

Sicherheit Sécurité Sicurezza



NANOTECHNOLOGIEN | 4

Gute Zwerge – böse Zwerge?



SECURITY | 18
Fare una radiografia
dell'ospedale



FEHLERETHIK | 28
Neues Wissen entsteht
– dank Fehlern



ASYLZENTREN | 38
Sind die Ängste der Nach-
barschaft berechtigt?

Nanotechnologien zwischen Chancen und Risiken

Nanotechnologie ist die Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts. Sie hat etwas Geheimnisvolles, weil sie die menschliche Vorstellungskraft überfordert. Experten setzen grosse Hoffnungen in zukünftige Anwendungen in vielen Lebensbereichen. Gleichzeitig wächst in der Bevölkerung die Unsicherheit wegen möglicher Risiken. Dass es solche durchaus gibt, ist unbestritten. Die enorme Komplexität der Nanotechnologien erschwert aber ihre Bewertung. Eine umfassende Klärung aller Risiken ist in absehbarer Zeit nicht in Sicht. Bei der Untersuchung klar abgegrenzter Systeme können jedoch konkrete Fortschritte erzielt werden.



Dr. Jürgen Höck
ist Projektleiter im
Bereich Nanotechnologien in der TEMAS AG,
9320 Arbon.

Man erwartet von der Nanotechnologie als Schlüsseltechnologie «Quantensprünge» bei der zukünftigen Entwicklung von Anwendungen. In der Schweiz werden die Vorgänge auf der Nanoskala seit 1990 auf höchstem Niveau erforscht, zahlreiche KMU und grössere Industrien suchen neue Anwendungen. Der Weltmarkt der nanobasierten Produkte hat heute rund 50 Mrd. Euro Umsatz erreicht, mit einer jährlichen Wachstumsrate von 30%. Allein in Deutschland sind gegenwärtig mehr als 50000 Personen im Bereich der Nanotechnik beschäftigt. Die Entwicklung der Anwendungen dieser Technologien schreitet so schnell voran, dass die Bewertung der Risiken nicht Schritt halten kann und immer grössere Lücken im Wissen über Gefahren entstehen. Dies erzeugt ein wachsendes Spannungsfeld zwischen Forschern, Industrien, staatlichen Stellen und Endverbrauchern.

