

Nanotechnologie im Bereich der Lebensmittel

Monograph

Author(s):

Möller, Martin

Publication date:

2009

Permanent link:

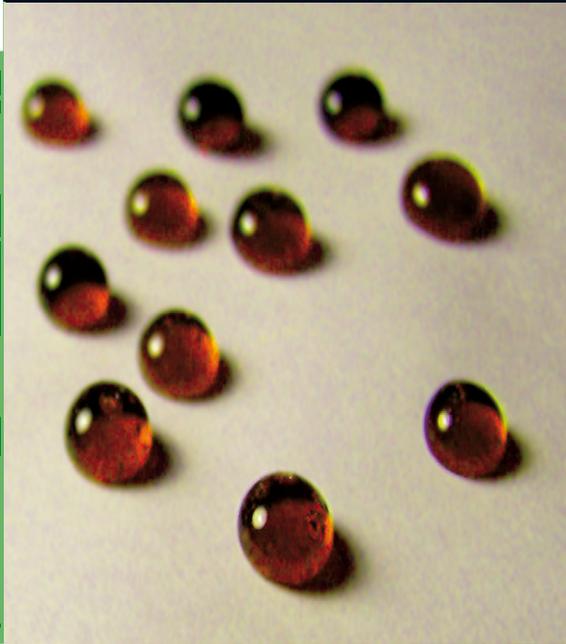
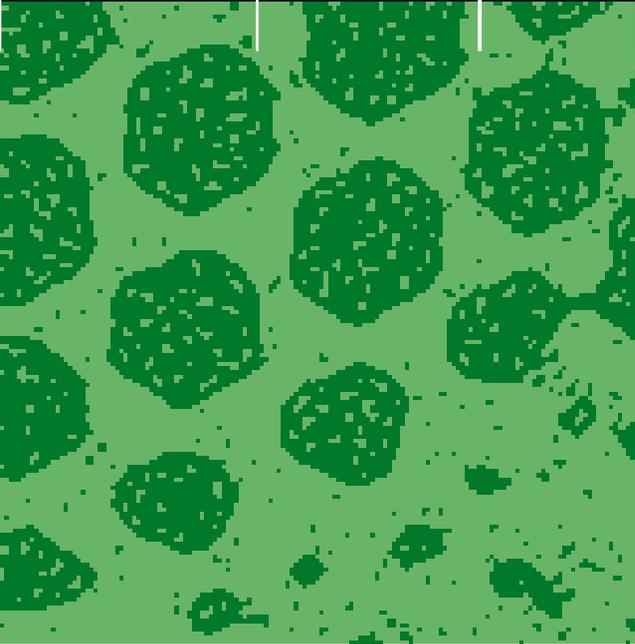
<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005731811>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Originally published in:

TA-SWISS / Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung 53/2009



*Martin Möller, Ulrike Eberle,
Andreas Hermann, Katja Moch,
Britta Stratmann*

Nanotechnologie im Bereich der Lebensmittel



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra



TA-SWISS 53/2009

*Martin Möller, Ulrike Eberle,
Andreas Hermann, Katja Moch,
Britta Stratmann*

Nanotechnologie im Bereich der Lebensmittel



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

v/dlf

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Das Werk einschliesslich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ausserhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt besonders für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Studie wurde unterstützt von der Förderagentur für Innovation KTI und vom Bundesamt für Landwirtschaft BLW.

© 2009 vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich

ISBN 978-3-7281-3234-5 (Printausgabe)

Download open access:

ISBN 978-3-7281-3251-2 / DOI 10.3218/3251-2

www.vdf.ethz.ch
verlag@vdf.ethz.ch

Inhalt

Zusammenfassung	IX
Executive Summary.....	XI
Sommaire	XIII
1. Einführung	1
2. Ziele und Forschungsfragen der Studie.....	3
3. Projektstruktur.....	5
4. Definition des Untersuchungsgegenstandes ...	7
4.1. Vorhandene Definitionen/Definitionsvorschläge	7
4.2. Definition für die vorliegende Studie	9
4.3. Diskussion von Grenzfällen	11
4.3.1. Micellen	12
4.3.2. Liposome	13
4.3.3. Beta-Cyclodextrin.....	14
4.3.4. Mikroverkapselung.....	14

5.	Analyse des Produkt- und Forschungs-	
	marktes; Aspekte der Technikgenese	17
5.1.	Vorgehensweise und verwendete Informationsquellen	18
5.2.	Ergebnisse der Marktrecherche bei Lebensmitteln	19
5.2.1.	Schweizer Markt	19
5.2.2.	Weltmarkt	25
5.3.	Ergebnisse der Marktrecherche bei Nahrungsergänzungsmitteln	27
5.4.	Ergebnisse der Marktrecherche bei Lebensmittelverpackungen	32
5.4.1.	Schweizer Markt	33
5.4.2.	Weltmarkt	35
5.5.	Ergebnisse der Marktrecherche bei Verarbeitungshilfsstoffen und Bedarfsgegenständen	36
5.6.	Ergebnisse der Recherche zu den Forschungs- und Entwicklungsansätzen	39
5.6.1.	Landwirtschaftliche Produktion	39
5.6.2.	Lebensmittel	41
5.6.3.	Lebensmittelverpackungen	46
5.7.	Ergebnisse der Analyse der wirtschaftlichen Potenziale bei Lebensmitteln	47
5.7.1.	Schweizer Markt	47
5.7.2.	Weltmarkt	49
5.8.	Ergebnisse der Analyse der wirtschaftlichen Potenziale bei Lebensmittelverpackungen	50
5.9.	Ergebnisse der ökologischen Relevanzanalyse	51
5.10.	Aspekte der Technikgenese	55
5.11.	Zwischenfazit	59

6.	Analyse der rechtlichen Situation bei der Zulassung und Kennzeichnung von Nanomaterialien.....	61
6.1.	Schweizer Chemikalienrecht.....	63
6.2.	Lebensmittelzusatzstoffe	64
6.2.1.	Materielle Anforderungen.....	64
6.2.2.	Marktzugangskontrolle	69
6.2.3.	Zwischenergebnis	70
6.3.	Zusatz von essenziellen oder physiologisch nützlichen Stoffen	71
6.3.1.	Materielle Anforderungen.....	71
6.3.2.	Marktzugangskontrolle	71
6.3.3.	Zwischenergebnis	72
6.4.	Verarbeitungshilfsstoffe	73
6.4.1.	Zwischenergebnis	73
6.5.	Speziallebensmittel (Nahrungsergänzungsmittel).....	74
6.5.1.	Materielle Anforderungen.....	74
6.5.2.	Marktzugangskontrolle	75
6.5.3.	Zwischenergebnis	76
6.6.	Lebensmittelverpackungen und Gebrauchsgegenstände	76
6.6.1.	Materielle Anforderungen.....	77
6.6.2.	Marktzugangskontrolle	81
6.6.3.	Zwischenergebnis	82
6.7.	Allgemeine Anforderungen an die Marktzugangs- und Nachvermarktungskontrolle im Lebensmittelbereich.....	83
6.8.	Kennzeichnungspflicht für Nanomaterialien.....	85
6.9.	Recycling und Beseitigung von Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen	87
6.10.	Schlussfolgerungen der rechtlichen Untersuchung	87

7.	Analyse der relevanten gesellschaftlichen Fragen	89
7.1.	Konsument/innenverhalten und Ernährung	90
7.2.	Affinität der sieben Ernährungsstile zu «natürlicher Ernährung», «effizienter Ernährung» und zu «Functional Food»	96
7.3.	Akzeptanz von Nanotechnologien in Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen.....	98
7.4.	Nutzenaspekte aus Konsument/innenperspektive von Nanotechnologien in der Ernährung	102
7.5.	Zwischenfazit.....	104
8.	Vergleich zur Debatte um Gentechnik bei Lebensmitteln und ethische Aspekte... ..	105
8.1.	Gründe der Bürgerinnen und Bürger für eine Akzeptanz der Gentechnik	105
8.2.	Öffentliche Wahrnehmung von Nanotechnologien im Lebensmittelbereich	110
8.3.	Ethische Aspekte in der Nanotechnologie	112
8.4.	Zwischenfazit.....	118
9.	Stakeholderbefragung	121
9.1.	Auswahl der Stakeholder	121
9.2.	Rücklaufquote und Selbsteinschätzung	122
9.3.	Marktverfügbarkeit von Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen mit Nanokomponenten	125
9.4.	Toxikologisches Risiko	126
9.5.	Wirtschaftliche Potenziale	128
9.6.	Aspekte der Technikgenese	130
9.6.1.	Akteure	130

9.6.2.	Hemmnisse für den Markteintritt nanotechnologischer Lebensmittel und Lebensmittelverpackungen	131
9.6.3.	Erfolgsfaktoren für den Markteintritt nanotechnologischer Lebensmittel und Lebensmittelverpackungen	132
9.7.	Regulatorisches Umfeld	133
9.8.	Nutzen für die Konsument/innen	135
9.9.	Parallelen zur Debatte um Gentechnik/ethische Aspekte	139
10.	Gesamtbewertung	143
10.1.	Präambel: Risikobewertung von synthetischen Nanomaterialien im Lebensmittelsektor.....	143
10.2.	Bewertung der synthetischen Nanomaterialien in Lebensmitteln	150
10.3.	Bewertung der synthetischen Nanomaterialien in Lebensmittelverpackungen	155
10.4.	Zusammenfassende transdisziplinäre Bewertung	159
10.5.	Zukunftsperspektiven	164
11.	Gesamtfazit und Empfehlungen.....	167
11.1.	Governance und Regulierungsbedarf.....	168
11.1.1.	Das Vorsorgeprinzip	168
11.1.2.	Empfehlungen für regulatorische Massnahmen.....	172
11.2.	Corporate Responsibility	176
11.3.	Gesellschaftlicher Verständigungsprozess	179
11.4.	Zusammenfassung der Empfehlungen.....	181
11.4.1.	Allgemeine Empfehlungen für Nanomaterialien bei Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen	181
11.4.2.	Spezifische Empfehlungen für Lebensmittel/-zusatzstoffe	183

11.4.3. Spezifische Empfehlungen für Lebensmittelverpackungen	199
12. Literaturverzeichnis	201
Anhang 1. Mitglieder des Begleitkreises.....	215
Anhang 2. Vorhandene Definitionsansätze.....	217
Anhang 3. Informationsquellen für die Marktrecherche.....	223

Zusammenfassung

Das Ziel der Studie bestand darin, auf wissenschaftlicher und gleichzeitig werteorientierter Basis die Chancen und Risiken des Einsatzes von synthetischen Nanomaterialien bei Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen zu untersuchen.

Die Analyse des Schweizer Markts zeigte, dass bislang nur wenige nanoskalige Lebensmittelzusatzstoffe bzw. mit solchen Komponenten versehene Lebensmittel verfügbar sind. Entsprechend des gewählten erweiterten Definitionsbegriffes für synthetischen Nanomaterialien sind dies Zusatzstoffe wie Siliziumdioxid, Carotinoide und Micellen, die schon seit vielen Jahren verwendet werden und toxikologisch überprüft sind. Sie ermöglichen ein verbessertes Handling, eine verbesserte Optik oder eine Steigerung der Bioverfügbarkeit von Nährstoffen. Auf aussereuropäischen Märkten werden hingegen auch Nahrungsergänzungsmittel mit nanoskaligen Edelmetallen mit fragwürdigem Nutzen und z.T. toxikologisch bedenklichen Eigenschaften angeboten.

Bei Lebensmittelverpackungen befinden sich auf dem Schweizer Markt Verbundfolien und PET-Flaschen mit nanotechnologisch optimierten Barriereigenschaften gegenüber Gasen und Aromastoffen, die eine verbesserte Haltbarkeit des Inhalts bewirken. Ausserhalb der Schweiz existieren darüber hinaus Verpackungen mit biozid wirkenden Substanzen (v.a. Nanosilber), um einen Schutz vor Bakterien und Pilzen zu erzielen.

Angesichts der aktuellen Marktsituation wird der Beitrag der Nanotechnologie zu einer umweltverträglichen, gesundheitsfördernden und ethisch verantwortlichen Ernährung für die Schweiz derzeit als sehr gering eingeschätzt. Perspektivisch könnte allerdings eine Anreicherung von Lebensmitteln mit nanoskaligen Supplementen (z.B. Eisen) in Entwicklungs- und Schwellenländern mit entsprechender Mangelversorgung einen gesundheitlichen Nutzen generieren, der mit wirtschaftlichen Potenzialen in grösserem Umfang verbunden ist. Voraussetzung hierfür ist die öko- und humantoxikologische Unbedenklichkeit der verwendeten Nanomaterialien. Lebensmittelverpackungen mit Nanokomponenten bieten hingegen bereits jetzt Vorteile für die Konsumentinnen und Konsumenten und bergen somit grössere Zukunftspotenziale, zumal hier auch Umweltentlastungseffekte bestehen.

Die Herausforderung für die Zukunft besteht darin, dass der erzielbare Nutzen nicht durch ggf. vorhandene human- wie ökotoxikologische Risiken der verwendeten Nanomaterialien konterkariert wird. Hier ist z.B. die Migration von toxikologisch bedenklichen Nanomaterialien von Verpackungsmaterialien ins Lebensmittel zu nennen. Daher sollte im Lebensmittelsektor die Entwicklung von Nanomaterialien und die Ausgestaltung des Regelungsrahmens durch das Vorsorgeprinzip geleitet werden. Es wird deshalb empfohlen, das Vorsorgeprinzip im Schweizer Lebensmittelrecht ausdrücklich aufzunehmen. In der Umsetzung des Prinzips sollten dann die bisherigen Schweizer Vorschriften zum Lebensmittelrecht, die grundsätzlich auch Nanomaterialien umfassen, auf die nanospezifischen Erfordernisse angepasst werden. Konkret empfohlen werden staatliche Vorgaben für das Risikomanagement bei den Herstellern und Importeuren. Dazu gehört u.a. für Hersteller und Importeure eine Pflicht zur Meldung (Notifikation) von Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen, die Nanomaterialien mit Besorgnispotenzial enthalten. Ein Besorgnispotenzial ist dann anzunehmen, wenn wissenschaftliche Hinweise auf ernste oder irreversible Schäden bzw. eine wissenschaftlich plausible Risikohypothese für ein Nanomaterial vorliegen. Ferner wird eine spezifische Kennzeichnung von Nanomaterialien in Zutaten bzw. in Verpackungsmaterialien empfohlen. Die Kennzeichnung soll in der Herstellungskette die Rückverfolgbarkeit von entsprechenden Lebensmitteln und die staatliche Lebensmittelüberwachung erleichtern sowie den Konsument/innen die Ausübung der Wahlfreiheit ermöglichen. Schliesslich sollte überprüft werden, ob und inwieweit die bereits von den Herstellern zu beachtenden Regelungen zur Rückverfolgbarkeit entlang der Herstellungskette für synthetische Nanomaterialien anzupassen sind und wie sie in der Praxis angewandt werden. Geeignete allgemein anerkannte Definitionen von Nanomaterialien sind hierbei zu berücksichtigen. Nicht empfohlen wird hingegen der Erlass eines speziellen «Nano-Lebensmittelgesetzes».

Die regulatorischen Massnahmen müssen flankiert werden durch eine Intensivierung der Risikoforschung sowie durch eine konsequente Wahrnehmung der Produktverantwortung seitens der Hersteller. Dies umfasst insbesondere auch eine verstärkte Information, Transparenz und Dialogbereitschaft gegenüber Stakeholdern und der Öffentlichkeit. Andernfalls besteht die Gefahr, dass sich die Debatte um Gentechnik bei Lebensmitteln wiederholt.

Wie auch im Aktionsplan «Synthetische Nanomaterialien» des Bundesrates empfohlen, sollten daher Dialogplattformen zu den Chancen und Risiken sowie ein gesellschaftlicher Verständigungsprozess zum Umgang mit Nanomaterialien im Lebensmittelsektor einen integralen Bestandteil des weiteren Entwicklungsprozesses bilden.

Executive Summary

The aim of the study was to analyse the chances and risks of the application of synthetic nano-materials in food and food packaging on a scientific as well as on a value-oriented basis.

The analysis of the Swiss market showed that so far only few nanoscale food additives as well as food supplied with such components are available. According to the chosen large definition of synthetic nano-materials these are additives like silicon dioxide, carotenoids and micelles which are already in use and have been toxicologically reviewed for many years. They allow an improved handling, an improved optic and an increase of the bioavailability of nutrients. However, on non-European markets food additives with nanoscale heavy metals with dubious benefits and partly toxicologically risky characteristics are available as well.

In food packaging composite films and PET-bottles with nano-technologically improved barrier features against gases and flavours improving durability of the content can be found on the Swiss market.

Furthermore, outside Switzerland packaging with biocidal working substances (mainly nano-silver) exist with a view to achieve a protection against bacteria and fungi.

At present, given the current market situation, the contribution of nanotechnology to an environmentally friendly, constitutional and ethically responsible alimentation is estimated as marginal in Switzerland. In perspective, the enrichment of food with nanoscale supplements (e.g. iron) could indeed generate a constitutional advantage in developing countries, which is connected to an economic potential to a considerable extent. A requirement for this is the eco- and human-toxicological harmlessness of the applied nano-materials. Food packaging with nano-components, however, already offers advantages for consumers at present and therefore holds a bigger potential for the future, especially because it also includes environmental impact reduction potential.

The challenge for the future consists in not foiling the achievable benefit with possible existing human and eco-toxicological risks of the applied nano-materials. At this level, for instance, the migration of toxicologically critical nano-materials of food packaging into food has to be mentioned. Therefore, the development of nano-materials in the food sector and the design of the scope of

regulation should be conducted by the precautionary principle. It is recommended to accommodate explicitly the precautionary principle into Swiss food law. Within the implementation of the principle, the current regulations to food law, which generally also include nano-materials, should be adjusted to nano-specific demands. In concrete, public guidelines for risk management for producers and importers are recommended. This includes among other things an obligation to notify on food and food packaging which contain nano-materials with risk potential for producers and importers. A risk potential has to be assumed when scientific details to serious and irreversible disadvantages and a scientific plausible risk hypothesis for a certain nano-material respectively are on hand. Furthermore, specific labelling of nano-materials in ingredients and in packaging materials is recommended. The labelling shall facilitate the traceability in the production chain of specific food and the governmental food monitoring, as well as offering the freedom of choice to consumers. Finally it should be surveyed if and to what extent the regulations for the traceability along the production chain for synthetic nano-materials already followed by producers have to be adapted and how they are applied in practice. Appropriate, generally accepted definitions of nano-materials have to be considered for this. The enactment of a specific «nano food law» in contrary is not recommended.

Regulatory measures have to be flanked by an intensification of risk research as well as a consequent perception of the product stewardship on the part of the producers. This especially incorporates increased information, transparency and willingness to communicate with stakeholders and publicity. Otherwise the danger exists that the debate on genetic engineering in food will be repeated.

As recommended within the action plan «Synthetic nano-materials» by the Federal Council, dialogue platforms about chances and risks as well as a corporative agreement process for the handling of nano-materials in the food sector should form an integral element of the further development process.

Sommaire

Le but de l'étude était d'analyser d'un point de vue scientifique et du point de vue des bénéfices, les avantages et les risques de l'usage de nanomatériaux dans les aliments et emballages alimentaires.

L'analyse du marché suisse a montré que jusqu'à présent, seuls sont disponibles quelques nano-additifs ou des aliments en contenant. Selon une large définition des nanomatériaux synthétiques, des additifs tels que le dioxyde de silicium, les caroténoïdes et les micelles qui sont déjà utilisés et testés depuis plusieurs années entrent dans cette catégorie. Ils permettent d'améliorer l'utilisation et l'apparence des produits et d'augmenter la biodisponibilité des nutriments. Cependant, d'autres additifs sont disponibles sur des marchés non européens contenant des métaux lourds de taille nano aux bienfaits douteux et présentant des caractéristiques partiellement toxiques.

Dans la catégorie «emballages alimentaires», le marché suisse propose des films alimentaires composites et des bouteilles PET aux barrières nanotechnologiquement améliorées contre le gaz et les arômes permettant une meilleure conservation de leur contenu.

A l'extérieur de la Suisse, il existe d'autres emballages contenant des substances biocides (principalement le nano-argent), fournissant une protection contre les bactéries et les moisissures.

En considérant la situation présente du marché, la contribution de la nanotechnologie à une alimentation écologique, saine et éthique est évaluée à ce jour comme marginale en Suisse. À l'avenir, l'enrichissement de la nourriture avec des suppléments nanométriques (p. ex. fer) pourrait constituer un avantage significatif pour les pays en voie de développement et émergents, entraînant un important potentiel économique. Un pré-requis pour ceci est l'innocuité des matériaux nanométriques utilisés d'un point de vue éco- et humanotoxicologique. Les emballages alimentaires en revanche offrent déjà des avantages pour le consommateur et impliquent donc un potentiel plus important dans l'avenir, essentiellement par l'effet de préservation de l'environnement qu'ils apportent.

Le défi pour le futur consiste à ce que de potentiels risques humano- et écotoxicologiques liés à l'utilisation de nanomatériaux ne contrecarrent pas les bénéfices réalisables. A ce propos, mentionnons le transfert de nanomatériaux inquiétants du point de vue toxicologique des emballages alimentaires vers les

aliments qu'ils contiennent. Par conséquent, le principe de précaution devrait conduire tout développement de nanomatériaux dans l'alimentation ainsi que toute élaboration d'une quelconque réglementation. Il est recommandé d'incorporer explicitement le principe de précaution dans le droit suisse sur les denrées alimentaires. Lors de la mise en œuvre de ce principe, l'actuel droit sur les denrées alimentaires, incluant en principe les nanomatériaux, devrait être ajusté aux demandes spécifiques de la nanotechnologie. Concrètement, il est recommandé d'établir des directives publiques pour la gestion des risques à l'attention des producteurs et importateurs, dont, entre autre, l'obligation pour ceux-ci de signaler les aliments et emballages contenant des nanomatériaux potentiellement inquiétants. Il faut tenir compte de ce potentiel d'inquiétude lorsque la science fournit des indications sur des dommages sérieux, voire irréversibles ou l'hypothèse d'un risque plausible liés à un nanomatériau donné.

De plus, un étiquetage spécifique des ingrédients et des emballages contenant des nanomatériaux est recommandé. Ceci devrait faciliter la traçabilité dans la chaîne de production alimentaire ainsi que la surveillance gouvernementale et finalement offrir au consommateur le droit du libre choix. Pour finir, il faudrait vérifier si et dans quelles proportions les règles de traçabilité imposées aux producteurs tout au long de la chaîne de production doivent être adaptées aux nanomatériaux et comment elles sont appliquées en pratique. Pour ceci, il faut prendre en considération une définition appropriée et généralement acceptée des nanomatériaux. L'énonciation d'une loi « nano-alimentation » particulière n'est au contraire pas recommandée.

Les mesures de réglementation doivent être encadrées d'une intensification de la recherche des risques et d'une responsabilisation des producteurs face à leurs produits. Ceci implique essentiellement un renforcement de l'information, de la transparence et une volonté accrue de communiquer avec les groupes d'intérêt et le public. Sinon le débat sur le génie génétique dans l'alimentation risque de se répéter.

Comme recommandé dans le plan d'action « nanomatériaux synthétiques » du Conseil fédéral, des plateformes de dialogue au sujet des bienfaits et risques de cette technologie ainsi qu'un processus de concertation de la société au sujet de l'utilisation de nanomatériaux au sein du secteur alimentaire devraient faire partie intégrante du développement de cette technique.

1. Einführung

Nanotechnologie im Bereich der Lebensmittel ist nichts Neues. In der Natur finden die biochemischen Synthesen auf der nanoskaligen Ebene statt. Aus diesem Grund enthalten zahlreiche Lebensmittel Nanomaterialien – natürliche Nanomaterialien. Ein wichtiges und häufig genanntes Beispiel hierfür ist Casein, welches in der Milch in Form von Micellen im Nanomassstab suspendiert ist. Seit einigen Jahren bedient sich aber auch der Mensch zielgerichtet nanotechnologischer Methoden und synthetisiert Substanzen, deren Grösse bei rund 100 Nanometer oder darunter liegt. Einige dieser anthropogenen Nanomaterialien finden sich inzwischen auch bereits in Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen.

Im Gegensatz zu Medizin, Energie- und Umwelttechnik wird der Einsatz von Nanotechnologien im Lebensmittelsektor durch die Konsumentinnen und Konsumenten wesentlich kritischer bewertet. Sie schätzen hier den Nutzen für die menschliche Gesundheit und den Umweltschutz deutlich geringer ein. Die mit den Anwendungen verbundenen Risiken stehen für die Konsumentinnen und Konsumenten im Vordergrund und lassen mögliche Vorzüge in den Hintergrund treten. Die Vorbehalte gegenüber dem Einsatz von Nanomaterialien sind dabei Teil eines allgemeinen Unbehagens gegenüber Lebensmittelzusatzstoffen und allen Arten von Veränderungen von Lebensmitteln. Konkret beschränken sich die Kritikpunkte nicht nur auf toxikologische Fragestellungen, sondern beziehen sich auch auf sozio-kulturelle Aspekte. So wurde bei einer Befragung von schweizerischen Konsumentinnen und Konsumenten auch die Befürchtung geäußert, der Einsatz von Nanotechnologien könnte mit einem Verlust von Ernährungs- und Lebenskultur einhergehen (vgl. TA-SWISS 2006). Sie wünschen deshalb eine ausreichende Deklaration bzw. das Labelling von Nanoanwendungen bei Lebensmitteln. So lautet jedenfalls das Votum der befragten Verbraucherinnen und Verbraucher, sowohl beim publifocus des Zentrums für Technologiefolgen-Abschätzung in der Schweiz als auch bei der Verbraucherkonferenz des Bundesinstituts für Risikoforschung (BfR) in Deutschland (BfR 2006).

Demgegenüber befindet sich die Risikoforschung zu synthetischen Nanomaterialien bislang noch am Anfang. Dabei beschränken sich die Untersuchungen meist auf monodisziplinäre Fragestellungen, z.B. humantoxikologische Aspekte bei inhalativer Exposition. Eine inter- bzw. transdisziplinäre Herangehensweise, wie sie bei einer umfassenden Risikobewertung an sich gefordert ist (Risiko-

kommission 2003), findet derzeit in der Regel nicht statt. Ebenso steht die Risikokommunikation zu Nanotechnologien bislang noch am Anfang. Sie sollte jedoch ein «integraler Bestandteil des gesamten Regulierungsprozesses» sein (Risikokommission 2003, S. 15): «Kommunikation soll allen interessierten Bürgerinnen und Bürgern die Möglichkeit verschaffen, auf der Basis der Kenntnis der faktisch nachweisbaren Auswirkungen, der verbleibenden Unsicherheiten und der vertretbaren Interpretationsspielräume eine persönliche Beurteilung der jeweiligen Risiken vorzunehmen» (ebd.).

Stattdessen halten sich die meisten Lebensmittelhersteller bislang bedeckt und geben – wenn überhaupt – nur sehr zögerliche und unvollständige Auskünfte, ob in ihren Produkten bereits synthetische Nanomaterialien und, wenn ja, welche enthalten sind. Von dieser restriktiven Informationspolitik weichen leider nur sehr wenige industrielle Akteure ab, die sich um eine transparentere Risikokommunikation bemühen.

Angesichts dieser evidenten Defizite ist es nicht verwunderlich, dass einige zivilgesellschaftliche Gruppen in letzter Zeit zunehmend eine massive Eindämmung des Einsatzes der Nanotechnologien im Lebensmittelsektor fordern, die bis hin zu Moratorien reicht. Zu nennen sind hier v.a. die kanadische Gruppe «Action Group on Erosion, Technology and Concentration» (ETC), die bereits 2003 ein generelles Verbot für Nanotechnologien angemahnt hat.¹ Darüber hinaus fordern «Friends of The Earth Europe» zumindest ein zeitweises Moratorium für das Inverkehrbringen von Lebensmitteln, Lebensmittelverpackungen, Produkten mit Lebensmittelkontakt und Agrochemikalien, die synthetische Nanomaterialien enthalten.² Im Januar 2008 verkündete schliesslich die britische «Soil Association», dass sämtliche anthropogenen Nanomaterialien bei Bioprodukten verboten sind, die durch diesen Verband zertifiziert werden.³

In diesem Spannungsfeld wurde von TA-SWISS, dem Schweizer Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung, beim Öko-Institut e.V. eine Studie in Auftrag gegeben, um die in letzter Zeit zunehmend emotional geführte Debatte um den Einsatz von Nanotechnologien im Lebensmittelsektor zu versachlichen und mit wissenschaftlichen Beiträgen zu versehen. Dabei wurden auch Stakeholder, die in diesem Zusammenhang substantielle Beiträge leisten können, zur Mitwirkung eingeladen.

¹ Vgl. <http://www.etcgroup.org/en/issues/nanotechnology.html>.

² Vgl. http://www.foeeurope.org/activities/nanotechnology/Documents/Nano_food_report.pdf.

³ Vgl. <http://www.soilassociation.org/web/sa/saweb.nsf/848d689047cb466780256a6b002>.

2. Ziele und Forschungsfragen der Studie

Das **Ziel** der Studie besteht darin, die Zukunftsperspektiven der Nanotechnologien im Bereich der Lebensmittel und Lebensmittelverpackungen mit einem interdisziplinären Ansatz abzuschätzen und relevante Chancen und Risiken aufzuzeigen. Auf Basis einer Analyse der wesentlichen gesundheitlichen, rechtlichen, gesellschaftlichen, wirtschaftlichen, ökologischen und ethischen Aspekte wird eine integrierte Gesamtbeurteilung der nanotechnologischen Verfahren und Produkte im Vergleich zu möglichen alternativen Entwicklungspfaden vorgenommen. Aus der Gesamtbeurteilung werden spezifische Empfehlungen abgeleitet, ob und wie ein nachhaltiger Umgang mit Nanotechnologien im Lebensmittelbereich realisiert werden könnte. Übergeordneter Wertmassstab für Analyse und Empfehlungen ist somit ein Leitbild, welches Gesundheitsschutz und -förderung, Umweltentlastung und -verträglichkeit, ökonomische Chancen sowie sozial-kulturelle Kompatibilität ganzheitlich berücksichtigt.

Im Einzelnen werden innerhalb der Studie folgende **Fragestellungen** behandelt:

1. Wie sollte eine handhabbare Definition von Nanomaterialien im Lebensmittelbereich aussehen, die eine Beschränkung des Untersuchungsgegenstandes auf Komponenten technischen Ursprungs ermöglicht?
2. Welche Lebensmittel und Lebensmittelverpackungen mit nanotechnologischen Zusätzen befinden sich bereits auf dem Schweizer/internationalen Markt?
3. Wer sind die Hersteller der nanotechnologischen Zusatzstoffe und der mit diesen Zusätzen angereicherten Endprodukte?
4. Welche (neuen) Eigenschaften und Funktionalitäten besitzen diese Produkte und welche Erfahrungen existieren bei diesen Produkten?
5. Welche nanotechnologisch beeinflussten Produkte werden im Lebensmittelbereich kurz- bis mittelfristig auf dem Markt verfügbar sein?
6. Welche neuen Eigenschaften, Funktionalitäten bzw. Visionen und welche gesundheitlichen Risiken sind bei diesen Produkten zu erwarten?
7. Welche wirtschaftlichen Potenziale sind für die betroffenen Unternehmen mit den nanotechnologischen Produkten im Lebensmittelbereich verbunden?

8. Bestehen zusätzlich zu den wirtschaftlichen Potenzialen ggf. auch positive ökologische Effekte (z.B. durch Substitution umweltbelastender Verpackungsmaterialien)?
9. Wie sind die rechtlichen Rahmenbedingungen im Hinblick auf Zulassung und Vermarktung nanotechnologischer Produkte im Lebensmittelbereich zu beurteilen? Existieren Regelungslücken, die eine Gefährdung der Konsumentinnen und Konsumenten sowie Beeinträchtigungen der Umwelt durch nanotechnologische Produkte befürchten lassen? Welches sind die rechtlichen Voraussetzungen und Grenzen einer Kennzeichnung nanotechnologischer Produkte im Lebensmittelbereich?
10. Inwieweit kann die Nanotechnologie zur Befriedigung von Konsument/innen-Bedürfnissen nach natürlichen Produkten sowie «effizienter» oder gesundheitsfördernder Ernährung beitragen? Was kann hier aus der Diskussion um gentechnisch erzeugte Lebensmittel gelernt werden?
11. Welche Alternativen existieren, um diese Bedürfnisse der Konsumentinnen und Konsumenten zu befriedigen?
12. Welchen Einfluss wird die Nanotechnologie voraussichtlich auf unsere Ernährungs- und Lebenskultur haben und wie wünschenswert ist dies vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Entwicklung im Lebensmittelbereich?
13. Wo können bei der Diskussion um die Nanotechnologie Parallelen bzw. Unterschiede zur Gentechnik-Debatte aufgezeigt werden? Welche Schlüsse lassen sich daraus ziehen?
14. Welcher Handlungsbedarf ergibt sich aus einer Gesamtbewertung der Chancen und Risiken für die Forschungspolitik und die regulatorischen Rahmenbedingungen?

Die **Resultate** dieser Studie sollen Antworten auf die o.g. Forschungsfragen liefern und damit wichtige Wissenslücken schliessen. Aufbauend auf der verbesserten Wissensbasis werden ferner konkrete Empfehlungen abgeleitet, die sich v.a. auf das Risikomanagement und die Risikokommunikation für nanotechnologische Produkte und Komponenten im Lebensmittelbereich beziehen.

Zielgruppe für die Empfehlungen der Studie sind Entscheidungsträger, insbesondere aus der Politik. Darüber hinaus richten sich die Ergebnisse auch an Entscheidungsträger aus den betroffenen Unternehmungen der Lebensmittel-/Verpackungsbranche und an die interessierte Öffentlichkeit im Allgemeinen.

3. Projektstruktur

Die Projektstruktur wird in der nachfolgenden Abbildung dargestellt (vgl. Abbildung 1). Daraus wird ersichtlich, dass die Studie im Wesentlichen aus drei grossen «Modulen» besteht, die der Erarbeitung von Empfehlungen dienen. Die drei Module sind:

- eine interdisziplinäre Analyse (AP 2–AP 5).
- eine Stakeholder-Konsultation (AP 6–AP 8) sowie
- eine Gesamtbewertung (AP 9).

Basis der Untersuchung ist die Definition des Untersuchungsgegenstands.

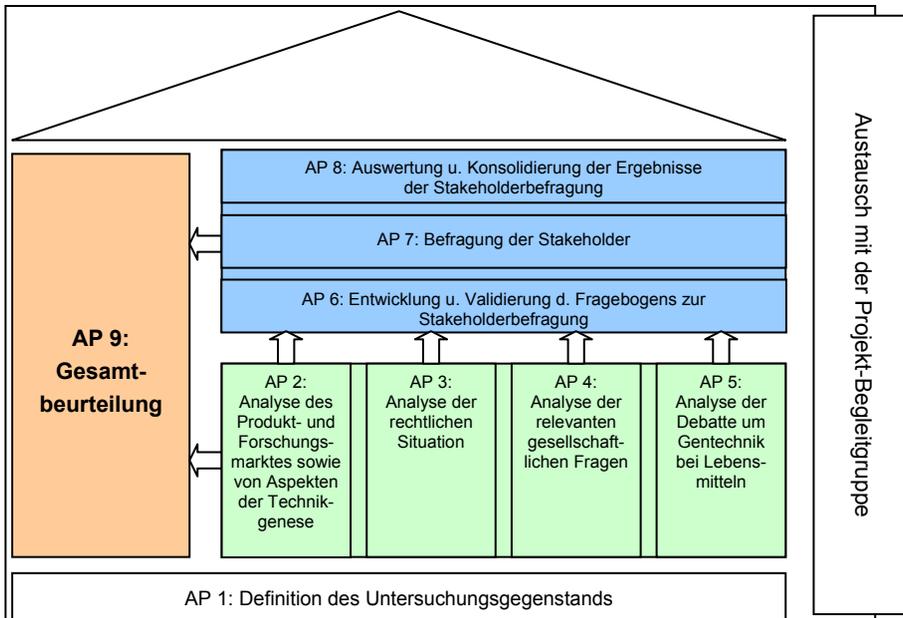


Abbildung 1: *Illustration der Projektstruktur und Übersicht über die einzelnen Arbeitspakete (AP)*

Auf Basis der Definition des Untersuchungsgegenstandes wurden zunächst im ersten Modul der Produkt- und Forschungsmarkt, die rechtliche Situation und die gesellschaftlichen Fragestellungen analysiert sowie die der Gentechnik-Debatte reflektiert. Die Analyse wurde so angelegt (z.B. mittels übergreifender Leitfragen), dass eine disziplinübergreifende Integration im dritten Modul möglich war.

Zur Validierung der Ergebnisse dieses Moduls wurde ein zweites, empirisches Modul vorgesehen. Dieses beinhaltete die Entwicklung eines Fragebogens, der in der Folge der Befragung relevanter Stakeholder dient. Mittels dieses Fragebogens sollten insbesondere auch Wissenslücken adressiert werden, die im Zuge der Analyse im ersten Modul nicht geschlossen werden konnten. Des Weiteren wurden ggf. auch Aspekte und Fragestellungen berücksichtigt, die bei der Analyse im ersten Modul neu aufgetreten waren und als bedeutsam eingestuft wurden. Nach Einholen der Expertise der Stakeholder wurden die Ergebnisse ausgewertet und konsolidiert.

In einem dritten Modul wurden schliesslich die Ergebnisse aus dem ersten und zweiten Modul integriert und ausgewertet. Dies diente wiederum als Ausgangspunkt für die abschliessende Formulierung von Empfehlungen.

Während der gesamten Laufzeit des Projektes fand ein Austausch mit einer Expertengruppe statt, welche den Fortgang der Arbeiten konstruktiv-kritisch begleitete und wertvolle inhaltliche Beiträge lieferte. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer dieses Begleitkreises werden in Anhang 1 aufgeführt. Vom Auftraggeber der Studie wurden insgesamt vier Sitzungen veranstaltet, bei denen die Projektgruppe jeweils Zwischenergebnisse vorstellte und mit dem Begleitkreis diskutierte.

4. Definition des Untersuchungsgegenstandes

Eine allgemein anerkannte und gültige Definition existiert derzeit weder für Nanomaterialien im Allgemeinen noch für den Einsatz von Nanomaterialien im Lebensmittelsektor im Speziellen. Hauptgrund hierfür ist die Tatsache, dass es sich bei der Nanotechnologie um eine vergleichsweise neue Querschnittstechnologie handelt, die sich in einem dynamischen Entwicklungsprozess befindet und von der eine Vielzahl klassischer Disziplinen wie Physik, Chemie und Biologie betroffen sind.

Eine solche Abgrenzung ist jedoch erforderlich, da auch Nanomaterialien natürlichen Ursprungs existieren, die Fragestellungen dieser Studie sich jedoch auf Nanomaterialien anthropogenen Ursprungs beziehen.

Zahlreiche Institutionen, Verbände und Gremien beteiligen sich allerdings gegenwärtig an dem Prozess der Definitionsfindung und unterbreiten diesbezüglich erste Vorschläge. Folglich wurden im Rahmen dieser Studie zunächst diese bereits vorliegenden Definitionsansätze zusammengestellt und auf ihre Verwendbarkeit hin untersucht (vgl. Kapitel 4.1). Auf dieser Grundlage wurden eine Definition von «Nano-Lebensmitteln» und «Nano-Verpackungen» für die Zwecke der vorliegenden Studie erarbeitet (vgl. Kapitel 4.2) und vorhandene Grenzfälle diskutiert (vgl. Kapitel 4.3).

4.1. Vorhandene Definitionen/Definitionsvorschläge

Die meisten derzeit existierenden Definitionen und Definitionsansätze haben die folgenden Merkmale gemeinsam:⁴

- Grössenbereich («kleiner als 100 Nanometer»);

⁴

Vgl. http://www.izew.uni-tuebingen.de/pdf/dossier_nanotechnologie_2007.pdf.

- Grössenspezifische Effekte, d.h. neue Eigenschaften und Funktionalitäten, insbesondere aufgrund eines grossen Oberflächen-/Volumenverhältnisses und dem Wirksamwerden von Quanteneffekten;
- Manipulations-/Konstruktionsansätze, d.h. gezielte Manipulation und Herstellung von Nanostrukturen auf atomarer/molekularer Ebene unter Verwendung eines Top-Down- bzw. Bottom-Up-Ansatzes.

Eine Übersicht mit einer Auswahl von Definitionen und Definitionsansätzen, die für die vorliegende Studie als relevant erachtet wurden, befindet sich in Anhang 2.

Es wird in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen, dass derzeit insbesondere auf ISO-⁵ und OECD⁶-Ebene an einer internationalen Standardisierung der Definition von Nanomaterialien gearbeitet wird. Bisher wurde jedoch keine Definition für Nanomaterialien bzw. Nanopartikel verabschiedet.

Von den untersuchten vorhandenen Definitionen für synthetische Nanomaterialien besonders hervorzuheben ist der Vorschlag des *American Chemistry Council (ACC)*. Dabei handelt es sich nach Einschätzung der Projektgruppe um den aktuellsten und bislang umfassendsten Ansatz zur Definition von synthetischen Nanomaterialien. In diesen Ansatz sind auch bereits Aspekte eingeflossen, die im Zuge der internationalen Standardisierungsaktivitäten auf ISO- und OECD-Ebene bei der Definition von Nanomaterialien behandelt wurden. Synthetische Nanomaterialien sollten demnach wie folgt definiert und abgegrenzt werden:

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

⁵ Bei der ISO (Internationale Organisation für Normung) beschäftigt sich im Rahmen des TC (Technical Committee) 229 die Working Group «Terminology and Nomenclature» mit dieser Fragestellung.

⁶ Bei der OECD (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung) sind die Arbeiten zur Standardisierung der Definition in der Work Area One «Identification, Characterisation, Definitions, Terminology and Standards» verortet.

Exclusions:

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

Inclusions:

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

4.2. Definition für die vorliegende Studie

Angesichts der Ziele und Forschungsfragen (vgl. Kapitel 2) haben sich die Analysen der vorliegenden Studie auf nanotechnologische «Zusätze» und «Komponenten technischen Ursprungs» beschränkt (vgl. hierzu Fragestellung 1 und 2). Aus diesem Grund liegt der Einsatz nanotechnologischer Verfahren bei der Herstellung von Lebensmitteln und Verpackungen ausserhalb des Untersuchungsgegenstandes, solange keine nanotechnologischen Komponenten und Zusätze zugefügt und im verkaufsfertigen Produkt enthalten sind. Dies bedeutet jedoch nicht, dass beispielsweise mit dem Einsatz nanotechnologischer Verfahren im Rahmen der Landwirtschaft keine Chancen bzw. Risiken verbunden sind. Diese Aspekte würden aber den Rahmen dieser Studie sprengen und bedürfen einer gesonderten Betrachtung.

Vor dem Hintergrund dieser Überlegungen wird für die vorliegende Studie der Untersuchungsgegenstand wie folgt definiert:

*Untersuchungsgegenstand dieser Studie sind **Lebensmittel**⁷ und **Lebensmittelverpackungen**, die beim Verkauf oder der späteren Verwendung **synthetische Nanomaterialien** enthalten.*

Dabei ist es unerheblich, ob es sich bei den vorhandenen Nanomaterialien um bewusst hinzugefügte Komponenten oder unbeabsichtigte Kontaminationen handelt.

Bezüglich der Definition für synthetische Nanomaterialien wird auf den Definitionsvorschlag des *American Chemistry Council* (ACC) rekuriert (vgl. Kapitel 4.1).

Bei einer unveränderten Übernahme dieses Definitionsvorschlags würde sich jedoch das Problem ergeben, dass sowohl Micellen als auch solche Nanomaterialien vom Untersuchungsgegenstand ausgenommen wären, die in wässrigen Systemen löslich oder dispergierbar sind. Diese Substanzen werden allerdings in der gegenwärtigen Debatte um Nanotechnologie im Lebensmittelsektor gängigerweise unter «Delivery Systems» (nanotechnologische Formulierungen) mit berücksichtigt und umgangssprachlich unscharf auch als «Nanokapseln» bezeichnet (BUND 2008). Wohlwissend, dass es sich dabei um Grenzfälle handelt (vgl. Kapitel 4.3.), werden Micellen und wasserlösliche Nanomaterialien ausdrücklich in den Untersuchungsgegenstand mit einbezogen. Aus diesem Grund wird im Rahmen der vorliegenden Studie mit folgender Abgrenzung gearbeitet:

*Bei **synthetischen Nanomaterialien** handelt es sich um Stoffe, die **beabsichtigt produziert** wurden und in einer, zwei oder drei Dimensionen eine **Grösse zwischen 1 und 100 nm** aufweisen. Weder die untere noch die obere Grössenangabe stellt dabei eine scharfe Grenzlinie dar. Verfügbare Daten ausserhalb der genannten Bandbreite werden vielmehr als hilfreich erachtet. Fullerene sind hierbei ebenfalls eingeschlossen, obwohl ihre Grösse unterhalb von 1 nm liegt.*

*Explizit **eingeschlossen** sind ausserdem **Aggregate und Agglomerate** mit Grössen über 100 nm, wenn die Wahrscheinlichkeit besteht, dass sie während ihrer Lebensdauer in Partikel im Bereich 1–100 nm deaggregieren können.*

7

Definition Lebensmittel: Art. 3 des Schweizer Bundesgesetzes über Lebensmittel und Gegenstandsgegenstände (Lebensmittelgesetz, LMG).

Eingeschlossen sind ferner **Micellen und Materialien, die in Wasser oder biologischen Systemen löslich sind**. Löslichkeit bedeutet hier, dass das Material bis auf die Ebene seiner einzelnen Moleküle von dem Lösungsmittel umgeben wird. Das Material geht ausreichend schnell in Lösung, so dass die Grösse der Partikel keinen bestimmenden toxikologischen Endpunkt darstellt.

Ausgeschlossen sind hingegen Materialien, die im Vergleich mit der nicht-nanoskaligen Form des Materials der gleichen stofflichen Zusammensetzung **keine neuartigen Eigenschaften** besitzen.

Gleichfalls **ausgeschlossen** sind Partikel, bei denen die Verteilung der Partikelgrösse 1–100 nm überschreitet (z.B. 50–500 nm beträgt) und bei denen **weniger als 10% der Partikel 1–100 nm gross** sind. Die 10% können sich auf Masse oder Oberfläche der Partikel beziehen, je nachdem, wodurch ein grösserer Anteil eingeschlossen werden kann.

Mit der vorliegenden Definition wurde ganz bewusst zunächst ein breiter Problemhorizont gewählt. Ziel der Studie war es dann, nach einem anfangs breit angelegten Screening-Prozess bei den gesundheitlich relevanten Aspekten eine Fokussierung auf solche Materialien vorzunehmen, bei denen eine begründete Befürchtung besteht, dass sie in biologische Zellen eindringen bzw. biologische Membranen durchdringen können.

4.3. Diskussion von Grenzfällen

Grenz- und Streitfälle stellen insbesondere Micellen und andere nanotechnologische Formulierungen dar, welche die Bereitstellung eines gewünschten Inhaltsstoffes in einer erwünschten bioverfügbaren Form gewährleisten. Dabei kommen häufig organische Verbindungen als Trägerstoffe zum Einsatz. Diese Trägerstoffe werden zum Lösen, Verteilen (Dispergieren) oder Modifizieren von Substanzen (wie Zusatzstoffe, Enzyme, Vitamine etc.) verwendet, um deren Handhabung und Verwendung bei der Herstellung und Lagerung von Lebensmitteln zu erleichtern und zu standardisieren. Ausserdem sind Trägerstoffe vor allem dann relevant, wenn eine Zutat dem Lebensmittel nur in niedrigen Konzentrationen zugesetzt werden soll. Zu den Trägerstoffen zählen etwa Phos-

pholipide, aber auch das ringförmige Einzelmolekül Beta-Cyclodextrin. Als Trägerstoffe, etwa bei der Formulierung von Carotinoiden, werden häufig Kohlenhydrate verwendet.

Ergebnisse dieser Formulierungen sind neben den erwähnten Micellen auch Liposome oder bei Verwendung von Kohlenhydraten auch so genannte Nanokapseln. Bei der Herstellung werden gängige Technologien, die teilweise seit Jahrzehnten in der Lebensmittelherstellung verwendet werden, eingesetzt. Dabei handelt es sich z.B. um Emulgation und Hochdruck-Homogenisierung oder Verfahren der Kolloidchemie, die auf den Eigenschaften von Kolloiden mit Teilchengrößen im nanoskaligen Bereich beruhen. Die Verkleinerung der Teilchen ist dabei oft ein gradueller Prozess. Ob dabei eine neue Funktionalität auftritt, muss bei jeder Formulierung neu untersucht werden. Generell gilt aber, dass eine technisch aufwändige und teure Herstellung sehr kleiner Teilchen mit einer nützlichen neuen Funktionalität verbunden ist, in der Regel mit einer verbesserten Löslichkeit und/oder einer erhöhten Bioverfügbarkeit der mit den Trägerstoffen transportierten Substanzen.

Im Folgenden wird auf die wichtigsten Grenzfälle näher eingegangen.

4.3.1. Micellen

Micellen sind einlagige kugelförmige Partikel und messen in der Regel 5–100 nm im Durchmesser. Sie bestehen aus amphiphilen Molekülen, die in wässrigen Systemen im Inneren lipide Substanzen beherbergen und damit wasserunlösliche Substanzen in Wasser in Lösung bringen können (Chen et al. 2006; Weiss et al. 2006). Die Bildung der Micellen verläuft spontan. Diese Aggregate sind weich und flexibel und stehen mit ihrer Umgebung in dynamischem Austausch. Insofern suggeriert der umgangssprachliche Begriff «Nanokapseln» fälschlicherweise ein starres Gebilde.

Micellare Systeme für die Anwendung in Lebensmitteln wurden erst in jüngster Zeit entwickelt. Diese basieren auf Polysorbaten, die als Lebensmittelzusatzstoffe unter den Nummern E 432–436 erst in den 90er Jahren für die Anwendung in Lebensmitteln eine breite Zulassung erfuhren. Polysorbate werden aus Sorbit und Fettsäuren chemisch synthetisiert. Polyglycerinfettsäureester sind ebenfalls Micellbildner und werden z.B. bei SunActive Fe, einer geschmacksneutralen Formulierung eines Eisenzusatzes verwendet. Polyglycerinfettsäure-

ester sind in der bei SunActive verwendeten Form mit einem hohen Anteil von langkettigen Polyglycerinfettsäureestern in der EU bisher nicht zugelassen.⁸

Die Möglichkeiten, die sie für die Löslichkeit und Bioverfügbarkeit von fettlöslichen Substanzen, etwa Vitaminen, bieten, kann lebensmitteltechnologisch als eine neue Eigenschaft bewertet werden.

Auf der anderen Seite ist Micellenbildung mithilfe von Gallensalzen und Phospholipiden auch ein natürlicher Bestandteil der Verdauung; die gebildeten Micellen dienen als Transportvesikel für Cholesterin, fettlösliche Vitamine, Lipide, freie Fettsäuren, Glycerine etc. und deren Resorption ins Blut. Diese sind von Grösse und Struktur her Micellen aus Polysorbaten sehr ähnlich. Dennoch wurden Micellen aufgrund ihrer neuen Eigenschaften und ihres anthropogenen Herstellungsprozesses in den Untersuchungsgegenstand dieser Studie mit aufgenommen. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass in der Debatte um Nanotechnologie in Lebensmittel Micellen einen festen Bestandteil darstellen (BUND 2008; Chen et al. 2006; Schneider 2007; Weiss et al. 2006).

4.3.2. Liposome

Liposome sind Gebilde bzw. Tröpfchen, die doppelagig⁹ mit amphiphilen Lipiden umgeben sind. Lipide, die für Liposome verwendet werden, sind z.B. das Phospholipid Lecithin (E 322), das überwiegend aus Soja gewonnen wird und ein natürlicher Bestandteil von Biomembranen ist. Liposome variieren in ihrer Grösse, zumeist liegen sie bei mehreren hundert Mikrometern, und können durch prozesstechnologische Optimierungen bis zum Nanometerbereich verkleinert werden (Chen et al. 2006; Weiss et al. 2006). Dies bedeutet, dass Liposome nicht automatisch in den Untersuchungsrahmen fallen, sondern in Abhängigkeit von dem verwendeten Emulgator sowie der herstellungsbedingten Tröpfchengrösse beurteilt werden müssen. Die Verkleinerung von Liposomen ist ein gradueller Prozess. Allgemein gilt aber, dass bei einer Verkleinerung die reaktive Oberfläche vergrössert wird: Dies wirkt sich negativ auf die Stabilität

⁸ Bei den in der EU zugelassenen Polyglycerinestern von Speisefettsäuren (E 475) muss der Glycerinanteil vorwiegend aus Di-, Tri- und Tetraglycerin bestehen und darf nicht mehr als 10% Polyglycerine enthalten (Richtlinie 98/86/EG der Kommission vom 11. November 1998 zur Änderung der Richtlinie 96/77/EG der Kommission zur Festlegung spezifischer Reinheitskriterien für andere Lebensmittelzusatzstoffe als Farbstoffe und Süßungsmittel).

⁹ Sie können – je nach Herstellungsprozess – auch multilamellar sein.

aus, kann aber die Bioverfügbarkeit erhöhen. Das bedeutet, dass von einer neuen Funktionalität ausgegangen werden kann.

Andererseits finden Liposome aufgrund des sehr kostenintensiven Herstellungsprozesses in Lebensmitteln bislang kaum Anwendung. Liposome in nanoskaliger Form herzustellen, verringert zusätzlich ihre Stabilität. Ob die Relevanz nanoskaliger Liposome im Lebensmittelsektor in Zukunft steigen wird, kann momentan nicht abschliessend beurteilt werden. Trotzdem wurden aufgrund der neuen Funktionalitäten Liposome in den Untersuchungsgegenstand der Studie zunächst mit aufgenommen.

4.3.3. Beta-Cyclodextrin

Beta-Cyclodextrin ist ein weiterer Trägerstoff, bei dem ebenfalls umstritten ist, ob er unter den Begriff Nanotechnologie einzustufen ist. Bei Beta-Cyclodextrin handelt es sich um ein ringförmiges Molekül aus Glucoseeinheiten mit einem Durchmesser von 1 nm, in dessen Innenraum hitzeempfindliche Aromen, Farbstoffe oder Enzyme eingebunden werden und so die Hitze beim Backen oder lange Lagerzeiten überstehen können. Beta-Cyclodextrin ist als Zusatzstoff E 459 zugelassen und kann vom Organismus nicht verwertet werden. Die Herstellung erfolgt aus Stärke mithilfe von Enzymen aus Bakterien.

Die Nanoskaligkeit, verbunden mit der einzigartigen Möglichkeit der Formulierung bestimmter Substanzen, ist Grund, dass Beta-Cyclodextrin in den Untersuchungsrahmen dieser Studie fällt.

4.3.4. Mikroverkapselung

Zur Verkapselung von nicht wasserlöslichen Verbindungen wie Vitaminen, Carotinoiden, Aromen sowie Ölen und Fetten wird in der Regel eine (Nano)-Emulsion¹⁰ hergestellt, in einem Trocknungsschritt in Stärke, Gelatine o.ä. ein-

¹⁰ In diesen sehr feinen Öl-in-Wasser-Emulsionen besitzen die Fetttröpfchen einen Durchmesser von 50–200 nm. Dabei handelt es sich v.a. um das Ergebnis einer verfeinerten Prozesstechnologie, bei der auch Emulgatoren wie Lecithin eingesetzt werden. Bei den verwendeten Prozesstechnologien handelt es sich nach Sanguansri et al. 2006 z.B. um Hochdruckhomo-

gebettet und anschliessend meistens zu Pulver getrocknet. Die Öltröpfchen der Emulsionen sind üblicherweise deutlich kleiner als 1000 nm; die Pulverpartikel liegen in der Regel in grösseren Partikeln im Mikrometerbereich vor. Derartige Formulierungen wurden schon vor vielen Jahren entwickelt. So stammt beispielsweise ein US-Patent zur Vitaminverkapselung aus dem Jahre 1956,¹¹ ein weiteres zur Formulierung von Aromen aus dem Jahre 1973.¹² In solche Pulver werden Carotinoid-Zusatzstoffe formuliert, die als Farbstoffe und als gesundheitsfördernde Inhaltsstoffe in Getränken und bei Nahrungsergänzungsmitteln eingesetzt werden. Technologische Verbesserungen ermöglichen auch hier eine feinere Herstellung.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die technisch aufwändige und teure Herstellung von nanotechnologischen Formulierungen durch organische Trägerstoffe im Lebensmittelsektor dann eingesetzt wird, wenn eine neue Funktionalität auch Vorteile verspricht. Zuerst ist hier eine Stabilisierung, z.B. gegen Oxidation, zu nennen. Des Weiteren kann auch die Löslichkeit oder die Bioverfügbarkeit der mit den Trägerstoffen transportierten Substanzen erhöht werden. Möglicherweise lässt sich auch die Kinetik der Aufnahme durch den Körper verändern.

Diese Vorteile sind als neuartige Eigenschaften der Teilchen aufzufassen, so dass die genannten Formulierungen in den Untersuchungsbereich der Studie fallen. Zudem sind sie bereits ein fester Bestandteil der öffentlichen Debatte um Nanotechnologie in Lebensmitteln und sollten auch aus diesem Grund diskutiert werden.

genisation, Mikrofluidisierung, Ultraschall- und Membran-Emulgierung bzw. einen elektrisierten koaxialen Flüssigkeitsstrahl.

¹¹ Vgl. US Patent 2756177: «Process for making fat-soluble vitamin active powder».

¹² Vgl. US Patent 3971852: «Process of encapsulating an oil and product produced thereby».

5. Analyse des Produkt- und Forschungsmarktes; Aspekte der Technikgenese

Neben der Definition des Untersuchungsgegenstandes bestand ein grundlegendes Arbeitspaket der Studie darin, den Stand nanotechnologischer Entwicklungen im Lebensmittelsektor aufzuzeigen. Mittels einer umfangreichen Recherche wurden sowohl für den **Schweizer Markt** als auch für den **Weltmarkt** diejenigen Produkte im Bereich der Lebensmittel und Lebensmittelverpackungen ermittelt, die bereits Nanokomponenten enthalten.

Das Ziel dieser Analyse bestand ferner darin, neben der **Spezifizierung der synthetischen Nanomaterialien** auch die jeweiligen Hersteller zu identifizieren, die **neuen Funktionalitäten/Eigenschaften** zu benennen und die bereits gesammelten Erfahrungen zu dokumentieren. Aufgrund der Fokussierung der Studie auf die spezifischen Verhältnisse der Schweiz erfolgte die Recherche des Schweizer Markts mit einer grösseren Detaillierungstiefe als die entsprechende Untersuchung für den Weltmarkt.

Um darüber hinaus auch die Potenziale für zukünftige Anwendungen und Produkte abschätzen zu können, wurden die aktuell zugänglichen Ergebnisse der nanotechnologischen **Forschung und Entwicklung** im Lebensmittelbereich ausgewertet. Dabei wurde auch vertieft auf die neuen Funktionalitäten eingegangen und untersucht, welche Visionen und welche Risiken ggf. mit der jeweiligen Innovation verbunden sind.

Bestandteil dieses Arbeitspaketes war weiterhin eine **Analyse der wirtschaftlichen Potenziale**, die für die Hersteller- und Zuliefererfirmen der nanotechnologischen Produkte bzw. Komponenten absehbar sind. Hierbei handelte es sich um eine Schätzung auf Basis aktueller Umsatzwerte, die vor dem Hintergrund der kurz- bis mittelfristig zu erwartenden Produkte und Anwendungen extrapoliert wurden.

In Ergänzung zur Abschätzung der wirtschaftlichen Potenziale wurde auch eine **ökologische Relevanzanalyse** vorgenommen. In Frage kommt eine solche Untersuchung v.a. bei Lebensmittelverpackungen mit Nanokomponenten, die eine Substitution vergleichsweise umweltbelastender Verpackungsmaterialien wie Glasflaschen und Metalldosen ermöglichen.

Weiterhin wurden innerhalb dieses Arbeitspaketes auch **Aspekte der Technikgenese** analysiert, um die Perspektive der Technikfolgenabschätzung zu vervollständigen.

In diesem Zusammenhang werden insbesondere die Beweggründe («Treiber») für die Entwicklungen im Bereich der Lebensmittel und Lebensmittelverpackungen eingehender untersucht.

5.1. Vorgehensweise und verwendete Informationsquellen

Die Recherche zu dem vorliegenden Arbeitspaket wurde als zweistufiger Prozess angelegt: Zunächst erfolgte ein breit angelegtes Screening der gesamten Prozesskette zur Herstellung von Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen, wobei insbesondere auch die landwirtschaftliche Produktion auf den möglichen Einsatz von Nanomaterialien hin untersucht wurde. Im Anschluss daran wurden diejenigen Produktgruppen einer vertieften Analyse unterzogen, die sich im Rahmen des Screening-Prozesses als besonders relevant erwiesen haben.

Dabei stützte sich die Recherche sowohl in der Screening- als auch in der Vertiefungsphase in erster Linie auf eine Auswertung bereits vorhandener Sekundärquellen. Ziel der Recherche war es, Hypothesen zu bilden bzw. bereits vorhandene zu festigen, den Problemhorizont zu erweitern und den empirischen Forschungsbedarf für die Stakeholderbefragung zu ermitteln.

Als Informationsquellen wurden v.a. einschlägige Literatur, Produkt-Datenbanken und Internetauftritte der jeweiligen Hersteller verwendet. Um die (vorläufigen) Ergebnisse der Quellenauswertung abzusichern und zu vertiefen, wurde ferner vor Ort ein Screening des Angebots im schweizerischen Lebensmittel Einzelhandel vorgenommen. Ausserdem wurden die aufgestellten Hypothesen bereits durch eine punktuelle Befragung von Experten abgesichert. Auf die einzelnen Informationsquellen wird in Anhang 3 näher eingegangen.

5.2. Ergebnisse der Marktrecherche bei Lebensmitteln

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Marktrecherche vorgestellt. Dabei handelt es sich ausschliesslich um Produkte, die für die Konsumentinnen und Konsumenten bereits kommerziell erhältlich sind. Hierbei wurde eine Differenzierung nach Produkten vorgenommen, die auf dem Schweizer Markt erhältlich sind, und solchen, die auf dem Weltmarkt angeboten werden.

5.2.1. Schweizer Markt

Im Rahmen der durchgeführten Recherchen konnten für den Schweizer Markt nur vergleichsweise wenig Produkte identifiziert werden, die zweifelsfrei synthetische Nanomaterialien enthalten. Dabei handelt es sich um Lebensmittel mit Zusatzstoffen, die entsprechend des verwendeten erweiterten Definitionsbereichs (vgl. Kapitel 4.2) als synthetische Nanomaterialien bezeichnet werden können. Folgende nanoskalige Zusatzstoffe sind auf dem Schweizer Markt erhältlich:

Amorphes Siliziumdioxid

Amorphes Siliziumdioxid (E 551) wird als Trennmittel, Fließhilfe (Verdickung) und Rieselhilfe (Antiklumpmittel) in pulverigen Lebensmitteln seit Jahrzehnten eingesetzt. Die Handelsnamen sind AEROSIL® 200 F und AEROSIL® 380 F von Degussa/Evonik;¹³ CAB-O-SIL® von Cabot Corporation¹⁴ und (hydrophile) HDK® von Wacker.¹⁵ Siliziumdioxid ist als amorphes synthetisches Siliziumdioxid zugelassen, das entweder durch Fällung aus Wasserglas oder aus Silan in der Flamme (pyrogene Kieselsäure) hergestellt wurde (Rathjen 2007). Die Primärpartikelgrösse beträgt 5 bis 50 nm. Die Partikel aggregieren jedoch um-

¹³ <http://www.aerosil.com/aerosil/en/industries/food/> [abgerufen am 03.09.2007].

¹⁴ <http://w1.cabot-corp.com/controller.jsp?entry=market&N=23+4294967122+1000;>
[http://www.cabot-corp.com/cws/businesses.nsf/8969ddd26dc8427385256c2c004dad01/cd726d7fb856ac4a85257089005b96a7/\\$FILE/TD-100d.pdf](http://www.cabot-corp.com/cws/businesses.nsf/8969ddd26dc8427385256c2c004dad01/cd726d7fb856ac4a85257089005b96a7/$FILE/TD-100d.pdf) [abgerufen am 03.09.2007].

¹⁵ http://www.wacker.com/internet/webcache/de_DE/IndApp/Food/Food-Nut_Apps_200507_d.pdf [abgerufen am 18.09.2007].

gehend (Aggregatsgrösse 100 nm bis 1 µm) und agglomerieren zu Partikeln in einer Grössenordnung von 1 bis 250 µm (ECETOC 2006). Diese grösseren Agglomerate lösen sich in der wässrigen Umgebung des Magen-Darm-Trakts auf. Aus diesem Grund fällt E 551 in den Untersuchungsrahmen der Studie.

Wegen der hygroskopischen¹⁶ Eigenschaften des amorphen Siliziumdioxids, das auf die Porosität der Aggregate zurückzuführen ist, wird E 551 in Gewürzen zur Regulation des Feuchtigkeitsgehaltes eingesetzt; ansonsten fungieren die Partikel als Abstandhalter. Der Nutzen besteht folglich im Schutz des Produkts und einer aufgrund der verbesserten Rieselfähigkeit erleichterten Handhabung (v.a. bessere Dosierbarkeit) durch die Verbraucherin oder den Verbraucher (Rathjen 2007).

Amorphes SiO₂ wurde toxikologisch untersucht¹⁷ und gilt als unbedenklich (FAO 1969; WHO 1974).

Von vielen Expertinnen und Experten wird eine erneute Sicherheitsbewertung unter Berücksichtigung der Grössenverteilung der Primärpartikel und Aggregate als nicht erforderlich erachtet.

