NANOTECHNOLOGIE

IM BEREICH LEBENSMITTEL UND ERNÄHRUNG

AK WIEN

GERECHTIGKEIT MUSS SEIN

FAIRE RECHTE ➔ FAIR BEHANDELT

Jährlich helfen die österreichischen Arbeiterkammern den Konsumentinnen und Konsumenten mehr als 354.000 mal bei ihren Sorgen. Die AK setzt sich für mehr Konsumentenschutz ein und hilft, dass Sie fair behandelt werden.

Herbert Tumpel
AK Präsident

NANOTECHNOLOGIE

im Bereich Lebensmittel und Ernährung

Autor: Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Emmerich Berghofer

INHALTSVERZEICHNIS

Einleitung **5**

Was ist Nanotechnologie? **8**

Ursprung und geschichtlicher Hintergrund der Nanotechnologie 8
Definition(en) 9

Potenzial der Nanotechnologie **13**

Natürliche und künstliche (synthetische) Nanostrukturen in Lebensmitteln **15**

Was sind Nanostrukturen? 15
Natürliche Nanostrukturen 15
Synthetische Nanopartikel und Nanostrukturen allgemein und in Lebensmitteln 18

Gegenwärtige und zukünftige mögliche Einsatzgebiete der Nanotechnologie im Bereich Lebensmittel und Ernährung **22**

Einleitung (Allgemeine Aspekte) 22
Rechtliche Aspekte und gesetzliche Grundlagen (Zulassung, Kennzeichnung etc.) 27
Nanotechnologie in Lebensmitteln („Nano inside“) 32
Zugabe von passiven Nanomaterialien direkt zu Lebensmitteln 32
Herstellung bzw. Aufbau von aktiven Nanostrukturen aus organischen Molekülen direkt in Lebensmitteln bzw. Zusatz zu Lebensmitteln 36
Veränderung von Lebensmittelstrukturen und -inhaltsstoffen durch Nanotechnologie, bzw. Erzeugung nanoskaliger Strukturen direkt in den Lebensmitteln 42
Nanotechnologie in Kontakt mit Lebensmitteln („Nano outside“) 46
Nanotechnologie bei und in Lebensmittelverpackungen 46
Nanooberflächenstrukturierung bzw. Nanooberflächen-beschichtung von Lebensmittelkontaktmaterialien (Küchengeräte, Maschinen, Aufbewahrungsbehälter usw.) 50

Nutzung der Nanotechnologie und von Nanostrukturen bei Maschinen und Geräten zur Lebensmittelverarbeitung zur Abtrennung von Lebensmittelinhaltsstoffen und Fremdstoffen 53
Katalysatoren 54
Nanotechnologie im Bereich der Lebensmittelanalytik und Lebensmittelsicherheit 55

Gefährdungspotenzial und Risiken durch Nanotechnologie 57

Allgemeine toxikologische Aspekte zur Nanotechnologie 57
Bewertung des Gefährdungspotenzials von Nanomaterialien und Nanotechnik bei Verwendung im Bereich Lebensmittel und Ernährung 61
Risiken durch passive Nanomaterialien in Lebensmitteln 63
Risiken durch aktive Nanomaterialien in Lebensmitteln 64
Risiken durch Erzeugung nanoskaliger Strukturen direkt in den Lebensmitteln 65
Risiken durch Lebensmittelkontaktmaterialien 65
Lebensmittelanalytik 67

Resumee 69

Literatur 70

EINLEITUNG

Für viele Konsumenten ist der Begriff Nanotechnologie vor allem im Zusammenhang mit Lebensmitteln noch ziemlich fremd und unklar. Fehlendes Wissen führt automatisch zu Unbehagen, Misstrauen und schlussendlich zur Ablehnung.

Wie die Vergangenheit gezeigt hat, sind die Konsumenten verständlicherweise sehr sensibel, was den Einsatz neuer Technologien bei Lebensmitteln betrifft.

Die vorliegende Broschüre hat sich deshalb zum Ziel gesetzt, Konsumenten auf wissenschaftlicher Basis, aber möglichst allgemein verständlich, sachlich und objektiv über die Nanotechnologie im Bereich Lebensmittel und Ernährung, ihre möglichen Vorteile und ihre Risiken zu informieren. Damit kann jeder Einzelne für sich selbst entscheiden, ob er entstehende Vorteile der Nanotechnologie auf diesem Gebiet nutzt und eventuelle Restrisiken in Kauf nimmt, oder eben nicht.

Die Akzeptanz der Nanotechnologie durch die Konsumenten wird in Zukunft ganz entscheidend von folgenden Faktoren abhängen:

- Offenheit und Transparenz der Hersteller bei der Nutzung von Nanomaterialien und nanotechnologischen Methoden (Kennzeichnung so weit als möglich und sinnvoll, Offenheit gegenüber den Behörden und Konsumenten)
- Prospektiver Ansatz der Behörden, d. h. mögliche Risiken von Nanomaterialien schon vor dem Einsatz zu untersuchen und zu beurteilen und dann erst eine Zulassung zu genehmigen.
- Die Konsumenten müssen direkte und unmittelbare persönliche Vorteile bei der Nutzung der Nanotechnologie im Bereich Lebensmittel und Ernährung haben und diese auch erkennen.

Ein Negativbeispiel, wo alle drei angeführten Punkte nicht oder unzureichend erfüllt wurden, ist die Gentechnik. Aufgrund der hier gemachten negativen Erfahrungen setzt die EU bei der Nanotechnologie in der Gesetzgebung auf einen prospektiven Ansatz (siehe S.24).

Wie die Ausführungen in dieser Broschüre zeigen, könnten sich für die Konsumenten zahlreiche direkte Vorteile durch die Nanotechnologie ergeben. Bei der Gentechnik ist es bis jetzt nicht gelungen, die Konsumen-

ten zu überzeugen, welche persönlichen Vorteile sie im Bereich der Lebensmittel und Ernährung daraus ziehen. Ob beispielsweise eine Pflanze durch gentechnische Maßnahmen herbizidresistent wird, interessiert den Konsumenten herzlich wenig. Warum soll er also Risiken in Kauf nehmen, ohne davon direkt zu profitieren.

Die Bedeutung und das Potenzial der Nanotechnologie und die Erwartungen, die man in sie setzt, werden durch viele Schlagworte unterstrichen, wie:

- Schlüsseltechnologie des 3. Jahrtausends
- Neu entstehende Technologie *(⇨ emerging technology)*
- Übergreifende, zusammenführende Technologie *(⇨ converging technology)*
- Querschnitttechnologie

Nanotechnologie und Nanowissenschaften sind aber keine in sich abgeschlossene und genau abgrenzbare Wissensgebiete, sondern sie entstehen aus der Zusammenführung von Kenntnissen aus vielen herkömmlichen Technik- und Wissensbereichen (Chemie, Physik, Biologie usw.). Die Anwendung der Nanotechnologie wiederum betrifft gleichfalls alle Technikbereiche in mehr oder weniger großem Ausmaß. Deshalb wird auch immer häufiger nicht von Nanotechnologie, sondern – in der Mehrzahl – von Nanotechnologien gesprochen.

Diese Komplexität der Nanotechnologie macht es auch sehr schwierig beziehungsweise unmöglich, sie als ganzes erfassen und abhandeln zu können. Im Prinzip muss praktisch jeder Anwendungsfall für sich betrachtet und auch sicherheitstechnisch bewertet werden. Dies trifft insbesondere für den Bereich Lebensmittel und Ernährung zu.

Bei jeder Einführung einer neuen Technologie neigt man dazu, ihr Potenzial und ihre Möglichkeiten vorerst maßlos zu überschätzen und zu übertreiben, und die mit jeder Technik vorhandenen Risiken zu leugnen oder zu unterschätzen. Dies trifft auch für Nanotechnologie vor allem im Bereich Lebensmittel und Ernährung zu. Tatsächlich gibt es aber weltweit bis jetzt nur sehr wenige Lebensmittel auf dem Markt, bei denen Nanotechnologie in irgendeiner Form angewendet wurde. In zahlreichen Publikationen – vor allem jenen, die der Nanotechnologie eher kritisch gegenüber stehen – wird ein Bild vermittelt, als ob Nanotechnologie im Lebensmittelbereich schon allgegenwärtig ist. Teilweise werden immer

wieder die gleichen, völlig unsinnigen Einsatzbeispiele angeführt, die es in der Praxis nicht gibt und auch so nicht kommen werden.

Was tatsächlich schon existiert und welche sinnvollen Möglichkeiten zukünftig kommen könnten, wird in den nachfolgenden Kapiteln eingehend behandelt.

WAS IST NANOTECHNOLOGIE?

„Nano“ – Na nu?	Die wenigsten können mit diesem Begriff etwas anfangen!
„Nano“ – No na!	Diese Technologie wird die Welt revolutionieren! Wird sie?
„Nano“ – Na(no) no!	Wollen wir diese Technologie? Wer will sie, wer nicht?

Das Wort *„Nano“* selbst stammt aus dem Altgriechischen und bedeutet Zwerg. Wie wir aus unserer Jugend wissen, gibt es gute Zwerge aber auch böse Zwerge, was durchaus auch bei der „Zwergentechnologie“ – der Nanotechnologie – der Fall sein kann.

Ursprung und geschichtlicher Hintergrund der Nanotechnologie

Wie viele Märchen und Mythen beweisen, war es immer schon der Traum der Menschheit in die „Zwergenwelt“ vorzudringen; also die Erkennung, Aufklärung und Beherrschung der Materie und ihrer kleinsten Bausteine.

Mit der Entwicklung der Transmission- und Rasterelektronenmikroskopie und neuer strukturaufklärender Methoden (z. B. Röntgenbeugungsanalyse) war es möglich, immer tiefer in die Materie und die ihnen zugrundeliegenden Strukturen einzudringen, sie zu deuten, zu erklären und schlussendlich zu beeinflussen. Mit dem im Jahr 1981 erfundenen Rastertunnelmikroskop gelingt es beispielsweise nicht nur einzelne Atome abzubilden, sondern sie auch zu verschieben und beliebig anzuordnen (⇨ Nanotechnologie).

Unbewusst betreibt die Menschheit allerdings schon sehr lange Nanotechnologie, ohne die dahinterliegenden Prinzipien zu kennen. Einige allgemeine Beispiele dafür sind:

- Lebensmittelkonservierung durch Anlagerung von Rauch-Nanopartikeln an Fleisch (⇨ Räuchern)
- Nanoteilchen aus Ruß oder Pigmenten zierten schon vor Jahrtausenden Höhlenwände und seit dem Mittelalter Bücher.
- Die Purpurfarbe von mittelalterlichen Kirchenfenstern stammt von Gold-Nanopartikeln.
- Aufdampfen von Quecksilber-Nanopartikeln auf Spiegel durch venezianische Spiegelmacher. Diese Technik war allerdings nicht unbedenklich, wie die geringe Lebenserwartung dieser Spiegelmacher belegt.[42]

Definition(en)

Nanotechnologie ist als Teilbereich der Nanowissenschaften zu verstehen. Letztere umfassen neben der Technologie auch die Aufklärung und das Verständnis von natürlichen und synthetischen Nanostrukturen, sowie die Folgen der Anwendung von Nanotechnologie unter Einschluss sicherheitstechnischer und toxikologischer Gesichtspunkte.

Der Begriff „Nanotechnologie“ wurde erstmals vom japanischen Forscher Norio Taniguchi im Jahr 1974 geprägt und sinngemäß folgendermaßen definiert:

> *„Alle Techniken bzw. Technologien, welche auf atomarer und molekularer Ebene das Verhalten der Materie steuern und/oder sie fundamental neu (an)ordnen oder gestalten.“*

Das Wesentliche in dieser Definition ist die bewusste Änderung oder Bildung atomarer und molekularer Strukturen, welche so in der Natur nicht vorkommen. Damit erfolgt die Abgrenzung zu den zahlreichen in der Natur existierenden, natürlichen Nanostrukturen (siehe S.14).

In der Zwischenzeit wurden viele andere Definitionen erstellt, die aber alle noch keine gesetzliche Gültigkeit haben. Letztere steht noch aus und wird dringend benötigt, um den Einsatz der Nanotechnologie beziehungsweise die Verwendung von Nanoprodukten regeln zu können.

Zum besseren Verständnis werden einige der zahlreichen Definitionen angeführt:

> *„Nanotechnologie ist die Technik und Herstellung von Objekten mit charakteristischen Strukturen unter 100 Nanometer [nm]“* [22]*.* Diese Nano-Objekte werden als sogenannte „konstruierte Nanopartikel“ *[„engineered nanoparticles“ (ENPs)] bezeichnet.*

> *„Nanotechnologie sind das Verständnis und die Kontrolle von Materialien bei Dimensionen von etwa 1 bis 100 Nanometer, wo einzigartige Phänomene neue Anwendungsmöglichkeiten ergeben.“* [101]

> *„Nanotechnologie: Technologiebereiche, in denen Dimensionen und Abstände von 0,1 – 100 Nanometern eine kritische Rolle spielen.“* [102]

Innerhalb der EU wird im Lebensmittelbereich von der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA – European Food Safety Authority) die allgemeine Definition des „Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks“ (SCENIHR) übernommen.[59] Sie lautet:

> *Konstruiertes Nanomaterial ist jedes Material, das gezielt so hergestellt wird, dass es aus einzelnen funktionellen und strukturellen Teilchen besteht, entweder innerhalb oder an deren Oberfläche, und welche eine oder mehrere Dimensionen im Bereich von 100 nm oder weniger aufweisen.[24]*

Diese Definition ist für gesetzliche Regelungen im Nanotechnologiebereich noch ziemlich unzulänglich. Zumal man immer mehr zur Auffassung kommt, dass eine Definition nur über die Größe der Nanopartikel und Nanostrukturen vor allem hinsichtlich möglicher Risiken und rechtlicher Einordnungen nicht aussagekräftig genug ist. Warum sollten Nanopartikel mit 99 nm beispielsweise gefährlich sein, solche aus dem gleichen Material mit 101 nm aber nicht. Eine Einbeziehung der spezifischen Oberfläche von Nanopartikeln in eine Definition scheint hier zumindest ein Ansatzpunkt zu sein. Je kleiner die Partikel, umso größer wird nämlich diese. Beispielsweise haben Nanopartikel mit einem Durchmesser von 100 nm eine Oberfläche von ca. 60 m^2/g.

Aufgrund dieser unbefriedigenden Situation hat die Europäische Kommission das Wissenschaftliche Komitee SCENIHR am 1. März 2010 beauftragt, möglichst rasch eine neue Definition zu erstellen.[103]

Allen bisherigen Definitionen ist gemeinsam, dass Nanotechnologie sich im Größenbereich um die 100 Nanometer bewegt. Zur besseren Veranschaulichung der unvorstellbar kleinen Nanodimension sollen einige Beispiele dienen:

1 Nanometer zu 1 Meter verhält sich wie ein menschlicher Fußabdruck zur Breite des Atlantischen Ozeans, oder wie der Durchmesser einer 1-Cent-Münze zum Durchmesser der Erdkugel.

Ein Nano-Wassertropfen mit 1 nm Durchmesser enthält nur mehr 50 Wassermoleküle.[9] Ein normaler Makro-Wassertropfen besteht hingegen aus einer unvorstellbar großen Zahl von Wassermolekülen, nämlich ungefähr 30 Quadrillionen, bzw. in mathematischer Darstellung 3×10^{19}. [105]

Um ein Gefühl für die Nanodimension zu erhalten, zeigt Tab. 1 an Hand von Beispielen die Größenordnungen.

Nachdem die Menschheit ihre direkt wahrnehmbare Welt, den Mesokosmos, vollständig erobert hat, den Mikrokosmos teilweise, und wir uns anschicken den Makrokosmos (Weltraum) zu entdecken, kann die Nanotechnologie als Aufbruch zur Eroberung des hinter dem Mikrokosmos liegenden Nanokosmos (unter 100 nm) bezeichnet werden.

Tab. 1: Vergleich der Größen-Dimensionen

1 Meter [m]	100 cm	1.000 mm	1.000.000 µm	**1.000.000.000 nm**	Mensch ~ 1,7 m
1 Zentimeter [cm]		10 mm	10.000 µm	**10.000.000 nm**	
1 Millimeter [mm]			1.000 µm	**1.000.000 nm**	Ø Menschenhaar ~ 1 mm
1 Mikrometer [µm]				**1.000 nm**	Weiße Blutzellen ~ 10 µm, Bakterien 1–3 µm
1 Nanometer [nm]				**1 nm**	**Viren ~ 75–100 nm, große organische Moleküle ~ 10 nm, DNA-Kette ~ 2 nm,** kleine Moleküle ~ 0,1 nm, Atome ~ 0,01 nm

POTENZIAL DER NANOTECHNOLOGIE

Die Nanotechnologie bietet revolutionäre und ungeahnte Innovationsmöglichkeiten in allen Technologie- und Wissenschaftsbereichen. Weltweit wird deshalb sehr viel Forschungsgeld in dieses Gebiet investiert. Die Zahl der Nanotech-Patente nahm in den letzten Jahren drastisch zu. Allein im Jahr 2006 wurden weltweit ca. 2.200 Patente im Zusammenhang mit der Nanotechnologie erteilt.[18]

Parallel dazu steigt auch die Zahl der weltweit schon auf dem Markt befindlichen Konsumenten-Produkte rasch an. In der Datenbank des *„Woodrow Wilson Int. Center for Scholars“* [106] wurden im Jahr 2005 54 Produkte angeführt, 2006 waren es 380, und 2009 bereits über 1.000.

In der Kategorie „Lebensmittel“ finden sich 96 Einträge in dieser Datenbank (Stichtag 15. Mai 2010), wobei aber nur vier davon direkt Lebensmittel betreffen. Der Hauptanteil entfällt auf Nahrungsergänzungsmittel, Küchengeschirr und Lebensmittelverpackungen.

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit sollen einige Technikbereiche angeführt werden, wo Nanotechnologie bereits eine wichtige Rolle spielt:

- Materialwissenschaften (z. B. nanostrukturierte Oberflächen um Materialverschleiß zu minimieren)
- Kunststoffindustrie (z. B. elektrisch leitende Kunststoffe durch integrierte Nanopartikel, Oberflächenbeschichtungen etc.)
- Informations- und Kommunikationstechnik (z. B. Halbleitertechnik, Miniaturisierung in den Nanobereich)
- Chemische Industrie (z. B. Nano-Katalysatoren)
- Medizin und Pharmabereich (z. B. nanoskalige Medikamentensysteme zum gezielten Transport an die Wirkungsorte; Nanopartikel als neue Therapieformen zur gezielten Krebsbekämpfung; Nanotechnik in der Diagnostik; nanostrukturierte Oberflächen für Implantate um ihre Bioverträglichkeit zu verbessern; Nanosilber in Verbandsmaterial)
- Landwirtschaft (z. B. kontrollierte und präzise Freisetzung von Insekten- und Pflanzenschutzmitteln in Nanoform oder gekapselt in Nanoprodukten; Nanomaterialien, die pathogene Bakterien in Nutztieren unschädlich machen, bevor sie zu den Konsumenten gelangen.)
- Gebrauchsgüterindustrie (z. B. Nanobeschichtungen, mit Kohlenstoff-Nanoröhren verstärke Sportgeräte)

- Textilindustrie (z. B. antistatische Überzüge; nanoporöse Materialien; Feuchtigkeits-, Geruchs- und Schweißabsorption durch integrierte Nanomaterialien; antibakterielle Wirkung durch integriertes Nanosilber; UV-Schutz durch Titandioxid in Nanoform).[36]
- Kosmetik (z. B. nanoskalige Verkapselungs- und Trägersysteme, um Wirkstoffe in tiefere Hautschichten zu transportieren; Titandioxid- oder Zinkoxid-Nanopartikel als UV-Schutzfilter in Sonnencremes, nanoskaliges Calciumphosphat in speziellen Zahncremes).[35]
- Biotechnologie: Einerseits können biotechnologische Verfahren zur Herstellung nanoskaliger Produkte für viele Einsatzbereiche genutzt werden, andererseits kann Nanotechnologie zur Entwicklung und Optimierung von biotechnologischen Prozessen dienen. Die Berührungspunkte dieser beiden Schlüsseltechnologien werden aber in Zukunft viel weitreichender sein. Es wird zu einer Verschmelzung dieser beiden Technologien kommen, weshalb schon heute der Begriff „Nanobiotechnologie“ immer häufiger verwendet wird. Diese hat eine Brückenfunktion zwischen der unbelebten und der belebten Natur. Sie hat die Aufgabe, die durch die Evolution entstandenen Formen der Nanotechnologie als Grundlage allen Lebens aufzuklären und mit diesen Erkenntnissen funktionale Bausteine im nanoskaligen Bereich unter Einbeziehung anderer Wissensgebiete nachzubauen und kontrolliert zu erzeugen. Als futuristisches Beispiel soll hier die Einbringung und Nutzung von Nano-Computer-Chips in lebende Zellen angeführt werden, um Vorgänge in den Zellen zu beeinflussen (z. B. Zelldefekte zu reparieren).
- **Lebensmittel und Ernährung:** Dieser Bereich ist Gegenstand der vorliegenden Broschüre und wird im Folgenden eingehend abgehandelt.

