

## **NANOTECHNOLOGIEN UND IHRE ANWENDUNG**

**Стригина Е.С.**

**Научный руководитель – доцент Ерошевич С.П.**

*Сибирский федеральный университет*

Über Jahrtausende verwendeten die Menschen nur jene Materialien, die ihnen die Natur bot - Holz, Steine und Metalle. Erst vor einigen Jahrzehnten begannen Entwickler mit der wissenschaftlichen Optimierung bekannter Werkstoffe. Mehr und mehr schneiden nun Werkstoffwissenschaftler, Chemiker, Physiker, Computertechniker und auch Biologen neue Materialien nach Maß. In absehbarer Zukunft wird es sogar Materialien geben, die im Computer entworfen, simuliert und dann mit genau definierter atomarer Ordnung aufgebaut werden.

Die Materialwissenschaft ist zu einer der wichtigsten Säulen der Industriegesellschaft geworden. Nach Angaben von Experten beruhen bereits mehr als 70 Prozent des Bruttosozialprodukts westlicher Industrieländer auf Werkstoffen. Materialien wie Silizium oder bestimmte Kunststoffe bilden die Basis von Wertschöpfungsketten, die Milliardenmärkte umfassen. Treiber der Materialwissenschaft sind vor allem der enorme Kostendruck und die immer kürzer werdenden Innovationszyklen. Sie führen dazu, dass neue Werkstoffe für neue Produkte immer schneller und effizienter hergestellt werden müssen. Dazu kommen auch neue Umweltgesetze, die etwa die Entwicklung neuer Materialien für umweltfreundlichere Autos oder für emissionsarme Kraftwerke fordern. Die wichtigsten Trends sind die Nanotechnologie, das Bioengineering, die Adaptronik und die computergestützte Materialwissenschaft.

Insbesondere die Nanotechnologie gilt als Schlüsseltechnologie, die unsere Welt revolutionieren kann. Dabei geht es aber nicht um Sciencefiction wie etwa selbst replizierende Nanoroboter, sondern beispielsweise um neue Eigenschaften, die ein Material durch eingebettete Teilchen einer Größe zwischen 0,1 und 100 Millionstel Millimeter (Nanometer) bekommen kann. Mit Hilfe von Nanopartikeln könnten etwa hochempfindliche Sensoren oder neue Katalysatoren für eine umweltfreundliche Verbrennung hergestellt werden. Die Nanotechnologie hat auch großen Einfluss auf Elektronik, Optik und Biotechnik. So können winzige Kohlenstoffröhrchen mit einer Dicke von wenigen Nanometern den elektrischen Strom tausendmal besser als Kupfer leiten und Wärme doppelt so gut transportieren wie der beste Wärmeleiter Diamant. Darüber hinaus haben sie die zwanzigfache Zugfestigkeit von Stahl und sind dennoch biegsam. Für die biochemische Analytik könnten Nanoteilchen in so genannten Lab-on-a-Chip-Systemen eingesetzt werden, die raschere Untersuchungen von Genen ermöglichen oder neue Wirkstoffe für Medikamente identifizieren helfen.

Aber auch ohne Nanotechnik wird die Menge an verwendbaren Werkstoffen aufgrund von Kombinationen bekannten Materials mit anderen Herstellungsverfahren zunehmen. So könnten beispielsweise geschäumte Leichtmetalle besonders leichte und dennoch stabile Bauteile für die Luft- und Raumfahrt sowie das Auto werden, sie haben eine hohe Steifigkeit bei gleichzeitig geringem Gewicht. Ähnliche Eigenschaften haben Verbundwerkstoffe, in denen Fasern aus hochfesten oder sehr steifen Materialien wie Glas oder Kohlenstoff in Kunststoffe eingearbeitet sind.

Mit Hilfe von Bioengineering können biologisch verträgliche Kunststoffe entwickelt werden, etwa künstliche Spinnenfasern. Auf das Gewicht bezogen sind diese fünfmal so belastbar wie Stahl und deutlich stabiler als selbst High-Tech-Fasern wie Kevlar. Sie könnten

als Faden in der Medizin oder für besonders reißfeste Bekleidung dienen. Materialien könnten auch dem Vorbild der Natur nachempfunden werden. Biomorphe Keramiken sind wie Knochen aufgebaut und ähnlich stabil; sie könnten etwa in der Medizintechnik verwendet werden. Auf dem Gebiet der Adaptronik wollen Forscher Werkstoffe schaffen, die Sensor und Aktor zugleich sind. Solche Materialien können sich den Umgebungsbedingungen anpassen - etwa tragende Bauteile, die Schwingungen messen, sie dann von selbst dämpfen und damit die Lebensdauer und die Energieeffizienz erhöhen.

