

# **Nanomedizin**

*Nano-Sonnencreme, nanobeschichtete Fensterscheiben, Nanomaschinen und jetzt auch noch Nanomedizin - alles nano, oder was? Mit «Nano» sind grosse Hoffnungen auf Techniken verbunden, die sich im Milliardstel Meterbereich abspielen. Das gilt ganz besonders für die Nanomedizin.*

## **1. Die Zukunft der Medizin**

Was sich Experten von der Nanomedizin erhoffen, lässt sich gut am Beispiel der Krebsmedizin zeigen: Bei Krebserkrankungen teilen sich Zellen im Körper völlig unkontrolliert. Obwohl die Krebsmedizin in den vergangenen Jahrzehnten enorme Fortschritte erzielt hat, erfolgen Therapien noch immer nach dem Giesskannenprinzip: Viele Chemo- und Strahlentherapien greifen grundsätzlich alle sich teilenden Zellen im Körper an; leider aber auch gesunde Körperzellen.

### **In der Welt der Zwerge**

Das Wort «nano» kommt aus dem Griechischen und bedeutet «Zwerg». Ein Nanometer (nm) entspricht einem Milliardstel Meter oder  $1/1'000'000'000$  Meter oder  $10^{-9}$  Meter. Zum Vergleich: Das Verhältnis von einem Nanometer zu einem Meter ist etwa so, wie der Durchmesser einer Murmel zum Durchmesser der Erde.

Die Nanowelt ist die Spielwiese von Atomen und Molekülen: Ein Heliumatom hat in etwa einen Durchmesser von 0.1 nm. Hier berühren sich die Disziplinen Physik, Chemie, Biologie und Medizin.

Mit der Nanomedizin könnte es vielleicht gelingen, dass Krebsmedikamente in Zukunft gezielt dorthin gelangen, wo sie wirken müssen, nämlich in die kranken Zellen.

Wie aber wollen Forscherinnen und Forscher erreichen, dass ein Wirkstoff nur noch in kranke Zellen gelangt? Eine Antwort auf diese Frage sind etwa Nanofähren. Als Nanofähren kann man sich z.B. kleine Bläschen, Fettkügelchen, vorstellen (Liposomen im Nanometerbereich), in die der Wirkstoff verpackt ist. Die Fähre wird mit einer «Zustelladresse» versehen, denn Krebszellen unterscheiden sich von gesunden Zellen: Auf ihrer Oberfläche gibt es spezielle «Antennen». So präsentieren gewisse Krebszellen beispielsweise Folsäure auf ihrer Oberfläche, weil sie viel von diesem Vitamin benötigen, um rasch wachsen zu können. Die Nanofähren werden daher so präpariert, dass sie an diese – und nur an diese – «Folsäure-Antennen» andocken können, indem die Nanobläschen mit Folsäure bestückt werden. Auch Antikörper können diese Aufgaben übernehmen. Nach dem Andocken wird der Wirkstoff in die Krebszelle eingeschleust und tötet diese ab (siehe Grafik 14.1).

## **2. Was ist Nanomedizin?**

Das obige Beispiel zeigt: Nanomedizin ist grob vereinfacht die medizinische Anwendung von Technologien im Nanobereich. Klar ist, dass die Nanomedizin noch am Anfang steht, denn noch gibt es erst wenige zugelassene Therapien, die auf Nanomedizin basieren. So funktionieren bestimmte Impfstoffe gegen Grippe und Hepatitis mithilfe der Nanomedizin

und es gibt gewisse zugelassene Medikamente gegen Krebs und Erkrankungen des Nervensystems. Klar ist aber auch, dass die Nanomedizin für die Zukunft unzählige, interessante Horizonte eröffnet und sehr vielfältig anwendbar ist. Denn viele Krankheitsprozesse im menschlichen Körper spielen sich im Nanobereich ab. Die Bausteine des Lebens – Proteine, Enzyme, DNA und andere wichtige Moleküle – sie alle haben Größenordnungen im Nanometerbereich.