NATÜRLICHE UND KÜNSTLICHE (SYNTHETISCHE) NANO-STRUKTUREN IN LEBENSMITTELN

Was sind Nanostrukturen?

Natürliche Nanostrukturen

Natürliche Nanostrukturen finden sich sowohl in der unbelebten Materie (z. B. Kristallstrukturen) als auch in allen lebenden Organismen. Nanostrukturen und Nanoobjekte bilden die Grundlage des „Lebens" schlechthin und die meisten Lebensfunktionen beruhen darauf. Der Mensch selbst ist, wie alle Lebewesen, ein Konstrukt aus *„Bottom Up"*-Nanostrukturen und -Nanokonstrukten. Unsere Muskeln beispielsweise funktionieren als Summe vieler Nanomaschinen.

Weil alle unsere Lebensmittel, ausgenommen Wasser, von lebenden Organismen (Pflanzen, Tiere) stammen, sind diese ebenfalls zum Großteil aus Nanostrukturen aufgebaut. Diese natürlichen Nanostrukturen spielen bei der Verarbeitung der Lebensmittel eine bedeutende Rolle, indem sie entweder gezielt zerstört, verändert oder neue, synthetische (!) Nanostrukturen gebildet werden. Köchinnen und Köche könnten deshalb pointiert als die ersten NanotechnikerInnen bezeichnet werden, weil sie bei der Garung der Lebensmittel, nicht nur vorhandene natürliche Nanostrukturen in den Lebensmitteln verändern, sondern neue, in der Natur nicht so vorkommende Nanostrukturen erzeugen. Diese Aussage soll an Hand einiger Beispiele näher erläutert werden.

Pektin ist dafür verantwortlich, dass pflanzliche Zellwände dicht sind und die Zellen miteinander zu einem Zellgewebe verbunden werden. Pektinmoleküle sind sehr komplexe Nanostrukturen, welche bei der Zubereitung der Lebensmittel (Garung) verändert werden. Die Zellen fallen auseinander, die Zellwände werden durchlässig. Dadurch wiederum wird das Pflanzengewebe weich und die Zellinhaltsstoffe sind nach dem Verzehr bioverfügbar.

Den größten Teil unserer Nahrungsenergie decken wir mit dem wichtigsten Speicherstoff der Pflanzen, mit Stärke. Dieses Kettenmolekül (⇨ Polysaccharid) wird von den Pflanzen in sehr dichten, kristallähnlichen Nanostrukturen in Form von Stärkekörnern in den Zellen gespei-

chert. Die Menschen haben im Prinzip das gleiche Enzymsystem, wie die Pflanzen, um die Stärke wieder zu Glucose abzubauen und dann daraus durch Veratmung Energie zu gewinnen. Im Gegensatz zu den Pflanzen haben wir allerdings weit weniger Zeit dafür, weil unsere Magen-Darm-Passage nur etwa 24 Stunden beträgt, während Pflanzen für den Abbau Tage und Wochen zur Verfügung haben. Rohe Stärke kann der Mensch deshalb nur schwer oder nur teilweise zur Nahrungsenergiegewinnung nutzen. Deshalb mussten mit dem Beginn des Ackerbaues – und der damit verbundenen Umstellung auf stärkereiche Kost – auch entsprechende Zubereitungsverfahren für stärkereiche Rohstoffe entwickelt werden (z. B. Herstellung von Brot aus Getreidekörnern). Dabei wird die nanokristalline Struktur der Stärke aufgelöst und kann nun rasch verdaut werden. Ein kleiner Teil der Stärke wird aber bei vielen Garungsverfahren in neue, in der Natur so nicht vorkommende Stärkekristallite umgewandelt, welche als „Resistente Stärke" bezeichnet werden. Diese kann durch die menschlichen Verdauungsenzyme nicht abgebaut werden, wandert in den Dickdarm und wird dort durch unsere Darmbakterien teilweise verwertet. Dabei bilden sich kurzkettige Fettsäuren, die wiederum den Blutglucosestoffwechsel des Menschen positiv beeinflussen können, ähnlich wie präbiotische Ballaststoffe. Da aber resistente Stärke im Gegensatz zu den Ballaststoffen farblos und geschmacksneutral ist, besteht die in vielen Ländern schon genutzte Möglichkeit Resistente Stärke in Form von Nanokristalliten gezielt zu produzieren und damit Lebensmittel anzureichern.

Während letztere Vorgangsweise nach den derzeitigen Definitionen eindeutig dem Bereich Nanotechnologie zuzuordnen ist, stellt sich die Frage, wie die Abgrenzung zu der bei vielen Garprozessen immer schon entstehenden Resistenten Stärke erfolgt. Es würde wohl zu weit führen, die Nahrungszubereitung den Regeln der Nanotechnologie zu unterwerfen. Dies gilt auch wohl für die folgenden Ausführungen.

Ein weiteres Beispiel für natürliche Nanostrukturen in unseren Lebensmitteln und deren gewollte Beeinflussung ist das in Fleisch vorkommende Kollagen. Es umgibt als Bindegewebe die Muskelfasern. Je stärker ein Muskel beansprucht wird, und je älter das Tier ist, umso höher ist der Anteil des Bindegewebes im Fleisch. Während Muskelfasern aktiv bewegliche Nanomaschinen darstellen, dient das Bindegewebe als Stütze und Halt für diese und ist selbst eine hochgeordnete, sehr dichte Nanostruktur. Unsere eiweißverdauenden Enzyme können Muskelproteine leicht abbau-

en, aber das umgebende Kollagen nur sehr langsam und schwer. Bei der Garung von Fleisch sollen deshalb nicht nur die Nanostrukturen der Muskelproteine zerstört werden (⇨ Koagulation, Gerinnung, Denaturation), sondern bei höherer Gartemperatur auch das Kollagen. Je bindegewebsreicher ein Fleisch ist, umso höher muss die Gartemperatur sein.

Der Abbau der Kollagen-Nanostruktur kann nun soweit gehen, dass sich Molekülbruchstücke bilden, die im Saft gelöst austreten und sich beim Abkühlen zu neuen, synthetischen Nanostrukturen ordnen. Das kann jede Köchin und jeder Koch beim Abkühlen des Schweinsbratensaftes beobachten, der verdickt und ein Gel bildet. Diese Erscheinung wird ganz gezielt genutzt, indem aus tierischen Rohstoffen Kollagen isoliert, abgebaut und als Gelatine zur Herstellung diverser Gelee verwendet wird.

Ein ähnlicher Effekt kann auch durch das schon oben erwähnte Pektin erreicht werden. Wenn die natürliche Nanostruktur der Pektinmoleküle durch Erhitzen zerstört wird, versuchen diese sich beim Abkühlen wieder in eine dreidimensionale Nanostruktur, in ein Pektingel, umzuwandeln. Die Struktur der Marmelade und vieler anderer Lebensmittel beruht auf dieser Umwandlung.

Es ließen sich noch zahlreiche weitere Beispiele für natürliche Nanostrukturen und deren gezielte Veränderung bei der herkömmlichen Lebensmittelverarbeitung anführen. Durch die Fortschritte in den Nanowissenschaften werden diese natürlichen Nanostrukturen nun immer besser erkannt und aufgeklärt. Ein Großteil der synthetischen Nanostrukturen wurde durch die natürlichen Nanostrukturen inspiriert.

Synthetische Nanopartikel und Nanostrukturen allgemein und in Lebensmitteln

Nanopartikel im Sinne der Nanotechnologiedefinitionen liegen zumindest in einer Dimension im Bereich von 0,1 – 100 nm. Wie Abb. 1 zeigt, kann es sich dabei um kleine Partikel handeln, die in diesem Größenbereich liegen (z. B. Nanopulver, Nanoaerosole, Nanoemulsionen). Diese Partikel können wiederum aus Vollmaterial oder als Hohlkörper vorkommen und im festen oder flüssigen Aggregatzustand vorliegen (z. B. Aerosole).

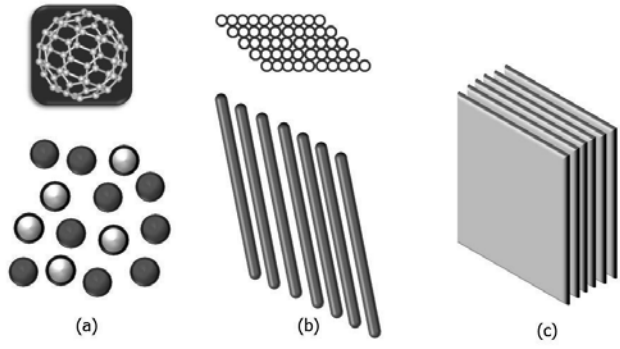

Abb. 1: Nanomaterialien
(a) Partikel (Vollpartikel oder Hohlkugeln)
(b) Voll-Stäbchen, -Nadeln, -Fasern bzw. Röhrchen
(c) Plättchen bzw. Schichten, Beschichtungen

Weiters gibt es längliche Nanopartikel, deren Länge zwar außerhalb dieses Bereiches liegt, aber nicht deren Durchmesser (z. B. Nanofasern, Nanoröhrchen). Dies gilt auch für Plättchen oder Lamellen, deren Schichtdicke sich im Nanobereich bewegt. Dazu zählt auch die Oberflächenbeschichtung von Festkörpern in Nanoform.

Nanostrukturen im Bereich von 0,1 – 100 nm können aber auch in Makro-Strukturen als Hohlräume eingebettet oder integriert sein, wie z. B. Nanoporen, Nanoröhren oder Nanoschlitze in einem Festkörpermaterial (↬ Nanofiltermembrane) (Abb. 2).

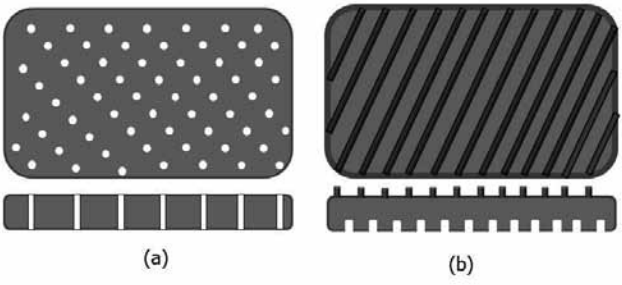

Abb. 2: Nanostrukturen in festen Körpern
(a) Nanoporen bzw. Nanoröhren
(b) Nanoausleger oder Nanoschlitze

Es existieren prinzipiell die folgenden zwei Möglichkeiten, um synthetische Nanopartikel oder Nanostrukturen zu erhalten:

„Von oben nach unten"-; „Von groß zu klein"- bzw. Zerkleinerungs-Strategie (engl.: *Top down*)

Ausgehend von festen oder flüssigen Makro-Strukturen werden mit entsprechenden Zerkleinerungsverfahren (z. B. Kolloidvermahlung) Nanopartikel erzeugt. Neben dem kleineren Durchmesser wird auch eine enorme Vergrößerung der Gesamtoberfläche erhalten. Deshalb haben Nanopartikel auch ganz andere chemische (z. B. Reaktionsfähigkeit) und physikalische (z. B. optische) Eigenschaften als das gleiche Material in Mikro- oder Makroform. Wie schon erwähnt, zeigen Goldpartikel in Nanoform keine Goldfarbe, sondern je nach Partikelgröße eine Purpurfarbe oder blaue Farbe.

„Von unten nach oben"-; „Von klein zu groß"- bzw. Aufbau-Strategie (engl.: *Bottom up*)

Diese Methode nutzt die Anziehungs- und Abstoßungskräfte zwischen Molekülen. Unter bestimmten Voraussetzungen können sich kleinere Moleküle durch Selbstanordnung oder Selbstassoziation zu sogenannten supramolekularen Nanostrukturen zusammenlagern. Es entstehen Nanomicellen, Nanocluster usw., die in ihrem Inneren auch kleine Gastmoleküle einschließen können. Die Kräfte für die Selbstassoziation lassen sich durch verschiedene Faktoren beeinflussen und gezielt steuern, wie z. B. durch Temperatur, Druck, Säuregrad und Konzentration. Damit ist es

möglich, solche Strukturen gezielt zu bilden, aber auch wieder zerfallen zu lassen, und eingeschlossene Gastmoleküle bei Bedarf freizusetzen. Diese Tatsache bietet vor allem im Bereich der Lebensmittel (siehe S.36) und Medizin viele Anwendungsmöglichkeiten zur gezielten Anlieferung und Freisetzung von Wirkstoffen.

Durch Assoziation von Molekülen können aber auch sehr stabile Nanostrukturen im biologischen Bereich entstehen, aus denen sich wiederum durch weitere Anordnung makromolekulare *„Bottom-up"*-Strukturen bilden. Auch das hat uns die Natur bereits in beeindruckender Weise vorexerziert, wie beispielsweise bei unseren Muskeln oder unserem Knochenaufbau. Selbst der Mammutbaum mit seiner bis zu 100 m Höhe existiert nur aufgrund von Nano-Cellulosestrukturen, die sich zu einer riesigen *„Bottom up"*-Struktur verbunden haben.

Mit den selbstanordnenden Nanostrukturen ist ein weiterer Entwicklungssprung in der Nanotechnologie von passiven hin zu aktiven Nanostrukturen verbunden.[52,66] Es lassen sich deshalb vier Generationen an Nanostrukturen unterscheiden:

- **1. Generation:** Passive Nanostrukturen, die aufgrund ihrer Nanoskaligkeit wirken, wie z. B. Nanopartikel und Naonoberflächenbeschichtung.
- **2. Generation:** Aktive Nanostrukturen treten in gezielte Wechselwirkung mit anderen Stoffen, indem sie diese irreversibel binden oder reversibel wieder freisetzen [↬ Trägersysteme *(„carrier")*].
  Solche aktiven Nanostrukturen dienen als Träger- und Einkapselungssysteme. Dazu zählen die oben erwähnten selbstanordnenden Nanostrukturen oder Nanosensoren, die durch äußere Einflüsse sich selbst verändern (z. B. ihre Farbe) oder Veränderungen im System auslösen. Eine Möglichkeit, die im Bereich der Lebensmittelqualitätssicherung erfolgversprechende Ansatzpunkte ergibt.
- **3. Generation:** Selbstanordnende, aktive Nanostrukturen, die sich selbstständig zu größeren *„Bottom up"*-Strukturen zusammenlagern.
  Solche selbstanordnenden, aktiven Nanostrukturen können ebenfalls als Einkapselungssysteme dienen. Obwohl dieser Bereich sich erst zu entwickeln beginnt und von einer praktischen Anwendung noch weit entfernt ist, kann jetzt schon abgeschätzt werden, dass diese Strukturen noch viel mehr können. *„Bio-assembling"* wäre hier als Beispiel zu nennen. Damit wäre es vorstellbar mittels der schon bestehenden Zellkulturtechnik mit tierischen Zellen fleischähnliche *„Bottom up"*-

Strukturen herzustellen. Gegenwärtig gelingt es nur einige Zellschichten zu erzeugen, weil die Nährstoffe nicht mehr weiter vordringen können. Ähnlich wie in der Natur müssten nun „künstliche Blutgefäße“ im Nanobereich integriert werden, die für den Weitertransport der Nährstoffe in das Gewebe sorgen. Ob diese Methode, die unter dem Schlagwort „Fleisch essen, ohne Tiere schlachten“ Erfolg hat und akzeptiert wird, wird die fernere Zukunft weisen.

- **4. Generation:** Aktive, selbstbewegliche und selbsttätige Nanostrukturen. Hier beginnt der Bereich der Utopie, in dem aber schon intensiv geforscht wird. Es handelt sich um selbstständig tätige molekulare Maschinen, wie beispielsweise lichtbetriebene molekulare Motoren oder sich selbstständig in unserem Blutkreislauf bewegende Nanomaschinen bzw. Nanoroboter, die Krankheitserreger killen und Reparaturen an kranken Zellen in unserem Körper durchführen.[60]

GEGENWÄRTIGE UND ZUKÜNFTIG MÖGLICHE EINSATZGEBIETE DER NANOTECHNOLOGIE IM BEREICH LEBENSMITTEL UND ERNÄHRUNG

Einleitung (Allgemeine Aspekte)

Die schon existierenden und vielleicht in Zukunft zu erwartenden Einsatzgebiete der Nanotechnologie und der Nanowissenschaften sind auch im Bereich der Lebensmittel und Ernährung so vielfältig, dass sie gegliedert und einzeln abgehandelt und rechtlich und toxikologisch beurteilt werden müssen.

Weiters ist zu unterscheiden, zwischen Dingen, die schon existieren und solchen, die in wissenschaftlichen Publikationen oder Patenten beschrieben werden, aber auf greifbaren Fakten beruhen. Hier muss eindringlich darauf hingewiesen werden, dass nicht alles, was beschrieben wird, auch wirklich als praktisches Produkt zu den Konsumenten gelangen wird. Dafür sorgen zahlreiche Hürden, vor allem aus rechtlicher und wirtschaftlicher Sicht.

Gegenwärtig gibt es weltweit noch relativ wenige Lebensmittel auf dem Markt, bei deren Herstellung die Nanotechnologie in irgendeiner Form eine Rolle spielt. Diese Aussage wird durch alle Erhebungen bestätigt, wie die nachfolgend angeführten Beispiele zeigen.

Tab. 2 ist eine Auflistung von Lebensmitteln, die in den letzten 5 Jahren weltweit eingeführt wurden, und auf deren Etikett der Begriff „nano“ im Zusammenhang mit Nanotechnologie angeführt ist.[107] Die 14 Produkte können in 7 Anwendungsbereiche zusammengefasst werden, die in Tab. 3 markiert sind. Klarerweise können es weit mehr Produkte sein, denn es muss ja die Verwendung der Nanotechnologie auf den Etiketten nicht explizit angeführt werden. Außerdem ist der Verpackungsbereich in dieser Erfassung nicht inkludiert. Es handelt sich also um Produkte, bei denen die Hersteller durch die Nennung von „nano“ bei den Konsumenten positiv punkten wollen.

Eine weitere Erhebung von schon am Markt befindlichen Nanoprodukten ist in der Datenbank des „Woodrow Wilson Int. Center for Scholars“[106] zu finden. In der Kategorie „Lebensmittel“ existieren 96 Einträge, wobei aber

nur vier davon direkt Lebensmittel betreffen. Der Hauptanteil entfällt auf Nahrungsergänzungsmittel, Küchengeschirr und Lebensmittelverpackungen.

Eine spezielle Erhebung nur für die Schweiz führt folgende existierende Nanoprodukte im Lebensmittelbereich an[47]: Nanopartikulärem Siliziumdioxid (E 551), nanopartikuläre Carotinoidpräparate (8 Herstellerfirmen), Polysorbatmicellen (E 433) und ß-Cyclodextrine (E 459). Bezüglich Lebensmittelverpackungen gibt es auf dem Schweizer Markt bereits Verbundfolien und PET-Flaschen, bei denen Nanotechnologie Verwendung findet.

Eine vergleichbare Studie aus Österreich[34] ergibt ein ähnliches Bild (Nanomicellen, Carotinoide, Siliziumdioxid) (Nanofiltration) (Nanobeschichtung von Kontaktmaterialien).

Um einen Einblick in die Forschungswelt bezüglich Nanotechnologie im Lebensmittelbereich zu geben, wird in Tab. 3 die Zahl der Treffer (wissenschaftliche Publikationen oder Patente) in der Datenbank „Food Science and Technology Abstracts“ für das Stichwort „Nano“ im Titel für die letzten fünfzehn Jahre angeführt. Bis ca. zum Jahr 2000 waren das fast ausschließlich Publikationen und Patente zum Thema Nanofiltration (siehe S.50). Ab dem Jahr 2004 ist dann ein steiler Anstieg zu verzeichnen. Von den seit 2008 angeführten ca. 500 Publikationen betreffen etwa 120 die Lebensmittelanalytik, etwa 60 die Einkapselung oder Bindung von Stoffen und Enzymen in Nanostrukturen, rund 50 wieder die Nanofiltration und ca. 40 den Verpackungsbereich. Der Rest verteilt sich auf alle anderen Aspekte der Nanotechnologie im Lebensmittelbereich.

Neben den schon am Markt befindlichen Produkten und denen, die entwickelt oder beschieben werden, können noch Nanotechnologie-Beispiele erwähnt werden, die nicht auf Fakten beruhen, sondern rein spekulativer Natur sind. Hier ist wiederum zu unterscheiden, welchen Zwecken solche Spekulationen dienen sollen. Sollen sie das zweifelsohne hohe Potenzial der Nanotechnologie ausloben, oder unreflektiert und gezielt Ängste und Verunsicherung bei den Konsumenten hervorrufen.

