

Herausgegeben von René Zimmer, Rolf Hertel, Gaby-Fleur Böll

BfR-Delphi-Studie zur Nanotechnologie

Expertenbefragung zum Einsatz von Nanomaterialien in Lebensmitteln und Verbraucherprodukten

Bearbeitet durch:

René Zimmer (Bundesinstitut für Risikobewertung)

Antje Grobe, Alexander Jäger, Milena Riede, Viola Schetula, Michael Veller (ZIRN – Zentrum für Interdisziplinäre Risikoforschung und Nachhaltige Technikentwicklung der Universität Stuttgart)

Impressum

BfR Wissenschaft

Herausgegeben von René Zimmer, Rolf Hertel, Gaby-Fleur Böhl

BfR-Delphi-Studie zur Nanotechnologie –
Expertenbefragung zum Einsatz von Nanomaterialien in
Lebensmitteln und Verbraucherprodukten

Bundesinstitut für Risikobewertung
Pressestelle
Thielallee 88–92
14195 Berlin

Berlin 2009 (BfR-Wissenschaft 04/2009)
171 Seiten, 56 Abbildungen, 49 Tabellen
€ 10,-

Druck: Umschlag, Inhalt und buchbinderische Verarbeitung
BfR-Hausdruckerei Dahlem

ISSN 1614-3795 ISBN 3-938163-45-3

Inhalt

1	Einleitung	9
2	Die Delphi-Methode als Instrument der Risiko-Früherkennung	11
3	BfR-Experten-Delphi-Befragung zur Nanotechnologie	13
3.1	Zielsetzung	13
3.2	Ablauf	13
3.3	Soziodemographische Daten und Stakeholderverteilung	16
3.3.1	Geschlechterverteilung	16
3.3.2	Stakeholderverteilung	17
4	Nanomaterialien	21
4.1	Gefährdungspotenzial	21
4.1.1	Toxizität von ausgewählten Nanomaterialien in verschiedenen Aggregatzuständen	22
4.1.2	Toxische Potenziale einzelner Nanomaterialien	23
4.1.3	Kriterien für Toxizitätspotenziale	24
4.1.4	Beschreibung der Wirkmechanismen	27
4.1.5	Faktoren für karzinogene Wirkungen von Nanomaterialien	36
4.2	Exposition	39
4.2.1	Verbrauch von Nanomaterialien	39
4.2.2	Expositionsweg	41
4.2.3	Oraler Expositionsweg	44
4.2.4	Dermaler Expositionsweg	45
4.2.5	Inhalativer Expositionsweg	49
4.2.6	Empfehlungen für den Arbeitsschutz	50
4.3	Fazit zu Risiken von Nanomaterialien	52
5	Nanoprodukte	53
5.1	Wirtschaftliche Bedeutung von Nanotechnologien	53
5.1.1	Gesamtumsatz mit Nanoprodukten	53
5.1.2	Marktreife von Nanoprodukten	55
5.1.3	Marktreife von Nanoprodukten im Bereich Oberflächen	56
5.1.4	Marktreife von Nanoprodukten im Bereich Textilien	59
5.1.5	Marktreife von Nanoprodukten im Bereich Kosmetika	61
5.1.6	Marktreife von Nanoprodukten im Lebensmittelbereich	63
5.2	Mögliche gesundheitsschädliche Effekte von Nanoprodukten	65
5.2.1	Einschätzung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte von Nanoprodukten insgesamt	65
5.2.2	Einschätzung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte für Anwendungen der Nanotechnologie im Bereich Oberflächen	66
5.2.3	Einschätzung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte für Anwendungen der Nanotechnologie im Bereich Textilien	68
5.2.4	Exposition durch Nanomaterialien aus Oberflächenbeschichtungen und Textilien	69
5.2.5	Einschätzung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte für Anwendungen der Nanotechnologie im Bereich Kosmetika	72

5.2.6	Exposition durch Nanomaterialien in Kosmetik- und Pharmaprodukten	74
5.2.7	Einschätzung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte für Anwendungen der Nanotechnologie im Lebensmittelbereich	75
5.2.8	Exposition durch Nanomaterialien in Lebensmitteln und Nahrungsergänzungsmitteln	77
5.2.9	Nanotechnologische Anwendungen mit Fullerenen	78
5.2.10	Nanotechnologische Anwendungen mit Silber	79
5.2.11	Anwendung von Nanomaterialien in Aerosolen	80
5.3	Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte	81
5.3.1	Einschätzung der Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte insgesamt	81
5.3.2	Einschätzung der Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte im Bereich Oberflächen	82
5.3.3	Einschätzung der Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte im Bereich Textilien	84
5.3.4	Einschätzung der Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte im Bereich Kosmetika	85
5.3.5	Einschätzung der Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte im Lebensmittelbereich	87
5.4	Weitere Bewertungselemente zur Charakterisierung von Risiken	88
5.4.1	Bedeutung weiterer Risikobewertungselemente für Nanoprodukte	89
5.4.2	Bedeutung weiterer Risikobewertungselemente für Nanoprodukte im Bereich Oberflächen	90
5.4.3	Bedeutung weiterer Risikobewertungselemente für Nanoprodukte im Bereich Textilien	90
5.4.4	Bedeutung weiterer Risikobewertungselemente für Nanoprodukte im Bereich kosmetische Anwendungen	91
5.4.5	Bedeutung weiterer Risikobewertungselemente für Nanoprodukte im Lebensmittelbereich	92
5.5	Konsequenzen für den Verbraucherschutz	93
5.6	Fazit	94
6	Risikoregulierung	97
6.1	Nano-spezifische Regulierungen	97
6.1.1	Bestehende rechtliche Regularien	97
6.1.2	Anpassung bestehender Regularien	98
6.1.3	Bedarf einer neuen Nano-Regulierung	99
6.1.4	Informationsbasis für Regulationsempfehlungen	99
6.1.5	Freiwillige Selbstverpflichtungen der Unternehmen	101
6.1.6	Inhalte freiwilliger Selbstverpflichtungen	101
6.2	Entwicklung von Handlungsstrategien zur Risikovermeidung und Risikominimierung	102
6.3	Produktkennzeichnung und Entscheidungsfreiheit	105
6.3.1	Entscheidungsfreiheit der Verbraucher	105
6.3.2	Kennzeichnung von Nanoprodukten	106
6.4	Fazit	108
7	Zusammenfassung	109
8	Literaturverzeichnis	111

9	Anhang	113
9.1	Fragebogen Befragungsrunde 1	113
9.2	Fragebogen Befragungsrunde 2	133
10	Abbildungsverzeichnis	161
11	Tabellenverzeichnis	165

Vorwort

Das frühzeitige Erkennen von gesundheitlichen Risiken in verbraucherrelevanten Bereichen ist Aufgabe des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) und Teil seiner täglichen Arbeitspraxis. Ohne die Früherkennung von Risiken ist die konsequente und transparente Anwendung des Vorsorgeprinzips im gesundheitlichen Verbraucherschutz nicht möglich. In diesem Kontext ist auch das Thema Nanotechnologie für das BfR relevant; denn auf Basis der Nanotechnologie hergestellte neue Materialien finden zunehmend Verwendung im Produktionsprozess und in Verbraucherprodukten. Fragen zur Sicherheit und zum potenziellen Risiko der Nanotechnologie werden daher immer drängender.

Das BfR führte deshalb im Jahr 2006 das interdisziplinäre Forschungsprojekt „BfR-Delphi-Studie zur Nanotechnologie – Expertenbefragung zum Einsatz von Nanomaterialien in Lebensmitteln und Verbraucherprodukten“ durch. Ziel dieses Projektes war es, durch den Einbezug verschiedener gesellschaftlicher Gruppen das Technologiefeld Nanotechnologie anhand potenzieller Risiken vorzustrukturieren und damit die Grundlage für zukünftige Risikobewertungen des BfR zu nanotechnologischen Anwendungen zu legen. Zur Umsetzung dieses Ziels wurde die Delphi-Methode genutzt. Diese Methode wird häufig zur Technologie-Vorausschau, aber auch zur Früherkennung von undeutlichen Risiken neuer Technologien eingesetzt. Sie basiert auf strukturierten Gruppenbefragungen und nutzt sowohl das Wissen als auch intuitiv vorliegende Informationen der Teilnehmer.

Im Prozess der Delphi-Befragung wurden 70 Expertinnen und Experten aus Forschung, Industrie, Behörden und Nichtregierungsorganisationen in zwei Befragungsrunden systematisch zu möglichen Risiken der Nanotechnologie für die Verbraucher befragt. Durch das Feedback aus der ersten Runde hatten die Experten die Möglichkeit, ihre persönlichen Einschätzungen mit dem Meinungsspektrum aller Teilnehmer abzugleichen. In dem Projekt wurden die bislang verwendeten oder potenziell verwendbaren Nanomaterialien erfasst und konkreten Anwendungen zugeordnet. Auf der Grundlage des verfügbaren Wissens zu Exposition und Gefährdungspotenzial wurden die Anwendungen anschließend nach der Höhe des wahrscheinlichen Risikos unterteilt und Strategien zur Minimierung der Risiken entwickelt. In zwei nachgelagerten Expertenworkshops wurden die Ergebnisse analysiert und in einem Risikobarometer zusammengestellt.

Mein Dank gilt den Expertinnen und Experten, die im Sinne der Risikofrüherkennung in diesem Projekt „schwache Signale“ gebündelt haben, um u. a. zukünftige Entwicklungen und potenzielle Risiken nanotechnologischer Anwendungen zu prognostizieren. Das Ergebnis ist ein erster Wegweiser, in welchen Bereichen die Gesundheit der Verbraucher gefährdet sein könnte und wo institutionelles Handeln erforderlich wird.



Professor Dr. Dr. Andreas Hensel
Präsident des Bundesinstituts für Risikobewertung

1 Einleitung

Nanotechnologien gelten als Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts. Die Hoffnungen und Erwartungen, die in sie als Motor für Innovationen gesetzt werden, sind enorm. „Schlüsseltechnologien sind die Eintrittskarten in die Zukunft“, so Bundesministerin Annette Schavan in ihrem Vorwort zur „Nano-Initiative – Aktionsplan 2010“. Die deutsche Bundesregierung hat mit dem Aktionsplan 2010 die Schwerpunkte ihrer ressortübergreifenden Hightech-Strategie identifiziert. Kern ist die Umsetzung nanotechnologischer Forschungsergebnisse in vielfältige Innovationen, die Heranführung weiterer Branchen und Unternehmen an die Nanotechnologien und die frühzeitige Abstimmung der verschiedenen Politikfelder, um Innovationshemmnisse abzubauen. Begleitet wird dieser Aktionsplan von einem umfassenden Dialogprogramm unter Beteiligung der verschiedenen Branchen, der Wissenschaft und der Öffentlichkeit. Als besondere Herausforderung wird die wissenschaftliche Risikobewertung, der sichere, verantwortungsvolle Umgang im Sinne der Verbraucheraufklärung, des Verbraucherschutzes und des Arbeitsschutzes betrachtet. Fragen zur Normung, Standardisierung und zu den Prüfstrategien werden ebenfalls im Mittelpunkt stehen. Zu den Fördermaßnahmen der Bundesregierung gehören deshalb auch ressortübergreifende Forschungsaktivitäten zur frühzeitigen Risikoabschätzung und -bewertung.

Das Bundesinstitut für Risikobewertung in Berlin (BfR) als in Deutschland zuständige unabhängige Bundesinstitution hat in diesem Zusammenhang gemeinsam mit der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin sowie dem Umweltbundesamt eine Forschungsstrategie zur Ermittlung potenzieller Risiken der Nanotechnologie entwickelt. Ziel dieser Forschungsstrategie ist es, das Forschungsgebiet zu strukturieren, Methoden zur Messung und Charakterisierung der Nanopartikel zu entwickeln, Informationen zur Exposition, zu toxikologischen und ökotoxikologischen Wirkungen zu erheben und die Entwicklung einer risikobezogenen Test- und Bewertungsstrategie zu fördern. Parallel dazu wurde vom BfR im Jahr 2006 eine Delphi-Befragung von Experten aus dem Gebiet der Nanotechnologie durchgeführt. Ziel war es, die verwendeten oder potenziell verwendbaren Nanomaterialien zu erfassen, sie konkreten Anwendungen zuzuordnen und aus diesen Informationen Rückschlüsse auf die Exposition des Verbrauchers zu ziehen. Das Projekt hatte mehrere Erkenntnisinteressen:

- Expertenwissen zur wissenschaftlichen Risikobewertung wird aus unterschiedlichen Blickwinkeln zusammengetragen und auf Konsistenz geprüft. Mögliche Unterschiede in den verwendeten Datenquellen und bei der Bewertung werden sichtbar gemacht.
- Die Ergebnisse können Aufschluss darüber geben, wie hoch der Wissensstand in den verschiedenen Gruppen ist und in welchen Themenbereichen die Bewertungen so weit auseinander liegen, dass mit einer öffentlichen Kontroverse zu rechnen ist.
- Aus den Bewertungen der Experten werden Themenfelder mit besonderem Forschungs- und Handlungsbedarf identifiziert und Prioritäten für die Handlungs- und Kommunikationsstrategien des BfR abgeleitet.

2 Die Delphi-Methode als Instrument der Risiko-Früherkennung

Klassische Delphi-Verfahren wurden bereits 1964 von der RAND Co. entwickelt und waren ursprünglich auf die Bewertung von Verteidigungstechnologien ausgerichtet (Gordon & Helmer 1964). Die Delphi-Methode charakterisiert dabei einen strukturierten Kommunikationsprozess innerhalb einer spezifischen Gruppe, bei der individuelles Wissen oder Einschätzungen in effektiver Weise durch den Prozess gebündelt werden, so dass auch komplexe Themen der Technologievorausschau und -bewertung (technology forecasting) in der Gruppe bearbeitet werden können (Linstone & Turoff 1975). Delphi-Befragungen werden seit den 70er Jahren vor allem als Prognoseinstrument im Rahmen von Technikfolgenabschätzungen zur Risikobewertung verwendet und haben das Ziel, Unsicherheiten in Bezug auf Wissen und Wissensbewertungen, Eintrittswahrscheinlichkeiten und Handlungsoptionen durch die Befragung einer größeren Expertengemeinschaft zu reduzieren. Andere Ansätze zielen eher auf den Aspekt der wissenschaftlichen und technischen Entwicklungspotenziale und fragen nach Hemmnissen, dem Zeitpunkt bis zur Marktreife oder bis zur Marktdurchdringung (Cuhls et al. 1998).

Das klassische Delphi-Verfahren läuft folgendermaßen ab: Experten wird ein standardisierter Fragebogen zugeschickt und um Beantwortung gebeten. Die Befragung kann mehrere Male wiederholt werden. Dabei werden die Bewertungen der jeweils vorangehenden Befragungsrunden offengelegt und den Experten so die Möglichkeiten gegeben, die eigene Bewertung zu korrigieren (Aichholzer 2002). Moderne Delphi-Verfahren werden zur Beschränkung des Aufwandes in der Regel in zwei Runden durchgeführt (Grunwald 2002, S. 211). Dies ist auch beim vorliegenden Forschungsprojekt der Fall.

Hintergrund der Delphi-Methode ist die Annahme, dass Expertinnen und Experten Risiken aufgrund von Informationen bewerten, die unterschiedliche Qualität haben können (eigene Forschung, Primär- und Sekundärliteratur, Medienberichte, Erfahrungen etc.) und die unterschiedliche Bewertungskontexte aufweisen (wissenschaftliche Disziplin, Interessen, Werte, Einstellungen etc.). Der Austausch von Wissen über mehrere Runden hat den Vorteil, dass Rückkopplungsprozesse möglich sind, die eine Überprüfung der eigenen Bewertung fördern. In der Regel verringert sich die Spannbreite der Bewertungen, die Tendenzen werden eindeutiger sichtbar. Einige Delphi-Befragungen streben in mehreren Runden eine konsensuale Bewertung an. Das vorliegende Forschungsprojekt zielt auf eine Verdichtung der Bewertungen über zwei Runden sowie das Aufzeigen von Konsens- und Dissensbereichen.

Die Fragetechnik klassischer Delphi-Methoden beruht auf der Bewertung von spezifischen Sachverhalten oder von Thesen bzw. Szenarien, die zukünftige Anwendungen beschreiben. In einigen Delphi-Verfahren werden die Experten dabei aufgefordert, den Grad der eigenen Informiertheit oder die Sicherheit ihrer Bewertung mit anzugeben. Auf diese explizite Einschätzung wurde im Nano-Delphi verzichtet. Dafür wurde die Kategorie „weiß nicht“ bei allen Fragestellungen konsequent mitgeführt und zusätzlich die Möglichkeit zu qualitativen Kommentaren und Anmerkungen gegeben. Damit wurde zugleich das Grundproblem angegangen, dass bei klassischen Delphi-Verfahren die Begründungen für die einzelnen Bewertungen nicht mit erhoben werden können. Neuere Ansätze (Webler & Renn 1991; Renn 1994) beziehen diese Problematik mit ein und entwickelten interaktivere Formen wie das Gruppen-Delphi-Verfahren, bei dem zusätzliche Workshops zur Aufnahme der Begründungszusammenhänge durchgeführt werden.

3 BfR-Experten-Delphi-Befragung zur Nanotechnologie

3.1 Zielsetzung

Nanotechnologien werden in einer Vielzahl von Branchen angewendet und beziehen verschiedene Herstellungsverfahren, Substanzen und Produkte mit ein. Angesichts der Breite des Untersuchungsgegenstandes hat das BfR entsprechend seiner fachlichen Zuständigkeit die Forschungsschwerpunkte in den verbrauchernahen Anwendungsbereichen Lebensmittel, Kosmetika und Bedarfsgegenstände (Textilen und Oberflächenbeschichtungen) gelegt. Die Zielsetzung des Delphi-Verfahrens lässt sich wie folgt beschreiben:

Generierung von Expertenbewertungen, ob potenziell schädigende Effekte der Nanotechnologien erwachsen könnten:

- aus der Natur der Nanopartikel/Nanomaterialien selbst (z. B. ihrer chemischen Reaktivität)
- aus Eigenschaften der aus Nanopartikeln/Nanomaterialien hergestellten Produkte oder
- aus Aspekten des Herstellungsprozesses, die sich im Endprodukt zeigen.

Hierbei sollte außerdem die Einschätzung der Expertinnen und Experten berücksichtigt werden:

- welche Anwendungen von Nanotechnologien in den definierten Bereichen bereits jetzt oder zukünftig realisiert werden,
- welche Risiken und nicht erwünschten Folgen erwartet werden und
- welche Anwendung dabei besonders für Verbraucher Risiken erwarten lassen.

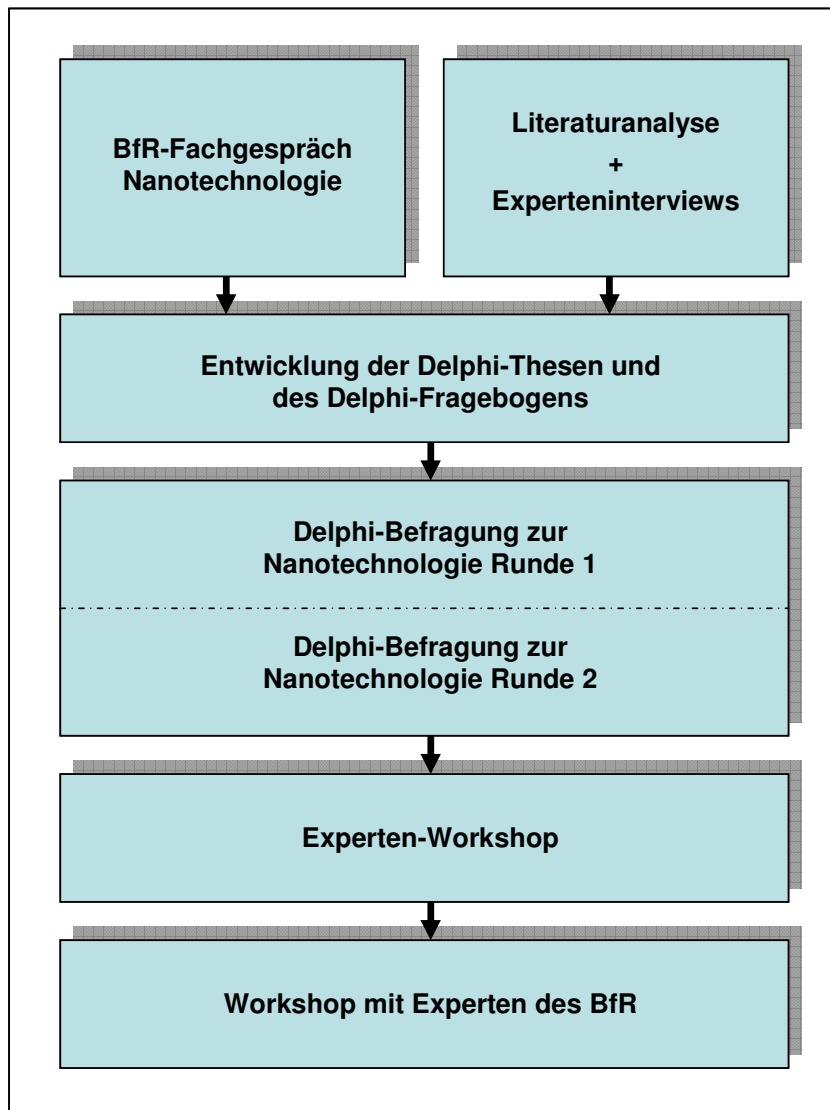
Eine weitere Aufgabe bestand darin, den Handlungsbedarf für das BfR zu ermitteln und die Ergebnisse in Form eines Risikobarometers darzustellen, das Risikotendenzen aufzeigt. Das Risikobarometer wurde mit Expertinnen und Experten des BfR diskutiert.

3.2 Ablauf

Die BfR-Delphi-Studie zu Nanotechnologien in den Bereichen Nahrungsmittel, kosmetische Erzeugnisse und Bedarfsgegenstände war als mehrstufiger Prozess konzipiert worden und wurde im Jahr 2006 durchgeführt. Einen Überblick gibt Abbildung 1.

Die Studie begann mit dem BfR-Expertengespräch „Nanotechnologie, ihre Produkte und Risiken für den Verbraucher“ am 26. März 2006. Eingeladen waren Expertinnen und Experten verschiedener Disziplinen, wobei die inhaltlichen Schwerpunkte zu Nanotechnologien in Lebensmitteln, Kosmetika, Oberflächenbeschichtungen und Textilien abgedeckt wurden. Die Auswahl der Expertinnen und Experten berücksichtigte außerdem ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Industrie und Wissenschaft. Zielgruppen der Veranstaltung waren Mitarbeitende der Bundesoberbehörden, die die Veranstaltung u. a. zum Wissensaufbau nutzten, Vertretungen von Verbänden und Unternehmen, Umweltorganisationen und Verbraucherverbänden. Im Ergebnis konnte festgehalten werden, dass Nanomaterialien und Nanotechnologie zwar bereits vielfach bei der Herstellung von Verbraucherprodukten eingesetzt werden, aus Sicht der Risikobewertung jedoch noch viele Fragen offen sind. Eine besondere Herausforderung stellt die Entwicklung geeigneter Teststrategien zur Ermittlung gesundheitlicher Risiken dar.

Abb. 1: Ablauf der BfR-Delphi-Studie zur Nanotechnologie



Folgende Experten nahmen am Expertengespräch Nanotechnologie im Bundesinstitut für Risikobewertung teil:

- Dr. Gerhard J. Nohynek, L'OREAL Worldwide Safety Department – „Der Einsatz von Nanopartikeln in der kosmetischen Industrie“ (Nohynek 2006)
- Prof. Dr. Dr. Jürgen Lademann, Humboldt-Universität zu Berlin, Charité – „Risikobewertung von Nanopartikeln in kosmetischen Produkten“ (Lademann 2006)
- Prof. Dr. Tilman Butz, Universität Leipzig, Fakultät für Physik und Geowissenschaften – „Die Haut als Barriere für Nanopartikel – Das NANODERM-Projekt“ (Butz 2006)
- Prof. Dr. Peter Schurtenberger, Universität Freiburg, Departement Physik – „Nanotechnologie in der Lebensmittelindustrie“ (Schurtenberger 2006)
- Dr. Axel Siegner, neosino nanotechnologies AG – „Neue Nahrungsergänzungsmittel durch Nanotechnologie“ (Siegner 2006)
- Dr. Peter Wick, EMPA, Materials – Biology Interaction – „Einblick in die Nanotoxikologie: erste zytotoxikologische Ergebnisse von Nanopartikeln“ (Wick 2006)

- Prof. Dr. Horst-Christian Langowski, Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV – „Anwendung der Nanotechnologie in Materialien für den Lebensmittelkontakt“ (Langowski 2006)
- Dr. Dirk Hegemann, EMPA, Functional Fibers and Textiles – “Funktionale Textilien dank Nanotechnologie“ (Hegemann 2006)
- Prof. Dr. Wolfgang Bremser, Universität Paderborn, Chemie und Technologie der Beschichtungsstoffe – „Nanotechnologie bei der Beschichtung von Oberflächen“ (Bremser 2006)

Das BfR-Expertengespräch sowie mehrere Experteninterviews und Literaturstudien waren anschließend die Grundlage für die Entwicklung des eigentlichen Delphi-Fragebogens. Im Februar 2006 wurde das Zentrum für Interdisziplinäre Risikoforschung und Nachhaltige Technikentwicklung (ZIRN) der Universität Stuttgart beauftragt, gemeinsam mit dem BfR die Delphi-Befragung und zwei Workshops durchzuführen. Im nächsten Schritt wurde ein qualifizierter Adresspool von 100 Expertinnen und Experten aufgebaut. Die Experten kamen aus den Bereichen Wissenschaft, Wirtschaft, Nichtregierungsorganisationen (NGOs), Netzwerke¹ sowie Versicherungen und arbeiteten im Kontext Nanotechnologie zu einem oder mehreren der Themengebiete Lebensmittel, kosmetische Erzeugnisse und Bedarfsgegenstände (Oberflächen und Textilien). Als Auswahlkriterium stand die jeweilige fachliche Kompetenz für den spezifischen Themenbereich im Vordergrund. Nach Möglichkeit wurden Expertinnen und Experten ausgewählt, die sich bereits mit der Einschätzung und Bewertung von Nanomaterialien in Zusammenhang mit Risikofragen beschäftigt hatten und/oder in Dialogprojekte und Konferenzen zu möglichen Risiken von Nanotechnologien eingebunden waren.

Der Fragebogen wurde so konzipiert, dass die Anwendungsbereiche Lebensmittel, Kosmetik, Oberflächen und Textilien ebenso abgedeckt wurden wie grundlegende Fragen zur wirtschaftlichen Entwicklung, Toxizität und Exposition, zur Regulierung und zu weiteren Handlungsoptionen im Umgang mit Nanomaterialien (siehe Fragebogen im Anhang). Die Befragung wurde in zwei Runden durchgeführt. In der Regel antworteten die Expertinnen und Experten nur zu den Gebieten, in denen sie über Fachexpertise verfügten und machten dies im Fragebogen kenntlich.

Nach einem behördenübergreifenden Pretest im Juni 2006, an dem sich Expertinnen und Experten des BfR und der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin beteiligten, fand vom 03.–22.07.2006 die erste Runde der Delphi-Befragung statt. Die Expertinnen und Experten wurden dabei jeweils als Vertreter ihrer Organisation angeschrieben. Die Teilnehmenden hatten in der Regel die Aufgabe, die Beantwortung des Fragebogens organisationsintern zu koordinieren. Im Durchschnitt waren in den jeweiligen Institutionen 2–3 Expertinnen und Experten an der Beantwortung eines Fragebogens beteiligt. In einem Fall haben mehrere Abteilungen an der Beantwortung des Fragebogens mitgearbeitet. Von den 100 angeschriebenen Experten schickten 71 einen beantworteten Fragebogen zurück. Diese für solche Befragungen vergleichsweise hohe Rücklaufquote wurde durch persönlichen, telefonischen Vorkontakt, Anschreiben mit Fragebogen per E-Mail und persönliche Nachbetreuung bis zur Abgabe des Fragebogens erreicht. Als Begründung für eine Absage wurden in der Reihenfolge der Häufigkeit angegeben: zu kleines Zeitfenster, Arbeitsüberlastung oder zu wenig eigene Expertise auf den gefragten Gebieten. Einige Experten überschritten das Zeitfenster ohne Reaktion oder Angaben von Gründen und zwei Experten hielten die Fragestellungen nicht für sinnvoll.

Die zweite Delphi-Runde wurde vom 04.–26.10.2006 durchgeführt. Die Ergebnisse aus Runde 1 wurden den teilnehmenden Experten mit dem Versand des zweiten Fragebogens zur

¹ Unter dem Stichwort „Netzwerk“ wurden Personen zusammengefasst, die als Schlüsselfiguren in Nanotechnologie-Arbeitskreisen bzw. Nanotechnologie-Netzwerken über für diese Studie relevante Nanotechnologie-Expertise verfügen.

Verfügung gestellt (siehe Fragebogen im Anhang). Gleichzeitig wurden die Experten in der Runde 2 um eine erneute Einschätzung gebeten, um Veränderungen von Bewertungen im Zeitverlauf sichtbar zu machen. Die zweite Runde der Delphi-Befragungen wurde genutzt, um Vertiefungsfragen zu stellen, da einige Bewertungen in der ersten Runde starke Varianzen auswiesen oder Unklarheiten in den Fragestellungen aus Runde 1 sichtbar geworden waren. Von den 71 angeschriebenen Experten, die sich in Runde 1 beteiligt hatten, antworteten 56 Personen. Das entspricht einer Rücklaufquote von 78 % in Runde 2. Mit einer Rücklaufquote von 56 % bei 100 Teilnehmenden über zwei Runden liegt diese Delphi-Befragung weit über den sonst in solchen Studien erzielten Quoten, was u. a. auf die Aktualität des Themas, das Interesse der Expertinnen und Experten am gemeinsamen Wissensaufbau und die Bereitschaft zur Kooperation zurückzuführen ist.

Im Nachgang zur zweiten Runde der Delphi-Befragung wurde in Anlehnung an Formen des Gruppen-Delphi-Verfahrens ein Expertenworkshop angehängt. Der Expertenworkshop sollte einen starken dialogischen Charakter erhalten und die Anzahl der Teilnehmenden war deshalb auf zwölf Personen beschränkt. Ziel war es, die qualitativen Begründungszusammenhänge zu hinterfragen und stakeholderübergreifend das Wissen zu vertiefen. Die Auswahl der Teilnehmer erfolgte nach Kompetenz, aufgrund des Antwortverhaltens in den Fragebögen sowie im Sinne einer möglichst großen Spannweite an Einstellungen. Außerdem sollten die Stakeholdergruppen angemessen repräsentiert werden. Es nahmen teil:

- Industrie (3 Teilnehmende),
- Wissenschaft (3 Teilnehmende),
- NGOs (Umweltorganisationen 2 Teilnehmende, Verbraucherverbände 1 Teilnehmende),
- Versicherung (1 Teilnehmender) und
- Behörden (2 Teilnehmende).

Da auch die Themenbereiche Lebensmittel, Kosmetik und Bedarfsgegenstände vertreten sein sollten, aber nicht für jeden Bereich ein eigener Industrie- und Wissenschaftsvertreter entsandt werden konnte, wurden Expertinnen und Experten mit branchenübergreifendem Wissen oder Wissenschaftler mit vertieften Sachkenntnissen zu den Themengebieten ausgewählt, die zu klären waren (z. B. Abriebe von Textilien). In dem Workshop wurden Ergebnisse mit sehr großen Varianzen in den Bewertungen vertiefend diskutiert, begründet und dokumentiert. Einige offene Fragen konnten zusätzlich geklärt werden, z. B. zur inhalativen oder dermalen Exposition von Nanomaterialien, zu den Prüfkriterien von Nanomaterialien oder zu den Stakeholderdifferenzen. Vermisst wurde die Vertretung des Anwendungsbereiches der Lebensmittel, die bereits in der Delphi-Befragung unterrepräsentiert war.

3.3 Soziodemographische Daten und Stakeholderverteilung

3.3.1 Geschlechterverteilung

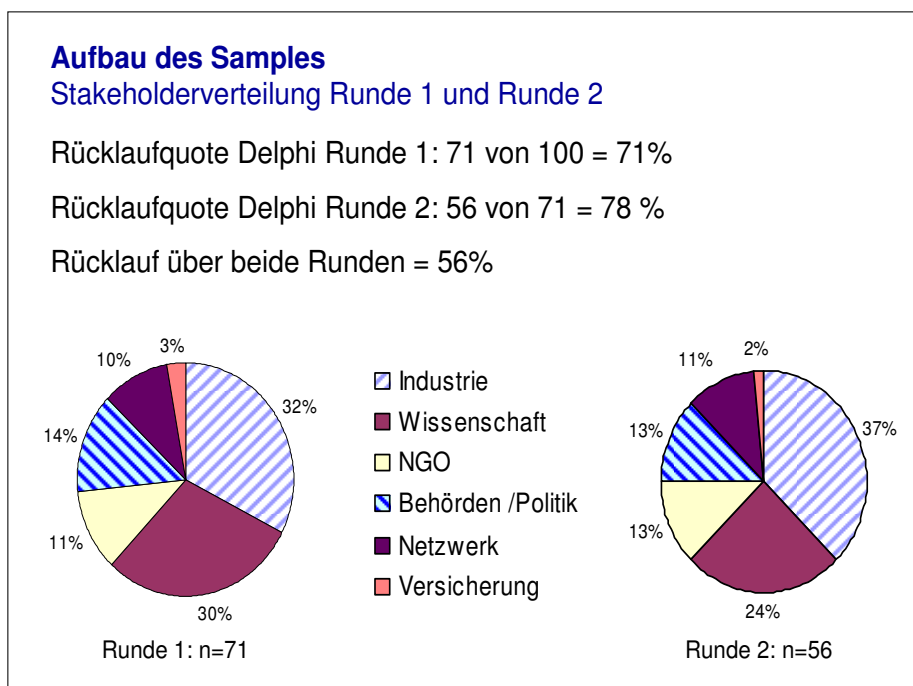
In Runde 1 befanden sich unter den 71 am Experten-Delphi teilnehmenden Personen 54 Männer und 17 Frauen. Im Bemühen, eine ausgeglichene Geschlechterverteilung zu erreichen, wurden Frauen bevorzugt befragt, wenn aus derselben Organisation bei gleicher Qualifizierung männliche und weibliche Teilnehmende zur Verfügung standen. Dennoch wurde in Runde 1 nur knapp eine Zwei-Drittel-Verteilung erzielt und die Geschlechterverteilung blieb in Runde 2 nahezu im gleichen Verhältnis: 43 Männer und 13 Frauen.

3.3.2 Stakeholderverteilung

Gemäß den Absprachen mit dem BfR als Auftraggeber wurde ein Sample mit drei annähernd gleich großen Stakeholdergruppen gebildet (siehe Abbildung 2).

- Der ersten Gruppe sind Expertinnen und Experten der forschenden und anwendenden Industrie zugeordnet, die in den vier Themenschwerpunkten Nahrungsmittel, Kosmetik, Oberflächen und Textilien arbeiten (Industrie: 23 Personen in Runde 1, 21 Personen in Runde 2).
- In der zweiten Gruppe sind Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zusammengefasst, wobei auf eine ausgewogene Verteilung von Grundlagenforschern und anwendungsbezogenen Forschern zu den vier Themenschwerpunkten geachtet wurde (Wissenschaft: 21 Personen in Runde 1, 14 Personen in Runde 2). In der Gruppe der Wissenschaftler war der größte Rückgang in Runde 2 zu verzeichnen. Absagen kamen hier aufgrund des laufenden Semesters und einer Vielzahl von Fachkongressen mehrfach vor.
- Eine dritte, sehr heterogene Gruppe bestand aus Expertinnen und Experten, die sich institutionell vorrangig mit der Risikobewertung von Nanotechnologien und den gefragten Anwendungsbereichen beschäftigen (27 Personen in Runde 1, 21 Personen in Runde 2). Dieser Gruppe sind aus Behörden und politischen Parteien 10 Personen in der ersten Delphi-Runde zugeordnet, in Runde 2 antworteten 7 Personen. Das BfR als Auftraggeber hatte sich von der Befragung ausgenommen. Von Seiten der Umweltorganisationen, Verbraucherschutzgruppen und Gewerkschaften (insgesamt NGOs) nahmen 8 Expertinnen und Experten in Runde 1 und 7 Personen in Runde 2 teil. Aus dem Bereich der Netzwerke waren 7 Personen in Runde 1 eingebunden, 6 Personen nahmen an Runde 2 teil. Versicherungen sind in Runde 1 mit 2 Personen vertreten, in Runde 2 nahm nur ein Versicherungsunternehmen an der Befragung teil. Gemeinsam ist dieser Gruppe, dass sich die Teilnehmer vorrangig mit den Risikofragen zu Nanotechnologien auseinandersetzen oder als zentrale Schlüsselfiguren in Nanotechnologie-Netzwerken über entsprechendes Wissen verfügen.

Abb. 2: Stakeholderverteilung nach Delphi-Befragung 1 und Delphi-Befragung 2



Bei der Auswertung wurde diskutiert, inwiefern der deutliche Rückgang in der Gruppe der Wissenschaft das Ergebnis aus Runde 2 maßgeblich beeinflusst hat. Während die Gruppe der Risiko-Expertinnen und -Experten (NGOs, Behörden, Netzwerker und Versicherer) trotz einiger Absagen im Anteil fast konstant blieb (38 % in Runde 1, 39 % in Runde 2), reduzierte sich die Wissenschaftsgruppe um 6 %. Die Gruppe der Industrie hatte die wenigsten Absagen zu verzeichnen und erhielt in Runde 2 einen Anteil von 37 %, was einem Zuwachs von 5 % entspricht. Die prozentuale Stärkung der Industrie hätte vermuten lassen, dass in Runde 2 eine weniger kritische Bewertung entstehen würde oder aber dass sich eine Polarisierung der Bewertungen zwischen Industrie und „Kritikern“ deutlicher bemerkbar machen müsste. Das Gegenteil ist aber der Fall. Typisch für die Delphi Methode ist, dass bei Vorlage der Ergebnisse von Runde 1 und der Bitte um erneute Bewertung Experten dazu tendieren, bestehende Tendenzen zu verstärken. Dies gilt im vorliegenden Fall sowohl für die in Delphi Runde 1 getroffenen positiven wie auch für die negativen Bewertungen. Die Bewertungen aus Runde 1, die eine Polarisierung aufwiesen, wurden in Runde 2 eher differenziert. Unklare Bewertungen aus Runde 1 zeigten auch in Runde 2 größtenteils keine signifikante Klärung.

Der folgende Abschnitt zeigt die Zuordnung der einzelnen Stakeholder zu spezifischen Anwendungsbereichen. Die Anzahl der jeweils antwortenden Experten ist in Klammern angegeben.

Industrie:

- Hersteller von Grundstoffen, die Nanomaterialien für mehr als einen Anwendungsbereich herstellen (5 in Runde 1/5 in Runde 2),
- Lebensmittel (3/3),
- Kosmetik (8/8),
- Oberflächen (2/1),
- Textilien (2/1),
- Branchenübergreifende Industrie-Verbände (2/2),
- Sonstige (1/1)

Wissenschaft:

- Toxikologie / Inhalationsbiologie (6/4)
- Umweltforschung (3/2)
- Oberflächenbeschichtungen, (4/3)
- Textilien (2/1)
- Lebensmittel (1/1)
- Expertinnen und Experten aus Disziplinen quer zu den Anwendungsbereichen (z. B. ITAS Karlsruhe, Fraunhofer IAO) (5/3)

NGOs, Gewerkschaften und Verbraucherschutzgruppen:

- Umweltorganisationen (4/4)
- Gewerkschaften (2/1)
- Verbraucherschutzgruppen (2/2)

Die Gruppe der Behörden und Politik bestand vorrangig aus Vertreterinnen und Vertretern auf Bundesebene:

- Bundesoberbehörden/Ministerien/Politik (10/7)

Bei den Netzwerken und Versicherungen ist keine Unterscheidung zu treffen.

Zur Expertenauswahl ist abschließend anzumerken, dass Ungleichgewichte in der Stakeholdergewichtung vor allem auf das Antwortverhalten der Befragten zurückzuführen sind. Dies machte sich insbesondere im Bereich Lebensmittel bemerkbar, bei dem es sehr schwierig war, Expertinnen und Experten für die Mitarbeit am Delphi-Verfahren zu gewinnen. Ebenso schwierig war es, die Teilnehmerzahlen aus dem Bereich der NGOs oder der Verbraucherverbände zu erhöhen.

4 Nanomaterialien

Bei der Ausrichtung der Forschung sollte das vermutete Risiko einen besonderen Stellenwert haben. Sowohl das Individualrisiko, das die Höhe des individuellen Risikos beschreibt, als auch das Populationsrisiko, das die Zahl der Betroffenen berücksichtigt, sind relevante Größen, die die Schwerpunktsetzung der Forschung entscheidend beeinflussen sollten. Zur Beschreibung eines Risikos sind unter anderem Informationen erforderlich, in welchem Maße Mensch und Umwelt mit Nanomaterialien in Kontakt (Exposition) kommen und weiterhin Informationen zu den dosisabhängigen toxikologischen und ökotoxikologischen Eigenschaften eines Stoffes. Erst die Kombination dieser beiden Parameter ermöglicht eine Risikobeschreibung und -bewertung. Schadensausmaß und Schadenswahrscheinlichkeit sind wesentliche Kenngrößen. Hieraus ergibt sich, dass Nanomaterialien, die ein größeres toxisches/ökotoxisches Wirkungspotenzial aufweisen und/oder eine höhere Exposition von Mensch und Umwelt zeigen, eine besondere Bedeutung haben und bevorzugt bewertet werden müssen. Sofern keine weiteren Informationen zur Exposition vorliegen, kann das Jahresproduktionsvolumen eines Stoffes als Schätzgröße zur Exposition verwendet werden.

Nanomaterialien werden als Produkte einer neuen Technologie verstanden, obwohl ein großer Teil der nanostrukturierten Materialien, die derzeit auf dem Markt sind, seit Jahrzehnten zu den etablierten Chemikalien gezählt werden. Dazu kommen tatsächlich neue Nanomaterialien, die erst in den letzten Jahren entwickelt wurden. Für die Zukunft wird eine Vielzahl von neuen Nanomaterialien erwartet. Im Vergleich zu etablierten Industriechemikalien wird teils ein erhöhter Informationsbedarf zu den Risiken der Nanomaterialien dadurch begründet, dass die Nanotechnologie als neue Technologie verstanden wird und neue Risikoszenarien entstehen, zu denen es noch keine Erfahrungswerte gibt und ein besonderes öffentliches Interesse besteht.

4.1 Gefährdungspotenzial

Der Begriff „Gefährdungspotenzial“ bezeichnet das im Auslöser eines Risikos (etwa Stoff, Technologie oder Verhalten) enthaltene Potenzial an möglicher Gefährdung von Leben, Gesundheit und Umwelt (Jaeger et al. 2001; IRGC 2005). Statt „Gefährdung“ wird dann häufig der Begriff „Gefährdungspotenzial“ verwendet, um die Möglichkeit der Gefährdung hervorzuheben (Schütz et al. 2003, S. 24).

Mittlerweile wird eine ganze Reihe von Grundsubstanzen in nanostrukturierter Form vermarktet. Dazu zählen Titandioxid, Siliziumdioxid, Zinkoxid, Aluminiumoxid, Eisenoxide, Ceroxid, Silber, Carbon Black, Carbon Nanotubes, Fullerene etc. Insbesondere den freien, nicht löslichen Nanomaterialien, die über verschiedene Wege aufgenommen werden können, kommt toxikologisch besondere Bedeutung zu. Eine systematische Zusammenstellung, die die verschiedenen Substanzen unter Berücksichtigung der morphologischen und chemischen Modifikationen erfasst, ist nicht vorhanden. Da gegenwärtig nicht ausgeschlossen werden kann, dass durch Modifikationen nicht nur technische Eigenschaften, sondern auch toxikologische Eigenschaften verändert werden können, ist eine systematische, differenzierende Übersicht erforderlich. Derartige Informationen sind essenziell, um in einem risikoorientierten Verfahren die Nanomaterialien zu identifizieren, die bevorzugt zu bewerten und intensiver zu prüfen sind. Parameter wie Löslichkeit, Größe, Oberfläche, Gestalt, Grad der Agglomeration/Aggregation, Oberflächenmodifikation bzw. -reaktivität, Anzahlkonzentration und andere werden als Größen diskutiert, die eventuell Einfluss auf toxikologische Eigenschaften haben können.

4.1.1 Toxizität von ausgewählten Nanomaterialien in verschiedenen Aggregatzuständen

In einem ersten Fragenkomplex zur Toxizität wurden die Expertinnen und Experten mit verschiedenen Nanomaterialien konfrontiert und sollten ihre Einschätzung zur folgenden Frage abgeben: „Haben diese Nanomaterialien Ihrer Ansicht nach in den folgenden Aggregatzuständen ein toxisches Potenzial?“ Als Auswahlkategorien standen zur Verfügung: „als flüchtiger Partikel“, „in einem Aerosol“, „natürlich aggregiert“, „gecoatet“, „im flüssigen Medium / in einem Lösemittel“ sowie „eingebunden in eine Matrix“. Wurde kein Kreuz gesetzt, konnte dies bedeuten, dass entweder kein Wissen zu dem Stoff vorliegt oder dass kein toxisches Potenzial besteht. Insofern fragt die Tabelle nur das vorhandene Wissen zu toxischen Potenzialen ab, bezieht aber das Nicht-Wissen nicht mit ein.

Dieser Fragenblock wurde in Runde 1 von 64 der 71 teilnehmenden Experten beantwortet. Einige Teilnehmende äußerten sich allerdings nur zu einzelnen Substanzen, zu denen sie weitergehende Kenntnisse hatten. Da vor dem Hintergrund einer wechselnden Grundgesamtheit pro Stoff keine genaue Repräsentanz der Bewertung möglich ist, wurde mit absoluten Zahlen gearbeitet. Sie geben eine Tendenz wieder, bei welchen Stoffen eine bestimmte Anzahl von Experten ein toxisches Potenzial in einem bestimmten Aggregatzustand sieht. Die Ergebnisse geben außerdem einen Hinweis, wie gut belegt einzelne Substanzen sind.

Vorauszuschicken ist dieser Tabelle eine Diskussion der verwendeten Begriffe. Der Begriff „flüchtige Partikel“ sollte Nanomaterialien zusammenfassen, die als „Ultrafeinstäube“ vorliegen. Obwohl der Begriff den behördeninternen Pretest passierte, wurde in den nachfolgenden Workshops empfohlen, den Begriff „freie Nanopartikel“ zu verwenden. Problematisch ist hier die Abgrenzung zu den Aerosolen, weshalb beide nach heutigem Kenntnisstand in der Klasse der „luftgetragenen Nanopartikel“ zusammengefasst werden müssten. Die definitorische Unsicherheit bezüglich der verwendeten Begriffe, die sich im Verlauf des Projektzeitraums mehrfach weiter entwickelte, spiegelt eine generelle definitorische Problematik, die nicht nur innerhalb der Pretest-Gruppe, sondern auch quer durch alle Stakeholdergruppen festzustellen ist. Die Fragestellungen sind im Original abgebildet und nicht nachträglich verändert worden.

Tab. 1: Einschätzung des Vorhandenseins eines toxischen Potenzials von Nanomaterialien in Abhängigkeit vom Aggregatzustand (Anzahl der Angaben als „toxisch“).

	als flüchtige Partikel	in einem Aerosol	natürlich aggregiert	gecoatet	im flüssigen Medium	in einer Matrix
Siliziumdioxid	26	28	4	9	8	1
Titandioxid	32	29	5	10	12	2
Zinkoxid	32	28	8	8	14	3
Chrom(III)-oxid	22	29	11	12	15	4
Nickeloxid	24	30	14	13	17	7
Aluminiumoxid	21	25	4	7	9	3
Eisenoxid	21	26	4	7	10	3
Silikate	17	23	8	6	6	2
anorganische Farbpigmente	19	28	7	5	11	3
organische Farbpigmente	17	25	6	5	11	3
Carbonnanotubes	25	31	13	7	15	4
Fullerene	25	26	7	8	18	2
Polymere	15	18	4	4	8	3
Nanokomposite	13	17	3	4	5	1
Silber	17	21	10	7	11	4
Vitamine	6	8	4	3	6	1
abbaubare Materialien: Lipidverbindungen, Biopolymere	7	9	4	6	2	5
Nanotone / Schichtsilikate	10	16	5	4	6	3

Die Tabelle 1 zeigt, dass die Expertinnen und Experten unter allen Stoff-Aggregatzustand-Kombinationen den „Aerosolen“ und der Kategorie „flüchtige (freie) Partikel“ das größte toxische Potenzial zusprachen. In der Tabelle wurden die Nennungen spaltenweise summiert, so dass „Nanomaterialien in einem Aerosol“ insgesamt 417-mal und „Nanomaterialien als flüchtige (freie) Partikel“ 349-mal ein toxisches Potenzial zugewiesen bekamen. Weitere Kategorien wie „im flüssigen Medium“ (n=184), „gecoatet“ (n=125), „natürlich aggregiert“ (n=121) und „in einer Matrix“ (n=54) folgten mit deutlichem Abstand.

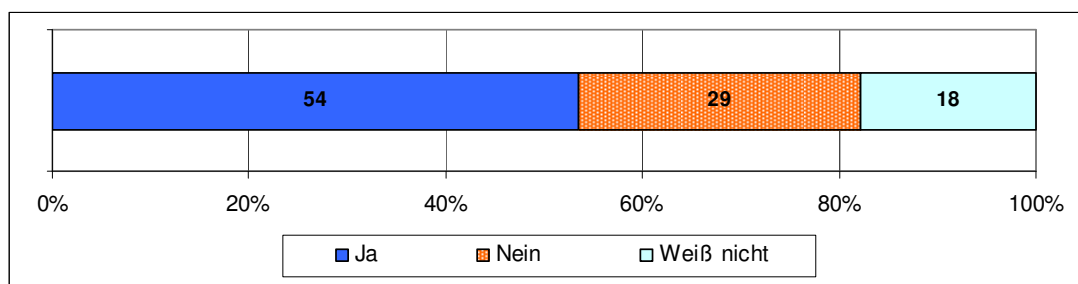
Anhand der Ergebnisse zeigt sich eine Tendenz, dass Nanomaterialien von den hier befragten Experten in Form von Aerosolen oder als flüchtige/freie Partikel als Gruppe mit besonders hohem toxischen Potenzial betrachtet werden. Coating, natürliche Aggregation der Nanopartikel oder auch die Einbindung der Partikel in ein flüssiges oder festes Medium reduzieren nach Einschätzung der Experten das toxische Potenzial von Nanomaterialien deutlich.

Um zu prüfen, ob in Tabelle 1 wesentliche Aggregatzustände, in denen Nanomaterialien auftreten können, fehlen, wurden die Expertinnen und Experten in der zweiten Befragungsrunde gebeten, die folgende Liste auf Vollständigkeit hin zu überprüfen und ggf. qualitative Ergänzungen vorzuschlagen:

- als flüchtiger (freier) Partikel
- in einem Aerosol
- natürlich aggregiert
- gecoatet
- im flüssigen Medium/in einem Lösemittel
- eingebunden in eine Matrix

Die Bewertung der Expertinnen und Experten bestätigte die Liste der abgefragten Kriterien aus der Befragungsrunde 1 (Abbildung 3).