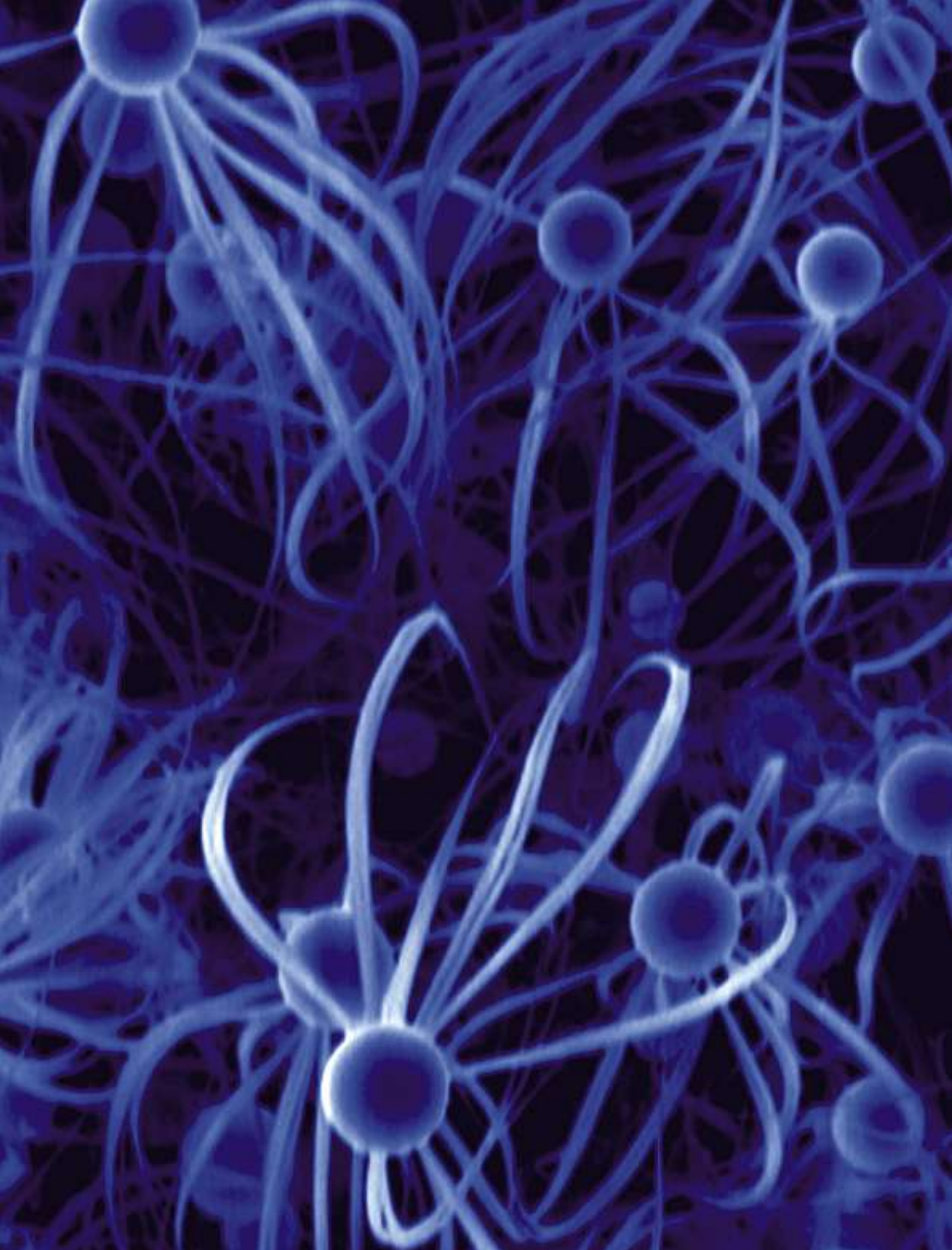
Gegen die Begriffsverwirrung

Der pauschale und inflationäre Gebrauch des Terminus «Nanotechnologie» führt nicht selten allein schon deswegen zu Verwirrung, weil er in Unkenntnis der Fakten falsch verwendet wird. So ist beispielsweise die oft benutzte Darstellung der Nanotechnologie als eine einheitliche Disziplin irreführend, da sie sich als Querschnittstechnologie aus vielen Disziplinen (Physik, Chemie, Biologie, Medizin, Elektrotechnik, Elektronik, Materialwissenschaften usw.) entwickelt hat. Deshalb spricht

man besser von den Nanotechnologien im Plural. Der Ursprung für den Begriff «Nanotechnologien» kommt aus dem Griechischen. Dort bedeutet «nanos» einfach nur Zwerg, und gibt einen Hinweis auf die winzige Skala (0,000001 bis 0,0001 mm!), auf der sich die Nanotechnologien bewegen. Im wissenschaftlichen Sinn bezeichnet «nano» also nur eine Dimension und wird als Vorsilbe wie milli, oder mikro gebraucht, um die Grössenordnung der betrachteten Objekte anzugeben.

Die Erkenntnisse und das Wissen aus der Physik, der Chemie und der Biologie auf der Nanoskala werden als Nanowissenschaften, die daraus abgeleiteten Technologien als Nanotechnologien bezeichnet. Diese dringend nötige Unterscheidung von Nanowissenschaften und Nanotechnologien wird häufig unter den Tisch gekehrt. Das führt dazu, dass erste wissenschaftliche Erkenntnisse oft bereits als anwendbare Technologien missverstanden werden. Zusätzlich werden so unterschiedliche Anwendungen wie Beschichtungen im Nanometerbereich, räumliche Strukturen in Nanometergrösse oder die Verwendung von Nanopartikeln zur Erzeugung neuer Materialeigenschaften bzw. zum gezielten Transport anderer Substanzen unter dem Begriff Nanotechnologie über einen Kamm geschoren.

Aufgrund des heutigen Wissensstandes besteht Einigkeit darüber, dass es die letztgenannten Nanopartikel sind, die unter den Nanoanwendungen das grösste Risiko für den Menschen und die Umwelt bergen. Auch der Begriff der Nanopartikel ist



1 | «Tintenfische» aus einem Gallium-Ball, Silizium-Kristall und Siliziumoxid-Nanodrähten. Abbildungen 1 und 3–6: Zhengwei Pan

dabei mit einer gewissen Ungenauigkeit behaftet. Deshalb soll hier auf eine der offiziellen Definitionen von Nanopartikeln hingewiesen werden, welche besagt, dass die Grösse eines Partikels in mindestens einer Richtung kleiner als 100 Nanometer sein muss, dass neue Eigenschaften im Vergleich zu grösseren Partikeln derselben Substanz vorliegen müssen, dass im Gegensatz zu ultrafeinen Partikeln, die als Nebenprodukte entstehen (Verbrennung, Abrieb usw.), Nanopartikel gezielt hergestellt werden. Man spricht auch von synthetischen Nanopartikeln.