Experten des deutschen Bundesinstituts für Risikobewertung äussern hingegen Bedenken: Nach Gürtler (2006) ist eine Neubewertung dann erforderlich, wenn SiO₂ in Form von neuartigen Nanopartikeln eingesetzt wird, da bei den vorliegenden toxikologischen Prüfungen die genaue Partikelgrössenverteilung nicht erfasst wurde. Hinweise, wonach SiO₂-Nanopartikel die Funktionen des Zellkerns stören können (Chen u. von Mikecs 2005), sind für oral aufgenommenes amorphes SiO₂ nicht relevant (Krug 2008).

Bei einem Testeinkauf im Schweizer Lebensmitteleinzelhandel wurden z.B. bei Coop, Denner und Migros diverse Würzmischungen und Streuwürzen mit E 551 identifiziert.

Auf Nachfragen des Handels verwiesen die jeweiligen Zulieferer darauf, dass es sich um ein «traditionelles Trennmittel» handelt, «das in der Lebensmitteltechnologie schon seit Jahrzehnten eingesetzt wird». Zulieferer des Schweizer Handels beschreiben E 551 überwiegend als mikroskalig bzw. mikrokristallin

¹⁶ Dies bezeichnet die Eigenschaft, Feuchtigkeit aus der Umgebung (meist in Form von Wasserdampf aus der Luftfeuchtigkeit) zu binden.

¹⁷ Die Untersuchungen umfassten Fütterungsversuche über 3 Monate an Ratten, Kaninchen, Hunden und Hühnern und Langzeitstudien über 2 Jahre an Ratten sowie vereinzelte Untersuchungen an Menschen.

(Gubser 2007). Das bedeutet, dass E 551 vom Handel nicht als ein nanoskaliger Zusatzstoff eingeordnet wird.

Eine Anwendung von amorphem SiO_2 in neuartiger nanoskaliger Struktur ist zwar durchaus denkbar, wird aber von Experten für den Lebensmittelsektor als zu aufwändig und teuer erachtet. Dass bei nanoskaligen amorphen SiO_2 allerdings eine Neubewertung notwendig ist, wurde im Projektbegleitkreis allgemein bestätigt.

Amorphes Siliziumdioxid wird darüber hinaus auch als Futtermittelzusatzstoff eingesetzt (ECETOC 2006). Die Zusatzstoffe E 551a¹⁸ und E 551b¹⁹ dienen ebenfalls als Trennmittel. Eine Kontamination des Endproduktes (Fleisch, Milch, Eier) ist bei diesem Zusatzstoff allerdings aufgrund der oben beschriebenen Eigenschaften nicht zu erwarten.

Carotinoide

Carotinoide finden als Farbstoffe und als gesundheitsfördernde Inhaltsstoffe in Getränken und bei Nahrungsergänzungsmitteln Anwendung; Beta-Carotin wird auch als Provitamin-A eingesetzt. Carotinoide sind in Wasser unlöslich und empfindlich gegen Licht und Oxidation. Zur Stabilisierung werden Carotinoide deshalb als wasserlösliche, kolloidale Partikel mit einer Grösse²⁰ von etwa 200 nm und grösser in einer Matrix aus Hilfsstoffen und Zucker verkapselt. Die Verkaufsprodukte – auch Mikrokapseln genannt – sind Pulver mit Partikelgrössen von 100 bis 500 Mikrometern. Bei den verwendeten Hilfsstoffen handelt es sich um Filmbildner wie Gelatine, Casein, modifizierte Stärke (E 1450), Emulgatoren (Ascorbylpalmitat) und Zucker wie Laktose, Fructose, Sucrose und Dextrine. Die feine Teilchengrösse der Carotinoide bewirkt zum einen deren Wasserlöslichkeit, zum anderen, dass im Verdauungstrakt überhaupt eine signifikante Menge der Carotinoide aufgenommen werden kann. Für die Mikroverkapselung ist eine feine Verteilung der Carotinoidteilchen in den Pulverpartikeln notwendig. Die Hohlkugelchen aus Gelatine, Saccharose und Stärke können auch Coenzym Q10, Vitamine oder mehrfach ungesättigte Fettsäuren enthalten

¹⁸ Dabei handelt es sich um Kieselsäure, gefällt und getrocknet; hierbei entstehen Primärpartikel im Nanobereich, die ähnlich wie der pyrogenen Kieselsäure zu grösseren Teilchen aggregieren und agglomerieren.

¹⁹ Hierbei handelt es sich um kolloidales Siliziumdioxid (E 551).

²⁰ Dabei ist die Grösse abhängig vom jeweiligen Carotinoid.

(End et al. 2007). Die beschriebene Formulierung wurde bereits vor Jahrzehnten entwickelt und befindet sich seitdem auf dem Markt.²¹ Es wurden toxikologische Untersuchungen mit Carotinoiden unterschiedlicher Herkunft und in den oben benannten Formulierungen durchgeführt, in deren Folge sie als unbedenklich eingestuft wurden. Ferner gibt es für Beta-Carotin und Lycopon eine akzeptable Tagesmenge (ADI-Wert).²²

Die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit hat in einem Sicherheitsgutachten für den Einsatz von Lycopon als Lebensmittelfarbstoff einerseits Lycopon aus dem Pilz *Blakeslea trispora* bewertet sowie andererseits eine Neubeurteilung von Lycopon aus Tomatenextrakt²³ vorgelegt. Dabei wurden Tests mit Lycopon unterschiedlicher Herkunft in den oben beschriebenen Formulierungen ausgewertet. Der wissenschaftliche Ausschuss schlägt erstmalig für die Aufnahme von Lycopon einen ADI-Wert von 0,5 mg pro Kilogramm Körpergewicht pro Tag vor (EFSA 2008).

Für Beta-Carotin gilt bisher ein ADI-Wert von 5 mg pro Kilogramm Körpergewicht. Die allgemeine Zulassung von Beta-Carotin in verschiedenen Lebensmitteln unterliegt einer Mengenbeschränkung (Angabe «quantum satis»). Die Neubeurteilung durch die EFSA steht allerdings noch aus (Stand: Juni 2008).

Weltweit sind an der Carotinoidproduktion rund 70 Unternehmen beteiligt;²⁴ diese produzieren aber nicht alle die beschriebenen wasserlöslichen Carotinoidzusätze. Folgende Hersteller (in alphabetischer Reihenfolge) bieten wasserlösliche Carotinoidzusätze in Pulverform für Lebensmittel an, wobei die Liste nicht als vollständig zu betrachten ist:

- **Allied Biotech Corporation The Carotenoid Company** (Deutschland) vermarktet unter dem Handelsnamen «Altratene» Beta-Carotin (Altratene

²¹ Die ersten Entwicklungen solcher Formulierungen wurden von der Schweizer Firma Hoffmann-la Roche entwickelt (Patent CH420822 von 1960 «Wasserdispersierbare Carotinoidzubereitung»).

²² Der ADI-Wert (*Acceptable Daily Intake*) beziffert die tägliche Aufnahmemenge von Fremdstoffen in Lebensmitteln, die ein Mensch während seines Lebens täglich verzehren kann, ohne gesundheitliche Schäden davonzutragen.

²³ Im Auftrag der Europäischen Kommission nimmt die EFSA eine Neubeurteilung aller zugelassenen Lebensmittelzusatzstoffe in der EU vor. Farbstoffe sind dabei die erste Gruppe von Lebensmittelzusatzstoffen, die neu beurteilt werden (http://www.efsa.europa.eu/EFSA/efsa_locale-1178620753824_1178620787676.htm). Bisher war Lycopon aus Tomatenextrakt als E 160d zugelassen (Richtlinie 95/45/EG der Kommission vom 26. Juli 1995 zur Festlegung spezifischer Reinheitskriterien für Lebensmittelfarbstoffe).

²⁴ Vgl. <http://www.marketresearch.com/product/display.asp?productid=1560129&xs=r&SID=66826550-408197721-464464751&curr=USD&kw=&view=abs>.

- 1% WSC, Altratene 5% WSC, Altratene 10% WSC, Altratene 10% WSC/N);²⁵
- **BASF** (Deutschland) bietet mit Lucarotin 10 CWD O Beta-Carotin für Getränke (End 2005) und mit LycoVit 10% DC²⁶ Lycopin für Nahrungsergänzungsmittel (v.a. Multivitamin-Tabletten) an;
 - **Chr Hansen** (Dänemark)²⁷ stellt niedrig konzentrierte, wasserlösliche Beta-Carotin-Lösungen²⁸ her;
 - **Cognis Group Nutrition & Health** stellt Carotinoid-Zusätze im Rahmen der Produktpalette «Betatene»²⁹ her;
 - **DSM** (Niederlande) übernahm 2002 die Division Vitamine und Feinchemikalien von Roche und damit die Weltmarktführung im Bereich der Vitamine und Carotinoide;³⁰ das Unternehmen bietet Beta-Carotin unter dem Handelsnamen «CaroCare» und «CaroPure» an;³¹
 - **Guangzhou Youbao Industry Co. Ltd** (China) vermarktet «natural beta-caroten 1% powder, 10% powder»;³²
 - **LycoreD** (UK) ist der Hersteller der Produkte «Lyc-O-Beta» mit Beta-Carotin³³ und «Tomat-O-Red» mit Lycopin;³⁴
 - **Phytone** (USA) ist Produzent von Beta-Carotin-Pulver.³⁵

Ferner wird darauf hingewiesen, dass es sich bei allen hier genannten Carotinoidzusätzen um synthetische Nanomaterialien entsprechend des in dieser Studie gewählten erweiterten Definitionsbereichs (vgl. Kapitel 4.2.) handelt.

²⁵ Vgl. <http://www.altratene.com/Product%20-%20BC%20-%20Powders.html>.

²⁶ Vgl. http://www.basf.com.mx/humannutrition/pdfs/HNCAR_60_012006.pdf [abgerufen am 10.06.2008].

²⁷ Vgl. <http://www.mychr-hansen.com/webapp/wcs/stores/servlet/CategoryDisplay?storeId=10001&langId=-101&catalogId=10101&categoryId=11903&path=10251,10270,11903>.

²⁸ Vgl. <http://www.mychr-hansen.com/webapp/wcs/stores/servlet/CategoryDisplay?storeId=10001&langId=-3&catalogId=10101&categoryId=11903&path=10251,10270,11903> [abgerufen am 09.06.2008].

²⁹ Vgl. <http://www.cognis.com/products/Business+Units/Nutrition+and+Health/Our+Products/Product+Catalog/> [abgerufen am 09.06.2008].

³⁰ Vgl. http://www.dsm.com/en_US/downloads/invest/annual_report_2007_en.pdf [abgerufen am 09.06.2008].

³¹ Vgl. http://www.dsm.com/en_US/html/dnp/prod_caro_beta.htm [abgerufen am 09.06.2008].

³² Vgl. <http://www.ecvv.com/product/vp542454/China-natural-beta-carotene.html> [abgerufen am 09.06.2008].

³³ Vgl. <http://www.lycored.com/web/content/betacarotene-formulations.asp> [abgerufen am 09.06.2008].

³⁴ Vgl. <http://www.lycored.com/web/content/lycopene-cwd.asp> [abgerufen am 09.06.2008].

³⁵ Vgl. <http://www.phytone.com/carotene.htm> [abgerufen am 09.06.2008].

Micellen

Micellen werden als Nanokapseln für Q10, Antioxidantien und Aromen oder sonstige fettlösliche Substanzen eingesetzt. Die Micellen können aus Polysorbat 20 (E 432) oder Polysorbat 80 (E 433) mit einem Durchmesser von 30 nm bestehen; mögliche Inhalte dieser Micellen können Vitamine, Omega-3-Fettsäuren, Coenzym Q10, Isoflavone, Flavonoide, Carotinoide, Pflanzenextrakte, ätherische Öle, Konservierungsstoffe, Farbstoffe oder bioaktive Substanzen sein. Hersteller solcher Micellen ist die Firma Aquanova GmbH in Deutschland,³⁶ die unter dem Produktnamen «NovaSOL» unterschiedliche Formulierungen anbietet.³⁷ miVital ist ein Schweizer Hersteller von Micellen.³⁸ Aquanova besitzt eine Reihe von Patenten zu der Micellenformulierung, die von anderen Unternehmen verwendet werden. Beispielsweise setzt BASF Micellen von Aquanova im Produkt «Solu™ E 200 Clear» ein. Dabei handelt es sich um eine Formulierung von Vitamin E in Polysorbat 20 (E 432).³⁹

Auf dem Schweizer Markt waren zu Beginn der Recherchen die **Wellness-, Gesundheits- bzw. Sportgetränke der Marke «actilife»** (Wellness Freshlife Q10, Wellness Energy Q 10, Wellness Balance Q 10, Fit Q10 mit Zitrone-, Apfel- und Kirsch-Geschmack) erhältlich. Diese Produkte wurden von der Handelskette Migros vertrieben und enthielten Micellen für Vitamin- und Q10-Verkapselung, die von der Schweizer Unternehmung miVital hergestellt werden (Schneider 2007). Alle genannten Produkte sind mit dem Logo «MICELLE Q10 INSIDE» gekennzeichnet. Die Substanz der Micellen wurde in der Zutatenliste angegeben; es handelt sich dabei um den Emulgator E 433 (Polysorbat 80).

³⁶ Vgl. <http://www.aquanova.de> [abgerufen am 10.07.2007]; Aquanova besitzt eine Reihe von Patenten zu der Micellenformulierung, u.a.: EP1645267: «Verfahren zur Herstellung eines Wirkstoffkonzentrates sowie Wirkstoffkonzentration»; WO2007101495: «Solubilizates of Preservatives and Method for Producing the Same»; für Deutschland: «Solubilisat eines Konservierungsmittels»; US2007148193: «Lutein concentrate»; DE102005056381: «Solubilizate of plant extract that contains active agent, useful as additive for e.g. cosmetics, pharmaceuticals and foods, includes water and emulsifier»; DE20321405U: «Wirkstoffkonzentrate»; EP1768497: «Essential Oil and other Substance Solubilised Products»; EP1698328: «Concentrate of Tocopherol».

³⁷ Vgl. <http://www.aquanova.de/index.php?site=index.html&dir=&nav=51> [abgerufen am 09.06.2008].

³⁸ Vgl. <http://www.mivital.ch/>; http://www.moneyhouse.ch/u/mivital_ag_CH-320.3.059.904-3.htm [abgerufen am 09.06.2008].

³⁹ Vgl. http://www.basf.cl/quimicafina/nutricionhumana/fichastecnicas/vitaminas/liposolubles/solu_e200_clear.pdf [abgerufen am 12.03.2008].

Allerdings wurden die Produkte Actilife Fit (Artikelnummern 1220.001 bis 1220.003) und Actilife Wellness (Artikelnummern 1204.040, 042, 044) Ende Mai 2008 bei Migros aus dem Sortiment genommen. Diese Entscheidung wurde laut Migros nach üblichen Marketingüberlegungen getroffen und hat nichts mit der Debatte um Nanotechnologie in Lebensmitteln zu tun (Gubser 2008).

Weitere Trägerstoffe

Als Nanokapseln können auch andere Trägerstoffe, z.B. Beta-Cyclodextrine (E 459) oder Liposome (E 322), eingesetzt werden. Cyclodextrine (organische Trägermoleküle von Aromen oder im Fall von OMEGADRY® auch von Omega-3-Fettsäuren) werden von der Firma Wacker hergestellt.⁴⁰ Andere Hersteller von Beta-Cyclodextrin als Lebensmittelzusatzstoff sind unter anderem das französische Unternehmen Roquette Frères⁴¹ sowie zahlreiche asiatische Unternehmen wie die chinesische Shandong Xinda Fine Chemical Co. Ltd⁴² oder Zibo Qianhui Fine Chemical Co. Ltd.⁴³

5.2.2. Weltmarkt

In Ländern ausserhalb der Schweiz werden darüber hinaus auch noch andere Nanokapseln als Lebensmittelzusatzstoffe in Nahrungsergänzungsmitteln eingesetzt. Dabei handelt es sich um Micellen aus Polyglycerinfettsäureester, die einen hohen Anteil von langkettigen Polyglycerinfettsäureestern enthalten.⁴⁴ Auf Micellen aus derartigen Polyglycerinfettsäureestern basiert beispielsweise das

⁴⁰ Vgl. http://www.wacker.com/internet/webcache/de_DE/IndApp/Food/Food-Nut_Apps_200507_d.pdf [abgerufen am 18.09.2007].

⁴¹ Vgl. <http://www.roquette.com/eng/hfood.htm> [abgerufen am 01.06.2008].

⁴² Vgl. <http://sdxinda.en.tradechina.com/company/sdxinda/product.html> [abgerufen am 01.06.2008].

⁴³ Vgl. <http://www.sdz bqh.com/Enindex.asp> [abgerufen am 01.06.2008].

⁴⁴ Nach Fidler (2003) EP0870435 «Mineral Composition»: The polyglycerol esters of fatty acids of which constituent is a polyglycerol which contains 70% by weight or more of a polyglycerol having a degree of polymerization of 3 or more are more preferably used. The polyglycerol-esters of fatty acids of which constituent is a polyglycerol which contains 70% by weight or more of a polyglycerol having a degree of polymerization of 3 to 11 are particularly preferably used. (<http://v3.espacenet.com/textdoc?DB=EPODOC&IDX=EP0870435&F=0> [abgerufen am 09.06.2008]).

Produkt «**SunActive Fe**»™ der Firma Taiyo Kagaku aus Japan (vgl. hierzu auch Kapitel 5.3). Hierbei werden Eisenpyrophosphat-Partikel mit Emulgatoren formuliert, so dass die Teilchen in flüssigen Produkten suspendiert bleiben.⁴⁵

In der EU und in der Schweiz sind Polyglycerinester von Speisefettsäuren (E 475) zugelassen, wenn der Glycerinanteil vorwiegend aus Di-, Tri- und Tetraglycerin besteht; zudem dürfen die Polyglycerinester nicht mehr als 10% Polyglycerine enthalten.⁴⁶

Das israelische Unternehmen NutraLease vermarktet nanoskalige, sich selbsttätig arrangierende Flüssigkeitsstrukturen (*Nano-sized Self-assembled Liquid Structures* – **NSSL**), die als Carrier und Formulierung für Coenzym Q10, Lutein, Lycopin Phytosterol, Vitamin D und Vitamin E dienen.⁴⁷ Nach Angaben von NutraLease werden diese Zusatzstoffe in Zukunft in verschiedenen Lebensmitteln und Getränken zum Einsatz kommen. Das entsprechende Patent WO03105607 «Nano-sized Self-assembled Structured Liquids»⁴⁸ beschreibt allgemein, wie mittels oberflächenaktiver Stoffe öl- oder wasserlösliche Kapseln hergestellt werden, wobei micellare Strukturen entstehen.

Das **Speiseöl «Canola Active Oil»** mit Phytosterol-Anreicherung der israelischen Firma Shemen Industry Ltd. beruht auf einer Formulierung von NutraLease.^{49, 50} Der Hersteller führt «Canola Active Oil» jedoch inzwischen nicht mehr auf seinen Internetseiten.⁵¹

Auf dem Weltmarkt werden zudem diätetische Produkte von den Herstellern als nanotechnologische Produkte ausgelobt, die auf nanotechnologischen Formulierungen von Aromen oder Nährstoffen beruhen. So wurden die Diät-Milchshakes «**FitLine® Gourmet Shakes**» mit den Geschmacksrichtungen Soya

⁴⁵ Vgl. http://www.taiyointernational.com/News/News_Detail.asp?nid=10 [abgerufen am 12.03.2008].

⁴⁶ Vgl. Richtlinie 98/86/EG der Kommission vom 11. November 1998 zur Änderung der Richtlinie 96/77/EG der Kommission zur Festlegung spezifischer Reinheitskriterien für andere Lebensmittelzusatzstoffe als Farbstoffe und Süßungsmittel; Verordnung des EDI über die in Lebensmitteln zulässigen Zusatzstoffe (Zusatzstoffverordnung, ZuV) vom 23. November 2005 (Stand am 27. Dezember 2005), AS 2005 6191.).

⁴⁷ Vgl. <http://www.nutralease.com/index.asp> [abgerufen am 23.07.2007].

⁴⁸ Vgl. <http://v3.espacenet.com/textdoc?DB=EPODOC&IDX=WO03105607&F=0> [abgerufen am 01.06.2008].

⁴⁹ Vgl. <http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/browse/products/5013/> [abgerufen am 09.06.2008].

⁵⁰ Vgl. http://www.nutralease.com/c_cooperation.asp [abgerufen am 09.06.2008].

⁵¹ Vgl. <http://www.shemenb2b.co.il/English/Default.aspx> [abgerufen am 10.06.2008].

Cappuccino, Soya Vanille, Schoko, Bourbon Vanille und Erdbeere der Firma FitLine zeitweilig mit dem Zusatz «mit Nano-Technologie» beworben; das Produkt soll angeblich «nano-tech nutrients» enthalten.⁵² Auf telefonische Anfrage hin erläuterte das Unternehmen, dass es sich um ein besonderes «Nährstofftransportkonzept» handelt, welches aus Gründen des Produktgeheimnisses von PM International nicht näher erläutert werden kann. Ebenfalls online erhältlich sind die Diät-Milchshakes «**Slim Shake Vanilla**» und «**Slim Shake Chocolate**» der Firma RBC Life Science, deren «nano-clusters» Aromen aufnehmen.⁵³ Auch bei diesen Produkten äusserte sich der Hersteller nicht zu der genauen Spezifikation der Nanomaterialien. Da im Rahmen dieser Studie keine labor-technischen Untersuchungen zum Nachweis von Nanomaterialien bei einzelnen Produkten vorgesehen waren, konnte nicht abschliessend geklärt werden, ob und um welche Art von synthetischen Nanomaterialien es sich in diesen Milchshakes handelt.

5.3. Ergebnisse der Marktrecherche bei Nahrungsergänzungsmitteln

Die Recherche bei den Nahrungsergänzungsmitteln ergab, dass – anders als bei den Lebensmitteln und Lebensmittelzusatzstoffen – die Hersteller in diesem Segment die Nanoskaligkeit ihrer Produkte aktiv bewerben.

Bei den verwendeten Nanomaterialien handelt es sich zumeist um **Micellen**. Es ist im Einzelfall jedoch zumeist nicht nachvollziehbar, aus welchen chemischen Substanzen diese genau bestehen. Es könnte sich dabei sowohl um Polysorbate als auch Proteine handeln. Ausserdem konnte im Rahmen der Recherche nicht überprüft werden, ob in den identifizierten Produkten tatsächlich synthetische Nanomaterialien vorliegen.

Aus toxikologischer Sicht ist bei den verwendeten Micellen kein hohes Risikopotenzial zu befürchten, wenn die hier verwendeten Substanzen als Lebensmittelzusatzstoffe zugelassen wurden.

⁵² Vgl. http://6007222.pm-i.info/pagemain/?action=product&tab=6&p_id=1330&a_id=56 [abgerufen am 07.05.2008].

⁵³ Vgl. <http://www.rbcla.com/index.php> [abgerufen am 24.07.2007].

In der folgenden Tabelle sind Nahrungsergänzungsmittel mit Nanokomponenten zusammengestellt, die fast ausschliesslich über das Internet vertrieben werden, so dass diese auch für Konsumentinnen und Konsumenten aus der Schweiz verfügbar sind. Da der Markt im Bereich der Nahrungsergänzungsmittel dynamisch ist, führt diese Tabelle möglicherweise nicht alle Produkte auf bzw. sind bestimmte Produkte (für die Schweiz oder generell) nicht mehr verfügbar.

Von den Produktbeschreibungen her handelt es sich bei den Produkten um Lebensmittel (und nicht um Heilmittel), da sie lediglich eine unspezifische Verbesserung des Wohlbefindens bezwecken sollen (vgl. hierzu Kapitel 6).

Tabelle 1 Nahrungsergänzungsmittel, die mit Nanotechnologie beworben werden

Produkt	Produktname	Spezifikation des Nanomaterials	Hersteller
<i>Tröpfchenpräparat mit Omega-3-Fettsäuren und Vitamin E</i>	<i>FitLine Omega3 + E mit NanoSolve® Technologie</i>	<i>Formulierung der fettlöslichen Bestandteile</i>	<i>PM-International AG (Lux); Vertrieb in der Schweiz: Liguma AG</i>
<i>Tröpfchenpräparat mit Q10 und Vitamin E</i>	<i>FitLine Q10 PLUS Emusol – mit NanoSolve®</i>	<i>keine Angaben</i>	<i>PM-International AG (Lux); Vertrieb in der Schweiz: Liguma AG</i>
<i>Trinkfläschchen mit Q10, verschiedenen Spurenelementen und Vitaminen</i>	<i>NovaKur Q10 plus</i>	<i>Q10 (das fettlösliche Coenzym ist bei kleiner Partikelgrösse wasserlöslich)⁵⁴</i>	<i>NovaConcept N.E. GmbH (D)</i>
<i>Kapseln mit Silizium</i>	<i>Nanosan Nanosilicium</i>	<i>Silizium in Nanoform</i>	<i>Life Light Generation (D)</i>
<i>Kapseln, «Aufbaupräparat»</i>	<i>Nanovital Kapseln</i>	<i>keine Angaben</i>	<i>Salomed GmbH (AT)</i>

⁵⁴ Das verwendete Nanomaterial liegt nach Angaben des Herstellers in «Arzneimittelqualität» vor und bewirkt eine Steigerung der Vitalität und eine Stärkung des Immunsystems durch erhöhte Resorption.

Produkt	Produktname	Spezifikation des Nanomaterials	Hersteller
<i>Kapseln mit Siliziumsol und Vitamin E und C</i>	<i>Nano-Life by Carlo Thraenhardt</i>	<i>Siliziumsol in Nanoform</i>	<i>Life Light Generation Vertriebs GmbH (D/Healthy Generat. GmbH)</i>
<i>Pulver oder Lösung mit Calcium und Magnesium</i>	<i>Nano Ca/Mag supplement</i>	<i>Ca, Mg⁵⁵</i>	<i>Mag-I-Cal.com (USA)</i>
<i>Anti-Aging-Kapseln</i>	<i>lifepak nano</i>	<i>Nano-Encapsulation⁵⁶</i>	<i>Pharmanex (USA)</i>
<i>Unterschiedliche Nahrungsergänzungsmittel in Tablettenform</i>	<i>Artichoke Nano-clusters; Cocoacaps; Spirulina Nano-clusters</i>	<i>«Nano-clusters», um Aromen aufzunehmen: reduzierte Oberflächenspannung, höhere Absorption</i>	<i>RBC Life Science (USA)</i>
<i>Nahrungsergänzung für Sportler in Tröpfchenform</i>	<i>C.L.E.A.N. Products</i>	<i>«nano-structured bio-regulators»</i>	<i>SportMedix Inc. (USA)</i>
<i>Kolloidale Silberlösung; Silberhydrosol</i>	<i>Colloidal Silver Liquid; MesoSilver; Utopia Silver Supplements® Advanced Colloidal Silver; MaatShop™ Crystal; Clear Nano Silver; Nanoceuticals™ Silver 22 NanoSil™-10 Silvix3®; Sovereign Silver™</i>	<i>Silber-Nanopartikel</i>	<i>Skybright Natural Health (NZ); Purest Colloids Inc. (USA); Utopia Silver Supplements; MaatShop™ RBC Life Sciences® Inc. (USA); Greenwood Consumer Products (USA); Natural Care® Products (USA); Natural-Immunogenics Corp. (USA)</i>

⁵⁵ Die verwendeten Nanopartikel wirken nach Angaben des Herstellers gesundheitsfördernd und knochenstärkend.

⁵⁶ Die verwendeten Nanocontainer bewirken nach Angaben des Herstellers eine Erhöhung der Bioverfügbarkeit der Vitamine/Nährstoffe (verbesserte Löslichkeit und Resorption).

Produkt	Produktname	Spezifikation des Nanomaterials	Hersteller
Lösungen mit kolloidalem Kupfer, Gold, Iridium, Palladium, Platin, Titan und Zink	MesoGold; Meso-Copper; MesoPlatinum; MesoPalladium; MesoIridium; MesoTitanium; MesoZinc	(Edel-)Metalle, jeweils in Nanopartikel	Purest Colloids Inc. (USA)
Pulver und Lösungen	Nano-2 Bio-Sim	Kieselgur in Nanogrösse	MaatShop™ (USA)
Gelartige Lösung mit Q10 und Vitaminen	Nutri-Nano™ CoQ-10 3.1x Softgels	Micellen als Trägersubstanz	Solgar (USA)

Darüber hinaus waren bis Juni 2006 auch Nahrungsergänzungsmittel der deutschen Firma **Neosino Nanotechnologies AG** auf dem Markt erhältlich. Dabei handelte es sich um Trinkampullen bzw. Kapseln mit Silizium, Calcium und Magnesium, wobei diese Elemente nach Angaben des Herstellers nanoskalig (6–30 nm) vorlagen und eine Stärkung des Immunsystems bewirkten.

Nach z.T. kontroversen Diskussionen über die Nanoskaligkeit der verwendeten Rohstoffe und die Wirksamkeit des Produkts werden die Produkte von der Firma Neosino derzeit nicht mehr als Nahrungsergänzungsmittel vertrieben. Stattdessen werden im Online-Shop⁵⁷ des Unternehmens gegenwärtig Kosmetikprodukte mit nanoskaligem Siliziumdioxid (z.B. Hautlotion, Kopfhaut-Pflegespray, Sonnenschutzspray) angeboten.

In der Stakeholderbefragung (vgl. Kapitel 9) wurden zudem als Nahrungsergänzungsmittel die Produkte der Firma **NanoSys GmbH fluids + consulting**, «**Nano-Argentum**», (Silberkolloide in Wasser mit Partikelgrösse von 26 nm) und «**Nano-Aurum**» (Goldkolloide in Wasser mit Partikelgrössen von 10 nm) angegeben.⁵⁸ Beide Produkte können ausschliesslich über Internet bezogen werden (Stand: März 2008) und sind in der Sparte Kosmetik/Wellness zu finden; die Angaben zur Verwendung sind äusserst allgemein gehalten: «Diese Ungiftigkeit für Menschen macht Nanosilber zu einer Alternative bei der Behandlung von jedwelchen Gebrechen und Wehwehchen.» Auch bei telefonischer Anfrage, wie Nano-Argentum und Nano-Aurum eingenommen werden können, wurde die Möglichkeit oraler Einnahme bestätigt. Die Firma bewegt sich mit solchen An-

⁵⁷ Vgl. <http://shopch.neosino.com>.

⁵⁸ Vgl. <http://www.nanosys.ch>.

gaben allerdings am Rande des Zulässigen, da ihre Produkte als Nahrungsergänzungsmittel in der Schweiz nicht zugelassen sind (Beer 2008).

Bei Produkten, die Nano-Silber- und Nano-Goldpartikel enthalten, stellt sich die Frage nach dem toxikologischen Risiko ganz unmittelbar. Beispielsweise verfügen Silber-Nanopartikel bekanntermassen über eine biozide Wirkung (Hussain et al 2005), während Gold-Nanopartikel nachweislich katalytische Wirkungen aufweisen (Cortie u. van der Lingen 2002). Die Aufnahme von Edelmetallen wie Silber, Gold, Platin, Palladium und Iridium ist zudem ernährungsphysiologisch nicht notwendig.⁵⁹

In Entwicklungsländern kann allerdings bei bestimmten Mikronährstoffen eine Mangelversorgung auftreten. Dafür werden zunehmend Formulierungen entwickelt, die Grundnahrungsmitteln wie Reis oder auch Speisesalz zugesetzt werden, um diese Lebensmittel mit den fehlenden Nährstoffen anzureichern. Bei dieser «**Fortification**» von Lebensmitteln stehen Formulierungen von Eisen, Zink, Vitamin A und Folsäure im Mittelpunkt.

Das Präparat **SunActive Fe™** der Firma Taiyo Kagaku (Japan) enthält Eisenpyrophosphat-Partikel, die derzeit durchschnittlich 0,5 µm gross sind.⁶⁰ Damit liegt die Partikelgrösse gegenwärtig zwar noch deutlich über dem Schwellenwert für Nanoskaligkeit, jedoch zielen die Forschungsarbeiten darauf, die Grösse der Eisenpyrophosphat-Partikel deutlich zu verringern, um die Absorption weiter zu steigern. Die Anreicherung von Lebensmitteln mit SunActive Fe™ stellt vor allem für sog. Drittweltländer eine Möglichkeit dar, Eisenmangel insbesondere bei anfälligen bzw. chronisch unterversorgten Bevölkerungsgruppen zu beheben. Mit dieser Zielstellung wurde SunActive Fe™ in einem Projekt auf den Philippinen⁶¹ Reis zugesetzt; in weiteren Projekten in Marokko und der Elfenbeinküste wurde Speisesalz mit SunActive Fe™ angereichert (Wegmüller et al. 2003). Das Produkt ist zudem in Trinkmischungen des Unternehmens Toddler Health enthalten.⁶²

⁵⁹ Neben den wasser- und fettlöslichen Vitaminen ist lediglich die Aufnahme der Mineralien Natrium, Chlorid, Kalium, Kalzium, Phosphor und Magnesium sowie der Spurenelemente Eisen, Jod, Fluor, Zink, Selen, Kupfer, Mangan, Chrom und Molybdän essenziell (DGE, ÖGE, SGE, SVE 2000).

⁶⁰ Vgl. http://www.taiyointernational.com/News/News_Detail.asp?nid=10 [abgerufen am 12.03.2008].

⁶¹ Vgl. http://www.sunactivefe.com/News/News_Detail.asp?nid=35.

⁶² Vgl. <http://www.toddlerhealth.net/OatVanillia.php> (Toddler Health Oat Base – Vanilla) bzw. <http://www.toddlerhealth.net/OatChocolate.php> (Toddler Health Oat Base – Chocolate).

Mit weiteren Eisen- oder Zink-Produkten auf nanotechnologischer Basis kann in einem Zeitraum von fünf Jahren gerechnet werden. Zusätzliche Vorteile der nanotechnologischen Formulierungen bestehen darin, dass Geschmack oder Farbe der Lebensmittel nicht beeinträchtigt werden. Zudem ist die Herstellung wesentlich kostengünstiger, weil geringere Mengen der Mineralien benötigt werden (Zimmermann 2008).

Die unter Lebensmittelzusatzstoffe erwähnten wasserlöslichen **Carotinoid-Formulierungen** können ebenfalls unter dem Gesichtspunkt der Lebensmittelanreicherung eingesetzt werden. Die Zusätze von weiteren Carotinoiden wie Lutein⁶³ und Zeaxanthin⁶⁴ werden als Inhaltsstoffe für Augengesundheit und als Medikation für spezifische medizinische Zwecke (gegen altersbedingte Makuladegeneration und grauen Star) angeboten. Zeaxanthin ist allerdings in Europa nicht zugelassen.

5.4. Ergebnisse der Marktrecherche bei Lebensmittelverpackungen

Im Gegensatz zu den Lebensmitteln, bei denen erst einige wenige Produkte auf dem Markt verfügbar sind, spielen synthetische Nanomaterialien bei Lebensmittelverpackungen bereits eine relativ bedeutende Rolle. Ursache hierfür ist, dass bei den Lebensmittelverpackungen in erster Linie Nanobeschichtungen verwendet werden, die eines der am weitesten fortgeschrittenen Einsatzgebiete der Nanotechnologie darstellen. Der Schwerpunkt der bereits vorhandenen Anwendungen ist bei folgenden Funktionalitäten von Lebensmittelverpackungen zu suchen (Langowski 2006):⁶⁵

- Barrierewirkung gegen Gase (v.a. Sauerstoff und Kohlendioxid) sowie Wasserdampf und Aromastoffe,

⁶³ Vgl. z.B. http://www.dsm.com/en_US/html/dnpus/di_lutein_5TG.htm [abgerufen am 10.06.2008].

⁶⁴ Vgl. z.B. http://www.dsm.com/en_US/html/dnpus/di_zeaxanthin_5TG.htm [abgerufen am 10.06.2008].

⁶⁵ Vgl. www.bfr.bund.de/cm/232/anwendung_der_nanotechnologie_in_materialien_fuer_den_lebensmittelkontakt.pdf.

- UV-Schutz bei gleichzeitiger Transparenz im sichtbaren Bereich,
- Verbesserung der mechanischen und thermischen Eigenschaften,
- antimikrobielle Wirkung.

Alle diese Funktionalitäten zielen primär darauf ab, die Haltbarkeit («Shelf-Life») der Lebensmittel zu verlängern.

5.4.1. Schweizer Markt

Auf dem Schweizer Markt werden folgende Lebensmittelverpackungen mit nanotechnologisch optimierten Barriereigenschaften bereits verwendet:

- **Verbundfolien zur Verbesserung der Sperreigenschaften gegenüber Sauerstoff, Wasserdampf und Aromastoffen** (v.a. für Snacks, Chips, Süß- und Backwaren): Dabei handelt es sich um Kunststofffolien (v.a. PP, aber auch PET, PA, PE, PVC und Zellulose), die im Vakuumverfahren (PVD) mit einer ca. 50 nm dicken Schicht aus Aluminium, Aluminiumoxid oder Siliziumoxid bedampft werden; um diese empfindliche Schicht zu schützen, wird die Folie mit einer Siegfolie kaschiert (Langowski 2006; Selke 2007; BMBF 2004⁶⁶).
- **PET-Flaschen mit optimierter Sauerstoff- und Kohlendioxid-Barriere** (v.a. für Bier und Fruchtsäfte): Zur Verbesserung der Sperreigenschaften der PET-Flaschen insbesondere gegenüber Sauerstoff werden diese üblicherweise mit amorphem Kohlenstoff oder Siliziumoxid überzogen; im Falle von amorphem Kohlenstoff (Actis-Verfahren der französischen Firma Sidel, Plasmax-Verfahren der schweizerischen Firma SIG, Plasma-Nano-Shield-Verfahren der japanischen Firma Kirin u. Mitsubishi Shoji Plastics) wird mittels Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition (PECVD) eine 20–200 nm (Actis) bzw. 20–40 nm (Plasma Nano Shield) dicke Sperrschicht auf der Innenseite der Flasche bzw. auf der Aussen-seite (Smartcoat-Verfahren der italienischen Firma SIPA) abgeschieden; bei Siliziumdioxid entsteht ebenfalls mittels PECVD eine 40–60 nm dicke Schicht, entweder auf der Innenseite (Glaskin-Verfahren der schwedischen Firma Tetra Pak) oder auf der Aussenseite (BestPET-Verfahren

⁶⁶ Vgl. http://www.bmbf.de/pub/nachhaltiges_wirtschaften_inno-ad_umweltforschung.pdf.

der deutschen Firma Krones, Actis-Lite-Verfahren von Sidel); eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung der Barriereigenschaften sowie der mechanischen Eigenschaften (Steifigkeit, Festigkeit) bei PET-Flaschen ist ein Multilayer-Aufbau aus nanoskaligen Schichtsilikat-Partikeln, die in eine Polyamid-Matrix eingebunden sind und auf beiden Seiten mit einer PET-Deckschicht coextrudiert werden; bei den Schichtsilikat-Nanopartikeln handelt es sich üblicherweise um oberflächenmodifizierte Montmorillonite mit einer Dicke von 1 nm und einem typischen Durchmesser von ca. 1000 nm; Hersteller der Schichtsilikat-Nanopartikel sind die amerikanischen Firmen Nanocor und Southern Clay Products, deren Produkte mit dem Handelsbezeichnung «Nanomer» bzw. «Cloisite» von zahlreichen Firmen weiterverarbeitet wird; beispielsweise verarbeiten Honeywell (USA) und Amcor (AUS) «Nanomer» und Polyamid-6 bzw. Polymamid-MXD6, um unter dem Handelsnamen «Aegis OX» bzw. «Bindox» einen Kompositwerkstoff für PET-Flaschen und Folien anzubieten, der zusätzlich auch über einen Sauerstofffänger verfügt. (Brody 2003; Langowski 2006; Nanocor 2005; Selke 2007; SIGPlasmax oJ).

Bezüglich einer möglichen Exposition der Konsumentinnen und Konsumenten mit Nanomaterialien ist zu sagen, dass ein Übergang von Nanopartikeln aus dem Verpackungsmaterial ins Lebensmittel insbesondere bei dünnen anorganischen Barrierschichten nicht auszuschließen ist, die auf der Lebensmittelseite (z.B. bei PET-Flaschen auf der Innenseite) durch PECVD aufgetragen werden. Dabei hängt die Wahrscheinlichkeit v.a. von der Schichthftung und dem Füllgut ab; im Falle der Ablösung liegen Nanopartikel mit den Dimensionen 10–40 nm mal einige μm vor. Im Gegensatz dazu ist das Risiko des Übergangs bei Schichtsilikat-Partikeln in einer Polyamid-Matrix, die mittels Coextrusion mit zwei PET-Deckschichten versehen wird, deutlich geringer. Die geringste Wahrscheinlichkeit des Übergangs ins Lebensmittel liegt bei Verbundfolien vor, bei denen die Schichtsilikat-Polyamid-Matrix auf beiden Seiten mit einer Deckschicht kaschiert wird. Jenseits dieser theoretischen Überlegungen wurde die Freisetzung von Partikeln aus dünnen Schichten und polymeren Matrices und das Vorkommen von Nanopartikeln in Lebensmitteln bislang kaum untersucht; auch sind die Mechanismen der Delamination und Freisetzung von Partikeln bei dünnen anorganischen Barrierschichten sowie das Durchdringen von Partikeln durch Polymerschmelzen noch weitgehend unerforscht (Langowski 2006).

5.4.2. Weltmarkt

Selke (2007) geht davon aus, dass im Jahre 2004 bereits 250 verschiedene Verpackungen mit Nanokomponenten auf dem Markt waren. Allerdings geht aus dieser Quelle nicht hervor, ob es sich bei diesen Verpackungen ausschliesslich um Lebensmittelverpackungen handelt.

Zusätzlich zu den auf dem Schweizer Markt erhältlichen Produkten kommen folgende Lebensmittelverpackungen mit Nanokomponenten auf dem Weltmarkt zum Einsatz:

- **Antimikrobielle Verpackungen:** Das Prinzip dieser Verpackungstechnologie besteht darin, in die Verpackungsmatrix (z.B. Folien) biozid wirkende Substanzen zu integrieren («incorporation») bzw. auf die Foliensoberfläche aufzutragen («coating»); als antimikrobielle Agenzien kommen entweder nanoskaliges Silber oder Zinkoxid zum Einsatz; inkorporierte Agenzien können an die Oberfläche des Verpackungsmaterials diffundieren und werden in gewisser Menge ins Produkt migrieren (Boysen 2006; Duong 2005); Japan stellt das Ursprungsland antimikrobieller Verpackungen dar, aber auch in den USA und Europa sind antimikrobielle Verpackungen bereits auf dem Markt verfügbar; beispielsweise stellt die englische Firma JR Nanotech Lebensmittelbehälter mit Nanosilber her (JR Nanotech 2007).
- **Verpackungen mit UV-Schutz:** Um die verpackten Lebensmittel vor der Oxidation durch UV-Licht zu schützen, werden dem Verpackungsmaterial nanoskaliges Zinkoxid, Magnesiumoxid bzw. Titandioxid zugefügt; beispielsweise bietet die US-Firma Nanophase Technologies Corporation unter der Handelsbezeichnung «NanoTek» nanopartikuläres Zinkoxid als antimikrobielles Agens und UV-Schutz für Beschichtungen, Kunststoffe und andere Polymersysteme an; die deutsche Firma Sachtleben stellt unter dem Namen «HOMBITEC RM 110» einen UV-Absorber mit nanopartikulärem Titandioxid (Partikelgrösse 15 nm) her, der in Lebensmittelfolien auf der Basis von Polyolefinen eingesetzt wird (Duong 2005; Nanophase 2007; Sachtleben 2007).
- **Verpackungen mit Reifensensoren:** Bei diesen Verpackungen messen integrierte Sensoren den Sauerstoffgehalt im Inneren der Verpackung und ein Indikator auf der Aussenseite wechselt die Farbe, wenn das Pro-

dukt seinen optimalen Reifegrad erreicht hat; Hersteller ist die neuseeländische Firma ripeSense (Selke 2007, ripeSense 2007).⁶⁷

Entsprechende Produkte sind aufgrund der vorhandenen Informationen auf dem Schweizer Markt derzeit noch nicht eingeführt. Angesichts der Verfügbarkeit der genannten Nanomaterialien bzw. Applikationen auf dem Weltmarkt wird jedoch davon ausgegangen, dass deren Einsatz bei Lebensmittelverpackungen für den Schweizer Markt nur eine Frage der Zeit ist.

Trotz der stürmischen Entwicklungen bei nanotechnologisch optimierten Verpackungen, oft auch als **«Active Packaging»** bzw. **«Smart Packaging»** bezeichnet, kommen in letzter Zeit auch vermehrt kritische Stimmen auf. In Hinblick auf antimikrobielle Verpackungen wird beispielsweise vor einem unbeabsichtigten Heranzüchten von hochresistenten Mikroorganismen, so genannten «Superbugs», gewarnt.

An dieser Stelle wird auf das Problem der antibiotikaresistenten Keime verwiesen, die aufgrund von zu häufiger und unspezifischer Behandlung von Bagatellinfektionen mit Antibiotika entstanden und nur schwer zu bekämpfen sind. Ausserdem wird die Kritik laut, dass antimikrobielle Verpackungen zu einem falsch empfundenen Hygienebewusstsein bei den Herstellern und Konsumenten führen, in dessen Folge es zu einer Vernachlässigung von Hygieneaspekten bei der Herstellung, Verarbeitung und Zubereitung der Lebensmittel kommen könnte (Duong 2005).

5.5. Ergebnisse der Marktrecherche bei Verarbeitungshilfsstoffen und Bedarfsgegenständen

Auch bei den Verarbeitungsprozessen für Lebensmittel konnten erste marktverfügbare Produkte identifiziert werden. Allerdings war es in diesem Segment noch nicht möglich, eine Differenzierung in Hinblick auf die Verfügbarkeit der Produkte auf dem Schweizer Markt/Weltmarkt vorzunehmen. Ähnlich wie bei den Lebensmittelverpackungen sind hier vor allem nanotechnologische Ober-

⁶⁷ Vgl. <http://www.ripesense.com/index.html>.

flächenbeschichtungen anzutreffen, z.B. Beschichtung von verfahrenstechnischen Aggregaten oder sonstigen Kontaktflächen:

- **Antihafbeschichtung für Backöfen und Backbleche:** Eine Entwicklung nennt sich «Best Skin»-Beschichtung; sie besteht aus Plasmapolymere und stellt einen wirksamen Schutz gegen Verschmutzung dar, so dass Bäckereibetriebe keine Blechreinigungsmaschinen mehr einsetzen müssen. Die Entwicklung fand durch das Fraunhofer Institut für Fertigungstechnik und angewandte Materialforschung in Bremen (D) statt. Vertrieben werden solche Backbleche von der deutschen Firma Kempf GmbH (Allgemeine Bäckerzeitung 2006), aber auch anderen kleineren Backzubehör-Betrieben in Deutschland, z.B. der Backtech GmbH⁶⁸. Eine entsprechende Vertriebsstruktur für die Schweiz konnte nicht ermittelt werden.
- **Katalytischer Friteuseneinsatz:** Das Produkt wird in den USA von der Firma OilFresh Corporation unter dem Handelsnamen «OilFresh 1000» vertrieben. Dieser Einsatz soll durch nanokeramische katalytische Pellets der Oxidation der Fettsäuren in gasbetriebenen Friteusen vorbeugen (Woodrow-Wilson-Datenbank⁶⁹).
- **Küchengeräte und -bedarfsgegenstände mit Nanosilberbeschichtung:** In Deutschland werden von der Firma Daewoo Kühlschränke mit Nanosilberbeschichtung angeboten.⁷⁰
Im weltweiten Massstab existieren bereits zahlreiche weitere Küchengeräte mit Nanosilberbeschichtung, z.B. Bestecke, Schöpflöffel und Pfannenwender der chinesischen Firma Nano Care Technology Ltd., Küchenbretter der koreanischen Firma A-DO Global Ltd. und eine mit Nanosilber beschichtete Teekanne der Firma SongSing Nano Technology Co. Ltd. in Taiwan (Woodrow-Wilson-Datenbank⁷¹).

In der Regel handelt es sich bei den Produkten vor allem um Antihafbeschichtungen, bei denen die verwendeten Nanomaterialien fest in eine Matrix eingebunden sind. Ausreichende Matrixstabilität vorausgesetzt, ist bei solchen Produkten kein grosses toxikologisches Risiko zu befürchten.

⁶⁸ Vgl. <http://www.bas-backtech.de/cgi-bin/home.pl?> [abgerufen am 28.08.2007].

⁶⁹ Recherchestand: 10.10.2007

⁷⁰ Vgl. http://www.daewoo-electronics.de/d/pics_products/FRS-2021IAL%20VIPP.pdf.

⁷¹ Vgl. http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/browse/categories/food_beverage/ [abgerufen am 07.05.2008].

Teilweise bezieht sich eine Auslobung von Produkten mit Nanotechnologie nicht auf die Zugabe von synthetischen Nanomaterialien. So bewirbt Miele die schmutzabweisende und schnittfeste Oberflächenbeschichtung mit Antihafteigenschaft «PerfectClean» mit Nanotechnologie.⁷² Diese beruht allerdings auf einer Veränderung der chemischen Eigenschaften der Emailoberfläche, die sich bis zu einer Tiefe von einigen Nanometern nachweisen lässt und für die sehr guten Reinigungseigenschaften sorgt (Luthe 2008).⁷³

Anders stellt sich die Lage dar, wenn die Beschichtungen aufgrund der erwünschten Funktionalität die eingebundenen Nanopartikel kontinuierlich abgeben. Diese Funktionalität kommt z.B. bei Beschichtungen mit Nano-Silber zum Einsatz, um Maschinen und Gerätschaften besser vor Verkeimung zu schützen.

Das deutsche Bundesinstitut für Risikobewertung hat eine Bewertung antimikrobieller Beschichtung von Kühlschränken durchgeführt, die auf Silberbeschichtungen beruhen.⁷⁴ Danach ist die Wirksamkeit der Silberbeschichtungen nicht belegt und eine Aufnahme in die DVG-Liste⁷⁵ für den Lebensmittelbereich ist bislang nicht erfolgt. Die Oberflächenbeschichtung mit Silberverbindungen bietet in puncto Verkeimungsschutz keinen zusätzlichen Vorteil. Sie kann weder die Reinigung der Geräte noch die Beachtung allgemeiner hygienischer Regeln beim Umgang mit Lebensmitteln ersetzen.

Darüber hinaus wird **amorphes Siliziumdioxid als Reinigungsmittel** in der Herstellung von Bier, Wein und Fruchtsäften verwendet (ECETOC 2006). Auch **kolloidale Kieselsäure** mit einer Primärpartikelgröße von 5–100 nm wird **als Flockungs- bzw. Schönungsmittel** eingesetzt.⁷⁶ Diese Zusatzstoffe reisen durch Adsorption Trübungsteilchen nieder oder ergeben mit einem Bestandteil des Weins eine kolloidale Flockung, welche die Trübstoffe einhüllt und ausfällt. Schönungsmittel müssen nach einiger Zeit vollständig aus dem Wein entfernt werden.

⁷² Vgl. http://www1.miele.de/ch/presse/home_1927.htm [abgerufen am 27.02.2008].

⁷³ Vgl. Patent WO9902463 «Temperature and Scratch-Resistant Anti-Sticking Coating».

⁷⁴ Vgl. <http://www.bfr.bund.de/cd/7283> und http://www.bfr.bund.de/cm/208/antimikrobielle_innen_raumbeschichtung_bei_kuehlschraenken_ist_ueberfluessig.pdf [beide abgerufen am 07.05.2008].

⁷⁵ Dabei handelt es sich um die Liste der nach den Richtlinien der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft (DVG) für den Lebensmittelbereich geprüften und als wirksam befundenen Desinfektionsmittel.

⁷⁶ Vgl. <http://www.colloidalsilica.com> [abgerufen am 10.06.2008].

5.6. Ergebnisse der Recherche zu den Forschungs- und Entwicklungsansätzen

Da die forschenden Akteure nur äusserst zurückhaltend und z.T. widersprüchlich ihre F&E-Ansätze kommunizieren, sind nur sehr wenige verwertbare Informationen über konkrete Produkte oder Verfahren verfügbar. Ein umfassender Überblick über die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten kann folglich derzeit (noch) nicht erstellt werden. Die nachfolgende Zusammenfassung erhebt somit keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern soll punktuell einzelne F&E-Ansätze beleuchten, die publiziert wurden und als besonders relevant erachtet werden.

5.6.1. Landwirtschaftliche Produktion

Der Recherche bei den Patenten nach zu urteilen,⁷⁷ bieten synthetische Nanomaterialien vor allem bei Pflanzenschutzmitteln die Möglichkeit, die Stabilität der Formulierungen und die **Effizienz der Wirkstoffe** zu verbessern.

Ähnlich wie bei **Nanokapseln** im Lebensmittelbereich steht auch bei Pflanzenschutzmitteln nicht ein mögliches Risiko der Nanopartikel im Vordergrund, sondern die Tatsache, dass Nanoformulierungen die Wirkung des aktiven Wirkstoffes verändern oder erhöhen können. Die ETC-Gruppe (ETC 2004) betont in ihrem Bericht «Down on the Farm – The Impact of Nano-scale Technologies on Food and Agriculture», dass derzeit nicht abschliessend beurteilt werden könne, ob nanoformulierte Pestizide spezifische Eigenschaftsveränderungen aufweisen. Es wird jedoch zu bedenken gegeben, dass nanoformulierte Pestizide über eine längere biologische Aktivität verfügen und dadurch besondere Belastungen am Arbeitsplatz sowie spezifische Umweltwirkungen (z.B. Schädigung nützlicher Insekten) hervorrufen können.

Verschiedene Pflanzenschutzfirmen beschreiben in Patenten Erfindungen im Zusammenhang mit nanoskaligen Produkten. Hierbei werden disperse Systeme im Mikro- und Nanometerbereich patentiert. Unter anderem besitzt die Firma

⁷⁷ Patente bieten bei Pflanzenschutzformulierungen hilfreiche Informationen, da Formulierungen ein Betriebsgeheimnis darstellen und über öffentliche, etwa Behördenauskünfte, keine detaillierten Informationen erhältlich sind.

BASF für Pflanzenschutzmittel eine Reihe von Patenten,⁷⁸ nach denen mithilfe von Polymeren der aktive Wirkstoff in eine wässrige Lösung gebracht werden kann. Die Polymerkugeln variieren dabei in ihrer Grösse vom Mikrometer- bis zum Nanometerbereich. Syngenta hingegen setzt vor allem auf Polymerformulierungen im Mikrometerbereich («Microencapsulation Technologies»).⁷⁹

Nach Behördenangaben aus Deutschland und der Schweiz sind bisher keine Anwendungen der Nanotechnologie im Bereich Pflanzenschutzmittel bekannt. Demnach befinden sich derzeit auch keine Pflanzenschutzmittel mit Nanokomponenten in der Zulassung. Dennoch kann nicht gänzlich ausgeschlossen werden, ob nicht bestimmte Zusatzstoffe, ähnlich der Rieselhilfe in Lebensmitteln, nanoskaliert vorliegen. Nanomaterialien können als Hilfsstoffe in Pflanzenschutzmitteln und Bioziden und zur Formulierung verwendet werden. Eine weitergehende Recherche wurde dadurch erschwert, dass die Formulierungen von Pflanzenschutzmitteln in der Regel ein Betriebsgeheimnis darstellen und darüber hinaus von Behörden keine detaillierten Informationen erhältlich sind.

Bei der Stakeholderbefragung wurden zudem die Unternehmen Syngenta und Monsanto genannt und darauf hingewiesen, dass diese bereits Pflanzenschutzmittel mit Nanokomponenten in der Schweiz vermarkten sollen. Diese Angaben beziehen sich jedoch auf den ETC-Bericht «Down on the Farm» (ETC 2004), in dem von Syngenta die Produkte «Primo MAXX», ein Wachstumsregulator für Golffrasen, sowie «Banner MAXX», ein Fungizid für Golffrasen, als nanoformuliertes Produkt beschrieben wird. Beide Produkte betreffen jedoch nicht die Lebensmittelproduktion. Zudem ist die Nanoformulierung auf den Internetseiten des Unternehmens nicht (mehr) nachvollziehbar.⁸⁰ Auch die Firma Monsanto wird darin erwähnt, die eine (erfolglose) Zusammenarbeit mit dem Unternehmen Flamel Technologies anstrebte, um Nanokapseln namens «Agsome» für das Pflanzenschutzmittel Roundup weiterzuentwickeln; Flamel Technologies wirbt nicht mehr mit «Agsome Agrochemical Delivery System», bietet aber andere Nano-Formulierungen an, z.B. für Therapeutika.⁸¹

⁷⁸ Vgl. EP1465485 «Nanoparticles Comprising A Crop Protection Agent» (Partikel mit 10–500 nm Durchmesser) und WO/2007/048730 «Nanoparticulate active ingredient formulations»; dabei handelt es sich um Partikel mit Kern-Schale-Struktur und einem mittleren Durchmesser von 50–2000 nm.

⁷⁹ Vgl. http://www.syngenta.com/en/day_in_life/microcaps.aspx.

⁸⁰ Vgl. <http://www.syngentaprofessionalproducts.com/prodrender/index.asp?ProdId=740>; <http://www.syngentaprofessionalproducts.com/prodrender/index.asp?ProdID=747> [beide abgerufen am 26.02.2008].

⁸¹ Vgl. <http://www.flamel.com/techAndProd/index.shtml> [abgerufen am 26.02.2008].

Die Recherchen ergaben ferner, dass die gegenwärtig auf dem Markt erhältlichen Mikroemulsionen bereits über eine recht hohe Effizienz verfügen. Daher wird der wirtschaftliche Druck, durch noch feinere, d.h. nanoskalige Emulsionen die Wirksamkeit weiter zu erhöhen, eher als gering eingeschätzt.

Bei der Stakeholderbefragung wurde ausserdem ein Dünger mit der Handelsbezeichnung «megaGreen» genannt. Dabei handelt es sich um Calcit-Partikel, die grösstenteils kleiner als 100 nm sein sollen.⁸² Die Partikel werden durch «tribomechanische Aktivierung» hergestellt, was grundsätzlich auf einer mechanischen Zerkleinerung beruht. Eine spezielle mechanische Zerkleinerung kann Partikel kleiner als 100 nm herstellen; normalerweise werden mit derartigen Verfahren des «Micro Media Milling» Partikel über 100 nm produziert, zumal die Partikel zur Agglomeration neigen. Letztlich kann nur über labortechnische Untersuchungen, die in dieser Studie nicht vorgesehen waren, abschliessend geklärt werden, ob die Calcit-Partikel im Grössenbereich von 100 nm oder darunter liegen.

5.6.2. Lebensmittel

Die Forschungs- und Entwicklungsansätze in der Lebensmittelindustrie haben in erster Linie zum Ziel, Funktionalitäten im Nanomassstab zu schaffen, die sensorische Eigenschaften wie Geschmack und «Mundgefühl» sowie das Aussehen von Lebensmitteln zu beeinflussen.

Auch Veränderung von technologischen Eigenschaften wie Agglomerationsverhalten, Fließfähigkeit, Beständigkeit durch Beschichtungen und einfachere Verarbeitung sind Ziele der Forschung, wobei diese teilweise auch durch prozesstechnische Verbesserungen erreicht werden können. Darüber hinaus wird eine Optimierung der ernährungsphysiologischen Wirkung (Bioverfügbarkeit, bessere Haltbarkeit wertvoller Inhaltsstoffe) angestrebt (BfEL 2007).

Solche Entwicklungen lassen sich anhand von Patenten oder Patentanmeldungen in folgenden Bereichen belegen:

- **Beschichtungen:** Die Funktion von Lebensmittelbeschichtungen besteht darin, die Diffusion von Feuchtigkeit und Sauerstoff zu unterdrücken, um den

⁸² Vgl. http://www.centar-balog.hr/download/Megagreen_DE.pdf [abgerufen am 27.02.2008].

Verlust von Aromen und Textur zu verhindern. Während herkömmliche Beschichtungen aus Lipiden, Proteinen oder Wachs nur bei einer recht hohen Dicke wirksam werden, die sich geschmacklich beim Verzehr teilweise störend auswirkt, könnten nanoskalige Beschichtungen den Vorteil bieten, dass sie im Mund nicht spürbar und zudem unsichtbar sind. Ein viel zitiertes Beispiel hierfür ist das Patent von Mars Masterfood für die Beschichtung von Lebensmitteln mit anorganischen Materialien (SiO_2 , SiO , MgO , CaO , TiO_2 , ZnO und MnO).⁸³

Dabei handelt es sich um Beschichtungen von 1 bis 500 nm Dicke, die auf das ganze Produkt (auch Obst oder Gemüse) oder nur Teile davon (z.B. Schokoladenstückchen in einem Keks) aufgebracht werden können.

Experten des Begleitkreises zweifeln grundsätzlich die technische Machbarkeit dieses Patentes wegen der darin beschriebenen Herstellung nanopartikulären TiO_2 an. Würden nanoskalige TiO_2 -Partikel pyrolytisch hergestellt werden, könnten Lebensmittel die notwendige hohe Produktionstemperatur nicht überstehen. Eine Herstellung unter Vakuum würde eventuell eine geringere Temperatur erlauben, den energetischen Aufwand der Produktion jedoch erhöhen.

Der Einsatz von Metalloxid-Nanopartikeln als Zusatzstoffen ist aus toxikologischer Sicht kritisch zu beurteilen, wenn die lebensmittelrechtliche Zulassung nicht explizit mit der nanoskaligen Form durchgeführt wurde. Beispielsweise gilt Titandioxid (E 171), welches in mikropartikulärer Form als Farbstoff (Weisspigment) zugelassen ist, als unbedenklich und hat keinen festgelegten ADI-Wert (*Acceptable Daily Intake*). Es existieren Untersuchungen, die entzündliche Reaktionen durch nanopartikuläres TiO_2 zum Ergebnis hatten (vgl. BUND 2008). Die Fütterungsstudie von Wang et al. (2007) setzte allerdings so hohe Dosen von TiO_2 -Nanopartikeln ein, dass für tatsächliche Produkte oder für reale Verhältnisse keine Relevanz besteht und das TiO_2 aufgrund dieser Tests als nicht toxisch eingestuft werden muss (Krug 2008).

- **Trägersubstanzen:** Neben Micellen als Nanokapseln wurden von der US-amerikanischen Firma BioDelivery Science International Nanococheate als Träger für medizinische Wirkstoffe patentiert,⁸⁴ die schwer wasserlöslich sind oder zur Klasse der Proteine oder Peptide gehören, wie z.B. Vakzine.

⁸³ Vgl. US-Patent 5741505: «Edible Products having inorganic coatings».

⁸⁴ Vgl. US-Patent 6153217: «Nanococheate formulations, process of preparation and method of delivery of pharmaceutical agents».

Die Firma kündigte an, Nanocochleate auch als Träger für Nährstoffe für verarbeitete Lebensmittel zu entwickeln.⁸⁵ Cochleate sind Mehrschichten aus Phospholipiden; das heisst, dass sie nicht wie normale Emulgatoren eine monomolekulare Schicht bilden, sondern einem aufgerollten Papier gleichen. Die von BioDelivery Science International verwendeten Phospholipide bestehen aus Phosphatidylserin, einem Bestandteil des Lecithin, das aus Soja gewonnen wird und «GRAS-Status» (*Generally Regarded as Safe*) besitzt (Chaudhry 2007).

Die Verwendung von Cochleaten bei Lebensmitteln ist jedoch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten fraglich, da bezogen auf den Wirkstoff eine vergleichsweise grosse Menge an Trägersubstanz benötigt wird (End 2007).

- **Verkapselung:** Neben den bereits erwähnten Micellen und Liposomen werden weitere Möglichkeiten zur Nanoverkapselung untersucht.

Ziel ist vor allem die Formulierung von Aromen und gesundheitsfördernden Wirkstoffen, ohne dass dabei die Textur bzw. das Mundgefühl negativ beeinträchtigt werden. Das US-Patent «Multi component controlled release system for oral care, food products, nutraceutical, and beverages»⁸⁶ aus dem Jahre 2003 bezieht sich auf die Verkapselung von Aromen oder Wirkstoffen auf Mikro- oder Nanoebene. Dies kann für eine zeitlich gestufte Freisetzung von Aromen eingesetzt werden, so dass die Aromen entweder länger wirken oder mehrere Aromen eingesetzt werden können, um den Effekt eines Aromawechsels während des Gebrauchs zu erzeugen.

Kraft Foods Holdings Inc. führt ein ähnliches Patent zur koaxialen Verdüsung von Flüssigkeiten,⁸⁷ das mehrschichtige Mikro- und Nanotröpfchen aus unterschiedlichen Flüssigkeiten formt, wobei die innere Flüssigkeit beispielsweise ein Aroma oder eine gesundheitsfördernde Substanz enthalten kann. Zweifelhaft ist, ob mit dieser Technologie tatsächlich die in den Patentansprüchen genannte Tröpfchengrösse von kleiner als 100 nm erreicht werden kann (End 2007).

⁸⁵ Vgl. <http://www.bdsinternational.com/news/webpr/pdf/9-30-2003%20Processed%20foods.pdf> [abgerufen am 23.07.2007]; <http://www.biodeliverysciences.com/bioralnutrients.html> [abgerufen am 12.03.2008].

⁸⁶ Vgl. US2003152629: «Multi component controlled release system for oral care, food products, nutraceutical, and beverages».

⁸⁷ Vgl. WO02060275: «Production of Capsules and Particles for Improvement of Food Products».

Neuartig sind bei diesen Patenten weniger die Trägersubstanzen als vielmehr die Verfahren, wie die Trägerstoffe noch feiner hergestellt werden.

- **Einfaches Auftauen:** Bei verarbeiteter Tiefkühlkost kann (insbesondere bei Emulsionen) eine feinere Durchmischung ein schnelleres und einfacheres Auftauen bewirken. Ein Patent von Nestlé⁸⁸ bezieht sich beispielsweise auf eine Wasser-in-Öl-Emulsion, die bei tiefgefrorenen Lebensmitteln durch Zusatz von Polysorbaten und anderen Micellbildnern ein gleichmässiges Auftauen in der Mikrowelle erlaubt. Die Tröpfchen der Mikroemulsionen können bezüglich ihres Durchmessers eine grosse Bandbreite aufweisen (10 bis 500 nm). Neu ist hierbei v.a. allem die verfeinerte Prozessführung bei der Homogenisierung der Wasser-in-Öl-Emulsion.

