

Eine (nicht ganz) neue, kleine Welt

Schon vor Jahrhunderten nutzten Menschen Nanopartikel.
Sie wussten es nur nicht.

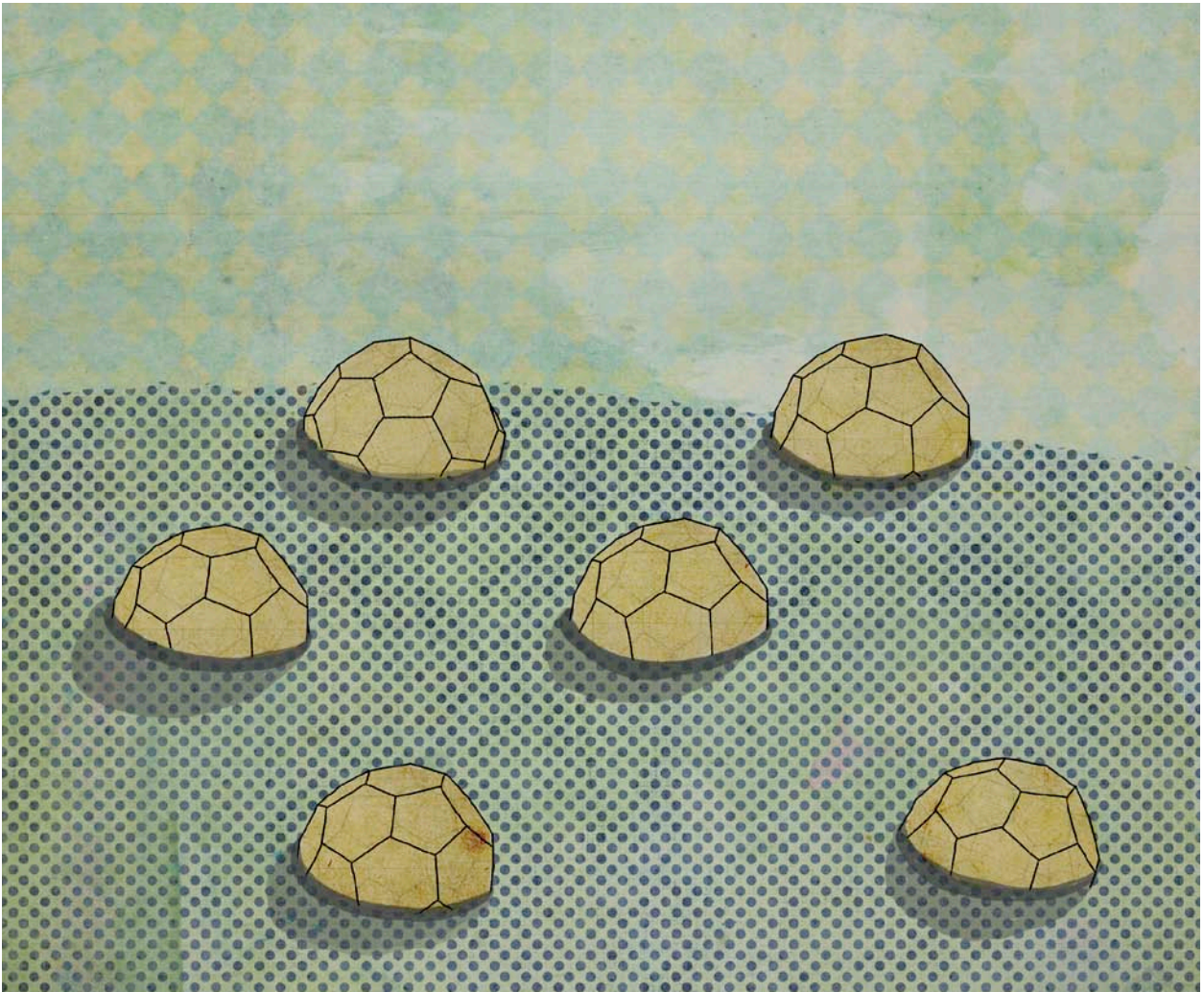
Heute kann man Nanopartikel „sehen“ und manipulieren,
man kann Nanotechnologie studieren und damit putzen. Und was sonst noch?

Einmal Nano von A (wie Altes Ägypten) bis Z (wie Zukunft).

