wie die Grundfinanzierung, die uns so zur Verfügung steht. Ich sage oft, wir betreiben dieses Institut eigentlich als ein KMU. Ich bin stolz sagen zu können, dass 40% unserer Forscher Frauen sind. Der Anteil liegt noch nicht bei 50%, aber 40 % sind viel besser als der Durchschnitt der Universität und auch landesweit gesehen. AMI möchte in den nächsten Jahren noch etwas weiter wachsen; wir sind heute 80 Forscher und dieses Gebäude ist für 120 Mitarbeiter ausgelegt. Wie bereits erwähnt, ist ein vierter Lehrstuhl in Planung und wird hoffentlich noch dieses Jahr besetzt. Wir planen nächstes Jahr einen spezialisierten Masterlehrgang auf dem Gebiet weicher Materialien zu lancieren. Wir gehen von einem steady-state Budget von 12-13 Mio. Franken aus, von dem etwa Zweidrittel durch Drittmittel erwirtschaftet wird.

Nano ist winzig klein und um Ihnen einen Eindruck für die Dimensionen von Nanopartikel zu geben, gebe ich Ihnen einen Vergleich: Eine Orange ist etwa hundert Millionen mal kleiner als der Durchmesser unserer Erdkugel und typische Nanopartikel mit einem Durchmesser von einem Nanometer sind wiederum 100 Millionen mal kleiner als eine Orange. Nanostrukturen sind also wirklich sehr, sehr klein und Sie werden beim Rundgang durch unser Institut erkennen, dass es ganz spezielle Mikroskope und ganz spezielle Techniken braucht, um solche Strukturen analysieren und visualisieren zu können. Das war bis vor dreissig Jahren kaum möglich, aber die rapide Entwicklung neuer Techniken, zum Teil basie-

rend auf Erfindungen, die in der Schweiz gemacht wurden, ist einer der Gründe, warum sich die Nanotechnologie heute rapide entwickelt.

Ich möchte Ihnen mögliche Ängste vor Nano nehmen. Nanostrukturen sind nicht à priori gefährlich, das zeigt sich schon darin, dass sie überall in der Natur zu finden sind. Muschelschalen sind ein Nanomaterial, sie sind extrem hart, weil die Natur eine Nanoschichtstruktur aufbaut, welche Perlmutter nicht nur mit schillernden Farben, sondern auch mit einer enormen Härte ausstattet. Lotusblütenblätter sind immer sauber, weil ihre Oberfläche mit einer Nanostruktur versehen ist, auf der Wassertropfen abperlen. Dabei nehmen sie auch gleich den Schmutz mit. Es wäre toll, wenn solche selbst-reinigenden Strukturen auch für unsere Fensterscheiben funktionieren würden und es gibt bereits entsprechende Ansätze für solche Beschichtungen.

Ich möchte mit einem anderen Thema weiterfahren, welches wir hier am Institut erforschen, und das ist die Struktur der Flügel der Schmetterlinge und der Panzer gewisser Käfer. Schmetterlinge sind so schön farbig, nicht weil sie Farbstoffe in ihren Flügeln tragen, sondern weil diese Flügel über eine ganz ausgeklügelte Nanostruktur verfügen. Bei jeder Schmetterlingsfamilie sehen diese Strukturen wieder anders aus. Diesen Nanostrukturen haben jedoch die gemeinsame Eigenschaft, Licht in einer speziellen Art und Weise zu reflektieren. Je nach Nanostruktur wird das Licht anders reflektiert und darum bekommen diese Schmetterlinge wunderschöne Farben, die sich auch je nach Betrachtungswinkel ändern. Mein Kollege Ulli Steiner untersucht solche Strukturen und versucht diese künstlich herzustellen.

Mein Team interessiert sich unter anderem für selbstheilende Kunststoffe. Wäre es nicht toll, wenn Sie Kratzer aus Ihrer Autotür einfach auspolieren könnten? Solche Materialien sind leider noch nicht kommerziell, aber mindestens die wissenschaftlichen Grundlagen, um solche Stoffe zu erzeugen, haben wir entwickelt und auch deren Funktionalität im Labor demonstriert. Wir verwenden für die Heilung von Defekten in diesen Kunststoffen eine Lampe, die ganz ähnlich ist wie die, die Ihr Zahnarzt braucht, um Kunststofffüllungen auszuhärten. Nach einer Bestrahlung von nur fünf Sekunden ist der Kratzer weg. Die gleichen wissenschaftlichen Prinzipien, die hinter solchen heilbaren Beschichtungen steckt, verwenden wir auch um Klebstoffe herzustellen, die nicht nur kleben, sondern die man auch wieder entfernen kann, wenn man den Klebstoff nicht mehr braucht oder wenn man die Teile schlecht zusammen geklebt hat.

Ein anderes Projekt in meinem Arbeitskreis beschäftigt sich mit Nanoverbundwerkstoffen, welche holzbasierte Nanofasern enthalten. Holz ist ein wunderbarer Werkstoff. Es gibt wenige künstliche Materialien, die die mechanischen Eigenschaften von Holz wirklich gut kopieren. Holz verdankt seine Eigenschaften einer unglaublich komplexen Struktur, die sich über mehrere hierarchische Stufen erstreckt. Auf der untersten Ebene enthält Holz Nanofasern aus Cellulose, die enorm stark und auch enorm steif sind. Wir haben gelernt, wie man diese Nanofasern aus dem Holz herauslösen kann und vermengen diese mit ganz normalen Kunststoffen. Die Idee dabei ist, so die Mechanik der Kunststoffe zu beeinflussen und durch Einbau der Nanofasern, ganz ähnlich wie beim Holz, Steifigkeit und auch Festigkeit zu erhöhen.

Wir interessieren uns für Chancen und Risiken von Nanopartikeln. Was passiert, wenn wir Nanopartikel einatmen? Ist das gefährlich? Welche Nanopartikel sind gefährlich? Warum sind sie möglicherweise gefährlich? Am AMI betreiben wir keine Tierversuche, aber wenn man Risikoabschätzungen machen möchte, muss man irgendein vernünftiges Modell haben. Ein Zellmodell, welches meine Kollegin Barbara Rothen entwickelt hat, erlaubt es, die menschliche Lunge im Reagenzglas zu simulieren. Drei verschiedene Arten von Lungenzellen werden dabei in einer Multischichtstruktur so arrangiert, wie sie auch in der Lunge zu finden sind. Meine Kolleginnen und Kollegen aus der Bionanomaterial-Gruppe beobachten, wie solche Zellmodelle mit gewissen Nano-Partikeln wechselwirken. Die Idee ist dabei, Risikoabschätzung unter Vermeidung oder mindestens mit einer deutlichen Reduktion von Tierversuchen betreiben zu können.

Nanopartikel können auch dazu benutzt werden, um Medikamente ganz gezielt dorthin zu bringen, wo sie auch wirken sollen. Das ist zum Beispiel in der Behandlung von Krebs wichtig. Während wir noch weit davon entfernt sind, ein markttaugliches Medikament für Krebs zu entwickeln, arbeiten AMI Forscher unter der Leitung von Alke Fink und Barbara Rothen an Konzepten, die sich hoffentlich eines Tages für die Entwicklung von Medikamenten brauchen lassen. Die Idee ist, dass man das Medikament nicht einfach einspritzt oder oral verabreicht und sich dieses im ganzen Körper verteilt, sondern es in einen Nanopartikel verpackt, der dorthin transportiert wird, wo das Medikament auch wirklich gebraucht wird. Der Partikel enthält neben dem Medikament auch kleine Nanomagneten, die man mit einem externen Magnetfeld aufheizen kann, und dies führt dazu, dass sich Poren in der Schale des Nanopartikels öffnen und das Medikament freigesetzt wird, sobald man den Partikel dort hat, wo man ihn haben möchte.

