



So winzig die Teilchen, so riesig der Hype um sie: Die Nanomedizin weckt große Hoffnungen, etwa für die Krebstherapie oder als Werkzeug im Kampf gegen Infektionen. Aber der Umgang mit den mikroskopisch kleinen Partikeln birgt auch Risiken, die noch längst nicht alle bekannt sind.

Computerdarstellung einer Nanoröhre aus Kohlenstoffatomen. Sie könnten künftig Medikamente gezielt transportieren.

**CHANCE ODER  
GEFAHR:**

# WAS BRINGT DIE NANOMEDIZIN?

**S**ieht so die Medizin der Zukunft aus? Ein Mini-U-Boot wird durch eine Kanüle in die Blutbahn gespritzt. Selbstständig findet es seinen Weg zwischen roten Blutkörperchen und den Killerzellen des Immunsystems. Von der Halsschlagader biegt es ab in die immer kleiner werdenden Röhren der Kapillaren. Schließlich durchdringt es die Blut-Hirn-Schranke und hat sein Ziel erreicht: ein Tumor im Gehirn des Patienten. Dort entlädt es seine Fracht: einen Wirkstoff, der den Tumorzellen den Garaus macht. Das hört sich wie Science-Fiction an? Ist es auch noch – aber weit weniger, als man denkt.

Ende vergangenen Jahres stellten Forscher aus Deutschland, der Schweiz und Israel beispielsweise einen Mikroroboter in Form einer Muschel vor. Er ist nur wenig größer als der Durchmesser eines Haares. Wirkt ein Magnetfeld von außen auf ihn ein, öffnen und schließen sich die „Schalen“ und die Mini-Muschel schwimmt. „Wir wollten damit vor allem ein Prinzip beweisen: dass sich ein muschelförmiger Mikroroboter überhaupt durch Auf- und Zuklappen seiner Schalen in einer zähen biologischen Flüssigkeit fortbewegen kann“, sagt Peer Fischer, der Sprecher der Arbeitsgruppe vom Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme in Stuttgart. „Aber langfristig geht es uns auch um die Medizin.“ Winzige Transporter könnten eines Tages durch den Körper schwimmen, Medikamente gezielt an ihren Wirkort bringen oder Proben für die Diagnostik nehmen, ohne dass ein größerer operativer Eingriff notwendig ist.

„Noch ist das tatsächlich Science-Fiction“, sagt Nanomedizin-Experte Christoph Alexiou, Leiter der Sektion für Experimentelle Onkologie und Nanomedizin (SEON) am

Universitätsklinikum Erlangen. „Aber wer hätte sich vor 30 Jahren vorstellen können, was wir heute mit Smartphones alles machen können?“

### MAGNETISCHE DROGENKURIERE

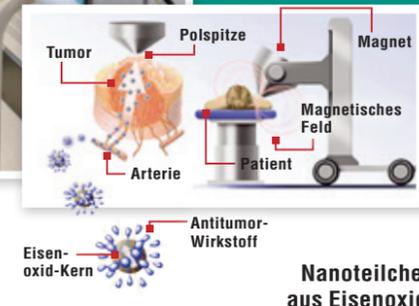
Die Miniroboter faszinieren. Für den gezielten Transport von Wirkstoffen – englisch: specific drug delivery – sind sie jedoch nicht vonnöten. Hauptsache, die verwendeten Materialien sind möglichst klein und haben für den jeweiligen Zweck hilfreiche physikalisch-chemische Eigenschaften. Zur Behandlung von Brust-, Lungen- und Bauchspeicheldrüsenkrebs wird zum Beispiel das Medikament Abraxane eingesetzt. Der bereits klinisch erprobte, aber nur sehr schwer in Wasser – und damit im Blut – lösliche Wirkstoff Paclitaxel wurde dabei mit einer Kapsel umhüllt, die aus dem Eiweiß Albumin besteht. Der jetzt nab-Paclitaxel (nanoparticle albumin bound paclitaxel) genannte Wirkstoff gelangt mithilfe dieser speziellen Verkapselung nun besser in den Tumor, was Studien zufolge in Kombination mit anderen Wirkstoffen seine Wirksamkeit steigern soll.

Christoph Alexiou und sein Team in Erlangen wiederum verfolgen eine Idee, um Wirkstoffe gezielt durch den Körper zu transportieren: Sie heften sie an magnetische Eisenoxid-Nanopartikel, die mit einer Hülle aus organischem Material umgeben sind. „Diese Nanopartikel können wir dann mithilfe von Magnetfeldern, die wir von außen steuern, über den Blutweg gezielt im Körper bewegen und im Tumor konzentrieren“, erklärt der Wissenschaftler. „Man muss lediglich wissen, wo der Tumor sitzt und wie er mit Gefäßen versorgt wird.“ Dann könne man mit weniger als zehn Prozent der üblichen Wirkstoffdosierung eine komplette Rückbildung des Tumors bewirken. Dass ihr Verfahren im Prinzip funktioniert, haben Christoph Alexiou und seine Mitarbeiter bei Versuchen mit Kaninchen zeigen können, an deren Hinterläufen Hauttumoren wuchsen.