Man kann den Eindruck bekommen, dass Nanopartikel zu Hochkulturen einfach dazugehören. Die Ägypter verwendeten Tinte, die besonderen Ruß enthielt – heute würde man sagen: die Tinte enthielt Kohlenstoff-Nanokomponenten. Die Römer färbten sich ergrauende Haare mit einer Mischung aus Löschkalk und Bleioxid – heute hieße es: „Winzige Bleioxid-Nanopartikel fügen sich in die Haarstruktur ein und ersetzen dort das fehlende Pigment Melanin.“ Auch die Maya nutzten Nanomaterialien zum Färben – sie färbten allerdings „Maya-Blau“, also sicher keine Haare. Kirchenfenster aus dem Mittelalter wiederum verdanken ihr leuchtendes Rubinrot Nano-Goldpartikeln: Kleinste Mengen davon in der Glasschmelze reichten für eine solche Färbung aus. Für all diese Beispiele gilt: Die Rezepte waren bekannt; warum sie funktionierten, blieb lange ein Rätsel. Kein Wunder: Die Zutaten, um

die es hier geht, sind nur ein paar Millionstel Millimeter (= 10^{-9} Meter = Nanometer) groß. Bis ins 20. Jahrhundert konnte man mit Lichtmikroskopen nicht weiter „runtergucken“ als bis knapp ein Tausendstel Millimeter. Die Wellenlängen des verwendeten Lichts waren einfach zu groß.

Aber lange bevor in den 1980er Jahren unter anderem vom Deutschen Nobelpreisträger Gerd Binnig mit dem Rastertunnel- und Rasterkraftmikroskop die Technologien entwickelt wurden, mit denen man wirklich „da unten“, also im Nanokosmos, nachschauen und sogar hantieren konnte, behauptete ein anderer Physiknobelpreisträger, dass „dort unten“ noch sehr viel Platz sei: „There's plenty of room at the bottom“, heißt der berühmte Vortrag des Visionärs und Querdenkers Richard Feynman. Er hielt ihn 1959, und damals lachten einige seiner Physikerkol-



Buckyballs: Auch wenn diese „Fußbälle“ aus Kohlenstoff ein Stück aus der Fläche herauschauen: Darüber stolpern wird niemand. Denn was hier hervorsteht, ist nicht mal einen Nanometer hoch. Nutzen? Buckyballs reduzieren die Reibung zwischen zwei Flächen um bis zu 14 Prozent.

legen, als er behauptete: „Die Prinzipien der Physik sprechen, so weit ich das sehen kann, nicht gegen die Möglichkeit, Dinge Atom für Atom zu bewegen.“ Und weiter: „In der Praxis haben wir es nur noch nicht getan, weil wir zu groß sind.“ Feynman stellte je 1.000 Dollar in Aussicht für denjenigen, der als erster die 24-bändige Encyclopedia Britannica auf einem Stecknadelkopf unterbringen könnte oder einen funktionierenden Minimotor bauen würde.

Feynman ist 1988 gestorben. Den großen Durchbruch der Nanotechnologie Ende der 1990-Jahre hat er nicht mehr erlebt. Heute ist sie etabliert als modernes interdisziplinäres Forschungsfeld zwischen Chemie und Physik, Ingenieur- und Materialwissenschaften. Jeder kennt mittlerweile den Lotus-Effekt; im Internet kann man Nano-Polituren mit einem solchen „Schmutz-perlt-einfach-

ab“-Effekt kaufen. Viele wissen, dass Sonnencreme Nano-Partikel enthält, die die Sonne reflektieren. Außerdem gibt es Socken mit antibakteriellen Silbrenanofäden, Brillen mit Nano-Kratzschutz, Kleidung mit Antiverschleißschicht aus Nanopartikeln, Nano-Zahnpasta und Nano-Leberwurst ...

Das Besondere der Nanomaterialien sind ihre veränderten Eigenschaften: Allein dadurch, dass die Materialien kleiner werden, verändern sich ihre Eigenschaften gelegentlich drastisch. So wie Titandioxid, das weiß leuchtet, solange die Partikel etwas größer sind, das aber durchsichtig wird, sobald sie Nanogröße erreichen. Wäre es nicht so, würde man nach dem Eincremen mit „Nano“-Sonnencreme weiß leuchten. Ein Grund für die veränderten Eigenschaften ist, dass die Oberfläche im Verhältnis

zum Volumen immer größer wird, je kleiner die Partikel sind. Ein anderer Grund: Im Nanokosmos regieren Quantengesetze. Deshalb ist dessen Erforschung in gewisser Weise ein Abenteuer. Die Überlegung: „Wir machen das, was in groß funktioniert, einfach kleiner“, funktioniert oft nicht.

