



---

# Nanotechnologien in der Landwirtschaft und im vor- und nachgelagerten Bereich

## Bericht der Arbeitsgruppe Nanotechnologien

Juli 2008

---

### Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Definition Nanotechnologie und Nanomaterialien.....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Akzeptanz in der Öffentlichkeit.....</b>	<b>7</b>
4.1	Beurteilung der Risiken .....	7
4.2	Forderung einer Produktdeklaration .....	8
4.3	Industrie setzt auf Selbstkontrolle .....	9
4.4	Vergleich mit neuen Technologien.....	9
4.5	Konsumentenverhalten .....	10
4.6	Kann mit Information die Skepsis überwunden werden?.....	10
<b>5</b>	<b>Anwendung der Nanotechnologie in der Landwirtschaft und im vor- und nachgelagerten Bereich .....</b>	<b>11</b>
5.1	Biotechnologie.....	11
5.2	Anbautechnik/Sensorik .....	11
5.3	Pflanzenschutz.....	11
5.4	Tiergesundheit/Tierzüchtung.....	12
5.5	Futtermittel .....	12
5.6	„Nano-outside“.....	13
5.7	„Nano-inside“: Einsatz in Lebensmitteln .....	14
5.8	Umwelt .....	17
<b>6</b>	<b>Nanotechnologien als Herausforderung für KMU .....</b>	<b>22</b>
<b>7</b>	<b>Sicherheitsaspekte, Gesetzliche Regelung.....</b>	<b>22</b>
7.1	Rechtliche Bestimmungen .....	23
7.2	Risikoforschung.....	23

7.3	Lebensmittel .....	24
7.4	Schutz bei der Herstellung und Verwendung .....	25
7.5	Bedeutung für Umweltrisiken .....	25
7.6	Lebenszyklusbewertung .....	25
7.7	Übernahme von Eigenverantwortung bei der Industrie .....	25
<b>8</b>	<b>Handlungsbedarf und -empfehlungen .....</b>	<b>27</b>
<b>9</b>	<b>Einschätzung der Entwicklungstrends .....</b>	<b>29</b>
<b>10</b>	<b>Aktuelle Aktivitäten von Agroscope im Bereich Nanotechnologien .....</b>	<b>30</b>
10.1	ACW .....	30
10.2	ALP .....	30
10.3	ART .....	32
<b>11</b>	<b>Handlungsbedarf für Agroscope .....</b>	<b>34</b>
11.1	Künftige Aktivitäten im Bereich Nanotechnologien im Hinblick auf Steuerung und Wissensgenerierung und -transfer in der Schweiz .....	34
11.2	ALP .....	35
11.3	ART .....	35
<b>12</b>	<b>Anhang 1 .....</b>	<b>37</b>
12.1	Transport von Nanopartikeln (NP) im Boden .....	37
12.2	Natürliches Vorkommen von Nanopartikeln (NP) .....	37
12.3	Analytik von Nanopartikeln (NP) .....	37
<b>13</b>	<b>Anhang 2 .....</b>	<b>39</b>
13.1	Zusammensetzung der Arbeitsgruppe .....	39
13.2	Tätigkeiten der Arbeitsgruppe .....	39
<b>14</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>40</b>
<b>15</b>	<b>Pressespiegel .....</b>	<b>46</b>

# 1 Zusammenfassung

Nanotechnologie befasst sich mit Strukturen, die typischerweise zwischen 1 und 100 nm gross sind. Sie macht sich charakteristische Effekte und Phänomene zunutze, die im Übergangsbereich zwischen atomarer und mesoskopischer Grössenordnung auftreten. Nanotechnologie bezeichnet die gezielte Herstellung und/oder Manipulation einzelner Nanostrukturen. Synthetische Nanomaterialien sind absichtlich hergestellte Materialien mit strukturellen Bestandteilen, die in mindestens einer äusseren oder inneren Dimension nanoskalig sind. Synthetische Nanopartikel sind gezielt hergestellte Teilchen, welche typischerweise in mindestens zwei Dimensionen zwischen 1 und 100 nm gross sind.

Nanotechnologie ist ausgesprochen interdisziplinär. Sie betrifft fast sämtliche Wissensbereiche und Techniksparten, von der Physik, Chemie und Biologie bis zu den Materialwissenschaften, der Energietechnik, dem Verkehrswesen, der Informatik, der Umwelttechnik, der Textilbranche, der Kosmetik, der Nahrungsmittelbranche und der Medizin. Mit der Technologie lassen sich kleinere, schnellere, leistungsfähigere oder „intelligenter“ Systemkomponenten für Produkte mit deutlich verbesserten und zum Teil gänzlich neuartigen Funktionalitäten mit aussergewöhnlichen Materialeigenschaften realisieren.

Nach Aussagen von Experten/innen wird die Nanotechnologie eine Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts. Noch besteht jedoch aufgrund der hohen Preise der Nanomaterialien sowie des noch nicht vollständig abschätzbaren Risikos für Mensch und Tier ein Hemmnis in der breiten Umsetzung und Anwendung. Nach Prognosen wird jedoch im Jahr 2015 fast jede Industriebranche von Nanotechnologie-Anwendungen durchdrungen sein. Aktuell investieren Regierungen und Industrie weltweit jährlich über 12 Milliarden US Dollar in Nanotechnologie F&E. Zur Zeit sind über 500 Produkte aus 25 Ländern auf dem Markt. Es wird erwartet, dass sich die globale wirtschaftliche Produktion im Zusammenhang mit der Nanotechnologie bis zum Jahr 2014 auf 2,6 Billionen US Dollar ausweitet.

Die Bevölkerung in der Schweiz weiss noch wenig über die Nanotechnologien. Entsprechend ihrem geringen Bekanntheitsgrad in der Öffentlichkeit sind in der Auseinandersetzung mit der neuartigen Technologie keine verhärteten Fronten auszumachen. Die Nanotechnologie wird zwar kritisch wahrgenommen, jedoch nicht grundsätzlich abgelehnt. Selbst Skeptiker schliessen nicht aus, dass sie Lösungen für bedeutende Probleme – namentlich in der Medizin und für den Umweltschutz – bereithalten könnten. Die grössten Vorbehalte wurden jedoch gegenüber nanotechnologisch veränderten Lebensmitteln geltend gemacht und zwar aufgrund eines ungünstigen Verhältnisses von Nutzen gegenüber den Risiken.

Synthetische Nanopartikel unterliegen den entsprechenden rechtlichen Bestimmungen. In den einzelnen Regulierungsbereichen bestehen jedoch keine partikelspezifischen Anforderungen. Es gibt daher erhebliche Rechtsunsicherheiten, die einerseits dazu führen können, dass mögliche Risiken für die Gesundheit und die Umwelt nicht erkannt und durch geeignete Massnahmen minimiert werden können. Andererseits kann sich diese Rechtsunsicherheit innovationshemmend auswirken, da das Interesse der Wirtschaft gering ist, in die Entwicklung von Nanotechnologien oder Nanopartikel enthaltende Produkte zu investieren, solange nicht absehbar ist, welche rechtlichen Anforderungen zu erfüllen sind oder welche Restriktionen eventuell auf die Hersteller zukommen. Insgesamt zeigt sich, dass für eine abschliessende Risikobeurteilung und Regulierung von synthetischen Nanopartikeln die wissenschaftlichen und methodischen Grundlagen noch nicht ausreichen. Zur Zeit wird vor allem auf die Selbstkontrolle in der Industrie und im Gewerbe und auf einen Verhaltenskodex in der Forschung gesetzt.

Weltweit können zunehmend Aktivitäten festgestellt werden, die sich mit den Chancen und Risiken und einem verantwortungsvollen Umgang mit Nanomaterialien auseinandersetzen. In der Schweiz wurde dazu der „Aktionsplan Synthetische Nanomaterialien“ erarbeitet. Im Rahmen der Nationalen Forschungsprogramme wurde kürzlich das NFP „Chancen und Risiken von Nanomaterialien“

gutgeheissen. Im Herbst 2008 wird die TA-Swiss Studie „Nanotechnologie im Bereich der Lebensmittel“ veröffentlicht.

Aufgrund der bestehenden Unsicherheiten über Risiken, Regulierungsbedarf und Kundenakzeptanz sowie der zurückhaltenden Informationspolitik der Industrie entlang der Ernährungskette, ist es nicht weiter erstaunlich, dass im Bereich Ernährung wenig konkrete Anwendungen von Nanotechnologien aufgezählt werden können. Die aktuelle Situation ist geprägt durch sich stetig weiterentwickelnde Teilkenntnisse in Spezialgebieten, Spekulationen über mögliche Entwicklungen durch die Industrie, weitgehende Unkenntnis über die Auswirkungen der Technologie auf Mensch, Tier und Umwelt sowie durch eine Vielzahl von Visionen. Befürworter der Technologie erkennen in den Visionen ein riesiges Potential an Chancen; bei den Ablehnern schüren sie Ängste.

Über die aktuelle Anwendung von Nanotechnologie und synthetischen Nanomaterialien in der Schweizer Landwirtschaft und seinen vor- und nachgelagerten Bereiche gibt es wenig fundierte Aussagen. Am weitesten fortgeschritten scheint die Technologie bei den Lebensmittelverpackern. Weitere Beispiele finden sich bei Lebensmitteln, hier vor allem bei Wellness- und Sportprodukten. Über Anwendungen bei Pflanzenschutzmitteln können zur Zeit keine eindeutigen Aussagen gemacht werden, da die vermeintlichen Belege noch widersprüchlich scheinen. Es ist zu erwarten, dass Entwicklungsfortschritte in Medizin, Informationstechnologie, Sensorik und Analytik zu zahlreichen Innovationen in der Landwirtschaft - wie zum Beispiel in der Tiermedizin, Präzisionslandwirtschaft, Rückverfolgbarkeit/Nachweisbarkeit und im Monitoring - führen wird.

Nanopartikel sind chemisch-physikalisch zu divers um als Einheit betrachtet zu werden. Das Umweltverhalten, die Exposition und Effekte auf Organismen müssen für einzelne Klassen von Nanopartikeln separat verstanden und beurteilt werden. Bezüglich der Verteilung in der Umwelt sind zwar einige wichtige Prozesse erkannt, jedoch noch nicht soweit verstanden oder quantifizierbar, dass generelle Voraussagen möglich wären. Zur Zeit wird von einer geringen Umweltbelastung durch synthetische Nanopartikeln ausgegangen.

Aktuelle Aktivitäten von Agroscope im Bereich Nanotechnologien und Nanopartikel umfassen Foresight, Informationsbeschaffung, Vernetzung und Umweltforschung. ACW setzt dies mit dem neuen Projekt „Auswirkung neuer Technologien und Rahmenbedingungen auf Qualität und Sicherheit landwirtschaftlicher Produkte“ um. ALP hat sich an zahlreichen Tagungen über die aktuelle Situation im Einsatz von Nanotechnologien in der Lebensmittelindustrie, in Lebensmittelverpackungen und Lebensmitteln sowie bei Gesundheitsuntersuchungen und der Umweltrelevanz informiert. Erste Ergebnisse sind die Absichtserklärung von ALP, sich an der Nano-Tera.ch zu beteiligen und eine geplante Zusammenarbeit, möglicherweise im Bereich Verpackungen und biozide Oberflächen, mit der Universität Fribourg. ART bearbeitet gegenwärtig drei Forschungsprojekte zum Thema Umwelt und Nanopartikel. Im Fokus steht Russ, also ungewollt, beziehungsweise unbewusst in die Natur abgegebene Kohlenstoff-Nanopartikel. Zudem beteiligt sich ART an Forschungskonsortien, die sich im weiteren Sinne mit der Nanotechnologie beschäftigen und versucht sich über Drittmittel Know-how in den neuen Technologien anzueignen.

Für Agroscope könnte sich bei verschiedenen Massnahmen eine aktive Beteiligung an der Umsetzung des „Aktionsplans Synthetische Nanomaterialien“ als wünschenswert und sinnvoll erweisen: z.B. beim Kommunikationskonzept, beim Einsatz in bestehenden Dialogplattformen beziehungsweise der Initiierung von neuen, beim Erfassen der Informationsbedürfnisse der Konsumenten/innen und beim Prüfen von Produktdeklarationen, beim Erstellen eines Risikorasters und die der Risikoforschung und eventuell im Bereich Terminologie, Normen, Mess- und Prüfmethode. Zudem ist eine Teilnahme am neuen Nationalen Forschungsprogramm zum Thema „Chancen und Risiken von Nanomaterialien“ anzustreben. Für ART besteht Forschungspotenzial insbesondere in den Bereichen des Nachweises von Nanopartikeln in der Umwelt, sowie der Aufnahme und Wirkung von Nanopartikeln auf Bodenorganismen und Kulturpflanzen. Die Forschungsaktivitäten sollen weiterverfolgt werden, insbesondere mit einem schrittweisen Ausbau des Know-hows auf synthetische Nanopartikel.

## 2 Einleitung

Die Erfindung der rastermikroskopischen Methoden im Verlaufe der 80er Jahre, eröffnete nicht nur neue Bereiche der Beobachtung. Sie bietet auch bisher ungeahnte Möglichkeiten, die Materie auf der Stufe der Atome, Einzelmoleküle und Atomgruppen, lokal zu beeinflussen und zu transformieren. Dies öffnet den Weg zu einer bis ins Kleinste verfeinerte Strukturierung von Oberflächen, zu einer extremen Miniaturisierung von elektronischen Komponenten, zu einem vertieften Verständnis von Vorgängen an Phasengrenzen (NFP36 2000) und damit zur Produktion von einer Vielzahl an Materialien und Produkten mit atomarer Präzision. Unter Nanotechnologie werden jene Materialien und Strukturen zusammengefasst, die gezielt mit technischen Prozessen in Dimensionen zwischen 1 und 100 nm hergestellt werden.

Nach Aussagen von Experten/innen wird die Nanotechnologie eine Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts. Nanotechnologie ist ausgesprochen interdisziplinär. Sie betrifft fast sämtliche Wissensbereiche und Techniksparten - von der Physik, Chemie und Biologie bis zu den Materialwissenschaften, der Energietechnik, dem Verkehrswesen, der Informatik, der Umwelttechnik, der Textilbranche, der Kosmetik, der Nahrungsmittelbranche und der Medizin. Mit der Technologie lassen sich kleinere, schnellere, leistungsfähigere oder „intelligentere“ Systemkomponenten für Produkte mit deutlich verbesserten und zum Teil gänzlich neuartigen Funktionalitäten mit aussergewöhnlichen Materialeigenschaften realisieren.

Die Schweiz zählt sich neben der USA, Japan und Deutschland zu den führenden Nationen der Nanotechnologie, wobei sich die EMPA bei den führenden Institutionen in der Risikoforschung sieht. Das „Swiss Nanoscience Institute“ (SNI) geht aus dem Nationalen Forschungsschwerpunkt (NFS) Nanowissenschaften hervor und bildet einen universitären Forschungsschwerpunkt an der Universität Basel. Von hier aus wird ein Netzwerk aus Hochschulinstituten, Bundesforschungsanstalten und Industriepartnern gesteuert, in dem Wissenschaftler verschiedenster Disziplinen eng zusammen arbeiten. Die verschiedenen Forschungsgruppen konzentrieren sich dabei auf die sieben Themenschwerpunkte: Nanobiologie, Quantencomputer und Quantenkohärenz, Atomare und molekulare Nanosysteme, Molekulare Elektronik, Funktionale Materialien und hierarchische Selbstorganisation, Nanotechnologie und Anwendungen und Nanoethik.

Die Synthese von Nanopartikeln im technischen Massstab wird schon seit Jahrzehnten durchgeführt. Mit der zunehmenden Produktion und dem Einsatz von synthetischen Nanopartikeln ist künftig auch mit einem vermehrten Eintrag in Boden, Wasser und Luft zu rechnen. Nanopartikel können auch Nebenwirkungen haben, die sehr genau gegenüber den Vorteilen der Materialien abgewogen werden müssen, bevor diese in die Umwelt entlassen werden. Im Verhältnis zu den natürlichen und den nicht gezielt erzeugten Partikeln ist der Anteil von synthetischen Nanopartikeln in der Umwelt derzeit vernachlässigbar klein. Dennoch müssen die mögliche Einwirkung auf lebende Organismen, ihre Aufnahme und der Transport in und durch Zellen hindurch rechtzeitig erforscht werden, damit nachteilige Auswirkungen frühzeitig erkannt werden können. Derzeit sind Langzeiteffekte noch nicht abzuschätzen. Aus berufsbedingten Expositionen sowie epidemiologischen Studien ist jedoch bekannt, dass Stäube Erkrankungen hervorrufen können. Jüngste Studien mit Zellen in Kultur und Tieren haben gezeigt, dass es durchaus Zusammenhänge zwischen der Partikelgrösse sowie ihrer Beschaffenheit mit ihren gesundheitlichen Auswirkungen gibt. Nanopartikel erzeugen bei gleicher Masse aufgrund der grösseren Oberfläche stärkere Effekte als grössere Partikel.

## 3 Definition Nanotechnologie und Nanomaterialien

Die meisten derzeit existierenden Definitionen und Definitionsansätze haben die folgenden Merkmale gemeinsam:

- Größenbereich (kleiner als 100 Nanometer);
- Größenspezifische Effekte, d.h. neue Eigenschaften und Funktionalitäten insbesondere

aufgrund einer großen Oberfläche / Volumen-Verhältnisses und dem Wirksamwerden von Quanteneffekten;

- Manipulations-/Konstruktionsansätze, d.h. gezielte Manipulation und Herstellung von Nanostrukturen auf atomarer/molekularer Ebene unter Verwendung eines Top-Down bzw. Bottom-Up-Ansatzes.

Bei dem Definitionsvorschlag des American Chemistry Council (ACC) handelt es sich um den aktuellsten und bislang umfassendsten Ansatz zur Definition von synthetischen Nanomaterialien. Dabei sind auch bereits Aspekte eingeflossen, die im Zuge der internationalen Standardisierungsaktivitäten auf ISO- und OECD-Ebene bei der Definition von Nanomaterialien behandelt wurden. Synthetische Nanomaterialien sollten demnach wie folgt definiert und abgegrenzt werden:

"An Engineered Nanomaterial is any intentionally produced material that has a size in 1, 2, or 3-dimensions of typically between 1-100 nanometers. It is noted that neither 1 nm nor 100 nm is a "bright line" and data available for materials outside of this range may be valuable. Buckyballs are also included even though they have a size <1nm.

Exclusions:

1. Materials that do not have properties that are novel/unique/new compared to the non-nanoscale form of a material of the same composition.
2. Materials that are soluble in water or in biologically relevant solvents. Solubility occurs when the material is surrounded by solvent at the molecular level. The rate of dissolution is sufficiently fast that size is not a factor in determining a toxicological endpoint.
3. For those particles that have a particle distribution such that exceeds the 1-100 nm range (e.g. 50-500 nm) if less than 10% of the distribution falls between 1-100 nm it may be considered as non Engineered Nanomaterial. The 10% level may be on a mass or surface area basis, whichever is more inclusive.
4. Micelles and single polymer molecules.

Inclusions:

1. Aggregates and agglomerates with size >100 nm if breakdown may occur creating particles in the 1-100 nm range during the lifecycle."

Im „Aktionsplan Synthetische Nanomaterialien“ werden Nanotechnologie, synthetische Nanomaterialien und -partikel wie folgt definiert:

- Nanotechnologie: Nanotechnologie befasst sich mit Strukturen, die typischerweise zwischen 1 und 100 nm groß sind. Sie macht sich charakteristische Effekte und Phänomene zunutze, die im Übergangsbereich zwischen atomarer und mesoskopischer Größenordnung auftreten. Nanotechnologie bezeichnet die gezielte Herstellung und/oder Manipulation einzelner Nanostrukturen;
- Synthetische Nanomaterialien: Absichtlich hergestellte Materialien mit strukturellen Bestandteilen (z.B. Kristallite, Fasern, Partikel), die in mindestens einer äusseren oder inneren Dimension nanoskalig sind, mit speziellen Eigenschaften oder spezieller Zusammensetzung typischerweise zwischen 1 nm und 100 nm;
- Synthetische Nanopartikel (NP): Gezielt hergestellte Teilchen, welche typischerweise (beabsichtigt oder unbeabsichtigt) in mindestens zwei Dimensionen zwischen 1 und 100 nm groß sind. Der Fokus der Risikodiskussion richtet sich insbesondere auf Anwendungen und Produkte mit (ungebundenen) synthetischen Nanopartikeln.

Im Zusammenhang mit der TA-Swiss Studie „Nanotechnologie im Bereich Lebensmittel“ hat das Öko-Institut weitere Definitionen zusammengetragen.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Bei der Definition der US-amerikanischen NNI (National Nanotechnology Initiative) handelt es sich um eine Formulierung, die in den USA sowohl von der FDA (Federal Drug Administration) als auch von der EPA (Environmental Protection Agency) aufgegriffen wurde:

"The National Nanotechnology Initiative (NNI) (...) calls it "nanotechnology" only if it involves all of the following:

## 4 Akzeptanz in der Öffentlichkeit

### 4.1 Beurteilung der Risiken

Die Bevölkerung in der Schweiz weiss wenig über die Nanotechnologien. Die Situation ist vergleichbar mit jener in der EU. An den Nanotechnologien sehr interessiert sind in der Schweiz nur gerade 12 % der Bevölkerung. Im Vergleich dazu ist das Interesse an der Medizin mit 65 % deutlich höher. Anlässlich des 2. Karlsruher Lebensmittelsymposium 2008 weist das Bundesinstitut für Risikobewertung darauf hin, dass das Thema Nanotechnologie konkreter und für die Bevölkerung in Deutschland fassbarer geworden ist, wird der Kenntnisstand der Bevölkerung von 2004 mit dem von 2007 verglichen.

Entsprechend ihrem geringen Bekanntheitsgrad in der Öffentlichkeit, liessen sich gemäss einer TA-Swiss Studie (Rey 2006) in der Auseinandersetzung mit der neuartigen Technologie keine verhärteten Fronten ausmachen. Bei der Diskussion um mögliche negative Folgen der Nanotechnologien wird auf Erfahrungen mit bereits bekannten Technologien zurückgegriffen (z.B. Asbest, Feinstaub, Mobilfunkstrahlung, Atomkraft). Die vielfältigen Erfahrungen auch mit Thalidomid, DDT, Waldsterben und Emissionen von Verbrennungsmotoren (oder genereller Feinstaubemittlern) führen zu einer kritischeren Einstellung gegenüber neuen Technologien als es vielleicht früher der Fall war. Die Nanotechnologie wird zwar kritisch wahrgenommen aber nicht grundsätzlich abgelehnt. Selbst Skeptiker schliessen nicht aus, dass sie Lösungen für bedeutende Probleme – namentlich in der Medizin und für den Umweltschutz – bereithalten könnten. Die grössten Vorbehalte wurden jedoch gegenüber nanotechnologisch veränderten Lebensmitteln geltend gemacht und zwar aufgrund eines ungünstigen Verhältnisses von Nutzen gegenüber den Risiken. Auch Meili (2005) macht geltend, dass

- 
1. Research and technology development at the atomic, molecular or macromolecular levels, in the length scale of approximately 1 – 100 nanometer range.
  2. Creating and using structures, devices and systems that have novel properties and functions because of their small and/or intermediate size.
  3. Ability to control or manipulate on the atomic scale. "

Die Definition des BMBF (deutsches Bundesministerium für Bildung und Forschung) lautet:

"Unter Nanotechnologie werden in diesem Zusammenhang der Aufbau, die Analyse und die Anwendung von funktionalen Strukturen, Molekülen oder auch inneren und äusseren Grenzflächen verstanden, die sich im Grösßenmaßstab unterhalb von 100 nm bewegen. Gleichzeitig müssen diese Strukturen neue Funktionen oder Eigenschaften besitzen, die unmittelbar an die Größenskala gekoppelt sind und so in der Makrowelt nicht realisierbar waren "

Das deutsche Umweltbundesamt geht von folgender Definition aus (vgl. UBA-Hintergrundpapier: „Chancen und Risiken der Nanotechnik für Mensch und Umwelt“):

"Unter Nanotechnik verstehen wir - in Anlehnung an die vom Büro für Technikfolgenabschätzung des Deutschen Bundestages (TAB) gegebene Definition - die Herstellung, Untersuchung und Anwendung von Strukturen (z.B. Partikel, Schichten, Rohren) in einer Dimension kleiner als 100 Nanometer (nm). Künstlich erzeugte Nano-Partikel und nanoskalige Systemkomponenten besitzen neue Funktionalitäten und Eigenschaften, die gezielt zur Entwicklung neuer Produkte und Anwendungen genutzt werden "

Definition der Forschungsstrategie der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) und des Umweltbundesamtes (UBA):

„Nanotechnologie bezeichnet die Herstellung, Untersuchung und Anwendung von Strukturen, molekularen Materialien, inneren Grenzflächen mit mindestens einer kritischen Dimension unterhalb 100 nm.“

„Unter Nanopartikel werden hier beabsichtigt hergestellte granuläre Partikel, Röhren und Fasern mit einem Durchmesser <100 nm (inklusive deren Agglomerate und Aggregate) mindestens in einer Dimension verstanden, die in biologischen Systemen eine geringe Löslichkeit zeigen. Aufgrund der bisherigen Kenntnisse sind insbesondere diese Partikel toxikologisch relevant.“

Am „Institute for Nanotechnology“ der „University of Stirling“ (GB) wurde 2006 ein Report mit dem Titel „Nanotechnology in Agriculture and Food“ erstellt, der über das Internetportal nanoforum.org erhältlich ist. Entsprechend des Titels der Studie wird der Begriff „Nanofood“ / Nano-Lebensmittel hier sehr weit gefasst:

"The definition of nanofood is that nanotechnology techniques or tools are used during cultivation, production, processing, or packaging of the food. It does not mean atomically modified food or food produced by nanomachines. "

Demnach handelt es sich bereits um ein Nano-Lebensmittel, wenn dieses bei der Produktion mit Nanomaterialien oder nanotechnologischen Methoden in Berührung gekommen ist, selbst wenn das fertige Produkt beim Verkauf keine Nanomaterialien enthält.

der Nutzen einer Technologie, den eine Person für sich ableitet, die Risikobereitschaft massgeblich beeinflusst.