Fazit: Viele Unklarheiten und Verzögerungen in der Diskussion der Chancen und Risiken der Nanotechnologien können durch konsequente Anwendung der richtigen Terminologie vermieden werden.

Hoffnungen und Chancen

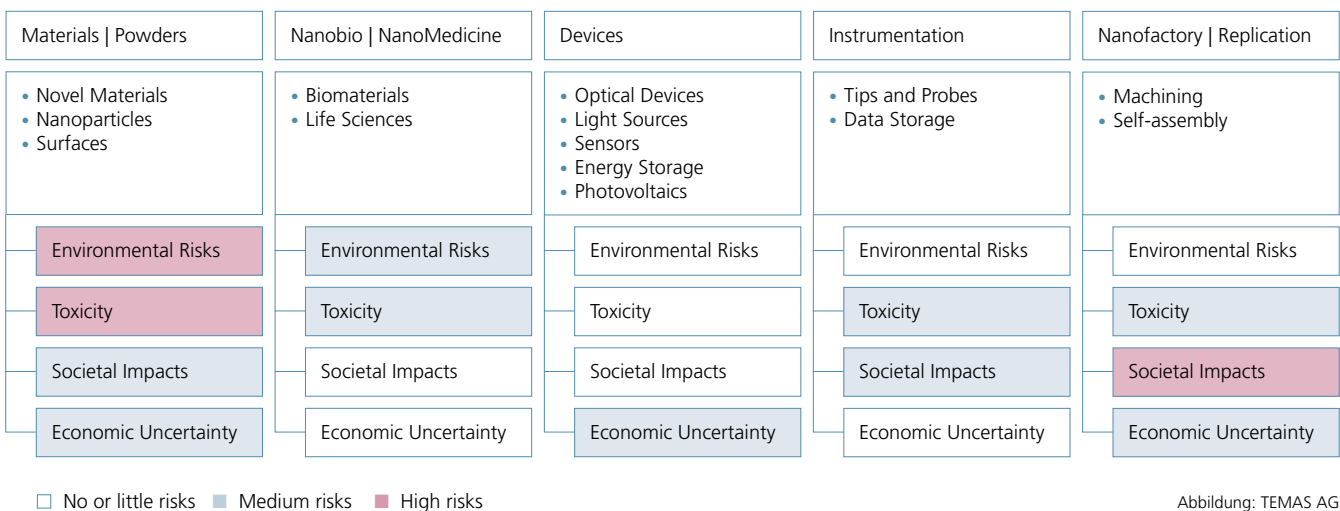
In einer anfänglichen Euphorie (dem «Nano-Hype») wurden den Nanotechnologien praktisch unbegrenzte Möglichkeiten zugeschrieben, alle technologischen Bereiche zu revolutionieren. Viele Ideen müssen hier sicher dem Bereich der Science-