Beim letzten Beispiel, das ich erwähnen möchte, geht es um den Ersatz von Knorpel etwa im Knie, wenn der Knorpel entweder durch einen Unfall beschädigt oder durch Arthritis abgenützt ist. Knorpelzellen wachsen kaum, denn der Knorpel ist nicht durchblutet und deshalb erneuert sich der Knorpel nicht. Als klinische Behandlungsmöglichkeit gibt es heute die sogenannte Chondrozytentransplantation. Dabei entnimmt man dem Patienten Knorpelzellen (Chondrozyten), vermehrt diese durch Züchten im Reagenzglas und spritzt diese dann wieder in den beschädigten Knorpel ein. Aber diese Behandlung trägt der Tatsache nicht Rechnung, dass der Knorpel ein sehr komplexes Gewebe ist, welches man nicht einfach durch eingespritzte Zellen ersetzen kann. Wenn man sich die Knorpelstruktur anschaut, dann sieht man, dass der Knorpel einseitig am Knochen angewachsen ist. Das Knorpelgewebe selber ist in verschiedene Schichten unterteilt, in welchen sowohl die Zellen als auch die extrazelluläre Matrix in ganz bestimmten Strukturen und teilweise auch mit einer Vorzugsorientierung angeordnet sind. Diese Architektur ist der Grund dafür, weshalb Knorpel, gerade zum Beispiel im Knie, enormen Kräften standhalten können. Wenn man nun Knorpelersatz im Reagenzglas wachsen lassen möchte, tut man dies also am besten nicht in der Form ungeordneter Zellen, sondern idealerweise in der Form eines Gewebes, welches die natürliche Anordnung der Zellen und der extrazellulären Matrix kopiert. Meine Mitarbeiter haben Template entworfen und hergestellt, deren Nanostrukturen die Architektur des natürlichen Knorpelmaterials emulieren und über die gewählte Geometrie, aber auch chemische Signale das Wachstum von Knorpelzellen und Matrixgewebe so beeinflussen, dass auch beim Züchten im Reagenzglas ein überraschend echter Knorpel heranwächst, welcher anschliessend als Implantat verwendet werden kann.

Was trägt das Institut für den Kanton, für die Gesellschaft bei? Ich sage unserem Wirtschaftsdirektor jeweils, das Wichtigste sind nicht die Technologien, sondern die Leute, die wir ausbilden. Wir bilden eine Grosszahl von Doktoranden und Postdoktoranden aus, welche anschliessend in die Industrie oder den öffentlichen Dienst wechseln oder selber eine Professur übernehmen. Wir sind darüber hinaus im Moment dabei, einen neuen Lehrgang zu planen, welcher sich an der Forschung dieses Instituts und auch ganz breit an weichen Materialien orientiert.

Als Forschungsinstitut ist ein wichtiger Output die Zahl wissenschaftlicher Publikationen – im letzten Jahr gegen hundert – sowie die Anzahl der Zitationen unserer Forschungsarbeiten – im letzten Jahr gegen 1300. Diese beachtlichen Zahlen sind für ein kleines Institut wie unseres eine sehr schöne Referenz. Eine ganz wichtige Stipulation von Adolphe Merkle war, dass sich das Institut nicht einfach

als eine weitere rein akademische Einheit der Universität entwickelt, sondern dass wir hier auch anwendungsorientierte Forschung betreiben. In diesem Sinn haben wir seit 2009 16 Forschungsprojekte mit Industriepartnern durchgeführt, zum Teil ganz kleine Firmen, zum Teil globale Konzerne. Für uns ist nichts zu klein und nichts zu gross, für uns ist es wichtig, dass partnerschaftliche Projekte mit der Industrie in jedem Fall zu Win-Win-Situationen führen. Es muss eine gewisse wissenschaftliche Komponente da sein und wir möchten sicher sein, dass wir unserem Partner helfen können. Wir haben, seit wir hier sind, etwa zehn Patentanmeldungen gemacht, aber es gibt noch keine AMI Spin-off-Firma. Ich hoffe, dies ist nur eine Frage der Zeit.

Ich möchte nicht schliessen, ohne Sie darauf hinzuweisen, dass wir hier in Freiburg seit letztem Jahr ein nationales Kompetenzzentrum etablieren, welches interdisziplinäre Forschung auf dem Gebiet bio-inspirierter Materialien betreibt. Die Kernidee beruht auch hier wieder darin, von der Natur zu lernen um komplexe Materialien künstlich herzustellen. Etwa dreizehn Forschungsgruppen aus Freiburg, darunter einige aus unserem Institut, haben sich mit Partnern aus Genf und den beiden ETH's in diesem Zentrum zusammengeschlossen, um auf diesem Gebiet Forschung zu betreiben. Das Kompetenzzentrum verfügt über ein jährliches Budget von ungefähr 4-5 Mio. Franken. Die Mitarbeiterzahl wächst immer noch stetig. Heute sind es schon fast 80 Forscher, die sich an diesem Forschungsschwerpunkt beteiligen. Das Kompetenzzentrum hat für den Austausch mit der Industrie ein sogenanntes *Industrial Associates Program* ins Leben gerufen und wenn diese Thematik für Ihre Firma von Interesse ist, dann bin ich gerne bereit, Ihnen nähere Auskünfte zu erteilen.

Nanostrukturierte, antimikrobielle Beschichtungen für Implantate

Prof. Dr. Katharina M. Fromm
Département de Chimie, Université de Fribourg

Ich arbeite am Department Chemie der Universität Fribourg und möchte Ihnen heute über Implantate berichten und wie man diese in der Anwendung verbessern kann. Unsere Motivation: Wir haben in unserer westlichen Gesellschaft ein Durchschnittsalter, das immer mehr ansteigt, und die Leute, die bereits in Rente sind, möchten ihr Leben noch in vollen Zügen mit Wandern, Radfahren und ähnlichen Aktivitäten geniessen. Das bedeutet, dass man hier im menschlichen Körper das eine oder andere Ersatzteil einbringen können muss. In der Tat werden jedes Jahr neue Materialien entwickelt, die in den Körper eingepasst werden können, so dass mehr Aktivität für die Betroffenen möglich wird.

Nehmen wir zum Beispiel Hüftimplantate. Schaut man sich die Zahlen für die Jahre 2000 – 2010 auf 100'000 Einwohner an, dann sieht man: Die Schweiz steht an der Spitze. 300 Personen pro 100'000 Einwohner bekommen in unserem Land ein künstliches Hüftgelenk. Das Problem ist, dass es sich bei den Implantaten um künstliche Materialien handelt, die über keine angeborenen biochemischen Verteidigungsmechanismen verfügen, so wie sie unser Körper oder unsere Knochen haben. Diese Materialien können sehr leicht von Bakterien besiedelt werden und diese Bakterien können eben auch Infektionen hervorrufen. Je nach Implantat liegt die Infektionsrate entweder bei geringen 2%, oder ist auch schon mal grösser, etwa bei 40%, abhängig davon, um welches Implantat es sich handelt.

Was ist eine Infektion, was passiert da genau? Auf dem Material, das selber keinen Schutz hat, siedeln sich Bakterien an. Sie wachsen und bilden einen sogenannten Biofilm. Sie kennen solche Phänomene, wenn die Zähne am Ende eines Tages mit Plaque belegt sind. Plaque ist nichts anderes als ein Biofilm. So etwas kann sich dann ebenfalls auf dem Implantat bilden. Das kann heftige Entzündungen hervorrufen. So etwas ist natürlich dramatisch, denn solche Biofilme können nicht mit Antibiotika behandelt werden. Man muss ein solch infiziertes Implantat ausbauen, man muss den Patienten behandeln, man muss die Wunde heilen und dann kann man erst wieder ein neues Implantat einsetzen. Das bedeutet als erstes, ein Patient hat Schmerzen. Als zweites kommen die Gesundheitskosten, die für ein infiziertes Hüftgelenk anfallen, in den Blick. Sie liegen bei ungefähr 50'000 Euro pro Hüfte, wenn das Implantat ersetzt werden muss. Was wir uns nun zum Ziel ge-

setzt haben ist, dass wir diese bakterielle Gefahr vermeiden wollen, indem wir Beschichtungen auf die Oberflächen von Implantaten bringen.