Am Institut für Mikroproduktionstechnik (IMPT) wird ohnehin Kleines erforscht. Und oft verlässt das IMPT die vom Namen gesteckten Grenzen. Weit ist der Weg hinunter in den offiziellen Nanokosmos ja nicht: Ein Zehntel eines Mikrometers sind 100 Nanometer und gehören damit gerade noch zur neuen Welt. Und vor allem: Man braucht Feinwerktechnik, um Mikrosysteme zu fertigen, und man braucht Mikrosysteme, um auf Nanoebene manipulieren zu können. IMPT-Wissenschaftler arbeiten also in Makro-, Mikro- und Nanowelten. Ihre zentrale Idee ist es, bekannte technische Funktionen mit Hilfe von Nanomaterialien anders zu realisieren. Sie wollen verstehen, was möglich ist – und was vielleicht nicht.

Eine Pumpe zum Beispiel: Ein Kolben pumpt eine Flüssigkeit von hier nach dort. In der Mikro- und Nanowelt kann man die Flüssigkeit durch ein Ferrofluid mit magnetischen Nanopartikeln ersetzen. Diese winzigen Partikel lassen sich dann über ein Magnetfeld – das mithilfe von Mikrospulensystemen erzeugt wird – gezielt „pumpen“. Auf diese Weise kann Dominik Hoheisel, der am IMPT eine solche Pumpe baut, eine Flüssigkeitslinse steuern: Pumpt er stärker, dann verdrängt das Ferrofluid eine andere Flüssigkeit,



sigkeit, die sich an einem offenen Auslass hervorwölbt und dort eine Flüssiglinse beliebiger Brennweite ausbildet. Damit könnte man selbstfokussierende Optiken – zum Beispiel für Kameras – mit weniger als zwei Millimeter Durchmesser bauen. Man könnte die Minipumpe aber auch für ein „Lab on a Chip“ nutzen – für ein medizinisches Analyselabor in Chipgröße, mit dem auch in entlegenen Gegenden Blut- oder Urintests nahezu automatisch durchgeführt werden können. Ein Tropfen Blut kommt hinein und wird durch die Mikro-Analysestationen gepumpt. Oder man baut die Pumpe noch kleiner und präziser, um ihre Grenzen für die Feinstdosierung von Flüssigkeiten zu testen. Oder man prüft, in welchen „großen“ Größenordnungen diese Pumpe der herkömmlichen Pumpe Konkurrenz machen kann. Schließlich hat sie einen Vorteil: Sie enthält keine mechanischen Verschleißteile, weil das wechselnde Magnetfeld den bewegten Kolben ersetzt. Ein Hartmagnet kann den „Pumpenstand“ außerdem auch halten – es muss keine Energie ins System gebracht werden.

Noch biologischer geht es zu bei der „Polzeile“, die Matthias Kaiser am IMPT weiterentwickelt. Mit dieser Polzeile kann er magnetische Nanopartikel bewegen, an die Mediziner zuvor Gene gekoppelt haben. Diese Gene sollen direkt bis in Stammzellen hinein transportiert werden, um diese entsprechend umzuprogrammieren – im konkreten Fall sollen die Stammzellen angeregt werden, sich zu Herzmuskelzellen zu entwickeln. Die Nanopartikel werden dabei über eine Reihe von Mikroelektromagneten – die ganze Reihe nicht länger als etwa 0,3 Millimeter – und deren wechselnde Magnetfelder sicher ans Ziel gebracht, zu genau ausgewählten Stammzellen. Über das Forschungsziel hinaus kann Kaiser sich spannende Weiterentwicklungen vorstellen: Lässt sich die Polzeile für die gezielte großtechnische Differenzierung von Stammzellen einsetzen? Dann könnte man womöglich bisher nicht heilbare Erkrankungen therapieren oder Organfunktionen wiederherstellen. Und welche Möglichkeiten ergeben sich, wenn man statt Genen Medikamente an die Nanopartikel koppelt?

Flüssiglinse: Eine Flüssigkeit aus magnetischen Nanopartikeln „pumpt“ eine optische Flüssigkeit genau so an eine runde Öffnung, dass diese dort eine Flüssiglinse beliebiger Brennweite ausbildet.

Nutzen? Man könnte selbstfokussierende Optiken – zum Beispiel für Kameras – mit weniger als zwei Millimetern Durchmesser bauen.

Genstransport per Polzeile:

Die Nanopartikel mit ihrer Gen-Fracht werden von wechselnden Magnetfeldern sicher zu einer Stammzelle geleitet.