Die von Laien wahrgenommene Bedrohung unterscheidet sich jedoch fundamental von der Einschätzung der Experten. Das heisst, sie bewerten die Vorteile der Nanotechnologien weniger positiv als die Experten. Laut einer neuen Umfrage in den USA galt dies für die Befragten bei den Gesundheitsproblemen jedoch nicht (NZZ 2007). In diesem Bereich sehen die Experten höhere Risiken als die Laien. Für den Laien spielen vor allem Kontext und Begleitumstände, in denen Risiken erlebt werden, eine Rolle (Meili 2005). Nach Meili bewegt sich die Wahrnehmung von Risiken im Schnittbereich von Wissenschaft, Emotionen und Medien. Die Angstfaktoren für die negative Wahrnehmung von Nanotechnologie wurden 2005 mit fehlenden Kenntnissen und Erfahrungen über die Risiken, Unsichtbarkeit, Unnatürlichkeit (man-made), Komplexität und grosses, negatives „Science-Fiction“-Potenzial umschrieben. Entscheidend für eine Akzeptanz einer neuen Technologie kann auch sein, inwieweit das damit verbundene Risiko unfreiwillig, ungerecht verteilt oder nicht vermeidbar ist (Swiss Re 2004). Letzteres kann mit einer Produktdeklaration insofern umgangen werden, indem die Konsumenten selbst entscheiden können, wie sie mit dem Risiko umgehen.

In neuen Technologien, Materialien, Produkten oder Produktionsweisen werden schnell einmal gesundheits- und umweltschädigende Wirkungen vermutet, obwohl diese nach heutigem Stand der Wissenschaft nicht eindeutig nachgewiesen werden können. Allein dieser Verdacht kann reale Folgen haben. Phantomrisiken sind real: in der Angst, die sie auslösen, in psychosomatischen Wirkungen, die sie hervorrufen, in der Gesetzesmaschinerie, die sie in Gang bringen. Phantomrisiken zeigen besonders deutlich, was auch für andere Risiken gilt: Nicht wie gross Risiken tatsächlich sind, sondern als wie gross sie empfunden werden, entscheidet<sup>2</sup>.

#### 4.2 Forderung einer Produktdeklaration

Lebensmittelkonzerne und pharmazeutische Firmen halten ihre Forschung und Entwicklung bedeckt und informieren die Öffentlichkeit kaum. In der TA-Swiss Umfrage wünschte sich jedoch eine grosse Mehrheit eine Deklarationspflicht für nanotechnologisch veränderte Lebensmittel (Rey 2006). Eine klare Kennzeichnung der Produkte wurde auch bei der „Verbraucherkonferenz“ in Deutschland als wichtigstes Resultat festgehalten (BfR 2006). Gesetzliche Regulierungen und Produktdeklaration werden demnach zu einer Voraussetzung, damit die Möglichkeiten neuer Technologien genutzt werden können. Zu diesem Schluss kommen die Veranstalter an der Zürcher Hochschule Winterthur anlässlich einer öffentlichen Debatte zu Chancen und Risiken der Nanotechnologie (TA-Swiss 2007). Die Deklaration soll einfach und klar kommunizierbar sein; z.B. ein Nano-Label in Anlehnung an das Bio-Label. Weitere Labels werden debattiert: Nano Inside Label, Nano Hazard Label (ETC group), Nano Product Label, Nano Quality Label und Nano Competence Label (TÜV Süd) (NanoRegulation 2007, T. Weidl). Durch das Anwendungsverbot von Nanomaterialien in „biologisch“ produzierten Kosmetikartikeln, Nahrungsmitteln und Textilien im Zertifikatslabel der englischen „Soil Association“ kann das Label als erstes „nano-free“ Symbol der Welt betrachtet werden (ETC Group, 2008).

Noch wichtiger als eine Deklaration ist jedoch, dass der Kunde darauf vertrauen kann, ein gesundheitlich unbedenkliches Produkt erwerben zu können. Unklare Produktbezeichnungen oder Verschleierung der angewandten Technologie wirken sich demnach kontraproduktiv auf den Erfolg einer neuen Technologie im Lebensmittelbereich aus. Trotzdem – drei Vertreter der Industrie (Novartis, L’Oreal, miVital AG) würden es nicht gerne sehen, wenn ihre Produkte mit dem Hinweis auf „Nano“ deklariert werden müssten (NanoRegulation 2007, Podiumsdiskussion). Sie gehen davon aus, dass der Begriff „Nano“ in der Bevölkerung negative Assoziationen auslöst. L’Oreal drohte, sie würde sich bei einer Deklarationspflicht aus der Nanotechnologie zurückziehen und konventionelle Sonnencreme verkaufen mit einem geringeren Schutz gegen Hautkrebs. (Dies provozierte aus dem

---

<sup>2</sup> <http://www.risiko-dialog.ch/Themen/Diverse/Phantomrisiken/111>

Publikum ein Vergleich mit dem früheren aggressiven Auftreten der Tabakindustrie.) Alle drei Firmen sehen mehr Chancen als Risiken in ihren Produkten. Sie scheinen aber nicht bereit, dies auch zu kommunizieren. Wie umstritten die Deklaration aufgrund fehlender Kenntnisse und einheitlicher Definitionen ist, zeigt der Fall miVital (Partner von MIGROS, actilife). In ihren Getränken werden fettlösliche Substanzen (Coenzym Q10, Vitamine) in eine wasserlösliche, mizellierte Form gebracht, was ihre Aufnahme über den Magen erheblich erhöht soll (NanoRegulation 2007, P. Schneider). Für miVital handelt es sich dabei nicht um eine Nanotechnologie, sondern um die Kopie eines natürlichen Vorgangs. In der Tat zählt das „American Chemistry Council“ Mizellen nicht zu den Nanomaterialien (siehe Kap. Definitionen). Trotzdem wurde miVital an der Konferenz als Beispiel für eine angewandte Nanotechnologie präsentiert, wobei nicht auf das Definitionsproblem hingewiesen wurde.

#### **4.3 Industrie setzt auf Selbstkontrolle**

Von der öffentlichen Forschung erhofft sich die Gesellschaft Lösungen zu drängenden Problemen. Die industrienaher Forschung und Wirtschaft wird dagegen kritischer betrachtet. Ihre Aktivitäten sollen kontrolliert und reguliert werden (Rey 2006). Diese Forderungen scheinen nicht unbegründet zu sein, wie eine Fallstudie der ETH zeigte (Rüegg 2006). Gemäss der Studie gaben dreiviertel der Firmen an, die Risiken der neuen Technologie und Produkte nicht abzuschätzen. Kaum eine Firma untersuchte die Aufnahme von Nanopartikeln durch Lebewesen. Auch die Toxizität der Produkte mit Nanoteilchen wurde kaum untersucht. Da scheint es fast paradox, dass die befragten Firmen vor allem auf Eigenverantwortung setzen und keine staatliche Regulierung wünschen.

Es muss jedoch auch eingestanden werden, dass sich die Industrie in einem Dilemma befindet. So setzt zum Beispiel die Firma NanoCover auf eine transparente Kommunikation mit der Öffentlichkeit und nimmt Verantwortung wahr, indem sie ihre Produkte auf Umweltverträglichkeit prüft (NanoRegulation 2007, D. Stark). NanoCover prüfte ihre Produkte gemäss dem OECD-Protokoll für den Test von chemischen Substanzen gegenüber lebenden Wasserorganismen. Ob diese Protokolle auch auf Nanomaterialien angewendet werden können wird zur Zeit jedoch wissenschaftlich debattiert. Im gleichen Konflikt steht auch der Verhaltenskodex und das Firmenbekenntnis zu einer verantwortungsvollen Sorgfaltspflicht (Responsible Care®) der BASF<sup>3</sup> (NanoRegulation 2007, C. Kranz). Gemäss Kodex vertreibt die BASF nur Produkte, wenn ihre Sicherheit und Umweltverträglichkeit nach dem Stand des Wissens und der Technik gewährleistet sind. Da die Sicherheitstests nur auf den aktuellen Wissensstand zugreifen können, und dieser allgemein als noch ungenügend betrachtet wird, wird von verschiedener Seite ein Verzicht auf die Anwendung von Nanotechnologien gefordert (siehe Kap. 7). Coop scheint diesen Weg zu gehen, denn die Supermarktkette erachtet bei den Lebensmitteln den Einsatz von gezielt veränderten Nanopartikeln als noch zu wenig erforscht und verzichtet deshalb zur Zeit auf deren Einsatz (Coopzeitung vom 12.12.2006). Allerdings nutzt sie ihre Hauszeitung, um der Öffentlichkeit die neue Technologie näher zu bringen und mit Nano-Care vertreibt sie ein „Nanoprodukt“ (Parkett-Schutz). Konzerne wie Nestlé, Kraft, Unilever und Pepsi Co sind gemäss Referenten der Euroforum-Fachtagung vom 30.08.2006 bereits dabei Nanotechnologien anzuwenden. Über die Anwendungsform herrscht in der Lebensmittelindustrie jedoch weitgehend Stillschweigen, um Vorteile gegenüber der Konkurrenz beizubehalten sowie um Konsumenten/innen nicht zu verunsichern.

#### **4.4 Vergleich mit neuen Technologien**

Obschon verschiedentlich Parallelen zur Gentechnik gezogen wurden, ist ein Moratorium für die Nanotechnologie zur Zeit kein Thema. Die Schweiz soll ihre Spitzenposition in der nanotechnologischen Forschung nutzen, um auch bei der Risikoforschung und bei Fragen der Regulierung international wegweisend zu sein (Rey 2006). Bereiche der Nanotechnologie, die

---

<sup>3</sup> [www.basf.de/dialogue-nanotechnology](http://www.basf.de/dialogue-nanotechnology)

Biotechnologie und mit ihnen die Synthetische Biologie werden jedoch in Zukunft kaum mehr zu trennen sein. So fordert die ETC Gruppe, dass im Dialog über Nanotechnologie die Synthetische Biologie mit einzubeziehen sei (ETC Group 2007). Mit dem Ziel künstliche Gene mit vollkommen neuartigen Eigenschaften zu entwickeln, wird die Synthetische Biologie in naher Zukunft für viel Gesprächsstoff und Handlungsbedarf sorgen. Bratschi *et al.* 2005 vermuten, dass die Nanotechnologie im Bereich der Veränderung von Nutzpflanzen in Europa mit ähnlichem Widerstand wie die Gentechnik zu rechnen hat, da die Unterschiede zwischen Nano-Food und Gen-Food von den Konsumenten nicht wahrgenommen würden.

#### **4.5 Konsumentenverhalten**

Der Produktpreis ist ein starkes Argument beim Einkauf. Es bestehen jedoch beträchtliche Unterschiede im Konsumentenverhalten verschiedener Länder. Bei gleichem Preis wurden ökologische produzierte Früchte den konventionellen und den GMO-Früchten vorgezogen. Waren die Bio-Früchte 15% teurer und die GMO-Früchte 15% billiger als die konventionellen, wurden über alle Kunden gesehen die billigeren Früchte bevorzugt gekauft. Dabei liessen sich jedoch die Dänen von ihrer Bevorzugung der Bio-Früchte durch den höheren Preis nicht beeinflussen, während die Neuseeländer sehr stark auf den Preis reagierten (Knight *et al.* 2007).

Aufgrund der relativ grossen Anzahl der vermarkteten „Nanoprodukte“ kann angenommen werden, dass die Konsumenten/innen solche Produkte kaufen. Aus Sicht der deutschen Verbraucherzentrale ist den Konsumenten jedoch meist nicht bewusst ob sie „Nanoprodukte“ kaufen (NanoRegulation 2007, M. Büning). So wird der Begriff „Nano“ bei Produkten aufgeführt, bei denen gar keine Nanotechnologien angewendet bzw. keine Nanomaterialien verwendet werden. Dagegen werden tatsächliche „Nanoprodukte“ häufig nicht als solche gekennzeichnet. Die Zentrale fordert daher klare Definitionen für den Begriff „Nano“, Transparenz und Deklaration sowie eine Marktüberwachung.

#### **4.6 Kann mit Information die Skepsis überwunden werden?**

Wissenschaftliche Studien haben praktisch keinen Einfluss auf die individuelle Risikowahrnehmung (Meili 2005). Die Betonung von Chancen anstelle von Risiken (vor allem in den Medien) könnte zu einer positiveren Einstellung gegenüber einer Technologie führen.

Gemäss einer amerikanischen Studie besteht ein leicht positiver Zusammenhang zwischen dem Kenntnisstand, den eine Person in Bezug auf die Nanotechnologie aufweist und ihrer Ansicht, dass die Chancen der Nanotechnologie die Risiken überwiegen (Kahan *et al.* 2007). Es könnte daraus abgeleitet werden, dass mit einer besseren Information die Skepsis überwunden werden kann. Dies konnte jedoch mit der Studie nicht bestätigt werden. Von den Personen, die anfänglich keine Kenntnis über Nanotechnologie hatten, bildete sich bei den einen eine positive und bei anderen eine negative Einstellung. Zudem können Personen, die ohne Kenntnisse eine positive Einstellung zur Nanotechnologie hatten, sehr wohl skeptischer werden, wenn sie eingehend über die Chancen und Risiken der Technologie informiert wurden.

Dagegen fand eine Studie der Agroscope (Pulver, 2007) über das Image von Betriebsgemeinschaften (BG) einen positiven Zusammenhang zwischen dem Wissen und der Einstellung: Wer mehr Bescheid weiss über BG, sieht eher Chancen in deren Anwendung. Zudem waren jüngere Befragte generell positiver eingestellt als ältere, was unter anderem auf eine positive Vermittlung durch die Schule zurückgeführt werden kann. Dies unterstützt die allgemeine Annahme, dass neue Technologien spätestens über den Generationenwechsel ihre Akzeptanz finden.

Aus einer Umfrage in der USA (2005–2007) ergaben sich drei Empfehlungen zu der Frage, wie das öffentliche Vertrauen in die Nanotechnologien verbessert werden kann: 1. Stärkere Transparenz und Offenlegung, 2. Prüfung der Sicherheit bevor das Produkt in den Handel kommt, 3. Prüfung und Forschung durch Dritte (NanoRegulation 2007, D. Rejeski).

## 5 Anwendung der Nanotechnologie in der Landwirtschaft und im vor- und nachgelagerten Bereich

Im Folgenden wird der Kenntnisstand über Anwendungen der Nanotechnologie im genannten Bereich skizziert. Die heterogene Darstellung, in der sich stichwortartige und relativ ausführliche Formulierungen ablösen, widerspiegelt die aktuelle Situation des Wissens. Sie ist geprägt durch sich ständig weiterentwickelnde Teilkenntnisse in Spezialgebieten, Spekulationen über mögliche Entwicklungen durch die Industrie, weitgehende Unkenntnis über die Auswirkungen der Technologie auf Mensch, Tier und Umwelt und Visionen. Speziell der Bereich der Visionen ist interessant. Befürworter der Technologie erkennen darin ein riesiges Potenzial an Chancen; bei den Ablehnern schüren sie Ängste. Es wird Aufgabe der Wissenschaft und der Kommunikationsspezialisten sein, Mögliches vom Unmöglichen zu trennen und richtig zu kommunizieren. Dieser Prozess findet gegenwärtig bei den Autoren und der Begleitgruppe der TA-Swiss Studie im Bereich der Lebensmittel statt. Ziel jener Studie ist es unter anderem der Öffentlichkeit ein klares Statement über sinnige und unsinnige (d.h. technisch nicht machbare) Entwicklungen abzugeben.

Wie schon erwähnt, sind zur Zeit über 500 Produkte aus 25 Ländern auf dem Markt, und die Zahl vergrössert sich laufend. Einen aktuellen Überblick über Nanotech-Produkte, gegliedert nach Ländern und Kategorien, gibt das „Project on Emerging Nanotechnologies“<sup>4</sup>.

### 5.1 Biotechnologie

Die Nanotechnologie wird zweifelsohne zu Weiterentwicklungen in der Biotechnologie und Synthetischen Biologie führen (ETC Group 2004, Bratschi *et al.* 2005). Eine Analyse der Situation würde jedoch den Rahmen des Berichts sprengen.

### 5.2 Anbautechnik/Sensorik

Sensoren könnten in der Krankheitsdiagnostik von Pflanzen dienen oder in der automatischen Bewässerung (im Weinbau) eingesetzt werden, indem sie Bodenfeuchte und Wärmeeinstrahlung über eine grosse Zahl von Aufnahmequellen registrieren.

Neben der Bekämpfung von Krankheiten sollen mit TiO<sub>2</sub>-Nanopartikel behandelte Pflanzen die Photosynthese erhöhen und das Wachstum fördern. Würth (2007) führt eine Reihe von Düngern und anderen landwirtschaftlichen Hilfsstoffen auf, welche entweder selber als Nanopartikel vorliegen oder zur Ummantelung, Bedeckung, Zementierung von Wirkstoffen dienen.

Ein auf Nanotechnologie basierender Bodenbinder soll Erosion verhindern (ETC Group 2004).

Visionen: „Plant health monitoring systems“, automatischer Pestizideinsatz, Erfassen des optimalen Erntezeitpunkts. Überwachung der Gesundheit bei Tieren. Überwachung des Tieraufenthalts (Alternative zur Kuhglocke). Nanosensoren in der Analytik (ETC Group 2004, Bratschi *et al.* 2005, Joseph and Morrison, 2006).

### 5.3 Pflanzenschutz

Anwendungen von Pflanzenschutzmitteln mittels Formulierungen im Nanometer-Bereich werden breit diskutiert und gemäss Joseph & Morrison 2006 scheinen mehrere Firmen Pestizid-Formulierungen mit Partikelgrössen zwischen 100-250 nm, bzw. Emulsionen mit Pestizidpartikeln zwischen 200-400 nm herzustellen – konkrete Produkte werden aber nicht genannt. Jedenfalls sind solche Produkte bereits durch mehrere Patente von der chemischen Industrie abgedeckt. So besitzt BASF ein Patent über

---

<sup>4</sup> <http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/browse/>

Nanopartikel mit darin enthaltenen Pflanzenschutzmitteln (BASF Patent WO/2003/039249). BAYER patentierte Mikroemulsionskonzentrate mit agrochemischen Wirkstoffen (BAYER Patent WO/2004/054360). Die Herstellung von Nanoemulsionen ist auch in der Literatur beschrieben (Wang et al. 2007). Solche oder ähnliche Emulsionen werden offenbar bei den Syngenta Produkten Primo MAXX (in der Schweiz registriert) und Banner MAXX eingesetzt. Während die im BAYER Patent genannte Tröpfchengrösse im Bereich von 10-400 nm liegen soll, haben die von Syngenta patentierten Mikrokapseln (Syngenta Patent WO/2000/005951), wie sie wohl in den Produkten mit Zeon-Technologie verwendet werden (z.B. Warrior oder Karate, letzteres in der Schweiz registriert), einen Durchmesser von wenigen Mikrometern<sup>5</sup> (Würth 2007).

Bei verkapselten Produkten löst sich die Kapsel auf und gibt den Inhalt frei, wenn die gewünschte Bedingung eintritt. „Zeon“-Produkte von Syngenta zeichnen sich durch starke Haftung der Kapseln an der Blattoberfläche aus. Ebenfalls denkbar ist deshalb die Vorbehandlung von Saatgut. Bei den Insektiziden (gutbuster) werden mehrere Vorteile gesehen: reduzierte Wirkstoffmenge, geringere Auswirkung auf die Umwelt, längere biologische Aktivität, geringerer Schaden an Kulturen, geringere Bindung im Boden, weniger Verlust durch Evaporation, verhinderter Abbau durch Sonnenlicht, reduzierte Wirkung auf andere Arten, einfachere Handhabung (nicht entzündlich). Nachteile sind: fehlende Lebenszyklusanalysen sowie Unkenntnis über Anreicherung in der Lebensmittelkette (ETC Group 2004; Joseph and Morrison, 2006).

Generell muss zwischen den transitorischen Eigenschaften der Materialien in Formulierungen, Spritzbrühe und permanent, auf Kultur und Erntegüter vorliegend, unterschieden werden. Die meisten organischen Wirkstoffe werden auf der Kultur durch Lösung, Diffusion, Absorption und andere Prozesse ihre eventuell vorhandenen Nanoeigenschaften verlieren. Sie fallen deshalb nur bezüglich der Formulierungseigenschaften unter die Definition der Nanopartikel, nicht aber nach der Anwendung. Risiken müssten allenfalls bei der Herstellung und Ausbringung der Pflanzenschutzmittel und weniger beim Produkt (behandeltes Lebensmittel) analysiert werden. Agroscope kommt, basierend auf dem aktuellen Kenntnisstand, zum Schluss, dass Nanopartikel im Bereich Pflanzenschutzmittel eine untergeordnete Rolle spielen.

#### **5.4 Tiergesundheit/Tierzüchtung**

Da Tiergesundheit und -züchtung nicht zu den Kernbereichen von Agroscope gehört, wurde auf eine gezielte Suche nach Anwendungen verzichtet. Es wird daher lediglich auf den Einsatz von Biochips (Microarray) zur Früherkennung von Tierkrankheiten und zum Einsatz in der Züchtung verwiesen (ETC Group 2004).

#### **5.5 Futtermittel**

Synthetische Zeolite, die in der Arbeit von Nowack und Bucheli (2007) erwähnt sind, werden seit Jahren als Zusatzstoffe in der Tierernährung eingesetzt. Die Gesundheit der Tiere, und indirekt über die Lebensmittel Milch, Fleisch und Eier die menschliche Gesundheit, könnten betroffen sein. „Zeolite sind als Zusatzstoffe in Futtermitteln als E 552 (Calciumsilikat, synthetisch) und E 554 (Natriumaluminiumsilikat, synthetisch) zugelassen. Über die Partikelgrösse liegen zur Zeit keine Unterlagen vor. Weitere Zusatzstoffe in Futtermitteln sind: 551a: Kieselsäure, gefällt und getrocknet; hierbei entstehen Primär-Partikel im Nano-Bereich, die ähnlich der pyrogenen Kieselsäure zu größeren Teilchen aggregieren und agglomerieren; E 551b: Siliziumdioxid, kolloidal; damit ist die pyrogene Kieselsäure gemeint, d.h. E 551 bei Lebensmitteln und E 551c: Kieselgur (Diatomeenerde, gereinigt); vermutlich nicht nanopartikulär“ (pers. Mitteilung Katja Moch, Öko-Institut, Freiburg).

An die Folien für die Ballensilierung werden hohe Ansprüche gestellt: Geringe Gasdurchlässigkeit,

---

<sup>5</sup> [http://www.syngenta.com/en/day\\_in\\_life/microcaps.aspx](http://www.syngenta.com/en/day_in_life/microcaps.aspx)

hohe Stretcheigenschaften, hohe UV-Stabilität. Es wäre denkbar, dass hier mit Nanotechnologien die Folieneigenschaften verbessert werden könnten. Bis jetzt sind diesbezüglich keine Hinweise vorhanden. Möglicherweise sind die Herstellungskosten momentan zu hoch.