Wir haben uns in meiner Arbeitsgruppe hierbei auf Silberverbindungen beschränkt, denn Silber ist ein antimikrobielles Metall. Sie kennen vielleicht den Brauch, eine Silbermünze in einen Brunnen zu werfen. Dann wünscht man sich etwas, die Silbermünze soll Glück bringen. Diese Tradition ist aus der konkreten Beobachtung entstanden, dass Menschen, die Wasser aus diesem Brunnen tranken, gesünder, also glücklicher waren. Das Wasser in dem Brunnen, in dem Silbermünzen lagen, war steriler als in den Brunnen ohne Silbermünzen. Die Menschen schienen Glück zu haben, sie wurden seltener krank. Wir benutzen in unserer Arbeitsgruppe also Silberverbindungen, die man auf Metalloberflächen wie beispielsweise Titan aufbringen kann. Titan ist das häufigste Metall, das für Implantate verwendet wird. Eine solche Beschichtung bildet auf einem Implantat eine nanostrukturierte Oberfläche, die sich hervorragend dafür eignet, dass die eigenen Zellen auf dieser Oberfläche anwachsen, die Bakterien aber davon abgetötet werden. Unsere nanostrukturierten Oberflächen auf dem Implantat sind antimikrobiell. Wir konnten im Experiment zeigen, dass dies sowohl *in vitro* als auch *in vivo* funktioniert, also im lebenden Tier. Wir sind nun kurz davor, diese Möglichkeit auch am Menschen anzuwenden.

Die Beschichtungen sind nach ungefähr drei Monaten aufgebraucht, das heißt, man kann sie sehr gut direkt bei der Implantatoperation und dem nachfolgenden Heilungsprozess verwenden. Für drei Monate haben die Implantate dann einen Schutz. Das ist auch die Zeit, die es braucht, damit ein Implantat gut einwachsen kann. Der Nachteil ist, dass der Schutz nach drei Monaten aufgebraucht ist. Ausserdem wird diese Beschichtung auch unabhängig davon freigesetzt, ob diese Bakterien eigentlich da sind oder nicht. Das heißt, auch wenn die Wunde ganz sauber ist, wird hier ein Medikament freigesetzt.

Unter Umständen entwickeln Bakterien, die in ganz kleinen Mengen da sind, Resistenzen. Das muss vermieden werden. Die Patienten sollen auch nicht zusätzlichen Medikamenten ausgesetzt sein, ohne dass es notwendig ist. Die Idee ist darum, das Medikament gezielt freizusetzen. Wir haben deshalb einen sogenannten Bakteriensensor entwickelt. Das Ziel ist, sehr schnell die Anwesenheit von Bakterien entdecken zu können und dann aus einem Reservoir, welches Medikamente enthält, z.B. Silber, diese Medikamente freizusetzen, und zwar nur dann, wenn die Bakterien da sind, und auch nur dort, wo die Bakterien sind, also zeitlich und örtliche begrenzte Freisetzung von antimikrobiellen Substanzen. Wir brauchen da-

durch weniger von diesen Medikamenten, wir riskieren keine Resistenzbildung und der Patient ist dem Medikament nicht so stark ausgesetzt.

Der von uns entwickelte Sensor hat zwei Teile, nämlich ein Reservoir, welches das Medikament enthält, und den eigentlichen Sensor, der darauf beruht, dass Bakterien ständig genetische Informationen über sich freisetzen. Der erste Teil enthält die Nanokapseln, die das Medikament speichern. Die Nanokapseln enthalten in ihrem Inneren Silber, welches dann freigesetzt werden kann, sobald der Sensor anspricht. Diese Kapseln können wir unterschiedlich gross herstellen, nämlich von 20 bis 200 Nanometer, je nachdem für welche Anwendung man die Kapseln haben möchte. Wir können sie auch mit mehreren Kapselschichten versehen, so dass auch unterschiedlich dicke Kapseln und Kapselmaterialien entstehen können. Sie haben exzellente mikrobielle Eigenschaften, sind sehr biokompatibel, wie wir zeigen konnten, und man kann sie an den Oberflächen der Implantate festmachen. Allein mit diesen silberhaltigen Kapseln haben wir den Schutz von drei Monaten auf bis zu drei Jahre verlängert.

Nun aber zum Bakteriensensor. Das ist das spannendste Teil und ihn haben wir auch patentiert. Denn solch einen Bakteriensensor gab es vorher noch nicht. Sie wissen von der Schule, dass die DNA, unsere Erbanlagen, aus zwei Strängen besteht, die kompatibel miteinander sind. Diese Stränge können mit den sogenannten Basenpaaren die Doppelhelix unserer DNA bilden. Darauf beruht auch die Detektion des Bakteriums. Wir haben einen Sensor entwickelt, der prinzipiell auf einem Einzelstrang DNA beruht. Dieser Strang wird im Mittelteil durch einen nur fast passenden Gegenstrang versteift und kann sich nicht verbiegen. Das heisst, dass die beiden Endstücke des Einzelstrangs nicht miteinander in Kontakt kommen können. Der Sensor befindet sich nun in einem „geladenen“ Zustand, in Analogie zu einer Waffe.

Die von den Bakterien freigesetzte einsträngige DNA oder RNA passt perfekt zu dem Strang, welcher unseren Sensor im Mittelteil versteift. Das bedeutet, dass in Anwesenheit von Bakterien dieser Gegenstrang sich vom Sensor löst und mit der bakteriellen DNA oder RNA ein genau passendes Paar bildet. Dadurch wird unser Sensorstrang flexibel, er kann sich verbiegen und seine Endstücke können zueinander finden und miteinander chemisch reagieren. Dabei wird dann die Kapsel geöffnet und/oder ein Medikament freigesetzt.

In den Experimenten hat sich erwiesen, dass es funktioniert. Wir haben zum Beispiel mit Listerien experimentiert. Listerien sind Bakterien, die in Lebensmitteln vorkommen und die bei Babys oder auch bei älteren Personen durchaus schwere

Infektionen bis hin zum Tod hervorrufen können. Dabei hat sich gezeigt, dass unsere Methode so sensitiv ist, dass wir hier innerhalb von wenigen Minuten und bei Raumtemperatur auch ganz winzige Mengen Bakterien (25 pmol/l bakterielle RNA) nachweisen können.

Man könnte unseren Sensor nehmen und ihn mit einem Farbstoff koppeln und der Farbstoff zeigt Ihnen je nach Farbe an, welche Bakterien in den Lebensmitteln vorhanden sind. Es zeigt Ihnen also genau, ob und welche „Biester“ da herumswimmen. Diese Möglichkeit gilt natürlich auch für Katheter oder oberflächliche Brandwunden von Patienten. Beides infiziert sich häufig und man möchte wissen, welche Bakterien beteiligt sind, um gezielt behandeln zu können.

Als zweites kann man natürlich anstatt der Freisetzung eines Farbstoffes gleich ein Antibiotikum, zum Beispiel Vancomycin, nehmen, das gegen die Bakterien wirkt. Wir konnten beispielsweise zeigen, dass Vancomycin und Silber zusammen noch besser wirken, als jeder Wirkstoff allein.

In meiner augenblicklichen Forschung geht es also um drei Produkte, die wir hergestellt haben:

1. eine kurzfristige Beschichtung von Implantaten, die direkt nach der Operation wirken kann,
2. einen mittelfristigen Schutz mit Hilfe von Nanocontainern, die man auf der Oberfläche von Prothesen anbringt, sowie
3. mit Bakteriensensoren gekoppelte Implantate, die ganz gezielt ein Medikament freisetzen, sobald es tatsächlich erforderlich ist.

Gefördert wurde unser Forschungsprojekt vom Schweizerischen Nationalfonds. Vier Mitarbeiter haben es im Labor realisiert und mittlerweile ihre Promotion abgeschlossen. Das Ganze fand in Zusammenarbeit mit Prof. Christian Bochet vom Department der Chemie der Universität statt. Wir haben mittlerweile auch KTI Projekte mit Schweizer Firmen auf die Beine gestellt und wollen, dass unsere Produkte auf den Markt kommen. Denn natürlich freuen sich unsere Mitarbeiter, wenn sie sehen, dass ihre Forschungsarbeit zu einem sinnvollen Produkt führen kann.

