

„Eine weitere industrielle Revolution“

Im Gespräch mit dem Experimentalphysiker Professor Dr. Uwe Hartmann

„There's plenty of room at the bottom“ mutmaßte 1959 der amerikanische Physiker und Nobelpreisträger Richard P. Feynman und legte damit den Grundstein für die Nanotechnologie, die sich in den letzten Jahren zu einer der entwicklungssträchtesten Zukunftstechnologien unserer Zeit etablierte. Die Wirtschaft erhofft sich von der zunehmenden Miniaturisierung Einsatzmöglichkeiten in ganz unterschiedlichen Bereichen: neuartige Werkstoffe für den industriellen Sektor oder Diagnostika und Therapeutika in der Medizin sind nur zwei zentrale Forschungsgebiete, die schon heute innovative Anwendungen hervorbringen. TRANSFER sprach mit dem Saarbrücker Experimentalphysiker und ausgewiesenen Experten auf dem Gebiet der Nanotechnologie, Professor Dr. Uwe Hartmann.

Die Nanotechnologie gilt als Zukunftstechnologie, Sie beschäftigen sich aber schon seit Ende der 80er-Jahre mit der Forschung an kleinsten Teilchen. Was fasziniert Sie an dieser Fachrichtung?

Mich persönlich faszinieren insbesondere zwei zentrale Aspekte der Nanotechnologie: Zum einen ist sie außerordentlich interdisziplinär, was für einen Wissenschaftler ganz besondere Anforderungen definiert. Zum anderen bietet sie technologisch fast unbegrenzte Möglichkeiten, was Anwendungen in den unterschiedlichsten Branchen eröffnet.

Die Literatur sieht die Anfänge der Nanotechnologie Mitte des letzten Jahrhunderts. Sie vertreten die Auffassung, dass im weitesten Sinn auch im alten

Rom schon Nanotechnologen zu finden waren. Das müssen Sie uns erklären!

In Form von Pigmenten für Tinten und von nanoskaligen Metallpartikeln zum Färben von Gläsern wird „Nanotechnologie“ bereits seit mehr als 2000 Jahren eingesetzt. Allerdings handelte es sich bei der Verwendung kleinster Teilchen zur Erzeugung farblicher Effekte natürlich um eine empirische Vorgehensweise, die auf langfristig erworbenem Wissen und handwerklichem Geschick basierte. Die bewusste Kenntnis der Zusammenhänge zwischen Struktur und Größe eines Objekts einerseits und Funktionalität andererseits fehlte aber noch. Im strengen akademischen Sinn und auch aus praktischer Sicht besteht die Nanotechnologie allerdings gerade in einer bewussten Nutzung der Zusammenhänge zwischen Struktur, Größe und Eigenschaften, die nur dann erfolgen kann, wenn eine ausreichende physikalische, chemische oder biochemische Sachkenntnis vorliegt.

In welchen Bereichen profitieren Wissenschaft und Wirtschaft schon heute von der Nanotechnologie?

Die Nanotechnologie definiert heute umfassend neue wissenschaftliche Fragestellungen und wird das auch in Zukunft tun. Darüber hinaus führen nanotechnologische Verfahren dazu, dass Forschung in den unterschiedlichsten Bereichen weiter intensiviert werden kann. Nanotechnologie befruchtet also auch weitere Technologien.

Die Wirtschaft profitiert insbesondere bei den chemischen und teilweise auch biochemischen Nanotechnologien bereits heute, indem Produkte auf den Markt gebracht werden können, die sich in wesentlichem Umfang über Nanotechnologie definieren. Dazu sind beispielsweise bestimmte



Werkstoffe, Oberflächenveredelungen, aber auch pharmazeutische Produkte zu rechnen. Abgesehen von dieser primären wirtschaftlichen Relevanz der Nanotechnologie profitiert die Wirtschaft auch in Form von neuen Zuliefermärkten für die Entwicklung nanotechnologischer Verfahren und generell von der positiven Besetzung des Attributes „nano“. Schließlich sollte auch der entstehende nanotechnologische Bildungsmarkt als Bereich mit öffentlichem und privatwirtschaftlichem Engagement nicht unterschätzt werden.