Die Forschung im Bereich der Nanotechnologie beschäftigt sich mit den kleinsten Partikeln, aus denen sich Werkstoffe und andere Materialien zusammensetzen. Das genaue Wissen um ihren Aufbau bietet die Möglichkeit, Produkte exakt auf die Anforderungen ihres Verwendungszwecks zuzuschneiden: Sie schützen Autos vor Zerkratzen, sanitäre Anlagen vor Schmutz und Menschen vor UV-Strahlung. Darüber hinaus ist es mit Nanotechnologie möglich, in vielen anderen Bereichen Innovationen auf den Weg zu bringen.

Das Einsatzfeld der Nanotechnologie ist aufgrund seiner grundlegenden Erkenntnisse besonders groß. Ob in Elektronik, Biotechnologie, Chemie, Medizin oder Ingenieurwissenschaft, die Erforschung der kleinsten Strukturen bietet für alle Bereiche neue Entwicklungschancen.

Die Materialien, die in der Nanostrukturforschung entwickelt werden, sind mit unter 100 Nanometern etwa 1000 Mal kleiner als der Durchmesser eines menschlichen Haars. Auf dieser kleinsten Ebene können die Grundlagen für Werkstoffe mit besonderen Eigenschaften gelegt werden. Dies basiert auf der Tatsache, dass das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen bei diesen Partikeln besonders groß ist. Die daraus resultierende hohe Reaktivität bietet die Möglichkeit, Werkstoffe spezifischer auf den jeweiligen Verwendungszweck auszurichten, was häufig durch die Entwicklung neuartiger Beschichtungen gelingt.

Die Anforderungen an die jeweilige Struktur ist dabei abhängig von den erforderlichen Nutz- und Schutzfunktionen von Oberflächen, an denen die wesentlichen Reaktionen mit gasförmigen, flüssigen und festen Stoffen ablaufen. Ein gutes Beispiel hierfür ist Hitzebeständigkeit, Verschmutzungsresistenz oder eine Verbesserung der Biokompatibilität von Produkten. Ebenso wäre Kratzfestigkeit, Schutz vor Oxidation oder der Schutz vor Verschleiß denkbar. Das Spektrum der Einsatzmöglichkeit reicht hierbei von alltäglichen Gütern bis in die High-Tech-Industrie und bringt so ein erhebliches wirtschaftliches Potenzial mit sich.

Bereits heute sind Erkenntnisse der Nanotechnologie im Alltagsleben zu finden: Kratzfähige Autolacke, wasserabweisende Beschichtungen von Sanitäranlagen und UV-absorbierende Sonnencremes sind ebenso auf diese Forschung zurückzuführen wie die Entwicklung magnetischer Schichten von Computerfestplatten.

Doch auch jenseits der Werkstoffe hat die Nanotechnologie ein breites Einsatzfeld. In der Medizin wird mit speziellen Nanopartikeln in der Tumorbekämpfung geforscht. Oberflächenmodifizierte magnetische Partikel sollen hier Tumore markieren und sie in einem magnetischen Wechselfeld lokal überhitzen und somit zerstören.

Industriell hergestellte Nanopartikel bieten Potenzial für eine Vielzahl unterschiedlichster Produkte. Zu den Auswirkungen dieser Nanopartikel auf Mensch und Umwelt besteht hoher Forschungsbedarf. Das BMBF fördert zusammen mit der Industrie mehrere Projekte, um Wissenslücken zu schließen und Maßnahmen zur Risikoerkennung und -minimierung einzuleiten. Ergebnis sollen neue Methoden zur frühzeitigen Bewertung der Auswirkungen von Nanomaterialien auf die Gesundheit und Umwelt sein.