Das Problem ist, dass viele Werkzeuge der Medizin wie etwa Skalpell, Strahlentherapie oder Herzkatheter nicht in den Nanometerbereich vordringen können. Wirkstoffe können dies zwar, aber bei ihnen stellt sich oft das oben erwähnte Problem: Sie wirken zu wenig spezifisch. So wie die Entwicklung von immer besseren Mikroskopen die Medizin im 19. und 20. Jahrhundert revolutioniert hat, beispielsweise indem sie die Beobachtung von Bakterien ermöglichten, sollen die neuen Werkzeuge der Nanomedizin die Medizin des 21. Jahrhunderts vorantreiben. Im Folgenden werden einige Werkzeuge und Anwendungen in der Nanomedizin vorgestellt.

### **3. Mikroskop: Blick in die kleinsten Welten**

Um einen Blick in die Nanowelt zu werfen braucht es hochauflösende Elektronen- oder Rasterkraftmikroskope. Ein Lichtmikroskop kann im besten Fall eine Auflösung von 0.2 Mikrometer erreichen (ein menschliches Haar ist zwischen 30 und 120 Mikrometer dick). Elektronenmikroskope können hingegen viel kleinere Gegenstände abbilden, weil sie mit einem Elektronenstrahl arbeiten und Elektronen eine kleinere Wellenlänge haben als Licht. Noch winzigere Gegenstände kann das Rasterkraftmikroskop abbilden: Dabei rastert winzige Nadelspitze über die zu untersuchende Oberfläche und erstellt so ein molekulares Relief. Mit einem Rasterkraftmikroskop können einzelne Atome sichtbar gemacht und sogar hin- und hergeschoben werden. Ursprünglich wurden diese Mikroskope vor allem von Physikern verwendet, aber mittlerweile interessieren sich auch immer mehr Biologen und Mediziner für die Wundergeräte.

#### **Nano: Die Wirkung ist altbekannt**

Nano ist nicht neu. Die Menschen kennen die Auswirkungen gewisser Nanopartikel schon länger. Beispiel Nanosilber: Bereits im Jahre 1889 wurde «kolloidales Silber», extrem kleine Silberpartikel mit einem Durchmesser von nur sieben bis neun Nanometern, erwähnt. Die Partikel wurden eingesetzt, um Bakterien oder Algen in Swimmingpools (Algizid) abzutöten. Auch in Lacken und Farben werden Nanopartikel verwendet, um bestimmte Eigenschaften zu erzeugen, z.B. Farben, die wasser- und schmutzabweisend sind.

### **4. Chips: genauere, schnellere und günstigere Diagnostik**

Insbesondere in der Diagnostik werden von der Nanomedizin grosse Fortschritte erwartet, etwa in Form neuartiger Diagnosegeräte: Ein Tröpfchen Blut genügt (kein Röhrchen mehr) und innerhalb von Minuten kann der Arzt mithilfe eines Chips feststellen, ob der Patient an einem Herzinfarkt, einer Infektion oder einer anderen schweren Erkrankung leidet. Noch ist das alles eine Vision, aber die neuen Entwicklungen weisen in diese Richtung. Da die neuen Diagnostikgeräte viel kleinere Mengen von den meist

teuren Analysereagenzien benötigen, wird ein Test insgesamt günstiger. Und aufgrund der Miniaturisierung passen die Geräte in eine Tasche und können somit nicht nur im Spital oder in der Arztpraxis eingesetzt werden, sondern auch in abgelegenen Regionen. Denkbar ist ein Einsatz solcher Chips in der Malariabekämpfung, um auch in ärmeren Ländern rasch und kostengünstig feststellen zu können, wer erkrankt ist und wer nicht.

## **5. Nanomaterialien als Träger und zur Überwindung der Blut-Hirn-Schranke**

Ein weiteres Einsatzgebiet ist die Verwendung von Nanoteilchen, um Wirkstoffe an ein bestimmtes Ziel im Körper zu transportieren. Besonders schwierig ist es, Wirkstoffe ins Gehirn zu transportieren, denn das Gehirn ist von der Blut-Hirn-Schranke geschützt, sodass Wirkstoffe nicht einfach vom Blut ins Gehirn übergehen können. Das gilt grundsätzlich auch für Nanowirkstoffe. Allerdings können diese verpackt werden, etwa in Liposomen, und können so ins Gehirn eindringen. Damit eröffnen sich ganz neue Horizonte.