Und es geht sogar ganz ohne einen Wirkstoff: Denn Nanoteilchen aus Eisenoxid lassen sich auch direkt gegen Krebszellen einsetzen. Entsprechende Geräte hat das deutsche Medizintechnikunternehmen MagForce entwickelt und in Berlin, Münster und Kiel installiert. Werden die Partikel durch ein Magnetfeld in Schwingung versetzt, das bis zu 100.000-mal in der Sekunde seine Polarität wechselt, entsteht Wärme, und die Tumorzellen sterben den Hitzetod. Oder sie werden so stark geschädigt, dass sie empfindlicher für eine Bestrahlung oder Chemotherapie werden. Im Rahmen einer klinischen



Christoph Alexiou mit dem Angiografie-Gerät (l.), das die Blutversorgung von Tumoren zeigt, und dem Magneten (r.), der die Nanopartikel aus Eisen lenkt.



Nanoteilchen aus Eisenoxid.

Studie können sich Patienten mit Glioblastomen – besonders bösartigen Hirntumoren – bereits mit der Methode behandeln lassen. Die Studie soll unter anderem die Wirksamkeit und Verträglichkeit der Therapie untersuchen und feststellen, ob sie das Leben der Patienten verlängern kann.

### LIVE-BILDER AUS DEM KÖRPER

Auch bei der Bildgebung setzen Ärzte auf magnetische Eisenoxid-Nanopartikel: Vergangenen Sommer nahm das Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf (UKE) das damals weltweit erste industriell gefertigte Magnetic Particle Imaging System in Betrieb. Dabei werden Eisenoxid-Nanopartikel in den Blutkreislauf injiziert und anschließend durch ein äußeres, schwingendes Magnetfeld kleinen Kompassnadeln gleich ständig neu ausgerichtet. Die Nanopartikel „antworten“ auf dieses Hin-und-her

mit einem schwachen Signal, das von Detektoren gemessen werden kann und die Grundlage zur Berechnung von Bildern ist. Laut UKE ist der Vorteil des neuen Verfahrens: Mit bis zu 46 dreidimensionalen Bildern pro Sekunde können Ärzte quasi live in den Körper schauen und zum Beispiel in Echtzeit den Blutfluss und die Pumpbewegung des Herzens beobachten. Für Menschen ist das neue Bildgebungsgerät allerdings noch nicht gemacht: Kleintiere bis zur Größe von Kaninchen werden die ersten Patienten sein. Mit ihrer Hilfe wollen die Mediziner herausfinden, welche Anwendungen beim Menschen sinnvoll sein könnten. →



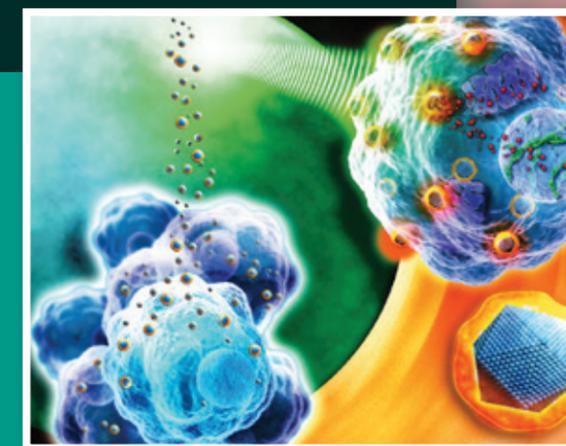
### ROBOTER-MUSCHEL

Forscher vom Stuttgarter Max-Planck-Institut haben einen schwimmenden **MIKROROBOTER** nach dem Vorbild von Muscheln entwickelt. Beide Hälften sind mit kleinen **MAGNETEN** besetzt (hier als rot-blaue Zylinder dargestellt). Mithilfe eines Magnetfelds von außen lassen sich die Schalen gezielt öffnen und schließen und das Mikro-U-Boot antreiben.

### AUF AUGENHÖHE MIT ATOMEN

Das Verhältnis von Volumen zu Oberfläche bestimmt maßgeblich die chemisch-physikalischen Eigenschaften von Teilchen. Teilt man einen Würfel mit einer Kantenlänge von einem Meter in eine Million Würfel mit Kanten von einem Zentimeter, werden sich die kleinen Würfel in ihren Eigenschaften von dem ursprünglichen Würfel nicht wesentlich unterscheiden. Was aber, wenn man immer weitermacht und irgendwann Würfel mit einer Kantenlänge von 100 Nanometern erhält (ein Nanometer ist der millionste Teil eines Millimeters)? Dann ist man in den Dimensionen von Molekülen und Atomen angekommen. Jetzt bestimmen

zunehmend **QUANTENPHYSIKALISCHE** Effekte über das Verhalten des ganzen Würfels. Nanoteilchen können zum Beispiel leichter mit anderen Stoffen reagieren als größere Partikel. Ursprünglich nicht wasserlösliche Substanzen lassen sich als Nanopartikel plötzlich in Wasser lösen. Aufgrund ihrer geringen Größe können sie besser in Zellen eindringen oder die Blut-Hirn-Schranke passieren, die verhindert, dass gefährliche Stoffe oder Krankheitserreger in das Gehirn gelangen. Aus diesen Gründen sehen viele die Nanotechnologie als Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts.