## 5.6 „Nano-outside“

Auf dem 2. Karlsruher Lebensmittelsymposium „Nano4Food“ (KALS) postulierte Prof. Berghofer von der Universität für Bodenkultur in Wien die Zukunft der Nanotechnologie in Verbindung mit Lebensmitteln vor allem im Zusammenhang mit Verpackungen und Oberflächenbeschichtungen von Verpackungen oder Oberflächen, die mit Lebensmitteln in Kontakt kommen. Für Verpackungen bedeutet das den Zusatz an Nano-Additiven, Nano-Kompositen oder nanostrukturierten Materialien zu Lebensmittelverpackungen. Ziel dabei ist das Einbringen von aktiven Stoffen in die Verpackung (z.B. enzyme packaging), Veränderung der Benetzungseigenschaften, bessere Barriereigenschaften (z.B. Nano-Titandioxidpartikel), Barriereigenschaften trotz Durchsichtigkeit der Verpackung, verbesserte Stabilität (z.B. Hitzeresistenz) und mikrobizide Wirkung (Nano-Silber).

### 5.6.1 Verpackungen

Seitens Verpackungsindustrie besteht ein Interesse an lebensmittelechten, aktiven Verpackungen (antihaft, antifog, antimikrobiell), an der Optimierung der Barriereigenschaften von Verpackungen für eine längere Haltbarkeit, sichereren Verpackungen sowie eine bessere Rückverfolgbarkeit der Produkte und einer Optimierung der Fixierung der Druckfarbe auf Verpackungen.

Im Bereich antimikrobieller Verpackungen steht der klare Nutzen offener Fragen der Gesundheitsfolgen (Übergang von Nanopartikeln auf Lebensmittel und ihre Wirkung), der Entsorgungsproblematik sowie der unklaren Zulassungssituation („ob“ und „wie“ sollen Verpackungen deklariert werden) gegenüber.

Für die Verpackungsindustrie ist die Anwendung von Nanopartikeln, die als Füllstoff in Kunststoffe und Lackschichten eingebunden (Behälter) oder als Beschichtungen auf Polymeroberflächen fest aufgetragen werden (Folien) von grossem Interesse. In Kunststofffolien und -behälter eingearbeitete Nanopartikel aus Tonerde, Siliziumdioxid, Zinkoxid oder Titandioxid machen solche Folien-Verpackungen reiss- und schlagfester.

Der Anteil von Kunststoff bei den Lebensmittelverpackungen nimmt durch eine deutliche Verbesserung der Barriereigenschaften von Polymeren gegenüber der Permeation von qualitätsrelevanten Substanzen, wie Sauerstoff, Wasserdampf, aber auch Aromastoffen, organischer Kontaminanten und UV-Strahlung stetig zu.

Eine Nanoinnenbeschichtung bei Flaschen und Dosen kann z. B. den Verlust von Kohlensäure verhindern und damit wiederum die Haltbarkeit eines Getränkes verlängern. Für kohlenensäurehaltige Getränke gibt es z.B. eine PET-Flasche mit einer zehn Nanometer dicken Glasbeschichtung auf der Innenseite, welche die Gasdurchlässigkeit senkt (Barriereigenschaften). Weitere Anwendungen betreffen Aussenbeschichtungen und Multilayer-Anwendung.

An einem Workshop (31.05.2006) in Freising haben verschiedenen Firmen ihre Sichtweisen in Bezug auf die Nanotechnologie diskutiert: Seitens *Fa. Henkel KGaA* besteht ein Interesse an einer Modifikation (Optimierung) von Klebstoffen, was die Kenntnis der Oberflächen der Zukunft voraussetzt. Henkel sieht die Erwartungen des Endverbrauchers in besseren Verbunden. Für die *Molkerei Meggle* ist die Nanotechnologie im Bereich der Herstellung von Transport- und Trägerstoffen für die pharmazeutische Industrie ein Thema. Zudem sei in der Verpackungsindustrie eine Optimierung der Barriereigenschaften für Hersteller von Frischprodukten sowie eine Fixierung der Druckfarbe von Interesse. Dabei steht jedoch für die Molkerei Meggle die Gesundheit der Verbraucher im Vordergrund. Für die *Tetra Pak GmbH* könnte eine Beschichtung der Verpackungsmaschinen mit Silber-Nanopartikeln, die gute antimikrobiologische Eigenschaften aufweisen, für eine Verbesserung

der Reinigung und Hygiene von Interesse sein. Entscheidend bei all dem ist die Toxikologie, denn die Gesundheit der Verbraucher steht für Tetra Pak im Vordergrund. *Alkan Packaging Services AG* sieht einen grossen Nutzen der Nanotechnologie für Barrierefilme zur Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit.

In der Verpackungstechnologie stösst man häufig auf den Begriff der „intelligenten Verpackung“. Sie ist in der Lage den Zustand des verpackten Lebensmittels zu überwachen sowie Informationen über dessen Qualität während des Transportes und der Lagerung zu liefern. Sie besitzt einerseits einen internen oder externen Indikator, dessen Aufgabe die Auskunft über die Einflüsse, denen das Packgut im Laufe seines Lebens ausgesetzt war und dessen momentane Qualität zu geben<sup>6</sup> (Kastner et al. 2007). Unter der „Elektronischen Zunge“ werden Verpackungen mit eingearbeiteten Nanosensoren zur Früherkennung des Frischeszustands von Lebensmitteln und die Kennzeichnung der Verpackung mit verdorbenen Inhalt durch einen Farbwechsel zusammengefasst (Bratschi et al. 2005, ETC Group 2004).

### 5.6.2 Oberflächen

Biozide Oberflächen können auch in der Lebensmittelindustrie genutzt werden, beispielsweise zur Verhinderung von Bakterienbefall an Lebensmitteln (antimikrobielle Wirkungen). Aufgrund des Bedarfes an biozider Ausrüstung verschiedener Werkstoffe und Oberflächen, werden in der Medizintechnik und Lebensmittelverarbeitung v.a. antimikrobiell wirksame Substanzen nachgefragt. Durch nanotechnologische Methoden ist es gelungen, rein metallisches Silber in Form feinsten Partikel herzustellen. Diese können in Kunststoffe oder flüssige Substanzen (z.B. Lacke) eingearbeitet werden oder als Nanoschicht auf z.B. metallische Bauteile aufgebracht werden. Die Dosierung muss je nach Anwendung erfolgen.

Im Anlagebau besteht Interesse an der Beschichtung der Verpackungsmaschinen mit beispielsweise Silber-Nanopartikeln für eine Verbesserung der Reinigung und Hygiene. Auf Nanotechnologie basierende Oberflächen des Milchgeschirrs kann beispielsweise der Reinigungsaufwand rapide gesenkt werden (Schmutzabweisung).

Chancen: Verbesserung der Lebensmittelsicherheit durch verbesserte Qualitätssicherung, längere Haltbarkeit durch verbesserte Verpackungen und sichtbare Qualitätsindikatoren. Weiter könnten geringere Kosten bei der Produktion durch höhere Material- und Energieeffizienz, geringere Reinigungs- und Anlagewartungskosten und vor allem eine Verlängerung der Lagerfähigkeit der Produkte eine Schlüsselrolle spielen. Bratschi *et al.* 2005 errechneten, dass in der Schweiz jährlich Lebensmittel im Wert von CHF 400 Mio., obwohl noch einwandfrei, auf Grund des überschrittenen Verfalldatums vernichtet werden.

### 5.7 „Nano-inside“: Einsatz in Lebensmitteln

Als „Nano-inside“ wird die Nanotechnologie verstanden, deren Produkte (synthetische Nanopartikel) in den Magen-Darm-Trakt der Konsumentinnen und Konsumenten gelangen.

Für den Bereich der Lebensmitteltechnologie entstehen Chancen aus einer besseren Bioverfügbarkeit und der Beschleunigung der Verarbeitung von Inhaltsstoffen im Körper aber auch Risiken durch eventuelle Kumulierungseffekte. Hier gilt es, Herstellung, Verbrauch (gravierender mit zunehmendem Verbrauch?) und die Entsorgung des Produktes (Auswirkungen auf Organismus und Umwelt?) zu bewerten.

Die Anwendung der Nanotechnologie in der Lebensmitteltechnologie wird, je nach Definition der Nanotechnologie, unterschiedlich beurteilt. Für die einen existiert die Nanotechnologie im

---

<sup>6</sup> <http://www.ripesense.com>

Lebensmittelbereich schon seit langem. Sie ist daher nichts neues und wird aufgrund potentieller Akzeptanzprobleme mit der Technologie nicht kommuniziert. Andere sehen in der Nanotechnologie ein grosses Potenzial für sichere, nährstoffreichere Lebensmittel und neue Lebensstile in der Ernährung. Wieder andere erwarten von der Technologie vertiefte Einsichten in das Verhalten von Lebensmitteln, die dazu beitragen ihre Verarbeitung und die Ernährung zu verbessern (IFST 2006).

In der Lebensmittelindustrie sind verschiedene Ebenen mit Nanotechnologien konfrontiert (siehe Abbildung 1).

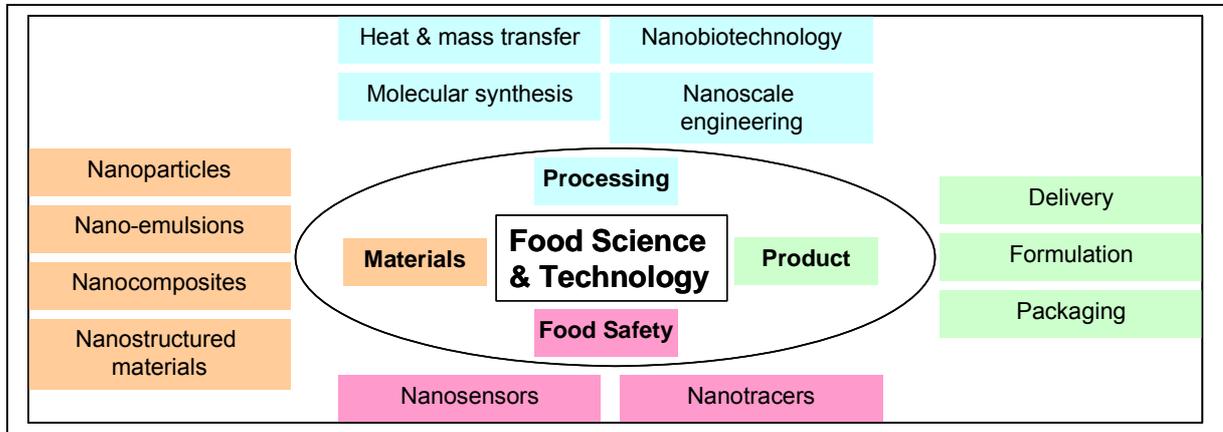


Abbildung 1: Anwendungsmatrix der Nanotechnologie in der Lebensmittelwissenschaft. [Quelle: Functional Materials in Food Nanotechnology; J. Weiss, P. Takhistov, D.J. McClements; Journal of Food Science, Vol. 71, Nr. 9 (2006)]

Nanotechnologie in der Lebensmittelindustrie ist grundsätzlich nichts neues. Die Natur verpackt schlecht lösliche Komponenten (z.B. Vitamine, Farbstoffe) in Nanokristallite und Nanoemulsionen. Dies bringt bessere Löslichkeit, höhere Bioverfügbarkeit und in manchen Fällen auch mehr Stabilität. Industriell werden Zusatzstoffe wie Carotinoide seit den 60er-Jahren in nanoskaliger Form verpackt, mit Vorteilen für die Lebensmittelindustrie wie höhere Materialeffizienz, niedrigere Kosten und bessere Produkteigenschaften. Im Bereich der Zusatzstoffe und der Formulierung spielt die Nanotechnologie deshalb auch eine wichtige Rolle mit Tendenz zum Wachstum.

Nach einem Artikel in der „Deutschen Milchwirtschaft“ (DMW 2007) sollen derzeit bereits über 200 sogenannte Nanofood-Produkte weltweit auf dem Markt sein, wie z. B. Schokolade, die in der Hitze dank Nano-Titandioxidteilchen keinen grauen Fettreif ausbrütet. Speiseeis, das in der Tiefkühltruhe nicht auskristallisiert und noch dazu durch Nanopartikel fettreduziert ist. Ein anderes Beispiel sind nanoskalige Keramiktteilchen, die Frittieröl abperlen lassen. Die TA-Swiss Studie „Nanotechnologie im Bereich der Lebensmittel“ wird einen Überblick über die auf dem internationalen und Schweizer Markt vertriebenen Produkte, die synthetische Nanokomponenten enthalten, geben. Aufgrund der zurückhaltenden Informationspolitik der Branche (siehe Kap. 4.3) ist die Aussage des deutschen Bundesinstituts für Risikoforschung und der Branche am 2. Karlsruher Lebensmittelsymposium 2008, dass bis anhin in Deutschland keine Nanopartikel in Lebensmitteln eingesetzt wurden, nicht weiter erstaunlich.

### 5.7.1 Lebensmittelzusatzstoffe<sup>7</sup>

Es wird berichtet, dass Nanomaterialien in Lebensmitteln als Hilfs- und Zusatzstoffe zum Einsatz gelangen. So sollen beispielsweise Kieselsäure (Siliziumdioxid, E 551) und andere siliziumhaltige

<sup>7</sup> Lebensmittelzusatzstoffe sind Stoffe, die Lebensmitteln absichtlich zugesetzt werden, um deren Eigenschaften (z.B. Haltbarkeit, Verarbeitbarkeit, Geschmack oder Aussehen) den Wünschen der Konsumenten und Lebensmittelhersteller anzupassen.

Verbindungen als Rieselhilfe oder als Verdickungsmittel das Zusammenbacken von Kochsalzkristallen und pulverförmigen Lebensmitteln verhindern und dem Ketchup bessere Fliesseigenschaften verleihen. Kieselsäure wird auch als Flockungsmittel in der Wein- und Fruchtsaftherstellung genutzt. Ob tatsächlich Nanopartikel eingesetzt werden und ob in den Lebensmitteln damit freie Nanopartikel vorkommen, ist bislang nicht klar. Beispiele auf dem Schweizer Markt: AEROSIL 200 von Degussa, CAB-O-SIL® von Cabot Corporation und HDK® von Wacker. Gemäss einer Umfrage der Universitäten Lausanne und Genf gaben im Bereich Ernährung und Verpackungen vier von 13 angefragten Firmen an, Nanopartikel zu verwenden (Schmid & Riediker, 2008). Dabei handelt es sich um Mengen von Siliziumdioxid im Bereich von Kilogramm bis Tonnen pro Jahr.

Carotinoide finden als Farbstoffe in Getränken (Lucarotin 10 CWD O, BASF) und bei Nahrungsergänzungsmitteln (LycoVit 10% DC, BASF) Anwendung.

In den USA existieren auf dem Markt bereits Lebensmittelbeschichtungen zur Verstärkung und optischen Aufbesserung, als Träger von Aromen oder als antimikrobielle Beschichtung von Backwaren. Ein anorganischer hauchdünner Überzug von Lebensmitteln kann ein Produkt - ähnlich einer Haut - vor äusseren Einflüssen jeglicher Art schützen. Der Süswarenhersteller Mars hat eine Technologie patentiert, die Schokoriegel mit einer, wenige Nanometer dicken, Titandioxidschicht überzieht. Diese soll geschmacksneutral sein und auch das Produkt ansehnlich lassen, wenn es einige Zeit offen herumliegt. Der Überzug könnte Nüssen auf Pralinen einen Schutz vor Oxidation bieten, Gebäck vor dem Austrocknen schützen sowie die Knusprigkeit von Cerealien bewahren, was der Lebensmittelbranche grosse Vorteile beschere würde. Dies wurde von Udo Pollmer auf dem 2. Karlsruher Lebensmittelsymposium „Nano4Food“ als ein interessanter (zukünftiger) Einsatzbereich der Nanotechnologie in sämtlichen Lebensmitteln gesehen. Auch bei Rückzug des Patentes seitens Mars stünde die Idee im Raume.

### 5.7.2 Nahrungsergänzungsmittel<sup>8</sup> / Functional Food

Bei den Nahrungsergänzungsmitteln, anders als bei den Lebensmitteln und Lebensmittelzusatzstoffen, bewerben die Hersteller die Nanoskaligkeit ihrer Produkte. Bei den verwendeten Produkten handelt es sich zumeist um Micellen.

Micellen können beispielweise aus Polysorbat 80 bestehen. Mögliche Inhalte dieser Micellen können Vitamine, Omega-3 Fettsäuren, Coenzyme Q10, Isoflavone, Flavonoide, Carotinoide, Pflanzenextrakte, ätherische Öle, Konservierungsstoffe, Farbstoffe oder bioaktive Substanzen sein.

Mit der Verkapselung von Substanzen können diese während der Verarbeitung und Lagerung geschützt und an den richtigen Ort im Körper gebracht und gezielt freigesetzt werden. Mit der Verkapselung kann aber auch die Löslichkeit und Bioverfügbarkeit erhöht werden<sup>9</sup>. Die Mikroverkapselung macht funktionelle Inhaltsstoffe für einen breiten Einsatz in Lebensmitteln verfügbar. Die verkapselten Nährstoffe lösen sich nach derzeitigem Wissensstand im Magen-Darmtrakt auf und folgen den bekannten Stoffwechselwegen. Für den Einsatz in Lebensmitteln ist die

---

<sup>8</sup> Nahrungsergänzungsmittel sind Produkte zur erhöhten Versorgung des menschlichen Stoffwechsels mit bestimmten Nähr- oder Wirkstoffen im Grenzbereich zwischen Arzneimitteln und Lebensmitteln.

<sup>9</sup> Verkapselt werden fettlösliche sowie wasserlösliche funktionelle Inhaltsstoffe und funktionelle Mikroorganismen wie Probiotika. Mikroverkapseln findet Anwendung in Trockenlebensmitteln, Food Fortification, Nahrungsergänzungsmitteln und Lebensmitteln, bei deren Herstellung empfindliche Nährstoffe oder Mikroorganismen geschädigt werden können. Mikroverkapseln werden immer wieder mit Nanotechnologie in Zusammenhang gebracht. Eine Verbindung zwischen Mikroverkapselung und Nanotechnologie besteht aus verschiedenen Gründen. Mikroverkapseln selbst sind keine Nanopartikel, sie enthalten aber Strukturelemente, die im oberen Nanobereich anzusiedeln sind. Hersteller, Anwender und Entwickler verwenden die Bezeichnung Nano. Des Weiteren stimulieren und ermöglichen Erkenntnisse aus der Nanotechnologie Innovationen und Produktverbesserungen. Weiterentwicklungen, wie Nanoschichten um Primärpartikel und noch feinere Primärpartikel, sind zudem denkbar.

Sicherheit der Produkte von entscheidender Bedeutung. Eine Bewertung der lebensmittelrechtlichen Zulässigkeit ist vor der Vermarktung vorzunehmen (Rohstoffe, Verfahren, Zusammensetzung). BASF postulierte am 2. KALS, dass die Nanotechnologie die Weiterentwicklung der Mikroverkapselung vorantreiben wird.

Nanomaterialien können auch gezielt als Nahrungsergänzungsmittel Verwendung finden. Berichtet wird dabei vom Einsatz von Siliziumdioxid, kolloidalem Silber, Kupfer, Gold, Iridium, Palladium, Platin, Titan und Zink sowie von Calcium und Magnesium in Nanopartikel-Form. Wie diese Stoffe im Lebensmittel vorliegen, ist unklar.

### **5.7.3 Weitere Anwendungen im Bereich Lebensmittel**

Radiofrequenz-Identifikation Technologie (RFID tags) und Nanobarcodes könnten zur Kennzeichnung und Nachzeichnung der Transport- und Verarbeitungswege verwendet werden (ETC Group 2004). Eine lückenlose Rückverfolgbarkeit von Käsesorten bis zum landwirtschaftlichen Erzeuger soll das Ergebnis eines EU-Projekts sein. Bei der RFID-Technologie wird ein Transponder auf den Käse aufgebracht. Zu klären ist, ob der Funksender den Reifeprozess übersteht. Im Vergleich zum Barcode-Prinzip hat die RFID-Technologie den Vorteil, dass Daten ausgelesen werden können ohne das Produkt zu Berühren und Daten auch laufend aktualisiert werden können (DLG 2007).

Lab-on-a-Chip-Technologie zum Nachweis von bestimmten Bestandteilen in Lebensmitteln basiert auf der gezielten Analytik von DNS- und Proteinspuren. Mit Nano-Sensoren soll die Sicherheit von Lebensmitteln erhöht werden (Bratschi *et al.*, 2005).

Visionen: „On demand“ foods, interactive foods und weitere Beispiele in Joseph and Morrison (2006) und von Food-Robotern synthetisch hergestellte Lebensmittel (Bratschi *et al.* 2005). Zukunftsszenarien der ETH kamen zum Schluss, dass sich die Nanotechnologie in vielen Bereichen des Alltags durchsetzen wird (IT, Energie, Medizin), nicht aber bei Lebensmitteln und anderen Produkten, die direkt auf oder im Körper enden (Rüegg 2006, Bratschi *et al.* 2005).

## **5.8 Umwelt**

Nanopartikel (NP) sind chemisch-physikalisch zu divers um als Einheit betrachtet zu werden. Das Umweltverhalten, die Exposition und Effekte auf Organismen müssen für einzelne Klassen von NP separat verstanden und beurteilt werden. Bezüglich der Verteilung in der Umwelt sind zwar einige wichtige Prozesse erkannt, jedoch noch nicht soweit verstanden oder quantifizierbar, dass generelle Voraussagen möglich wären. Toxikologische Daten sind nicht systematisch vorhanden und erlauben keine Verallgemeinerung. Insbesondere ist die Übertragbarkeit von *in vitro* Experimenten auf reale Umweltsituationen schwierig. Die meisten ökotoxikologischen Studien wurden in wässrigen Systemen mit aquatischen Organismen durchgeführt. Arbeiten, mit für die Landwirtschaft relevanteren Bodenorganismen oder Ackerkulturlpflanzen, fehlen weitgehend oder wurden unter realitätsfremden Bedingungen durchgeführt. Studien zu NP-formulierten Pestiziden sind in der verfügbaren Literatur ebenfalls nicht vorhanden. Analytische Methoden zur Quantifizierung von NP in Realproben, und im relevanten Messbereich sind weitestgehend inexistent. Bei den meisten heute bekannten Schadstoffen dauerte es einige Dekaden bis analytische Methoden und ein umweltchemisches Prozessverständnis einigermaßen erarbeitet waren. Entsprechend mussten Milliarden in die Umweltforschung investiert werden.

### **5.8.1 Emission, Auftreten und Schicksal von Nanopartikeln (NP) in der Umwelt**

Zur Beurteilung des Umwelt-Risikos von NP in kommerziellen Produkten und Umweltapplikationen muss deren Mobilität, Bioverfügbarkeit und Toxizität verstanden werden. Damit NP überhaupt ein Risiko darstellen, muss Ihnen sowohl ein Expositions- wie auch ein Schadenspotenzial innewohnen. Die bisherige Forschung über NP fokussierte v.a. auf deren toxische Effekte, aber weniger auf Exposition, insbesondere der Umwelt.

Die Freisetzung von NP kann sowohl über Punktquellen wie Produktionsanlagen, Deponien oder Kläranlagen, wie auch über diffuse Quellen wie Verwitterung oder Abrieb von NP-enhaltenden Produkten erfolgen (Tabelle 1). Die Emission durch Betriebsunfälle oder bei Transport ist ebenfalls denkbar. Neben diesen unabsichtlichen Emissionen gibt es eine Reihe von Prozessen, bei welchen NP bewusst in die Umwelt eingetragen werden, z.B. zur Remediation von Altlasten (Fryxell & Mattigod, 2006, Würth 2007).

Tabelle 1: Quellen von Nanopartikeln. Der gegenwärtig noch weitgehend hypothetische Eintrag über die Landwirtschaft wäre insofern speziell, als dass er als einer der wenigen anthropogenen Aktivitäten diffus erfolgen würde.