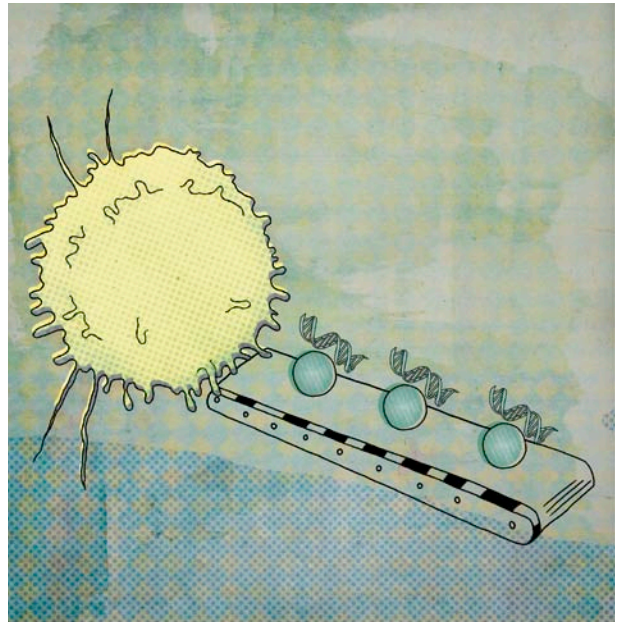
Nutzen?

Auf diese Weise lassen sich einzelne Stammzellen gezielt zu Herzmuskelzellen entwickeln – ein Ziel von Medizinern, insbesondere von Herzchirurgen.

Ein ganz anderes Feld am IMPT ist die Nanotribologie – also der Zusammenhang zwischen Reibung und Nanoeffekten. Reibung verändert die reibenden Oberflächen – und zwar auf einer Größenskala, die erst durch Untersuchungen im Nanobereich wirklich zugänglich geworden ist. Neben der Forschung zur Frage, was genau „Reibung“ bei unterschiedlichen Materialien, Oberflächen und Kontaktvarianten bedeutet, sind am IMPT bereits Optimierungsideen entstanden: Florian Pape hat Buckyballs in Epoxidharz-Oberflächen eingebaut. Buckyballs – wissenschaftlich korrekter: Fullere oder C60-Moleküle – sehen aus wie Fußbälle, die aus 60 Lederflecken zusammengenäht wurden, nur dass sie gerade Mal ein, zwei Nanometer groß sind und nur aus Kohlenstoff bestehen. Lässt man sozusagen kleine Kappen solcher „Nanofußbälle“ aus der Fläche herauschauen, reduzieren sie die Reibung enorm: Die IMPT-Versuche haben ergeben, dass der Verschleiß bei Reibkontakten um bis zu 14 Prozent verringert wird. Grundsätzlich lassen sich die Buckyballs auch in Metalloberflächen einbringen, um dort die Gleitreibung zu reduzieren. Ein weites Feld!

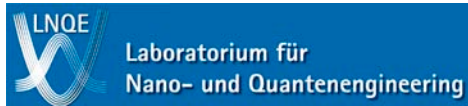
Am IMPT treffen so gesehen nicht nur Makro-, Mikro- und Nanodimensionen aufeinander, es begegnen sich auch praxisnahe Forschungsvorhaben und große, fast visionäre Fernziele. Nur bei der Frage, ob denn sogenannte Molekulare Maschinen in wenigen Jahren die Welt komplett verändern werden, winken die Wissenschaftler ab. Was einmal die Ursprungsvision für den Boom der Nanowissenschaften gewesen sein mag, nämlich der revolutionäre Gedanke, in Zukunft werde bottom-up produziert und wie in der Natur alles von der molekularen Ebene heraus aufgebaut, erscheint weit weg vom Nanoforscheralltag.

Das heißt natürlich nicht, dass sich die Welt durch Nano nicht verändern wird. Es heißt vielmehr, dass sie täglich ein bisschen mehr Nano wird – und wir es vermutlich gar nicht merken.



► Die genannten Projekte:

SPP 1337 – Aktive Mikrooptiken, Teilprojekt: Elektromagnetische Ansteuerung von Mikrooptiken: Adaptive Systeme auf der Basis ferrofluidischer Aktoren
SFB/Transregio 37 – Mikro- und Nanosysteme in der Medizin – Rekonstruktion biologischer Funktionen, Teilprojekt B5
SFB 516 – Konstruktion und Fertigung aktiver Mikrosysteme; Teilprojekt C1



Nanotechnologie ist eine interdisziplinäre Wissenschaft. Dafür sorgt an der Leibniz Universität das Forschungszentrum LNQE, das „Laboratorium für Nano- und Quantenengineering“. 28 Arbeitsgruppen aus fünf Fakultäten sind daran beteiligt, unter anderem natürlich das IMPT, dessen Leiter Professor Lutz Rissing auch dem Vorstand angehört. Die Ingenieurwissenschaften sind am LNQE vergleichsweise stark vertreten und setzen daher einen Schwerpunkt bei der praxisnahen Forschung.

Das LNQE bietet nicht nur ein eigenes, neues Gebäude mit entsprechender Ausstattung, sondern seit 2008 auch einen interdisziplinären Studiengang Nanotechnologie (Bachelor und Master).

► www.lnqe.uni-hannover.de