Bei realistischer Betrachtungsweise kristallisieren sich für die nächste Zukunft die folgenden Einsatzfelder der Nanotechnologie im Bereich Lebensmittel und Ernährung heraus, die in Abb. 3 auch im Überblick darge-

stellt werden. Die einzelnen Bereiche können nicht immer exakt voneinander abgegrenzt werden, weil Überschneidungen und Mehrfachnutzungen existieren:

Abb. 3: Einsatzbereiche der Nanotechnologie

Nanotechnologie in den Lebensmitteln *(⇨ „Nano inside“)*

- Zugabe von passiven Nanomaterialien direkt zu Lebensmitteln, die einfach aufgrund ihrer Nanoskaligkeit andere oder bessere Wirkungen ergeben.
- Herstellung bzw. Aufbau von aktiven Nanostrukturen aus organischen Molekülen (aktive, selbstanordnende Nanopartikel, Micellen oder Liposome) direkt in Lebensmitteln bzw. ihr Zusatz zu Lebensmitteln [⇨ Funktionelle Lebensmittel]
- Veränderung von Lebensmittelstrukturen und -inhaltsstoffen durch Nanotechnologie, bzw. Erzeugung nanoskaliger Strukturen direkt in den Lebensmitteln (z. B. Nanoemulsionen, Nanosuspensionen).

Nanotechnologie in Kontakt mit Lebensmitteln *(⇨ „Nano outside“)*

- Nanotechnologie bei und in Lebensmittelverpackungen: Indirekte (Schutzfunktion) oder direkte Beeinflussung der Lebensmittel durch die Nanostrukturen in oder auf den Verpackungen.

- Nanooberflächenstrukturierung bzw. Nanooberflächenbeschichtung von Lebensmittelkontaktmaterialien (Küchengeräte, Besteck, Maschinen, Vorratsbehälter usw.).
- Nutzung der Nanotechnologie und von Nanostrukturen bei Maschinen und Geräten zur Lebensmittelverarbeitung (z. B. Nanofilter, Oberflächenbeschichtung bei Lebensmittelverarbeitung zur leichteren Maschinenreinigung)-
- Lebensmittelanalytik und Lebensmittelsicherheit

In Kap. 5.3 werden die einzelnen Bereiche detailliert nach folgenden Gesichtspunkten behandelt:

- Was wurde schon entwickelt bzw. was ist prinzipiell vorstellbar?
- Welche praktischen Produkte existieren bzw. was gibt es bereits auf dem Markt, weltweit und in der EU?
- Welcher Nutzen ergibt sich für Konsumenten?

Tab. 2: Lebensmittel mit dem Begriff *„Nano-“* auf dem Etikett, die innerhalb der letzten 5 Jahre weltweit eingeführt wurden.[107]

Lebensmittelart	Handelsmarke	Hersteller- bzw. Vertriebsländer	Nano-Produkt
Milch	Anlene	Singapur, Philippinen, Indonesien	Nano-Calcium
Milchpulver	Anlene	Indonesien	Nano-Calcium
Käse	Denmark Cheese	Hergestellt in Dänemark für Südkorea	Nano-Calcium
Milch	Denmark milk	Süd-Korea	Nano-Calcium
Yoghurt	Heisong Foods	China	Nano-Calcium
Functional Drink	Fixx Beverage	USA	Nanoparticulated delivery system?
Functional Drink (Tee)	Kirin Beverage	Japan	Nano-Astaxanthin
Functional Drink	Fuji Film Healthcare Laboratory	Japan	Nano-Astaxanthin
Functional Drink	Lotte	Japan	Nano-Platin
Yoghurt und drink yoghurt	Nippon Luna	Japan	Nano-Platin
Süßware	Jones Soda Co	Canada, USA	Nano-Kohlen-dioxidbläschen
Functional Drink	Phlo Corp.	USA	Nano-Einkapselung
Yoghurt	Meji Dairies	Japan	Hergestellt durch Nanofiltration
Milch	Meji Dairies	Japan	Hergestellt durch Nanofiltration

Tab. 3: Anzahl der Publikationen in der wissenschaftlichen Datenbank „Food Science and Technology Abstracts“ mit dem Stichwort „Nano-“ im Titel

Jahr	Treffer	Jahr	Treffer
1995	7	2003	19
1996	13	2004	43
1997	16	2005	61
1998	15	2006	99
1999	11	2007	122
2000	11	2008	171
2001	10	2009	215
2002	17	Bis Mai 2010	111

Rechtliche Aspekte und gesetzliche Grundlagen (Zulassung, Kennzeichnung etc.)

Weltweit bereitet die schnelle Entwicklung der Nanotechnologie den Regulierungsbehörden große Probleme hinsichtlich der Zulassung und Kontrolle.

Klar ist jedenfalls, dass Stoffe und Strukturen im Nanobereich völlig andere Eigenschaften aufweisen, die positiv sein können, aber durchaus auch ein hohes Risikopotenzial beinhalten und deshalb Sicherheitsfragen aufwerfen. In der EU wird diesem Problem große Aufmerksamkeit gewidmet, um nicht die gleichen Fehler wie bei der Gentechnik zu machen. Von der EU-Kommission wurde deshalb ein Verhaltenscodex für verantwortungsvolle Forschung im Bereich der Nanowissenschaften und -technologien heraus gegeben[108], um schon von Beginn an ethische Normen und Bedenken einzubringen.

Da die Nanotechnologie praktisch alle Technik- und Lebensbereiche betrifft und durchdringt, kann keine generelle Regelung zielführend sein, sondern es müssen letztendlich spezifische Regeln für die einzelnen Bereiche erstellt werden. Dabei darf nicht außer acht gelassen werden, dass es zu Quereinflüssen kommt. Beispielsweise wird zu beachten sein, was

mit einem Nanoverpackungsmaterial nach seiner bestimmungsgemäßen Nutzung passiert. Können daraus Umweltfolgen entstehen?

Der Einsatz der Nanotechnologie im Lebensmittelbereich ist als besonders sensibel zu betrachten, weil die Konsumenten am direktesten davon betroffen sind, vor allem dann wenn Nanokonstrukte durch den Verzehr in den Körper gelangen. Im Folgenden soll daher die derzeitige Situation der Regulierung von Nanoprodukten im Lebensmittelbereich in der EU dargestellt werden. Unberücksichtigt muss dabei die Tatsache bleiben, dass im Zeitalter der Globalisierung und des Internethandels auch in der EU nicht genehmigte Nanoprodukte die Konsumenten erreichen können.

Festzustellen ist auch, dass die derzeitige rechtliche Lage in der EU bezüglich des Einsatzes der Nanotechnologie allgemein und auch im Bereich Lebensmittel und Ernährung als bei weitem noch nicht vollkommen geklärt und zufriedenstellend zu bezeichnen ist.

Ein Meilenstein der Regulierung war aber die Entschließung des EU-Parlaments im April 2009, in dem ein gegenteiliger Standpunkt gegenüber der Auffassung der EU-Kommission bezüglich Nanoregulierung eingenommen wurde. Das Parlament kam nämlich im Gegensatz zur Kommission zur Meinung, dass eine Regelung der Nanotechnologie mit den bestehenden Rechtsvorschriften der EU nicht das Auslangen findet. Es forderte deshalb konkrete Neuregelungen oder Adaptierungen, insbesondere für die Bereiche Chemikalien- (REACh, steht für **R**egistration, **E**valuation, **A**uthorisation and Restriction of **Ch**emicals), Abfall-, Luft- und Wasserrecht, sowie im ArbeitnehmerInnen-Schutzrecht.[23] Weiters verlangte das Parlament nach dem Grundsatz vorzugehen: *„Keine Daten, kein Markt“.* Das würde im Endeffekt bedeuten, dass alle Hersteller von „Nanoprodukten“ dies einer zentralen Behörde [z. B. bei Nano-Lebensmitteln der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA – *European Food Safety Authority*)] melden müssten. Es könnte damit eine offen zugängliche, oder um den Bedenken der Hersteller entgegenzukommen, eine eingeschränkt zugängliche Datenbank erstellt werden. Davon ist die EU aber noch weit entfernt. In Großbritannien hat aber das „House of Lords“ eine Empfehlung an die Regierung und an die nationale Lebensmittelagentur (Foods Standard Agency – FSA) abgegeben, eine vertrauliche Datenbank bezüglich Forschungen der Lebensmittelindustrie im Bereich Nanotechnologie zu erstellen. Die Meldungen an diese Datenbank wären für die Lebensmittel- und Verpackungsindustrie verpflichtend.[39] Die britische Regierung hat

allerdings Vorbehalte gegen die Einführung einer solchen Datenbank, weil sie die Abwanderung der Forschung befürchtet.[109]

Für den Einsatz der Nanotechnologie in Lebensmitteln gilt für Österreich in erster Linie das österreichische „Lebensmittelsicherheits- und Verbraucherschutzgesetz (LMSVG, 2006)“[10], welches auf der EU-Verordnung (EG) Nr. 178/2002 *(General Food Law)* aufbaut. In § 5 Abs.1 LMSVG wird ausgeführt:

„Es ist verboten, Lebensmittel, die nicht sicher sind, d.h. gesundheitsschädlich oder für den menschlichen Verzehr ungeeignet ….in Verkehr zu bringen“. Dieses Verbot gilt lt. § 16 Abs. 1 auch sinngemäß für Gebrauchsgegenstände, wenn sie Lebensmittel nachteilig beeinflussen.

Die bereits 1997 erlassene EU-Verordnung über die Zulassungsmodalitäten für „Neuartige Lebensmittel und neuartige Lebensmittelzutaten“ (Novel Food-Verordnung)[26] trifft prinzipiell auch auf viele Nano-Produkte und -Technologien zu. Laut Artikel 1 c ist die Verordnung anzuwenden auf Lebensmitteln und Lebensmittelzutaten mit neuer oder gezielt modifizierter primärer Molekularstruktur, oder wenn bei der Herstellung ein nicht übliches Verfahren angewandt worden ist, und eine bedeutende Veränderung der Lebensmittelzusammensetzung oder der Struktur bewirkt wird.

In der derzeit in Arbeit befindlichen Novellierung dieser Novel Food-Verordnung sind nun weitere Präzisierungen bezüglich Nanotechnologie vorgesehen. Im Entwurf des EU-Rates sind Lebensmittel, die Nanomaterialien *(⇨ engineered nanomaterials – ENMs)* enthalten oder daraus bestehen, ausdrücklich angeführt und generell zulassungspflichtige „Neue Lebensmittel“. Im Rahmen der ersten Lesung hat sich das EU-Parlament ausdrücklich für die Notwendigkeit einer Begriffsdefinition ausgesprochen und einen Vorschlag dafür gemacht, der sich in etwa an die Definition von SCENIHR[59] anlehnt, aber auch nur die Größe und nicht zusätzlich die Oberfläche der Nanopartikel als Definitionskriterium nimmt.

Es existiert zwar schon ein Kompromissvorschlag zwischen EU-Rat und EU-Parlament für die Neugestaltung der Novel Food-Verordnung, aufgrund des Inkrafttretens des Lissaboner Vertrages und des darin enthaltenen neuen institutionellen Rahmens ist die Inkraftsetzung wahrscheinlich erst 2011 zu erwarten.[23]

Am weitesten gediehen ist die Regulierung von Nanomaterialien im neuen Lebensmittelzusatzstoffrecht der EU, dem sogenannten FIAP *(**f**ood **i**mprovement **a**gents **p**ackage).* Früher erfolgte die Regelung der Verwendung von Zusatzstoffen, Aromen und Enzymen durch zahlreiche EU-Richtlinien, welche erst durch entsprechende nationale Verordnungen in nationales Recht umgesetzt werden mussten. Nun gibt es nur mehr vier, direkt in den einzelnen Staaten gültige EU-Verordnungen (Nr. 1331-1334/2008). In der Verordnung Nr. 1333/2008[28] wird bereits bei den Erwägungsgründen unter Pkt. 13 angeführt:

> *„Ein bereits gemäß dieser Verordnung zugelassener Lebensmittelzusatzstoff, der mit Produktionsmethoden oder Ausgangsstoffen hergestellt wird, die sich wesentlich von denjenigen unterscheiden, die in die Risikobewertung durch die Behörden einbezogen wurden, oder sich von denjenigen unterscheiden, auf die sich die festgelegten Spezifikationen beziehen, sollte der Behörde zur Bewertung vorgelegt werden. Unter „sich wesentlich unterscheiden" könnte zu verstehen sein……* ***eine Änderung der Partikelgröße, einschließlich der Anwendung der Nanotechnologie."***

Im *Artikel 12* dieser Verordnung wird weiter festgelegt:

> *„….Wenn bei einem Lebensmittelzusatzstoff, der bereits in der Gemeinschaftsliste aufgeführt ist, sein Produktionsverfahren oder die verwendeten Ausgangsstoffe erheblich geändert werden* ***oder die Partikelgröße – z. B. durch die Anwendung der Nanotechnologie – geändert wird,*** *ist dieser nach den neuen Verfahren oder mit den neuen Ausgangsstoffen hergestellte Lebensmittelzusatzstoff* ***als ein anderer Zusatzstoff anzusehen,*** *und es ist ein neuer Eintrag in die Gemeinschaftsliste bzw. eine Änderung der Spezifikationen erforderlich, bevor der Zusatzstoff in Verkehr gebracht werden darf."*

Damit erfolgt eine eindeutige Klarstellung, dass auch bereits zugelassene Zusatzstoffe, wenn sie in Nanoform eingesetzt werden, als neue zulassungspflichtige Zusatzstoffe gelten. Was allerdings noch nicht klar ist, wann „Nanotechnologie" vorliegt, weil weder in dieser Verordnung, noch in der gesamten EU eine rechtsgültige Definition dieses Begriffes existiert (siehe dazu S.8).

Lebensmittelverpackungen und alle anderen Lebensmittelkontaktmaterialien sind in der EU-Verordnung 1935/2004[27] geregelt. Die Anforderungen dieser Verordnung gelten selbstverständlich auch für Nanomaterialien. In *Artikel 3:* „Allg. Anforderungen" wird sinngemäß festgeschrieben, dass Materialien und Gegenstände so herzustellen sind, dass sie keine Bestandteile an Lebensmittel abgeben dürfen, die geeignet sind die menschliche Gesundheit zu gefährden oder eine unvertretbare Veränderung der Zusammensetzung der Lebensmittel herbeiführen.

Artikel 4 dieser Verordnung ist besonders im Hinblick auf die Verwendung „aktiver Nanopartikel" von Interesse. „Aktive und intelligente Materialien und Gegenstände" dürfen nur Veränderungen der Lebensmittel herbeiführen, wenn diese mit allen anderen gesetzlichen Rahmenbedingungen im Einklang stehen. Außerdem müssen diese Produkte eine angemessene Kennzeichnung aufweisen, aus der hervorgeht, dass es sich um aktive und/oder intelligente Materialien und Gegenstände handelt.

Artikel 11 regelt die Gemeinschaftszulassung:

> *(5) Der Antragsteller oder der Unternehmer, der den zugelassenen Stoff oder Materialien oder Gegenstände, die den zugelassenen Stoff enthalten, verwendet, unterrichtet die Kommission unverzüglich über neue wissenschaftliche oder technische Informationen, die die Bewertung der Sicherheit des zugelassenen Stoffes in Bezug auf die menschliche Gesundheit berühren könnten.*

Die Bewertung wird von der EFSA vorgenommen. Im Fall von Nanomaterialien im Verpackungsbereich wurde bis jetzt Siliziumdioxid (max. Dicke 100 nm auf Gegenständen aus Polyethylenterephtalat)[1] und Titannitrid[2] als Nanobeschichtung von Kunsstoffflaschen endgültig bewertet und kein Anlass für toxikologische Bedenken gefunden.

Im Gegensatz dazu wurde für Silberhydrosol (⇨ wässerige Suspension von Nanosilber) festgestellt, dass die Datenlage für eine Beurteilung zur Verwendung in Nahrungsergänzungsmitteln noch nicht ausreichend ist.[3] Wie auf S.47 ausgeführt, wird Nanosilber auch bei Lebensmittelkontaktmaterialien zur Beschichtung eingesetzt. Eine Beurteilung für diesen Einsatzzweck wäre deshalb ebenfalls angebracht.

Eine verpflichtende Kennzeichnung von Nanomaterialien in Lebensmitteln ist in keiner der oben angesprochenen Regulierungen vorgesehen. Eine solche Kennzeichnung wurde zwar von *„Environment Committee“* des Europäischen Parlaments im Mai 2009 im Zusammenhang mit der Novellierung der „Novel Food“-Verordnung verlangt, die Kommission steht aber auf dem Standpunkt, dass dies bei zugelassenen, also geprüften „Neuartigen Lebensmitteln“ nicht erforderlich ist.[110] Dazu muss angemerkt werden, dass eine Kennzeichnung aufgrund der Vielfältigkeit der Nanotechnologie sich auch schwer verwirklichen lassen wird. Gegebenenfalls ist es vorstellbar, in Teilbereichen eine solche Kennzeichnung vorzunehmen.

Nanotechnologie in Lebensmitteln *(„Nano inside“)*

Zugabe von passiven Nanomaterialien direkt zu Lebensmitteln

Anorganische oder organische Zusatzstoffe, Mineralstoffe und Nährstoffe in nanoskaliger Form [⇨ ENPs *(engineered nanoparticles)*] können eine Reihe von technisch-funktionellen und bio-funktionellen Vorteilen bei ihrer Zugabe zu Lebensmitteln ergeben. Sie wirken aufgrund ihrer Nanoskaligkeit und sollen nicht in Wechselwirkung mit anderen Inhaltsstoffen treten.

Bei anorganischen, nanoskaligen Stoffen wird auch von „harter *(hard)* Nanotechnologie“ gesprochen, während die Verwendung von organischen bzw. biologischen, nanoskaligen Stoffen als „weiche *(soft)* Nanotechnologie“ bezeichnet wird.

An Hand von Beispielen, die schon derzeit praktische Verwendung finden oder diskutiert werden, sollen die beabsichtigten Wirkungen näher erläutert werden.

Anorganische Zusatzstoffe in nanopartikulärer Form

Siliziumdioxid: Seit den 60er-Jahren darf nanostrukturiertes Siliziumdioxid als erlaubter Lebensmittelzusatzstoff (E-Nummer 551) in diversen Lebensmitteln als Rieselhilfsmittel eingesetzt werden (z. B. Trockenlebensmittel in Pulverfom, Salz, Gewürze). Bei der Herstellung dieses Produktes entstehen zwar intermediär nanoskalige Partikel, die aber sofort zu größeren Partikeln weit über 100 nm aggregieren. Die verwendete Kieselsäure ist zwar nanostrukturiert, weil sie aus nanoskaligen Teilchen zusammengesetzt ist, das verwendete Produkt besteht jedoch nicht aus

Nanopartikeln. Zu diesem Zusatzstoff liegen auch umfangreiche toxikologische Studien vor, die keine Hinweise auf nachteilige gesundheitliche Effekte ergaben.[34]

Titandioxid: Nanopartikuläres Titandioxid existiert und wird auch im Kosmetikbereich bereits eingesetzt (z. B. in Sonnencremes). In Nicht-Nanoform ist Titandioxid ein erlaubter Lebensmittelzusatzstoff (E-Nummer 171) und dient als weißer Pigmentfarbstoff, auch für Süßwaren. Im Jahr 1995 wurde von der Firma Mars ein Patent angemeldet in dem neben Titandioxid auch Silizium-, Calcium-, Zink- und Manganoxid zur Nanobeschichtung von Süßwaren vorgeschlagen werden, um letztere vor Sauerstoff- und Feuchtigkeitseinfluss zu schützen.[8] Dieses Patentbeispiel ist eines der am häufigsten zitierten Möglichkeiten für den Einsatz der Nanotechnologie im Lebensmittelbereich. Es wurde aber noch nie praktisch umgesetzt und wird wahrscheinlich nie zum Einsatz kommen. Nach der gegenwärtigen Rechtslage in der EU (siehe S.24) müsste nämlich nanopartikuläres Titandioxid schon jetzt als Zusatzstoff neu bewertet und zugelassen werden.

In diesem Zusammenhang ist auch die in Tausenden Internetseiten angeführte Behauptung zu erwähnen, wonach Titandioxid als „Verdickungsmittel“ in Ketchup verwendet wird. Eine völlig unsinnige Behauptung. Erstens ist Titandioxid nur als weißer Pigmentfarbstoff zugelassen, aber nicht in Tomatenprodukten. Ein sich ergebendes blassrotes Ketchup würde wohl keinen großen Anklang bei den Konsumenten finden. Zweitens hat es keinerlei verdickende Eigenschaften zumindest nicht in geringen Konzentrationen, auch nicht in Nanoform. Drittens kann sich jeder Konsument selbst leicht davon überzeugen, denn als deklarationspflichtiger Zusatzstoff müsste es auf dem Etikett angeführt sein.