Abb. 3: Antworten auf die Frage: Ist die Kriterienliste zur Beschreibung des Aggregatzustandes der Nanomaterialien ausreichend? (n=46 Antworten)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

4.1.2 Toxische Potenziale einzelner Nanomaterialien

In diesem Fragenblock wurde analysiert, ob sich neben einem besonders problematischen Aggregatzustand auch Substanzen identifizieren lassen, die unabhängig vom Aggregatzustand als besonders toxisch angesehen werden müssen. Dazu wurden für die einzelnen Nanomaterialien die Nennungen über die Aggregatzustände hinweg zusammengefasst. Relevant kann diese Einschätzung werden, wenn im Rahmen von Regulierungen einzelne Stoffe im Fokus der Bewertung stehen und nicht nach dem Aggregatzustand unterschieden wird.

An erster Stelle in Tabelle 2 steht Nickeloxid, bei dem es sich unabhängig von der nanopartikulären Form um eine Substanz handelt, die bei Hautkontakt Sensibilisierungen und beim Einatmen Krebs auslösen kann (Gefahrstoffkennzeichnung aus RL 67/548/EWG, Anh. I,

R: 49–43). Ansonsten zeigen die Ergebnisse aber, dass eine verallgemeinernde Aussage über die Toxizitätspotenziale eines Stoffes, unabhängig von seinem Aggregatzustand, aus diesen Ergebnissen nicht getroffen werden kann. Auffällig ist beispielsweise, dass Zinkoxid, Titandioxid und Siliziumdioxid – den drei Stoffen, die in ihrer nanopartikulären Form in der Literatur am besten beschrieben sind und zu denen langjährige Erfahrungen vorliegen – vergleichsweise häufig ein toxisches Potenzial zugewiesen wurde, was der Einschätzung der Expertinnen und Experten aus dem BfR-Fachgespräch sowie dem folgenden Expertenworkshop widerspricht.

Tab. 2: Summe der Nennungen für Toxizität von Nanomaterialien über alle Aggregatzustände

Substanz	Summe der Nennungen
Nickeloxid	105
Carbonnanotubes	95
Chrom(III)-oxid	93
Zinkoxid	93
Titandioxid	90
Fullerene	86
Siliziumdioxid	76
anorganische Farbpigmente	73
Eisenoxid	71
Silber	70
Aluminiumoxid	69
organische Farbpigmente	67
Silikate	62
Polymere	52
Nanotone / Schichtsilikate	44
Nanokomposite	43
abbaubare Materialien: Lipidverbindungen, Biopolymere	33
Vitamine	28

4.1.3 Kriterien für Toxizitätspotenziale

In einem nächsten Schritt wurden die Expertinnen und Experten nach möglichen Ursachen für ein toxisches Potenzial von Nanomaterialien befragt. Bei der Konzeption des Fragebogens wurden insbesondere die Kriterien der „Löslichkeit“, „Größe (Angabe in Bereich, z. B. < 70 nm)“, „Gestalt“ sowie „Oberfläche und Reaktivität“ als wichtig erachtet und deshalb abgefragt.

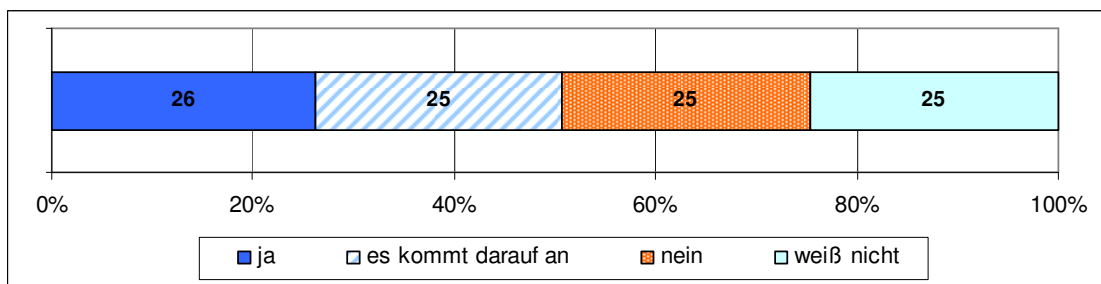
In Tabelle 3 sind die Ergebnisse für die einzelnen Nanomaterialien abgebildet. Mit 310 Nennungen über alle Materialien hinweg wird die spezifische „Oberfläche und Reaktivität“ am häufigsten in Zusammenhang mit einer möglichen Toxizität gebracht. „Gestalt“ (113 Nennungen) und „Löslichkeit“ (110 Nennungen) werden seltener als Kriterium für Toxizitätspotenziale genannt. Auffällig ist hier die Zahl der Nennungen für Carbonnanotubes in Bezug auf das Kriterium „Gestalt“, das 18-mal genannt wurde. Dahinter steht die Annahme, dass Carbonnanotubes aufgrund ihrer langgestreckten faserartigen Gestalt ähnlich wie Asbestfasern wirken könnten (Poland et al. 2008).

Tab. 3: Mögliche Ursachen für Toxizität von Nanomaterialien (Anzahl der Nennungen)

	Löslichkeit	Gestalt	Oberfläche & Reaktivität
Siliziumdioxid	4	10	19
Titandioxid	4	8	27
Zinkoxid	8	6	25
Chrom(III)-oxid	7	6	21
Nickeloxid	9	8	23
Aluminiumoxid	4	5	18
Eisenoxid	6	6	21
Silikate	3	7	16
anorganische Farbpigmente	9	5	19
organische Farbpigmente	12	5	18
Carbonnanotubes	6	18	17
Fullerene	7	9	21
Polymere	5	6	11
Nanokomposite	2	5	14
Silber	9	4	18
Vitamine	7	1	6
abbaubare Materialien: Lipidverbindungen, Biopolymere	5	1	6
Nanotone/Schichtsilikate	3	3	10
Nennungen gesamt	110	113	310

In vielen Diskussionen im wissenschaftlichen wie politischen Raum wird darauf hingewiesen, dass die Kleinheit der Nanopartikel entscheidend dafür verantwortlich sei, dass sie toxischer seien als größere Partikel desselben Materials. Deshalb wurden die Experten gefragt, ob sie einen kritischen Größenbereich als Ursache für eine mögliche Toxizität angeben könnten. Aus den vergleichsweise wenigen Antworten war es nicht möglich, ein durchgehendes Bild zu erhalten. Für 10 der 18 Stoffe konnten jeweils nur 4 bis 7 der 71 Experten Aussagen machen. Zudem fanden sich beispielsweise für die Partikelgröße von Zinkoxid, für das immerhin 15 Nennungen abgegeben wurden, 4 Nennungen im Bereich zwischen 41 und 60 nm und 5 Nennungen zwischen 81 und 100 nm. Das breite Antwortspektrum und die geringe Zahl der Antworten lassen auch keine tendenzielle Aussage zu. Bezüglich der problematischen Partikelgrößen herrscht anscheinend noch keine Einigkeit unter den Experten.

Um zu hinterfragen, ob die Partikelgröße zumindest dann ein relevantes Kriterium für mögliche Toxizitäten ist, wenn es um die Unterscheidung zwischen Nano- und Mikropartikeln geht, wurden die Expertinnen und Experten um die Einschätzung einer These gebeten, nach der Nanopartikel toxischer seien als Mikropartikel. Auch hier wurde jedoch keine Einigkeit erzielt. 26 % der Befragten stimmte dieser These zu und 25 % lehnte diese These ab (Abbildung 4).

Abb. 4: Einschätzung der These: Da Nanopartikel toxischer sind als Mikropartikel, führt ihre Inhalation zu neuen Toxizitäten (n=65 Antworten)

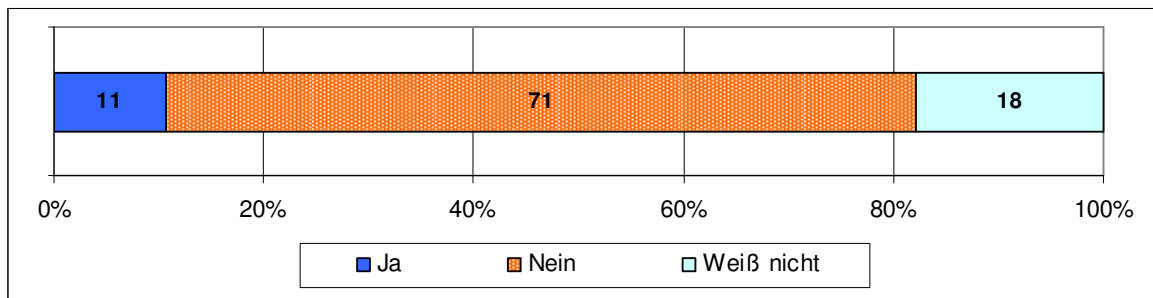
Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Um zu hinterfragen, ob die in Runde 1 vorgelegten Kriterien, die potenziell für die Toxizität von Nanomaterialien ausschlaggebend sein könnten, ausreichen, wurden den Expertinnen und Experten in der zweiten Befragungsrunde die folgenden Kriterien zur Überprüfung vorgelegt:

- Löslichkeit
- Größe (Angabe in Bereich, z. B. < 70 nm)
- Gestalt
- Oberfläche und Reaktivität

In Bezug auf die Kriterienliste zur Bewertung der Toxizität wurde ein Ergänzungsbedarf gesehen (Abbildung 5). 71 % der Befragten sagten „nein“. Hier zeigte sich der Wunsch nach einer Einzelfallprüfung, bei der eine definierte Anzahl von Kriterien betrachtet werden sollte.

Abb. 5: Antworten auf die Frage: Ist die Kriterienliste zur Bewertung der Toxizität von Nanomaterialien ausreichend? (n=46 Antworten)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Da in den Fragebögen der Delphi-Runde 2 wenige qualitative Ergänzungen gemacht wurden, welche Kriterien noch hinzugezogen werden müssten, wurde diese Frage im nachfolgenden Experten-Workshop diskutiert. Die im Workshop vertretenen Expertinnen und Experten aus den Bereichen Industrie, Wissenschaft, NGOs, Verbraucherverbänden, Behörden und Versicherung entwickelten gemeinsam die folgenden 18 Prüfkriterien:

Allgemeine Prüfkriterien auch für Nanomaterialien:

- Dosis
- Einwirkdauer
- Stoff/Stoffgruppe
- Abbaubarkeit, Persistenz, Latenzzeit, Akkumulation
- Gestalt
- Löslichkeit (in Wasser und biologischen Flüssigkeiten *in vivo*)
- Kristallinität und Kristallphase
- Reinheit und Verunreinigung der Substanz
- Größe, Größenverteilung

Zusätzliche nanospezifische Prüfkriterien:

- Abbaubarkeit, Persistenz, Latenzzeit, Akkumulation (verändert sich diese bei Nanomaterialien?)
- Darreichungsform (Aerosol, Suspension, Emulsion, Dispersion, Komposit)
- Tendenz zur Aggregation, Agglomeration/Stabilität der Aggregate, Agglomerate
- Expositionspfad
- Endpunkt
- Löslichkeit (in Wasser und biologischen Flüssigkeiten *in vivo*)
- Größe, Größenverteilung

- Gestalt
- Oberfläche (Coating, Ladung, Defekte) und Reaktivität

Die Liste der 18 Kriterien zeigt, wie komplex die Expertinnen und Experten eine fundierte Toxizitätsbewertung von Nanomaterialien einschätzen. Es wurde ausdrücklich darauf hingewiesen, dass diese Prüfung nur im Einzelfall sinnvoll erfolgen kann.

4.1.4 Beschreibung der Wirkmechanismen

Nachdem mehrere mögliche Ursachen für toxische Wirkungen von Nanomaterialien identifiziert worden waren, wurden die Expertinnen und Experten gebeten, Erläuterungen zum Wirkmechanismus anzugeben. Um zu spezifizieren, in welche Richtung die Frage gehen soll, wurden als Beispiele Genotoxizität und oxidativer Stress genannt. Wiederum wurde den Experten die Liste an Nanomaterialien vorgelegt, wie sie beispielsweise in Tabelle 1 zu finden ist. Mit 55 % haben etwas mehr als die Hälfte der Befragten diese Frage beantwortet. Aus allen Stakeholdergruppen haben jeweils mindestens 50 % der Befragten Angaben zur Toxizität der einzelnen Stoffe und den entsprechenden Wirkungsmechanismen gemacht. Die Aussagen der Teilnehmenden unterscheiden sich dabei inhaltlich z. T. deutlich voneinander. Dies trifft sowohl für Standpunkte und Bewertungen zwischen verschiedenen Stakeholdern zu als auch innerhalb von Stakeholdergruppen zwischen verschiedenen Experten. Eindeutige „Gruppenmeinungen“ lassen sich nicht feststellen.

Im Folgenden werden die Kommentare zum Wirkmechanismus möglicher toxischer Wirkungen nacheinander für die einzelnen Nanomaterialien präsentiert. Mehrfachnennungen innerhalb einer Stakeholdergruppe wurden der besseren Übersichtlichkeit halber gelöscht, da es vor allem darum ging, die verschiedenen Argumente qualitativ zu erfassen. Die wichtigsten Argumente sind in Form von wörtlichen Zitaten aufgelistet, um Interpretationen durch die Verfasser zu vermeiden. Der Wert der folgenden Anmerkungen liegt auch darin, dass hier das gesamte Wissensspektrum gesicherter und ungesicherter Informationen aufgefächert wird. Die Auflistung könnte insofern als Informationsquelle für vertiefende Experten-Dialoge zu diesem Themenbereich dienen.

Siliziumdioxid

Die Ergebnisse zeigen, dass die Stakeholderbewertungen nicht einheitlich sind, weder innerhalb der Stakeholdergruppen noch zwischen den verschiedenen Stakeholdern. Eine Bewertung der Substanz Siliziumdioxid in nanopartikulärer Form ist aufgrund dieser Aussagen nicht möglich. Neues Datenmaterial aus der Praxis kann durchaus hilfreich sein, um im Experiment gezeigte Wirkungsmechanismen im Anwendungszusammenhang zu überprüfen. Eine Zusammenarbeit zwischen anwendender Industrie und Behörden scheint aufgrund der Ergebnisse dieses Abschnittes empfehlenswert.

Tab. 4: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von nanoskaligem Siliziumdioxid

Stakeholder	Zitat/Bewertung zum Wirkmechanismus
Industrie	„Grundsätzlich gilt aus X- Sicht (Hersteller von Grundstoffen): Basierend auf unserer umfassenden Expertise zu den physikalisch-chemischen Eigenschaften der synthetischen amorphen Kieselsäuren ergibt sich, dass diese keine Nanomaterialien darstellen. X produziert und vertreibt synthetische amorphe pyrogene Kieselsäuren. Diese sind umfassend toxikologisch charakterisiert. Es gibt keine Hinweise auf systemische Wirkungen. Entzündungsreaktionen in der Lunge bei hoher inhalativer Exposition sind reversibel. Eine jüngst durchgeführte epidemiologische Studie an Mitarbeitern aus der Produktion von synthetischen amorphen Kieselsäuren erbrachte keine Hinweise auf relevante Lungenveränderungen. Neuere Arbeiten zur Löslichkeit von synthetischen amorphen Kieselsäuren in biologischen Medien belegen deren Löslichkeit, die wesentlich den Wirkmechanismus bestimmt.“ „Kein erhöhtes toxisches Potenzial, eher niedriger“ „Amorph keine Toxizität und keine chronischen Schäden“ „Inerte unlösliche Partikel, inflammatorische Wirkung“
Wissenschaft	„Erwarte keine Toxizität“ „Oxidativer Stress“ „Entzündung“ „Gestalt hängt vom Produktionsprozess ab, kann ein toxisches Potenzial haben“ „Inhalation – systemische Aufnahme“
NGO/Gewerkschaft	„Gentoxizität, Radikalbildung, katalyt. Prozesse, Zytotoxizität, Anreicherung“ „Beeinträchtigung der Mitochondrien u.a. Zellorganellen, Membranschäden“ „Ansammlung von Eiweiß im Zellkern, Blockade von Replikation und Transkription, IL8 Zytokine“ „Gentoxizität, Aktivierung des Immunsystems“
Behörde/Politik	„Oxidativer Stress“ „Entzündung“ „Eher unproblematisch“
Netzwerk	„Störung des zellulären Metabolismus“ „Möglicher oxidativer Stress und Entzündungsreaktionen im Lungengewebe“
Versicherer	„Analog Silikose beim Einatmen“

Titandioxid

Bei den Ergebnissen zu nanoskaligem Titandioxid zeigen sich Übereinstimmungen von Wirkungsmechanismen, die bereits bei Siliziumdioxid genannt wurden und auch bei allen folgenden Substanzen eine Rolle spielen. Hierzu zählen „Oxidativer Stress“ mit der höchsten Anzahl an Mehrfachnennungen sowie „Entzündungsprozesse“ und „Genotoxische Effekte“. Diese drei Nennungen scheinen bedeutende Wirkmechanismen zu sein, die nahezu alle Nanomaterialien betreffen können, wie die folgenden Tabellen zeigen:

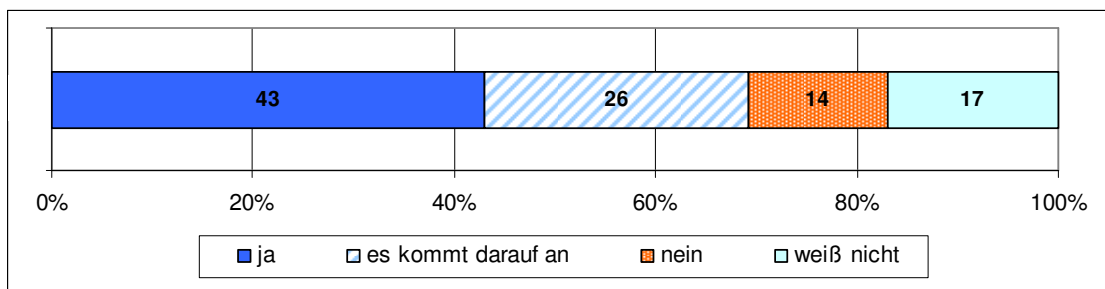
Tab. 5: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von nanoskaligem Titandioxid

Industrie	„Kein erhöhtes Potenzial“ „Inerte unlösliche Partikel, inflammatorische Wirkung“
Wissenschaft	„Wirkungsmechanismus noch nicht bekannt“. „Oxidativer Stress in Mikrogliazellen (Long et al., 2006; Environ. Sci. & Technol.)“ „Oxidativer Stress, Entzündungsreaktionen“
NGO/Gewerkschaft	„Gentoxizität, Radikalbildung, katalyt. Prozesse, Zytotoxizität, Anreicherung, Beeinträchtigung der Mitochondrien u. a. Zellorganellen, Membranschäden Penetration durch verletzte Haut, oxidativer Stress“ „Lunge: oxidativer Stress und DNA-Schädigung“ „Zytotoxizität, Immunsystemaktivierung, Entzündungen“
Behörde/Politik	„In vitro Tox.: Löslichkeit von oxidischen NP entscheidend (Brunner, T. et al., ES&T Web 3/11/06.)“ „Oxidativer Stress“ „Entzündung“ „Gentoxizität, abhängig von der Größe,“ „Differenzierung ge-coated oder unbehandelt nötig“
Netzwerk	„Störung des zellulären Metabolismus“ „Möglicher oxidativer Stress und Entzündungsreaktionen im Lungengewebe“
Versicherer	„Oxidativer Stress“

Der Beschreibung genotoxischer Effekte für Titandioxid in nanopartikulärer Form in den Kommentaren scheint allerdings nicht von einer Mehrheit der Expertinnen und Experten getragen zu werden. Konfrontiert man die Experten mit der These: „Bei üblichem Gebrauch sind durch nanoskalige TiO₂-Partikel keine genotoxischen oder photo-genotoxischen Risiken für den Menschen zu befürchten.“, wird diese These von 43 % der Befragten bestätigt (Abbildung 6). 43 % der Expertinnen und Experten sind somit der Meinung, dass Titandioxid keine genotoxischen Risiken für den Menschen mit sich bringt. Nur 14 % lehnen die These ab, was bedeutet, dass sie genotoxische Effekte zumindest nicht ausschließen können.

Es wurde ergänzt, dass umfassende Industriestudien bereits im Jahr 2000 gezeigt haben, dass bei üblichem Gebrauch von nanoskaligen TiO₂-Partikeln keine Risiken bestehen und dass TiO₂ bei entsprechender Partikelgröße nicht genotoxisch wirke. Angemerkt wurde jedoch von anderen Befragten, dass dies von den verwendeten Partikelgrößen und von der Modifikation der Oberfläche der Teilchen abhängt. Außerdem gäbe es keine Untersuchungen zu entzündeter oder verletzter Haut.

Abb. 6: Einschätzung der These: Bei üblichem Gebrauch sind durch nanoskalige TiO₂-Partikel keine genotoxischen oder photo-genotoxischen Risiken für den Menschen zu befürchten (n=65 Antworten)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Zinkoxid

Auffällig an den Beschreibungen zu nanoskaligem Zinkoxid ist, dass nur die Industrie ein niedriges toxisches Potenzial anführt. Besonders aus dem Bereich der kosmetischen Industrie kommt hier eine große Zahl von Mehrfachnennungen.

Tab. 6: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von nanoskaligem Zinkoxid

Industrie	„Niedriges Potenzial“ „Inerte unlösliche Partikel, inflammatorische Wirkung“
Wissenschaft	„Wirkungsmechanismus noch nicht bekannt.“ „Oxidativer Stress, Entzündungsreaktionen“ „Ionenkanalinteraktion“ „Inhalation – systemische Aufnahme“
NGO/Gewerkschaft	„Gentoxizität, Radikalbildung, katalytische Prozesse, Zytotoxizität, Anreicherung, Beeinträchtigung der Mitochondrien u. a. Zellorganellen, Membranschäden“ „Penetration durch verletzte Haut, oxidativer Stress, DNA-Schädigung“ „Phototoxische Effekte (Säugerzellen), Genotoxizität, Potenzial für Allergien (Inhalation)“
Behörde/Politik	„Oxidativer Stress“ „Entzündung“
Netzwerk	„Störung des zellulären Metabolismus“ „Möglicher oxidativer Stress und Entzündungsreaktionen im Lungengewebe“
Versicherer	„Zelltoxizität“

Chrom(III)-oxid

Bei Chrom(III)-Oxid wird seitens der Experten erstmals eine „chronische Toxizität“ angeführt. Die Stoffe gelten als krebserregend und toxisch in allen Aggregatzuständen und Größenbereichen, also auch im Mikrobereich. Ansonsten wiederholt sich auch hier das Muster der Wirkmechanismen.

Tab. 7: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von nanoskaligem Chrom (III)-Oxid

Industrie	„Inerte unlösliche Partikel, inflammatorische Wirkung“
Wissenschaft	„Wirkungsmechanismus noch nicht bekannt.“ „Oxidativer Stress, Entzündungsreaktionen, Genotoxizität“ „Inhalation – systemische Aufnahme“
NGO/Gewerkschaft	„Genotoxizität, Radikalbildung, katalytische Prozesse, Zytotoxizität, Anreicherung, Beeinträchtigung der Mitochondrien u. a. Zellorganellen, Membranschäden“ „Freie Sauerstoffradikale“ „Chronische Toxizität“
Behörde/Politik	„Oxidativer Stress“ „Entzündung“
Netzwerk	„Störung des zellulären Metabolismus“ „Möglicher oxidativer Stress und Entzündungsreaktionen im Lungengewebe“
Versicherer	keine Angaben

Nickeloxid

Auch zu Nickeloxid gibt es laut Meinung der Experten Hinweise auf „chronische Toxizität“ und die Kennzeichnung als kanzerogene Substanz. Nickeloxid und Chrom(III)-oxid sind aber von anderen Nanosubstanzen, wie z. B. Siliziumdioxid oder Titandioxid, zu unterscheiden, die im Mikrobereich als inert gelten.

Tab. 8: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von nanoskaligem Nickeloxid

Industrie	„Nickeloxid ist bereits mit R 49 (Canc. Cat 2) gekennzeichnet“
Wissenschaft	„Oxidativer Stress, Entzündungsreaktionen, Genotoxizität“ „Allergenes Potenzial, kanzerogenes Potenzial“ „Ionenkanalinteraktion“ „Inhalation – systemische Aufnahme“
NGO/Gewerkschaft	„Genotoxizität, Radikalbildung, katalytische Prozesse, Zytotoxizität, Anreicherung, Beeinträchtigung der Mitochondrien u. a. Zellorganellen, Membranschäden“ „Entzündung in Lunge, freie Sauerstoffradikale und DNA-Schädigung“ „Chronische Toxizität“
Behörde/Politik	„Oxidativer Stress, Entzündung“
Netzwerk	„Störung des zellulären Metabolismus“ „kanzerogenes Potenzial“
Versicherer	Zelltoxizität

Aluminiumoxid

Das seitens der Experten definierte Profil von nanoskaligem Aluminiumoxid und Eisenoxid ist nahezu identisch: Bei beiden gibt es Kommentare, dass „keine Toxizität“ erwartet wird. Diesem Hinweis aus der Wissenschaft stehen die bereits genannten Wirkmechanismen gegenüber, die von Stoff zu Stoff in den Antwortformularen auftauchen. Das Antwortverhalten könnte darauf hinweisen, dass diese Experten der Ansicht sind, dass Nanomaterialien generell diese Wirkmechanismen auslösen können, wenn sie z. B. inhaliert werden.

Tab. 9: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von nanoskaligem Aluminiumoxid

Industrie	„Inerte unlösliche Partikel, inflammatorische Wirkung“
Wissenschaft	„Erwarte keine Toxizität“ „Oxidativer Stress, Entzündungsreaktionen“ „Inhalation – systemische Aufnahme“
NGO/Gewerkschaft	„Gentoxizität, Radikalbildung, katalytische Prozesse, Zytotoxizität, Anreicherung, Beeinträchtigung der Mitochondrien u. a. Zellorganellen, Membranschäden“ „Entzündung in Lunge, freie Sauerstoffradikale und DNA-Schädigung“
Behörde/Politik	„Oxidativer Stress, Entzündungen“
Netzwerk	„Störung des zellulären Metabolismus“ „Möglicher oxidativer Stress und Entzündungsreaktionen im Lungengewebe“
Versicherer	keine Angaben

Eisenoxid

Neu bei Eisenoxid ist der Hinweis der Experten auf „neurodegenerative Erkrankungen“, ansonsten werden auch hier die bekannten Wirkmechanismen beschrieben.

Tab. 10: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von nanoskaligem Eisenoxid

Industrie	„Inerte unlösliche Partikel, inflammatorische Wirkung“
Wissenschaft	„Erwarte keine Toxizität“ „Oxidativer Stress, Entzündungsreaktionen“ „Inhalation – systemische Aufnahme“
NGO/Gewerkschaft	„Gentoxizität, Radikalbildung, katalytische Prozesse, Zytotoxizität, Anreicherung, Beeinträchtigung der Mitochondrien u. a. Zellorganellen, Membranschäden“ „Entzündung in Lunge, freie Sauerstoffradikale und DNA-Schädigung“ „Neurodegenerative Erkrankungen, Resorption über Atemwege möglich“
Behörde/Politik	„Oxidativer Stress, Entzündung“
Netzwerk	„Störung des zellulären Metabolismus“ „Möglicher oxidativer Stress und Entzündungsreaktionen im Lungengewebe“
Versicherer	Lunge: Irritation

Silikate

Auffällig sind hier der Hinweis aus dem Kreis der Behörden auf „chronische Entzündungsprozesse“ und der Hinweis der Versicherungsvertreter, dass es beim Einatmen von nanoskaligen Silikaten zu analogen Krankheitsbildern kommen könnte, wie es bei der Lungenkrankheit Silikose beobachtet wird.

Tab. 11: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von nanoskaligen Silikaten

Industrie	„Kein erhöhtes Potenzial, eher niedriger“
Wissenschaft	„Erwarte keine Toxizität“ „Entzündung, oxidativer Stress“ „Inhalation – systemische Aufnahme“
NGO/Gewerkschaft	„Gentoxizität, Radikalbildung, katalytische Prozesse, Zytotoxizität, Anreicherung, Beeinträchtigung der Mitochondrien u. a. Zellorganellen, Membranschäden“
Behörde/Politik	„chronische Entzündungsprozesse“ „Entzündung und oxidativer Stress“
Netzwerk	„Störung des zellulären Metabolismus“ „möglicher oxidativer Stress und Entzündungsreaktionen im Lungengewebe“
Versicherer	„analog Silikose beim Einatmen“

Anorganische Farbpigmente

Auffällig am Antwortmuster zu den nanoskaligen anorganischen Farbpigmenten ist die übereinstimmende Feststellung aus Industrie, Wissenschaft, NGOs und aus den Netzwerken, dass keine generellen Aussagen möglich sind und verschiedene anorganische Farbpigmente sehr unterschiedliche Eigenschaften besitzen. Hier wäre eine nähere Betrachtung hilfreich.

Tab. 12: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von nanoskaligen anorganischen Farbpigmenten

Industrie	„Kann nur spezifisch beantwortet werden“
Wissenschaft	„Wirkungsmechanismen nicht bekannt“ „Oxidativer Stress, akute Toxizität“ „Entzündung, oxidativer Stress“ „Je nach Art des Pigments verschiedene Beurteilung möglich“
NGO/Gewerkschaft	„Genotoxizität, Radikalbildung, katalytische Prozesse, Zytotoxizität, Anreicherung, Beeinträchtigung der Mitochondrien u. a. Zellorganellen, Membranschäden“ „Abhängig von der Toxizität der Einzelstoffe“
Behörde/Politik	„Oxidativer Stress“
Netzwerk	„Störung des zellulären Metabolismus“ „Substanzen sind individuell sehr verschieden, eine kritische Eigenschaft ist die Lungenpassage mit Ansammlung in benachbarten Lymphknoten“ „Möglicher oxidativer Stress und Entzündungsreaktionen im Lungengewebe“
Versicherer	keine Angaben

Organische Farbpigmente

Auch für die nanoskaligen organischen Farbpigmente empfiehlt die überwiegende Zahl der Expertinnen und Experten eine Einzelfallprüfung.

Tab. 13: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von nanoskaligen organischen Farbpigmenten

Industrie	„Kann nur spezifisch beantwortet werden“
Wissenschaft	„Oxidativer Stress, Genotoxizität“ „Nicht anzugeben, da von organischer Struktur abhängig“ „Je nach Art des Pigments verschiedene Beurteilung möglich“
NGO/Gewerkschaft	„Genotoxizität, Radikalbildung, katalytische Prozesse, Zytotoxizität, Anreicherung, Beeinträchtigung der Mitochondrien u.a. Zellorganellen, Membranschäden“ „Abhängig von der Toxizität der Einzelstoffe“
Behörde/Politik	„Genotoxizität“ „Oxidativer Stress“
Netzwerk	„Störung des zellulären Metabolismus“ „Substanzen sind individuell sehr verschieden, eine kritische Eigenschaft ist die Lungenpassage mit Ansammlung in benachbarten Lymphknoten“ „Möglicher oxidativer Stress und Entzündungsreaktionen im Lungengewebe“
Versicherer	keine Angaben

Carbonnanotubes

Bei fast allen Stakeholdergruppen findet sich in den Kommentaren ein Vergleich von Carbonnanotubes mit Asbestfasern. Besonders häufig wird darauf hingewiesen, dass der Wirkmechanismus unbekannt ist. Dies mag darin begründet sein, dass die bislang vorliegenden wissenschaftlichen Studien zu Carbonnanotubes sich eher widersprechen (Poland et al. 2008, Zhao et al 2008). Die Ergebnisse korrespondieren mit den Ergebnissen zu möglichen Ursachen für Toxizitätspotenziale, wo 18-mal die Gestalt als Ursache für die Toxizität von Carbonnanotubes angegeben wurde.

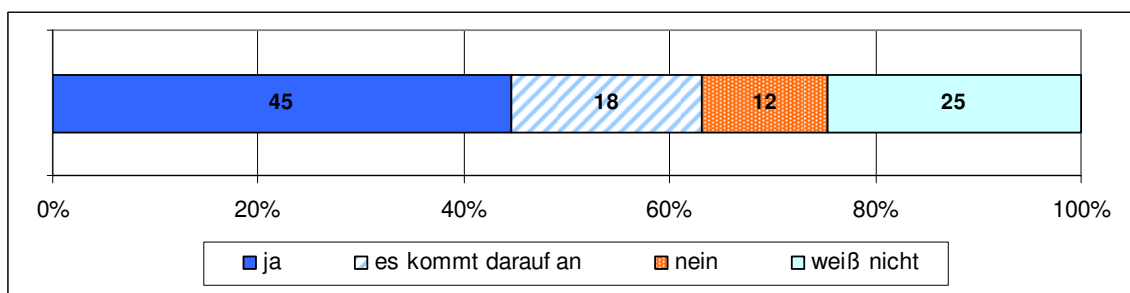
Der von den Expertinnen und Experten herangezogene Asbestvergleich wurde in einer These aufgegriffen und den Experten zu Bewertung vorgelegt. Die These lautete: „In Bereichen der Nanotechnologie, wo Nanotubes zur Anwendung kommen, können sich möglicherweise ähnliche gesundheitliche Folgen einstellen wie bei Asbestfasern, da die Nanotubes sich möglicherweise analog zu größeren lungengängigen Fasern verhalten.“

Tab. 14: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von Carbonnanotubes

Industrie	„Fasern-typische Toxizität“ „Tox-Potenzial nicht eindeutig (unzureichende Charakterisierung, Einfluss von Verunreinigungen, Metall, Ruß)“ „Derzeit noch unklar“
Wissenschaft	„Wirkungsmechanismen nicht bekannt.“ „Aufgrund ihrer Form haben Nanotubes ein besonders hohes tox. Potenzial ähnlich Asbest“ „Oxidativer Stress“ „Unbekannt“ „Analog Asbest“ „Fibrös, wie Asbest“
NGO/Gewerkschaft	„Gentoxizität, Radikalbildung, katalytische Prozesse, Zytotoxizität, Anreicherung, Beeinträchtigung der Mitochondrien“ „Asbestartige Wirkung“ „Entzündung, Fibrose und Granulome in Lunge durch metallische Katalysepartikel, Zytokinfreisetzung, freie Radikale,“ „oxidativer Stress“
Behörde/Politik	„Oxidativer Stress, mechanische Wirkung bei agglomerierten Nadeln“
Netzwerk	„Störung des zellulären Metabolismus“ „Substanzen sind individuell sehr verschieden, eine kritische Eigenschaft ist die Lungenpassage mit Ansammlung in benachbarten Lymphknoten“ „Möglicher oxidativer Stress und Entzündungsreaktionen im Lungengewebe“
Versicherer	„Aggregiert entzündungsauslösend“

44,6 % der Befragten waren der Meinung, dass bei der Inhalation von Carbonnanotubes ähnliche Wirkungen auftreten können, wie sie bei der Inhalation von Asbestfasern vorkommen (Abbildung 7). Dem widersprachen nur 12,3% der Expertinnen und Experten. In den Kommentaren wurde angemerkt, dass die Flexibilität von Nanotubes simple Analogien zu Asbest eher fragwürdig erscheinen lasse. Vielmehr seien Einzelfallbetrachtungen notwendig, die z. B. berücksichtigen, ob Carbonnanotubes in eine Matrix eingebunden seien oder in welcher chemischen Formulierung und Morphologie die Partikel vorlägen. Zudem käme es darauf an, ob Carbonnanotubes anders als Asbestfasern tatsächlich nicht von den Makrophagen angegriffen werden. Auch scheint das Aggregationsverhalten von Carbonnanotubes anders zu sein als das von Asbestfasern. Die aktuelle Datenlage lässt jedoch keine eindeutige Aussage und abschließende Bewertung zu.

Abb. 7: Einschätzung der These: In Bereichen der Nanotechnologie, wo Nanotubes zur Anwendung kommen, können sich möglicherweise ähnliche gesundheitliche Folgen einstellen wie bei Asbestfasern, da die Nanotubes sich möglicherweise analog zu größeren lungengängigen Fasern verhalten (n=65 Antworten)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Fullerene

Im Vergleich zu Carbonnanotubes gibt es seitens der Experten weniger Kommentare zu Fullerenen. Wichtig scheint hier der Hinweis auf die lipophilen Eigenschaften von Fullerenen, auf die die Vertreter der NGOs mehrfach hinwiesen. Demgegenüber steht der Hinweis aus der Industrie, dass die bislang vorliegenden Forschungsdaten nur auf eine geringe Toxizität hinweisen.

Tab. 15: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von Fullerenen

Industrie	„Daten zeigen geringe Toxizität“ „Bisher im Wesentlichen an Fischen untersucht“
Wissenschaft	„Wirkungsmechanismen nicht bekannt“ „Unklar, oxidativer Stress möglich“
NGO/Gewerkschaft	„Gentoxizität, Radikalbildung, katalytische Prozesse, Zytotoxizität, Anreicherung, Beeinträchtigung der Mitochondrien u.a. Zellorganellen, Membranschäden“ „Lipophil, durch Lipidperoxidation Gehirnstörungen“ „Potenzielle Überwindung der Blut-Hirn-Schranke“
Behörde/Politik	„Oxidativer Stress“
Netzwerk	„Störung des zellulären Metabolismus“
Versicherer	keine Angaben

Polymere

Bei den nanoskaligen Polymeren gehen die Kommentare sehr weit auseinander. Zum einen wird von der Industrie angegeben, Polymere seien generell nicht toxisch, zum anderen wird von NGO-Seite der „Tod durch hämorrhagische Lungenentzündung“ für möglich gehalten. Aus dem Bereich der Wissenschaft kommt der Hinweis, dass eher die Rückstände an Monomeren kritisch zu betrachten sind. Die übrigen Kommentare sind identisch mit denen voriger Substanzen.

Tab. 16: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von nanoskaligen Polymeren

Industrie	„Polymere sind generell non-toxisch“ „Kann nur spezifisch beantwortet werden“
Wissenschaft	„Gebiet unscharf definiert“ „Oxidativer Stress“ „Hier sind eher die Rückstände an Monomeren zu beachten“
NGO/Gewerkschaft	„Gentoxizität, Radikalbildung, katalytische Prozesse, Zytotoxizität, Anreicherung, Beeinträchtigung der Mitochondrien u. a. Zellorganellen, Membranschäden“ „Tod durch hämorrhagische Lungenentzündung, nur durch frische, nicht agglomerierte Partikel“
Behörde/Politik	„Oxidativer Stress“
Netzwerk	„Störung des zellulären Metabolismus“
Versicherer	keine Angaben

Nanokomposite

Die wenigen und unspezifischen Antworten korrespondieren zur eher nachrangigen Bewertung von Nanokompositen hinsichtlich toxischer Wirkungen (Tabelle 1).

Tab. 17: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von Nanokompositen

Industrie	„Normalerweise in Matrix eingebunden und somit nicht frei verfügbar“ „Kann nur spezifisch beantwortet werden“
Wissenschaft	„Gebiet unscharf definiert“ „Oxidativer Stress“ „Als persistente Partikel entzündliche Wirkung“
NGO/Gewerkschaft	„Gentoxizität, Radikalbildung, katalytische Prozesse, Zytotoxizität, Anreicherung, Beeinträchtigung der Mitochondrien u.a. Zellorganellen, Membranschäden“
Behörde/Politik	„Oxidativer Stress“
Netzwerk	„Störung des zellulären Metabolismus“
Versicherer	keine Angaben

Silber

Die Hinweise zu toxischen Effekten von nanoskaligem Silber kommen aus allen Stakeholdergruppen. Diese Einschätzung korreliert mit den im weiteren Verlauf der Befragung zunehmend kritischeren Äußerungen gegenüber Anwendungen mit Silber.

Tab. 18: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von nanoskaligem Silber

Industrie	„Weniger toxisch als Lösungen von Silbersalzen“ „Wenn sie als inerte unlösliche Partikel vorliegen inflammatorische Wirkung“
Wissenschaft	„Wirkungsmechanismus bekannt“ „Katalytisch aktiv, oxidativer Stress“
NGO/Gewerkschaft	„Überwiegend Anreicherung“ „Translokation über nervus olfactorius in bulbus olfactorius des Gehirns, Passieren der Synapsen, im Gehirn in Mitochondrien“ „Nanoskalig unbekannte Effekte“
Behörde/Politik	„Beeinträchtigung der Atemorgane“ „Oxidativer Stress“
Netzwerk	„Keine Gefahr“ „Störung des zellulären Metabolismus“ „Silber (Ag+) ist akut toxisch, hemmt eine Reihe von Enzymen“ „Möglicher oxidativer Stress und Entzündungsreaktionen im Lungengewebe“
Versicherer	keine Angaben

Vitamine

Bei der Einschätzung von nanoskaligen Vitaminen gehen die Kommentare auch innerhalb der Stakeholdergruppen auseinander. Offensichtlich besteht keine Einigkeit darüber, ob Vitamine überhaupt zu den Nanomaterialien gezählt werden können. Insgesamt werden das toxische Potenzial und die Wirkmechanismen nicht unbedingt auf die Nanoskaligkeit bezogen, sondern eher auf Hypervitaminosen.

Tab. 19: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von nanoskaligen Vitaminen

Industrie	„Keine Nanopartikel“ „Bei Vitaminen ist keine Toxizität bekannt. Bessere Bioverfügbarkeit aufgrund kleinerer Partikel und Teilchengrößen.“ „Nicht toxisch“ „Sind meist in Körperflüssigkeiten löslich, intrinsische Stoffeigenschaften sind zu berücksichtigen“
Wissenschaft	„Wirkungsmechanismus bekannt.“ „Je nach Vitamin Toxizität/z. B. Vitamin E“ „Veränderung der Bioverfügbarkeit, kann möglicherweise zu Hypervitaminose führen“
NGO/Gewerkschaft	„Überwiegend Anreicherung“
Behörde/Politik	„Oxidativer Stress“
Netzwerk	keine Angaben
Versicherer	keine Angaben

Abbaubare Materialien: Nanoskalige Lipidverbindungen, Biopolymere

Generell scheinen die Vertreterinnen und Vertreter der Industrie hier von keinem negativen Wirkmechanismus auszugehen. Beachtenswert ist der hohe Anteil von Antworten aus der kosmetischen Industrie, die nahezu einheitlich und sehr ausführlich sind. Die kosmetische Industrie hatte bei vielen anderen Substanzen geschrieben, dass diese in ihrem Bereich nicht eingesetzt werden und deshalb keine Kommentare abgegeben. Ausnahmen sind nanoskaliges Siliziumdioxid, Titandioxid und Zinkoxid, die jeweils mit der Bemerkung „kein erhöhtes Potenzial“ oder „niedriges Potenzial“ versehen wurden.

Tab. 20: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von nanoskaligen Lipidverbindungen, Biopolymeren

Industrie	„Lösen sich bereits in der obersten Hautschicht auf, daher keine Nanopartikel und keine Relevanz für Nano-Diskussion“ „Sollten m.E. nicht als Nanomaterialien angesehen werden, da es sich hier um Lipidstrukturen handelt, die ihre Form in der obersten Hautschicht wieder aufgeben und lediglich als Transportvehikel für Wirkstoffe dienen“ „Nicht toxisch“ „Sind meist in Körperflüssigkeiten löslich bzw. abbaubar, keine Toxizität bekannt, bessere Bioverfügbarkeit aufgrund kleinerer Partikel- und Tröpfchengrößen“ „Kein Nano - Diese Stoffe fallen m.E. nicht unter die Definition Nano. Hierbei handelt es sich um kugelförmige Anordnungen aus Phospholipidschichten, die in ihrem Aufbau den biologischen Zellmembranen ähneln. Lipo- und Nanosomen dienen dazu, spezielle Wirkstoffe, die in diesen Strukturen eingeschlossen werden, leichter in die Haut transportieren zu können“ „Aufgrund der Abbaubarkeit dieser Substanzklassen ist von einer Nanoform nicht auszugehen“
Wissenschaft	„Wirkungsmechanismus noch nicht bekannt“ „Potenziell biologisch aktive Substanzen bei Abbau, Aktivierung von zellulärer Abwehr“
NGO/Gewerkschaft	„Überwiegend Anreicherung“ „Entzündung in Lunge, vaskuläre Effekte, wie Thrombose nach intravenöser Applikation“ „Lebereffekte, lokale radikale Sauerstoffspezies“ „Nur Abbauprodukte toxisch“
Behörde/Politik	„Moderate Toxizität als freie Partikel“ „Oxidativer Stress“
Netzwerk	keine Angaben
Versicherer	keine Angaben

Nanotone/Schichtsilikate

Bei der Bewertung von Nanotonen bestehen Differenzen zwischen den Aussagen der befragten Wissenschaftler und den Vertretern aus dem Bereich Netzwerke zur Frage, ob Feinstäube aus Glasfasern problematisch sein könnten. Ansonsten werden die bereits bekannten Mechanismen wie oxidativer Stress und Genotoxizität angeführt. Generell aber geht die Bewertung eher dahin, dass beim Einsatz von Nanotonen der Nutzen die möglichen Risiken überwiegt.

Tab. 21: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von Nanotonen/Schichtsilikaten

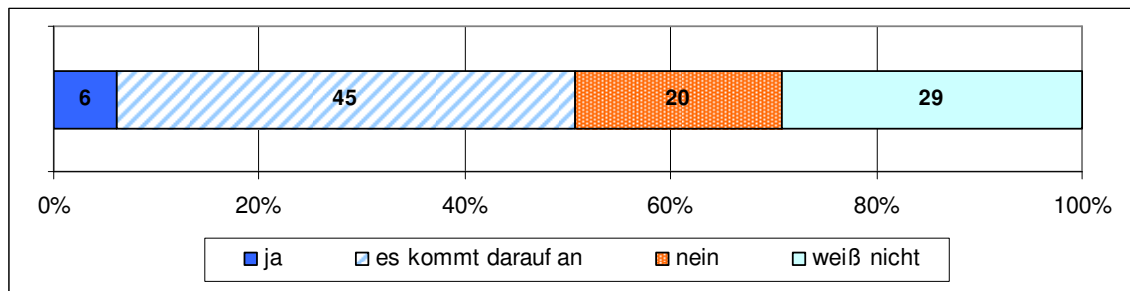
Industrie	Keine weiteren Angaben
Wissenschaft	„Erwarte keine Toxizität“ „Nicht matrixgebundene Partikel vorerst vorsorglich als riskant einstufen; auch einige aggregierte möglicherweise toxisch“ „Oxidativer Stress“
NGO/Gewerkschaft	„Genotoxizität, Radikalbildung, katalytische Prozesse, Zytotoxizität, Anreicherung, Beeinträchtigung der Mitochondrien u.a. Zellorganellen, Membranschäden“
Behörde/Politik	„Oxidativer Stress“
Netzwerk	„Störung des zellulären Metabolismus“ „U.a. Feinstäube aus Glasfasern“
Versicherer	„Silikose“

4.1.5 Faktoren für karzinogene Wirkungen von Nanomaterialien

Im vorangegangenen Abschnitt wurde bereits detailliert verschiedenen Wirkmechanismen nachgegangen. Besonders häufig wurden oxidativer Stress, Entzündungsprozesse und genotoxische Effekte als Wirkmechanismus für toxische Effekte von Nanomaterialien herangezogen. In diesem Abschnitt soll ein weiterer toxikologischer Endpunkt näher betrachtet werden, der bislang nicht genannt wurde – die Kanzerogenität von Nanomaterialien. Dieses Thema wurde den Expertinnen und Experten in Form der folgenden These präsentiert: „Nanopartikel haben nach inhalativer Aufnahme eine karzinogene Wirkung.“

Aus Abbildung 8 wird deutlich, dass nur 6 % der Experten diese These bestätigen. 44,6 % der Befragten schließt eine karzinogene Wirkung unter bestimmten Bedingungen zumindest nicht aus. 20 % glauben nicht, dass die Inhalation von Nanopartikeln karzinogene Effekte hat.

Abb. 8: Einschätzung der These: Nanopartikel haben nach inhalativer Aufnahme eine karzinogene Wirkung (n=65 Antworten)



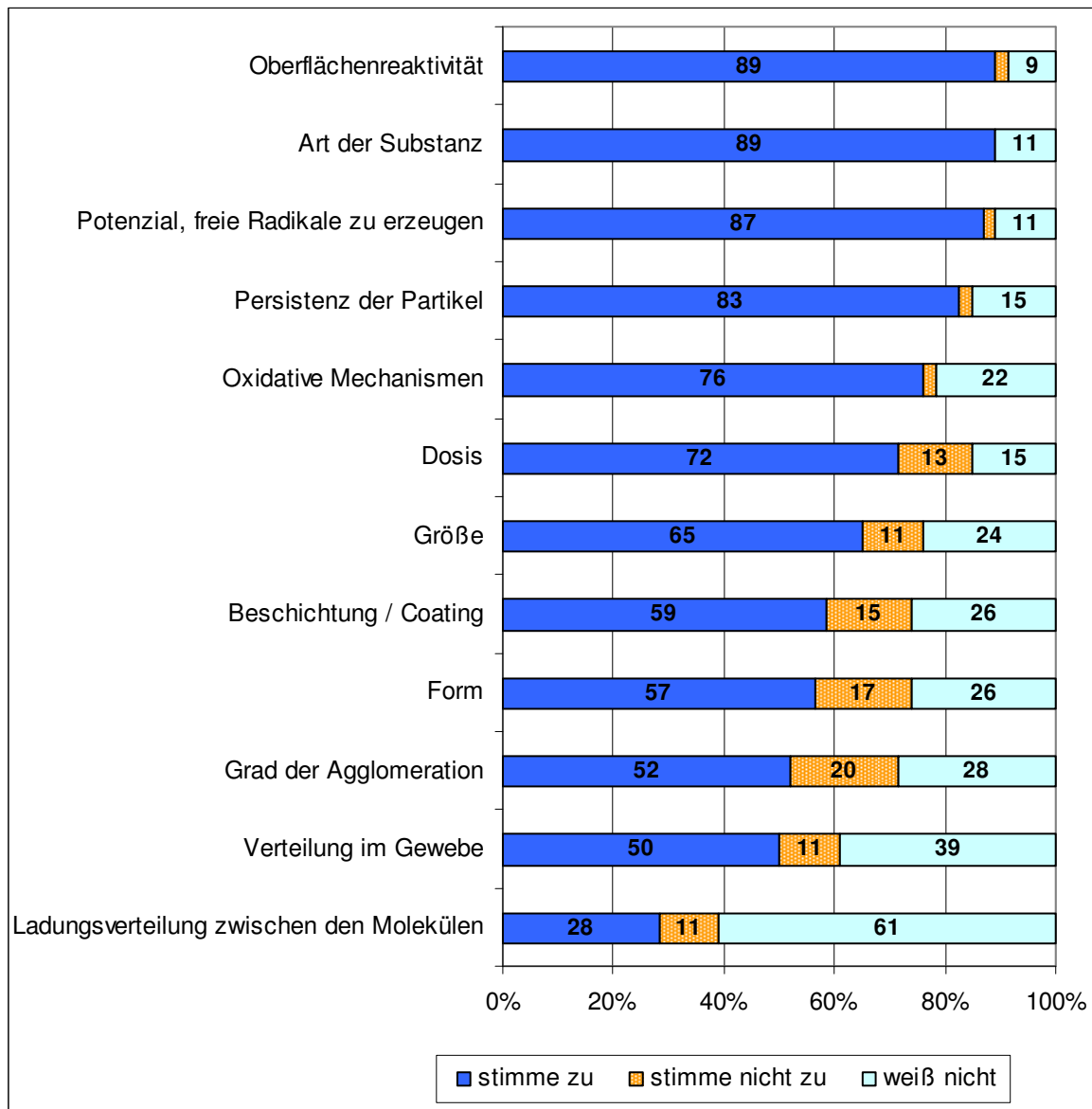
Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Die anschließenden Äußerungen geben Hinweise auf verschiedene Kriterien, von denen eine krebserregende Wirkung von Nanomaterialien abhängen könnte:

- Ladungsverteilung zwischen den Molekülen
- Verteilung im Gewebe
- Grad der Agglomeration
- Form
- Beschichtung/Coating
- Größe
- Dosis
- Oxidative Mechanismen
- Persistenz der Partikel
- Potenzial, freie Radikale zu erzeugen
- Art der Substanz
- Oberflächenreaktivität

Diese Kriterien wurden in Befragungsrunde 2 erneut einer Bewertung durch die Experten unterzogen. Im Ergebnis zeigt sich, dass die Expertinnen und Experten v. a. in der Oberflächenreaktivität von Nanomaterialien, in der Art der jeweiligen Substanz, dem Potenzial freie Radikale zu erzeugen und der Persistenz von Nanopartikeln die Ursache für karzinogene Effekte von Nanomaterialien sehen (Abbildung 9).