Zusätzlich zu den hier genannten Forschungsansätzen findet sich – teilweise recht harträchtig – in populärwissenschaftlichen Veröffentlichungen eine Vielzahl weiterer Beispiele für Lebensmittel mit Nanokomponenten, die bei genauerer Betrachtung eher als futuristisch bzw. als Fiktion einzustufen sind. Die Beispiele stammen teilweise aus den Marketingabteilungen der Hersteller, mitunter handelt es sich aber auch um reine Fiktionen. Die prominentesten von ihnen sollen an dieser Stelle wiedergegeben und diskutiert werden, auch wenn sie teilweise nicht in den Definitionsbereich der Studie fallen.

- **Falsche Zuordnung:** Nestlé forscht angeblich schon seit Längerem mit Nanokristallen in **Speiseeis**, die dessen Konsistenz verbessern sollen (Boeing 2006). Auch Unilever entwickelt offenbar Glacés, die bis zu zehnmal weniger Fett enthalten (Vogel 2006). Wenn dies jeweils auf Trennmittel bzw. Emulgatoren basiert, die eine Verfeinerung der Kristalle bewirken soll, müsste dies in der Zutatenliste deklariert werden. Die Herstellung von feinen Eiskristallen bzw. feinen Fettkristallen stellt im Grunde keine Generierung von synthetischen Nanomaterialien im Sinne der in dieser Studie gewählten Definition dar. Sie bedeuten keine Gesundheitsrisiken für den Verbraucher. Vielmehr sind dies Anwendungen, die zeigen, dass eine verbesserte Prozesstechnologie, hier eine immer feinere Vermischung von Fett und Wasser, in der Debatte um Nanotechnologie im Bereich Lebensmittel als Beispiel aufgeführt wird, obwohl den Produkten keine synthetischen Nanomaterialien zugesetzt wurden.

⁸⁸ Vgl. EP0848912: «Micro-emulsion for microwave thawing of foodstuffs».

Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass Nestlé und Kraft Foods die oben aufgeführten Forschungsansätze auf Nachfrage vehement dementieren. Stattdessen versichern sie, derzeit weder Produkte mit synthetischen Nanomaterialien auf dem Markt anzubieten noch solche zu entwickeln (Bauer 2007, Norton 2007).

- **Fiktion I:** Kraft Foods gab vor einigen Jahren bekannt, dass an der Entwicklung «interaktiver» Produkte gearbeitet würde. Dabei würde es sich z.B. um Drinks mit Nanokapseln handeln, die in der Mikrowelle je nach der gewählten Frequenz eine unterschiedliche Farbe bzw. Geschmacksrichtung annehmen oder einen bestimmten Nährstoff entlassen (Científica 2006). Einige Artikel berichteten, dass die Drinks neben Mikrowellen auch auf mechanische Reize wie Schütteln reagieren würden (Vogel 2006). Verkapselungen stellen auch die Grundlage für die Pizza «Tutti Gusti» dar, die in der Mikrowelle je nach eingestellter Aufwärmzeit/Leistung unterschiedlich schmecken soll.⁸⁹

Bei den Schüttelshakes wie auch bei der Pizza ist die technische Machbarkeit fraglich: Der Energieeintrag beim Schütteln ist so gering, dass Nanokapseln nicht aufgebrochen werden könnten. Wenn unterschiedliche Kapseln in ein Getränk eingebracht werden würden, müssten mehrere bisher nicht zugelassene Hilfsstoffe für die Stabilisierung verwendet werden. Diese würden jedoch den Geschmack beeinträchtigen (End 2007).

Auch die Idee, dass Nanokapseln trennscharf bei unterschiedlichen Frequenzen die Aromastoffe freisetzen würden, ist höchst unwahrscheinlich, weil Mikrowellen bezüglich ihres Wellenlängespektrums recht unspezifisch sind. Aufgrund der hohen Flüchtigkeit der Aromen ist es zudem unwahrscheinlich, dass diese in Kapseln hinreichend gut eingeschlossen werden können (End 2007).

- **Fiktion II:** Eine weitere Fiktion bilden sogenannte «Nutraceuticals», die auf den individuellen Nährstoffbedarf des Konsument/innen reagieren sollen. Dafür sollen Nanokapseln die Nährstoffe und Antioxidantien bestimmten Organen zu einem definierten Zeitpunkt zuführen (Científica 2006). Teilweise

⁸⁹ Diese Pizza wurde in mehreren Zeitungsartikeln erwähnt, etwa in dem Artikel «Mini-Partikel im Essen: Rote Milch und Pizza Multi» in der Süddeutschen Zeitung vom 01.11.2006. Die Überlegung bzw. Vision stammt von Marita Vollborn und Vlad Georgescu, den Autoren des Buches «Die Joghurt-Lüge. Die unappetitlichen Geschäfte der Lebensmittelindustrie», erschienen im Herbst 2006.

werden auch Kombinationen aus Nanokapseln und Nanosensoren diskutiert, die gezielt Nährstoffe, Vitamine und andere Wirkstoffe im Körper freisetzen, wenn die Nanosensoren eine entsprechende Unterversorgung diagnostizieren (Boysen 2007). Hauptkritikpunkt an diesem angeblichen Forschungsansatz ist, dass es sich um einen Hybrid aus Lebensmittel und Medikament handelt und fraglich ist, ob ein solches Produkt rechtlich überhaupt als Lebensmittel gelten darf. Ein Depot von Nanokapseln oder Nanosensoren im Körper fällt in die Kategorie eines medizinischen Eingriffes und bedarf einer Zulassung als Medikament. Auch technisch scheint ein solches Produkt derzeit nicht machbar: Unklar ist z.B., wie die Nutraceuticals erst nach Verzehr, also im Magen-Darm-Trakt «erkennen» sollen, welcher Nährstoffmangel vorliegt. Ferner müsste der Nährstoff über einen längeren Zeitraum direkt an den Schleimhäuten freigesetzt werden (End 2007).

5.6.3. Lebensmittelverpackungen

Folgende Forschungs- und Entwicklungsansätze sind gegenwärtig im Bereich der Lebensmittelverpackungen bekannt:

- EU-Projekt «SustainPack», welches die Entwicklung umweltfreundlicher **Verpackungen auf Basis von Naturfasern** (v.a. Holz) zum Ziel hat, um auf diese Weise Kunststoffverpackungen zu substituieren; zur Verbesserung der Barriereigenschaften und der mechanischen Eigenschaften kommen Nano-Schichtsilikat-Partikel zum Einsatz; der Forschungsverbund besteht aus einem Konsortium von 35 Forschungseinrichtungen und Unternehmen aus insgesamt 13 EU-Ländern und verfügt über ein Budget von 36 Mio. EUR (SustainPack 2007, FoodproductionDaily 2007b).
- **Antimikrobielle Nanopartikel** für Lebensmittelverpackungen; dabei handelt es sich um Zinkoxid- und Magnesiumoxid-Nanopartikel; Projekt an der University of Leeds (UK) (FoodproductionDaily 2005).
- **Nanosensor-Farbstoff** für Verpackungen, der die Anwesenheit von Sauerstoff erkennen kann, bestehend aus einer TiO_2 -Dispersion, Triethanolamin und dem Indikator Methylenblau, welche in Hydroxyethylcellulose gekapselt werden (FoodproductionDaily 2006).
- Nanosensoren für Verpackungen (**Food Monitoring**), welche verdorbene Lebensmittel anhand der entstehenden Gase bzw. Bakterien (z.B. Salmonellen) auf der Lebensmitteloberfläche detektieren können (Boysen 2007).

- Einsatz von **Carbon Nanotubes** (CNT), die thermoplastisch in eine Polyester-Matrix eingearbeitet werden und für verbesserte IR-Absorption und Wärmeleitung sorgen; dadurch können die Zykluszeiten beim Streckblasen (Herstellung von PET-Flaschen) reduziert werden (Langowski 2006).
- Verpackungen mit **nanoskaligen Barcodes** als Anti-Counterfeit-Merkmale (Boysen 2006).

5.7. Ergebnisse der Analyse der wirtschaftlichen Potenziale bei Lebensmitteln

Zu den wirtschaftlichen Potenzialen der Nanotechnologien bei Lebensmitteln wurde bereits eine Reihe von z.T. divergierenden Zahlen veröffentlicht. Dies kann zum einen an einer unterschiedlichen Definition von synthetischen Nanomaterialien liegen. So definiert Científica (2006) «Nanofood» sehr weit und erfasst dadurch auch Produkte, die mit nanotechnologischen Methoden in Berührung gekommen sind, selbst wenn die fertigen Produkte beim Verkauf keine Nanomaterialien mehr enthalten.

Zum anderen wird die wirtschaftliche Bestandsaufnahme auch dadurch erschwert, dass zahlreiche Produkte und Formulierungen, die auf der Kolloidchemie basieren und schon seit einigen Jahrzehnten bekannt sind, nun unter dem Begriff Nanotechnologien eingeordnet werden.

Grundsätzlich wird das wirtschaftliche Potenzial für nanotechnologische Anwendungen im Bereich der Lebensmittel bei den untersuchten Quellen zumeist als vielversprechend eingestuft. Die vorliegende Analyse des Produkt- und Forschungsmarktes kann dies auf der Basis der verfügbaren Informationen zumindest für den Schweizer Markt derzeit jedoch nicht bestätigen. Für den Weltmarkt hingegen bieten einige Segmente, wie etwa Lebensmittelzusatzstoffe, ein klares wirtschaftliches Potenzial.

5.7.1. Schweizer Markt

Die vorliegende Analyse des Produkt- und Forschungsmarktes zeigt, dass sich derzeit nur wenige Lebensmittel bzw. Lebensmittelzusatzstoffe mit synthetischen Nanomaterialien auf dem Markt befinden. Auch die Forschungsansätze

versprechen kurzfristig keine Vielzahl an neuen Produkten. Es konnten lediglich einige wenige Segmente der Lebensmittel- und Getränkeindustrie identifiziert werden, bei denen eine vermehrte Einführung nanotechnologischer Produkte wahrscheinlich ist. Diese stellen wirtschaftlich betrachtet jedoch eher Nischenmärkte dar:

- **Functional Food**⁹⁰ hat in der Schweiz einen geringen Marktanteil als beispielsweise in Deutschland,⁹¹ weil deutlich mehr Schweizer/innen den Zusatznutzen dieser Produkte anzweifeln: Während weltweit 38% der Konsument/innen den versprochenen Zusatznutzen bezweifeln, sind dies in der Schweiz 59% der Bevölkerung. Zudem erscheinen 42% der befragten Schweizerinnen und Schweizer diese Produkte zu teuer. Weltweit nennen 38% der Konsumentinnen und Konsumenten einen zu hohen Preis als Grund für ihre Ablehnung (ACNielsen 2008). Der derzeitige Umsatz durch Functional-Food-Produkte kann nur annähernd ermittelt werden: Beispielsweise setzte Migros mit seiner Linie «Actilife» im Jahre 2007 49,5 Mio. CHF um (Finanznachrichten 2008).
- **Sport- und Energydrinks**⁹² verzeichneten 2005 auf dem Schweizer Markt einen Umsatz von 79 Mio. CHF, wobei Energydrinks den grösseren Teil ausmachten (ACNielsen 2006).
- Nahrungsergänzungsmittel oder diätetische Produkte, die gemäss Produktauslobung Nanomaterialien enthalten sollen, sind häufig und teilweise ausschliesslich über das Internet erhältlich. Gleichzeitig wächst der **Online-Lebensmittelhandel** im Vergleich zu anderen Ländern in der Schweiz ungewöhnlich stark. Es stehen allerdings für Internetshopping nur Zahlen für «normale» Lebensmittel zur Verfügung.

⁹⁰ Functional-Food-Produkte stellen ein Produktsegment dar, in dem nanotechnologische Anwendungen relevant sind, etwa die Zugabe von nanogekapselten Vitaminen wie Coenzym Q10. In Zukunft sind hier auch andere nanogekapselten Nähr- und Wirkstoffe zu erwarten.

⁹¹ Deutschland stellt innerhalb der EU einen der grössten Märkte dar.

⁹² Sport-, Energie- und Wellnessgetränke sind Produkte, bei denen neben nanoformulierten Vitaminen und Coenzym Q10 in Zukunft auch andere nanogekapselten Wirkstoffe eingesetzt werden können.

5.7.2. Weltmarkt

In den folgenden Studien wurden Prognosen in Hinblick auf die wirtschaftlichen Potenziale erstellt:

- Der Cientifica-Report (2006) beziffert den weltweiten Umsatz der Nanotechnologien im Sektor der Lebensmittel derzeit auf 200 Mio. US-Dollar. Der Anteil von «Food Processing» und «Food Ingredients» wird dabei auf jeweils 100 Mio. US-Dollar geschätzt. Es wird davon ausgegangen, dass diese zwei Lebensmittelsparten auch 2012 die beiden wichtigsten Einsatzgebiete für nanotechnologische Produkte sein werden; «Food Safety» wird hingegen weiterhin ein sehr kleiner Bereich für nanotechnologische Anwendungen bleiben. Insgesamt wird der Markt für Nanotechnologien im Lebensmittelsektor 2012 auf ca. 2,9 Milliarden US-Dollar geschätzt.
- Powell hingegen beziffert den weltweiten Markt für Lebensmittel mit Nanokomponenten derzeit (2006) bereits auf 7 Mrd. US-Dollar und geht für 2010 von einem Marktvolumen von rund 20 Mrd. US-Dollar aus (Powell 2007); allerdings ist unklar, ob bei diesen Zahlen auch Lebensmittelverpackungen mit berücksichtigt sind.

Die vorliegende Analyse des Produkt- und Forschungsmarktes deutet darauf hin, dass der Weltmarkt für nanotechnologische Anwendungen bei Lebensmittelzusatzstoffen ein deutliches wirtschaftliches Potenzial bietet. So schätzt End (2005) das aktuelle Marktvolumen für Carotinoide auf über 900 Mio. US-Dollar. Ein Bericht der BCC Research von 2005 kommt auf die gleiche Größenordnung und schätzte den Markt für Carotinoide für 2009 auf über 1 Mrd. US-Dollar; dabei wurde der Markt für Beta-Carotin in 2004 auf 242 Mio. US-Dollar geschätzt.

Bei der Firma Evonik (ehemals Degussa) erwirtschaftete der Geschäftsbereich «Aerosil u. Silanes» im Geschäftsjahr 2005 einen weltweiten Umsatz von 502 Mio. Euro.⁹³ Hierbei ist jedoch zu beachten, dass das Produkt «Aerosil» (amorphes Siliziumdioxid) nicht ausschliesslich als Rieselhilfe in Lebensmitteln eingesetzt wird, sondern eine Vielzahl weiterer Anwendungen besitzt.

⁹³ Vgl. <http://www.degussa.com/degussa/de/unternehmen/unternehmensstruktur/aerosilsilanes>.

Cientifica (2006) räumt dem Segment «Nanotechnology in Food Ingredients/Food Additives»⁹⁴ einen bedeutenden Anteil und grosse Wachstumschancen ein. Nanotechnologische Anwendungen in diesem Bereich schätzt Cientifica (2006) für das Jahr 2006 auf 100 Mio. US-Dollar und für das Jahr 2012 auf 1,5 Mrd. US-Dollar. Allerdings macht die Sparte «Food Ingredients/Food Additives» nach Cientifica (2006) gegenwärtig mit weniger als 50 Mrd. US-Dollar nur einen kleinen Teil des gesamten weltweiten Lebensmittelmarktes aus, der auf 3 Billionen US-Dollar geschätzt wird.

«Nanotechnology in Food Processing» beinhaltet nach Cientifica (2006) «all the methods and techniques used to transform raw ingredients into food for consumption by humans, but excludes raw ingredients and additives». Die Analyse des Produkt- und Forschungsmarktes zeigte, dass in der Tat viele Anwendungen, die neuerdings unter Nanotechnologie gefasst werden, Verbesserungen und Verfeinerungen von Prozesstechnologien darstellen und keine Zugabe von synthetischen Nanopartikeln und Nanomaterialien bedeuten. Ein wirtschaftliches Potenzial lässt sich aufgrund der nicht eindeutigen Zuordnung aus der vorliegenden Analyse nicht ableiten.

5.8. Ergebnisse der Analyse der wirtschaftlichen Potenziale bei Lebensmittelverpackungen

Lebensmittelverpackungen machen neben der Lebensmittelverarbeitung den zweitgrössten Marktanteil des weltweiten Lebensmittelmarktes aus. «Active Packaging»⁹⁵ verfügt nach Cientifica (2006) über einen Anteil von 300 Mrd. US-Dollar. Andere Quellen schätzen den Umsatz der Verpackungsindustrie auf 485 Mrd. US-Dollar (Neue Verpackung 2006).

Nanotechnologischen Anwendungen bei Lebensmittelverpackungen wird angesichts des hohen Umsatzes der Branche insgesamt ein hohes wirtschaftliches Potenzial eingeräumt. Dennoch divergieren auch hier die Schätzungen stark:

⁹⁴ Definition: «This includes all substances that are added to raw ingredients in order to produce food for consumption by humans.»

⁹⁵ Definition: «Packaging material that may interact with the product it contains in order to maintain product quality.»

- Nanotechnologische Anwendungen im Bereich «Active Packaging» schätzt Científica (2006) für das Jahr 2006 auf 210 Mio. US-Dollar und für das Jahr 2012 auf 2,7 Mrd. US-Dollar.
- Die Studie von Helmut Kaiser Consulting (2004) schätzt das weltweite Marktvolumen von Lebensmittelverpackungen mit Nanokomponenten gegenwärtig (2006) fast fünfmal so hoch ein wie die Studie von Científica (2006), nämlich auf 980 Mio. US-Dollar. Es wird davon ausgegangen, dass Nano-Lebensmittelverpackungen bis zum Ende der kommenden Dekade einen Anteil von rund 25% am Weltmarkt aufweisen. Der Weltmarkt an Lebensmittelverpackungen wird dabei wesentlich niedriger eingeschätzt, nämlich auf einen gegenwärtigen Umfang von 100 Mrd. US-Dollar (zit. nach FoodproductionDaily 2007a).
- Eine aktuelle Studie, die von NanoMarkets veröffentlicht wurde, prognostiziert bei nanotechnologisch optimierten Lebensmittelverpackungen für das Jahr 2011 ein Marktvolumen in Höhe von 4,7 Mrd. US-Dollar (NanoMarkets 2006). Diese Schätzung liegt doppelt so hoch wie die entsprechende Schätzung von Científica (2006).

Aufgrund der vorliegenden Daten und der Ergebnisse der Marktanalyse kann davon ausgegangen werden, dass im Bereich der nanotechnologisch optimierten Lebensmittelverpackungen tatsächlich ein bedeutendes wirtschaftliches Potenzial besteht. Eine Differenzierung nach Schweizer Markt und Weltmarkt ist hierbei allerdings nicht möglich.

5.9. Ergebnisse der ökologischen Relevanzanalyse

Zusätzlich zur Analyse der wirtschaftlichen Potenziale wurde im Rahmen dieser Studie auch untersucht, bei welchen Nanoprodukten im Lebensmittelsektor sich Umweltentlastungspotenziale im Vergleich zu den herkömmlichen Produkten ergeben können. Nach Abschluss des Screenings bei den bereits marktverfügbaren Produkten (vgl. Kapitel 5.2) sowie den Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten (vgl. Kapitel 5.6) wird davon ausgegangen, dass nennenswerte Umweltentlastungspotenziale in erster Linie bei den Lebensmittelverpackungen vorhanden sind. Konkret werden diese Potenziale bei den **PET-Flaschen** mit nanotechnologisch optimierten Barrierewirkungen vermutet (vgl. Kapitel 5.4.1),

da diese in der Lage sind, vergleichsweise umweltbelastende Verpackungsmaterialien wie **Aluminiumdosen** und **Glasflaschen** zu ersetzen.

Um die Umweltentlastungspotenziale von Nano-PET-Flaschen im Vergleich zu Aluminiumdosen und Glasflaschen entlang des gesamten Lebensweges zu quantifizieren, wurde für die drei Vergleichsobjekte eine **orientierende Ökobilanz** («screening LCA») in Anlehnung an ISO 14040:2006 und ISO 14044:2006 durchgeführt. Als funktionelle Einheit der Analyse wurden für alle Vergleichsobjekte jeweils 1.000 Getränkebehälter angenommen. Weiter wurde von folgenden Modellierungsannahmen ausgegangen:

Tabelle 2: Modellierungsannahmen für die vergleichende ökobilanzielle Betrachtung von Nano-PET-Flaschen, Aluminiumdosen und Glasflaschen

	PET-Flasche	Aluminiumdose	Glasflasche
<i>Fassungsvermögen</i>	<i>0,5 Liter</i>	<i>0,5 Liter</i>	<i>0,5 Liter</i>
<i>Rohstoff</i>	<i>Polyethylen-terephthalat (bottle grade)</i>	<i>(Primär-) Aluminium</i>	<i>Behälterglas (braun)</i>
<i>Masse</i>	<i>26 Gramm</i>	<i>17 Gramm</i>	<i>375 Gramm</i>
<i>Transport</i>	<i>nicht relevant⁹⁶</i>	<i>nicht relevant⁹⁷</i>	<i>400 km⁹⁸</i>
<i>Verwendungsart</i>	<i>Einweg</i>	<i>Einweg</i>	<i>Einweg</i>
<i>Recyclingprozess⁹⁹</i>	<i>werkstofflich (bottle-to-bottle-Recycling mögl.)</i>	<i>werkstofflich (Sekundär-Aluminium)</i>	<i>werkstofflich (bottle-to-bottle-Recycling)</i>
<i>Recyclingquote¹⁰⁰</i>	<i>76%</i>	<i>90%</i>	<i>90%</i>

⁹⁶ Die Behältermasse konnte bei der Modellierung der Transporte vernachlässigt werden, da die Masse des Flascheninhalts die Behältermasse dominiert (26 Gramm vs. ca. 500 Gramm) und die Auslastung des Transportmittels folglich von der Behältermasse kaum beeinflusst wird.

⁹⁷ Die Behältermasse konnte bei der Modellierung der Transporte vernachlässigt werden, da die Masse des Flascheninhalts die Behältermasse dominiert (17 Gramm vs. ca. 500 Gramm) und die Auslastung des Transportmittels folglich von der Behältermasse kaum beeinflusst wird.

⁹⁸ Angenommen wurden jeweils 200 km (Lkw) für Auslieferung und Redistribution (Recycling).

⁹⁹ Für die beim Recycling produzierten Sekundärrohstoffe wurden entsprechende Gutschriften für PET, Aluminium und Behälterglas angenommen.

¹⁰⁰ Für den nicht recycelten Rest wird eine thermische Verwertung/Beseitigung in der Kehrrichtverbrennungsanlage (KVA) und eine Gutschrift für den ausgekoppelten Strom angenommen.

Um die Sachbilanz für die Herstellung, Transport und Recycling der untersuchten Getränkebehälter zu erhalten, wurden die jeweils relevanten Prozesse innerhalb der kommerziellen Ökobilanz-Software «Umberto» modelliert. Hierzu wurde auch auf die Standard-Sachbilanzmodule dieser Software zurückgegriffen. Basierend auf den Sachbilanzdaten wurde für alle drei Vergleichsobjekte eine Wirkungsabschätzung durchgeführt, wobei die bei Ökobilanzstudien üblichen Standard-Wirkungskategorien¹⁰¹ verwendet wurden.

Die ökobilanzielle Analyse führte zu dem Ergebnis, dass die **Nano-PET-Flasche deutlich besser als die Aluminiumdose und die Glasflasche** abschneidet. Bezogen auf die funktionelle Einheit (1.000 Getränkebehälter) ergeben sich beim Indikator «Treibhauspotenzial» folgende Werte (vgl. folgende Abbildung):

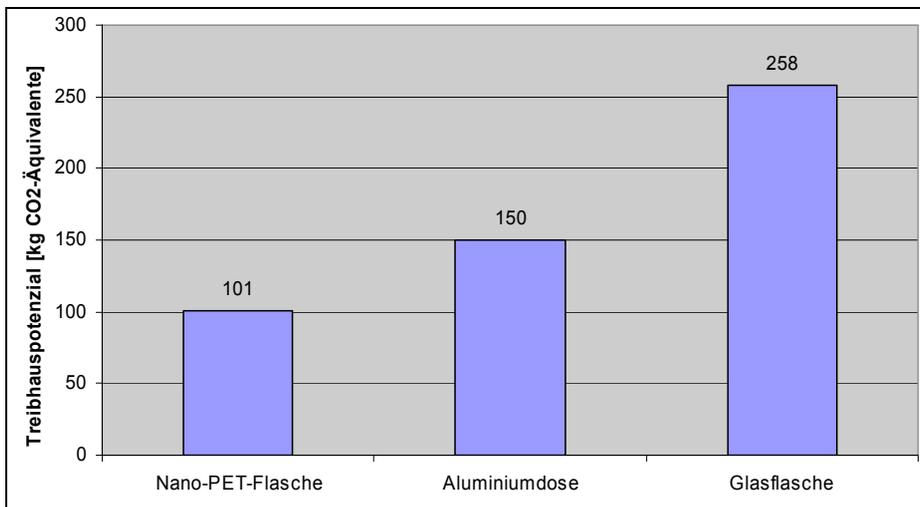


Abbildung 2: *Treibhauspotenzial der Behältersysteme Nano-PET-Flasche, Aluminiumdose und Glasflasche (funkt. Einheit: 1.000 Stück)*

¹⁰¹ Dabei handelt es sich um die Wirkungskategorien Kumulierter Energie-Aufwand (KEA), Treibhauspotenzial (GWP), Versauerungspotenzial (AP), Eutrophierungspotenzial (EP) sowie Photooxidantienpotenzial (POCP). Im Rahmen der Ergebnisdarstellung wird aus Gründen einer verbesserten Übersichtlichkeit und Prägnanz jedoch nur auf den Indikatorwert des Treibhauspotenzials eingegangen. Dieses wird in der Einheit «kg CO₂-Äquivalente» angegeben.

Aus der Abbildung wird ersichtlich, dass die Nano-PET-Flasche im Vergleich zur Aluminiumdose rund ein Drittel weniger Treibhausgase verursacht, während im Vergleich zur Glasflasche das Umweltentlastungspotenzial sogar rund 60% beträgt. Allerdings ist beim Vergleich zu Glasflaschen zu berücksichtigen, dass diese im für Nano-PET-Flaschen besonders relevanten Biersegment üblicherweise als Mehrwegsysteme zum Einsatz kommen. Im Gegensatz dazu wurde die im Rahmen dieser Untersuchung betrachtete Glasflasche als Einwegsystem modelliert. Nach Detzel et al. 2004 liegen die Umweltbelastungen einer Glas-Mehrweg-Flasche ungefähr gleichauf mit einer Aluminiumdose bzw. (je nach Transportentfernung) leicht darunter. Vor diesem Hintergrund kann die Nano-PET-Flasche in Getränkesegmenten wie Bier mit etabliertem Mehrweganteil aus ökobilanzieller Sicht nur zur **Substitution von Aluminiumdosen** uneingeschränkt empfohlen werden. Allerdings ergeben sich angesichts des in der Schweiz relativ hohen Anteils von Aluminiumdosen am Biermarkt allein für dieses Teilssegment bereits erhebliche kumulierte Einsparpotenziale. Wird der in der Schweiz für das Jahr 2003 ermittelte Verbrauch von Aluminiumdosen in Höhe von 3.479 Tonnen (BAFU 2004) zu Grunde gelegt, so würde ein kompletter Ersatz dieser Aluminiumdosen durch Nano-PET-Flaschen beim Treibhauspotenzial zu einer **jährlichen Entlastung von rund 10.000 Tonnen CO₂-Äquivalenten** führen. Dies entspricht in etwa der Menge, die 1.500 schweizerische Haushalte p.a. emittieren (BAFU 2007).

Zusätzliche positive Aspekte können sich ergeben, wenn es gelingt, eine barriereoptimierte PET-Mehrwegflasche auf dem Markt einzuführen, so dass auch die Substitution von Glas-Mehrweg-Flaschen aus ökobilanzieller Sicht eindeutig vorteilhaft ist.

Um die Umweltentlastungspotenziale auch realisieren zu können, muss bei den Nano-PET-Flaschen allerdings die **Verträglichkeit mit der etablierten PET-Recyclinginfrastruktur** unbedingt beachtet werden. So ist derzeit beispielsweise das Recycling von Multilayer-PET-Flaschen aufgrund der Nanopartikel-Polyamid-Matrix offenbar mit Problemen verbunden, während plasmabeschichtete PET-Flaschen sich im Recycling angeblich wie unbeschichtete PET-Flaschen verhalten (PRS oJ).

Der Verein PRS PET-Recycling Schweiz fordert in seinem Faktenblatt «Systemkonformität PRS-Barrieren» wörtlich: «Die eingesetzten Barriere-Produkte sind auf Lebensmittelechtheit und Systemkonformität im Recycling zu prüfen» (PRS 2007).

Systemkonformität wird aktuell lediglich folgenden PET-Produkten bescheinigt (PRS 2007):

- Smartcoat der Firma SIPA,
- Actis Lite der Firma Sidel sowie
- Plasmax der Firma SIG Plasmax.

Die genannten Systeme werden in Kapitel 5.4.1 näher beschrieben.

5.10. Aspekte der Technikgenese

Technikgenese beschäftigt mit dem Entstehungsprozess von Technik und basiert auf der Grundthese, dass Technikentwicklung immer ein Prozess ist, an dem unterschiedliche **gesellschaftliche Akteure** beteiligt sind. Aufgrund der Einbettung in gesellschaftliche Strukturen wird in der Technikgeneseforschung die These vertreten, dass es durch die Beschäftigung mit dem Prozess der Technikentwicklung möglich ist, die in der jeweiligen Technik angelegten Folgen frühzeitig zu erkennen:

«Wer gegenwärtig kompetent die Folgen neuer Techniken abschätzen will, kann dies nicht ohne genauere Kenntnis über die sozialen Bedingungen der Erzeugung und Gestaltung technischer Produkte angehen. Denn in den organisierten Prozessen der Technikentwicklung, in den Forschungsinstituten und Industrielabors, fallen schon die Vorentscheidungen über Gestalt und Verwendung neuer Produkte und damit auch für einen Teil der Folgen. Der restliche Teil der Folgen wird durch die institutionellen Bedingungen und kulturellen Muster der Aneignung und des Umgangs mit den Dingen in den jeweiligen gesellschaftlichen Bereichen hervorgerufen.» (Rammert 1993)

Ferner wird davon ausgegangen, dass eine neue Technik nicht einfach plötzlich da ist, sondern einen vielschichtigen Prozess darstellt, angefangen bei der Erfindungsidee über erste Prototypen bis hin zu marktfähigen Produkten.

Nach Rammert (1993) sind beim Prozess der Technikgenese drei hintereinander ablaufende Phasen zu beobachten:

- Die erste Phase ist gekennzeichnet durch einen **Pool verschiedener technischer Ideen**, wobei diese z.T. durch ältere technische Entwicklungen, Innovationen und soziale Interessen beeinflusst wurden.
- In der zweiten Phase kommt es zu einer **Selektion bestimmter Ideen** aus diesem Pool, indem durch konkrete Forschungs- und Entwicklungsprogramme des Staates sowie andere Selektionsmechanismen wie Veränderungen des Marktes oder kultureller Wandel bestimmte Entwicklungsansätze ausgewählt und gefördert werden und andere nicht.
- Die eigentliche **Forschung, Konkretisierung und gesellschaftliche Implementierung** der Ideen findet in einer dritten Phase statt.

Rammert betont dabei, dass die Technikgenese keiner einfachen Logik folge und nicht von vorne herein klar ist, wer am Prozess der Technikentwicklung bestimmend teilnimmt und wie dessen Resultat aussieht. Welche der zahlreichen Stakeholder (Forscher/innen, Unternehmer/innen, Staat, Bürger/innen, Konsumenten/innen, Kritiker/innen etc.) den Prozess der Technikentwicklung entscheidend prägen, sei nicht nur von den Marktchancen, sondern auch wesentlich von der Fähigkeit zur Organisation argumentativer Diskurse abhängig. Fuchs (2007) relativiert das Bild des autonom agierenden Forschers dahingehend, indem er darauf hinweist, dass der Profitabilität einer Technologie aufgrund der Dominanz des Interesses organisierter ökonomischer Akteure eine wesentliche Bedeutung zukommt. Folglich ist die Macht der unterschiedlichen Akteursgruppen unausgeglichen und die Forscher/innen werden sich primär an den Marktchancen orientieren. Trotz der **Dominanz des Kapitals** im Prozess der Technikentwicklung ist auch für Fuchs (2007) die Entscheidung über die gesellschaftliche Implementierung einer neuen Technik nicht ausschliesslich eine Frage ökonomischer Interessen, sondern auch eine der organisierten politischen Interessen der von den Folgen der neuen Technik unmittelbar Betroffenen.

Betrachtet man die Marktübersicht zu Nanotechnologie im Bereich der Lebensmittel vor dem Hintergrund des Phasenmodells der Technikgenese von Rammert, so fällt auf, dass einige Zusatzstoffe, die nanoskalig verwendet werden, die dritte Phase bzw. die faktische Marktreife erreicht haben. Stattdessen wird die Diskussion um Nano-Lebensmittel von Forschungs- und Entwicklungsansätzen bzw. Fiktionen dominiert, die sich nur im Stadium des Ideenpools befinden; ferner kann noch nicht abschliessend beurteilt werden, welche Selektionsmechanismen den weiteren Prozess der Technikgenese entscheidend beeinflussen werden.

Im Gegensatz dazu haben deutlich mehr Innovationen bei Lebensmittelverpackungen bereits die Konkretisierungsphase erreicht bzw. sind z.T. am Markt bereits fest etabliert (z.B. Nano-PET-Flaschen).

In Hinblick auf die besonders relevanten Akteure wird davon ausgegangen, dass diejenigen Unternehmen, welche Nano-Lebensmittel und -verpackungen entwickeln, die massgeblichen Treiber im Prozess der Technikgenese darstellen. Eine wesentliche Randbedingung für diese Hypothese bildet die Tatsache, dass es sich beim Lebensmittelmarkt um einen gesättigten bzw. sogar übersättigten Markt handelt (Eberle et al. 2005). Folglich werden die Unternehmen bestrebt sein, durch den Einsatz neuer Verfahren **innovative Produkte** zu entwickeln, um auf diese Weise einen komparativen Konkurrenzvorteil zu erlangen und schlussendlich ihren spezifischen Marktanteil in einem stagnierenden Markt zu vergrössern. Hierbei bieten sich insbesondere Innovationen im Bereich Functional Food an, da in diesem Segment besonders kaufkräftige Konsumentinnen und Konsumenten vermutet werden (vgl. hierzu auch Kapitel 7). Ausserdem erhoffen sich die Unternehmen, durch den Einsatz von nanotechnologischen Verfahren weitere **Kosteneinsparungspotenziale** erschliessen zu können, sei es durch eine effizientere Herstellung oder durch die Optimierung der Logistikketten. Gerade durch letzteren Aspekt ergeben sich wichtige Impulse zur Entwicklung und Markteinführung von nanotechnologisch optimierten Verpackungsmaterialien, da diese i.d.R. auf eine Verlängerung der Haltbarkeit der verpackten Lebensmittel und einer Verlängerung von deren «Shelf-Life» zielen (vgl. Kapitel 5.6.3). Start-up-Unternehmen, bei denen der Aspekt **«Shareholder-Value»** besonders im Vordergrund steht, nutzen mitunter die derzeitige positiv-erwartungsvolle Grundhaltung der Konsument/innen, um durch aktive Bewerbung des Nanoaspekts ihren Börsengang positiv zu beeinflussen bzw. den Börsenkurs zu steigern. Dies konnte am Fallbeispiel «Neosino» sehr gut beobachtet werden.

Neben den Unternehmen beeinflussen aber auch weitere gesellschaftliche Akteure den Innovationsprozess von Nanotechnologien im Lebensmittelsektor. An erster Stelle sind hier **staatliche Akteure** zu nennen, die durch die Bereitstellung von **Forschungsmitteln** wichtige «Leitplanken» für den Selektionsprozess bestimmter Forschungs- und Entwicklungsansätze aufstellen. Auf europäischer Ebene ist hier beispielsweise das Forschungsverbundvorhaben «SustainPack» zu nennen, das die Entwicklung von Lebensmittelverpackung auf der Basis biogener Rohstoffe zum Ziel hat und über ein Forschungsvolumen von 36 Mio. Euro verfügt (vgl. Kapitel 5.6.3). Neben staatlichen Akteuren fungiert v.a. auch der **Banken- und Versicherungssektor** als ein bedeutender «Gatekeeper» für nanotechnologische Innovationen im Lebensmittelsektor, da nur durch eine

ausreichende **Kapitalversorgung** sowie einen adäquaten **Versicherungsschutz** neue Produkte erfolgreich entwickelt und in den Markt eingeführt werden können. In diesem Zusammenhang erregte im Jahre 2004 der Bericht der schweizerischen Rückversicherungsgesellschaft SwissRe grosses Aufsehen, da bei den Nanotechnologien eine prinzipielle Uneinschätzbarkeit möglicher Schadenspotenziale festgestellt wurde. Hierbei wurde allerdings nicht bezüglich der unterschiedlichen Anwendungsbereiche der Nanotechnologie differenziert. Die Bedenken von SwissRe gipfelten in dem Fazit:

«Die Assekuranz ist besorgt. Nicht, weil sich im Zuge neuer technologischer Entwicklungen erfahrungsgemäss neue Schadensszenarien auftun, sondern weil das Ausmass dieser potenziellen Schäden falsch oder gar nicht eingeschätzt werden kann. (...) Es ist zu befürchten, dass Nanotechnologie zur Kategorie der revolutionären Risiken mit ursächlich nachweisbarer Schadensfolge gehören wird. Dabei sind die potenziellen Schäden in Bezug auf ihre Grösse und Raum/Zeit vermutlich nicht oder nur äusserst schwer abschätzbar. Risiko- und versicherungstechnisch wirklich neu ist die Nanotechnologie wegen der Latenz von möglichen Serien- und Kumul-Schäden, die ursächlich durch neue Eigenschaften und damit durch das unterschiedliche Verhalten von nanotechnologisch hergestellten Produkten entstehen.» (SwissRe 2004)

Angesichts einer solchen Einschätzung seitens der professionellen Risikobewertung kann nicht ausgeschlossen werden, dass bei ersten Negativschlagzeilen in der allgemeinen Öffentlichkeit ein pauschales Umkippen des derzeit eher positiven Meinungsbildes eintritt. Die **Konsumentinnen und Konsumenten** stellen damit als direkt Betroffene eine zentral wichtige, wenn nicht sogar die wichtigste Stakeholdergruppe für den Prozess der Technikgenese der Nanotechnologien im Bereich der Lebensmittel dar. Aus diesem Grund werden die Einflussmöglichkeiten der Konsument/innen im Rahmen der Kapitel 7 und 8 unter verschiedenen Blickwinkeln beleuchtet und vertieft.

5.11. Zwischenfazit

Die Analyse des Produkt- und Forschungsmarktes kam zu dem Ergebnis, dass in der Schweiz bislang nur relativ wenige nanoskalige Lebensmittelzusatzstoffe bzw. mit solchen Komponenten versehene Lebensmittel verfügbar sind. Dies sind Zusatzstoffe wie Siliziumdioxid (E 551), Carotinoide (E 160) und Micellen (E 432 und E 433). Bei diesen Lebensmittelzusatzstoffen handelt es sich um Substanzen, die bereits seit vielen Jahren produziert werden und bei ihrer Zulassung als Lebensmittelzusatzstoff bereits einer toxikologischen Bewertung unterzogen wurden. Im Rahmen dieser Studie wurden sie v.a. aufgrund des erweiterten Definitionsbereichs untersucht.

Bei den Lebensmittelverpackungen existieren auf dem Markt bereits deutlich mehr Produkte mit Nanokomponenten, v.a. bei Folienverpackungen und PET-Flaschen. Hier besteht die nanotechnologische Komponente in einer nanotechnologisch modifizierten Membran, mit deren Hilfe deutlich verbesserte Barriereigenschaften gegenüber Gasen und Aromen und somit schlussendlich eine verbesserte Haltbarkeit der verpackten Lebensmittel erzielt werden soll.

Die Hersteller und Entwickler von Nanomaterialien für die Verwendung in Lebensmitteln sind die etablierten Anbieter von Carotinoiden, Vitaminen und anderen Nährstoffen oder Zusatzstoffen, aber auch spezialisierte (Start-up-) Unternehmen wie Aquanova oder miVital. Im Gegensatz dazu wird bei den Lebensmittelverpackungen die Nanokomponente v.a. durch spezialisierte Unternehmen wie Nanocor produziert und von auf dem Verpackungsmarkt etablierten Playern wie Amcor, SIG und Honeywell weiterverarbeitet.

Nanotechnologie im Lebensmittelsektor wird zwar erst seit kurzer Zeit diskutiert. Einige Lebensmittel mit synthetischen Nanokomponenten befinden sich jedoch schon länger auf dem Markt, wobei bislang noch keine eindeutig zuordenbaren negativen Erfahrungen berichtet wurden.

Bei den Lebensmittelverpackungen besteht im Einzelfall ein erhöhtes Expositionsrisiko der Konsument/innen mit Nanomaterialien, je nach dem, ob sich die verpackten Lebensmittel in direktem Kontakt zu den Nanomaterialien befinden oder nicht. Allerdings wurden auch hier bislang noch keine spezifischen Probleme berichtet.

Analysiert man die wenigen derzeit öffentlich verfügbaren Informationen zu den Forschungs- und Entwicklungsansätzen, so ist zu vermuten, dass sich die Aktivitäten der Unternehmen bei Lebensmitteln in erster Linie auf die Entwicklungsrichtung der Nahrungsergänzungsmittel konzentriert. Interaktive Lebensmittel und Nutraceuticals hingegen fallen laut derzeitigem Wissensstand eher unter die Rubrik «Fiktion». Im Bereich der Lebensmittelverpackungen scheint hinge-

gen die Forschung zu UV-Schutz, Verkeimungsschutz und Sensorsystemen im Vordergrund zu stehen. Generell ist dabei zu sagen, dass der Forschungs- und Entwicklungsprozess bei Lebensmittelverpackungen schon deutlich weiter fortgeschritten ist als bei Lebensmitteln und Lebensmittelzusatzstoffen.

In Hinblick auf die wirtschaftlichen Potenziale von nanotechnologischen Innovationen im Bereich der Lebensmittel und Lebensmittelverpackungen kann festgestellt werden, dass es sich bei diesem Segment mittel- bis langfristig um einen Milliardenmarkt handelt, wobei die prognostizierten Umsätze zunächst wohl in erster Linie durch die Lebensmittelverpackungen generiert werden. Darüber hinaus könnte in der Zukunft eine Anreicherung von Lebensmitteln mit nanoskaligen Supplementen (z.B. Eisen) in Regionen mit entsprechender Mangelversorgung einen gesundheitlichen Nutzen generieren, der mit wirtschaftlichen Potenzialen in grösserem Umfang verbunden ist. Auch wenn diese Potenziale v.a. in Ländern ausserhalb der Schweiz entstehen werden, handelt es sich um Märkte, die auch von der Schweiz aus bedient werden können. Belastbare quantitative Aussagen zu den wirtschaftlichen Potenzialen für schweizerische Unternehmungen können derzeit jedoch nicht getroffen werden.

Zusätzlich zu den wirtschaftlichen Potenzialen können sich v.a. bei den Lebensmittelverpackungen im Einzelfall auch positive ökologische Effekte ergeben. Mittels einer orientierenden Ökobilanz konnte gezeigt werden, dass beispielsweise durch die Substitution von Aluminium-Getränkedosen durch nanotechnologisch optimierte PET-Flaschen allein in der Schweiz klimaschädliche Emissionen in der Grössenordnung von 10.000 Tonnen eingespart werden können. Die Untersuchung von Aspekten der Technikgenese ergab, dass die wichtigsten Treiber für die Entwicklung von Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen mit Nanokomponenten die (spezialisierten) Unternehmungen sind. Interessant für diese Akteure ist v.a. die Chance, in einem gesättigten Markt durch nanotechnologische Innovationen neue Produkte zu entwickeln und auf diese Weise in einem kaufkräftigen Segment wie dem der funktionellen Lebensmittel den eigenen Marktanteil zu erhöhen. Hinzu kommt ferner die Möglichkeit, mittels nanotechnologisch verbesserter Verpackungen die Logistikprozesse zu optimieren und auf diese Weise Kosteneinsparungspotenziale zu erschliessen. Als weitere wichtige Treiber wurden für den Prozess der Technikgenese aber auch staatliche Akteure mit ihren Forschungsprogrammen, der Banken- und Versicherungssektor sowie die Konsumentinnen und Konsumenten identifiziert.

6. Analyse der rechtlichen Situation bei der Zulassung und Kennzeichnung von Nanomaterialien

Ziel dieses Arbeitspakets ist es, die derzeitige Rechtslage im Schweizer Lebensmittelrecht bei der Zulassung und Kennzeichnung von Nanomaterialien als Lebensmittelzutaten, Zusatzstoffe oder Verarbeitungshilfsstoffe sowie beim Einsatz von Nanomaterialien in Lebensmittelverpackungen zu untersuchen. Die dabei identifizierten Regelungslücken oder Schwachstellen der Genehmigungsinstrumente sowie der materiellen Anforderungen an die Ermittlung, Überwachung und Kommunikation von nanospezifischen Risiken für die Gesundheit der Verbraucher/innen werden erläutert und Lösungsoptionen erarbeitet und bewertet, die Eingang in die abschliessenden Empfehlungen in Kapitel 11 finden.

Methodisch konzentriert sich die Gesetzesanalyse auf die Rechtslage nach dem Schweizer Bundesrecht. Untersucht werden die Vorschriften für Lebensmittel, Verarbeitungshilfsstoffe und Verpackungen, nicht hingegen Arbeits- und Umweltschutzvorschriften, die bei der Produktion von Lebensmitteln oder Verpackungen einzuhalten sind.

Es wird sowohl die Rechtslage abstrakt dargestellt als auch anhand von zwei Beispielen von bereits auf dem Markt erhältlichen oder vor der Markteinführung stehenden Nanomaterialien erläutert.

Ergebnis dieses Arbeitspakets ist die Ermittlung regulatorischer Lücken und Schwachstellen bei der Zulassung und Vermarktung von Lebensmitteln, Lebensmittelzusatz- und Verarbeitungshilfsstoffen sowie Lebensmittelverpackungen, die Nanomaterialien enthalten (Beantwortung der Fragestellung 9).

Die wichtigsten lebensmittelrechtlichen Vorschriften der Schweiz, die in dieser Studie auf ihre Anwendbarkeit für Nanomaterialien im Lebensmittel- und Verpackungsbereich untersucht wurden, sind:

- das Schweizer Bundesgesetz über Lebensmittel und Gebrauchsgegenstände (Lebensmittelgesetz, LMG);¹⁰²
- die Lebensmittel- und Gebrauchsgegenständeverordnung (LGV)¹⁰³ und die Verordnung über Bedarfsgegenstände;¹⁰⁴
- das Bundesgesetz über den Schutz vor gefährlichen Stoffen und Zubereitungen (Chemikaliengesetz, ChemG);¹⁰⁵
- die Verordnung über den Schutz vor gefährlichen Stoffen und Zubereitungen (Chemikalienverordnung, ChemV);¹⁰⁶
- die Verordnung über die in Lebensmitteln zulässigen Zusatzstoffe (Zusatzstoffverordnung, ZuV);¹⁰⁷
- die Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln;¹⁰⁸
- die Verordnung über den Zusatz essenzieller oder physiologisch nützlicher Stoffe zu Lebensmitteln;¹⁰⁹
- die Verordnung über Speziallebensmittel¹¹⁰ sowie
- die Verordnung über die Kennzeichnung und Anpreisung von Lebensmitteln (LKV).¹¹¹

Als Ergebnis der Marktanalyse in Kapitel 5 ist festzuhalten, dass konkrete Anwendungen der Nanotechnologien im Lebensmittelbereich bei Zusatzstoffen und Speziallebensmitteln (Nahrungsergänzungsmitteln) sowie im Bereich der Lebensmittelverpackungen derzeit auf dem Markt befindlich sind. Deshalb liegt ein Schwerpunkt der bisherigen rechtlichen Analyse und der folgenden Darstellung auch auf den Regularien für diese Anwendungsfelder.

¹⁰² Vom 9. Oktober 1992 (Stand am 20. Juni 2006), SR 817.00; AS 1995 1469.

¹⁰³ Vom 23. November 2005 (Stand am 12. Dezember 2006); SR 817.02, AS 2005 5451.

¹⁰⁴ Vom 23. November 2005 (Stand am 12. Dezember 2006); SR 817.023.21, AS 2005 6363.

¹⁰⁵ Vom 15. Dezember 2000 (Stand am 13. Juni 2006); SR 813.1, AS 2004 4763.

¹⁰⁶ Vom 18. Mai 2005 (Stand am 1. Mai 2007), SR 813.11, AS 2005 2721.

¹⁰⁷ Verordnung des EDI über die in Lebensmitteln zulässigen Zusatzstoffe (Zusatzstoffverordnung, ZuV) vom 23. November 2005 (Stand am 27. Dezember 2005), AS 2005 6191. Die Verordnung wurde überarbeitet, aber noch nicht im Amtsblatt veröffentlicht.

¹⁰⁸ Verordnung des EDI über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln (Fremd- und Inhaltsstoffverordnung, FIV) vom 26. Juni 1995 (Stand am 10. Oktober 2006), AS 1995 2893.

¹⁰⁹ Verordnung des EDI über den Zusatz essenzieller oder physiologisch nützlicher Stoffe zu Lebensmitteln vom 23. November 2005 (Stand am 27. Dezember 2005), AS 2005 6345.

¹¹⁰ Verordnung des EDI über Speziallebensmittel vom 23. November 2005, SR 817.022.104, AS 2005 5451.

¹¹¹ Vom 23. November 2005 (Stand am 12. Dezember 2006), SR 817.02, AS 2005 6159.

6.1. Schweizer Chemikalienrecht

Seit dem 1. Juni 2007 ist für die Zulassung von Stoffen und Zubereitungen – auch synthetische Nanomaterialien – in der Europäischen Gemeinschaft die Chemikalienverordnung REACH (EG) 1907/2006 zu beachten.

Von der Registrierungs- und Zulassungspflicht der REACH-Verordnung nicht betroffen sind Stoffe, die ausschliesslich in Lebensmitteln gemäss der Verordnung (EG) Nr. 178/2002 verwendet werden, einschliesslich der Lebensmittelzusatzstoffe und Aromastoffe (Art. 2 Abs. 5 lit. b REACH). Nur eingeschränkt anwendbar ist REACH auf Endverwendungen in Materialien, die mit Lebensmitteln in Berührung kommen (also Lebensmittelverpackungen und bestimmte Bedarfsgegenstände), da bei diesen der Stoffsicherheitsbericht die Risiken für die menschliche Gesundheit nicht zu berücksichtigen braucht (Art. 14 Abs. 5 lit. a REACH). Die Zulassung und Prüfung der Stoffe in Lebensmitteln, Verpackungen und Bedarfsgegenständen erfolgt nach gesonderten Rechtsvorschriften.

Als Folge des begrenzten Anwendungsbereichs von REACH kann auf die Risikomanagementinstrumente von REACH für Lebensmittelzusatzstoffe oder Verpackungsmaterialien nicht zurückgegriffen werden. Aber auch für Nanomaterialien, die von REACH erfasst werden (und z.B. auch in Lebensmitteln eingesetzt werden könnten), würden nur begrenzte Informationen z.B. hinsichtlich der Gefahren- und Risikobewertung vorliegen. Denn die REACH-Verordnung weist trotz ihrer generellen Anwendbarkeit auf Nanomaterialien einige Regelungen auf, die bislang nicht nano-spezifisch angepasst sind, deren Änderung gleichwohl diskutiert wird. Dies sind z.B. die Mengenschwelle für die Registrierung von «Phase-in»-Stoffen von derzeit mehr als 1 t pro Jahr und Hersteller bzw. Erzeuger, das Fehlen geeigneter nanospezifischer Methoden zur Gefahren- und Risikobeurteilung sowie die Frage, ob synthetische Nanomaterialien grundsätzlich als «Non-phase-in»-Stoffe (Neustoffe) behandelt werden. Zudem gibt es Vorschläge, die nanoskalige Form von Stoffen «sichtbar» zu machen, z.B. durch Änderung der CAS-Klassifizierung von Stoffen in nanoskaliger Form mit einem Zusatz, der Informationen zur Partikelgrösse enthält.¹¹²

Ebenso wie bei REACH sind im Schweizer Chemikalienrecht Lebensmittel nach Artikel 3 des Lebensmittelgesetzes (also Lebensmittelzutaten und -zusatzstoffe), die für die Endverbraucherinnen und Endverbraucher bestimmt sind,

¹¹² Vgl. Führ/Hermann et. al. (2008): Rechtsgutachten Nanotechnologien, S. 44; Franco et al. 2007.

vom Anwendungsbereich der Chemikalienverordnung¹¹³ ausgeschlossen (Art. 1 Abs. 5 lit. c ChemV).¹¹⁴

Insofern die Stoffe der Chemikalienverordnung unterliegen, besteht ein Unterschied gegenüber REACH bei der Registrierungsschwelle. So unterliegen Neustoffe – dazu zählen auch synthetische Nanomaterialien – im Gegensatz zu REACH in der Schweiz schon ab einer Jahresproduktion von mindestens 10 kg einer Anmeldepflicht (Art. 17 Abs. 1 lit. b ChemV).

6.2. Lebensmittelzusatzstoffe

6.2.1. Materielle Anforderungen

Für das Inverkehrbringen von Zusatzstoffen in nanoskaliger Form sind die materiellen Anforderungen der Zusatzstoffverordnung (ZuV)¹¹⁵ zu untersuchen. Die Zusatzverordnung regelt die in der Schweiz in Lebensmitteln zulässigen Zusatzstoffe, deren erlaubte Anwendungen und Höchstwerte sowie die entsprechenden Deklarationsvorschriften.

Definition von Zusatzstoffen

Unter Zusatzstoffen sind nach Art. 2 lit. I LGV Stoffe zu verstehen, die

- Lebensmitteln aus technologischen oder sensorischen Gründen absichtlich direkt oder indirekt zugesetzt werden, mit oder ohne Nährwert, und die als solche oder in Form von Folgeprodukten ganz oder teilweise in diesen Lebensmitteln verbleiben oder

¹¹³ Vgl. die Fundstelle in Fussnote 106.

¹¹⁴ In der Schweiz wurden erst 2005 mit dem Chemikaliengesetz und den PARCHEM-Verordnungen die nationalen Vorschriften des Chemikalienrechts an diejenigen der Europäischen Gemeinschaft angepasst. Die erneute Anpassung an REACH wird derzeit diskutiert. Zum Vergleich des Chemikalienrechts der Schweiz und der EU vgl. BAFU (2007) *Auswirkungen von REACH auf die Schweiz – Handlungsoptionen der Schweiz und Auswirkungen auf Umwelt, Gesundheit und Wirtschaft*, verfügbar unter: <http://www.umwelt-schweiz.ch/uw-0733-d>.

¹¹⁵ Vgl. die Verordnung des EDI über die in Lebensmitteln zulässigen Zusatzstoffe (Zusatzstoffverordnung, ZuV) vom 23. November 2005 (Stand am 27. Dezember 2005), AS 2005 6191.

- einem Lebensmittel zugesetzt werden, um diesem einen besonderen Geruch oder Geschmack zu verleihen (Aromen).

Nicht zu den Zusatzstoffen zählen:

- Fremdstoffe nach Art. 2 lit. m LGV, die
 - bei der Gewinnung, Herstellung, Lagerung und Zubereitung in die Lebensmittel gelangen können, wie zum Beispiel Pflanzenschutzmittel, Biozide oder Tierarzneimittel oder
 - durch Umwelteinflüsse in Lebensmittel gelangen oder durch chemische oder biologische Vorgänge darin entstehen, wie zum Beispiel chlorierte Kohlenwasserstoffe, Schwermetalle, radioaktive Nuklide, Nitrosamine oder Mykotoxine;
- Stoffe, die in Art. 1 Abs. 6 ZuV aufgeführt sind, wie z.B. Stoffe zur Behandlung von Trinkwasser etc. sowie
- Verarbeitungshilfsstoffe.

Anforderungen an Zusatzstoffe und das «Positivprinzip»

Nach dem «Positivprinzip», das gem. Art. 1 ZuV für das Inverkehrbringen von Zusatzstoffen gilt, dürfen von den Herstellern nur die ausdrücklich in der Zusatzstoffverordnung zugelassenen Zusatzstoffe in Lebensmitteln verwendet werden. Für nicht zugelassene Stoffe gilt ein Verwendungsverbot. Ist ein Zusatzstoff nicht auf der Positivliste geführt, so kann der Hersteller die Zulässigkeit der Verwendung in einem Bewilligungsverfahren anstreben (vgl. dazu Kapitel 6.2.2).

Die Anforderungen an Zusatzstoffe, die bei der Zulassung vorliegen müssen, sind in Art. 2 Abs. 2 ZuV aufgeführt. Danach muss:

- eine hinreichende technische oder organoleptische Notwendigkeit für die Verwendung des Zusatzstoffes nachgewiesen werden, d.h. ein Lebensmittel oder Produkt ohne den Stoff nicht hergestellt werden können. Weiterhin darf das angestrebte Ziel nicht mit anderen, wirtschaftlich und technisch brauchbareren Methoden zu erreichen sein;
- die vorgeschlagene Dosis für den Verbraucher gesundheitlich unbedenklich sein, d.h. der Verzehr in den angewendeten Konzentrationen auch langfristig

kein Gesundheitsrisiko darstellen. Der Antragsteller muss dazu die Unterlagen zur Analytik beibringen.

- eine Irreführung der Konsument/innen durch die Verwendung der Zusatzstoffe ausgeschlossen werden; d.h. durch den Zusatz des Stoffes darf das Lebensmittel nicht den Eindruck von Eigenschaften erwecken, welche es gemäss objektiver Beurteilung gar nicht besitzt.

Die Liste der zugelassenen, mit E-Nummern versehenen Zusatzstoffe ist in **Anhang 1 der ZuV** enthalten und umfasst die folgenden Zusatzstoffgattungen:

- Farbstoffe,
- Konservierungs- und Antioxidationsmittel,
- Süssungsmittel und
- übrige Zusatzstoffe.

Wie in Kapitel 5 ermittelt wurde, sind aus dieser Liste von Zusatzstoffen des Anhangs 1 ZuV amorphes Siliziumdioxid (E 551) und Carotinoide in nanoskaliger Form – im Sinne der erweiterten Definition dieser Studie – in der Schweiz erhältlich.

Im Hinblick auf die Verwendung von Nanomaterialien als Zusatzstoffe sind die ersten beiden Anforderungen in Art. 2 Abs. 2 ZuV näher zu untersuchen. Dabei ist für die Zulässigkeit auch die behördliche Anwendungspraxis entscheidend: Wann liegt z.B. eine «hinreichende technische oder organoleptische Notwendigkeit» für die Zulassung von Nanomaterialien als Zusatzstoff vor? Diese Frage hängt eng mit der zweiten Anforderung zusammen, dass die Funktionalität eines Zusatzstoffes in nanoskaliger Form nicht auch mit anderen wirtschaftlich und technisch brauchbaren Methoden erreicht werden kann. Die hier angelegte Alternativenprüfung dürfte gerade für nanoskalige Zusatzstoffe, deren gesundheitliche Unbedenklichkeit in Frage steht, wichtig sein. Für die Zulassungspraxis von Nanomaterialien als Zusatzstoffe von grosser Bedeutung ist der im zweiten Spiegelstrich des Art. 2 Abs. 2 ZuV angesprochene Nachweis der gesundheitlichen Unbedenklichkeit des Zusatzstoffes. Gerade für schon zugelassene Zusatzstoffe wird eine Übertragung der Unbedenklichkeitsbewertung und der dazu festgelegten Grenzwerte nicht ohne Weiteres auch auf die nanoskalige Form des Zusatzstoffes zulässig sein.

Generell ergibt sich bei der Positivliste in der ZuV das Problem, dass die Beschreibung der bereits nach der Zusatzstoffverordnung zugelassenen Zusatzstoffe in Anhang 1 ZuV diese mit Stoffnamen beschreibt, ohne auf ihre Parti-

kelgrösse Bezug zu nehmen. Eine Partikelgrösse ist lediglich für Cellulose (E 460) näher spezifiziert als «mikrokristalline Cellulose», das als Füll-, Trenn- und Verdickungsmittel verwendet wird. Für bereits zugelassene Stoffe in Anhang 1 ZuV besteht somit die Möglichkeit, dass sie als nano- oder makroskalige Zusatzstoffe zulässig in Lebensmitteln eingesetzt werden können.

Zulässigkeit von Zusatzstoffen bei Einhaltung der «Guten Herstellerpraxis»

In der Anwendungsliste in **Anhang 7 der ZuV** sind für das bestimmte Lebensmittel die Zusatzstoffe genannt, die bei Einhaltung der Guten Herstellungspraxis (GHP) erlaubt sind oder deren Verwendung nur in einer bestimmten Mengengrenzung zulässig ist. «Gute Herstellungspraxis» (GHP) bedeutet, dass Art und Menge der betreffenden Zusatzstoffe gemäss Rezeptur für entsprechende Qualitätsprodukte gewählt werden dürfen, wie sie branchenüblich sind. Der Zusatz soll nicht grösser sein als die Menge, die zur Erzielung der gewünschten Wirkung erforderlich ist. Er darf die Verbraucher/innen nicht irreführen. Die Gute Herstellerpraxis und die Mengengrenzungen für Zusatzstoffe in Lebensmitteln nach der Zusatzstoffverordnung wird durch die Masse eines Zusatzstoffs (i.d.R. g oder mg) pro Kilogramm bzw. Liter Lebensmittel angegeben.

Für den Fall der Verwendung von zugelassenen Zusatzstoffen oder der Neuzulassung dürfte die der Mengengrenzung zugrundeliegende «Dosis-Wirkungs-Beziehung» bei Nanomaterialien im Lebensmittelbereich nicht ohne Weiteres anwendbar sein.

Denn mit Blick auf die vorliegenden Kenntnisse über Stoffe in nanoskaliger Form – insbesondere das stark veränderte Oberflächen-Volumenverhältnis und die daraus ggf. resultierenden Besonderheiten – erscheinen die für die Makroform ermittelten Dosis-Wirkungsbeziehungen nicht 1:1 auf bestimmte nanoskalige Grössenordnungen derselben Stoffe übertragbar zu sein.¹¹⁶

Zusatzstoffpräparate

Schliesslich sind neben Zusatzstoffen auch Zusatzstoffpräparate zur Verwendung in Lebensmitteln zulässig (Art. 4 ZuV). Als Zusatzstoffpräparate werden

¹¹⁶ Vgl. SCENHIR 2006, S. 34: «...the safety evaluation of nanoparticles and nanostructures cannot rely on the toxicological and ecotoxicological profile of the bulk material that has been historically determined.»

Zusatzstoffe mit ihren jeweiligen Trägerstoffen und Trägerlösungsmitteln verstanden (Art. 4 Abs. 1 ZuV). Als Trägerstoffe und Trägerlösungsmittel wiederum werden Stoffe verstanden (Art. 4 Abs. 2 ZuV), die:

- verwendet werden, um einen Zusatzstoff zu lösen, zu verdünnen, zu dispergieren oder auf andere Weise physikalisch zu modifizieren und damit seine Handhabung, seinen Einsatz oder seine Verwendung zu erleichtern;
- die technologische Funktion des Zusatzstoffes nicht verändern;
- selbst keine technologische oder sensorische Wirkung im Endprodukt hervorrufen und
- die Zusammensetzung des Endproduktes nicht wesentlich verändern.¹¹⁷

Die Zusatzstoffpräparate dürfen nur die in Anhang 5 der ZuV aufgeführten Trägerstoffe und Trägerlösungsmittel und unter Berücksichtigung der dort aufgeführten Verwendungsbeschränkungen in Lebensmitteln eingesetzt werden (Art. 4 Abs. 3 ZuV). Die in Anhang 5 für bestimmte Stoffe vorgegebenen Beschränkungen verwenden als Begrenzungskriterien die Gute Herstellerpraxis oder Mengengrenzungen, so dass hier die dazu gemachten Ausführungen zu beachten sind.

Reinheitsanforderungen

Zusatzstoffe müssen nach Art. 5 ZuV **Reinheitsanforderungen** einhalten, damit keine gesundheitsgefährdenden Gehalte an organischen und anorganischen Verbindungen, insbesondere Schwermetallen, enthalten sind.

Diese Anforderungen werden durch das Bundesamt für Gesundheit (BAG) in der Form technischer Normen konkretisiert. Darüber hinaus gelten nach dem neuen Absatz 2 in Art. 5 ZuV die in der EU festgelegten spezifischen Reinheitskriterien für Zusatzstoffe auch in der Schweiz, welche in Anhang 8 ZuV aufgeführt sind.

¹¹⁷ Von den Zusatzstoffen zu unterscheiden sind Fremdstoffe, die unabsichtlich bei der Behandlung, Gewinnung, Lagerung oder durch Umwelteinflüsse in die Nahrung gelangen, wie z.B. Pflanzenschutzmittel, Tierarzneimittel, Schimmelpilzgifte, Schwermetalle oder radioaktive Nuklide. Ebenfalls von den Zusatzstoffen abzugrenzen sind die Verarbeitungshilfsstoffe (z.B. gewisse Enzyme oder Klärmittel) und die aus ernährungsphysiologischen Gründen zugesetzten Stoffe (z.B. Vitamine und Mineralstoffe).