		Punktquellen	Diffuse Quellen
Natürlich		Waldbrände, Vulkanausbrüche	Verwitterung, Aerosolbildung, biologisch
Anthropogen	Gewollt/Bewusst	Altlastensanierung	LW-Applikationen (z.B. Dünger <sup>10</sup> , Pestizide)
	Ungewollt/Unbewusst	Abwasser, Deponien, Betriebsunfälle	Abrieb, Verwitterung, Abgase

Der Eintrag von NP kann ursprünglich in die Atmosphäre, das Wasser oder den Boden erfolgen. In der Regel verteilen sich NP danach aber mehr oder weniger schnell in Kompartimente Wasser, Sediment oder Boden (Nowack & Bucheli, 2007). Die wichtigsten Verteilungspfade von NP in der Umwelt sind in Abb. 2 dargestellt. NP können beim Eintrag in verschiedener „Speziierung“ vorliegen (z.B. frei, aggregiert, in Matrix eingebettet oder chemisch funktionalisiert; Abb. 2). In der Umwelt kann sich diese Speziierung, je nach Medium, verändern. Die Stabilität von NP ist u.a. abhängig von deren Vermögen in der wässrigen Phase zu suspendieren, bzw. von deren Tendenz mit anderen Partikeln oder Oberflächen zu interagieren und zu aggregieren. Dabei spielt die Oberflächenladung eine wichtige Rolle. Diese wiederum wird beeinflusst durch die Ionenstärke des Mediums. Umweltfaktoren wie Licht, Oxidantien oder Mikroorganismen können NP chemisch oder biologisch verändern. NP können durch natürliches, organisches Material wie Humin- oder Fulvinsäuren ummantelt und dadurch in Lösung gehalten werden.

Würth (2007) hat den Eintrag von synthetischen und unabsichtlich produzierten NP in Böden der Schweiz abgeschätzt. Als wichtigste Quellen und Typen von NP wurden Katalysatoren (Elemente der Platingruppe: Pt, Pd, Rh), Verbrennungshilfen (CeO, Fe, Cu, Sr, Pt), Dieselfilterbeschichtungen (Pt, Pd, V, W), Reifen (Carbon Black, nZnO, nSiO<sub>2</sub>), Beschichtungen von Fahrzeugen (nSiO<sub>2</sub>, nAg, Keramik, Glass, Polymere), allg. Beschichtungen (nTiO<sub>2</sub>, nSiO<sub>2</sub>, nAg, nZnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub>, Keramik), Abdichtungen, Biozide, Dünger und NP zur Altlastensanierung angegeben. Bei den geschätzten auf Böden eingetragenen Mengen dominieren NP aus Reifenabrieb (1236-2562 t/Jahr) und allg. Beschichtungen (36 und 97 t/Jahr)<sup>11</sup>. Für Biozide und Dünger werden keine Mengenangaben gemacht. Der Einsatz von NP zur Altlastensanierung ist in der Schweiz gegenwärtig nicht geplant. Generell ist von einer höheren Belastung des Bodens in dicht besiedelten urbanen Gegenden auszugehen. Die durchschnittliche gegenwärtige Belastung der Schweizer Böden wird aber als eher gering eingestuft (Würth 2007). Auf den Transport von Nanopartikeln im Boden wird im Anhang 12.1 näher eingegangen.

<sup>10</sup> Noch nicht eindeutig nachgewiesen, ob Dünger mit Nanopartikeln auf dem Markt erhältlich sind.

<sup>11</sup> Je nach Annahme der beeinträchtigten Bodenflächen ergeben sich daraus Konzentrationen im Boden von bis zu 12 µg/kg Reifenabrieb entlang von Nationalstrassen, bzw. 2.1 mg/kg Beschichtungsmaterialien in der Nähe von Punktquellen.

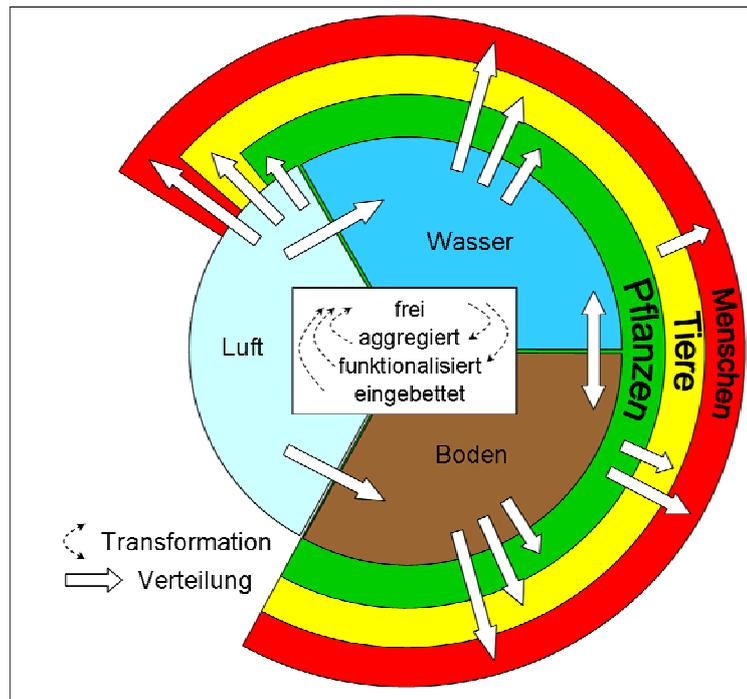


Abbildung 2: Nanopartikel können aus Punkt- oder diffusen Quellen gewollt oder ungewollt in freier, aggregierter, funktionalisierter und/oder in Matrix eingebetteter Form in die Umwelt gelangen. Darin verteilen sie sich in ihren vielfältigen Formen in Luft, Wasser und Boden. Dabei unterliegen sie biotischen und abiotischen Transformationsprozessen, welche Einfluss auf ihre Spezierung und Verteilung haben. Eine Aufnahme in Pflanzen, Tiere und Menschen ist möglich, aber noch nicht in jedem Fall belegt.

### 5.8.2 Verwandtschaft mit natürlichen Nanopartikeln (NP)

Obwohl natürliche NP nicht eigentlicher Gegenstand dieses Berichtes sind, kann das bestehende Wissen zu einem besseren Verständnis des Umweltverhaltens synthetischer NP beitragen und allenfalls Voraussagen ermöglichen. Dies gilt vor allem für NP, welche sowohl natürlichen, als auch gewollt oder ungewollt anthropogenen Ursprungs sind, wie z.B. Fullerene<sup>12</sup>, Kohlenstoff-Nanoröhrchen (KNR), aber auch Kolloide, Viren oder Bakterien (Siehe Anhang 12.2).

### 5.8.3 Nanopartikel-Schadstoff Interaktionen

Nanopartikel (NP) in der Umwelt sollten nicht nur für sich, sondern müssen auch in ihrer Interaktion mit Schadstoffen betrachtet werden. Kohlenstoff-NP wie Russ oder KNR sind effiziente Adsorbentien von einer Reihe von Verbindungen, wie den polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen, den polychlorierten Biphenylen, den Dioxinen und Pestiziden. Oxidierte und hydroxylierte KNR sind gute Adsorber von Metallen. Verschiedene NP wurden zur Sanierung von belasteten Böden und Sedimenten vorgeschlagen oder bereits eingesetzt (einen Überblick gibt Fryxell & Mattigod, 2006 und Würth, 2007). So können z.B. Fe(0) NP zur reduktiven Dehalogenierung von chlorierten Schadstoffen (Zhang 2003), Eisenphosphat NP zur Immobilisierung von Cu(II) (Liu et al. 2007a), Cr(VI) (Xu et al. 2007) und Blei (Liu et al. 2007b) und modifizierte Polyurethan NP zur Desorption von PAH zur Erleichterung der nachfolgenden Mineralisierung (Kim & Shim 2002, Kim et al, 2004, Tungittiplakorn et al. 2005, 2004) verwendet werden. Bei letztgenannter Anwendung besteht jedoch die Gefahr, dass

<sup>12</sup> Als Fullerene werden sphärische Moleküle aus Kohlenstoffatomen mit hoher Symmetrie bezeichnet. Das mit Abstand am besten erforschte Fulleren ist das C<sub>60</sub>, (in englisch *Bucky Ball* genannt). Es besteht aus 12 Fünfecken und 20 Sechsecken, die zusammen ein abgestumpftes Ikosaeder bilden (gleiche Struktur wie ein Fußball).

auch persistente und toxische Substanzen remobilisiert werden. Generell kann die Mobilität von Schadstoffen durch die Gegenwart von NP auch erhöht werden.

#### 5.8.4 Aufnahme und Effekte bei Organismen

Organismen können Nanopartikel (NP) direkt über Luft, Wasser, Boden oder Sedimente, oder indirekt über die Aufnahme von NP-enhaltender Nahrung ausgesetzt sein. Aggregierte oder adsorbierte NP sind zwar weniger mobil, deren Aufnahme, z.B. durch Sediment oder Boden umsetzende Lebewesen aber immer noch möglich. Die Möglichkeit zur Bioakkumulation von NP in der Nahrungskette wurde zwar erwähnt, bis anhin aber nicht mit Daten belegt.

Die Exposition und Aufnahme von NP durch den Menschen kann über drei Pfade erfolgen: 1) über die Atemwege, 2) über den Magen-Darmtrakt und 3) über die Haut. Die weitere Verteilung innerhalb des Körpers über die Blutbahnen in andere Organe ist möglich und wurde beschrieben. Auf zellulärer Ebene passiert die Aufnahme von NP durch Endo- und Phagozytose. In der Zelle werden NP in Vesikeln oder Mitochondrien gelagert. Die resultierenden toxischen Effekte sind vielfältig und wurden andernorts detailliert beschrieben (Oberdörster et al. 2006, Kreyling et al. 2006, Lam et al. 2006, Nel et al. 2006). Einmal vom Menschen oder anderen Lebewesen aufgenommene Kohlenstoff-Nanoröhrchen (KNR) können oxydativen Stress, Entzündungen, Zellschäden, negative Effekte auf die Zellfunktionen und auf lange Zeit betrachtet, verschiedene pathologische Effekte verursachen. Obschon KNR aus inertem Kohlenstoff bestehen, wurde auch der Verdacht geäussert, dass sie, ähnlich wie Asbestfasern, krebserregende Eigenschaften aufweisen könnten. Obwohl eine grosse Breite an Resultaten gefunden wurde, zeigte eine Mehrheit der betrachteten Studien solche Effekte in Abhängigkeit der Dosis und der Zeit. Neben diesen Erkenntnissen bleiben viele Fragen unbeantwortet. Beispielsweise ist nicht klar, in welchem Masse KNR über die Luft-Blut-Schranke ins Blut gelangen können, und ob Organismen in der Lage sind, KNR abzubauen (Helland et al. 2007).

Nur wenig Information steht über die Interaktionen von NP mit Pflanzen zur Verfügung. Gewisse Pflanzen stellen auf Nährmedien selber metallische NP her (Gardea-Torresdey et al. 2002, Armendariz et al. 2004). TiO<sub>2</sub> NP haben positive Effekte auf das Wachstum von Spinat zur Folge, wenn sie zu Spinatsamen zugegeben oder auf dessen Blätter gesprüht werden. Im Gegensatz dazu reduzierten Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NP das Wurzelwachstum von Mais, Kohl, Gurke, Soya und Karotten (Yang & Watts, 2005). Einen drastischen Effekt zeigten Zink und ZnO NP auf das Wurzelwachstum von Radischen, Raps, Deutsches Weidelgras, Mais und Gurke, während KNR, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, und Aluminium NP weniger ausgeprägt wirkten (Lin & Xing, 2007). Eine verminderte Keimfähigkeit wurde bloss von Zink beim Deutschen Weidelgras und von ZnO bei Mais beobachtet (Lin & Xing, 2007). Bei den beiden letztgenannten Untersuchungen muss auf die generell hohen eingesetzten Dosen von bis zu 2000 mg/L hingewiesen werden. Über die Aufnahme von NP durch Algen oder höhere Pflanzen ist fast nichts bekannt. Denkbar wäre die Adsorption an die Zellwand, die Aufnahme in die Zellwand oder die Aufnahme in die eigentlichen Zellen. NP könnten auch in das interzelluläre System (Apoplast) diffundieren. Aber auch die Aufnahme ins Xylem und die weitere Verteilung in der Pflanze ist nicht auszuschliessen (Nowack & Bucheli 2007).

Bei Eukaryonten können NP über Endo- und Phagozytose aufgenommen werden. Für einzellige Protozoen ist die Aufnahme und Lagerung von Kohlenstoff-Nanoröhrchen (KNR) in Mitochondrien beschrieben (Zhu et al. 2006c). Latex NP wurden durch Fischeier von *Oryzias latipes* aufgenommen. Bei adulten Tieren akkumulierten NP in Kiemen und Eingeweiden, wurden aber auch im Gehirn, Hoden, Leber und Blut nachgewiesen (Kashiwada 2006). Auch anorganische NP können internalisiert werden. Nanopartikuläres ZnO wurde von Bakterien aufgenommen (Brayner et al. 2006).

Ökotoxikologische Studien zeigen, dass NP auch auf aquatische Einzeller (Bakterien, Protozoen) und Tiere (Daphnien, Fische) toxisch wirken können. KNR bewirkten eine Dosis-abhängige Wachstumshemmung bei Protozoen (Zhu et al. 2006c) und wirkten toxisch auf die Atmung von Regenbogenforellen (Smith et al. 2007). Copepoden zeigten eine erhöhte Mortalität bei ungereinigten KNR, während gereinigte Materialien keinen Effekt ergaben (Zhu et al. 2006b). Mit Lipiden belegte KNR wurden von *Daphnia magna* aufgenommen, welche ihrerseits durch die Verdauung der Lipide

deren Löslichkeit veränderten. Eine akute Toxizität ergab sich bei der höchsten Konzentration (Roberts et al. 2007).

Der Einfluss von Fullerenen wurde auf Bakterien (Lyon et al. 2005, 2006), Daphnia (Lovern & Klaper 2006) und Fische (Oberdörster, 2004, Oberdörster et al. 2006b, Zhu et al. 2006a) untersucht. Die Partikel wirkten antibakteriell, hatten einen Einfluss auf die Mortalität der Daphnien und bewirkten oxidativen Stress in Fischen. Die Resultate waren aber nicht immer eindeutig und abhängig von experimentellen Bedingungen. Fullerene zeigten, basierend auf Bodenatmung, Enzymaktivität und Änderung der mikrobiellen Vergesellschaftung, wenig Einfluss auf die mikrobielle Bodenzusammensetzung und Funktion (Tong et al. 2007).

Einiges ist über die antibakterielle Wirkung von Silber-NP bekannt. Diese wirken zellschädigend und führen zum Tod der Bakterien (Sondi & Salopek-Sondi, 2004). Die Interaktion mit den Zellen ist grössenabhängig (Morones et al. 2005) und scheint auch von der Partikelform abhängig zu sein (Pal et al. 2007). Nano-Ag ist für *E. coli* signifikant toxischer als Ag<sup>+</sup> Ionen (Lok et al. 2006). Anorganisches nanopartikuläres TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> und ZnO wirkt ebenfalls toxisch auf Bakterien, wobei die Gegenwart von Licht die Toxizität signifikant erhöht (Adams et al. 2006). Während grosse TiO<sub>2</sub> Partikel keine negativen Effekte auf aquatische Organismen zu haben scheinen, ist dies bei Nano-TiO<sub>2</sub> klar der Fall (Lovern & Klaper, 2006). NP, welche die Zellwände von Bakterien schädigen, wurden von diesen aufgenommen. Nicht NP schädigende wurden auch nicht aufgenommen (Stoimenov et al. 2002).

Für Pestizid-Formulierungen mit NP liegen keine in Fachzeitschriften publizierten ökotoxikologischen Studien vor. Von in hohle Silizium-NP eingebettetem Avermectin (Wen et al. 2005, Li et al. 2006, 2007) und Validamycin (Liu et al. 2006) liegen einzig Daten zur Freisetzungskinetik vor. Diese geschieht in der Regel gegenüber der direkten Applikation diffusionsbedingt verzögert, zudem ist die Photolyserate reduziert. Die Erhöhung von UV-Lichtbestrahlung, pH und/oder Temperatur führten zu einem schnelleren Photoabbau (Li et al. 2007). Auch 2,4-D wurde in NP bestehend aus Zn-Al Hydroxiden eingebettet, woraus es zunächst rasch, dann aber langsamer wieder freigesetzt wurde (Bin Hussein et al. 2005). Formulierungen von Alachlor, Metolachlor, Trifluralin und Norflurazon mit Organo-Tonmineralien führten in Feldversuchen zu verminderten Abschwemmungen und Photostabilisierung (el-Nahhal et al. 2001). Frühere Versuche mit verschiedenen, wenig wasserlöslichen Pestiziden, und Poly Epsilon-Caprolacton NP schienen wenig befriedigende Resultate bezüglich der Stabilität der Komplexe in wässrigen Lösungen zu geben (Boehm et al. 2000).

### **5.8.5 Analytik von Nanopartikeln (NP)**

Die Entwicklung von analytischen Methoden zur Quantifizierung von NP in Umweltproben steckt noch weitgehend in den Kinderschuhen (Nowack & Bucheli, 2007, Englert 2007, Anhang 12.3). Abgesehen davon, dass wir gegenwärtig noch weit davon entfernt sind, NP in Umweltmedien wie Böden oder Sedimenten im relevanten Messbereich quantifizieren zu können, bliebe auch dann ein Hauptproblem vieler gängiger Analysemethoden bestehen: Den klassischen Messgrössen wie Konzentrationen, bzw. Mengen wohnt in diesem Zusammenhang wahrscheinlich wenig Relevanz inne. Umweltchemisch und auch ökotoxikologisch wichtiger sind aller Voraussicht nach Parameter wie Grössenverteilung, Partikelzahl oder Oberfläche. Die meisten der heute für die Schadstoffanalytik eingesetzten analytischen Methoden und Instrumente sind diesbezüglich ungeeignet.

### **5.8.6 Chancen der Nanotechnologien für die Umwelt**

An der Nanoconvention 2006 hat das BAFU im Umweltbereich einen möglichen Nutzen durch erhöhte Material- und Energieeffizienz, Substitution von toxischen Stoffen in der Elektronik (z.B. Schwermetalle) sowie durch effizientere Reinigungs- und Sanierungssysteme für Altlasten aufgeführt (Studer 2006). Laut einer Studie könnten durch die Anwendung von Nanotechnologien in Bereichen wie Treibstoffzusatzstoffe, Solarzellen, Wasserstoffantriebe, Batterien und Isolationen die Treibhausgasemissionen in Grossbritannien bis zum Jahr 2050 um 20% verringert werden (Walsh 2007). Zudem wird den neuen Technologien das Potenzial zugesprochen, die Umweltbelastung mit Toxinen zu reduzieren. Durch die zielgenaue Applikation von in Nanokapseln verpackten Wirkstoffen,

würde die ausgebrachte Toxinmenge reduziert. Des Weiteren könnte der Einsatz von Umweltsensoren bei der Düngerapplikation die Emission von Stickoxiden reduzieren. Das Potenzial der Nanotechnologien, die Umweltbelastung durch die Landwirtschaft zu reduzieren, wurde wie folgt eingeschätzt: a) Die Techniken sind nahe an der Kommerzialisierung, b) es bestehen einige alternative Methoden, die jedoch weniger geeignet oder noch in der Entwicklung sind und c) die Einführung der Techniken braucht keine wesentlichen infrastrukturelle Änderungen.

Allgemein wird erwartet, dass durch die Nanotechnologie gefährliche chemische Substanzen ersetzt werden könnten. Laut einer Studie im Auftrag des Europäischen Parlaments ist zur Zeit der Beitrag der Nanotechnologie dazu noch gering, jedoch besteht ein beträchtliches Potenzial für die Zukunft (STOA 2007). Der Grad der Gefährlichkeit der einzelnen Nanoprodukte für Mensch und Umwelt muss jedoch erst noch nachgewiesen werden. Aktuell finden sich die meisten Substitutionsmöglichkeiten in den Bereichen Oberflächenbehandlung (z.B. dank selbstreinigender Oberflächen weniger Reinigungsmittel und/oder Farbe), flammhemmende Mittel, Weichmacher, flüchtige organische Substanzen (VOC), Katalysatoren, gezielte Pharmakotherapie und Sanierung (Boden, Wasser). In vielen Fällen kann die Nanotechnologie gefährliche chemische Substanzen nicht direkt ersetzen, ihr Einsatz sollte jedoch zu umweltfreundlicheren Produkten oder Prozessen führen. Im Bereich der Landwirtschaft erhofft man sich eine wesentliche Reduktion des Insektizideinsatzes durch die Anwendung von Nanokapseln und Präzisionslandwirtschaft. Letzteres sollte sich durch nanotechnologische Fortschritte in der Informations- und Kommunikationstechnologie einstellen.

## 6 Nanotechnologien als Herausforderung für KMU

An der NanoRegulation-Konferenz (NanoRegulation 2007, Medienkonferenz) wurde die Situation für die KMUs hinsichtlich der Nanotechnologie wie folgt umschrieben:

- Schwer überschaubarer Stand der Technik
- Wenig unmittelbar umsetzbare Forschungsergebnisse
- Erfolg der kommerziellen Nutzung schwer absehbar
- Traditionelle Marktforschung (noch) nicht anwendbar
- Bedarf an neuem Know-how
- Beschränkte Mittel und Ressourcen

Beschränkte Ressourcen sind vielfach Gründe für ein fehlendes nanospezifisches Risikomanagement bei KMUs (Lindberg & Quinn 2007).

Die Stiftung Risiko-Dialog erstellte einen „Leitfaden zur Kommunikation von Chancen und Risiken der Nanotechnologie für kleine und mittelständische Unternehmen (hessen-nanotech). Proaktive Kommunikation, Offenheit im Umgang mit Risikothemen und eine einheitliche, gut strukturierte Kommunikationsstrategie nach innen und aussen wurden als Schlüsselfaktoren für den Erfolg identifiziert.

## 7 Sicherheitsaspekte, Gesetzliche Regelung

Als wichtige gesetzliche Grundlagen im Umweltbereich gelten das Vorsorgeprinzip (Art. 1 Ziff. 2 Umweltschutzgesetz), die Selbstkontrolle (Art. 26 Umweltschutzgesetz) sowie die Zulassungs- und Anmeldeverfahren (Studer 2006). Als wichtigste Ziele sollen freiwillige Sofortmassnahmen zur Minimierung der Exposition persistenter Nanomaterialien getroffen, die Forschung zu möglichen Emissionen, Exposition, Umweltverhalten und Ökotoxikologie von Nanomaterialien intensiviert, standardisierte Prüfmethode, Teststrategien und Beurteilungsmethoden erarbeitet und die rechtlichen Regelungen überprüft und angepasst werden. Neue Toxizitätstest müssen entwickelt werden. Daten aus konventionellen Studien können nicht einfach auf den Nanobereich extrapoliert werden, da sich die Stoffeigenschaften mit der Grösse sehr rasch und entscheidend verändern können (Bratschi *et al.* 2005).

Mit dem Vorsorgeprinzip soll einerseits die Forschung und Entwicklung im technologischen Sinne zulässig sein, andererseits ein bestmöglicher Schutz vor möglichen Gefahren für Mensch und Umwelt geboten werden. Das Prinzip fordert eine proaktive Einführung von Schutzmassnahmen angesichts möglicher Risiken, die von der Wissenschaft heute – aufgrund mangelnden Wissens – weder bestätigt noch dementiert werden können. „Die Abwesenheit von eindeutigen Hinweisen auf potentielle Gefahren soll kein Grund sein, um mögliche, ökonomische vertretbare Schutzmassnahmen nicht einzuführen“, wird in der Rio Convention von 1992 festgehalten (Swiss Re 2004).

Im Januar 2008 hat die Europäische Kommission von der EFSA eine erste wissenschaftliche Stellungnahme zu den Risiken im Zusammenhang mit Nanotechnologie in den Bereichen der Nahrungs- und Futtermittelsicherheit und Umwelt angefordert. Die Anfrage bezieht sich auf die Identifizierung des Gefahrenpotentials, welches mit gegenwärtigen und vorhersehbaren Anwendungen im Nahrungs- und Futtermittelbereich einhergeht. Auch sollen allgemeine Hinweise zur Art der für Risikobeurteilungen solcher Technologien und Anwendungen benötigten Daten geliefert werden. Die EFSA würde es begrüßen, Daten über Anwendungen, Sicherheit, Methoden, Prozesse und Leistungskriterien zur Analyse von Nanomaterialien sowie Risikobeurteilungen von Nanomaterialien in Nahrungs- und Futtermitteln zu erhalten. Die EFSA ist sich bewusst, dass ein Grossteil der Informationen, welche für das Verfassen der Stellungnahme von Nutzen sein könnte, von der Industrie als vertraulich eingestuft wird. An die EFSA geleitete Informationen könnten von Gesetzes wegen auf Anfrage hin jedoch öffentlich zugänglich gemacht werden müssen. Dies dürfte die Bereitschaft zur Teilnahme seitens der Industrie stark vermindern. Ein Bericht ist auf Juli 2008 geplant (Innovationsgesellschaft 2008).