Nanomaterialien für 3D-Drucker

Dr. Bettina Steinmann
Managing Director 3D Systems, Marly

Wahrscheinlich weiss heute praktisch jeder, was ein 3D-Drucker ist. Es gibt kleine, relativ billige Drucker, die man zu Hause aufstellen kann. Damit lassen sich beliebige Teile drucken, entweder von Dateien, die man aus dem Internet heruntergeladen hat oder aus Eigenkreationen, die man mit Hilfe eines einfachen CAD-Programmes erzeugen kann.

Jedoch wissen wohl die wenigsten, dass 3D-Drucker gar keine sehr neue Erfindung sind. Die erste Maschine für das „Rapid Prototyping“, wie es damals hiess, wurde vom Gründer von 3D Systems, Chuck Hull, vor ca. 30 Jahren erfunden. Seitdem wurden verschiedene Technologien entwickelt, die hauptsächlich in Entwicklungsabteilungen von Automobilherstellern und anderen Industrien verwendet wurden – also von allen, die Modelle für ihre Entwicklungsprojekte brauchen. Mit der Zeit haben sich diese 3D-Drucktechniken weiterentwickelt, so dass es heute eine grosse Zahl von Druckertypen gibt – von den einfachen Büromaschinen bis zu grossen Produktionsmaschinen.

Alle 3D-Drucktechnologien beruhen auf dem gleichen Prinzip: das zu druckende dreidimensionale Objekt wird in einem CAD-File kreiert und dann mit einer speziellen Software in Schichten zerlegt (20 Mikron bis 0,15 mm dick). Diese Daten verwendet der Drucker dann, um das Objekt Schicht für Schicht aufzubauen.

Es gibt verschiedene Technologien, mit denen man Objekte drucken kann. Die meisten Drucker für den Hausgebrauch verwenden das „Fused deposition modeling“, bei dem ein Polymer „draht“ durch eine heisse Düse geführt wird. Dabei schmilzt das Polymer und durch Bewegung der Düse kann eine Schicht aufgetragen werden. Die dritte Dimension ergibt sich dann durch die Bewegung der Plattform, auf dem das Objekt haftet, nach unten.

Das selektive Laser-Sintern ist dagegen eine Technologie, die sich eher für die Produktion von kleinen Serien eignet. Als Ausgangsmaterial wird ein Plastik- oder Metallpulver verwendet, das mit einer Rolle auf der Plattform verteilt wird. Mit Hilfe eines CO₂-Lasers werden die Pulverteilchen dann erhitzt, so dass sie zusammen-sintern oder-schmelzen.

Die Technik, die dem „normalen“ Drucken am nächsten kommt, ist das Multi-Jet Modeling. Dabei werden flüssige Materialien – entweder reaktive photoempfindli-

che Acrylatmischungen oder Wachse – bei höherer Temperatur durch einen Tintenstrahl-Druckkopf gespritzt. Die Aushärtung des Materials erfolgt entweder durch Bestrahlung mit einer UV-Lampe oder einfach durch Erstarrung des Wachses beim Abkühlen.

Die erste Technologie, die von Chuck Hull erfunden wurde, ist die Stereolithographie. Dabei wird ein flüssiges Photopolymer mit einem UV-Laser selektiv bestrahlt. Das entstehende Teil haftet auf einer Plattform, die sich nach jeder Schicht nach unten bewegt. Neues Harz fließt dann nach, bzw. wird auf der Oberfläche verstrichen, so dass der Laser die nächste Schicht belichten kann.

Die Entwicklung von Materialien für diese Technologie ist eine Herausforderung, denn man muss mehrere eigentlich widersprüchliche Anforderungen erfüllen: Wir möchten möglichst dünnflüssige, hochreaktive Harze, die aber ohne UV-Einstrahlung sehr stabil sind. Trotz der hohen Reaktivität sollen die ausgehärteten Teile formstabil und dimensionsgenau sein, und dies auch bei wechselnden Bedingungen (Luftfeuchtigkeit, Temperatur). Wir haben in den letzten Jahren eine ganze Produktegamme für diese Drucker entwickelt, z.B. transparente- Polycarbonat- und ähnliche Harze. Auch flexible oder ABS-ähnliche Harze mit guter Schlagzähigkeit wurden entwickelt. Auch eine Pigmentierung – in diesem Fall sind es weisse Materialien – ist möglich.

Die Nachteile dieser Harze sind geringe Temperaturstabilität und eine relativ hohe Feuchtigkeitsempfindlichkeit. Für bestimmte Anwendungen braucht man auch sehr steife Materialien, die man mit den gängigen Komponenten nicht erreichen kann. Die Suche nach Lösungen für diese Problemstellungen führte uns dann zur Nanotechnologie.

In Zusammenarbeit mit dem AMI untersuchten wir die Eignung von Nanocellulose für den Einsatz in SL-Harzen. Cellulose aus Pflanzenteilen kann durch verschiedene Aufschlusstechniken in Cellulose-Nanofasern aufgespalten werden.

Diese Nanofasern müssten sich im SL-Harz so verteilen lassen, dass ein untereinander verbundenes Netzwerk von Cellulosefasern entsteht (Perkolation). Ein Zusatz von wenigen Prozent Nanocellulose müsste genügen, um eine deutliche Verbesserung der Steifigkeit des SL-Harzes zu erreichen.

Es gelang auch tatsächlich, die Nanofasern in der Harzmatrix so zu dispergieren, dass sie ein Netzwerk bilden, wie Aufnahmen mit dem Rasterelektronenmikroskop zeigen. Die schrittweise Erhöhung der Konzentration an Nanofasern führte zu einer graduellen Erhöhung des Zugmoduls (ein Mass für die Steifigkeit). Eine

Zugabe von nur 4% Nanocellulose ergab eine sehr starke Erhöhung des Moduls von 3000 auf 4000 MPa.

Leider gab es dann jedoch Probleme beim „Scale-up“. Die Herstellung von grösseren Mengen Dispersion war sehr aufwändig und teuer, und die Resultate waren schlecht reproduzierbar. Teile, die mit diesen Materialien im SL-Drucker gebaut wurden, zeigten schlechte Seitenwandqualität auf.

Wir probierten es dann mit sphärischen Silika (SiO_2)-Teilchen. Nanoteilchen aus Silika können aus wässrigen Silikatlösungen erhalten werden. Durch Austausch des Lösungsmittels können diese Nanoteilchen dann in Epoxy- oder Acrylatharzen dispergiert werden. Die Nanoteilchen haben eine sehr enge Grössenverteilung und sind ca. 20 nm gross. Diese Dispersionen können einfach mit den anderen Harzkomponenten vermischt werden.

Das resultierende SL-Harz bleibt klar, es erfolgt keine Sedimentation. Da SiO_2 UV-transparent ist, gibt es keine Verringerung der Photoempfindlichkeit. Nach der Aushärtung hat das Harz einen Biegemodul von 4500 MPa, fast eine Verdoppelung der Steifigkeit. Und die Wärmeformbeständigkeit steigt auf 120°C. Dieses Material kann daher für alle Anwendungen eingesetzt werden, die hohe Steifigkeit oder hohe Temperaturresistenz erfordern.

Wir gingen dann noch einen Schritt weiter und entwickelten ein „Nano-Composit“. Zum Nanopartikel enthaltenden Harz gaben wir Silika-Mikropartikel, d.h. Silika-Pulver, das aus Teilchen von durchschnittlich 5 Mikron besteht. Das so erhaltene Harz ist relativ viskos, kann aber immer noch gut in der SL-Maschine verarbeitet werden. Was für uns überraschend war: Dieses Harz neigt nur in sehr geringem Masse zur Sedimentation – im Gegensatz zu einem entsprechenden Harz nur mit Mikro- aber ohne Nanopartikel. Das heisst also, dass die Nanoteilchen die grösseren Teilchen stabilisieren und wie ein Dispergiermittel wirken. Das ausgehärtete Harz hat einen Modul von ca. 9000 MPa, also eine weitere Verdopplung der Steifigkeit im Vergleich zum Harz, das nur Nanopartikel enthält.