Abb. 9: Abhängigkeitsfaktoren für karzinogene Wirkungen von Nanomaterialien (jeweils n=46 Antworten)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Die Kommentare gingen generell in die Richtung, dass es keine spezifische Karzinogenität von Nanomaterialien gibt bzw. die Annahme falsch sei, dass eine generelle Karzinogenität von Nanopartikeln ausgehe. Die Karzinogenität müsse vielmehr stoffspezifisch betrachtet werden. Weiterführend wurde auf Ergebnisse einer Studie (Warheit et al. 2006) verwiesen, die keine Korrelation von Teilchengröße (Nano/Mikro) bei der Inhalationstoxizität von Quarzsand zeigt.

Die Anmerkungen zu der Frage nach den Abhängigkeitsfaktoren für Karzinogenität wiesen keine signifikanten stakeholderspezifischen Differenzen auf: Hinsichtlich der Oberflächenreaktivität wurde angemerkt, dass diese beispielsweise bei TiO_2 möglich, aber noch nicht belegt sei. Als möglicher Auslöser für chronische Entzündungen wurde die durch eine Oberflächenreaktivität ausgelöste Reaktion mit Molekülen genannt. Auch der Zusammenhang von Karzinogenität und dem Potenzial, freie Radikale zu erzeugen, wird grundsätzlich gesehen. Entscheidend sei in diesem Kontext allerdings die Konzentration an gebildeten Radikalen sowie der Ort ihrer Entstehung.

Die Bedeutung der Substanz für mögliche karzinogene Wirkungen wird unter den Experten z. T. gegensätzlich diskutiert. Ein Teil der Befragten führt an, dass nicht jede nanoskalige Substanz ein karzinogenes Potenzial hat. So haben beispielsweise Titandioxid und Zinkoxid keine karzinogenen Wirkungen. Ein anderer Befragter weist darauf hin, dass potentiell jede Nanosubstanz mit einer Partikelgröße < 70 nm potenziell karzinogen ist. Bezüglich der Persistenz der Partikel wird angemerkt, dass zumindest Partikel, die auf der obersten Hautschicht verbleiben, kein karzinogenes Potenzial aufweisen. Die Persistenz sei des Weiteren bei löslichen Partikeln nur bezüglich ihrer Quantität relevant. Darüber hinaus wird darauf hingewiesen, dass bei Tieren eine Persistenz von Partikeln bereits nachgewiesen wurde. Diese sei Ausgangsbasis für chronische Entzündungen bzw. Karzinome. Zum anderen wird angeführt, dass die Persistenz zwar die Expositionsdauer erhöhe, dies aber keine Bedingung für Karzinogenität sei.

Bezüglich der Dosis wurde mehrfach darauf hingewiesen, dass diese nicht in allen Fällen für karzinogene Wirkungen verantwortlich ist. Zu beachten sei hier beispielsweise die substanzabhängige Wirkschwelle. Andererseits wurde angemerkt, dass die Dosis bei jeder toxischen Wirkung eine Rolle spiele. Auch bezüglich der Bedeutung von Beschichtung und Coating wird eine differenzierte Betrachtung gefordert. Zum einen wird darauf verwiesen, dass die Stabilität relevant ist: Je stabiler die Beschichtung sei, desto weniger karzinogen sei diese. Andererseits führe ein unterschiedliches Coating nicht unbedingt zu großen Differenzen in der Wirkung. Nanoskalige Titandioxide verhielten sich beispielsweise trotz unterschiedlichen Coatings auf der Haut bzw. in ihrer Lokalisierung sehr ähnlich.

4.2 Exposition

Das wissenschaftliche Verständnis unterscheidet die Begriffe „Gefährdungspotenzial“ und „Risiko“. Dabei meint „Risiko“ eine Kombination von Ausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens. Entscheidend dabei ist die Gewichtung des möglichen Schadensausmaßes mit der Wahrscheinlichkeit einer Exposition und der damit verbundenen Schädigung. Durch die Verwendung von Nanomaterialien in verbrauchernahen Produkten ist davon auszugehen, dass Verbraucherinnen und Verbraucher zunehmend exponiert sind. Zusätzlich ist eine Exposition über Wasser, Boden und Luft möglich, wenn Nanomaterialien in diese Umweltmedien gelangen. Aus Sicht des gesundheitlichen Verbraucherschutzes ist daher das Wissen um das Vorkommen von Nanomaterialien in Haushaltsprodukten (Erzeugnissen wie auch Zubereitungen) von Interesse. Es wäre daher hilfreich, die Verwendung von Nanomaterialien in Verbraucherprodukten hinreichend zu dokumentieren und zu charakterisieren. Vor diesem Hintergrund empfiehlt es sich, die Exposition als Auswahlkriterium für toxikologische Tests zu berücksichtigen. Nanomaterialien mit hohem Expositionspotenzial sind prioritär zu identifizieren und charakterisieren.

4.2.1 Verbrauch von Nanomaterialien

Zur Beschreibung eines Risikos sind unter anderem Informationen erforderlich, in welchem Maße der Mensch mit Nanomaterialien in Kontakt kommt. Sofern keine Informationen zur Exposition vorliegen, kann der Verbrauch von Nanomaterialien als Schätzgröße verwendet werden. In diesem Sinne wurden die Experten um eine Einschätzung der Entwicklung des Verbrauchs verschiedener Nanomaterialien bis 2015 gebeten:

„Der weltweite Verbrauch von Nanomaterialien im Jahre 2001 und 2006 ist der unten stehenden Tabelle zu entnehmen (Haas, K.-H. et al. 2003). Wie schätzen Sie die künftige Entwicklung in den angeführten Produktkategorien bis 2015 ein? Bitte bewerten Sie die Entwicklung für 2015 in der Dropdownliste.“

Tab. 22: Weltweiter Verbrauch von Nanomaterialien [nach Haas, et al. 2003]²

Produkte/Materialien	2001 in Masse (1000 t)	2001 in Wert (Mio \$)	2006 in Wert (Mio \$)
Metalle	1–2	35–70	Ca. 200
Al-Nanobeschichtungen	1,7	193	252
SiO ₂			
Klassisch (µm-Maßstab)	(540)	(840)	(930)
reine Nanostrukturen	370	1200	1600
Metalloxide (Al, Zr, Zn, Ti, Fe)			
Pyrolytisch	4,5	100	>200
Nasschemisch	190	1300	1850
Effektpigmente	15	400	500
Nanotone/Schichtsilikate	0,2	1,5	25
Polymere Nanokomposite	4	15	300
<i>Kohlenstoff:</i>			
Fullerene, Nanotubes, Nanofasern	<0,1	ca. 5	25–70
<i>Organische Materialien:</i>			
Dendrimere, hochverzweigte Polymere, POSS*	<<	<1	5–15
Gesamt	> 580	> 3100	> 4400

Anmerkungen:

* POSS = Polyhedral Oligomeric Sil Sesquioxane -

Die Werte in () werden nicht in den Summenwert „Gesamt“ einbezogen, da die Nanoeigenschaft des jeweiligen Nanomaterials im Endprodukt nicht mehr nachweisbar ist. Die Produkteigenschaften sind nicht mehr von der spezifischen Nanoqualität abhängig und können bisweilen auch ohne Nanomaterialeinsatz erreicht werden.

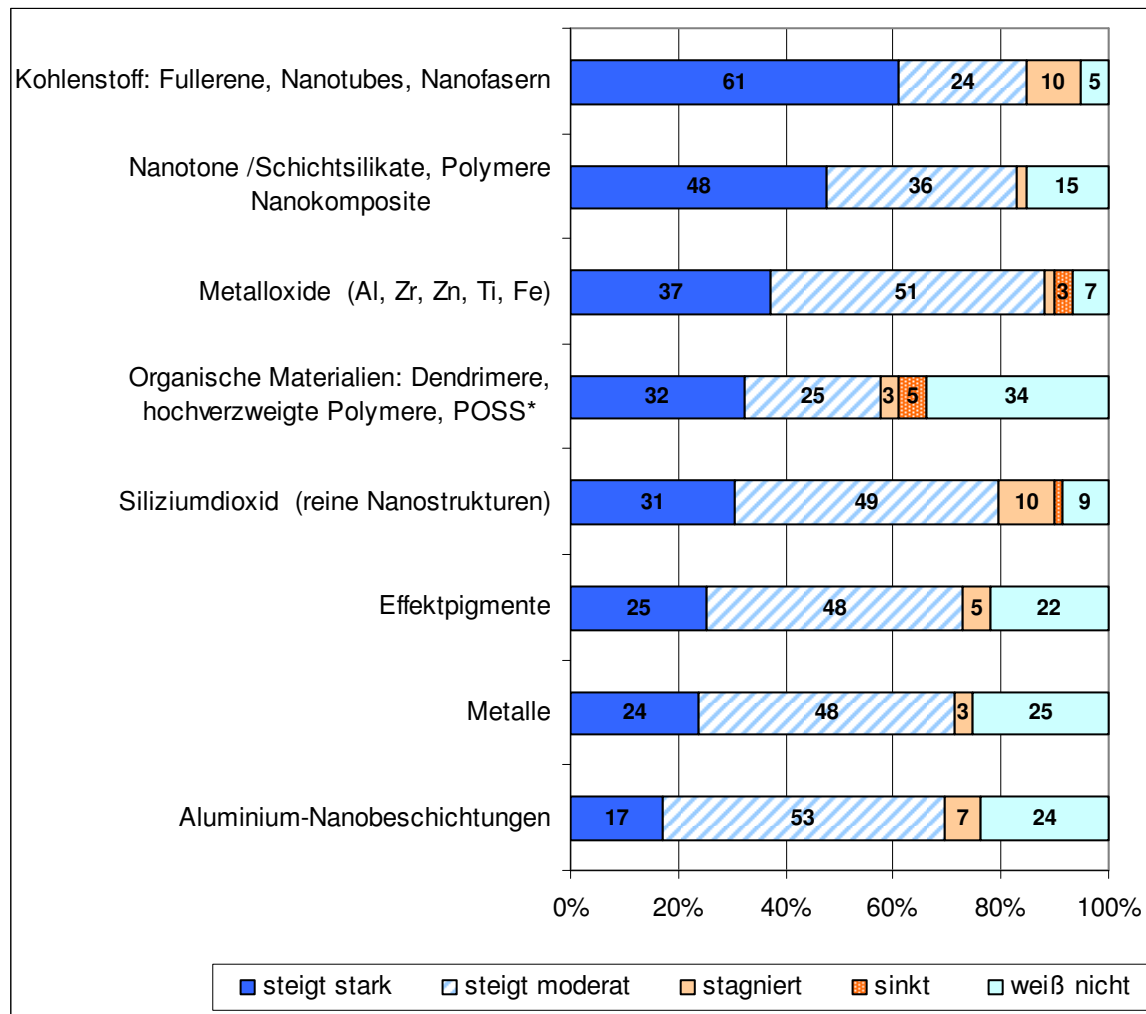
Ziel der Frage war es, herauszuarbeiten, für welche Nanomaterialien die Expertinnen und Experten einen besonders hohen Verbrauch erwarten. In Verbindung mit den derzeitigen Verbrauchszahlen lassen sich erste Ableitungen zur möglichen Exposition des Verbrauchers durch Nanomaterialien ziehen.

Die Experten prognostizieren für alle Nanomaterialien mehrheitlich einen moderaten bis starken Anstieg des Verbrauchs (siehe Abbildung 10).

Als Materialien mit der höchsten Verbrauchszunahme werden Kohlenstoffe (Fullerene, Nanotubes, Nanofasern), Nanotone/Schichtsilikate und Metalloxide gesehen. Der geringste Zuwachs wird bei Metallen, Aluminium sowie Nanobeschichtungen und Effektpigmenten erwartet. Diese Einschätzung kann nur als Näherung interpretiert werden. Die Experten weisen in den Kommentaren auf die fehlende Datenbasis und die Problematik bei der Zuordnung von Einzelanwendungen zu den gefragten Gruppen hin. Bei der Bewertung der Kohlenstoffe als Material mit den höchsten zu erwartenden Zuwächsen ist zu berücksichtigen, dass die derzeit hergestellten Mengen in Deutschland nach Aussage einiger Experten nur gering sind. Sie sind aber insofern mit Aufmerksamkeit zu betrachten, als dass die Kohlenstoffverbindungen im weiteren Verlauf des Delphi-Verfahrens zu den als kritisch bewerteten Materialien gehören.

² Haas, K.-H.; Hutter, F.; Warnke, P.; Wengel, J.: (2003) Produktion von und mit Nanopartikeln – Untersuchung des Forschungs- und Handlungsbedarfes für die industrielle Produktion. Gefördert durch BMBF Förderkennzeichen: 02PH 2107, Projektträger PTF. Würzburg Juli 2003.

Abb. 10: Geschätzter Verbrauch von Nanomaterialien weltweit (n=59 Antworten)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

4.2.2 Expositionsweg

Die Exposition gegenüber Nanomaterialien kann grundsätzlich dermal, oral und inhalativ erfolgen. Aus kosmetischen Mitteln oder über entsprechend behandelte Textilien ist eine dermale Exposition möglich. Nanomaterialien in Formulierungen kosmetischer Mittel können ferner die Hautpenetration weiterer Inhaltsstoffe beeinflussen. Die Verwendung von nanoskaligem Titandioxid und nanoskaligem Zinkoxid als UV-Filter in Sonnenschutzmitteln ist seit Langem bekannt. Zu weiteren Nanomaterialien in kosmetischen Mitteln und sonstigen Bedarfsgegenständen, die in Kontakt mit der Haut oder der Schleimhaut kommen, liegen derzeit zu wenige Informationen vor. Eine orale Exposition könnte durch den Verzehr von Lebensmitteln auftreten, die Nanomaterialien enthalten. Sie kann jedoch auch erfolgen, wenn Nanomaterialien aus Verpackungsmaterialien auf Lebensmittel übergehen. In diesem Zusammenhang besteht neben dem Informationsbedarf über derartige Lebensmittel und Verpackungsmaterialien Forschungsbedarf sowohl zur Frage der Absorption im Verdauungstrakt und der damit verbundenen systemischen Verfügbarkeit und möglichen Anreicherung in bestimmten Kompartimenten oder Organen als auch zum Migrationsverhalten verschiedener Nanomaterialien aus Verpackungsmaterialien für Lebensmittel. Eine inhalative Belastung tritt beispielsweise bei der Verwendung von Sprühaerosolen im Haushaltsbereich auf. Wie unzuverlässig die Informationen zur Exposition sind, zeigte der Fall eines "Nano"-

Versiegelungssprays, dessen Anwendung zu schweren Lungenerkrankungen führte. Letztlich stellte sich heraus, dass das „Nanoprodukt“ keine Nanomaterialien enthielt (BfR 2006).

In diesem Abschnitt soll daher der Frage nachgegangen werden, welche Bedeutung die verschiedenen Expositionswege nach Einschätzung der Expertinnen und Experten für negative gesundheitliche Effekte haben können. Ziel der Frage war es, eine Orientierung zu erhalten, ob bestimmte Nanomaterialien generell oder nur auf bestimmten Expositionswegen einen negativen gesundheitlichen Effekt erwarten lassen. Die Experten konnten zwischen den Kategorien „keine Bedeutung“, „geringe Bedeutung“, „mittlere Bedeutung“ und „hohe Bedeutung“ wählen. Die Auswahl der beiden letztgenannten Kategorien wurde als Indiz gewertet, dass die Expertinnen und Experten diesem Expositionsweg bei einem konkreten Nanomaterial Bedeutung für negative gesundheitliche Effekte zuschreiben.

Die folgende Tabelle 23 führt die Nanomaterialien in der absteigenden Reihenfolge der Anzahl von Nennungen auf. Zur besseren Übersicht der Ergebnisse wurden die Werte, die eine "mittlere" oder "hohe" Bedeutung des Aufnahmeweges für negative gesundheitliche Effekte aufzeigen, addiert und für den jeweiligen Expositionsweg aufgeführt.

Im Ergebnis wurden durchweg hohe Werte für den inhalativen Expositionsweg erzielt. Der orale oder dermale Expositionsweg scheint nur für wenige Nanomaterialien wie z. B. Chrom (III)-oxid oder Nickeloxid relevant zu sein. Dies ist jedoch weniger darin begründet, dass die Experten glauben, bei diesen Stoffen gehen die negativen gesundheitlichen Effekte von einer Exposition gegenüber Nanopartikeln aus. Vielmehr handelt es sich bei Chrom (III)-oxid und Nickeloxid unabhängig vom Expositionsweg oder der Partikelgröße um Substanzen mit einer hohen inhärenten Toxizität.

Die Angaben zu den Expositionswegen wurden durch Kommentare von 52% der Befragten ergänzt. Im Vordergrund stand der Hinweis, dass in vielen Fällen eine inhalative Exposition gegenüber Nanomaterialien nur bei der Verarbeitung möglich ist. Entsprechende Arbeitsschutzmaßnahmen werden laut Industrie bereits getroffen. Von verschiedenen Stakeholdern wurde darauf verwiesen, dass Exposition nicht automatisch „adverser Effekt“ bedeute. In diesem Kontext wurde außerdem erläutert, dass oft Agglomerate anstelle von Nanopartikeln auftreten. Darüber hinaus wurde angemerkt, dass bei nanoskaligen organischen Farbpigmenten die Toxizität von den jeweiligen Einzelsubstanzen abhängig ist. Ebenso wurde bestätigt, dass anorganische Farbpigmente, Chromate und Cadmium-Pigmente negative gesundheitliche Effekte für alle Expositionswege erwarten lassen. Kommentiert wurde auch, dass die meisten der hier angeführten Materialien derzeit in Forschungsprojekten mit standardisierten Messverfahren auf ihre Toxizität geprüft werden.

Substanzen, die in der ersten Befragungsrunde von mindestens einem Drittel der Expertinnen und Experten für den inhalativen, oralen und dermalen Expositionsweg negative gesundheitliche Effekte zugewiesen bekamen, wurden einer erneuten Prüfung in Runde 2 unterzogen. Diese zweite Fragerunde mit identischer Fragestellung ist ein typisches methodisches Element für Delphi-Befragungen, um die Stabilität der Bewertungen zu prüfen. Die Tabelle 24 aus Runde 2 zeigt, dass die Stakeholderbewertungen für alle Stoffe tendenziell in die gleiche Richtung gehen wie in Runde 1. Im Ergebnis zeigt sich, dass die Inhalation von Nanomaterialien als der Expositionsweg eingeschätzt wird, von dem die größten gesundheitlichen Effekte ausgehen dürften.

Tab. 23: Zuschreibung negativer gesundheitlicher Effekte für verschiedene Expositionswege in Runde 1. Die Prozentangaben in den Spalten beziehen sich auf die Anzahl der Expertinnen und Experten (n), die für den jeweiligen Expositionsweg negative gesundheitliche Effekte durch Nanomaterialien erwarten.

Stoffe mit negativem gesundheitlichen Effekt/Expositionsweg				
Nanomaterialien	n	oral (in %)	dermal (in %)	inhalativ (in %)
Siliziumdioxid	46	12,5	4,2	79,2
Titandioxid	45	17,8	24,4	82,8
Carbonnanotubes	45	33,3	22,2	88,9
Zinkoxid	44	20,5	25,0	79,5
Fullerene	41	36,6	43,9	78,0
Aluminiumoxid	40	17,5	15,0	70,0
Eisenoxid	38	15,8	2,6	76,3
Silber	36	36,1	27,8	63,9
Vitamine	36	47,2	16,7	30,6
Nickeloxid	35	60,0	48,6	65,7
Anorganische Farbpigmente	34	20,6	32,4	70,6
Nanokomposite	34	11,8	11,8	52,9
Abbaubare Materialien (Lipid- verbindungen, Biopolymere)	34	35,3	20,6	26,5
Chrom(III)-oxid	33	51,5	39,4	84,8
Silikate	32	9,4	6,3	75,0
Organische Farbpigmente	31	32,3	41,9	77,4
Nanotone/Schichtsilikate	30	16,7	10,0	53,3
Polymere	29	17,2	17,2	58,6

Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Tab. 24: Zuschreibung negativer gesundheitlicher Effekte für verschiedene Expositionswege in Runde 2. Die Prozentangaben in den Spalten beziehen sich auf die Anzahl der Expertinnen und Experten (n), die für den jeweiligen Expositionsweg negative gesundheitliche Effekte durch Nanomaterialien erwarten.

Stoffe mit negativen gesundheitlichem Effekt/Expositionsweg				
Nanomaterialien	n	oral (in %)	dermal (in %)	inhalativ (in %)
Carbonnanotubes	37	40,5	35,1	91,9
Fullerene	31	51,6	51,6	96,8
Silber	33	36,4	39,4	63,6
Vitamine	33	36,4	15,2	18,2
Nickeloxid	31	51,6	80,6	71,0
Abbaubare Materialien (Lipid- verbindungen, Biopolymere)	32	28,1	18,8	28,1
Chrom(III)-oxid	30	60,0	50,0	80,0
Organische Farbpigmente	23	34,8	43,5	60,9

Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Im Folgenden werden die einzelnen Expositionswege in der Reihenfolge oral, dermal und inhalativ anhand ausgewählter Thesen noch einmal genauer betrachtet.

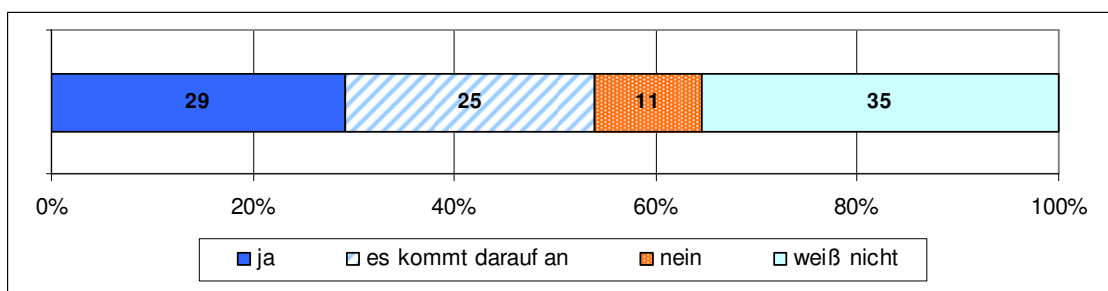
4.2.3 Oraler Expositionsweg

In diesem und in den nächsten Abschnitten wurden Thesen zu den verschiedenen Expositionswegen aufgestellt und den Expertinnen und Experten zur Bewertung vorgelegt. Als Antwortkategorien waren „ja“, „nein“, „es kommt darauf an“ und „weiß nicht“ vorgegeben. In Runde 1 wurden die Thesen von allen Stakeholdergruppen ausführlich kommentiert. Auf Grundlage der Kommentare wurden die Fragestellungen aus der ersten Befragungsrunde zum Teil präzisiert und in Runde 2 erneut gestellt.

Eine erste These widmete sich der Frage, ob durch die orale Aufnahme von Nanopartikeln eine systemische Exposition des Organismus produziert wird. Knapp ein Drittel der Befragten stimmte dieser These zu, 11 % lehnten sie ab (Abbildung 11). Auffällig ist der hohe Anteil derjenigen, die bei ihrer Einschätzung die Kategorien „es kommt darauf an“ oder „weiß nicht“ wählten. Es findet sich also keine eindeutige Bewertungstendenz zu dieser Aussage.

Nach Meinung mehrerer Expertinnen und Experten kommt es bei der Aufnahme von Nanopartikeln über den Darm zu systemischer Exposition des Organismus. Dies treffe jedoch nicht auf die orale Aufnahme von nanoskaligen Vitaminen und Carotinoidformulierungen zu. Außerdem müssten Substanz, Größe, Oberflächenchemie, Material und Coating, Ladung und Löslichkeit in die Betrachtung einer systemischen Exposition mit einbezogen werden. Andere Experten weisen darauf hin, dass die Aufnahmeschwelle von Nanopartikeln bei oraler Exposition größer sei als bei der Inhalation.

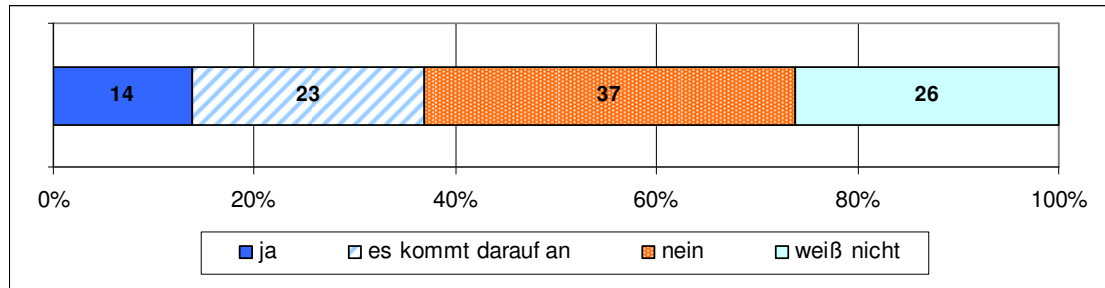
Abb. 11: Einschätzung der These: Die orale Aufnahme von Nanopartikeln produziert systemische Exposition des Organismus (n=65 Antworten)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Die nächste These „Metallische Nanopartikel werden vom Körper nicht über den Magen-Darm-Trakt aufgenommen“ wurde von mehr als einem Drittel der Experten abgelehnt. Der These stimmten nur 13,8 % der Befragten zu (Abbildung 12). Die Experten verwiesen auf die spezifischen Eigenschaften der Nanomaterialien und dass generelle Aussagen erneut schwierig zu treffen seien. Es komme vielmehr auf die Oberflächenchemie, Ladung und Löslichkeit an. Einige Experten ergänzten, dass es sehr unwahrscheinlich sei, dass metallische Nanopartikel überhaupt nicht resorbiert würden, es komme vielmehr auf die Dosis an, die wiederum durch die Eigenschaften der Nanopartikel bestimmt werde. Weiterhin wurde angemerkt, dass, sofern die Nanopartikel in der Magensäure löslich sind, diese Substanzen auch in andere Bereiche gelangen könnten. Bei unlöslichen Nanopartikeln sei eine Aufnahme – ähnlich wie in der Lunge – eine Frage der Beschaffenheit der Membranen. Auch die aktive Rolle der Darmwand müsse in die Betrachtung mit einbezogen werden, da beispielsweise Hg^{2+} , Ag^+ , Cd^{2+} resorbiert würden.

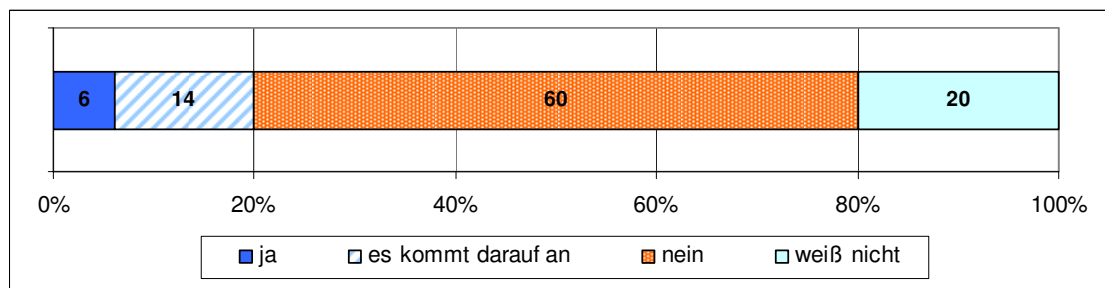
Abb. 12: Einschätzung der These: Metallische Nanopartikel werden nicht über den Magen-Darm-Trakt aufgenommen (n=65 Antworten)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Eine dritte These, nach der Nanopartikel bestimmte Rezeptoren brauchen, um überhaupt aufgenommen zu werden, wurde von fast zwei Dritteln der Experten abgelehnt (Abbildung 13). So bräuchten beispielsweise nanoskalige Vitamin- und Carotinoidformulierungen keine bestimmten Rezeptoren, um aufgenommen zu werden. Nanopartikel könnten auch Komplexe mit anderen Biomolekülen bilden, die die Vehikelfunktion übernehmen. Grundsätzlich seien aber auch hier keine generalisierenden Aussagen möglich, da die möglichen Aufnahmewege von Nanopartikeln in Zellen noch nicht ausreichend geklärt sind.

Abb. 13: Einschätzung der These: Nanopartikel brauchen bestimmte Rezeptoren, um überhaupt aufgenommen zu werden (n=65 Antworten)

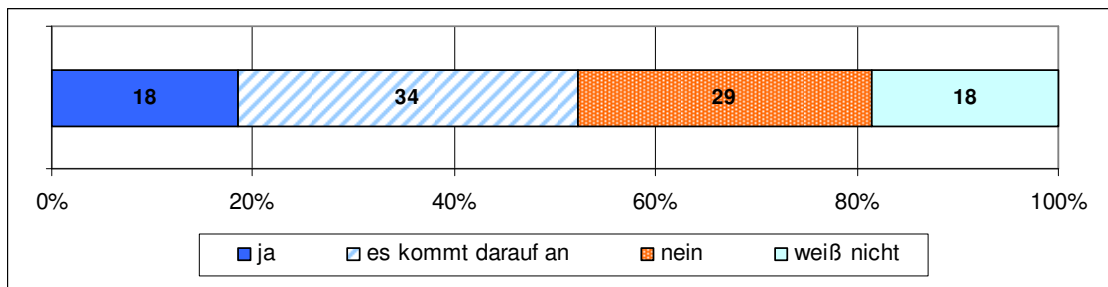


Erläuterung: Prozentangaben gerundet

4.2.4 Dermaler Expositionsweg

Keine klare Aussage seitens der Experten gab es zur ersten These aus dem Bereich der dermalen Exposition, dass Nanopartikel die Haut passieren können und eine systemische Exposition des Organismus verursachen. 29 % der Befragten lehnten diese These ab, aber 34 % meinten, es komme auf eine spezifische Betrachtung an (Abbildung 14). So wurde einerseits darauf verwiesen, dass wissenschaftliche Studien mit nanoskaligem Titandioxid und Zinkoxid belegen, dass Nanopartikel nicht die Haut durchdringen. Es wurde aber auch auf die Zwischenräume der Hautschichten, Haarwurzeln und Schweißdrüsen verwiesen, über die eine systemische Exposition möglich sei. Außerdem besäßen sehr kleine TiO₂-Partikel eine ähnliche Größe wie Biomoleküle und Proteine, die die Haut penetrieren können. Entsprechend wichtig sei es, die aufgestellte These wissenschaftlich zu untersuchen.

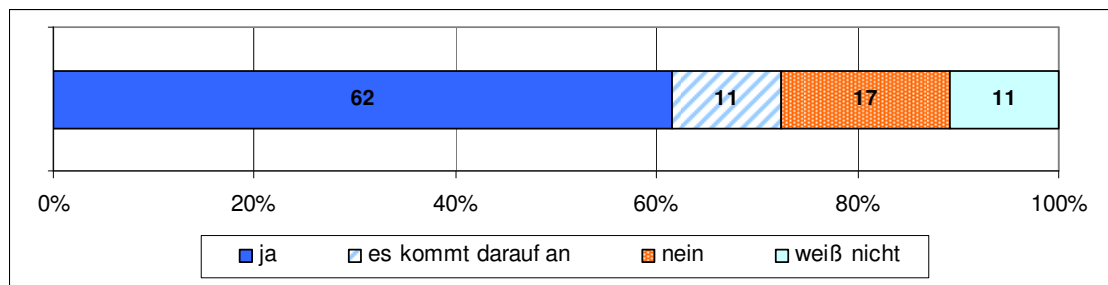
Abb. 14: Einschätzung der These: Nanopartikel können die Haut passieren und verursachen eine systemische Exposition des Organismus (n=65 Antworten)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Dieses unklare Ergebnis wurde in den nächsten Thesen spezifiziert. Die These „Die Haut ist weitgehend dicht für Nanopartikel, wenn sie ihrer Schutzfunktion nachkommen kann und frei von Beschädigungen oder starken mechanischen Beanspruchungen ist“ wurde von fast zwei Drittel der Experten bestätigt (Abbildung 15). Ergänzungen der Befragten verwiesen allerdings darauf, dass die Möglichkeit der Durchdringung der Haut durch Nanopartikel von deren Größe, chemischer Zusammensetzung und Oberflächenbeschaffenheit abhängt, allergische Reaktionen möglich und weitere Einflussfaktoren wie z. B. Schweißdrüsen zu berücksichtigen seien. Es wurde weiter angemerkt, dass es bislang keine Beweise gäbe, dass „beschädigte“ Haut für Nanopartikel durchgängiger sei als gesunde Haut. Dieser Hinweis wurde im Expertenworkshop bestätigt. Des Weiteren wurde angemerkt, dass Nanopartikel sich an bestimmte haut-durchgängige Biomoleküle und/oder Proteine binden könnten, mit deren Hilfe sie durch die Haut penetrieren könnten.

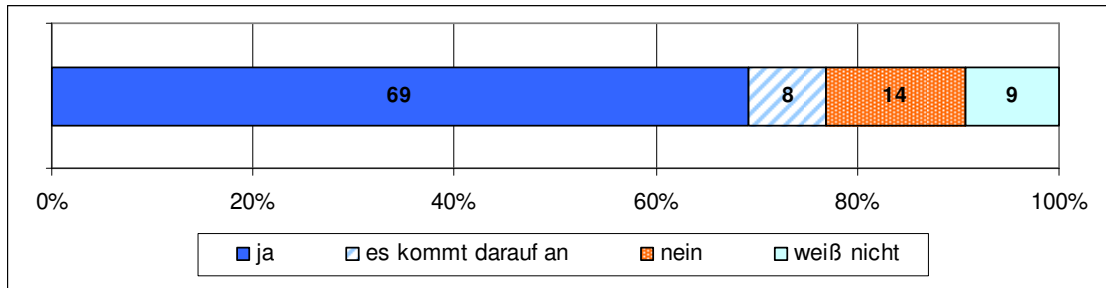
Abb. 15: Einschätzung der These: Die Haut ist weitgehend dicht für Nanopartikel, wenn sie ihrer Schutzfunktion nachkommen kann und frei von Beschädigungen oder starken mechanischen Beanspruchungen ist (n=65 Antworten)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

In einer zweiten These wurde die Gegenprobe unternommen. Die These lautete: „Bei Hautverletzungen, starker mechanischer Beanspruchung und sehr kleinen Nanopartikeln (< 5–10 nm) ist die Schutzfunktion wahrscheinlich eingeschränkt“. Wiederum stimmten fast zwei Drittel der Expertinnen und Experten dieser These zu (Abbildung 16). Obwohl es derzeit noch keine fundierten wissenschaftlichen Erkenntnisse zu diesem Thema gibt, glaubt eine klare Mehrheit der Befragten, dass, wenn die Schutzfunktion der Haut nicht mehr intakt ist, auch Nanopartikel in den Organismus gelangen könnten.

Abb. 16: Einschätzung der These: Bei Hautverletzungen, starker mechanischer Beanspruchung und sehr kleinen Nanopartikeln (< 5–10 nm) ist die Schutzfunktion wahrscheinlich eingeschränkt (n=65 Antworten)



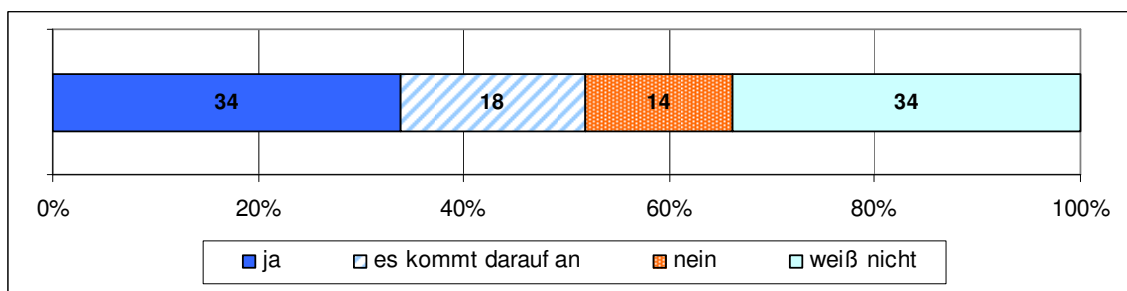
Erläuterung: Prozentangaben gerundet

In einigen Anmerkungen wurde darauf hingewiesen, dass die Formulierung der These nicht eindeutig sei. Für die zweite Runde der Delphi-Befragung wurden deshalb zwei neue Thesen entwickelt:

- Erwarten Sie bei Kontakt mit Nanomaterialien auf gestresster Haut einen negativen gesundheitlichen Effekt, der sich auf die Nanoskaligkeit der Stoffe zurückführen lässt?
- Erwarten Sie bei Kontakt mit sehr kleinen Nanopartikeln (<5–10 nm) auf der gesunden Haut negative gesundheitliche Effekte?

Die Antworten auf die erste neue These lassen nur tendenzielle Aussagen zu. So erwartet nur ein Drittel der Expertinnen und Experten, dass es zu negativen gesundheitlichen Effekten kommt, wenn die gestresste Haut mit Nanomaterialien in Kontakt kommt und dass diese Effekte mit der Nanoskaligkeit der Stoffe zu tun haben (Abbildung 17). In den Anmerkungen wurde darauf verwiesen, dass keine Erhöhung des Hautdurchgangs zu erwarten sei, solange das Stratum corneum intakt ist. So wurden nanoskaliges Titandioxid und Zinkoxid auch bei UV-gestresster Haut als unproblematisch bewertet. Es wurde jedoch darauf hingewiesen, dass, falls systemisch verfügbare Nanomaterialien einen negativen gesundheitlichen Effekt zeigen, die Wahrscheinlichkeit, dass diese Effekte nach Hautkontakt mit diesen Nanomaterialien beobachtet werden könnten, höher sei. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die geschädigte Haut durchlässiger ist als die intakte Haut. Bezug nehmend auf Ergebnisse des europäischen Forschungsprojekts „NanoDerm“ wurde darauf verwiesen, dass „Nanopartikel bei Verletzungen der vitalen Dermis auch in die tieferen Hautschichten eindringen können“. Generelle Aussagen zu negativen gesundheitlichen Effekten seien jedoch nicht möglich, da die Nanoskaligkeit nicht allein als ursächlich für eine negative Wirkung betrachtet werden kann.

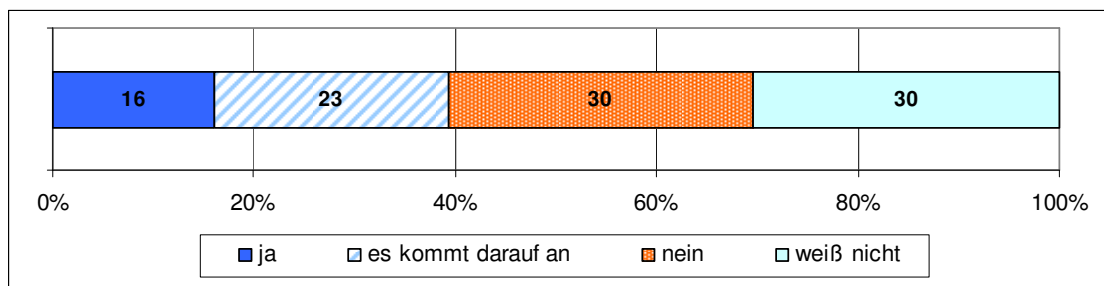
Abb. 17: Einschätzung der These: Erwarten Sie bei Kontakt mit Nanomaterialien auf gestresster Haut einen negativen gesundheitlichen Effekt, der sich auf die Nanoskaligkeit der Stoffe zurückführen lässt? (n=56 Antworten)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Bezüglich der Bewertung negativer gesundheitlicher Effekte bei Kontakt mit sehr kleinen Nanopartikeln auf der Haut wurde mehrheitlich darauf verwiesen, dass negative gesundheitliche Effekte eher stoff- als teilchengrößenabhängig sind. Ein Drittel der Befragten lehnte die folgende These ab: „Erwarten Sie bei Kontakt mit sehr kleinen Nanopartikeln (<5-10 nm) auf der gesunden Haut negative gesundheitliche Effekte?“ (Abbildung 18). Ein Experte merkte jedoch an, je kleiner Nanopartikel wären, desto leichter könnten sie Membranbarrieren durchdringen. Darüber hinaus sei zu berücksichtigen, dass die Oberflächenmodifikation der Nanopartikel die Hautdurchlässigkeit verändern kann.

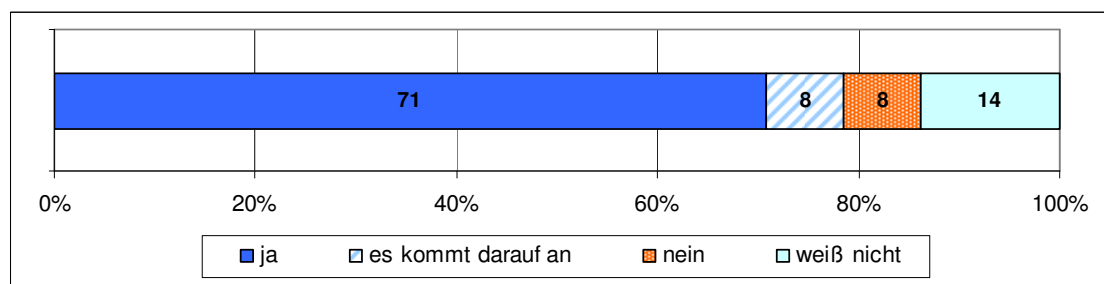
Abb. 18: Einschätzung der These: Erwarten Sie bei Kontakt mit sehr kleinen Nanopartikeln (<5-10 nm) auf der gesunden Haut negative gesundheitliche Effekte? (n=56 Antworten)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Eine weitere These zur dermalen Exposition wurde klar befürwortet. Mehr als zwei Drittel der Expertinnen und Experten waren der Meinung, dass sich durch manuelle Tätigkeiten mit staubförmigen oder suspendierten Partikeln eine dermale Belastung ergibt und dass die Hautbelastung gering bleibt, wenn die Nanopartikel in einer Feststoffmatrix gebunden sind (Abbildung 19). Es wurde jedoch angemerkt, dass diese Frage nur über Langzeitversuche zu beantworten sei. Bisher lägen erst wenige Erkenntnisse zur Migration von Nanopartikeln aus Feststoffmatrices vor. Es wurde auch darauf hingewiesen, dass es entscheidend sei, wie stark die Partikel in der Matrix gebunden sind und dass zudem die Zeitdauer der Exposition relevant sei.

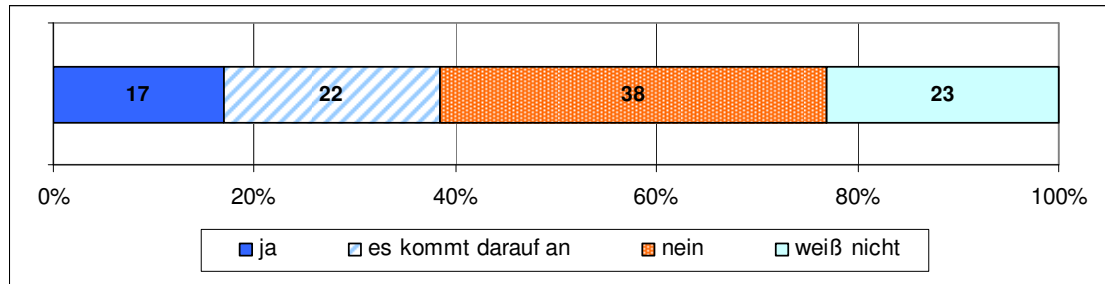
Abb. 19: Einschätzung der These: Eine dermale Belastung ergibt sich unter anderem durch manuelle Tätigkeiten mit staubförmigen oder suspendierten Partikeln. Sind die Nanopartikel in einer Feststoffmatrix gebunden, ist eine Hautbelastung gering (n=65 Antworten)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Die nächste These, die den Expertinnen und Experten zur Bewertung vorgelegt wurde, lautete: „Liposomen können weder das intakte Stratum corneum passieren, noch können sie die Aufnahme aktiver Inhaltsstoffe verbessern“. Diese These wurde von 38,5% der Befragten abgelehnt (Abbildung 20). Verschiedene Experten kommentierten, dass die Zusammensetzungen von liposomalen Zubereitungen das Penetrationsverhalten von aktiven Substanzen durchaus beeinflussen könne. Liposomen verbessern nach Ansicht der Experten die Aufnahme aktiver Inhaltsstoffe, passieren aber nicht das Stratum corneum, sondern dienen als Transportvehikel für Wirkstoffe.

Abb. 20: Einschätzung der These: Liposome können weder die intakte Stratum corneum passieren, noch können Sie die Aufnahme aktiver Inhaltsstoffe verbessern (n=65 Antworten)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

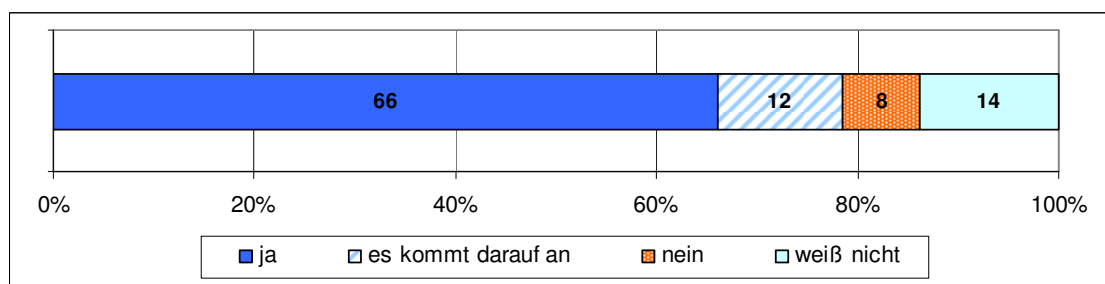
Da die Liposomen-These nicht eindeutig formuliert worden war, wurde sie in zwei Teile aufgeteilt und in der zweiten Delphi-Runde neu gestellt. Die beiden neuen Thesen lauteten:

- Können Liposome das intakte Stratum corneum passieren?
- Verbessern sie die Aufnahme aktiver Inhaltsstoffe?

Die Neuformulierung führte allerdings zu keinem Erkenntnisgewinn. Die Mehrheit der Expertinnen und Experten gab in Runde 2 an, keine Erkenntnisse zu diesem Thema zu haben. 58,9 % bei These a) und 57,1 % bei These b) wählten die Option „weiß nicht“ (jeweils n=56).

Der nächsten These: „Nanoskaliges TiO₂ schützt die Haut vor genotoxischen und karzinogenen Wirkungen des UV-Lichts“ stimmten zwei Drittel der Expertinnen und Experten zu (Abbildung 21). Nanoskaliges Titandioxid in Sonnenschutzformulierungen steigert den Lichtschutz und hat damit eine anti-karzinogene Wirkung. Eine genotoxische Wirkung des UV-Lichts, wie in der These angedeutet, wird von den Experten jedoch für unwahrscheinlich gehalten. Es gab aber auch Kommentare, die darauf hinwiesen, dass zwar eine UV-Absorption durch Nanomaterialien stattfindet, andererseits TiO₂ selbst eine genotoxische und karzinogene Wirkung habe.

Abb. 21: Einschätzung der These: Nanoskaliges TiO₂ schützt die Haut vor genotoxischen und karzinogenen Wirkungen des UV-Lichts (n=65 Antworten)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

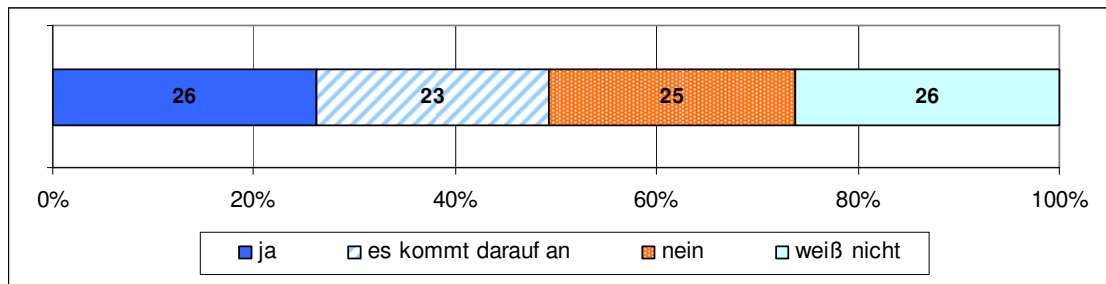
4.2.5 Inhalativer Expositionsweg

Im Abschnitt zur Beurteilung verschiedener Expositionswege war der inhalative Expositionsweg als derjenige identifiziert worden, von dem die Expertinnen und Experten am ehesten negative Wirkungen auf die menschliche Gesundheit erwarten. Dieses Resultat soll im Folgenden an zwei weiteren Thesen spezifiziert werden.

Die erste These lautete: „Inhalierter Nanopartikel werden systemisch aufgenommen und beeinflussen das Herz-Kreislauf-System und das Gehirn“. Im Ergebnis bestätigten ein Viertel der Befragten die These, aber ein weiteres Viertel lehnte die These ab (Abbildung 22). Da es

auf die Substanz und Art der Beschichtung der Nanopartikel ankommt, könnten nach Ansicht der Experten keine generalisierenden Aussagen gemacht werden, sondern es müssten Einzelfallbetrachtungen angestellt werden. Die These wäre dann für jedes einzelne Material und Größenklasse zu prüfen. Erste Studien deuten jedoch darauf hin, dass inhalierte Nanopartikel systemisch aufgenommen würden und das Herz-Kreislaufsystem und das Gehirn beeinflussen (Li et al 2007; Kwon et al 2008).

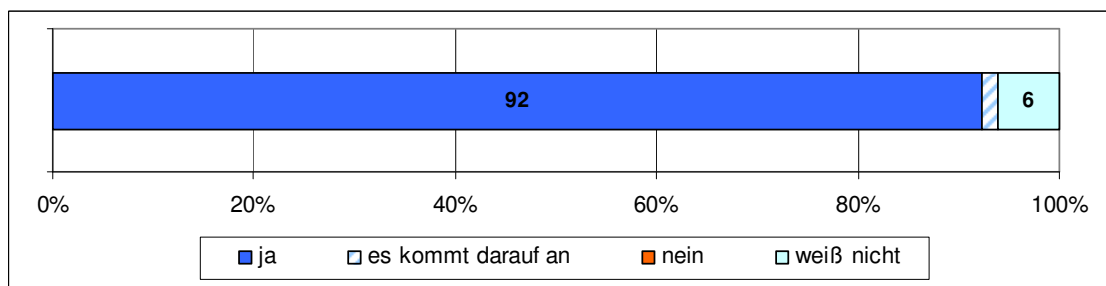
Abb. 22: Einschätzung der These: Inhalierte Nanopartikel werden systemisch aufgenommen und beeinflussen das Herz-Kreislauf-System und das Gehirn (n=65 Antworten)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Bei der zweiten These zum inhalativen Expositionsweg herrschte hingegen große Einigkeit unter den Experten. 92 % der Befragten stimmten der These zu, dass sich die inhalative Exposition wesentlich reduzieren ließe, wenn Nanopartikel in eine feste Matrix oder eine flüssige Suspension eingebunden wären (Abbildung 23). Nach Ansicht einiger Experten müsse jedoch der Lebenszyklus von Nanomaterialien mit berücksichtigt werden, da sich durch Alterungs- und Abbauprozesse Nanopartikel möglicherweise wieder aus einer Matrix herauslösen könnten.