## 7.1 Rechtliche Bestimmungen

Synthetische Nanopartikel, die z. B. in Bioziden, Pflanzenschutzmitteln und Arzneimitteln eingesetzt werden, unterliegen den entsprechenden rechtlichen Bestimmungen. In den einzelnen Regulierungsbereichen bestehen jedoch keine partikelspezifischen Anforderungen. Es gibt daher erhebliche Rechtsunsicherheiten, die einerseits dazu führen können, dass mögliche Risiken für die Gesundheit und die Umwelt nicht erkannt und durch geeignete Massnahmen minimiert werden können. Andererseits kann sich diese Rechtsunsicherheit innovationshemmend auswirken, da das Interesse der Wirtschaft gering ist, in die Entwicklung von Nanotechnologien oder Nanopartikel enthaltende Produkte zu investieren, solange nicht absehbar ist, welche rechtlichen Anforderungen zu erfüllen sind oder welche Restriktionen eventuell auf die Hersteller zukommen. Insgesamt zeigt sich, dass für eine abschliessende Risikobeurteilung und Regulierung von synthetischen Nanopartikeln die wissenschaftlichen und methodischen Grundlagen noch nicht ausreichen. Risikoabschätzungen aufgrund physikalisch-chemischer, toxikologischer und expositionsbezogener Grunddaten (Risikorastr) sind notwendig, um Prioritäten für die Risikoforschung und Regulierung zu setzen und wenn nötig risikoreduzierende Massnahmen einzuleiten. So können beschränkte Kapazitäten in der Risikoforschung optimal zugeordnet und Regulierungen bei den relevanten Partikelkategorien diskutiert werden (BAFU 2007).

## 7.2 Risikoforschung

Die EU fördert/e mehrere Projekte im Zusammenhang mit Nanopartikeln und deren gesundheitliche Auswirkungen<sup>13</sup>. Weitere Internationale Forschungsprogramme sind "Risk Assessment in Production

---

<sup>13</sup> Einen Überblick gibt die Cordis-Seite: [http://cordis.europa.eu/nanotechnology/src/pressroom\\_projects\\_nmp6.htm](http://cordis.europa.eu/nanotechnology/src/pressroom_projects_nmp6.htm)

. Nano-Pathology (seit 12/2001 bis ?): Entwicklung von diagnostischen Methoden und Tools und Bestimmung der pathologischen Bedeutung von Nanopartikeln. Start-up Firma? <http://www.nanopathology.it>

. NANODERM (seit 01/2003): Untersuchungen über das Eindringen von Nanopartikeln in die Haut. Insbesondere von in Pflege- und Haushaltsprodukten eingesetzte Partikel wie z.B. TiO<sub>2</sub> <20nm. <http://www.uni-leipzig.de/~nanoderm/>

. NANOSAFE (04/2003 bis 08/2004): Risikobewertung in der Produktion, Verwendung und Nutzung von Nanopartikeln in

and Use of Nanoparticles with Development of Preventive Measures and Practice Codes”<sup>14</sup> und “Impacts of Manufactured Nanomaterials on Human Health and the Environment” von der US Environmental Protection Agency (EPA). Das Centre Suisse d’Electronique et de Microtechnique (CSEM) in Neuchâtel, das auch Partner des „Swiss Nanoscience Institute“ (SNI) ist, unterstützt mit seiner Forschung auch NANOSAFE. Es soll im Rahmen dieser Arbeiten ein Testgerät entwickelt werden mit dem untersucht werden kann, ob Nanopartikel durch die Lungen vom Körper absorbiert werden. Zur Zeit laufen keine europäischen Forschungsrahmenprogramme und nationale Förderprogramme, die toxikologische Risiken von synthetischen Nanopartikeln und Nanomaterialien in Lebensmitteln untersuchen.

Es gibt verschiedene Sicherheitsaspekte der Nanotechnologie, die zurzeit erforscht und in der Öffentlichkeit diskutiert werden. Eine Problematik ist die der Nanopartikel C<sub>60</sub>-Moleküle (Fullerene) und Kohlenstoff-Nanoröhrchen. Ob tatsächlich Schädigungen von Nanopartikeln und Nanoröhrchen ausgehen, kann nur durch langjährige wissenschaftliche Studien in lebenden Zellsystemen belegt werden. Auch hier fehlen bisher Daten von Untersuchungen, die eindeutige Ergebnisse liefern. Neben diesen realen potenziellen Sicherheitsaspekten dienen Horrordisvisionen, die Stoff für Science Fiction Romane liefern, einigen Kritikern der Nanotechnologie dazu, Ängste zu schüren. Dabei werden unter dem Schlagwort „grauer Schleim“ (grey goo), winzige sich selbst replizierende Nanoroboter beschrieben, die die gesamte Biosphäre überwachsen und alles Leben ersticken könnten. Weltweit sind sich jedoch Wissenschaftler einig, dass derartige Schreckensvisionen unrealistisch sind. Sie sind aus wissenschaftlicher Sicht nicht realisierbar und stellen damit aus heutiger Sicht keine Bedrohung dar (SNI).

Die EU hat einen Verhaltenskodex für die Forschung in der Nanotechnologie verabschiedet, in der Hoffnung, in diesem schnell wachsenden und doch wenig verstandenen Forschungsfeld grundlegende Richtlinien etablieren zu können<sup>15</sup>. Der Kodex deckt sieben allgemeine Prinzipien in der Forschung ab: nachvollziehbar (verständlich und nachvollziehbar für die Öffentlichkeit), nachhaltig, vorsichtig, offen/rücksichtnehmend, exzellent, innovativ und verantwortungsbewusst. Die Kommission hofft, dass Universitäten, Forschungseinrichtungen und Unternehmen sich daran halten und damit einen Beitrag zur sicheren Entwicklung der Nanotechnologie leisten.

Die Last der Forschungsarbeit muss auf viele Schultern verteilt werden. Weder einzelne Industrieunternehmen noch öffentliche Institute sind in der Lage, allein genügend Kapazitäten für deren Klärung zu beschaffen. Zur besseren Koordination dieser Anstrengungen bräuchte es eine gewisse Standardisierung mit entsprechenden Rahmenbedingungen, angefangen bei der Nomenklatur (Swiss Re 2004).

### 7.3 Lebensmittel

Aus toxikologischer Sicht ist bei den verwendeten Micellen im Bereich der Nahrungsergänzungsmittel kein besonders hohes Risikopotenzial zu befürchten, wenn es sich bei den hier verwendeten Substanzen um natur- bzw. körpernahe Substanzen handelt und deren Abbauprodukte ebenfalls

---

Industrieprozessen und Produkten, NANOSAFE 2 (seit 04/2005): Entwicklung von Verfahren zur Erkennung, Verfolgung und Charakterisierung von Nanopartikeln <http://www.nanosafe.org/>

NANOTOX: Erforschung weiterer toxikologischer Wirkungen von Nanopartikeln. Ist inzwischen mit IMPART zusammengelegt. IMPART beschäftigt sich mit dem Verständnis von toxikologischen Wirkungen auf Gesundheit und Umwelt.

NANOTRANSPORT: The Behaviour of Aerosols Released to Ambient Air from Nanoparticle Manufacturing - A Pre-normative Study [http://cordis.europa.eu/fetch?ACTION=D&SESSION=&DOC=1&TBL=EN\\_PROJ&RCN=80028&CALLER=FP6\\_PROJ](http://cordis.europa.eu/fetch?ACTION=D&SESSION=&DOC=1&TBL=EN_PROJ&RCN=80028&CALLER=FP6_PROJ)

PARTICLE RISK: Risk Assessment of Exposure to Particles

[http://cordis.europa.eu/fetch?ACTION=D&SESSION=&DOC=1&TBL=EN\\_PROJ&RCN=74743&CALLER=FP6\\_PROJ](http://cordis.europa.eu/fetch?ACTION=D&SESSION=&DOC=1&TBL=EN_PROJ&RCN=74743&CALLER=FP6_PROJ)

<sup>14</sup> [www.nanogate.de](http://www.nanogate.de)

<sup>15</sup> [http://cordis.europa.eu/search/index.cfm?fuseaction=news.document&N\\_RCN=29114](http://cordis.europa.eu/search/index.cfm?fuseaction=news.document&N_RCN=29114)

unkritisch sind. Stattdessen stellt sich jedoch aufgrund der verbesserten Bioverfügbarkeit die Frage, ob eine Überdosierung des darin enthaltenen Wirkstoffes auftreten kann. So könnten fettlösliche Vitamine bei einer konstanten Überdosierung langfristig schädliche Wirkungen auf die menschliche Gesundheit haben. Bei einigen Produkten des Weltmarkts stellt sich die Frage nach dem toxikologischen Risiko ganz unmittelbar. Beispielsweise verfügen Silber-Nanopartikel bekanntermaßen über eine biozide Wirkung, während Gold-Nanopartikel nachweislich katalytische Wirkungen aufweisen. Ein Übergang von Nanopartikeln aus dem Verpackungsmaterial ins Lebensmittel ist insbesondere bei dünnen anorganischen Barrierschichten zu befürchten..

#### **7.4 Schutz bei der Herstellung und Verwendung**

Der Kontakt mit synthetischen Nanopartikeln und eine mögliche Aufnahme durch die Atemluft bzw. über die Haut erfolgt in erster Linie bei deren Herstellung bzw. bei der nachfolgenden Verwendung im Arbeitsprozess. Deshalb sind primär Arbeitnehmer bei Tätigkeiten mit synthetischen Nanopartikeln exponiert. Der Schutz der Arbeitnehmer steht jedoch vor der Schwierigkeit, dass zwischen der Entwicklungsgeschwindigkeit der Anwendung von neuartigen synthetischen Nanopartikeln und ihren möglichen Risiken eine deutliche Lücke besteht. Vermutungen über mögliche negative Folgen der Inhalation von synthetischen Nanopartikeln basieren bisher im Wesentlichen auf Analogieschlüssen zu Ergebnissen vorliegender Untersuchungen über die Wirkung ultrafeiner Partikel (LUBW 2007). Auf den Arbeitsschutz bei der Herstellung von Nanomaterialien wird im vorliegenden Bericht nicht weiter eingegangen.

#### **7.5 Bedeutung für Umweltrisiken**

Es ist davon auszugehen, dass bisher der Anteil synthetischer Nanopartikel unter den Feinstaubpartikeln in der Umwelt eine eher untergeordnete Rolle spielt, so dass zum jetzigen Zeitpunkt die Belastung durch Ultrafeinstaub nicht als Problem aus der Nanotechnologie zu sehen ist. Als Quellen kommen Carbon Black und Katalysatoremmissionen in Betracht (siehe Kap. 5.8). Neben der Diskussion um den Feinstaub bestehen im Umweltschutz bezüglich synthetisch hergestellter Nanopartikel jedoch noch folgende offene Fragen (LUBW 2007):

- Wie gelangen synthetische Nanopartikel in die Umwelt?
- Wie verhalten sich diese Nanopartikel in der Umwelt?
- Welche Umweltkompartimente sind betroffen?
- Sind damit gesundheitliche Risiken für Mensch und Umwelt (z.B. Akkumulation in bestimmten Organen, mögliche Akkumulation über die Nahrungskette) verbunden?
- Welche synthetischen Nanopartikel können als Transportmittel für andere schädliche Stoffe dienen – oder durch welche anderen Stoffe werden synthetische Nanopartikel verbreitet?
- Wie ist die Persistenz der Partikel in der Umwelt?

#### **7.6 Lebenszyklusbewertung**

Es gibt keine allgemeingültige Lebenszyklus-Bewertung (LCA, life cycle assessment) für Nanomaterialien. Die ISO-Rahmenbedingungen für LCA (ISO 14040:2006) sind jedoch anwendbar für Nanomaterialien und Nanoprodukte. Infolge der mageren Datenlage gestaltet sich die Anwendung von LCA noch schwierig (Klöpffer *et al.* 2007).

#### **7.7 Übernahme von Eigenverantwortung bei der Industrie**

Environmental Defense (U.S.) und die Firma DuPont haben ein Papier zu einem Prozessrahmen (NanoRisk Framework) im Umgang mit Nanomaterialien veröffentlicht (Medley and Walsh, 2007). Das Papier soll allen Organisationen, die mit Nanomaterialien arbeiten bzw. Produkte entwickeln oder

anwenden, helfen, die Risiken der Technologie einzuschätzen und zu managen und ihre Entscheidungen den Stakeholdern, der Belegschaft, den Kunden und der Öffentlichkeit darzulegen. Die ETC-Gruppe und Mitunterzeichnende befürchten jedoch, dass mit diesem freiwilligen, selbstdeklarierten Vorgehen staatliche Regulierungen verhindert oder verzögert werden.

Die Innovationsgesellschaft mbH entwickelte zusammen mit TÜV-SÜD das weltweit erste, zertifizierbare Risikomanagement- und Monitoringsystem für die Nanotechnologie (NanoRegulation 2007, T. Weidl). CENARIOS® (Certifiable Nanospecific Riskmanagement and Monitoring System) berücksichtigt toxikologische, regulatorische, technologische und wettbewerbliche Risikofaktoren und eignet sich speziell für die Beherrschung komplexer Technologierisiken mit hoher Unsicherheit und grosser Technologie- und Marktdynamik. Die periodische Zertifizierung garantiert die Anpassung des Systems an den aktuellsten Stand von Wissenschaft und Technik. Das System besteht aus drei Modulen: 1. Risk-Assessment / Risk-Evaluation, 2. 360° Risk-Monitoringsystem und 3. Issue-Management und Kommunikation. Damit kann CENARIOS® beispielsweise in der Chemie-, Pharma-, Textil-, Farben-, Kunststoff-, Kosmetik-, Automobil-, Elektronik-, Medizinal-, Verpackungs- und Lebensmittelindustrie eingesetzt werden. Da auch immer mehr Nanokonsumprodukte auf den Markt kommen, können auch Detail- und Grosshandelsunternehmen das System einsetzen. Als weltweit erstes Unternehmen hat Bühler Partec im September 2007 ihr eigenes Risikomanagement nach diesen Anforderungen vom TÜV Süd prüfen und zertifizieren lassen<sup>16</sup>.

Eigenverantwortung übernimmt auch die BASF mit ihrem Verhaltenskodex (Siehe 4.3).

An der Nano-Regulation Konferenz 2007 wurden die drei freiwilligen Massnahmen der Industrie „Code of Conduct“, „CENARIOS®“ und „NanoRisk Framework“ hinsichtlich der Eignung für bestimmte Industriezweige (Ernährung, Auto, Kosmetik, Verpackungen und Pharmazie) diskutiert (Innovation Society 2007). Für die Ernährungsindustrie wurde ein Verhaltenskodex als zweckdienlich beurteilt, da seine Einführung einfach sei und die Kommunikation und die Stakeholder davon profitieren könnten. Abschliessend wurde jedoch festgehalten, dass eine Firma im Ernährungssektor mehr tun muss, da die Konsumenten/innen sehr sensibel gegenüber der Anwendung von Nanotechnologien bei Nahrungsmitteln seien. Auch für die Verpackungsindustrie wurde ein Verhaltenskodex als sehr zweckdienlich angesehen. Probleme könnten jedoch ebenfalls bei der Kommunikation entstehen, da es für Konsumenten/innen nicht leicht nachvollziehbar sei, wieso eine Verpackungsfirma einen Verhaltenskodex braucht. Bei Nahrungsmittelverpackungen werden so oder so Bedenken seitens der Konsumenten/innen erwartet.

Ähnlich wie beim Verhaltenskodex würde ein Zertifizierungsinstrument wie CENARIOS® die Bedenken der Konsumenten/innen gegenüber Nanotechnologie in Nahrungsmitteln nicht zerstreuen können. Für den Verpackungsbereich wurde CENARIOS® jedoch als ideal empfunden: Einfache Implementierung, nützlich für die Stakeholder und geeignet für die business-to-business Kommunikation. Dagegen wurde das NanoRisk Framework für alle Industriezweige als weniger zufriedenstellend betrachtet. Es würde sich allenfalls für KMUs als „learning tool“ eignen. In jedem Fall würde der Erfolg des Frameworks abhängen von der Firmentransparenz und Bereitschaft, mögliche

---

<sup>16</sup> Im Rahmen des Risikomanagement-Systems beobachtet und registriert der Geschäftsbereich Bühler Partec systematisch Aussagen in wissenschaftlichen Publikationen zu den Bereichen Nanotechnologie und Gesundheit, Umwelt und Arbeitssicherheit. Zusätzlich werden die gesellschaftlichen und insbesondere regulatorischen Entwicklungen analysiert und allgemeine Trends in der Technologie und im Markt beobachtet. Damit ist gesichert, dass neue Erkenntnisse rechtzeitig erfasst werden und in die Forschung, Produktion und Vermarktung der hergestellten Produkte einfließen. Darüber hinaus werden laufend sämtliche Produkte und Produktionsprozesse anhand der verfügbaren Daten überprüft. Für jedes verarbeitete Produkt wird zudem ein umfassendes Risikoassessment durchgeführt. Bühler ist ein global führendes Unternehmen der Verfahrenstechnik, insbesondere für Produktionstechnologien zur Herstellung von Nahrungsmitteln und technischen Materialien. Der Geschäftsbereich Bühler Partec des Technologiekonzerns Bühler AG ist spezialisiert auf die Verarbeitung und Veredelung von Nanopartikeln und stellt gebrauchsfertige Nanopartikel-Dispersionen für verschiedene Industrien her. [http://www.buhlergroup.com/news/49807DE.asp?grp=60&org=70\\_75&nav=70\\_95&lang=DE&printpage=1&land=](http://www.buhlergroup.com/news/49807DE.asp?grp=60&org=70_75&nav=70_95&lang=DE&printpage=1&land=)

Risiken offen zu legen.

## 8 Handlungsbedarf und -empfehlungen

Als eine der ersten machte die ETC Gruppe im Jahre 2004 auf die Entwicklung der Nanotechnologie in den Bereichen Landwirtschaft und Lebensmittel aufmerksam (ETC Group 2004). Die zögerliche Wahrnehmung der Nanotechnologie durch die Regierung kommentiert die Gruppe mit dem Hinweis, dass Regierung und Meinungsmacher 8–10 Jahre hinter dem aktuellen Bedarf an Öffentlichkeitsarbeit und politischer Debatte bzw. Entscheidungen zurückliegen. Die Gruppe empfahl damals, die Gesellschaft solle sich in einer breit abgestützten, umfassenden Diskussion mit der Nanotechnologie in der Ernährungs- und Landwirtschaft auseinandersetzen. Ohne eine eingehende Risikoabschätzung für Mensch, Tier und Umwelt sollten keine Produkte der Nanotechnologie in den Verkehr gebracht werden dürfen.

In Deutschland wurde die Nano-Initiative – Aktionsplan 2010 als wichtiger Teil der Hightech-Strategie der Bundesregierung entwickelt (BMBF 2006). Daran beteiligen sich sieben Bundesministerien. Dem Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) ist es vor allem ein Anliegen, dass mit dem Plan ein besonderes Augenmerk auf die Früherkennung von möglichen Risiken gelegt wird. Weiter sollen geeignete Testmethoden entwickelt und dabei die Tierschutzaspekte nicht vernachlässigt werden, d.h. Ersatz- und Ergänzungsmethoden sollen dem Tierversuch vorgezogen werden. Obwohl sich das BMELV am Aktionsplan beteiligt, werden unter den Anwendungs- und Produktionsoptionen der Nanotechnologie aus dem Bereich Landwirtschaft und Lebensmittel einzig die Lebensmittelverpackungen erwähnt. Die Landwirtschaft wird im Bericht überhaupt nicht erwähnt, und die Lebensmittel nur im Zusammenhang mit dem Verbraucherschutz. Dies lässt darauf schließen, dass zumindest zum Zeitpunkt der Erarbeitung des Aktionsplans, die (finanziellen) Chancen der Nanotechnologie in der Landwirtschaft und Ernährung als unbedeutend eingestuft wurden.

Im 7. Rahmenprogramm der EU sollen weitere Gelder für die Risikoforschung zur Verfügung gestellt werden. Es bleibt abzuwarten, ob die Förderung der Projekte zu gesundheitlichen Risiken auch tatsächlich umgesetzt wird. Sollten, wie im 6. RP, zu wenig Projekte auf den Weg gebracht werden, so wird eine Forschungslücke gegenüber den technologischen Entwicklungen von mehr als 6 Jahren erwartet.

Auf Grund der von ALP an verschiedenen Tagungen zusammengetragenen Information, kann folgender Handlungsbedarf formuliert werden:

- Erforschung der Chancen und Risiken der Nanotechnologie für Mensch und Umwelt;
- Wissens- und Erfahrungsaustausch zwischen den Beteiligten: Forschung, Bildung, Wirtschaft und Politik;
- Frühzeitige Risikokommunikation mit der Öffentlichkeit, zur Sicherung der Akzeptanz dieser Zukunftstechnologie;
- Klarheit bzgl. Deklaration und Zulassungssituation nanohaltiger Lebensmittel und Produkte (Konsument/in soll/will selbst entscheiden können, ob er auf Basis der Nanotechnologie hergestellte Produkte erfolgt);
- Entwicklung von Untersuchungsmethoden für eine systematische Überwachung sowie von Prüfverfahren und Analysemethoden zum Nachweis und zur quantitativen Bestimmung von Nanopartikeln in Lebensmitteln, Kosmetika und Verpackungsmaterialien (Migrationstests).

Eine internationale Koalition verfasste acht fundamentale Prinzipien für eine angepasste und effektive Aufsichtsführung und Beurteilung der Nanotechnologie (Anonymus 2007):

- I. Produzenten und Händler müssen die Sicherheit ihrer Produkte nachweisen.
- II. Nanomaterialien sollen als neue Substanzen klassifiziert und beaufsichtigt werden.

- III. Die Öffentlichkeit und Belegschaft müssen vor dem Kontakt mit Nanomaterialien ausreichend geschützt werden.
- IV. Bevor die Produkte in den Handel gelangen, ist eine vollständige Lebenszyklusanalyse durchzuführen.
- V. Alle Nano-Produkte müssen deklariert werden. Unterlagen über die Sicherheit des Produkts müssen öffentlich zugänglich sein.
- VI. Die neue Technologie muss in der Öffentlichkeit diskutiert werden.
- VII. Ethische und soziale Auswirkungen der Technologie müssen berücksichtigt werden.
- VIII. Die Nano-Industrie muss für Schäden haften.

Die Schweizer Bundesämter für Gesundheit und Umwelt leiten das Projekt Aktionsplan „Risikobestimmung und -management synthetischer Nanomaterialien“ (2006–2009). Ziel ist es, die nationalen und internationalen Aktivitäten der Schweiz im Bereich Risikoevaluation und des Risikomanagements synthetischer Nanomaterialien zu koordinieren sowie Massnahmen- und Handlungsbedarf für die Sicherstellung und Regulierung von Arbeitnehmer, Verbraucher- und Umweltschutz einzuschätzen. Der Grundlagenbericht fasst den aktuellen Stand des Wissens um die Risiken von synthetischen Nanopartikeln zusammen (BAFU 2007). Der Bericht kommt zum Schluss, dass für eine schlüssige Risikobewertung in weiten Bereichen nur ungenügende Kenntnisse vorhanden sind. Insbesondere fehlen wissenschaftliche und methodische Kenntnisse über Emissionsquellen und -quantitäten sowie über das toxikologische und ökotoxikologische Verhalten von Nanopartikeln und deren Umweltverhalten. Zudem fehlen geeignete Definitionen, standardisierte Methoden und Richtlinien für Tests.

Zur Zeit geht die Schweizer Gesetzgebung nicht auf die spezifischen Eigenschaften von synthetischen Nanomaterialien ein. Es bestehen deshalb erhebliche rechtliche Unsicherheiten, die mit dem Aktionsplan beseitigt werden sollen. Folgende Massnahmen sind im Aktionsplan vorgesehen:

1. Integrales Kommunikationskonzept über Chancen und Risiken der Nanotechnologie erarbeiten und umsetzen.
2. Dialogplattformen fördern und initiieren.
3. Technikfolgenabschätzungen im Bereich Nanotechnologie unterstützen und damit Entscheidungsgrundlagen für Behörden, Politik und Wirtschaft schaffen.
4. Konsumenten/innen über synthetische Nanomaterialien in Produkten informieren und Massnahmen prüfen, die den Informationsbedürfnissen der Konsumenten/innen bzw. der Patientinnen und Patienten/innen Rechnung tragen. Dabei ist die Deklaration von Produkten als eine Möglichkeit in Betracht zu ziehen.
5. In Zusammenarbeit mit Industrie, Wissenschaft, Behörden sowie Konsumenten-, Patienten- und Umweltorganisationen ein Risikoraster ausarbeiten und dem aktuellen Wissensstand anpassen.
6. Selbstkontrolle und Massnahmen zum Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz: Industrie und Gewerbe sind verpflichtet, ihre Produkte und Anwendungen im Rahmen der bestehenden Bestimmungen zur Selbstkontrolle zu beurteilen, falls nötig risikoreduzierende Massnahmen zu treffen und ihre Kunden über solche zu informieren. Bei der Herstellung und Verwendung von synthetischen Nanomaterialien müssen alle erforderlichen Massnahmen zum Schutz der Arbeitnehmenden getroffen werden. Dazu müssen Wegleitungen für den Umgang mit synthetischen Nanomaterialien ausgearbeitet werden.
7. Freiwillige Massnahmen der Industrie bei der Herstellung, Vermarktung und Verwendung von Produkten und Anwendungen mit synthetischen Nanomaterialien. Branchenverbände können mit der Ausarbeitung eigenverantwortlicher Vereinbarungen (Code of Conducts) Leitplanken für einen nachhaltigen Umgang mit Nanomaterialien setzen.
8. Sicherheitsrelevante Informationen an die weiterverarbeitende Industrie abgeben (Sicherheitsdatenblatt).
9. Vorschriften für die Entsorgung von Produkten mit synthetischen Nanomaterialien

ausarbeiten.