Dieses Harz wird hauptsächlich in der Formel I für Tests im Windkanal verwendet. Solche Tests sind unentbehrlich für die Entwicklung der neuen Automodelle. Aber auch für andere Anwendungen, bei denen Feuchtigkeitsunempfindlichkeit oder Wärmebeständigkeit gebraucht werden, ist es unentbehrlich.

Die Nanotechnologie hat uns also neue Möglichkeiten für die Entwicklung von Materialien für 3D-Drucker eröffnet. Wegen der geringen Grösse der Teile bleiben die Harze dünnflüssig und stabil. Die Eigenschaften können in grösserem

Mass variiert, bzw. neue Eigenschaften hinzugefügt werden. Wir denken an Leitfähigkeit oder magnetische Eigenschaften, poröse Materialien, usw. Wir sind erst am Anfang dieser Entwicklung, ein weites Feld hat sich aufgetan!

Chancen und Risiken der Nanotechnologie

Dr. Sergio Bellucci
Geschäftsführer TA Swiss, Bern

Ob ich Ihnen die Angst vor der Nanotechnologie nehmen kann, weiss ich nicht. Aber ich denke, eine übermässige Angst ist nicht angebracht. Ich möchte Ihnen aber zunächst erläutern, was die Ziele von TA-SWISS (Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung) sind, und auch zeigen, welche Projekte wir bei TA-SWISS im Bereich der Nanotechnologie in den letzten Jahren durchgeführt haben.

Der Auftrag für die Technologiefolgenabschätzung kam vom Parlament. Gegründet wurde TA-SWISS im Jahr 1992, nachdem eine Motion im Parlament dies gewünscht hatte. Wir sind mit diesem Auftrag eine Institution, die die Politik hinsichtlich zukünftiger Technologien beraten soll. Wir sollen deren positive und negative Auswirkungen aufzeigen. Ich möchte Ihnen die Chancen der Nanotechnologie darlegen und auf der anderen Seite auch eine kritische Beurteilung ermöglichen.

Die frühzeitige Diskussion zu neuen Technologien ist sehr wichtig, hier spielt die gesellschaftliche Dimension eine grosse Rolle. In der Broschüre der VCU habe ich gelesen, dass diese gesellschaftliche Dimension für Sie als Unternehmer und Unternehmerinnen auch wichtig ist. Für uns ist entscheidend, neben den technischen und wissenschaftlichen Aspekten, für diese Dimension im Parlament auch eine Diskussionsgrundlage zu schaffen. Wir sind keine Forscher, aber erarbeiten auf wissenschaftlichen Grundlagen prospektiv und möglichst unabhängig interdisziplinäre Studien. Die Glaubwürdigkeit unserer Arbeit ist sehr zentral. Wir sind sicherlich nicht ganz unabhängig, aber möglichst unabhängig und möglichst glaubwürdig, das ist das Zentrale unserer Arbeit. Dann kann sie in die politischen Entscheidungsprozesse einfließen.

Wie gehen wir bei unserer Arbeit vor? In der Methodik haben wir zwei grundsätzliche Arbeitsweisen. Zunächst geht es um Experten-Studien zu neuen Technologien, dann gibt es Bürgerforen. Zu den Studien: Die Geschäftsstelle von TA-SWISS erarbeitet ein Konzept, in dem die grundsätzlichen Fragen zu einer neuen Technologie zusammengestellt werden. Danach schreiben wir die neuen Projekte öffentlich aus und erwarten entsprechende Offerten von potentiellen geeigneten Projektnehmern. Diese externen Auftragnehmer sind in der Regel Hochschulinstitute oder Beratungsfirmen. Folgende Rahmenbedingungen sind ganz zentral: wissenschaftlicher Zugang, interdisziplinäre Zusammensetzung der den Auftrag

übernehmenden Projektgruppe und Unabhängigkeit hinsichtlich der Standpunkte. Wir befassen uns in diesen Studien mit neuem Wissen. Für jede Studie gibt es auch immer eine je nach Thema spezifisch zusammengesetzte Begleitgruppe. Darin vertreten sind Experten aus Wissenschaft und Technik, aber auch Leute aus Gewerkschaften oder Konsumentenorganisationen sowie Ethikerinnen, Soziologen, Juristinnen oder Vertreter/innen anderer Disziplinen, je nach Fokus des Projektes. Die Begleitgruppen achten darauf, dass die Auseinandersetzung mit dem neuen Wissen und den technischen Möglichkeiten qualitativ möglichst breit und nicht einseitig durchgeführt wird. Von grosser Bedeutung sind die Empfehlungen dieser Projektgruppen zuhanden der Entscheidungsträger (Politik, Behörden, verschiedene Interessengruppen). Der Leitungsausschuss von TA-SWISS, das oberste Organ, das wie eine Art Verwaltungsrat einer Firma funktioniert, verabschiedet den Schlussbericht und dieser wird dann in den zuständigen parlamentarischen Kommissionen vorgestellt und veröffentlicht.

Es ist wichtig, die Meinung der Experten früh einzuholen, aber für uns ist es genauso wichtig, so früh wie möglich die Meinung der Bürger und Bürgerinnen zu erfahren. Auch im Fall der Nanotechnologie diskutierten wir diese Fragen mit Bürgern und Bürgerinnen. Die involvierten Bürger/innen wurden mit in Broschüren und Vorträgen aufbereitetem Grundwissen, zu diesen Technologien versorgt und dann diskutierten wir und sprachen die für sie wichtigen Fragen, allenfalls Ängste oder wahrgenommene Vorteile, an.

Bezüglich der Nanotechnologie werde ich fachlich nicht ins Detail gehen, Sie haben schon einiges gehört. Wichtig ist hier zu sagen, dass Nanomaterialien je nach Verbindung ganz unterschiedlich reagieren können. Die erste Studie haben wir zum Thema „*Nanotechnologie in der Medizin*“ im Jahr 2003 veröffentlicht. Wir haben in der Geschäftsstelle vor 15 Jahren, also 2000, gemerkt, dass die Nanotechnologie zukünftig eine wichtige Technologie sein wird, und deshalb haben wir beschlossen, aktiv zu werden. Als ein wichtiges Resultat stellte sich damals heraus, dass diesbezüglich keine gesellschaftliche Diskussion in der Schweiz stattfindet und dass eine Diskussion mit Bürgerinnen und Bürgern zur Nanotechnologie wichtig sei. Deshalb haben wir dann im Jahr 2006 ein sogenanntes *publifocus*, d.h. eine strukturierte Diskussion mit Bürger/innen, durchgeführt. Durch das Verfahren des *publifocus* haben wir gesehen, dass die Leute besonders heikel und sensibel auf die Frage der Ernährung reagieren, und wir haben dann ein drittes Projekt „*Nanotechnologie im Bereich der Lebensmittel*“ durchgeführt und als letztes schliesslich die Studie „*Nanotechnologie – Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit*“.

Nun werde ich kurz die wichtigsten Resultate dieser vier Projekte darstellen, das erste wie gesagt aus dem Jahr 2003 zum Thema der Medizin. Wir haben gesehen, dass hier ein grosses Potential, speziell in der Krebsbekämpfung und in der Diagnostik liegt. Man ist zwar noch nicht so weit, aber man erhofft sich hier sehr viel. Wir haben in dieser Studie gesehen, dass es doch ein paar heikle Punkte gibt. Bei den Nanopartikeln weiss man nicht genau, was im Körper geschieht, wenn Partikel inhaliert werden. Das ist ein Risiko, das untersucht werden muss. Als nächster heikler Punkt stellte sich die Frage nach einer klaren Regulierung der Nanotechnologie in der Gesetzgebung. Bis jetzt gibt es diesbezüglich keine spezifische gesetzliche Regulierung in der Schweiz und es ist auch noch offen, ob es in Zukunft eine solche Regulierung geben soll. Bei den Lebensmitteln ist zudem die Frage der Deklaration von Bedeutung und immer heikel. Denken Sie an das Thema der gentechnisch veränderten Lebensmittel. Diese Diskussion führen wir in Europa jetzt seit 20 Jahren. Die kritischen Fragen zur Nanotechnologie sind ähnlich wie die Fragen, die bei der Entwicklung der Gentechnologie aufgetaucht sind. Dort fand im Vorfeld aber keine öffentliche Debatte statt. Das hat sich im Nachhinein als ein grosser Fehler herausgestellt.