Anorganische Stoffe in nanopartikulärer Form zur Erhöhung der Bioverfügbarkeit

Die Tatsache, dass sich die Bioverfügbarkeit von Stoffen in Nanoform verbessert, wird vor allem im Bereich der Nahrungsergänzungsmittel bereits in größerem Umfang genutzt. Aber auch bei Lebensmitteln gibt es dafür Beispiele. Keines der angeführten Produkte befindet sich aber in Österreich auf dem Markt.

Nano-Calcium: Wie Tab. 2 zeigt, gibt es weltweit schon einige Lebensmittel auf dem Markt, welche die bessere Verwertung von Calcium in Na-

noform nutzen.[107] Als Calciumquelle dienen verschiedene calciumhältige Mineralstoffe, die durch Feinvermahlung (*Top-down*-Strategie) in die Nanoform gebracht werden. Auch Perlenpulver in Nanoform zeigt eine hohe Bioverfügbarkeit[14], allerdings dürfte sich diese Rohstoffquelle aus preislichen Gründen wohl kaum durchsetzen.

Nanoskalige Metalle und Metalloxide: Nanokolloidales Kupfer, Gold, Iridium, Palladium, Platin, Silber, Titan und Zink werden in Nahrungsergänzungsmitteln (z. B. Mesogold der Fa. Purest Colloids, Inc., USA)[111], aber auch in Lebensmitteln eingesetzt. Beispielsweise vermarktet die japanische Firma Nippon Luna Yoghurt und einen Yoghurt-Drink, denen nanokolloidales Platin als *„anti-aging"*-Mittel zugesetzt wird.[112] In Gelatine eingepackte Gold-Nanopartikel werden auch zur Färbung von Lebensmittel und Getränken vorgeschlagen.[67]

In einer Dissertation der ETH Zürich[53] wird die Herstellung von nanoskaligem Eisensulfat und Zinkphosphat beschrieben. Diese Substanzen sollen zur Eisen- und Zinkanreicherung von Lebensmitteln eingesetzt werden und weisen eine weit bessere Bioverfügbarkeit auf, als herkömmliche Verbindungen dieser Metalle.

Auch für Selen wird eine bessere Bioverfügbarkeit in Nanoform beschrieben.[50]

Organische Stoffe in nanopartikulärer Form
Carotinoide: Diese gesundheitsfördernden Inhaltsstoffe kommen weit verbreitet in unseren Lebensmitteln vor, wie beispielsweise ß-Carotin (Provitmain A) und Lycopin. In isolierter Form dienen sie auch als Zusatzstoffe zur Färbung von Lebensmitteln (E 160a-f).

Sie sind nur fettlöslich und können deshalb in wässerigen Lebensmitteln nur in Form einer Emulsion oder eben in nanopartikulärer Form eingesetzt werden. Die feine Teilchengröße der Carotinoide bewirkt ihre bessere Aufnahme im Verdauungstrakt. An und für sich existiert der Einsatz nanopartikulärer Carotinoide schon seit Jahrzehnten. Sehr oft werden sie dabei noch in eine wasserlösliche Matrix eingebettet. Weltweit, auch in Europa, gibt es einige Hersteller solcher Produkte. Es wurden bereits zahlreiche toxikologische Untersuchungen mit diesen Formulierungen durchgeführt und es ergaben sich keine Bedenken gegen ihren Einsatz.[47] Es ist davon auszugehen, dass sie auch in europäischen Lebensmitteln eingesetzt

werden, wobei drei Carotinoide dominieren, nämlich ß-Carotin; Lycopin, gewonnen aus Paradeisern und Astaxanthin, gewonnen aus Meeresalgen (siehe Produktbeispiele in Tab. 2).

Resistente Stärke (RS): Wie bereits auf S.14 erwähnt, bildet sich RS bei vielen Garprozessen von stärkereichen Lebensmitteln (Brot und Gebäck, Nudeln, Kartoffeln usw.), unabhängig ob die Zubereitung im Haushalt oder großtechnisch erfolgt.

Es werden vier Typen resistenter Stärke unterschieden:

- *RS Typ I:* In intakten pflanzlichen Zellen eingeschlossene, native Stärkekörner.
- *RS Typ II:* Isolierte native, amylosereiche Stärkekörner
- *RS Typ III:* Dieser Typ wird bei der Verarbeitung von Lebensmitteln gebildet. Er besteht aus kurzkettigen, linearen Stärkeketten aus bis zu 60 Glucosemolekülen. Zwei Ketten verdrillen sich jeweils zu einer Doppelhelix, welche sich weiter zu Stärkekristalliten zusammenlagern. Die sich ergebende dichte, kristalline Packung erklärt auch die Nichtangreifbarkeit durch die menschlichen Verdauungsenzyme und die hohe physikalische Beständigkeit. RS von Typ III kann nun auch aus normaler Stärke gezielt produziert und Lebensmitteln zur Anreicherung zugesetzt werden. Die Herstellung erfolgt entweder durch Feinstvermahlung von nativen Stärkekörnern (*Top down*-Strategie) oder durch enzymatische Hydrolyseverfahren. Diese schon seit einigen Jahren praktizierte Herstellung von RS Typ III kann aus heutiger Sicht als Nanotechnologie bezeichnet werden.
- *RS Typ IV:* Durch chemische Modifikation der Stärke, insbesondere durch Vernetzung der Stärkemoleküle wird die Abbaubarkeit von Stärke ebenfalls reduziert.

Die positiven ernährungsphysiologischen Wirkungen von RS wurden bereits auf S.14 angeführt. RS von Typ II oder III werden deshalb schon in großem Umfang in einigen Ländern (z. B. Australien, Neuseeland) zur Anreicherung von Weißbrot eingesetzt, um den Ballaststoffmangel in der Bevölkerung dieser Länder auszugleichen.

Einige Firmen bieten solche Präparate auch in Europa an. Inwieweit sie tatsächlich eingesetzt werden, ist schwer zu beurteilen, weil sie rechtlich als Lebensmittel und nicht als Zusatzstoffe gelten. Eine explizite Anführung in der Zutatenliste als RS ist deshalb nicht erforderlich.

Chitosan: Ein weiterer Vorschlag aus der Literatur ist der Einsatz von nanopulverisiertem Chitosan (⇨ Gerüstsubstanz von Schalenweichtieren) in cholesterinreduziertem Yoghurt, wodurch angeblich nachteilige sensorische Eigenschaften vermieden werden können.[61]

Herstellung bzw. Aufbau von aktiven Nanostrukturen aus organischen Molekülen direkt in Lebensmitteln bzw. Zusatz zu Lebensmitteln.
Aktive Nanostrukturen bieten zweifelsohne die interessantesten Anwendungsmöglichkeiten der Nanotechnologie bei Lebensmitteln, sowie in der menschlichen und tierischen Ernährung und in der Medizin.

„Aktiv" bedeutet, dass diese Nanokonstrukte (⇨ Nanopartikel, Nanokapseln, Nano-cluster, Micellen, Liposome usw.) in Wechselwirkung mit Inhaltsstoffen der Lebensmittel treten und diese verändern, binden oder gezielt wieder freisetzen.

Die Erzeugung solcher aktiver Nanostrukturen kann synthetisch auf chemischem oder enzymatischem Weg erfolgen. Sie können aber auch durch Selbstanordnung von organischen Molekülen spontan – selbst direkt in den Lebensmitteln (siehe S.52) – entstehen, und auch wieder zerfallen.

Die Herstellung dieser Nanostrukturen ist aber nicht Selbstzweck, sondern nur der erste Schritt. In weiterer Folge dienen sie der Bindung und vor allem Einkapselung von anderen Stoffen. Beispielsweise ist es möglich Aromamoleküle, (bio-)funktionelle Moleküle, Farbstoffe usw. einzuschließen, dadurch zu schützen und in den Lebensmitteln bei Bedarf wieder freizusetzen. Eingekapselte, bioaktive Stoffe können aber auch nach dem Verzehr gezielt an die Stellen in unserem Körper herangebracht werden, wo sie ihre größte Wirksamkeit entfalten (⇨ *controlled release*).

Die Kombination von Nanokonstrukten mit funktionellen Wirkstoffen ist prinzipiell auf folgende Arten durchführbar:

a) *Bindung der Wirkstoffe an der Oberfläche von kugelförmigen Nanopartikeln:* Letztere dienen hier als Trägermaterial (⇨ *carrier*) und können auch aus anorganischen Nanopartikeln bestehen. Als Beispiel dafür sei das Nahrungsergänzungsmittel *„slim shake chocolate"* der Fa. RBC Life Sciences genannt. Dieses wurde früher angepriesen, dass es Kakao-Nanocluster enthält (Silizium-Nanopartikel überzogen mit Kakaobestandteilen, um den Kakaogeschmack zu intensivieren)[106]. Auf der Homepage dieser Firma wird aber das Produkt gegenwärtig

nicht mehr so beworben.[113] Das heißt, entweder wird Nanotechnologie nicht mehr verwendet, oder es wird kein Marketingvorteil mehr darin gesehen.

b) *Einbettung bzw. Einschluss von Wirkstoffen in feste Nanopartikel* z. B. Einbettung in Hydrokolloidgel-Nanokugeln [Beta-Carotin-Kristalle – selbst schon eine Nanostruktur – in Gelatine-Nanokugeln (Durchmesser ca. 120 nm)][41]. Diese Möglichkeit wird an und für sich schon lange zur sogenannten Mikroverkapselung in der Lebensmitteltechnik genutzt. Neu ist nun, dass versucht wird, die Kapseln immer kleiner bis in den Nanobereich zu bekommen.
c) Einkapselung bzw. Einschluss von Wirkstoffen in Löchern oder offenen Hohlräumen von Nanomolekülen bzw. Nanokonstrukten, wie z. B. in Cyclodextrinen (siehe S.31).
d) *Einkapselung bzw. Einschluss von Wirkstoffen in Nanohohlkugeln* (Micellen, Liposome). Werden diese Präparate dann in einer wässerigen Phase verteilt, ergeben sich Nanoemulsionen (siehe S.40).

Eine vollständige Abhandlung aller aktiven Nanostrukturen ist hier nicht möglich. An Hand einiger markanter und realistischer Beispiele soll aber ein repräsentativer Überblick gegeben werden, was schon existiert, was erforscht wird und was vorstellbar ist.

In diesem Zusammenhang sollen einleitend eher unrealistische Einsatzmöglichkeiten aktiver Nanostrukturen angeführt werden, welche in zahlreichen populärwissenschaftlichen Artikeln immer wieder als Beispiele für Nanotechnologie in Lebensmitteln zitiert werden. Eines ist die sogenannte „Nano-Multi-Geschmack-Tiefkühl-Pizza“[68] oder „Tutti Gusti“-Pizza. Das soll eine Pizza sein, die je nach Energiezufuhr im Mikrowellenofen unterschiedliche Geschmacksnoten aus nanoverkapselten Aromastoffen freisetzt, wie z. B. „Margheritha“ oder „Prosciutto e funghi“. So eindrucksvoll oder eher abschreckend dieses Beispiel auch klingt, es ist ein ziemlicher Unsinn. Um unterschiedliche Aromastoffe freisetzen zu können, müssten diese ja alle in diesem Produkt auch enthalten sein. Es ergäbe sich eine „Aromabombe“, die aus gesetzlichen und wirtschaftlichen Gründen kaum denkbar ist. Auch technische Gründe sprechen dagegen, weil Mikrowellen ziemlich unspezifisch wirken. Abgesehen davon, welche Vorteile sollen sich für die Konsumenten ergeben? Warum sollten sie alle „eingepackten“ Aromastoffe mitbezahlen und mitverzehren, wenn sie eigentlich nicht benötigt werden?

Das zweite unrealistische Beispiel sind die sogenannten Schüttel-Shakes, die je nach Intensität und Schüttelzeit ihre Farbe ändern können. Abgesehen davon, dass der Energieeintrag durch Schütteln viel zu gering ist, um Nanostrukturen aufzubrechen, gelten die gleichen Gegenargumente wie bei der Pizza.

Nicht selbstanordnende, aktive Nanostrukturen

Cyclodextrine (CDs): In den USA darf ein CD, nämlich Beta-Cyclodextrin seit dem Jahr 1997 zu 2% Kaugummis, Puddings, Trockensuppen, Backwaren etc. zugesetzt werden. Der WHO-Standard für die tägliche Aufnahme von Beta-Cyclodextrin wurde auf 6 mg pro kg Körpergewicht festgelegt. Seit dem Jahr 2000 ist diese Substanz auch in der EU als deklarationspflichtiger Lebensmittelzusatzstoff (E 459) zugelassen und kann in „Lebensmitteln in Tabletten- und Dragéeform" je nach Bedarf eingesetzt werden. Außerdem darf es auch als „Trägerstoff" in Lebensmitteln bis zu einer Menge von 1 g/kg verwendet werden.[37]

CDs sind auf enzymatischem Weg aus Stärke hergestellte, nanoskalige Ringstrukturen aus sechs, sieben oder acht verbundenen Glucosemolekülen, wobei ein konusförmiger, wasserabweisender Hohlraum (➪ Nanotüten) entsteht. Diese „Molekülfallen" können in ihrem wasserabweisenden Innenraum fettlösliche Moleküle, wie Vitamine, Aromastoffe oder Cholesterin einschließen, schützen und gezielt wieder freisetzen.

CDs werden nicht nur in Lebensmitteln, sondern in vielen anderen Bereichen bereits vielfach eingesetzt (z. B. Textilindustrie, Haushaltsprodukte, Pharmabereich).

Anwendungsbeispiele für Cyclodextrine im Lebensmittelbereich:

- Einkapselung zum Schutz und Stabilisierung von oxidationsempfindlichen Aromastoffen, ungesättigten Fetten, Vitaminen und bioaktiven Stoffen
- Bindung unerwünschter Geruchsstoffe
- Herstellung cholesterinfreier Milch- und Eiprodukte: CDs werden in das Produkt eingemischt, fangen das Cholesterin ein und der Komplex wird dann abgetrennt.
- Entfernung von Bitterstoffen (z. B. aus Zitrusfrüchtesäften)

Selbstanordnende, aktive Nanostrukturen
Die Selbstanordnung bzw. Selbstassoziation von organischen Molekülen ist ein der Natur innewohnendes Prinzip und war eine der Voraussetzungen zur Entstehung des Lebens bzw. der Lebensformen. Die Nanotechnologie nutzt nun dieses Prinzip geschickt zur Bildung neuer Strukturen (⇨ NSSL – *nano sized self-assembled liquid structures*).

Aktive Nanostrukturen als Einkapselungssysteme auf der Basis von Emulgatoren:
Zahlreiche Emulgatoren werden in großem Umfang als Zusatzstoffe in vielen Lebensmitteln eingesetzt (z. B. Margarine, Streichfette, Dressings, Backwaren, Fleischwaren, Majonäse). Als oberflächenaktive Substanzen reichern sie sich an der Grenzfläche zwischen der Öl- und Wasserphase an, senken die Oberflächenspannung und erleichtern die Herstellung von Emulsionen und Schaumstrukturen und stabilisieren diese. Werden Emulgatoren nicht in ein Zweiphasensystem (z. B. Öl/Wasser), sondern in genügend hoher Konzentration in ein Einphasensystem eingebracht, neigen sie dazu durch Selbstanordnung bzw. -ausrichtung kleine Nanomicellen zu bilden. Dabei ordnen sich die Moleküle so, dass der mit der äußeren Phase nicht verträgliche Molekülteil nach innen gerichtet ist. Es entstehen igelförmige *„Bottom up"*-Nanokugeln. Letztere können nun als Vehikel benutzt werden, um empfindliche Gastmoleküle darin einzuschließen und zu schützen, oder wieder gezielt freizusetzen.[55]

Polysorbate (E 432 und E 433) bilden Micellen mit einem Durchmesser von ca. 30 nm. Gastmoleküle für solche Micellen können Vitamine, Omega-3-Fette, sekundäre Pflanzenstoffe (z. B. Isoflavone, Flavonoide, Carotinoide), Pflanzenextrakte, ätherische Öle, Konservierungsstoffe und Farbstoffe sein. Die deutsche Firma Aquanova GmbH[114] und die Schweizer Firma miVital[115] bieten solche Micellen-Formulierungen für die Lebensmittelproduzenten an. Sie werden zum Großteil in Nahrungsergänzungsmitteln eingesetzt, es kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass sie auch in Lebensmitteln verwendet werden. Deklariert muss nur der verwendete Emulgator werden.

Die Fa. ZymesLLC (USA)[116] bietet ebenfalls unter dem Markennamen Ubisol-Aqua™ solche Nano-Micellsysteme zur Einkapselung von wasserunlöslichen Stoffen auf der Basis von Verbindungen aus Polyethylenglycol mit Tocopherol an. Ein weiteres System ist das der Fa. PL-Thomas (USA)[117], Markenname NutraLease™.

Mono- und Diglycerid-Emulgatoren (E 471), im Prinzip Fettmoleküle, bei denen aber eine oder zwei Fettsäuren abgespalten sind, können ebenfalls solche Micellstrukturen bilden. Die Micellen sind in der Lage sich je nach Temperatur reversibel zu ändern.[19] Es wäre vorstellbar, durch Temperatursteuerung die Gastmoleküle aus diesen Strukturen gezielt freizusetzen oder zu binden. Diese Möglichkeit ist der Ursprung der Idee für die oben erwähnte Nano-Pizza.

Der Emulgator Lecithin (E 322) kann sogenannte Liposome bilden. Das sind kugelförmige, doppel- oder mehrschalige Aggregate mit einer Größe von 20 nm aufwärts. Wie in den Micellen können auch in Liposomen Gastmoleküle eingeschlossen werden und zwar sowohl fett- als auch wasserlösliche. Ein großer Einsatzbereich für Liposome liegt im Kosmetikbereich. In Lebensmitteln könnten sie zum Einschluss empfindlicher Proteine dienen.[34]

Aktive Nanostrukturen als Einkapselungssysteme auf der Basis von Proteinen:
Proteine sind gleichfalls von Natur aus in der Lage sich selbst zu Nanostrukturen anzuordnen, wie die Beispiele der Enzyme, der Muskelproteine und des Kollagens zeigen.

Auch das Hauptprotein der Milch, das Kasein, liegt von Natur aus in Form von Nanomicellen (Durchmesser 20-500 nm) vor. Diese natürliche Fähigkeit von Kasein Nanomicellen zu bilden, könnte gezielt zum Einschluss von Fremdmolekülen genutzt werden.[51]

Molkeproteine haben eine Größe von etwa 3 nm. Partiell gespaltenes alpha-Lactoglobulin, ein Molkeprotein, kann durch Selbstanordnung stabile Nanoröhrchen bilden.[33] Die Wiederfreisetzung von Gastmolekülen aus diesen Röhren ist durch pH- oder Temperaturänderungen gezielt möglich.

Aus dem bei der Maisstärkegewinnung als Nebenprodukt anfallenden Maiskleberprotein Zein lassen sich durch Phasentrennung Nanopartikel mit eingeschlossenen aromatischen Ölen erzeugen. Dazu wird das Zein in Alkohol gelöst, die Aromastoffe zugesetzt und diese Lösung unter intensivem Rühren mit Wasser verdünnt. Die ausgefallenen Zein-Nanopartikel können durch Gefriertrocknung als Pulver gewonnen werden.[49]

Aktive Nanostrukturen als Einkapselungssysteme auf der Basis von Stärke:
Wie bereits ausgeführt, liegt Stärke in der Natur in den Stärkekörnern in Form von Nanokristalliten vor. Diese Fähigkeit zur Selbstassoziation von Stärkemolekülen könnte ebenfalls zur Erzeugung von Micellen genutzt werden. Ein Beispiel dafür ist die Veresterung der hydrophilen Stärkemoleküle mit hydrophoben Molekülen. Diese Verbindungen haben ähnliche, oberflächenaktive Wirkungen wie Emulgatoren und sind in der Lage, wie diese Micellen zu bilden, in die wiederum Gastmoleküle eingeschlossen werden können.[7, 32, 40]

Bindung oder Einkapselung von Enzymen an bzw. in Nanokonstrukten (⇨ Enzymimmobilisierung)
Enzyme in isolierter Form werden in immer größerem Ausmaß in der Lebensmittelverarbeitung in allen Bereichen eingesetzt. Diese nanostrukturierten, aktiven Eiweißmoleküle sind die Träger aller Lebensreaktionen in den Organismen. Die Verdauung unserer Nahrung funktioniert ebenfalls nur durch die Wirkung von körpereigenen Enzymen.