Forschungsergebnisse aus der Nanotechnologie haben schon heute Einfluss auf den Alltag: Die Entwicklung der Nanotechnologie hat die Steigerung der Speicherkapazität von Computer-Festplatten ermöglicht; Nanopartikel als Schutzschicht verhindern das Verkratzen von Brillengläsern. Das Weltmarktvolumen solcher durch Nanotechnologie beeinflusster

Produkte beträgt heute knapp 150 Mrd. Dollar. In den nächsten fünf bis zehn Jahren wird mit einer Steigerung auf insgesamt drei Billionen Dollar gerechnet. In Deutschland wurde 2007 ein Gesamtumsatz von ca. 33. Mrd. € erreicht.

Nanotechnologische Analysemethoden, Produktionsverfahren und Materialien sind ein Massenmarkt. Für viele Industriebranchen in Deutschland hängt die künftige Wettbewerbsfähigkeit wesentlich vom Einsatz der Nanotechnologie ab. Mit der Entwicklung von Nanomaterialien entstehen Werkstoffe mit neuen Eigenschaften, zu deren gesundheitlichen Wirkungen für Arbeitskräfte oder Verbraucher weiterer Forschungsbedarf besteht. Es gibt umfangreiche Regelwerke zum Schutz von Beschäftigten und Verbrauchern. Arbeitssicherheitsvorschriften oder Produktsicherheitsregelungen für die Feinstaubbelastung oder für Aerosole gelten für Nanopartikel genauso wie für herkömmliche Stoffe. Die Nanotechnologie baut darauf auf, dass Materialien z.B. durch Nanostrukturen ganz spezifische neue Eigenschaften aufweisen können.

Zum jetzigen Zeitpunkt gibt es keine gesicherten Erkenntnisse darüber, dass industriell hergestellte Nanopartikel bzw. Nanomaterialien eine Gefahr darstellen. Zur Erarbeitung der wissenschaftlichen Grundlagen bezüglich der Sicherheit von synthetischen Nanomaterialien wurden von 2006 bis 2009 vom BMBF drei Forschungsprojekte (NanoCare, INOS und Tracer) mit 7,6 Mio. € gefördert. Die Projekte wurden gemeinschaftlich von Industrie und Forschungseinrichtungen bearbeitet. Die Industrie beteiligte sich mit 4,1 Mio. €. Im Leitprojekt NanoCare wurden Methoden erarbeitet und etabliert, mit denen sich die biologische Wirkung von Nanomaterialien messen lässt. Zudem wurden Strategien entwickelt, Nanomaterialien am Arbeitsplatz zu messen. Damit die Ergebnisse toxikologischer Studien in Zukunft besser vergleichbar werden, wurden Standardarbeitsanweisungen formuliert. Diese sowie die ausführlichen wissenschaftlichen Ergebnisse sind im Internet unter [www.nanopartikel.info](http://www.nanopartikel.info) publiziert. Damit wurde eine weitere wichtige Grundlage für die sichere und verantwortungsvolle Entwicklung der Nanotechnologie gelegt.

Aufbauend auf den erreichten Ergebnissen, zur Schließung weiterer Wissenslücken über die Aus- und Wechselwirkungen von Nanomaterialien auf den Menschen und die Umwelt und zum sicheren und verantwortungsvollen Einsatz der Nanotechnologie in der deutschen Wirtschaft, wurden die Themen "NanoNature: Nanotechnologien für den Umweltschutz - Nutzen und Auswirkungen" und "NanoCare: Auswirkungen synthetischer Nanomaterialien auf den Menschen" vom BMBF im Rahmen des WING-Programms ausgeschrieben. Die Verbundprojekte starten in dem Zeitraum von Ende 2009 bis Mitte 2010. Insgesamt ist die Förderung von 20 Projekten mit einem Fördervolumen von ca. 36 Mio. € vorgesehen.

Ziel der Bekanntmachung NanoCare ist es, die humantoxikologischen Aus- und Wechselwirkungen bei der Herstellung, Verarbeitung und Anwendung von synthetischen Nanomaterialien systematisch weiter zu erforschen. Dazu sollen externe bzw. interne Expositionen quantifiziert, materialspezifische ausschlaggebende Parameter für die Toxizität bestimmt und Wirkmechanismen ermittelt werden, um entlang des Lebenszyklus der Nanomaterialien eventuelle toxische Wirkungen auf den Menschen nachzuweisen und vorherzusagen.

Ziel der Fördermaßnahme NanoNature ist es, potenzielle Marktsegmente für Nanomaterialien im Umweltbereich in Deutschland zu stärken und den Export von umweltrelevanten Materialien und Technologien auszubauen. Weiterhin sollen systematisch der Eintrag, die Verteilung, der Verbleib und die Wirkung von synthetischen Nanopartikeln und Nanomaterialien in der Umwelt erforscht und angepasste Messmethoden entwickelt werden.