Wir haben diese Debatte also im Jahr 2006 mit Hilfe des publifocus „*Nanotechnologien und ihre Bedeutung für Gesundheit und Umwelt*“ geführt. In der ersten Runde dieser Debatte waren insgesamt etwa 70 Bürger/innen aus allen drei Sprachregionen der Schweiz beteiligt. Sie haben – aufgeteilt auf fünf Gesprächsrunden – engagiert über dieses Thema diskutiert. Die Resultate will ich hier kurz zusammenfassen. Bürger und Bürgerinnen sind im Allgemeinen nicht grundsätzlich gegen neue Technologien, im Gegenteil sie sind positiv eingestellt. Bei der Nanotechnologie wurden die Chancen höher bewertet als die Risiken, also die potentiell negativen Aspekte. Die Potentiale für die Medizin wurden besonders hoch eingeschätzt. Es ist ein wichtiger Pluspunkt für eine neue Technologie, wenn sie eine Therapiemöglichkeit für eine Krankheit in Aussicht stellt. Menschen stellen sich dann vor, sie könnten vielleicht selbst in diese Situation kommen, und bewerten die Technologie in diesem Fall positiver. Ein weiterer Pluspunkt ist, dass Nanotechnologie das Leben einfacher macht oder machen könnte. Ein heikler Punkt ist die Frage, wo sich Nanopartikel im Körper ausbreiten und was sie verursachen können. Was passiert zum Beispiel in den Lungenzellen, wenn Nanopartikel inhaliert werden? Dies ist ein Punkt, an dem jetzt weiter geforscht wird. Ein weiterer Aspekt in diesem Zusammenhang ist, dass man vor allem die Langzeiteffekte dieser Nanopartikel im Körper nicht kennt.

Die Gefahr der Nanopartikel für den Körper und die Umwelt sind natürlich sehr sensible Aspekte. In den Debatten wurde klar, dass die meisten Leute eine Produktdeklaration vor allem bei Lebensmitteln wollen. Die Leute wollen wissen, ob Nanopartikel in ihrem Essen sind, und sie wollen, dass mögliche negative Folgen auf die Gesundheit erforscht werden. Wichtig ist den Leuten auch, zu wissen, welche Auswirkungen synthetische Nanopartikel im Körper haben können. Im Lebensmittelbereich wird also eine klare Gesetzgebung gefordert.

Weil wir im publifocus gesehen haben, dass die Leute auf das Thema Nanopartikel und Lebensmittel besonders empfindlich reagieren, haben wir den Schwerpunkt unserer nächsten Expertenstudie „*Nanotechnologie im Bereich der Lebensmittel*“ entsprechend gewählt. Verbraucher und Verbraucherinnen werden Nanotechnologie in Lebensmitteln nur akzeptieren, wenn ein deutlicher Nutzen erkennbar ist. Sie wollen natürlich auch bei Lebensmitteln wissen, welche funktionellen Vorteile die Technologie bringt. Dabei sind zwei Aspekte besonders wichtig: Bringen die neuen Methoden etwas für die Gesundheit, indem sie z. B. Vitamine und Mineralien schneller verfügbar machen? Oder: Können sie den Alltag vereinfachen? Beispielsweise gibt es inzwischen PET-Flaschen mit Folien aus Nanopartikeln damit der Gasaustausch kleiner wird. Dadurch entweicht weniger Kohlensäure aus den Flaschen.

Ein wichtiges Ergebnis der im Jahr 2009 veröffentlichten Expertenstudie zu den Lebensmitteln war: Es soll kein generelles Moratorium für synthetische Nanomaterialien geben. Das Moratorium für die Gentechnologie, für die gentechnisch veränderten Organismen ausserhalb der Forschungslaboratorien, ist immer noch aktuell. Ich denke, es ist besser die Technologie jeweils kritisch anzuschauen, transparent zu informieren und zu diskutieren, anstatt Moratorien zu etablieren.

Wir benötigen kein spezifisches Nanolebensmittelgesetz, aber die Vorschriften für Lebensmittel und deren Verpackung sollten der neuen Technologie angepasst werden. Die heutigen Gesetzesvorschriften reichen aus. Wichtig war und ist das Vorsorgeprinzip. Der Staat nimmt die Pflicht auf sich, die Entwicklung kritisch zu beobachten und gegebenenfalls zu intervenieren. Ein weiterer Punkt der Expertenstudie war die Deklaration. In der Praxis ist das nicht so einfach und vielleicht könnte man auch darüber diskutieren. Was sagt eine Deklaration den Leuten konkret? Im Lebensmittelbereich wird Nanotechnologie vor allem bei Verpackungen verwendet, z. B. für Flaschen, um den Gasaustausch zu vermindern. Es gibt auch Tupperware mit und ohne Nanomaterialien. Hier werden Silberverbindungen mit antibakterieller Wirkung eingesetzt, wie sie Frau Fromm in ihrem Re-

ferat erwähnt hat. Natürlich sehen die Leute, dass Erdbeeren, die in Behältern mit Nanomaterialien aufbewahrt wurden, nach 80 Stunden doch besser aussehen als Erdbeeren in Behältern ohne diese Technologie. Trotzdem fragen sie nach der Auswirkung für ihren eigenen Körper.

Und nun zur letzten Studie: „*Nanomaterialien und die Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit*“. Ich komme auf die schon erwähnte Tupperware und die PET-Flaschen mit Nanomaterialien zurück. Welchen Einfluss haben diese Materialien längerfristig auf die Umwelt, z.B., wenn sie entsorgt werden? Zwischen 2000 und 2013, bis zum Abschluss dieser Studie also, konnte die Wissenschaft kritische Wissenslücken schliessen, insbesondere was den ganzen Transformationsprozess angeht. Speziell in der Schweiz gibt es eine sehr aktive Risikoforschung. Besonders kritisch werden in dieser Diskussion Titandioxid-Verbindungen betrachtet.

Ein wichtiges Ergebnis dieser letzten Studie ist, dass ein allgemeines Moratorium für die Verwendung von Nanomaterialienkontraproduktiv wäre. Es geht darum, die Potentiale zu sehen. So erlaubt der Einsatz von Nanomaterialien in zahlreichen Fällen eine Verbesserung der Umweltfaktoren. Der Materialverbrauch ist zum Beispiel bei der Produktion dieser Nano- PET-Flaschen deutlich reduziert, weil eine dünnere Kunststoffschicht genügt, um das Entweichen der Kohlensäure zu verhindern.

Ich komme zum Schluss. Der Bundesrat hat sich ebenfalls intensiv mit diesen Fragen auseinandergesetzt und einen „*Aktionsplan zur Risikobeurteilung von Nanomaterialien*“ aufgestellt. Dieser wurde jetzt wieder erneuert und läuft bis ins Jahre 2019. Ziel ist es, die Wirkung der Anwendung von Nanotechnologie zu beobachten. Zum Beispiel die Aspekte der Langzeitrisikobewertung für Gesundheit und Umwelt, die Anreicherungen von Nanopartikeln im Körper oder die Auswirkung von Siliziumverbindungen in der Leber, die Entzündungen auslösen können. Oder die Frage, was mit Carbon Nanotubes im Körper passiert. Man weiss auch, dass es Wissenslücken bei der Frage nach der Exposition in der Umwelt gibt, also welchen Mengen von Nanomaterial die Verbraucher längerfristig ausgesetzt werden.

Auch die Wirtschaft ist mit verschiedenen Veranstaltungen aktiv, zum Beispiel mit dem Fachkongress *Nanoeurope*. In der Forschung ist insbesondere die EMPA aktiv, sie führt seit Jahren die *Nanoconvention* durch. Dort treffen sich namhafte Vertreter/innen aus Forschung und Wissenschaft zum Austausch über Entwicklungen und Erkenntnisse im Bereich der Nanotechnologie.