Welchen Problemen und Herausforderungen stehen wir in der Nanotechnologie noch gegenüber?

Das große, langfristige Ziel der Nanotechnologie ist es, „die Welt Atom für Atom zu konzipieren und neu zu formen“. Ein solcher „Bottom-up-Ansatz“ erfordert die Nutzung von Prozessen, wie Selbstorganisation, Autoreproduktion oder Selbstheilung, die während der biologischen Evolution im Lauf von Jahrmillionen entwickelt wurden. Unter Umständen müssen sogar über die evolutionären Mechanismen hinausgehende, bislang unbekannte Mechanismen entwickelt werden. Betrachtet man dieses langfristige Ziel der Nanotechnologie, ist unser gegenwärtiges Informationsdefizit ungeheuer groß. Selbstorganisationsprozesse beispielsweise sind bislang nur in ihren trivialsten Ausprägungen und auch nur punktuell halbwegs verstanden. Die im Zusammenhang mit der Nanotechnologie zu bewältigenden wissenschaftlichen Herausforderungen werden sich im Zeitraum von Jahrzehnten oder mehr messen lassen. Eine der interdisziplinären Herausforderungen liegt darin, für eine ausreichende geisteswissenschaftliche Begleitforschung zu sorgen. Sie muss gewährleisten können, dass kein unüberbrückbarer ethischer Nachholbedarf in Bezug auf die Nanotechnologie entsteht.

Nanotechnologie wird häufig als dritte technologische Revolution propagiert. Befinden wir uns tatsächlich auf dem

Weg in die schöne neue Welt, oder sind auch der Nanotechnologie Grenzen gesetzt?

Aus meiner Sicht ist es gerechtfertigt, nach den Zeitaltern der Mechanisierung und Automatisierung die Nanotechnologie eine weitere industrielle Revolution zu nennen, ohne den Begriff allzu sehr einer Sinnentleerung zu unterziehen. Langfristig gesehen wird es gelingen, funktionale Objekte Molekül für Molekül aufzubauen, wobei die auf der Selbstorganisation basierenden Herstellungsverfahren unabhängig von dem hergestellten Objekt und seiner Verwendung sind. Gerade diese Querschnittsbedeutung macht die Nanotechnologie zu einer besonderen Technologie. Da neue Paradigmen allein aber noch keine neue Technologie machen, sind auf absehbare Zeit der Nanotechnologie auch Grenzen gesetzt. Diese Grenzen resultieren daraus, dass auch nanotechnologische Entwicklungen nicht perfekt sein werden und nur dort eine Existenzberechtigung haben, wo sich herkömmliche Produkte und Verfahren vorteilhaft ersetzen lassen oder gänzlich neue Produkte und Verfahren entstehen. Zu den Unzulänglichkeiten bestimmter nanotechnologischer Ansätze könnten auch unerwünschte Technikfolgen gehören. Wir befinden uns also auf dem Weg in eine schöne neue Welt, in der auch der Nanotechnologie Grenzen gesetzt sind.

Grundlegende technologische Veränderungen haben in der Vergangenheit auch immer gesellschaftliche Umwandlungen nach sich gezogen. Wird das auch bei der Nanotechnologie der Fall sein, was erwarten Sie?

Auch die Nanotechnologie bietet in erheblicher Weise das Potenzial für große und umfassende gesellschaftliche Umwälzungen sowohl in positiver als auch in negativer Hinsicht. In positiver Hinsicht sind etwa ein höherer Lebensstandard für viele, verbesserte Umwelt- und Ressourcenschonung und vielfach verbesserte medizinische Behandlungen sowie ein höheres Lebensalter

zu erwarten. Genau diese positiven Aspekte bringen aber auch mögliche negative Folgen mit sich, wie etwa Probleme der Verteilungsgerechtigkeit, vernichtendere Militärtechnologien, eine gesteigerte Nachhaltigkeit negativer Technikfolgen, sowie neuartige Toxizitätsprobleme. All dies macht eine Intensivierung der nanotechnologischen Begleitforschung dringend erforderlich.