Eine andere Anwendung ist der Aufbau von Knochen: Mithilfe der Nanotechnologie konnten Forschende ein Knochenersatzmaterial entwickeln. Es besteht aus Hydroxylapatit und ermöglicht, dass knochenbildende Zellen ins Ersatzmaterial einwandern. So ersetzen sie Stück für Stück die künstliche Knochenersatzmasse durch natürliche Knochenmasse.

Schliesslich werden Nanopartikel auch in der Diagnostik verwendet: Mit Nanopartikeln aus Eisenoxiden können bestimmte Zellen (z.B. Stammzellen) gezielt markiert und dann mit einer Magnetresonanztomographie (MRI) dargestellt werden.

Grundsätzlich sind die Anforderungen an solche Nanopartikel hoch: Sie sollen völlig ungiftig und biologisch abbaubar sein. Sie sollten vom Immunsystem des Körpers möglichst nicht als fremd erkannt und bekämpft werden, bevor sie ihr Ziel erreicht haben und sie sollten keine allergischen Reaktionen hervorrufen oder gar selber krebserregend sein.

## **6. Krebsgeschwür: Tod durch Hitze**

Seit langem ist bekannt, dass Krebszellen empfindlich auf Hitze reagieren und dass dies eine Möglichkeit der Krebsbekämpfung ist. Erste Versuche, die erkrankten Stellen von aussen zu erhitzen, scheiterten aber, da die Hitze nicht effizient genug von der Hautoberfläche ins Innere transportiert werden konnte.

Forschende haben daher eine neue Methode entwickelt, bei der Eisenoxidteilchen in ein Krebsgewebe gespritzt und danach mit Hilfe eines Magnetfeldes in Schwingung gebracht und erhitzt werden. Dadurch sterben die Krebszellen ab, der Tumor schrumpft, und das umliegende Gewebe wird geschont. Eine klinische Studie der Universität Texas hat die Methode erfolgreich auf Prostatakrebspatienten angewendet. In einer anderen klinischen Studie mit Patienten, bei denen wiederholt ein Hirntumor diagnostiziert worden war, überlebten die Patienten mit dieser Methode 13.4 Monate (im Vergleich dazu liegt die durchschnittliche Überlebenszeit solcher Patienten bei 6.2 Monaten). Ob sich das Verfahren neben Chemotherapie, Strahlentherapie und Chirurgie als vierte Säule der Krebsmedizin etablieren wird, werden weitere Abklärungen erst zeigen müssen.

## 7. Ethische Aspekte/Risikoforschung

Wie steht es um die Risiken der Nanomedizin? Um eine Zulassung für eine Therapie zu erteilen, müssen die zuständigen Behörden wissen, wie sicher eine Therapie ist. Wie bei jedem neuen Wirkstoff müssen auch in der Nanomedizin die entsprechenden Sicherheitsstandards definiert werden.

Neue Fragen tauchen auf: Wenn ein bekannter, zugelassener Wirkstoff, Insulin etwa, mit einem Nanoteilchen verbunden wird, wie sicher ist ein solcher Wirkstoff? Was genau geschieht mit den Nanopartikeln im Körper? Lagern sie sich allenfalls in einem Organ ab oder werden sie ausgeschieden? Gibt es Schäden, die erst nach Jahren auftreten?

Mittlerweile haben Forscherinnen und Forscher einiges an Informationen zu den Risiken von Nanopartikeln zusammengetragen. Tatsache ist: Wir Menschen sind täglich solchen Partikeln ausgesetzt. Abgase von Dieselmotoren enthalten viele Nanoteilchen, von denen zudem bekannt ist, dass sie krebserregend sind. Aber auch Plastik, Kosmetika, Sonnencreme, Staub, der Rauch von Kaminöfen oder Zigaretten enthalten Nanopartikel. Werden diese Partikel eingeatmet, können sie bis in den Zellkern vordringen, wo sie mit dem Erbgut interagieren könnten. Ob das tatsächlich auch passiert, ist noch unklar. Daher ist wichtig, alle Medikamente, die auf Nanotechnologie basieren, genau zu untersuchen bevor sie zugelassen werden – so wie es auch mit allen anderen Wirkstoffen geschieht.