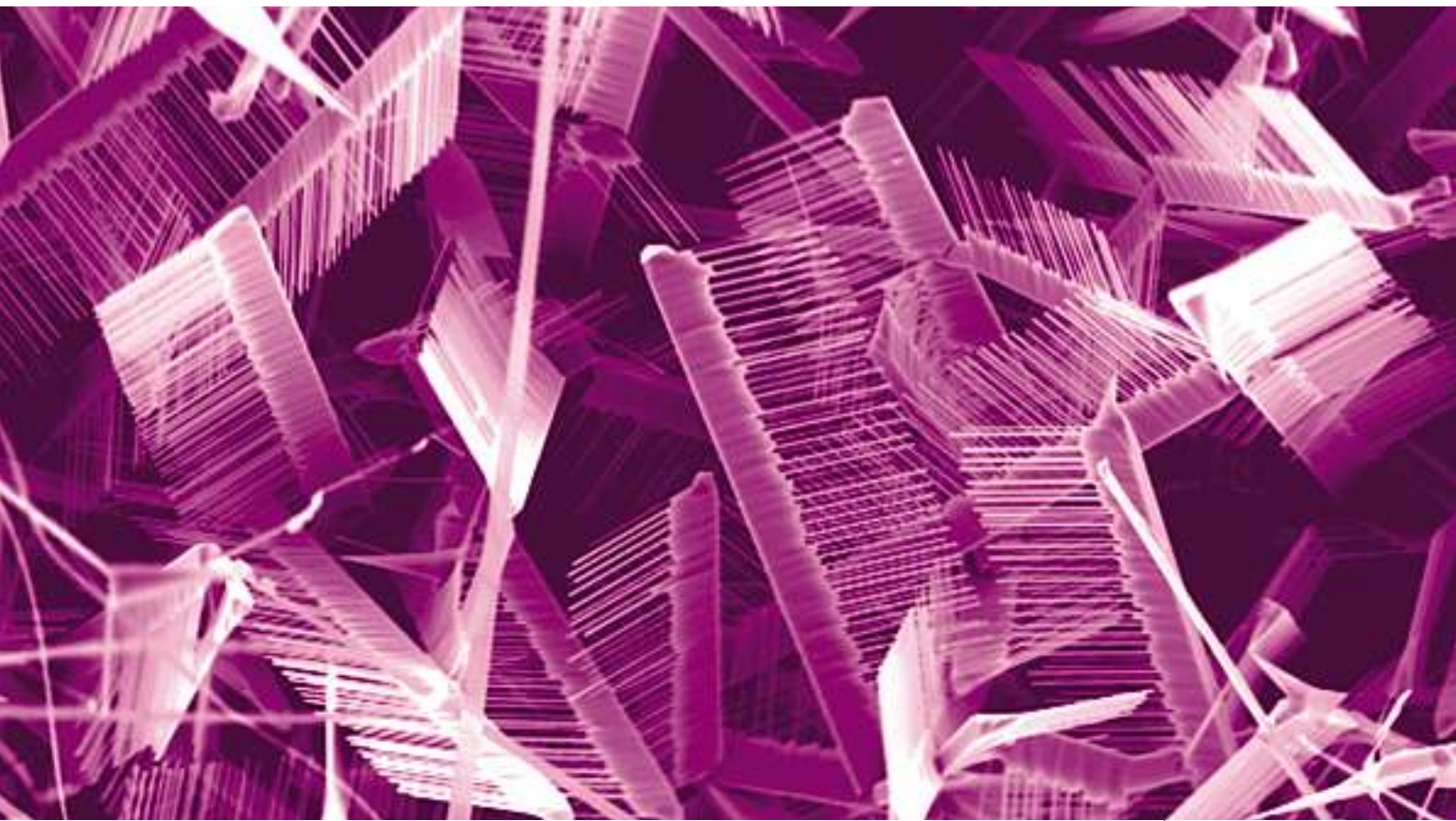
Fiction zugeordnet werden. Mit fortschreitender Erweiterung des Kenntnisstandes existieren heute aber berechtigte Hoffnungen auf Durchbrüche und Neuerungen durch

- Einsparung von Rohstoffen mittels Miniaturisierung
- Einsparung von Energie mittels Gewichtsreduktion oder Funktionsoptimierung (Autoreifen mit Nanomaterialien, die den Rollwiderstand verringern)
- Verbesserung der Reinigungsleistung bei der Schadstoffreduktion (durch nanoporöse Filtersysteme)
- Ersatz der Verwendung gefährlicher Stoffe
- Transport therapeutischer Wirkstoffe mithilfe von Nanopartikeln gezielt an die Krankheitsherde im Körper
- medizinische Geräte mit Nanobeschichtung gegen Infektionsrisiko
- neue Technologien bei Brennstoffzellen und Fotovoltaik zur Verminderung des CO₂-Ausstosses

Im täglichen Leben haben nanotechnologische Produkte schon lange Einzug gehalten, wie die Beispiele im Kasten zeigen.

Grobe Einteilung der Risikofelder unterschiedlicher Anwendungsbereiche der Nanotechnologien





Verunsicherte Bevölkerung

Bedingt durch schlechte Erfahrungen mit früheren Schlüsseltechnologien wie Atomkraft oder Gentechnologie ist die Bevölkerung sensibilisiert und gegenüber vermeintlichen «Supertechnologien» kritisch. Hinzu kommt, dass die Nanotechnologien auf einer wissenschaftlichen Basis gründen, die einem intuitiven Verständnis nicht mehr zugänglich ist. Unsicherheit ist die Folge, nicht selten begleitet von einer instinktiven Ablehnung der Technologie.

Umfragen haben ergeben, dass die Bevölkerung den Chancen der Nanotechnologien prinzipiell positiv gegenübersteht. Eine deutliche Ablehnung gibt es gegen die Anwendung nanotechnologischer Zusatzstoffe im Bereich der Lebensmittel. Allgemein besteht eine gewisse Angst gegenüber allen neuen Nanoprodukten, sofern sie nicht klar als solche deklariert sind.