Im Hinblick auf mögliche nanotechnologische Besonderheiten besteht sowohl ein Überprüfungs- und Anpassungsbedarf bei den Reinheitskriterien in Anhang 8 als auch bei den Reinheitsvorgaben in den technischen Normen. So ist für den Fall von Verunreinigungen mit reaktiven Metallen wie Eisen zu befürchten, dass Nanomaterialien durch ihre hohe chemische Reaktionsfähigkeit und besonders grosse spezifische Teilchenoberfläche oxidative Stressantworten in den Geweben fördern können. Zu beachten ist bei den Reinheitsanforderungen auch, dass bestimmte lipophile Bestandteile wie Phytosterole oder Phytosteranole, die in cholesterinsenkenden funktionellen Lebensmitteln eingesetzt werden, auch als Trägersysteme für Schwermetalle oder andere Umweltgifte fungieren und dadurch zu Vergiftungen führen können.¹¹⁸

6.2.2. Marktzugangskontrolle

Zur Beurteilung der materiellen Voraussetzungen für Zusatzstoffe (siehe voriges Kapitel) ist in der Schweiz das BAG zuständig. Diese Behörde bewertet die Zusatzstoffe nach international geltenden Richtlinien und nimmt sie gegebenenfalls in die Positivliste auf.

Ist ein Zusatzstoff nicht in einem Anhang der Zusatzstoffverordnung enthalten, kann das BAG auf begründeten Antrag hin bis zur Änderung der Anhänge der Zusatzstoffverordnung weitere Zusatzstoffe bewilligen und für einzelne Lebensmittel ihre Höchstmenge festlegen (Art. 2 ZuV). Dazu müssen die Voraussetzungen von Art. 2 Abs. 2 ZuV erfüllt sein (siehe dazu oben).¹¹⁹

Um technische Handelshemmnisse zwischen der EU und der Schweiz abzubauen, ist eine Bewilligung jedoch dann nicht erforderlich für die Anwendung neuer oder bereits zugelassener Zusatzstoffe, wenn diese in der Europäischen Union in der verwendeten Menge rechtmässig in Verkehr gebracht werden dürfen. Solche Zusatzstoffe muss der Hersteller oder Importeur dem BAG unter Verweis auf die für das Inverkehrbringen massgeblichen Vorschriften der EG melden (Notifikation). Dazu hat er die Rezeptur und die Zusatzstoffspezifikation zu übermitteln. Es obliegt dann aber dem BAG zu entscheiden, ob sie den

¹¹⁸ Vgl. Meisterernst (2006), S. 146, 148.

¹¹⁹ Provisorische Einzelbewilligungen für Zusatzstoffe sind auf der Website des BAG publiziert, siehe: www.bag.admin.ch/verbrauch/lebensmi/lmrecht/d/index.htm.

Zusatzstoff in der Schweiz zulassen will. Mit der Notifikation wird lediglich die Handlungspflicht vom Inverkehrbringer auf das BAG verlagert.

Da die Verweisung aber gerade für neue Anwendungen neuer Zusatzstoffe gilt, könnte dies vermehrt auch nanoskalige Zusatzstoffe betreffen.

In diesem Zusammenhang dürfte von grosser Bedeutung sein, inwieweit die vom Inverkehrbringer zu übermittelnde Rezeptur und die Zusatzstoffspezifikationen auch Rückschlüsse auf die Verwendung von Nanomaterialien zulässt.

6.2.3. Zwischenergebnis

Die Analyse der materiellen Anforderungen und der Marktzugangskontrolle im Hinblick auf die Verwendung von Nanomaterialien als Zusatzstoffe ergibt folgendes Bild:

- Die Beschreibung der bereits nach der Zusatzstoffverordnung zugelassenen Zusatzstoffe in Anhang 1 ZuV benennt die Zusatzstoffe mit Stoffnamen, ohne auf ihre Partikelgrösse Bezug zu nehmen. Eine Partikelgrösse ist lediglich für Cellulose (E 460) näher spezifiziert als «mikrokristalline Cellulose», die als Füll-, Trenn- und Verdickungsmittel verwendet wird.
- Wird eine bereits in Anhang 1 ZuV in makroskaliger Form zugelassene Zutat (Stoff) in nanoskaliger Form verwendet, ist dies ohne eine erneute – nanospezifische – Unbedenklichkeitsprüfung möglich. Es fehlt insofern eine rechtliche Klarstellung, ob die Positivliste der Zusatzstoffverordnung sowohl für makro- als auch nanoskalige Zusatzstoffe gelten soll. Soll die Zutat (Stoff) in einer anderen als der bisher zugelassenen Verwendung genutzt werden, ist hingegen eine erneute Zulassung notwendig. Dafür müssen aber die Prüf-, Mess- und Bewertungsmethoden für Zutaten nanospezifisch angepasst werden.
- Die materiellen Anforderungen der ZuV, z.B. die Einhaltung der Guten Herstellerpraxis und die Mengengrenzungen für Zusatzstoffe in Lebensmitteln etc., weisen keine nanospezifischen Regelungselemente auf.
- Die technischen Normen für Reinheitsanforderungen sollten hinsichtlich nanospezifischer Problemstellungen geprüft und gegebenenfalls angepasst werden. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf reaktive Metalle wie Eisen oder bestimmte lipophile Bestandteile wie Phytosterole oder Phytostanole.

6.3. Zusatz von essenziellen oder physiologisch nützlichen Stoffen

Die Verordnung über den Zusatz essenzieller oder physiologisch nützlicher Stoffe¹²⁰ regelt die Anreicherung von Lebensmitteln z.B. mit Vitaminen oder Mineralstoffen sowie deren Kennzeichnung und Anpreisung (Art. 1 Abs. 1 Verordnung). Werden die vorgenannten Stoffe als Zusatzstoffe dem Lebensmittel zugefügt, gilt nicht die Verordnung, sondern gem. Art. 1 Abs. 2 die Zusatzstoffverordnung (siehe Kapitel 6.2).

6.3.1. Materielle Anforderungen

Zulässig ist die Anreicherung von Lebensmitteln nach dem Grundsatz in Art. 2 Abs.1 Verordnung nur, wenn dies der Erhaltung oder Verbesserung des Nährwertes oder der Volksgesundheit dient und die Stoffe in Anhang 1 der Verordnung aufgeführt sind – «Positivprinzip» – (vgl. Art. 2 Abs. 1, Art. 3 Verordnung). Anhang 1 der Verordnung enthält die zulässigen Vitamine und Mineralstoffe sowie die empfohlenen Tagesdosen für Erwachsene, z.B. für Vitamin A als zulässige Dosis 800 µg. Die Bezeichnung der zulässigen Vitamine und Mineralien unterscheidet nicht zwischen verschiedenen Grössenformen der Stoffe.

6.3.2. Marktzugangskontrolle

Die Anhänge der Verordnung werden vom BAG regelmässig entsprechend dem Stand von Wissenschaft und Technik sowie dem Recht der wichtigsten Handelspartner der Schweiz angepasst (Art. 8 Verordnung). Ist ein Stoff nicht in Anhang 1 der Verordnung aufgeführt, kann das BAG auf Gesuch hin den Stoff für den Verkehr bewilligen. Es prüft die gesundheitliche Unbedenklichkeit, die Zweckmässigkeit, die Kennzeichnung sowie die Anpreisung der betreffenden Zusätze.

¹²⁰ Verordnung des EDI über den Zusatz essenzieller oder physiologisch nützlicher Stoffe zu Lebensmitteln vom 23. November 2005 (Stand am 27. Dezember 2005), AS 2005 6345 (im Folgenden: Verordnung).

Die Kennzeichnungsvorschriften in Art. 6 Verordnung schreiben vor, dass auf den Zusatz essenzieller oder physiologisch nützlicher Stoffe zu einem Lebensmittel im Lebensmittelzutatenverzeichnis hinzuweisen ist.

Eine Differenzierung der Stoffe nach ihrer Grössenform bzw. den Hinweis auf Nanomaterialien als Zugabe ist nicht vorgesehen.

Exkurs: EU-Recht

In der EU ist die Zulassung von Nahrungsergänzungsmitteln durch die EG-Richtlinie 2002/46/EG¹²¹ geregelt, wobei insbesondere die zulässigen Mineralstoffe und Vitamine vorgegeben sind. Seit dem 1. Juli 2007 sind Werbeaussagen über Nahrungsergänzungsmittel zudem durch die Verordnung über Nährwert- und gesundheitsbezogene Angaben über Lebensmittel (EG) Nr. 1924/2006¹²² geregelt. Die Gesundheitsangaben der Hersteller müssen nach dieser Verordnung einer wissenschaftlichen Überprüfung standhalten können.

6.3.3. Zwischenergebnis

Vom Anwendungsbereich der Verordnung über essenzielle oder physiologisch nützliche Stoffe sind prinzipiell auch solche Stoffe in nanoskaliger Form erfasst. Allerdings sind weder die materiellen Anforderungen nanospezifisch ausgestaltet noch nimmt die im Rahmen der Marktzugangskontrolle vorgeschriebene Kennzeichnung der Lebensmittel beim Zusatz essenzieller Stoffe auf die Grössenform Bezug.

¹²¹ Vgl. Richtlinie 2002/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 10. Juni 2002 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Nahrungsergänzungsmittel (Text von Bedeutung für den EWR), ABl. Nr. L 183 vom 12.07.2002, S. 51,

¹²² Vgl. Verordnung (EG) Nr. 1924/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Dezember 2006 über Nährwert- und gesundheitsbezogene Angaben über Lebensmittel, ABl. der EG Nr. L 404 vom 30.12.2006, S. 9; berichtigt in ABl. Nr. L 12 vom 18.01.2007, S. 3.

6.4. Verarbeitungshilfsstoffe

Bei der Verarbeitung von Lebensmittelzutaten und Lebensmitteln können zur Verbesserung der Produktion Verarbeitungshilfsstoffe – auch in nanoskaliger Form – eingesetzt werden.

Zu den Verarbeitungshilfsstoffen zählen Stoffe oder Präparate, die bei der Verarbeitung von Rohstoffen, Zwischenprodukten, Halbfabrikaten oder Lebensmitteln aus technologischen Gründen verwendet werden. Die Verarbeitung von Lebensmitteln im Sinne des LGV¹²³ erfasst jede wesentliche Veränderung des ursprünglichen Erzeugnisses, beispielsweise durch Erhitzen, Räuchern, Pökeln, Reifen, Trocknen, Marinieren, Extrahieren, Extrudieren oder durch eine Kombination dieser Verfahren (Art. 2 Abs. 1 lit. h LGV).

Zu beachten ist, dass Verarbeitungshilfsstoffe, die den Rohstoffen, Zwischenprodukten, Halbfabrikaten oder Lebensmitteln zugesetzt werden, im Laufe des Verarbeitungsprozesses wieder entfernt werden müssen, soweit dies technisch möglich ist (Art. 2 Abs. 1 lit. n LGV). Bestehen technisch unvermeidbare Rückstände oder Folgeprodukte von Verarbeitungshilfsstoffen, so müssen diese gesundheitlich unbedenklich sein und dürfen im Endprodukt keine Wirkung entfalten (Art. 16 LGV). Zur Prüfung der gesundheitlichen Unbedenklichkeit von Verarbeitungshilfsstoffen fehlen Mess-, Prüf- und Bewertungsmethoden sowie Grenzwerte, die den nanospezifischen potenziellen Risiken Rechnung tragen.

6.4.1. Zwischenergebnis

Beim Einsatz von Nanomaterialien als Verarbeitungshilfsstoff muss – wie bei allen anderen Verarbeitungshilfsstoffen – gewährleistet sein, dass ein stofflicher Übergang der Nanomaterialien auf Lebensmittel im Rahmen der technischen Möglichkeiten nicht erfolgt. Die Regelungen weisen keine nanospezifischen Regelungstatbestände auf.

¹²³ Vgl. die Fundstelle in Fussnote 103.

6.5. Speziallebensmittel (Nahrungsergänzungsmittel)

Der Einsatz von Nanomaterialien ist insbesondere bei so genannten «Nahrungsergänzungsmitteln» zu erwarten bzw. wird erforscht (vgl. Kapitel 5.3). Nahrungsergänzungsmittel (synonym werden auch die Begriffe «Functional Food», «Designer-Lebensmittel» und «Nutraceuticals» verwendet) sollen über ihre Ernährungsfunktion hinaus gesundheitlich bedeutsame, physiologische Parameter bei den Konsument/innen langfristig und gezielt beeinflussen.¹²⁴ Dementsprechend definiert die Verordnung Speziallebensmittel in Art. 2 Abs. 1 als Lebensmittel, «die für eine besondere Ernährung bestimmt sind und auf Grund ihrer Zusammensetzung oder des besonderen Verfahrens ihrer Herstellung:

- den besonderen Ernährungsbedürfnissen von Menschen entsprechen, welche aus gesundheitlichen Gründen eine andersartige Kost benötigen; oder
- dazu beitragen, bestimmte ernährungsphysiologische [...] Wirkungen zu erzielen.»

Die Arten von zulässigen Speziallebensmitteln, Anforderungen an ihre Zulassung und Kennzeichnung werden in der Schweiz durch die Verordnung des Eidgenössischen Departements des Innern (EDI) über Speziallebensmittel¹²⁵ vorgeschrieben.

Die SpeziallebensmittelV definiert abschliessend die Arten von Speziallebensmitteln in Art. 2 Abs. 2. Dazu zählen u.a. Nahrungsergänzungsmittel (lit. s) oder Lebensmittel für Diabetiker (lit. i).

6.5.1. Materielle Anforderungen

Speziallebensmittel müssen sich von normalen Lebensmitteln vergleichbarer Art (Normalerzeugnisse) durch ihre Zusammensetzung oder ihr Herstellungsverfahren deutlich unterscheiden (Art. 3 SpeziallebensmittelV). Die materiellen Anforderungen für die in Art. 2 Abs. 2 SpeziallebensmittelV genannten Spezial-

¹²⁴ Vgl. die Darstellung bei www.bfr.bund.de.

¹²⁵ Verordnung des EDI über Speziallebensmittel vom 23. November 2005, SR 817.022.104, AS 2005 5451 (im Folgenden: SpeziallebensmittelV).

lebensmittel sind in Abschnitt 2 näher geregelt und in Anhang 1 bis 15 der SpeziallebensmittelV spezifiziert.

Aufgrund der hervorgehobenen Rolle von Nahrungsergänzungsmitteln in der Diskussion um Nanomaterialien im Lebensmittelbereich (vgl. Kapitel 5.3) sollen die materiellen Anforderungen für deren Zulassung eingehender untersucht werden.

Zu den Nahrungsergänzungsmitteln zählen nach Art. 22 Abs. 1 SpeziallebensmittelV: «Erzeugnisse, die Vitamine, Mineralstoffe oder andere Substanzen (...) in konzentrierter Form enthalten und zur Ergänzung der Ernährung mit diesen Stoffen dienen» und als Kapseln, Tabletten, Flüssigkeiten oder Pulver angeboten werden.

Die als Nahrungsergänzungsmittel zulässigen Vitamine, Mineralstoffe und anderen Substanzen (Positivliste) sind gem. Art. 22 Abs. 3 in Anhang 13 SpeziallebensmittelV enthalten. Der Anhang 13 SpeziallebensmittelV schreibt für verschiedenste Vitamine wie z.B. Vitamin A, D oder C sowie für Mineralien wie z.B. Eisen, Zink, Selen oder Kupfer die jeweils für Erwachsene zugelassenen Tagesdosen vor. Die Auflistung der Vitamine und Mineralien nimmt auf deren Grösse keinen Bezug.

6.5.2. Marktzugangskontrolle

Neuartige Speziallebensmittel benötigen eine Bewilligung. Die Gesuche werden im Hinblick auf Gesundheitsschutz und Täuschungsschutz geprüft und erhalten bei Zulassung eine eigene BAG-Nummer zugeteilt.

Die Kennzeichnung von Speziallebensmitteln richtet sich nach Art. 2 LKV sowie zusätzliche Angabe nach Art. 4 SpeziallebensmittelV.

Für Nahrungsergänzungsmittel ist zudem gem. Art. 22 Abs. 7 SpeziallebensmittelV zu kennzeichnen, dass:

- es sich beim betreffenden Erzeugnis um ein Nahrungsergänzungsmittel handelt;
- die Erzeugnisse ausserhalb der Reichweite von Kindern zu lagern sind.

Aufgrund der Kennzeichnung als Speziallebensmittel wird dem Kunden schon immanent vermittelt, dass es sich nicht um ein «gewöhnliches» Lebensmittel handelt, sondern um ein Lebensmittel mit einer spezifischen Funktion. Die Kennzeichnung lässt jedoch nicht erkennen, ob in dem Speziallebensmittel nanoskalige Zutaten enthalten sind oder nanospezifische Verfahren bei der Herstellung angewandt wurden.

Exkurs: EU-Recht

Insofern Nanopartikel in neuartigen Lebensmitteln auf den EG-Markt gebracht werden sollen, unterliegen sie der Zulassungspflicht nach der Verordnung (EG) Nr. 258/97 über neuartige Lebensmittel und neuartige Lebensmittelzutaten.¹²⁶

Die Verordnung gilt für alle Lebensmittel, die nicht vor dem 15. Mai 1997 für den menschlichen Konsum genutzt wurden. Auch diese Verordnung enthält eine Positivliste für die Zulassung aller Inhaltsstoffe und Produkte, bevor sie in den Handel gelangen, sowie Analysen durch die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA). Die Verordnung legt fest, dass Zusammensetzung, Nährwert, Verstoffwechselung, beabsichtigter Verwendungszweck und die Höhe der mikrobiologischen und chemischen Verschmutzungen beurteilt werden. Studien über Toxizität, Allergenität und Details über die Verarbeitung werden gegebenenfalls in die Bewertung einbezogen.

6.5.3. Zwischenergebnis

Speziallebensmittel (u.a. Nahrungsergänzungsmittel), die Nanomaterialien enthalten, werden vom Anwendungsbereich der Speziallebensmittelverordnung erfasst. Die Positivliste der zulässigen Vitamine und Zusatzstoffe bei Nahrungsergänzungsmitteln ist ebenso wenig nanospezifisch wie die Kennzeichnungsregeln.

6.6. Lebensmittelverpackungen und Gebrauchsgegenstände

Lebensmittel können prinzipiell mit Nanomaterialien in Kontakt kommen, wenn Nanomaterialien in Verpackungsmaterialien enthalten sind, wie z.B. in Kunststoffverpackungen.

¹²⁶ Verordnung (EG) Nr. 258/97 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 1997 über neuartige Lebensmittel und neuartige Lebensmittelzutaten, Abl. Nr. L 43 vom 14.02.1997, S. 1.

6.6.1. Materielle Anforderungen

Die Marktzulassung von Nanomaterialien in Lebensmittelverpackungen richtet sich nach der Lebensmittel- und Gebrauchsgegenständeverordnung (LGV).¹²⁷ Verpackungen fallen dabei rechtlich unter den Begriff der «Bedarfsgegenstände». Gebrauchsgegenstände umfassen gem. Art. 5 lit. a LMG «Gegenstände, die im Zusammenhang mit der Herstellung, Verwendung oder Verpackung von Lebensmitteln verwendet werden (z.B. Geräte, Geschirr oder Verpackungsmaterial)». Verpackungen lassen sich entsprechend der Definition in Art. 2 lit. e und f LGV noch mal unterscheiden in «Umhüllung» und «Verpackung». Während die Umhüllung in direktem Kontakt mit dem Lebensmittel steht und als «die Hülle oder das Behältnis, die das Lebensmittel unmittelbar umgibt» verstanden wird, ist die Verpackung definiert als «ein Behältnis, das ein oder mehrere umhüllte Lebensmittel enthält». Die Verpackung steht damit nicht in direktem Kontakt mit dem Lebensmittel.

Im Hinblick auf die anzuwendenden materiellen Anforderungen für Lebensmittelumhüllungen ist zu differenzieren zwischen einer «Umhüllung» und dem «Überzug»:

- Umhüllungen sind gem. Art. 2 lit. e als Bedarfsgegenstände eingestuft und nach den Regeln der Lebensmittel- und Gebrauchsgegenständeverordnung i.V.m. BedarfsgegenständeV zu beurteilen.
- Nicht als Bedarfsgegenstände gelten Überzugsstoffe für Lebensmittel wie Käse, Fleisch- und Wurstwaren oder Obst, die mit den Lebensmitteln ein Ganzes bilden und mit verzehrt werden können (Art. 1 Abs. 2 BedarfsgegenständeV¹²⁸). Überzugsstoffe haften nur oberflächlich auf dem Lebensmittel, verleihen ihm damit eine geeignete Oberflächenbeschaffenheit und können zudem physikalische Wirkungen, insbesondere Schutzwirkungen, ausüben. Sie zählen zu den Zusatzstoffen und werden in ihrer zulässigen Form in den Anhängen der Zusatzstoffverordnung aufgeführt (siehe Kapitel 6.2). Beispiele für Überzugsmittel sind Bienenwachs (E 901), *Gummi arabicum* (E 414), Paraffin und Paraffinöl (E 905).

¹²⁷ Verordnung des EDI über Bedarfsgegenstände vom 23. November 2005 (Stand am 12. Dezember 2006); SR 817.02, AS 2005 6363.

¹²⁸ vom 23. November 2005 (Stand: 12. Dezember 2006); SR 817.023.21.

Inwieweit durch nanotechnologische Entwicklungen die Abgrenzung zwischen Umhüllung und Überzugsmitteln erschwert oder aufgehoben wird, bleibt abzuwarten.

Nach dem Grundsatz des Art. 14 LMG dürfen Gebrauchsgegenstände «bei bestimmungsgemäsem oder üblicherweise zu erwartendem Gebrauch die Gesundheit nicht gefährden». Diese grundsätzliche Anforderung an den Gesundheitsschutz erfasst auch mögliche Gefahren, die von der Verwendung von Nanomaterialien in Gebrauchsgegenständen ausgehen können. Eine Konkretisierung dieser grundsätzlichen Anforderungen ist durch die Lebensmittel- und Gebrauchsgegenständeverordnung (LGV) erfolgt.

Nach Art. 34 LGV dürfen Verpackungen an Lebensmittel Stoffe nur in Mengen abgeben, die:

- gesundheitlich unbedenklich sind,
- technisch unvermeidbar sind und
- keine Veränderung der Zusammensetzung oder der organoleptischen Eigenschaften der Lebensmittel herbeiführen.

Die besonderen Anforderungen an Bedarfsgegenstände sind in der Verordnung über Bedarfsgegenstände (im Folgenden: BedarfsgegenständeV) enthalten.

Das BAG kann gem. Art. 8 BedarfsgegenständeV in einem Bewilligungsverfahren auf begründetes Gesuch hin weitere Stoffe befristet zulassen. Dabei hat das BAG insbesondere zu berücksichtigen:

- die Toxikologie eines Stoffes;
- die in das Lebensmittel oder in lebensmittelsimulierende Prüflüssigkeiten migrierenden Stoffe;
- die Methoden zur spurenanalytischen Bestimmung der Stoffe;
- die technische Notwendigkeit der Anwendung der Stoffe.

In der BedarfsgegenständeV werden für bestimmte Verpackungen konkrete Anforderungen definiert, so z.B. für:

- Bedarfsgegenstände aus Metall und Metalllegierungen (Abschnitt 2),
- Bedarfsgegenstände aus Kunststoff (Abschnitt 3),
- Bedarfsgegenstände aus Zellglasfolien (Cellophan) (Abschnitt 4),
- Bedarfsgegenstände aus Keramik, Glas, Email und ähnlichen Materialien (Abschnitt 5).

Besondere Anforderungen an Nanomaterialien hinsichtlich der Risikobeurteilung, Prüf- und Messmethoden oder Migrationsgrenzwerte für Nanopartikel finden sich nicht für die einzelnen Bedarfsgegenstände der Abschnitte 2 bis 5 BedarfsgegenständeV.

Da insbesondere bei Verpackungen aus Kunststoff in der Marktanalyse der Einsatz von Nanomaterialien festgestellt wurde (siehe die mehrschichtigen PET-Flaschen in Kapitel 5.4), sollen die dafür geltenden Vorschriften eingehender untersucht werden.

Bedarfsgegenstände aus Kunststoff sind nach der Definition solche, bei denen Materialien und Gegenstände sowie Teile davon ausschliesslich aus Kunststoff oder aus zwei oder mehr Schichten bestehen, von denen jede ausschliesslich aus Kunststoff besteht und die durch Klebstoffe oder auf andere Weise zusammengehalten werden (Art. 6 Abs. 1 BedarfsgegenständeV). Zu den Kunststoffen zählen hoch- oder höchstmolekulare Polymere, die aus Monomeren und anderen Ausgangsstoffen oder durch chemische Veränderung natürlicher Makromoleküle hergestellt werden (Art. 6 Abs. 2 BedarfsgegenständeV).¹²⁹

Nach dem Positivprinzip dürfen Stoffe, die bestimmungsgemäss mit Lebensmitteln in Berührung kommen, nur dann in Kunststoffverpackungen verwendet werden,¹³⁰ wenn sie die Anforderungen an diese Kunststoffe und ihre Bestandteile in Anhang 1 der BedarfsgegenständeV einhalten.¹³¹ In Spalte 3 des

¹²⁹ Keine Kunststoffe sind hingegen:

- Filme aus regenerierter Zellulose, mit oder ohne Lacküberzug;
- Papier und Karton, auch wenn sie durch Zusatz von Kunststoffen modifiziert worden sind;
- Ionenaustauscherharze;
- Elastomere und natürlicher oder synthetischer Kautschuk;
- Überzüge aus Paraffinwachs, einschliesslich synthetischem Paraffinwachs sowie mikrokristallinem Wachs, und Überzüge aus Gemischen der vorgenannten Wachse untereinander oder mit Kunststoff.

¹³⁰ Die Anforderungen an Bedarfsgegenstände aus Kunststoff sind sinngemäss entsprechend für Kunststoffe, die zum Überziehen, Kaschieren, Lackieren, Beschichten oder Imprägnieren von Bedarfsgegenständen verwendet werden, anzuwenden (Art. 11 BedarfsgegenständeV).

¹³¹ Das entsprechende Prinzip gilt für unbeschichtete Zellglasfolien, die nur aus den in Anhang 2 BedarfsgegenständeV aufgeführten Stoffen oder Stoffgruppen unter Einhaltung der dort genannten Voraussetzungen hergestellt werden dürfen.

Anhangs 1 der BedarfsgegenständeV sind für bestimmte Kunststoffe Migrationsgrenzwerte¹³² angegeben, die allerdings keine nanospezifischen Anforderungen erkennen lassen.

Aktive und intelligente Materialien und Gegenstände

Im Hinblick auf die Verwendung von Nanotechnologien im Verpackungsbereich sind vor dem Hintergrund der Ergebnisse der Marktanalyse in Kapitel 5.4 aktive und intelligente Materialien und Gegenstände besonders zu untersuchen.

Als «aktiv» gelten dabei Materialien und Gegenstände, die dazu bestimmt sind, die Haltbarkeit zu verlängern oder den Zustand von verpackten Lebensmitteln zu erhalten oder zu verbessern. Sie enthalten gezielt Bestandteile, die Stoffe an die verpackten Lebensmittel oder die Umgebung der Lebensmittel abgeben oder daraus aufnehmen (Art. 22 Abs. 1 BedarfsgegenständeV).

Als «intelligent» gelten Materialien und Gegenstände, die den Zustand der verpackten Lebensmittel oder die Umgebung der Lebensmittel überwachen (Art. 22 Abs. 3 BedarfsgegenständeV).

Die materiellen Anforderungen an aktive Materialien und Gegenstände sind in Art. 23 BedarfsgegenständeV nur sehr offen und knapp beschrieben. Danach dürfen sie die Zusammensetzung oder die organoleptischen Eigenschaften der Lebensmittel nur so verändern, dass das Lebensmittel weiterhin der Lebensmittelgesetzgebung entspricht.

Hinsichtlich der Kennzeichnungspflicht ist in Art. 24 eine weitgehende Informationspflicht vorgesehen; so müssen aktive oder intelligente Materialien und Gegenstände so gekennzeichnet sein, dass ihre Funktion und ihr Verwendungszweck klar erkennbar sind. Zudem müssen die Bezeichnung und die Menge der Stoffe angegeben werden, die durch den aktiven Bestandteil an das Lebensmittel abgegeben werden.

¹³² Der Migrationsgrenzwert bezeichnet die maximale Menge eines Stoffes, die aus Materialien und Gegenständen aus Kunststoff im Kontakt mit Lebensmitteln oder Simulantien in diese übergehen darf. Sie werden in mg/kg Lebensmittel oder Prüflüssigkeit angegeben.

Exkurs: EU-Recht

Die EU-Verpackungsverordnung (EG) Nr. 1935/2004¹³³ regelt alle Materialien, die mit Lebensmitteln in Kontakt kommen. In einer Positivliste sind die zugelassenen Substanzen enthalten, die hinsichtlich ihrer potenziellen Toxizität und Sicherheit geprüft wurden. Die Verpackungsverordnung legt zudem die Standards für das Entweichen von Chemikalien und anderen Inhaltsstoffen aus Lebensmittelverpackungen oder Küchengeräten und Küchenutensilien in Lebensmittel fest und verlangt darüber hinaus, dass alle Materialien rückverfolgbar sein müssen.

Regelungen, die explizit Nanomaterialien erwähnen oder nanospezifische Anforderungen an diese Materialien festschreiben, sind in der Verpackungsverordnung nicht enthalten.

Hinzuweisen ist aber auf bereits in der Verordnung bestehende Regelungen zu aktiven und intelligenten Lebensmittelkontaktmaterialien und -gegenständen, die auch auf entsprechende Nanomaterialien Anwendung finden könnten. Aktive Lebensmittelkontaktmaterialien – im Gegensatz zu herkömmlichen, von ihrer Zusammensetzung nicht inerte Materialien – enthalten gezielt «aktive» Bestandteile, die mit Lebensmitteln in Berührung kommen sollen, um deren Zustand aktiv zu erhalten oder zu verbessern. Intelligente Materialien sind dazu bestimmt, den Zustand von Lebensmitteln zu überwachen. Bei beiden Verpackungsarten müssen die verwendeten Materialien und Gegenstände die Zulassungsvoraussetzungen der Richtlinie 89/107/EWG über Lebensmittelzusatzstoffe einhalten.

6.6.2. Marktzugangskontrolle

Grundsätzlich dürfen Verpackungsmaterialien und andere Gebrauchsgegenstände (z.B. beschichtete Arbeitsmaterialien, die mit Lebensmitteln in Berührung kommen können), die nicht den Anforderungen der lebensmittelrechtlichen

¹³³ 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 und zur Aufhebung der Richtlinien 80/590/EWG und 89/109/EWG, ABl. Nr. L 338 vom 13.11.2004, S. 4.

Vorschriften entsprechen, nicht oder nur mit Auflagen verwendet oder in Verkehr gebracht werden (Art. 6 Abs. 1 LMG).

Damit unterliegen auch Verpackungsmaterialien oder andere Gebrauchsgegenstände, die Nanomaterialien enthalten, prinzipiell der Marktzugangskontrolle des Art. 6 Abs. 1 LMG. Allerdings läuft das Zulassungsverfahren leer, wenn die materiellen Anforderungen nanospezifische Aspekte nicht berücksichtigen.

Marktzugangskontrolle bei Kunststoffverpackungen

Die Kunststoffe und die Gebrauchsgegenstände aus Kunststoff, die im Lebensmittelbereich verwendet werden, müssen die Anforderungen der Lebensmittel- und Gebrauchsgegenständeverordnung (LGV) sowie der Verordnung über Bedarfsgegenstände einhalten. Die Importeure, Verarbeiter und Verkäufer, die verarbeitete Kunststoffe auf den Markt bringen, müssen sich vergewissern, dass diese mit den obigen Verordnungen übereinstimmen. Auf Verlangen führt das BAG eine Begutachtung der Materialien durch und stellt gegebenenfalls ein Unbedenklichkeitsschreiben aus. Dabei obliegt die praktische Beurteilung des gebrauchsfertigen Artikels den kantonalen Laboratorien, die gegebenenfalls ein Attest ausstellen, mit welchem die Lebensmitteltauglichkeit des Materials bescheinigt wird.

6.6.3. Zwischenergebnis

Der Anwendungsbereich der Regelung für Verpackungen ist so weit gefasst, dass prinzipiell auch Nanomaterialien in Verpackungen von der Lebensmittel- und Gebrauchsgegenständeverordnung erfasst werden. Zwar muss auch beim Einsatz von Nanomaterialien in Verpackungen und Bedarfsgegenständen – wie bei allen anderen Verpackungsmaterialien – gewährleistet sein, dass ein stofflicher Übergang der Nanomaterialien aus Verpackungsmaterialien auf Lebensmittel nicht erfolgt. Aber die Regelungen wurden nicht in Hinblick auf Nanomaterialien erlassen und machen deshalb keinen Unterschied zwischen Bulk-Chemikalien und ihren nanoskaligen Pendanten. Es ist insoweit offen, inwieweit eine Prüfung eines möglichen Übergangs von Nanomaterialien in Lebensmittel und damit

verbundene Gefahren bei der Zulassung tatsächlich erfolgt.¹³⁴ Die Prüf- und Messmethoden sowie die Bewertungsmaßstäbe zur Beurteilung der Risiken und Gefahren, die von Nanomaterialien in Verpackungen ausgehen können, sind deshalb auf den Prüfstand zu stellen.¹³⁵

Ferner sollte geprüft werden, inwieweit in der Lebensmittel- und Gebrauchsgegenständeverordnung (LGV) sowie den untergesetzlichen Regelungen auf diese Unterscheidung zwischen Bulk-Chemikalien und den entsprechenden nanoskaligen Stoffen eingegangen werden sollte.¹³⁶

Zu überlegen ist, ob die Regelungen zur Rückverfolgbarkeit einen speziellen Hinweis zu Nanopartikeln beinhalten und damit letztendlich den Zugang zu den relevanten Sicherheitsdossiers für diese Materialien ermöglichen sollten.¹³⁷

6.7. Allgemeine Anforderungen an die Marktzugangs- und Nachvermarktungskontrolle im Lebensmittelbereich

Die Hersteller von Lebensmitteln und Gebrauchsgegenständen müssen im Rahmen der Marktzugangskontrolle für das Inverkehrbringen dieser Produkte die Vorgaben und Anforderungen der produktspezifischen Verordnungen einhalten. Nach Art. 23 LMG sind die Produzenten, Importeure oder Händler dazu verpflichtet, selbst dafür zu sorgen, dass alle von ihnen in Verkehr gebrachten Produkte den geltenden gesetzlichen Vorschriften entsprechen. Dazu müssen

¹³⁴ Auf EU-Ebene haben die Kommission und die Mitgliedstaaten Lücken bei der Zulassung von Verpackungsmaterialien identifiziert und erstellen deshalb ein Arbeitsdokument als Vorschlag für eine Regelung von problematischen Substanzen und Materialien, die nicht im Lebensmittelverpackungsrecht geregelt sind.

¹³⁵ Anderer Auffassung ist hier die deutsche Bundesregierung in ihren Antworten «Einsatz von Nanotechnologie in Lebensmitteln», Bundestagsdrucksache 16/3981 vom 8. Dezember 2006 sowie in «Verbraucherpolitische Zwischenbilanz», Bundestagsdrucksache 16/6760 vom 23. Oktober 2007; diese Auffassung teilt der deutsche Bund für Lebensmittelrecht und Lebensmittelkunde e.V. (BLL) in seinem Sachstands- und Positionspapier «Nanotechnologie im Lebensmittelbereich» vom April 2008, S. 3 und 4.

¹³⁶ Auch die deutsche Verbraucherzentrale Bundesverband e.V. (vzbv) sieht in ihrem Positionspapier «Nanotechnologien – neue Herausforderungen für den Verbraucherschutz» vom 6. Mai 2008 ein entsprechendes Regelungsbedürfnis im deutschen Lebens- und Futtermittelgesetzbuch, S. 7.

¹³⁷ Vgl. die Überlegungen in IFST (2006).

die Lebensmittel einer der Sachbezeichnungen unterfallen, die in Art. 4 LGV aufgeführt sind und den Anforderungen gem. Art. 4 Abs. 1 lit. b LGV entsprechen, wie z.B. nur von den Behörden zugelassene Rohstoffe einsetzen und diese entsprechend deklarieren.

Für das Inverkehrbringen von Produkten, die nicht in den lebensmittelrechtlichen Verordnungen aufgeführt sind, kann eine Vermarktung nur erfolgen, wenn das BAG dafür eine Bewilligung erteilt hat (Art. 5 LGV).

Die Einhaltung der Sicherheitsanforderungen für Lebensmittel wird in der Regel nicht auf dem Weg einer Vormarktkontrolle überprüft. Die Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen an Lebensmittel und Gebrauchsgegenstände ist von den verantwortlichen Personen bei den Herstellern und Verarbeitern im Wege der Selbstkontrolle zu gewährleisten (vgl. Art. 49 LGV) und zu dokumentieren (Art. 55 LGV) (Sorgfaltspflicht und Selbstkontrolle).

Als Instrumente der Selbstkontrolle dienen dabei die Sicherstellung guter Verfahrenspraktiken (Gute Hygienepraxis, Gute Herstellungspraxis), die Anwendung von Verfahren, die auf den Prinzipien des HACCP-Konzepts (Art. 51 LGV) beruhen, die Rückverfolgbarkeit sowie die Probenahme und die Analyse von Lebensmitteln und Gebrauchsgegenständen.

Zudem wird die Einhaltung der lebensmittelrechtlichen Vorgaben von den zuständigen Behörden durch regelmässige und risikobasierte Kontrollen überwacht (Art. 56 LGV), für die die jeweiligen kantonalen Lebensmittelbehörden zuständig sind.

Dieser regulatorische Ansatz zur Überwachung der lebensmittelrechtlichen Vorschriften hat für die Überwachung von Nanomaterialien insofern bedenkenwerte Nachteile, als die Prüf- und Messmethoden für nanoskalige Substanzen sowie einzuhaltende Grenzwerte noch nicht oder nicht ausreichend entwickelt sind und somit eine Nachmarktkontrolle gegenüber «klassischen» Lebensmitteln oder Zusatzstoffen erschwert ist. Fraglich ist auch, inwieweit die regelmässigen risikobasierten Kontrollen gerade bei Lebensmitteln mit Nanomaterialien

durchgeführt werden können und dadurch eine tatsächliche Kontrolle der gesetzlichen Vorgaben in der Schweiz stattfindet.¹³⁸

6.8. Kennzeichnungspflicht für Nanomaterialien

Ein in der gesellschaftlichen Diskussion um Nanomaterialien häufig behandelte Punkt ist die Kennzeichnung von Lebensmitteln mit Nanomaterialien. Für eine solche Kennzeichnung wäre zunächst zu klären, was eigentlich der Kennzeichnungsinhalt sein soll. So sind z.B. die Verwendung von Nanomaterialien in der Lebensmittelherstellung und/oder das Vorhandensein von Nanomaterialien ab einem bestimmten Schwellenwert denkbar. Daran schliesst sich die Frage an, ob eine solche Kennzeichnung zulässig wäre, und welche Anforderungen bei der Kennzeichnung einzuhalten sind. Die rechtlichen Vorgaben und Grenzen einer Kennzeichnung sollen in den Grundzügen herausgearbeitet und untersucht werden.

Lebensmittelkennzeichnungsverordnung (LKV)

Die LKV bestimmt, mit welchen Angaben und in welcher Form Lebensmittel im Allgemeinen gekennzeichnet sein müssen und in welcher Form sie angepriesen werden dürfen (Art. 1 Abs. 1 LKV).

Die besonderen Kennzeichnungen und Anpreisungen der einzelnen Arten von Lebensmitteln sind in den produktspezifischen Verordnungen der Lebensmittelgesetzgebung geregelt und wurden in den vorherigen Kapiteln bereits behandelt.

Vorverpackte Lebensmittel, die in Verkehr gebracht werden, müssen mit den in Art. 2 Abs. 1 LKV aufgeführten Angaben direkt auf der Verpackung, Umhüllung oder auf Etiketten gekennzeichnet werden. Zu den kennzeichnungspflichtigen Angaben zählen insbesondere Zutaten. Alle Zutaten, definiert als Lebensmittel und Zusatzstoffe, müssen gem. Art. 5 Art. 1 LKV in mengenmässig absteigender Reihenfolge angegeben werden, wobei der Massenanteil zum Zeitpunkt der Verarbeitung massgebend ist. Eine Ausnahme von der Kennzeichnungspflicht,

¹³⁸ Taylor (2006) kommt für die USA zu dem Ergebnis, dass das Haushaltsbudget der für die Lebensmittelkontrollen zuständigen Food and Drug Administration (FDA) sowohl eine effektive Marktzugangs- als auch eine Nachvermarktungskontrolle verhindere.

die gerade auch für Zusatzstoffe in nanoskaliger Form entscheidend sein kann, gilt gem. Art. 5 Abs. 2 lit. i LKV für:

- übertragene Zusatzstoffe nach Art. 3 der Zusatzstoffverordnung (ZuV), wenn sie im Endprodukt technologisch nicht mehr wirksam sind;
- die in Zusatzstoffpräparaten nach Art. 4 ZuV mitverwendeten Trägerstoffe und Trägerlösungsmittel sowie die in Aromen zulässigen Antioxidantien und Konservierungsmittel;
- Packgase nach Anhang 3 Ziffer 16;
- Zusatzstoffe, die als Verarbeitungshilfsstoffe verwendet werden.

Für Lebensmittel, Zusatzstoffe und Verarbeitungshilfsstoffe, die gentechnisch veränderte Organismen (GVO) enthalten oder aus GVO gewonnen wurden, sieht Art. 2 Abs. 1 lit. o LKV eine Kennzeichnungspflicht vor. Eine entsprechende Hinweispflicht auf Lebensmittel, Zusatzstoffe und Verarbeitungshilfsstoffe, die aus Nanomaterialien bestehen oder diese enthalten, ist in der LKV nicht enthalten.

Zutaten müssen mit ihrer Sachbezeichnung angegeben werden (gem. Art. 6 Abs.1 LKV), wobei für Zutaten, die zu einer der in Anhang 2 LKV aufgeführten Klasse gehören, die Klasse angegeben werden darf. Zusatzstoffe dürfen nicht mit einer Sachbezeichnung angegeben werden, sondern mit der Bezeichnung einer der Gattungen nach Anhang 3, denen sie entsprechend ihrer Wirkung im betreffenden Lebensmittel zuzuordnen sind, sowie mit der Einzelbezeichnung oder der E-Nummer.

Sowohl die Sachbezeichnungen bzw. Klassen für Zutaten als auch die Gattungsbezeichnungen bzw. Einzelbezeichnungen oder E-Nummern weisen keine Unterscheidung zwischen einer nano- oder makroskaligen Form der Zutat oder des Zusatzstoffes auf.

Auch die Regelungen zur freiwilligen Kennzeichnung von Nährwerten in Art. 22 ff. der LKV, wie z.B. für Vitamine, Mineralstoffe und andere essenzielle oder physiologisch nützliche Stoffe (Art. 22 Abs. 2 LKV), enthalten keine nanospezifischen Vorgaben.

6.9. Recycling und Beseitigung von Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen

Bei den Regelungen zum Recycling und zur Beseitigung von Lebensmittel und Lebensmittelverpackungen werden bislang die Risiken von Nanomaterialien für Gesundheit und Umwelt nicht erfasst. In vielen naturwissenschaftlichen Fragen besteht noch Unwissen, z.B. ob und in welcher Form bzw. Grösse Nanomaterialien aus einem Produkt austreten können (vgl. das Ergebnis in der Studie «ReNaTe»¹³⁹).

6.10. Schlussfolgerungen der rechtlichen Untersuchung

Unbestritten können Stoffe in nanoskaliger Form andere chemische und physikalische Eigenschaften aufweisen als entsprechendes Bulk-Material (Stoffe in Makro-Grösse), die ihren Einsatz im Lebensmittel- und Verpackungsbereich interessant machen. Gleichzeitig bestehen bei Nanomaterialien für den Lebensmittelbereich und Verpackungen Erkenntnislücken zu deren toxikologischen Wirkungen, was zur Folge hat, dass die toxikologische Wissensbasis für die Risikobewertung und die rechtliche Steuerung fehlt.

Vor diesem Hintergrund hat der regulatorische Ansatz einer eher schwachen Vormarktkontrolle bei der Überwachung der lebensmittelrechtlichen Vorschriften für die Überwachung von Nanomaterialien im Lebensmittel und Verpackungsbereich insofern bedenkenswerte Nachteile, als die Prüf- und Messmethoden für nanoskalige Substanzen sowie einzuhaltende Grenzwerte noch nicht oder nicht ausreichend entwickelt sind und somit auch eine Nachmarktkontrolle gegenüber «klassischen» Lebensmitteln oder Zusatzstoffen erschwert ist.

Im Hinblick auf das in der Marktzugangskontrolle verwendete Positivprinzip für zugelassene Zusatzstoffe oder in Verpackungsmaterialien zulässige Stoffe ist zudem bislang ungeklärt, ob der Ersatz von zugelassenen Lebensmittelzusatzstoffen, Verarbeitungshilfsstoffen oder Verpackungsmaterialien im Makroformat durch entsprechende Stoffe im Nanoformat nur als eine einfache Änderung der

¹³⁹ Vgl. Führ, M./Hermann, A. et al. 2007, Rechtsgutachten Nano-Technologien, S. 6.

Lebensmittelformulierung betrachtet werden soll oder ob eine erneute Risikobewertung dieser Materialien durchgeführt werden muss.¹⁴⁰ Die Gute Herstellungspraxis und die Mengenbegrenzungen für Zusatzstoffe in Lebensmitteln nach der Zusatzstoffverordnung wird durch Masse eines Zusatzstoffs (i.d.R. g oder mg) pro Kilogramm bzw. Liter Lebensmittel angegeben und weist keine Berücksichtigung von möglichen nanospezifischen Risiken auf. Ausserdem ist für Zusatzstoffe, die ohne Einschränkung in allen Lebensmitteln eingesetzt werden dürfen, zu prüfen, ob diese schrankenlose Verwendung auch für die entsprechenden Stoffe in nanoskaliger Form gelten soll. Schliesslich sollten die technischen Normen für Reinheitsanforderungen hinsichtlich nanospezifischer Problemstellungen geprüft und gegebenenfalls angepasst werden.

Eine besondere Bezugnahme auf die Anwesenheit von Nanomaterialien bei einzelnen Lebensmitteln, wie z.B. funktionellen Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen, ist in den Kennzeichnungsvorschriften nicht enthalten. Die Konsument/innen, aber auch die Lebensmittelkontrollbehörden können somit nicht eindeutig Lebensmittel oder Verpackungen identifizieren, die nanoskalige Stoffe enthalten. Eine Wahlfreiheit können die Konsument/innen damit nicht wahrnehmen.

¹⁴⁰ Vgl. die entsprechende Beurteilung der Rechtslage in Grossbritannien: IFST (2006); Royal Society (2004).

7. Analyse der relevanten gesellschaftlichen Fragen

Ein wesentliches Ziel der Studie bestand in der Untersuchung, wie der Einsatz von Nanotechnologie im Bereich der Lebensmittel hinsichtlich der Bedürfnisse der Konsument/innen einzuordnen ist und welchen dieser Bedürfnisse konkret ggf. mit Nanotechnologie Rechnung getragen werden kann. Ferner wurde der Frage nachgegangen, welche Auswirkungen Nanotechnologie hinsichtlich des Ernährungsalltags und der Ernährungskultur(en) haben könnte.

Dazu wurde eine Meta-Analyse vorhandener Studien hinsichtlich der folgenden, für die gesellschaftlichen Aspekte relevanten Forschungsfragen 10–12 durchgeführt.

- Frage 10: Inwieweit kann die Nanotechnologie zur Befriedigung von Konsument/innen-Bedürfnissen nach natürlichen Produkten sowie «effizienter» oder gesundheitsfördernder Ernährung beitragen? Was kann hier aus der Diskussion um gentechnisch erzeugte Lebensmittel gelernt werden?
- Frage 11: Welche Alternativen existieren, um diese Bedürfnisse der Konsumentinnen und Konsumenten zu befriedigen?
- Frage 12: Welchen Einfluss wird die Nanotechnologie voraussichtlich auf unsere Ernährungs- und Lebenskultur haben und wie wünschenswert ist dies vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Entwicklung im Lebensmittelbereich?

In einem ersten Schritt wurden die publizierten Studienergebnisse ausgewertet hinsichtlich der übergreifenden Frage: Welche Bedürfnisse der Konsumentinnen und Konsumenten existieren hinsichtlich Ernährung? Gibt es Spezifika für die Schweiz? Insbesondere wurde analysiert, welche Bedeutung Entwicklungen/Trends wie «Functional Food», «natürliche Lebensmittel» oder «effiziente Ernährung» für Konsumentinnen und Konsumenten haben.

In einem zweiten Schritt wurde dann abgeschätzt, welchen Bedürfnissen der Konsumentinnen und Konsumenten durch nanotechnologische Lebensmittel bzw. Lebensmittelverpackungen Rechnung getragen werden kann. Beispielsweise wurden hier die Potenziale der Nanotechnologie im Bereich der Lebensmittel hinsichtlich des Ernährungsstil-übergreifenden Wunsches nach Entlas-

tung und Komplexitätsreduktion (Eberle et al. 2006) betrachtet. In diesen Arbeitsschritt fliessen auch die Ergebnisse der Stakeholderbefragung ein. In einem dritten Schritt wurde dann analysiert, welche Auswirkungen der Einsatz von Nanotechnologie im Bereich der Lebensmittel auf den Ernährungsalltag und die Ernährungskultur(en) haben.

7.1. Konsument/innenverhalten und Ernährung

Die heutige Ernährung kann nicht als nachhaltig bezeichnet werden: In den Industrienationen stehen wir vor allem vor dem Problem, einen angemessenen Umgang mit dem vorhandenen Nahrungswohlstand zu finden. Weltweit dominiert hingegen immer noch die Frage, wie Nahrungssicherheit realisiert werden kann.

Ein Blick auf die Industrienationen zeigt, dass vor allem die Zunahme ernährungsmitbedingter Krankheiten wie Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Diabetes oder Nahrungsmittelallergien zu einem Problem geworden ist: individuell für die einzelnen Betroffenen, aber auch gesellschaftlich, u.a. aufgrund gestiegener Kosten im Gesundheitswesen. Auch der Fünfte Schweizer Ernährungsbericht 2005 bestätigt dies: Über-, Fehl- oder Mangelernährung nehmen auch in der Schweiz zu.¹⁴¹ Die «Ernährungsschere», die der Vierte Schweizer Ernährungsbericht 1998 zum ersten Mal diagnostizierte, öffnet sich weiter: Danach sind auf der einen Seite Überkonsum und in der Folge Übergewicht für grosse Bevölkerungsteile charakteristisch, auf der anderen Seite weisen vermehrt Bevölkerungsgruppen Anzeichen einer qualitativen oder quantitativen Mangelernährung auf (Eichholzer et al. 2005).

Die Ernährungssituation der schweizerischen Bevölkerung ist demnach folgendermassen charakterisiert (Eichholzer et al. 2006):

- die Versorgung mit Nährstoffen ist generell gut, aber es gibt Gruppen mit Fehlernährung;

¹⁴¹ Allerdings muss beachtet werden, dass für die Gesamtschweiz keine repräsentative Ernährungserhebung vorliegt. Das Bundesamt für Gesundheit plant jedoch momentan eine solche Erhebung (Eichholzer et al. 2006).

- Überkonsum und in der Folge Übergewicht sind weit verbreitet: 45% der Männer, 29% der Frauen und jedes fünfte Kind sind übergewichtig, Tendenz steigend;
- es wird zu viel tierisches Fett, zu viel Zucker und zu viel Salz konsumiert;
- der Konsum von komplexen Kohlenhydraten, Obst, Gemüse ist zu niedrig;
- es bestehen leichte Defizite bei den B-Vitaminen, bei Kalzium, Eisen und Nahrungsfasern (Ballaststoffe);
- die Jodversorgung ist zurzeit sichergestellt.

Doch woran liegt es, dass ernährungsmitbedingte Krankheiten zunehmen?

An mangelndem Wissen der Konsument/innen über Ernährung liegt es nicht. Laut Schweizer Ernährungsbericht stellt weder das Wissen¹⁴² noch die Versorgung mit gesunden und ausgewogenen Lebensmitteln ein Problem dar (Eichholzer et al. 2005). Auch andere Untersuchungen innerhalb der Schweizer Bevölkerung¹⁴³ belegen, dass es nicht an Wissen über gesunde Ernährung mangelt, sondern an der Umsetzung des Wissens in Handeln, in alltägliche Handlungsmuster. Danach ist das durchschnittliche Ernährungswissen der Schweizer Bevölkerung sehr gut, die Umsetzung – gemessen in der Erfüllung allgemeiner Ernährungsregeln – jedoch unzureichend. Zwar wissen 80% der Bevölkerung, dass eine ausgewogene Ernährung wichtig für Gesundheit und Wohlbefinden ist, und 89% wissen auch, dass Gemüse, Salat und Früchte gesund sind. Tatsächlich essen die Schweizer/innen jedoch z.B. nur 1,7-mal pro Tag Früchte, Obst oder Obstsaft und nehmen nur 1,3-mal Salat, Gemüse oder Gemüsesaft zu sich¹⁴⁴ (Exl-Preysch et al. 2005).

¹⁴² 82% der Schweizer Bevölkerung fühlen sich über Ernährungsfragen gut informiert. Die Informationen bekommen sie durch Printmedien, Radio und Fernsehen. Fachpersonen und offizielle Institutionen geniessen hierbei die grösste Glaubwürdigkeit. Auch Angaben auf Lebensmittelverpackungen sind von besonderem Interesse. Die Verständlichkeit dieser Informationen hat nach Angaben der Befragten jedoch abgenommen: So fanden 1995 noch 53% die aufgedruckten Informationen verständlich, im Jahr 2000 waren es nur noch 44%. Hierfür wird unter anderem die Zunahme der gesetzlich vorgeschriebenen Deklaration und der dafür zur Verfügung stehende begrenzte Platz auf der Packung verantwortlich gemacht (Exl-Preysch et al. 2001).

¹⁴³ Die Nutri-Trend-Studie 2000 wurde von der Nestlé Suisse S.A. in Kooperation sowie mit finanzieller Unterstützung durch das BAG (Fachstelle Ernährung, Vertrag Nr. 00.00017) durchgeführt. Die Studie befragte 1004 Personen im Alter von 18 bis 75 Jahren in einem Telefon-interview (Exl-Preysch et al. 2001).

¹⁴⁴ Laut den Ernährungsempfehlungen der Schweizerischen Gesellschaft für Ernährung (SGE) oder aber auch der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) ist dies nicht ausreichend. Empfohlen werden mindestens fünf Portionen Obst und Gemüse am Tag.

Dies zeigt deutlich, dass das Konsument/innenverhalten – nicht nur bei Ernährung – nicht alleine vom Wissen bestimmt wird. Denn es wird von vielen unterschiedlichen Faktoren bestimmt: Werthaltungen und Orientierungen, Wissen und Kompetenzen, Emotionen, Erfahrungsumwelt und Medienumwelt (z.B. Kroeber-Riel u. Weinberg 2002; Stuess u. Hayn 2005). Unterschiedliche Handlungsalternativen werden vor diesem Hintergrund gegeneinander abgewogen. In der Ernährung ist das Konsument/innenverhalten vor allem auch von individuellen Alltagsroutinen geprägt (Stuess u. Hayn 2005). Diese alltäglichen Handlungsmuster werden unter anderem vom Einkommen, von der Verfügbarkeit und den Kosten der Lebensmittel, dem erwarteten gesundheitlichen Nutzen und dem jeweiligen Alltagskontext (Berufstätigkeit, Familienstand etc.) beeinflusst (Hayn et al. 2005). Auch Studien in der Schweiz (Maier Begré u. Hirsch-Hadorn 2004), die Optionen und Restriktionen bei nachhaltiger Ernährung von Schweizer Konsument/innen untersuchten, konnten zeigen, dass es bei der Ernährung – in diesem Fall beim Konsum ökologischer Lebensmittel – nicht vorrangig auf Wissen (*knowledge*) und Fähigkeiten (*ability*) ankommt, sondern dass das ausschlaggebende Kriterium die Handlungsbereitschaft (*willingness*) ist.

Um also Ernährungsverhalten und -handeln verstehen zu können, muss demnach ein Blick auf den Ernährungsalltag geworfen werden.

Ein Blick auf den schweizerischen Ernährungsalltag zeigt, dass die Essgewohnheiten der Schweizer/innen sehr traditionell sind. Anzahl und Art der Mahlzeiten haben sich in den letzten 15 Jahren kaum verändert. Das Mittagessen ist die Hauptmahlzeit und wird selbst bei Berufstätigen meist zu Hause eingenommen.¹⁴⁵ Rund 63% der schweizerischen Bevölkerung kocht regelmässig selbst. Beim Frühstück sind die Schweizer/innen jedoch nachlässiger: ein Drittel frühstücken nie oder selten (Exl-Preysch et al. 2001). Ein differenzierter Blick auf das Ernährungsverhalten der Schweizer/innen (Menrad et al. 2000) zeigt, dass:

- die Ernährungsweise von Frauen der wünschenswerten Ernährung näher kommt als die von Männern;
- sich Senior/innen sowie Menschen mit hohem Bildungsgrad gesünder ernähren;

¹⁴⁵ Selbst bei voller Erwerbstätigkeit nehmen noch 45% der Befragten das Mittagessen zu Hause ein (Exl-Preysch et al. 2001)

- vor allem Jugendliche, Personen mit niedrigem Einkommen und Bildungsniveau, Ausländer und Hochbetagte¹⁴⁶ zu den Risikogruppen zählen, deren Ernährungsverhalten erheblich von den Empfehlungen abweicht.

Eine repräsentative Untersuchung¹⁴⁷ des Ernährungshandelns der Deutschen haben Stuess und Hayn (2005) im Rahmen des Forschungsvorhabens Ernährungswende¹⁴⁸ auf Basis des sozial-ökologischen Lebensstilansatzes¹⁴⁹ durchgeführt. Demnach lässt sich das Ernährungshandeln der Deutschen durch sieben Ernährungsstile charakterisieren.

Die sieben Ernährungsstile sind wie folgt charakterisiert (Stuess u. Hayn 2005):

- *Desinteressierte Fast-Fooder:*
 - 12% der deutschen Konsument/innen
 - Ausgeprägtes Desinteresse an Ernährungs- und Gesundheitsfragen
 - Ernährungsalltag ist geprägt durch starke Flexibilisierung und Enthäuslichung
 - Überdurchschnittlich häufige Nutzung von Ausser-Haus-Verpflegung und Convenience-Produkten
 - Vor allem bei jüngeren Singles und Paaren verbreitet, wobei Männer überdurchschnittlich vertreten sind
- *Billig- und Fleisch-Esser:*
 - 13% der deutschen Konsument/innen
 - Wunsch nach preiswerter und einfacher Ernährung, Gesundheit spielt eine untergeordnete Rolle

¹⁴⁶ Nach der Definition der Weltgesundheitsorganisation (WHO) sind 60- bis 75-Jährige «ältere Menschen», 75- bis 90-Jährige «alte Menschen», über 90-Jährige «Hochbetagte» und über 100-Jährige «Langlebige». Doch meist werden die Begriffe «Hochbetagte», «Hochaltrige» oder «alte Alte» für Menschen ab 80 Jahre verwendet (<http://www.tk-online.de>).

¹⁴⁷ Im Rahmen der repräsentativen Untersuchung, die das Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE), Frankfurt/Main, im Jahr 2004 durchgeführt hat, wurden 2039 Erwachsene ab 18 Jahren befragt.

¹⁴⁸ Vgl. <http://www.ernaehrungswende.de>.

¹⁴⁹ Die Methode des sozial-ökologischen Lebensstilansatzes umfasst neben kontextbezogenen Merkmalen (Haushaltstyp, Lebensphase, Alter, Geschlecht) die Orientierungen und das Verhalten der Konsument/innen, bezogen auf das Handlungsfeld Ernährung. Die Orientierungen werden zum einen nach lebensstilspezifischen (Werterhaltungen, Arbeits- und Freizeitorientierung) und zum anderen nach handlungsfeldspezifischen (Einstellungen, Haltungen, Vorlieben, Abneigungen im Hinblick auf Ernährung, Konsum, Mobilität) Orientierungen unterschieden (Stuess u. Hayn 2005).

- Vergleichsweise häufige Nutzung von Ausser-Haus-Verpflegung und Convenience-Produkten
- Keine bestimmte Lebensphase vorherrschend, beide Geschlechter gleichermaßen vertreten, Endzwanziger bis Mittvierziger, aber auch bis 60-Jährige vertreten; jeder vierte Haushalt mit Kindern; Mehrheit berufstätig
- *Freudlose Gewohnheitsköche und -köchinnen:*
 - 17% der deutschen Konsument/innen
 - Feste Ernährungsgewohnheiten und Routinen (häuslich, bescheiden) und gering ausgeprägtes Ernährungsbewusstsein, Essen als Pflichterfüllung
 - Höchster BMI, höchstes Risiko ernährungsbedingter Krankheiten
 - Mehrheitlich Haushalte der Nachfamilienphase über 67
- *Fitnessorientierte Ambitionierte:*
 - 9% der deutschen Konsument/innen
 - Bedürfnis nach hochwertiger und disziplinierter Ernährung zur Steigerung der eigenen Leistung und Fitness
 - Hochwertige und gesundheitsfördernde Produkte wie Bio-Lebensmittel, aber auch Functional Food spielen eine wichtige Rolle
 - Überdurchschnittlich häufige Ausser-Haus-Verpflegung mit hohem Budget
 - Überwiegend Paare und Haushalte in der Familienphase, überdurchschnittlich hohes Einkommen
- *Gestresste Alltagsmanager/innen:*
 - 16% der deutschen Konsument/innen
 - Hoher Anspruch an frische, abwechslungsreiche, gesunde Ernährung bei relativ niedrigem zeitlichem und finanziellem Spielraum
 - Lebensmittel mit gesundheitsfördernden Zusätzen werden als Kompromiss akzeptiert
 - Stark an die Familienphase gebunden, 75% Frauen
- *Ernährungsbewusste Anspruchsvolle:*
 - 13% der deutschen Konsument/innen
 - Ganzheitliches Ernährungsverständnis, Bedürfnis nach frischen, möglichst regionalen Lebensmitteln
 - Hoher Konsum von Bio-Lebensmitteln

- Weder an bestimmte Lebensphase noch an bestimmtes Alter gebunden, mittleres bis hohes Einkommen
- *Konventionell Gesundheitsorientierte:*
 - 20% der deutschen Konsument/innen
 - Hohe Wertschätzung von gutem Essen (Qualität, Frische, Regionalität, jahreszeitliches Angebot)
 - Hohes Interesse an Ernährungsthemen, grosses Ernährungswissen
 - Traditioneller, bürgerlicher Speiseplan, aber wegen oft drohendem Übergewicht Verzicht/Einschränkung von Süßem und Fleisch
 - Paare und Alleinstehende der Nachfamilienphase

Vergleichbare Untersuchungen für die Schweiz liegen bislang nicht vor, so dass auch in den folgenden Auswertungen auf die Untersuchungen von Stuessi und Hayn (2005) zurückgegriffen wird. Untersucht wird in dieser Studie die Ansprechbarkeit von Konsument/innengruppen für drei typische Trends bzw. Marketingaussagen: «natürliche Ernährung», «effiziente Ernährung» und «Functional Food».

Mit «natürlicher Ernährung» ist gemeint, dass sich die Konsument/innen bewusst und gesund ernähren, viel frische Lebensmittel einkaufen und ihre Mahlzeiten häufig selbst zubereiten. Gesundheit wird oft als Grund für den Vorzug von natürlichen Lebensmitteln angegeben. Personen mit einer Präferenz für natürliche Lebensmittel wählen auch dann das natürliche im Gegensatz zu einem künstlichen Lebensmittel, wenn beide als chemisch gleichwertig gekennzeichnet sind. Dieses Segment, das unter anderem auch Öko- und Naturkost-Produkte¹⁵⁰ verbunden mit mehr Frische einbezieht, wird in den nächsten Jahren stetig wachsen.¹⁵¹

«Effiziente Ernährung» meint hier Ernährung mit vorverarbeiteten und vor allem zeitsparend zuzubereitenden Lebensmitteln. Die Ernährung findet häufig auch ausser Haus statt.

Unter «Functional Food» werden Nahrungsmittel zusammengefasst, die mit zusätzlichen Inhaltsstoffen (Nahrungsergänzungsmittel) angereichert werden

¹⁵⁰ Beim Kauf von Bio-Produkten sind kontrollierte Qualität und Naturbelassenheit zentrale Kaufargumente, ökologische und ethisch-moralische Ambitionen spielen mittlerweile eine vergleichsweise geringe Rolle (ZMP 2006: Trendstudie Food).

¹⁵¹ Quelle: «Die zehn wichtigsten Trends im Markt», Ökolandbau 2008. (<http://www.oekolandbau.de/verarbeiter/herstellung-und-verpackung/produktentwicklung/die-zehn-wichtigsten-trends-im-markt/>; gesichtet am 29.05.2008).

und einen spezifischen Zusatznutzen aufweisen, der über den ernährungsphysiologischen Nutzen der darin enthaltenen Nährstoffe hinausgeht. Zugesetzt werden vor allem Vitamine, Mineralstoffe, Bakterienkulturen und ungesättigte Fettsäuren. Eine gesetzliche Definition für diese Produkte gibt es bislang weder in Europa noch in der Schweiz. Im Rahmen des Projektes «Aufbau einer schweizerischen Nährwertdatenbank» wurden in den Jahren 1996, 2000 und 2002 die Anzahl und das Nährstoffprofil von Functional Food auf dem schweizerischen Lebensmittelmarkt erfasst: Innerhalb von 4 Jahren hat sich das Angebot von künstlich angereicherten Lebensmitteln verdoppelt (Bulletin der ETH Zürich, Nr. 285/April 2002).