Die Verfasser des Schlussberichts des Nationalen Forschungsprogramms «Chancen und Risiken von Nanomaterialien» (NFP 64) kommen zum Schluss, dass die Chancen die Risiken überwiegen. Programmleiter Prof. Peter Gehr von der Universität Bern hält das Potenzial synthetischer Nanomaterialien für riesig. Dabei müsse jedoch immer die Risikoabklärung im Auge behalten werden. Das Bundesamt für Gesundheit (BAG) hat deshalb ein Vorsorgeraster erarbeitet, das es erlaubt, die Gesundheits- und Umweltrisiken im Umgang mit Nanoprodukten abzuschätzen. Weitere Regulierungen sind gemäss Prof. Gehr derzeit nicht angezeigt.

Weitere Informationen finden Sie unter: [biotechlerncenter.interpharma.ch](http://biotechlerncenter.interpharma.ch)

## Arbeitsblatt

### Einigen eigenen Nanofussball basteln

Buckyballs sind ein beliebtes Werkzeug der Nanotechnologen. Buckyballs, benannt nach Richard Buckminster Fuller, einem amerikanischen Ingenieur, haben die gleiche Form wie ein Fussball: Sie bestehen aus insgesamt 12 Fünfecken und 20 Sechsecken. Aber Buckyballs sind viel kleiner: Sie sind die Fussbälle der Nanowelt und haben einen Durchmesser von 1 Nanometer. Sie bestehen aus 60 Kohlenstoffatomen (C60), sind sehr stabil, behalten auch bei hohen Temperaturen ihre Form und können in ihrem Inneren «fremde» Moleküle einschliessen. Daher sind sie als Werkzeug für die Nanotechnologen sehr interessant.

[Hier](#) gibt es eine Anleitung, um Ihren eigenen Buckyball zu basteln.

### Nano-Games

Hier ein Game, das in der Nanowelt spielt:

[NanoMission](#)

## Dokumente

### Ein Einblick in die Nanowelt: Führung am Swiss Nanoscience Institute oder eine Werkstatt in der Schule

An was für Projekten arbeiten Nanomediziner und wie wird man Nanophysiker? Die Experten des Swiss Nanoscience Institute in Basel bieten eine Institutsführung an, inklusive Einführungsvortrag und Rundgang. Denkbar ist auch eine Werkstatt, die im Klassenzimmer durchgeführt wird: [Swiss Nanoscience Institute](#)

Das Swiss Nanoscience Institute hat zudem eine Broschüre mit dem Titel [«Was ist Nano?»](#) herausgegeben (2. Auflage, 2018). In der Broschüre wird auf verständliche Weise erklärt, was Nanotechnologie ist und was mit Nanowissenschaften erforscht wird.

### Nanomedizin im Rahmen eines TecDay

An einem TecDay beschäftigt sich eine ganze Schule einen Tag lang mit Naturwissenschaft und Technik. Im Rahmen eines TecDay gibt es die Möglichkeit, das Modul Nanomedizin auszuwählen: «Nanomedizin - Teufelszeug oder Heilsbringung?». Dabei geht es zum Beispiel auch um ethische Frage rund um die Nanomedizin: Wie weit dürfen Mediziner gehen, um Leben zu retten? Dürfen die Kosten bei einer medizinischen Behandlung eine Rolle spielen? Und wenn ja, wie gross darf diese Rolle sein? Das Modul richtet sich an Jugendliche im Alter von 12-18 Jahren und dauert circa 90 Minuten (inkl. Vortrag und Diskussion in Kleingruppen). [satw, it's all about technology: TecDay](#)

## Links

[Swiss Nanoscience Institute Basel](#)

[Nationales Forschungsprogramm NFP64](#) zu Chancen und Risiken von Nanomaterialien

[Themenfokus Nanobiotechnologie](#) der Stiftung Gen Suisse

[Die Zelle](#), begehbare Modell einer ca. 300'000-fach vergrösserten menschlichen Körperzelle