Schwierige und zeitlich aufwändige Risikobeurteilung

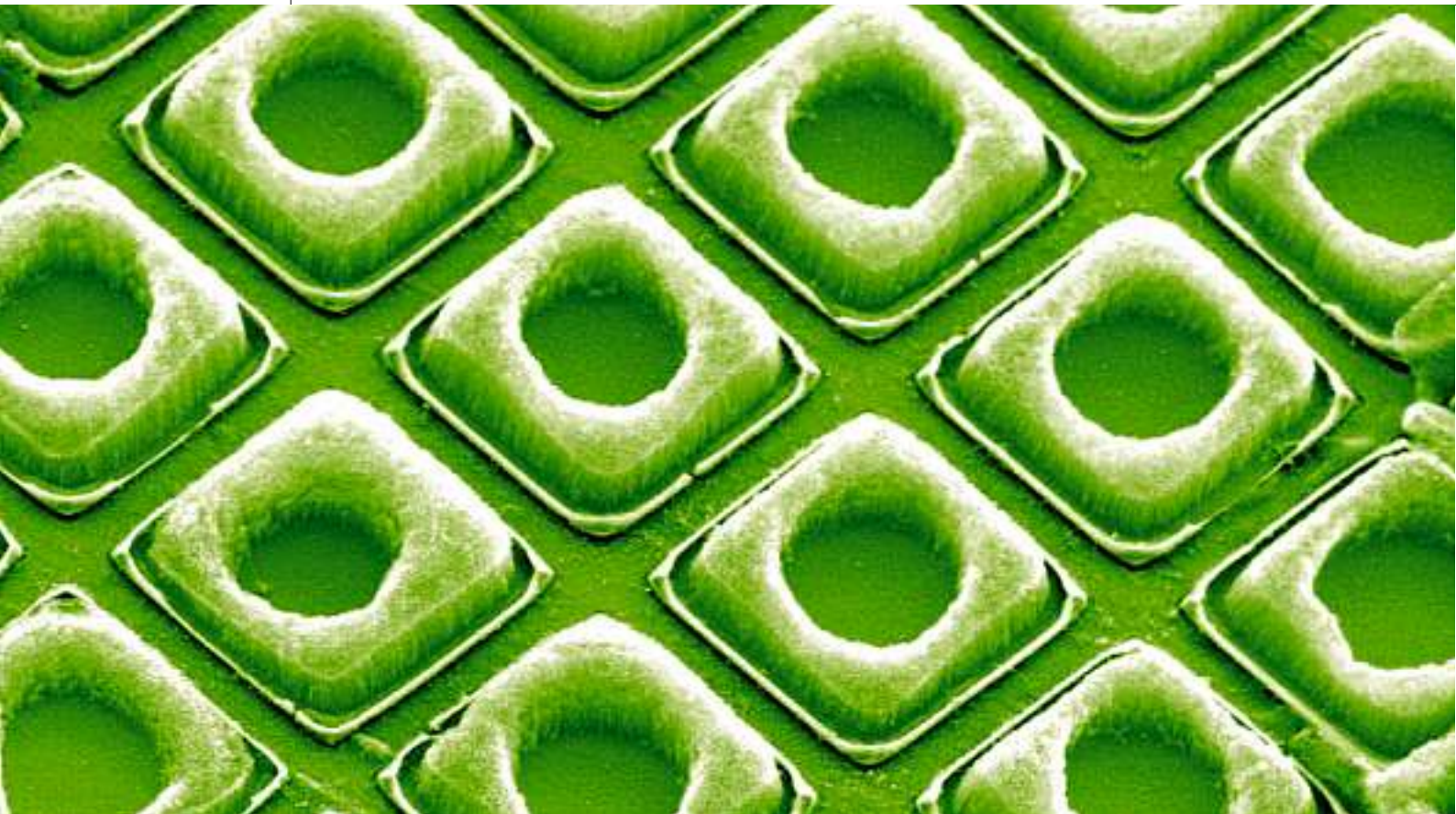
Warum ist «nano» speziell? Dies liegt an den speziellen physikalischen Gegebenheiten, die in diesen Dimensionen gelten: Es wirkt die so genannte Quantenphysik. Teilchengrösse und -oberfläche bestimmen zunehmend die Eigenschaften der Teilchen, nicht mehr nur die chemische Zusammensetzung. Dadurch ergeben sich für viele Stoffe im Nanometerbereich völlig neue physikalische,

chemische und biologische Eigenschaften. Diese Komplexität und Interdisziplinarität der Nanotechnologien machen eine Risikobewertung und Vorhersage möglicher Gefahren sehr aufwändig. Eine Vielzahl von Parametern muss für die Beurteilung der Risiken für den Menschen oder die Umwelt herangezogen werden. Die meisten sind nicht auf einfache Art zugänglich: Dosis, chemi-