7.2. Affinität der sieben Ernährungsstile zu «natürlicher Ernährung», «effizienter Ernährung» und zu «Functional Food»

Die «natürliche Ernährung» wird von *desinteressierten Fast-Foodern, Billig- und Fleisch-Essern* sowie von den *freudlosen Gewohnheitsköchen und -köchinnen* abgelehnt. Alle anderen sind für natürliche Ernährung ansprechbar:

Für die *ernährungsbewussten Anspruchsvollen* ist natürliche Ernährung ein starkes Motiv. Qualität und Frische der Lebensmittel spielt eine grosse Rolle, ebenso wie Regionalität; es wird viel Gemüse und Obst gegessen, und Bio-Lebensmittel geniessen ein hohes Ansehen, da sie sowohl mehr Genuss versprechen als auch Körper und Seele gut tun. Die *gestressten Alltagsmanager/innen* haben den Anspruch, Mahlzeiten aus frischen Lebensmitteln selbst zuzubereiten – Bio-Lebensmitteln stehen sie eher skeptisch gegenüber. Bei den *fitnessorientierten Ambitionierten* ist die eigene Leistungsfähigkeit und Fitness die alles überragende Motivation. Daher wird auf qualitativ hochwertige Lebensmittel Wert gelegt und geniessen auch Bio-Produkte ein hohes Ansehen. Für die *konventionell Gesundheitsorientierten* spielen vor allem Qualität, Frische, Regionalität und jahreszeitliche Angebote eine grosse Rolle, Bio-Lebensmitteln gegenüber sind sie aufgeschlossen.

Eine «effiziente Ernährung», so wie sie hier definiert ist, wird hingegen von den *ernährungsbewussten Anspruchsvollen* und den *konventionell Gesundheitsorientierten* abgelehnt. Die *freudlosen Gewohnheitsköche und -köchinnen* nutzen Convenience-Produkte kaum und essen auch selten ausser Haus. Die anderen vier Ernährungsstile sind hierfür ansprechbar:

Die *desinteressierten Fast-Fooder* haben insgesamt wenig Interesse an Ernährungsfragen, Essen und Ernährungsarbeiten müssen vor allem rasch gehen, Ausser-Haus-Angebote werden überdurchschnittlich häufig genutzt, und wenn selbst gekocht wird, werden Convenience-Produkte selbstverständlich eingesetzt. Bei den *Billig- und Fleisch-Essern* muss die Ernährung preiswert und unkompliziert sein, Convenience-Produkte und Fertiggerichte werden häufig genutzt. Die *fitnessorientierten Ambitionierten* nutzen überdurchschnittlich häufig Ausser-Haus-Angebote, Convenience-Produkte spielen hingegen keine bedeutende Rolle. Die *gestressten Alltagsmanager/innen* lehnen Convenience-Produkte eigentlich ab. Sie haben den Anspruch, Mahlzeiten selbst aus frischen Zutaten zuzubereiten. Häufig kollidiert dieser Anspruch jedoch mit der fehlenden Zeit, das tägliche Kochen wird dadurch zur lästigen Pflicht. Dieser Ernährungsstil ist eigentlich ansprechbar für eine effiziente Ernährung, jedoch nur, wenn sie die Ansprüche an «frisch» und «gesund» befriedigen kann.

«Functional Food» wird von allen Ernährungsstilen bis auf die *desinteressierten Fast-Fooder* und die *Billig- und Fleisch-Esser* verzehrt. Beiden Ernährungsstilen gemein ist, dass sie kein Interesse haben, sich mit Ernährung und Gesundheit zu beschäftigen. Bei den *konventionell Gesundheitsorientierten* ist der überdurchschnittlich hohe Verzehr von cholesterinsenkender Margarine auffällig. Laut Stuess und Hayn (2005) kann dies als Versuch interpretiert werden, die Gesundheit günstig zu beeinflussen. Die *fitnessorientierten Ambitionierten* hingegen nutzen Functional Food, um die eigene Fitness positiv zu beeinflussen. Bei den *gestressten Alltagsmanager/innen* wird Functional Food als Kompromisslösung akzeptiert; überdurchschnittlich häufig konsumiert werden probiotische Joghurts. Die *ernährungsbewussten Anspruchsvollen* konsumieren trotz der starken Ablehnung synthetischer Zusätze in Nahrungsmitteln selektiv funktionale Lebensmittel und Ergänzungsstoffe. Vitamin- und Mineralstofftabletten und auch probiotische Joghurts werden vergleichsweise häufig verwendet. Die *konventionell Gesundheitsorientierten* verzehren überdurchschnittlich häufig Functional Food: «Mehr als jeder Vierte verwendet beinahe täglich cholesterinsenkende Margarine, 16% greifen ebenso häufig zu Vitamin- und Mineralstofftabletten, jeder Zehnte isst beinahe täglich probiotischen Joghurt» (Hayn u. Stuess 2005, S. 33).

Betrachtet man die Einstellung der Schweizer/innen gegenüber Functional Food,¹⁵² so liegen sie beim Kaufverhalten bei acht von zehn Functiona-Food-Produkten unter dem europäischen Durchschnitt.¹⁵³ Als Gründe gegen den Kauf von «Gesundheitskost» werden der Preis sowie die geringe Glaubwürdigkeit genannt. Vor allem der fehlende Glaube, dass die Produkte gesundheitsfördernd sind, ist in der Schweiz ausgeprägt. Nach einer Untersuchung von Beer-Borst et al. (2005)¹⁵⁴ in Genf assen nur ca. 10% der Befragten täglich Functional Food aus unterschiedlichen Lebensmittelgruppen. Für diese Gruppe war der Verzehr von Functional Food wichtig, um Vitamine und Mineralien aufzunehmen. Als Gründe für den Konsum von Functional Food wurde vor allem ein gesundheitsorientierter Lebensstil genannt.

7.3. Akzeptanz von Nanotechnologien in Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen

Generell stehen die Schweizer Bürger/innen den Nanotechnologien positiv-kritisch gegenüber. Dies zeigen die Ergebnisse des «publifocus Nanotechnologien».¹⁵⁵ Demnach erhoffen sich die Verbraucher/innen hieraus Lösungen besonders von Problemen im Bereich Medizin und Umwelt. Als wichtigste Vor-

¹⁵² Der Verzehr von Functional Food wird vom Fünften Schweizer Ernährungsbericht als Strategie empfohlen, um einer zunehmenden Überernährung und den daraus folgenden Risiken für ernährungsbedingte Krankheiten entgegenzusteuern (Eichholzer et al. 2005).

¹⁵³ Zum Beispiel bei «probiotischen Joghurtprodukten», bei «ballaststoffreichen Vollkornprodukten», «cholesterinsenkenden Speiseölen und Margarinen» sowie bei «mit Ergänzungsmitteln/Vitaminen angereicherten Fruchtsäften und Milch» (nach einer Untersuchung des Marketingforschungsunternehmens ACNielsen, <http://ch.de.acnielsen.com/site/pr20051129.shtml>).

¹⁵⁴ Beer-Borst et al. (2005) untersuchten an einer Gruppe erwachsener Personen (35 bis 74 Jahre) in Genf, wie viel und warum Functional Food bisher überhaupt verzehrt wird. 33% der Befragten wussten, was Functional Food ist oder hatten schon einmal Functional Food konsumiert.

¹⁵⁵ Der *publifocus* ist ein von der TA-SWISS entwickeltes Dialogverfahren, mit welchem ein frühzeitiger Beitrag für eine sachliche Diskussion zu möglichen Folgen der Nanotechnologien geleistet werden soll. Ziel der Diskussionen ist es, von den Teilnehmer/innen erste Einschätzungen über Akzeptanz, Wünsche, Bedenken und offene Fragen zu Nanotechnologien zu erhalten; vgl. http://www.ta-swiss.ch/www-remain/projects_archive/publiforum/publifocus_Nano_d.htm.

aussetzung für Vertrauen in die Nanotechnologien nennen sie Transparenz. Dazu zählen sie die Deklaration nanotechnologischer Produkte und eine aktive Informationspolitik über Forschungsvorhaben. Grösste Vorbehalte äussern sie gegenüber dem Einsatz von Nanotechnologien im Bereich der Ernährung. Entscheidend für eine Akzeptanz des Einsatzes von Nanotechnologie sei die Steigerung der Lebensqualität.

Eine erste Untersuchung über die Akzeptanz von Nanotechnologien in und für Lebensmittel (z.B. für Lebensmittelverpackungen) führte Siegrist et al. (2007)¹⁵⁶ im deutschsprachigen Teil der Schweiz durch. Den Proband/innen wurden Informationen über realistische Produkte gegeben, anschliessend wurden sie dazu befragt.

Die Produkte wurden den Proband/innen folgendermassen vorgestellt:

- Lebensmittelverpackungen für Fleisch mit Nanosilberpartikeln; Vorteil der längeren Haltbarkeit, Nachteil des möglichen Übergangs der Nanopartikel in das Fleisch und folglich schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt.
- Frische Tomaten mit einer Nanobeschichtung als Wasser- und Sauerstoffbarriere; die Tomaten halten länger, können reifer gepflückt werden und sind geschmackvoller; Nachteil ist die Unsicherheit über mögliche schädliche Auswirkungen der Beschichtung auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt.
- Brot mit Nanokapseln, die Fischöl (Omega-3) enthalten;¹⁵⁷ Vorteil ist, dass das Brot gesundheitlich wertvolle Omega-3-Fettsäuren enthält, aber keinen fischigen Geschmack hat, da die Kapseln sich erst im Magen öffnen; Nachteil ist die Unsicherheit, ob die Nanokapseln schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben können.
- Mit Beta-Carotin-Nanopartikeln angereicherter Saft; der Saft ist dadurch länger haltbar und besitzt eine höhere gesundheitsfördernde Wirkung; nachteilig ist auch hier die Ungewissheit bezüglich möglicher schädlicher Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit.

Insgesamt waren die Testpersonen zögerlich, Lebensmittel mit nanoskaligen Inhaltsstoffen oder Lebensmittel, die in Verpackungen mit nanoskaligen

¹⁵⁶ Kurzzusammenfassung siehe: <http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=1899.php>.

¹⁵⁷ In Australien ist dieses Brot auf dem Markt erhältlich.

Bestandteilen verpackt sind, zu kaufen. Generell wurden bei Verpackungen mit nanoskaligen Bestandteilen mehr Vorteile gesehen als bei Lebensmitteln mit nanoskaligen Bestandteilen: «nano outside» wird eher akzeptiert als «nano inside». Die wahrgenommenen Vorteile bei der Nano-Lebensmittelverpackung führten aber dennoch nicht zu einem höheren Kaufwillen. Wahrgenommene Vorteile bei einem Produkt scheinen demnach noch kein Garant für eine Akzeptanz bei Konsument/innen, aber immerhin der beste Prädiktor zu sein. Da in dieser Studie nur Personen ausgewählt wurden, die durchschnittlich 38 Jahre alt waren, selbst die Verantwortung für den Lebensmitteleinkauf trugen und eine überdurchschnittlich hohe Bildung im Vergleich zur Gesamtbevölkerung der Schweiz hatten, sind die Ergebnisse nicht auf die Gesamtbevölkerung übertragbar. Auch wurde die Untersuchung hinsichtlich des vermuteten und nicht des tatsächlichen Kaufverhaltens erstellt. Insbesondere Functional-Food-Produkte haben spezielle Zielgruppen, in denen die Akzeptanz für die spezifische nanotechnologische Anwendung höher sein mag.

Zudem kann sich die Akzeptanz ändern, wenn allgemeine Risiken für die menschliche Gesundheit in der Diskussion nicht im Fokus stehen oder diese sogar explizit ausgeschlossen werden könnten.

Die Aussagen zu möglichen schädlichen Auswirkungen der Produkte auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit wurden aus der allgemeinen Tatsache abgeleitet, dass es keine eigene Risikobewertung für synthetische Nanopartikel und Nanomaterialien in Lebensmitteln gibt und entsprechend die gesundheitliche Unbedenklichkeit diesbezüglich nicht nachgewiesen wird (Siegrist, pers. Mitteilung). Vonseiten der Industrie wurden die Aussagen zu den möglichen schädlichen Auswirkungen bei Beta-Carotin-Nanopartikeln und Nanokapseln, die Fischöl (Omega-3) enthalten, als falsch und irreführend bezeichnet. Eine Kontrollgruppe, denen eine Produktbeschreibung ohne mögliche allgemeine Risiken vorgelegt wurde, gab es in dieser Befragung nicht. Weitere Befragungen zu Nanotechnologie im Bereich Lebensmittel mit unterschiedlichen Informationsangeboten wären hierbei interessant.

Weitere Ergebnisse über die Chancen und Risiken nanotechnologischer Anwendungen aus Verbraucherperspektive, speziell bei Lebensmitteln, liefert eine

Studie aus Deutschland, die «Verbraucherkonferenz: Nanotechnologie».¹⁵⁸ Der Aufbau der Verbraucherkonferenz gleicht dem *publifocus* zu Nanotechnologien von TA-SWISS. Die Verbraucher/innen schätzen hiernach den Einsatz von Nanotechnologien bei Lebensmitteln als ein sehr sensibles Gebiet ein und empfinden es als sehr unbefriedigend, dass in der derzeitigen Forschungsförderung zu Nanotechnologien in der EU und in Deutschland nur ein minimaler Anteil für die Risikoforschung vergeben wird. Auf der anderen Seite sehen sie einen zusätzlichen Nutzen, den Nanotechnologie in der Lebensmittelsicherheit bringen könnte, z.B. um durch spezielle Verpackungen den Erhalt der Kühlkette zu prüfen oder um verdorbene Lebensmittel kenntlich zu machen. Hier sehen sie aber auch noch zusätzlichen Forschungsbedarf. Skeptisch sind sie hingegen, was den Nutzen von Lebensmitteln betrifft, die in Zukunft «auf Knopfdruck» ihre Eigenschaften ändern können, beispielsweise eine Pizza, die je nach Backzeit die Geschmacksrichtung ändert.¹⁵⁹

Darüber hinaus fordern die Konsument/innen eine Kennzeichnungspflicht, gerade bei Lebensmitteln, und ein Zulassungsverfahren für nanoskalige Stoffe in Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen.

Diese Ergebnisse machen deutlich, dass die Konsument/innen Nanotechnologien in Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen nur dann akzeptieren werden, wenn sie mit einem deutlichen zusätzlichen Nutzen – sei es hinsichtlich Gesundheit oder auch zur Vereinfachung des Alltags¹⁶⁰ – verbunden sind und zudem die Anwendung glaubwürdig gekennzeichnet wird. Generell stehen Konsument/innen «nano outside» (Nanotechnologien in Lebensmittelverpackungen) positiver gegenüber als Nanotechnologien in Lebensmitteln direkt.

¹⁵⁸ «Verbrauchervotum zur Anwendung der Nanotechnologie in den Bereichen Lebensmittel, Kosmetika und Textilien», Ergebnis der «Verbraucherkonferenz: Nanotechnologie» (2006), Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) und Unabhängiges Institut für Umweltfragen e.V. (UfU) in Deutschland (<http://www.ioew.de/home/downloaddateien/Verbrauchervotum.pdf>).

¹⁵⁹ So wurde bei den Verbraucherkonferenzen in der Schweiz und in Deutschland als ein mögliches Beispiel für solche Lebensmittel eine Pizza diskutiert, die je nach Backzeit die Geschmacksrichtung ändert. Auch wenn diese Pizza derzeit technisch nicht machbar ist (vgl. Kapitel 5), wird deutlich, dass solche oder ähnliche Anwendungen der Nanotechnologien auch unabhängig von der technischen Machbarkeit offenbar nicht den Wünschen der Verbraucher/innen entsprechen.

¹⁶⁰ Sicherstellung der Kühlkette, Kennzeichnung von verdorbenen Lebensmitteln, längere Haltbarkeit etc.

7.4. Nutzenaspekte aus Konsument/innenperspektive von Nanotechnologien in der Ernährung

Ein zentrales Bedürfnis der Konsument/innen – übergreifend über alle Ernährungsstile – ist Entlastung, der Wunsch nach Vereinfachung und einer Reduktion der vorhandenen Komplexität. Wie hoch die Belastungen jedoch sind, ist von Ernährungsstil zu Ernährungsstil verschieden; ebenso unterscheiden sich die Möglichkeiten, wie Entlastung im Alltag realisiert werden kann. Entlastungsoptionen müssen daher Ernährungsstil-spezifisch gestaltet werden (Eberle et al. 2006; Eberle u. Hayn 2006):

- Bei den *gestressten Alltagsmanager/innen* führen vor allem die Ansprüche (gesund, selbst zubereitet, kindergerecht, gemeinschaftlich), denen sie gerecht werden wollen, zusammen mit einem engen zeitlichen und finanziellen Rahmen zu einer Überlastung. Sie wünschen sich sowohl eine zeitliche als auch eine finanzielle Entlastung.
- Bei den *freudlosen Gewohnheitsköchen und -köchinnen* stellt das «Kochen müssen» selbst die Belastung dar, zugleich ist dieser Ernährungsstil jedoch stark gewohnheitsfixiert und kaum offen für Neues.
- Die *Billig- und Fleisch-Esser* sowie die *desinteressierten Fast-Fooder* wünschen sich Entlastung hinsichtlich des Zeit-, Arbeits- und Kostenaufwands, mit dem ihre Ernährung verbunden ist.
- Die *ernährungsbewussten Anspruchsvollen*, die grossen Wert auf eine qualitativ hochwertige Ernährung, Genuss, Geschmack und Gesundheit legen, können durch geeignete Produktkennzeichnungen entlastet werden. Diese Produktkennzeichnungen müssen die gewünschten Qualitäten wie Naturbelassenheit, Regionalität und Saisonalität leicht erkennbar machen. Zudem müssen sie glaubwürdig sein.
Entlastung könnten aber auch nachhaltige Convenience-Angebote bieten sowie eine flächendeckende Verfügbarkeit nachhaltiger Ernährungsangebote.
- Die *fitnessorientierten Ambitionierten* wünschen sich vor allem Entlastung hinsichtlich des Zeitaufwands für die Zubereitung von Mahlzeiten. Da ihnen eine qualitativ hochwertige Ernährung wichtig ist und Bio-Produkte ein überdurchschnittlich hohes Vertrauen geniessen, könnte diese Gruppe durch ein gutes Angebot an Bio-Convenience-Produkten entlastet werden, aber ebenso durch nachhaltige Ausser-Haus-Mahlzeiten.

- Die *konventionell Gesundheitsorientierten* wünschen sich vor allem eine finanzielle Entlastung. Sie könnten durch nachhaltige Angebote entlastet werden, die Mindeststandards für mehrere Nachhaltigkeitsqualitäten wie «biologisch», «regional» und «saisonal» garantieren.

Dem zentralen Bedürfnis nach Entlastung und Vereinfachung kann also durch eine Vereinfachung der Zubereitung, durch geringere Kosten, durch eine Kombination gewünschter Qualitäten, durch die Verfügbarkeit gewünschter Angebote, durch glaubwürdige und gut verständliche Produktinformationen sowie durch eine Kombination dieser Entlastungsmöglichkeiten Rechnung getragen werden.

Vor dem Hintergrund der Konsument/innenbedürfnisse zeigt sich, dass die bereits auf dem Markt erhältlichen Produkte (vgl. Kapitel 5) nur bedingt vorhandene Konsument/innenbedürfnisse befriedigen können. Eine bessere Verfügbarkeit von Vitaminen und anderen Stoffen kann eventuell dem Bedürfnis nach Gesundheit – zumindest, wenn ein eher technizistisches Gesundheitsverständnis vorliegt, wie dies beispielsweise bei den *fitnessorientierten Ambitionierten* der Fall ist – Rechnung tragen.

Bei den auf dem Markt bisher verfügbaren Wellness-, Gesundheits- und Sportgetränken, deren enthaltene Nanomaterialien (Micellen) die zugesetzten Vitamine und das Coenzym Q10¹⁶¹ beinhalten, um diese dem Körper besser verfügbar zu machen, muss jedoch beachtet werden, dass bislang keine signifikant positive Wirkung auf die menschliche Gesundheit nachgewiesen werden konnte.

Hingegen konnten beispielsweise bei einer Überversorgung mit Coenzym Q10 durch die Zufuhr als Nahrungsergänzungsmittel diverse gesundheitsbeeinträchtigende Nebenwirkungen festgestellt werden (BgVV 2001). Und auch eine konstante Überdosierung fettlöslicher Vitamine kann langfristig schädliche Wirkungen auf die menschliche Gesundheit haben.

¹⁶¹ Bei Coenzym Q10 handelt es sich nicht um einen essenziellen Nährstoff bzw. nicht um ein Vitamin, da dieser Stoff ubiquitär vorkommt und vom gesunden Organismus in ausreichendem Masse selbst synthetisiert wird. Ihm wird nachgesagt, dass er zur «Steigerung der Leistungsfähigkeit und der Gesundheit» und zur «Stärkung der Abwehrkräfte» als Nahrungsergänzungsmittel beiträgt (BgVV 2001).

Das heisst, diese Produkte können die Bedürfnisse dieser Konsument/innen-gruppe nur sehr bedingt befriedigen. Im schlimmsten Fall stehen sie den Bedürfnissen sogar entgegen, wenn die in den funktionellen Getränken enthaltenen Nanopartikel eine Überdosierung der in den Carriern enthaltenen Vitamine oder Nährstoffe sogar noch verstärken könnten, denn Leistungsfähigkeit und Fitness sind für diese Gruppe essenziell wichtig.

7.5. Zwischenfazit

Die beschriebenen Ergebnisse aus verschiedenen Untersuchungen machen deutlich, dass Nanotechnologie in Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen von Konsument/innen nur dann akzeptiert werden wird, wenn sie mit einem deutlichen Nutzen für die Konsument/innen verbunden ist (z.B. hinsichtlich Gesundheit oder hinsichtlich Entlastung im Alltag), also mit einer Steigerung der individuellen Lebensqualität. Gleichzeitig ist für Konsument/innen wesentlich, dass die Risiken, die mit nanoskaligen Inhaltsstoffen in Lebensmitteln oder -verpackungen verbunden sein können, erforscht werden, und dass über sie auch glaubwürdig informiert wird. Zudem ist aus Sicht der Konsument/innen eine Kennzeichnung der nanoskaligen Inhaltsstoffe auf Lebensmitteln und -verpackungen dringend erwünscht.

Verbraucher/innen erwarten keine allumfassende Sicherheit, sondern eine ehrliche und ausführliche Information: Sie wollen «ernst genommen» werden (TASWISS 2006).

8. Vergleich zur Debatte um Gentechnik bei Lebensmitteln und ethische Aspekte

Öffentliche Wahrnehmung und Akzeptanzfragen der Nanotechnologien werden zunehmend zum Thema, weil in unterschiedlichen Lebensbereichen immer mehr neue Produkte auf den Markt kommen. Die Gentechnik-Debatte eignet sich dabei als Vergleich, weil Gentechnik wie auch Nanotechnologie als Schlüsseltechnologien bezeichnet werden, die in unterschiedlichen Anwendungsfeldern eingesetzt werden. Bei Gentechnik in Landwirtschaft und Ernährung hat sich allerdings gezeigt, dass sich die öffentliche Meinung als ein ausschlaggebender Faktor für den wirtschaftlichen Erfolg einer Technologie in einem bestimmten Anwendungsfeld erweisen kann.

Ein Vergleich zur Debatte um Gentechnik bei Lebensmitteln ist nützlich, um bei der aufkommenden Debatte um Nanotechnologien insbesondere im Lebensmittelsektor das Informations- und Sicherheitsbedürfnis der Verbraucherinnen und Verbraucher frühzeitig und partizipativ einbeziehen zu können. Dies ist gerade vor dem Hintergrund zu sehen, dass die soziale Dimension eine der Säulen einer nachhaltigen Entwicklung bildet. In der Schweiz ist dies aufgrund der direkten Demokratie noch bedeutsamer als in anderen europäischen Ländern.

8.1. Gründe der Bürgerinnen und Bürger für eine Akzeptanz der Gentechnik

Die Gentechnik hat gezeigt, dass unterschiedliche Anwendungsbereiche einer Technologie von den Konsument/innen differenziert bewertet werden: Beim Einsatz der Gentechnik in der Landwirtschaft und Lebensmittelproduktion (Agro-Gentechnik oder auch «grüne Gentechnik») ist die Ablehnung der Bürger/innen hoch, wohingegen medizinische Anwendungen («rote Gentechnik») eine hohe Akzeptanz erfahren (Bonfadelli et al. 2007):

Medizinische Anwendungen – konkret wurden genetische Tests auf vererbare Krankheiten angesprochen – sehen die Schweizerinnen und Schweizer zwar

als mit einem Risiko für die Gesellschaft behaftet; sie werden dennoch als nützlich angesehen und gelten als ethisch akzeptabel.

In gentechnisch veränderten Lebensmitteln sieht die Mehrheit der schweizerischen Bevölkerung hingegen keinen Nutzen, sondern ein Risiko für die Gesellschaft. Die ethische Akzeptanz ist bei gentechnisch veränderten Lebensmitteln gering. Gentechnisch veränderte Nutzpflanzen gelten bei den Konsument/innen als mässig nützlich, aber als sehr risikoreich (Bonfadelli et al. 2007). Diese Ergebnisse aus der Schweiz decken sich auch mit der europaweiten Wahrnehmung der Gentechnik (Gaskell et al. 2003).

Ergebnisse von Fokusgruppen aus mehreren europäischen Ländern (Marris et al. 2001) zeigen, dass die Bürger/innen ihre Bewertung der Anwendungsbereiche der Gentechnik primär nicht auf naturwissenschaftlich-technisches Wissen begründen. Vielmehr wird der Kontext – das soziale, ökonomische und politische Umfeld – der Entwicklung und Vermarktung von Produkten bewertet.¹⁶² Konsequenz davon ist, dass ethische Argumente gegenüber biologischen oder technischen Erwägungen überwiegen, so dass weniger die technischen Risiken als vielmehr die Risiken für die Gesellschaft ausschlaggebend für die Akzeptanz sind (Bonfadelli et al. 2007). In den schweizerischen Fokusgruppen bezogen sich die Bedenken v.a. auf den Aspekt, dass die Natur nicht manipuliert werden sollte¹⁶³ und dass gentechnisch veränderte Pflanzen schlicht keine Vorteile für den Verbraucher bieten. Die Versprechung, dass gentechnisch veränderte Organismen (GVO) den Welthunger stillen sollten, wurde als nicht realistisch eingeschätzt (Bonfadelli et al. 2007).

Folgende Kriterien erwiesen sich nach Marris et al. (2001) als sehr wichtig für die Meinungsbildung:

- der **Bedarf** (bzw. die Notwendigkeit für ein bestimmtes Produkt): Während bei Medikamenten der individuelle Bedarf für die Fokusgruppen-Teilnehmer

¹⁶² In diesem Zusammenhang gestellte Fragen sind: Wer entwickelt und vermarktet was, wann und warum? Werden Konsument/innen vor die Wahl gestellt? Haben die Behörden genügend Ressourcen, um die Technologie zu beurteilen und deren Produkte zu prüfen? Wer untersucht die Risiken und mögliche langfristige Auswirkungen?

¹⁶³ Dieses Argument bezieht sich nicht auf technische Aspekte der gentechnischen Veränderung, sondern auf das Allgemeinwissen über die Komplexität und die Wechselwirkungen in einem ökologischen System, in dem nichts verändert werden kann, ohne weitere Auswirkungen auszulösen.

eindeutig erschien, war dies bei Lebensmitteln aufgrund der Fülle an Angeboten bei einem Produkt nicht gleichermassen der Fall.

- die **Abwägung von Nutzen und Risiken**: Bei gentechnisch veränderten Nutzpflanzen wurde der Nutzen bei den Firmen gesehen, die das Saatgut vermarkten, während die Risiken die Konsument/innen und die Umwelt zu tragen haben. Bei medizinischen Anwendungen betreffen nach der Einschätzung der Fokusgruppen Nutzen und Risiken vor allem den individuellen Patienten.
- der **Umgang mit wissenschaftlichen und technischen Unsicherheiten** und Wissenslücken: Den Mitgliedern der Fokusgruppen ging es nicht darum, dass neue technologische Anwendungen nicht mit Risiken verbunden sein dürfen; sie setzten vielmehr langfristige Auswirkungen als gegeben voraus. Das Abstreiten der wissenschaftlichen Unsicherheit erwies sich demnach als ein wichtiger Grund für ihren Skeptizismus.

Ein Abwägen von Nutzen und Risiken war für die Einschätzung insgesamt weniger relevant als die Kriterien «Umgang mit Unsicherheiten» und «Bedarf».

Auch das mögliche **Informationsangebot** wurde als wichtig erachtet. So können Kunden im Fall von Medikamenten Informationen über Risiken und Nebenwirkungen und Notfallpläne normalerweise im persönlichen Gespräch vom Arzt/Apotheker erfragen oder werden darüber aufgeklärt, wobei auch auf individuelle Unterschiede eingegangen werden kann. Für gentechnisch veränderte Lebensmittel hingegen wurde beklagt, dass keine vergleichbaren Informationen und Informationsquellen verfügbar seien. Einschränkend muss aber erwähnt werden, dass die Untersuchungen von Marris et al. (2001) vor der Verabschiedung der europäischen Verordnungen zur Kennzeichnung und Rückverfolgbarkeit von GVO¹⁶⁴ durchgeführt wurden.

Die Rolle von relevanten Akteuren erwies sich als ein weiteres wichtiges Kriterium für die Beurteilung der Gentechnik. Dabei war das **Vertrauen in die Akteure** bei der Meinungsbildung ein wichtiger Einflussfaktor (Priest et al. 2003). Insbesondere der Einsatz der Gentechnik in der Landwirtschaft wurde als ein Konflikt wahrgenommen, der zwischen den mächtigen ökonomischen Interes-

¹⁶⁴ Vgl. Verordnung (EG) Nr. 1830/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. September 2003 über die Rückverfolgbarkeit und Kennzeichnung von genetisch veränderten Organismen und über die Rückverfolgbarkeit von aus genetisch veränderten Organismen hergestellten Lebensmitteln und Futtermitteln sowie zur Änderung der Richtlinie 2001/18/EG, Amtsblatt Nr. L 268 vom 18.10.2003, S. 24.

sen der Agro-Unternehmen und den relativ schwach vertretenen organisierten Interessen der Konsument/innen ausgetragen wurde. Die eigene Ablehnung wurde als ein Beitrag erlebt, dem Einfluss der grossen Unternehmen entgegenzutreten, damit diese künftig Konsument/inneninteressen stärker beachten (Bonfadelli et al. 2007).

Bei der Mehrheit der Bürger/innen in Europa geniessen beim Thema Gentechnik die öffentliche Forschung, Verbraucherorganisationen sowie Ärzte und Patientenorganisationen ein hohes Mass an Vertrauen (Stand: 2002/2003). Bezüglich der Regulierung von Gentechnik bekam die Europäische Kommission mehr Vertrauen zugesprochen als die jeweiligen nationalen Regierungen. Relativ geringes Vertrauen besaßen neben den nationalen Regierungen auch die industriellen Akteure: Weniger als 50% der europäischen Bevölkerung vertraut ihnen; ein Viertel hat kein Vertrauen in Unternehmen und die Regierung (Gaskell et al. 2003).

In der Schweiz zeichnet sich die Bevölkerung im Vergleich zur EU durch einen höheren Wissensstand aus. Dies ist ein Resultat des öffentlichen Diskussionsprozesses zu Gentechnik, der in der Schweiz seit Beginn der 90er Jahre wegen unterschiedlicher Volksabstimmungsinitiativen sehr intensiv geführt wurde (Bonfadelli et al. 2007). Zudem wurde insbesondere im Vorfeld der Volksabstimmung am 27. November 2005 über die Volksinitiative «Für Lebensmittel aus gentechnikfreier Landwirtschaft»¹⁶⁵ sehr sachlich diskutiert. Die Forderungen der Volksinitiative beziehen sich auf den risikoethischen Aspekt und insbesondere auf die wissenschaftlich-technische Analyse des Risikos: Es soll bis 2010 mehr Wissen über Umweltrisiken und gesundheitliche Risiken von gentechnisch veränderten Organismen (GVO) erlangt werden (März 2006).

Während die öffentliche Wahrnehmung der Gentechnik häufig als durch diffuse Ängste geprägt beschrieben wird, können Bewertungskriterien der Konsument/innen klar benannt werden: Für die individuelle Einstellung der Konsument/innen sind neben einer Bewertung des Bedarfs nach einem Produkt auch der Umgang der Akteure mit wissenschaftlichen und technischen Unsicherheiten wichtig. Daneben findet, wenngleich dies weniger relevant ist, eine Bewer-

¹⁶⁵ Bei der Volksabstimmung entschieden sich die Schweizer/innen mit einer Mehrheit von 55,7% der abgegebenen Stimmen für ein fünfjähriges Moratorium als «Denkpause», wobei Freisetzungsversuche weiterhin zulässig sind.

tung und Abwägung von Nutzen und Risiken und eine Bewertung der Akteure statt.

Die Haltung der Konsument/innen gegenüber einer vergleichsweise risikoreichen Technologie wie der Gentechnik mit vielen Anwendungsfeldern lässt sich nicht als eindeutig befürwortend oder ablehnend einstufen. Die Konsument/innenhaltung ist vielmehr differenziert, ambivalent und kann sich im Laufe der Debatte ändern (Bonfadelli et al. 2007).

Für die Mehrheit der Bürger/innen ist ein (individueller) Zusatznutzen von gentechnisch veränderten Lebensmitteln nicht alleine ausschlaggebend für die Akzeptanz. Dies führt dazu, dass die grosse Mehrheit der Schweizerinnen und Schweizer auch dann keine gentechnisch veränderte Lebensmittel kaufen und verzehren würden, wenn diese einen deutlichen persönlichen Zusatznutzen aufwiesen, indem die gentechnisch veränderten Lebensmittel z.B. preiswerter wären, weniger Fett enthielten oder besser schmecken würden (Bonfadelli et al. 2007).

Offen bleibt jedoch, ob die in den Umfragen geäusserte Haltung der Konsument/innen dann auch tatsächlich bei der konkreten alltäglichen Kaufentscheidung negativ gegenüber gentechnisch veränderten Lebensmitteln ausfällt.

So führt Gaskell et al. (2003) in den vergleichbaren Eurobarometer-Umfragen einschränkend an, dass Einstellung und tatsächliches Verhalten sich unterscheiden können und dass bei Umfragen Personen aus Bürger- und weniger aus Verbrauchersicht agieren, das heisst, dass sie ihre politische Einstellung jenseits ihrer Alltagsroutinen äussern. Wie in Kapitel 7 gezeigt wurde, wird das Konsument/innenverhalten im Bedürfnisfeld Ernährung nicht alleine vom Wissen bestimmt. Neben Werthaltungen und Orientierungen, Kompetenzen, Emotionen, Erfahrungsumwelt und Medioumwelt ist das Ernährungsverhalten der Konsument/innen auch von individuellen Alltagsroutinen und alltäglichen Handlungsmustern geprägt. Grundsätzliche Einstellungen müssen mit der konkreten Alltagsroutine in Einklang gebracht werden, wobei Konflikte zwischen der Alltagsroutine und der prinzipiellen Einstellung zu einem abweichenden Verhalten führen können.

8.2. Öffentliche Wahrnehmung von Nanotechnologien im Lebensmittelbereich

In den Eurobarometer-Umfragen aus dem Jahr 2005 schätzte die Mehrheit der europäischen Bürgerinnen und Bürger die Nanotechnologien insgesamt als nützlich für die Gesellschaft und ethisch vertretbar ein und nahm diese nicht als besonders risikoreich wahr. Eine Mehrheit sprach sich folglich dafür aus, die Nanotechnologien weiterhin zu fördern (Gaskell et al. 2006).

Auch wenn die Datenlage zu den unterschiedlichen Anwendungsbereichen der Nanotechnologien noch unzureichend ist, zeichnet sich ab, dass auch hier die Konsument/innen die unterschiedlichen Anwendungen differenziert bewerten. Siegrist et al. (2007b) sehen den Lebensmittel- und Gesundheitssektor als diejenigen Anwendungsfelder an, in denen es zu Kontroversen kommen könnte. Laut einer Umfrage im deutschsprachigen Teil der Schweiz zu Nanotechnologie in Lebensmitteln würden sich die befragten Personen trotz eines wahrgenommenen Nutzens nicht für einen Kauf der Produkte entscheiden (Siegrist et al. 2007a). Auch wenn die Ergebnisse dieser Umfrage mit Vorsicht zu genießen sind (siehe dazu Kapitel 7.3), ist eine solche Haltung nicht unwahrscheinlich, da Gentechnik-Umfragen zu ähnlichen Ergebnissen kamen.

Ferner ist davon auszugehen, dass der Umgang der Akteure mit den Informations- und Sicherheitsbedürfnissen der Konsument/innen deren Wahrnehmung und Einstellung massgeblich beeinflussen wird. Auf welche Aspekte sich diese Informations- und Sicherheitsbedürfnisse beziehen, ist im Rahmen von Dialogverfahren und Gruppendiskussionen in der Schweiz,¹⁶⁶ Deutschland¹⁶⁷ und Grossbritannien¹⁶⁸ schon recht gut charakterisiert worden. Im Einzelnen handelt es sich dabei um folgende Forderungen:

¹⁶⁶ Zum *publifocus* «Nanotechnologien – Bedeutung für Gesundheit und Umwelt» vgl. http://www.ta-swiss.ch/a/nano_pfna/2006_TAP8_Nanotechnologien_d.pdf und siehe auch Kapitel 7.

¹⁶⁷ In Deutschland verfassten im November 2006 die 16 Beteiligten der «Verbraucherkonferenz: Nanotechnologie», die federführend vom Bundesinstitut für Risikobewertung organisiert worden war, ein Verbrauchervotum: http://www.bfr.bund.de/cm/220/verbrauchervotum_zur_nanotechnologie.pdf (siehe dazu auch Kapitel 7).

¹⁶⁸ U.a. das NanoJury-Projekt, <http://www.nanojury.org.uk>.

- **Kennzeichnung**, um ein Wahlrecht beim Kauf zu ermöglichen, aber auch, um Täuschung zu vermeiden;
- **aktive Informationspolitik** über Forschungsvorhaben und öffentliche Diskussion;
- umfangreichere **Risikoforschung** sowie
- **Zulassungsverfahren** für nanoskalige Stoffe in Lebensmitteln oder ergänzende Prüfung von bereits zugelassenen Stoffen, wenn diese nanoskalig vorliegen.

Umfragen in der Schweiz von Siegrist et al. (2007b) zeigen, dass Laien die Risiken bei nanotechnologischen Anwendungen höher bewerten als Experten; das heisst, dass die Bevölkerung mehr Bedenken trägt als die Akteure, die nanotechnologische Anwendungen entwickeln und testen.¹⁶⁹ Insofern zeichnet sich hier eine potenzielle Kontroverse ab. Das Informations- und Sicherheitsbedürfnis der Konsument/innen ist also ein anderes, als die Experten dem wissenschaftlich-technischen Risiko entsprechend für angemessen erachten. Dies bedeutet, dass die ethischen Aspekte bei der öffentlichen Wahrnehmung der Nanotechnologie eine vergleichbar wichtige Rolle spielen werden wie dies bei der Gentechnik-Debatte der Fall war (siehe dazu Kapitel 8.3).

Das Votum der Bürgerinnen und Bürger in der Schweiz und in Deutschland deckt sich mit kritischen Einschätzungen aus Veröffentlichungen, welche die Debatte um den Einsatz der Gentechnik in der Landwirtschaft und die bisherige Entwicklung der Nanotechnologie verglichen haben. Diese kritisieren im Entwicklungsprozess der Nanotechnologien v.a. folgende Punkte:

- Einsiedel u. Goldenberg (2004) bemängeln, dass, gemessen an den enormen Fördersummen und den zahlreichen Publikationen zu Nanotechnologien, die Risikoforschung stark vernachlässigt wurde.
- Bei einer Befragung von Unternehmen in der Schweiz und in Deutschland, die Nanomaterialien produzieren oder einsetzen, gab eine beträchtliche Zahl an Unternehmen an, keinen strukturierten Ansatz für eine Risikobewertung von Nanomaterialien zu haben (Helland et al. 2008; Siegrist et al. 2007c). Einschränkend muss erwähnt werden, dass bei dieser Unternehmensbefragung der Terminus «Risikobewertung» nicht definiert wurde und die Unter-

¹⁶⁹ Dies ist nicht bei allen neuen Technologien der Fall: bei elektromagnetischer Strahlung etwa schätzen Experten das Risiko höher ein als Laien (Siegrist, pers. Mitt.).

nehmen deshalb ihre diesbezüglichen Aktivitäten und Prozesse entsprechend frei interpretieren konnten. Wahrscheinlicher ist also, dass der Umgang mit Nanomaterialien durchaus über gute fachliche Praxis, Regelungen des Arbeitsschutzes etc. abgedeckt wird, die Unternehmen dieses aber nicht benennen (können). Das heisst, dass es sich eher um ein Kommunikationsproblem der Unternehmen handelt, was jedoch dem Vertrauen der Bürger/innen in die Industrie nicht förderlich ist.

- Kuzma u. VerHage (2006) sehen vor der Markteinführung neuer Produkte zu wenig Aktivitäten seitens der Industrie und der Behörden, die auf die wahrgenommenen Risiken der Bevölkerung eingehen, auch wenn die Produkte *de facto* toxikologisch nicht bedenklich sind.

8.3. Ethische Aspekte in der Nanotechnologie

Die Debatte um den Einsatz der Gentechnik im Lebensmittelsektor wurde in hohem Masse auch durch ethische Fragestellungen geprägt. So halten zahlreiche Konsument/innen eine gentechnische Veränderung für einen unerlaubten Eingriff in die Natur. Auch der normative Schritt in einer Risikobewertung, nämlich wie empirisch ermittelte Ergebnisse zu bewerten sind, stellt ein zentrales Thema der Gentechnik-Debatte dar.

Folglich sind auch bei Lebensmitteln mit Nanokomponenten ethische Aspekte zu beleuchten. In diesem Zusammenhang stellt sich zunächst die Frage nach den charakteristischen Merkmalen und Zielen der Ethik.

Ziel der Ethik ist die Erarbeitung von allgemeingültigen Normen und Werten. Sie versucht, Antworten auf die Frage zu geben, wie in bestimmten Situationen gehandelt werden soll. Die einfachste einer solchen Frage stammt von Immanuel Kant: «**Was soll ich tun?**» Dabei ist diese Frage nicht ausschliesslich auf der moralischen Bedeutungsebene zu verstehen. Nach Kant hat diese Frage drei Komponenten: Eine technische, eine pragmatische und eine moralische (Kant 1983).

Zu diesem Zweck begründet die Ethik **allgemeine Prinzipien guten Handelns**. Bei der Anwendung dieser Prinzipien auf den einzelnen Fall bedarf es der praktischen Urteilskraft und des geschulten Gewissens. Aristoteles vergleicht dies mit der Kunst des Arztes und des Steuermanns. Diese verfügen über ein **theoretisches Wissen, das aber situationsspezifisch angewendet werden muss** (Aristoteles 2006).

Nach einer ersten Analyse der ethischen Aspekte von Nanotechnologien kam Grunwald (2004) zu dem Schluss, dass es keine genuin neuen ethischen Aspekte in der Nanotechnologie gibt, die eine spezielle «Nano-Ethik» rechtfertigen würden. Auch Rippe (2007) geht davon aus, dass eine eigene «Nano-Ethik» nicht erforderlich ist, da bei Nanotechnologien die gleichen ethischen Prinzipien wie im Alltag gelten müssen.

Wenn man Vergleiche zur Gentechnik-Debatte zieht, so ist davon auszugehen, dass die Risikodebatte um den Einsatz der Nanotechnologien im Lebensmittel-sektor von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst wird, wobei die ethische Dimension eine zentrale Rolle spielen wird. In diesem Zusammenhang liefert das von Haller (1995) entwickelte 3-Ebenen-Modell wertvolle Beiträge zum Erkenntnisprozess. Haller postuliert, dass Risikokommunikation und Risikowahrnehmung grundsätzlich auf drei verschiedenen Ebenen erfolgen, wobei jede Ebene auf einer spezifischen Logik basiert und jeweils eine eigene Objektivität generiert.

Die erste Ebene der Auseinandersetzung mit dem Risiko bildet die wissenschaftlich-technische Debatte, in der eine sachliche, wissenschaftsbasierte Analyse des Risikos stattfindet. Im Gegensatz dazu findet auf der zweiten Ebene eine emotionale Debatte statt, die stark von der unterschiedlichen Perzeption des Risikos auf individueller Ebene sowie von Hoffnungen und Ängsten geprägt ist. Die Entscheidung, ob ein Risiko als akzeptabel empfunden wird, hängt hier entscheidend von der Einstellung des Individuums ab. Dies bedeutet allerdings nicht, dass die Individuen irrational agieren; vielmehr haben die Bürgerinnen und Bürger eigene Urteilkriterien, wie dies für die Gentechnik-Debatte weiter oben beschrieben wurde.

Auf der dritten Ebene werden schliesslich gruppenspezifische Interpretationen des Risikos sowie ethische Aspekte adressiert. Diese soziale bzw. ethische Ebene bildet auch den Rahmen, in dem Leitbilder wie das der Nachhaltigkeit verortet werden können. Die unterschiedlichen Objektivitäten auf den drei Ebenen sind oftmals gegensätzlich und bilden den Ausgangspunkt von Konflikten. Nach Haller steigert sich die Intensität dieser Konflikte von der wissenschaftlich-technischen über die emotionale/psychologische bis zur sozialen/ethischen Ebene, wobei die Konflikte auf der sozialen/ethischen Ebene nur durch einen umfassenden Risiko-Dialog und unter Einbeziehung von Wissenschaft, Politik und Öffentlichkeit gelöst werden können (vgl. Abbildung 3).

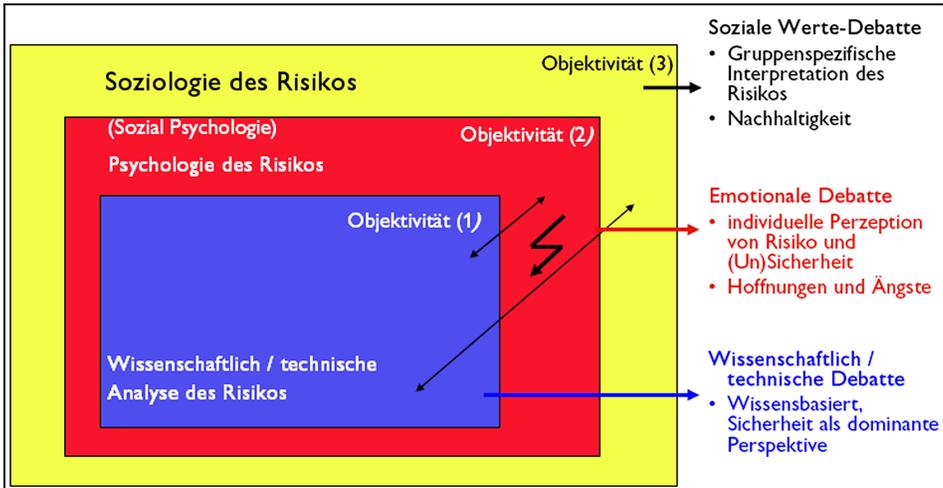


Abbildung 3: 3-Ebenen-Modell der Risikokommunikation und Risikowahrnehmung (Haller 1995, Grobe 2004)

Derzeit steht die ethische Ebene bei der Diskussion der Risiken von nanotechnologischen Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen noch nicht im Vordergrund. Dies ist auch der Tatsache geschuldet, dass die gegenwärtig auf dem Markt verfügbaren Produkte, wie etwa die Zusatzstoffe amorphes Siliziumdioxid oder Carotinoide, entweder seit Jahrzehnten für diesen Verwendungszweck genutzt werden, oder, wie im Falle von Nahrungsergänzungsmitteln, entsprechend beworben werden und eine ausgewählte Zielgruppe bedienen. Es existiert bis dato kein Produkt, von dem eine revolutionäre Auswirkung auf die Lebens- und Esskultur zu erwarten wäre (vgl. dazu auch Kapitel 5).

Genau dies stellt allerdings eine Befürchtung in der Debatte um Nano-Lebensmittel dar, erkennbar an dem oft zitierten Beispiel der Pizza «Tutti Gusti», das aus technologischer Sicht als Fiktion bezeichnet werden muss. Ein zweites derartiges Beispiel, das nicht so stark im Fokus der öffentlichen Debatte steht, sind Ansätze der Nanobiotechnologie wie etwa synthetisches Fleisch.¹⁷⁰

¹⁷⁰ Nanobiotechnologie bezeichnet den Zweig der nanotechnologischen Forschung, in dem biologische und nicht-biologische Systeme auf der Nanoskala verbunden werden. Ziel dabei ist es, nanotechnologische Verfahren und Materialien in den Lebenswissenschaften einzusetzen und biologische Materialien und Konzepte für die Herstellung von technischen Nanosystemen nutzbar zu machen (Bachmann 2006).

Es kann also eine aufkommende emotionale Debatte beobachtet werden. Diese droht sich dadurch zu verschärfen, dass die Entwickler und Hersteller von Nano-Lebensmitteln bislang nur äusserst zurückhaltend zu einer sachlichen und wissensbasierten Debatte beitragen. In der Folge fordern Verbraucher- und Umweltschutzverbände z.T. eine allgemeine Kennzeichnungspflicht für Nanomaterialien, damit die Konsument/innen nanotechnologische Veränderungen erkennen und entsprechend wählen können (BUND 2008; Büning 2007; Friends of the Earth 2008).

In der risikoethischen Dimension spielt die Ausgestaltung des Vorsorgeprinzips¹⁷¹ eine zentrale Rolle (Bachmann 2006; Rippe 2007). Das Vorsorgeprinzip wird mittlerweile bei der Regulierung des Risikos neuer Technologien von den meisten Akteuren nicht mehr grundsätzlich in Frage gestellt. Allerdings ist jeweils die Ausgestaltung des Vorsorgeprinzips umstritten, nämlich ob ein starker oder ein abgeschwächter Ansatz gewählt werden soll (Rippe 2007):

- Das starke Vorsorgeprinzip betont das Nicht-Wissen und fordert eine Umkehrung der Beweislast (d.h. der Hersteller muss in jedem Fall nachweisen, dass sein Produkt sicher ist). Die Maxime des starken Vorsorgeprinzips lautet: «Enthalte Dich im Zweifele!»

Die Entwicklung von synthetischem Fleisch fällt in den Bereich der Nanobiotechnologie. Ein Forschungsansatz verfolgt das Ziel des so genannten «Tissue Engineering», der Züchtung von Gewebe durch Zellkulturen im Labor. Beispielsweise arbeiten Forscher der University of Maryland (USA) sowie den Universitäten Utrecht und Wageningen (NL) daran, *in vitro* aus Muskelzellen von Geflügel oder Rindern künstliches Fleisch heranwachsen zu lassen. Die Vorteile dieser Entwicklung bestehen laut Aussage der Forscher darin, die Nährstoffe des Fleisches gezielt einstellen zu können (z.B. Verwendung von Omega-3-Fettsäuren anstelle von Omega-6-Fettsäuren bei natürlichem Fleisch). Ausserdem wird davon ausgegangen, dass die Umweltbelastungen von synthetischem Fleisch geringer ausfallen, da auf Futtermittel und deren Anbau verzichtet werden kann (UniverseToday 2005; Vogel 2006). Unklar bei diesem Forschungsansatz ist, inwiefern sich dieser tatsächlich auf nanotechnologische Verfahren bezieht. Synthetisches Fleisch wurde daher nicht in die Analyse des Produkt- und Forschungsmarktes aufgenommen, weil nicht deutlich ist, dass synthetische Nanomaterialien oder Nanopartikel, etwa ein Gerüst aus Nanofasern, das den Zellen ein gerichtetes Wachstum ermöglicht, verwendet werden.

¹⁷¹ Das Vorsorgeprinzip bildet einen wesentlichen Grundsatz der Umwelt- und Gesundheitspolitik und besagt, dass angesichts der Gefahr schwerer bzw. irreversibler Schäden ein Mangel an vollständiger wissenschaftlicher Gewissheit nicht als Entschuldigung dafür dienen darf, Massnahmen hinauszuzögern, die in sich selbst gerechtfertigt sind.

- Das schwache Vorsorgeprinzip hingegen gründet auf einer Beibehaltung der Beweislast (d.h. der Geschädigte muss nachweisen, dass er durch das Produkt des Herstellers xyz geschädigt wurde). Allerdings ist der Hersteller im Gegenzug verpflichtet, eine sorgfältige Risikoanalyse durchzuführen. Akzentuiert lässt sich dieser Ansatz wie folgt zusammenfassen: «Sorge vor, aber handle!»

Die Ausgestaltung des Vorsorgeprinzips kann sich aber auch bei der Bewertung empirischer Ergebnisse unterscheiden, wie dies etwa bei der Gentechnik-Debatte der Fall ist. Während die einen im Sinne des starken Vorsorgeprinzips ein Moratorium fordern, verlangen andere, dass angemessene Sicherheitsmassnahmen ergriffen werden.

Ob bei der Regulierung des Risikos von nanotechnologischen Entwicklungen im Lebensmittelsektor eher die starke oder die schwache Ausprägung des Vorsorgeprinzips zum Zuge kommen sollte, hängt davon ab, wie die synthetischen Nanomaterialien und Nanopartikel in Zukunft verwendet werden. Bei Lebensmittelzusatzstoffen gilt grundsätzlich das starke Vorsorgeprinzip, das heisst, dass für eine Zulassung von Zusatzstoffen umfangreiche toxikologische Untersuchungen vorgelegt werden müssen.

Weitere ethische Aspekte, die im Zusammenhang mit Nanotechnologien am häufigsten genannt werden (Grunwald 2006), sind:

- technische Verbesserung des Menschen,
- Verteilungsgerechtigkeit,
- Privatsphäre und Kontrolle sowie
- Verhältnis zwischen Technik und Leben.

Die aufgeführten ethischen Aspekte beziehen sich jedoch auf den Einsatz der Nanotechnologien in den unterschiedlichsten Bereichen. Beispielsweise ist die technische Verbesserung bzw. Manipulation des Menschen möglicherweise bei nanotechnologischen Methoden in der Medizin ein Thema, für den Bereich der Lebensmittel jedoch sicherlich nicht relevant.

Der Aspekt der Verteilungsgerechtigkeit zwischen Nord und Süd ist im Bereich Nahrung und Lebensmittel ein Politikum. In den Industrieländern selbst wird dieser Aspekt eher eine untergeordnete Rolle spielen, da die wenigen Nano-Lebensmittel eher den Massenmarkt betreffen und nicht nur für bestimmte Käuferschichten entwickelt werden.

Privatsphäre und Kontrolle könnten eventuell im Kontext von nanotechnologisch optimierter und kontrollierter Nährstoffaufnahme eine Rolle spielen, was aber eher in den medizinischen Bereich fallen würde. Bisher ist dies vor allem ein Thema der Nanotechnologie im Bereich der Elektronik.

Das Verhältnis zwischen Technik und Leben ist aus derzeitiger Sicht bei Nano-Lebensmitteln allerdings ein wichtiger ethischer Aspekt. Wie anhand des Beispiels der Pizza «Tutti Gusti» ersichtlich wird, handelt es sich dabei um eine der ersten Fragen, die in der aktuellen Debatte um Nanotechnologie im Lebensmittelsektor ganz unabhängig vom toxikologischen Risiko aufkommt. Lebensmittel haben in vielen Kulturen einen hohen symbolischen Gehalt und Esskultur bildet oftmals einen integralen Bestandteil der Kultur eines Landes oder einer Region. Dies trifft insbesondere bei Ländern wie Frankreich und Italien zu, gilt aber nach Einschätzung und persönlicher Erfahrung der Autoren auch für die Schweiz und ihre Regionen. Nanotechnologische Zusatzstoffe und Nährstoffe unterstützen bereits bestehende Trends zu hochveredelten und naturfernen Convenience-Produkten sowie neuartigen Lebensmitteln. Die Frage nach der Esskultur und einer kulturellen Wertedebatte – «Wie wollen wir leben?» – wird sich aber angesichts der wenigen derzeit auf dem Markt verfügbaren Produkte nicht allein aufgrund der Nanotechnologie stellen.

Festzuhalten bleibt, dass der Einsatz von Nanotechnologien im Lebensmittelbereich aus ethischer Sicht nicht grundsätzlich in Frage zu stellen ist. Allerdings sollten ethische Überlegungen den weiteren Entwicklungsprozess konstruktiv begleiten. Dies geht auch aus der Stellungnahme der Umweltbeauftragten der Evangelischen Kirche in Deutschland hervor. Kordecki et al. (2007) werben für einen verantwortungsvollen Einsatz der Technologie. Kriterien dabei sollten sein:

- die Abschätzung der Folgen, wobei die Chancen eines Nanomaterials über seinen gesamten Lebensweg analysiert werden sollten,
- die Bewertung der Risiken, wozu eine Klassifizierung der Nanomaterialien, ihre Kennzeichnung und Überwachungsprogramme gehören,
- eine Abwägung von Kosten und Nutzen,
- die Einbeziehung von Alternativen sowie
- Gerechtigkeit und die Einbeziehung der Öffentlichkeit in die Entscheidungsprozesse.

Fest steht aber auch, dass die Entwicklung eines ethisch verantwortungsvollen Einsatzes der Nanotechnologien im Lebensmittelbereich erheblich von den

Debatten auf der wissenschaftlich-technischen und emotionalen/psychologischen Ebene abhängen wird, wie anhand des 3-Ebenen-Modells gezeigt werden konnte. Vor diesem Hintergrund und angesichts der äusserst zurückhaltenden (Risiko-)Kommunikation der Entwickler und Hersteller von Nano-Lebensmitteln ist derzeit nicht auszuschliessen, dass die Debatten ausschliesslich von ethischen Überlegungen und weniger von den wissenschaftlich-technischen Aspekten bestimmt werden.

8.4. Zwischenfazit

Vor dem Hintergrund der Analyse der öffentlichen Wahrnehmung von gentechnisch veränderten Lebensmitteln (Kapitel 8.1) und Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen mit Nanokomponenten (Kapitel 8.2) sowie unter Berücksichtigung ethischer Aspekte (Kapitel 8.3) ist davon auszugehen, dass bei der Mehrzahl der Verbraucherinnen und Verbraucher die Akzeptanz gegenüber Nanotechnologien im Lebensmittelsektor eher gering ausfällt.

Analog zur Gentechnik-Diskussion stützt sich die derzeitige Debatte über den Einsatz von Nanotechnologien im Lebensmittelsektor weniger auf naturwissenschaftlich-technische Fakten, sondern vielmehr auf die wahrgenommenen Risiken und eine Bewertung des sozialen, ökonomischen und politischen Umfeldes, in dem die Entwicklung und Vermarktung von Produkten betrieben wird. Bezüglich der Charakterisierung dieser Randbedingungen ergeben sich v.a. bei drei Aspekten auffällige Parallelen zwischen der Gentechnik- und Nanotechnologie-Debatte:

- Ebenso wie bei gentechnisch veränderten Lebensmitteln ist auch bei Lebensmitteln mit Nanokomponenten ein **Bedarf** derzeit in vielen Fällen nicht eindeutig zu erkennen.
- In ihrer persönlichen **Abwägung von Nutzen und Risiken** kommen die Konsument/innen (trotz z.T. vorhandener individueller Nutzenaspekte) mehrheitlich zu einer negativen Kaufentscheidung; individueller Zusatznutzen stellt demzufolge ein notwendiges, aber kein hinreichendes Kriterium für die Akzeptanz nanotechnologischer Produkte im Lebensmittelsektor dar.
- Bezüglich des **Umgangs mit wissenschaftlichen und technischen Unsicherheiten** negieren die meisten Entwickler bzw. Hersteller noch offene Punkte; es ist daher zu befürchten, dass durch den intransparenten Umgang

mit Unsicherheiten auf der wissenschaftlich-technischen Ebene die Risikodiskussion auf die emotionale/psychologische und die soziale/ethische Ebene verlagert wird und dort zu erheblichen Konflikten führt.

Vor diesem Hintergrund kann zusammenfassend festgehalten werden, dass die Akzeptanz bei den Konsumentinnen und Konsumenten entscheidend von der individuellen Wahrnehmung des Nutzen/Risiko-Verhältnisses, aber auch von der Art und Weise abhängen wird, wie von den treibenden Akteuren in Zukunft die Debatte um den Einsatz von Nanotechnologie im Lebensmittelsektor weitergeführt wird.

9. Stakeholderbefragung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Stakeholderbefragung vorgestellt, die im Anschluss an die interdisziplinäre Analyse durchgeführt wurde.

9.1. Auswahl der Stakeholder

Bei der Auswahl der Stakeholder wurden Akteure aus Industrie/Handel, Forschung/Beratung, Behörden, Banken/Versicherungen sowie aus NGOs berücksichtigt. In Abstimmung mit TA-SWISS und dem Begleitkreis wurden im Einzelnen folgende **30 Stakeholder** für die Befragung ausgewählt:

a) Stakeholder aus Industrie und Handel

- Coop: Frau Hofer und Herr Röser
- Kraft Foods: Frau Norton
- miVital: Herr Schneider
- Nestlé: Herr Dr. Watzke
- Tetra Pak: Herr Meyer
- Unilever: Frau Grassau-Zetschke

b) Stakeholder aus Forschung und Beratung

- EMPA, St. Gallen: Herr Dr. Peter Wick
- ETH Zürich, IED: Herr Prof. Siegrist
- Innovationsgesellschaft, St. Gallen: Herr Dr. Meili
- Novartis, Basel: Herr Dr. Kuster
- Schweizerisches Verpackungsinstitut (SVI): Herr Durrer
- Stiftung Risiko-Dialog: Frau Dr. Grobe
- Universität Bern, Institut für Anatomie: Herr Prof. Gehr
- Universität Zürich, IPMZ: Herr Prof. Bonfadelli

c) Stakeholder in Behörden

- Bundesamt für Gesundheit (BAG), Bern: Herr Dr. Charrière
- Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern: Herr Prof. Karlaganis
- Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin: Herr Dr. Zimmer
- Kantonales Lebensmittelamt Basel-Stadt: Herr PD Dr. Hübner

- Kantonales Lebensmittelamt Bern: Herr Dr. Deflorin
 - Kantonales Lebensmittelamt Zürich: Herr Dr. Etter
- d) Stakeholder aus Versicherungen und Banken**
- Credit Suisse, Zürich: Herr Dr. Vayloyan
 - Münchner Rück: Herr Dr. Schmid
 - Swiss Re, Zürich: Herr Dr. Epprecht
- e) Stakeholder aus Nichtregierungsorganisationen (NGOs)**
- Associazione Consumatrici della Svizzera Italiana (ACSI): Frau Soldati
 - Fédération Romande des Consommateurs (FRC): Frau Khamis
 - Konsumentenforum kf, Zürich: Frau Troesch-Schnyder
 - Stiftung für Konsumentenschutz (SKS), Bern: Herr Meier
 - Verbraucherzentrale Bundesverband, Berlin: Frau Büning
 - VKMB Vereinigung zum Schutz kleiner und mittlerer Bauern: Herr Karch

Auf der Grundlage der Ergebnisse der interdisziplinären Analyse wurde ein spezifischer Fragebogen entwickelt, der den Stakeholdern im Dezember 2007 via E-Mail mit der Bitte um Beantwortung übermittelt wurde. Zusätzlich zu den erhaltenen schriftlichen Rückmeldungen wurden mit ausgewählten Stakeholdern vertiefende Gespräche geführt. Im Anschluss daran wurden die Ergebnisse ausgewertet und im vorliegenden Arbeitspapier zusammengefasst.

9.2. Rücklaufquote und Selbsteinschätzung

Von den insgesamt 30 befragten Stakeholdern beteiligten sich 20 an der Befragung und retournierten einen mehr oder weniger umfangreich beantworteten Fragebogen. Daraus ergibt sich über die Grundgesamtheit eine **Rückmeldequote von 67%**. Wie die nachfolgende Abbildung zeigt, fällt jedoch die Rücklaufquote bei den einzelnen Stakeholdergruppen sehr unterschiedlich aus: So beteiligten sich die Behördenvertreter zu über 80% an der Aktion, während die Rückmeldequote in der Stakeholdergruppe Industrie/Handel nur 40% betrug.

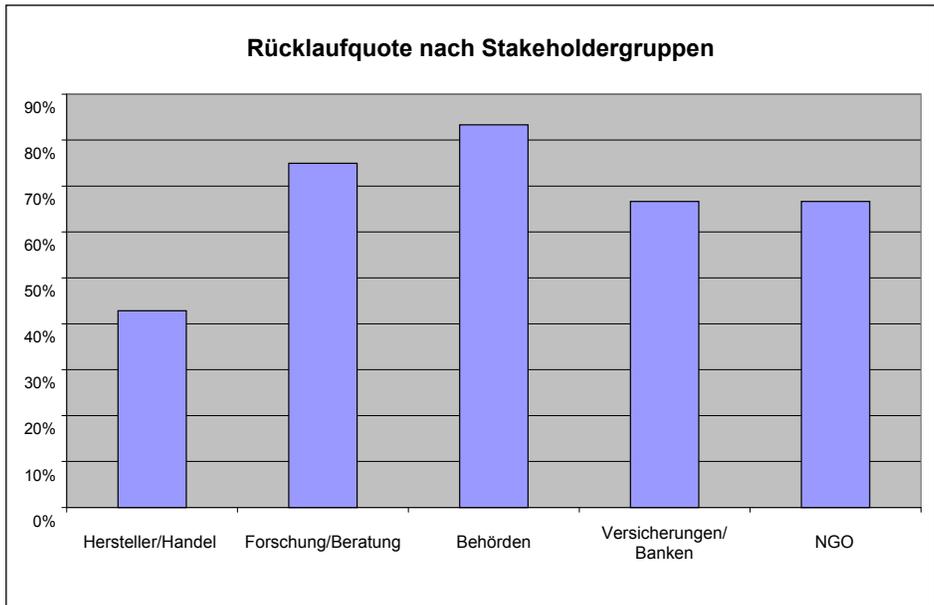


Abbildung 4: Aufschlüsselung der Rücklaufquote nach Stakeholdergruppen

Zur Einordnung der Antworten und der Qualifikation der Stakeholder wurden diese gebeten, eine Selbsteinschätzung ihrer Fachkenntnis bei Lebensmitteln, Lebensmittelzusatzstoffen und Lebensmittelprozessen vorzunehmen. Demnach betreiben insgesamt knapp 20% eigene Forschungen zum Thema. Rund 40% der Stakeholder gaben an, die Fachdiskussion kontinuierlich zu verfolgen, während weitere 40% zumindest über punktuelle Kenntnisse verfügen (siehe folgende Abbildung).