Nanotechnologie in der Medizin - Ein ganz besonderer Überzug

Rund 200.000 Deutsche lassen sich im Jahr Zahnimplantate einsetzen. Stifte aus Titan werden dazu im Kieferknochen verankert. Dort dienen sie als künstliche Zahnwurzeln, um Prothesen besser befestigen zu können. In Zukunft sollen die Implantate schneller und dauerhafter in den Kiefer einwachsen. Hier spielt die Oberfläche des Implantates eine besondere Rolle. Forscherinnen und Forscher der Firma Biomet Deutschland GmbH entwickelten eine spezielle Beschichtung für Titanimplantate, die ihr Einwachsen wesentlich verbessert. Das BMBF unterstützte das Projekt mit mehr als 500.000 Euro.

Zahnimplantate kann man sich als künstliche Zahnwurzeln vorstellen, als eine Art Dübel auf dem die Zahnkrone befestigt wird. Im Gegensatz zum handelsüblichen Dübel müssen diese Implantate aber besondere Bedingungen erfüllen: Sie müssen von lebendem Gewebe - in diesem Falle ist es der Kieferknochen - aufgenommen werden, einwachsen und den Belastungen während des Kauens dauerhaft standhalten. Zusätzlich soll der Organismus keine Abwehrreaktionen gegen die künstlichen Zahnwurzeln auslösen. Viele Implantate werden deshalb aus Titan oder, im Falle anderer orthopädischer Anwendungen, aus Titanlegierungen hergestellt. Titan ist besonders korrosionsbeständig, d. h. seine Oberfläche löst sich im Körper nicht auf und es wird vom Körper in der Regel gut angenommen. Außerdem verfügt Titan über gute mechanische Eigenschaften, die denen von Knochen ähnlicher sind als beispielsweise die mechanischen Eigenschaften von Implantatstahl. Um ein besseres Einwachsen des Titanimplantates in den Knochen zu gewährleisten, kann seine Oberfläche mit einer besonderen Beschichtung versehen werden.

Die genaue Zusammensetzung der Beschichtung lässt sich variieren, je nachdem ob das Implantat mit dem Kieferknochen oder mit dem Zahnfleisch in Berührung kommt. Dies führt zu einem verbesserten Einwachsen des Implantates in den Kieferknochen und damit zu einem Maximum an Stabilität. So kann die Langlebigkeit der Prothese gewährleistet werden.

In den vergangenen Jahren hat sich die Verwendung von Zahnimplantaten, als eine sichere Methode zum Ersatz fehlender Zähne durchgesetzt. Sie sind aus der heutigen Zahnheilkunde nicht mehr wegzudenken und verdrängen zunehmend andere Formen der prothetischen Versorgungen, wie zum Beispiel Brücken und Teilprothesen. Die Weiterentwicklung von Implantatmaterialien, um die Lebensdauer und die Verträglichkeit der Implantate zu verbessern, ist daher von großer Bedeutung.

Notwendig für das Gelingen künftiger Materialentwicklung ist eine neue Dimension der Interdisziplinarität. Es müssen nicht nur Forscher verschiedener Fachrichtungen in jeder Stufe der Entwicklung Hand in Hand arbeiten, auch die einzelnen Komponenten eines Bauteils müssen optimal zusammenwirken. Zudem ist entscheidend, dass die Anwender eines Systems frühzeitig eingebunden werden. In allen Gebieten der Materialforschung spielen Computersimulationen inzwischen eine entscheidende Rolle. Sie ermöglichen Vorhersagen über das Verhalten von Stoffen bei verschiedenen Temperaturen, bei Beanspruchung und im Lauf des Lebenszyklus sowohl auf atomarer Ebene wie auch für das komplette Bauteil. Neue Methoden treten zudem an die Stelle von Versuch und Irrtum auf der gezielten Suche nach dem besten Werkstoff. Durch Kombinatorik erzeugen Forscher eine Vielzahl verschiedener chemischer Verbindungen. Analyseroboter untersuchen diese in einem Arbeitsschritt auf ihre Eignung etwa als Katalysator. So lassen sich sehr rasch mehrere tausend Verbindungen testen, was die Suche dramatisch beschleunigt.