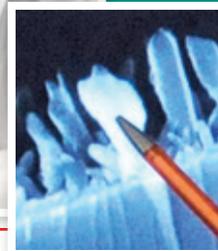
Nanopartikel sind nur wenige millionstel Millimeter groß.



Unter dem Mikroskop zeigen sich spitze Titan-Säulchen.

## BAKTERIEN-FALLE

Nach dem Vorbild von Zikadenflügeln haben Bochumer Wissenschaftler um Manfred Köller eine keimtötende Nanobeschichtung aus **TITAN** entwickelt. Bakterien bleiben an den winzigen Titansäulen hängen und sterben. Das neue Verfahren soll das Infektionsrisiko bei Prothesen und Implantaten verringern.



Ein weiteres medizinisches Anwendungsgebiet der Nanotechnologie ist die Beschichtung von Oberflächen. Auf Herzschrittmachern oder Gelenkprothesen mit einer im Nanomaßstab rauhen Oberfläche sollen Körperzellen beispielsweise besser anwachsen können. Das soll die Verbindung zum Körper und damit die Lebensdauer dieser Implantate deutlich erhöhen. Die antibakterielle Wirkung von Nano-Silberpartikeln wird schon seit Langem ausgenutzt, um medizinische Geräte und Implantate – Katheter, Herzschrittmacher etc. – gegen den Befall von Bakterien zu schützen.

### NAGELBRETT FÜR BAKTERIEN

Einen völlig neuen Ansatz dazu verfolgen Wissenschaftler am Uniklinikum Bergmannsheil in Bochum: Wie sie unlängst in der Fachzeitschrift „Nanotechnology“ berichteten, ist es ihnen gelungen, eine keimtötende Nanobeschichtung aus Titan zu entwickeln. Die Oberfläche besteht aus rund 80 Nanometer hohen Titansäulen. Lassen sich Bakterien darauf nieder, durchstoßen die Titanspitzen ihre Zellmembran und verletzen sie tödlich. Vorbild der Bochumer Forscher waren die Oberflächenstrukturen auf den Flügeln von Zikaden.

So groß die mit dem medizinischen Einsatz von Nanopartikeln verbundenen Hoffnungen auch sind: Was mit den kleinen Teilchen passiert, wenn sie ihren Auftrag erfüllt haben, ist eine ungeklärte Frage. „Die Risiken der Nanotechnologie können insgesamt noch nicht sicher abgeschätzt werden“, sagt Ann-Katrin Sporkmann, Nanotechnologie-Expertin des Umweltverbandes BUND. Bei vielen Nanotechnik-Produkten werde das Vorsorgeprinzip nicht eingehalten, eine ausreichende Prüfung der Risiken vor der Markteinführung fehle. Ein Verzicht auf Nanomaterialien scheint aber unwahrscheinlich. Denn inzwischen haben die winzigen Teilchen als Bestandteile von Cremes, Pasten, Sonnenschutzmitteln, Farben, Lacken,

Druckertonern, Klebern, Kraftstoffzusätzen oder Nahrungsmitteln ihren Weg um die Welt angetreten.

### NANOTEILCHEN IM ESSEN

Immerhin: Seit Juli 2013 müssen Kosmetik- und Körperpflegeprodukte mit Nanopartikeln in der Europäischen Union gekennzeichnet werden, das gilt seit Kurzem auch für Lebensmittel. Nanomediziner Christoph Alexiou nimmt sich und die Kollegen in die Pflicht, wenn es um bessere Therapien und Diagnostik mit den Zwergenteilchen geht: „Wir als Forscher dürfen nicht nur zeigen, dass die verwendeten Nanopartikel medizinisch wirken. Wir müssen auch zeigen, dass sie nicht giftig sind.“ Ansonsten drohe eine an sich vielversprechende Technologie öffentlich in Ungnade zu fallen.

Arnd Petry

## SILBERBLAU DURCH NANOS

Wie der unbedachte Einsatz von Nanoteilchen nach hinten losgehen kann, zeigt das tragische Schicksal von Paul Karason. Zur Behandlung einer Hautentzündung rief der US-Amerikaner sich jahrelang mit einer Lösung aus **NANO-SILBERPARTIKELN** ein, die er zudem auch trank. Die Folge der selbst verordneten Therapie: Mit der Zeit färbte sich Karasons Haut silberblau, ein seltenes Phänomen, das als Argyrie bekannt ist. Im September 2013 starb der als „Papa Schlumpf“ verspottete Mann im Alter von 62 Jahren – an den Folgen einer Herzattacke, die aber wohl nicht in Verbindung zu seinem Silberkonsum stand. Solche Schicksale bleiben in Erinnerung. Dennoch sagen sie wenig über Sinn und Unsinn der Nanotechnologie aus.



„Papa Schlumpf“.