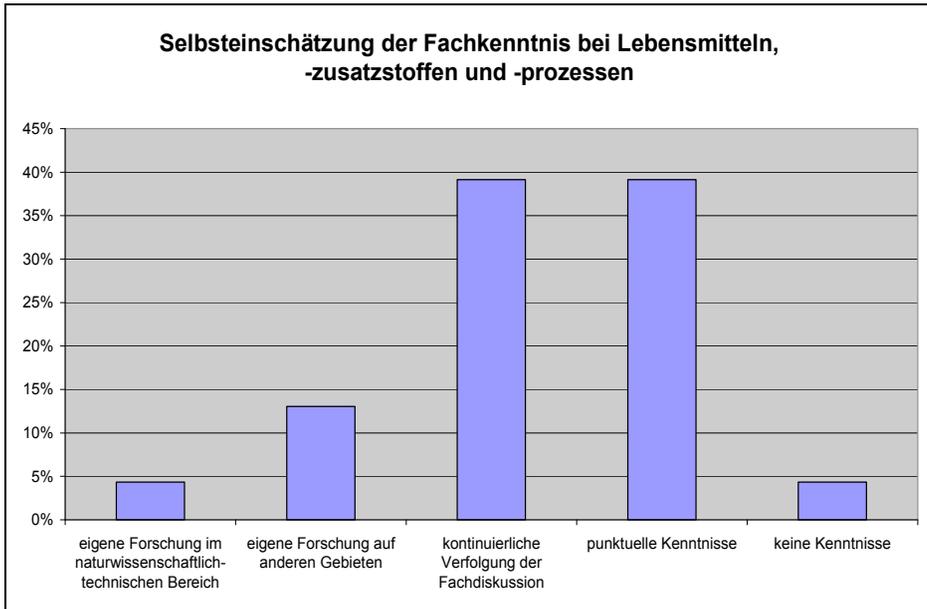


Abbildung 5: *Selbsteinschätzung der Stakeholder in Hinblick auf ihre Fachkenntnis bei Lebensmitteln, -zusatzstoffen und -prozessen*

Ein leicht anderes Bild ergab sich bei der Expertise im Hinblick auf Lebensmittelverpackungen: Hier verfolgen mit 25% deutlich weniger Stakeholder die Diskussion kontinuierlich; 15% gaben an, keine speziellen Fachkenntnisse zu besitzen.

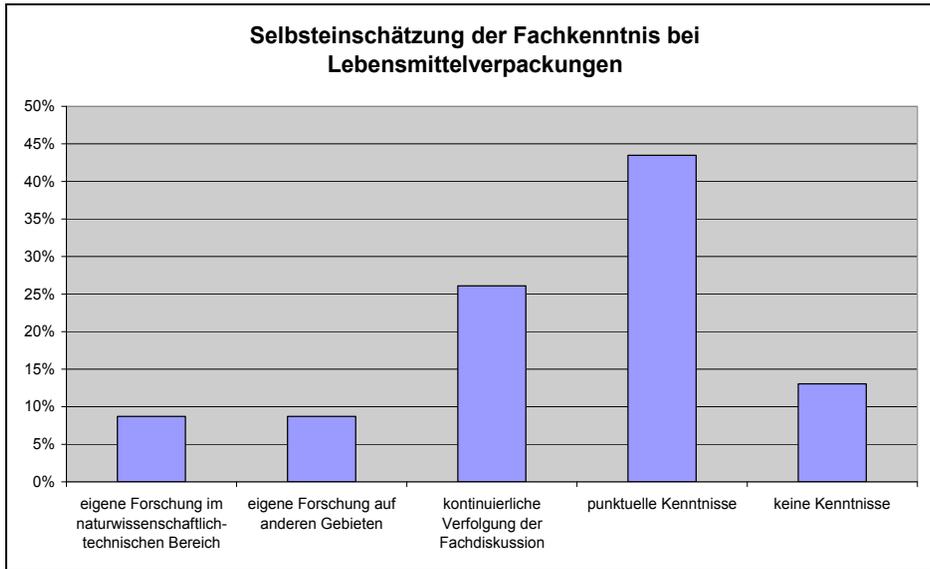


Abbildung 6: Selbsteinschätzung der Stakeholder in Hinblick auf ihre Fachkenntnis bei Lebensmittelverpackungen

9.3. Marktverfügbarkeit von Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen mit Nanokomponenten

Auf Basis der Rückmeldungen von denjenigen Stakeholdern, die über mehr als nur punktuelle Kenntnisse verfügen, konnten die Resultate zur **Marktverfügbarkeit** aus Kapitel 5 bestätigt werden. Allerdings zeigten sich auch bei den ausgewählten Experten z.T. deutliche Wissenslücken, was darauf zurückzuführen ist, dass im Lebensmittelsektor nur relativ wenig belastbare Informationen über nanotechnologische Produkte verfügbar sind. Insbesondere im Bereich landwirtschaftlicher Anwendungen zeigten sich deutliche Fehleinschätzungen bezüglich der Verfügbarkeit von Pflanzenschutzmitteln mit synthetischen Nanomaterialien. Bei Lebensmitteln sowie Prozessen der Rohstoff- und Lebensmittelproduktion ergaben sich jedoch einige Hinweise auf noch nicht erfasste Produkte bzw. Prozesse mit Nanokomponenten. Diesen Hinweisen wurde im

Rahmen der Überarbeitung dieses Kapitels nachgegangen. Im Falle von validen Informationen wurden die jeweiligen Produkte bzw. Prozesse mit aufgenommen.

9.4. Toxikologisches Risiko

Um das **humantoxikologische Risiko** für die im Lebensmittelsektor verwendeten synthetischen Nanomaterialien abschätzen zu können, wurden die Stakeholder gebeten, zunächst die derzeitige Exposition der Konsument/innen sowie das spezifische Gefährdungspotenzial der relevanten Nanomaterialien einzuschätzen. Bezüglich der Expositionswahrscheinlichkeit führte die Befragung hier fast durchweg zu dem Ergebnis, dass die meisten Stakeholder die gegenwärtige Exposition als gering bis sehr gering einstufen. Allerdings ist dabei zu beachten, dass je nach Nanomaterial jeweils ein grosser Prozentsatz (z.T. sogar über 50%) der Stakeholder keine Angaben machte. Eine signifikante Ausnahme bildete allerdings die Migration von Nano-Silber aus Lebensmittelverpackungen; hier vermutet knapp ein Viertel der Stakeholder eine hohe bis sehr hohe Exposition der Konsument/innen.

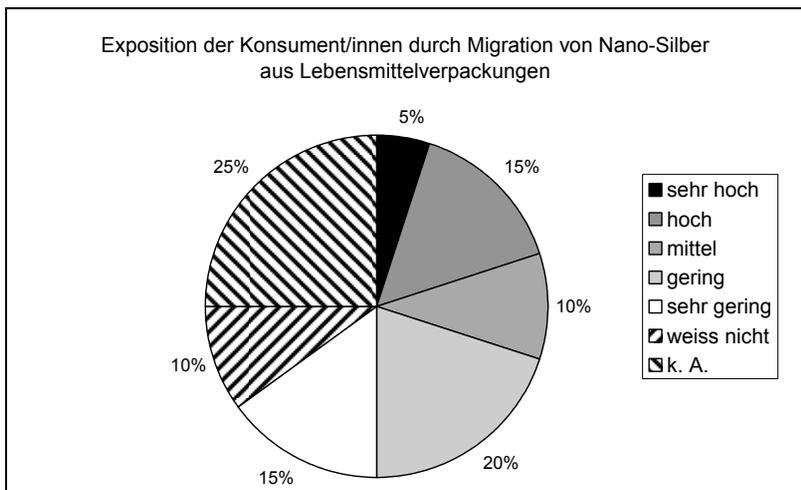


Abbildung 7: *Einschätzung der Stakeholder zur Exposition der Konsument/innen durch Migration von Nano-Silber aus Lebensmittelverpackungen*

Im zweiten Teil des Fragebogens zum toxikologischen Risiko wurden die Stakeholder gebeten, das humantoxikologische Gefährdungspotenzial folgender Nanomaterialien bei deren Aufnahme durch die Nahrung (Ingestion) abzuschätzen:

- SiO_2 ,
- TiO_2 ,
- ZnO ,
- Aluminium/ Al_2O_3 ,
- Silber,
- Gold,
- amorpher Kohlenstoff,
- synthetische Polymere,
- Micellen (auf der Materialbasis Polysorbate, Proteine) sowie
- Liposome.

Nach Möglichkeit sollte dabei auch angegeben werden, auf welche konkreten Materialparameter (z.B. Grösse, Art des Coatings etc.) sich die Aussagen beziehen.

Insgesamt wurde das Gefährdungspotenzial bei den meisten Nanomaterialien von den Stakeholdern eher als gering bis sehr gering eingestuft. Das vergleichsweise höchste Gefährdungspotenzial wird bei Nano-Silber und Nano-Gold vermutet. Die Auswertung der Rückmeldungen zum toxikologischen Gefährdungspotenzial ergab jedoch auch, dass die meisten Stakeholder in diesem Themengebiet nur über geringe bzw. unvollständige Fachkenntnisse verfügen. Aus diesem Grund wird im Folgenden auf die wenigen konkret formulierten Einschätzungen eingegangen.

Eine sehr detaillierte generelle Einschätzung zum Gefährdungspotenzial lieferte ein Behördenvertreter, die nachfolgend im Wortlaut wiedergegeben wird:

«Bei Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen steht primär der orale Aufnahmeweg im Fokus. Der dermale und inhalative Aufnahmeweg sind eher untergeordnet. Beim oralen Aufnahmeweg ist zu beachten, dass selbst wenn ein Nanopartikel über den Darm aufgenommen wird, dieses noch nicht systemisch verfügbar ist (d.h. es gelangt nicht direkt ins Blut), sondern es wird zunächst über die Leber entgiftet.

Pharmakologische Untersuchungen in den 80er Jahren haben gezeigt, dass enkapsulierte Wirkstoffe ohne spezielles Coating (sog. «Stealth-Partikel») in der Leber abgefangen werden. Können die Partikel dort nicht abgebaut werden,

bilden sich Granuloma, die mögliche Langzeitschäden zur Folge haben könnten. Die biologische Abbaubarkeit der Nanopartikel ist somit von entscheidender Bedeutung.»

Ein anderer Behördenvertreter äusserte hingegen folgende Ansicht: «Keine Abstufung (hinsichtlich des Gefährdungspotenzials) möglich, aus unserer Sicht aber Gefährdungspotenzial grundsätzlich bei der gesamten Liste gegeben.»

Weiterhin wurde angemerkt, dass insbesondere bei den Metalloxid-Nanopartikeln generelle Aussagen kaum möglich sind, da das Gefährdungspotenzial stark von Partikelgrößenverteilung, Coating, Agglomerationsgrad etc. abhängt. Abbaubare Nanomaterialien wie Micellen hingegen sind nicht stabil und dürften spätestens in der Leber zerlegt werden. Die Gefährdung entspricht dann der des transportierten Wirkstoffs; allerdings ist die (gewünschte) erhöhte Bioverfügbarkeit zu berücksichtigen.

Anders als Micellen dürften die o.g. Liposome keine Bedeutung für Lebensmittel haben, sondern eher für kosmetische Anwendungen relevant sein. Auch hier wären jedoch die Stabilität und die Toxizität der transportierten Substanz die entscheidenden Parameter.

9.5. Wirtschaftliche Potenziale

Zu den **wirtschaftlichen Potenzialen** der Nanotechnologien im Lebensmittel-sektor konnten oder wollten ebenfalls nur sehr wenige Stakeholder inhaltliche Beiträge liefern. Es wurde darauf hingewiesen, dass derzeit keine überprüf-baren Schätzungen verfügbar bzw. die vorhandenen Zahlen sehr spekulativ sind.

Ein Vertreter aus der Stakeholdergruppe der Behörden gab zu der Frage nach den wirtschaftlichen Potenzialen zumindest folgende qualitative Einschätzung ab:

Tabelle 3: *Wirtschaftliche Potenziale der Nanotechnologien im Lebensmittelsektor (qualitative Angaben eines befragten Stakeholders)*

Marktvolumen für	Schweizer Markt			Weltmarkt		
	derzeit	2010	2020	derzeit	2010	2020
Lebensmittel	<i>klein</i>	<i>klein</i>	<i>k. A.</i>	<i>klein</i>	<i>mittel</i>	<i>k. A.</i>
Lebensmittelverpackungen	<i>klein</i>	<i>mittel</i>	<i>k. A.</i>	<i>klein</i>	<i>mittel</i>	<i>k. A.</i>
Prozesse der Lebensmittelproduktion	<i>mittel</i>	<i>mittel</i>	<i>k. A.</i>	<i>mittel</i>	<i>mittel</i>	<i>k. A.</i>

Lediglich ein Stakeholder aus dem Banken-/Versicherungssektor konnte quantitative Angaben zum Marktpotenzial für den Schweizer Markt und Weltmarkt machen, die in folgender Tabelle zusammengefasst sind.

Tabelle 4: *Wirtschaftliche Potenziale der Nanotechnologien im Lebensmittelsektor (quantitative Angaben eines befragten Stakeholders)*

Marktvolumen (in CHF) für	Schweizer Markt			Weltmarkt		
	derzeit	2010	2020	derzeit	2010	2020
Lebensmittel	<i>5 Mio.</i>	<i>10 Mio.</i>	<i>50 Mio.</i>	<i>5 Mrd.</i>	<i>10 Mrd.</i>	<i>50 Mrd.</i>
Lebensmittelverpackungen	<i>5 Mio.</i>	<i>20 Mio.</i>	<i>100 Mio.</i>	<i>1 Mrd.</i>	<i>5 Mrd.</i>	<i>25 Mrd.</i>
Prozesse der Lebensmittelproduktion	<i>k. A.</i>	<i>k. A.</i>	<i>k. A.</i>	<i>k. A.</i>	<i>k. A.</i>	<i>k. A.</i>

Aus den beiden Tabellen wird ersichtlich, dass die Einschätzungen des Behördenvertreters und des Stakeholder aus dem Banken-/Versicherungssektor bezüglich des Schweizer Markts inhaltlich grob übereinstimmen; beim Weltmarkt geht letzterer jedoch bereits heute von einem relativ grossen Marktvolumen aus, welches in Zukunft noch deutlich wachsen wird.

9.6. Aspekte der Technikgenese

9.6.1. Akteure

Auch in Hinblick auf die bedeutendsten Akteure im Prozess der Technikgenese kamen nur sehr wenige Rückmeldungen, wobei hier in erster Linie Stakeholder aus den Behörden Beiträge lieferten.

Ein Stakeholder aus der Stakeholdergruppe Forschung/Beratung geht davon aus, dass derzeit die Industrie der wichtigste Akteur ist, sowohl bei Lebensmitteln als auch bei Lebensmittelverpackungen. Für 2010 und 2020 wird davon ausgegangen, dass bei den Lebensmitteln die Industrie zwar der wichtigste Treiber bleiben wird, jedoch zumindest bei den Lebensmittelverpackungen die Konsument/innen den grössten Einfluss auf die Technikgenese haben werden.

Diese Aussage deckt sich zumindest teilweise mit der Einschätzung eines Behördenvertreters, wobei dieser jedoch die Einschätzung vertritt, dass in Zukunft die Konsument/innen auch bei Lebensmitteln die wichtigsten Treiber des Innovationsprozesses sein werden.

Ein weiterer Stakeholder aus dem Behördenumfeld vertritt hingegen die Ansicht, dass sowohl bei Lebensmitteln als auch bei Lebensmittelverpackungen jetzt und in Zukunft die Industrie und die Forschung die wichtigsten Akteure sein werden, wobei bei Lebensmitteln 2010 und 2020 sowohl auf dem Schweizer Markt als auch auf dem Weltmarkt die Regulierungsbehörden als dritter wichtiger Akteur auftreten werden.

Bei den Prozessen der Lebensmittelproduktion vertreten alle Stakeholder, die sich zu dieser Frage geäußert haben, die Ansicht, dass die wesentlichen Impulse ausschliesslich von der Industrie ausgehen werden.

Konkrete Firmen wurden nur von einem Stakeholder aus dem Banken- und Versicherungssektor genannt. Für den Schweizer Markt handelt es sich bei Lebensmitteln um die Firma Nestlé, während bei Lebensmittelverpackungen die Firmen SIG sowie TetraPak genannt wurden. In Hinblick auf den Weltmarkt fiel der Name Kraft Foods (sowohl bei Lebensmitteln als auch bei Lebensmittelverpackungen).

9.6.2. Hemmnisse für den Markteintritt nanotechnologischer Lebensmittel und Lebensmittelverpackungen

Als wichtigste Hemmnisse für den Einsatz von Nanotechnologien im Lebensmittelsektor auf dem Schweizer Markt wurden zum derzeitigen Zeitpunkt die unklare Rechtslage, die Wissenslücken bei den Sicherheitsaspekten sowie die mangelnde Akzeptanz bei den Verbraucher/innen genannt. Nach Ansicht der Stakeholder wird sich dieses Bild in Zukunft dahingehend verschieben, dass 2010 die Verpflichtung zur Kennzeichnung und die mangelnde Akzeptanz die beiden wichtigsten Hemmnisse sein werden. Für 2020 wird sogar davon ausgegangen, dass diese beiden Hemmnisse noch an Bedeutung gewinnen und die Debatte dominieren werden (vgl. folgende Abbildung).

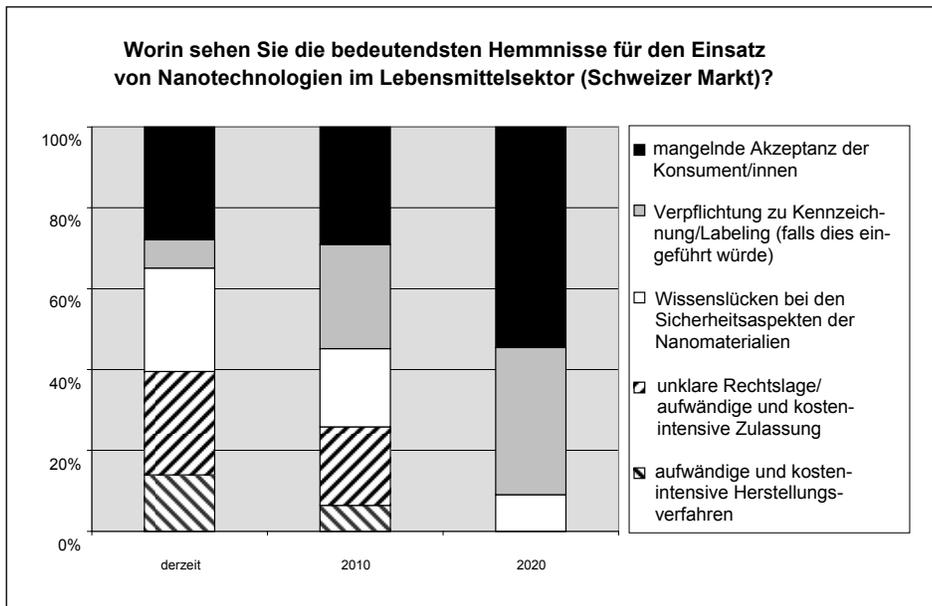


Abbildung 8: *Bedeutende Hemmnisse für den Einsatz von Nanotechnologien im Lebensmittelsektor (Schweizer Markt)*

Befragt nach den Hemmnissen für den Weltmarkt, ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zu den Hemmnissen für den Schweizer Markt, sowohl hinsichtlich des Gesamtergebnisses als auch im Hinblick auf die Aufschlüsselung auf die einzelnen Stakeholdergruppen.

9.6.3. Erfolgsfaktoren für den Markteintritt nanotechnologischer Lebensmittel und Lebensmittelverpackungen

Nach Einschätzung der Stakeholder sind die beiden wichtigsten Erfolgsfaktoren für den Einsatz von Nanotechnologien im Lebensmittelsektor auf dem Schweizer Markt die Intensivierung der Forschung sowie Risiko-Dialoge mit der Öffentlichkeit. Perspektivisch wird davon ausgegangen, dass für 2010 bzw. 2020 die Kapitalversorgung als Erfolgsfaktor an Bedeutung gewinnen und die Förderung durch staatliche Akteure eher weniger wichtig wird (vgl. folgende Abbildung).

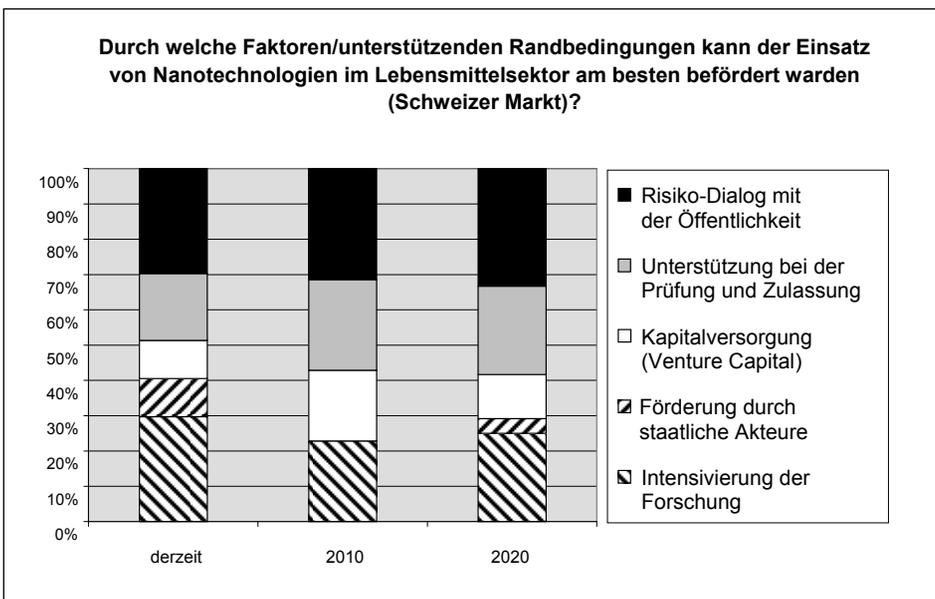


Abbildung 9: Bedeutende Erfolgsfaktoren für den Einsatz von Nanotechnologien im Lebensmittelsektor (Schweizer Markt)

Wie schon bei den Hemmnissen erwarten die Stakeholder auch bei den Erfolgsfaktoren keine signifikanten Unterschiede zwischen Schweizer Markt und Weltmarkt. Dies gilt wiederum sowohl hinsichtlich des Gesamtergebnisses als auch im Hinblick auf die Aufschlüsselung auf die einzelnen Stakeholdergruppen.

9.7. Regulatorisches Umfeld

Bei den regulatorischen Aspekten kam die Stakeholderbefragung zu dem Resultat, dass das derzeitige Positivprinzip bei der Marktzugangskontrolle für Lebensmittelzusatzstoffe (d.h. es dürfen nur Zusatzstoffe in Lebensmitteln verwendet werden, die ausdrücklich in der Zusatzstoffverordnung genannt sind) die möglichen Risiken nanoskaliger Zusatzstoffe nicht ausreichend erfasst. Diese Auffassung deckt sich mit den Ergebnissen der Analyse der rechtlichen Situation (vgl. Kapitel 6). Ein ähnliches Resultat ergibt sich für die Beachtung der Guten Herstellungspraxis und die Mengengrenzung bei Zusatzstoffen. Ob durch das bestehende Zulassungsverfahren für synthetische Zusatzstoffe im Nanoformat eine Gesundheitsgefährdung der Konsumenten/innen ausgeschlossen werden kann, wird von den Befragten weder klar bestätigt noch verneint.

Analysiert man jedoch die Rückmeldungen nach Stakeholdergruppen, so fällt eine vergleichsweise hohe Zustimmung bei Stakeholdern aus Forschung/Beratung und Behörden auf, während aus dem Handel nur eine sehr geringe Zustimmung kam.

Eine klare Dreiviertel-Mehrheit der Befragten fordert deshalb eine erneute Risikobewertung beim Ersatz von zugelassenen Lebensmittelzusatzstoffen im Makroformat durch entsprechende Stoffe im Nanoformat. Dabei fiel eine sehr hohe Zustimmung bei Stakeholdern aus Handel, Behörden und NGOs auf, während bei der Stakeholdergruppe Forschung/Beratung nur eine sehr geringe Zustimmung zu verzeichnen war.

Eine Kennzeichnungspflicht von synthetischen Nanomaterialien, die in funktionalen Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen enthalten sind, wird hingegen nur von 57% der Befragten (hohe und sehr hohe Zustimmung) befürwortet, wobei die Befürworter v.a. aus der Stakeholdergruppe Handel und NGOs stammen. Ein Behördenvertreter wies in diesem Zusammenhang darauf hin, dass eine Kennzeichnung vor allem dann wichtig ist, wenn die Nanomaterialien im Endprodukt nanopartikulär, d.h. ohne Matrixeinbindung vorliegen.

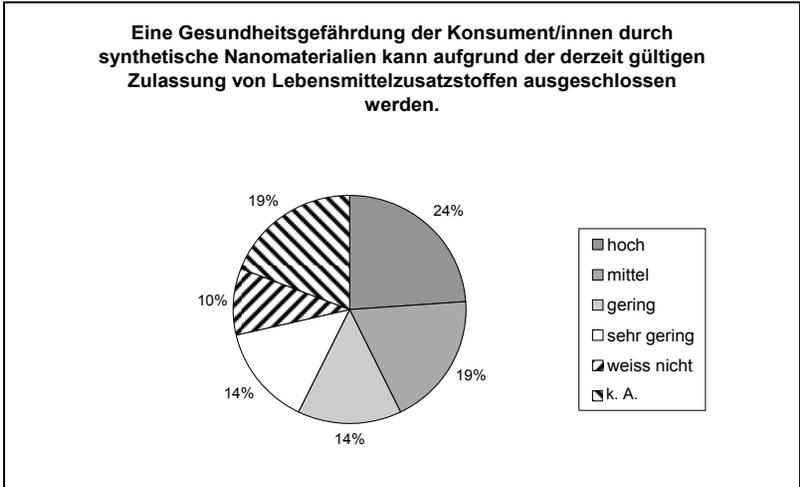


Abbildung 10: Zustimmung der Stakeholder zu der These, dass eine Gesundheitsgefährdung der Konsument/innen durch synthetische Nanomaterialien aufgrund der derzeit gültigen Zulassung von Lebensmittelzusatzstoffen ausgeschlossen werden kann

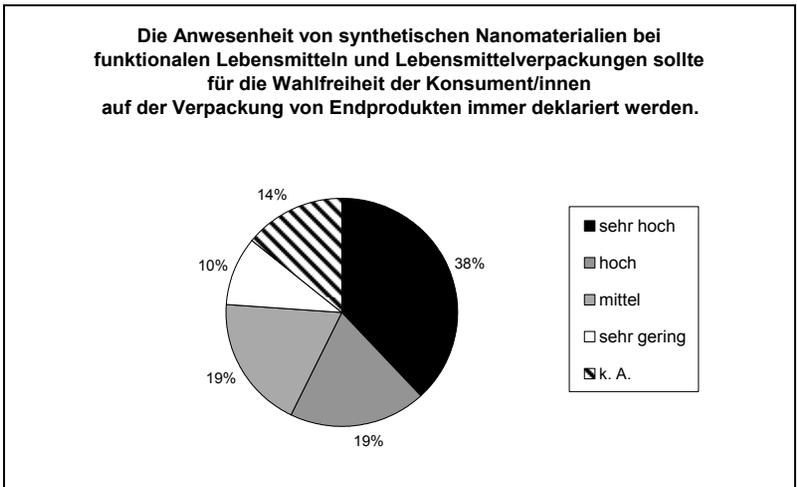


Abbildung 11: Zustimmung der Stakeholder zu der These, dass die Anwesenheit von synthetischen Nanomaterialien bei funktionalen Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen deklariert werden sollte

Die Kennzeichnung sollte aus Rückverfolgbarkeitsgründen auch für Zwischen- und Halberzeugnisse gelten (52% mit hoher und sehr hoher Zustimmung). Wie die zahlreichen Anmerkungen der Befragten zeigen, sind für die Kennzeichnungsmöglichkeit aber noch zahlreiche wichtige Voraussetzungen zu klären (z.B. Kennzeichnung nur für Nanomaterialien, die im Endprodukt nanopartikulär vorliegen; Grenze zwischen Lebensmittelchemie und Nanotechnologie ist zu definieren; risikobasierte Deklaration). Inzident liesse sich schlussfolgern, dass die bisherige Kennzeichnungspflichten nicht als ausreichend betrachtet werden. Eine freiwillige Selbstverpflichtung der Lebensmittel- und Verpackungsmittelindustrie als (vorübergehende) Reaktion auf die Regelungslücken bei Marktzugangskontrolle, offene Fragen der Risikobewertung und die gesellschaftliche Debatte werden weder klar befürwortet noch klar abgelehnt. Dies deckt sich mit den angemerkten möglichen Vor- und Nachteilen einer solchen Selbstverpflichtung. Ein NGO-Vertreter wies in diesem Zusammenhang hin, dass ein freiwilliger Nanocode, der nur von der Industrie stammt, kaum Akzeptanz bei den Konsumentinnen und Konsumenten fände.

9.8. Nutzen für die Konsument/innen

Zusätzlich zu den Thesen zum regulatorischen Umfeld wurden die Stakeholder auch um ihre Einschätzungen und Urteile zu Fragestellungen gebeten, die sich auf die Analyse der gesellschaftlichen Aspekte (vgl. Kapitel 7) beziehen. Im Hinblick auf den Nutzen von Lebensmitteln und Lebensmittelzusatzstoffen für die Konsument/innen ist das Urteil der Stakeholder gespalten. So reagieren auf die These «Bei Lebensmittelzusatzstoffen überwiegt derzeit insgesamt der Nutzen für die Konsumentinnen und Konsumenten über die (potenziellen) Risiken» zwar 38% der Stakeholder mit hoher bis sehr hoher Zustimmung, jedoch auch 33% mit geringer bis sehr geringer Zustimmung. Ein weiteres Drittel ist unentschieden bzw. hat zu dieser Frage keine Meinung.

Interessanterweise rekrutierte sich die besonders hohe Zustimmung zu dieser These v.a. aus den Behörden und NGOs, während die geringe bzw. sehr geringe Zustimmung über alle Stakeholdergruppen gleich verteilt ist (Abbildung 12). Nach Ansicht der Stakeholder überwiegt der Nutzen insbesondere bei nanotechnologisch optimierten Lebensmittelverpackungen im Hinblick auf die Aspekte «naturbelassene Ernährung» und «gesundheitsfördernde Ernährung» (vgl. folgende Abbildungen).

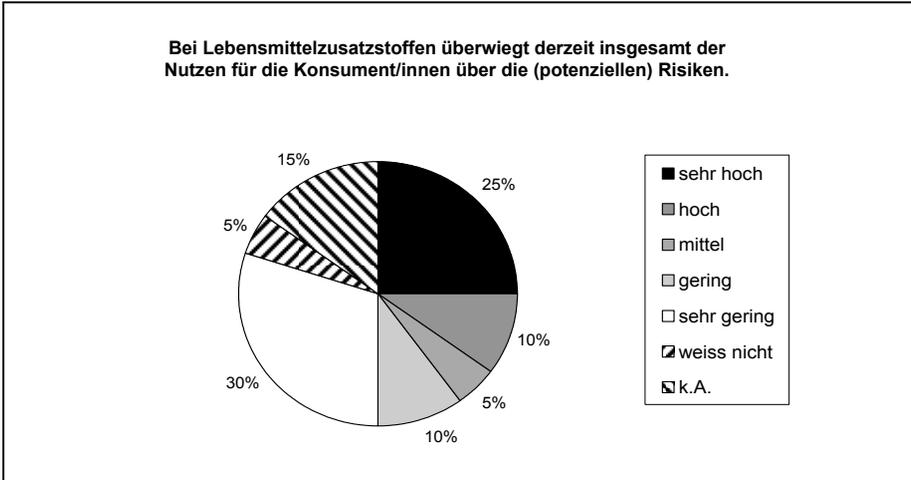


Abbildung 12: Zustimmung der Stakeholder zu der These, dass bei Lebensmittelzusatzstoffen derzeit insgesamt der Nutzen für die Konsument/innen die (potenziellen) Risiken überwiegt

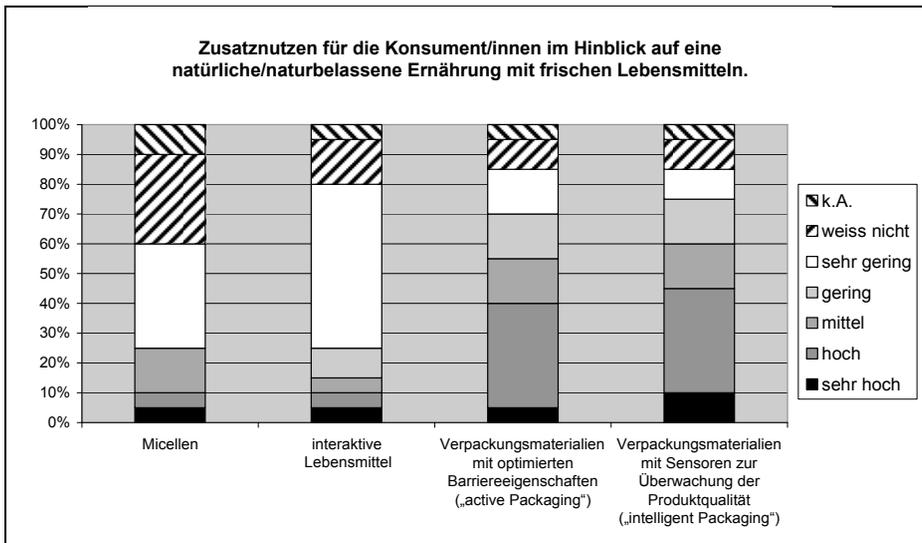


Abbildung 13: Einschätzung der Stakeholder bezüglich des Zusatznutzens für die Konsument/innen in Hinblick auf eine natürliche/naturbelassene Ernährung mit frischen Lebensmitteln

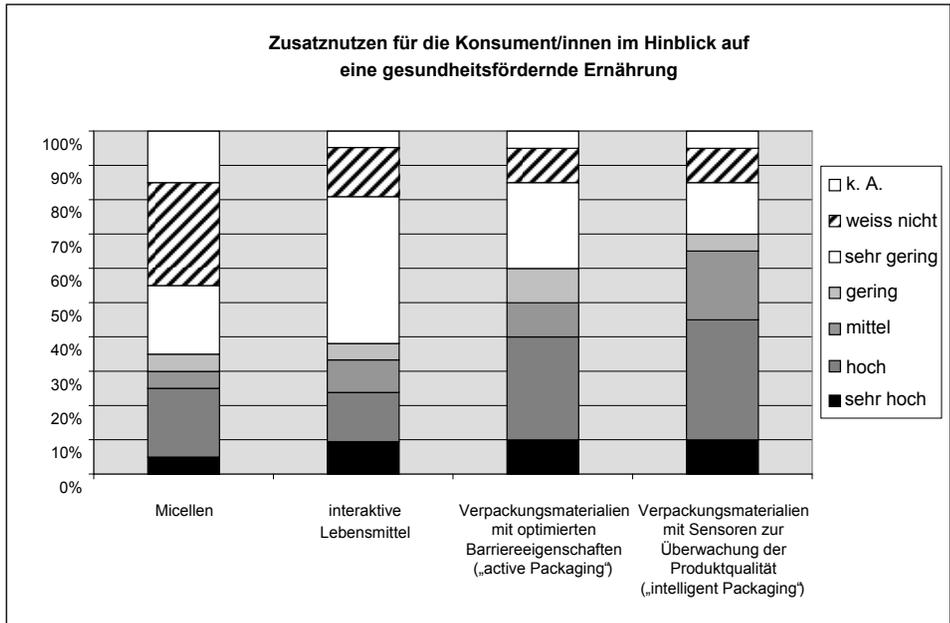


Abbildung 14: *Einschätzung der Stakeholder bezüglich des Zusatznutzens für die Konsument/innen im Hinblick auf eine gesundheitsfördernde Ernährung*

Im Gegensatz dazu wird der Zusatznutzen von interaktiven Lebensmitteln insgesamt eher kritisch betrachtet.

Einig sind sich die Stakeholder jedoch darin, dass die Hersteller/Entwickler den Konsument/innen derzeit keine ausreichenden und transparenten Informationen zur Verfügung stellen, und zwar sowohl hinsichtlich der Risiken, als auch in Bezug auf den individuellen Nutzen (vgl. folgende Abbildungen).

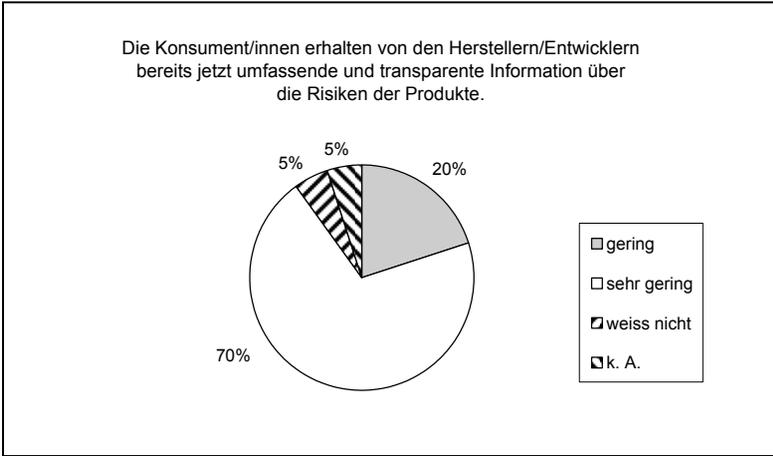


Abbildung 15: Zustimmung der Stakeholder zu der These, dass die Konsument/innen von den Herstellern/Entwicklern bereits jetzt umfassende und transparente Information über die Risiken der Produkte erhalten

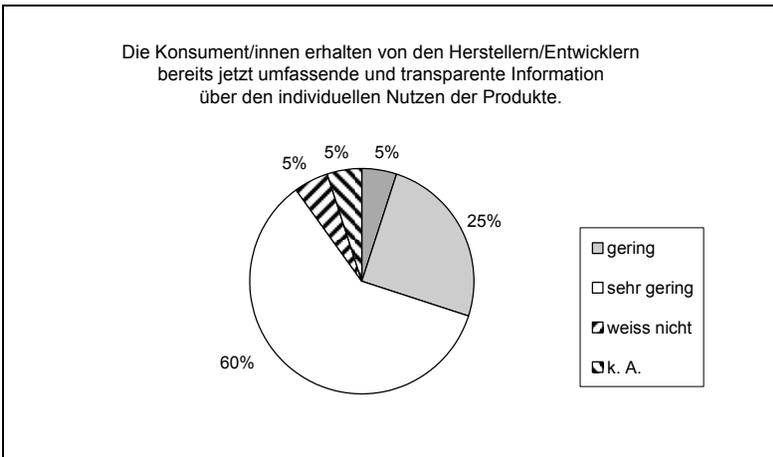


Abbildung 16: Zustimmung der Stakeholder zu der These, dass die Konsument/innen von den Herstellern/Entwicklern bereits jetzt umfassende und transparente Information über den individuellen Nutzen der Produkte erhalten

9.9. Parallelen zur Debatte um Gentechnik/ethische Aspekte

Abschliessend wurden die Stakeholder um ihre Einschätzungen und Urteile zu Thesen gebeten, die im Zuge der Analyse der Parallelen zur Debatte um die Gentechnik (vgl. Kapitel 8) aufgestellt wurden. Dabei wurde die These aufgestellt, dass wie bei der Gentechnik-Debatte die Konsument/innen auch bei der Beurteilung der Nanotechnologien eher von moralischen und ethischen Erwägungen geleitet werden. Wie der folgenden Abbildung entnommen werden kann, stimmen die Stakeholder dieser These mit grosser Mehrheit zu, wobei eine besonders hohe Zustimmung aus den Stakeholdergruppen Forschung/Beratung und Behörden kam.

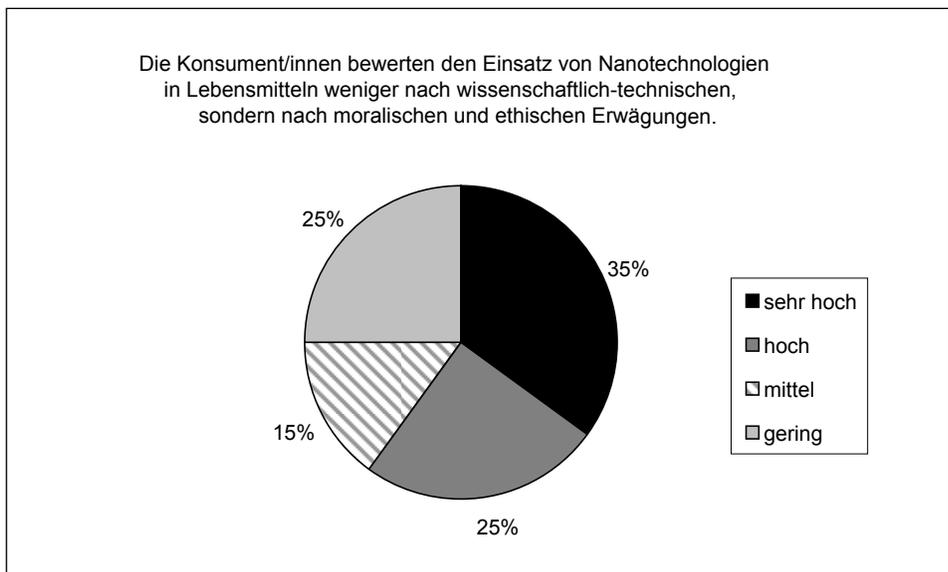


Abbildung 17: *Zustimmung der Stakeholder zu der These, dass die Konsument/innen den Einsatz von Nanotechnologien in Lebensmitteln weniger nach wissenschaftlich-technischen, sondern eher nach moralischen und ethischen Erwägungen bewerten*

Ein sehr ähnliches Bild ergab sich auch bei der Rückmeldung der Stakeholder zu der These, dass die Konsument/innen Nano-Produkte im Lebensmittelsektor trotz ihres zu bestimmten Aspekten erkennbaren Nutzens aufgrund der unge-

klärten Risiken zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht kaufen würden. Die Stakeholder wiesen in diesem Zusammenhang mehrheitlich auch darauf hin, dass die mangelhafte Kommunikation im Hinblick auf die Chancen und Risiken die Risiken noch verschärft und sich die Lebensmittelbranche in diesem Punkt in negativer Weise von anderen Branchen unterscheidet. Ein Stakeholder aus der Forschung äusserte in diesem Zusammenhang die Vermutung, dass die industriellen Akteure im Lebensmittelsektor die Risiken selbst nicht kennen oder verstehen und deshalb schweigen.

Drei Viertel der Stakeholder gehen sogar davon aus, dass aufgrund der bestehenden Kommunikationsdefizite seitens der Hersteller und Entwickler eine gesellschaftliche Auseinandersetzung droht, die von ihrem Ausmass her vergleichbar mit Gentechnik-Debatte werden könnte. Auffällig war hierbei eine sehr hohe Zustimmung zu dieser These durch Vertreter aus Forschung/Beratung, Behörden und NGOs, aber auch eine durchwegs hohe bis sehr hohe Zustimmung beim Handel.



Abbildung 18: Zustimmung der Stakeholder zu der These, dass die Art und Weise der Risikokommunikation der Entwickler und Hersteller von Nano-Lebensmitteln zukünftig zu einer gesellschaftlichen Auseinandersetzung vergleichbar mit der Gentechnik-Debatte führen kann

Vor diesem Hintergrund wurde mehrheitlich ein Zulassungsverfahren ähnlich wie bei gentechnisch veränderten Lebensmitteln gefordert, um den bestehenden Wissenslücken zu begegnen. Ausserdem würden öffentlich geführte Dialoge zu Risiken (und auch Chancen) der Nanotechnologien im Lebensmittelsektor nach Einschätzung der Stakeholder zu einer Versachlichung der Debatte führen. Ob solche Dialoge dann jedoch schon *per se* schon eine höhere Akzeptanz bei den Konsument/innen induzieren würden, wird jedoch zumindest von einigen Stakeholdern stark bezweifelt.

10. Gesamtbewertung

Auf der Grundlage der interdisziplinären Analyse (vgl. Kapitel 5 bis 8) und der Stakeholderbefragung (vgl. Kapitel 9) wird eine Gesamtbewertung für den Einsatz der Nanotechnologien bei Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen vorgenommen. Angesichts der Tatsache, dass in der gegenwärtigen Diskussion um Nanotechnologie im Lebensmittelsektor die gesundheitlichen Auswirkungen im Vordergrund stehen, wird als Ausgangspunkt für die Bewertung der Materialbasis zunächst ein Kapitel mit relevanten Kriterien für die toxikologische Risikobewertung von synthetischen Nanomaterialien vorangestellt (vgl. Kapitel 10.1). Darauf aufbauend schliesst sich eine zusammenfassende Bewertung der verwendeten synthetischen Nanomaterialien an, wobei hinsichtlich Lebensmittel (vgl. Kapitel 10.2) und Lebensmittelverpackungen (vgl. Kapitel 10.3) unterschieden wird. Zusätzlich zu der Risikobewertung werden im folgenden Kapitel 10.4 die wesentlichen Ergebnisse aus der interdisziplinären Analyse und der Stakeholderbefragung in konsolidierter Form zusammengefasst. Hierbei wird u.a. auch auf Nutzenaspekte und Chancen eingegangen. In der abschliessenden Synthese werden die Resultate der Studie integriert betrachtet und ein Ausblick auf die Zukunftsperspektiven für den Einsatz der Nanotechnologien bei Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen gegeben (vgl. Kapitel 10.5).

10.1. Präambel: Risikobewertung von synthetischen Nanomaterialien im Lebensmittelsektor

Die im Rahmen dieser Studie durchgeführte Marktanalyse (vgl. hierzu Kapitel 5) führte zu dem Resultat, dass sowohl auf dem Schweizer Markt als auch auf dem Weltmarkt Lebensmittel existieren, die synthetische Nanomaterialien entsprechend der für diese Studie gewählten Definition (vgl. Kapitel 4) enthalten. Durch eine orale Aufnahme der synthetischen Nanomaterialien kann es zu einer Exposition der Konsument/innen kommen, wobei diese im Falle von Lebensmitteln intendiert ist. Im Vergleich dazu spielt eine inhalative und dermale

Aufnahme von Nanomaterialien im Lebensmittelsektor für die Konsument/innen in der Regel eine untergeordnete Rolle.¹⁷²

Synthetische Nanomaterialien sind aber aufgrund ihres anthropogenen Ursprungs nicht *eo ipso* als bedenklich für die menschliche Gesundheit oder die Umwelt einzustufen. Vielmehr muss das ggf. vorhandene toxikologische Risiko von Fall zu Fall untersucht und bewertet werden.

Da die Sorge um eine mögliche Gefährdung der Gesundheit der Konsument/innen durch synthetische Nanomaterialien einen wichtigen Aspekt in der öffentlichen Diskussion darstellt, werden in dem folgenden Abschnitt erste Ansatzpunkte formuliert, wie eine Abschätzung der gesundheitlichen Bedenklichkeit von synthetischen Nanomaterialien in Lebensmitteln aussehen könnte.¹⁷³

Dabei handelt es sich jedoch nur um eine Ersteinschätzung, da sowohl in der Schweiz als auch in der EU die Risikobewertung von synthetischen Nanomaterialien noch am Anfang steht. So wurden für den oralen Aufnahmepfad synthetischer Nanomaterialien bislang kaum¹⁷⁴ toxikologische Studien durchgeführt.

Der Bundesrat weist in seinem am 9. April 2008 veröffentlichten Bericht **Aktionsplan Synthetische Nanomaterialien** darauf hin, dass die derzeitigen Empfehlungen für synthetische Nanomaterialien fast ausschliesslich auf Analogieüberlegungen zu Partikeln aus dem Mikrometerbereich basieren. Um den offenen Fragen zu möglichen human- und ökotoxikologischen Effekten, zur Identifizierung der Belastungsquellen und zu möglichen Sicherheitsrisiken wirkungsvoll zu begegnen, sollen im Rahmen des am 28. November 2007 lancierten Forschungsprogramms «Chancen und Risiken von Nanomaterialien» die wissenschaftlichen und methodischen Voraussetzungen zur Erkennung und Vermeidung möglicher schädlicher Auswirkungen geschaffen werden. Gesundheitsrelevante Aspekte wie Toxikokinetik, Partikeltranslokation, Metabolismus sowie Bioakkumulation und -persistenz werden dabei explizit als wichtige Forschungsschwerpunkte genannt (EDI 2008).

¹⁷² Ausnahmen sind eine inhalative Aufnahme von staubförmigen Lebensmitteln mit Nanokomponenten (z.B. Trennmitteln) sowie Lebensmittel, bei denen ein intensiver Hautkontakt stattfinden kann (z.B. bei Backmischungen).

¹⁷³ Ökotoxikologische Risiken wie auch toxikologische Risiken synthetischer Nanomaterialien in Lebensmittelverpackungen werden nicht behandelt, da sie den Rahmen der Studie sprengen würden.

¹⁷⁴ Eine US-amerikanische Untersuchung hat sich mit der Bewegung von synthetischen Nanomaterialien in Einzellern und Vielzellern beschäftigt; vgl. http://www.nist.gov/public_affairs/techbeat/tbx2008_0530_trophic.htm.

Laut eines Berichts der Generaldirektion Forschung der Europäischen Kommission existieren auf EU-Ebene keine laufenden Projekte in den europäischen Forschungsrahmenprogrammen und nationalen Förderprogrammen, die toxikologische Risiken von synthetischen Nanopartikeln und Nanomaterialien in Lebensmitteln untersuchen (Aguar u. Murcia Nicolás 2008). Aus diesem Grund besteht auch eine Forderung der deutschen Behörden BAuA, BfR und UBA darin, dass untergesetzliche Regelwerke im jeweiligen regulatorischen Kontext (z.B. Lebensmittelzusatzstoffe) durch Forschungs- und Förderaktivitäten unter Berücksichtigung des aktuellen Standes der wissenschaftlichen Erkenntnis weiterentwickelt werden müssen (BAuA, BfR, UBA 2007).

Auf europäischer Ebene besteht jedoch in der wissenschaftlichen Diskussion Einvernehmen darüber, dass eine Bewertung von synthetischen Nanopartikeln und Nanomaterialien von Fall zu Fall erfolgen muss.

- Die **Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA)** erachtet bisher eine allgemein gültige Risikobewertung als schwierig, weil diese von den jeweiligen physikalischen und chemischen Eigenschaften sowie der Toxikokinetik der einzelnen Nanomaterialien abhängt.¹⁷⁵ Nach Aussagen der EFSA ist es vorerst nur möglich, Gefahrenquellen durch einzelne Anwendungen zu identifizieren.¹⁷⁶

Auf eine Anordnung der Europäischen Kommission hin erarbeitet die EFSA derzeit ein Gutachten zur Notwendigkeit spezifischer Ansätze der Risikobewertung für Anwendungen der Nanotechnologie im Bereich der Lebens- und Futtermittel.¹⁷⁷ Anfang 2008 befand sich die EFSA im Stadium der Datenbeschaffung und forderte die relevanten Akteure dazu auf, Daten zu nanotechnischen Anwendungen und zu Nanomaterialien in Lebens- und Futtermitteln¹⁷⁸ einzureichen.

¹⁷⁵ Vgl. http://www.efsa.europa.eu/EFSA/efsa_locale-1178620753812_1178678412333.htm.

¹⁷⁶ Vgl. Koëter (2007) und http://www.efsa.europa.eu/EFSA/DocumentSet/2007-10-08_EFSA_to_COM_Nanotechnology_Revised_ToR,0.pdf.

¹⁷⁷ Der englische Titel lautet: «Scientific opinion on the need for specific risk assessment approaches for technology/processes and applications of nanoscience and nanotechnologies in the food and feed area»; vgl. http://www.efsa.europa.eu/EFSA/DocumentSet/2007-11-27_sc_nanotech_revisedmandate_en.pdf.

¹⁷⁸ Insbesondere zu Anwendungen und Produkten, Methoden und Nachweisverfahren, Einsatz und Exposition, Risikobewertung, toxikologische Daten und Umweltstudien.

- Der wissenschaftliche Ausschuss «Neu auftretende und neu identifizierte Gesundheitsrisiken» der Europäischen Kommission (**Scientific Committee On Emerging and Newly Identified Health Risks, SCENIHR**) beschäftigt sich zwar vor allem mit Fragen ausserhalb des Lebensmittelsektors, das Gutachten des Ausschusses vom Juni 2007 schlägt allerdings sehr konkrete Rahmenbedingung für eine Risikobewertung von Nanopartikeln in Lebensmitteln vor: Ausgangspunkt muss danach eine physikalisch-chemische Charakterisierung des Nanomaterials sein. Daran schliessen sich folgende vier Stufen der Risikobewertung an:
 - Stufe 1: Bewertung, ob Mensch und Umwelt bei Produktion, Gebrauch oder Entsorgung dem betreffenden synthetischen Nanomaterial ausgesetzt sind (Bewertung des Bedarfes von Expositionsabschätzungen)
 - Stufe 2: Charakterisierung der Art, Höhe und Dauer der Exposition
 - Stufe 3: Identifizierung von gefährlichen Eigenschaften aller Formen des Nanomaterials durch sorgfältig ausgewählte *in vitro*-Untersuchungen
 - Stufe 4: Gefahrenereinschätzung und RisikobewertungSCENIHR (2007) vertritt demnach einen Ansatz, der sich zunächst an der Wahrscheinlichkeit sowie Höhe, Dauer etc. der Exposition orientiert, bevor toxikologische Aspekte mit einbezogen werden.
- Die britische Behörde **Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA 2006)** schlägt als Ausgangspunkt für eine Bewertung von Nanopartikeln in Lebensmitteln ebenfalls primär eine Expositionsabschätzung vor; Grundlage hierfür bilden Informationen, in welchen Mengen ein bestimmtes Lebensmittel verzehrt wird, zusammen mit Mengenangaben des Nanomaterials in dem jeweiligen Lebensmittel. Erst im Fall einer möglichen Exposition werden toxikologische Aspekte der Nanopartikel bei einer Risikobewertung berücksichtigt.

Eine Expositionsabschätzung kann für Lebensmittelzusatzstoffe jedoch nicht der Ausgangspunkt für eine Risikobewertung sein, da der Verzehr und damit die Exposition gezielt vorgesehen sind. Folglich stehen bei Lebensmitteln toxikologische Untersuchungen an erster Stelle. Bei Lebensmittelverpackungen hingegen ist eine vorherige Expositionsabschätzung relevant, da ein Übergang von synthetischen Nanomaterialien in das Lebensmittel in der Regel nicht intendiert ist.

Die beschriebenen Ansätze zur Risikobewertung (DEFRA 2006; SCENIHR 2007) gehen alle von einer **physikalisch-chemischen Grundcharakterisierung** der Nanopartikel aus, bevor eine **toxikologische bzw. toxikokinetische Bewertung** erfolgt. Um Nanopartikel diesbezüglich genauer beschreiben zu können, müssen v.a. folgende Einflussgrößen bekannt sein:

- Partikelgröße und Partikelgrößenverteilung,
- Partikelform,
- Oberflächenbeschaffenheit (z.B. Unebenheiten, Fehlstellen),
- chemische Charakterisierung (Unterscheidung in anorganische oder organische Partikel, mögliche chemische Reaktionen etc.),
- Oberflächenchemie (z.B. elektrische Ladung) und alle Modifikationen der Oberfläche,
- Löslichkeit der synthetischen Nanopartikel/Nanomaterialien in Wasser sowie
- Metabolisierbarkeit, bzw. die Möglichkeit, dass die Nanopartikel durch das Lebensmittel oder durch Sekrete aus dem Magen-Darm-Trakt verändert und ausgeschieden werden können.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass anorganische Nanopartikel aufgrund der Anziehungskräfte zwischen den Teilchen (Van-der-Waals-Kräfte) agglomerieren können, wenn diese nicht in Flüssigkeit suspendiert sind. Um derartige Agglomerate beurteilen zu können, müssen Informationen vorliegen,

- wie gross die Primärpartikel,
- wie gross die Agglomerate und
- wie hoch die Bindungskräfte bei den Agglomeraten sind (Krug 2008).

Im Einzelfall lässt sich aus diesen Eigenschaften ableiten, ob die synthetischen Nanopartikel oder Nanomaterialien in Lebensmitteln **unverdaut wieder ausgeschieden** werden, wie dies offenbar bei Cyclodextrinen der Fall ist.¹⁷⁹ Diese Möglichkeit erscheint weitgehend unbedenklich für die menschliche Gesundheit.

¹⁷⁹ Vgl. http://www.zusatzstoffe-online.de/zusatzstoffe/174.e459_beta_cyclodextrin.html: «Beta-Cyclodextrin gilt als unbedenklich. Wie ein wasserlöslicher Ballaststoff wird es vom Organismus nicht verwertet.»

Hier stellt sich dann lediglich die Frage, ob bei einer bestimmten Oberflächenbeschaffenheit oder -reaktivität (kurzfristige) Nebenwirkungen an der Darmwand wie **Reizungen oder Allergien** auftreten könnten.

Ist es aber wahrscheinlich, dass die synthetischen Nanopartikel oder Nanomaterialien **über den Magen-Darm-Trakt aufgenommen** werden, müssen auch dynamische Eigenschaften der Nanopartikel bei einer Risikobewertung berücksichtigt werden. Folgende Eigenschaften sind dann zu analysieren, um die Toxikokinetik einer Substanz abschätzen zu können:

- **Aufnahmeroute im Magen-Darm-Trakt (Absorption):** Die Aufnahme von synthetischen Nanopartikel oder Nanomaterialien aus dem Magen-Darm-Trakt kann über die Darmepithelzellen, die für Verdauungsprodukte durchlässig sind, oder über spezifische lymphatische Zellen im Darmepithel sowie über den Magen erfolgen. Eine Aufnahme von Nanopartikeln bedeutet nicht unbedingt, dass diese systemisch verfügbar sind; das heisst, sie gelangen nicht direkt ins systemische Blut, sondern zunächst über den Pfortaderkreislauf in die Leber. Pharmakologische Untersuchungen ergaben, dass enkapsulierte Wirkstoffe ohne spezielles Coating (sog. «Stealth-Partikel») in der Leber abgefangen werden. Können die Partikel dort nicht abgebaut werden, bilden sich Granuloma, die mögliche Langzeitschäden zur Folge haben könnten. Die biologische Abbaubarkeit der Nanopartikel ist somit eine wichtige Determinante für ihre toxikologische Beurteilung (Wengert 2008);
- **Migrationsverhalten der Nanopartikel im Körper (Distribution) und möglicherweise Akkumulation der Partikel in bestimmten Zellen und Geweben:** Eine Aufnahme durch das Darmepithel in den Blutkreislauf wurde für TiO_2 in der Grössenordnung von 150–500 nm gezeigt; die TiO_2 -Partikel akkumulierten sich in der Leber und der Milz. Ultrafeine Metallpartikel hingegen wurden nicht in signifikanter Masse aus dem Magen-Darm-Trakt aufgenommen. Lipophile Nanopartikel können in Fettgewebe akkumulieren. Möglicherweise gibt es besonders sensible Zelltypen; daher wird u.a. von SCE-NIHR (2007) empfohlen, mittels *in vitro*-Untersuchungen abzuklären, ob bestimmte Körperzellen von einer Aufnahme und Speicherung von Nanopartikeln betroffen sein könnten;
- **Löslichkeitsverhalten** unter gastrointestinalen Randbedingungen;
- **Umwandlung der synthetischen Nanopartikel oder Nanomaterialien (Metabolismus):** Insbesondere bei persistenten Nanopartikeln ist bislang unklar, wie diese sich im Körper verhalten. Wenn Nanopartikel über Phagozytose, einen besonderen Aufnahmeprozess von grösseren Partikeln in bestimmte Zellen, eingeschleust werden und infolgedessen reaktivem Sauer-

stoff ausgesetzt sind, können umgewandelte Nanopartikel entstehen. Es liegen bislang jedoch keine Untersuchungen vor, wie sich Grössenunterschiede auf Stoffwechselwege und Abbaubarkeit von Nanopartikeln auswirken (SCENIHR 2007);

- Wege der **Ausscheidung (Exkretion)**.

Die bisherigen Ausführungen haben gezeigt, dass die orale Aufnahme von synthetischen Nanomaterialien äusserst komplexen Prozessen und zahlreichen Wechselwirkungen mit biologischen Systemen unterliegt und folglich pauschale Aussagen zur Charakterisierung des humantoxikologischen Risikos kaum möglich sind. Hinzu kommt, dass für einige Nanomaterialien inzwischen zwar Studien zur inhalativen Toxizität vorliegen, entsprechende Untersuchungen zur oralen Toxizität aber bislang fehlen.

Wenn jedoch eine **orientierende Ersteinschätzung** des toxikologischen Risikos von einzelnen Nanomaterialien vorgenommen werden soll, können nach bisherigem Kenntnisstand in erster Linie folgende beiden **Überprüfungskriterien** herangezogen werden. So wird ein vergleichsweise geringes toxikologisches Risiko bei Nanomaterialien vermutet,

- die **unverdaut ausgeschieden** werden, sofern Nebenwirkungen wie Reizungen oder allergische Reaktionen ausgeschlossen werden können, bzw.
- die im Körper **metabolisiert (abgebaut)** werden können, sofern eine Umwandlung in nicht-toxische Abbauprodukte erfolgt.

Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass eine abschliessende toxikologische Bewertung mit den genannten Kriterien allein schon aufgrund ihrer qualitativen Natur nicht möglich ist und die Ergebnisse der Ersteinschätzung von Fall zu Fall durch entsprechende Prüfungen in Hinblick auf Immuntoxizität, Verteilung, Metabolismus, Ausscheidung und Toxizität der Metabolite verifiziert werden muss. Im Vergleich dazu können un- oder schwerlösliche Nanomaterialien ein deutlich höheres chronisch-toxikologisches aufweisen, weil sie nur langsam bzw. unvollständig metabolisiert werden, sich im Körper anreichern und so zu einer Langzeitbelastung des Organismus führen können.

10.2. Bewertung der synthetischen Nanomaterialien in Lebensmitteln

In der nachfolgenden Tabelle werden synthetische Nanomaterialien aufgeführt, die im Rahmen der Marktanalyse (vgl. Kapitel 5) zweifelsfrei identifiziert werden konnten. Dabei sind diejenigen Nanomaterialien grau hinterlegt, die auf dem Schweizer Markt verfügbar sind. Weiterhin wird die Funktion bzw. der Verwendungszweck der einzelnen Nanomaterialien angegeben.

Da bei allen Lebensmitteln mit synthetischen Nanokomponenten eine Exposition der Konsument/innen mit den verwendeten Nanomaterialien stattfindet, fokussiert sich die toxikologische Charakterisierung auf das humantoxikologische Gefährdungspotenzial. Der gegenwärtige Kenntnisstand für die orale Aufnahme wird ebenfalls mit aufgeführt.

Im Anschluss daran werden in Tabelle 6 solche Nanomaterialien aufgeführt, die auf internationaler Ebene ebenfalls bereits bei Lebensmitteln verwendet werden, jedoch in der Schweiz bzw. in Europa für eine solche Anwendung nicht zugelassen sind. Bei den zugehörigen Produkten handelt es sich folglich um umstrittene Anwendungen, die nicht empfehlenswert sind.

Aus dieser Tabelle wird ersichtlich, dass die gegenwärtig für den Schweizer Lebensmittelmarkt als relevant identifizierten synthetischen Nanomaterialien über ein vergleichsweise geringes Gefährdungspotenzial verfügen. Es handelt sich um Substanzen, die entweder wasserlöslich sind und ausgeschieden oder metabolisiert werden können, ohne dass toxische Abbauprodukte entstehen.