Komplexität und Interdisziplinarität der Nanotechnologien machen eine Riskobewertung und Vorhersage möglicher Gefahren sehr aufwändig. Eine Vielzahl von Parametern muss für die Beurteilung herangezogen werden.

sche Zusammensetzung, Expositionskonzentration, Partikelgrössen, spezifische Oberfläche der Partikel, Oberflächenladung, Agglomerationszustand, Partikel- bzw. Agglomeratform, Reaktivität mit anderen Stoffen oder der Einfluss der Umgebung. Je nach Art der eingesetzten Nanotechnologien müssen darüber hinaus unterschiedliche, für die Anwendung spezifische Risikoszenarien betrachtet werden, also z.B. für neue Materialien, Biomaterialien, Nanopartikel, Oberflächen, Sensoren, Energiespeicherung, Datenspeicherung oder für andere. Dieser Ansatz wurde schon im Rahmen des schweizerischen Forschungsprogramms TOP NANO 21 erarbeitet. Die Abbildung 2 zeigt eine beispielhafte Übersicht.

3 |
Zinkoxid-«Rechen».



4 |
Muster aus Kohlenstoff-Nanoröhrchen.

Auf dieser Grundlage wurden verschiedene Vorhaben gestartet, um die Auswirkungen der Nanowissenschaften und -technologien auf Mensch und Umwelt umfassend zu vertiefen und laufend dem aktuellen Wissensstand anzupassen.

Im Moment treten die grössten Expositionen mit Nanopartikeln hauptsächlich dort auf, wo sie produziert werden. Demzufolge ist die Arbeitssicherheit eines der vordringlichsten Themen. In steigendem Mass muss aber auch die Freisetzung von Nanopartikeln beim Gebrauch der jeweiligen Artikel in Betracht gezogen werden.

Der Begriff des Risikos enthält immer eine Koppelung von Materialeigenschaften (z.B. die Giftigkeit) mit der Wahrscheinlichkeit, dass Menschen oder Umwelt mit diesen Materialien in Berührung kommen. Mit steigender Verbreitung nanotechnologischer Produkte steigt diese Wahrscheinlichkeit, und damit erhöhen sich zwangsläufig auch die Risiken. Zudem ist eine Verfolgung von Nanopartikeln im Menschen und der Umwelt und damit die Bestimmung der wirklichen Exposition aufgrund ihrer extrem winzigen Abmessungen mit grossem apparativem und zeitlichem Aufwand verbunden.

Magerer Wissensstand

Verschiedene Risikoszenarien werden heute konkret untersucht, so z.B.

- die Exposition der Arbeitnehmer bei industriellen Prozessen

- die Gefährdung der Verbraucherinnen und Verbraucher durch unzureichend geprüfte Produkte

- die Entstehung von Schadstoffen bei der Freisetzung von Nanomaterialien in die Umwelt

- die Unsicherheit über das Langfristverhalten in der Umwelt (z.B. Anreicherung in der Nahrungskette, Beeinträchtigung des ökologischen Gleichgewichts)

- der kriminelle oder terroristische Missbrauch der Nanotechnologie

- die schwer zu überwachende militärische Anwendung

Neben den Wissenslücken über mögliche Risiken der Nanotechnologien gibt es einige konkrete Hinweise auf potenzielle Gesundheitsgefahren durch Nanopartikel. So können diese beispielsweise die Biomembranen und die obersten Hautschichten durchdringen, die Blut-Hirn-Schranke sowie die Luft-Blut-Gewebeschranke in der Lunge überwinden oder entlang von Nervenfasern wandern.

Diese Aussagen gelten nicht pauschal für alle Nanopartikel im selben Mass, sondern müssen immer von Fall zu Fall untersucht werden. Ein nicht zu unterschätzender Risikofaktor ist deshalb auch die im Vergleich zur Weiterentwicklung der Technologien langsame Entwicklung der analytischen Untersuchungsmethoden. Die Wahrscheinlichkeit, kurz- und langfristige Risiken im Umgang mit Nanotechnologien nicht zu erkennen, wächst damit.



Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das bestehende Wissen über Gefährdungen der Gesundheit und der Umwelt bei weitem noch nicht ausreicht, um eine abschliessende Risikobeurteilung vorzunehmen. Eine drastische Verbesserung der Datenlage tut Not!