10. Verstärkte Förderung der unabhängigen Risikoforschung im Bereich Nanotechnologie in der Schweiz. Dabei sind zu prüfen: 1) die Lancierung eines Nationalen Forschungsprogramms „Chancen und Risiken von synthetischen Nanomaterialien“. 2) Massnahmen, um Forschende zu ermutigen, sich an Forschungs- und Koordinationsprojekten des 7. Forschungsrahmenprogramms der EU zu beteiligen.
11. Terminologie, Normen, Mess- und Prüfmethoden ausarbeiten in Anlehnung an die diesbezüglichen Programme anderer nationaler Behörden und internationalen Organisationen zu beteiligen (OECD, ISO, EMEA, ICH).
12. Bestehende Förderinstrumente besser nutzen. Die Möglichkeiten der Nanotechnologie in den Bereichen Ressourceneffizienz, Gesundheitsschutz und Arbeitssicherheit müssen erkannt und bestehende Hindernisse für eine erfolgreiche Markteinführung entsprechender Anwendungen ausgeräumt werden.
13. Rechtliche Rahmenbedingungen für einen sicheren Umgang mit synthetischen Nanomaterialien schaffen. Periodisch überprüfen, ob der fortschreitende Wissensstand zusätzliche rechtliche Massnahmen erfordert. Die rechtliche Entwicklung im Ausland, insbesondere in der EU, ist zu berücksichtigen.

## 9 Einschätzung der Entwicklungstrends

„Die Nanotechnologie ist nicht einfach eine weitere Etappe in der seit langem voran schreitenden Miniaturisierung, sie ist somit nicht bloss the „latest technology“. Nanotechnologie bringt zahlreiche vollkommen neuartige Eigenschaften und Funktionalitäten hervor (u.a. zufolge massiv veränderter Kräftedominanz und -relevanz der Materialien sowie zufolge deren Kompatibilität mit der Biologie, wo das Längenmass der Nanometer ist), weshalb sie als eine sog. „disruptive technology“ betrachtet werden muss. Die Nanotechnologie wird demzufolge sowohl in alle Bereiche vordringen als dort auch vieles auf den Kopf stellen: Sie wird herkömmliche Wertschöpfungsketten und Geschäftsmodelle in Frage stellen!“ (Zitat Paul W. Gilgen, Empa).

Die hohen Erwartungen, die in die Nanotechnologien gesetzt werden, zeigen sich auch in der europäischen Forschungsförderung auf diesem Gebiet<sup>17</sup>. So sind im 7. EU Rahmenprogramm für das Thema „Nanosciences, Nanotechnologies, Materials and New Production Technologies“ 3,5 Milliarden Euro vorgesehen, im Vergleich dazu sind für den Ernährungsbereich „Food, Agriculture, Fisheries and Biotechnology“ nur gerade 1,9 Milliarden Euro geplant. Zudem zählt die Nanotechnologie mit der Nanoelektroniktechnologie neben „embedded intelligence systems“, Arzneimittel und Luftfahrt zu einer der vier geplanten, gemeinsamen Technologieinitiativen des Rates der EU, für die insgesamt über eine Periode von 10 Jahren 7,6 Milliarden Euro in entsprechende öffentlich-private Partnerschaften investiert werden soll. Mit diesen Initiativen erwartet die EU einen europäischen Technologievorsprung und dementsprechend eine konkurrenzstarke wirtschaftliche Entwicklung.

Die Vision für alle Nanotechnologien ist die Herstellung einer Vielzahl Materialien und Produkten mit atomarer Präzision. Es ist unbestritten, dass Investitionen in die atomare Präzision zu grossen Fortschritten in high-tech Anwendungen aller Art von der Medizin, Sensortechnik, IT bis hin zur Nutzung der Sonnenenergie führen wird. Die Experten sind sich jedoch noch uneinig über die Geschwindigkeit der Fortschritte. Nach Moore's Gesetz sollte der Durchbruch in den nächsten 15

---

<sup>17</sup> Im World Dairy Summit 2007 in Dublin (29.9.-4.10.) wurde ein Forschungsprogramm vorgestellt, das in Finnland unter dem Titel FinNano läuft. Dies ist ein grosses Forschungsprogramm zur Nanotechnologie mit einem totalen Forschungskredit von 75 Millionen Euro und einem Zeitrahmen von vier Jahren (2005–2009). Zwei Beispiele wurden daraus vorgestellt. Milchproteine werden enzymatisch zu Nanostabilisatoren verbunden (Crosslinking mit Tyrosinase, Transglutaminase oder Sulphydryl-Oxidase), welche Emulsionen oxidativ stabilisieren können. Mit hydrophoben Nanopartikeln kann erreicht werden, dass Verpackungen aus Biopolymeren (Proteine, Polysaccharide) ihre Eigenschaften auch unter feuchten Bedingungen behalten.

Jahren oder in noch kürzerer Zeit stattfinden (Roadmap 2007).

Schon jetzt nimmt der Markt der Nanotechnologie stark zu. Noch besteht jedoch aufgrund der hohen Preise der Nanomaterialien sowie des noch nicht vollständig abschätzbaren Risikos für Umwelt und Gesundheit des Menschen eine Hemmnis in der breiten Umsetzung und Anwendung. Nach Prognosen wird jedoch im Jahr 2015 fast jede Industriebranche von Nanotechnologie-Anwendungen durchdrungen sein. Aktuell investieren Regierungen und Industrie weltweit jährlich über 12 Milliarden US Dollar in Nanotechnologie F&E. Zur Zeit sind über 500 Produkte aus 25 Ländern auf dem Markt. Es wird erwartet, dass sich die globale wirtschaftliche Produktion im Zusammenhang mit den Nanotechnologien bis zum Jahr 2014 auf 2,6 Billionen US Dollar ausweitet (NanoRegulation 2007, D. Rejeski). Im internationalen Vergleich gehört Deutschland zu den stärksten Akteuren in der Nanotechnologie und wird hier nur von den USA und Japan übertroffen. Zurzeit entfällt auf Deutschland mehr als die Hälfte der öffentlichen Mittel, die im EU-Raum für die Nanotechnologie bereitgestellt werden (DMW 2007).

Mehr als 200 Unternehmen weltweit arbeiten derzeit an sogenanntem Nanofood, vor allem in den USA, in Japan und China, zunehmend auch in Europa. Prognosen sagen Nano-Lebensmitteln bis 2010 einen 20 Milliarden Euro Markt voraus. Inwieweit diese High-Tech-Produkte auf dem Markt eine Chance haben werden, wird sich erst noch zeigen (müssen).

## **10 Aktuelle Aktivitäten von Agroscope im Bereich Nanotechnologien**

### **10.1 ACW**

Im Arbeitsprogramm 2008–2011 ist ein Projekt (P 01.18.02) mit dem Titel „Auswirkung neuer Technologien und Rahmenbedingungen auf Qualität und Sicherheit landwirtschaftlicher Produkte“ vorgesehen.

Oberstes Ziel des Projekts ist die Erarbeitung einer ACW-Expertenmeinung zu neuen Technologien mit Bezug zu pflanzlichen Lebensmitteln, für interne Zwecke und im Bedarfsfalle auch für Kunden von ACW (Erzeuger von landwirtschaftlichen Lebensmittelprodukten, Konsumenten). Insbesondere werden berücksichtigt: Auswirkung und Anwendbarkeit neuer Technologien, Chancen und Risiken. Dabei ist es klar, dass die Anwendung und Auswirkung der Nanotechnologie besonders berücksichtigt werden. Es ist vorgesehen, Positionspapiere für interne Zwecke sowie Übersichtsartikel in Fachorganen und Publikumsjournalen über neue Technologien zu erarbeiten, wobei die Indikatoren sind: 1 Positionspapier, 1 Fachartikel und 1 praxisorientierter Artikel im Jahr. Zudem werden auf der Internetseite der Forschungsanstalt Agroscope ACW Links zu neuen Informationen unterhalten.

Informationen über die neuen Technologien werden durch gezielte Literaturrecherchen, das Setzen von „Alerts“ in Suchmaschinen, die Konsultation von Fachkollegen in anderen Forschungsinstituten usw. gewonnen. Die Informationsquellen und die Anzahl regelmässig konsultierter Fachpersonen werden wahrscheinlich mit der Zeit ausgedehnt. Kontakt wird aufgenommen mit der Arbeitsgruppe food material science, Institut für Lebensmittelwissenschaften an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich sowie mit Amtsstellen und Programmen, wie z.B. dem vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft vorgesehenen Nationalen Forschungsprogramm zum Thema Nanotechnologie oder der Sektion Lebensmitteltechnologie und Ernährung des Bundesamtes für Lebensmittel und Verbraucherschutz. In regelmässigen Abständen werden die Informationen zusammengefasst und im erwähnten Sinne verfügbar gemacht. In einer Vorstudie wurde mit der Sammlung von Information zum Thema der neuen Technologien bereits begonnen. Relevante Informationsquellen sind bekannt.

### **10.2 ALP**

ALP ist gefordert, die Praxis in der Entwicklung und Bewertung neuer Verfahren in der Milch- und

Fleischwirtschaft, in der Entwicklung innovativer, wettbewerbsfähiger Produkte sowie in der Früherkennung wichtiger Entwicklungen in funktionellen Eigenschaften von Milchinhaltsstoffen und im Bereich Technologie und Ernährung zu unterstützen.

Im Rahmen der Früherkennung (Foresight) ist es für ALP daher von Bedeutung, sich über die Entwicklungen und den Einsatz von Nanotechnologien in der Lebensmittelindustrie, in Lebensmittelverpackungen oder gar Lebensmitteln selbst und möglichen Folgen zu orientieren. Des Weiteren gilt sich über die Ergebnisse von Studien zu Gesundheitsuntersuchungen und Umweltrelevanz zu informieren und sich mit folgenden Fragestellungen auseinander zu setzen:

- Inwieweit sind Nanopartikel und Nanotechnologie für die (Schweizer) Milch- und Fleischwirtschaft von Bedeutung?
- Könnten wir (bald) mit Verpackungssystemen konfrontiert werden, bei denen eine Migration reaktiver Nanopartikel ins Produkt nicht auszuschliessen ist?
- Was würde ein solcher Einsatz für die Lebensmittel und damit die Gesundheit des Menschen bedeuten?

Viele Fragen sind zu diesem Thema offen, daher gilt es sich ein objektives Bild über den Stand der Wissenschaft und Technik zu verschaffen. Seitens ALP wurden daher verschiedene Veranstaltungen und Workshops zum Thema Nanotechnologie besucht.

Im Arbeitsprogramm 2008–2011 ist seitens ALP zudem geplant, eine Kompetenz im Bereich Verpackungen aufzubauen.

Nachfolgend wird ein Überblick über die seitens ALP besuchten Veranstaltungen (2006–2008) gegeben.

#### **10.2.1 Workshop: Nutzen der Nanotechnologie im Lebensmittel- und Verpackungsbereich**

Der Workshop wurde seitens ALP am **31.05.2006** am Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung in Freising bei München (D) besucht. Veranstalter des Workshops waren die Industrievereinigung für Lebensmitteltechnologie und Verpackung (IVLV), das Fraunhofer IVV und der Lehrstuhl für Lebensmittelverpackungstechnik der Technischen Universität München.

Im Workshop wurde zunächst erläutert, was unter dem Begriff der Nanotechnologie zu verstehen ist. Chancen wie auch Risiken der Nanotechnologie wurden an diesem Workshop aufgezeigt, zudem wurden toxikologische Aspekte von Nanomaterialien berücksichtigt.

Im Workshop wurde die Verarbeitung und Funktion nanoskaliger organischer Partikel beleuchtet und aufgezeigt, wie nanoskalige Schichten und Partikel die Eigenschaften von Packstoffen verbessern. Dabei wurde über Silikat-Nanopartikel in Polymeren, über antimikrobiell wirksame Silber-Nanopartikel sowie über industrielle Schichtsysteme und deren Perspektiven berichtet.

#### **10.2.2 Fachtagung: Nanotechnologie - Revolution für Lebensmittel und Verpackung?**

Die Euroforum-Fachtagung wurde seitens ALP am **30.08.2006** am Gottlieb Duttweiler Institut in Zürich besucht. Die Fachtagung wurde seitens Euroforum in Zusammenarbeit mit b&f concepts und der Innovationsgesellschaft organisiert. Seitens Experten aus Forschung & Entwicklung und Verbraucherschutz wurden Potenziale und Einsatzbereiche der Nanotechnologie in der Foodbranche, in Lebensmitteln und bei Verpackungen präsentiert und der Umgang mit neuen Technologien im Konsumentenfeld diskutiert.

#### **10.2.3 Swiss Food Net Tagung: Workshop Verpacken mittels Nanotechnologie**

Die von ALP besuchte Swiss Food Net Tagung fand am **12.12.2006** an der Schweizerischen Hochschule für Landwirtschaft in Zollikofen statt. Im Workshop Verpacken mittels Nanotechnologie

(Moderation: Prof. Didier Louvier, HEIG-VD), mit Teilnehmern aus Industrie und Forschung, wurde aufgezeigt, dass Abklärungen von Risiken im Bereich der Nanotechnologie unter anderem auch durch fehlende Testeinrichtungen in Labors sowie aufgrund bisheriger Unkenntnis bezüglich der Durchführung möglicher Tests erschwert oder gar nicht möglich sind.

#### **10.2.4 Forum für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz: Nanotechnologie im Fokus - Chancen, Risiken, Visionen**

Das Forum, das als Diskussionsplattform für Zukunftsthemen gilt, fand am **26.02.2007** im Europäischen Patentamt in München statt und wurde durch das Bayerische Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (UGV) organisiert. Am Forum nahmen ca. 100 geladene Gäste aus (bayrischer) Politik, Wirtschaft, Wissenschaft, Verbraucherschutz, Umwelt- und Naturverbänden teil. Des Weiteren war der „nanoTruck“ der Bundesregierung präsent, der zudem auf sehr anschauliche Weise Einblick in Grundlagen der Nanoteilchen bot. Der „nanoTruck“ stellt ein Medium dar, den Begriff der Nanotechnologie sowie die neue Technologie im Allgemeinen dem Verbraucher im Rahmen Kommunikation, Transparenz und Akzeptanz näher zu bringen.

Chancen und Risiken dieser neuen Technologie wurden in vielfältiger Weise diskutiert. Auf Landesebene (Bayern) wird ein enormes Zukunftspotenzial gesehen. Diese grosse Herausforderung sollte daher im Forum aufgegriffen werden. Die zukunftssträchtige Nanotechnologie wird sich jedoch nur so rasch und dauerhaft durchsetzen können, wie sie in der Gesellschaft Akzeptanz findet.

#### **10.2.52. Karlsruher Lebensmittelsymposium 2008 „Nanotechnologie in der Lebensmittelproduktion“**

Das Thema „Nanotechnologie in der Lebensmittelproduktion“ wurde am Symposium für Produktentwicklung, Marketing, HACCP-Teams und Lebensmittelüberwachung zusammenfassend und verständlich dargestellt. Als Referenten wurden Fachexperten aus Forschung, Produktion und Politik gewählt, die Erste-Hand-Informationen haben. Was ist möglich? Was gibt es bereits? Wie gefährlich ist das? Wie sieht es der Verbraucher? Am Symposium wurde zusammengetragen, was im Bereich Lebensmittelproduktion mittels Einsatz der neuen Technik möglich ist (z.B. Verkapselung von funktionalen Inhaltsstoffen), welche Risiken entstehen könnten (z.B. Allergiepoteziale, Überdosierung) und ob es Chancen für die neue Technik auf dem Markt gibt (Verbraucherbefragung seitens Bundesinstitut für Risikobewertung).

#### **10.2.6 Nano-Tera 2008**

Nano-Tera.ch wurde vom ETH-Rat und von der Schweizerischen Universitätskonferenz im Auftrag des Bundes geschaffen. In den kommenden vier Jahren sollen 120 Millionen Franken in das gesamtschweizerische Forschungsprogramm Nano-Tera.ch investiert werden. Bewilligt werden dabei Projekte sowohl in der Grundlagen- als auch in der angewandten Forschung. Angestrebte Anwendungen von Nano-Tera.ch liegen vor allem in den Bereichen: Gesundheit (beispielsweise neue Verfahren für Diagnostik und Behandlung), Sicherheit (beispielsweise sensorenbasierte epidemiologische Überwachungssysteme) und Umwelt (beispielsweise Überwachungs- und Alarmsysteme).

ALP hat einen "Letter of Intent" mit dem Titel "Fermentomics - A human nutrigenomics trial aimed at developing the NutriChip, a biomarker platform for the selection of bacterial strains that can transform milk into products with specific health-promoting properties" eingereicht. Das Projekt stellt eine Verbindung von Ernährungsstudien im Menschen und der Erfassung und Identifizierung von Biomarkern im Blut dar, und soll zur Weiterentwicklung eines Microchips führen.

### **10.3 ART**

ART war an der Projekteingabe „Development of a set of catalytic oxides and modification of structural

elements of buildings to increase the effectiveness of environmental catalysis in agricultural constructions“ im EU-FP6 beteiligt. Im Projekt wurde nach Lösungen gesucht, wie das Stallklima mit Hilfe von Wandmaterialien und Oberflächenbehandlungen, die spezifische, nanotechnologie-basierte Eigenschaften haben, günstig beeinflusst werden kann. Es wurde auch postuliert, dass damit Geruchs- und NH<sub>3</sub>-Emissionen vermindert werden könnten. Die Agrartechnik Tänikon hätte sich vor allem mit experimentellen Abklärungen bezüglich Wirksamkeit von diversen Materialien auf Geruchs- und NH<sub>3</sub>-Emissions-Minderung befasst. Der Ansatz scheint vielversprechend. Er könnte vor allem in Ställen mit freier Lüftung, wo nur wenig Spielraum für Emissionsminderungs-Massnahmen bestehen, zum Tragen kommen. Das Projekt war bei der Eingabe nicht erfolgreich, wodurch die Thematik bei ART in den Hintergrund getreten ist.

Die Nanotechnologien werden mit ihrem Miniaturisierungspotential einen wesentlichen Beitrag zur Weiterentwicklung der Informations- und Sensortechnologien beitragen und damit Fortschritte in der Robotik generieren. ART beteiligt sich an der Vorbereitung eines ERA-Nets zum Thema „ICT & Robotics in Agriculture and Related Industries“. ICT & Robotics ist eine unterstützende Querschnittsdisziplin für klassisch agronomische Forschungsgebiete wie Pflanzenschutz oder Tiergesundheit. Gleichzeitig bedient sie sich vorhandener Industrietechnologie. ICT & Robotics ist als Schnittstelle zwischen agronomischem und technisch-industriellem Wissen die Voraussetzung für das Entstehen von neuen ICT-basierten Lösungsansätzen für klassisch agronomische Probleme. In diesem Projekt wird sich ART zumindest indirekt mit den Nanotechnologien auseinandersetzen.

Die Gruppe Organische Spurenanalytik innerhalb des Supportbereichs „Analytische Chemie“ (31.5) arbeitet gegenwärtig an mehreren Projekten mit direktem oder indirektem Bezug zur Nanotechnologie:

#### **10.3.1“Ecotoxicology of Nanoparticles: Biota-Nanoparticle-Pollutant Interactions in aqueous systems - Comparison of Black Carbon and Carbon Nanotubes”:**

Black Carbon und KNR spielen in der Umwelt eine aus ökotoxikologischer Sicht eine zwiespältige Rolle. Einerseits können sie bei aktiver oder passiver Aufnahme direkt toxisch wirken, andererseits reduzieren sie durch Adsorption die bioverfügbaren Konzentrationen von manchen organischen Schadstoffen. Dieses Projekt untersucht die Interaktionen zwischen Organismen, Nanopartikeln und Schadstoffen systematisch. Dabei wird die Grünalge *Chlorella vulgaris* als Modellorganismus, Black Carbon und KNR als Vertreter von NP und das Herbizid Diuron als Schadstoff verwendet. In einem ersten Schritt werden binäre Systeme (NP-Schadstoff, NP-Algen und Schadstoff-Algen) untersucht. Danach wird die Komplexität der Versuche zum ternären Experiment erhöht. NP und Algen werden mittels Dialysemembranen separiert um den Einfluss der reduzierten Schadstoffverfügbarkeit von demjenigen der NP unterscheiden zu können. Bei dem Projekt handelt es sich um ein freies Grundlagenforschungsprojekt finanziert durch den Schweizerischen Nationalfonds. Das Projekt wurde gemeinsam mit Dr. Bernd Nowack, EMPA und Dr. Katja Knauer, Universität Basel beantragt und wird in den Jahren 2008-10 in Form einer Dissertation realisiert.

#### **10.3.2Die Bedeutung von Russ (Black Carbon) für die Verteilung und Verfügbarkeit von Agrochemikalien in Böden und Sedimenten.**

Russ (Black Carbon) ist als Produkt der unvollständigen Verbrennung von fossilen und rezenten Brennstoffen häufig im Nanometer-Grössenbereich in der Umwelt allgegenwärtig. Neben seiner Bedeutung für die Gesundheit (z.B. als Feinstaub) und den Klimawandel (z.B. als Verursacher von „Global Dimming“) spielt Russ vor allem auch als Sorbent von persistenten organischen Schadstoffen (z.B. PAK, PCBs, PCDD/Fs), aber auch einer Reihe von modernen Pflanzenschutzmitteln wie den Phenylharnstoff-Herbiziden, eine wichtige Rolle. Es hat sich gezeigt, dass die Gegenwart von Russ die Verteilung von Schadstoffen zwischen der wässrigen und der festen Phase (z.B. Sedimenten) um Grössenordnungen verschieben kann. Gegenwärtige Modelle, basierend ausschliesslich auf der Verteilung an „gewöhnliches“ organisches Material, überschätzen deshalb den gelösten Anteil und somit die Mobilität und Verfügbarkeit solcher Substanzen. Zur verbesserten Voraussage dieser Grössen ist man auf zwei Parameter angewiesen: 1) den Sorptionskoeffizienten von Schadstoffen aus Wasser an Russ und 2) den Gehalt desselbigen im interessierenden Kompartiment. Die Absorption an

Russ wurde für persistente organische Verbindungen bereits intensiv studiert, Untersuchungen mit landwirtschaftlich relevanten organischen Schadstoffen wie Pflanzenschutzmitteln oder Pharmazeutika bisher aber vernachlässigt. Ebenso fehlen Daten über Russgehalte in Sedimenten und Böden der Schweiz fast vollständig. Mit der Quantifizierung der Wasser-Russ Sorptionskoeffizienten für Phenylharnstoff-Herbizide und Russ in Böden und Sedimenten trägt die ART zu einer verbesserten Voraussage der Verteilung und Verfügbarkeit von wichtigen Agrochemikalien in diesen Kompartimenten bei. Das Projekt wird grösstenteils von Dr. Anna Sobek im Rahmen ihres Marie den Curie Intra-European Fellowship „SUREAL: Sorption von Phenylharnstoffpestiziden an Russ“ durchgeführt.

### **10.3.3 Die Stabilität von KNR unter chemisch-thermischen Oxidationsbedingungen zur Isolation von Russ aus Umweltproben**

Russ kann aus Sediment- oder Bodenproben durch chemisch-thermische Oxidation isoliert werden. Dabei wird die Probe nach Entfernung von Karbonaten mittels HCl (1M) während 24 Stunden unter einem konstanten Luftstrom bei 375 °C oxidiert. Der übrigbleibende, refraktäre Kohlenstoff wird als Russ definiert. Die Methode wurde mehrfach mit Positiv- und Negativkontrollen getestet und ergibt biogeochemisch konsistente und plausible Gehalte (Gustafsson et al. 1997, 2001, Elmquist et al. 2004). Wir testen mit reinen Proben und mittels Standardaddition von KNR in Böden und Sedimenten ob und in welchem Mass KNR dieser Behandlung widerstehen und ob entsprechend deren Isolation aus Realproben ebenfalls möglich wären.