Tabelle 5: Synthetische Nanomaterialien, die bei Lebensmitteln verwendet werden (grau hinterlegt: auf dem Schweizer Markt erhältlich)

Nanomaterial	Spezifizierung (laut Hersteller/Entwickler)	Funktion/ Verwendungszweck	Exposition	Humantoxikologisches Gefährdungspotenzial (Aufnahmepfad Ingestion)
amorphes Siliziumdioxid (E 551)	Primärpartikel 5–50 nm, im Produkt Agglomerate >100 nm	Trennmittel, Fließhilfe und Rieselhilfsmittel in pulveri- gen Lebensmitteln	ja (intendiert)	gering, da wasserlöslich (Zulassung als Lebensmittel- zusatzstoff in der Schweiz und der EU)
Carotinoide	kolloidale Partikel mit 200 nm Durchmesser		ja (intendiert)	gering, da abbaubar und Metabolite nicht toxisch (Zulassung als Lebensmittel- zusatzstoff in der Schweiz und der EU)
Polysorbat- Micellen (E 432, E 433)	Polysorbat 20 bzw. Polysorbat 80 mit einem Durchmesser von 30 nm	Enkapsulierung von Vitami- nen, Farb- und Konservie- rungsstoffen, Omega-3- Fettsäuren, Coenzym Q10, Isoflavonen, Flavonoiden, Carotinoiden, Pflanzenex- trakten etc.	ja (intendiert)	gering, da abbaubar und Metabolite nicht toxisch (Zulassung als Lebensmittel- zusatzstoff in der Schweiz und der EU)
Beta- Cyclodextrin (E 459)	k. A.	Enkapsulierung von Aromen und Omega-3-Fettsäuren	ja (intendiert)	gering, da unverdaute Aus- scheidung (Zulassung als Lebensmittel- zusatzstoff in der Schweiz und der EU)

Nanomaterial	Spezifizierung (laut Hersteller/Entwickler)	Funktion/ Verwendungszweck	Exposition	Humantoxikologisches Gefährdungspotenzial (Aufnahmepfad Ingestion)
Liposome (E 322)	k. A.	???	ja (intendiert)	gering, da abbaubar und Metabolite nicht toxisch (Zulassung als Lebensmittel- zusatzstoff in der Schweiz und der EU)
Micellen aus Polyglycerin- fettsäureester	k. A.	Encapsulierung von Eisen	ja (intendiert)	vermutlich gering, da abbau- bar und Metabolite nicht toxisch (GRAS-Status)
Silizium (in Salzform)	k. A.	Nahrungsergänzungsmittel	ja (intendiert)	hängt von der Löslichkeit ab
Kieselgur	k. A.	Nahrungsergänzungsmittel	ja (intendiert)	hängt von der Löslichkeit ab
Calcium (in Salzform)	k. A.	Nahrungsergänzungsmittel	ja (intendiert)	? (hängt von der Löslichkeit ab; gehört zu den essenziel- len Mineralien)
Magnesium (in Salzform)	k. A.	Nahrungsergänzungsmittel	ja (intendiert)	? (hängt von der Löslichkeit ab; gehört zu den essenziel- len Mineralien)
Eisen	k. A.	Nahrungsergänzungsmittel	ja (intendiert)	hängt von der Löslichkeit ab; gehört zu den essenziellen Mineralien
Zink	k. A.	Nahrungsergänzungsmittel	ja (intendiert)	? (Spurenelement)

Tabelle 6: Synthetische Nanomaterialien, die international bei Lebensmitteln verwendet werden, in der Schweiz bzw. Europa hierfür jedoch nicht zugelassen sind

Nano-material	Spezifizierung (laut Hersteller/Entwickler)	Funktion/Verwendungszweck	Exposition	Humantoxikologisches Gefährdungspotenzial (Aufnahmepfad Ingestion)
<i>Titan</i>	k. A.	Nahrungsergänzungsmittel ¹⁸⁰	ja (intendiert)	?
<i>Kupfer</i>	k. A.	Nahrungsergänzungsmittel ¹⁸⁰	ja (intendiert)	? (klassische Toxikologie (bei höheren Dosen): Irritation des Gastrointestinaltrakts, Leberzirrhose, Immunsystemschädigung)
<i>Silber</i>	Kolloide mit Partikelgrösse von 26 nm	Nahrungsergänzungsmittel ¹⁸⁰	ja (intendiert)	hoch, da biozide Wirkung
<i>Gold</i>	Kolloide mit Partikelgrösse von 10 nm	Nahrungsergänzungsmittel ¹⁸⁰	ja (intendiert)	hoch, da katalytische Wirkung (Stomatitis, Dermatitis, Nierenschäden, hämorrhagische Diathese, Bronchitis; allergische Reaktionen)
<i>Platin</i>	k. A.	Nahrungsergänzungsmittel ¹⁸⁰	ja (intendiert)	? (klassische Toxikologie: Beschwerden im Gastrointestinaltrakt, Ekzeme, Dermatiden, nierentoxisch, ototoxisch, Allergien der Atemwege, mutagene Wirkung)
<i>Palladium</i>	k. A.	Nahrungsergänzungsmittel ¹⁸⁰	ja (intendiert)	? (klassische Toxikologie: Allergie)
<i>Iridium</i>	k. A.	Nahrungsergänzungsmittel	ja (intendiert)	?

¹⁸⁰ Dabei handelt es sich um ein umstrittenes Angebot, das nicht empfehlenswert ist.

Für die Lebensmittelzusatzstoffe amorphes SiO_2 (E 551), Carotinoide (E 160), Polysorbat-Micellen (E 432 und E 433), Liposome (E 322) und Beta-Cyclodextrin (E 459) gilt, dass sie in der diskutierten Form eine toxikologische Bewertung nach europäischen Vorgaben durchlaufen haben. Diese beinhalten nach den Leitlinien des wissenschaftlichen Lebensmittelausschusses (SCF 2001) Angaben in Hinblick auf Metabolismus und Toxikokinetik sowie Untersuchungen und Fütterungsversuche, um die (sub-)chronische Toxizität, Genotoxizität, Karzinogenität und Reproduktions- und Entwicklungstoxizität zu bewerten. Zudem musste hierbei abgeklärt werden, ob die Stoffe immunotoxisch sind und Allergien oder Intoleranzen hervorrufen können. Diskussionen aus anderen Bereichen thematisieren allerdings die wissenschaftliche Begrenztheit derartiger Untersuchungen, da etwa bei der Zulassung von Pestiziden Wechsel- oder Summenwirkungen verschiedener Pestizide nicht erfasst werden. Das bedeutet, dass solche Leitlinien Gegenstand kontinuierlicher Nachbesserungen sein müssen, um neue Erkenntnisse in bestehende Bewertungssysteme aufzunehmen.

Anders verhält es sich mit den Substanzen, die ausserhalb der Schweiz bei Nahrungsergänzungsmitteln zum Einsatz kommen. Hierbei handelt es sich wie bei nanoskaligem Silber, Gold und Platin z.T. um Substanzen mit einem erhöhten humantoxikologischen Gefährdungspotenzial. Ausserdem kommen mit Kupfer auch Substanzen zum Einsatz, bei denen zumindest ein klassisches toxikologisches Gefährdungspotenzial (ggf. erst bei erhöhter Dosierung) vorhanden ist. Daneben finden sich in der Liste auch Substanzen wie Iridium und Titan, zu denen nicht einmal Daten zur klassischen Toxikologie existieren.

Wie bereits in Kapitel 7 gezeigt, verspüren Konsument/innen – übergreifend über alle Ernährungsstile – das zentrale Bedürfnis nach Vereinfachung und einer Reduktion der Komplexität von Ernährung. Nanotechnologie in Lebensmitteln wird daher vor allem dann von den Konsument/innen akzeptiert, wenn sie mit einem deutlichen Nutzen verbunden ist (z.B. hinsichtlich einer Entlastung im Alltag oder hinsichtlich der Gesundheit). Vor diesem Hintergrund zeigt sich, dass die bereits auf dem Schweizer Markt erhältlichen Produkte mit nanoskaligen Inhaltsstoffen (vgl. Tabelle 5) kaum einen Beitrag zur Befriedigung von Konsument/innenbedürfnissen leisten können. Allenfalls neuartige Verpackungen (vgl. Kap. 10.3) oder die bessere Verfügbarkeit bestimmter Mineralstoffe weisen diesbezüglich einen Nutzen auf. Grundsätzlich gilt hier jedoch, dass eine ausgewogene und abwechslungsreiche Ernährung den gesunden Körper mit allen lebensnotwendigen Stoffen versorgt. In den meisten Fällen sind deshalb

Nahrungsergänzungsmittel nicht erforderlich. Die einzige notwendige Anreicherung – in unseren Breitengraden – besteht in der Jod-Zugabe im Speisesalz. So die gemeinsame Position der Deutschen Gesellschaft für Ernährung e.V. (DGE), der Österreichischen Gesellschaft für Ernährung (ÖGE), der Schweizerischen Gesellschaft für Ernährungsforschung (SGE) sowie der Schweizerischen Vereinigung für Ernährung (SVE) in den gemeinsam erarbeiteten Referenzwerten für die Nährstoffzufuhr (DGE, ÖGE, SGE, SVE 2000). Nährstoffmangel kann jedoch durch Mangelernährung auftreten oder bei Personen, die Intoleranzen aufweisen, sich mit langfristigen und unausgeglichenen Diäten ernähren oder einen hohen Alkohol- und Tabakkonsum aufweisen. Darüber hinaus kann Nährstoffmangel auch bei sensiblen Bevölkerungsgruppen wie Kindern, Schwangeren und stillenden Frauen sowie Senior/innen relevant werden. In solchen Fällen kann die Gabe von ausgewählten angereicherten Lebensmitteln angezeigt sein. Hohe Nährstoffdosen, z.B. von Vitaminen oder Eisen, sollten nur nach ärztlichem Rat und unter ärztlicher Aufsicht eingenommen werden (DGE, ÖGE, SGE, SVE 2000).

Bei den Substanzen, die ausserhalb der Schweiz als Nahrungsergänzungsmittel zum Einsatz kommen (vgl. Tabelle 6), werden die oben genannten Bedürfnisse nur bedingt befriedigt. Sie stehen ihnen teilweise sogar entgegen (z.B. Silber), da sie ein erhöhtes humantoxikologisches Gefährdungspotenzial aufweisen und ihr Nutzen für die menschliche Ernährung bisher nicht eindeutig nachgewiesen werden konnte.

10.3. Bewertung der synthetischen Nanomaterialien in Lebensmittelverpackungen

Die bei Lebensmittelverpackungen identifizierten bzw. während des Herstellungsprozesses verwendeten synthetischen Nanomaterialien werden in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Auch hier sind diejenigen Nanomaterialien, die bereits auf dem Schweizer Markt existieren, gesondert hervorgehoben. Darüber hinaus werden die jeweiligen Funktionen und Verwendungszwecke genannt. In Hinblick auf die mögliche Exposition der Konsument/innen mit synthetischen Nanomaterialien fällt auf, dass dies bei den auf dem Schweizer Markt verfügbaren Sperrschichten z.T. nicht ausgeschlossen werden kann. Ursache hierfür ist, dass die Nanomaterialien (hier: Siliziumdioxid und amorpher

Kohlenstoff) in einigen Fällen direkten Lebensmittelkontakt haben. Im Falle von Siliziumdioxid handelt es sich zwar um eine Substanz, die als Lebensmittelzusatzstoff zugelassen ist und als unbedenklich gilt, jedoch weist das bei Lebensmittelverpackungen verwendete Siliziumdioxid im Falle eines Übergangs in das Lebensmittel höchstwahrscheinlich andere Dimensionen auf (Gebilde mit 40 nm Dicke und einigen μm bei den anderen beiden Dimensionen). Insofern kann die toxikologische Unbedenklichkeit von Siliziumdioxid als Lebensmittelzusatzstoff nicht ohne Weiteres auf Siliziumdioxid-Abplatzungen aus nanoskaligen Barrierschichten von Lebensmittelverpackungen übertragen werden. Auf der anderen Seite ist Siliziumdioxid gemäss LGV (Art. 33 in Verbindung mit Anhang 1 Liste 2) ein bei Lebensmittelverpackungen zulässiges Additiv.

Bei den Lebensmittelverpackungen mit synthetischen Nanokomponenten, die auf dem Weltmarkt bereits erhältlich sind, fallen Substanzen wie nanoskaliges Silber und Zinkoxid auf, die zur Gewährleistung der antimikrobiellen Wirkung gezielt ins verpackte Produkt migrieren sollen. Gleichzeitig verfügen die genannten Substanzen über ein erhöhtes bzw. nicht abschliessend geklärtes toxikologisches Gefährdungspotenzial.

Nanotechnologie in Lebensmittelverpackungen wird von den Konsument/innen genauso wie in Lebensmitteln (vgl. Kapitel 7 und Kapitel 10.2) nur dann akzeptiert, wenn sie mit einem deutlichen Nutzen verbunden ist. Dies ist bei den auf dem Schweizer Markt verfügbaren Nanokomponenten enthaltenen Sperrschichten in Verbundfolien oder PET-Flaschen der Fall. Sie verhindern z.B. den Austritt von Aromen oder – bei Getränken – den Austritt von Kohlendioxid. Bei der Verwendung von Siliziumdioxid und amorphem Kohlenstoff bedarf es jedoch noch weiterer Untersuchungen, um eine Gefährdung der Konsument/innen vollständig ausschliessen zu können.

Nanokomponenten in Lebensmittelverpackungen, die auf dem Weltmarkt erhältlich sind, weisen zwar ebenfalls einen deutlichen Nutzen für die Konsument/innen auf (z.B. durch ihre antimikrobielle Wirkung), haben jedoch möglicherweise ein höheres toxikologisches Gefährdungspotenzial.

Tabelle 7: Synthetische Nanomaterialien, die bei Lebensmittelverpackungen und während des Herstellungsprozesses verwendet werden (grau hinterlegt: auf dem Schweizer Markt erhältlich)

Nanomaterial	Spezifizierung (laut Hersteller/ Entwickler)	Funktion/ Verwendungszweck	Exposition	Humantoxikologisches Gefährdungspotenzial (Aufnahmepfad Ingestion)
Aluminium	Schicht mit einer Dicke von 50 nm	Sperrschicht in Ver- bundfolien	nein, da mit Siegelfolie kaschiert	? (klassische Toxikologie: Anämie, Osteopathie, En- zephalopathie, Verdacht auf Alzheimer)
Aluminiumoxid	Schicht mit einer Dicke von 50 nm	Sperrschicht in Ver- bundfolien	nein, da mit Siegelfolie kaschiert	siehe Aluminium
Siliziumdioxid	Schicht mit einer Dicke von 50 nm	Sperrschicht in Ver- bundfolien	nein, da mit Siegelfolie kaschiert	?
	Schichten mit einer Dicke von 40–60 nm	Sperrschicht in PET- Flaschen	möglich, da z. T. direkter Lebensmittelkontakt	?
Amorpher Kohlenstoff	Schichten mit einer Dicke von 20–200 nm	Sperrschicht in PET- Flaschen	möglich, da z. T. direkter Lebensmittelkontakt	?
Schichtsilikate	Oberflächenmodi- fizierte Montmoril- lonite mit einer Dicke von 1 nm	Sperrschicht in PET- Flaschen	nein, da Multilayer- aufbau	?
Silber	k. A.	antimikrobielles Agens in Verpackun- gen, Kühlstränken, Küchengeräten	ja, da gezielte Migration ins Produkt	hoch, da biozide Wirkung

Nanomaterial	Spezifizierung (laut Hersteller/ Entwickler)	Funktion/ Verwendungszweck	Exposition	Humantoxikologisches Gefährdungspotenzial (Aufnahmepfad Inges- tion)
Zinkoxid	k. A.	antimikrobielles Agens und UV- Schutz in Verpa- ckungen	bei antimikrobiellen Ver- packungen ja, da geziel- te Migration ins Produkt	? (klassische Toxikologie: hepatotoxisch)
Magnesiumoxid	k. A.	UV-Schutz in Ver- packungen	?	?
Titandioxid	Partikelgrösse 15 nm	UV-Schutz in Ver- packungen	?	?
Kolloidale Kieselsäure	k. A.	Flockungs- und Schönungsmittel in der Wein- und Fruchtsaftherstellung	?	?
Calciumsilikat	k. A.	Futtermittelzusatz- stoff	?	? (nur Inhalationsstudien vorhanden)
Natriumalu- miniumsilikat	k. A.	Futtermittelzusatz- stoff	?	?

10.4. Zusammenfassende transdisziplinäre Bewertung

Jenseits der Fragestellungen zum gesundheitlichen Risiko wurde im Rahmen der vorliegenden Studie der Einsatz von Nanotechnologien bei Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen auch unter wirtschaftlicher, ökologischer, juristischer, gesellschaftlicher und ethischer Perspektive untersucht. Des Weiteren wurden Aspekte der Technikgenese und Parallelitäten zur Gentechnik-Debatte betrachtet. Im Folgenden werden die Resultate dieser Untersuchungen in akzentuierter Form zusammengefasst, wobei auf die eingangs formulierten Forschungsfragestellungen direkt Bezug genommen wird (vgl. Kapitel 2).

Bislang befinden sich nur **einige wenige nanoskalige Lebensmittelzusatzstoffe, Zusatzstoffe mit Nanokomponenten sowie Lebensmittel, die diese enthalten**, auf dem Schweizer Markt. In erster Linie handelt es sich dabei um Siliziumdioxid (Trennmittel, Fliess- und Rieselhilfe), Carotinoide (Farbstoffe) sowie Micellen («Nanokapseln», u.a. für Vitamine und Coenzym Q10), die bereits seit vielen Jahren hergestellt und verwendet werden. Neuartige Nanomaterialien konnten derzeit auf dem Schweizer Markt nicht identifiziert werden. Deutlich mehr Produkte mit nanotechnologischen Zusätzen sind bei den Lebensmittelverpackungen bereits kommerziell verfügbar: Auf dem Schweizer Markt existieren Verbundfolien zur Verbesserung der Sperreigenschaften gegenüber Sauerstoff, Wasserdampf und Aromen sowie PET-Flaschen mit optimierter Sauerstoff- und Kohlendioxid-Barriere. Darüber hinaus sind auf den internationalen Märkten zusätzlich bereits Nahrungsergänzungsmittel mit nanoskaligen Edelmetallen (Silber, Gold etc.) und Lebensmittelverpackungen mit antimikrobiellen Agentien (v.a. Nanosilber), UV-Schutz sowie integrierten Sensorsystemen (Reifesensoren) verfügbar.

Bei den **Herstellern** der nanotechnologischen Zusatzstoffe handelt es sich v.a. um Grossunternehmen der chemischen Industrie (z.B. für amorphes Siliziumdioxid die Firmen Evonik, Cabot Corporation und Wacker; für Carotinoide die Firmen BASF, DSM und LycoRed). Allerdings existieren hier auch bereits eine Reihe von kleinen («Start-up»-)Unternehmen wie Aquanova, NutraLease oder Allied Biotech Corporation. Bei den Lebensmittelverpackungen werden die nanotechnologischen Zusätze ebenfalls in erster Linie von etablierten Grossunternehmen wie SIG, Sidel und Honeywell zu den oben aufgeführten Endprodukten weiterverarbeitet. Im Gegensatz dazu werden die genannten Nahrungsergän-

zungsmittel in erster Linie von kleinen und hoch spezialisierten Unternehmen (z.B. Purest Colloids Inc., USA) hergestellt.

Die nanotechnologischen Zusätze in Lebensmitteln bewirken derzeit v.a. optische **Funktionalitäten** (z.B. optische Aufbesserung durch Carotinoide, Überführung farbiger Zusatzstoffe in farblose Flüssigkeiten durch Micellen) sowie eine Verbesserung der Bioverfügbarkeit (z.B. von fettlöslichen Vitaminen sowie Edelmetallen).

Daneben ist auch ein verbessertes Handling durch den Endkonsumenten zu nennen (z.B. Rieselfähigkeit). Lebensmittelverpackungen mit Lebensmittelkomponenten bewirken aufgrund der verbesserten Barriereigenschaften bzw. der zugesetzten aktiven Komponenten eine verlängerte Haltbarkeit des Inhalts sowie eine Anzeige der Produkteigenschaft (z.B. Reifesensor). Die Optimierung der Barriereigenschaften bei den Verpackungsmaterialien führt z.T. dazu, dass sich deren Einsatzspektrum erweitert (z.B. Erschließung des Biermarktes für PET-Flaschen).

Aufgrund der äusserst zurückhaltenden und z.T. widersprüchlichen Kommunikation der Lebensmittelhersteller sind derzeit **Prognosen hinsichtlich der kurz- bis mittelfristig verfügbaren Produkte** im Lebensmittelsektor kaum möglich. Im Rahmen der Stakeholderbefragung äusserte z.B. ein grosser Hersteller, dass v.a. aufgrund von Wissenslücken im toxikologischen Bereich, verfahrenstechnischen Herausforderungen und der Inkompatibilität nanotechnologischer Produkte mit dem erwünschten Markenimage («Naturbelassenheit der Produkte») derzeit weder konkrete Nano-Neuentwicklungen noch Visionen für die Zukunft existieren.

Ausserdem ergaben die im Rahmen der Studie durchgeführten Untersuchungen und Diskussionen im Begleitkreis, dass die in populärwissenschaftlichen Veröffentlichungen häufig genannten Innovationen wie interaktive Lebensmittel (z.B. Schüttelshakes) sowie «Nutraceuticals» mit einer individuellen Nährstoffversorgung des Konsumenten/der Konsumentin aufgrund ihrer fehlenden technischen Machbarkeit eher als Fiktion denn als Vision für zukünftige Produkte einzustufen sind.

Auf der anderen Seite könnte eine Anreicherung (*Fortification*) von Grundnahrungsmitteln wie Reis mit nanoskaligen Supplementen (z.B. Eisen und Zink) in Regionen mit entsprechender Mangelversorgung für zahlreiche Menschen in Entwicklungs- und Schwellenländern einen gesundheitlichen Nutzen generieren. Der durch die Verwendung von Nanomaterialien erzielbare Vorteil einer verbesserten Bioverfügbarkeit der Mikronährstoffe kann aber nur dann einen Beitrag zu einer nachhaltigen Ernährung liefern, wenn die human- und ökotoxikologische Unbedenklichkeit der verwendeten Nanomaterialien zweifelsfrei

sichergestellt ist und die Nahrungsmittel für die entsprechenden Bevölkerungsgruppen auch erschwinglich sind. Des Weiteren muss – unter Nachhaltigkeitsperspektive – darauf geachtet werden, dass keine Abhängigkeiten erzeugt werden, die bestehende Versorgungsstrukturen auflösen, wie dies bei der Verwendung von gentechnisch verändertem Saatgut durchaus der Fall sein kann. Für eine solche Anwendung werden dann aufgrund der Grösse der beabsichtigten Zielmärkte (z.B. Indien) für die Zukunft auch entsprechend grosse **wirtschaftliche Potenziale** vermutet, die von der Schweiz aus bedient werden können. In der Schweiz selbst hingegen haben Nahrungsergänzungsmittel und Functional Food trotz der international stark wachsenden Marktpotenziale eine vergleichsweise geringe Bedeutung und vermutlich auch ein geringeres Entwicklungspotenzial. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt beschränkt sich in der Schweiz folglich auch die wirtschaftliche Bedeutung von synthetischen Nanomaterialien im Lebensmittelsektor auf einige Lebensmittelzusatzstoffe (z.B. Siliziumdioxid, Carotinoide, Micellen). Bei den Lebensmittelverpackungen hingegen haben nanotechnologische Verbesserungen, insbesondere im Bereich des «Active Packaging», bereits jetzt eine relativ hohe wirtschaftliche Bedeutung und bieten auch für die Zukunft weiterhin hohe wirtschaftliche Potenziale. Der Verpackungsmarkt bei Lebensmitteln weist weltweit insgesamt einen Umsatz von mehreren Hundert Milliarden Dollar auf und die Anforderungen an die Lebensmittelverpackungen steigen. Schätzungen des gegenwärtigen Anteils von Nano-Produkten in diesem Segment belaufen sich auf mehrere Hundert Millionen Dollar, wobei bis zum Ende der nächsten Dekade ein Potenzial im zweistelligen Milliardenbereich erwartet wird. Eine Differenzierung nach Schweizer Markt und Weltmarkt ist hierbei allerdings nicht möglich.

Ökobilanziell messbare Umweltentlastungspotenziale bestehen in erster Linie ebenfalls bei nanotechnologisch optimierten Kunststoffverpackungen (z.B. PET-Flaschen), mit denen eine Substitution von Aluminium- und Glasverpackungen möglich ist. Darüber hinaus werden positive ökologische Effekte erwartet, wenn es aufgrund von verbesserten Barriereigenschaften bei Lebensmittelverpackungen tatsächlich zu einem geringeren Verderb von Lebensmitteln kommt.

Für die Zulassung und die Vermarktung von nanotechnologischen Produkten kann weder auf das Schweizer Chemikalienrecht noch auf REACH zurückgegriffen werden, da die Verwendung von Stoffen in Lebensmitteln und -verpackungen von deren Anwendungsbereich ausgeschlossen ist. Vielmehr sind die Schweizer Vorschriften für den Lebensmittelsektor zu beachten. Der Anwendungsbereich der **Schweizer Rechtsvorschriften** für die Zulassung von Lebensmitteln, Lebensmittelzutaten, -zusatzstoffen, Verarbeitungshilfsstoffen

und Verpackungsmaterialien erfasst auch Nanomaterialien. Im Hinblick auf das in der Marktzugangskontrolle verwendete Positivprinzip für zugelassene Zusatzstoffe oder in Verpackungsmaterialien zulässige Stoffe ist bislang jedoch ungeklärt, ob der Ersatz von zugelassenen Lebensmittelzusatzstoffen, Verarbeitungshilfsstoffen oder Verpackungsmaterialien im Makroformat durch entsprechende Stoffe im Nanoformat nur als eine einfache Änderung der Lebensmittelformulierung betrachtet werden sollte, oder ob eine erneute Risikobewertung dieser Materialien durchgeführt werden muss.¹⁸¹ Denn auf der Positivliste befindliche Stoffe werden nur mit ihrem Stoffnamen geführt, ohne i.d.R. auf ihre Grösse einzugehen. Unklar ist, ob die gelisteten Stoffe in den zugelassenen Verwendungen auch nanoskalig verwendet werden dürfen ohne eine erneute Zulassung. Werden hingegen neue Stoffe in die Positivliste aufgenommen oder Stoffe für neue Verwendungen zugelassen, tritt dieses Problem dann nicht auf, wenn die Behörde über die Partikelgrösse informiert ist und explizit die Partikelgrösse bzw. Partikelgrössenverteilung des Stoffes in der Positivliste angegeben wird.

Die Rechtsvorschriften, insbesondere die materiellen Anforderungen wie z.B. Grenzwerte für die Zulassung von Lebensmitteln, Lebensmittelzutaten, Verarbeitungshilfsstoffe etc. weisen keine nanospezifischen Regelungstatbestände auf. Da Stoffe in nanoskaliger Form üblicherweise andere chemische und physikalische Eigenschaften aufweisen als entsprechendes Bulk-Material und gleichzeitig bei Nanomaterialien für den Lebensmittelbereich und in Verpackungen Erkenntnislücken zu deren toxikologischen Wirkungen vorliegen, fehlt bei zahlreichen synthetischen Nanomaterialien die humantoxikologische Wissensbasis für die Risikobewertung und die rechtliche Steuerung. Dies gilt insbesondere für unlösliche Nanomaterialien, bei denen die Toxikokinetik für die Bewertung des toxikologischen Risikos relevant ist.

Vor diesem Hintergrund hat der regulatorische Ansatz einer eher schwachen Vormarktkontrolle bei der Überwachung der lebensmittelrechtlichen Vorschriften für die Überwachung von Nanomaterialien im Lebensmittel und Verpackungsbereich insofern bedenkenswerte Nachteile, als die Prüf- und Messmethoden für nanoskalige Substanzen sowie einzuhaltende Grenzwerte noch nicht oder nicht ausreichend entwickelt sind und somit auch eine Nachmarktkontrolle gegenüber «klassischen» Lebensmitteln oder Zusatzstoffen erschwert ist.

¹⁸¹ Vgl. die entsprechende Beurteilung der Rechtslage in Grossbritannien: IFST (2006); Royal Society (2004).

Eine besondere Bezugnahme auf die Anwesenheit von Nanomaterialien in den Kennzeichnungsvorschriften für einzelne Lebensmittel, wie z.B. für funktionelle Lebensmittel und Lebensmittelverpackungen, ist in den Rechtsvorschriften nicht enthalten.

Somit können weder die Konsument/innen noch die Lebensmittelkontrollbehörden eindeutig Lebensmittel oder Verpackungen identifizieren, die nanoskalige Stoffe enthalten. Eine Wahlfreiheit können die Konsument/innen damit nicht wahrnehmen.

Eine **nachhaltige Ernährung für die Konsument/innen** ist umweltverträglich und gesundheitsfördernd, ethisch verantwortlich, alltagsadäquat gestaltet und ermöglicht sozio-kulturelle Vielfalt (Eberle et al. 2006). Der Beitrag der Nanotechnologie im Lebensmittelbereich hierzu hat heute nahezu keine Bedeutung und wird vermutlich auch zukünftig eher nur eine untergeordnete Bedeutung spielen, um mehr Nachhaltigkeit in der Ernährung zu erreichen. Der Beitrag kann – aus heutiger Perspektive – allenfalls darin liegen, bestimmte Vitamine, Mineralien oder Spurenelemente im Stoffwechsel besser verfügbar zu machen. Eine gute Versorgung mit Vitaminen, Mineralien und Spurenelementen kann allerdings durch eine ausgewogene Ernährung ebenfalls erreicht werden, so dass hier klar Alternativen ohne Nanotechnologie existieren. Vor dem Hintergrund einer deutlichen Abnahme der Ernährungskompetenzen (Mrowka 1997; Oltersdorf 1995; Pfau u. Piekarski 2002) und einer gleichzeitigen Zunahme von Über-, Fehl- oder Mangelernährung (vgl. Fünfter Schweizer Ernährungsbericht 2005) sollte daher diskutiert werden, wie zielgruppenspezifische Lösungen aussehen können. Unter Umständen könnte die Nanotechnologie hier einen Beitrag leisten.

Auf alle Fälle trägt Nanotechnologie im Bereich der Lebensmittel – wie Functional Food insgesamt – jedoch dazu bei, ein eher technizistisches Gesundheitsverständnis zu fördern. Ob und wie weit dieser Trend einen gravierenden Einfluss auf die Ernährungskultur(en) haben wird, lässt sich nicht voraussagen. Aus heutiger Perspektive kann festgestellt werden, dass es sowohl Ernährungsstile gibt, die diesem Trend eher aufgeschlossen gegenüberstehen, als auch solche, die diesen Trend eher skeptisch betrachten.

Anders als bei der **Debatte um den Einsatz der grünen Gentechnik** verbinden die Bürger/innen die Nanotechnologien insgesamt derzeit jedoch überwiegend mit positiven Erwartungen. Allerdings werden die verschiedenen Anwendungsbereiche differenziert bewertet. Der Einsatz von Nanotechnologie bei Lebensmitteln wird als ein besonders sensibler Anwendungsbereich empfunden, in dem neben tatsächlichen auch die auf individueller Ebene wahrgenom-

menen Gesundheitsrisiken eine wichtige Rolle spielen. Wie auch bei der Gentechnik-Debatte gründen die Konsument/innen ihre Bewertung derzeit weniger auf wissenschaftlich-technische Gesichtspunkte, sondern in erster Line auf emotionale und ethische Aspekte, wobei auch dem Vertrauen in die Akteure grosse Bedeutung zu kommt. In diesem Zusammenhang bildet die mangelhafte Kommunikation der Hersteller bezüglich der Risiken, aber auch in Hinblick auf die möglichen Nutzenaspekte für die Konsument/innen, eines der grössten Hemmnisse für die Akzeptanz von Lebensmitteln mit Nanokomponenten.

10.5. Zukunftsperspektiven

Im Rahmen einer integrierten Nutzen-Risiko-Analyse kommt die Studie zu dem Ergebnis, dass für den Einsatz von synthetischen Nanomaterialien bei **Lebensmitteln** kurz- bis mittelfristig insgesamt eher **geringe Zukunftsperspektiven** bestehen.

Diese Einschätzung gründet weniger auf allfälligen Vermutungen, dass von den gegenwärtig auf dem Schweizer Markt befindlichen Lebensmitteln mit Nanokomponenten eine unmittelbare Gefahr für die Gesundheit der Konsument/innen ausgehen könnte. Wie in Kapitel 10.2 gezeigt werden konnte, zeichnen sich die wenigen nanoskaligen Substanzen eher durch ein geringes humantoxikologisches Gefährdungspotenzial aus. Zudem wurden diese im Rahmen ihrer Zulassung in der vorliegenden Form auf ihre Sicherheit hin überprüft.

Ursache für die geringen Zukunftsperspektiven ist vielmehr die Tatsache, dass die derzeit bzw. kurz- bis mittelfristig mit synthetischen Nanomaterialien realisierbaren Funktionalitäten für die meisten Konsument/innen in der Schweiz nur wenig neuen oder besonderen Nutzen bieten. So stellen beispielsweise Lebensmittel mit nanotechnologisch verbesserter Bioverfügbarkeit von Vitaminen und Mikronährstoffen lediglich für solche Konsument/innen eine begrüssenswerte Innovation dar, die kein Interesse an Ernährung und Gesundheit zeigen oder solche Produkte bewusst zum Erhalt und zur Steigerung der eigenen Leistung und Fitness einsetzen. Diese sind zwar nicht zu vernachlässigen, jedoch bergen Angebote für eine «technische Verabreichung» essenzieller Ernährungsbestandteile auf der anderen Seite auch das Risiko, dass das Wissen über eine natürliche, ausgewogene und gesunde Ernährung weiter abnimmt. Ausserhalb der Schweiz verspricht eine durch synthetische Nanomaterialien erzielte Beseitigung bzw. Linderung einer chronischen Unterversorgung zahlreicher Menschen mit Mikronährstoffen eine deutlich interessantere Zukunftsperspektive. Entsprechende Konzepte und Forschungsansätze zur Steigerung

der Bioverfügbarkeit von Mikronährstoffen wie Eisen oder Zink existieren bereits und werden innerhalb der nächsten fünf Jahre voraussichtlich zu marktfähigen Produkten führen, für die v.a. in Entwicklungs- und Schwellenländern eine erhebliche Nachfrage bestehen dürfte. Wie bereits erwähnt, können sich daraus nicht zuletzt auch für Schweizer Unternehmungen vielversprechende wirtschaftliche Potenziale ergeben; nachhaltige Potenziale werden daraus jedoch nur, wenn eine umfassende toxikologische Absicherung der entsprechenden Produkte erfolgt ist, die Hersteller um eine transparente Risikokommunikation bemüht sind und keine ökonomischen Abhängigkeiten erzeugt werden.

Besonders schlecht hinsichtlich ihres Nutzen-Risiko-Verhältnisses schneiden Nahrungsergänzungsmittel mit nanoskaligen Schwermetallen wie Silber, Gold, Platin, Palladium und Iridium ab, die bereits auf internationaler Ebene über das Internet vertrieben werden. Hier besteht der nachgewiesene Nutzen lediglich in der Gewinnmaximierung des Herstellers, während die toxikologischen Risiken aufgrund der verwendeten nanoskaligen Substanzen vergleichsweise hoch einzustufen bzw. zumindest fragwürdig sind. Ernährungsphysiologisch notwendig ist eine Aufnahme der genannten Edelmetalle jedenfalls nicht.

Vor diesem Hintergrund gelangt die Studie insgesamt zu der Einschätzung, dass für den Lebensmittelsektor in vielen Fällen alternative Entwicklungspfade zu nanotechnologischen oder nanotechnologisch optimierten Zusätzen bestehen, die sich stärker an dem Leitbild einer nachhaltigen Ernährung ausrichten.

Ein etwas anderes Bild ergibt sich bei **Lebensmittelverpackungen** mit Nanokomponenten. In diesem Anwendungsfeld der Nanotechnologien bieten z.B. leichte Verpackungen mit einer verlängerten Haltbarkeit nicht nur Vorteile für die **Lebensmittelhersteller**, sondern auch für die **Konsument/innen**: Während die Lebensmittelhersteller mit den optimierten Verpackungseigenschaften ihre Logistikprozesse optimieren können, ergeben sich für die Konsument/innen spürbare Entlastungen, die sich durch einfacheren Transport und Handhabung oder einen geringeren Verderb äussern. Hinzu kommt, dass nanotechnologisch optimierte Verpackungen (z.B. PET-Flaschen) mit einem (bezogen auf die jeweilige Funktion) vorteilhaften Umweltprofil durch die Substitution von weniger ökologischen Verpackungen erhebliche Umweltentlastungspotenziale erschliessen können. Je nach verwendetem Nanomaterial besteht jedoch die Gefahr, dass die erzielten Vorteile durch toxikologische Risiken konterkariert werden. Beispielsweise ist ein massenhafter und unspezifischer Einsatz von nanoskaligem Silber in diesem Zusammenhang äusserst kritisch zu bewerten – nicht nur aus humantoxikologischer, sondern auch aus ökologischer Sichtweise.

11. Gesamtfazit und Empfehlungen

Auf Grundlage der Gesamtbewertung entwickelte die interdisziplinär zusammengesetzte Projektgruppe Empfehlungen für einen **nachhaltigen Umgang mit synthetischen Nanomaterialien** bei Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen. Das Kernziel des Einsatzes der Nanotechnologien im Lebensmittelsektor sollte nach Einschätzung der Projektgruppe darin bestehen, die Ernährungsbedürfnisse des Menschen nachhaltig zu befriedigen. Ein solches Ziel setzt jedoch voraus, mögliche Probleme auf dem Weg dorthin vorausschauend zu erkennen und zu vermeiden. Bei der weiteren Entwicklung und Vermarktung von Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen mit Nanokomponenten sollte daher der **Vorsorgegedanke** handlungsleitend sein. Der Vorsorgegedanke umfasst weit mehr, als Menschen ausreichend mit Nährstoffen und Vitaminen zu versorgen oder vor gesundheitlichen Risiken wie Mangelerscheinungen, Fettleibigkeit oder ernährungsbedingten Infektionen zu schützen. Gerade bei einer sich dynamisch entwickelnden neuen Technologie wie der Nanotechnologie muss Vorsorge neben der menschlichen Gesundheit auch ökologische und kulturelle Aspekte berücksichtigen. Dabei geht es nicht nur darum, Risiken für Mensch und Umwelt zu minimieren, sondern Lebens- und Umweltqualität zu fördern sowie kulturelle Vielfalt zu ermöglichen (vgl. auch Eberle u. Hayn 2007). Der Vorsorgegedanke bedeutet aber nicht nur Vorteile für die Konsument/innen: Auch Entwickler und Hersteller, die sich den Vorsorgegedanken zur Handlungsmaxime machen und Produkte mit hohem gesellschaftlichem Nutzen herstellen, schaffen auf diese Weise die Voraussetzungen für einen langfristigen wirtschaftlichen Erfolg.

Die erarbeiteten Empfehlungen orientieren sich somit an der Leitfrage, wie die gesellschaftlichen Nutzenpotenziale der Nanotechnologien für den Lebensmittelsektor gefördert und die Risiken gleichzeitig minimiert werden können, um mehr Nachhaltigkeit im Bedürfnisfeld Ernährung zu erreichen.

Politik und Verwaltung kommt hierbei mit der Schaffung der entsprechenden Rahmenbedingungen eine zentrale Rolle zu. Im Folgenden werden daher zunächst diejenigen Empfehlungen skizziert, die sich auf Governance-Aspekte¹⁸²

¹⁸² Dabei werden unter Governance allgemeine Steuerungsinstrumente verstanden, angefangen beim klassischen Ordnungsrecht über ökonomische Instrumente und freiwillige Vereinbarungen bis hin zu Unternehmensverantwortung (Corporate Social Responsibility, CSR) oder partizipativen Prozessen.

und den erforderlichen Regulierungsbedarf beziehen (vgl. Kapitel 11.1). Im Anschluss daran wird auf Risikomanagementmassnahmen eingegangen, die originär in den Verantwortungsbereich der industriellen Akteure fallen (vgl. Kapitel 11.2). Ergänzt werden die Empfehlungen um Aspekte, die im Rahmen eines gesellschaftlichen Verständigungsprozesses behandelt werden sollten (vgl. Kapitel 11.3).

11.1. Governance und Regulierungsbedarf

Eine zentrale Aufgabe der Politik besteht darin, durch die Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen die Gefährdung der Verbraucher/innen durch Nanomaterialien in Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen auszuschliessen. Dies gilt umso mehr in einem gesundheitssensiblen Bereich wie bei Lebensmitteln. Darüber hinaus soll der Regelungsrahmen Rechtssicherheit schaffen, um eine Weiterentwicklung nanotechnologischer Innovationen im Sinne der oben genannten Ziele und Prinzipien zu ermöglichen. Zudem ist die Politik gefordert, den notwendigen gesellschaftlichen Verständigungsprozess zu initiieren und zu organisieren (vgl. Kap. 11.3).

11.1.1. Das Vorsorgeprinzip

Der nachfolgend skizzierte Regulierungsbedarf für das Inverkehrbringen von Nanomaterialien bei Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen in der Schweiz (Kapitel 11.1.2) berücksichtigt das Vorsorgeprinzip. Das Vorsorgeprinzip ist international anerkannt und wird insbesondere im EU-Lebensmittelrecht ausdrücklich in Art. 7 der Verordnung (EG) Nr. 178/2002¹⁸³ als Grundsatz genannt. Gemäss Art. 7 Abs. 1 der Verordnung können in Fällen, «in denen nach einer Auswertung der verfügbaren Informationen die Möglichkeit gesundheitsschädlicher Auswirkungen festgestellt wird, wissenschaftlich aber noch Un-

¹⁸³ Verordnung der (EG) Nr. 178/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 28. Januar 2002 zur Festlegung der allgemeinen Grundsätze und Anforderungen des Lebensmittelrechts, zur Errichtung der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit und zur Festlegung von Verfahren zur Lebensmittelsicherheit, ABl. der EG Nr. L 31 vom 1.2.2002, S. 31.

sicherheit besteht, vorläufige Risikomanagementmassnahmen zur Sicherstellung des in der Gemeinschaft gewählten hohen Gesundheitsschutzniveaus getroffen werden, bis weitere wissenschaftliche Informationen für eine umfassendere Risikobewertung vorliegen».

Im Schweizer Lebensmittelrecht sind die Hersteller und weiterverarbeitenden Betriebe – unabhängig von der Frage, ob es sich um einen nanoskaligen oder makroskaligen Stoff handelt – grundsätzlich verpflichtet, Lebensmittel so herzustellen und in Verkehr zu bringen, dass die menschliche Gesundheit nicht nachteilig negativ beeinflusst wird (vgl. Art. 49 LGV). Die Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips ist in den lebensmittelrechtlichen Vorschriften der Schweiz allerdings nicht ausdrücklich vorgeschrieben. Das Vorsorgeprinzip hat zwar in Art. 1 Abs. 2 des Schweizer Umweltschutzgesetzes (USG) Eingang gefunden, wonach «Einwirkungen auf Menschen, Tiere und Pflanzen, die schädlich oder lästig werden könnten, im Sinne der Vorsorge frühzeitig zu begrenzen» sind. Eine Anwendung oder Übertragung des Vorsorgeprinzips auf das Lebensmittelrecht kann daraus aber nicht gefolgert werden. Es wird deshalb empfohlen, im Schweizer Lebensmittelrecht das Vorsorgeprinzip aufzunehmen. Auf dieser gesetzlichen Basis können die Schweizer Lebensmittelbehörden Risikomanagementmassnahmen ergreifen, wie sie nachfolgend in Kapitel 11.1.2 für den Einsatz von Nanomaterialien im Lebensmittelbereich vorgeschlagen werden.

Den Rechtsrahmen für die Anwendung des Vorsorgeprinzips in der EU hat der Europäische Gerichtshof (EuGH) in zahlreichen Urteilen aufgespannt.¹⁸⁴ Dieser könnte auch bei der Regulierung von Nanomaterialien in Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen nach dem Schweizer Recht berücksichtigt werden. Danach ist das Vorsorgeprinzip in der Praxis insbesondere in den Fällen anzuwenden, in denen aufgrund einer objektiven wissenschaftlichen Bewertung Grund für die Besorgnis besteht, dass die möglichen Gefahren für die Umwelt und Gesundheit von Menschen, Tieren oder Pflanzen nicht hinnehmbar oder mit einem hohen Schutzniveau unvereinbar sein könnten.¹⁸⁵ Droht also die Gefahr irreversibler und schwerer Schäden für die Gesundheit von Menschen, Tieren oder Pflanzen sowie für die Umwelt und ist der Ursache-Wirkungs-Zusammenhang oder Umfang der Risiken eines Produktes oder Prozesses noch nicht

¹⁸⁴ Vgl. z.B. EuGH, Rs. T-13/99 (Pfizer Animal Health ./ Rat), Slg. 2002, II-3305, Rndnr. 143.

¹⁸⁵ Mitteilung der Kommission über die Anwendbarkeit des Vorsorgeprinzips KOM(2000)(1) vom 2.2.2000, im Folgenden: Mitteilung der Kommission.

nachgewiesen, so kann dies nicht als Grund für die Verzögerung von Massnahmen angeführt werden. Gleichwohl können Vorsorgemassnahmen nicht völlig grundlos erlassen werden, sondern für die Anwendung des Vorsorgeprinzips müssen zumindest erste wissenschaftliche Hinweise auf ernste oder irreversible mögliche Schäden oder eine wissenschaftlich plausible Risikohypothese vorliegen.¹⁸⁶

Normativer Rahmen für die Anwendung des Vorsorgeprinzips

Die Rechtsprechung des EuGH und die Mitteilung der Kommission haben zu einem normativen Rahmen (Grundsätzen) für das Risikomanagement im Allgemeinen und die Anwendung des Vorsorgeprinzips im Speziellen geführt, der auch als Beispiel für die Regulierung in der Schweiz berücksichtigt werden könnte. Bei der Entscheidung über Vorsorgemassnahmen müssen danach in der EU die folgenden Grundsätze beachtet werden:

- Verhältnismässigkeit,
- Verbot der willkürlichen Diskriminierung,
- Kohärenzgebot,
- Abwägung der mit einem Tätig-/Nichttätigwerden verbundenen Vor- und Nachteile sowie
- Beobachtung der wissenschaftlichen Entwicklung.

Im Hinblick auf die Empfehlungen für regulatorische Massnahmen in Kapitel 11.1.2 wird auf die folgenden Grundsätze näher eingegangen.¹⁸⁷

¹⁸⁶ EuGH, Rs. T-13/99 (Pfizer Animal Health ./ Rat), Slg. 2002, II-3305, Rndnr. 143. Nach der Mitteilung der Kommission, a.a.O., S. 3, ist das Vorsorgeprinzip anzuwenden «insbesondere in den Fällen, in denen aufgrund einer objektiven wissenschaftlichen Bewertung berechtigter Grund für die Besorgnis besteht, dass die möglichen Gefahren für die Umwelt und die Gesundheit von Menschen, Tieren oder Pflanzen nicht hinnehmbar oder mit dem hohen Schutzniveau der Gemeinschaft unvereinbar sein könnten».

¹⁸⁷ Vgl. die ausführlichen Ausführungen zu den Grundsätzen in der Mitteilung der Kommission, a.a.O.

Verhältnismässigkeit

Die auf den Grundsatz der Vorsorge gestützten Massnahmen müssen ein angemessenes Schutzniveau für die Gesundheit und Umwelt ermöglichen, dürfen aber nicht ausser Verhältnis zu dem angestrebten Schutzniveau stehen und sollen nicht auf ein Nullrisiko zielen.¹⁸⁸ Zu diesem Zweck sollen bei der Auswahl der Risikomanagementmassnahmen alle mögliche Alternativen bewertet werden. Dabei sind Massnahmen vorzuziehen, die das angestrebte Schutzniveau gewährleisten und zugleich weniger stark als andere Massnahmen die Betroffenen einschränken. Im Rahmen der Verhältnismässigkeit ist auch die Möglichkeit, Produkte oder Verfahren durch andere, weniger risikoreiche Produkte und Verfahren zu ersetzen, als Alternative zu untersuchen.¹⁸⁹

Das Verbot der Herstellung bzw. Verwendung eines Nanomaterials als am weitesten reichende Massnahme ist aufgrund des Vorsorgeprinzips nicht *per se* unverhältnismässig. Vielmehr kann in einem Fall ein Verbot eine unverhältnismässige Massnahme im Hinblick auf das potenzielle Risiko sein, in einem anderen Fall hingegen die einzig mögliche Massnahme. Bei der Beurteilung der Verhältnismässigkeit von Massnahmen sind die langfristigen Risiken zu berücksichtigen.

Abwägung der mit einem Tätig-/Nichttätigwerden verbundenen Vor- und Nachteile

Ziel der Vorsorgemassnahmen ist es, das Risiko auf ein zumutbares Niveau zu senken. Die EU-Kommission erklärt dazu, «dass den Erfordernissen des Schutzes der öffentlichen Gesundheit unzweifelhaft grösseres Gewicht beizumessen ist als wirtschaftlichen Erwägungen». Bevor Massnahmen ergriffen werden, sind die Vor- und Nachteile, die mit dem Tätig-/Nichttätigwerden verbunden sind, zu prüfen. Dazu soll eine wirtschaftliche Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt werden, sofern diese zweckmässig und durchführbar ist.

¹⁸⁸ EuGH, Rs. T-13/99 (Pfizer Animal Health / J. Rat), Slg. 2002, II-3305, Rdnr. 145 und 152.

¹⁸⁹ Mitteilung der Kommission, a.a.O., S. 21.

Beobachtung der wissenschaftlichen Entwicklung

Da bei Entscheidungen im Rahmen des Vorsorgeprinzips immer ein gewisses Mass von wissenschaftlicher Ungewissheit bezüglich der Existenz oder des Umfangs von Risiken für die Umwelt und die Gesundheit besteht,¹⁹⁰ ist es sehr wichtig, weitere wissenschaftliche Forschungsarbeiten zu fordern und neue wissenschaftliche Daten zu generieren und zu bewerten. Sodann müssen die Massnahmen unter veränderten wissenschaftlichen Randbedingungen innerhalb bestimmter Fristen neu geprüft und ggf. verändert oder gar aufgehoben werden. Entscheidend für die Änderung bzw. den Widerruf der Massnahme soll nicht der Zeitfaktor, sondern die Entwicklung der wissenschaftlichen Erkenntnisse sein. Da die Forschungsarbeiten einer besseren und vollständigeren wissenschaftliche Bewertung des Risikos dienen sollen, ist es auch wichtig, dass die Massnahmen einer regelmässigen wissenschaftlichen Überwachung (*Monitoring*) unterliegen.¹⁹¹

11.1.2. Empfehlungen für regulatorische Massnahmen

Es werden folgende Empfehlungen unter Berücksichtigung der vorgenannten Grundsätze des Vorsorgeprinzips beim Inverkehrbringen von Nanomaterialien in Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen abgegeben:

Kein generelles Moratorium für synthetische Nanomaterialien in Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen

Ein generelles Moratorium in der Schweiz für jegliche Verwendung von synthetischen nanopartikulären Stoffen in Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen wird derzeit nicht befürwortet. Nach den Untersuchungsergebnissen zur Marktverfügbarkeit von Nanomaterialien in Kapitel 5 und deren toxikologischer Bewertung in Kapitel 10.2 gibt es bislang keine Hinweise auf toxikologisch bedenkliche Nanomaterialien auf dem Schweizer Markt.

¹⁹⁰ EuG, Rs. T-13/99 (Pfizer Animal Health ./ Rat), Slg. 2002, II-3305, Rdnr. 146.

¹⁹¹ Mitteilung der Kommission, a.a.O., S. 24. Die Kommission verweist hierbei auf spezielle Regelungen in Art. 5 Abs. 7 des SPS-Übereinkommens, die sie auch allgemein im Rahmen des Vorsorgeprinzips für anwendbar hält.

Anders verhält es sich mit Substanzen, die ausserhalb der Schweiz bei Nahrungsergänzungsmitteln zum Einsatz kommen, wie z.B. bei nanoskaligem Silber und Gold, die z.T. ein erhöhtes humantoxikologisches Gefährdungspotenzial aufweisen (vgl. Kapitel 10.2). Diese Mittel dürfen bislang nicht auf dem Schweizer Markt vertrieben werden, sind aber z.B. über das Internet für die Endkund/innen erhältlich. In diesem Fall würde nur ein EU- oder weltweites Moratorium ein wirksames Instrument darstellen. Gegen ein generelles Moratorium spricht zudem, dass damit die Realisierung möglicher Chancen von Nanomaterialien insbesondere im Verpackungsbereich pauschal unterbunden würde. Ein spezifisches Moratorium zum Einsatz einzelner Nanomaterialien oder für bestimmte Anwendungsfelder (z.B. Nanosilber) kann aber Ergebnis eines Dialogverfahrens sein.

Kein Erlass eines «Nano-Lebensmittelgesetzes»

Der Erlass eines neu zu schaffenden «Nano-Lebensmittelgesetzes» ist derzeit nicht zu empfehlen. Vielmehr sollten die bestehenden Schweizer Regularien für Lebensmittel und Lebensmittelverpackungen an die nanospezifischen Erfordernisse angepasst werden (inkrementeller Ansatz). Nanomaterialien sind ebenso wie andere Zusatzstoffe oder Verpackungstoffe aus chemischen Elementen aufgebaute Verbindungen, die in Lebensmitteln eingesetzt werden können, und sollten deshalb dem geltenden Lebensmittelrecht unterworfen werden. Die Notwendigkeit einer Sonderrolle aufgrund ihres chemisch/physikalischen Verhaltens über die Anpassung der bestehenden Regelungen erscheint fraglich. Innerhalb des geltenden Schweizer Regelungsrahmens findet jeder Hersteller oder Importeur eines Lebensmittels oder einer Lebensmittelzutat die für ihn geltenden Rechte und Pflichten und unterliegt diesen auch schon bislang. Bei der Schaffung eines «Nano-Lebensmittelgesetzes» sind vermeidbare Doppelregelungen und Verweisungen absehbar, die die Transparenz des geltenden Regelungsrahmens für Nanomaterialien beeinträchtigen können. Zudem besteht die Gefahr, dass die Hersteller und Importeure die Anwendbarkeit des geltenden Rechts für Nanomaterialien in Frage stellen und bei eigenen freiwilligen Massnahmen (siehe Kapitel 11.2) zurückhaltender agieren, wenn ein eigenes Nano-Regelwerk geschaffen werden soll. Schliesslich müssten auch für ein eigenes Nano-Gesetz eine Reihe offener Fragen geklärt werden. Dazu gehören die Definition von Nanomaterialien, die Standardisierung der Mess-, Prüf- und Bewertungsmethoden sowie die Festlegung von Grenzwerten, die bislang aber

noch nicht existieren bzw. deren Grundlagen in den internationalen Normungsgremien noch erarbeitet werden.

Anpassung bestehender Lebensmittelvorschriften

Der inkrementelle Ansatz sollte aber sicherlich nicht als Vorwand genutzt werden, erst einmal weiterzumachen wie bisher. Vielmehr sollten die bestehenden Regelungen in Gesetzen und Verordnungen sowie in den untergesetzlichen Ausführungsbestimmungen zu diesen Vorschriften unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips so schnell wie möglich an die Anforderungen von Nanomaterialien in Lebensmitteln und -verpackungen angepasst werden.

Es sollte eine Klarstellung erfolgen, ob und inwieweit die nach geltenden lebensmittelrechtlichen Vorschriften zulässigen Lebensmittel und Zusatzstoffe auch für die entsprechenden nanoskaligen Formen gelten. Diese Klarstellung kann entweder in den rechtlichen Vorschriften selbst oder durch Verwaltungsvorschriften erfolgen. Dazu ist es notwendig, die Nomenklatur zur Kennzeichnung der Nanomaterialien zu standardisieren sowie Entwicklung und Erprobung geeigneter Testverfahren und Monitoringmethoden voranzutreiben.

• **Notifikationspflicht**

Während bei Speziallebensmitteln das Lebensmittel selbst zugelassen werden muss, ist bei allen übrigen Lebensmitteln und Verpackungen aufgrund des Positivprinzips nur der jeweilige Lebensmittelzusatzstoff bzw. das jeweilige Verpackungsmaterial zulassungspflichtig. Ferner ist es rechtlich ungeklärt, ob im Fall von bereits zugelassenen makroskaligen Zusatzstoffen die nanoskalige Form eine eigene Zulassung benötigt. Um Transparenz über den Einsatz von Nanomaterialien in Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen aufseiten der Lebensmittelbehörden zu erreichen, sollten die Behörden deshalb über bestimmte Nanomaterialien informiert sein. Dazu wird die Einführung einer Notifikationspflicht für die folgenden Fälle empfohlen:

- Hersteller und Importeure, die Lebensmittel oder Verpackungen in Verkehr bringen, in denen Nanomaterialien mit einem Besorgnispotenzial enthalten sind, sollten diese bei den zuständigen Lebensmittelbehörden notifizieren. Dabei ist ein Besorgnispotenzial dann anzunehmen, wenn wissenschaftliche Hinweise auf ernste oder irreversible Schäden oder eine wissenschaftlich plausible Risikohypothese für ein Nanomaterial vorliegen.

- Hersteller und Importeure, die bereits zugelassene makroskalige Zusatzstoffe in nanoskaliger Form in Verkehr bringen, sollten – unabhängig von einem Besorgnispotenzial – diese ebenfalls bei den zuständigen Lebensmittelbehörden notifizieren.

Aufgrund der Internationalität des Marktes für Lebensmittel und Lebensmittelverpackungen ist eine europaweite oder weltweite Regelung der Notifikationspflicht gegenüber einer nationalen Lösung vorzuziehen, um die praktische Durchführbarkeit zu erleichtern.

- **Rückverfolgbarkeit**

Die Rückverfolgbarkeit von Lebensmitteln und Stoffen in Lebensmitteln ist gem. Art. 49 Abs. 3 lit. c LGV ein wesentliches Element der Selbstkontrolle der Lebensmittelhersteller in der Schweiz. Unter anderem mittels dieses Instruments sollen die Hersteller ihrer Pflicht gem. Art. 49 Abs. 1 LGV nachkommen, auf allen Herstellungs-, Verarbeitungs- und Vertriebsstufen dafür zu sorgen, dass die gesetzlichen Anforderungen an Lebensmittel und Gebrauchsgegenstände eingehalten werden, insbesondere in Bezug auf den Gesundheitsschutz.¹⁹² Ziel der Rückverfolgbarkeit ist es gem. Art. 50 LGV, Lebensmittel und alle Stoffe, von denen erwartet werden kann, dass sie in einem Lebensmittel verarbeitet werden, über alle Herstellungs-, Verarbeitungs- und Vertriebsstufen zurückverfolgen zu können. Die Rückverfolgbarkeit ist im internationalen Rahmen (FAO/WHO Codex Alimentarius) und in der EU¹⁹³ ein anerkannter Grundsatz im Lebensmittelrecht und gilt für bestimmte Produkte bereits seit vielen Jahren. Mit der Rückverfolgbarkeit wird für alle Akteure die Möglichkeit geschaffen, Produkte mit Nanomaterialien vom Markt zu nehmen, wenn sich diese nach der Zulassung – aufgrund neuerer Erkenntnisse der Wissenschaft – doch nicht als sicher erweisen sollten. Der Schweizer Gesetzgeber sollte deshalb überprüfen, ob und inwieweit die Regelungen zur Rückverfolgbarkeit für synthetische Nanomaterialien anzupassen sind und wie die Regelungen in der Praxis von den Herstellern angewandt werden.

¹⁹² Gemäss Art. 3 i.V.m. Art. 49 LGV trägt die Unternehmensleitung die oberste Verantwortung für die Produktesicherheit im Betrieb. Sie kann dazu eine verantwortliche Person bezeichnen, welche neben ihr die oberste Verantwortung für die Produktesicherheit trägt.

¹⁹³ Verordnung (EG) Nr. 178/2002.

- **Unspezifische Kennzeichnung**

Die unspezifische Kennzeichnung jeglicher Verwendung von nanoskaligen Zusatzstoffen in der Herstellungskette, z.B. mit dem Zusatz auf der Verpackung «Enthält Nano» – auch wenn sie nicht mehr im Endprodukt enthalten sind –, wird den tatsächlichen bisher ermittelten Risiken (siehe Kapitel 10.2) nicht gerecht. Dieser Kennzeichnung fehlen bislang zudem wichtige Grundlagen, wie eine Definition von Nanomaterialien, die in Lebensmitteln gekennzeichnet werden sollen. Hinzu kommt, dass sie weit stärker in die Rechte der Hersteller eingreift als eine spezifische, auf das tatsächliche Vorhandensein von Nanomaterialien im Lebensmittel abzielende Kennzeichnung und deshalb hinsichtlich ihrer Verhältnismässigkeit eher fraglich wäre.

- **Spezifische Kennzeichnung**

Empfehlenswert ist eine Kennzeichnung von Nanomaterialien in der Herstellungskette insbesondere zum Zweck der Rückverfolgbarkeit von Lebensmitteln (s.o. zu Rückverfolgbarkeit), der besseren Lebensmittelüberwachung bei diesen Zutaten und der Wahlfreiheit für die Verbraucher/innen.

Die Kennzeichnung sollte an bestehende Systeme zur Kennzeichnung von Lebensmitteln und -zusatzstoffen anknüpfen, aber zusätzlich die vollständige Deklaration der Inhaltsstoffe unabhängig von ihrem Mengenanteil im Lebensmittel vorschreiben.

Weiterhin empfohlen wird eine klare Erkennbarkeit der Nanoskaligkeit bei Zusatzstoffen, indem die entsprechende Zutat gekennzeichnet wird, z.B. durch die Ergänzung der «E»-Nummern mit der Grössenbezeichnung der Zutat (z.B. E 551-**N 50**).

11.2. Corporate Responsibility

Für die Hersteller, Weiterverarbeiter und Händler von Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen mit Nanokomponenten ist es bei Weitem nicht ausreichend, Produkte zu entwickeln und zu vermarkten, die lediglich den gesetzlichen Standards genügen. Dies hat sich in anderen Bereichen bereits deutlich gezeigt, etwa bei Pflanzenschutzmitteln oder in Bezug auf Sozialstandards. Unternehmensverantwortung ist beim Einsatz der Nanotechnologien in besonderem Masse gefragt, da die vorhandenen Gesetze zwar prinzipiell auch nanotechnologische Produkte erfassen, jedoch im Detail für die neuen nanospezifi-

schen Eigenschaften und Risiken noch konkretisiert werden müssen. Gerade in dieser Übergangszeit des «innovatorischen Vorsprungs» der Entwickler vor den «nachrückenden» gesetzlichen Rahmenbedingungen liegt eine besonders grosse Verantwortung bei den Akteuren aus Industrie und Handel. Diese sind daher dazu verpflichtet, unter Anwendung des Vorsorgeprinzips die gesundheitlichen, ökologischen und gesellschaftlichen Auswirkungen der Produktion und des Konsums nanotechnologischer Produkte besonders gewissenhaft zu untersuchen. Schlüsselaufgabe ist somit eine konsequente Wahrnehmung der Produktverantwortung, beginnend mit der Entwicklung über die Vermarktung und Information der Konsument/innen bis hin zur Entsorgung der Produkte.

Bei Lebensmitteln und Lebensmittelzusatzstoffen kann Corporate Responsibility derart beschrieben werden, dass die **toxikologische Unbedenklichkeit** der verwendeten Nanomaterialien zweifelsfrei sichergestellt sein muss. Angesichts der vorhandenen Wissenslücken bedeutet dies, dass die notwendige **Intensivierung der human- und ökotoxikologischen Risikoforschung** in erster Linie eine Aufgabe der Hersteller bzw. Importeure ist. Ausserdem sollten diese die **höchstmöglichen Umwelt- und Sozialstandards** einhalten; dies kann nur produktbezogen evaluiert werden. Ferner sollten die industriellen Akteure während des Entwicklungsprozesses gezielt Produkte bevorzugen, die den Alltag der Konsument/innen tatsächlich entlasten. Dabei müssen die **Entlastungswünsche der verschiedenen Ernährungsstile** berücksichtigt werden (vgl. Kapitel 4).

Bei Lebensmittelverpackungen bedeutet eine konsequente Wahrnehmung der Produktverantwortung für die Entwickler in den Unternehmen, im Rahmen eines Screenings- und Auswahlprozesses zunächst das **Nanomaterial mit dem geringsten toxikologischen Gefährdungspotenzial** zu identifizieren. Wie die Analyse des Verpackungsmarktes im Rahmen dieser Studie gezeigt hat, bestehen für die gleiche Funktionalität oftmals eine Vielzahl verschiedener nanotechnologischer Materialoptionen (vgl. Tabelle 7).

Neben humantoxikologischen Aspekten sollte dieser Auswahlprozess auch von (bislang oftmals noch vernachlässigten) ökotoxikologischen Wirkungspotenzialen geleitet sein. Im nächsten Schritt ist diejenige Applikationsweise des Nanomaterials zu bevorzugen, welche zur **Minimierung der Expositionswahrscheinlichkeit** beiträgt. So kann z.B. eine nanoskalige Barrierschicht bei PET-Flaschen mit direktem Lebensmittelkontakt auf der Behälterinnenseite aufgebracht oder aber bewusst auf dessen Aussenseite appliziert werden. Entscheidend für einen vorsorgeorientierten Entwicklungsprozess, wie er soeben

skizziert wurde, ist jedoch auch, dass die Überlegungen nicht am eigenen «Werkstor» enden. Ein verantwortungsbewusster Entwicklungsprozess nanotechnologischer Produkte wird erst dann zu einem «Design for Safety and Sustainability», wenn im Falle von Lebensmittelverpackungen auch mögliche **Auswirkungen am Ende des Lebensweges** berücksichtigt werden. Dies bedeutet, dass neben einer Kompatibilität mit vorhandenen Recycling- und Entsorgungsstrukturen (Stichwort Kunststoffrecycling, vgl. Kapitel 5) insbesondere auch mögliche negative Auswirkungen der verwendeten Nanomaterialien auf bioverfahrenstechnische Systeme wie Kläranlagen untersucht werden sollten. Nanomaterialien, die wie Biozide wirken, z.B. Nanosilber, sind vor diesem Hintergrund besonders kritisch zu bewerten.

Besonders wirkungsvoll werden Corporate-Responsibility-Ansätze dann, wenn sie in Form von konkreten Selbstverpflichtungen dokumentiert werden, die überprüfbar sind und einem regelmässigen Monitoring unterliegen. Auf diese Weise könnten verantwortungsvolle Massnahmen pro-aktiver Unternehmen faktisch normative Wirkung entfalten und zu einem **branchenspezifischen Code of Conduct** weiterentwickelt werden, wie er auch im Aktionsplan «Synthetische Nanomaterialien» des Schweizer Bundesrates vorgeschlagen wird (EDI 2008). Es wird in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen, dass die Interessengemeinschaft Detailhandel Schweiz (IG DHS) sich seit Februar 2008 in einem «Code of Conduct Nanotechnologie» zu einem sorgsamem Umgang mit synthetischen Nanomaterialien verpflichtet hat.¹⁹⁴

Eine breite Akzeptanz für einen solchen Code of Conduct ist aber nur dann zu erwarten, wenn eine breite **Beteiligung aller wesentlichen industriellen Akteure** an solchen Selbstverpflichtungen sichergestellt ist. Darüber hinaus müssen vonseiten des Staates auch **Qualitätsanforderungen und Sanktionen** für eine allfällige Nichteinhaltung der Selbstverpflichtungen vorgegeben werden.