Abb. 23: Einschätzung der These: Eine Verwendung der Partikel in einer nicht staubenden Form oder in einer flüssigen Suspension (fest in flüssig), die nicht versprüht wird sowie der Einschluss der Partikel in eine feste Matrix (fest in fest) können die inhalative Exposition wesentlich reduzieren (n=65 Antworten)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

4.2.6 Empfehlungen für den Arbeitsschutz

Das Expositions-kapitel hat deutlich gemacht, dass eine inhalative Exposition aus Vorsorgegründen zu vermeiden ist. Hierbei geht es vorrangig um Expositionsvermeidungsstrategien und konkrete Schutzmaßnahmen. Dies gilt auch für die dermale und orale Exposition. Im Expertenworkshop wurde an konkreten Handlungsanweisungen für den Arbeitsschutz gearbeitet. Folgende Empfehlungen sprechen die Experten aus:

Vermeidung von inhalativer Exposition

- Die Senkung der inhalativen Belastung auf die Hintergrundbelastung wird empfohlen, sofern keine ausreichenden toxikologischen Daten vorliegen.
- Bei Flammprozessen sollte in geschlossenen Systemen gearbeitet werden, um Exposition grundsätzlich zu vermeiden. Gegebenenfalls ist für lokale Absaugungen zu sorgen.
- Systemgrenzen bei geschlossenen Systemen sind kritisch zu prüfen (Frage der Raumlüftung): Beim Filterwechsel ist eine Exposition mit Nanopartikeln möglich. Hier ist eine Einzelfallprüfung angezeigt, welche Schutzmaßnahmen notwendig sind.
- Filtersysteme sind in der Regel Oberflächenfilter: Nanopartikel lassen sich aufgrund hoher Diffusivität leicht abscheiden. Erste Studien mit NaCl liegen vor, bei denen gezeigt wird, dass Filter Nanopartikel effektiv abscheiden. Diese Untersuchungen müssen für die jetzt gängigen Nanopartikel durchgeführt werden. Abscheideraten und Standzeiten sollten geprüft werden.

Vermeidung dermalen Exposition

- Wird bei Fällungsreaktionen in Lösung gearbeitet, ist eine dermale Exposition über Handschuhe zu vermeiden. Wenn Lösungsmittel nicht durch den Handschuh dringen, dann ist davon auszugehen, dass darin dispergierte/suspendierte NP auch nicht durchdringen.

Weitere Maßnahmen

- In jedem Fall ist eine Arbeitsplatzbereichsanalyse durchzuführen, aus der ggf. lokale Schutzeinrichtungen und persönliche Schutzmaßnahmen (Staubmaske bis Vollanzug) abgeleitet werden können.
- Schutzkonzepte orientieren sich an den technischen Anlagen, die mit giftigen Materialien und Gasen arbeiten.

Messungen

- Eine gezielte Arbeitsplatzbereichsanalyse setzt Messungen der Exposition voraus. Die Messtechnologie für Nanomaterialien ist erst im Aufbau. Die Frage ist, wie lange mit Standardmaßnahmen weiter gearbeitet werden kann oder ob Schutzmaßnahmen im Sinne des Vorsorgeprinzips getroffen werden müssen. Die Experten empfehlen hier dringend eine Weiterführung der begonnenen Dialoge.
- Messmethoden für Nanomaterialien müssen normiert und international standardisiert werden. Dieser Prozess ist zu beschleunigen.
- Stationäre Messungen in Abhängigkeit von der Anwendung werden als sinnvoll erachtet.

Grenzwerte

- Für den Umgang mit Nanomaterialien müssen möglicherweise neue Grenzwerte erarbeitet werden – generell gelten die allgemeinen Staubgrenzwerte. Dies ist zu prüfen, die Experten sehen hier Forschungsbedarf.

Kommunikation

- Die Kommunikation zwischen Zulieferern und Weiterverarbeitern bezüglich der Möglichkeiten der Arbeitsplatzbewertung und ggf. notwendiger Schutzmaßnahmen ist zu verbessern.
- Problematisch scheint vor allem der Umgang mit Nichtwissen auf Seiten von Arbeitnehmern und Arbeitgebern. Hier sehen die Experten großen Informationsbedarf und die Notwendigkeit einer abgestimmten Kommunikationsstrategie zwischen Unternehmen, Verbänden, Gewerkschaften, Berufsgenossenschaften und Behörden.

- Die Erkenntnisse aus Forschung und Wissenschaft sollten gezielter an die Stakeholder weitergegeben werden. Veranstaltungen, die dem Wissensaustausch zwischen den Stakeholdern dienen, sollten in jedem Fall weitergeführt werden.

4.3 Fazit zu Risiken von Nanomaterialien

Gefährdungspotenzial

- Die Bewertung der Expertinnen und Experten hinsichtlich der Toxizität von Nanomaterialien liefert kein klares Bild. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist damit keine sinnvolle Risikobewertung aufgrund kritischer, leicht identifizierbarer Faktoren wie z. B. der Größe, Gestalt oder Löslichkeit möglich.
- Für jeden Anwendungszusammenhang muss eine spezifische Datenlage aufgebaut werden, bevor eine stimmige Beschreibung von Toxizitätspotenzialen und Wirkmechanismen gegeben werden kann. Hierzu wurden 18 Faktoren erarbeitet, die zur Bewertung von Nanomaterialien im konkreten Anwendungszusammenhang herangezogen werden müssen.
- Anhand der Ergebnisse zeigt sich eine eindeutige Tendenz, dass luftgetragene Nanomaterialien sehr viel häufiger ein toxisches Potenzial zugewiesen bekommen als in allen übrigen Aggregatzuständen.
- Oxidativer Stress, Entzündungsprozesse und genotoxische Effekte wurden als die wichtigsten Wirkmechanismen für toxische Effekte von Nanomaterialien beschrieben.
- Eine mögliche Karzinogenität von Nanomaterialien hängt v. a. von der Oberflächenreaktivität, der Art der Nanosubstanz, ihrem Potenzial, freie Radikale zu erzeugen und der Persistenz von Nanomaterialien ab.

Exposition

- Die Experten rechnen mit einer moderaten bis starken Zunahme des Verbrauchs an Nanomaterialien, so dass in Zukunft mit einer größeren Exposition von Arbeitnehmern und Verbrauchern gegenüber Nanomaterialien zu rechnen ist. Als besonders dynamisch wird der Markt für kohlenstoffbasierte Nanomaterialien und für Nanokomposite angesehen.
- Nach Ansicht der Experten ist der inhalative Expositionsweg der kritischste. Hier dürften am ehesten negative gesundheitliche Effekte bei einer Exposition gegenüber Nanomaterialien zu erwarten sein. Von inhalativer Exposition dürften jedoch in erster Linie Arbeitnehmer betroffen sein. Hier sind entsprechende Arbeitsschutzmaßnahmen durchzuführen.
- Bei der oralen Aufnahme von Nanopartikeln geht zumindest ein Teil der Experten davon aus, dass es zu einer systemischen Exposition des Organismus komme. Auch die These, dass metallische Nanopartikel vom Organismus aufgenommen werden können, wird nicht verworfen. Vielmehr wird davon ausgegangen, dass keine spezifischen Rezeptoren nötig seien, um Nanopartikel über den Magen-Darm-Trakt aufzunehmen.
- Die Schutzfunktion gesunder Haut gegenüber einer Exposition mit Nanopartikeln wird mehrheitlich bestätigt. Auch bei sehr kleinen Nanopartikeln geht eine Mehrheit der Experten davon aus, dass Nanopartikel nicht durch die Haut in den Organismus gelangen. Ebenso wird mehrheitlich eine eingeschränkte Schutzfunktion bei verletzter Haut erwartet. Sind Nanomaterialien in einer festen Matrix gebunden, rechnen die Experten mehrheitlich mit geringer Hautbelastung.
- Insgesamt warnen die Expertinnen und Experten vor generelle Aussagen und plädieren für Einzelfallbetrachtungen.

5 Nanoprodukte

Erkenntnisse aus der Nanotechnologie werden zunehmend zur Optimierung bestehender Produkte, aber auch zur Öffnung ganz neuer Produktsegmente eingesetzt. Im Umweltbereich können nanotechnologische Entwicklungen beispielsweise zur schonenderen Verwendung von Ressourcen, zu Verbesserungen der Effizienz von Energieerzeugungssystemen und leistungsfähigeren Filtersystemen zur Luft-, Wasser- oder Bodenreinigung führen. Im medizinischen Bereich eröffnen sich neue Diagnostik- und Therapieverfahren. So wird z. B. erwartet, dass Diagnosen früher, Prävention sowie Behandlungsmethoden gezielter und Verfahren patientenfreundlicher gestaltet werden können. Zudem hat die Nanotechnologie bereits Einzug in unseren Alltag gehalten. Ob sich selbst reinigende Keramikoberflächen oder nano-impregnierte Kleidung, die einen wirkungsvollen UV-Schutz ermöglicht – die Nanotechnologie ist für eine große Anzahl neuer Produktideen gut. Derzeit sind über 600 Produkte auf dem Markt verfügbar, die Nanomaterialien enthalten (vgl. Woodrow Wilson International Center for Scholars 2007) und weitere Produkte befinden sich derzeit in der Entwicklungsphase. Marktprognosen sehen langfristig ein Umsatzvolumen von 700 bis 800 Milliarden \$ jährlich (Hullmann 2006; VDI Technologiezentrum 2004).

Dieses Kapitel widmet sich konkreten Anwendungen der Nanotechnologie in den Bereichen Oberflächen, Textilien, Kosmetika und Lebensmittel. Im ersten Unterkapitel wird der wirtschaftlichen Bedeutung von Nanoprodukten nachgegangen, das zweite widmet sich möglichen negativen gesundheitlichen Effekten, die von Nanoprodukten ausgehen könnten, und das dritte fragt nach der Akzeptanz, die Nanoprodukte beim Verbraucher finden werden. Außerdem wird nach weiteren Elementen gefragt, die zur Bewertung von Risiken durch Nanoprodukte herangezogen werden sollten. Die Anwendungsbeispiele wurden auf der Grundlage des BfR-Expertengesprächs „Nanotechnologie – Einsatz, Trends und Risiken“, der Auswertung von Fach- und Publikumszeitschriften sowie mehrerer Experteninterviews zusammengestellt. Die Auswahl bezog sich auf jetzige und zukünftige Anwendungen gleichermaßen. Beispiele von Anwendungen, die sich bereits auf dem Markt befinden, wurden verallgemeinert und ohne Nennung von Firmen- oder Produktnamen formuliert.

5.1 Wirtschaftliche Bedeutung von Nanotechnologien

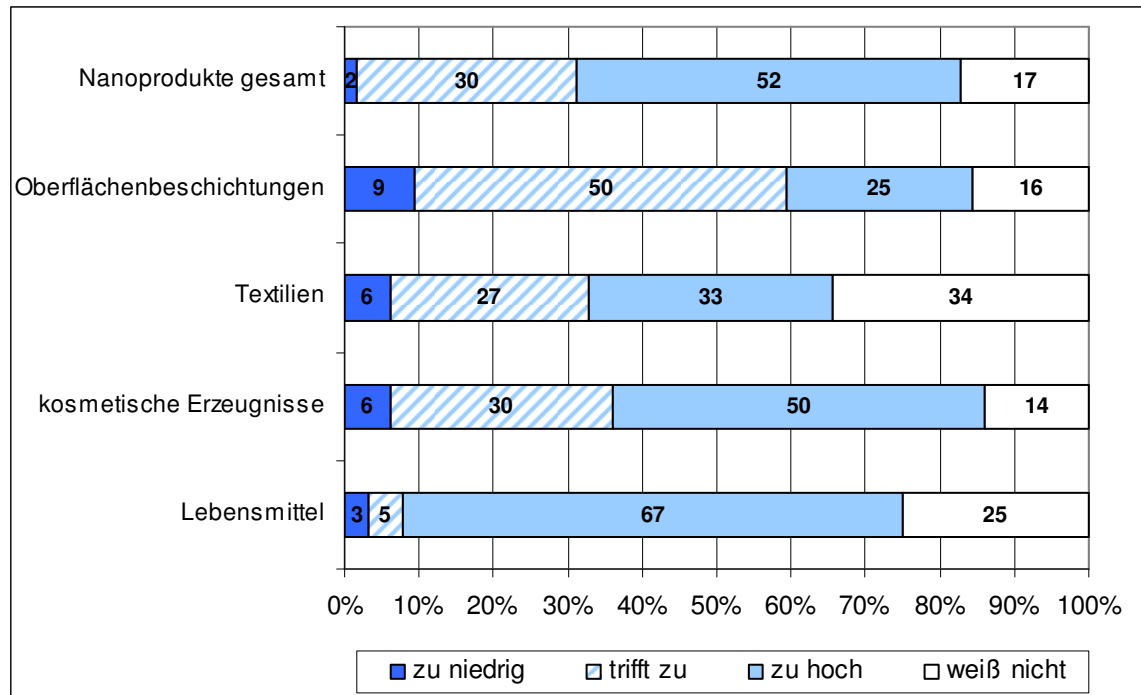
5.1.1 Gesamtumsatz mit Nanoprodukten

Um die wirtschaftliche Bedeutung von Nanoprodukten abschätzen zu können, wurden die Expertinnen und Experten gebeten, die Wachstumspotenziale für verschiedene Anwendungsbereiche der Nanotechnologie einzuschätzen. Die Frage lautete:

„Derzeit wird mit Nanoprodukten ein jährlicher Gesamtumsatz von weltweit ca. 52 Mrd. \$ erzielt. Nach einer Studie von Lux-Research wird der Markt aller Produkte rund um die Nanotechnologien jährlich um 70 % wachsen und der Gesamtumsatz würde im Jahre 2012 bereits bei 1400 Mrd. \$ liegen. Denken Sie, dass die Wachstumsprognose von 70 % gut gewählt ist?“

Von den 71 Expertinnen und Experten, die sich insgesamt an der ersten Befragungsrunde beteiligt hatten, gaben 64 eine Einschätzung zur Entwicklung des Gesamtumsatzes mit Nanoprodukten ab. Die Expertinnen und Experten hielten die Wachstumsprognose von 70% für den jährlichen Gesamtumsatz mit Nanoprodukten weltweit als zu hoch angesetzt (52 %). Immerhin 30 % der Befragten hielten die Wachstumsprognose für zutreffend und nur 2 % für zu niedrig (siehe Abbildung 24).

Abb. 24: Einschätzung der Wachstumsprognose von 70 % für den weltweiten Umsatz mit Nanoprodukten (n=64 Antworten)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Die größten Wachstumspotenziale für Nanoprodukte erwarten die Expertinnen und Experten im Bereich Oberflächenbeschichtungen. Hier waren 50 % der Befragten der Ansicht, dass der Umsatz mit Nanoprodukten weltweit jährlich um 70 % steigen wird. Weitere 9 % der Befragten hielt selbst diese Wachstumsprognose noch für zu niedrig angesetzt. Im Bereich Textilien war die Einschätzung der Expertinnen und Experten geteilt. 33 % glauben, dass die Wachstumsprognose von 70 % zutrifft bzw. zu niedrig angesetzt ist. Ebenfalls 33 % der Befragten sehen die Umsatzprognose jedoch als zu hoch angesetzt. In den Bereichen Lebensmittel und Kosmetika hielten die Expertinnen und Experten die vorgegebene Wachstumsprognose für den Umsatz mit Nanoprodukten für unrealistisch. Bei kosmetischen Erzeugnissen meinten 50 % der Befragten und bei Lebensmitteln sogar 67 %, jährliche Umsatzsteigerungen von 70 % seien zu hoch angesetzt. Insbesondere im Bereich Lebensmittel wird für die nächste Zukunft offensichtlich keine bedeutende Marktentwicklung bei Nanoprodukten erwartet.

Die Einschätzung der Umsatzentwicklung für Nanoprodukte war zumindest in einigen Bereichen von größerer Unsicherheit begleitet. So nutzten bei Textilien ein Drittel der Befragten und bei Lebensmittel ein Viertel der Befragten die „weiß nicht“-Kategorie. Ein Blick auf die Anmerkungen der Expertinnen und Experten zeigt, dass die Unsicherheit v. a. in den drei folgenden Punkten begründet ist:

- Die Wachstumsprognose von 70% wird von mehreren Befragten als fragwürdig eingestuft, da kein zuverlässiges Zahlenmaterial für eine Prognose vorliegt.
- Die Wachstumsentwicklungen der Nanotechnologien hängen vom Image und der Akzeptanz bzw. von der Wahrnehmung des Themas in der Bevölkerung und bei deren Repräsentanten ab. Betont wird in diesem Zusammenhang die Bedeutung einer offenen, kompetenten, glaubwürdigen und verantwortungsbewussten Kommunikation.
- Eine zuverlässige Einschätzung ist mangels definitorischer Abgrenzung derzeit nicht möglich, da nicht klar ist, welche Produkte zu den „Nano-Produkten“ zählen. Angeführt wird die Unterscheidung in „alte Nanoprodukte“, die bereits seit vielen Jahren mit nanotechno-

logischen Verfahren hergestellt werden, bisher aber nicht unter diese Bezeichnung fielen und „neue Nanoprodukte“. Letztere verfügen über neuartige Eigenschaften, die auf synthetisch hergestellten Nanomaterialien oder dem Einsatz eines neuen Nanoverfahrens beruhen. Hierzu ein typisches Zitat:

„Es werden jährlich etwa 15 Milliarden m² an Folienmaterialien erzeugt, die mit etwa 40 nm dünnen Barrierschichten aus Aluminium bedampft werden. Je nachdem, ob man ausschließlich diesen Bedampfungsschritt und die damit verbundenen Vorprodukte rechnet oder die aus diesen Vorprodukten hergestellten Endprodukte, ergeben sich Jahresumsätze zwischen 0,75 Mrd. \$ und 10 Mrd. \$ nur für dieses schmale Segment. (Die Schätzungen aus der nachfolgenden Tabelle für den ‚Wert‘ kranken an genau diesem Punkt. Ich würde das Drei- bis 15-Fache dafür ansetzen). Ähnliches gilt für die Lebensmitteltechnologie, in der verschiedenste kolloidale und disperse Systeme hergestellt werden. Der Begriff ‚Nanoprodukte‘ ist also bereits von der Definition her so unscharf, dass man auch einen deutlich höheren heutigen Gesamtumsatz annehmen kann. Im Gegenzug gilt dann aber, dass die entsprechenden Produkte weit etablierter sind, als man so annehmen würde, und damit nicht so extremen Steigerungsraten unterliegen werden.“

Da sich die Forderung nach einer definitorischen Schärfung bei fast allen in der Befragung vertretenen Stakeholdergruppen findet, wurde in der zweiten Delphi-Runde gefragt, wie „neue“ und „alte“ Nanomaterialien voneinander abgegrenzt werden könnten. Obwohl verschiedene Abgrenzungskriterien genannt wurden, gab es unter den Expertinnen und Experten keine Übereinstimmung in der inhaltlichen Ausgestaltung der Kriterien. Deshalb wurde diese Frage im Expertenworkshop vertieft. Die Teilnehmer des Workshops entwickelten Faktoren, die bestimmen, wie eine definitorische Zuordnung in „alte“ und „neue“ Nanomaterialien erfolgen könnte:

- Menge/Tonnage (Relevanz für Regulation)
- Zusammenhang zwischen Menge und Exposition
- Eigenschaften (neu/alt)/fachliche Bewertung (Toxizität)
- Regulatorische Einordnung
- Zeitpunkt (der Patentanmeldung sowie des Markteintritts)

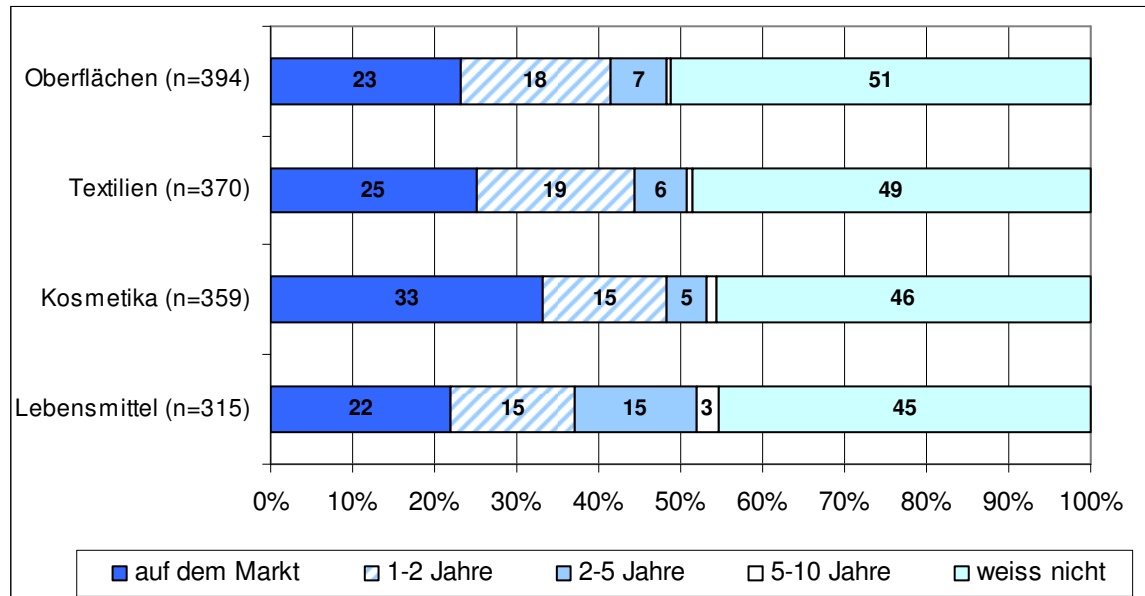
5.1.2 Marktreife von Nanoprodukten

In diesem Befragungsteil wurden die Expertinnen und Experten mit verschiedenen Nanoanwendungen in den Bereichen Oberflächen, Textilien, Kosmetika und Lebensmittel konfrontiert. Die Anwendungen waren theseartig formuliert und die Expertinnen und Experten sollten abschätzen, in welchem Zeitraum die Anwendungen Eingang in die Verbrauchermärkte finden werden. Als Kategorien waren vorgegeben: „auf dem Markt“, „Marktreife in 1–2 Jahren“, „Marktreife in 2–5 Jahren“, „Marktreife in 5–10 Jahren“ und die Kategorie „weiß nicht“. Insgesamt wurden den Expertinnen und Experten 30 Anwendungsbeispiele präsentiert. Die folgende Abbildung 25 fasst die Einschätzung der Experten für die jeweiligen Anwendungsbereiche über alle Beispiele hinweg zusammen.

Die größte Marktreife wird Nanoprodukten aus dem Bereich Kosmetik zugesprochen. Hier glauben insgesamt 33 % der Expertinnen und Experten, dass bereits Produkte auf dem Markt verfügbar sind, und weitere 15 % schätzen, dass Nano-Kosmetika in 1–2 Jahren zu kaufen sein werden. Die geringste Marktreife besteht nach Ansicht der Experten für Nanoprodukte aus dem Lebensmittelbereich. Aber immerhin sind auch hier noch 22 % der Befragten der Meinung, dass Anwendungen der Nanotechnologie im Lebensmittelbereich bereits zu kaufen seien. Es fällt auf, dass die Einschätzung von großer Unsicherheit begleitet

wird. In allen Produktbereichen nutzt ca. die Hälfte der Antwortenden die Kategorie „weiß nicht“.

Abb. 25: Einschätzung des Zeitraums, in dem Nanoprodukte auf den Markt gebracht werden, durch Delphi-Experten. Das in Klammern angegebene „n“ ist dabei die Summe der Nennungen aus den abgefragten Einzelanwendungen für die vier Bereiche Oberflächen (8 Einzelanwendungen), Textilien (8 Einzelanwendungen), Kosmetika (7 Einzelanwendungen) und Lebensmittel (7 Einzelanwendungen)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Ein genauerer Blick zeigt jedoch, dass diese Übersicht nur eine grobe Tendenz wiedergibt. In allen Anwendungsbereichen variiert die Einschätzung der Marktreife konkreter Beispiele stark. Deshalb soll im Folgenden ein detaillierter Blick auf Nanoanwendungen in den Bereichen Oberflächenbeschichtungen, Textilien, Kosmetika und Lebensmittel geworfen werden.

5.1.3 Marktreife von Nanoprodukten im Bereich Oberflächen

Der Einsatz von Nanomaterialien für Oberflächenbeschichtungen von verbrauchernahen Produkten ist vielfältig. Nanomaterialien werden beispielsweise für Lebensmittelverpackungen, Küchengeräte sowie in Lacken und Farben verwendet. Sie kommen aber auch in Produkten zur Versiegelung oder zur Reinigung von Oberflächen sowie als Poliermittel zum Einsatz. Für die Verpackungsindustrie von Interesse ist die Anwendung von Nanopartikeln, die als Beschichtungen auf Polymeroberflächen fest aufgetragen werden (Folien und Behälter). In Lebensmittelverpackungen verhindern Nanopartikel, dass Gase durch die Verpackung eintreten bzw. Feuchtigkeit austritt. Sie können aber auch zur Verbesserung von mechanischen und thermischen Eigenschaften der Lebensmittelverpackungen eingesetzt werden und Lebensmittel gegen UV-Licht schützen. Unter Einsatz von Nanotechnologie werden in Zukunft beispielsweise intelligente Verpackungsmaterialien für Lebensmittel entwickelt, die signalisieren, ob die Kühlkette unterbrochen oder das Haltbarkeitsdatum überschritten wurde.

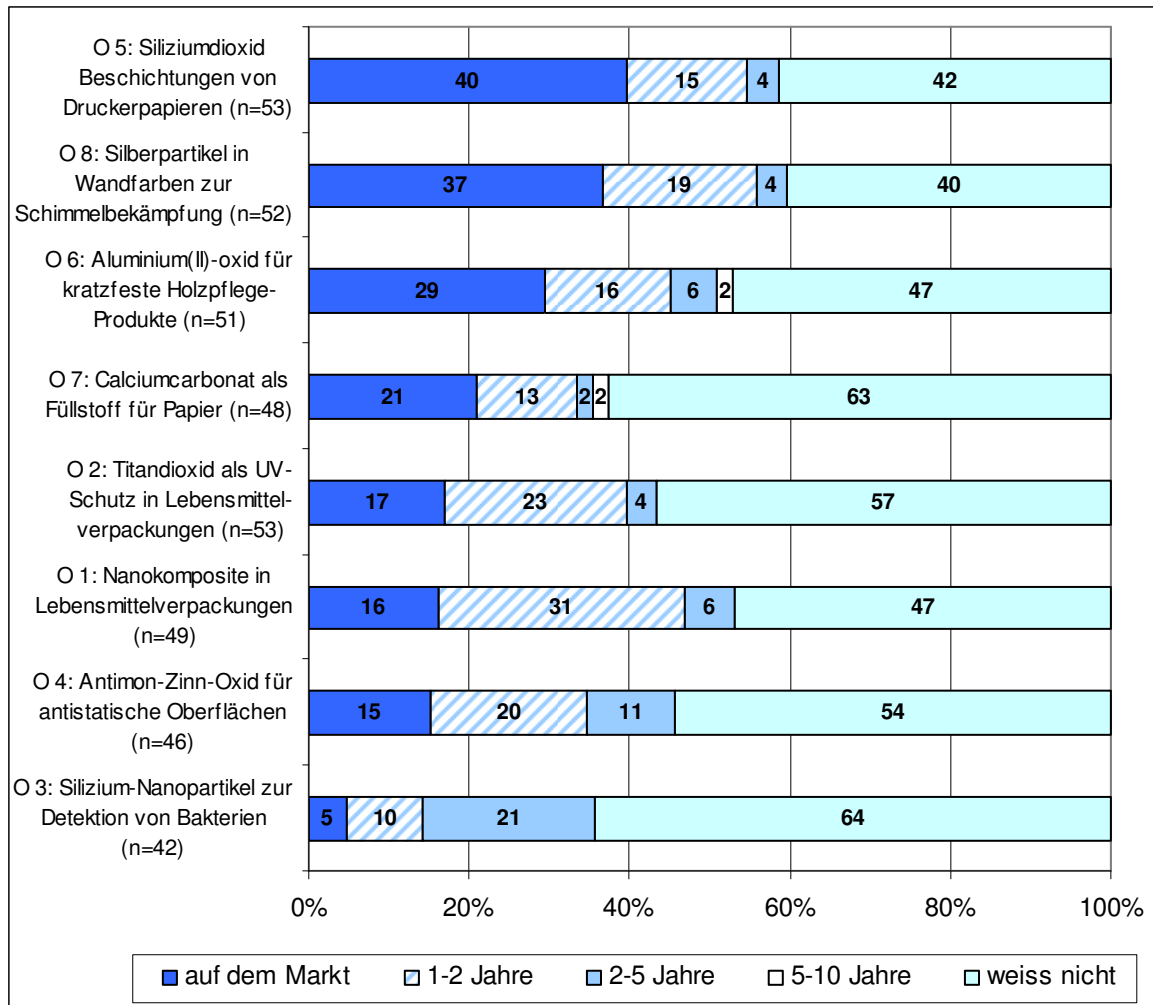
Im Bereich von Oberflächenbeschichtungen wurden die Expertinnen und Experten um ihre Einschätzung der Marktreife von acht verschiedenen Nanoanwendungen gebeten (siehe Tabelle 25).

Tab. 25: Potenzielle Anwendungen der Nanotechnologie im Bereich Oberflächen

Anwendungen im Bereich Oberflächen
O 1: Die Verwendung nanostrukturierter Materialien (Nanokomposite aus einem modifizierten Aluminium-Schicht-Silikat + einem Polymeren) in der Lebensmittelverpackung kann durch verbesserte Barrieren gegen Sauerstoff, Kohlendioxid, Feuchtigkeit die Haltbarkeit verarbeiteter Lebensmittel deutlich verlängern.
O 2: Plastikfolien, in die Teilchen aus Titandioxid (Durchmesser 10–20 nm) eingearbeitet sind, blockieren die UV-Strahlung und verhindern damit chemische Prozesse im Lebensmittel. So sieht das verpackte Produkt auch nach etlichen Tagen noch appetitlich aus.
O 3: Silizium-Nanopartikel, die mit fluoreszierenden Farbstoffmolekülen und Antikörpern versehen sind, erlauben die Detektion von Bakterien. Wenn die Antikörper an die Antigene eines Bakteriums andocken, kann dies über das fluoreszente Leuchten der Nanopartikel festgestellt werden.
O 4: Antimon-Zinn-Oxid (Sb:Sn-Verhältnis = 1:9, Reinheit 99.5+%, Partikelgröße 30 nm) wird Beschichtungen beigemischt, um die antistatischen Eigenschaften von Oberflächen zu verbessern.
O 5: Tintenstrahldruckerpapiere sowie -folien, die mit amorphen Nanopartikeln aus Kieselsäure oder gemischten Oxiden (z. B. Siliziumdioxid und Aluminiumoxid) beschichtet sind, weisen eine gute Haftung und schnelle Absorption der Tintentropfen auf.
O 6: Zur Verbesserung der Kratzfestigkeit wird in Parkett- und Möbellacken eine 30-%ige Dispersion aus Aluminium-(Al ₂ O ₃)-Nanopartikeln (Partikelgröße 45 nm) in Hexanedioldiacrylate (HDDA) eingesetzt.
O 7: Nanoskaliges CaCO ₃ (Partikelgröße ca. 50 nm) wird als funktionaler Füllstoff für Papier und Beschichtungen eingesetzt, um die Steifheit und Festigkeit zu verbessern.
O 8: Eine Wandfarbe, in der nanometergroße Silberpartikel homogen verteilt sind, verhindert die Schimmelbildung in Innenräumen sowie das Algenwachstum an Fassaden. Die Teilchen setzen Silberionen frei, die Nährstoff transportierende Enzyme blockieren, wichtige Eiweiße zerstören, an das Erbgut koppeln und in die Zellwandsynthese eingreifen.

Mehr als die Hälfte der Befragten glaubt, dass Beschichtungen von Druckerpapieren mit Siliziumdioxid-Nanopartikeln und Wandfarben mit Silber-Nanopartikeln zur Schimmelbekämpfung bereits auf dem Markt sind bzw. kurz vor dem Marktdurchbruch stehen (Abbildung 26). Auch der Einsatz von Aluminium-(Al₂O₃)-Nanopartikeln in Parkett- und Möbellacken zur Verbesserung der Kratzfestigkeit ist nach der Meinung von etwa einem Drittel der Expertinnen und Experten bereits eine auf dem Markt verfügbare Nanoanwendung. Am weitesten in der Zukunft liegt nach Einschätzung der Experten die Nutzung von Silizium-Nanopartikel, die mit fluoreszierenden Farbstoffmolekülen und Antikörpern versehen sind, zur Detektion von Bakterien. Hier glauben 21 % der Befragten, dass diese Anwendung erst in 2–5 Jahren auf dem Markt verfügbar sein wird. Diese Anwendung ist zugleich das Beispiel mit dem höchsten Prozentsatz an „weiß nicht“-Stimmen (64 %).

Abb. 26: Einschätzung des Zeitraums in Jahren, in dem Nanoprodukte aus dem Bereich Oberflächen auf den Markt gebracht werden, durch Delphi-Experten (Anzahl der Antworten in Klammern)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

In der zweiten Befragungsrunde wurden den Expertinnen und Experten die Ergebnisse aus der ersten Befragung vorgelegt und sie um eine erneute Einschätzung gebeten (Tabelle 26).

Tab. 26: Einschätzung des Zeitraums, in dem Nanoprodukte aus dem Bereich Oberflächen auf den Markt gebracht werden, durch Delphi-Experten (Vergleich Befragungsrunde 1 mit Befragungsrunde 2)

	Befragungsrunde (Anzahl der Antworten)	bereits auf dem Markt (in %)	in 1-2 Jahren (in %)	in 2-5 Jahren (in %)	in 5-10 Jahren (in %)	weiß nicht (in %)
O 3: Silizium-Nanopartikel zur Detektion von Bakterien	R1 (n=42)	5	10	21	0	64
	R2 (n=37)	19	41	0	0	41
O 4: Antimon-Zinn-Oxid für antistatische Oberflächen	R1 (n=46)	15	20	11	0	54
	R2 (n=37)	19	41	5	0	35
O 6: Aluminium (Al ₂ O ₃) für kratzfeste Holzpflege-Produkte	R1 (n=51)	29	16	6	2	47
	R2 (n=39)	56	10	5	0	28
O 8: Silberpartikel in Wandfarben zur Schimmelbekämpfung	R1 (n=52)	37	19	4	0	40
	R2 (n=40)	65	8	0	0	28

Erläuterung: Prozentangaben gerundet

In allen Beispielen reduzierte sich der Anteil der „weiß nicht“-Meinungen stark. Bei zwei Beispielen (Silber-Nanopartikel in Wandfarben zur Schimmelbekämpfung und Al_2O_3 -Nanopartikel für kratzfeste Lackoberflächen) war jetzt sogar eine Mehrheit der Expertinnen und Experten der Überzeugung, dass diese Produkte bereits auf dem Markt verfügbar seien (65 % bzw. 56 %).

5.1.4 Marktreife von Nanoprodukten im Bereich Textilien

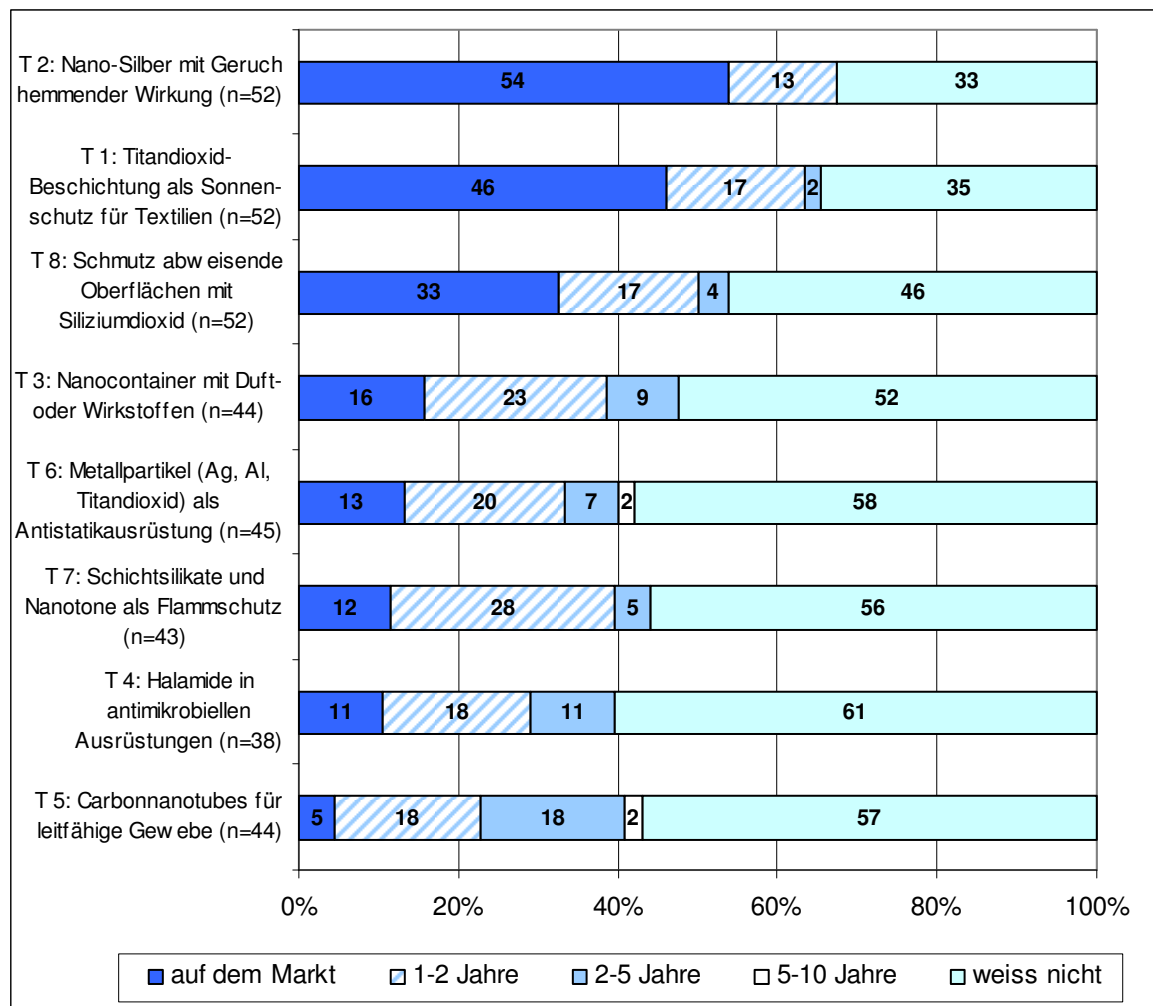
Im Textilbereich werden spezielle Funktionstextilien entwickelt, die z. B. extrem isolierende Wärmeschutzbekleidungen oder selbstreinigende Textiloberflächen ermöglichen sollen. Durch Erzeugung von nanostrukturierten Polymerschichten auf Textiloberflächen können Textilien in Zukunft neue Eigenschaften bekommen und vor UV-Strahlung schützen oder als Wasserbarrieren dienen. Antimikrobiell wirkende Silber-Nanopartikel werden bereits in Socken, Schuheinlagen und einigen Bekleidungstextilien verwendet. Tabelle 27 präsentiert die acht Anwendungen der Nanotechnologie im Bereich Textilien, die den Expertinnen und Experten zur Bewertung vorgelegt wurden.

Tab. 27: Potenzielle Anwendungen der Nanotechnologie im Bereich Textilien

Anwendungen im Bereich Textilien
T 1: Titandioxid wird in Textilien als UV-absorbierende Nanoschicht implementiert. Die geringe Größe der Pigmentpartikel von rund 20 Nanometern sorgt für ein großes Absorptionspotenzial bei gleichzeitig geringer Lichtstreuung, so dass die Partikelschicht transparent und der Sonnenschutz unsichtbar ist.
T 2: Eine neue Anti-Geruchs-Technologie bettet Millionen Silber-Nanopartikel (Durchmesser 15 nm) in die Fasern von Socken, Schuhen sowie Wischlappen ein. Die Silberpartikel töten geruchsbildende Bakterien ab bzw. hemmen deren Wachstum.
T 3: In Textilien (Bekleidung, aber auch Teppiche und Sofas) werden Nanocontainer mit Duft- und Wirkstoffen integriert. Die Kapseln bilden sich, wenn Duftstoff-Isocyanat-Öltröpfchen (ab 100 nm Größe) in eine wässrige Polyaminlösung gebracht werden und die Isocyanat-Moleküle an der Oberfläche der Öltröpfchen mit den umgebenden Polyaminen im Wasser reagieren und so den Duftstoff einschließen. Kapseln mit poröser Hülle geben ihren Inhalt über Monate hinweg in gleich bleibender Menge ab.
T 4: Halamide (polymere Moleküle) werden zur Beschichtung von Textilien genutzt. So entstehen Materialien, die Viren und Bakterien einfangen und abtöten. Eingesetzt werden die antimikrobiellen Materialien zum Schutz von medizinischem Personal und Landwirten, die mit Pestiziden arbeiten.
T 5: Einwandige und doppelwandige Carbonnano Tubes werden zur Verbesserung der elektrischen und thermischen Leitfähigkeit von Fasern eingesetzt.
T 6: Durch die Beschichtung der Fasern mit Ag-, Al- oder Ti-Nanopartikeln bekommen die Fasern antistatische Eigenschaften.
T 7: Die Integration von Schichtsilikaten (z.B. Montmorillonit) und Nanotonen in Bikomponenten-Fasern verbessert die Temperaturbeständigkeit und die Flammseigenschaften von Textilien.
T 8: Nanopartikel aus SiO_2 werden zur Bildung nanostrukturierter Oberflächen auf Fasern genutzt. Dadurch bekommen die Textilien Schmutz abweisende Eigenschaften.

Die Nutzung von Nano-Silber in Socken, Schuhen und Wischlappen zur Vermeidung unangenehmer Gerüche, die Beschichtung von Textilien mit Titandioxid-Nanopartikeln für besseren UV-Schutz und die Verwendung von Siliziumdioxid, um Textilien mit Schmutz abweisenden Eigenschaften auszustatten, sind die drei Beispiele, bei denen eine Mehrheit der Experten davon ausgeht, dass solche Produkte bereits auf dem Markt verfügbar sind (Abbildung 27). Am weitesten in der Zukunft liegt nach Ansicht der Experten der Einsatz von Carbonanotubes zur Verbesserung der elektrischen und thermischen Leitfähigkeit von Fasern. Hier gehen 18 % der Experten davon aus, dass diese Anwendung erst in 2–5 Jahren marktrelevant wird, und weitere 2 % verlagern diesen Zeitraum noch weiter in die Zukunft.

Abb. 27: Einschätzung des Zeitraums, in dem Nanoprodukte aus dem Bereich Textilien auf den Markt gebracht werden, durch Delphi-Experten (Anzahl der Antworten in Klammern)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

In der zweiten Befragungsrunde reduzierte sich bei allen vier Anwendungsbeispielen der „weiß nicht“-Anteil z. T. erheblich (Tabelle 28). Bei der Silber- und der Siliziumdioxid-Anwendung waren sich nun fast alle Experten einig, dass es bereits Produkte auf dem Markt gibt (80 % bzw. 71 %). Bei der Integration von Nano-Duftcontainern in Textilien und der Nutzung von Halamiden zur antimikrobiellen Ausstattung von Arbeitsschutzbekleidung konnten sich die Experten auch nach der zweiten Runde auf keinen eindeutigen Realisierungszeitraum einigen.

Tab. 28: Einschätzung des Zeitraums, in dem Nanoprodukte aus dem Bereich Textilien auf den Markt gebracht werden, durch Delphi-Experten (Vergleich Befragungsrunde 1 mit Befragungsrunde 2)

	Befragungsrunde (Anzahl der Antworten)	bereits auf dem Markt (in %)	in 1–2 Jahren (in %)	in 2–5 Jahren (in %)	in 5–10 Jahren (in %)	weiß nicht (in %)
T 2: Nano-Silber mit Geruch hemmender Wirkung	R1 (n=52)	54	13	0	0	33
	R2 (n=41)	80	5	0	0	15
T 3: Nanocontainer mit Duft- oder Wirkstoffen	R1 (n=44)	16	23	9	0	52
	R2 (n=36)	14	33	17	0	36
T 4: Halamide in antimikrobiellen Ausrüstungen	R1 (n=38)	11	18	11	0	61
	R2 (n=32)	22	19	25	0	34
T 8: Schmutz abweisende Oberflächen mit Siliziumdioxid	R1 (n=52)	33	17	4	0	46
	R2 (n=38)	71	13	0	0	16

Erläuterung: Prozentangaben gerundet

5.1.5 Marktreife von Nanoprodukten im Bereich Kosmetika

Am weitesten verbreitet sind Nanopartikel wie Titandioxid und Zinkoxid als UV-Filter in Sonnenschutzcremes. Hier haben Nanopartikel eine hohe Wirksamkeit und dienen dem Schutz der Haut vor UV-Strahlung. Nanotechnologisch hergestellte Materialien (so genannte Biokomposite) in einer Zahncreme unterstützen den natürlichen Zahnreparaturmechanismus des Speichels. In Hautpflegeprodukten sollen Nanokapseln für den Schutz und den Transport aktiver Inhaltsstoffe sorgen und die pflegende Wirkung verbessern. Auch Fullerene (fußballförmige Käfigmoleküle aus Kohlenstoffatomen) werden in ersten kosmetischen Produkten zu diesem Zweck eingesetzt. An der Verbesserung der physikalischen Eigenschaften (z. B. Transparenz) von kosmetischen Fertigerzeugnissen durch Nanomaterialien wird geforscht.

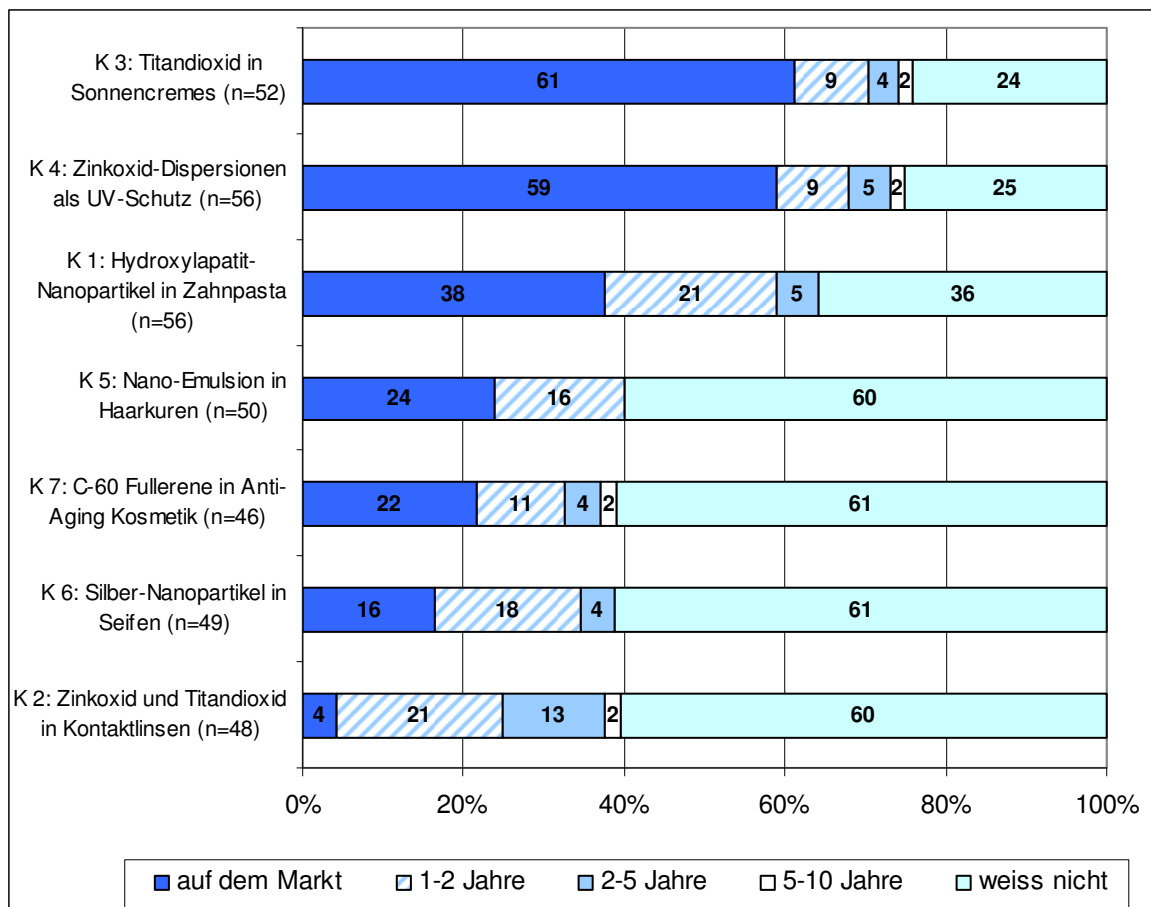
Die sieben möglichen oder bereits realisierten Anwendungen von Nanomaterialien in kosmetischen Erzeugnissen, die von den Expertinnen und Experten bewertet werden sollten, sind in Tabelle 29 zusammengestellt.

Tab. 29: Potenzielle Anwendungen der Nanotechnologie im Bereich Kosmetika

Anwendungen im Bereich Kosmetika
K 1: Mit Hilfe von Hydroxylapatit-Nanopartikeln kann angegriffener Zahnschmelz beim Zähneputzen wieder aufgebaut werden. Das Material ist vom chemischen Aufbau her identisch mit dem Zahnschmelz, wodurch die Partikel nach der Anwendung einen zusammenhängenden dünnen Film bilden, der die Fehlstellen überdeckt.
K 2: Nanopartikel (Zinkoxid und Titandioxid) werden zur Herstellung der neuesten Generation von Kontaktlinsen verwendet. Dabei werden die Linsen nicht komplett eingefärbt, sondern mit einem durchbrochenen Muster aus verschiedenen Pigmenten versehen. So schaffen Nanopartikel eine natürlich wirkende Augenfarbe.
K 3: Sonnencremes enthalten als UV-Filter Materialien aus Titandioxidpartikeln mit einem Durchmesser von 15 bis 20 nm. Je kleiner die eingesetzten Partikel sind, umso dichter liegen sie nebeneinander auf der Haut und umso besser schützen sie die Haut vor UV-Licht.
K 4: Hydrophile oder hydrophobe Dispersionen aus ZnO (Partikelgröße 100 nm) sorgen für transparenten, kosmetischen UV-Schutz.
K 5: Nano-Emulsion mit Avocadoöl, Jojobaöl werden in Haarkuren zur Pflege der Haare eingesetzt. Die Tropfen dieser Emulsion sind 100-mal feiner als die einer normalen Emulsion und machen das Haar in Sekunden kämmbar, glänzend und geschmeidig.
K 6: Silber-Nanopartikel (Durchmesser ca. 7 nm) kommen in Seifen zur Hautreinigung und Desinfektion zum Einsatz. Dadurch wird das Entstehen von Akne verhindert und Hautzellen werden aktiviert.
K 7: C60-Fullerene werden als Anti-Oxidantien in Cremes eingesetzt. Fullerene sind in der Lage gefährliche freie Radikale zu neutralisieren und verhindern so die vorzeitige Alterung der Haut.