Wir haben gelernt, Enzyme zu isolieren und unabhängig einzusetzen. Ein Beispiel dafür sind Amylasen, welche Stärke zu Glucose (⇨ Traubenzucker) abbauen. Letztere kann dann rasch in unserem Verdauungstrakt zur Energiegewinnung genutzt werden. Bereits in unserem Speichel befindet sich alpha-Amylase, um schon im Mund eine Vorverdauung zu erzielen. Alpha-Amylase kann nun auch großtechnisch mit Bakterien erzeugt und isoliert werden. Diese technischen Amylasepräparate werden in großem Umfang zur Gewinnung von Glucose aus Stärke eingesetzt.

Ein weiteres Beispiel ist das Enzym alpha-Galactosidase, welches wir in unserem Körper benötigen, um Milchzucker (⇨ Laktose) zu spalten. Fehlt dieses Enzym einem Menschen, ist er laktoseintolerant. In isolierter Form kann alpha-Galactosidase nun schon vor dem Verzehr der Milch zugesetzt und damit laktosefreie Milch erzeugt werden.

Um solche isolierten Enzyme nicht nur einmal einsetzen zu können, oder sie nach ihrer Wirkung wieder aus den Lebensmittel heraus zu bekommen, wurden schon vor Jahrzehnten begonnen, die Enzyme an Trägermaterialien zu binden oder einzukapseln, also zu immobilisieren.

Bis jetzt hat dies noch nichts mit Nanotechnologie zu tun. Nanotechnologie kommt erst dann ins Spiel, wenn Träger- und Einkapselungssysteme in nanoskaliger Form verwendet werden. Genau das ist das Ziel vieler Forschungsarbeiten. Mit dieser Methode wäre es auch denkbar, Nanokonstrukte mit immobilisierten Enzymen in Lebensmittelverpackungen zu integrieren. Die Enzyme wirken dann auf die verpackten Lebensmittel ein; z. B. Abbau der Laktose in verpackter Milch oder immobilisiertes Lysozym, welches die Zellwand von in den Lebensmitteln enthaltenen, schädlichen Bakterien abbaut und sie damit abtötet.

In Sensoren für die Lebensmittelanalytik finden immobilisierte Enzyme ebenfalls Verwendung.

Einige Beispiele für vorgeschlagene Nanokonstrukte zur Enzymimmobilisierung sind: Nanofasern aus Polyethylen, Polyacrylnitril-Nanofasern, Polyhydroxybutyrat-Nanopartikel, Nano-Tonpartikel, Nano-Chitosan, siliziumüberzogene Magnetit-Nanopartikel, Silizium-Nanopartikel, Zirkon-Nanopartikel, kohlenstoffüberzogene Eisen-Nanopartikel, Kohlenstoff-Nanoröhren.

Die am häufigsten in der Literatur genannten Enzyme für eine Einkapselung sind Lipasen (⇨ fettspaltende Enzyme).

Veränderung von Lebensmittelstrukturen und -inhaltsstoffen durch Nanotechnologie, bzw. Erzeugung nanoskaliger Strukturen direkt in den Lebensmitteln

Die drei wichtigsten grob- bzw. makrodispersen Lebensmittelsysteme sind:

- Suspensionen: Verteilung von Feststoffteilchen in einer Flüssigphase, z. B. trüber Apfelsaft
- Emulsionen: Verteilung zwei nichtmischbarer Flüssigkeiten, von denen eine in Form feinster Tröpfchen in der anderen vorliegt. Das kann eine „Öl in Wasser"-Emulsion (z. B. Milch) oder eine „Wasser in Öl"-Emulsion (z. B. Butter, Margarine) sein.
- Schäume: Verteilung von kleinen Gasblasen in einer Flüssigkeit (z. B. Eiweißschaum) oder in einem Feststoff (z. B. Brot).

Den meisten dieser Systeme ist gemeinsam, dass sie nicht stabil sind und wieder zur Entmischung der beiden Phasen neigen. Je kleiner aber die Partikel werden, umso geringer ist diese Neigung und umso höher

ist die Stabilität und Lagerfähigkeit. Deshalb war es immer schon das Ziel der Lebensmittelverarbeitung, die Partikelgröße in diesen Systemen zu verringern; also aus Makro- Mikropartikel zu machen und nun mittels Nanotechnologie eben Nanopartikel. Da Nanopartikel aber, wie oben erwähnt, ganz andere Eigenschaften aufweisen, haben auch die entstehenden Systeme völlig andere, zum Teil verblüffende Eigenschaften.

Nanosuspensionen bzw. Zerkleinerung fester Lebensmittelinhaltsstoffe in den Nanobereich.
Die festen Zellwandbestandteile von Pflanzen sind einerseits als Ballaststoffe wichtige Nahrungsbestandteile, andererseits bereiten sie aber oft sensorische und technologische Probleme in den Lebensmitteln. Je feiner und kleiner die Zellwandbestandteile zerkleinert werden, umso besser lassen sich diese Nachteile vermeiden. Es liegt deshalb auf der Hand, diese Stoffe bis in den Nanobereich zu vermahlen. Die möglichen Vorteile aus einer solchen Vorgangsweise sollen durch folgende Beispiele erläutert werden:

Bioverfügbarkeit: Je kleiner die Ballaststoffpartikel, umso größer werden ihre Wasserbindungskapazität und ihre positiven Wirkungen im Verdauungstrakt. Beispielsweise zeigten Lignanglucoside (⇨ Ballaststoffkomponente in Sesammehl) in Nanopartikelform (200 nm) in Tierversuchen eine höhere Bioverfügbarkeit.[44]

Gewinnung von Ballaststoff-Fraktionen: Immer häufiger werden einzelne Zellwandbestandteile mit besonders günstigen gesundheitlichen Wirkungen isoliert und zur Ballaststoffanreicherung von Lebensmitteln eingesetzt. Der Einsatz der Nanotechnologie könnte in Zukunft die Gewinnung dieser Präparate erleichtern bzw. überhaupt erst ermöglichen. Das zeigen Versuche, bei denen im Labormaßstab durch intensive Vermahlung mit Kugelmühlen Zellwandbestandteile von Kleie (⇨ Arabinoxylane) in den Nanobereich zerkleinert und damit wasserextrahierbar gemacht wurden.[17]

Verbesserung der sensorischen und funktionellen Eigenschaften: Je kleiner die Ballaststoffteilchen in den Lebensmitteln, umso weniger sind ihre geschmacklichen Nachteile spürbar und ihre funktionellen Nachteile sichtbar. Jedem Konsument ist die Erscheinung bekannt, dass sich in trüben Obst- oder Gemüsesäften die festen Zellwandbestandteile mehr oder weniger rasch absetzen. Für feste Partikel im Nanobereich trifft dies nicht mehr zu, weil die Schwerkraft ausgetrickst wird. Damit wäre es möglich, trübungsstabile Säfte ohne Einsatz von Verdickungsmitteln zu erzeugen.

Die Technik, um die Zellwandbestandteile in Nanoform zu bringen, existiert bereits (↬ Microfluidisation, Kolloidmahlverfahren, Jet-milling).

Nanoemulsionen
Emulsionen im Lebensmittelbereich sind sowohl in natürlicher Form (z. B. Milch, Speicherung von Öl in den Pflanzenzellen) als auch als künstlich erzeugte Lebensmittelsysteme (Majonäse, Dressings, Soßen, Senf, Wurst, Aromaemulsionen, Schokolade etc.) sehr weit verbreitet. Durch die feine Verteilung einer Öl- bzw. Fettphase in einer zusammenhängenden Wasserphase (Öl in Wasser-Emulsionen – O/W), oder umgekehrt, der Wasserphase in einer zusammenhängenden Fettphase (Wasser in Öl-Emulsionen- W/O), entstehen Lebensmittel mit ganz besonderen sensorischen und funktionellen Eigenschaften. Je kleiner z. B. die Öltröpfchen in einer Emulsion sind, umso größer wird deren Oberfläche und umso besser können die Verdauungsenzyme angreifen. Die Natur verwendet diesen Trick, um mit Wasser nicht mischbares Fett in Form von Milch in ein gut verdauliches Lebensmittel umzuwandeln. Alle Emulsionen ergeben beim Verzehr einen samtenen und schmeichelnden Fettgeschmack, den wir sehr lieben.

Als hochgeordnete Systeme neigen Emulsionen zur Entmischung, d. h. sie sind nicht stabil und müssen durch Zugabe von Verdickungsmitteln in die Wasserphase oder Emulgatoren in die Ölphase stabilisiert werden. Je kleiner die Tröpfchengröße in Emulsionen ist, umso besser sind aber die Eigenschaften und die Stabilität.

In natürlichen und künstlichen Emulsionen liegt die Größenordnung der Tröpfchen im Bereich von ca. 1-50 µm. Da es sich aber immer um eine Tröpfchengrößenverteilung handelt, kommen auch in konventionellen Emulsionen bereits Tröpfchengrößen vor, die in den Nanobereich reichen, also kleiner als 0,1 µm (= 100 nm) sind.

In den letzten Jahren wurden neue Emulsionstechniken entwickelt, wie die Membranemulgierung, die Ultraschallemulgierung und die Microfluidisation. Mit diesen neuen Techniken können nicht nur Mikro- sondern auch Nanoemulsionen erzeugt werden.[56] Trotz Verringerung des Fettanteiles in diesen Nanoemulsionen bleiben angeblich die sensorischen Eigenschaften nicht nur erhalten, sondern werden sogar noch verbessert. Es kommt eben nicht auf die Fettmenge an, sondern auf die Zahl und die Größe der Öltröpfchen.[20] Damit könnten kalorienreduzierte Nanoemulsionen erzeugt

werden, die sich im Geschmack nicht von vollfetten, normalen Emulsionen unterscheiden.

Nanomemulsionen wären auch geeigenet, um aromatische Öle (Aromastoffe) und fettlösliche Farbstoffe einzuschließen. Im Gegensatz zu herkömmlichen Emulsionen könnten diese völlig transparent und sehr stabil sein; ein Vorteil, der bei der Herstellung von alkoholfreien Erfrischungsgetränken *(⇨ soft drinks)* anscheinend schon genutzt wird, denn die deutsche Fa. Aquanova preist auf ihrer Homepage[118] Nanoemulsionen an, die klar sind und zahlreiche Vorteile aufweisen sollen, und Vitamine und andere Wirkstoffe (z. B. Carotinoide) enthalten können. Die Fa. Wild, ebenfalls aus Deutschland, bewirbt „Nano-Color-Emulsions" zum Färben von Getränken.[119]

Durch die neuen Emulsionstechniken und die Verwendung von Emulgatoren lassen sich auch Liposomen erzeugen, wo z. B. sehr kleine Wassertröpfchen in Öltröpfchen eingeschlossen werden und letztere dann wieder in eine Wasserphase hinein emulgiert werden (W/O/W-Emulsionen). Damit werden z. B. wasserlösliche Inhaltsstoffe, die miteinander reagieren könnten, getrennt in die innerste und äußere Wasserphase eingebracht (z. B. Aromastoffe).

Durch die große innere Oberfläche von Nanoemulsionen ist die Bioverfügbarkeit von Stoffen in der Ölphase weit besser. Deshalb werden Nanoemulsionen schon seit längerer Zeit in der parenteralen (⇨ künstlichen) Ernährung eingesetzt.[34, 62]

Eine weitere Nutzungsmöglichkeit von Nanoemulsionen liegt in der Reinigungstechnik. So lassen sich angeblich Glycerin enthaltende Nanoemulsionen zur Entfernung von Pesticidrückständen auf Obst und Gemüse, zur Entfernung von Fettresten auf Essbesteck und zur Oberflächendekontamination (Salmonellenreduktion) von Geflügel einsetzen.[62]

Nanoschäume und Nanobläschen

So wie Nanoemulsionen sind auch Nanoschäume extrem stabil und ergeben ebenfalls interessante Eigenschaften. Die Firma Jones Soda Co., USA bietet Süßwaren an, die angeblich Kohlendioxidbläschen in Nanoform enthalten und beim Verzehr im Mund ein angenehmes Kribbeln auslösen.[120]

Kohlendioxid-Nanobläschen in Wasser können auch zur Unterdrückung von Fermentationen benutzt werden, also eine Art Wasserentkeimung.[15]

Ozon zeigt einen guten Sterilisationseffekt bei Wasser, und zwar weit besser als Chlorverbindungen. Ozon existiert in Wasser allerdings nur sehr kurze Zeit, während Ozonbläschen in Nanoform mehrere Monate stabil sind und einen Langzeitsterilisationseffekt ergeben. Für die Behandlung von Abwässern der Lebensmittelindustrie bedeute diese Technologie die faktisch vollständige Zersetzung der organischen Verunreinigungen zu Wasser und Kohlendioxid.[121] Mit Ozon-Nanobläschen angereichertes Wasser kann auch zur Abtötung von Noroviren in Austern eingesetzt werden.[122]

Nanotechnologie in Kontakt mit Lebensmitteln („Nano outside“)

Nanotechnologie bei und in Lebensmittelverpackungen

Es wird schon seit mehreren Jahrzehnten ein weitverbreiteter und jedem Konsumenten vertrauter Packstoff verwendet, nämlich Kunststoff-Folien, denen eine Aluminium- oder neuerdings eine Siliziumdioxidschichte im Nanometerbereich aufgedampft wurde.[63] Solche Materialien dienen zur aromadichten Verpackung aromareicher Lebensmittel, wie z. B. Gewürze oder Kaffee.

In der Zwischenzeit gibt es aber viel mehr Anwendungen der Nanotechnologie im Verpackungsbereich. Es ist derzeit ihr wichtigster Sektor im Bereich der Lebensmittel. Im Jahr 2004 waren 40 Nano-Verpackungsprodukte auf dem Markt, 2007 waren es bereits über 400.[123]

Nanotechnik bei Verpackungen kann sehr unterschiedliche Zielsetzungen haben, die auch getrennt betrachtet werden müssen. Grundsätzlich können aber zwei Strategien zur Erreichung dieser Ziele eingesetzt werden:

- Bei der ersten Strategie werden Nanostrukturen direkt im Verpackungsmaterial erzeugt oder in das Verpackungsmaterial eingebettet.
- Bei der zweiten Vorgangsweise wird nur die innere oder äußere Oberfläche des Verpackungsmaterials bzw. der Verpackung nanotechnisch verändert oder eine Oberflächenbeschichtung mit Nanomaterialien vorgenommen.

Indirekte Beeinflussung der Lebensmittel (Schutzfunktion) durch Nanostrukturen in oder auf den Verpackungen.
Verpackungen aus nanostrukturierten Verbundwerkstoffen, bei denen das Füllmaterial in mindestens einer Dimension kleiner als 100 nm ist (⇨ Nanokomposite):[4]

Durch Einbringung von Nanopartikeln in Kunststoffe oder biogene Polymere werden folgende Eigenschaften der Verpackung verbessert:[12]

- Mechanische Eigenschaften: Festigkeit und Stabilität, Elastizität, Kratzresistenz
- Physikalisch-chemische Eigenschaften: Verbesserte Barriereeigenschaften, d. h. geringere Durchlässigkeit (⇨ Permeabilität) gegenüber Wasserdampf, Sauerstoff, Kohlendioxid und als Schutz gegen UV-Licht. Während bei einer normalen Verpackungsfolie die Moleküle nur durch deren Schichtdicke wandern (⇨ diffundieren) müssen, wird der Weg durch die in die Folie eingearbeiteten Nanokomposite verlängert. Die Moleküle werden gezwungen viele Umwege zu machen.
- Chemische Eigenschaften (Entflammbarkeit)

Folgende Materialien werden als Nanokomposite bereits eingesetzt bzw. beschrieben:[4, 63]

- Nanotonpartikel-Komposite (⇨ *Polymer-clay nanocomposites – PCN*) (z. B. Bentonit, Kaolin, Schichtsilikatpartikel): Hier wird die Nanostruktur aus Stapeln hunderter Plättchen mit einer Schichtdicke von 1 nm gebildet. Das Ausgangsmaterial (z. B. Vulkanasche) ist relativ billig und leicht verfügbar, weshalb Nanotonmaterialien am häufigsten zur Verbesserung der Barriereeigenschaften verwendet werden. Solche Verpackungsmaterialien sind beispielsweise unter den Handelsnamen Imperm®, ÄgisOX und Durethan® auch in Europa bereits auf dem Markt.[124] Sie können zur Minimierung des Kohlendioxidverlustes bei PET-Getränkeflaschen eingesetzt werden.
- Titannitrid als nanodicke Sperrschichten in Kunststoffverpackungen (z. B. PET-Flaschen) zur Verbesserung ihrer mechanischen Eigenschaften.
- Metalloxide (Titanoxid, Zinkoxid) als UV-Schutz bei transparenten Verpackungen
- Synthetische, räderförmige Aluminium-Nanopartikel als Füllstoff für Kunststoffe, um deren mechanische Festigkeit zu verbessern.

- Kohlenstoffbasierte Nanopartikel (z. B. Kohlenstoff-Nanoröhren, Fullerene): Derzeit ist die Herstellung dieser Nanokomposite allerdings noch zu kompliziert und teuer.

Die enorme Verbesserung der Materialeigenschaften durch Nanokomposite wird es in Zukunft auch ermöglichen, Kunststoffe zur Folienherstellung im Verpackungsbereich durch natürliche, biogene Polymere auf Cellulose-, Stärke-, Protein- und Polymilchsäure-Basis zu ersetzen. Genau auf diesem Gebiet läuft ein großes Forschungsprojekt der EU, das mit 35 Millionen € dotiert ist und an dem 35 Partner aus 13 Ländern beteiligt sind.[125]

Nanostrukurierte Oberflächenbeschichtung
Wie bereits oben erwähnt, ist die Folienbeschichtung mit Aluminium oder Siliziumdioxid im Nanobereich bereits seit vielen Jahren Stand der Technik.

Auch für die Nanobeschichtung von PET-Flaschen, um deren Gasdichtheit zu verbessern, werden Stoffe angeboten (z. B. Nanolok™).[126]

Wer hat sich nicht schon geärgert, wenn Senf oder Ketchup durch noch so festes Schütteln kaum aus der Flasche zu bekommen sind. Durch Nutzung des Lotus-Effektes (siehe S.47 – also eine nanostrukturierte Gestaltung der Innenoberfläche von Kunststoff- und Glasbehältern) – lässt sich vielleicht einmal in Zukunft die Entleerbarkeit erleichtern.

Direkte Beeinflussung der Lebensmittel durch die Nanostrukturen in oder auf den Verpackungen.
Aktive Nanopartikel in Verpackungsmaterial integriert

Die Zugabe von aktiven Nanopartikeln in eine Polymermatrix kann nicht nur deren Materialeigenschaften verbessern, sondern bei Verwendung als Verpackungsmaterial zusätzliche Vorteile in Bezug auf die darin verpackten Lebensmittel ergeben.

Die im Folgenden angeführten Beispiele sollen nur exemplarisch das Potenzial der Nanotechnologie für diesen Einsatzbereich aufzeigen. Nicht alles, woran hier geforscht und entwickelt wird, wird aber auch tatsächlich praktisch umgesetzt werden.

- Antimikrobielle und antioxidative Wirkungen:
  Kohlenstoff-Nanoröhren im Verpackungsmaterial könnten nicht nur die mechanischen Eigenschaften verbessern, sondern sie ergäben auch einen antimikrobiellen Effekt.[62]
  Nanokompositmaterial aus Chitosan (⇨ Biopolymer aus dem Tierreich) und integriertem Nanosilber wirkt ebenfalls antimikrobiell.
- Wirkung gegen Schädlinge: Mit Knoblauchöl beladene Nanokapseln integriert in das Verpackungsmaterial zeigen eine solche Wirkung.[69]
- Bindung von unerwünschten Molekülen: Wird z. B. Ethylen-Gas, welches von Obst freigesetzt wird, in der Verpackung gebunden, verlangsamt sich die Reifung und damit verlängert sich die Haltbarkeit.
- Integration von aktiven Enzymen in das Verpackungsmaterial *(⇨"Enzymatic packaging")*
  Beim diesem Konzept werden gewünschte Verarbeitungsschritte durch die Verpackung erledigt. Enzyme sollen dazu in Nanokapseln immobilisiert und letztere in die Verpackung integriert werden. Während der Lagerung könnten dann die Enzyme ihre Tätigkeit entfalten, unerwünschte Inhaltsstoffe abbauen oder erwünschte bilden (z. B. Abbau des bitteren Naringins in Zitrussäften durch das Enzym Naringinase; Abbau von Milchzucker (⇨ Laktose) zu Glucose und Galactose in Milch).[46]
- Intelligente Verpackung *(⇨ smart packaging)*
  Es wäre denkbar, Nanosensoren (siehe S.52) direkt in Verpackungsmaterialien zu integrieren. Die Verpackung könnte dann „anzeigen", ob der Inhalt verdorben ist.
  Ein Nanosensor-Farbstoff für Verpackungen wurde bereits entwickelt, der die Anwesenheit von Sauerstoff in der Verpackung anzeigt.[127]
- Noch einen Schritt weiter geht der Vorschlag, dass die Sensoren auf bestimmte Stoffe ansprechen und sozusagen auf Kommando und erst bei Bedarf integrierte Konservierungsstoffe freisetzen.