Als flankierende Massnahme für einen erfolgreichen Corporate-Responsibility-Prozess wird auch die Schaffung eines Gremiums empfohlen, welches die weiteren Entwicklungsschritte der nanotechnologischen Produkte im Bereich der Lebensmittel und Lebensmittelverpackungen überwacht. Dieses Gremium sollte über geeignete Monitoring-Instrumente verfügen, um frühzeitig mögliche Gefährdungen von Neuentwicklungen für Mensch und Umwelt zu erkennen. Neben Akteuren aus der Industrie sollte dieses **Monitoring-Gremium** auch mit

¹⁹⁴ Vgl. <http://www.igdhs.ch/m/mandanten/190/topic6220/story14345.html>.

weiteren wichtigen Stakeholdern (Handel, Banken/Versicherungen, Behörden und NGOs) besetzt sein.

11.3. Gesellschaftlicher Verständigungsprozess

Neben der Schaffung von regulatorischen Rahmenbedingungen besteht eine weitere wichtige Aufgabe von Politik und Verwaltung darin, einen gesellschaftlichen Verständigungsprozess über die gemeinsamen Ziele einer nachhaltigen Anwendung der Nanotechnologien im Lebensmittelsektor zu initiieren (Eberle u. Hayn 2007). Die nachfolgenden Empfehlungen richten sich folglich in erster Linie an staatliche Akteure, betreffen jedoch auch andere Stakeholdergruppen. Kernpunkt eines gesellschaftlichen Verständigungsprozesses sind **Dialoge** mit allen relevanten Akteuren. Dazu gehören

- Forschung,
- Hersteller und Weiterverarbeiter,
- Handel,
- Banken und Versicherungen (insbesondere Rückversicherungen),
- NGOs und
- Konsument/innen.

Dialogplattformen zu den Chancen und Risiken der Nanotechnologien werden ebenfalls im Rahmen des Aktionsplans «Synthetische Nanomaterialien» des Bundesrates als fester Bestandteil des weiteren Entwicklungsprozesses genannt. Dabei sollen zusätzlich zu den bereits vorhandenen Plattformen (z.B. NanoConvention der EMPA, Nanopublic der Universität Lausanne) erforderlichenfalls auch neue eingerichtet werden (EDI 2008).

Vor dem Hintergrund der gegenwärtig zu beobachtenden eher restriktiven Informationspolitik der Hersteller besteht die vordringliche Aufgabe eines Dialogs darin, Vertrauen zu schaffen. In erster Linie sind hier die Hersteller in der Pflicht, jedoch können auch Expert/innen aus der Wissenschaft sowie der Handel wertvolle Beiträge leisten. **Transparente und glaubwürdige Informationen** über nanotechnologische Produkte und Produktionsprozesse tragen zu Vertrauen und Wahlfreiheit der Konsument/innen bei. Die Informationsbedürfnisse der Konsument/innen in Hinblick auf die realen sowie individuell wahrgenommenen Risiken sollten hierbei ernst genommen werden. Darüber hinaus kann auf diese Weise dazu beigetragen werden, die Berührungängste bei den

Konsument/innen gegenüber den neu entwickelten Produkten abzubauen und die Orientierung am Markt zu erleichtern.

Hilfreich in diesem Zusammenhang wäre eine neutrale, differenzierte und sachgerechte Charakterisierung der unterschiedlichen Nanomaterialien, die für den Lebensmittelsektor relevant sind. Wichtige Voraussetzung hierfür ist eine **Anzeigepflicht** für die Hersteller und Inverkehrbringer dieser synthetischen Nanomaterialien sowie ein **Sicherheitsraster**, welches Informationen zum Marktvolumen, zu Exposition und toxikologischen Eigenschaften, Arbeitsschutzaspekten sowie zum Umweltschutz enthält (EDI 2008). Als Ausgangspunkt für ein solches Sicherheitsraster können auch die entsprechenden Zusammenstellungen aus diesem Bericht dienen (vgl. Tabelle 5 und Tabelle 7).

Kernpunkt des öffentlichen Dialogs ist eine gemeinsame Verständigung, welche Nanomaterialien für einen Einsatz im Lebensmittelsektor **gesellschaftlich gewünscht** werden und auf welche aufgrund von Wissenslücken bzw. eines inakzeptablen Nutzen-Risiko-Verhältnisses bis auf Weiteres **verzichtet** werden sollte.

Hierbei kann ggf. auf Erfahrungen und Ergebnisse von Risiko-Dialogen aus anderen Branchen zurückgegriffen werden (CONANO 2007).

Ein weiterer wichtiger Aspekt, der im Rahmen eines gesellschaftlichen Verständigungsprozesses diskutiert und konkretisiert werden sollte, ist die Frage nach der **Kennzeichnung von synthetischen Nanomaterialien** im Lebensmittelsektor (siehe dazu die regulatorischen Empfehlungen unter Kapitel 11.1.2). Ein öffentlicher Dialog wird als das geeignete Forum erachtet, in dem die Konsument/innen und NGOs ihre Informationsbedürfnisse hinsichtlich einer Kennzeichnung benennen und konkretisieren können.

Zurzeit erscheint die Kombination der vorgenannten Empfehlungen aufseiten der Unternehmen und des Schweizer Gesetzgebers – eingebettet in einen gesellschaftlichen Verständigungsprozess und vor dem Hintergrund des gegenwärtigen Kenntnisstandes zu Nanomaterialien in Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen – als zielführend, um den potenziellen Gesundheitsgefahren zu begegnen, ohne ihre Chancen zu verbauen.

11.4. Zusammenfassung der Empfehlungen

Im Folgenden werden die konkreten Empfehlungen der vorigen Kapitel zusammengefasst, wobei zunächst allgemeine Empfehlungen aufgeführt werden, die sich gleichermaßen auf Lebensmittel und Lebensmittelverpackungen beziehen. Im Anschluss daran folgen weitere Empfehlungen, die sich spezifisch auf synthetische Nanomaterialien in Lebensmitteln und Lebensmittelzusatzstoffen sowie Lebensmittelverpackungen beziehen.

11.4.1. Allgemeine Empfehlungen für Nanomaterialien bei Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen

Unabdingbare Voraussetzung für den Einsatz von synthetischen Nanomaterialien ist die öko- und humantoxikologische Unbedenklichkeit der verwendeten Substanzen. Aus diesem Grund müssen Wissenslücken und Unsicherheiten im Hinblick auf das toxikologische Gefährdungspotenzial unverzüglich so weit wie möglich geschlossen werden. Dies macht eine Intensivierung der Sicherheitsforschung erforderlich, wobei die Initiative v.a. von den Herstellern ausgehen sollte. In diesem Rahmen ist insbesondere die Entwicklung und Erprobung geeigneter Testverfahren und Monitoringmethoden für den Einsatz synthetischer Nanomaterialien in Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen voranzutreiben.

Darüber hinaus sollten die Schweizer Gesetze und Verordnungen sowie die untergesetzlichen Ausführungsbestimmungen im Lebensmittelsektor unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips an die Anforderungen von synthetischen Nanomaterialien angepasst werden. Im Einzelnen handelt es sich um folgende Massnahmen:

- **Verankerung des Vorsorgeprinzips im Schweizer Lebensmittelrecht**

Durch die explizite Aufnahme des Vorsorgeprinzips im Schweizer Lebensmittelrecht wird den Schweizer Lebensmittelbehörden die Möglichkeit eröffnet, Risikomanagementmassnahmen für den Einsatz von Nanomaterialien im Lebensmittelbereich zu ergreifen.

- **Klarstellung zum «Geltungsbereich» zugelassener Zusatzstoffe**

Es sollte im Lebensmittelrecht eine Klarstellung erfolgen, ob und inwieweit die nach geltenden lebensmittelrechtlichen Vorschriften bereits erteilten Zulassungen für Zusatzstoffe auch für entsprechende nanoskalige Formen gelten.

- **Notifikationspflicht**

Um den Informationsstand der Behörden bezüglich der in Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen verwendeten synthetischen Nanomaterialien zu verbessern, sollte für die folgenden Fälle eine (vorzugsweise europa- bzw. weltweite) Notifizierungspflicht eingeführt werden:

- Für Hersteller und Importeure, die Lebensmittel oder Verpackungen in Verkehr bringen, in denen Nanomaterialien mit einem Besorgnispotenzial enthalten sind;
- Für Hersteller und Importeure, die bereits zugelassene makroskalige Zusatzstoffe in nanoskaliger Form in Verkehr bringen, und zwar unabhängig von einem Besorgnispotenzial.

- **Rückverfolgbarkeit**

Der Schweizer Gesetzgeber sollte überprüfen, inwieweit Regelungen zur Rückverfolgbarkeit für synthetische Nanomaterialien in der Praxis von den Herstellern umgesetzt werden und ob diese ggf. anzupassen sind. Auf diese Weise werden alle Akteure in die Lage versetzt, Produkte mit Nanomaterialien vom Markt zu nehmen, wenn sich diese aufgrund neuerer Erkenntnisse der Wissenschaft doch nicht als sicher erweisen sollten.

- **Spezifische Kennzeichnung**

Empfohlen wird ferner eine Kennzeichnung von Nanomaterialien in oder als Zutaten bzw. in Verpackungsmaterialien, um in der Herstellungskette die Rückverfolgbarkeit von entsprechenden Lebensmitteln und die staatliche Lebensmittelüberwachung zu erleichtern sowie den Konsument/innen Wahlfreiheit zu ermöglichen. Als Anknüpfungspunkt sollten bestehende Systeme zur Kennzeichnung von Lebensmitteln und -zusatzstoffen berücksichtigt, zusätzlich jedoch die vollständige Deklaration der Inhaltsstoffe unabhängig von ihrem Mengenanteil im Lebensmittel vorgeschrieben werden. Darüber hinaus sollte die Nanoskaligkeit bei Zusatzstoffen durch eine entsprechende Kennzeichnung der Zutat ersichtlich sein (z.B. E 551-**N 50**).

11.4.2. Spezifische Empfehlungen für Lebensmittel-/zusatzstoffe

Bei der Entwicklung von Lebensmitteln bzw. Lebensmittelzusatzstoffen mit synthetischen Nanokomponenten sollten die Hersteller bzw. Importeure ebenfalls unter Verwendung des Vorsorgeprinzips die gesundheitlichen, ökologischen und gesellschaftlichen Auswirkungen der Produkte besonders gewissenhaft untersuchen. Um einen Beitrag zu einer nachhaltigen Ernährung der Konsument/innen zu leisten, sollten im Rahmen der unternehmerischen Produktverantwortung dabei v.a. die **Entlastungswünsche der verschiedenen Ernährungsstile** berücksichtigt werden. Aufgrund der besonders skeptischen Grundhaltung der Konsument/innen gegenüber dem Einsatz von synthetischen Nanomaterialien bei Lebensmitteln ist darüber hinaus seitens der Hersteller bzw. Importeure ein **verstärkte Information, Transparenz und Dialogbereitschaft** gegenüber Stakeholdern und der Öffentlichkeit erforderlich. Andernfalls besteht die Gefahr, dass sich die Debatte um Gentechnik bei Lebensmitteln wiederholt. Wie auch im Aktionsplan «Synthetische Nanomaterialien» des Bundesrates empfohlen, sollten daher **Dialogplattformen zu den Chancen und Risiken** sowie ein gesellschaftlicher Verständigungsprozess über den Umgang mit Nanomaterialien im Lebensmittelsektor einen integralen Bestandteil des weiteren Entwicklungsprozesses bilden.

11.4.3. Spezifische Empfehlungen für Lebensmittelverpackungen

Bei Lebensmittelverpackungen beinhaltet eine konsequente Wahrnehmung der Produktverantwortung, für die jeweilige Funktionalität das Nanomaterial mit dem **geringsten toxikologischen Gefährdungspotenzial** zu verwenden. Weiterhin sollte durch ein entsprechendes Produktdesign darauf geachtet werden, dass die **Expositionswahrscheinlichkeit der Konsument/innen minimiert** wird. Unter Anwendung des Vorsorgeprinzips bedeutet dies konkret, durch entsprechende Applikation der synthetischen Nanomaterialien einen Lebensmittelkontakt bzw. eine unkontrollierte Migration ins Lebensmittel zu vermeiden. Eine verantwortungsvolle Entwicklung von Lebensmittelverpackungen mit Nanokomponenten sollte darüber hinaus bereits frühzeitig auch mögliche **Auswirkungen der synthetischen Nanomaterialien in der Nachgebrauchsphase** berücksichtigen. Dazu gehören z.B. die Kompatibilität mit den bereits vorhandenen Recycling- und Entsorgungsstrukturen und mögliche negative Auswirkungen auf bioverfahrenstechnische Systeme wie Kläranlagen.

12. Literaturverzeichnis

- ACNielsen (2006): Rückläufiger Umsatz im Getränkemarkt – zwei Getränkegruppen trotzen diesem Trend. Pressemitteilung vom 17. Januar 2006 von Buchrein.
<http://ch.de.nielsen.com/news/pr20060117.shtml> [abgerufen am 20.02.2008]
- ACNielsen (2008): Wie beliebt sind Functional Food und Bioprodukte? Pressemitteilung vom 23. Januar 2008 von Root Längenbold.
<http://ch.de.nielsen.com/site/pr20080123.shtml> [abgerufen am 20.02.2008]
- Aguar, P.; Murcia Nicolás, J.J. (2008): EU nanotechnology R&D in the field of health and environmental impact of nanoparticles. European Commission, Research DG
<ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/final-version.pdf> [abgerufen am 25.02.2008]
- Aristoteles: Nikomachische Ethik. Rowohlt, Reinbek 2006.
- Bachmann, A. (2006): Nanobiotechnologie. Eine ethische Auslegeordnung. Beiträge zur Ethik und Biotechnologie, 1. Eidgenössische Ethikkommission für die Biotechnologie im Ausserhumanbereich EKAH und Ariane Willemsen, Bern. Bundesamt für Bauten und Logistik BBL, Bern, 2006.
- BAFU (2004): Recycling von Getränkeverpackungen im Jahr 2003: Guter Rücklauf bei Glas- und Aluminiumdosen – PET-Flaschen nach wie vor hinter der Vorgabe. Bern, 06.07.2004.
<http://www.bafu.admin.ch/dokumentation/medieninformation/00962/index.html?lang=de&msg-id=1114> [abgerufen am 12.10.2007]
- BAFU (2007): Klimaänderung in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen. Schweizerische Eidgenossenschaft, Bundesamt für Umwelt, Nr. 28/07, Bern 2007.
- BAuA, BfR, UBA (2007): Nanotechnologie: Gesundheits- und Umweltrisiken von Nanomaterialien – Forschungsstrategie. Dezember 2007.
http://www.baua.de/nn_47716/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/pdf/Forschungsstrategie.pdf [abgerufen am 06.05.2008]
- Bauer, W. (2007): Nanotechnology in the Food Sector, Vortrag auf der Konferenz «NanoConvention» am 29.06.2007 in Bern.

- Beer, M. (2008): Pers. Mitteilung von Dr. Michael Beer, Abteilung Lebensmittelsicherheit, Bundesamt für Gesundheit (BAG), Bern. Mitglied der Begleitgruppe.
- Beer-Borst, S.; Costanza, M.; Morabia, A. (2005): The role of «Functional Food» in the nutrition of the Geneva adult population – an exploratory study.
<http://www.bag.admin.ch/themen/ernaehrung/00211/00470/01892/index.html?lang=de> [abgerufen am 31.07.2007]
- Bjelakovic, G.; Nikolova, D.; Glud, L.L.; Simonetti, R.G.; Glud, C. (2007): Mortality in Randomized Trials of Antioxidant Supplements for Primary and Secondary Prevention. Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of the American Medical Association* 297: 842–857.
- Bonfadelli, H.; Dahinden, U.; Leonarz, M. (2002): Biotechnology in Switzerland: high on the public agenda but only moderate support. *Public Understanding Sci.* 11: 113–130.
- Bonfadelli, H.; Dahinden, U.; Leonarz, M. (2007): Mass Media and Public Perceptions of Red and Green Biotechnology: a Case Study from Switzerland. In: Brossard, D. et al. (eds.) (2007): *The Public, The Media and Agricultural Biotechnology*. CAB International, February 2007.
- Boysen, E. (2007): Nanotechnology in the Food Industry. *Nanotechnology Now*. <http://www.nanotech-now.com/columns/?article=128> [abgerufen am 18.07.2007]
- Breggin, L.; Pendergrass, J. (2007): Where does the nano go? – End-of-life regulation of nanotechnologies. Washington DC: Woodrow Wilson International Center for Scholars.
- Brody, A. (2003): Barrier coatings fortify plastic bottles (Emerging Technology). <http://www.allbusiness.com/marketing-advertising/branding-brand-development/533208-1.html> [abgerufen am 16.10.2007]
- BUND (2008): Endstation Mensch. Vom Labor auf den Teller. Die Nutzung der Nanotechnologie im Lebensmittelsektor.
http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/nanotechnologie/20080311_nanotechnologie_lebensmittel_studie.pdf
- Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin BgVV (2001): Ernährungsmedizinische Beurteilung von Werbeaussagen zu Coenzym Q10, Stellungnahme des BgVV vom 20. April 2001.

- Bundesinstitut für Risikoforschung BfR (2006): BfR-Verbraucherkonferenz zu Nanotechnologie in Lebensmitteln, Kosmetika und Textilien, Verbrauchervotum zur Nanotechnologie vom 20. November 2006.
http://www.bfr.bund.de/cm/220/verbrauchervotum_zur_nanotechnologie.pdf
- Büning, M. (2007): Buying Nano – What Consumers want To Know. Präsentation auf der 3rd International NanoRegulation Conference der Innovationsgesellschaft vom 12.–13. September 2007 in St. Gallen.
- Chaudhry, Q. (2007): Nanotechnology Applications for the Food Sector and Implications for Consumer Safety and Regulatory Controls. Presentation at the 8th Annual CSL/JIFSAN Joint Symposium on Food Safety and Nutrition.
http://jifsan.umd.edu/presentations/csl_2007/PDF/Wed/8.Q.Chaudhry_JIFSAN_CSL_Symp.pdf
- Chen, H.; Weiss, J.; Shahidi, F. (2006): Nanotechnology in Nutraceuticals and Functional Food. *Foodtechnology* 03.06: 30–36.
- Chen, M.; von Mikecz, A. (2005): Formation of nucleoplasmic protein aggregates impairs nuclear function in response to SiO₂ nanoparticles. *Experimental Cell Research* 305 (1): 51–62.
- Cientifica (2006): Nanotechnologies in the Food Industry. Cientifica Ltd., August 2006.
- CONANO Projektbericht (2007): Vergleichende Nutzen-Risiko-Analysen von abbaubaren und nicht abbaubaren Nano-Delivery-Systemen sowie konventionellen Mikro-Delivery-Systemen in pharmazeutischen und kosmetischen Anwendungen.
<http://www.risiko-dialog.ch/Publikationen/Studien/87-Studien/311-CONANODialogprojekt>
- Cortie, M.B.; van der Lingen, E. (2002): Catalytic Gold Nano-Particles. *Materials Forum* 26: 1–4. <http://www.nano.uts.edu.au/pdfs/Cortie2002c.pdf> [abgerufen am 17.10.2007]
- DEFRA (2006): Characterising the potential risks posed by engineered nanoparticles. UK Government research – a progress report. October 2006.
<http://www.defra.gov.uk/environment/nanotech/research/reports/progress-report061019.pdf> [abgerufen am 25.02.2008]
- Detzel et al. (2004): Ökobilanz für PET-Einwegsysteme unter Berücksichtigung der Sekundärprodukte. Endbericht, IFEU Heidelberg, August 2004.

- DGE, ÖGE, SGE, SVE (2000): German Nutrition Society (DGE), Austrian Nutrition Society (ÖGE), Swiss Society for Nutrition Research (SGE), Swiss Nutrition Association (SVE): Reference Values for Nutrient Intake. 1st edition.
<http://www.dge.de/pdf/ws/ReferenceValues.pdf>
- Duong, H. (2005): Antimikrobielle Verpackungen – Eine Möglichkeit zur Haltbarkeitsverlängerung. In: Getränkeindustrie 11/2005.
- Eberle, U. et al. (2005): Vorsorge im Handlungsfeld Umwelt-Ernährung-Gesundheit. Anforderungen an sozial-ökologische Vorsorge für eine Ernährungswende. Ernährungswende-Diskussionspapier Nr. 12.
- Eberle, U.; Hayn, D. (2006): Unternehmerische Verantwortung für eine Ernährungswende. In: Eberle, U.; Hayn, D.; Rehaag, R.; Simshäuser, U. (eds.) (2006): Ernährungswende. Eine Herausforderung für Politik, Unternehmen und Gesellschaft. Oekom Verlag, München; S. 99–111.
- Eberle, U.; Hayn, D. (2007): Ernährungswende. Eine Herausforderung für Politik, Unternehmen und Gesellschaft. Broschüre. Freiburg/Frankfurt a.M.
- Eberle, U.; Hayn, D.; Wiegmann, K. (2006): Ansatzpunkte für eine Ernährungswende. In: Eberle, U.; Hayn, D.; Rehaag, R.; Simshäuser, U. (eds.) (2006): Ernährungswende. Eine Herausforderung für Politik, Unternehmen und Gesellschaft. Oekom Verlag, München; S. 151–160.
- EFSA (2008): Use of lycopene as a food colour. Scientific Opinion of the Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Materials in Contact with Food. Adopted on 30 January 2008. The EFSA Journal (2008) 674: 1–66.
http://www.efsa.europa.eu/EFSA/Scientific_Opinion/afc_ej674_lycopene_op_en.pdf [abgerufen am 07.06.2008]
- Eichholzer, M. (2006): Ernährungssituation in der Schweiz. Fünfter Schweizerischer Ernährungsbericht. Präsentation auf der Nationalen Fachtagung der SGE «Fünfter Schweizerischer Ernährungsbericht: Umsetzung der Erkenntnisse in die Praxis» vom 9. Juni 2006 in Bern.
http://www.sge-ssn.ch/d/dienstleistungen/tagungen_symposien/fachtagung_5_ch-ernaehrungsbericht/referate/plenum/eichholzer.pdf
und http://www.sge-ssn.ch/d/dienstleistungen/tagungen_symposien/fachtagung_5_ch-ernaehrungsbericht/referate/plenum/eichholzer_zusammenfassung.pdf [abgerufen am 31.07.2007]

- Eichholzer, M.; Camenzind-Frey, E.; Matzke, A.; Amadò, R.; Ballmer, P.E.; Beer, M.; Darioli, R.; Hasler, K.; Lüthy, J.; Moser, U.; Sieber, R.; Trabichet, C. (2005): Fünfter Schweizerischer Ernährungsbericht. Bundesamt für Gesundheit, Bern.
- Eidgenössisches Departement des Innern EDI (Hrsg.): Aktionsplan «Synthetische Nanomaterialien», Bericht des Bundesrates vom 9. April 2008, Bern 2008.
- Einsiedel, E.; Goldenberg, L. (2004): Dwarfing the Social? Nanotechnology Lessons from the Biotechnology Front. *Bulletin of Science and Technology & Society* 24 (1): 28–33.
- End, L. (2005): Beta-carotene for beverages: Formulation ensures colour and stability. BASF News Release «Journalists and Scientists in Dialogue – Innovation for our Nutrition» on September 15/16, 2005 in Speyer. http://www.corporate.basf.com/en/innovationen/felder/ernaehrung/reden/-reden2.htm?getasset=file2&name=P_362_End.pdf&MTITEL=Beta-carotene+for+beverages:+Formulation+ensures+colour+and+stability&suffix=.pdf&id=3EOzOB-PnbcP.ed [abgerufen am 31.08.2007]
- End, L. (2007): Schriftliche Mitteilung vom 02.11.2007. Dr. Lutz End, Formulation Development Nutrition, Polymer Physics, BASF SE, Ludwigshafen (Germany).
- End, L.; Haber, B.; Schulte, S.; Obermüller-Jevic, U. (2007): Nanoformulations of Health Ingredients. PARTEC 2007.
- Exl-Preysch, B.-M.; Mühlemann, P.; Burri-Nauer, R.; Lüthy, J. (2005): Nutri-Trend-Study 2000 – Attitudes of consumers towards nutrition in Switzerland: results of a representative survey. 5th Swiss Report of Nutrition. <http://www.bag.admin.ch/themen/ernaehrung/00211/00470/01892/index.html?lang=de> [abgerufen am 31.07.2007]
- FAO (1969): FAO Nutrition Meetings Report Series No. 46A WHO/FOOD ADD/70.36. Toxicological Evaluation of some Food Colours, Emulsifiers, Stabilizers, Anti-Caking Agents and certain other Substances. <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v46aje60.htm> [abgerufen am 06.06.2008]
- FDA (2007): Nanotechnology – A report of the U.S. Food and Drug Administration Nanotechnology Task Force.

- Fidler, M.C. (2003): Optimizing the Absorption of Fortification Iron. A dissertation submitted to the Swiss Federal Institute of Technology Zurich. DissETH No. 15113.
<http://e-collection.ethbib.ethz.ch/eserv/eth:26487/eth-26487-02.pdf>
[abgerufen am 09.06.2008]
- Finanznachrichten (2008): Migros: 6,2 Prozent oder CHF 1,3 Mrd. mehr Umsatz im 2007. Mitteilung des Migros-Genossenschafts-Bundes vom 17. Januar 2008.
<http://www.finanznachrichten.de/nachrichten-2008-01/artikel-9894114.asp> [abgerufen am 20.02.2008]
- Food Standard Agency (2006): Report of FSA Regulatory Review – A review of potential implications of nanotechnologies for regulations and risk assessment in relation to food.
- FoodproductionDaily (2005): Nanotech discovery promises safer food packaging. Artikel vom 13.05.2005.
<http://www.foodproductiondaily.com/news/ng.asp?id=59980>
[abgerufen am 04.06.2007]
- FoodproductionDaily (2006): Nano ink indicates safety breach in food packaging. Artikel vom 14.11.2006 von Ahmed ElAmin.
<http://www.foodproductiondaily.com/news/ng.asp?id=72022>
[abgerufen am 04.06.2007]
- FoodproductionDaily (2007a): Future nanopackaging market worth billions, says study. Artikel vom 15.05.2007 von George Reynolds.
<http://www.foodproductiondaily.com/news/ng.asp?id=76538>
[abgerufen am 04.06.2007]
- FoodproductionDaily (2007b): EU funds nano packaging research. Artikel vom 02.05.2007 von Ahmed ElAmin.
<http://www.foodproductiondaily.com/news/ng.asp?id=76209>
[abgerufen am 04.06.2007]
- Franco, A. et. al. (2007): Limits and prospects of the «incremental approach» and the European legislation on the management of risks related to nanomaterials, *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, Nr. 48, S. 171–183.
- Friends of the Earth Australia, Europe and U.S.A (2008): Out of the Laboratory and on to our Plates. Nanotechnology in Food & Agriculture. April 2008.
http://www.foeeurope.org/activities/nanotechnology/Documents/Nano_food_report.pdf

- Fuchs, Ch. (2007): Technikgenese. In: Fuchs, Ch.: Techniksoziologie, Technikgenese, Technikfolgenabschätzung, Skriptum zur Vorlesung Technikentwicklung- und Technikpolitik an der Universität Salzburg.
- Führ, M.; Hermann, A. et al. (2007): Rechtsgutachten Nanotechnologie (ReNaTe): Bestehender Rechtsrahmen, Regulierungsbedarf sowie Regulierungsmöglichkeiten auf europäischer und nationaler Ebene.
<http://www.oeko.de/oekodoc/334/2006-022-de.pdf>
- Gaskell, G.; Allansdottir, A.; Allum, N.; Corchero, C.; Fischler, C.; Hampel, J.; Jackson, J.; Kronberger, N.; Mejlgaard, N.; Revuelta, G.; Schreiner, C.; Stares, S.; Torgersen, H.; Wagner, W. (2006): Europeans and Biotechnology in 2005: Patterns and Trends. Eurobarometer 64.3. A report to the EC Directorate General for Research. May 2006.
http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_244b_en.pdf [abgerufen am 10.09.2007]
- Gaskell, G.; Allum, N.; Stares, S. et al. (2003): Europeans and Biotechnology in 2002. Eurobarometer 58.0. A report to the EC Directorate General for Research from the project «Life Sciences in European Society» QLG7-CT-1999-00286.
http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_177_en.pdf [abgerufen am 10.09.2007]
- Grobe, A. (2004): Risikoperzeption der Nanotechnologie: Konsequenzen für den Dialog, Präsentation im Rahmen eines internen Workshops im Rahmen des Projekts CONANO.
- Grunwald, A. (2004): Ethische Aspekte der Nanotechnologie. Eine Felderkundung. Technikfolgenabschätzung. Theorie und Praxis 2, 2004: 71–78.
<http://www.itas.fzk.de/tatup/042/grun04a.pdf> [abgerufen am 30.09.2007]
- Grunwald, A. (2006): Nichts Ungeheuerliches. In: Politische Ökologie 101, Oekom Verlag: 27–29.
- Gubser, P. (2007): Ergebnisse der Anfragen an Zulieferer zu nanotechnologischen Produkten. Pers. Mitteilung von Peter Gubser, Qualitätsmanager Near Food Migros-Genossenschafts-Bund.
- Gubser, P. (2008): Actilife FIT und Wellness Getränke. Mail von Peter Gubser, Qualitätsmanager Near Food Migros-Genossenschafts-Bund vom 01.04.2008.

- Gürtler, R. (2006): Nanotechnologie – Fortschritt mit Risiken? Anwendungen im Lebensmittelbereich. Präsentation Fortbildung für den Öffentlichen Gesundheitsdienst.
http://www.bfr.bund.de/cm/232/nanotechnologie_fortschritt_mit_risiken_anwendungen_im_lebensmittelbereich.pdf
- Haller, M.; Allenspach, M. (1995): Kompetent – Inkompetent? Zur Objektivität des Urteils über Grösstrisiken. In: Thome, J.P. (Hrsg.): Management-Kompetenz. Die Gestaltungsansätze des NDU/Executive MBA der Hochschule St. Gallen. Versus Verlag, Zürich.
- Hayn, D.; Eberle, U.; Rehaag, R.; Simshäuser, U.; Scholl, G. (2005): KonsumentInnenperspektive. Ein integrativer Forschungsansatz für sozial-ökologische Ernährungsforschung. Diskussionspapier Nr. 8 des Verbundprojektes «Ernährungswende – Strategien für sozial-ökologische Transformationen im gesellschaftlichen Handlungsfeld Umwelt – Ernährung – Gesundheit». Frankfurt/Hamburg/Köln/Heidelberg/Berlin, September 2005.
http://www.ernaehrungswende.de/fr_ver.html
- Helland, A.; Scheringer, M.; Siegrist, M.; Kastenholz, H.G.; Wiek, A.; Scholz, R.W. (2008): Risk assessment of engineered nanomaterials – a survey of industrial approaches. Submitted to Environmental Science & Technology.
- Hussain et al. (2005): In vitro toxicity of nanoparticles in BRL 3A liver cells. In: Toxicology in Vitro 19, S. 975–983.
- IFST (2006): Information Statement: Nanotechnology, Institute of Food Science & Technology Trust Fund, London.
- Igami, M.; Okazaki, T. (2007): Capturing Nanotechnology's Current State of Development via Analysis of Patents. OECD STI Working Paper 2007/4.
<http://www.oecd.org/dataoecd/6/9/38780655.pdf> [abgerufen am 07.09.2007]
- Joseph, T.; Morrison, M. (2006): Nanotechnology in Food and Agriculture. Nanoforum Report May 2006.
- JR Nanotech (2007): Using nano-silver technology to solve age old healthcare problems.
<http://www.jrnanotech.com/index.html> [abgerufen am 23.10.2007]
- Kant, Immanuel: Grundlegung zur Metaphysik der Sitten; Kant-Studienausgabe, hg. v. Weischedel, W., Bd. IV, Darmstadt 1983.

- Koëter, H.B.W.M. (2007): Nanotechnology risk assessment: knowns and unknowns. Presentation held at the First Annual Nanotechnology Safety for Success Dialogue: The Food, Consumer, and Health Policy Perspective. Brussels, 25 and 26 October 2007.
http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/documents/ev_200710_25_co05_en.pdf [abgerufen am 14.02.2008]
- Kordecki, G.; Knüppel, R.; Meisinger, H. (2004): Ethische Aspekte der Nanotechnologie. Eine Stellungnahme der Arbeitsgemeinschaft der Umweltbeauftragten in der EKD. Akzente. Texte – Materialien – Impulse, Nr. 14. Institut für Kirche und Gesellschaft, Iserlohn, 2007.
- Kroeber-Riel, W.; Weinberg, P. (2002): Konsumentenverhalten. 8. Auflage, Verlag Vahlen, München.
- Krug, H. (2008): Pers. Mitteilung von Prof. Dr. Harald Krug, Abteilungsleiter «Materials-Biology Interactions», EMPA, St. Gallen. Mitglied der Begleitgruppe.
- Kuzma, J.; VerHage, P. (2006): Nanotechnology in agriculture and food production. Washington DC: Woodrow Wilson International Centre for Scholars.
- Langowski, H.-C. (2006): Anwendung der Nanotechnologie in Materialien für den Lebensmittelkontakt. Präsentation beim BfR-Expertengespräch «Nanotechnologie, ihre Produkte und Risiken für den Verbraucher» vom 28. März 2006.
http://www.bfr.bund.de/cm/232/anwendung_der_nanotechnologie_in_materialien_fuer_den_lebensmittelkontakt.pdf [abgerufen am 16.10.2007]
- Luthe, W. (2008): Perfect Clean Beschichtung von Miele. Winfried Luthe, Leitung Konstruktion und Entwicklung Werk Oelde.
- Maier Begré, S.; Hirsch-Hadorn, G. (2004): Options & Restrictions: A Heuristic Tool on Transdisciplinary Research for an Effective Implementation of Sustainable Practices. In: Biermann, F.; Campe, S.; Jacob, K. (eds.): Proceedings of the 2002 Berlin Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change «Knowledge for the Sustainability Transition. The Challenge for Social Science». Global Governance Project: Amsterdam, Berlin, Potsdam and Oldenburg, pp. 322–336.
- Malsch, I.; van Est, R.; Walhout, B. (2007): Nanovoedselveiligheid. Inventarisatie van de opkomende (inter)nationale discussie over nano-ingredienten in voeding. Rathenau Instituut, Den Haag, Mai 2007.

- Marris, C.; Wynna, B.; Simmons, P.; Weldon, S. et al. (2001): Public Perception of Agricultural Biotechnologies in Europe. Final Report of the PABE Research Project funded by the Commission of European Communities, Contract number: FAIR CT98-3844 (DG12–SSMI), December 2001.
<http://www.inra.fr/sed/science-gouvernance/PABE/PABE-Final-Report.pdf> [abgerufen 11.09.2007]
- Meisterernst, A.; Daniel, H.; Thron, M. (2006): Nanopartikel in Lebensmitteln und Kosmetika – wissenschaftliche und rechtliche Aspekte. Zeitschrift für Stoffrecht, S. 146.
- Menrad, K.; Reiss, T.; Hüsing, B.; Menrad, M.; Beer-Borst, S.; Zenger, C.A. (2000): Technological Assessment Functional Food. Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung beim Schweizerischen Wissenschafts- und Technologierat.
- Mrowka, Petra (1997): Ernährungskompetenz von Jugendlichen. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Wirtschaftssoziologie. Institut für Agrarpolitik, Marktforschung und Wirtschaftssoziologie, Universität Bonn.
- Nanocor (2005): Barrier enhancement using additives. Fillers, Pigments and Additives for Plastics in Packaging Applications. Pira International Conference, Brussels, 5–6 December 2005.
- NanoMarkets (2006): Smart Packaging Comes of Age. 13 June 2006, excerpted from the Report «Smart Packaging Markets: 2006–2013». http://www.nanomarkets.net/resources/res_detail.cfm?res=1&RID=108 [abgerufen am 18.07.2007]
- Nanophase (2007): Transforming the boundaries of performance. <http://www.nanophase.com/catalog/index.asp> [abgerufen am 23.10.2007]
- Neue Verpackung (2006): Schweiz: Unterschiedliche Entwicklung in der Verpackungsindustrie. <http://www.neue-verpackung.de/news/960da15ae17.html> [abgerufen am 20.02.2008]
- Norton, N. (2007): Schriftliche Auskunft vom 17.10.2007.
- Oltersdorf, U.; Benterbusch, R.; Ulrich, H.-J. (1995): Verbraucherängste wegen Ernährungsrisiken in Deutschland zwischen 1992 und 1994. In: *Appetite*, Volume 24, S. 275.
- Pfau, C.; Piekarski, J. (2002): Zur Kompetenz der Verbraucher im Umgang mit Lebensmitteln im privaten Haushalt. In: *Ernährungs-Umschau* 49(1): 18–22.

- Powell (2007): Nanotechnology & Food. Vortrag auf NWFPFA 2007 Expo, Portland OR, 16 January 2007.
- Priest, S.H.; Bonfadelli, H.; Rusanen, M. (2003): The «Trust Gap» Hypothesis: Predicting Support for Biotechnology Across National Cultures as a Function of Trust in Actors. *Risk Analysis* 23 (4): 751–766.
- PRS (2007): Systemkonformität PRS – Barrieren. Faktenblatt des Vereins PRS PET-Recycling Schweiz.
http://admin.petrecycling.ch/mediaserver/api/getMediadata.cfm?media_id=1031&mandator=fw40_mandator_0301 [abgerufen am 18.07.2007]
- PRS (oJ): Wertstoff PET. Verein PRS PET-Recycling Schweiz.
http://admin.petrecycling.ch/mediaserver/api/getMediadata.cfm?media_id=59&mandator=fw40_mandator_0301 [abgerufen am 18.07.2007]
- Rammert, W. (1993): Vom Nutzen der Technikgeneseforschung für die Technikfolgenforschung. In: Bechmann, G; Petermann, Th. (Hrsg.) (1994); *Interdisziplinäre Technikforschung* Frankfurt a.M., Campus Verlag, S. 15–33.
- Rathjen, A. (2007): Schriftliche Mitteilung vom 11.10.2007. Axel Rathjen, Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel, Institut für Verfahrenstechnik.
- Rippe, K.P. (2007): Braucht es eine NanoEthik?, Vortrag auf der Veranstaltung «2. NanoConvention» am 29.06.2007 in Bern.
http://www.empa.ch/bilder/NanoConvention-07/pdf/Nanoconvention_07_Rippe.pdf
- Risikokommission, ad hoc-Kommission «Neuordnung der Verfahren und Strukturen zur Risikobewertung und Standardsetzung im gesundheitlichen Umweltschutz der Bundesrepublik Deutschland», Abschlussbericht Juni 2003.
- Rozin, P.; Spranca, M.; Krieger, Z.; Neuhaus, R.; Surillo, D.; Swerdlin, A.; Wood, K. (2004): Preference for natural: instrumental and ideational/moral motivations, and the contrast between foods and medicines. *Appetite* 43 (2): 147–154.
- Sachtleben Chemie GmbH (2007): Produktinformation Hombitec RM 110.
<http://www.sachtleben.de> [abgerufen am 23.10.2007]
- Sanguansri, P.; Augustin, M. A. (2006): Nanoscale materials development – a food industry perspective. *Trends in Food Science & Technology* 17: 547–556.

- SCENIHR (2007): Opinion on the Appropriateness of the Risk Assessment Methodology in Accordance with the Technical Guidance Documents for New and Existing Substances for Assessing the Risks of Nanomaterials.
http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihhr/docs/scenihhr_o_010.pdf [abgerufen am 14.02.2008]
- SCF (2001): Guidance on Submissions for Food Additive Evaluations by the Scientific Committee on Food (opinion expressed on 11 July 2001).
http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out98_en.pdf [abgerufen am 10.06.2008]
- Schneider, P. (2007): Micelles inside. Ingredients by miVital. Präsentation auf der 3rd International NanoRegulation Conference der Innovationsgesellschaft vom 12.–13. September 2007 in St. Gallen.
- Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks: Opinion on the appropriateness of existing methodologies to assess the potential risks associated with engineered and adventitious products of nanotechnologies, SCENIHR/002/05 vom 10.03.2006.
- Selke, S.E. (2007): Nanotechnology and Agrifood Packaging: Applications and Issues. Powerpoint-Präsentation.
http://ifas.msu.edu/downloads/selke_AAAS_Nanotechnology_and_Agrifood_Packaging.pdf [abgerufen am 18.07.2007]
- Siegrist, M.; Cousin, M.-E.; Kastenholz, H.; Wiek, A. (2007a): Public acceptance of nanotechnology foods and food packaging: the influence of affect and trust. *Appetite* 49 (2): 459–466.
- Siegrist, M.; Keller, C.; Kastenholz, H.; Frey, S.; Wiek, A. (2007b): Laypeople's and Experts' Perception of Nanotechnology Hazards. *Risk Analysis* 27 (1): 59–69.
- Siegrist, M.; Wiek, A.; Helland, A.; Kastenholz, H. (2007c): Risks and nanotechnology: the public is more concerned than experts and industry. *Nature Nanotechnology* 2: 67.
- SIGPlasmax GmbH (oJ): Plasmax – Optimale Barrierelösung für empfindliche Produkte.
http://www.sig.biz/site/de/kunststoffverpackung/4_barrieretechnologie/3_plasmax_12d/Plasmax_12D.jsp [abgerufen am 18.07.2007]
- Stiess, I.; Hayn, D. (2005): Ernährungsstile im Alltag. Ergebnisse einer repräsentativen Untersuchung. Unter Mitarbeit von Götz, K.; Schubert, S.; Seltmann, G.; Birzle-Harder, B. Diskussionspapier Nr. 5 des Verbundprojektes «Ernährungswende – Strategien für sozial-ökologische Transformationen im gesellschaftlichen Handlungsfeld Umwelt – Er-

- nahrung – Gesundheit». Institut für sozial-ökologische Forschung ISOE, Frankfurt. Februar 2005.
http://www.ernaehrungswende.de/fr_ver.html
- SustainPack (2007): Innovation and Sustainable Development in the Fibre-based Packaging Value Chain. <http://www.sustainpack.com/index.php> [abgerufen am 10.10.2007]
- TA-Swiss (2006): Nanotechnologien in der Schweiz: Herausforderungen erkannt. Bericht zum Dialogverfahren publifocus «Nanotechnologien und ihre Bedeutung für Gesundheit und Umwelt», Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung, TA-P 8/2006 d, Bern 2006.
http://www.ta-swiss.ch/a/nano_pfna/2006_TAP8_Nanotechnologien_d.pdf
- Vogel, B. (2006): Prost Mahlzeit! In: Beobachter 3, S. 26–27.
- Wang, J.; Zhou, G.; Chen, C.; Yu, H.; Wang, T.; Ma, Y.; Jia, G.; Gai, Y.; Li, B.; Sun, J.; Li, Y.; Jiao, F.; Zhano, Y.; Chai, Z. (2007): Acute toxicity and biodistribution of different sized titanium dioxide particles in mice after oral administration. *Toxicol Lett* 168 (2): 176–185.
- Wegmüller, R.; Zimmermann, M.B.; Hurrell, R.F. (2003): Dual Fortification of Salt with Iodine and Encapsulated Iron Compounds: Stability and Acceptability Testing in Morocco and Côte d'Ivoire. *Journal of Food Science* 68 (6): 2129–2135.
- Weiss, J.; Takhistov, P.; McClements, D.J. (2006): Functional Materials in Food Nanotechnology. *Journal of Food Science* 71 (9): R 107-R 116.
- Wengert, P. (2008): Anmerkungen von Steffen Wengert, Bundesamt für Gesundheit in Bern, zum Fragebogen der Stakeholderbefragung von Januar 2008.
- WHO (1974): WHO Food Additives Series NO. 5. Toxicological evaluation of some food additives including anticaking agents, antimicrobials, antioxidants, emulsifiers and thickening agents.
<http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v05je04.htm> [abgerufen am 06.06.2008]
- Zimmermann, M. (2008): Pers. Mitteilung von Dr. Michael Zimmermann, Institut für Lebensmittel- und Ernährungswissenschaft der ETH Zürich.
- ZMP (2006): Trendstudie Food – Gesellschaftlicher Wandel und seine Wirkung auf den Food-Bereich. ZMP Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle GmbH Bonn in Zusammenarbeit mit CMA Centrale Marketing-Gesellschaft der deutschen Agrarwirtschaft mbH, Juli 2006.

Anhang 1. Mitglieder des Begleitkreises

- **Prof. Dr. Ueli Aebi**, Modul-Leiter «Nanobiologie», Swiss Nanosciences Institute, Basel
- **Dr. Andreas Bachmann**, Philosoph, Ethik im Diskurs GmbH, Zürich
- **Dr. Michael Beer**, Abteilung Lebensmittelsicherheit, Bundesamt für Gesundheit (BAG), Bern
- **Natalie Bougeard**, Wissenschaftsjournalistin, Radio Suisse Romande, Lausanne
- **PD Dr. Béatrice J. Conde-Petit**, Corporate Development, Bühler Management AG, Uzwil
- **Dr. Lutz End**, R&D Formulation Nutrition, Fine Chemical Division, BASF AG, Ludwigshafen, Deutschland
- **Peter Gubser**, Qualitätsmanager Near Food, Migros-Genossenschaftsbund, Zürich
- **Dr. Beat Hodler**, Föderation der Schweizerischen Nahrungsmittelindustrie (FIAL), Bern
- **Alain Kaufmann**, Responsable Nanopublic, Interface Sciences-Société, Université de Lausanne
- **Prof. Dr. Harald Krug**, Abteilungsleiter «Materials-Biology Interactions», EMPA, St. Gallen
- **Dr. Markus Lötscher**, Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Bern
- **Dr. Thomas H. Meier**, Stiftung für Konsumentenschutz (SKS), Bern
- **Prof. Dr. Peter Schurtenberger**, Center for Nanomaterials, Departement Physik der Universität Fribourg
- **Dr. Christof Studer**, Sektion Industriechemikalien, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern
- **Prof. Dr. Jakob Tanner**, Forschungsstelle für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte der Universität Zürich
- **Dr. Steffen Wengert**, Abteilung Chemikalien, Bundesamt für Gesundheit (BAG), Bern
- **Prof. Dr. Erich Windhab**, Institut für Lebensmittel- und Ernährungswissenschaften, ETH Zürich

Projektmanagement bei TA-SWISS

- **Dr. Sergio Bellucci**, Geschäftsführer
- **Dr. Adrian Rügsegger**, Projektverantwortlicher sowie Bereichsleiter «Biotechnologie und Medizin»

Anhang 2. Vorhandene Definitionsansätze

Im Folgenden werden Definitionen und Definitionsansätze vorgestellt, die für die vorliegende Studie als besonders relevant erachtet werden.

1. Allgemeine Definitionen für Nanotechnologie und Nanomaterialien

1.1. Definition der NNI (National Nanotechnology Initiative) / FDA (Federal Drug Administration)¹⁹⁵ / EPA (Environmental Protection Agency)¹⁹⁶

Bei der Definition der US-amerikanischen NNI handelt es sich um eine Formulierung, die in den USA sowohl von der FDA als auch von der EPA aufgegriffen wurde. Nanotechnologie wird dabei wie folgt definiert:

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

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

¹⁹⁵ Vgl. <http://www.fda.gov/nanotechnology/faqs.html>.

¹⁹⁶ Vgl. <http://es.epa.gov/ncer/nano/publications/whitepaper12022005.pdf>.

1.2. Definition der Studie «Rechtsgutachten Nanotechnologie» (ReNaTe)¹⁹⁷

Das Öko-Institut hat im Jahr 2006 zusammen mit Sofia e.V./Technische Hochschule Darmstadt für das deutsche Umweltbundesamt ein Rechtsgutachten erstellt. Darin wurde untersucht, ob bei dem vorhandenen Rechtsrahmen für synthetische Nanomaterialien ggf. Regelungslücken bestehen. Die dabei verwendete Definition von Nanomaterialien lautet wie folgt:

«Untersuchungsgegenstand des Gutachtens sind <Nano-Materialien> (NM). Darunter sind – im Einklang mit anderen Definitionen¹⁹⁸ – zu verstehen:

- *Strukturen anthropogenen Ursprungs (z.B. Partikel, Schichten¹⁹⁹, Röhren), die in mindestens einer Dimension kleiner als 100 nm sind.*
- *Diese Strukturen müssen neue Funktionalitäten oder Eigenschaften besitzen, die so in der Makrowelt nicht realisierbar wären und gezielt zur Entwicklung neuer Produkte und Anwendungen genutzt werden.»*

¹⁹⁷ Vgl. <http://www.oeko.de/forschungsergebnisse/dok/228.php>.

¹⁹⁸ Die Definition des BMBF (deutsches Bundesministerium für Bildung und Forschung) lautet (vgl. http://www.bmbf.de/de/677_7097.php):

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

Das deutsche Umweltbundesamt geht von folgender Definition aus (vgl. UBA-Hintergrundpapier: «Chancen und Risiken der Nanotechnik für Mensch und Umwelt»): «Unter Nanotechnik verstehen wir – in Anlehnung an die vom Büro für Technikfolgen-Abschätzung des Deutschen Bundestages (TAB) gegebene Definition – die Herstellung, Untersuchung und Anwendung von Strukturen (z.B. Partikel, Schichten, Röhren) in einer Dimension kleiner als 100 Nanometer (nm). Künstlich erzeugte Nano-Partikel und nanoskalige Systemkomponenten besitzen neue Funktionalitäten und Eigenschaften, die gezielt zur Entwicklung neuer Produkte und Anwendungen genutzt werden.»

¹⁹⁹ Nach dem derzeitigen Kenntnisstand liegt bei Schichten kein Besorgnispotenzial vor, welches Anlass zu regulatorischen Aktivitäten geben würde.

1.3 **Definition der Forschungsstrategie der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) und des Umweltbundesamtes (UBA)**²⁰⁰

Ebenfalls 2006 wurde von den deutschen Bundesoberbehörden BAuA, BfR und UBA eine Strategie zur Erforschung der mit der Nanotechnologie verbundenen Gesundheits- und Umweltrisiken vorgestellt. Darin wurden auch die Begriffe «Nanotechnologie» und «Nanopartikel» definiert:

«Nanotechnologie bezeichnet die Herstellung, Untersuchung und Anwendung von Strukturen, molekularen Materialien und inneren Grenzflächen mit mindestens einer kritischen Dimension unterhalb 100 nm. Meist ist der Bereich von ca. 1 nm bis 100 nm im Fokus der Betrachtung, die Grenzen sind jedoch fließend, da im unteren Grenzbereich auch komplexe Moleküle problematisiert werden und im oberen Grenzbereich in bestimmten Verwendungsbereichen von nanotechnologischen Produkten die Grenze nach oben verschoben wurde (z. B. Textilherstellung). Die Agglomerate und Aggregate der Nanopartikel, Nanoröhren, Nanofasern etc., die teils grösser als 100 nm sind, sollten ebenfalls Gegenstand der Betrachtung sein, sofern eine nanostrukturierte Gestalt oder die durch die Nanoskaligkeit bedingte Funktionalität erhalten bleiben.»

1.4 **Definition des Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR)**²⁰¹

Der wissenschaftliche Ausschuss «Neu auftretende und neu identifizierte Gesundheitsrisiken» greift in seiner Definition aus dem Jahre 2007 ebenfalls den Aspekt auf, dass synthetische Nanomaterialien oftmals nicht in einer homogenen Partikelgrößenverteilung vorliegen.

²⁰⁰ Vgl. http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nano_forschungsstrategie.pdf.

²⁰¹ vgl. http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihr/docs/scenihr_o_010.pdf.

«The nanomaterial status is characterised by at least one dimension below 100 nm, which may be accompanied by new physico-chemical properties. However, it is recognised that at this stage in the rapid evolution of nanoscience and nanotechnology it is not possible to be scientifically precise over inclusion and exclusion criteria for defining a substance as nanomaterial. For example, most samples of nanoparticles will be polydisperse and may well include a minority of particles greater than 100 nm in diameter as well as the majority that are below this limit.»

2. Spezifische Definitionen für Nano-Lebensmittel

Bei Definitionen, die sich speziell auf nanotechnologische Anwendungen im Lebensmittelsektor beziehen, fällt auf, dass von Forschungsinstitutionen und Behörden ein weiterer Definitionsansatz gewählt wird, der auch Lebensmittel einschliesst, die mithilfe nanotechnologischer Methoden hergestellt wurden.

2.1. Definition des Institute for Nanotechnology der University of Stirling

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

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

Eine ähnliche Definition verwendet auch Cientifica (2006) in seinem Bericht «Nanotechnologies in the Food Industry».

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

2.2. Bund für Lebensmittelrecht und Lebensmittelkunde (BLL)²⁰²

Eine engere Definition wurde vom Bund für Lebensmittelrecht und Lebensmittelkunde in Deutschland vorgenommen. Dabei unterscheidet der BLL bei Nanotechnologie im Lebensmittelsektor v.a. in zwei Anwendungsfelder. Demnach handelt es sich zum einen um

- die Anwendung von neuartigen nanoskaligen Materialien unmittelbar als Zutaten von Lebensmitteln (z.B. Lebensmittelzusatzstoffe oder neuartige funktionelle Zutaten) sowie
- die Anwendung von neuartigen nanoskaligen Materialien auf bzw. in Lebensmittelbedarfsgegenständen wie Verpackungsmaterialien (z.B. zur Erzielung funktioneller Oberflächen, Packstoffe mit integrierten Indikatoren oder neuen Barriereigenschaften) oder Prozessmaterialien (z.B. zur Verbesserung der Oberflächenbeschaffenheit und Reinigbarkeit der Anlagen).

Weiter heisst es:

«Strikt abzugrenzen von neuen Nanomaterialien sind die in der Lebensmittelverarbeitung nicht unüblichen Technologien, die auf der Herstellung von Kleinstpartikeln beruhen. Auch gibt es Lebensmittelinhaltsstoffe, die naturgegeben in nanoskaliger Form vorliegen. Es handelt sich in solchen Fällen jedoch nicht um die Verwendung neuartiger nanoskaliger Materialien, sondern um bekannte Lebensmittelinhaltsstoffe bzw. bereits als Lebensmittel

²⁰² Vgl. <http://www.bll.de/themen/nanotechnologie>.

bekannte Substrate (z.B. Stärke- und Eiweisspolymere), die gegebenenfalls prozessbedingt in geänderter Dimensionierung verwendet werden. Insofern sind etablierte Technologien, die z.T. seit Jahrzehnten als sichere Verfahren der Lebensmittelherstellung angewandt werden, wie z.B. Emulgation und Homogenisierung, sowie Verfahren, die auf den Eigenschaften von Kolloiden mit Teilchengrößen im nanoskaligen Bereich beruhen, korrekterweise nicht mit dem Begriff «Nanotechnologie» zu bezeichnen.»

Anhang 3. Informationsquellen für die Marktrecherche

Im Rahmen der Recherche des Produkt- und Forschungsmarktes wurde auf folgende Informationsquellen zurückgegriffen.

1. Literatur/Monographien

Die verwendeten Quellen befinden sich im Literaturverzeichnis der Studie.

2. Datenbanken

Folgende Datenbanken wurden bei der Recherche berücksichtigt:

- **Produktdatenbank** des Woodrow Wilson International Center for Scholars: <http://www.nanotechproject.org/index.php?id=44&action=advanced>; die Woodrow Wilson Datenbank ist die meistzitierte Datenbank, wenn es um bereits verfügbare Produkte der Nanotechnologie geht. Das Woodrow Wilson International Center for Scholars vertraut den Herstellerangaben, das heißt, es werden solche Produkte in die Datenbank aufgenommen, von denen die Hersteller angeben, dass sie Nanopartikel enthalten; dabei sind die Angaben gut nachvollziehbar, denn die Produkte enthalten immer Links zu den Internetseiten der Unternehmen.²⁰³ Einschränkung muss allerdings erwähnt wer-

²⁰³ Die Datenbank des Woodrow Wilson International Centre for Scholars enthält in der Rubrik «Food & Beverage – Supplements» Einträge, die nicht in den Lebensmittelbereich, sondern in den Kosmetikbereich gehören. Dabei handelt es sich z.B. um «Q10 Skin Care Nano Lipobelle Coenzyme Q10» von Tina Concept Co. Ltd., die «Colloidal Silver Cream» von Skybright

den, dass die Einstufung durch die Hersteller im Grunde genommen nicht ausreichend ist, da diese oftmals keine Angaben zur stofflichen Spezifikation und der Grössenverteilung der Nanomaterialien machen.

- **Produktdatenbank** der Aktionslinie Hessen-Nanotech, ein Projekt des Hessischen Wirtschaftsministeriums zur Technologie- und Wirtschaftsförderung, in Zusammenarbeit mit hessischen Firmen; die Quellenangaben sind allerdings bisweilen unvollständig, weil nicht immer Links zu den Herstellerunternehmen gesetzt werden (<http://www.nanoproducts.de>). Auch die Produktangaben in dieser Datenbank basieren auf Charakterisierung der Nanomaterialien durch die Hersteller.
- **Patentdatenbanken:** Das Europäische Patentamt vermittelt den Zugang zu esp@cenet,²⁰⁴ dem europäischen Netz von Patentdatenbanken, das auch über weltweite Patente Informationen enthält; die erweiterte Suchmaske erlaubt nicht nur eine Stichwortsuche in Titel und Abstract, sondern auch nach Anmelder des Patentes, wodurch eine Recherche nach Unternehmen möglich ist; zusätzlich wurden Datenbanken abgefragt, die als Schwerpunkte US-Patente und US-Patentanmeldungen führen (<http://www.freepatentsonline.com>; <http://www.uspto.gov/patft/index.html>).²⁰⁵

Igami u. Okazaki (2007) betonen in einem Report für die OECD, dass die Analyse einer Technologie, die sich nur auf wissenschaftliche Publikationen stützt, kein ausreichendes Verständnis des sozial-ökonomischen Einflusses der wissenschaftlichen Entdeckungen ermöglicht. Über Patente hingegen könne direkter und besser messbar der Output von Forschung und Entwicklung und erfinderischen Aktivitäten abgebildet werden. Allerdings müssen auch Patente mit einer gewissen Zurückhaltung ausgewertet werden, da der Schutzgegenstand

Natural Health, «Nanoceuticals™ Microbright Tooth Powder» von RBC Life Sciences®, Inc. oder das «Nanoceuticals™ Hydracel» von RBC Life Sciences®, Inc., das die Oberflächenspannung des Trinkwassers herabsetzen und die Hydratation der Zellen erhöhen soll.

²⁰⁴ Vgl. <http://ep.espacenet.com>.

²⁰⁵ Die Datenbank des Eidgenössischen Instituts für Geistiges Eigentum wurde nach einem Vergleich mit den Informationen aus esp@cenet nicht weiter konsultiert. Grund hierfür ist vor allem, dass «durch das Übereinkommen über die Erteilung europäischer Patente (Europäisches Patentübereinkommen, EPÜ) [...] mit einem einzigen Erteilungsverfahren Patentschutz in mehr als 30 europäischen Staaten erhalten (wird), inklusive der Schweiz und Liechtenstein» (Eidgenössisches Institut für Geistiges Eigentum <http://www.ige.ch/D/patent/p12.shtm>).

so breit wie möglich definiert wird. Patenttexte beispielsweise zu Formulierungen geben die Tröpfchengrösse sehr weit an; die Untergrenze kann eventuell mit der beschriebenen Technik nicht erreicht werden. Dem Patenttext ist also nicht zu entnehmen, ob die beschriebene Technologie tatsächlich Nanotechnologie ist (End 2007). Teilweise muss auch die technische Umsetzbarkeit von Patenten in Zweifel gezogen werden, wie etwa bei dem «Marspatent», das einen nanoskaligen Überzug aus TiO_2 für Schokoriegel beschreibt. Die Herstellung eines entsprechenden Überzuges würde allerdings so hohe Temperaturen erfordern, die von Schokoriegeln nicht unbeschadet überstanden werden (siehe auch Kapitel 5.6.2).

- **Literaturdatenbank:** ISI Web of Science Database; folgende Journals wurden extra nach den Stichworten «nano» in Kombination mit «food», «edible», «oral» und «biodegradable» recherchiert: Journal of Nanoparticle Research, Food Research International, Innovative Food Science and Emerging Technologies. Durch die Auswertung der wissenschaftlichen Veröffentlichungen ergab sich allerdings kein zusätzlicher Beitrag zur Analyse des Produktmarktes, jedoch erwiesen sich diese für die Analyse von Forschungsansätzen als hilfreich.

3. Internetrecherche

Die Internetrecherche umfasste

- die Internetauftritte von zahlreichen Unternehmen,
- das Internetportal www.foodproductiondaily.com,
- das Internetportal www.nanotech-now.com,
- Online-Apotheken und Online-Wellness-Shops sowie
- eine allgemeine Google-Recherche («Nano» und «Lebensmittel» allgemein sowie in Kombination mit spezifischen Akteursnamen, Produktgruppen, Produkten, Markennamen u.ä.).

4. Auswertung von Newslettern

Im Rahmen der Quellenauswertungen wurde auch auf die nachfolgend aufgeführten Newsletter zurückgegriffen:

- Nanoforum Newsletter (<http://www.nanoforum.org>): Betreiber der Webseite ist die «European Economic Interest Grouping», die das Institute of Nanotechnology in Grossbritannien leitet,
- Nanocap Newsletter (<http://www.nanocap.eu>): Nanocap ist ein Projekt, das «Capacity Building» bei NGOs verfolgt und durch das «FP6 Science and Society Programme» der Europäischen Kommission gefördert wird; in dem Zusammenhang erstellen das European Environmental Bureau (EEB) und der Bund für Umwelt- und Naturschutz in Deutschland (BUND) projektinterne Infomailings,
- Informationsdienst Wissenschaft e.V. – idw (<http://idw-online.de>),
- Foodline des «food-monitor» (<http://www.food-monitor.de/index.php>).

5. Screening des Angebots im schweizerischen Lebensmittel-einzelhandel

Um das spezifische Lebensmittelangebot in der Schweiz auf mögliche Nanokomponenten hin zu untersuchen, wurde am 5. Oktober 2007 in Basel bei mehreren Handelsketten ein Screening des jeweiligen Angebots vorgenommen. Im Einzelnen wurden dabei folgende Filialen besucht:

- Migros, Claraplatz 2, 4058 Basel
- Coop, Clarastr. 41, 4058 Basel
- Denner, Clarastr. 2, 4058 Basel
- Manor, Greifengasse 22, 4005 Basel
- Aldi Suisse, Claraplatz, 4058 Basel
- Globus, Marktplatz 1/2, 4001 Basel

Durch die Auswahl der Unternehmen kann davon ausgegangen werden, dass bei dieser Untersuchung das schweizerische Lebensmittelangebot in seiner ganzen Bandbreite (vom Discounter bis zum Delikatesshändler) und bezüglich der wichtigsten Akteure²⁰⁶ abgedeckt wurde.

Schwerpunkt des Screenings waren zum einen Lebensmittel, bei denen aufgrund ihrer pulverförmigen/granulatartigen Beschaffenheit nanoskalige Zusatzstoffe wie Riesel- und Fließhilfsmittel vermutet werden konnten. Darüber hinaus wurden in Hinblick auf Nanocarrier-Systeme wie Micellen insbesondere auch Sport- und Wellnessgetränke besonders beachtet.

Einen dritten Untersuchungsschwerpunkt bildeten schliesslich Lebensmittelverpackungen mit Nanokomponenten (z.B. PET-Flaschen für kohlenensäurehaltige Getränke, Standbodenbeutel, UV-Schutz-Verpackungen etc.).

Produkte, bei denen aufgrund der deklarierten Inhaltsstoffe sowie des Erscheinungsbildes das Vorhandensein von Nanokomponenten wahrscheinlich ist, wurden dokumentiert bzw. käuflich erworben und einer weitergehenden Recherche einschliesslich einer Anfrage bei den jeweiligen Handelsketten unterzogen. Ferner wurden Produkte erfasst, bei denen Nanokomponenten zweifelsfrei identifiziert werden konnten.

²⁰⁶ Migros, Coop und Denner sind die drei wichtigsten Handelsketten mit einem Marktanteil von insgesamt über 75% (vgl. <http://www.jurablogs.com/de/migros-denner-kollektive-marktbeherrschung-im-schweizer-detailhandel>).



www.ta-swiss.ch

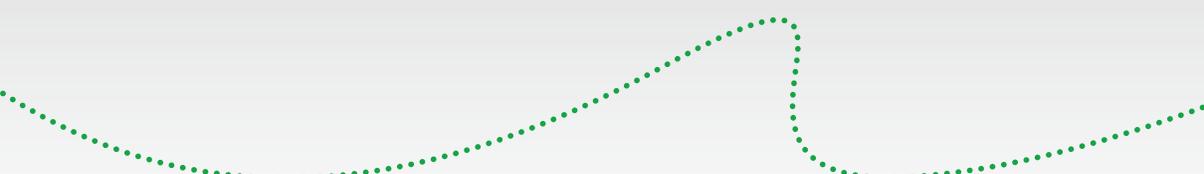


Ein Kompetenzzentrum der
Akademien der Wissenschaften Schweiz

Synthetische Nanomaterialien sind Zusatzstoffe wie Siliziumdioxid, Carotinoide und Micellen, die schon seit vielen Jahren verwendet werden und toxikologisch überprüft sind. Sie ermöglichen ein verbessertes Handling, eine verbesserte Optik oder eine Steigerung der Bioverfügbarkeit von Nährstoffen.

Bislang sind auf dem Schweizer Markt nur wenige nanoskalige Lebensmittelzusatzstoffe bzw. mit solchen Komponenten versehene Lebensmittel verfügbar. Auf aussereuropäischen Märkten werden hingegen auch Nahrungsergänzungsmittel mit nanoskaligen Edelmetallen mit fragwürdigem Nutzen und z.T. toxikologisch bedenklichen Eigenschaften angeboten.

Diese Studie zeigt die Chancen und Risiken des Einsatzes von synthetischen Nanomaterialien bei Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen auf.



v/d/f

TA-SWISS 53/2009

ISBN 978-3-7281-3234-5 (Print)

ISBN 978-3-7281-3251-2

DOI-NR. 10.3218/3251-2