ART-Publikationen zum Thema:

- Bucheli, T.D., Gustafsson, Ö. 2000 Quantification of the soot-water distribution coefficient of PAHs provides mechanistic basis for enhanced sorption observations. *Environ. Sci. Technol.* 34, 5144-5151;
- Bucheli, T.D., Blum, F., Desaulles, A., Gustafsson, Ö. 2004 Polycyclic aromatic hydrocarbons, black carbon, and molecular markers in soils of Switzerland. *Chemosphere* 56, 1061-1076;
- Koelmans, A.A., Jonker, M.T.O., Cornelissen, G., Bucheli, T.D., Van Noort, P.C.M., Gustafsson, Ö. 2006 Black carbon: The reverse of its dark side. *Chemosphere* 63, 365-377;
- Cornelissen, G., Gustafsson, Ö., Bucheli, T.D., Jonker, M.T.O., Koelmans, A.A., van Noort, P.C.M. 2005 Extensive Sorption of Organic Compounds to Black Carbon, Coal, and Kerogen in Sediments and Soils: Mechanisms and Consequences for Distribution, Bioaccumulation, and Biodegradation (Critical review). *Environ. Sci. Technol.* 39, 6881-6895;
- Knauer, K., Sobek, A., Bucheli, T.D. 2007 Reduced toxicity of diuron to the freshwater green alga *Pseudokirchneriella subcapitata* in the presence of black carbon. *Aquat. Toxicol.* 83, 143-148;
- Nowack, B., Bucheli, T.D. 2007 Occurrence, behavior and effects of nanoparticles in the environment. *Environ. Pollut.* 150, 5-22.

## **11 Handlungsbedarf für Agroscope**

### **11.1 Künftige Aktivitäten im Bereich Nanotechnologien im Hinblick auf Steuerung und Wissensgenerierung und -transfer in der Schweiz**

Die TA-Swiss Studie „Nanotechnologie im Bereich Lebensmittel“ soll im Herbst 2008 abgeschlossen werden. Der erste Teilentwurf zum Bericht löste in der Begleitgruppe eine heftige Diskussion über die Definition von Nanopartikeln in Lebensmitteln aus. Diese Frage muss jedoch eindeutig geklärt werden, da sonst die mehrheitlich gewünschte Deklaration von Lebensmitteln nicht möglich ist, und Lebensmittelhersteller in der Information über Anwendungen von Nanotechnologien zurückhaltend bleiben. Es ist zu erwarten, dass die Studie ein Grundsatzpapier darstellt, auf dem weitere

Diskussionen geführt werden und Handlungsbedarf abgeleitet werden kann.

Laut Bundesratsbeschluss vom 28. November 2007 wird ein Nationales Forschungsprogramm zum Thema „Chancen und Risiken von Nanomaterialien“ lanciert. Laufdauer und Rahmenkredit (max. 12 Mio. Franken) sind noch nicht definitiv festgelegt. Es gelten spezifische Vorgaben: a) im Ausführungsplan sind die Forschungsschwerpunkte in Abstimmung mit den laufenden Forschungen im Rahmen des NFS „Nanoscale Science“ sowie unter Berücksichtigung des „Aktionsplans Synthetische Nanomaterialien“ (BAFU/BAG) festzulegen. b) Die Leistungsgruppe ist derart zu besetzen, dass die Koordination mit dem NFS „Nanoscale Science“ sichergestellt ist. Der Ausführungsplan des NFP ist dem EDI spätestens fünf Monate nach Vorliegen des Fortsetzungsentscheids betreffend den Nationalen Forschungsschwerpunkt „Nanoscale Science“ zur Genehmigung zu unterbreiten. Agroscope muss abklären, inwieweit sie am Programm teilnehmen will und kann.

Der Bundesrat hat im April 2008 den Aktionsplan "Synthetische Nanomaterialien" verabschiedet<sup>18</sup> (UVEK 2008). Bis Ende der Legislaturperiode 2008–2011 soll ein Bericht über den Stand der Arbeiten erstellt werden. Für Agroscope könnte sich bei verschiedenen Massnahmen eine aktive Beteiligung als wünschbar und sinnvoll erweisen: z.B. beim Kommunikationskonzept; Einsitz in bestehenden Dialogplattformen bzw. Initiierung von neuen; Informationsbedürfnisse der Konsument/innen erfassen und Produktdeklarationen prüfen; Risikoraster erstellen; Risikoforschung und evtl. im Bereich Terminologie, Normen, Mess- und Prüfmethode.

## 11.2 ALP

Über den Einsatz und die Wirkung von „Nano-outside“ und „Nano-inside“ ist, wie in den Kapiteln 5.6 sowie 5.7 aufgeführt, noch einiges hypothetisch, unbekannt und ungewiss. ALP verfügt in diesem Bereich (noch) nicht über entsprechendes eigenes Know-how. Für einen gezielten strategischen Kompetenzaufbau sind eigene Kontakte zu Forschungsgruppen sowie zur Praxis zur gemeinsamen Durchführung von Versuchen von Bedeutung. ALP strebt daher mittel- bis langfristig eine strategische Partnerschaft an. Aus diesem Grund ist ALP mit der Universität Fribourg, dem Departement für Physik (Prof. P. Schurtenberger) in Kontakt getreten. Eine Zusammenarbeit, beispielsweise im Bereich Verpackungen und biozide Oberflächen, bietet sich nicht zuletzt aufgrund der geographischen Nähe an. Des Weiteren wird von ALP angestrebt, am Forschungsprogramm Nano-Tera.ch teilzunehmen. Ein „Letter of Intent“ wurde eingereicht (siehe Kap. 10.2.6) So könnten im Rahmen der Früherkennung (Foresight) Daten zur Verfügung gestellt werden, die einerseits die Bedeutung der Nanotechnologie für die (Schweizer) Milch- und Fleischwirtschaft aufzeigen sowie andererseits Aussagen zu Lebensmittel relevanten Verpackungssystemen auf Basis der Nanotechnologie ermöglichen.

## 11.3 ART

ART hat den Grundauftrag für die Erarbeitung wissenschaftlicher und anwendungsorientierter Grundlagen für den langfristigen Schutz der natürlichen Ressourcen Boden, Wasser und Luft. Die Früherkennung der Gefährdung dieser natürlichen Ressourcen ist dabei eine strategische Stossrichtung und zentrales Element des Leistungsauftrages 2008-2011. Sie hat im Hause Tradition und wird im Arbeitsprogramm 2008–2011 mit verschiedenen Projekten bearbeitet, z.B. innerhalb der Prozesse „Nationale Bodenbeobachtung chemischer, physikalischer und biologischer Parameter (NABO-Referenznetz)“ (Projekt-Nr. 08.31.04.10) und „Nationale Bodenbeobachtung – Stoffbilanzierung zur Früherkennung und Prognose von Schadstoffanreicherungen in Böden (NABO-Flux)“ (Projekt-Nr. 08.31.04.11), sowie betreffend Black Carbon (Kohlenstoff-Nanopartikel) im Projekt „Die Bedeutung von Russ (Black Carbon) für die Verteilung und Verfügbarkeit von Agrochemikalien in Böden und Sedimenten“ (Projekt-Nr. 08.31.05.03).

---

<sup>18</sup> <http://www.bag.admin.ch/aktuell/00718/01220/index.html?lang=de&msg-id=18192>

ART muss deshalb auch bezüglich der Nanotechnologie pro-aktiv untersuchen, ob mit der zunehmenden Verwendung von Nanopartikeln neue Problemstoffe in die (landwirtschaftliche) Umwelt gelangen und ob Nanopartikel die Verteilung von Schadstoffen beeinflussen. Mit den langjährigen Arbeiten im Bereich Biosicherheit von gentechnisch veränderten Pflanzen hat sich ART ein umfangreiches Wissen über die Methodik für die Abschätzung von Risiken neuer Technologien angeeignet.

Generell kann für ART im Bereich „Umweltressourcen und Landwirtschaft“ folgender Klärungs- und Handlungsbedarf formuliert werden:

- 1) Situationsanalyse: welche Anwendungen der Nanotechnologie gefährden potenziell die (landwirtschaftliche) Umwelt? Welche Nanopartikel können in die (landwirtschaftliche) Umwelt eingetragen werden?
- 2) Wie können Nanopartikel in verschiedenen Umweltkompartimenten quantifiziert werden? Bereitstellung von Analysemethoden.
- 3) Charakterisierung von Eintrag und Verhalten von NP in der landwirtschaftlichen Umwelt, sowie deren Aufnahme in Nutzpflanzen.
- 4) Effekte von Nanopartikeln auf landwirtschaftliche Ökosysteme und Produkte.
- 5) Entwicklung von Prognosemodellen, basierend u.a. auf Emissionsszenarien, gegenwärtigen und künftigen (landwirtschaftlichen) Anwendungen von Nanopartikeln, etc.

Nach eingehender Betrachtung des aktuellen Wissenstandes (siehe Kapitel 5.8) besteht für die ART Forschungspotential insbesondere in den Bereichen des Nachweises von Nanopartikeln in der Umwelt, sowie der Aufnahme und Wirkung von Nanopartikeln auf Bodenorganismen und Kulturpflanzen. Bisherige Versuche wurden grösstenteils mit reinen Materialien, bzw. *in vitro* und mit häufig irrelevanten Konzentrationen oder Versuchsbedingungen durchgeführt. Entsprechende Methoden, bzw. Resultate sind deshalb kaum auf reale Systeme zu übertragen.

Die Arbeitsgruppe empfiehlt folgendes konkretes Vorgehen für ART:

Die Forschungsaktivitäten der ART im Bereich Nanopartikel und Umwelt sollen weiterverfolgt und gefestigt werden. Erste Aktivitäten betrafen bisher grösstenteils natürliche Nanopartikel und wurden weitgehend mit Drittmitteln finanziert (siehe Kap. 10.3). ART sollte deshalb den schrittweisen Ausbau des Forschungs-Know-how auch auf künstliche Nanopartikel, vorerst mittels seed money, unterstützen. Dieses könnte eine Postdoc-Stelle finanzieren, welche die oben dargelegten Tätigkeitsfelder initial bearbeitet und die Akquisition von weiteren Drittmitteln vorantreibt. Angestrebt wird insbesondere die Teilnahme an Forschungsprogrammen wie dem neuen NFP „Chancen und Risiken von Nanomaterialien“.

## 12 Anhang 1

### 12.1 Transport von Nanopartikeln (NP) im Boden

Der Transport von Nanopartikeln in porösen Medien wie dem Boden wird im Wesentlichen durch zwei Prozesse gesteuert (Nowack & Bucheli, 2007): 1) dem „staining“ oder „Sieben“, bei welchem das Partikel grösser ist als die zu passierende Pore und damit stecken bleibt, und 2) der „Filtrierung“, bei welchem ein Partikel durch Diffusion, Einfangen z.B. durch elektrostatische Wechselwirkungen oder Sedimentation an Porenwänden zurückgehalten wird. In der Theorie sollten Partikel <100 nm wegen der Brownschen Molekularbewegung effizient an Oberflächen gelangen und dort Sorptionsprozessen unterliegen. Verschiedene Arbeiten haben aber gezeigt dass v.a. oberflächen-modifizierte Nanopartikel nur beschränkt an Oberflächen adsorbieren und deshalb in porösen Medien entsprechend mobil sind.

### 12.2 Natürliches Vorkommen von Nanopartikeln (NP)

Fullerene wurden in 1.85 Mia Jahre alten geologischen Proben gefunden (Becker et al. 1994). Sie sind auch in der Kreide/Tertiär und Perm/Trias Grenzschiefer enthalten. Man nimmt an, dass sie durch Brände hervorgerufen durch Meteoriteneinschlag gebildet wurden (Heymann et al. 1994, Chijiwa et al. 1999). Kohlenstoff-Nanoröhrchen (KNR) treten in 10'000 Jahre alten Eisbohrkernen in Grönland auf (Esquivel & Murr 2004; Murr et al. 2004b, c), was darauf hindeutet, dass sie bei natürlichen Bränden entstanden. Natürliche KNR wurden auch in Kohle-Petroleum Gemischen von Ölquellen nachgewiesen (Velasco-Santos et al. 2003), sie können also auch unter natürlichen geologischen Bedingungen mit Einfluss von Druck und Temperatur entstehen. KNR wurden weiter in Verbrennungs-Abgasen (Bang et al. 2004, Murr et al. 2004a) und bei der Metall Produktion und Verarbeitung (Chernozatonskii et al. 1997; Reibold et al. 2006) beobachtet. Fullerene wiederum werden von Kohlekraftwerken emittiert (Utsunomiya et al. 2002) und sind Bestandteile von Petrol, Diesel und fuel-gas Russ (Ishiguro et al. 1997, Lee et al. 2002, Murr & Soto, 2005). Die Stabilität von Fullerenen und KNR unter geologischen Bedingungen und Zeiträumen zeigt, dass diese Partikel tatsächlich inert und persistent sind. Das impliziert andererseits aber auch, dass Lebewesen schon über eine längere Zeit mit solchen Partikeln konfrontiert wurden.

Fullerene sind in reinem Wasser praktisch unlöslich, können sich aber zu Clustern von 25-500 nm vereinigen, was ihre Wasserlöslichkeit heraufsetzt (Nowack & Bucheli 2007). Fullerene werden von Tensiden oder Phospholipiden leicht aufgenommen. Unbehandelte KNR sind in Wasser nicht dispergierbar. In derivatisierter Form, z.B. als Hydroxyle, können sie leichter suspendiert werden. In Verbindung mit Biopolymeren wie Alginsäure, Stärke, Proteinen oder Phospholipiden steigt die Wasserlöslichkeit von KNR.

Sekundäre Aerosol NP entstehen durch aus Schwefelsäure, Salpetersäure und organischen Gasen. Chemische Verwitterungsprozesse von Silikaten, Oxiden und anderen Mineralien produzieren NP wie amorphe Siliziumdioxid, Aluminosilikate wie Allophane, Tonmineralien wie Halloysit, und Oxide wie Magnetit und Hematit. Ferrihydrite, amorphe Eisenoxide und Goethit entstehen im sauren Milieu von Minenabwässern. Polynukleare Aluminium oder Sulfid Komplexe und Nanocluster, z.B. Al<sub>13</sub>, Al<sub>30</sub> oder Cu<sub>4</sub>S<sub>6</sub> wurden in natürlichen Gewässern nachgewiesen. Mikroorganismen können zur Gewinnung von metabolischer Energie über Redox Reaktionen Eisen- oder Manganoxid NP bilden.

### 12.3 Analytik von Nanopartikeln (NP)

Am meisten Erfahrung existiert wahrscheinlich bei der Charakterisierung von aquatischen Kolloiden und einige der dort verwendeten Techniken könnten sich auch zur Bestimmung von anthropogenen NPs als nützlich erweisen. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um mikroskopische Methoden (z.B. Elektronenmikroskopie oder Atomic Force Microscopy), Grössenfraktionierungen mittels Ultrafiltration oder Field-Flow Fractionation (FFF) und chromatographische Techniken wie Size-Exclusion oder

Gelpermeations-Chromatographie (Lead & Wilkinson 2006). Als Standardmethoden zur Separierung von Kolloiden und Partikeln gilt gegenwärtig die Cross Flow Filtration, aber FFF wird zunehmend bedeutsamer, da sie mit empfindlichen Detektoren wie ICP-MS gekoppelt werden kann (Lyven et al. 2003, Stolpe et al. 2005).

Zur Bestimmung von Black Carbon (BC) in Böden und Sedimenten wird meistens zunächst das anorganische und amorphe organische Material mittels thermischer und/oder chemischer Oxidation entfernt. Der übrig gebliebene Kohlenstoff wird als BC definiert und mittels verschiedener Methoden, wie Titration, Coulometry, <sup>13</sup>C-NMR, Analyse von molekularen Markern oder Elementaranalyse quantifiziert. Die wichtigsten Artefakte betreffen die Verkohlung von organischem Material oder der Verlust von BC bei der Handhabung sowie zu starke Oxidation (Cornelissen et al. 2005).

Im hohen Konzentrationsbereich und unter kontrollierten Laborbedingungen können Fullerene mit UV-vis Spektrometrie quantifiziert werden. Zur Detektion von tiefen Konzentrationen kann die HPLC (Fortner et al. 2005) oder Elektrospray Time-of-Flight Massenspektroskopie (Kozlovski et al. 2004) eingesetzt werden. In natürlichen Proben wie Gesteinen oder Mineralien kam HPLC zum Einsatz (Becker et al. 1994, Heymann et al. 1995, Chijiwa et al. 1999). Zur Quantifizierung von KNR in Realproben existiert ggw. keine Methode. Die Elektronenmikroskopie zu deren Identifizierung in Eiskernen (Esquivel and Murr, 2004, Murr et al. 2004b, c) wurde nicht quantitativ eingesetzt. Unter definierten Laborbedingungen wurde die UV-vis Spektroskopie (Sano et al. 2001, Jiang et al. 2003) eingesetzt. Die Belegung von KNR mit Fluorophoren (Prakash et al. 2003, Kim et al. 2006), fluoreszierenden Polymeren (Didenko et al. 2005) oder DNA-Oligonukleotiden (Heller et al. 2005) erlaubte deren Detektion in biomedizinischen Anwendungen. Mittels Size-Exclusion Chromatography mit UV-Detektion konnten KNR von Verunreinigungen und amorphen Kohlenstoff getrennt werden (Duesberg et al. 1998, 1999, Niyogi et al. 2001, Zhao et al. 2001).

Zur Identifizierung und Charakterisierung von natürlichen anorganischen NP kamen verschiedene Methoden zum Einsatz (Burlison et al. 2004). Am meisten Verwendung fanden die Transmission Electron Microscopy und Scanning Probe Microscopy zur Sichtbarmachung von einzelnen NP. Diesen Techniken sind aber einige Nachteile eigen, wie die Gefahr zur artifiziellen Veränderung der Partikel während der Probenaufarbeitung, sowie der nicht gewährleisteten Probenrepräsentativität. Über die Analyse von anthropogenen anorganischen NP wurde bis anhin fast nichts publiziert. Eine Studie präsentiert die Charakterisierung von CdSe Quantum Dots mit Size Exclusion Chromatography (Krueger et al. 2007) und eine andere hat die Stabilität von Nano ZnO in Bodensuspensionen mittels FFF benützt (Gimbert et al. 2007).

## **13 Anhang 2**

### **13.1 Zusammensetzung der Arbeitsgruppe**

Markus Lötscher (BLW, Vorsitz), Francis Hesford (ACW), Brita Rehberger (ALP), Daniel Guidon (ALP, während der Anfangsphase), Thomas Bucheli (ART) und Michael Winzeler (ART).

### **13.2 Tätigkeiten der Arbeitsgruppe**

Die Arbeitsgruppe hat sich am 25.09.2007 und am 29.01.2008 getroffen und das Vorgehen besprochen. Die Arbeitsgruppe hatte sich folgende Ziele und Aufgaben gesetzt:

Die Arbeitsgruppe

- ist informiert über die Entwicklung der Nanotechnologien und Nanomaterialien besonders in den Bereichen Landwirtschaft, Lebensmittel und Umwelt,
- kennt die Akzeptanz der neuen Technologien in der Bevölkerung und Politik,
- informiert sich über Chancen und Risiken der neuen Technologien für Landwirtschaft, Lebensmittel, Umwelt und
- erkennt den Handlungsbedarf bei Vollzug und Kontrolle sowie bei der Information von Kunden und Öffentlichkeit.

Die Arbeitsgruppe

- erstellt einen Übersichtsbericht zuhanden der Geschäftsleitung Agroscope über Stand, Entwicklung und Akzeptanz der Nanotechnologien in den Bereichen Landwirtschaft, Ernährung und Umwelt,
- formuliert den Handlungsbedarf für Agroscope im Hinblick auf die Nanotechnologien in den Bereichen F&E, Vollzug und Kontrolle und
- stellt einen Antrag an die Geschäftsleitung Agroscope.

Als Quellen für den vorliegenden Übersichtsbericht dienten eigenes Forschungs-Know-how, anstaltsinterne Stellungnahmen, Internetrecherchen, Zeitungen und Zeitschriften, Tagungen und Teamsitzungen (Aktionsplan)

## 14 Literatur

- Adams, L.K., Lyon, D.Y., Alvarez, P.J.J. 2006. Comparative eco-toxicity of nanoscale TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, and ZnO water suspensions. *Water Res.* 40, 3527-3532.
- Anonymus. 2007. Principles for the Oversight of Nanotechnologies and Nanomaterials. pp. 15. <http://www.icta.org/template/index.cfm>.
- Armendariz, V., Herrera, I., Peralta-Videa, J.R., Jose-Yacaman, M., Troiani, H., Santiago, P., Gardea-Torresdey, J.L. 2004. Size controlled gold nanoparticle formation by Avena sativa biomass: use of plants in nanobiotechnology. *J. Nanopart. Res.* 6, 377-382.
- BAFU. 2007. Synthetische Nanomaterialien. Risikobeurteilung und Risikomanagement. Grundlagenbericht zum Aktionsplan. pp. 284. [http://www.bafu.admin.ch/publikationen/index.html?action=show\\_publ&lang=de&id\\_thema=30&series=UW&nr\\_publ=0721](http://www.bafu.admin.ch/publikationen/index.html?action=show_publ&lang=de&id_thema=30&series=UW&nr_publ=0721).
- Bang, J.J., Guerrero, P.A., Lopez, D.A., Murr, L.E., Esquivel, E.V. 2004. Carbon nanotubes and other fullerene nanocrystals in domestic propane and natural gas combustion streams. *J. Nanosci. Nanotechnol.* 4, 716-718.
- Becker, L., Bada, J.L., Winans, R.E., Hunt, J.E., Bunch, T.E., French, B.M. 1994. Fullerenes in the 1.85-billion-year-old Sudbury impact structure. *Science* 265, 642-645.
- BfR. 2006. BfR-Verbraucherkonferenz zur Nanotechnologie in Lebensmitteln, Kosmetika und Textilien. Bundesamt für Risikobewertung. pp. 11. [http://www.bfr.bund.de/cm/220/verbrauchervotum\\_zur\\_nanotechnologie.pdf](http://www.bfr.bund.de/cm/220/verbrauchervotum_zur_nanotechnologie.pdf).
- Bin Hussein, M.Z., Yahaya, A.H., Zainal, Z., Kian, L.H. 2005. Nanocomposite-based controlled release formulation of an herbicide, 2,4-dichlorophenoxyacetate encapsulated in zinc-aluminium-layered double hydroxide. *Sci. Technol. Adv. Mat.* 6, 956-962.
- BMBF. 2006. Nano-Initiative – Aktionsplan 2010. Bundesministerium für Bildung und Forschung. Berlin. pp. 32.
- Boehm, A.L.L., Zerrouk, R., Fessi, H. 2000. Poly epsilon-caprolactone nanoparticles containing a poorly soluble pesticide: formulation and stability study. *J. Microencapsul.* 17, 195-205.
- Bratschi T, Feldmann L, Häfliger C, Meili C. 2005. Nano-Food. Science-Fiction oder Business Opportunity? *Excellence in Food*: 3, pp. 31.
- Brayner, R., Ferrari-Illiou, R., Brivois, N., Djediat, S., Benedetti, M.F., Fiévet, F. 2006. Toxicological impact studies based on Escherichia coli bacteria in ultrafine ZnO nanoparticles colloidal medium. *Nano Lett.* 6, 866-870.
- Burleson, D.J., Driessen, M.D., Penn, R.L. 2004. On the characterization of environmental nanoparticles. *J. Environ. Sci. Health A* 39, 2707-2753.
- Chernozatonskii, L.A., Valchuk, V.P., Kiselev, N.A., Lebedev, O.I., Ormont, A.B., Zakharov, D.N. 1997. Synthesis and structure investigations of alloys with fullerene and nanotube inclusions. *Carbon* 35, 749-753.
- Chijiwa, T., Arai, T., Sugai, T., Shinohara, H., Kumazawa, M., Takano, M., Kawakami, S. 1999. Fullerenes found in the Permo-Triassic mass extinction period. *Geophys. Res. Lett.* 26, 767-770.
- Cornelissen, G., Gustafsson, O., Bucheli, T.D., Jonker, M.T.O., Koelmans, A.A., Van Noort, P.C.M. 2005. Extensive sorption of organic compounds to black carbon, coal, and kerogen in sediments and soils: Mechanisms and consequences for distribution, bioaccumulation, and biodegradation. *Environ. Sci. Technol.* 39, 6881-6895.
- Didenko, V.V., Moore, V.C., Baskin, D.S., Smalley, R.E. 2005. Visualization of individual single-walled carbon nanotubes by fluorescent polymer wrapping. *Nano Lett.* 5, 1563-1567.
- DLG. 2007. Gechipter Käse. *DLG-Mitteilungen* 9: 8.
- DMW. 2007. Deutsche Milchwirtschaft, Nanotechnologie – Anwendungen und Visionen; Chr. Revermann, *DMW* 19: 58.Jg.
- Duesberg, G.S., Blau, W., Byrne, H.J., Muster, J., Burghard, M., Roth, S. 1999. Chromatography of