Aktive, nanostrukurierte Oberflächenbeschichtung

Nanosilber kann nicht nur in das Verpackungsmaterial integriert werden, sondern auch oberflächlich auf Folien und andere Lebensmittelkontaktmaterialien aufgebracht werden. In Japan sind derartig laminierte Folien bereits auf dem Markt und werden zur Verpackung von Lebensmitteln eingesetzt, um deren mikrobiologische Haltbarkeit zur verlängern.[12] Der Nutzen der Verwendung von Nanosilber für Einwegverpackungen ist aber fraglich. An und für sich sollte die antimikrobielle Oberflächenbeschichtung nicht dazu dienen, um einen konservierenden Effekt auf die Lebens-

mittel auszuüben, sondern nur die Hygienebedingungen der Oberfläche verbessern und einen leichteren Reinigungseffekt ergeben (siehe dazu S.62).

Eine aktive, nanostrukturierte Oberflächenbeschichtung kann nicht nur auf Verpackungsmaterialien erfolgen, sondern sie könnte auch direkt auf die Lebensmittel aufgebracht werden *(⇨ edible nanocoating).* Es wird schon lange an solchen Überzugsmaterialien geforscht, um die Haltbarkeit vor allem von Obst und Gemüse zu verlängern. Als Nanoschicht aufgebracht, könnte weniger Material benötigt und bessere Effekte erzielt werden. Ein Beispiel in diesem Bereich ist der Vorschlag zur Verwendung von verdaubaren Nanofilmen aus Mango-Pürree, welche mit Nanocellulosefasern verstärkt sind.[5]

Nanooberflächenstrukturierung bzw. Nanooberflächenbeschichtung von Lebensmittelkontaktmaterialien (Küchengeräte, Maschinen, Aufbewahrungsbehälter usw.)

Keine direkte Beeinflussung der Lebensmittel

Lotuseffekt:

Sehr viel wurde schon geschrieben und geforscht über den sogenannten Lotus(pflanzen)effekt. Die äußersten Zellschichten der Lotusblätter besitzen Erhebungen im Abstand von 20-30 µm. Zusätzlich ist die Oberfläche mit kleinen, wasserabweisenden (⇨ hydrophoben) Wachskristallen mit einem Abstand zwischen 200-500 nm überzogen. Während Wassertropfen auf einer glatten Oberfläche zerfließen, erfolgt das auf einer solchen nanostrukturierten, hydrophoben Oberfläche wesentlich schwieriger oder überhaupt nicht. Sind solche Oberflächen schräg gestellt, bleiben die Tropfen erhalten und perlen ab. Befinden sich gleichzeitig Schmutzpartikel auf der Oberfläche, so liegen diese nur auf den Spitzen der nanostrukturierten Oberfläche auf. Die Bindung der Schmutzpartikel zur Oberfläche ist deshalb geringer als zu den Wassertropfen und sie werden mit letzteren mitgerissen. Es entsteht ein selbstreinigender Effekt.

Die äußerst interessante, selbstreinigende Eigenschaft von pflanzlichen Oberflächen wurde und wird bereits in zahlreichen Forschungsprojekten weltweit erforscht und versucht, durch den Einsatz der Nanotechnologie – in Anlehnung an die Natur – diesen Effekt auf technische Produkte zu übertragen.

Das ist in der Zwischenzeit auch schon vielfach gelungen, wie einige Beispiele zeigen:

- Selbstreinigende Fassadenfarbe mit dem Markennamen *Lotusan*® [128]
- Schmutzabweisende Veredelung von Fenster, Autoscheiben, Brillengläsern[129]
- Schmutzabweisende Beschichtung von Keramikoberflächen[130]
- Bei Spritzgussteilen aus Kunststoff ist ebenfalls schon eine solche Oberflächen-Nanostrukturierung bereits gelungen, bei Metalloberflächen jedoch noch nicht.[12]

Gerade im Lebensmittelbereich wären solche positiven Oberflächeneigenschaften von enormer Bedeutung. Selbstreinigende oder zumindest weit leichter zu reinigende Lebensmittelkontaktmaterialien (Geschirr, Besteck, Lebensmittelbehälter, Maschinen, Boden und Wände in Lebensmittelbetrieben, Lebensmittelverpackungen usw.) ergäben nicht nur arbeitstechnische Erleichterungen sondern auch Verbesserungen hinsichtlich der Hygiene und der Lebensmittelsicherheit.

Von der Fa. Swiss Diamond wird auch bereits Geschirr (Pfannen und Töpfe) angeboten, bei dem durch Einbettung von „Diamant-Kristallen" in eine Nanokomposit-Beschichtung eine Anti-Haft-Oberfläche erreicht wird.[131] Es ist mit Sicherheit zu erwarten, dass weitere solche Produkte folgen werden.

Nanosilberbeschichtung

Nanosilber ist aufgrund seiner antibakteriellen Eigenschaften derzeit wahrscheinlich das am häufigsten verwendete Nanomaterial. Seine wichtigsten Einsatzbereiche sind Folgende: Medizin, Kosmetik, Verpackungsbereich, Textilien und Gebrauchsgegenstände (z. B. auch für Lebensmittel).

Die antimikrobielle Wirkung von Silber (ähnlich einem Breitbandantibiotikum) ist schon sehr lange bekannt (z. B. Zugabe einer Silbermünze in das Blumenvasenwasser zur Haltbarkeitsverlängerung der Schnittblumen) und beruht darauf, dass sich an der Metalloberfläche Silberionen bilden. Letztere sind der eigentliche Wirkstoff. Bei Silber in Nanoform ist nun – wie bei allen Nanopartikeln – das Verhältnis zwischen Volumen und Oberfläche enorm groß. Durch die große Oberfläche wird deshalb die Bildung von Silber-Ionen begünstigt.[132]

Im Lebensmittelbereich gibt es ebenfalls schon zahlreiche Produkte, bei denen eine Oberflächenbeschichtung mit nanokolloidalem Silber eingesetzt wird, und die auch in Europa direkt oder über das Internet bezogen werden können[13, 132]; wie z. B. Lebensmittelbehälter (Frischhaltedosen) aus Kunststoff, Kunststoffbeutel, Küchenutensilien (Schneidbretter) und Kühlschränke.

Weiters wurde gefunden, dass Nano-Zinkoxid und -Magnesiumoxid eine ähnliche antimikrobielle Wirkung wie Silber haben, aber weit billiger sind.

Direkte Beeinflussung der Lebensmittel durch die Oberflächenbeschichtung
Hier tritt die nanoskalige Oberflächenbeschichtung von Lebensmittelkontaktmaterialien in direkte Wechselwirkung mit Lebensmittelinhaltsstoffen, weil sie eine katalytische Wirkung aufweist. Das bedeutet, dass in den Lebensmitteln bestimmte Reaktionen ausgelöst und beschleunigt werden (siehe auch S.51).

Zwei bereits existierende Beispiele konnten in dieser Hinsicht gefunden werden.

Fritteusen-Keramikeinsätze (*OilFresh™ 1000,* USA):[133] Mit Nano-Keramikpartikeln beschichteter Fritteuseneinsatz, der die Ölpolymerisation während des Frittierens verhindern soll. Es ergibt sich eine kürzere Frittierzeit, die Ölaufnahme des Gutes ist geringer und es können auch nicht gehärtete Fette verwendet werden.

Keramik- und Porzellan-Behälter beschichtet mit Metallkatylsatoren: Die Fa. Top Nano Technology Co., Ltd., Taiwan[134] bietet Keramikkannen und Porzellanflaschen an, die mit Metallkatalysatoren in Nanoform beschichtet sind. Dadurch sollen in Lebensmitteln, die in diese Behälter gefüllt werden, bestimmte positive Reaktionen ausgelöst werden. Ob dadurch auch nicht unerwünschte Reaktionen ausgelöst werden, und wie die Reaktionen gesteuert werden können, wird nicht beschrieben. Zwei Produktbeispiele dazu:
- Nano-Teekanne *(Nano-Tea-Pot):* Freisetzung des Teearomas innerhalb von 30 Sekunden
- Nano-Flasche *(Nano flagon – moon drunker):* Beeinflussung der Aromastoffe in alkoholischen Getränken, um eine Aromaverbesserung zu erzielen.

Nutzung der Nanotechnologie und von Nanostrukturen bei Maschinen und Geräten zur Lebensmittelverarbeitung zur Abtrennung von Lebensmittelinhaltsstoffen und Fremdstoffen

Nanofiltration (NF)

Die NF zählt zu den druckbetriebenen Membranfiltrationsverfahren und ist zwischen der Umkehrosmose und der Ultrafiltration einzureihen, wobei es zu beiden Überschneidungen gibt. Der Name hat sich erst in den 80er Jahren eingebürgert. Bei der Umkehrosmose werden durch die Membran alle Moleküle zurückgehalten bis auf die Wassermoleküle; bei der NF Moleküle bzw. Partikel, die kleiner als 2 nm sind und bei der Ultrafiltration Partikel zwischen 2 nm und 100 nm.[57]

Die NF erlaubt vor allem die Abtrennung einwertiger Salze von zweiwertigen Salzen, welche größtenteils durch die Membran zurückgehalten werden. Die Membranen selbst sind sogenannte Löslichkeitsmembranen im Gegensatz zur Porenmembran bei der Ultrafiltration. Ihr Trenneffekt beruht auf der mehr oder weniger großen Diffusion (⇨ Wanderung) der Moleküle.

Die Einsatzbereiche der NF in der Lebensmitteltechnik sind seit vielen Jahren sehr vielfältig und umfangreich. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit sollen einige Anwendungsbeispiele aufgezählt werden:

- Calcium- und Eiweißanreicherung von Milch. Mittels NF werden die nachteiligen Veränderungen der konventionellen thermischen Aufkonzentrierung vermieden. Nanofiltrierte Milch befindet sich in einigen außereuropäischen Ländern bereits am Markt.
- Entsalzung von Molke
- Wasseraufbereitung (Enthärtung) und -reinigung (Entfernung von Arsen, Fluor, DDT, Pestiziden, Herbiziden)
- Zuckerabtrennung aus Melasse
- Entfärbung von Zuckerlösungen
- Reinigung von Glucoselösungen
- Reinigung von Propolisextrakten
- Bierfiltration
- Abtrennung von Fuselölen aus Reisbränden
- Entalkoholisierung von Wein
- Milchsäureanreicherung aus Fermentationsmaischen
- Fraktionierung von Fischproteinhydrolysaten
- Konzentrierung von Aminosäurelösungen

Nanoextraktion und Nanoadsorptionfiltration
Durch die Einbettung von Kohlenstoff-Nanoröhren in Festkörper (Membrane) *(⇨ carbon nanotube filter)* lassen sich Strukturen erzeugen, die es ermöglichen, ganz gezielt Inhaltsstoffe aus Lebensmitteln zu extrahieren, bzw. zu adsorbieren und abzutrennen. Der Vorteil dieser Membranfilterschichten liegt in ihrer exakten und gleichmäßigen Porengröße und der daraus resultierenden Selektivität.[65] Die Trenneigenschaften dieser Materialien lassen sich sowohl technisch bei der Lebensmittelverarbeitung (z. B. Entfernung von Viren aus Wasser) als auch in der Lebensmittelanalytik zur Anreicherung von zu bestimmenden Inhaltsstoffen nutzen.

Die Adsorption an Nanofasern (z. B. Aluminiumoxid-Nanofasern ⇨ NanoCeram[135]), die in eine Filterschichte eingebettet sind und ebenfalls zur Wasseraufbereitung dienen, ist gleichfalls hier einzuordnen.

Katalysatoren
Diese werden schon seit langem als Reaktionsbeschleuniger in der chemischen Prozesstechnik aber auch in der Lebensmitteltechnik (z. B. Katalysatoren aus Nickel bei der Härtung von pflanzlichen Ölen) eingesetzt. Da sie in den fertigen Lebensmitteln nicht mehr enthalten sind und oft auf Trägern aufgezogen zum Einsatz kommen, können sie im weitesten Sinn auch als Lebensmittelkontaktmaterial bezeichnet werden.

Katalysatoren in Nanopartikelform sind aufgrund ihrer enormen Oberfläche weit wirksamer. Deshalb wurden sie auch schon früher in dieser Form eingesetzt, mit dem Aufkommen der Nanotechnik geht man aber ganz bewusst und verstärkt in diese Richtung.

Zwei neuere Beispiele aus der Literatur sollen mögliche Einsatzgebiete aufzeigen:
- Synthese einer Ananasaromakomponente mittels eines Salzes des Seltenerdmetalles Lanthan[70]
- Nutzung eines Nanogold-Katalysators zur schnellen Reifung von Hirseschnaps[45]

Nanotechnologie im Bereich der Lebensmittelanalytik und Lebensmittelsicherheit

Der Begriff Nanoanalytik zerfällt in zwei Bereiche. Einerseits musste eine Analytik entwickelt werden, die uns über die Beschaffenheit und Eigenschaften von Nanomaterialien, auch über eventuelle Risiken, Auskunft gibt. Die Verfügbarkeit über eine solche Analytik hat ja die Nanotechnologie erst möglich gemacht und wird sie weiter voran treiben.[54]

Die Kenntnisse über Nanostrukturen erlauben dann die Entwicklung neuer Analysemethoden oder mittels Nanotechnologie die Herstellung neuer Hilfsmittel (⇨ z. B. Nanosensoren) zur Lösung analytischer Aufgaben.

Der Einsatz dieser Methoden in den Untersuchungslaboratorien hat für die Konsumenten keine unmittelbaren Auswirkungen. In Zukunft könnten aber auch für Konsumenten direkt anwendbare Schnelltests entwickelt werden, um selbst Lebensmittel einfach und rasch auf bestimmte Kriterien untersuchen zu können (z. B. hygienische Beschaffenheit von Lebensmitteln; Anwesenheit bestimmter allergener Inhaltsstoffe).

Vorstellbar ist auch der Einbau bzw. die Integrierung von Nanosensoren in Lebensmittelverpackungen. Dadurch könnten Informationen über den hygienischen Zustand der Lebensmittel gewonnen und angezeigt werden, z. B. durch Farbveränderungen oder durch Kopplung der Nanosensoren mit der RFID-Technik *(Radio Frequency Identification).* Dabei würden Informationen von Nanosensoren an einen ebenfalls integrierten Transponder übermittelt werden, der dieses dann z. B. per Funk an Lesegeräte, Mobiltelefon etc. weiter übermittelt.

Einige schon existierende Beispiele sollen die Potenziale der Nanoanalytik näher beleuchten.

Nanopartikelnutzung: Die antioxidativen Eigenschaften von sekundären Pflanzenstoffen (z. B. Polyphenole) können durch Gold-Nanopartikelbildung ermittelt werden. Je höher das antioxidative Potenzial ist, umso mehr Gold-Nanopartikel werden aus einer Goldsalzlösung gebildet, deren rote Farbe dann gemessen wird.[58]

Umgekehrt können Gold-Nanopartikel genutzt werden, um Melamin, welches in China verbotenerweise zur Milchverfälschung benutzt wurde,

rasch nachzuweisen. Die Wechselwirkung von Gold-Nanopartikeln mit Melamin ergibt eine Blaufärbung der Milch.[29]

Nanosensoren: Die Kombination von Biotechnologie mit der Nanotechnologie (⇨ Nanobiotechnologie) wird uns in Zukunft Nanosensoren und Nanochips bescheren, die weit schneller und direkter ansprechen als herkömmliche Sensoren. Beispielsweise sind Kohlenstoff-Nanoröhrchen klein genug, um individuelle Proteine oder andere Moleküle einzufangen und zu messen.

Nanopartikel [⇨ Nanostäbchen *(Nanorods)* und Nanoausleger *(Nanocantilevers)*] können durch die Zielmoleküle so verändert werden (z. B. Verbiegung der Stäbchen), dass ein elektrisches oder chemisches Signal in Gegenwart von bestimmten Stoffen oder Bakterien ausgelöst wird.[43] Das Detektionsprinzip beruht auf der Fähigkeit biologische Wechselwirkungen zu erkennen, wie beispielsweise zwischen Antigen und Antikörper, Enzym und Substratmolekülen usw.[64] Ein bereits entwickeltes System ist die Beschichtung von Silizium-Nanopartikeln mit einem Durchmesser von 60 nm mit fluoreszierenden Farbstoffmolekülen. Außerdem werden an der Oberfläche dieser Nanostäbchen Antikörper für Antigene auf Bakterienzellwänden (z. B. Salmonellen) angebracht. Docken die Antikörper an die Antigene an, kann dies über das fluoreszierende Leuchten der Nanopartikel beobachtet werden.[48]

GEFÄHRDUNGSPOTENZIAL UND RISIKEN DURCH NANOTECHNOLOGIE

Allgemeine toxikologische Aspekte zur Nanotechnologie

Unter dem Begriff Risiko versteht man die Kombination aus der Wahrscheinlichkeit, mit der ein Schaden auftritt, und dem Ausmaß bzw. Schweregrad dieses Schadens. Ein hohes Risiko kann sich sowohl bei geringer Wahrscheinlichkeit aber großem Schadensausmaß ergeben (z. B. Atomkraftwerksunfall), als auch bei hoher Wahrscheinlichkeit und niedrigem Schweregrad eines Schadens.

Schäden können direkt bei Menschen, anderen Lebewesen und in der Umwelt eintreten. Umweltschäden können wiederum indirekte Auswirkungen auf alle Lebewesen haben.

Alle menschlichen Handlungen, auch die technischen Aktivitäten, sind mit einem Risiko verbunden, wobei der Nutzen die damit verbundenen Risiken übersteigen sollte. Ist dem so, kann von einem tolerierbaren Risiko gesprochen werden. Trotz aller Schutzmaßnahmen, Regelungen und Gesetze wird aber immer und in allen Bereichen ein Restrisiko verbleiben.

Bei Handlungen und Aktivitäten, die durch das einzelne Individium selbst beeinflusst werden können (z. B. Autofahren, Sport, Rauchen), ist eine sehr hohe Risikobereitschaft bzw. -toleranz gegeben und das tatsächliche Risiko wird auch weit unterschätzt bzw. verdrängt.

Allgemeine, nicht direkt beeinflussbare Risiken werden überschätzt und die Risikobereitschaft ist hier weit geringer. Sehr oft besteht hier das Verlangen nach „absoluter Sicherheit“. Das trifft insbesondere auf den Bereich der Lebensmittelversorgung und Ernährung zu. Diese absolute Sicherheit wird es aber auch hier nie geben. Trotzdem haben die Produzenten und der Gesetzgeber diesen Wunsch der Konsumenten zur Kenntnis zu nehmen und alles zu unternehmen, um ihm möglichst nahe zu kommen.

Die **Risikobewertung** erfolgt auf der Grundlage einer Risikoanalyse und stellt fest, ob auf der Basis der gesellschaftlich anerkannten Werte ein vertretbares Risiko in einem gegebenen Zusammenhang vorliegt.

Eine **Risikoanalyse** führt eine systematische Auswertung aller verfügbaren Informationen durch, um Gefährdungen zu identifizieren und Risiken abzuschätzen. Im Bereich der Nanotechnologie existieren derzeit in vielen Anwendungsgebieten und für viele Nanomaterialien noch sehr wenige Studien und Untersuchungen bezüglich allfälliger Risiken, was eine Risikoanalyse erschwert oder überhaupt unmöglich macht. Zu diesem Schluss kommt auch das Deutsche Bundesinstitut für Risikobewertung speziell für den Lebensmittelbereich.[136]

Die Vielfalt der Nanotechnologie bedingt auch, dass jedes Nanomaterial und jeder Einsatzfall gesondert betrachtet werden muss (Fall zu Fall-Betrachtung).

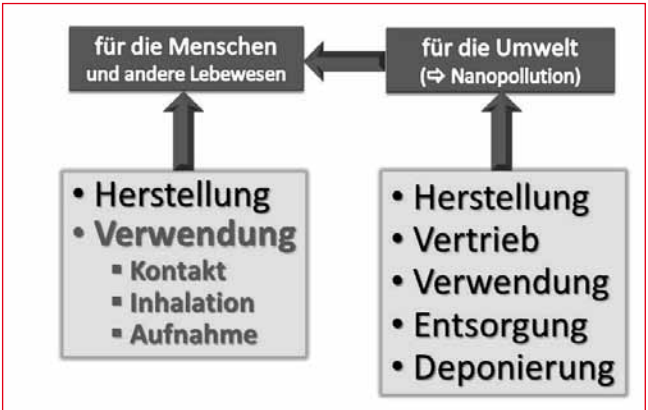

Abb. 4: Vorkommen von Nanomaterialien und damit verbundene Risikopotentiale

Abb. 4 stellt schematisch dar, welche möglichen Risiken im Zusammenhang mit der Nanotechnologie bestehen könnten. Menschen können Nanopartikel grundsätzlich über die Haut, die Lunge oder – vor allem bei Lebensmitteln – über den Magen-Darmtrakt aufnehmen. Die meisten Untersuchungen über den Kontakt mit Nanopartikeln gibt es im Bereich des Atmungsapparates,[38] nicht zuletzt durch die Studien zur Feinstaubproblematik (⇨ Feinstaub besteht aus Nanopartikeln). Für die Aufnahme über die Haut liegen aus dem Kosmetikbereich Studien für Titandioxid vor. Aufgrund bisheriger Erkenntnisse wird eine Aufnahme über die ge-

sunde Haut ausgeschlossen. Für den Verdauungstrakt hingegen ist die Faktenlage sehr gering.[6]

Laut Haselberger et al.[38] werden der Umgang mit den zwangsläufig unvollständigen wissenschaftlichen Kenntnissen bei der Risikoabschätzung und der gesellschaftliche Umgang mit Restrisiken zukünftig im Zentrum der Diskussion bei der Weiterentwicklung und Anwendung der Nanotechnologie im Lebensmittelbereich stehen.