Beim Einsatz von Titandioxid- und Zinkoxid-Nanopartikeln in Sonnencremes sind sich die Experten relativ einig, dass bereits Produkte auf dem Markt sind (Abbildung 28). 61 % bzw. 59 % der Befragten gehen von einer Marktverfügbarkeit aus. Auch bei Zahnpasta mit Hydroxylapatit-Nanopartikel ist noch eine Mehrheit der Experten der Ansicht, dass bereits Produkte auf dem Markt verfügbar sind. Am weitesten in der Zukunft sehen die Experten die Nutzung von Zinkoxid- und Titandioxid-Nanopartikeln zur Herstellung der neuesten Generation von Kontaktlinsen.

Abb. 28: Einschätzung des Zeitraums, in dem Nanoprodukte aus dem Bereich Kosmetika auf den Markt gebracht werden, durch Delphi-Experten (Anzahl der Antworten in Klammern)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Die erneute Befragung der Expertinnen und Experten führte zu dem Ergebnis, dass deutlich mehr der Befragten glauben, Seifen mit Silber-Nanopartikel bzw. Cremes mit Fullerenen seien bereits auf dem Markt bzw. kurz vor dem Marktdurchbruch (Tabelle 30).

Tab. 30: Einschätzung des Zeitraums, in dem Nanoprodukte aus dem Bereich Kosmetika auf den Markt gebracht werden, durch Delphi-Experten (Vergleich Befragungsrunde 1 mit Befragungsrunde 2)

	Befragungsrunde (Anzahl der Antworten)	bereits auf dem Markt (in %)	in 1-2 Jahren (in %)	in 2-5 Jahren (in %)	in 5-10 Jahren (in %)	weiß nicht (in %)
K 6: Silber-Nanopartikel in Seifen	R1 (n=47)	16	18	4	0	62
	R2 (n=42)	33	36	0	0	31
K 7: C-60 Fullerene in Anti-Aging Kosmetik	R1 (n=46)	22	11	4	2	61
	R2 (n=41)	54	17	2	0	27

Erläuterung: Prozentangaben gerundet

5.1.6 Marktreife von Nanoprodukten im Lebensmittelbereich

Nanomaterialien sollen bereits in Lebensmitteln als Hilfs- und Zusatzstoffe zum Einsatz kommen. So werden beispielsweise Kieselsäure und andere siliziumhaltige Verbindungen als Rieselhilfe oder als Verdickungsmittel eingesetzt. Dadurch kann z. B. das Zusammenbacken von Kochsalzkristallen und pulverförmigen Lebensmitteln verhindert werden und Ketchup bekommt bessere Fließeigenschaften. Kieselsäure wird auch als Flockungsmittel in der Wein- und Fruchtsaftherstellung genutzt. Ob tatsächlich Nanopartikel eingesetzt werden und ob in den Lebensmitteln dann freie Nanopartikel vorkommen, ist bislang nicht klar.

Nanomaterialien sollen auch gezielt als Nahrungsergänzungsmittel verwendet werden. Berichtet wird vom Einsatz von Siliziumdioxid, kolloidalem Silber, Calcium und Magnesium in Nanopartikel-Form. Ob diese Stoffe allerdings im Lebensmittel als Nanopartikel oder in agglomerierter Form vorliegen, ist unklar. Die Lebensmittelindustrie entwickelt derzeit funktionelle Lebensmittel, in denen Vitamine, Omega-3-Fettsäuren, Phytosterole und Aromen in Nanokapseln eingeschlossen werden, um sie dann im Körper gezielt freisetzen zu können.

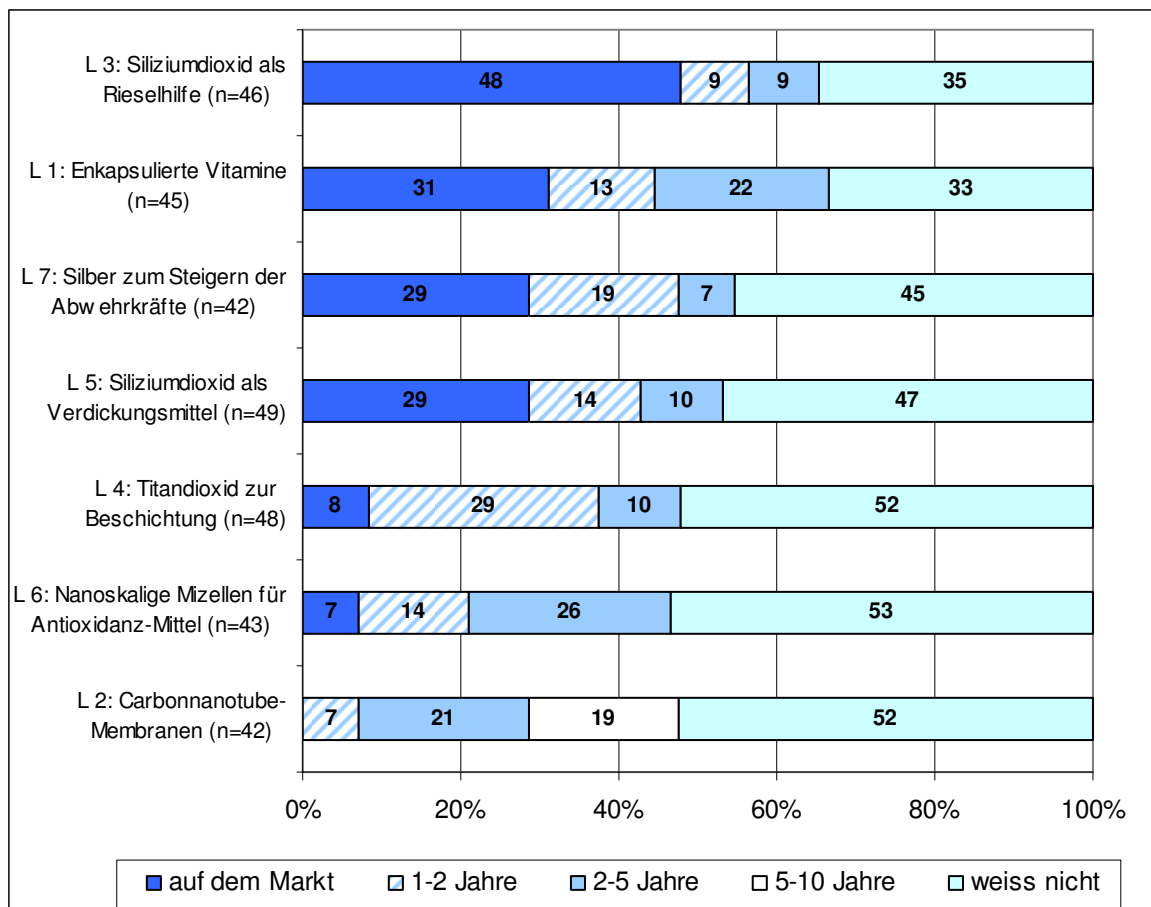
Im BfR-Experten-Delphi-Verfahren wurde um die Einschätzung der Marktreife verschiedener Anwendungen der Nanotechnologie im Lebensmittelbereich gebeten. Als Kategorien waren vorgegeben: „auf dem Markt“, „Marktreife in 1–2 Jahren“, „Marktreife in 2–5 Jahren“, „Marktreife in 5–10 Jahren“ und die Kategorie „weiß nicht“. Die folgenden sieben möglichen Anwendungen der Nanotechnologie wurden zur Beurteilung vorgelegt (Tabelle 31).

Tab. 31: Potenzielle Anwendungen der Nanotechnologie im Lebensmittelbereich

Anwendungen im Lebensmittelbereich
L 1: Vitamine oder Aminosäuren werden in Nanocontainer (z. B. Liposome) eingekapselt. Diese Kapseln, zwischen zehn und 100 Nanometern groß, sind löslicher, beweglicher und robuster als herkömmliche Nahrungszusätze in Mikrotropfen-Form.
L 2: Membranen aus (mehrwandigen) Carbonnanotubes werden zur Abtrennung von Biomolekülen mit funktionellem Wert (z. B. Proteine, Peptide, Vitamine und Mineralien) genutzt. Diese können zur Anreicherung von Lebensmitteln oder zur Herstellung diätetischer Zusätze bzw. von Medikamenten genutzt werden.
L 3: Kolloidale Kieselsäure bzw. Siliziumdioxid wird aufgrund des hohen Adsorptionsvermögens als Rieselhilfe oder Trägerstoff verwendet, um ein Zusammenbacken von Kochsalzkristallen und Lebensmitteln zu verhindern.
L 4: Es ist geplant, Schokoriegel mit Hilfe einer geschmacksneutralen, nur wenige Nanometer dicken Titandioxidschicht zu überziehen, so dass sie ansehnlich bleiben, selbst wenn sie einige Zeit offen herumliegen.
L 5: Hochdisperse Kieselsäure wird in Ketchup als effizientes Verdickungsmittel eingesetzt. Die Nanopartikel besitzen einen Durchmesser von 5 bis 30 nm.
L 6: Durch nanotechnologische Antioxidanz-Systeme bleiben Lebensmittel länger frisch. Als Träger für Antioxidantien dienen nanoskalige Mizellen.
L 7: In reinem Wasser gelöste Silberpartikel (Durchmesser: 0,8 nm, Konzentration 10 ppm) werden als Nahrungsergänzungsmittel angeboten. Die Ladung des Silbers und seine nanoskalige Formulierung sollen das Wohlbefinden und die Abwehrkräfte steigern.

Obwohl es keine klaren Belege für den Einsatz von Nanomaterialien in Lebensmitteln gibt, gehen immerhin 48 % der Experten davon aus, dass nanopartikuläres Siliziumdioxid bereits in Lebensmitteln als Rieselhilfe eingesetzt wird (Abbildung 29). Und jeweils knapp ein Drittel der Befragten glaubt, dass nanoverkapselte Vitamine und Siliziumdioxid-Nanopartikel als Verdickungsmittel in Lebensmitteln sowie Silber-Nanopartikel in Nahrungsergänzungsmitteln bereits heutzutage eingesetzt werden. Als eher zukünftige Anwendung sehen die Experten den Einsatz von Carbonnanotubes zur Abtrennung von Biomolekülen mit funktionellem Wert.

Abb. 29: Einschätzung des Zeitraums, in dem Nanoprodukte aus dem Lebensmittelbereich auf den Markt gebracht werden, durch Delphi-Experten (Anzahl der Antworten in Klammern)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Vier Anwendungsbeispiele aus dem Bereich Lebensmittel wurden den Expertinnen und Experten in Befragungsrunde 2 ein weiteres Mal zur Bewertung vorgelegt. Es zeigte sich Einigkeit unter den Experten, dass nanopartikuläres Siliziumdioxid bereits als Rieselhilfe in Lebensmitteln eingesetzt wird (77 % der Befragten) (Tabelle 32). Auch bei der Nutzung von Silber-Nanopartikeln zur Steigerung der Abwehrkräfte glaubten nun 50 % der Experten, dass solch ein Produkt bereits auf dem Markt verfügbar ist. Für die beiden anderen Anwendungsbeispiele bestätigte sich die Tendenz, in der die Experten eine Realisierung erwarten: für die Titandioxidbeschichtung von Schokoriegeln 1–2 Jahre und für den Einsatz nanoskaliger Mizellen als Antioxidanz-Mittel 2–5 Jahre.

Tab. 32: Einschätzung des Zeitraums, in dem Nanoprodukte aus dem Lebensmittelbereich auf den Markt gebracht werden, durch Delphi-Experten (Vergleich Befragungsrunde 1 mit Befragungsrunde 2)

	Befragungsrunde (Anzahl der Antworten)	bereits auf dem Markt (in %)	in 1–2 Jahren (in %)	in 2–5 Jahren (in %)	in 5–10 Jahren (in %)	weiß nicht (in %)
L 3: Siliziumdioxid als Rieselhilfe	R1 (n=46)	48	9	9	0	35
	R2 (n=39)	77	5	0	0	18
L 4: Titandioxid zur Beschichtung	R1 (n=48)	8	29	10	0	52
	R2 (n=38)	13	37	8	0	42
L 6: Nanoskalige Mizellen für Antioxidanz-Mittel	R1 (n=43)	7	14	26	0	53
	R2 (n=37)	11	22	30	5	32
L 7: Silber zum Steigern der Abwehrkräfte	R1 (n=42)	29	19	7	0	45
	R2 (n=36)	50	19	6	0	25

Erläuterung: Prozentangaben gerundet

5.2 Mögliche gesundheitsschädliche Effekte von Nanoprodukten

Um abzuschätzen, ob von Nanoprodukten spezifische gesundheitliche Risiken ausgehen, ist es wichtig zu wissen, ob die eingesetzten Nanomaterialien in einer Matrix gebunden oder ungebunden im Produkt vorliegen. Insbesondere freie Nanopartikel, Nanoröhrchen oder Nanofasern könnten durch ihre geringe Größe, ihre Form, ihre hohe Mobilität und höhere Reaktivität gesundheitliche Risiken hervorrufen. Nanoprodukte bestehen bislang meist jedoch aus Strukturen, in denen Nanopartikel fest in eine Matrix oder eine flüssige Suspension eingebettet sind. Zudem haben Nanopartikel die Tendenz, sich zu größeren Verbänden zusammenzuballen, die dann in der Regel größer als 100 nm sind. Toxische Wirkungen von Nanopartikeln, die auf ihrer geringen Größe und höheren Reaktivität beruhen, sind dann nicht mehr relevant.

Im vorangegangenen Abschnitt wurde gezeigt, dass die Expertinnen und Experten der BfR-Delphi-Befragung einige Nanoanwendungen als bereits marktreif einschätzen. Ob dies für Verbraucherinnen und Verbraucher gesundheitliche Risiken mit sich bringen könnte, soll in diesem Abschnitt hinterfragt werden.

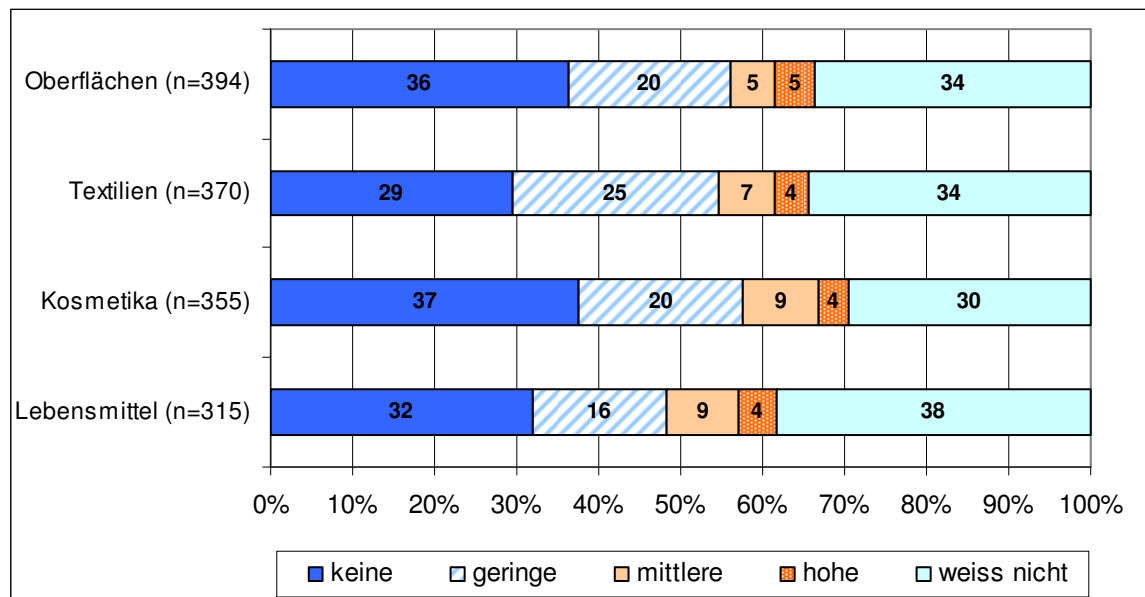
5.2.1 Einschätzung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte von Nanoprodukten insgesamt

Zur Einschätzung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte von Nanoprodukten wurden den Expertinnen und Experten wiederum die 30 Anwendungsbeispiele aus den Bereichen Oberflächenbeschichtungen, Textilien, Kosmetika und Lebensmittel vorgelegt, die sie auch schon hinsichtlich der Marktreife bewerten sollte. Als Beurteilungskategorien für mögliche gesundheitsschädliche Effekte wurden den Experten vorgegeben: „keine Effekte“, „geringe Effekte“, „mittlere Effekte“, „hohe Effekte“ und die Kategorie „weiß nicht“. In der zweiten Befragungsrunde wurden nur diejenigen Anwendungen abgefragt, die in Runde 1 eine geringe, mittlere oder hohe Toxizität aufwiesen.

Bevor die Ergebnisse für die einzelnen Beispielanwendungen präsentiert werden, soll im Folgenden ein Überblick über die vier Anwendungsbereiche der Nanotechnologie gegeben werden. Dazu wurden methodisch die Stimmen pro Kategorie für alle Beispiele innerhalb eines Anwendungsbereichs zusammengefasst.

Die Analyse zeigt, dass sich die Einschätzung der vier Anwendungsbereiche durch die Expertinnen und Experten nur geringfügig unterscheidet (Abbildung 30). Mehr als 50 % der Experten sind der Meinung, dass Nanoprodukte aus den Bereichen Oberflächen, Textilien und Kosmetika keine oder allenfalls geringe negative Effekte auf die Gesundheit von Verbrauchern haben werden. Selbst bei Anwendungen der Nanotechnologie im Lebensmittelbereich glauben noch 48 % der Befragten, dass keine oder nur geringe negative Effekte von Nanoprodukten ausgehen werden. Der Lebensmittelbereich ist allerdings auch der Bereich, in dem die Unsicherheit der Expertinnen und Experten am größten ist. 38 % wählten hier die Kategorie „weiß nicht“.

Abb. 30: Einschätzung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte von Nanoprodukten durch Delphi-Experten. Das in Klammern angegebene „n“ ist dabei die Summe der Nennungen aus den abgefragten Einzelanwendungen für die vier Bereiche Oberflächen (8 Einzelanwendungen), Textilien (8 Einzelanwendungen), Kosmetika (7 Einzelanwendungen) und Lebensmittel (7 Einzelanwendungen)



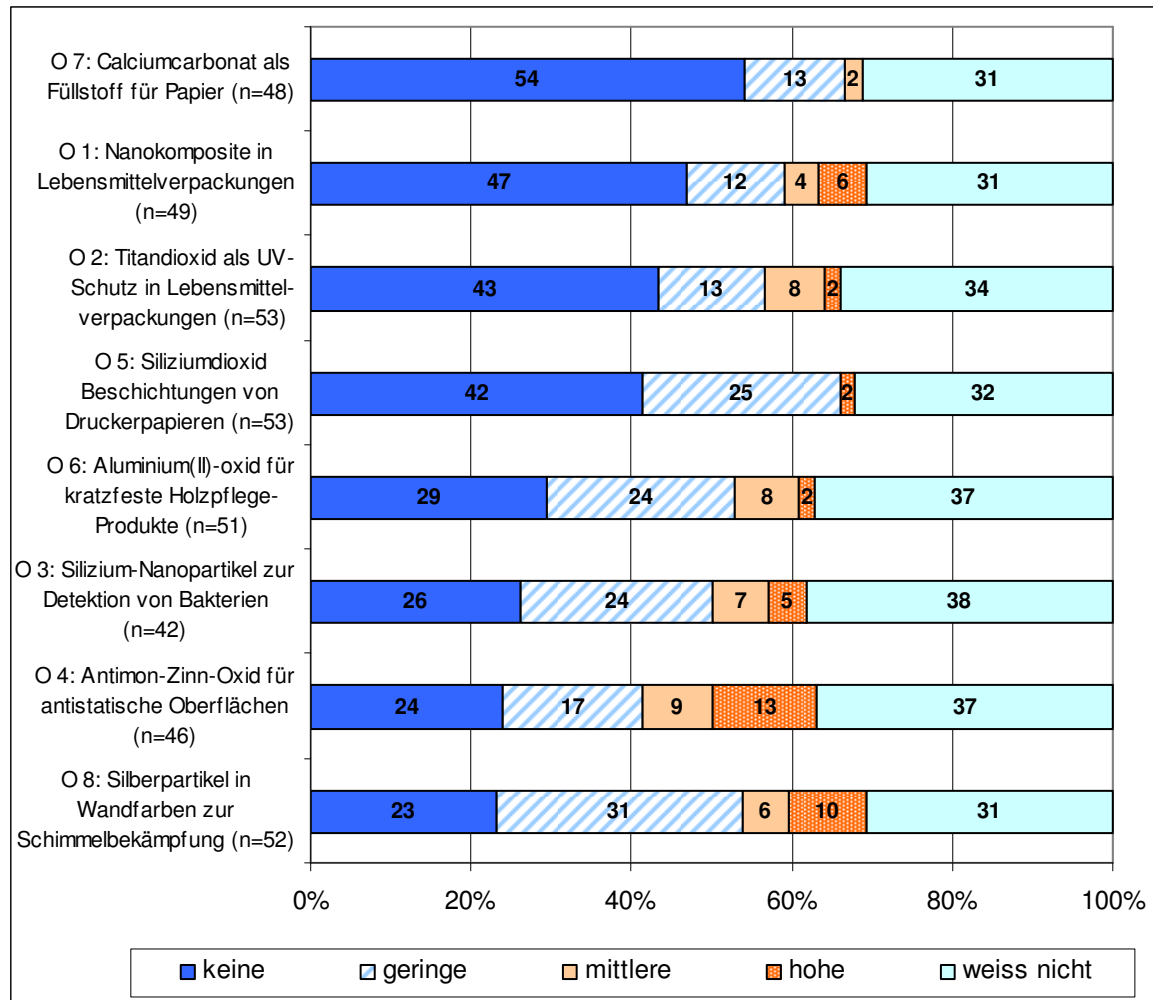
Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Da es in den vier Anwendungsbereichen z. T. größere Unterschiede in der Einschätzung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte für einzelne Anwendungen gibt, wird im Folgenden stärker ins Detail gegangen. Zusätzlich wurden die Expertinnen und Experten mit Thesen konfrontiert, die einzelne Aspekte möglicher Gesundheitsrisiken näher beleuchten.

5.2.2 Einschätzung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte für Anwendungen der Nanotechnologie im Bereich Oberflächen

Für den Bereich der Oberflächenbeschichtungen werden nahezu alle Einsatzbereiche als unbedenklich betrachtet, auch diejenigen, die in direktem Kontakt mit Lebensmitteln kommen könnten (Abbildung 31). Bei Anwendungen mit Silber – hier zur Vermeidung von Schimmel in Wandfarben – sehen die Experten ein geringes toxisches Potenzial, wobei einschränkend gesagt werden muss, dass Silber gerade aufgrund seiner antimikrobiellen Eigenschaften eingesetzt wird.

Abb. 31: Einschätzung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte von Nanoprodukten aus dem Bereich Oberflächen durch Delphi-Experten (Anzahl der Antworten in Klammern)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Nach der zweiten Befragungsrunde verstärkt sich der Trend, dass nahezu alle Anwendungsbeispiele im Bereich der Oberflächenbeschichtungen als gesundheitlich unbedenklich betrachtet werden (Tabelle 33). Beim Einsatz von Silber-Nanopartikeln in Wandfarben zur Vermeidung von Schimmel sehen die Experten weiterhin ein geringes toxisches Potenzial.

Tab. 33: Einschätzung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte von Nanoprodukten aus dem Bereich Oberflächen durch Delphi-Experten (Vergleich Befragungsrunde 1 mit Befragungsrunde 2)

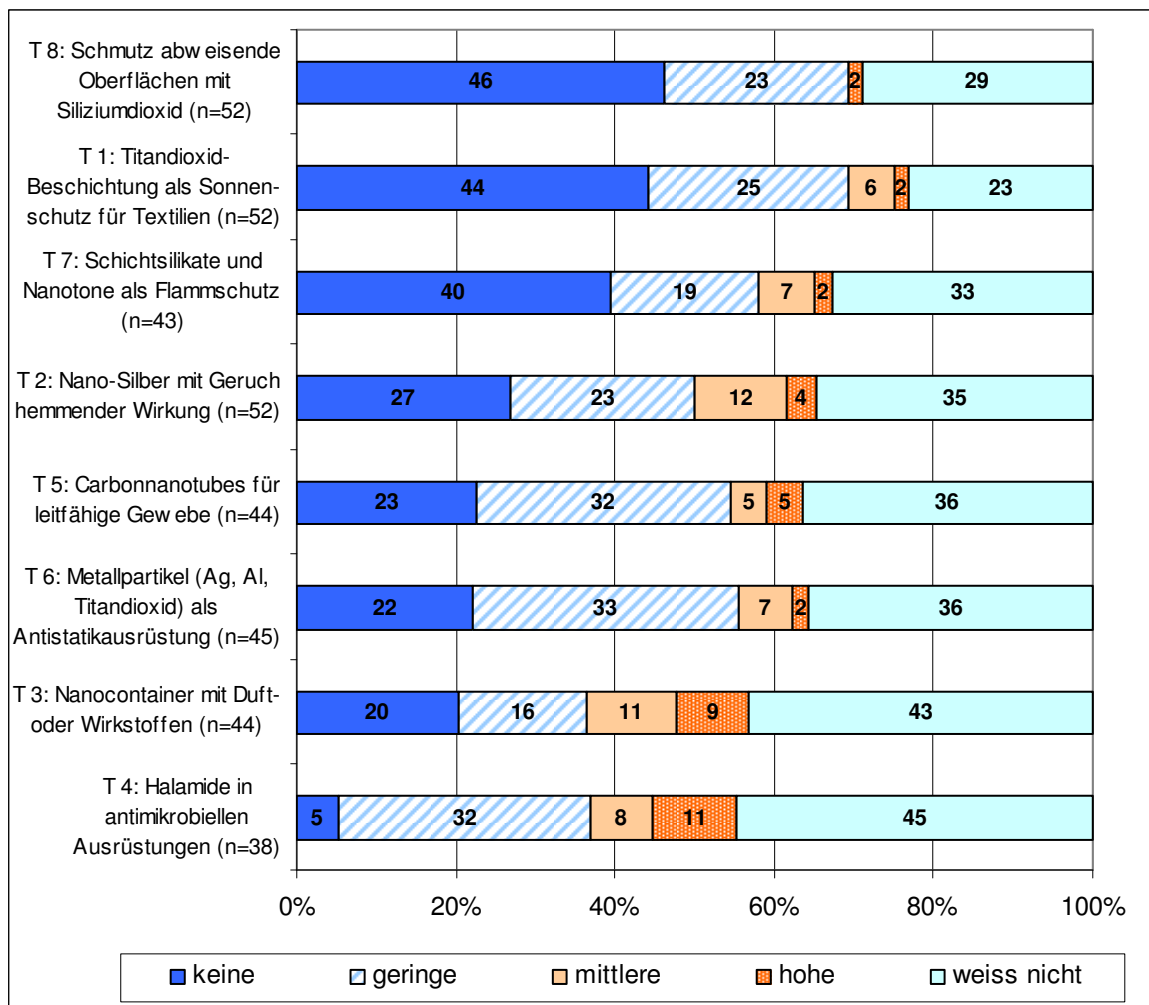
	Befragungsrunde (Anzahl der Antworten)	keine (in %)	geringe (in %)	mittlere (in %)	hohe (in %)	weiß nicht (in %)
O 3: Silizium-Nanopartikel zur Detektion von Bakterien	R1 (n=42)	26	24	7	5	38
	R2 (n=37)	35	22	0	3	40
O 4: Antimon-Zinn-Oxid für antistatische Oberflächen	R1 (n=46)	24	17	9	13	37
	R2 (n=37)	35	22	5	14	24
O 6: Aluminium (Al ₂ O ₃) für kratzfeste Holzpflege-Produkte	R1 (n=51)	29	24	8	2	37
	R2 (n=39)	49	23	5	3	21
O 8: Silberpartikel in Wandfarben zur Schimmelbekämpfung	R1 (n=52)	23	31	6	10	31
	R2 (n=40)	28	30	10	3	29

Erläuterung: Prozentangaben gerundet

5.2.3 Einschätzung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte für Anwendungen der Nanotechnologie im Bereich Textilien

Im Bereich der Textilien erwarten die Expertinnen und Experten mehrheitlich keine gesundheitsschädlichen Effekte durch Nanoprodukte (Abbildung 32). So wird z. B. bei der Nutzung von Siliziumdioxid-Nanopartikeln zur Ausstattung von Fasern mit Schmutz abweisenden Eigenschaften oder bei der Verwendung von Titandioxid-Nanopartikeln zur Implementierung UV-absorbierender Schichten mehrheitlich Entwarnung gegeben. Auch bei der Anwendung von Nano-Silber-Beschichtungen mit geruchsvermindernder Wirkung haben Experten mehrheitlich keine gesundheitlichen Bedenken. Ein geringes toxisches Potenzial sehen die Experten nur, wenn Carbonnanotubes zur Herstellung leitfähiger Gewebe, wenn Metallpartikel (Ag-, Al- oder TiO₂-Nanopartikel) für Antistatik-Beschichtungen und wenn Halamide zur antimikrobiellen Ausrüstung von Arbeitsschutzbekleidung verwendet werden.

Abb. 32: Einschätzung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte von Nanoprodukten aus dem Bereich Textilien durch Delphi-Experten (Anzahl der Antworten in Klammern)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Vier Beispiele aus dem Bereich Textilien wurden den Expertinnen und Experten erneut zur Bewertung vorgelegt. Vor allem für die Nano-Silber-Anwendung und die Schmutz abweisenden Oberflächen mit nanopartikulärem Siliziumdioxid bestätigte sich, dass die Experten hier keine gesundheitsschädlichen Effekte erwarten (Tabelle 34). Hingegen verstärkte sich der Trend, der Nutzung von Halamiden bei der antimikrobiellen Ausstattung von Arbeitsschutzbekleidung geringe negative gesundheitliche Effekte zuzuschreiben.

Tab. 34: Einschätzung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte von Nanoprodukten aus dem Bereich Textilien durch Delphi-Experten (Vergleich Befragungsrunde 1 mit Befragungsrunde 2)

	Befragungsrunde (Anzahl der Antworten)	keine (in %)	geringe (in %)	mittlere (in %)	hohe (in %)	weiß nicht (in %)
T 2: Nano-Silber mit Geruch hemmender Wirkung	R1 (n=52)	27	23	12	4	35
	R2 (n=41)	41	29	0	2	28
T 3: Nanocontainer mit Duft- oder Wirkstoffen	R1 (n=44)	20	16	11	9	43
	R2 (n=36)	28	19	3	11	39
T 4: Halamide in antimikrobiellen Ausrüstungen	R1 (n=38)	5	32	8	11	45
	R2 (n=32)	9	41	3	6	41
T 8: Schmutz abweisende Oberflächen mit Siliziumdioxid	R1 (n=52)	46	23	0	2	29
	R2 (n=38)	68	13	3	3	13

Erläuterung: Prozentangaben gerundet

5.2.4 Exposition durch Nanomaterialien aus Oberflächenbeschichtungen und Textilien

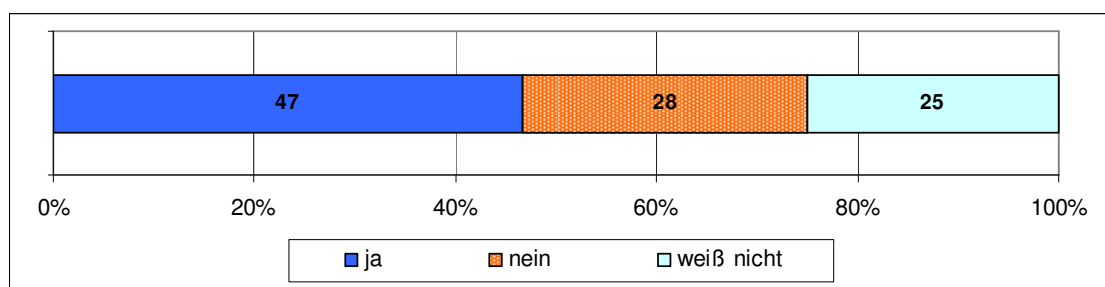
Im Expositions-kapitel wurde der inhalative Expositionsweg als derjenige identifiziert, von dem am ehesten mögliche gesundheitsschädliche Effekte von Nanomaterialien ausgehen könnten. Im Folgenden soll verschiedenen Möglichkeiten der Verbrauchereexposition durch Nanoprodukte nachgegangen werden. Da es sich auch bei Nanoanwendungen im Bereich Textilien in der Regel um Oberflächenbeschichtungen handelt, werden die Daten zu Expositionsmöglichkeiten in den Bereich Oberflächenbeschichtungen und Textilien gemeinsam abgehandelt.

In der Befragung wurden den Expertinnen und Experten verallgemeinerte Thesen zur möglichen Exposition von Verbraucherinnen und Verbrauchern vorgelegt, um mögliche kritische Bereiche des Verbraucherschutzes zu identifizieren. Die Abfrage von verallgemeinerten Thesen gehört zur Standardmethode bei Delphi-Befragungen, um generalisierbare Bewertungstendenzen heraus zu arbeiten. Das Antwortverhalten der Expertinnen und Experten war von sehr hohen Anteilen von „weiß nicht“ und entsprechenden qualitativen Anmerkungen geprägt. Das zeigt, dass die Befragten generalisierte Aussagen im Bereich Nanotechnologien nur unter großen Vorbehalten treffen.

Eine erste These, die in diesem Komplex präsentiert wurde, lautete:

„Sind Ihrer Ansicht nach Verbraucherinnen und Verbraucher bei Textilien oder Oberflächenbeschichtungen einer Exposition von Nanomaterialien durch Abriebe ausgesetzt? Wenn ja, welche Effekte erwarten Sie? Können Sie bestimmten Materialien bestimmte Effekte zuordnen?“

Die Antworten zeigen, dass 46,7 % der Experten einen Abrieb erwarteten. 28,3 % gehen davon aus, dass kein Abrieb stattfindet (siehe Abbildung 33).

Abb. 33: Einschätzung einer möglichen Exposition der Verbraucher gegenüber Nanomaterialien durch Abrieben von Textilien oder Oberflächenbeschichtungen (n=60 Antworten)

Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Ausführende Angaben zu den speziellen Effekten durch den Abrieb bei Textilien oder Oberflächenbeschichtungen machten 34 % der Befragten. Tabelle 35 gibt eine detaillierte Zusammenstellung besonders häufig genannter Anmerkungen:

Tab. 35: Exposition der Verbraucher gegenüber Abrieben von Oberflächenbeschichtungen und Textilien (qualitative Anmerkungen)

Industrie	„Für die Exposition ist eine Einzelfallbetrachtung notwendig/Generalisierte Aussagen sind nicht möglich“ „Kein Effekt“ „Messungen zur Freisetzung von Nanopartikeln zeigen bei verschiedenen Produkten aus unterschiedlichen Anwendungsgebieten nur geringe Freisetzung“ „Die Frage kann nicht pauschal beantwortet werden. Es gibt eine Vielzahl von Nanomaterialien, welche mit dem Substrat (z. B. Baumwolle) eine Verbindung eingehen und damit keine Gefahr (mehr) darstellen. Andererseits gibt es Nanomaterialien, die durch Abrieb teilweise lungengängige Nanopartikel darstellen. Je nach chemischer Zusammensetzung können bei entspr. Exposition durchaus Reizungen/Entzündungen der Atemwege resultieren.“
Wissenschaft	„Jedes Textil hat schon immer beim Abrieb Nanopartikel freigesetzt.“ „Bei vielen Oberflächenbeschichtungen – z. B. Metallen – ist eine zusätzliche Lackschicht erforderlich, insbesondere als Korrosionsschutz. Damit reduziert sich die Expositionswahrscheinlichkeit drastisch.“ „Abrieb in einzelnen Fällen denkbar, allerdings schnelle Aggregation zu erwarten; sehr geringe Mengen“ „Insbesondere bei mechanischer Beanspruchung können Nanomaterialien freigesetzt werden, die inhalativ und dermal aufgenommen werden können. Zusätzlich bei Oberflächenbeschichtungen, die thermischen Beanspruchungen und erhöhten Verwitterungsprozessen ausgesetzt sind, können Nanomaterialien freigesetzt werden“
NGO/Gewerkschaft	„Allergien, Anreicherung, Autoimmunprozesse, besonders bei dermalen Exposition“ „Eher geringe Exposition, gegebenenfalls an verletzter Haut“ „Abhängig von Substanz und Expositionshöhe dermale Effekte, ggf. inhalative Effekte“
Behörde/Politik	„Mechanischer Abrieb führt meistens zu größeren Partikeln im Mikrometerbereich“ „Allergien“
Netzwerk	„Inhalation feinsten Staubpartikel kann nicht ausgeschlossen werden“
Versicherer	„Grundsätzlich wird je nachdem, wie fest die Nanopartikel fixiert sind, eine gewisse Exposition auftreten. Für Aussagen über Wirkungen fehlt es an grundlegendem Wissen.“

In der zweiten Befragungsrunde wurde die Fragestellung hinsichtlich der Abriebe von Oberflächenbeschichtungen und Textilien getrennt erhoben und jeweils nachgefragt, ob es generell zu Abrieben kommen kann und ob diese nanoskalig sind oder eher im Mikrometerbereich vorliegen und damit keine Nanoeigenschaften mehr aufweisen. Generell werden Abriebe von Nanomaterialien und auch nanoskalige Abriebe aus Oberflächenbeschichtungen unter bestimmten Bedingungen für denkbar gehalten (siehe Tabelle 36).

Tab. 36: Einschätzung einer möglichen Exposition der Verbraucher gegenüber Abrieben aus Oberflächen (jeweils n=56 Antworten)

	ja (%)	nein (%)	es kommt darauf an (%)	weiß nicht (%)
Es kann zu Abrieben von Nanomaterialien aus Oberflächenbeschichtungen kommen	55,4	7,1	14,3	23,2
Diese Abriebe aus Oberflächenbeschichtungen können nanoskalig sein	32,1	10,7	30,4	26,8
Diese Abriebe aus Oberflächenbeschichtungen sind im Mikrometerbereich und zeigen keine nanospezifischen Effekte	16,1	7,1	41,1	35,7

Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Aus allen Stakeholdergruppen wurden sehr differenzierte Anmerkungen zur Bewertung des Abriebs bei Oberflächen gemacht. Zum einen wurde mehrfach darauf hingewiesen, dass die Nanopartikel in der Oberflächenmatrix sehr fest eingebunden sind und eine Freisetzung entsprechend unwahrscheinlich ist. Zudem kommt es darauf an, ob das Nanomaterial Teil der Oberflächenbeschichtung ist oder ob es in tiefer liegenden Materialschichten des Produktes zu finden ist. Insgesamt kann ein nanoskaliger Abrieb insbesondere unter mechanischer Belastung nicht ausgeschlossen werden. Ein Befragter aus der Industrie verweist darauf, dass in eigenen Messungen unter mechanischer Belastung (Reiben/Schleifen) nanoskalige Partikel freigesetzt wurden. Weiterführend wurde mehrfach darauf hingewiesen, dass der Effekte durch Alterungsprozesse so wie Wettereinflüsse auf die Produkte zu berücksichtigen seien.

Ähnlich wie bei Oberflächenbeschichtungen halten die Expertinnen und Experten auch bei oberflächenbeschichteten Textilien nanoskalige Abriebe für möglich. Die Expertenbefragung ergab folgende Ergebnisse (siehe Tabelle 37):

Tab. 37: Einschätzung einer möglichen Exposition der Verbraucher gegenüber Abrieben aus Textilien (jeweils n=56 Antworten)

	ja (%)	nein (%)	es kommt darauf an (%)	weiß nicht (%)
Es kann zu Abrieben von Nanomaterialien aus Textilien kommen	53,6	1,8	17,8	26,8
Diese Abriebe aus Textilien können nanoskalig sein	32,1	3,6	30,4	33,9
Die Abriebe aus Textilien sind im Mikrometerbereich und zeigen keine nanospezifischen Effekte	7,1	7,1	41,1	44,7

Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Diese Ergebnisse wurden in einem nächsten Schritt im Expertenworkshop diskutiert. Dort rieten die Experten mehrheitlich zu einer Relativierung der Abriebproblematik bei Textilien, da diese schon immer submikrometergroßen Abrieb produzieren würden, insbesondere Naturfasern. Generell könne eine Exposition mit Nanomaterialien nur im Falle von Textilbeschichtungen stattfinden, so die Experten. Wären Nanomaterialien in einem Polymerfaden eingebunden, sei eine Lösung durch Abriebe unwahrscheinlich. Eine Differenzierung zwischen beschichteten und inkorporierten funktionalen Chemiefasern wird deshalb für nötig gehalten.

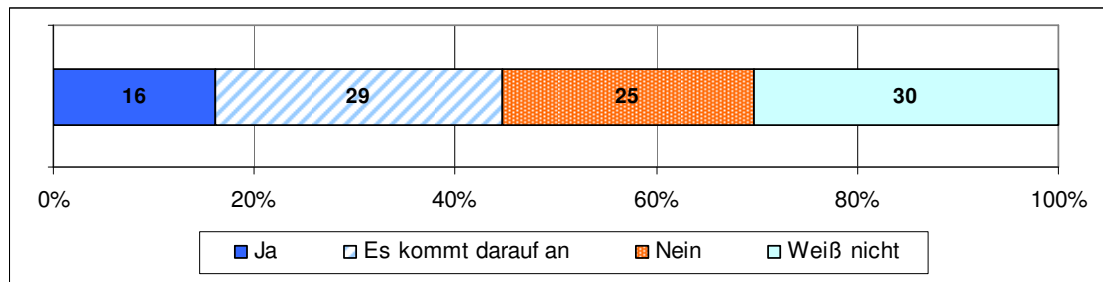
Die Expertinnen und Experten bestätigen, dass eine inhalative und dermale Exposition bei Beschichtungen prinzipiell möglich ist, ebenso eine orale Exposition, wenn z. B. im Fall von Babybekleidung an den Textilien gelutscht oder genagt wird. Dennoch sage ein genereller Abrieb noch nichts über mögliche gesundheitsschädliche Effekte aus, da die Dosis und der Gesundheitszustand zu berücksichtigen seien. Bei normalem Gebrauch wäre nur dann von einer theoretischen Expositionsmöglichkeit auszugehen, wenn beim Aufbrechen von submikrometergroßen Beschichtungen an den Bruchstellen Nanopartikel freigesetzt würden. In der Regel seien diese Abriebe im Mikrometerbereich. Nach Ansicht der Experten kommen Abriebe vermutlich überwiegend beim Waschen zustande, so dass es vermutlich nur sehr geringfügig zu direkter inhalativer, oraler oder dermaler Exposition mit Nanomaterialien kommt.

Die Experten wiesen im Workshop darauf hin, dass zu den gesundheitlichen Auswirkungen von Abrieben bereits einiges Wissen vorliegt. Hierbei wurde vor allem auf die Wirkungen von Silberpartikeln hingewiesen. Auch wenn sich diese nicht lösen, so könnten durch die Wirkmechanismen der Silberionen Sensibilisierungen ausgelöst werden. Generell wurde zu bedenken gegeben, dass durch die bakterizide Wirkung bei häufiger Anwendung von Silbertextilien indirekt mit einem Anstieg von Allergien gerechnet werden müsse. Silbertextilien seien deshalb nur für medizinische Spezialanwendungen (Reduzierung von vorliegenden Entzün-

dungen bei Neurodermitis-Patienten) geeignet, nicht für den Alltagsgebrauch, betonten die Experten.

Auf die Frage, ob ein erhöhtes Allergierisiko besteht, wenn Nanomaterialien in Kontakt mit der Haut kommen, antworteten die Expertinnen und Experten in der zweiten Delphi-Runde eher ausweichend. Wie die folgende Abbildung 34 zeigt, wählten fast zwei Drittel der Befragten die Kategorie „weiß nicht“ oder „Es kommt darauf an“:

Abb. 34: Einschätzung des Allergierisikos durch Kontakt mit Nanomaterialien (n=56 Antworten)



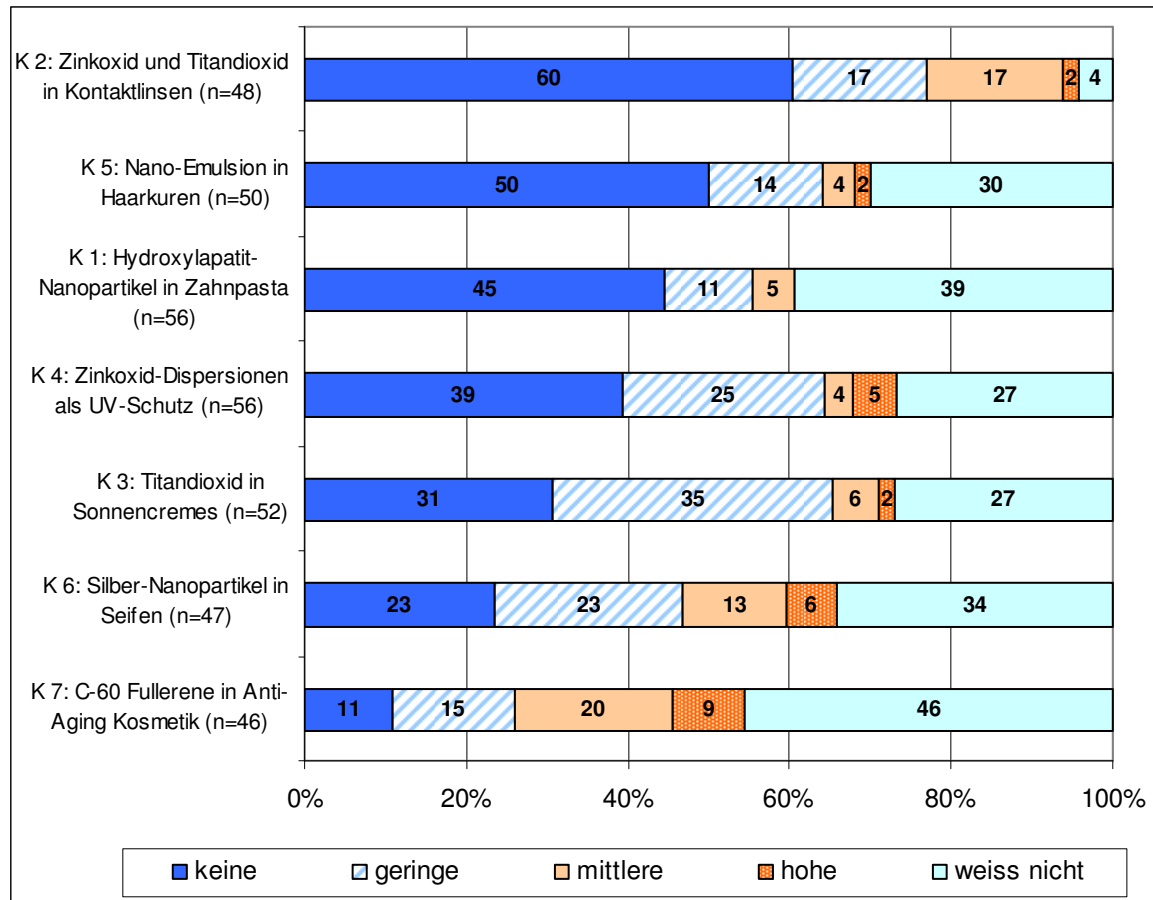
Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Da in der Befragung aus Delphi-Runde 2 keine klare Bewertungstendenz festgestellt werden konnte, beschäftigten sich die Workshopteilnehmer intensiv mit konkreten Beispielen. So werden von den Expertinnen und Experten bei dermalen Applikation von titandioxidhaltigen Formulierungen keine negativen Effekte erwartet. In wissenschaftlichen Studien zu TiO_2 wurde kein sensibilisierendes Potenzial für Nanopartikel größer als 20 nm festgestellt. Ebenso konnte für SiO_2 kein sensibilisierendes Potenzial nachgewiesen werden. Generell hoben die Experten hervor, dass oberhalb der Größenschwelle von 20 nm ein Eindringen von Nanopartikeln durch die Hornhaut nicht gegeben ist.

5.2.5 Einschätzung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte für Anwendungen der Nanotechnologie im Bereich Kosmetika

Von den meisten nanotechnologischen Anwendungen im Bereich Kosmetika erwarten die Experten keine gesundheitsschädlichen Effekte (Abbildung 35). Ausnahmen sind die Anwendung von Silber-Nanopartikeln in Seifen zur Hautreinigung und Fullerene als Antioxidantien. Bei der Anwendung mit Fullerenen in Hautcremes ist, wenn man den hohen „weiß nicht“-Anteil einmal unberücksichtigt lässt, der Anteil der Experten, die mittelstarke mögliche gesundheitsschädliche Wirkungen erwarten, sogar am größten. Erstaunlich ist aber auch der hohe Anteil an Experten, die vom Einsatz von Zink- bzw. Titandioxid-Nanopartikeln in Sonnencremes zumindest geringe gesundheitsschädliche Effekte erwarten.

Abb. 35: Einschätzung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte von Nanoprodukten aus dem Bereich Kosmetika durch Delphi-Experten (Anzahl der Antworten in Klammern)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Die Bewertungen in der Befragungsrunde 2 bleiben in der Gewichtung erneut konstant mit dem bereits beschriebenen Verstärkungseffekt. Für Silber werden geringe gesundheitsschädliche Effekte gesehen (Tabelle 38). Für die Anwendung von C-60-Fullerenen in Cremes erwarten nun sogar 41 % der Expertinnen und Experten mittelstarke negative gesundheitliche Wirkungen.

Tab. 38: Einschätzung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte von Nanoprodukten aus dem Bereich Kosmetika durch Delphi-Experten (Vergleich Befragungsrunde 1 mit Befragungsrunde 2)

	Befragungsrunde (Anzahl der Antworten)	keine (in %)	geringe (in %)	mittlere (in %)	hohe (in %)	weiß nicht (in %)
K 6: Silber-Nanopartikel in Seifen	R1 (n=47)	23	23	13	6	34
	R2 (n=42)	24	29	14	5	28
K 7: C-60 Fullerene in Anti-Aging Kosmetik	R1 (n=46)	11	15	20	9	46
	R2 (n=41)	5	10	41	7	37

Erläuterung: Prozentangaben gerundet

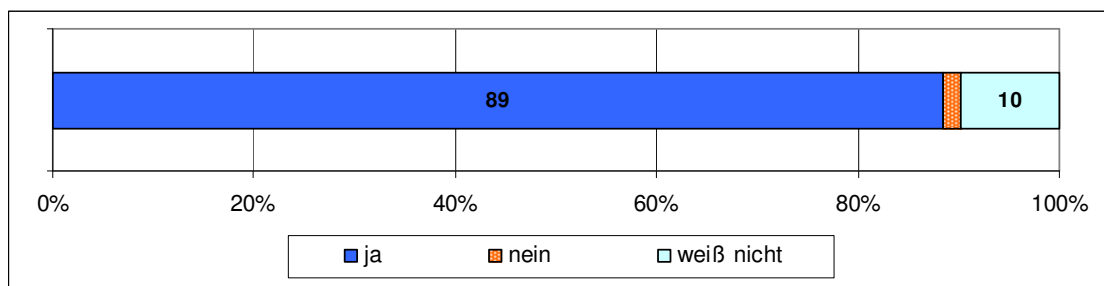
5.2.6 Exposition durch Nanomaterialien in Kosmetik- und Pharmaprodukten

Hinsichtlich einer möglichen Exposition durch Nanomaterialien in Kosmetik- und Pharmaprodukten wurden die Expertinnen und Experten mit folgender These konfrontiert:

„Erwarten Sie eine Exposition von Verbraucherinnen und Verbrauchern durch Nanomaterialien in Kosmetik- und Pharmaprodukten? Wenn ja, welche Effekte erwarten Sie? Können Sie bestimmten Materialien bestimmte Effekte zuordnen?“

Da es sich bei der Anwendung von Nanomaterialien im Pharma und Kosmetikbereich ähnlich wie bei Lebensmitteln um intendierte Expositionen handelt, sind die Antworten auf diese Frage erwartbar eindeutig. 88,5 % der Expertinnen und Experten bestätigten, dass eine Exposition besteht (Abbildung 36).