Risiken müssen intensiver untersucht werden

Weltweit entwickelt sich eine enorme Anzahl Aktivitäten, um mögliche Risiken der Nanotechnologien zu erforschen und die Resultate zu kommunizieren. Eine Vorreiterrolle übernehmen hier die EU und die USA, aber auch nationale Institutionen mit zahlreichen Projekten. Als Beispiele seien genannt:

- Nanosafe2 (EU), mit dem Ziel, ein Risikoanalyse- und Managementtool für eine sichere industrielle Produktion von Nanopartikeln zu entwickeln
- Impart (EU), zur Förderung der Zusammenarbeit zwischen bestehenden regionalen, nationalen und internationalen Förderorganisationen
- Nanoderm (EU), zur Untersuchung der Aufnahme von Nanopartikeln durch die Haut
- The National Nanotechnology Initiative NNI (USA); diese hat sich u.a. auch die Aufgabe gestellt, die verantwortungsvolle Entwicklung der Nanotechnologien zu unterstützen
- Project on Emerging Nanotechnologies (USA) zur Schliessung von Lücken im Wissen und in den Regulierungsprozessen

Auch in der Schweiz werden die Aktivitäten erfasst und gebündelt. Ein Aktionsplan für das weitere Vorgehen wird entwickelt. Zur Vorbereitung dieses Aktionsplans wurde von BAFU und BAG eine Studie in Auftrag gegeben, um die potenziellen Risiken synthetischer Nanopartikel zu untersuchen, zu beurteilen und, wo nötig, Massnahmen vorzuschlagen. Die Ergebnisse dieser

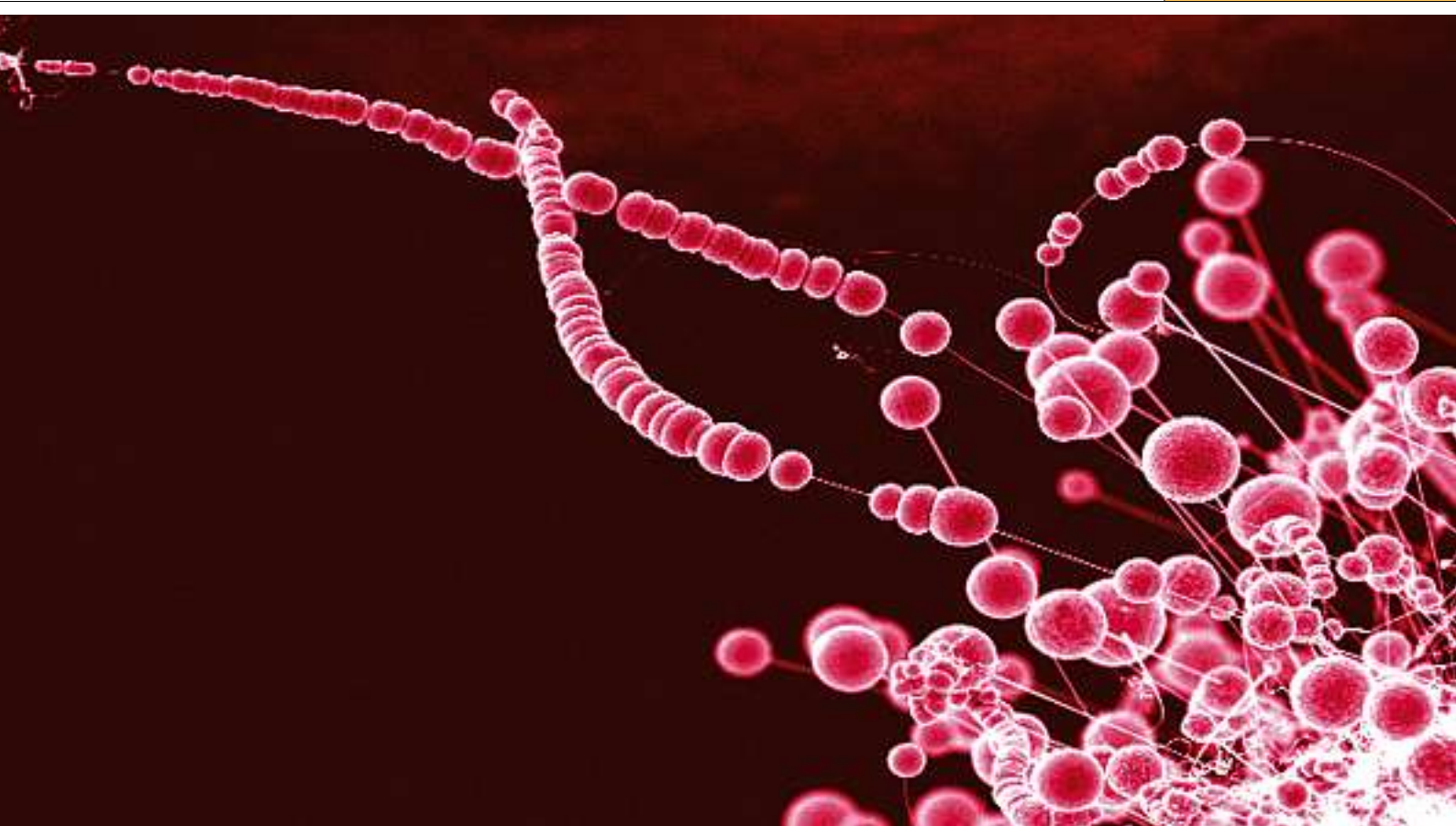
Eine Einteilung der Befürworter und Gegner der Nanotechnologie in Schönredner und Schlechtmacher ist der Komplexität der Materie nicht angemessen und sollte tunlichst vermieden werden.