Zum Verständnis der Giftigkeit (⇨Toxizität) eines Materials kann der bekannte Spruch von Paracelsus (1493-1541) herangezogen werden: *Alle Dinge sind Gift und nichts ohne Gift; allein die Dosis macht, dass ein Ding kein Gift ist.* (lat.: *Dosis sola facit venenum*).

Zwei Beispiele sollen diese Tatsache näher erläutern. Speisesalz, ein wichtiger Bestandteil in unserer Ernährung, ist in einer Menge von 3 g/kg Körpergewicht für 50% der Versuchstiere aber auch für Menschen tödlich.[42]

Wenn Mäuse in einer Studie mit einer Menge an nanopartikulärem Titandioxid gefüttert werden, die umgerechnet einer Aufnahme von 400 g bei einem Mann mit 80 kg Körpergewicht entsprechen und auch in der Normalform des Titandioxids wahrscheinlich tödlich wären, sind toxische Effekte auch bei den Mäusen wohl unvermeidlich.[71] Solche Studien sind für eine Risikobewertung von Nanomaterialien deshalb nicht sehr hilfreich und zielführend.

Die Vorteile und Stärken der Nanotechnologie sind gleichzeitig auch die Ursache für ihr Risikopotenzial. Nanopartikel sind zwar von vornherein nicht alle als gefährlich anzusehen. Beim Übergang in die Nanodimension ändern sich aber bei unveränderter chemischer Zusammensetzung viele Materialeigenschaften in drastischer Weise:

- Die spezifische Oberfläche steigt bei sinkender Partikelgröße exponentiell an.
- Im Nanometerbereich sind Stoffeigenschaften teilweise völlig anders. Winzige Fehlstellen an Molekülen ermöglichen neue Reaktionen.
- Eine Ableitung der Eigenschaften von Nanopartikeln aus den Eigenschaften des Materials in Nicht-Nanoform ist unmöglich!
- Toxikologische Erkenntnisse von konventionellen Materialien und Stoffeigenschaften können nicht ohne Weiteres auf Nanostrukturen übertragen werden!

- Nanopartikel haben genau die „richtige“ Größe für eine Interaktion mit lebenden Zellen, wodurch die Gefahr der Aufnahme und Akkumulation von Nanopartikeln im Körper besteht.
- Künstliche Nanopartikel kommen so in der Natur nicht vor – Auslösung möglicher Fehlreaktionen des Immunsystems?

Aufgrund dieser Tatsachen muss wohl der Spruch von Paracelsus für Nanomaterialien folgendermaßen erweitert bzw. ergänzt werden: Nicht nur die Dosis sondern auch die Größe sind für die Giftigkeit von Bedeutung *[„Dosis et magnitudo (forma) faciunt venenum?“)]*.

Im Dezember 2009 wurde von der Österreichischen Bundesregierung ein „Österreichischer Aktionsplan Nanotechnologie“ verabschiedet, der zum sicheren Umgang mit der Nanotechnologie beitragen soll.[137] Dieser Aktionsplan hat folgende Ziele, insbesondere im Bereich der Risikobewertung:[138]

- Entwicklung eines politisch-strategischen Gesamtkonzepts für den Umgang mit der Nanotechnologie und Nanomaterialen in Österreich.
- Schaffung einer Österreichischen Nanotechnologie-Informations-Plattform, um das Wissen unterschiedlichster Expert/innen zusammenzuführen und nutzbar zu machen.
- Einrichtung eines eigenen Programms für die Bündelung von Ressourcen zur Bewertung von möglichen Gesundheits- und Umweltrisiken von Nanomaterialien.
- Sicherung eines hohen Schutzniveaus für die menschliche Gesundheit und die Umwelt durch Weiterentwicklung der rechtlichen Rahmenbedingungen.
- Stärkung Österreichs als High-Tech-Standort unter besonderer Berücksichtigung der Rolle von Klein- und Mittelbetrieben.

In diesem Zusammenhang ist auch das österreichische Forschungsprojekt „NanoTrust“ zu nennen.[139] Ein Forschungsprojekt zur integrierenden Analyse des Wissensstandes über mögliche Gesundheits- und Umweltrisiken der Nanotechnologie. Kernstück des Forschungsprojekts ist es, den Wissensstand über mögliche Gesundheits- und Umweltrisiken der Nanotechnologie kontinuierlich zu erheben, zu analysieren und zusammenzufassen. In der Zwischenzeit wurden im Rahmen dieses Projektes bereits 19 Dossiers verfasst, die sich mit verschiedenen Aspekten der Nanotechnologie befassen, insbesondere zu Sicherheitsproblematik dieser Technologie.

Bewertung des Gefährdungspotenzials von Nanomaterialien und Nanotechnik bei Verwendung im Bereich Lebensmittel und Ernährung

Im Bereich Lebensmittel beschäftigt sich in der EU vor allem die EFSA *(European Food Safety Agency)* sehr intensiv mit den Fragen zur Bewertung von Risiken der Nanotechnologie im Bereich der Lebensmittel. Am 10. Februar 2009 hat sie eine erneute Stellungnahme zu diesem Thema („Potentielle Risiken aus Nanowissenschaften und Nanotechnologien auf die Lebensmittel- und Futtermittelsicherheit") herausgebracht.[140] In dieser Stellungnahme wird festgestellt, dass die Methodik der Risikoabschätzung prinzipiell auch auf Nanomaterialien angewandt werden können. Ob aber die derzeit existierenden toxikologischen Tests alle Risikoaspekte von neue spezifische Testmethoden entwickelt werden müssen.

Außerdem merkt die EFSA an, dass eine Risikoabschätzung nicht generell durchführbar ist, sondern nur für den jeweiligen Anwendungsfall *(↪ case-by-case).* Nach ihrer Meinung kann zwar eine „Fall zu Fall"-Risikobewertung einzelner Nanomaterialen gegenwärtig durchgeführt werden, aber der gesamte Prozess der Risikobewertung von Nanomaterialien ist noch in Entwicklung. Dies könnte deshalb bei individuellen Bewertungen zu Unsicherheiten führen.

Weiters wird festgestellt, dass Daten für eine Risikobewertung von Nanomaterialien in Lebensmitteln neben einer umfassenden Charakterisierung vor allem Informationen umfassen sollen, ob ein Nanomaterial aufgenommen wird, und wenn ja, was dann damit im Körper passiert.

Ausgehend von dieser letzten Aussage der EFSA kann eine Art Entscheidungsbaum bezüglich der Verwendung von Nanomaterialien in Lebensmitteln erstellt werden, um das Risikopotenzial für die einzelnen Einsatzbereiche grob abschätzen zu können. Dieser Entscheidungsbaum ist in Abb. 5 dargestellt und nach folgenden Kriterien gegliedert:

- Nanopartikel und Nanostrukturen nicht in Kontakt mit Lebensmitteln *(sehr geringes Risiko).* Was passiert mit ihnen aber bei der Herstellung, in der Umwelt usw.?
- Nanopartikel und Nanostrukturen in direktem Kontakt mit Lebensmitteln:
  - Sie beeinflussen aber die Lebensmittel nicht und dringen auch nicht in sie ein *(geringes Risiko)*

- Sie dringen in die Lebensmittel ein, beziehungsweise sie werden bewusst zugesetzt oder in den Lebensmitteln selbst gebildet
  - Sie verbleiben aber nicht in den Lebensmitteln (z. B. Verwendung nur als Verarbeitungshilfe) *(geringes Risiko)*
  - Sie verbleiben in den Lebensmitteln und werden beim Verzehr in den menschlichen Körper aufgenommen.
    - Anorganische Nanomaterialien: Ergeben wahrscheinlich ein weit höheres Risiko als organische Nanomaterialien. Es ist zu hinterfragen, was bewirken sie in den Lebensmitteln, und wo gehen sie nach dem Verzehr im Körper hin? Verbleiben sie im Körper, werden sie irgendwo angehäuft oder irgendwann wieder ausgeschieden? *(mittleres bis hohes Risiko)*
    - Organische Nanomaterialien: Wie oben ausgeführt, besteht ein Großteil unserer Lebensmittel aus natürlichen Nanostrukturen. Prinzipiell kann unser Körper also mit solchen Strukturen umgehen. Trotzdem ist auch hier zu hinterfragen, was mit neuen, organischen Nanomaterialien in unserem Verdauungstrakt passiert. Werden die Strukturen vollständig aufgelöst und verdaut *(sehr geringes Risiko)*? Wenn sie nicht verdaut werden können, wandern sie unverändert durch die Magen-Darmpassage und werden so ausgeschieden? *(geringes Risiko)*

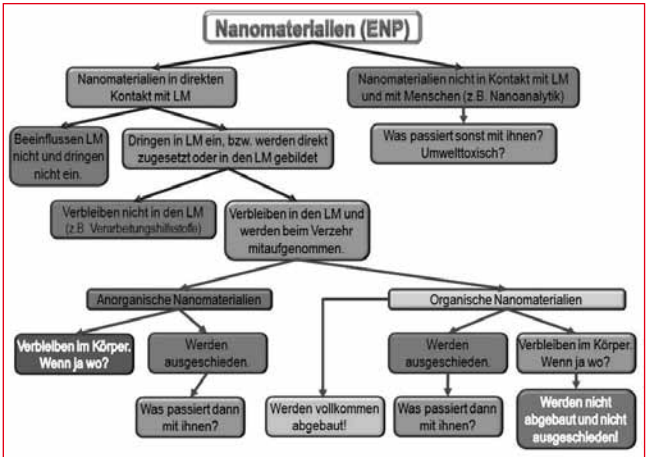

Abb. 5: Verbleib und Schicksal von Nanopartikeln in Lebensmitteln

Abb. 6 zeigt in welcher Form und in welchen Systemen Nanopartikel prinzipiell überhaupt vorkommen können. Davon abhängig wird auch ein mehr oder weniger großes Risikopotenzial zu erwarten sein. Nachfolgend wird die Situation bezüglich mögliche Risiken für die einzelnen Lebensmittel-Einsatzbereiche nach derzeitigem Kenntnisstand etwas detaillierter dargestellt.

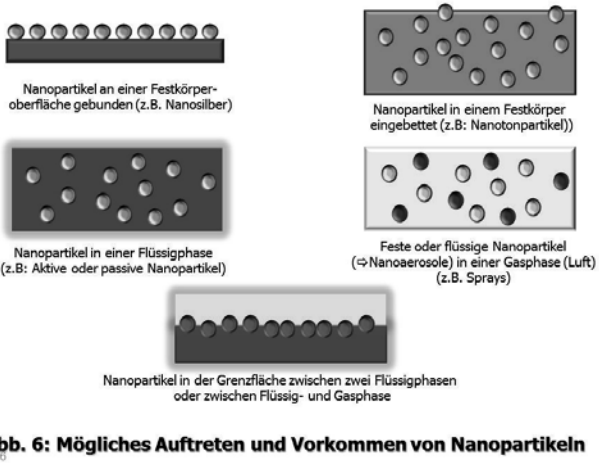

Abb. 6: Mögliches Auftreten und Vorkommen von Nanopartikeln

Risiken durch passive Nanomaterialien in Lebensmitteln

Anorganische Stoffe in nanopartikulärer Form

Hier wären vor allem nanoskalige Metalle und Metalloxide zu nennen, die in Nahrungsergänzungsmitteln und außerhalb von Europa auch schon in Lebensmitteln eingesetzt werden. Über ihre Wirkungen und Nebenwirkungen (Risiken?) ist noch viel zuwenig bekannt. Ihr Einsatz in Lebensmitteln in der EU wird deshalb mit Sicherheit noch längere Zeit auf sich warten lassen.

Für Silberhydrosol (⇨ Nanopartikuläres Silber) liegt ein Statement der EFSA aus dem Jahr 2008 vor, in dem festgestellt wird, das die Datenlage für eine Beurteilung der Risiken bezüglich der Verwendung dieses Materials in Nahrungsergänzungsmitteln zu gering ist. Daten, die für Silber in Ionenform vorliegen, können für Silber in Nanoform nicht herangezogen werden.

Das Deutsche Bundesinstitut für Risikoforschung empfiehlt auf die Verwendung von nanoskaligem Silber in Lebensmitteln und Gebrauchsgü-

tern generell zu verzichten, bevor nicht ausreichendes Datenmaterial vorhanden ist.[11] Als direkter Zusatz zu Lebensmitteln ist aber Nanosilber in der EU sowieso verboten.

Hinsichtlich anderer nanoskaliger Metalle und Metalloxide ist die Datenlage noch weit schlechter.

Organische Stoffe in nanopartikulärer Form
In erster Line ist ausschlaggebend, ob diese Stoffe im Verdauungstrakt, so wie die Normalform oder sogar noch besser, verwertet werden (z. B. Carotinoide). Dies wird in den meisten Fällen auch so sein.

Bezüglich organischer Stoffe, die weder in der Normalform noch in der Nanoform verwertet werden (z. B. Ballaststoffe, Resistente Stärke), wird zu prüfen sein, ob sie in Nanoform die gleichen Abbau- und Ausscheidungswege durchlaufen. Es wäre theoretisch denkbar, dass sie unter Umständen die Darmschranke überwinden und in die Blutbahn gelangen könnten.

Resistente Stärke vom Typ I-III war immer schon in unserer Nahrung vorhanden. Bis jetzt sind keine negativen Wirkungen von ihr bekannt, sondern im Gegenteil sehr positive. Die Frage ist nur, ob höhere Einsatzkonzentrationen daran etwas ändern.

Risiken durch aktive Nanomaterialien in Lebensmitteln

Nicht selbstanordnende, aktive Nanostrukturen
Derzeit ist diesbezüglich nur ß-Cyclodextrin von praktischer Relevanz. Bei dieser Substanz handelt es sich um einen toxikologisch geprüften und zugelassenen Lebensmittelzusatzstoff.

Selbstanordnende, aktive Nanostrukturen
All gegenwärtig in Frage kommende Einkapselungssysteme beruhen auf Bio-Molekülen bzw. -Strukturen. Ihre Funktion bedingt geradezu, dass sie im Körper wieder zerfallen oder abgebaut werden, um die eingekapselten Wirkstoffe freizusetzen. Ihr Risikopotenzial ist deshalb eher als sehr gering einzustufen.

Bindung oder Einkapselung von Enzymen an bzw. in Nanokonstrukten
Es ist klar, dass für den direkten Einsatz von immobilisierten Enzymen in Lebensmitteln nur Trägersysteme verwendet werden dürfen, die toxikologisch unbedenklich sind, vor allem dann, wenn sie mitverzehrt werden.

Risiken durch Erzeugung nanoskaliger Strukturen direkt in den Lebensmitteln

Nanosuspensionen bzw. Zerkleinerung fester Lebensmittelinhaltsstoffe in den Nanobereich.

Ähnlich wie für zugesetzte, feste Nanopartikel ist auch hier zu hinterfragen, welches Schicksal die direkt in den Lebensmitteln erzeugten, festen Nanopartikel erleiden. Beeinflussen sie direkt oder indirekt Körperfunktionen nicht nur positiv, sondern eventuell auch negativ? Werden sie unverändert ausgeschieden, oder können sie unter Umständen die Darmschranke überwinden?

Nanoemulsionen

Im Allgemeinen wird hier mit geringen toxikologischen Problemen zu rechnen sein, weil auch jetzt schon in vielen Emulsionen einzelne Partikel im Nanobereich liegen und die Emulsionsbestandteile üblicherweise voll verdaut werden.

Nanoschäume und Nanobläschen

Bei Nanoschäumen sind ebenfalls toxikologische Probleme aus derzeitiger Sicht kaum zu erwarten, wenn es sich bei der Gasphase um lebensmitteltaugliche Gase handelt.

Risiken durch Lebensmittelkontaktmaterialien

Lebensmittelverpackungen

Aktive Nanopartikel in Verpackungsmaterial integriert

Sind die Nanomaterialien in die Verpackungsmatrix integriert bzw. eingebettet, wie in den Nanokomposite-Verpackungsstoffen, kommen die Lebensmittel eigentlich im Normalfall nicht in direkten Kontakt mit den Nanopartikeln. Wenn aber das Verpackungsmaterial (z. B. Kunststofffolien) durch mechanische Beanspruchungen (Knicke, Risse) verändert wird, kann sich aber ein solcher direkter Kontakt ergeben. Dann muss sehr wohl das Risikopotenzial der jeweils verwendeten Nanomaterialien hinterfragt werden.

Aktive, nanostrukurierte Oberflächenbeschichtung

Auf jedem Fall sind bei einem direkten Kontakt mit oberflächlich auf Verpackungsmaterialien angebrachten Nanopartikeln folgende Fragen abzuklären:

- Was ist die Wirkung dieser Nanopartikel auf der Verpackungsoberfläche?

- Kann eine Migration (⇨ Wanderung) der Nanopartikel in die Lebensmittel erfolgen? Wenn ja, welche Risiken sind damit verbunden?
- Was geschieht bei der Entsorgung von solchen Verpackungsmaterialien?

Obwohl Nanostrukturen im Verpackungsbereich bereits praktisch in vielfältiger Weise Verwendung finden, bestehen leider gerade in diesem Bereich noch sehr große Wissenslücken.[21]

Nanooberflächenstrukturierung bzw. Nanooberflächenbeschichtung von Lebensmittelkontaktmaterialien
Keine direkte Beeinflussung der Lebensmittel
In diesem Fall wird auch das damit verbundene Risiko gering sein.

Direkte Beeinflussung der Lebensmittel durch die Oberflächenstrukturen bzw. beschichtung
Das Ziel einer solchen Nanobeschichtung ist es, bestimmte Vorgänge und Reaktionen an der Kontaktfläche auszulösen. Diese Reaktionen sollten zumindest einmal bekannt sein, um Risiken abschätzen zu können.

Im Fall der Fritteusen-Keramikeinsätze, werden von der Firma zwar einige ausgelöste Reaktionen angeführt, detaillierte Angaben oder Publikationen dazu fehlen.

Ein besonderer Fall stellt die Nanobeschichtung von Küchengeschirr, Kühlschränken, LM-Vorratsbehältern und -beuteln, sowie auch schon von Verpackungsfolien mit Nanosilber dar. Nanosilber hat eine sehr gute mikrobizide (⇨ keimabtötende) Wirkung und wird deshalb, wie oben erwähnt, nicht nur im Lebensmittelbereich, sondern in vielen anderen Bereichen eingesetzt, um unerwünschte Geruchsentwicklung durch die Tätigkeit von Mikroorganismen zu unterbinden.

Abgesehen davon, welche Risiken Nanosilber direkt in Lebensmitteln und in unserem Körper ergibt, ist bei einem so großflächigem und breitgestreuten Einsatzspektrum sehr wohl zu hinterfragen, welche Folgen eine solche massive Freisetzung von Nanosilber in der Umwelt hat.[141]

In einer wissenschaftlichen Publikation wird sogar vorgeschlagen Nanosilber als Ersatz für Breitbandantibiotika in der Tierfütterung einzusetzen.[30] Es soll die Entwicklung schädlicher Mikroorganismen im tierischen

Organismus verhindern. Unabhängig davon, dass für einen solchen Zusatz keine gesetzliche Genehmigung vorliegt, drängt sich die Frage auf, ob der Vorteil des Ersatzes von Antiobiotikas in der Tierfütterung durch andere Risiken erkauft wird.

Die Nutzung der mikrobiziden Wirkung von nanopartikulärem Silber im medizinischen Bereich ergibt einige Vorteile. Der derzeitige Trend zur großflächigen Nutzungsausweitung von Nanosilber kann aber zu Gefährdungen der menschlichen Gesundheit und Umwelt führen.[31] Nur entsprechende Regelungen für einen umsichtigen und nur gezielten Einsatz von Nanosilber können hier Abhilfe schaffen. Dazu müssen aber mehr Daten bezüglich der Risiken von Nanosilber vorliegen.