Abb. 36: Einschätzung der Exposition von Verbrauchern gegenüber Nanomaterialien in Kosmetik und Pharmaprodukten (n=61 Antworten)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Bei den Kommentaren zu den Effekten bei Kosmetik und Pharmaprodukten (Tabelle 39) machen mit 52 % etwas mehr als die Hälfte der Befragten aus allen Stakeholdergruppen, insbesondere aber Vertreter der Industrie, Angaben. Doppelte Nennungen wurden gestrichen.

Aus den Anmerkungen der Gruppe der Wissenschaft und der NGOs lässt sich schließen, dass dem Einsatz von Fullerenen bei kosmetischen Anwendungen eine Sonderstellung zugewiesen wird. Die Kommentare differenzieren deutlich in Anwendungen mit und ohne systemischen Effekt.

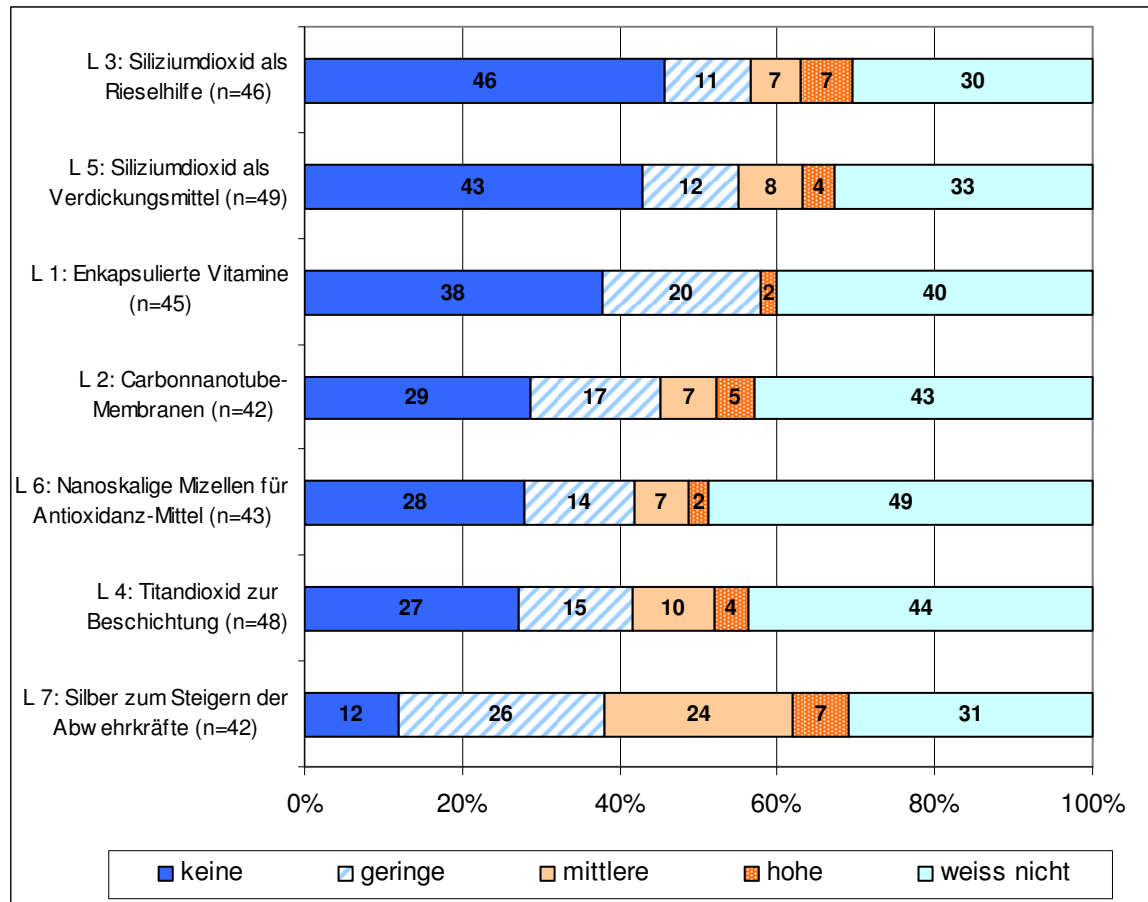
Tab. 39: Einschätzung der Exposition von Verbrauchern gegenüber Nanomaterialien in Kosmetik und Pharmaprodukten

Industrie	<p>„Dermale Exposition durch die Lichtfilterpigmente ist gegeben, eine systemische durch die belegbar nicht vorhandene Penetration aber nicht“</p> <p>„Die Betrachtung muss Stoff für Stoff gesehen werden und kann nicht allgemein für Kosmetik angegeben werden. Liegt keine Penetration vor, so ist auch nicht mit einer Exposition zu rechnen (Zinkoxid, Titandioxid)“</p> <p>„Generell ist die Frage trivial: Wenn Nanomaterialien in Kosmetik- und Pharmaprodukten enthalten sind, dann ist auch eine Exposition gegeben. Dass eine Exposition vorliegt, bedeutet jedoch nicht, dass auch eine Gefährdung (hazard) vorliegt und somit ein Risiko mit der Exposition vorhanden ist. Nach den Ergebnissen von "NanoDerm" gehen Nanopartikel nicht durch gesunde Haut. Arzneimittel unterliegen einem strengen Zulassungsverfahren“</p> <p>„Titanoxid Zinkdioxid Aufnahme durch die Haut/Haarwurzel“</p> <p>„Mögliche Effekte hängen sehr stark von den Materialien ab. Die derzeit auf dem Markt befindlichen Nano-Deliverysysteme sind biologisch abbaubar, d. h. sie werden in der Haut resp. durch Enzyme umgesetzt und stellen somit keine Gefahr dar.“</p>
Wissenschaft	<p>„Kosmetik ohne "Nanopartikel" gibt es nicht“</p> <p>„Für gängige Systeme eher unbedenklich, so lange kritische Partikelgröße nicht unterschritten wird“</p> <p>„Exposition verschiedenster Materialien: Kupfer, Zinkoxid, Silber, Titaniumdioxid, Fullerene“</p> <p>„Wenn im Fall von Kosmetik- Nanoprodukten die Nanomaterialien durch die Haut dringen können und im Blut verteilt werden können, muss geprüft werden, ob diese Nanomaterialien aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften zu oxidativem Stress oder andere zu pro-inflammatorischen (allergischen) Reaktionen führen können. Im Fall von Pharma Nanoprodukten sollten die umfangreichen Sicherheitsanforderungen an Medikamenten ausreichend sein. Allerdings sind auch hier die besonderen Eigenschaften der Nanomaterialien und ihre Wechselwirkung mit biologischen Geweben zu berücksichtigen.“</p> <p>„Die Haut ist eine gute Barriere, aber durch Zahncremes und lipophile Substanzen in Cremes kann auch eine interne Belastung entstehen (z.B. Fullerene). Die antioxidative Wirkung der Fullerene ist nicht schlüssig bewiesen.“</p>
NGO/Gewerkschaft	<p>„Autoimmunprozesse, Allergiezunahme, Entzündungen“</p> <p>„Allergien und Unverträglichkeiten“</p> <p>„Kommt darauf an, ob abbaubare oder nicht abbaubare Nanomaterialien verwendet werden. Bei nicht abbaubaren Nanomaterialien (z.B. Fullerenen) besteht erhöhte Expositionsgefahr bis hin zur Überwindung der Blut-Hirn-Schranke“</p>
Behörde/Politik	„Weitreichende Absorption von toxischen Materialien“
Netzwerk	„Nanopartikel können – quasi als Carrier – die Migration gewisser Stoffe durch die Haut fördern, damit erhält das „chemische Stoffrisiko“ eine neue Dimension – muss in jedem Fall substanzspezifisch beurteilt werden!“
Versicherer	„Übergang in Zellen und dort Langzeitanreicherung, tox. Effekte bisher strittig“

5.2.7 Einschätzung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte für Anwendungen der Nanotechnologie im Lebensmittelbereich

Von den meisten Anwendungen der Nanotechnologie im Lebensmittelbereich gehen nach Meinung der Experten keine gesundheitsschädlichen Effekte aus (Abbildung 37). Insbesondere bei der Verwendung von nanopartikulärem Siliziumdioxid als Rieselhilfe bzw. als Verdickungsmittel sieht die Mehrheit der Experten keine gesundheitlichen Probleme (46 % bzw. 43 % der Experten). Lediglich die Anwendung von Silber-Nanopartikeln im Lebensmittelbereich bekommt von der Expertenmehrheit geringe gesundheitsschädliche Wirkungen zugewiesen (26 %).

Abb. 37: Einschätzung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte von Nanoprodukten aus dem Lebensmittelbereich durch Delphi-Experten (Anzahl der Antworten in Klammern)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

In der zweiten Befragungsrunde blieben die Bewertungen der Expertinnen und Experten in ihrer Gewichtung annähernd konstant (Tabelle 40). Die Werte verstärkten sich dabei etwas. Dieser Verstärkungseffekt findet sich v. a. bei der Nano-Silber-Anwendung wieder, der jetzt 39 % der Experten ein geringes und 33 % ein mittelstarkes toxisches Potenzial zuweisen.

Tab. 40: Einschätzung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte von Nanoprodukten aus dem Lebensmittelbereich durch Delphi-Experten (Vergleich Befragungsrunde 1 mit Befragungsrunde 2)

	Befragungsrunde (Anzahl der Antworten)	keine (in %)	geringe (in %)	mittlere (in %)	hohe (in %)	weiß nicht (in %)
L 3: Siliziumdioxid als Rieselhilfe	R1 (n=46)	46	11	7	7	30
	R2 (n=39)	46	13	3	3	35
L 4: Titandioxid zur Beschichtung	R1 (n=48)	27	15	10	4	44
	R2 (n=38)	32	21	5	8	34
L 6: Nanoskalige Mizellen für Antioxidanz-Mittel	R1 (n=43)	28	14	7	2	49
	R2 (n=37)	41	16	5	3	35
L 7: Silber zum Steigern der Abwehrkräfte	R1 (n=42)	12	26	24	7	31
	R2 (n=36)	11	39	33	3	14

Erläuterung: Prozentangaben gerundet

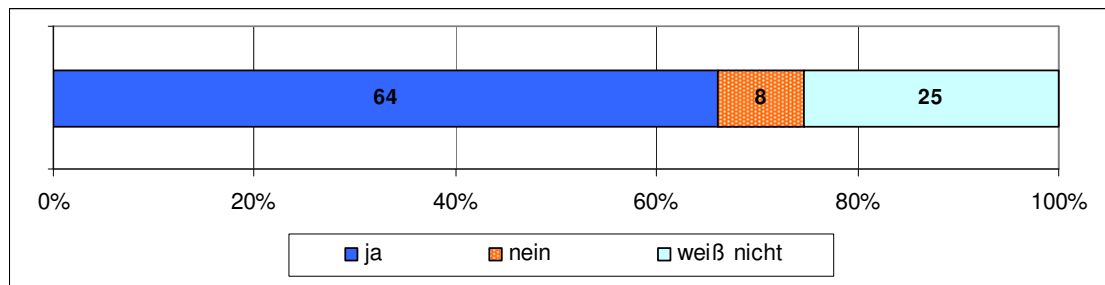
5.2.8 Exposition durch Nanomaterialien in Lebensmitteln und Nahrungsergänzungsmitteln

Im Zusammenhang mit möglichen bzw. bereits realisierten Anwendungen der Nanotechnologie in Lebensmitteln und Nahrungsergänzungsmitteln wurden die Expertinnen und Experten mit der folgenden These konfrontiert:

„Erwarten Sie eine Exposition von Verbraucherinnen und Verbrauchern durch Nanomaterialien in Lebensmitteln und Nahrungsergänzungsmitteln? Wenn ja, welche Effekte erwarten Sie? Können Sie bestimmten Materialien bestimmte Effekte zuordnen?“

In Ihren Antworten bestätigten 64 % der Befragten, dass es zu einer Exposition der Verbraucher durch Nanomaterialien kommt (siehe Abbildung 38). Dieser hohe Wert kommt den Anmerkungen zufolge vor allem dadurch zustande, dass eine Exposition in diesem Anwendungsbereich generell beabsichtigt ist.

Abb. 38: Einschätzung der Exposition von Verbrauchern gegenüber Nanomaterialien in Lebensmitteln und Nahrungsergänzungsmitteln (n=61 Antworten)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Bei der Bewertung der Effekte sind große Unterschiede zwischen den Stakeholdern auszumachen, und die Anmerkungen zeigen, dass die Anwendungen nicht durchgängig als unbedenklich bezeichnet werden (Tabelle 41). Während die Kommentare aus der Industrie alle keine negativen Effekte benennen, sondern eher die gesundheitsfördernde Wirkung betonen, werden in der Gruppe der Wissenschaftler mögliche gesundheitsschädliche Effekte beschrieben. Die Gruppe der NGOs geht geschlossen davon aus, dass eher negative Effekte zu erwarten sind. Hier eine Auswahl von Kommentaren, die besonders detailliert sind und viele Einzelinformationen beinhalten oder mehrfach genannt wurden:

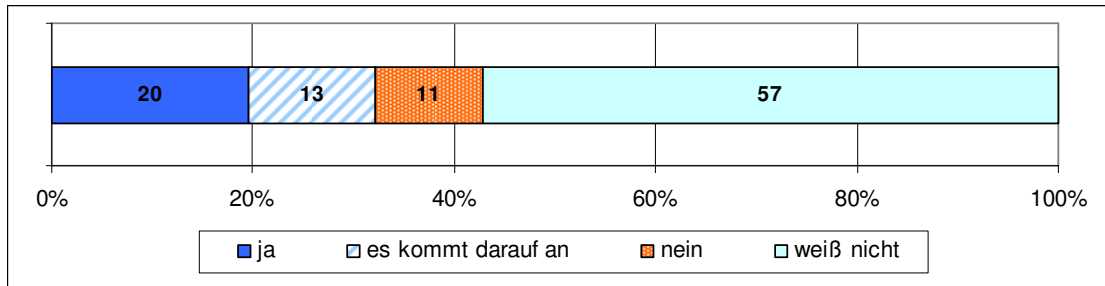
Tab. 41: Einschätzung der Exposition von Verbrauchern gegenüber Nanomaterialien in Lebensmitteln und Nahrungsergänzungsmitteln

Industrie	<p>„Kein Effekt (Milch enthält Nanopartikel!)“</p> <p>„In Lebensmitteln, insbesondere Functional Food und angereicherten Lebensmitteln, sowie Nahrungsergänzungsmitteln müssen Substanzen mit gesundheitsförderlicher Wirkung ("Health Ingredients") wie Vitamine, Carotinoide und andere in ‚formulierter‘ Form vorliegen, um ausreichende Stabilität, erleichterte Anwendung im Lebensmittel und gute Bioverfügbarkeit zu ermöglichen. Formulieren heißt, die Substanzen mit einer Schutzhülle zu versehen, die z. B. wasserlöslich ist. In formulierter Form liegen die Substanzen i.d.R. als > 100 nm Teilchen vor. Während der Verdauung werden die Teilchen aufgelöst und die enthaltenen Substanzen als Einzelmoleküle, wie in der Ernährung üblich, im Darm aufgenommen. Negative gesundheitliche Effekte sind durch die Formulierung nicht zu erwarten und sind auch nicht bekannt. Im Gegenteil, durch die Formulierung wird die Bioverfügbarkeit verbessert.“</p> <p>„Keine Effekte bei zugelassenen Materialien“</p> <p>„Keine negativen gesundheitlichen Effekte aufgrund Zulassungs- und Sicherheitsgebot“</p>
Wissenschaft	<p>„Exposition erfolgt schon lange (disperse Lebensmitteladditive, disperse Lebensmittelsysteme selbst). Größenspezifische negative Wirkungen wurden meines Wissens bisher weder festgestellt noch gar zugeordnet“.</p> <p>„Für gängige Systeme wie SiO₂ unbedenklich; Vorsicht bei anderen Materialien; verschiedene Gefahren bei Translokation in verschiedene Organe“</p> <p>„Sowie Nanomaterialien aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften im Magen-Darm-Trakt resorbiert und im Blut verteilt werden können, muss geprüft werden, ob diese Nanomaterialien aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften zu oxidativem Stress oder andere zu pro-inflammatorischen (allergischen) Reaktionen führen können“</p> <p>„Aerosil wird schon lange in Nahrungsmitteln eingesetzt“.</p> <p>„Modulation der Bioverfügbarkeit, sowohl Verbesserung als auch Verminderung denkbar; Hyper- bzw. Hypovitaminosen bei Fehlernährung; Effekte auf die Darmflora“</p> <p>„Induktion pro-inflammatorischer Status, Interaktion mit Genom, systemische Translokation“</p>
NGO/Gewerkschaft	<p>„Autoimmunprozesse, Allergien, Entzündungen“</p> <p>„Allergien und Unverträglichkeiten“</p> <p>„Orale Aufnahme von Nanopartikeln: Entzündungsgefahr, ggf. Anreicherung in Organen“</p>
Behörde/Politik	<p>„Polymere und By-Products bei Verpackungsmaterialien könnten auf die Lebensmittel übergehen“</p>
Netzwerk	<p>„Wenn es sich um anorganische, nicht lösliche Partikel handelt, die im Körper verbleiben“</p> <p>„Ich würde hier kein über das von der Chemie der Stoffe – auch der Naturstoffe – hinausgehendes Risiko sehen“</p>
Versicherer	<p>„Effekte voraussichtlich eher gering“</p>

5.2.9 Nanotechnologische Anwendungen mit Fullerenen

Aufgrund der Hinweise zu möglichen gesundheitsschädlichen Effekten bei der Anwendung von Fullerenen in Kosmetika aus Runde 1 wurde diesem Thema in Runde 2 ein besonderer Stellenwert eingeräumt und zusätzlich im Expertenworkshop nachgefragt. Der hohe Stellenwert der Frage lässt sich daran ablesen, dass alle 56 Teilnehmenden der Runde 2 diese Frage beantworteten. Auffällig ist in diesem Bereich der sehr hohe Wert im Bereich des Nichtwissens (Abbildung 39).

Abb. 39: Einschätzung der systemischen Exposition gegenüber Fullerenen bei dermale Kontakt (n=56 Antworten)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Als Zusatzfrage wurde erhoben, ob die Expertinnen und Experten einen möglichen gesundheitsschädlichen Effekt erwarten. Trotz des hohen Anteils an Nichtwissen erwarten über 87 % der Befragten einen möglichen gesundheitsschädlichen Effekt, also in diesem Fall 49 von 56 Befragten. Im Expertenworkshop wurde der geringe Kenntnisstand zu Fullerenen kritisch diskutiert und hinterfragt, inwiefern eine Diskussion zu diesem frühen Zeitpunkt zielführend sein könne, da sich die Risikoforschung noch im Anfangsstadium befinde. Im Verlauf der Diskussion wurden dennoch einige Hinweise auf Forschungsarbeiten zusammengetragen. Eine Übersicht zu den bereits veröffentlichten Risikostudien zum Thema Fullerene findet sich auf der Internetseite: „Nanotechnology and Risk Resources“ der Universität Wisconsin unter: <http://www.nsec.wisc.edu/NanoRisks/NS--NanoRisks.php>.

5.2.10 Nanotechnologische Anwendungen mit Silber

Die Expertinnen und Experten des Workshops bestätigten die antibakterielle Wirkung von Silberanwendungen. In der Regel würden entsprechende Oberflächenschichten galvanisch aufgebracht und sind überwiegend im Mikrometerbereich angesiedelt. Die gleiche Technik kann aber auch im Nanometerbereich angewendet werden. Im Textilbereich werden Silber-Nanopartikel überwiegend mit Pigmentbindern auf die Faser geklebt oder in eine Polymerfaser inkorporiert. Im letzteren Fall sind keine Abriebe zu erwarten. Hingewiesen wurde auf den indirekten Effekt eines erhöhten allergischen Potenzials durch die antimikrobielle Wirkung und eine mögliche nachfolgende Zunahme von Sensibilisierungen bei Daueranwendungen.

Die Expertinnen und Experten wiesen ausdrücklich auf den Unterschied zwischen dem Einsatz von Silber-Nanopartikeln und elektrostatischen Effekten durch die Lösung von Silberionen z. B. in Waschmaschinen hin. Es wurde betont, dass dieser Effekt kein Nanoeffekt sei und auf diese Weise auch keine Silber-Nanopartikel in die Umwelt gelangen. Wirkungsweisen von Silberionen im Waschwasser sowie nachfolgend bei der Aufarbeitung in Kläranlagen und nachfolgende Umwelteffekte sollten nach Meinung der Experten jedoch weitergehend untersucht werden.

In Zusammenhang mit einer oralen Exposition von nanoskaligem Silber aus Nahrungsergänzungsmitteln oder aus Abrieben erwarten die Experten keinen deutlichen antibakteriellen Effekt von Silber-Nanopartikeln im menschlichen Darm, da die Expositionsmenge vermutlich verschwindend gering sein wird.

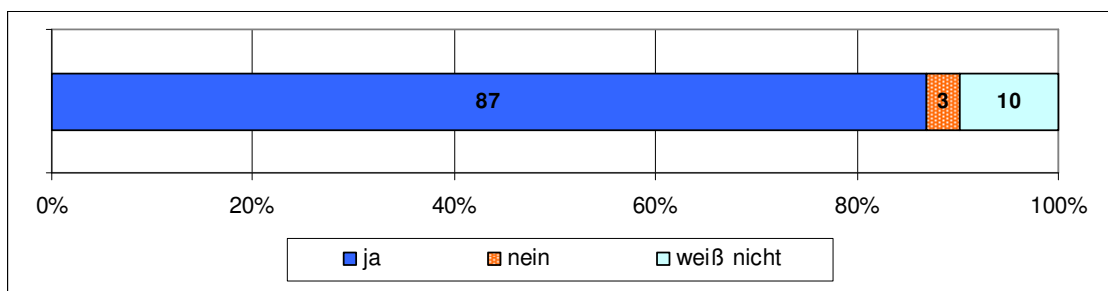
5.2.11 Anwendung von Nanomaterialien in Aerosolen

Obwohl die Inhalation von Nanopartikeln eher ein Problem des Arbeitsschutzes sein dürfte, gibt es prinzipiell auch Möglichkeiten, bei denen Verbraucher Nanomaterialien einatmen könnten. In einer These wurden die Expertinnen und Experten deshalb gefragt:

„Erwarten Sie eine Exposition von Verbraucherinnen und Verbrauchern durch den Einsatz von Nanomaterialien in Aerosolen? Wenn ja, welche Effekte erwarten Sie? Können Sie bestimmten Materialien bestimmte Effekte zuordnen?“

86,9 % der Experten erwarten eine Exposition der Verbraucherinnen und Verbraucher (Abbildung 40). Interessant ist, dass in dieser These ausdrücklich nach der Exposition von Verbrauchern gefragt wurde.

Abb. 40: Einschätzung der Exposition der Verbraucher gegenüber Aerosolen (n=61 Antworten)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Zu den Effekten durch den Einsatz von Nanomaterialien in Aerosolen haben mit 48 % knapp die Hälfte der Befragten weitere Angaben gemacht (siehe Tabelle 42).

Tab. 42: Exposition der Verbraucher gegenüber Aerosolen (qualitative Anmerkungen)

Industrie	„Die Exposition ist bei Versprühung natürlich gegeben und eine Inhalation ist grundsätzlich möglich.“ „Ob Nanomaterialien in Aerosolen enthalten sind, ist mir nicht bekannt. Nicht alle Produkte, auf denen „Nano“ steht, enthalten auch „Nano“. Die Exposition muss auf jeden Fall einzelfallbezogen betrachtet werden. Generalisierte Aussagen sind nicht möglich.“ „Irritationen, Ödeme, Entzündungen, unter Umständen Krebs“
Wissenschaft	„Nanoimprägniersprays“ „Wirkung der Tenside“ „Ich kenne keine Nanomaterialien, die wirklich in Aerosolen eingesetzt werden“ „Aufnahme über Lunge, Entzündungsprozesse, Translokation in andere Organe“ „Sowie die Nanomaterialien als Aerosole entweder bei Arbeitsprozessen oder in der Umwelt durch Menschen inhaliert werden können, muss geprüft werden, ob diese Nanomaterialien aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften oxidativen Stress oder andere zu pro-inflammatorischen (allergische) Reaktionen führen“ "Fasertoxikologische Effekte bei Carbonnanotubes, ähnlich wie bei Asbestfasern" „Induktion pro-inflammatorischer Status z. B. über oxidativen Stress, systemische Translokation“
NGO/Gewerkschaft	„Atemwegserkrankungen“ „Orale Aufnahme von Nanopartikeln: Entzündungen in den Alveolen, Transfer in die Blutbahn“
Behörde/Politik	„In Verwendung in Sprays unter Druckluft bilden sich feine Aerosole, die gut eingeatmet werden können“
Netzwerk	„(...) u. a. Allergien, Störungen des Immunsystems etc.“ „Partikel können Lunge passieren und in benachbarten Lymphknoten angesammelt werden – Krebsrisiko pro Substanz unterschiedlich“
Versicherer	„Wohl eine Situation, in der die höchsten Expositionen im Privatgebrauch zu erwarten sind. Für Aussagen über Wirkungen fehlt es an grundlegendem Wissen.“

5.3 Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte

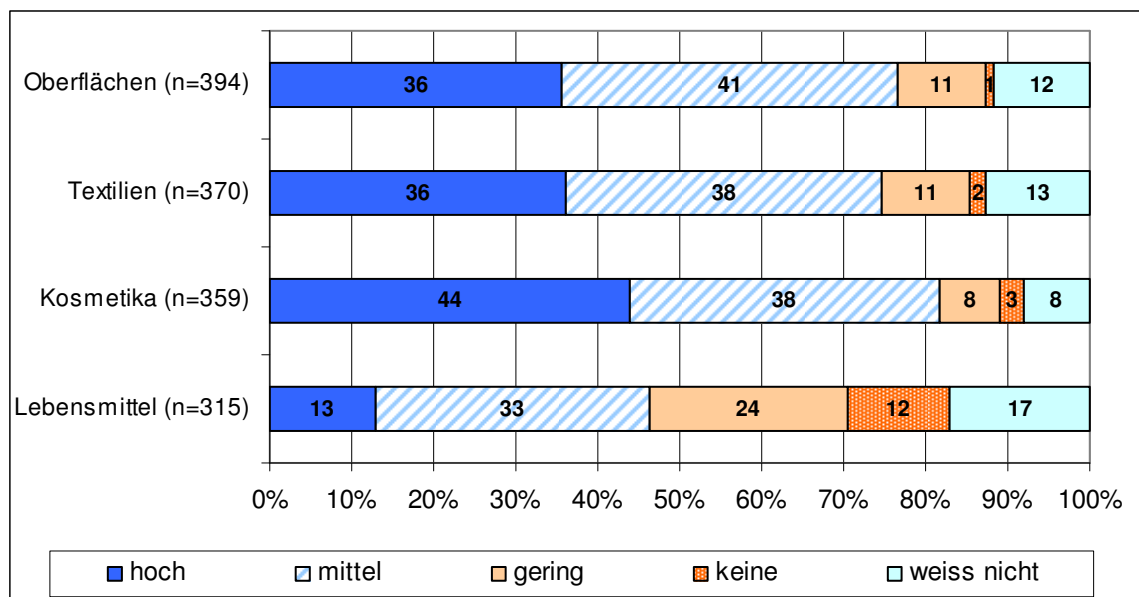
5.3.1 Einschätzung der Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte insgesamt

Die schnelle Entwicklung der Nanotechnologie und die zunehmende Bedeutung dieser Technologie für den Verbraucheralltag finden bislang eher unbeachtet von der Öffentlichkeit statt. Der gesellschaftliche und beim überwiegenden Teil der Bürger auch der individuelle Meinungsbildungsprozess zum Thema stehen erst am Anfang. Die Debatten zur Nanotechnologie werden derzeit überwiegend von Experten in Fachzirkeln geführt. Bei Politik und Fachöffentlichkeit besteht jedoch Problembewusstsein dahingehend, dass eine so weit in die Zukunft reichende und so viele Bereiche des Alltagslebens tangierende Technologie wie die Nanotechnologie auch auf ihre Akzeptanz durch Nutzer und Verbraucher hin untersucht werden sollte.

Die 30 Anwendungsbeispiele wurden den Expertinnen und Experten erneut zur Bewertung vorgelegt. Die Einschätzung der Verbraucherakzeptanz konnte nach den Kriterien „hoch“, „mittel“, „gering“ und „keine“ sowie der Kategorie „weiß nicht“ erfolgen. In einer zweiten Befragungsrunde wurden nur diejenigen Anwendungen abgefragt, die in Runde 1 eine geringe bis mittlere Verbraucherakzeptanz zugewiesen bekommen hatten. Bevor die Verbraucherakzeptanz für die verschiedenen Anwendungsbereiche detailliert untersucht wird, soll im Folgenden die Verbraucherakzeptanz vergleichend über die Anwendungsbereiche hinweg dargestellt werden. Für diese Analyse wurde die Anzahl aller Wertungen wie z. B. „hoch“ oder „mittel“ über die Anwendungsbeispiele eines Bereichs hinweg summiert.

Die Expertinnen und Experten erwarten für die meisten Anwendungsbereiche der Nanotechnologie eine hohe Verbraucherakzeptanz (Abbildung 41). Die höchsten Akzeptanzerwartungen der Experten bestehen gegenüber Nano-Kosmetika. Hier glauben 82 %, dass diese Produkte mittlere bis hohe Akzeptanz beim Verbraucher finden werden. Ähnlich hoch sind die Erwartungen hinsichtlich der Verbraucherakzeptanz in den Anwendungsbereichen Textilien und Oberflächenbeschichtungen. Hier sind 74 % bzw. 77 % der Befragten der Meinung, dass Nanoanwendungen auf mittlere bis hohe Verbraucherakzeptanz stoßen werden. Bei nanotechnologischen Anwendungen im Bereich Lebensmittel nimmt der Anteil skeptischer Haltungen zu. Immerhin noch 46 % der Experten erwarten auch für diesen Bereich mittlere bis hohe Verbraucherakzeptanz. Aber 36 % erwarten keine oder nur geringe Akzeptanz der Verbraucher für solche Anwendungen. Die skeptische Einschätzung der Verbraucherakzeptanz im Bereich Lebensmittel liegt damit dreimal so hoch wie in allen anderen Bereichen.

Abb. 41: Einschätzung der Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte durch Delphi-Experten. Das in Klammern angegebene „n“ ist dabei die Summe der Nennungen aus den abgefragten Einzelanwendungen für die vier Bereiche Oberflächen (8 Einzelanwendungen), Textilien (8 Einzelanwendungen), Kosmetika (7 Einzelanwendungen) und Lebensmittel (7 Einzelanwendungen)



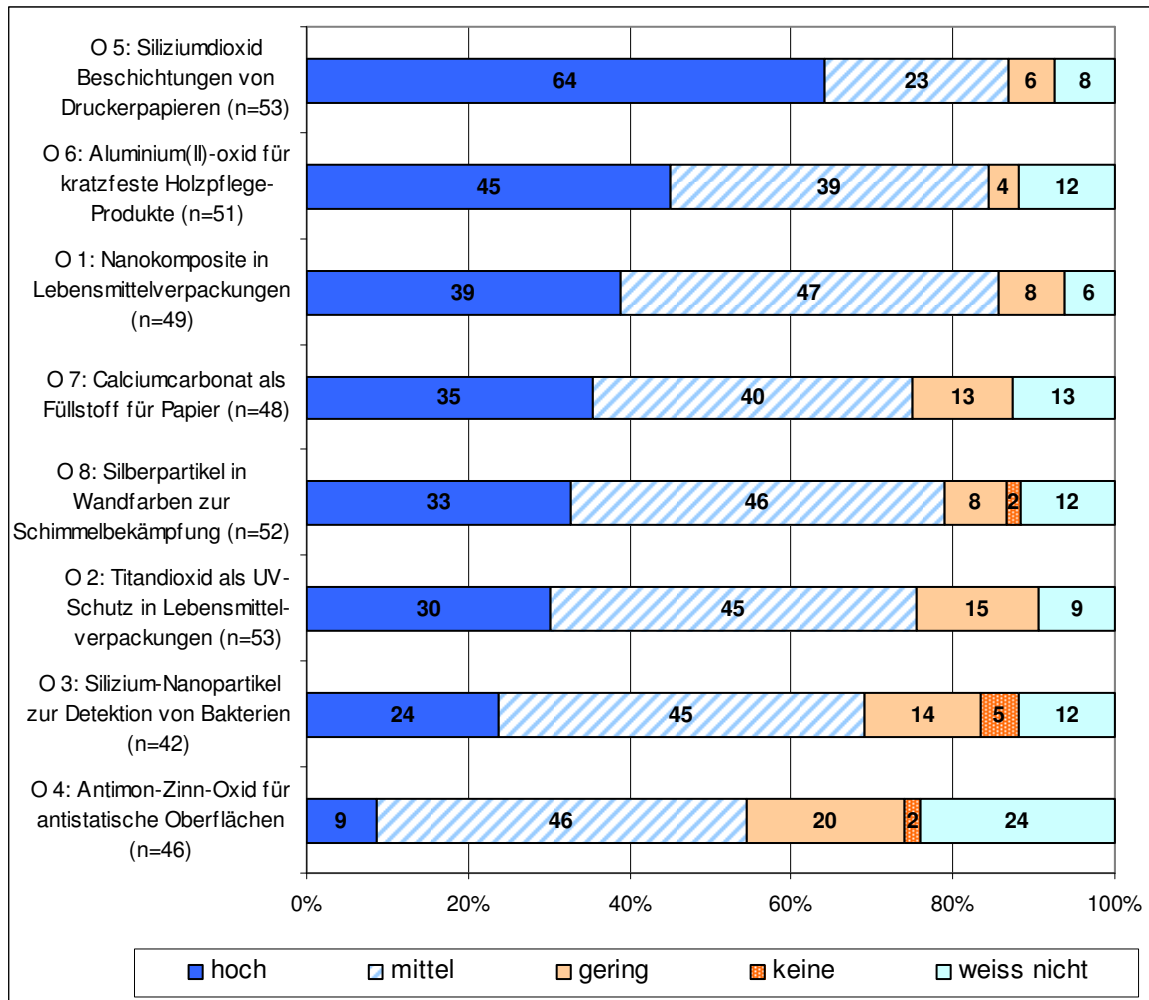
Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Die Akzeptanzerwartungen können jedoch für Einzelanwendungen innerhalb der verschiedenen Bereiche stark variieren, wie in den folgenden Abschnitten gezeigt wird.

5.3.2 Einschätzung der Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte im Bereich Oberflächen

Die Expertinnen und Experten erwarten für fast alle nanotechnologischen Anwendungen im Bereich Oberflächenbeschichtungen eine mittlere bis hohe Akzeptanz bei den Verbrauchern (Abbildung 42). Bei sechs von acht Anwendungsbeispielen liegen die entsprechenden Werte bei über 75 %. Der höchste Akzeptanzwert wird Siliziumdioxidbeschichtungen von Druckerpapieren zugewiesen. Hier glauben 87 % der Experten an eine mittlere bis hohe Verbraucherakzeptanz. Die niedrigsten Akzeptanzwerte im Bereich Oberflächen erwarten die Expertinnen und Experten für Antimon-Zinn-Oxid-Beschichtungen, um Oberflächen mit antistatischen Eigenschaften auszustatten.

Abb. 42: Einschätzung der Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte aus dem Bereich Oberflächen durch Delphi-Experten (Anzahl der Antworten in Klammern)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Vier der acht Anwendungsbeispiele wurden den Experten in Delphi-Runde 2 ein weiteres Mal zur Bewertung vorgelegt. Von der Tendenz der Ergebnisse änderte sich nichts (Tabelle 43). Es ergab sich aber eine Verschiebung in Richtung höherer Akzeptanzerwartungen, und die Anzahl der „weiß nicht“-Nutzer nahm ab.

Tab. 43: Einschätzung der Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte aus dem Bereich Oberflächen durch Delphi-Experten (Vergleich Befragungsrunde 1 mit Befragungsrunde 2)

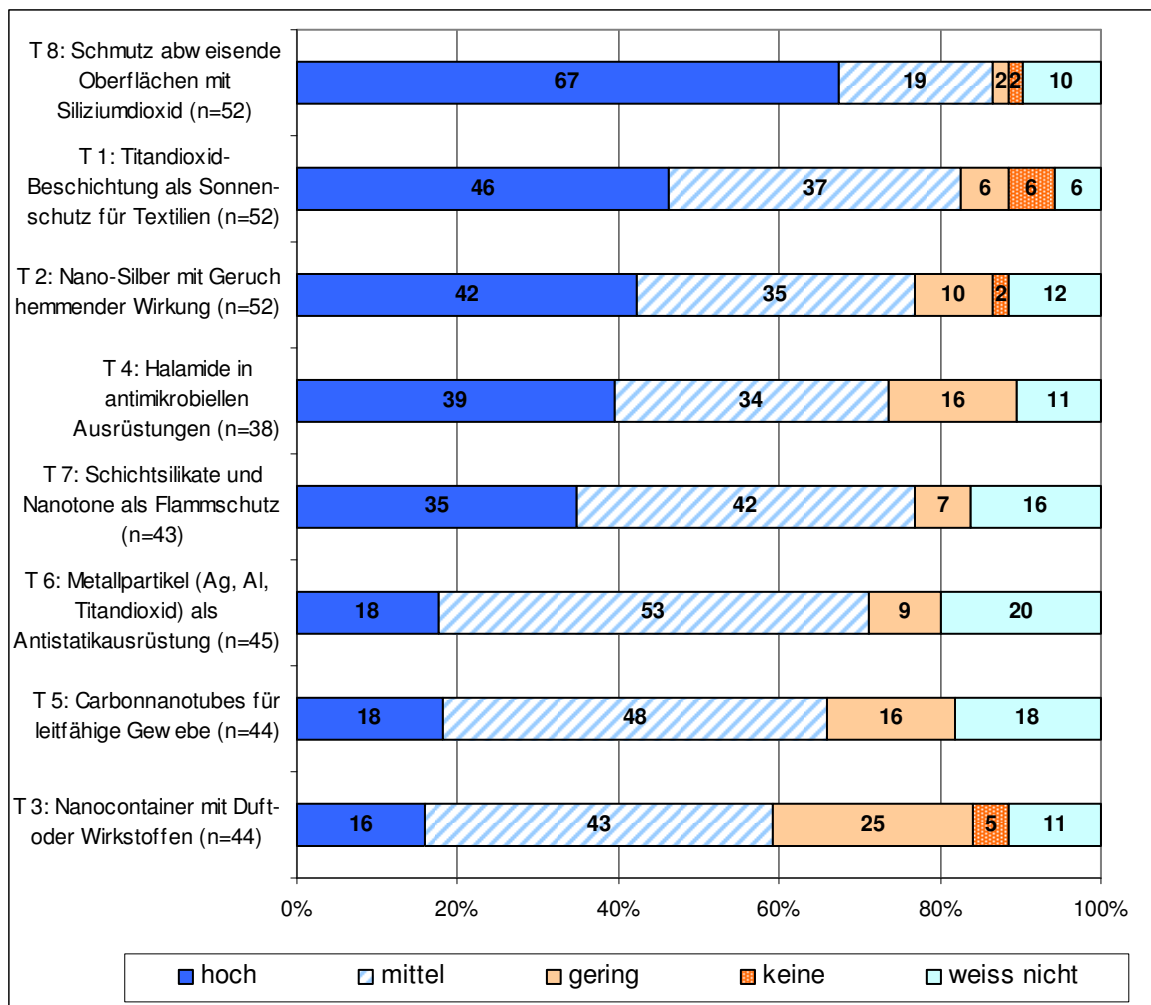
	Befragungsrunde (Anzahl der Antworten)	keine (in %)	geringe (in %)	mittlere (in %)	hohe (in %)	weiß nicht (in %)
O 3: Silizium-Nanopartikel zur Detektion von Bakterien	R1 (n=42)	24	45	14	5	12
	R2 (n=37)	30	54	11	3	2
O 4: Antimon-Zinn-Oxid für antistatische Oberflächen	R1 (n=46)	9	46	20	2	24
	R2 (n=37)	14	57	14	0	15
O 6: Aluminium (Al ₂ O ₃) für kratzfeste Holzpflege-Produkte	R1 (n=51)	45	39	4	0	12
	R2 (n=39)	62	33	0	0	5
O 8: Silberpartikel in Wandfarben zur Schimmelbekämpfung	R1 (n=52)	33	46	8	2	12
	R2 (n=40)	43	50	5	0	2

Erläuterung: Prozentangaben gerundet

5.3.3 Einschätzung der Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte im Bereich Textilien

Für Nanoanwendungen im Bereich Textilien erwarten die Expertinnen und Experten eine ähnlich hohe Akzeptanz wie für Anwendungen im Bereich Oberflächen. Für sechs der acht Anwendungen erwarten mehr als 70 % der Befragten eine mittlere bis hohe Akzeptanz bei den Verbrauchern (Abbildung 43). Am besten schneiden Schmutz abweisende Textilien und Sonnenschutztextilien ab. Die Werte für mittlere bis hohe Akzeptanzerwartungen liegen bei 86 % bzw. 83 %. Auch für den Einsatz von Nano-Silber in den Fasern von Socken, Schuhen oder Wischlappen mit dem Ziel, unangenehme Gerüche zu unterdrücken, erwarten 77 % der Experten mittlere bis hohe Verbraucherakzeptanz. Die niedrigste Akzeptanz erwarten die Befragten für den Einsatz von Nanocontainern mit Duft- und Wirkstoffen in Bekleidung, aber auch Teppichen und Sofas. Hier erwarten sogar 30 % der Experten keine oder nur geringe Verbraucherakzeptanz.

Abb. 43: Einschätzung der Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte aus dem Bereich Textilien durch Delphi-Experten (Anzahl der Antworten in Klammern)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

In der zweiten Befragungsrunde wurden den Expertinnen und Experten vier Anwendungsbeispiele aus dem Bereich Textilien ein weiteres Mal zur Bewertung vorgelegt. Bei der Anwendung von Nano-Silber zur Hemmung unangenehmer Gerüche und der Nutzung von Siliziumdioxid zur Schaffung Schmutz abweisender Oberflächen stieg der Anteil der Erwartungen von hoher Akzeptanz um über 10 % (Tabelle 44).

Tab. 44: Einschätzung der Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte aus dem Bereich Textilien durch Delphi-Experten (Vergleich Befragungsrunde 1 mit Befragungsrunde 2)

	Befragungsrunde (Anzahl der Antworten)	hoch (in %)	mittel (in %)	gering (in %)	keine (in %)	weiß nicht (in %)
T 2: Nano-Silber mit Geruch hemmender Wirkung	R1 (n=52)	42	35	10	2	12
	R2 (n=41)	56	34	5	0	5
T 3: Nanocontainer mit Duft- oder Wirkstoffen	R1 (n=44)	16	43	25	5	11
	R2 (n=36)	6	56	31	0	7
T 4: Halamide in antimikrobiellen Ausrüstungen	R1 (n=38)	39	34	16	0	11
	R2 (n=32)	38	56	0	0	6
T 8: Schmutz abweisende Oberflächen mit Siliziumdioxid	R1 (n=52)	67	19	2	2	10
	R2 (n=38)	79	21	0	0	0

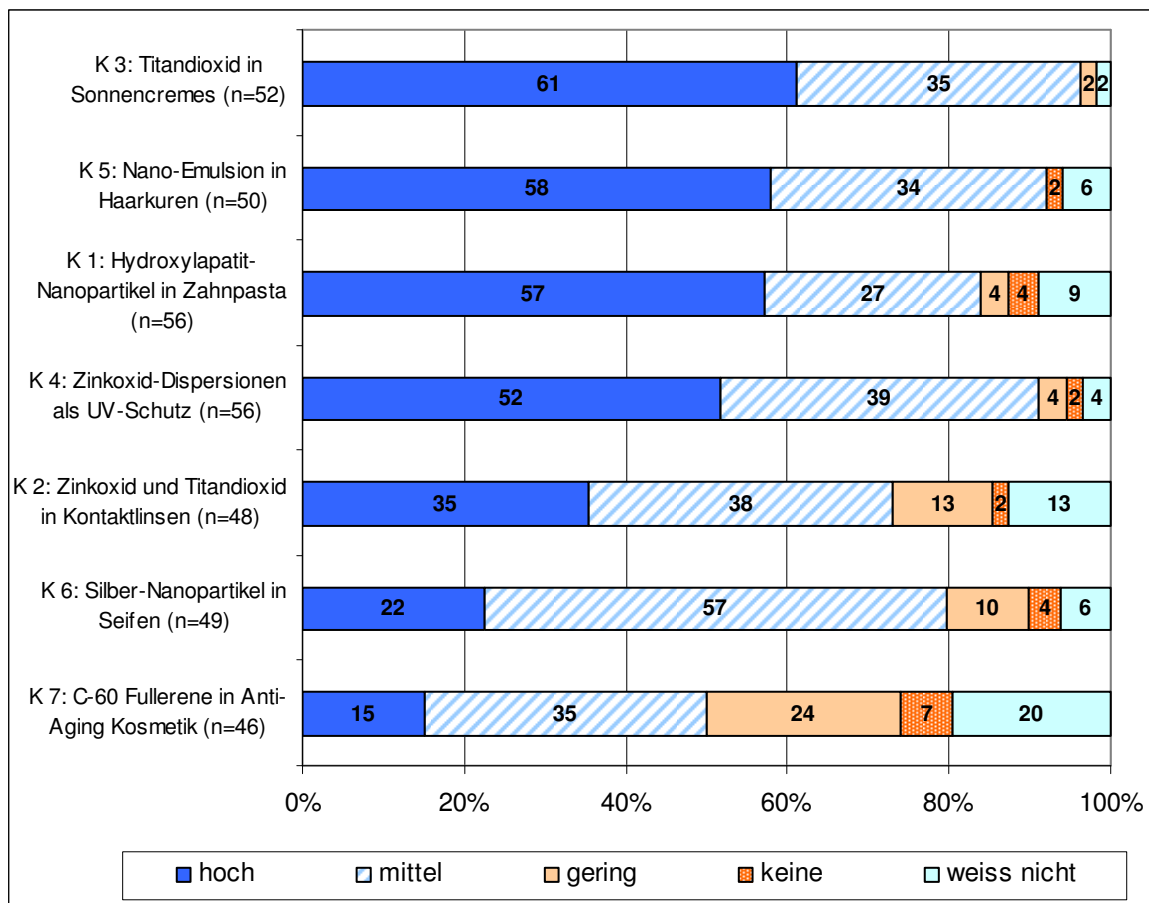
Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Bei der Nutzung von Nanocontainern zur Integration von Duft- und Wirkstoffen in Textilien und bei der Nutzung von Halamiden zur Beschichtung der Arbeitsschutzbekleidung von medizinischem Personal oder Landwirten ging der Anteil der Experten, die hohe Akzeptanz bei Verbrauchern erwarten, zurück.

5.3.4 Einschätzung der Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte im Bereich Kosmetika

Im Bereich der kosmetischen Anwendungen gehen die Experten von einer mittleren bis hohen Akzeptanz aus (Abbildung 44). Besonders hoch liegen die Erwartungswerte beim Einsatz von Titandioxid- und Zink-Nanopartikel zum UV-Schutz (96 % bzw. 91 % der Experten erwarten eine mittlere bis hohe Verbraucherakzeptanz). Beim Einsatz von Silber-Nanopartikeln in Seifen zur Hautreinigung und Desinfektion sinkt der Anteil der Experten, die von hoher Verbraucherakzeptanz ausgehen, zwar auf 22 %, doch weitere 57 % der Experten geht zumindest von mittlerer Akzeptanz aus. Die niedrigsten Akzeptanzwerte in dieser Gruppe bekommt eine Anwendung zugesprochen, bei der C-60-Fullerene als Antioxidantien in Cremes eingesetzt werden.

Abb. 44: Einschätzung der Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte aus dem Bereich Kosmetika durch Delphi-Experten (Anzahl der Antworten in Klammern)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Das Silber- und das C-60-Beispiel wurde den Experten in Runde 2 erneut zur Bewertung vorgelegt. Im Ergebnis gab es jedoch fast keine Veränderungen in den Akzeptanzerwartungen (Tabelle 45).

Tab. 45: Einschätzung der Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte aus dem Bereich Kosmetika durch Delphi-Experten (Vergleich Befragungsrunde 1 mit Befragungsrunde 2)

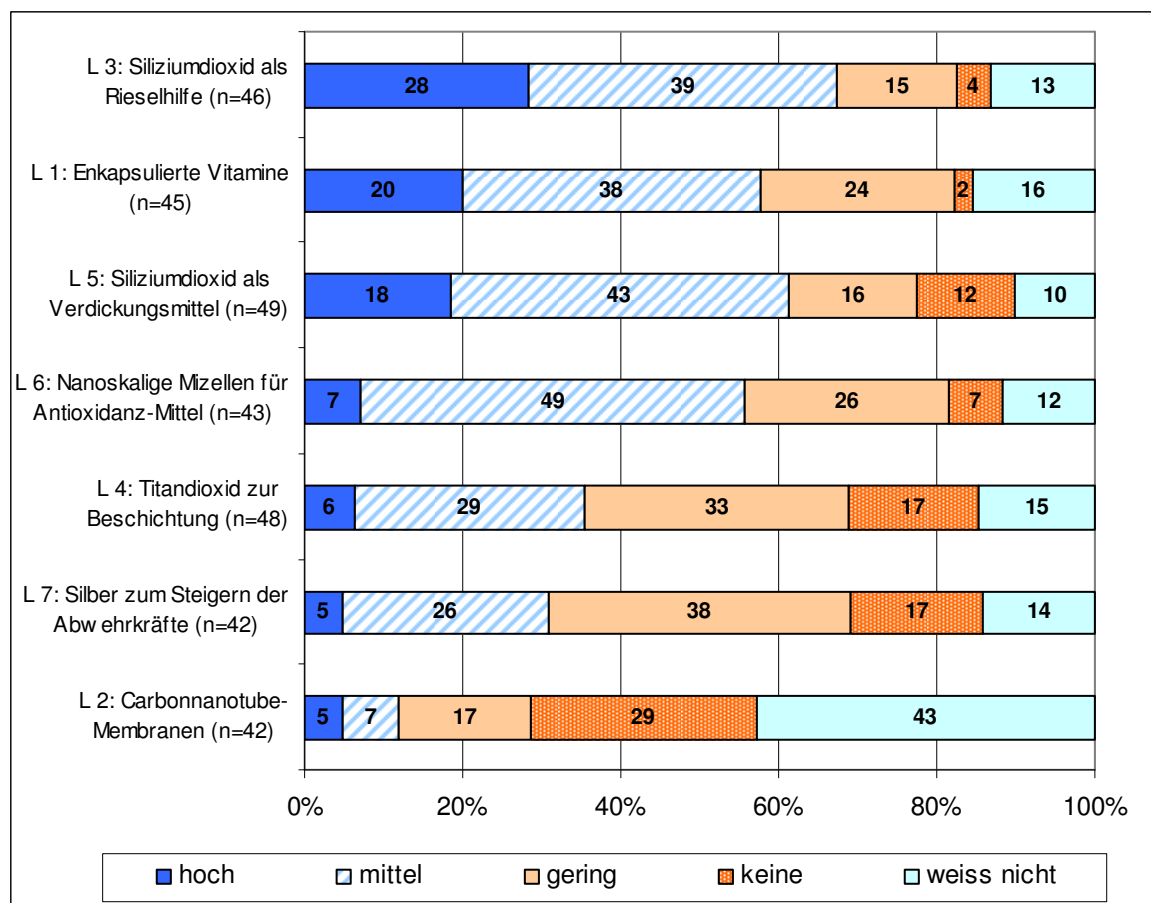
	Befragungsrunde (Anzahl der Antworten)	hoch (in %)	mittel (in %)	gering (in %)	keine (in %)	weiß nicht (in %)
K 6: Silber-Nanopartikel in Seifen	R1 (n=47)	22	57	10	4	6
	R2 (n=42)	26	55	12	0	7
K 7: C-60 Fullerene in Anti-Aging Kosmetik	R1 (n=46)	15	35	24	7	20
	R2 (n=41)	10	39	37	0	14

Erläuterung: Prozentangaben gerundet

5.3.5 Einschätzung der Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte im Lebensmittelbereich

Die Erwartungen mittlerer bis hoher Verbraucherakzeptanz seitens der Experten gehen im Bereich Lebensmittel deutlich zurück. Bei Nanoanwendungen in den Bereichen Oberflächen, Textilien und Kosmetika gingen im besten Fall 80 % und mehr der Experten von mittlerer bis hoher Verbraucherakzeptanz aus. Bei der am positivsten bewerteten Lebensmittel-Anwendung (nanopartikuläres Siliziumdioxid als Rieselhilfe) gehen nur 67 % der Experten von mittlerer bis hoher Verbraucherakzeptanz aus (Abbildung 45). Bei drei Anwendungen erwarten die Experten, dass diese von den Verbrauchern eher abgelehnt werden: die Nutzung von Titandioxid zur Beschichtung von Schokoriegeln, die Verwendung von in reinem Wasser gelösten Silber-Nanopartikeln zur Steigerung der Abwehrkräfte und die lebensmittel-technologische Nutzung von Carbonnanotubes zur Abtrennung von Biomolekülen mit funktionellem Wert. Insgesamt prognostizieren die Experten jedoch keine generelle Ablehnung der Produkte im Lebensmittelbereich.