- carbon nanotubes. *Synthetic Metals* 103, 2484-2485.
- Duesberg, G.S., Burghard, M., Muster, J., Philipp, G., Roth, S. 1998. Separation of carbon nanotubes by size exclusion chromatography. *Chem. Commun.*, 435-436.
- Elmqvist, M., Gustafsson, Ö., Andersson, P. 2004. Quantification of sedimentary black carbon using the chemothermal oxidation method: an evaluation of ex situ pretreatments and standard additions approaches. *Limnol. Oceanogr.: Methods* 2004, 2, 417.
- El-Nahhal, Y., Undabeytia, T., Polubesova, T., Mishael, Y.G., Nir, S., Rubin, B. 2001. Organo-clay formulations of pesticides: reduced leaching and photodegradation. *Appl. Clay Sci.* 18, 309-326.
- Englert, B.C. 2007 *Nanomaterials and the environment: uses, methods and measurement.* *J. Environ. Monit.* 9, 1154-1161.
- Esquivel, E.V., Murr, L.E. 2004. A TEM analysis of nanoparticulates in a Polar ice core. *Materials Characterization* 52, 15-25.
- ETC Group. 2004. Down on the farm. The impact of nano-scale technologies on food and agriculture. pp. 68. <http://www.etcgroup.org>
- ETC Group. 2007. Extreme genetic engineering. An introduction to synthetic biology. pp. 64. <http://www.etcgroup.org>.
- ETC Group. 2008, Organic pioneer says no to nano. ETC Group News Release, 14. January 2008.
- Fortner, J.D., Lyon, D.Y., Sayes, C.M., Boyd, A.M., Falkner, J.C., Hotze, E.M., Alemany, L.B., Tao, Y.J., Guo, W., Ausman, K.D., Colvin, V.L., Hughes, J.B. 2005. C<sub>60</sub> in water: nanocrystal formation and microbial response. *Environ. Sci. Technol.* 39, 4307-4316.
- Fryxell, G.E., Mattigod, S.V. 2006. Nanomaterials for environmental remediation. In Kumar, C.S.S.R. (Ed.) *Nanomaterials – toxicity, health and environmental issues.* Wiley-VCH, Weinheim.
- Gardea-Torresdey, J.L., Parsons, J.G., Gomez, E., Peralta-Videa, J., Troiani, H.E., Santiago, P., Yacaman, M.J. 2002. Formation and growth of Au nanoparticles inside live alfalfa plants. *Nano Lett.* 2, 397-401.
- Gimbert, L.J., Hamon, R.E., Casey, P.S., Worsfold, P.J. 2007. Partitioning and stability of engineered ZnO nanoparticles in soil suspensions using flow field-flow fractionation. *Environ. Chem.* 4, 8-10.
- Gustafsson, Ö., Haghseta, K., Chan, F., McFarlane, A., Gschwend, P. M. 1997. Quantification of the Dilute Sedimentary Soot Phase: Implications for PAH Speciation and Bioavailability. *Environ. Sci. Technol.* 1997, 31, 203.
- Gustafsson, Ö., Bucheli, T. D., Kukulska, Z., Andersson, M., Largeau, C., Rouzard, J. N., Reddy, C. M., Eglinton, T. I. 2001. Evaluation of a protocol for the quantification of black carbon in sediments. *Global Biogeochem. Cycles* 2001, 15, 881.
- Helland, A., Wick, P., Koehler, A., Schmid, K., Som, C. 2007. Reviewing the environmental and human health knowledge base of carbon nanotubes. *Environ. Health Perspect.* 115, 1125-1131.
- Heller, D.A., Baik, S., Eurell, T.E., Strano, M.S. 2005. Single-walled carbon nanotube spectroscopy in live cells: Towards long-term labels and optical sensors. *Adv. Mater.* 17, 2793-2799.
- Heymann, D., Chibante, L.P.F., Smalley, R.E. 1995. Determination of C<sub>60</sub> and C<sub>70</sub> fullerenes in geologic materials by high-performance liquid-chromatography. *J. Chromatogr. A* 689, 157-163.
- Heymann, D., Wolbach, W.S., Chibante, L.P.F., Brooks, R.R., Smalley, R.E. 1994. Search for extractable fullerenes in clays from the Cretaceous-Tertiary boundary of the Woodside Creek and Flaxbourne River sites, New Zealand. *Geochim. Cosmochim. Acta* 58, 3531-3534.
- Hessen-nanotech. NanoKommunikation. Schriftenreihe hessen-nanotech, Band 4.
- IFST. 2006. Nanotechnology. Information Statement. Institute of Food Science & Technology Trust Fund. pp. 21. <http://www.ifst.org/uploadedfiles/cms/store/ATTACHMENTS/Nanotechnology.pdf>
- Innovationsgesellschaft. 2008. Februar-Newsletter der Innovationsgesellschaft.
- Innovation Society. 2007. Regulation of nanotechnology in consumer products. Conference report. 3<sup>rd</sup> International "Nano-Regulation". pp. 68. <http://www.innovationsgesellschaft.ch/images/publikationen/SchlussberichtPrintFull.pdf>
- Ishiguro, T., Takatori, Y., Akihama, K. 1997. Microstructure of diesel soot particles probed by electron microscopy: First observation of inner core and outer shell. *Combustion Flame* 108, 231-234.

- Jiang, L., Gao, L., Sun, J. 2003. Production of aqueous colloidal dispersions of carbon nanotubes. *J. Colloid Interface Sci.* 260, 89-94.
- Joseph T. and Morrison M. 2006. Nanotechnology in agriculture and food. Nanoforum report. May 2006. pp. 14. [www.nanoforum.org](http://www.nanoforum.org).
- Joseph, T., Morrison, M. 2006. Nanotechnology in agriculture and food. European Nanotechnology Forum. [www.nanoforum.org](http://www.nanoforum.org).
- Kahan DM, Slovic P, Braman D, Gastil J and Cohen G. 2007. Nanotechnology risk perceptions: The influence of affect and values. pp. 40. <http://research.yale.edu/culturalcognition>.
- Kashiwada, S. 2006. Distribution of nanoparticles in the see-through medaka (*Oryzias latipes*). *Environ. Health Perspect.* 114, 1697-1702.
- Kastner R, Bereghofer E, Drausinger J, Zweytick G, Kinner M, Linsberger G, Krachler M. 2007. „agroINNOcessing“ Innovationspotentiale der Primärproduktion und Lebensmittelverarbeitung in Österreich. Universität für Bodenkultur.
- Kim, J.W., Kotagiri, N., Kim, J.H., Deaton, R. 2006. In situ fluorescence microscopy visualization and characterization of nanometer-scale carbon nanotubes labeled with 1-pyrenebutanoic acid, succinimidyl ester. *Appl. Phys. Lett.* 88.
- Kim, J.Y., Shim, S.B. 2002. The use of amphiphilic polyurethane nanoparticles for desorption of phenanthrene from aquifer materials. *J. Ind. Eng. Chem.* 8, 225-235.
- Kim, J.Y., Shim, S.B., Shim, J.K. 2004. Enhanced desorption of phenanthrene from aquifer sand using amphiphilic anionic polyurethane nanoparticles. *J. Ind. Eng. Chem.* 10, 1043-1051.
- Klöpffer W, Curran MA, Frankl P, Heijungs R, Köhler A and Olsen SI. 2007. Nanotechnology and life cycle assessment. Proceedings of the workshop on nanotechnology and life cycle assessment. pp. 38. <http://cordis.europa.eu/nanotechnology>.
- Knight JG, Mather DW, Holdsworth DK and Ermen DF. 2007. Acceptance of GM food – an experiment in six countries. *Nature Biotechnology* 25: 507–508.
- Kozlovski, V., Brusov, V., Sulimenkov, I., Pikhitelev, A., Dodonov, A. 2004. Novel experimental arrangement developed for direct fullerene analysis by electrospray time-of-flight mass spectrometry. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 18, 780-786.
- Kreyling, W.G., Semmler-Behnke, M., Moller, W. 2006. Health implications of nanoparticles. *J. Nanopart. Res.* 8, 543-562.
- Krueger, K.M., Al-Somali, A.M., Falkner, J.C., Colvin, V.L. 2005. Characterization of nanocrystalline CdSe by size exclusion chromatography. *Anal. Chem.* 77, 3511-3515.
- Lam, C.W., James, J.T., McCluskey, R., Arepalli, S., Hunter, R.L. 2006. A review of carbon nanotube toxicity and assessment of potential occupational and environmental health risks. *Crit. Rev. Toxicol.* 36, 189-217.
- Lead, J.R., Wilkinson, K.J. 2006. Aquatic colloids and nanoparticles: current knowledge and future trends. *Environ. Chem.* 3, 159-171.
- Lee, T.H., Yao, N., Chen, T.J., Hsu, W.K. 2002. Fullerene-like carbon particles in petrol soot. *Carbon* 40, 2275-2279.
- Li, Z.Z., Chen, J.F., Liu, F., Liu, A.Q., Wang, Q., Sun, H.Y., Wen, L.X. 2007. Study of UV-shielding properties of novel porous hollow silica nanoparticle carriers for avermectin. *Pest Manag. Sci.* 63, 241-246.
- Li, Z.Z., Xu, S.A., Wen, L.X., Liu, F., Liu, A.Q., Wang, Q., Sun, H.Y., Yu, W., Chen, J.F. 2006. Controlled release of avermectin from porous hollow silica nanoparticles: influence of shell thickness on loading efficiency, UV-shielding property and release. *J. Contr. Rel.* 111, 81-88.
- Lin, D., Xing, B. 2007. Phytotoxicity of nanoparticles: inhibition of seed germination and root growth. *Environ. Pollut.* 150, 243-250.
- Lindberg JE, Quinn MM. 2007. A survey of environmental, health and safety risk management information needs and practices among nanotechnology firms in the Massachusetts region. Research Brief 1. Woodrow Wilson International Center for Scholars.
- Liu, F., Wen, L.X., Li, Z.Z., Yu, W., Sun, H.Y., Chen, J.F. 2006. Porous hollow silica nanoparticles as controlled delivery system for water-soluble pesticide. *Mat. Res. Bull.* 41, 2268-2275.

- Liu, R.Q., Zhao, D.Y. 2007a. In situ immobilization of Cu(II) in soils using a new class of iron phosphate nanoparticles. *Chemosphere* 68, 1867-1876.
- Liu, R.Q., Zhao, D.Y. 2007b. Reducing leachability and bioaccessibility of lead in soils using a new class of stabilized iron phosphate nanoparticles. *Water Res.* 41, 2491-2502.
- Lok, C.N., Ho, C.M., Chen, R., He, Q.Y., Yu, W.Y., Sun, H.Z., Tam, P.K.H., Chiu, J.F., Che, C.M. 2006. Proteomic analysis of the mode of antibacterial action of silver nanoparticles. *J. Proteome Res.* 5, 916-924.
- Lovern, S.B., Klaper, R. 2006. *Daphnia magna* mortality when exposed to titanium dioxide and fullerene (C<sub>60</sub>) nanoparticles. *Environ. Toxicol. Chem.* 25, 1132-1137.
- LUBW. 2007. Anwendung von Nanopartikeln. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. pp. 36. <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/29564/>
- Lyon, D.Y., Adams, L.K., Falkner, J.C., Alvarez, P.J.J. 2006. Antibacterial activity of fullerene water suspensions: effects of preparation method and particle size. *Environ. Sci. Technol.* 40, 4360-4366.
- Lyon, D.Y., Fortner, J.D., Sayes, C.M., Colvin, V.L., Hughes, J.B. 2005. Bacterial cell association and antimicrobial activity of a C<sub>60</sub> water suspension. *Environ. Toxicol. Chem.* 24, 2757-2762.
- Lyven, B., Hasselov, M., Turner, D.R., Haraldsson, C., Andersson, K. 2003. Competition between iron- and carbon-based colloidal carriers for trace metals in a freshwater assessed using flow field-flow fractionation coupled to ICPMS. *Geochim. Cosmochim. Acta* 67, 3791-3802.
- Medley T and Walsh S. 2007. Environmental Defense – DuPont nano partnership. pp. 72. [http://www.environmentaldefense.org/documents/6496\\_Nano%20Risk%20Framework.pdf](http://www.environmentaldefense.org/documents/6496_Nano%20Risk%20Framework.pdf).
- Meili Ch. 2005. Risikowahrnehmung – oder die Kunst, sich „richtig“ zu fürchten. Beilage der *Schweizerischen Ärztezeitung* 26: 4–16.
- Morones, J.R., Elechiguerra, J.L., Camacho, A., Holt, K., Kouri, J.B., Ramirez, J.T., Yacaman, M.J. 2005. The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Nanotechnol.* 16, 2346-2353.
- Murr, L.E., Bang, J.J., Esquivel, E.V., Guerrero, P.A., Lopez, D.A. 2004a. Carbon nanotubes, nanocrystal forms, and complex nanoparticle aggregates in common fuel-gas combustion sources and the ambient air. *J. Nanopart. Res.* 6, 241-251.
- Murr, L.E., Esquivel, E.V., Bang, J.J., de la Rosa, G., Gardea-Torresdey, J.L. 2004b. Chemistry and nanoparticulate compositions of a 10,000 year-old ice core melt water. *Water Res.* 38, 4282-4296.
- Murr, L.E., Soto, K.F. 2005. A TEM study of soot, carbon nanotubes, and related fullerene nanopolyhedra in common fuel-gas combustion sources. *Mater. Charact.* 55, 50-65.
- Murr, L.E., Soto, K.F., Esquivel, E.V., Bang, J.J., Guerrero, P.A., Lopez, D.A., Ramirez, D.A. 2004c. Carbon nanotubes and other fullerene-related nanocrystals in the environment: A TEM study. *JOM* 56, 28-31.
- NanoRegulation. 2007. Tagungsunterlagen. 3<sup>rd</sup> International NanoRegulation Conference anlässlich der NanoEurope 2007, September 2007, St. Gallen.
- Nel, A., Xia, T., Mädler, L., Li, N. 2006. Toxic potential of materials at the nanolevel. *Science* 311, 622-627.
- Niyogi, S., Hu, H., Hamon, M.A., Bhowmik, P., Zhao, B., Rozenzhak, S.M., Chen, J., Itkis, M.E., Meier, M.S., Haddon, R.C. 2001. Chromatographic purification of soluble single-walled carbon nanotubes (s-SWNTs). *J. Amer. Chem. Soc.* 123, 733-734.
- Nowack, B., Bucheli, T.D. 2007. Occurrence, behavior and effects of nanoparticles in the environment. *Environ. Pollut.* 150, 5-22.
- NZZ. 2007. Wie Nanotechnologie-Risiken wahrgenommen werden. Befragung von Experten und Laien. *Neue Zürcher Zeitung* 28. November 2007.
- Oberdörster, E. 2004. Manufactured nanomaterials (Fullerenes, C<sub>60</sub>) induce oxidative stress in the brain of juvenile largemouth bass. *Environ. Health Perspect.* 112, 1058-1062.
- Oberdörster, E., McClellan-Green, P., Haasch, M.L. 2006a. Ecotoxicity of engineered nanomaterials, in: Kumar (Ed.), *Nanomaterials - Toxicity, health and environmental issues*. Wiley-VCH, Weinheim.

- Oberdörster, E., Zhu, S., Blickley, T.M., McClellan-Green, P., Haasch, M.L. 2006b. Ecotoxicology of carbon-based engineered nanoparticles: Effects of fullerene (C<sub>60</sub>) on aquatic organisms. *Carbon* 44, 1112-1120.
- Pal, S., Tak, Y.K., Song, J.M. 2007. Does the antibacterial activity of silver nanoparticles depend on the shape of the nanoparticle? A study of the gram-negative bacterium *Escherichia coli*. *Appl. Environ. Microbiol.* 73, 1712-1720.
- Prakash, R., Washburn, S., Superfine, R., Cheney, R.E., Falvo, M.R. 2003. Visualization of individual carbon nanotubes with fluorescence microscopy using conventional fluorophores. *Appl. Phys. Lett.* 83, 1219-1221.
- Pulver, I. 2007. Das Image von Betriebsgemeinschaften. ART-Berichte Nr. 692.
- Reibold, M., Paufler, P., Levin, A.A., Kochmann, W., Pätzke, N., Meyer, D.C. 2006. Carbon nanotubes in an ancient Damascus sabre. *Nature* 444, 286.
- Rey I. 2006. Nanotechnologien und ihre Bedeutung für Gesundheit und Umwelt. Nanotechnologien in der Schweiz: Herausforderung erkannt. Bericht eines Dialogverfahrens, Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung, TA-P 8/2006, Bern. pp. 64.
- Roadmap. 2007. Productive nanosystems. A technology roadmap. Battelle Memorial Institute and Foresight Nanotech Institute. pp. 176. [http://www.foresight.org/roadmaps/prod\\_nano.html](http://www.foresight.org/roadmaps/prod_nano.html)
- Roberts, A.P., Mount, A.S., Seda, B., Souther, J., Qiao, R., Lin, S., Ke, P.C., Rao, A.M., Klaine, S.J. 2007. In vivo biomodification of lipid-coated carbon nanotubes by *Daphnia magna*. *Environ. Sci. Technol.* 41, 3025-3029.
- Rüegg, P. 2006. Nachlässige Nano-Industrie. Risiken ungenügend untersucht. pp. 3. <http://www.ethlife.ethz.ch/articles/tages/nanorisiken.html#oben>.
- Sano, M., Okamura, J., Shinkai, S. 2001. Colloidal nature of single-walled carbon nanotubes in electrolyte solution: The Schulze-Hardy rule. *Langmuir* 17, 7172-7173.
- Schmid, K., Reidiker, M. 2008. Use of nanoparticles in Swiss industry: A targeted survey. *Environ. Sci. Technol.* in press.
- Smith, C.J., Shaw, B.J., Handy, R.D. 2007. Toxicity of single walled carbon nanotubes to rainbow trout, (*Oncorhynchus mykiss*): Respiratory toxicity, organ pathologies, and other physiological effects *Aquat. Toxicol.* 82, 94-109.
- SNI. Swiss Nanoscience Institute. <http://www.nccr-nano.org/nccr/>
- Sondi, I., Salopek-Sondi, B. 2004. Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on *E.coli* as a model for Gram-negative bacteria. *J. Colloid Interface Sci.* 275, 177-182.
- STOA. 2007. The role of nanotechnology in chemical substitution. Scientific Technology Options Assessment. European Parliament. pp. 91. [http://www.europarl.europa.eu/stoa/publications/studies/stoa181\\_en.pdf](http://www.europarl.europa.eu/stoa/publications/studies/stoa181_en.pdf).
- Stoimenov, P.K., Klinger, R.L., Marchin, G.L., Klabunde, K.J. 2002. Metal oxide nanoparticles as bactericidal agents. *Langmuir* 18, 6679-6686.
- Stolpe, B., Hasselov, M., Andersson, K., Turner, D.R. 2005. High resolution ICPMS as an on-line detector for flow field-flow fractionation; multi-element determination of colloidal size distributions in a natural water sample. *Anal. Chim. Acta* 535, 109-121.
- Studer C. 2006. Nanomaterialien: Eine neue Herausforderung für den Umweltschutz. Nanoconvention 23. Juni 2006. Folienset.
- Swiss Re. 2004. Nanotechnologie. Kleine Teile – grosse Zukunft? Swiss Reinsurance Company. pp. 55.
- TA-Swiss. 2007. Kleine Teilchen mit grosser Zukunft. *TA-Swiss Newsletter* 3: 1.
- Tong, Z., Bischoff, M., Nies, L., Applegate, B., Turco, R.F. 2007. Impact of fullerene (C<sub>60</sub>) on a soil microbial community. *Environ. Sci. Technol.* 41, 2985-2991.
- Tungittiplakorn, W., Cohen, C., Lion, L.W. 2005. Engineered polymeric nanoparticles for bioremediation of hydrophobic contaminants. *Environ. Sci. Technol.* 39, 1354-1358.
- Tungittiplakorn, W., Lion, L.W., Cohen, C., Kim, J.Y. 2004. Engineered polymeric nanoparticles for soil remediation. *Environ. Sci. Technol.* 38, 1605-1610.

- Utsunomiya, S., Jensen, K.A., Keeler, G.J., Ewing, R.C. 2002. Uraninite and fullerene in atmospheric particulates. *Environ. Sci. Technol.* 36, 4943-4947.
- UVEK 2008. Aktionsplan Synthetische Nanomaterialien. Bericht des Bundesrates vom 9. Juli 2008. <http://www.news-service.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/11690.pdf>
- Velasco-Santos, C., Martinez-Hernandez, A.L., Consultchi, A., Rodriguez, R., Castano, V.M. 2003. Naturally produced carbon nanotubes. *Chem. Phys. Lett.* 373, 272-276.
- Wang, L.J., Li, X.F., Zhang, G.Y., Dong, J.F., Eastoe, J. 2007. Oil-in-water nanoemulsions for pesticide formulations. *J. Coll. Interf. Sci.* 314, 230-235.
- Welsh B. 2007. Environmentally beneficial nanotechnologies. Barriers and opportunities. Oakdene Hollins Ltd. <http://www.oakdenehollins.co.uk>.
- Wen, L.X., Li, Z.Z., Zou, H.K., Liu, A.Q., Chen, J.F. 2005. Controlled release of avermectin from porous hollow silica nanoparticles. *Pest Manag. Sci.* 61, 583-590.
- Würth, B. 2007 Emissions of engineered and unintentionally produced nanoparticles to the soil. Diploma Thesis. Department of Environmental Sciences, ETH Zürich.
- Xu, Y.H., Zhao, D.Y. 2007. Reductive immobilization of chromate in water and soil using stabilized iron nanoparticles. *Water Res.* 41, 2101-2108.
- Yang, L., Watts, D.J. 2005. Particle surface characteristics may play an important role in phytotoxicity of alumina nanoparticles. *Toxic. Lett.* 158, 122-132.
- Zhang, W.X. 2003. Nanoscale iron particles for environmental remediation: An overview. *J. Nanopart. Res.* 5, 323-332.
- Zhao, B., Hu, H., Niyogi, S., Itkis, M.E., Hamon, M.A., Bhowmik, P., Meier, M.S., Haddon, R.C. 2001. Chromatographic purification and properties of soluble single-walled carbon nanotubes. *J. Amer. Chem. Soc.* 123, 11673-11677.
- Zhu, S.Q., Oberdorster, E., Haasch, M.L. 2006a. Toxicity of an engineered nanoparticle (fullerene, C<sub>60</sub>) in two aquatic species, Daphnia and fathead minnow. *Marine Environ. Res.* 62, S5-S9.
- Zhu, Y., Ran, T., Li, Y., Guo, J., Li, W. 2006b. Dependence of the cytotoxicity of multi-walled carbon nanotubes on the culture medium. *Nanotechnol.* 17, 4668-4674.
- Zhu, Y., Zhao, Q., Li, Y., Cai, X., Li, W. 2006c. The interaction and toxicity of multi-walled carbon nanotubes with *Stylonychia mytilus*. *J. Nanosci. Nanotechnol.* 6, 1357-1364.

## 15 Pressespiegel

Alert over the march of the „grey goo“ in nanotechnology Frankenfoods. Der Artikel zählt Produkte auf, die von Mitgliedern der Begleitgruppe der TA Swiss Studie „Nanotechnologie im Bereich der Lebensmittel“ als purer Unsinn betrachtet werden. *Daily Mail*, 2. Januar 2008.

The risk in nanotechnology. A little risky business. The unusual properties of tiny particles contain huge promise. But nobody knows how safe they are. And too few people are trying to find out. *The Economist*, 24. November 2007.

Tückenreicher Weg zum grossen Geld mit winzigen Teilchen. Oft unterschätzte Kosten der Kommerzialisierung von Nanotechnologie. *NZZ*, 24. Oktober 2007

Nanotechnologie – was in unseren Zellen von selbst vor sich geht, nutzen Wissenschaftler für fabelhafte Neuerungen. Für Sport ohne Schweißgeruch, Fassaden, die Strom produzieren und Nahrungsmittel, die fast endlos halten. Anlässlich der „NanoPubli“ in St. Gallen. *Heute* 5. Oktober 2007.