Studie wurden kürzlich veröffentlicht («Synthetische Nanomaterialien. Risikobeurteilung und Risikomanagement. Grundlagenbericht zum Aktionsplan. 2007. 284 S.» Download möglich unter www.bafu.admin.ch/publikationen/index.html).

Sachliche Information und Diskussion

Eine Einteilung der Befürworter und Gegner der Nanotechnologien in Schönredner und Schlechtmacher ist der Komplexität der Materie nicht angemessen und sollte tunlichst vermieden werden. Eine zu dogmatische Diskussion von allen Seiten leistet nur Fehlentscheidungen Vorschub, welche nicht oder nur schwierig wieder korrigiert werden

5 | «Tintenfische» aus einem Gallium-Ball, Silizium-Kristall und Siliziumoxid-Nanodrähten.



können. Ein sachlicher, offener und ehrlicher Informationsaustausch sowie eine auf Fakten basierende Diskussion unter allen Beteiligten und Betroffenen sind zwingende Voraussetzungen für eine verantwortungsbewusste und kontrollierbare Entwicklung der Nanotechnologien.

Verantwortungsbewusster Umgang mit Nanotechnologien ist vordringlich

Die laufenden Untersuchungen bringen erstes Licht ins Dunkel, eine umfassende und zukunftsweisende Aufklärung aller mit den Nanotechnologien verbundenen Unsicherheiten und Risiken ist aber nicht unmittelbar in Sicht.

Die weltweite Erforschung und Weiterentwicklung der Möglichkeiten auf der Nanoskala lässt sich nicht aufhalten. Die Nutzung der zweifellos vorhandenen positiven Potenziale darf aber nicht zur unkalkulierbaren Gefährdung von Mensch und Umwelt führen. Damit wird der verantwortungsbewusste Umgang mit den Nanotechnologien zur vordringlichen Aufgabe aller Beteiligten:

- staatliche Stellen: aktive Förderung und Internationalisierung von Standardisierungs-, Melde- und Regulationsverfahren sowie Kennzeichnungspflicht; Erarbeiten von Kommunikationsstrategien, Festlegen von Forschungsstrategien und Förderprogrammen für die Erforschung der möglichen Risiken
- Forschung: forcierte kritische Untersuchung möglicher negativer Implikationen für Mensch

und Umwelt bei der Erforschung und Entwicklung neuer nanotechnologischer Ansätze; aktive Erforschung möglicher Risiken im internationalen Forscherverbund

- Industrie: Solange keine offiziellen Regulationen und Vorschriften für die Handhabung und Anwendung der Nanopartikel existieren, sollte die Entwicklung, Produktion und Anwendung von Nanomaterialien eigenverantwortlich durch freiwillige Selbstkontrolle und Kennzeichnung der Produkte gesichert werden

Weltweit entwickelt sich eine enorme Anzahl Aktivitäten, um mögliche Risiken der Nanotechnologien zu erforschen und die Resultate zu kommunizieren. Die Ergebnisse einer Studie im Auftrag von BAFU und BAG liegen vor.

- Endverbraucher: Sie müssen sich zu Wort melden, z.B. um Kennzeichnungspflicht zu verlangen und neue Entwicklungen kritisch zu hinterfragen. Von ihrer Akzeptanz wird letztendlich die Markteinführung neuer Produkte abhängen. ■

6 | Germanium-
«Perlenkette».