Deutschland muss sich häufig den Vorwurf gefallen lassen, zu wenig in Forschung und Entwicklung zu investieren. Wo stehen deutsche Forschungseinrichtungen im internationalen Vergleich bei der Entwicklung der Nanotechnologie?

Forschungsförderung im Bereich der Nanotechnologie wurde in Deutschland rechtzeitig, umfänglich, weitsichtig und nachhaltig eingerichtet. Es wurden beispielsweise in Form der Kompetenzzentren für Nanotechnologie sehr gute neue Instrumente geschaffen, die gerade die öffentlichen Forschungseinrichtungen mit der Wirtschaft gut verzahnen und sich heute in hervorragender Weise mit der europäischen Forschungsförderung ergänzen. Als Ergebnis dieser Förderpolitik ist Deutschland in verschiedenen Bereichen der Nanotechnologie derzeit führend. Es wird allerdings darauf ankommen, diese Position

Professor Dr. Uwe Hartmann studierte Physik an der Universität Münster. 1987 promovierte der gebürtige Kölner über grundlegende physikalische Phänomene in ferromagnetischen Materialien. Nach Forschungsaufenthalten in der Schweiz und den Vereinigten Staaten habilitierte Hartmann 1992 an der Universität Gießen im Bereich der Experimentalphysik.

Seit 1993 hat der 48-Jährige an der Universität des Saarlandes den Lehrstuhl für Experimentalphysik inne und befasst sich bevorzugt mit der Rastersonden- und Nanostrukturphysik. Hartmann ist ständiger Berater verschiedener Industrieunternehmen und erhielt 1998 den renommierten Philip-Morris-Forschungspreis für seine messtechnischen Entwicklungen im Bereich der Nanotechnologie.

auch zukünftig zu verteidigen. Ich bin hier in Anbetracht der enormen Dynamik, die in den USA, Japan oder auch insgesamt im asiatisch-pazifischen Raum eingesetzt hat, nicht nur optimistisch, was die Aussichten im kommenden Jahrzehnt betrifft.

An der Universität Saarbrücken wird momentan ein Steinbeis-Forschungszentrum aufgebaut, das sich mit der Weiterentwicklung der Nanotechnologie befassen wird. Sie werden dieses Zentrum leiten – wo werden Sie die Schwerpunkte Ihrer Forschungs- und Transferarbeit setzen?

Das Saarland bietet ein hervorragendes Umfeld für die Einrichtung eines Steinbeis-Forschungszentrums für Nanotechnologie. Es gibt eine Reihe von Forschungseinrichtungen, die weltweit Maßstäbe setzen. Zu nennen ist hier etwa das Institut für Neue Materialien (INM) oder das Fraunhofer Institut für Biomedizinische Technologie (IBMT). Die Ergebnisse derartiger Einrichtungen lassen sich als Nukleationsimpulse für ein Forschungszentrum nutzen, dessen Hauptgeschäftsfeld ich auf die Lösung von Anwenderproblemen mit nanotechnologischen Methoden legen möchte. Das Ziel des neuen Forschungszentrums besteht also darin, Problemlösungen für die Industrie und gerade auch den Mittelstand zu erarbeiten, indem Teilproblemstellungen an darauf spezialisierte Forschungsinstitute weltweit vergeben werden, wobei die gesamte Projektverantwortung im Forschungszentrum verbleibt. Der Auftraggeber hat damit selbst bei komplexen Forschungsprojekten nur einen Ansprechpartner – das Forschungszentrum –, der wiederum seine Forschungsergebnisse durch eigene Forschungen, aber auch durch weltweite Akquise von Ergebnissen erlangt. Nur so sind heute komplexe Problemlösungen machbar. Daneben wird das Forschungszentrum Nanotechnologie auch eigene Produktentwicklungen im Bereich der Nanoanalytik und -sensorik betreiben und sich in der Aus- und Weiterbildung engagieren.

Welche Schnittstellen bietet die Forschungsarbeit an Ihrem Steinbeis-Forschungszentrum zur Wirtschaft?