Abb. 45: Einschätzung der Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte aus dem Lebensmittelbereich durch Delphi-Experten (Anzahl der Antworten in Klammern)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Wiederum wurden in der zweiten Delphi-Runde vier Anwendungsbeispiele den Expertinnen und Experten erneut zur Bewertung vorgelegt. Danach stieg bei den Beispielen „Siliziumdioxid als Rieselhilfe“, „Nanoskalige Mizellen für Antioxidanz-Mittel, um Lebensmittel länger frisch zu halten“ und „Silber zum Steigern der Abwehrkräfte“ der Anteil der Experten, die von mittlerer Verbraucherakzeptanz ausgehen z. T. sehr deutlich (Tabelle 46). Bei der Nutzung von Titandioxid zur Beschichtung von Schokoriegeln ging die Mehrheit der Experten nun nur noch von geringer Verbraucherakzeptanz aus.

Tab. 46: Einschätzung der Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte aus dem Lebensmittelbereich durch Delphi-Experten (Vergleich Befragungsrunde 1 mit Befragungsrunde 2)

	Befragungsrunde (Anzahl der Antworten)	hoch (in %)	mittel (in %)	gering (in %)	keine (in %)	weiß nicht (in %)
L 3: Siliziumdioxid als Rieselhilfe	R1 (n=46)	28	39	15	4	13
	R2 (n=39)	33	44	10	3	10
L 4: Titandioxid zur Beschichtung	R1 (n=48)	6	29	33	17	15
	R2 (n=38)	5	37	47	3	8
L 6: Nanoskalige Mizellen für Antioxidanz-Mittel	R1 (n=43)	7	49	26	7	12
	R2 (n=37)	5	70	19	0	6
L 7: Silber zum Steigern der Abwehrkräfte	R1 (n=42)	5	26	38	17	14
	R2 (n=36)	0	39	42	6	13

Erläuterung: Prozentangaben gerundet

5.4 Weitere Bewertungselemente zur Charakterisierung von Risiken

Zur Bewertung komplexerer und/oder mit Ungewissheit bzw. Unsicherheit behafteter Risiken hat der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) in seinem Jahresgutachten 1998 „Welt im Wandel: Handlungsstrategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken“ ein umfassenderes Konzept vorgeschlagen, in dem explizit acht Kriterien für die Analyse und Bewertung von Umweltrisiken genannt werden:

- Schadensumfang: Quantitativer Umfang des Schadens (Tote, Verletzte, Kosten)
- Eintrittswahrscheinlichkeit: erstmaliger Schadenseintritt, Häufigkeit/Frequenz des Schadenseintritts, chronischer Schaden
- Ubiquität: räumliche Verbreitung des potenziellen Schadens
- Persistenz: zeitliche Ausdehnung des potenziellen Schadens
- Reversibilität: Wiederherstellbarkeit des Zustandes vor Eintritt des Schadens
- Verzögerungseffekt: Latenz zwischen auslösendem Ereignis und Eintritt des Schadens
- Ungewissheit: Gesamtindikator für verschiedene Unsicherheitskomponenten: Unkenntnis (Defizite des Wissens sowohl hinsichtlich der möglichen Schadensfolgen als auch über die Eintrittswahrscheinlichkeit), Unbestimmtheit (Schwierigkeit bei weitgehend bekanntem Schadensausmaß verlässliche Aussagen über die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadensfalls machen zu können)
- Mobilisierungspotenzial: Potenzial für soziale Konflikte und psychologische Reaktionen durch Verletzung individueller, sozialer oder kultureller Interessen und Werte

Im BfR-Experten-Delphi-Verfahren zur Nanotechnologie wurden mehrere dieser Kriterien in die Befragung einbezogen:

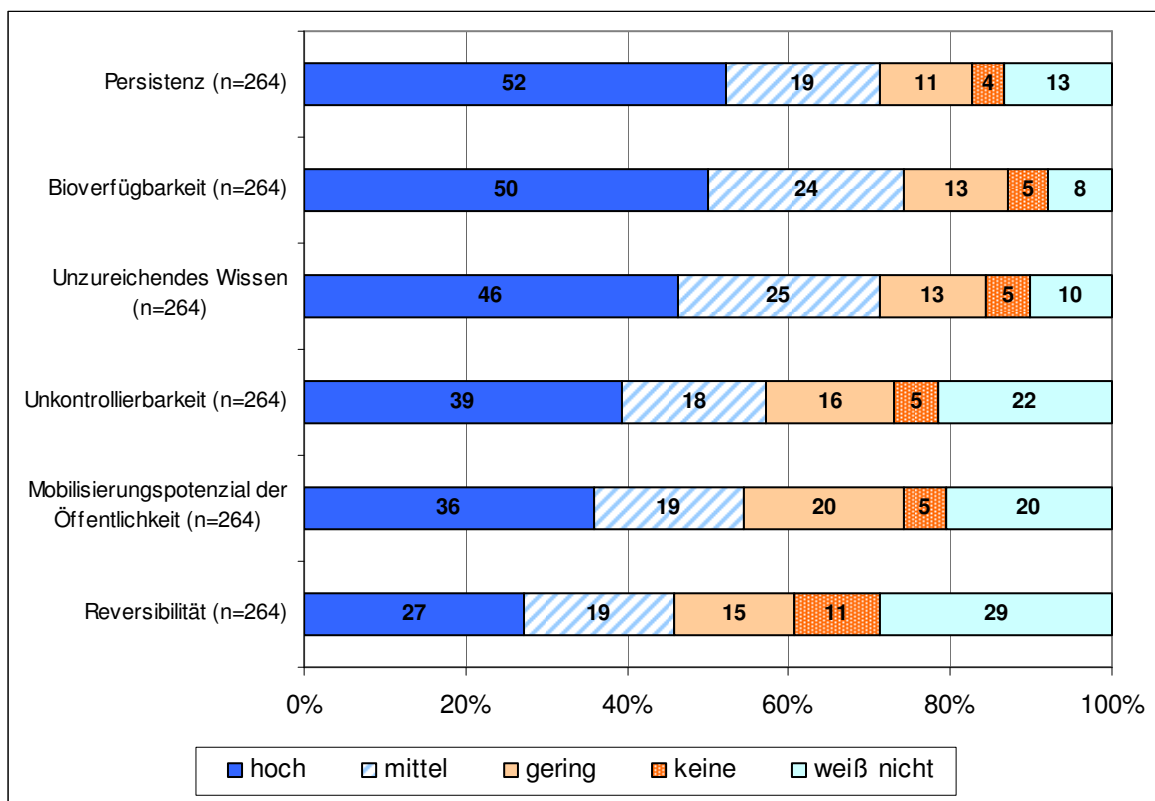
- Persistenz
- Reversibilität
- Unzureichendes Wissen
- Mobilisierungspotenzial der Öffentlichkeit

Weiterhin wurde nach der Kontrollierbarkeit der Risiken gefragt. Kontrollierbarkeit findet sich dabei in der oben genannten Systematik einerseits in den Kriterien der Ubiquität und Persistenz von ihrer physikalischen Seite und in dem Kriterium der Mobilisierung von ihrer sozialen Seite her wieder. Schließlich wurde noch nach der Bioverfügbarkeit gefragt, die als Marker für die innere Exposition gegenüber Nanopartikeln herangezogen werden kann.

5.4.1 Bedeutung weiterer Risikobewertungselemente für Nanoprodukte

In diesem Abschnitt wurden die Expertinnen und Experten gebeten, die Bedeutung verschiedener weiterer Elemente für die Risikobewertung nanotechnologischer Anwendungen in den Bereichen Lebensmittel, Kosmetik, Textilien und Oberflächen anzugeben. Die untenstehende Abbildung 46 summiert die Antworten über alle 30 abgefragten Nano-Anwendungen hinweg und zeigt, dass ein Großteil der Experten den abgefragten Aspekten durchweg eine hohe Bedeutung beimisst. Die Bewertungen erreichten überwiegend Werte im Spektrum zwischen 40 % und 50 %. Insbesondere „Persistenz“ und „Bioverfügbarkeit“ waren Elemente, die in den Augen der Expertinnen und Experten bei Risikobewertungen unbedingt Berücksichtigung finden sollten. Dem Aspekt „Reversibilität“ messen die Expertinnen und Experten die geringste Bedeutung für die Charakterisierung von Risiken bei.

Abb. 46: Bedeutung weiterer Bewertungselemente zur Charakterisierung von Risiken über alle Anwendungen (Runde 1). Das in Klammern angegebene „n“ ist dabei die Summe der Nennungen aus den abgefragten Einzelanwendungen für die vier Bereiche Oberflächen (8 Einzelanwendungen), Textilien (8 Einzelanwendungen), Kosmetika (7 Einzelanwendungen) und Lebensmittel (7 Einzelanwendungen)



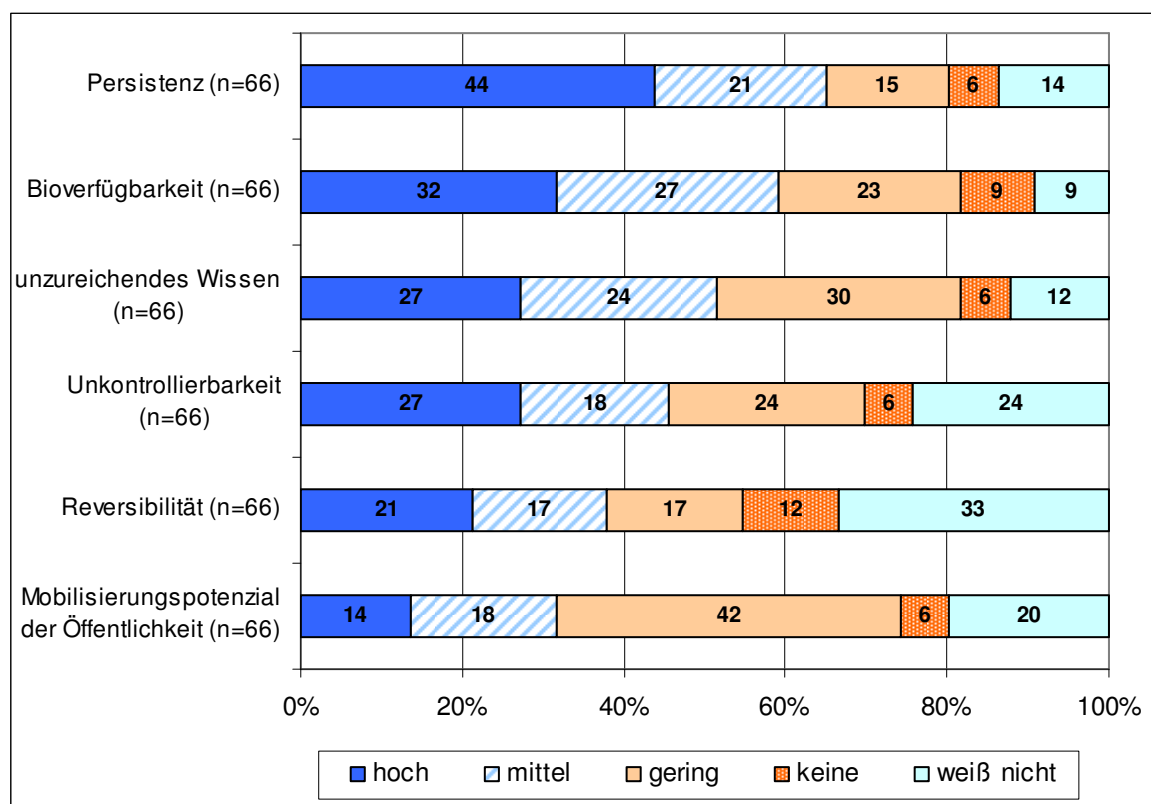
Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Ein Blick auf die einzelnen Anwendungsfelder in den folgenden Unterkapiteln macht deutlich, dass trotz der generell positiven Haltung die Bewertungselemente pro Anwendungsfeld unterschiedlich gewichtet werden. Diese Elemente seien für einige Anwendungen eine größere Bedeutung zu haben als für andere.

5.4.2 Bedeutung weiterer Risikobewertungselemente für Nanoprodukte im Bereich Oberflächen

Unter den abgefragten zusätzlichen Kriterien ist „Persistenz“ nach Ansicht der Expertinnen und Experten das wichtigste, das für die Risikobewertung im Bereich Oberflächenanwendungen herangezogen werden sollte (Abbildung 47). Insgesamt 65 % der Befragten schätzen die Bedeutung dieses Kriteriums für mittel bis hoch ein. Auch bei den Kriterien „Bioverfügbarkeit“ und „unzureichendes Wissen“ sind noch über 50 % der Experten der Meinung, dass diese Kriterien eine mittlere bis hohe Bedeutung für die Risikobewertung in diesem Anwendungsbereich haben. Das „Mobilisierungspotenzial der Öffentlichkeit“ hat in der Einschätzung der Experten die geringste Bedeutung für eine Risikobewertung von Nanoprodukten aus dem Bereich Oberflächenbeschichtungen.

Abb. 47: Bedeutung weiterer Bewertungselemente zur Charakterisierung von Risiken von Nanoanwendungen im Bereich Oberflächen (Runde 1) (Anzahl der Antworten in Klammern)

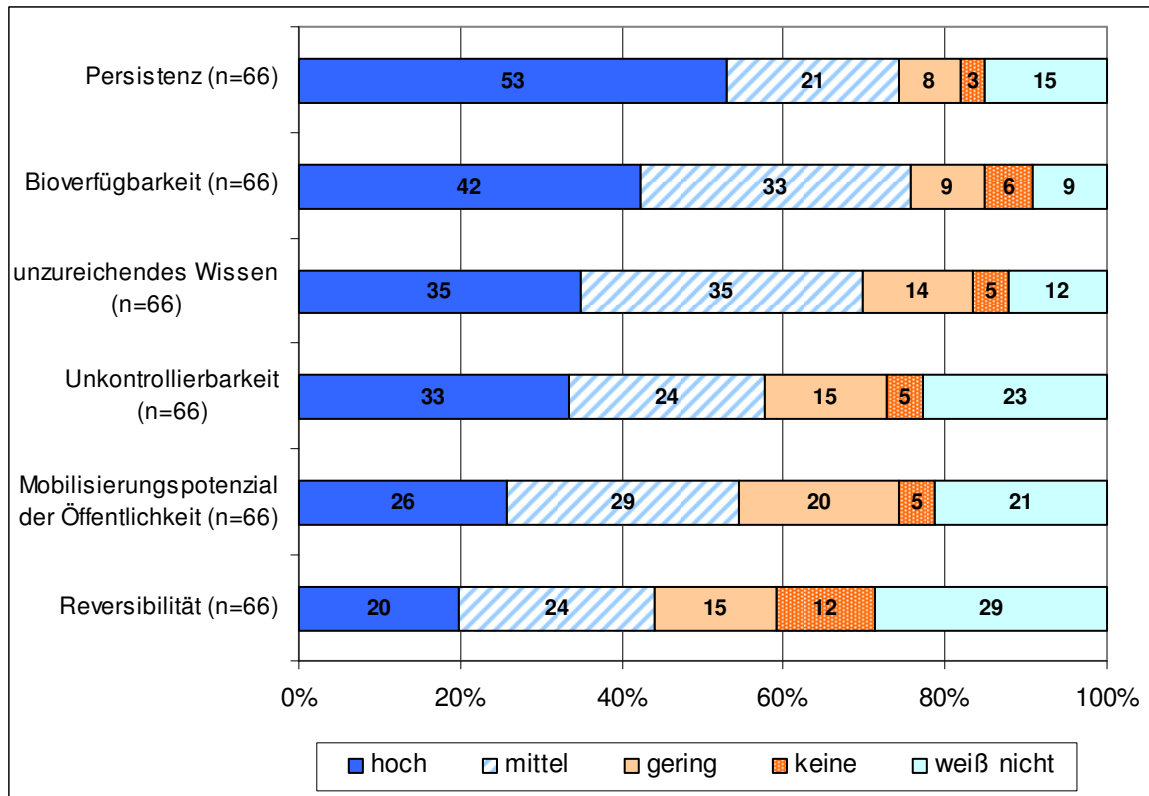


Erläuterung: Prozentangaben gerundet

5.4.3 Bedeutung weiterer Risikobewertungselemente für Nanoprodukte im Bereich Textilien

Ähnlich wie bei den nanotechnologischen Anwendungen im Bereich Oberflächenbeschichtungen haben auch im Bereich Textilien die Kriterien „Persistenz“, „Bioverfügbarkeit“ und „unzureichendes Wissen“ die größte Bedeutung (Abbildung 48). 70 % und mehr der Befragten sind der Ansicht, dass diese Kriterien zusätzlich für eine Risikobewertung herangezogen werden sollten. Bei den Nanoanwendungen im Bereich der Textilien hat das Kriterium „Reversibilität“ die geringste Bedeutung für die Risikobewertung. Das Kriterium „Mobilisierungspotenzial“ ist im Vergleich zu den Oberflächenbeschichtungen um einen Platz nach oben gerückt. Bei Nanotextilien sind 55 % der Befragten der Meinung, dieses Kriterium hat mittlere bis hohe Bedeutung für die Risikobewertung.

Abb. 48: Bedeutung weiterer Bewertungselemente zur Charakterisierung von Risiken von Nanoanwendungen im Bereich Textilien (Runde 1) (Anzahl der Antworten in Klammern)



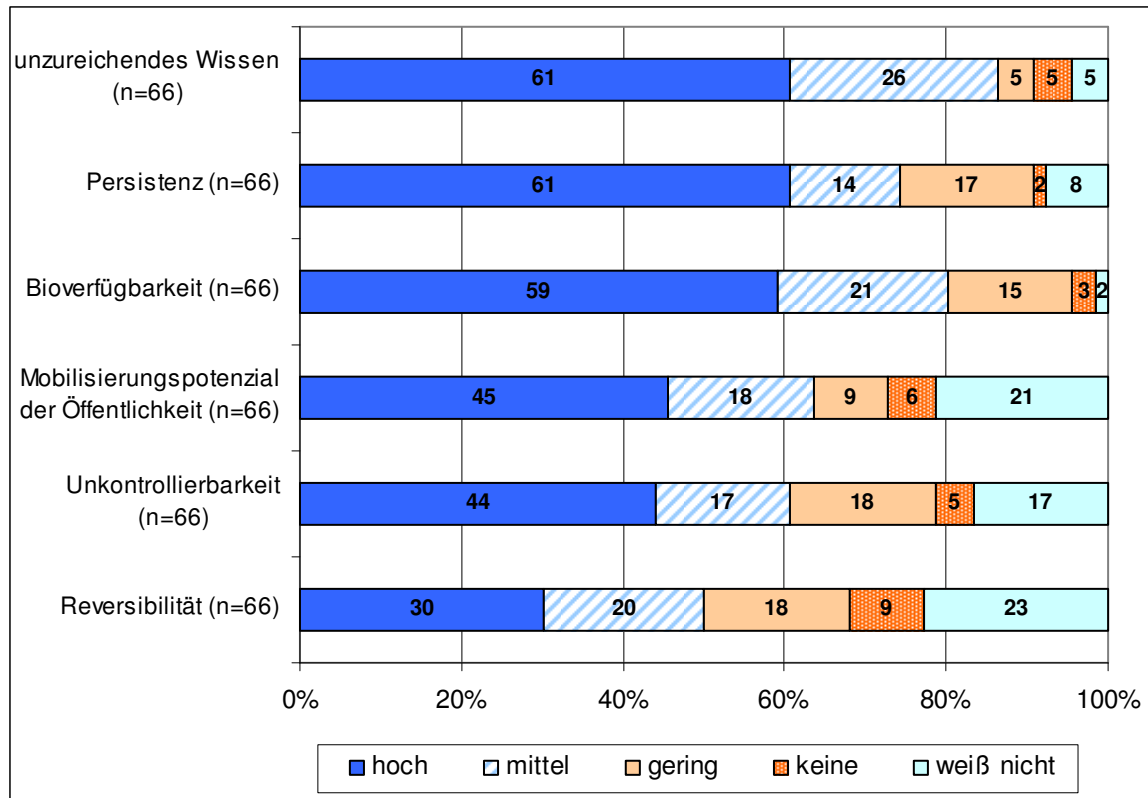
Erläuterung: Prozentangaben gerundet

5.4.4 Bedeutung weiterer Risikobewertungselemente für Nanoprodukte im Bereich kosmetische Anwendungen

Auch bei den Nanoanwendungen im Bereich Kosmetika wird den drei Kriterien „Persistenz“, „Bioverfügbarkeit“ und „unzureichendes Wissen“ wieder die größte Bedeutung zugemessen (Abbildung 49). Diesmal allerdings in anderer Reihenfolge. 87 % der Expertinnen und Experten sind der Meinung, dass das zusätzliche Kriterium „unzureichendes Wissen“ eine mittlere bis hohe Bedeutung für die Risikobewertung in diesem Bereich hat. Auf den Plätzen 2 und 3 in der Bedeutungszuweisung folgen die Kriterien „Persistenz“ und „Bioverfügbarkeit“. Auf Platz 4 folgt bereits das Kriterium „Mobilisierungspotenzial“. 63 % der Experten sind der Ansicht, dass dieses Kriterium eine mittlere bis hohe Bedeutung für die Risikobewertung hat. Wiederum wird der „Reversibilität“ die geringste Bedeutung beigemessen.

Die Relevanz der abgefragten Kriterien wird im Bereich kosmetischer Anwendungen sehr viel höher bewertet als in den Bereichen Textilien und Oberflächen. Die durchschnittlichen Werte für „hohe Bedeutung“ über alle Faktoren hinweg steigen im Bereich Kosmetik auf 52 %, wohingegen sie im Bereich Textilien nur 36 % und im Bereich Oberflächen 26 % erreichten.

Abb. 49: Bedeutung weiterer Bewertungselemente zur Charakterisierung von Risiken von Nanoanwendungen im Bereich Kosmetik (Runde 1) (Anzahl der Antworten in Klammern)



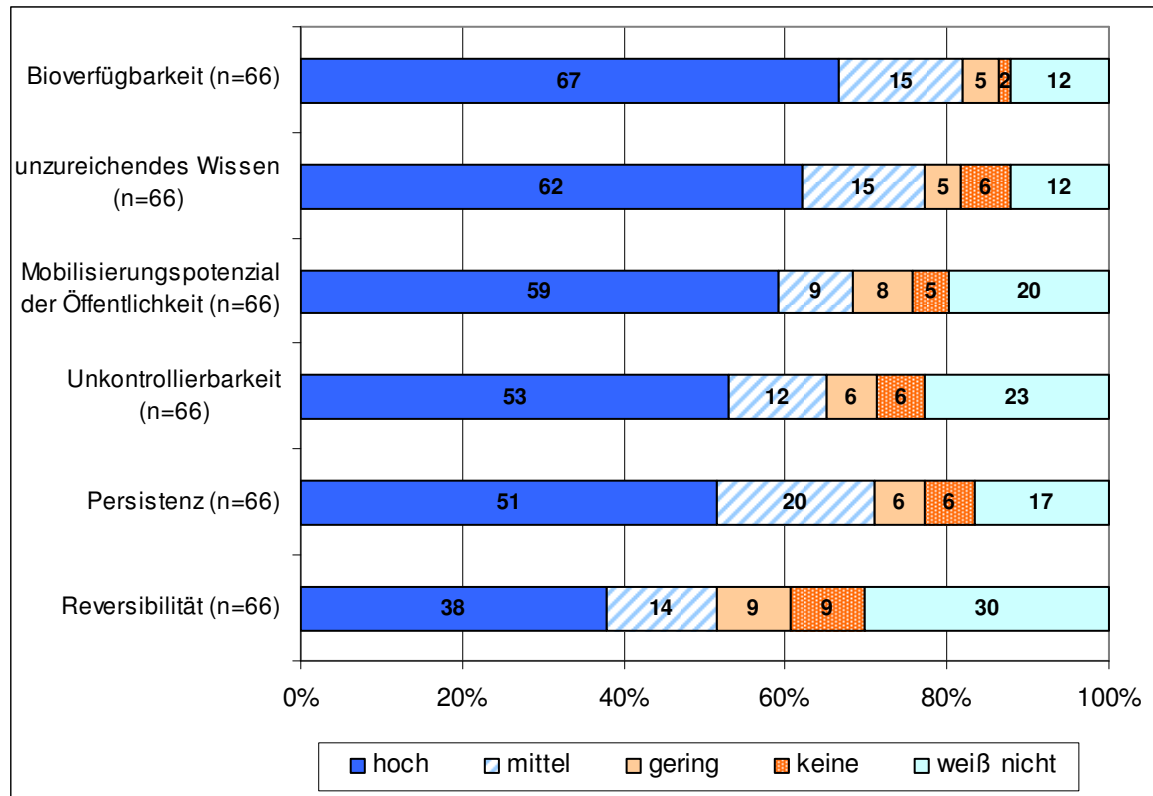
Erläuterung: Prozentangaben gerundet

5.4.5 Bedeutung weiterer Risikobewertungselemente für Nanoprodukte im Lebensmittelbereich

Für Anwendungen der Nanotechnologie im Bereich Lebensmittel verschiebt sich die Bedeutung weiterer Risikobewertungskriterien zum Teil deutlich (Abbildung 50). Erstmals findet sich das Kriterium „Mobilisierungspotenzial der Öffentlichkeit“ unter den drei wichtigsten Kriterien. 68 % der Befragten sind der Ansicht, dass dieses Kriterium mittlere bis hohe Bedeutung für die Risikobewertung hat. An die erste Stelle wurde von den Expertinnen und Experten das Kriterium „Bioverfügbarkeit“ gesetzt. Hier sind 82 % der Überzeugung, dass dieses Kriterium eine mittlere bis hohe Bedeutung für die Risikobewertung hat. An zweiter Stelle folgt das Kriterium „unzureichendes Wissen“. Dem Kriterium „Persistenz“, das in den Anwendungsbereichen Oberflächen und Textilien noch das wichtigste zusätzliche Bewertungskriterium gewesen war, wird im Bereich Lebensmittel eine im Vergleich geringere Bedeutung zugemessen.

Wiederum steigt in der Einschätzung der Expertinnen und Experten die Relevanz der abgefragten Kriterien für die Risikobewertung und wird signifikant höher bewertet als in den Bereichen Textilien und Oberflächen. Lagen die durchschnittlichen Werte für „hohe Bedeutung“ über alle Kriterien hinweg im Bereich Oberflächen bei 26 %, im Bereich Textilien bei 36 % und im Bereich Kosmetika bei 52 %, erreichen sie im Bereich Lebensmittel 58 %.

Abb. 50: Bedeutung weiterer Bewertungselemente zur Charakterisierung von Risiken von Nanoanwendungen im Bereich Lebensmittel (Runde 1) (Anzahl der Antworten in Klammern)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

5.5 Konsequenzen für den Verbraucherschutz

Obwohl die Expertinnen und Experten Risikopotenziale eher für den Arbeitsschutzbereich erwarten, wurden im abschließenden Expertenworkshop auch Konsequenzen für den Verbraucherschutz formuliert:

Grundlage

- Je nach Relevanz für die Regulierung sollte eine Hierarchie von Produkttypen im verbrauchernahen Bereich erarbeitet werden.
- Bei nanobeschichteten Oberflächen werden von den Experten nur geringe gesundheitlich relevante Effekte erwartet.
- Nano-Anwendungen im körpernahen Bereich (Lebensmittel und Verpackung/Kosmetik/ Textilien) sollten hingegen mit hoher Priorität behandelt werden, da in diesem Bereich Expositionsmöglichkeit und Risikowahrnehmung der Verbraucher am größten sind.

Information

- Ein Informationsaufbau zum umweltbezogenen Gesundheitsschutz und zum Schutz des werdenden Lebens wird als notwendig erachtet.
- Relevante Informationen sollten zusammengestellt werden: Welche Nanoprodukte sind am Markt? Mit welcher Zielsetzung? Dokumentation von Sicherheitsnachweisen, Wirkungsmechanismen und möglichen Nebenwirkungen.
- Informationen für die Verbraucher sollten zentral zur Verfügung gestellt werden.

- Kennzeichnung sollte für den Verbraucher verständlich und mit genauen Stoffangaben versehen sein (Definition und Standardisierung/internationale Harmonisierung nötig).

Stoffbezogene Maßnahmen des Verbraucherschutzes

- Die Experten sehen keine Notwendigkeit für regulatorische Maßnahmen hinsichtlich nanopartikulärem TiO₂, ZnO, oder SiO₂. Die Wirkungen der eingesetzten Stoffe sind gut belegt und es wird keine systemische Exposition bei dermalen Applikation dieser Stoffe erwartet.
- Nanoprodukte, die Fullerene enthalten, werden von den Experten als problematisch angesehen. Die Produkte sind aber in Deutschland derzeit nicht auf dem Markt verfügbar. Zu beachten ist, dass Verbraucher Kosmetika mit Fullerenen über das Internet beziehen könnten und dies regulatorische Maßnahmen erforderlich machen könnte.

5.6 Fazit

Marktrelevanz

- Die größten Wachstumspotenziale bei Nanoprodukten erwarten die Expertinnen und Experten im Bereich der Oberflächenbeschichtungen. Für Nanoprodukte aus den Bereichen Textilien und Kosmetika wird ein moderates Wachstum vorausgesagt. Keine bedeutende Marktentwicklung wird für Nanoprodukte im Lebensmittelbereich erwartet.
- In allen verbrauchernahen Anwendungsbereichen der Nanotechnologie sehen die Experten bereits Produkte auf dem Markt bzw. kurz vor dem Marktdurchbruch. Insbesondere für kosmetische Nanoprodukte, aber auch für einzelne Produkte aus dem Lebensmittelbereich wird bereits eine Marktverfügbarkeit gesehen. Die Einschätzung der Marktreife wird generell von großer Unsicherheit begleitet.

Mögliche gesundheitsschädliche Effekte

- Die Expertinnen und Experten gehen nicht davon aus, dass von Nanoprodukten insgesamt gesundheitsschädliche Effekte ausgehen. 22 von 30 abgefragten Produkten wurden mehrheitlich als gesundheitlich unbedenklich eingestuft. Beim Einsatz von Nanomaterialien in Lebensmitteln gelten abbaubare oder gut belegte Substanzen wie SiO₂ als unbedenklich.
- Obwohl die Mehrheit der Expertinnen und Experten einen Abrieb aus Oberflächenbeschichtungen und beschichteten Textilien auch in nanoskaliger Form theoretisch für denkbar hält, wird darin aufgrund der geringen Dosis mehrheitlich kein gesundheitliches Risiko gesehen. Die Abriebe finden vor allem beim Waschvorgang und damit ohne direkte inhalative, orale oder dermale Exposition von Verbrauchern statt. Die Umweltproblematik ist dagegen noch nicht geklärt.
- Sieben von 30 Nanoprodukten wurden geringe gesundheitsschädliche Effekte zugewiesen (Silberpartikel in Wandfarben zur Schimmelbekämpfung, Halamide in antimikrobiellen Ausrüstungen, Carbonnanotubes für leitfähige Gewebe, Metallpartikel als Antistatikausrüstung, TiO₂ in Sonnencremes, Silber-Nanopartikel in Seifen, Silber-Nanopartikel in Nahrungsergänzungsmitteln).
- Für die Anwendungen mit Silber gilt, dass eine leichte toxische Wirkung beabsichtigt ist und als biozide Wirkung zu den Materialeigenschaften zählt. Dennoch sehen die Expertinnen und Experten zusätzlichen Forschungsbedarf. Kritisch gesehen wird, dass durch übermäßigen Einsatz von Silber in Textilien und Oberflächen Sensibilisierungen verstärkt werden oder dass sich Resistenzen ausbilden könnten.

- Bei der Anwendung von C-60-Fullerene in Anti-Aging-Kosmetik erwarten die Experten gesundheitsschädliche Effekte, obwohl die Wissensbasis, auf der diese Einschätzung beruht, gering ist.
- Die Anwendungen von Aerosolsprays mit Nanomaterialien werden kritisch betrachtet, weil von einer erhöhten Expositionsmöglichkeit auszugehen ist. Welche gesundheitlichen Effekte Nanomaterialien in Aerosolsprays auslösen und ob überhaupt Nanomaterialien in den Sprays enthalten sind, ist in Expertenkreisen umstritten.

Verbraucherakzeptanz

- Generell erwarten die Experten eine hohe Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte aus den Bereichen Oberflächenbeschichtungen, Textilien und Kosmetika. Akzeptanzprobleme werden für verschiedene Nanoanwendungen im Lebensmittelbereich erwartet.
- Insbesondere bei der Verwendung neuer Nanomaterialien (Fullerene, Carbonnanotubes) sind die Experten skeptisch, ob diese Akzeptanz beim Verbraucher finden werden.

Zusätzliche Risikobewertungskriterien

- Bioverfügbarkeit von Nanomaterialien, ihre Persistenz und eine generell unzureichende Wissensbasis zu diesen Materialien sind die wichtigsten Kriterien, die in eine erweiterte Risikobewertung einbezogen werden sollten.
- Die Bedeutung des Einbezugs zusätzlicher Bewertungskriterien für Nanoprodukte steigt von Oberflächenbeschichtungen über Textilien, Kosmetika hin zu Lebensmitteln.
- Je näher Nanoprodukte in ihrer beabsichtigten Anwendung an den Körper des Menschen herankommen (Oberflächenbeschichtungen, Textilien, Kosmetika, Lebensmittel), desto wichtiger wird es nach Ansicht der Experten, das Kriterium „Mobilisierungspotenzial der Öffentlichkeit“ in die Risikobewertung mit einzubeziehen.

6 Risikoregulierung

Zur angemessenen Begrenzung der Risiken liegt ein differenziertes gesetzliches und untergesetzliches Regelwerk vor. Da sich die Handlungsoptionen zur Begrenzung der Risiken am Regelwerk orientieren und sich aus diesem ableiten, ist die Ausrichtung und Anpassung der Forschungsaktivitäten an die Erfordernisse der rechtlichen Rahmenbedingungen essenziell, um die Ergebnisse der Forschung bei Bedarf in konkrete Maßnahmen zum Schutz von Mensch und Umwelt umsetzen zu können. Im öffentlichen Diskurs wird gefragt, ob die gegenwärtigen gesetzlichen Regelungen ausreichen oder ob neue Gesetze erforderlich sind. Unter der Prämisse, dass gegenwärtig die Integration in den bestehenden gesetzlichen Rahmen avisiert wird und kein spezifisches Nanogesetz erforderlich ist, ergibt sich umso mehr die Notwendigkeit, dies mit entsprechenden Bewertungen im Rahmen der Gesetze unter Beweis zu stellen. Unklar ist, ob in den gesetzlichen Verfahren, die wie REACH hauptsächlich in der Verantwortung der Hersteller ablaufen, eine stärkere Beteiligung von nicht kommerziell orientierten Stakeholdern oder behördlichen Institutionen erforderlich und möglich ist. Hier besteht noch Klärungsbedarf.

6.1 Nano-spezifische Regulierungen

6.1.1 Bestehende rechtliche Regularien

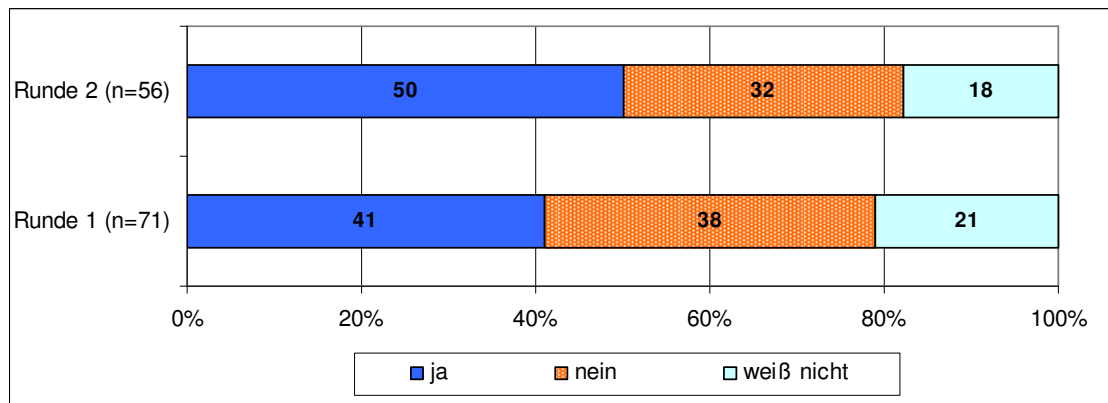
Um den Regulierungsbedarf zur Nanotechnologie zu erfassen, wurden den Expertinnen und Experten Fragen gestellt, die mit „ja“, „nein“ oder „weiß nicht“ beantwortet werden konnten. Bei jeder Frage waren die Experten dazu aufgefordert, ihre Antworten zu erläutern bzw. zu begründen.

Die erste Frage, die den Expertinnen und Experten zur Regulation gestellt wurde, lautete: „Reichen vorhandene rechtliche Regularien (REACH) aus?“ Die Formulierung „vorhandene rechtliche Regularien (REACH)“ meint, dass die neue REACH-Regelung bereits gedanklich in die Antwort eingeschlossen werden soll. Die Antwort war vergleichsweise eindeutig: 41 % (Runde 1) bzw. 50 % (Runde 2) der Experten halten die vorhandenen rechtlichen Regularien für ausreichend (Abbildung 51). Aus den qualitativen Anmerkungen von Runde 1 lässt sich erkennen, dass die Mehrheit der Befragten keinen grundsätzlichen Handlungsbedarf sieht und der Meinung ist, dass man sich bei der Bewertung von Nanomaterialien grundsätzlich nicht in einem „rechtsfreien Raum“ bewegt.

38 % der Befragten (Runde 1) bzw. 32 % (Runde 2) sehen dagegen deutlichen Handlungsbedarf und halten die bestehenden Regularien für nicht ausreichend. 21 % bzw. 18 % machten keine Angaben.

Vor allem die Experten aus der Wirtschaft waren der Meinung, dass die vorhandenen rechtlichen Regularien ausreichen. Begründet wird dies damit, dass alle bisher im Zusammenhang mit Nanotechnologie diskutierten Effekte in den bestehenden Regularien abgebildet werden können. Demnach ist REACH ein aussagefähiges Informationsprofil und deckt auch Nanomaterialien ab. In Einzelfällen spricht man sich für die Ergänzung von REACH bzw. eine Änderung des Gesetzesrahmens aus, wenn dies auf Basis neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse notwendig wird. Befragte der anderen Expertengruppen sprechen sich in deutlich geringerer Anzahl dafür aus, dass die vorhandenen rechtlichen Regularien ausreichen. So wird beispielsweise von Seiten der Behörden auf die Lücken der bestehenden Regulierungen zu Nanomaterialien verwiesen. Zudem fehlen laut Aussage der Experten klare rechtliche Definitionen. Es wird dementsprechend dafür plädiert, die Regularien hinsichtlich neuer Wirkungsmechanismen von Nanomaterialien neu zu prüfen.

Abb. 51: Einschätzung der Frage: Reichen vorhandene rechtliche Regularien (REACH) aus? (Anzahl der Antworten in Klammern)

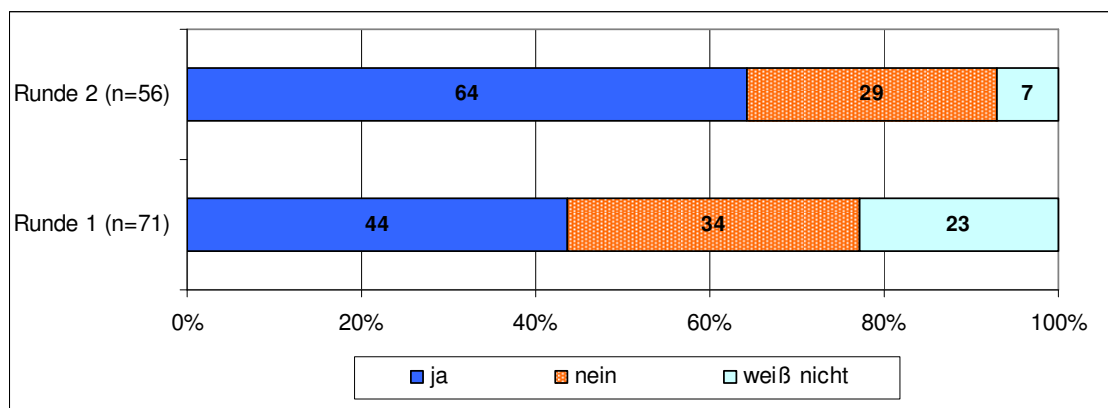


Erläuterung: Prozentangaben gerundet

6.1.2 Anpassung bestehender Regularien

Eine zweite Frage lautete: „Müssen an bestehenden rechtlichen Regularien Anpassungen für Nanomaterialien vorgenommen werden?“ Ziel dieser Frage war es, Präferenzen zu erhalten, in welchem Umfang an bestehenden Regulierungen gearbeitet werden muss. 44 % der Experten in Runde 1 und 64,3 % der Experten in Runde 2 meinten, dass die bestehenden rechtlichen Regularien angepasst werden sollten (Abbildung 52). 34 % bzw. 28,6 % der Befragten waren der Meinung, dass dies nicht nötig sei. Der Anteil der Unentschlossenen, die keine Angaben machten, lag noch in der ersten Runde bei 23 % reduzierte sich in der Runde 2 aber auf 7,1 %.

Abb. 52: Einschätzung der Frage: Müssen an bestehenden rechtlichen Regularien Anpassungen für Nanomaterialien vorgenommen werden? (Anzahl der Antworten in Klammern)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

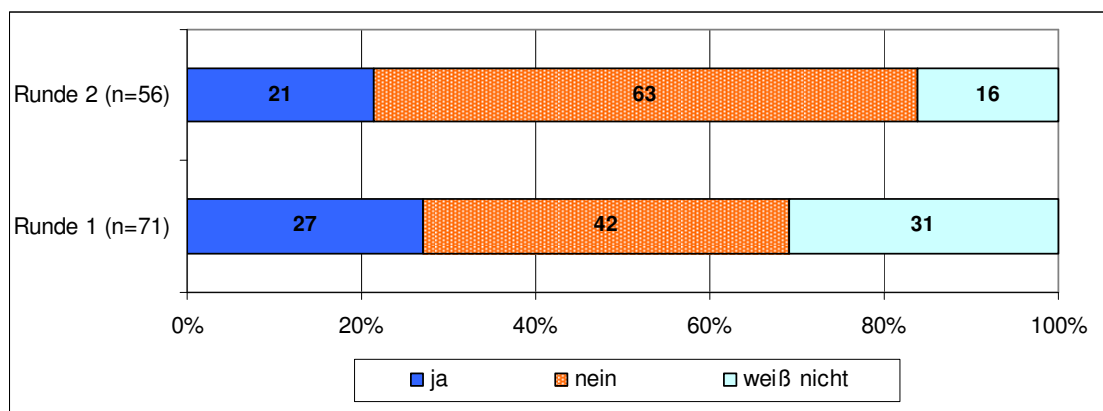
Die Experten aus der Industrie waren eher nicht der Meinung, dass bestehende rechtliche Regularien durch Anpassungen für Nanomaterialien ergänzt werden müssten. Gefordert wurde stattdessen eine international abgestimmte Kennzeichnungspflicht für Lebensmittel und Kosmetika. Darüber hinaus wurde angemerkt, dass Nanomaterialien gegebenenfalls als individuelle Chemikalien registriert werden müssten. Um dies zu ermöglichen, wurde vorgeschlagen, neue standardisierte Vorgehensweisen zu entwickeln. Es wurde darüber hinaus darauf hingewiesen, dass MAK-Richtlinien für Nanopartikel-Aerosole fehlen. Alle anderen Expertengruppen forderten mehrheitlich eine Anpassung der bestehenden rechtlichen Regularien. Begründet wurde dies mit den qualitativ neu auftretenden Effekten und neuen Wirkungsmechanismen. Kritisiert wird die unzureichende Kennzeichnungspraxis, die keine Be-

rücksichtigung der Partikelgröße beinhaltet. Es wurde vorgeschlagen, in REACH entsprechende Adaptionen vorzunehmen und auch die Mengenschwellen herabzusetzen.

6.1.3 Bedarf einer neuen Nano-Regulierung

Eine dritte Frage widmete sich direkt dem Thema Nano-Regulation: „Müssen neue Nano-Regulierungen entwickelt werden?“ Nur 27 % (Runde 1) bzw. 21 % (Runde 2) der Befragten hielten eine neue „Nano-Regulierung“ für notwendig. 42 % (Runde 1) bzw. 62 % (Runde 2) waren der Ansicht, dass keine neue „Nano-Regulierung“ notwendig sei. Der hohe Anteil an Unentschlossenen in Runde 1 (31 %) sinkt wie auch schon bei den anderen Fragestellungen deutlich auf 16 % in Runde 2 (Abbildung 53).

Abb. 53: Einschätzung der Frage: Müssen neue Nano-Regulierungen entwickelt werden? (Anzahl der Antworten in Klammern)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Die Expertinnen und Experten sprachen sich bei dieser Frage mehrheitlich nicht für die Entwicklung neuer Nano-Regulierungen aus, sondern befürworteten die Ergänzung bereits vorhandener rechtlicher Regularien. Häufig wurde auch eine neue Kennzeichnung und Deklaration mit entsprechendem Risikohinweis gefordert.

6.1.4 Informationsbasis für Regulationsempfehlungen

Eine vierte Frage lautete: „Auf der Basis welcher Informationen können Regulationsempfehlungen entwickelt werden?“ Die Frage wurde von Befragten aus allen Expertengruppen sehr detailliert beantwortet. Insgesamt 73 % aller Befragten in Runde 1 machten Anmerkungen zu dieser Frage. Alle Stakeholdergruppen stellten gemeinsam in den Vordergrund, dass validierte wissenschaftliche Erkenntnisse die Basis für Regulationsempfehlungen sein sollten, die von verschiedenen wissenschaftlichen Institutionen bestätigt werden müssten.

Befragte der Industrie sprachen sich mehrheitlich für die Entwicklung von Grenzwerten aus, sobald die entsprechenden Messverfahren dafür vorliegen. Eine Entwicklung neuer Regulationsempfehlungen solle demnach auf neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen insbesondere aus toxikologischen und pharmakologischen Untersuchungen basieren. Auch die Berücksichtigung von Exposition, Umweltaspekten und Nutzen wurde in den Anmerkungen der Industrie gefordert. Vorgeschlagen wurde auch, Regulationsempfehlungen auf Basis der Gefahrstoffverordnung und der Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) zu entwickeln.