Kann ich Ihnen die Angst vor der Nanotechnologie nehmen? Nicht zu 100 Prozent, aber ich würde sagen, die Situation in der Nanotechnologie ist nicht dramatisch, es gibt keinen Anlass zur Panik. Allerdings muss man im Sinne des Vorsorgeprinzips kritisch bleiben und diese Substanzen nicht unterschätzen. Ich denke jedoch, dass wir bis jetzt die grosse Chance haben, dass die Nanotechnologie viele Vorteile für unsere Gesellschaft bringen wird.

Übersicht Referentinnen und Referenten



Prof. Dr. Christoph Weder ist Professor für Polymere Chemie und Materialien am Adolphe Merkle Institut der Universität Fribourg, wo er auch als Direktor des neu gegründeten Zentrum für Grundlagenforschung und Angewandte Forschung im Bereich weicher Nanomaterialien wirkt. Er studierte an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich und am MIT in Cambridge (USA). Anschliessend lehrte er an der ETH Zürich und in den Vereinigten Staaten, bevor er im Jahr 2009 an die Universität Fribourg wechselte.



Prof. Dr. Katharina M. Fromm ist ordentliche Professorin an der Universität Fribourg. Sie studierte in Karlsruhe und Strassburg Chemie. 1991 wurde sie in Chemie an der Universität Karlsruhe promoviert und im Jahr 2002 habilitierte sie sich an der Universität Genf. Nach einem kurzen Aufenthalt an der Universität Karlsruhe wechselte sie 2003 mit einem Stipendium des Schweizerischen Nationalfonds an die Universität Basel, bevor 2006 an die Universität Fribourg ging. Im Jahr 2013 wurde sie als erste Europäerin als Fellow in die American Chemical Society aufgenommen.



Dr. Bettina Steinmann ist Geschäftsleiterin von 3D Systems SA in Marly und verantwortlich für die Entwicklung und die Produktion von Materialien für 3D-Drucker. Sie studierte Chemie an der Universität Mainz. Ihre Doktorarbeit begann sie an der Universität Stanford und schloss sie 1985 an der ETH Zürich ab. Bis 1997 arbeitete sie dann am Forschungszentrum der Ciba-Geigy in Marly. 1997 gründete sie die Firma RPC (Rapid Prototyping Chemicals), die 2001 von 3D Systems übernommen wurde.



Dr. Sergio Bellucci ist seit 1996 Geschäftsführer von TA-SWISS, dem Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung beim Schweizerischen Wissenschafts- und Technologierat in Bern. Er erhielt im Jahr 1976 das Diplom zum Ingenieur Agronom an der Eidgenössischen Technischen Hochschule ETH in Zürich, wo er 1980 auch promovierte. Daraufhin arbeitete er bei der Agro Division bei Ciba-Geigy Basel in der Forschung, Entwicklung und Marketing. 1989 wurde er Leiter des Zentrums für Weiterbildung an der Eidgenössischen Technischen Hochschule ETH in Zürich und vier Jahre später Leiter des Management und Technologie Instituts am Technopark in Zürich. Dr. Sergio Bellucci ist Mitglied verschiedener Organisationen und Kommissionen in den Bereichen Wissenschaft, Technologie und Gesellschaft, sowohl in der Schweiz als auch im Ausland.

Fortsetzung Übersicht Referentinnen und Referenten



Prof. Dr. Stefan Grotefeld ist Leiter der Abteilung Lebenswelten der Gesamtkirchlichen Dienste der Evangelisch reformierten Landeskirche des Kantons Zürich. Er wurde 1993 in ev. Theologie promoviert und habilitierte sich 2006 in Zürich, wo er auch als Titularprofessor tätig ist. Der Schwerpunkt seiner wissenschaftlichen Arbeit liegt im Bereich der der Wirtschafts- und Unternehmensethik.

Sponsoren



medica

MEDIZINISCHE LABORATORIEN Dr. F. KAEPPELI AG
Wolfbachstrasse 17, Postfach, 8024 Zürich

www.medica.ch



VICTORINOX

 **Freiburger
Kantonalbank**
einfach offener

Läderach
chocolatier suisse

 **Basler**
Versicherungen

Unsere bisherigen Publikationen VCU CH / G&W:

- 77. Wirtschaftskriminalität als Führungsproblem**
Praktische Erfahrungen
Prof. Dr. Stephan Wirz (Hrsg.)
- 76. Verantwortliches Handeln lohnt sich**
Erfolgsbeispiele aus dem In- und Ausland
Jeannette Behringer (Hrsg.)
- 75. Der Gläserne Mensch: Konsumenten und Arbeitnehmer im Internet Zeitalter**
Gekürzte Form der Vorträge, welche an den Tagungen vom 24. September und 29. Oktober 2013 gehalten wurde.
Prof. Dr. Stephan Wirz (Hrsg.), Prof. Dr. Christiana Fountoulakis
- 74. Nachfolge als Herausforderung: Worauf kommt es an?**
Gekürzte Form der Vorträge, welche an der Tagung vom 4. Mai 2013 gehalten wurde.
Prof. Dr. Stefan Grotefeld (Hrsg.)
- 73. Generation Facebook und Twitter: Neue soziale Bewegungen verändern Politik und Wirtschaft**
Gekürzte Form der Vorträge der Tagung vom 8. September 2012 von Roy Oppenheim und Dr. Tim Frey.
Prof. Dr. Stephan Wirz (Hrsg.)
- 72. Christliche Spiritualität im Führungsalltag**
Interview mit Priorin Irene Gassmann, Kloster Fahr und Referat Dr. Philipp Gmür, CEO Helvetia Versicherungen, welche an der Tagung vom 5. Mai 2012 gehalten wurden.
Dr. Christoph Weber-Berg (Hrsg.)
- 71. Spagat zwischen Beruf und Pflege: Neue Herausforderungen für die Personalpolitik der Unternehmen**
Gekürzte Form der Vorträge, welche an der Tagung vom 10. September 2011 gehalten wurden.
Prof. Dr. Stephan Wirz, Dr. Christoph Weber-Berg (Hrsg.)
- 70. Finanzen im Dienst von Wirtschaft und Gesellschaft**
Gekürzte Form der Vorträge, welche an der Tagung vom 14. Mai 2011 gehalten wurden.
Dr. Christoph Weber-Berg, PD Dr. Stephan Wirz (Hrsg.)
- 69. Leben die Alten auf Kosten der Jungen?**
Gekürzte Form der Vorträge, welche an der Tagung vom 18. September 2010 gehalten wurden.
Prof. Dr. Stephan Wirz, Dr. Christoph Weber-Berg (Hrsg.)
- 68. Kampf der Kulturen im Unternehmen?**
Ein Résumé der Tagung vom 17.09.2009
Stephan Wirz / Hilmar Gernet (Hrsg.) (April 2010)
- 67. Jean Calvin (1509 – 1564). Reformator und Wirtschaftsethiker**
Ph. Dr. Prof. h.c. Eduard Wildbolz (Dezember 2009)
- 66. Das Kreuz mit der Leistungsgesellschaft**
Ein Résumé der Tagung vom September 2008 in der Paulus-Akademie Zürich (April 2009)
- 65. Von der unheimlichen zur unheimlichen Parteifinanzierung in der Schweiz**
Hilmar Gernet, Direktor für Politik & Gesellschaft bei Raiffeisen Schweiz (November 2008)
- 64. Theologischer Disput um die Reform des Sozialstaates**
Stephan Wirz, Privatdozent für Theologische Ethik, Universität Luzern, Studienleiter Paulus-Akademie, Zürich (Januar 2008)
- 63. Wasser und Landwirtschaft**
Stefan Tangermann, Direktor für Handel und Landwirtschaft OECD (Juli 2007)
- 62. Überforderte Invalidenversicherung?**
lic. iur. Andreas Dummermuth; Master of Public Administration (IDHEAP), Direktor der Ausgleichskasse / IV-Stelle Nidwalden, Präsident der IV-Stellen Konferenz (November 2006)