Die wichtigste Schnittstelle besteht in regelmäßig veranstalteten Impulstagen und Workshops, bei denen Informationsmodule über den Stand der Entwicklung in industriell relevanten Bereichen der Nanotechnologie informieren. Anwender, die keine Experten für Nanotechnologie sind oder bislang nicht damit in Berührung kamen, erhalten so eine Entscheidungsgrundlage für den Einsatz von Nanotechnologie in ihrem Geschäftsfeld. Die Informationsveranstaltungen werden dezentral angeboten und auch anderen Steinbeis-Transferzentren zur Verfügung gestellt.

Wagen wir einen Blick in die Zukunft: wie wird ein Unternehmen in 50 Jahren Nanotechnologie einsetzen, was wird dann durch Nanotechnologie möglich sein?

Angesichts der eklatanten Irrtümer, die bisherige Technologieprognosen zum Teil beinhalten, ist für jeden seriösen Wissenschaftler diese Frage sehr schwer und nur mit größter Vorsicht zu beantworten. Vergegenwärtigen Sie sich einmal, dass vor etwas mehr als 50 Jahren der Transistor erfunden wurde. Hätte man seinerzeit die Väter dieses Halbleiterbausteins nach ihren Prognosen befragt, so hätten sie vermutlich nicht vorausgesehen, dass sich eine Milliarde dieser Bauelemente auf einem winzigen Chip befinden können, und dass man mit ihnen multifunktionale Mobiltelefone oder auch epineurale Sehprothesen bauen kann. Ich glaube, dass sich in unserer ökonomiegetriebenen Welt auch in 50 Jahren technische Entwicklungen im Wesentlichen noch so vollziehen wie heute. Das bedeutet, dass nicht allein die technische Machbarkeit ausschlaggebend ist, sondern vor allem die ökonomische Sinnhaftigkeit. Damit werden sich Paradigmen, die Fabrikationsmethoden und -verfahren zum Gegenstand haben, nur langsam ändern, und vor allem nur dann, wenn dies ökonomisch sinnvoll ist. Da aber heutige Technologien und diejenigen der nahen Zukunft volkwirt-

schaftlich relevante Investitionen erfordern, wird man aus ökonomischen Gründen an wissenschaftlich-technologisch möglicherweise überholten Verfahren festhalten. Wir werden in 50 Jahren umwelt- und ressourcenschonendere wirtschaftliche Kreisläufe besitzen. Wir werden funktionalere Produkte haben. Wir werden eine bessere medizinische Versorgung haben und weiter unser durchschnittliches Lebensalter steigern. Vor allem werden wir aber gegenseitige Verschiebungen der Volkswirtschaften erleben und auch starke Veränderungen in der Unternehmenslandschaft. Wer rechtzeitig erkennt, wo Nanotechnologie sinnvoll genutzt werden kann, und vor allem wer sich intellektuelle Rechte sichert und rechtzeitig strategische Allianzen bildet, wird in 50 Jahren in einem stärkeren Maße als je zuvor auf der Gewinnerseite stehen.

Nanotechnologie – worum es geht

In der Nanotechnologie erzielt man spezifische Funktionalitäten und Eigenschaften durch den direkten Zusammenhang zwischen der jeweiligen Funktionalität und der Verkleinerung auf charakteristische strukturelle Abmessungen unterhalb 100 Nanometer: Funktionale Eigenschaften eines Materialteilchens oder eines Bauelementes sind dann von diesen Abmessungen selbst abhängig.

Härte, elektrische Leitfähigkeit oder die Farbe von kleinsten Partikeln beliebiger Materialien hängen vom Partikeldurchmesser ab, ein Effekt, der bei größeren Partikeln nicht beobachtet wird.

„Nano“ leitet sich aus dem griechischen „nānios“ für „Zwerg“ oder „zwerghaft“ ab. Ein Nanometer (nm) ist der milliardste Teil eines Meters und vergleichbar mit einer Kette aus fünf bis zehn Atomen. Zum Vergleich: Der Querschnitt eines menschlichen Haares ist 50.000 mal größer.