Maschinen und Geräte zur Lebensmittelverarbeitung
Nanofiltration (NF): Nachdem hier nur Strukturen in einer Trennmembran genutzt werden, die im Nanobereich liegen, sind Nanorisiken auszuschließen.

Anders liegt der Fall bei der Nanoextraktion und Nanoadsorptionfiltration, wo echte Nanomaterialien in Kontakt mit Lebensmitteln kommen. Wenn sichergestellt werden kann, dass dabei keine Nanopartikel in die Lebensmittel gelangen (z. B. durch Abrieb), wird es auch keine Probleme geben. Im gegenteiligen Fall stellen sich wieder dieselben Fragen zum Verbleib und zur Wirkung dieser Nanopartikel in den Lebensmitteln und eventuell im menschlichen Organismus.

Lebensmittelanalytik
Wenn die Nanoanalytik nur in den Untersuchungslaboratorien erfolgt, wird für die Konsumenten wohl kein Risiko damit verbunden sein.

Der Einsatz von Nanosensoren direkt bei Lebensmitteln oder in einer Lebensmittelverpackung muss aber wieder bezüglich allfälliger Risiken abgeklärt werden. Eine praktische Anwendung ist hier aber noch so weit entfernt, dass derzeit nicht vorausgesagt werden kann, was wirklich einmal verwendet werden wird.

Abschließend kann nur noch einmal betont werden, dass keine allgemeingültige Risikoabschätzung bezüglich des Einsatzes der Nanotechnologie in und bei Lebensmitteln erfolgen kann, sondern nur eine Beurteilung von Fall zu Fall.

Deshalb sind auch Forderungen nach einem generellen Moratorium (↩ Aufschub) nanotechnologischer Forschungen – abgesehen davon, dass dessen praktische Verwirklichung unmöglich ist – nicht zielführend. Es kann nicht etwas toxikologisch untersucht, beurteilt und gegebenenfalls zugelassen werden, was nicht bekannt ist oder was es gar nicht gibt.

RESUMEE

Alle Voraussagen deuten darauf hin, dass die Nanotechnologie in Zukunft in vielen Technikbereichen eine entscheidende und revolutionierende Rolle spielen und viele Lebensbereiche durchdringen wird.

Prinzipiell sind mit jeder neuen Technologie nicht nur Vorteile sondern auch Risiken verbunden. Verständlicherweise ist die Risikotoleranz und -akzeptanz der Konsumenten im Bereich der Ernährung sehr gering. Deshalb bedarf es vor einer weiteren Verbreitung der Nanotechnologie noch intensiver Forschungsarbeiten bezüglich möglicher Gefahren, nicht nur im Lebensmittelbereich direkt.

Erst wenn alle möglichen Risiken erkannt und erforscht sind, kann die Akzeptanz durch die Konsumenten gewonnen werden. Aber nur dann, wenn diese einen direkten Vorteil durch die Nutzung dieser Technologie erkennen und ein ehrlicher und offener Umgang seitens der Hersteller, Vertreiber und Regulierungsbehörden mit den Konsumenten gepflogen wird.

Um zu einem sinnvollen Umgang mit Nanotechnologie zu gelangen, besteht die Informationspflicht (Bringschuld) seitens der Hersteller aber auch eine gewisse Pflicht der Konsumenten sich zu informieren (Holschuld). Die vorliegende Broschüre soll einen kleinen Beitrag dazu leisten.

LITERATUR

(1) **AFC:** Opinion of the Scientific Panel on food additives, flavourings, processing aids and materials in contact with food (AFC) on a request related to a 14th list of substances for food contact materials. EFSA Journal 452 to 454 (2007) 1-10

(2) **AFC:** Opinion of the Scientific Panel on food additives, flavourings, processing aids and materials in contact with food (AFC) on a request related to a 21st list of substances for food contact materials. EFSA Journal 888 to 890 (2008) 1-14

(3) **ANS:** Scientific statement of the Scientific Panel on Food Additives, Nutrient Sources added to Food (ANS): Inability to assess the safty of a silver hydrosol added for nutritional purposes as a source in food supplements and the bioavailability of silver from this source based on the supporting dossier. EFSA Journal 884 (2008) 1-3

(4) **Arora A., Padua G. W.:** Review: Nanocomposites in food packaging. Journal of Food Science 75 (2010) 43-49

(5) **Azeredo H. C., Mattoso L. H., Wood D. F., Williams T. G., Avena-Bustillos R. D., McHugh T. H.:** Nanocomosite edible films from mango puree reinforced with cellulose nanofibers. Journal of Food Science 75 (2009) 31-35

(6) **BAG – Bundesamt für Gesundheit des Eidgenössischen Departments des Inneren:** Nanotechnologie – Chancen und Risiken für die Konsumenten. Factsheet Nanotechnologie, April (2008)

(7) **Besheer A., Hause G., Kressler J., Mäder K.:** Hydrophobically modified hydroxyethylstarch: Synthesis, characterization and aqueous self-assembly into nano-sized polymeric micelles and vesicles. Biomacromolecules 8 (2007) 359-367

(8) **Beyer D. L., Jach T., Jerome, R. A., Debrincat F. P.:** Edible products having inorganic coatings. US-Patent 5.471.505 (1998)

(9) **Beyer M. K.:** Nanowasser – ein guter Tropfen. Spektrum der Wissenschaft 10 (2006) 62-63

(10) **BGBL 13/2006:** Lebensmittelsicherheits- und Verbraucherschutzgesetz (LMSVG) (2006)

(11) **BfR – Bundesinstitut für Risikobewertung:** Nanosilber in Lebensmitteln und Produkten des täglichen Bedarfs. Stellungnahme Nr. 024 (2010) 1-11

(12) **Buckenhüskes H.:** Persönliche Mitteilung (2010)

(13) **Chaudhry Q., Scotter M., Blackburn J., Ross B., Boxall A., Castle L., Aitken R., Watkins R.:** Applications and implications of nanotechnologies for the food sector. Food Additives & Contaminants 25 (2008) 241-258

(14) **Chen H. S., Chang J. H., Wu J. S. B.:** Calcium Bioavailability of nanosized pearl powder for adults. Journal of Food Science 73 (2008) 246-251

(15) **Chiba K.:** Manufacturing method of carbon dioxide-nano bubble water. Japanese Patent Application JP 131770 (2009)

(16) **Commission of the European Community:** Commission Recommendation of 07/02/2008 on a code of conduct for responsible nanosciences and nanotechnologies research.

(17) **Craeyveld, V. van, Holopainen U., Selinheimo E, Poutanen L., Delcour J. A., Courtin C. M.:** Extensve dry ball milling of wheat and rye bran leads to in situ production of arabinoxylan oligosaccharides through nanoscale fragmentation. Journal of Agricultural Food Chemistry 57 (2009) 8467-8473

(18) **Davies, J. C.:** Oversight of next generation nanotechnology. Woodrow Wilson Int. Center for Scholars. PEN 18 (2009) 14-16

(19) **De Campo L., Yaghmur L. A., Leser E. M., Watzke H., Glatter O.:** Reversible phase transitions in emulsified nanostructured liquid systems. Langmuir 20 (2004) 5254-5261

(20) **deGROOTE, Y.:** Small Chance. The World of Food Ingredients. March (2006) 34-38

(21) **Eberle, U.:** TA Swiss-Studie: Nanotechnologie im Bereich der Lebensmittel. Vortrag auf der Tagung „Regulierung von Nanomaterialien". Bundesministerium für Gesundheit, Wien, 18. Feber (2010)

(22) **Edwards, S. A.:** The Nanotech pioneers. Wiley-VCH Verlag GmbH (2006)

(23) **Eisenberger I., Nentwich M., Fiedeler U., Gaszó A., Simkó M:** Nano-Regulierung in der Europäischen Union. Nano-Trust Dossier 17 (2010) 1-6

(24) **European Food Safety Authority (EFSA):** Scientific opinion: The potenzial risks arising from nano-science and nanotechnologies on food and feed safety. EFSA Journal 958 (2009) 1-39

(25) **European Food Safety Authority (EFSA):** Scientific opinion: Inability to assess the safety of a silver hydrosol added for nutritional purposes as a source of silver in food supplements and the bioavailability of silver from this source based on the supporting dossier1. EFSA Journal (2008) 884, 1-3

(26) **EU-VERORDNUNG (EG)** Nr. 258/1997 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 27. Januar 1997 über neuartige Lebensmittel und neuartige Lebensmittelzutaten (1997)

(27) **EU-VERORDNUNG (EG)** Nr. 1935/2004 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 27. Oktober 2004 über Materialien und Gegenstände, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen (2004).

(28) **EU-VERORDNUNG (EG)** Nr. 1333/2008 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 16. Dezember 2008 über Lebensmittelzusatzstoffe (2008)

(29) **Feng W., Lam R., Cheng S., Lu S., Ho D., Li N.:** Rapid detection method of melamine in whole milk mediated by unmodified gold nanoparticles. Applied Physics Letters 96 (2010) 133702

(30) **Fondevila, M.:** Potenzial use of silver nanoparticles as an additive in animal feeding. Animal Feed Science and Technology 150 (2009) 259-269

(31) **Fries R., Greßler S., Simkó M., Gaszsó A., Fiedeler U., Nentwich M.:** Nanosilber. Nano Trust Dossier Nr. 10, April (2009)

(32) **Goncalves C., Martins J. A., Fama F. M.:** Self-assembled nanoparticles of dextrin substituted with hexadecanethiol. Biomacromolecules 8 (2007) 392-398

(33) **Graveland-Bikker J. F., deKruif C. G.:** Uniqe milk protein based nanotubes: Food and nanotechnology meet. Trends in Food Science & Technology 17 (2006) 196-202

(34) **Greßler S., Gazsó A., Simkó M., Nentwich M., Fiedeler U.:** Nanopartikel und nanostrukturierte Materialien in der Lebensmittelindustrie. Nano Trust Dossier Nr. 4, Mai (2008)

(35) **Greßler S., Gazsó A., Simkó M., Fiedeler U., Nentwich M.:** Nanotechnologie in Kosmetika. Nano Trust Dossier Nr. 8, Jänner (2009)

(36) **Greßler S., Simkó M., Gazsó A., Fiedeler U., Nentwich M.:** Nano-Textilien. Nano Trust Dossiers Nr. 15, Jänner (2010) 1-5

(37) **Gröger M., Kretzer E.K., Woyke A.:** Cyclodextrine. Science Forum an der Universität Siegen (2001) 1-48

(38) **Haselberger A. G., Schuster J., Gesche A.:** Nanotechnologie und Lebensmittelproduktion. In: Gazscó A., Greßler S., Schiemer F.: Nano – Chancen und Risiken aktueller Technologien. Springer Verlag, Wien-New York (2007) 131-147

(39) **House of Lords, UK:** Government Response to the Lord's Science & Technology Select Committee Report into Nanotechnologies and Food. Presented to Parliament by the Secretary of State for Health by Command of Her Majesty, March (2010).

(40) **Hornig S., Heinze T.:** Nanoscale structures of dextran esters. Carbohydrate Polymers 68 (2007) 280-286

(41) **Krassimir P.V., Popp A.K., Flendrig L., Pelan E.:** Advanced colloid technologies. New Food 1 (2008) 58-63

(42) **Krug H. F.:** Nanotechnologie – Zwerge erobern den Alltag. Chemie Ingenieur Technik 80 (2008) 1653-1659

(43) **Laocharoensuk, R., Bulbarello A., Saverio M., Wang J.:** Adaptive nanowire-nanotube bioelectronic system for on-demand bioelectrocatalytic transformations. Chemical Communications 3 (2007) 3362-3364

(44) **Liao C.-D. et al.:** Differential tissue distribution of sesaminol triglucoside and its metabolites in rats fed with lignan glucosides from sesame meal with or without nan/submicronising. Journal of Agricultural Food Chemistry 58 (20101) 563-569

(45) **Lin L.-Y et al.:** Acceleration of maturity of young sorghum (kaoliang) spirits by linking nanogold photocatalyzed process to conventional biological aging – a kinetic approach. Food & Bioprocess Technology 1 (2008) 234-245

(46) **Lopez-Rubio A., Gavara R., Lagaron M.:** Bioactive packaging: Turning foods into healthier foods through biomaterials. Trends in Food Science & Technology 17 (2006) 567-575

(47) **Möller M., Eberle U., Hermann A., Moch K., Strarmann B.:** Nanotechnologie im Bereich der Lebensmittel. VDF Hochschulverlag AG, ETH Zürich (2009) 17-36

(48) **Park B.:** Nanotechnology for food safety. Cereal Foods World 54 (2009) 158-162

(49) **Parris N., Cooke P. H., Hicks K. B.:** Encapsulation of essential oils in zein nanospherical particles. Journal of Agricultural Food Chemistry 12 (2005) 4788-479

(50) **Prokisch J., Zommara M.A.:** Process for producing elemental selenium nanospheres. PCT Int. Patent Application, WO 010922 (2009)
(51) **Pszczola E.:** Problem-solving with dairy. Food Technology 2 (2007) 47-57
(52) **Roco M. C.:** Nanoscale science and engineering: Unifying and transforming tools. AIChE Journal 50 (2004) 890-897
(53) **Rohner F. D.:** Strategies to reduce anaemia and iron deficiency in Sub-Saharan African children: Technological and physiological approaches. Dissertation ETH Zürich, Schweiz (2008)
(54) **Sachs G.:** Megatrend Nanoanalytik. Chemiereport 2 (2010) 16-19
(55) **Sagalowicz L., Leser M. E., Watzke H. J., Michel M.:** Monoglyceride self-assembly structures as delivery vehicles. Trends in Food Science & Technology 17 (2006) 204-214
(56) **Sangasuri P., Agustin M.A.:** Nanoscale materials development – a food industry perspective. Trends in Food Science and Technology 17 (2006) 547-556
(57) **Samhaber, M.:** Erfahrungen und Anwendungspotenzial der Nanofiltration. VDI-Wissensforum „Membrantechnik in der Prozessindustrie". München, 19.-20. Nov. (2008)
(58) **Scampicchio M, Wang J., Blasco A. J., Arribas A. S., Mannino S., Escarpa A.:** Nanoparticle-based assays of antioxidant activity. Analytical Chemistry 78 (2006) 2060-2063
(59) **SCENIHR – Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risk:** Risk Assessment of Products of Nanotechnologies. 28th Plenary on 19th January 2009. European Commission (2009)
(60) **Schmidt O.G.:** Antrieb für Nanoraketen. Spektrum der Wissenschaft. 7 (2009) 16-17
(61) **Seo M. H., Lee S. Y., Chang Y. H., Kwak, H. S.:** Physicochemical, microbial and sensory properties of yoghurt supplemented with nanopowdered chitosan during storage. Journal of Dairy Science 92 (2009) 5907-5916
(62) **Sekhon, B. S.:** Food nanotechnology – an overview. Nanotechnology, Science and Applications. 3 (2010) 1-15
(63) **Smolander M., Chaudhry Q.:** Nanotechnologies in food packaging. In: Nanotechnologies in Food. Hrsg. Chaudry Q., Castle L., Watkins R.: Nanotechnologies in Food. Royal Society of Chemistry Publishing, Cambridge (2010) 86-101
(64) **Socer N., Kokini J. L.:** Nanotechnology and its application in the food sector. Trends in Biotechnology 27 (2008) 82-84
(65) **Sristava A., Sristava O.N., Sristava, S., Talapatra S., Vajtai R., Ajayan M.:** Carbon nanotube filters. Nature Materials 3 (2004) 610-614
(66) **Subramanian V., Youtie J., Porter A. L., Shapira P.:** Is there a shift to „active nanostructures"? Journal of Nanoparticle Research 12 (2010) 1-10
(67) **Suzuki T., Nonouchi T., Okahara M.:** Gold nanocolloid aqueous dispersing liquid for food and drink. Japanese Patent Apllication JP 065898 (2009)
(68) **Vollborn M., Georgescu V. D.:** Die Joghurt Lüge. Campus Verlag GmbH, Frankfurt (2006) 172

(69) **Yang F. L., Li x. g., Zhu F., Lei C. L.:** Structural characterization of nanoparticles with garlic essential oil and their insecticidal activity against Tribolium castaneum. Journal of Agricultural Food Chemistry 57 (2009) 10156-10162

(70) **Zhang F.-J., Sheng S-L.:** Catalytic synthesis of allyl caproate by nanometer rare earth complex superacid. Food Science & Technology 1 (2009) 225-227

(71) **Wang J., Zhou G., Chen C., Yu H., Wang T, Ma Y., Jia G., Gao Y., Li B., Sun J., Li Y., Jiao F., Zhao Y., Chai Z.:** Acute toxicity and biodistribution of different sized titanium dioxide particles in mice after oral administration. Toxicology Letters 168 (2007) 176-185

Internet-Adressen

(Der Inhalt aller angeführten Homepages beruht auf dem Stand Juni 2010.)

(101) http://www.nano.gov./NNI_Strategic_Plan_2004.pdf: National Nanotechnology Initiative Strategic Plan. Washington DC: National Science and Technology Council (2004)

(102) http://www.nanoforum.org/nf06~buchstabe~N~.html: European Nanotechnology Gateway – Nanoforum

(103) http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenhir_q_024.pdf

(104) http://www.nanotechproject.org: Woodrow Wilson Int. Center for Scholars“. Project on Emerging Nanotechnologies.

(105) http://www.weltderphysik.de/de/1037.php

(106) http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/browse/products/5107/

(107) https://www.datamonitor.com/home; Datamonitor Product Launch Analytics

(108) http://ec.europa.eu/nanotechnology/pdf/nanocode-rec_pe0894c_de.pdf: KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN, Brüssel, den 07/02/2008: EMPFEHLUNG DER KOMMISSION für einen Verhaltenskodex für verantwortungsvolle Forschung im Bereich der Nanowissenschaften und technologien

(109) http://www.foodproductiondaily.com/content/view/print/284321

(110) http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?language=EN&type=IM-PRESS&reference= 20090324IPR52497

(111) http://www.purestcolloids.com

(112) http://www.nipponham.co.jp

(113) http://www.rbclife.com/Corporate/CategoryView.aspx?Category=All

(114) http://www.aquanova.de

(115) http://mivital.ch

(116) http://www.zymesllc.com

(117) http://www.plthomas.com

(118) http://www.aquanova.de

(119) http://www.wildflavors.com

(120) http://www.jonescandy.com

(121) http://www.wasser-wissen.de/abwassernews/2007/februar2007.htm).

(122) http://staff.aist.go.jp/m.taka/nano-bubble.pdf.
(123) http://foodproductiondaily.com/news/printNewsBis.asp?id=77439
(124) http://www.research.bayer.com/edition_15/15_polyamides.pdfx
(125) http://www.sustainpack.com
(126) http://www.inmat.com
(127) http://www.foodproductiondaily.com/Quality-Safety/Nano-ink-indicates-safety-breach-in-food-packaging
(128) http://www.lotusan.de
(129) http://www.nanopool.eu
(130) http://www.nanocare-ag.com
(131) http://www.swissdiamond.com
(132) http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/nanotechnologie/20091202_nanotechnolo-gie_nanosilber_studie.pdf
(133) http://www.oilfresh.com
(134) http://www.ssnano.net
(135) http://www.nanoceram.com
(136) http://www.bfr.bund.de/cm/216/die_datenlage_zur_bewertung_der_anwendung_der_nanotech-nologie_in_lebensmitteln.pdf
(137) http://www.bmg.gv.at/cms/site/attachments/0/7/2/CH0983/CMS1267698788940/nap_gesamt1.pdf
(138) http://www.bmg.gv.at/cms/site/standard.html?channel=CH0983&doc=CMS1267698788940
(139) http://nanotrust.ac.at
(140) http://www.efsa.europa.eu/en/scdocs/doc/958.pdf
(141) http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/nanotechnologie/20091202_nanotechnolo-gie_nanosilber_studie.pdf

Diese Broschüre erhalten Sie unter (01) 310 00 10 506

ALLE AKTUELLEN AK BROSCHÜREN FINDEN SIE IM INTERNET ZUM BESTELLEN UND DOWNLOAD

- http://wien.arbeiterkammer.at/publikationen

Weitere Bestellmöglichkeiten

- Bestelltelefon: (01) 501 65 401
- E-Mail: bestellservice@akwien.at

Artikelnummer **506 / 1**

Stand: November 2010
Zulassungsnummer: 02Z34648 M
Coverfoto © Fotolia.com

Medieninhaber: Kammer für Arbeiter und Angestellte für Wien, Prinz Eugen Straße 20-22, 1040 Wien
Telefon (01) 501 65 0
Hersteller: TDS TypoDruck Sares
Verlags- und Herstellort: Wien

■ Falls Sie weitere Fragen haben, wenden Sie sich bitte an:
Kammer für Arbeiter und Angestellte für Wien
Prinz Eugen Straße 20–22, 1040 Wien, Telefon (01) 501 65 0

AK WIEN

wien.arbeiterkammer.at