- 61. Geld und Macht im Spannungsfeld ethischer Entscheidungen**
Dr. rer. pol. Toni Föllmi, ehem. Direktor der Schweizerischen Nationalbank (SNB) (Mai 2006)
- 60. Die Arbeitsmarktlage in der Schweiz**
George Sheldon, Leiter Forschungsstelle für Arbeitsmarkt- und Industrieökonomik (FAI) Universität Basel (Februar 2006)
- 59. Eigenverantwortung im Sozialstaat**
Dr. h.c. Franz Marty, Schwyz (Oktober 2005)
- 58. Christliche Werte, Hippokrates und Unternehmensethik**
Dr. theol. Christoph Weber-Berg, Prof. Dr. Otfried Höffe (August 2004)
- 57. Schweiz: Wohin geht die Reise?**
Interview von Urs C. Reinhardt, Dr. Eduard Wildbolz und Prof. Dr. Franz Jaeger, St. Gallen. Nachwort von P. Dr. Albert Ziegler, Zürich (Mai 2004)
- 56. Globalisierung - Chance für alle** (Dezember 2003)
- 55. Vertrauen schaffen**
Beiträge von P. Dr. Albert Ziegler, Dr. Helmut O. Maucher, Dr. Beat Kappeler, Fritz Blaser und Elisabeth Schirmer-Mosset (Oktober 2003)
- 54. Zuverlässig und umweltfreundlich**
Kernenergie: die Energie von Heute (März 2003, *vergriffen*)*
- 53. Gesundheitswesen wie weiter?**
Diskussionsvoten von Rechtsanwalt Moritz Arnet, Prof. Dr. Thierry Carrel und P. Dr. Albert Ziegler (Dezember 2002)
- 52. Das World Economic Forum (WEF) vor Menschheitsfragen**
Ein Projekt und seine Widersacher: Von Dr. Eduard Wildbolz, Urs C. Reinhardt, Prof. Dr. Klaus Schwab und Nationalrätin Pia Hollenstein (November 2002)
- 51. Schwarzarbeit in der Schweiz**
Interview mit Dr. oec. Daniel W. Hefti, Zürich (Oktober 2002)
- 50. Stellungnahme zum Wort der Kirchen**
Studiengruppe der Interkonfessionellen Informationsstelle Glaube & Wirtschaft, Bern (Ende August 2001)
- 49. Das Bankkundengeheimnis**
PD Dr. iur. Christoph Winzeler, Basel und Prof. Dr. theol. und Dr. rer. pol. Friedrich Beutter, Luzern (August 2001)
- 48. Staat, Wirtschaft, Kirchen und die Freiwilligen**
Sonja Daeniker-Pfister, Zumikon (März 2001)
- 47. Zurück an die Spitze!**
Für einen Wirtschaftsstandort Schweiz mit positiven Rahmenbedingungen.
Ein Plädoyer, von Urs C. Reinhard, Bern (Dezember 2000)
- 46. Leben nach 60**
Gesellschaftliche Aufgabe. Persönliche Verantwortung
P. Dr. Albert Ziegler, Zürich (September 2000)
- 45. Die Bilateralen Verträge zwischen der Schweiz und der Europäischen Union (EU)**
Was beinhaltet sie? Was ist von ihnen zu halten?
Urs C. Reinhard, Bern (April 2000)
- 44. Pfarrer und Unternehmer - zwei verschiedene Führungsfunktionen?**
Dr. Johannes Flury, Chef Berufsbildung, Schweizerisches Rotes Kreuz, Bern (November 1999)
- 43. Die Globalisierung und die Schweiz**
Hans Kaufmann, Wirtschaftsberater, Wettswil/Zürich (Juli 1999)
- 42. Ökumenische Konsultation/Vernehmlassung zur Diskussionsgrundlage** (Dezember 1998)

41. **Unternehmensethik: Hemmschuh oder Erfolgsfaktor?**
Dr. P. Albert Ziegler, Zürich (Juni 1998)
40. **Schweizer Geldpolitik und die wirtschaftliche Erholung**
Hans Theiler, Direktor der Schweizerischen Nationalbank, Bern (Dezember 1997)
39. **Zum Thema "Fairer Handel"**
Interview mit Staatssekretär Prof. Dr. Franz Blankart, Bern (Dezember 1997)
38. **Die Kirchen, die Wirtschaft und die Revitalisierung der Werte**
Sonja Daeniker-Pfister, Zollikon (Juli 1997)
37. **Gentechnik in Verantwortung** Von ETHZ-Präsident Prof. Dr. Jakob Nüesch, Zürich / **Gentechnik auf dem ethischen Prüfstand** Von Dr. Alber Bondolfi, Institut für Sozialethik der Universität Zürich (Dezember 1996)
36. **Die Zukunft der sozialen Sicherheit in der Schweiz** Von Prof. Dr. Urs Ch. Nef, ETH Zürich, Zürich / **Ethische Gesichtspunkte zur Zukunft der sozialen Sicherheit in der Schweiz** Von Dr. P. Stephan Rothlin, Zürich (Juli 1996)
35. **Arbeit - bezahlt, unbezahlt, unbezahlbar?**
Sonja Daeniker-Pfister, Zollikon (Oktober 1995)
34. **Die Schweiz braucht das GATT** Interviews mit Minister Luzius Wasescha, Bern; André Richhoz, Georg Fischer SA, Genf; Melchior Ehrler, Schweiz. Bauernverband, Brugg; Paul Luterbacher, Pfarramt für Industrie und Wirtschaft, Basel (Mai 1995)
33. **Für die moderne Arbeitslosenversicherung**
Interviews mit Jean-Luc Nordmann, BIGA, Bern, und Hans-Ulrich Kneubühler, Institut für Sozialethik, Luzern (September 1994)
32. **Der Preis des Geldes**
Ulrike Baldenweg-Bölle, UBS, Zürich und Prof. Robert Hassler, Vevey (März 1994)
31. **Arbeitsteilung: Wundermittel oder Sackgasse**
30. **Verkehr und Umwelt**
29. **Wie mit wirtschaftlichen Ungleichgewichten fertig werden?**
28. **Nutzung der Verkehrsmittel und umweltverträgliche Lebensweisen**
27. **Von Pauschalurteilen zum Verständnis menschlicher Wirklichkeit**
26. **Wirtschaft im Dienste der Menschen**
25. **Für Sie gelesen und kurz notiert**
24. **Die kirchliche Botschaft muss mit ökonomischer Kompetenz gepaart sein**
23. **Menschenwürde und wirtschaftlicher Alltag**
22. **Steiniger Weg zur Lösung der internationalen Schuldenkrise**
21. **Ein Modell für die Schweiz (*vergriffen)**
20. **Christen und die Atomenergie (*vergriffen)**
19. **Umweltprobleme mit der Energienutzung: Unser Verhalten überprüfen (*vergriffen)**
18. **Energie - Umwelt - Lebensstil**
17. **Ethische Aspekte der Energiefrage**
16. **Überlegungen zu den Vorschlägen der Bodenrechtsrevision**
15. **Wieviel Chemie verträgt die Umwelt?**
14. **Ein Leben zwischen Gift und Abfällen (*vergriffen)**
13. **Ernährung (*vergriffen)**

12. Ernährung (**vergriffen*)
11. Über die Notwendigkeit und Möglichkeit einer Wissenschaftsethik (**vergriffen*)
10. Die Natur - unser Partner
09. Frauenarbeit - unterbezahlt oder unbezahlbar?
08. Freizeit - Freie Zeit?
07. Arbeit - wozu und für wen?
06. Haben wir morgen noch Arbeit?
05. Ist Arbeitslosigkeit unvermeidlich? (**vergriffen*)
04. Dritte Welt und wir
03. Bankeninitiative und ihre Auswirkungen
02. Dokumentation zur Bankeninitiative (**vergriffen*)
01. Ist die Atomenergie eine Lösung?

Vollständige Übersicht auf www.vcu.ch

** vergriffene Publikationen (Archiv)*

**Bezug und Bestellungen: Verein Christlicher Unternehmer Schweiz, Geschäftsstelle,
Allmeindstrasse 11, Postfach 262, 8716 Schmerikon, Tel. 055 286 14 80, Fax 055 286 14 81,
Email: info@vcu.ch**