Befragte aus der Wissenschaft gingen sehr unterschiedlich auf die Frage nach der Basis für Regulationsempfehlungen ein. Zum einen wurde dafür plädiert, möglichst umfassende In-

formationen bzw. das gesamte vorhandene Wissen mit einzubeziehen. *„Dies umfasst nicht nur die Erforschung der Wirkungen von Chemikalien, sondern auch die Partikelforschung.“* Gefordert wurde zudem eine „schlüssige Bewertung der Nanomaterialien“. Hierzu müssten jedoch erst noch standardisierte Tests entwickelt werden. *„Es fehlt noch völlig ein Referenzmaterial, um vergleichende Untersuchungen machen zu können.“* Inhaltlich forderten die Wissenschaftler, Regulationsempfehlungen auf Basis *„eindeutiger Ergebnisse toxikologischer Untersuchungen“* und mit *„Kenntnis der Expositionshöhe“* zu entwickeln. Auch *„Produktuntersuchungen je nach Anwendung und unter besonderer Berücksichtigung des Expositionspfades“* werden gefordert. Vorgeschlagen wurde zudem eine *„Gefährdungsbeurteilung über den gesamten Produktlebenszyklus“* hinweg. Empfehlungen gingen dahin, dringend die (Öko)-Toxizitätsanalysen voranzubringen. Hier bestünden nach Ansicht verschiedener Wissenschaftler noch Unklarheiten: *„Heute fehlen viele Grundinformationen über die Toxikologie und das Umweltverhalten von Nanomaterialien.“* Angemerkt wurde jedoch auch, dass das vorhandene Nicht-Wissen bei der Entwicklung von Regulierungen zu Problemen führen könne. Demnach wäre es als Handlungsorientierung zunächst sinnvoll *„die Freisetzung von Nanopartikeln zu vermeiden“*. *„Unklar ist, welche Eigenschaften von Nanomaterialien für ihre Wirkung und ihr Verhalten verantwortlich sind und wie sich diese Eigenschaften bestimmen lassen.“* *„Zudem fehlen heute Nachweismethoden, um Nanomaterialien in der Umwelt nachzuweisen und Grenzwerte überprüfen zu können.“*

Befragte aus NGO/Gewerkschaften schlugen die Entwicklung von Regularien auf *„Basis des Vorsorgeprinzips“* vor. Zudem wurde hier, wie schon bei den anderen Expertengruppen grundlegend angeregt, Regulationsempfehlungen *„nur auf Basis profunder Forschung“* zu entwickeln und *„Langzeituntersuchungen der Wirkungen auf Mensch und Umwelt“* durchzuführen. Gefordert wurde, diese Untersuchungen von unabhängigen Wissenschaftlern durchführen zu lassen und *„bis dahin keine Materialien einzuführen“*. Auch auf den Aspekt der Exposition und die besondere Berücksichtigung der Nanomaterialien über REACH hinaus wurde eingegangen. *„Es müssten expositionsbezogene Risikobeurteilungen gemacht werden, REACH reicht bei Weitem nicht aus.“*

Behörden argumentierten, dass die Informationsbasis für die Entwicklung von Regulationsempfehlungen *„sämtliche bekannten Forschungsergebnisse, Erfahrungen und erfolgreiche Arbeitsweisen“* berücksichtigen müsse. Hierzu wurde auch ein konkreter Vorschlag gemacht: *„Der Aufbau einer demokratisch organisierten nanosystematischen Datenbank könnte hierzu die notwendige Grundlage bilden.“* Insbesondere wird auch hier auf die Bedeutung von Toxikologie und Epidemiologie hingewiesen. *„Toxikologische Forschung und eine weitere Datengenerierung für Exposition und das Identifizieren von relevanten Expositionspfaden“* wird für relevant erachtet. Entscheidend ist ein umfangreiches toxikologisches Verständnis in Bezug auf den *„menschlichen Organismus aber auch in der Umwelt (Anreicherung in der Nahrungskette)“*. Darüber hinaus müsse nach Meinung der Befragten *„eine Nomenklatur entwickelt“* und die *„physikalischen und chemischen Eigenschaften differenziert erfasst werden“*. Darüber hinaus seien *„Teststrategien und Testmethoden einheitlich festzulegen“* und *„Referenzmaterial zu belegen“*. Es wurde auch darauf verwiesen, auf was genau sich die Regulationsempfehlungen beziehen sollen. *„Regulationsempfehlungen können sich nur auf den Umgang während der Produktion und nicht auf Fertigprodukte beziehen.“*

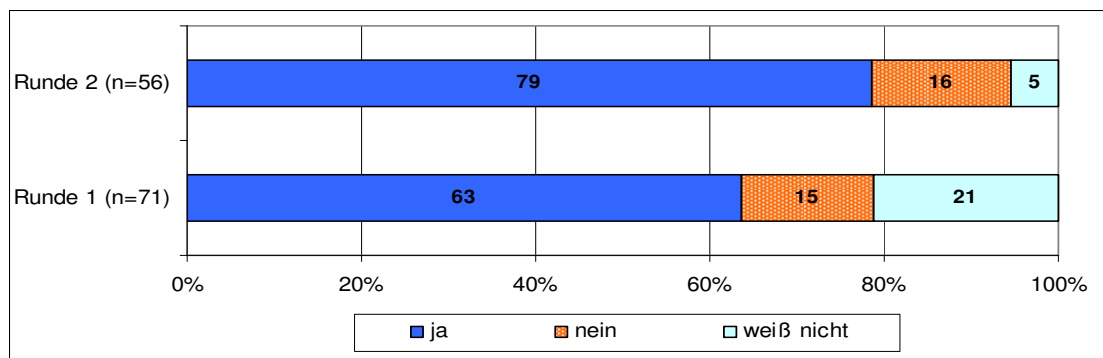
Von Vertretern aus dem Bereich der Netzwerke wurde vorgeschlagen *„im Sinne einer ABC-Analyse eine Klassifizierung der unterschiedlichen Nanomaterialien in (nach gegenwärtigem Kenntnisstand) unproblematische und solche mit vorhandenem bis erheblichen Besorgnispotenzial“* vorzunehmen. *„Auf dieser Grundlage sollte für die Substanzen mit Besorgnispotenzial analog zu REACH eine (mehr oder weniger detaillierte) Risikoermittlung entlang des gesamten Lebensweges erfolgen. Dies setzt entsprechende Mitteilungspflichten bei den Herstellern voraus, die ggf. verpflichtend vorgeschrieben werden müssen. Parallel dazu ist eine einheitliche Nomenklatur und Kennzeichnung der Nanomaterialien erforderlich.“* Darüber hinaus wurde vorgeschlagen *„anhand von chemisch-physikalischen Eigenschaften,*

Persistenz und Löslichkeit“ Regulationsempfehlungen zu erarbeiten. Weiter wurde auch hier auf „*Toxizitätsuntersuchungen mit standardisiertem Verfahren und die Charakterisierung der Ausgangsmaterialien*“ verwiesen.

6.1.5 Freiwillige Selbstverpflichtungen der Unternehmen

Im Regulationsteil wurde den Expertinnen und Experten noch eine fünfte Frage gestellt: „*Halten Sie freiwillige Selbstverpflichtungen der Unternehmen für hilfreich?*“ Eine deutliche Mehrheit der Befragten antwortete auf diese Frage mit „ja“ (Abbildung 54)

Abb. 54: Einschätzung der Frage: Halten Sie freiwillige Selbstverpflichtungen der Unternehmen für hilfreich? (Anzahl der Antworten in Klammern)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Selbstverpflichtungen würden nach Ansicht der Experten das Vertrauen der Verbraucher in die Hersteller fördern. Selbstverpflichtungen hätten sich nach Aussagen der Industrie bewährt und würden helfen, die gesetzlichen Vorgaben zu erfüllen, ohne neue bürokratische Belastungen für das Unternehmen aufzubauen. Allerdings könnten freiwillige Selbstverpflichtungen nach Ansicht vieler Experten nur als ein erster Schritt betrachtet werden, der ergänzt werden müsste.

6.1.6 Inhalte freiwilliger Selbstverpflichtungen

In einem nächsten Schritt wurde abgefragt, welche Elemente eine solche freiwillige Selbstverpflichtung enthalten sollte (Tabelle 47). Für alle Elemente zeichneten sich dabei klare Mehrheiten ab. Die Experten waren sich darin einig, dass insbesondere „*Hinweise für die Arbeitsplatzbewertung*“ und eine „*Sicherheitsbewertung für das Endprodukt*“ in freiwilligen Selbstverpflichtungen enthalten sein sollten.

Tab. 47: Einschätzung verschiedener Elemente, die freiwillige Selbstverpflichtungen enthalten sollten (Anzahl der Antworten in Klammern)

Elemente freiwilliger Selbstverpflichtung	ja (%)	nein (%)	weiß nicht (%)
Hinweise für die Arbeitsplatzbewertung (n=71)	87,3	4,2	8,5
Sicherheitsbewertung für das Endprodukt (n=71)	85,9	7,0	7,0
Sicherheitsbewertungen für alle einzelnen Glieder der Produktionskette (n=71)	67,6	16,9	15,5
Einsatz des Vorsorgeprinzips bis zur Anpassung von Regulierung (n=71)	62,0	18,3	19,7
Vorlage für detaillierte Nano-Sicherheitsdatenblätter (n=71)	59,2	28,2	12,7

Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Zur Frage nach freiwilliger Selbstverpflichtung wurden weitere Anmerkungen gemacht. Zum einen wurde von verschiedenen Experten darauf hingewiesen, dass bei der Entwicklung von Leitlinien freiwilliger Selbstverpflichtungen eine Konzentration auf den Umgang mit Nanopartikeln am Arbeitsplatz gelegt werden sollte. Dagegen sei die gesundheitliche Absicherung der Endprodukte bereits hinreichend gesetzlich geregelt. Es wurde aber auch angemerkt, dass durch Selbstverpflichtung nur eine Schadensminimierung aber keine Schadensverhinderung gegeben ist. So könnte bis zur Anpassung von Regulierungen der Einsatz des Vorsorgeprinzips ein notwendiges Element von freiwilligen Selbstverpflichtungen sein. Es wurde weiterhin gefordert, in die Selbstverpflichtung auch den Aspekt der Verwendung nach dem Gebrauch mit einzubeziehen.

Von den fünf Elementen freiwilliger Selbstverpflichtungen bekamen nanospezifische Sicherheitsdatenblätter die niedrigste Zustimmung. Hier waren es insbesondere die Vertreterinnen und Vertreter der Industrie, die zurückhaltender werteten. Im Experten-Workshop wurde nach den Hintergründen gefragt. Die Experten aus der Wirtschaft äußerten hierzu, dass im bestehenden Rechtsrahmen bereits Hinweise zum sicheren Umgang mit Materialien gegeben werden müssen. Dies gelte auch für Nanomaterialien. Es bedürfe aus Sicht der Wirtschaft deshalb keines neuen, nanospezifischen Datenblattes. Lediglich die bestehenden Vorgaben müssten konsequent umgesetzt werden. Die Behördenvertreter merkten an, es müsse überprüft werden, ob neue Testverfahren erforderlich seien und sich daraus neue Implikationen ergeben würden. Weiter wurde kritisch angemerkt, dass es bei der Erstellung von Sicherheitsdatenblättern einen Ermessensspielraum des Herstellers insbesondere im Bereich neuer Erkenntnisse gibt.

Gemeinsam wurde diskutiert, ob sich aufgrund des vermeintlich niedrigeren Kenntnisstands bei kleinen und mittelständischen Unternehmen eine Beratung im Umgang mit gesetzlichen Vorgaben empfiehlt. *„Die Start-up-Szene braucht evtl. besondere Beratung und Unterstützung bei der Implementierung von gesetzlichen Regelungen“*, so die Ergänzungen der Experten, wobei besonders die Aspekte Arbeitsschutz, toxikologische Untersuchungen, Gefährdungsbeurteilung, Erstellung von Sicherheitsdatenblättern, Einstufung und Kennzeichnung sowie Expositionsszenarien angesprochen wurden.

6.2 Entwicklung von Handlungsstrategien zur Risikovermeidung und Risikominimierung

In diesem Projektteil ging es darum, gemeinsam mit den Expertinnen und Experten Handlungsstrategien zur Vermeidung bzw. Minimierung möglicher Risiken zu entwickeln. Dazu wurden den Experten die folgenden Handlungsstrategien vorgelegt:

- Systematische Erfassung biologischer Effekte
- Lebenszyklusbewertung von Nanoprodukten
- Systematische Erforschung von Wechselwirkungen mit natürlichen und künstlichen Stoffen
- Bessere Vernetzung/Kooperation der Informationsgeber (Industrie, Forschung, Behörden)
- Offene, ergebnisorientierte Dialoge zwischen den Stakeholdern zur gemeinsamen Risikobewertung
- Stakeholder-Dialog zur gemeinsamen Entwicklung von freiwilligen Selbstverpflichtungen der Industrie
- Bürger-Dialoge/Verbraucherkonferenzen zu ausgewählten Themen der Nanotechnologie

Die Experten wurden daraufhin gebeten, die Handlungsstrategien nach den Kategorien „nicht sinnvoll“, „wenig sinnvoll“, „sinnvoll“, „sehr sinnvoll“ oder „weiß nicht“ zu bewerten.

Im Ergebnis zeigt sich, dass alle vorgeschlagenen Handlungsstrategien hohe Zustimmungswerte bekamen und für „sehr sinnvoll“ bzw. „sinnvoll“ erachtet wurden. In Tabelle 48 sind die Antworten nach der Kategorie „sehr sinnvoll“ absteigend sortiert. Es zeigt sich ein deutlicher Rückgang der Antworten in der Kategorie „sehr sinnvoll“, wenn nach den Bürgerdialogen gefragt wird. Die dunkelgrau hinterlegten Werte zeigen den jeweils höchsten Wert für eine Handlungsstrategie an, die hellgrau hinterlegten Werte den zweithöchsten Wert, was die Verschiebung im Bereich Dialoge und besonders Bürgerdialoge sichtbar macht.

Tab. 48: Einschätzung verschiedener Handlungsstrategien zur Risikovermeidung und Risikominimierung in Runde 1 (n=70 Antworten)

Handlungsstrategie	nicht sinnvoll (%)	wenig sinnvoll (%)	sinnvoll (%)	sehr sinnvoll (%)	weiß nicht (%)
Systematische Erfassung biologischer Effekte	2,8	2,8	35,2	57,7	1,4
Lebenszyklusbewertung von Nanoprodukten	4,2	4,2	38,0	47,9	5,6
Systematische Erforschung von Wechselwirkungen mit natürlichen und künstlichen Stoffen	12,7	8,5	29,6	45,1	4,2
Bessere Vernetzung/Kooperation der Informationsgeber (Industrie, Forschung, Behörden)	0,0	1,4	38,0	57,7	2,8
Offene, ergebnisorientierte Dialoge zwischen den Stakeholdern zur gemeinsamen Risikobewertung	0,0	5,6	50,7	39,4	4,2
Stakeholder-Dialog zur gemeinsamen Entwicklung von freiwilligen Selbstverpflichtungen der Industrie	2,8	12,7	64,8	15,5	4,2
Bürgerdialoge/Verbraucherkonferenzen zu ausgewählten Themen der Nanotechnologie	8,5	23,9	46,5	15,5	5,6

Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Die Strategie der Erfassung biologischer Effekte wurde von allen Experten als sinnvoll angesehen. Aber es wurde auch angemerkt, dass dies sehr kostenintensiv sei. Zudem sollte in diesem Punkt die Forschungsstrategie der Bundesoberbehörden BAuA, UBA und BfR berücksichtigt werden.

Die Bewertung von Nanoprodukten entlang ihres gesamten Lebenszyklus hielten fast alle Experten für sinnvoll oder sehr sinnvoll. Zum Teil könnten nach Ansicht der Experten bestehende Verfahren der Lebenszyklusbewertung oder Verfahren zur Bewertung der Öko-Effizienz herangezogen werden. Eine Einzelfallbewertung habe über den gesamten Produktlebenszyklus zu erfolgen und könne sich an den 18 Prüfkriterien zur Bewertung von Nanomaterialien orientieren (S. 22). Besonderes Augenmerk solle auf der Arbeit in Forschungslaboratorien und der Produktionsphase liegen, um Aspekte des Arbeitsschutzes und des Umweltschutzes angemessen zu berücksichtigen. So wären Fragen zur Reinigung, Wartung und Entsorgung sowie zum Eintrag in die Umwelt, Fragen der Agglomeration und Deagglomeration noch offen und müssten für eine Bewertung entlang des Lebenszyklus geklärt werden.

Auch die Strategie der systematischen Untersuchung von Wechselwirkungen mit natürlichen und künstlichen Stoffen wurde von einer Mehrheit der Experten als sehr sinnvoll angesehen, denn durch die Vielzahl von Nanoprodukten (Aerosolsprays zur Reinigung oder in der Kosmetik, Cremes, Medikamente, Nahrungsmittel, Abriebe aus Textilien oder Oberflächen) könnten Verbraucherinnen und Verbraucher nicht nur verstärkt gegenüber Nanomaterialien exponiert sein, sondern auch gegenüber möglichen Wechselwirkungen verschiedener Nanomaterialien. Als Problematisch wurde adressiert, dass derzeit keine Forschungsprojekte bekannt seien, die solche Wechselwirkungen zu Gegenstand haben und die Frage systematisch bearbeiten.

Die Strategie der besseren Vernetzung der Informationsgeber aus Industrie, Forschung und Behörden wurde ebenfalls von den meisten Experten begrüßt. In den Kommentaren wurde darauf hingewiesen, die Forschungs- und Dialogprojekte interministeriell und behördenübergreifend zu organisieren. Die Tendenz in der Bewertung von Stakeholderdialogen zur gemeinsamen Risikobewertung durch Wissenschaft und Industrie ist ähnlich positiv. Risikobewertung im Dialog ist demnach ein gemeinsames Interesse aller Stakeholder, von dessen Nutzen eine klare Mehrheit der Befragten überzeugt ist. Ein ähnliches Muster zeigt sich für gemeinsame Dialoge, bei denen freiwillige Selbstverpflichtungen erarbeitet werden sollen. Hier sollten neue Dialogprojekte initiiert werden, die diese Fragestellungen abdecken. Bezüglich der Frage der Bürgerdialoge gingen die Meinungen zwischen Industrie und den übrigen Experten am stärksten auseinander. So erachtete die Mehrheit der Industrie-Vertreter Bürgerdialoge als „nicht sinnvoll“ oder „wenig sinnvoll“. Alle anderen Experten hielten Bürgerdialoge für „sinnvoll“ oder „sehr sinnvoll“.

Weitere Kommentare zu Handlungsstrategien beschäftigen sich mit der konkreten Risikovermeidung. Hierzu wird vorgeschlagen, Emissionen zu vermeiden, in geschlossenen Kreisläufen zu arbeiten und keine potenziell kritischen Substanzen oder Darreichungsformen anzuwenden. Auch die Kontrolle der Einhaltung gesetzlicher Regelungen wurde gefordert. Hingewiesen wurde ebenfalls auf die Gefahren unehrlicher Kommunikation. Vertrauensverlusten sei vorzubeugen, indem mit „Nano“ nur dann geworben werde, wenn im entsprechenden Produkt auch tatsächlich Nanopartikel enthalten sind. Ebenso wichtig sei es, das Vorhandensein von Nanopartikeln in einem Produkt nicht zu verschweigen. Es müsse systematisch untersucht werden, ob die heute weitgehend bekannten Risiken chemischer Stoffe – anorganischer und organischer Natur – in Nanopartikeln verändert seien. Eine korrekte Technikfolgenabschätzung sei deshalb nötig.

Nach diesem Ergebnis in Runde 1 wurde dieselbe Tabelle mit den Ergebnissen der ersten Runde den Expertinnen und Experten ein zweites Mal zur Bewertung vorgelegt. Die Ergebnisse zeigten ein ähnliches Bild mit einer leichten Tendenz zugunsten höherer Bewertungen für alle Faktoren (Tabelle 49). Der Abstand zwischen den Bürgerdialogen und den übrigen Maßnahmen blieb aber erhalten.

Tab. 49: Einschätzung verschiedener Handlungsstrategien zur Risikovermeidung und Risikominimierung in Runde 2 (n=56 Antworten)

Handlungsstrategie	nicht sinnvoll (%)	wenig sinnvoll (%)	sinnvoll (%)	sehr sinnvoll (%)	weiß nicht (%)
Systematische Erfassung biologischer Effekte	1,8	1,8	33,9	58,9	3,6
Lebenszyklusbewertung von Nanoprodukten	0,0	3,6	44,6	44,6	7,1
Systematische Erforschung von Wechselwirkungen mit natürlichen und künstlichen Stoffen	14,3	12,5	14,3	55,4	3,6
Bessere Vernetzung/Kooperation der Informationsgeber (Industrie, Forschung, Behörden)	0,0	0,0	28,6	67,9	3,6
Offene, ergebnisorientierte Dialoge zwischen den Stakeholdern zur gemeinsamen Risikobewertung	1,8	5,4	42,9	42,9	7,1
Stakeholder-Dialog zur gemeinsamen Entwicklung von freiwilligen Selbstverpflichtungen der Industrie	0,0	10,7	53,6	26,8	8,9
Bürgerdialoge/Verbraucherkonferenzen zu ausgewählten Themen der Nanotechnologie	1,8	28,6	37,5	23,2	8,9

Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Auf dem Expertenworkshop wurden die aufgetretenen Differenzen in den Einstellungen zu Bürgerdialogen diskutiert. Einige Industrievertreter hatten ihre Einschätzung der Bürgerdialoge durch die positiven Eindrücke, die sie während der parallel stattfindenden BfR-Verbraucherkonferenz zur Nanotechnologie (Zimmer et al. 2007) gesammelt hatten, inzwischen korrigiert. Ein weiterer Industrievertreter gab an, die Frage nach Risikovermeidung

und Risikominimierung rein technisch verstanden zu haben und in diesem – nur in diesem – Zusammenhang Bürgerdialoge für wenig hilfreich zu erachten. Ansonsten betonte er die Sinnhaftigkeit von Stakeholder- und Bürgerdialogen, für die sich auch sein Unternehmen engagiere. Im Workshop schien eine große Einigkeit im Verlauf der Diskussion zu entstehen, dass Dialoge als wünschenswert und sinnvoll betrachtet werden, da sie dem gemeinsamen Wissensaufbau und der Verdeutlichung von Perspektiven und Argumenten dienen könnten.

6.3 Produktkennzeichnung und Entscheidungsfreiheit

Neben der Risikobewertung ist es eine zentrale Aufgabe des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR), die Verbraucherinnen und Verbraucher durch eine angemessene Risikokommunikation in die Lage zu versetzen, eigenständige und informierte Entscheidungen zu treffen. Neben der dialogisch ausgerichteten Risikokommunikation ist die Bereitstellung von Informationen in Form der Kennzeichnung von Lebensmitteln, Chemikalien und verbrauchernahen Produkten eine wichtige Säule zur Erreichung des Ziels einer mündigen Verbraucherschaft. Schon jetzt existiert in verbrauchernahen Bereichen eine Vielzahl von Kennzeichnungen, die den Verbraucher mit Informationen über entsprechende Produkte, Lebensmittel oder Chemikalien versorgen.

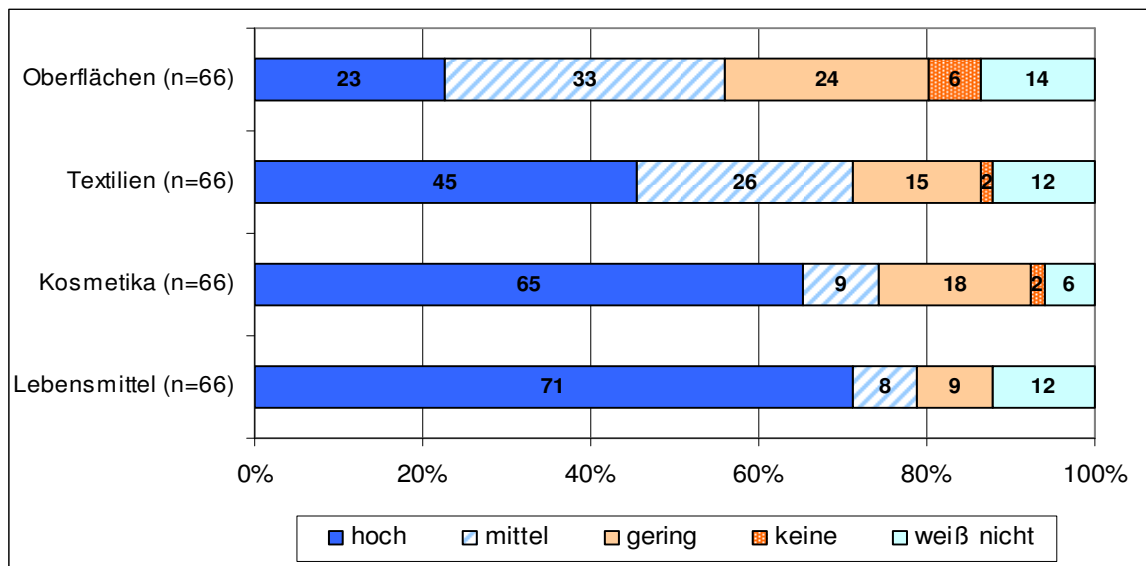
Für Verbraucher ist es derzeit nicht ersichtlich, ob Produkte Nanomaterialien enthalten. Es gibt keine Kennzeichnungspflicht für Nanoprodukte. Verbraucher erkennen die Verwendung von Nanomaterialien somit nur, wenn Hersteller mit dem Einsatz von Nanotechnologie für ihr Produkt werben. Allein aus der Werbung für ein Produkt lassen sich jedoch auch noch keine Aussagen darüber treffen, ob es tatsächlich Nanopartikel oder andere Nanomaterialien enthält. Deshalb wird von Seiten verschiedener Nichtregierungsorganisationen (z. B. BUND 2008) und der Verbraucherschaft gefordert, eine Kennzeichnungspflicht für Nanoprodukte einzuführen. So forderten die Teilnehmer der BfR-Verbraucherkonferenz zur Nanotechnologie eine Deklaration, um selbst entscheiden zu können, ob sie auf Basis der Nanotechnologie hergestellte Produkte kaufen wollen oder nicht (Zimmer et al. 2007).

In der Delphi-Befragung wurden die Expertinnen und Experten deshalb befragt, welche Bedeutung sie der Entscheidungsfreiheit der Verbraucher und der Kennzeichnung von Nanoprodukten zumessen. Als Bewertungskategorien standen Ihnen „hoch“, „mittel“, „gering“ und „keine“ sowie die Kategorie „weiß nicht“ zur Verfügung.

6.3.1 Entscheidungsfreiheit der Verbraucher

Die Bedeutung des Kriteriums „Entscheidungsfreiheit der Verbraucher“ variierte zwischen den Produktgruppen relativ stark (Abbildung 55). Bei nanotechnologischen Anwendungen im Bereich Oberflächenbeschichtungen waren nur 23 % der Expertinnen und Experten der Ansicht, dass dieses Kriterium eine große Bedeutung hat. Doch die Bedeutung des Kriteriums nahm in der Einschätzung der Experten zu, umso näher Nanoprodukte an den menschlichen Körper heran gelangen können. Bereits bei Textilien würden 45 % der Experten der Entscheidungsfreiheit der Verbraucher hohe Bedeutung zumessen. Bei Nano-Kosmetika sind es bereits 65 % und beim Einsatz von Nanomaterialien in Lebensmitteln sagen 71 % der Experten, hier sollte der Entscheidungsfreiheit der Verbraucher ein großes Gewicht eingeräumt werden.

Abb. 55: Bedeutung der Entscheidungsfreiheit der Verbraucher in Zusammenhang mit Anwendungen der Nanotechnologie in verschiedenen Produktbereichen (Anzahl der Antworten in Klammern)

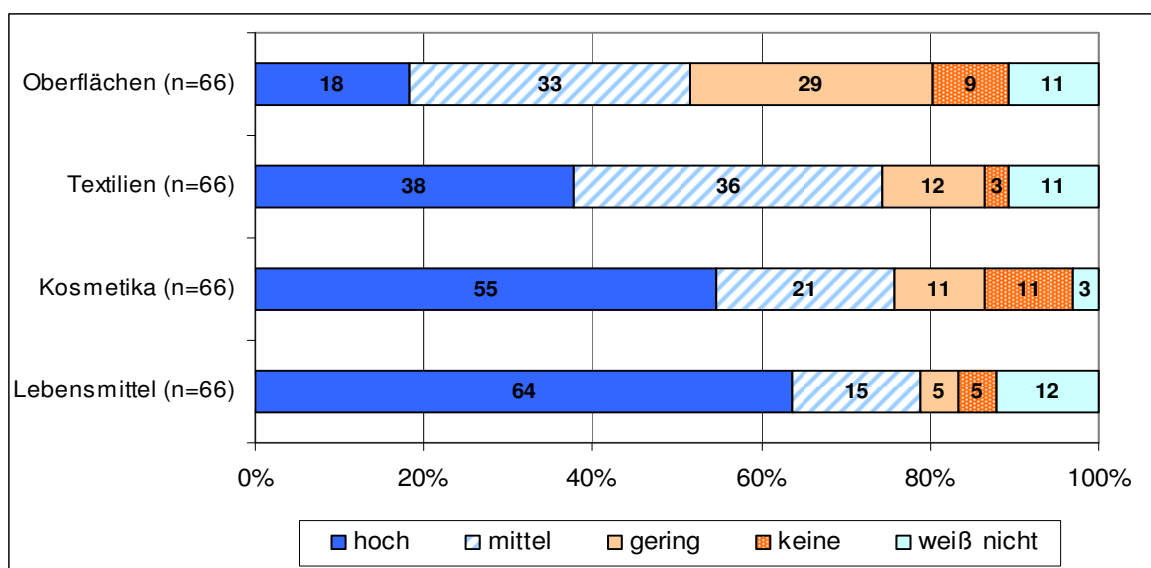


Erläuterung: Prozentangaben gerundet

6.3.2 Kennzeichnung von Nanoprodukten

Eine Möglichkeit, die Entscheidungsfreiheit von Verbrauchern zu unterstützen, besteht darin, Nanoprodukte zu kennzeichnen. Die Bedeutung einer Kennzeichnung von Nanoprodukten variiert zwischen den verschiedenen Anwendungsbereichen (Abbildung 56). Im Anwendungsbereich Oberflächenbeschichtungen messen nur 18 % der Expertinnen und Experten einer Kennzeichnung von Nanoprodukten eine hohe Bedeutung bei. Eine Kennzeichnung von Nanoprodukten im Bereich Textilien halten bereits 38 % der Experten für sehr bedeutsam. Und in den Bereichen Kosmetik und Lebensmittel hat eine Kennzeichnung von Nanoprodukten bereits für deutlich mehr als die Hälfte aller Experten eine hohe Bedeutung (55 % bzw. 64 %).

Abb. 56: Bedeutung der Kennzeichnung von Nanoprodukten aus verschiedenen Produktbereichen (Anzahl der Antworten in Klammern)



Erläuterung: Prozentangaben gerundet

Die Frage einer Kennzeichnung von Nanoprodukten wurde auf dem Expertenworkshop vertiefend diskutiert. Aus Sicht der Wirtschaftsvertreter kann die Bedeutung der Kennzeichnung von Nanoprodukten in Abhängigkeit von der jeweiligen Unternehmensbranche sehr unterschiedlich aussehen. In der kosmetischen Industrie beispielsweise werden Inhaltsstoffe wie z. B. Titandioxid oder Zinkoxid bereits heute gekennzeichnet – allerdings ohne Angabe der Größe. Informationen auf der Homepage zur Nanoskaligkeit liegen vor, jedoch nicht auf der Verpackung. Der Begriff Kennzeichnung wurde in dieser Unternehmensgruppe eher als „Warnhinweis“ verstanden und stieß auf deutliche Ablehnung. Die Industrie stand einer Kennzeichnung von Nanoprodukten mehrheitlich kritisch gegenüber und begründete das folgendermaßen:

- Derzeit gibt es zur Messung von Performance-Kriterien (Lotus-Effekt, selbstreinigende Oberflächen) keine standardisierten Verfahren. Vorarbeiten zur Normung bei DIN/ISO laufen bereits, werden aber noch mehrere Jahre brauchen.
- Kennzeichnung setze eine international standardisierte Definition voraus, was gekennzeichnet werden muss und welche Eigenschaften ein Material als Nanomaterial definieren.
- Die Möglichkeit selbst definierte Kennzeichnungen einzuführen, würde nach Ansicht der Industrie eher verwirren als aufklären, da die Qualitätskriterien nicht standardisiert seien.

Für die Umweltorganisationen und Verbraucherschützer waren die folgenden Punkte mit dem Begriff der Kennzeichnung verbunden:

- Eine Kennzeichnung von Nanoprodukten führt zu mehr Transparenz, Akzeptanz seitens der Verbraucher und Vertrauen in die Hersteller.
- Die Kennzeichnung von Nanoprodukten sollte nicht den Charakter von Warnhinweisen haben, sondern die Wahlfreiheit des Verbrauchers ermöglichen. Grundlage der Wahlfreiheit ist eine fundierte Informationsbasis (informed choice) und die Möglichkeit der Verbraucher, öffentlich leichten Zugang zu diesen Informationen zu bekommen.

Die Vertreter der Wissenschaftler sprachen in Zusammenhang mit der Kennzeichnung von Nanoprodukten insbesondere die folgenden Punkte an:

- Der Informationsaustausch zu den in der Industrie verwendeten Materialien müsse verbessert und eine gemeinsame Diskussion von Forschungsfragen angeregt werden. Dazu könnten Informationen über Wirkmechanismen auf nachgelagerten Internetseiten gegeben werden.
- Wissen zu teilen sollte keine „kommunikative Einbahnstraße“ sein. Eine bessere Koordination und Kooperation zwischen Industrie und den Forschungsprogrammen der Bundesoberbehörden ist anzustreben (UBA, BAuA, BfR).

Von den Behörden wurden folgende Schwerpunkte in der Kennzeichnungsdiskussion gesetzt:

- Es sollten Informationen bereitgestellt werden, welche Produkte derzeit welche Nanomaterialien enthalten. In diesem Zusammenhang werden auch Angaben zu Inhaltsstoffen und Partikelgrößen gefordert.
- Auf der Basis einer solchen Datengrundlage wird eine Klassifizierung in Anlehnung an die deutsche Gefahrstoffverordnung z. B. in „reizend“, „giftig“, „umweltgefährdend“ als sinnvoll angesehen.

Die Versicherer plädierten in den Diskussionen für eine Kennzeichnung von Nanoprodukten unter dem Gesichtspunkt der Rückverfolgbarkeit und der kausalen Zuweisung von möglichen Schäden. Eine detaillierte Ausweisung von Nanomaterialien sei auch in Zusammenhang mit

Produktrückrufen wichtig, um im Schadensfall Daten vergleichbarer Produkte austauschen zu können und Sicherheitsüberprüfungen vornehmen zu können.

6.4 Fazit

Nano-spezifische Regulierungen

- Insgesamt sprechen sich die meisten der in diesem Delphi-Verfahren befragten Expertinnen und Experten für eine moderate Anpassung der Regulierung aus. Eine völlig neue, nanospezifische Regulierung lehnt die Mehrheit dieser Experten jedoch ab.
- Freiwillige Selbstverpflichtungen werden von der großen Mehrheit der hier befragten Experten für sinnvoll erachtet. Die Arbeitsplatzbewertung und die Sicherheitsbewertung für Endprodukte werden dabei als die wichtigsten Elemente solcher Selbstverpflichtungen erachtet.
- Weiterführende Hinweise zur Ausgestaltung von Sicherheitsdatenblättern und ein Leitfa-den zur konsequenten Umsetzung der Vorgaben auch für den Einsatz von Nanomaterialien wurden empfohlen.

Handlungsstrategien zur Risikovermeidung und Risikominimierung

- Handlungsstrategien wie die systematische Erfassung biologischer Effekte, die Bewertung von Nanoprodukten über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg und die systematische Erforschung von Wechselwirkungen mit natürlichen und künstlichen Stoffen wurden von den Experten für sinnvoll oder sehr sinnvoll erachtet.
- Auch Vernetzungsaktivitäten und verschiedene Formen des Dialogs wurden als sinnvolle Instrumente angesehen, um gemeinsam an der Vermeidung bzw. Minimierung möglicher Risiken zu arbeiten.
- Die Experten forderten mehr Expertendialoge und Bürgerdialoge – je nach Zielsetzung - zur gemeinsamen Wissensgenerierung zwischen den Experten aller Stakeholdergruppen sowie zwischen Experten und Bürgerinnen und Bürgern.

Produktkennzeichnung und Entscheidungsfreiheit

- Je näher Nanoprodukte in ihrem vorgesehenen Anwendungszweck an den Körper des Menschen heran kommen (Oberflächenbeschichtungen, Textilien, Kosmetika, Lebensmittel), desto größer wird nach Meinung der Experten die Bedeutung der Entscheidungsfreiheit des Verbrauchers.
- Die Entscheidungsfreiheit der Verbraucher kann der Mehrheit der hier befragten Experten zufolge am besten über eine Kennzeichnung von Nanoprodukten realisiert werden.

7 Zusammenfassung

Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) führte im Jahr 2006 eine Delphi-Studie zu den Risiken der Nanotechnologie in den Bereichen Lebensmittel, kosmetische Erzeugnisse und Bedarfsgegenstände durch. Teile der Studie wurden in Kooperation mit dem Zentrum für Interdisziplinäre Risikoforschung und Nachhaltige Technikentwicklung (ZIRN) der Universität Stuttgart bearbeitet.

Insgesamt wurden 100 Expertinnen und Experten gebeten, potenzielle Risiken von nanotechnologischen Anwendungen in den Bereichen Lebensmittel, kosmetische Erzeugnisse, Oberflächenbeschichtungen und Textilien zu identifizieren und zu bewerten. Ein Drittel der Teilnehmenden stammte aus der Industrie (Grundstoffhersteller, Anwender aus der Lebensmittel-, Kosmetik-, Textil- und Oberflächenindustrie, Verbände), ein Drittel aus wissenschaftlichen Institutionen (grundlagen- und anwendungsbezogene Forschung) und ein Drittel aus Institutionen, die sich eher mit Risiken von Nanotechnologien beschäftigen (Behörden, Umweltorganisationen, Verbraucherschutz, Gewerkschaften, Institutionen zur Technikfolgenabschätzung/Netzwerke, Versicherungen).

In der Studie prognostizierten die Expertinnen und Experten für alle derzeit eingesetzten Nanomaterialien einen moderaten bis starken Anstieg des Verbrauchs. Luftgetragene Nanomaterialien wurden von den Expertinnen und Experten eindeutig als Gruppe mit besonders hohem Gefährdungspotenzial identifiziert. Eine inhalative Exposition gegenüber Nanomaterialien sei zu vermeiden. Risikopotenziale von Nanomaterialien lassen sich nach Ansicht der Mehrheit der Experten jedoch nur im Einzelfall identifizieren und bewerten. Dazu wurden in der Delphi-Studie neun allgemeine Prüfkriterien auch für Nanomaterialien und neun zusätzliche nanospezifische Prüfkriterien erarbeitet.

Die Kriterien bauen auf den bestehenden Prüfkriterien für Chemikalien auf und beziehen bewusst Aggregate und Agglomerate von Nanomaterialien oder nanoskaligen Systemen mit ein. Sie gelten für den gesamten Lebenszyklus eines Produktes und geben Hinweise für die Arbeitsplatzbewertung. Sie bedeuten zugleich, dass die Unternehmen mehr Verantwortung zugewiesen bekommen und die Behörden ihre Aufsichtsfunktion nur in sehr enger Kooperation mit den Unternehmen wahrnehmen können. Kooperation erfordert Vertrauen aller gesellschaftlichen Gruppen. Deshalb empfehlen die Expertinnen und Experten die Ausweitung stakeholderübergreifender Dialoge zum gegenseitigen Wissensaufbau bezüglich der Eigenschaften von Nanomaterialien, zur Weiterentwicklung von Messmethoden und zum Arbeitsschutz.

Bioverfügbarkeit von Nanomaterialien, ihre Persistenz und eine generell unzureichende Wissensbasis zu diesen Materialien wurden als wichtige Kriterien einer erweiterten Risikobewertung identifiziert. Sie sollten in Handlungsstrategien zur Risikovermeidung und Risikominimierung wie z. B. der systematischen Erfassung biologischer Effekte, der Lebenszyklusbewertung von Nanoprodukten und der systematischen Erforschung von Wechselwirkungen mit natürlichen und künstlichen Stoffen berücksichtigt werden.

Die größten Wachstumspotenziale bei Nanoprodukten erwarten die Expertinnen und Experten im Bereich der Oberflächenbeschichtungen. Für Nanoprodukte aus den Bereichen Textilien und Kosmetika wurde ein moderates Wachstum vorausgesagt. Keine bedeutende Marktentwicklung wurde für Nanoprodukte im Lebensmittelbereich erwartet. Von der größeren Marktverfügbarkeit der Nanoprodukte gehen nach Ansicht der Experten jedoch keine neuen Risiken für Verbraucher aus. Zweiundzwanzig von dreißig abgefragten Nanoprodukten sind nach Ansicht der Experten gesundheitlich unbedenklich. Bei sieben Produkten wurden geringe gesundheitsschädliche Effekte erwartet. Nur bei Fullerenen in Kosmetik wurden stärkere gesundheitsschädliche Wirkungen auf die menschliche Gesundheit erwartet. Kein einziges Nanoprodukt fiel unter die Kategorie „hohe gesundheitsschädliche Effekte“.

Mit Ausnahme des Lebensmittelbereichs gingen die hier befragten Experten davon aus, dass Nanoprodukte bei Verbrauchern Akzeptanz finden werden. Dabei sollte jedoch berücksichtigt werden, dass die Entscheidungsfreiheit der Verbraucher generell gewährleistet sein sollte. Dies könne insbesondere im Bereich Lebensmittel eine Kennzeichnung von Nanoprodukten erfordern. Ebenso entscheidend sei der frühzeitige Dialog mit Bürgerinnen und Bürgern, um kritische Fragen rechtzeitig aufzunehmen und ihnen eine fundierte Bewertung von Chancen und Risiken nanotechnologischer Anwendungen zu ermöglichen.

Insgesamt sprach sich die Mehrheit der in diesem Delphi-Verfahren befragten Expertinnen und Experten gegen eine eigene „Nano-Regulierung“ und für eine moderate Anpassung bestehender Regulierungen aus. Freiwillige Selbstverpflichtungen der Industrie erhielten hohe Zustimmungswerte. Nanospezifische Arbeitsplatzbewertungen und die Sicherheitsbewertung für Endprodukte sollten nach Ansicht der befragten Experten Bestandteil von freiwilligen Selbstverpflichtungen sein.

8 Literaturverzeichnis

- Aichholzer, G. (2002): Das ExpertInnen-Delphi: methodische Grundlagen und Anwendungsfeld Technology Foresight. In: A. Bogner, B. Littig, W. Menz (Hrsg.). Das Experteninterview. Theorie, Methode, Anwendung, Opladen, S. 133–153
- BfR (2006): Nanopartikel waren nicht die Ursache für Gesundheitsprobleme durch Versiegelungssprays! Pressemitteilung des Bundesinstituts für Risikobewertung vom 26.05.2006, <http://bfr.bund.de/cms5w/sixcms/detail.php/7839>
- Bremser, W. (2006): Nanotechnologie bei der Beschichtung von Oberflächen. Vortrag auf dem BfR-Expertengespräch Nanotechnologie am 28.03.2006, http://www.bfr.bund.de/cm/232/nanotechnologie_in_beschichtungen.pdf
- BUND – Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (2008): Aus dem Labor auf den Teller. Die Nutzung der Nanotechnologie im Lebensmittelsektor. Stellungnahme des BUND vom 20.02.2008
- Butz, T. (2006): Die Haut als Barriere für Nanopartikel – Das NANODERM-Projekt. Vortrag auf dem BfR-Expertengespräch Nanotechnologie am 28.03.2006, http://www.bfr.bund.de/cm/232/die_haut_als_barriere_fuer_nanopartikel.pdf
- Cuhls, K., Blind, K., Grupp, H. (1998): Delphi-’98- Umfrage. Studie zur globalen Entwicklung von Wissenschaft und Technik, Karlsruhe
- Gordon, T.J., Helmer, O. (1964): Report on an Long Range Forecasting Study, RAND Paper P-2982, Santa Monica
- Grunwald, A. (2002): Technikfolgenabschätzung – Eine Einführung. Gesellschaft – Technik – Umwelt, Neue Folge 1, Berlin: Edition Sigma
- Haas, K.- H., Hutter, F., Warnke, P.: Wengel, J. (2003): Produktion von und mit Nanopartikeln – Untersuchung des Forschungs- und Handlungsbedarfes für die industrielle Produktion. Gefördert durch BMBF Förderkennzeichen: 02PH 2107, Projektträger PTF. Würzburg
- Hegemann, D. (2006): Funktionale Textilien dank Nanotechnologie. Vortrag auf dem BfR-Expertengespräch Nanotechnologie am 28.03.2006, http://www.bfr.bund.de/cm/232/funktionale_textilien_dank_nanotechnologie.pdf
- Hullmann, A. (2006): The economic development of nanotechnology – An indicators based analysis. European Commission, DG Research, Unit „Nano S&T – Convergent Science and Technologies“, Version: 28.11.2006.
- IRGC (2005) [International Risk Governance Council]: White Paper on Risk Governance: Towards an Integrative Framework. Geneva: International Risk Governance Council 2005, p. 19. Verfügbar über: [http://http://.irgc.org/irgc/projects/risk_characterisation/_b/contentFiles/IRGC_WP_No_1_Risk_Governance_\(reprinted_version\).pdf](http://http://.irgc.org/irgc/projects/risk_characterisation/_b/contentFiles/IRGC_WP_No_1_Risk_Governance_(reprinted_version).pdf), [Zugriff: 10.11.2006].
- Jaeger, C.C., Renn, O., Rosa, E.A., Webler, Th. (2001): Risk, Uncertainty and Rational Action. London: Earthscan.
- Kwon J.T., Hwang S.K., Jin H., Kim D.S., Minai-Tehrani A., Yoon H.J., Choi M., Yoon T.J., Han D.Y., Kang Y.W., Yoon B.I., Lee J.K., Cho M.H. (2008): Body distribution of inhaled fluorescent magnetic nanoparticles in the mice. J Occup Health. 2008 Jan;50 (1):1–6.
- Lademann, J. (2006): Risikobewertung von Nanopartikeln in kosmetischen Produkten. Vortrag auf dem BfR-Expertengespräch Nanotechnologie am 28.03.2006, http://www.bfr.bund.de/cm/232/risikobewertung_von_nanopartikeln_in_kosmetischen_produkten.pdf

- Langowski, H.C. (2006): Anwendung der Nanotechnologie in Materialien für den Lebensmittelkontakt. Vortrag auf dem BfR-Expertengespräch Nanotechnologie am 28.03.2006, http://www.bfr.bund.de/cm/232/anwendung_der_nanotechnologie_in_materialien_fuer_den_lebensmittelkontakt.pdf
- Li Z.; Hulderman T., Salmen R., Chapman R., Leonard S.S., Young S.H., Shvedova A., Luster M.I., Simeonova P.P. (2007): Cardiovascular effects of pulmonary exposure to single-wall carbon nanotubes. *Environ Health Perspect* 115 (3): 377–382
- Linestone, H.A., Turoff, M., (2002): *The Delphi Method: Techniques and Applications*. Addison-Wesley Pub. Co.
- Nohynek G. J. (2006): Der Einsatz von Nanopartikeln in der kosmetischen Industrie. Vortrag auf dem BfR-Expertengespräch Nanotechnologie am 28.03.2006, http://www.bfr.bund.de/cm/232/nanoparticles_and_the_scin.pdf
- Poland, C.A., Duffin, R., Kinloch, I., Maynard, A., Wallace, W.A., Seaton, A., Stone, V., Brown, S., Macnee, W., Donaldson, K. (2008): Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestoslike pathogenicity in a pilot study. In: *Nature Nanotechnology* 3(7), S. 423-428
- Renn, O. (1994): Politische Entscheidungen und die Multidimensionalität von Technikfolgenabschätzung – ein unaufhebbares Dilemma. In: Grunwald, A., Sax, H. (Hrsg.): *Technikbeurteilung in der Raumfahrt, Anforderungen, Methoden, Wirkungen*, Berlin, 1994, S. 105–124
- Schurtenberger, P. (2006): Nanotechnologie in der Lebensmittelindustrie. Vortrag auf dem BfR-Expertengespräch Nanotechnologie am 28.03.2006, http://www.bfr.bund.de/cm/232/nanotechnologie_in_der_lebensmittelindustrie.pdf
- Schütz, Holger, Wiedemann, P. M., Hennings, W., Mertens, J., Clauberg, M. (2003): Vergleichende Risikobewertung. Konzepte, Probleme und Anwendungsmöglichkeiten, Abschlussbericht BfS-Projekt.
- Siegner, A. (2006): Neue Nahrungsergänzungsmittel durch Nanotechnologie. Vortrag auf dem BfR-Expertengespräch Nanotechnologie am 28.03.2006, http://www.bfr.bund.de/cm/232/neue_nahrungsergaenzungsmittel_durch_nanotechnologie.pdf
- VDI Technologiezentrum (2004): *Nanotechnologie als wirtschaftlicher Wachstumsmarkt*. Düsseldorf.
- Warheit, D.B., Webb, T.R., Colvin, V.L., Reed, K.L., Sayes, C.M. (2006): Pulmonary Bioassay Studies with Nanoscale and Fine Quartz Particles in Rats: Toxicity is not dependent upon Particle Size but on Surface Characteristics. In: *Toxicological Sciences*, originally published online on October 9
- Webler, T., Renn, O. (1991): The Group Delphi. A Novel Instrument To Reduce Uncertainty. In: *Technological Forecasting and Social Change* 39/3
- Wick, P. (2006): Einblick in die Nanotoxikologie: erste zytotoxikologische Ergebnisse von Nanopartikeln. Vortrag auf dem BfR-Expertengespräch Nanotechnologie am 28.03.2006, http://www.bfr.bund.de/cm/232/einblick_in_die_nanotoxikologie_erste_zytotoxikologische_ergebnisse_von_nanopartikeln.pdf
- Woodrow Wilson International Center for Scholars (2007): *A nanotechnology consumer products inventory*. Stand 02.10.2007 URL: <http://www.nanotechproject.org>
- Zhao, Y., Xing, G., Chai, Z. (2008): Nanotoxicology: Are carbon nanotubes safe? In: *Nature Nanotechnology* 3, 191-192
- Zimmer R., Domasch S., Scholl G., Zschesche M., Petschow U., Hertel R.F., Böhl G.F. (2007) Nanotechnologien im öffentlichen Diskurs: Deutsche Verbraucherkonferenz mit Votum. *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis* 3:98–101

9 Anhang

9.1 Fragebogen Befragungsrunde 1

Delphi-Befragung zu Nanotechnologien in den Bereichen Nahrungsmittel, kosmetische Erzeugnisse und Bedarfsgegenstände

Bitte nach dem Ausfüllen des Fragebogens die Datei mit Ihren Einträgen abspeichern. Vielen Dank.

Anrede:	Organisation:
Titel:	Strasse:
Vorname:	PLZ und Ort:
Name:	Tel:
Funktion:	Email:

1 Wirtschaftliche Bedeutung von Nanotechnologien

1.1 Gesamtumsatz mit Nanoprodukten

Derzeit wird mit Nanoprodukten ein jährlicher Gesamtumsatz von weltweit ca. 52 Mrd.\$ erzielt. Nach einer Studie von Lux-Research wird der Markt aller Produkte rund um die Nanotechnologien jährlich um 70 % wachsen und der Gesamtumsatz würde im Jahre 2012 bereits bei 1400 Mrd. \$ liegen. Denken Sie, dass die Wachstumsprognose von 70 % gut gewählt ist?

	zu niedrig	trifft zu	zu hoch	weiß nicht
... für Nanoprodukte insgesamt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... für Lebensmittel, die auf Nanotechnologien basieren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... für kosmetische Erzeugnisse, die auf Nanotechnologien basieren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... für Textilien, die auf Nanotechnologien basieren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... für Oberflächenbeschichtungen, die auf Nanotechnologien basieren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen?

1.2 Verbrauch von Nanomaterialien

Der weltweite Verbrauch von Nanomaterialien im Jahre 2001 und 2006 ist der unten stehenden Tabelle zu entnehmen [nach Haas, K.-H. 2003]³. Wie schätzen Sie die künftige Entwicklung in den angeführten Produktkategorien bis 2015 ein? Bitte bewerten Sie die Entwicklung für 2015 in der Dropdownliste. Bitte aktivieren Sie die verschiedenen Antwortoptionen mit einem Mausklick und wählen Sie eine Alternative aus.

Produkte/Materialien	2001 in Masse (1000 t)	2001 in Wert (Mio. \$)	2006 in Wert (Mio. \$)	Entwicklung bis 2015
Metalle	1-2	35-70	Ca. 200	- Bitte hier auswählen -
Aluminium-Nanobeschichtungen	1,7	193	252	- Bitte hier auswählen -
SiO ₂ (reine Nanostrukturen)	370	1200	1600	- Bitte hier auswählen -
Metalloxide (Al, Zr, Zn, Ti, Fe)				
Pyrolytisch	4,5	100	>200	- Bitte hier auswählen -
Nasschemisch	190	1300	1850	
Effektpigmente	15	400	500	- Bitte hier auswählen -
Nanotone /Schichtsilikate	0,2	1,5	25	- Bitte hier auswählen -
Polymere Nanokomposite	4	15	300	
Kohlenstoff: Fullerene, Nanotubes, Nanofasern	< 0,1	ca. 5	25 - 70	- Bitte hier auswählen -
Organische Materialien: Dendrimere, hochverzweigte Polymere, POSS*	<<	< 1	5-15	- Bitte hier auswählen -

* POSS = Polyhedral Oligomeric Sil Sesquioxane

Anmerkungen?

³ Haas, K.-H.; Hutter, F.; Warnke, P.: Wengel, J.: Produktion von und mit Nanopartikeln – Untersuchung des Forschungs- und Handlungsbedarfes für die industrielle Produktion. Gefördert durch BMBF Förderkennzeichen: 02PH 2107, Projektträger PTF. Würzburg Juli 2003.

2 Toxizität

Im folgenden Themenabschnitt zur Toxizität von Nanomaterialien bitten wir Sie um Ihre Einschätzung:

2.1 Haben diese Nanomaterialien Ihrer Ansicht nach in den folgenden Aggregatzuständen ein toxisches Potenzial?

2.2 Worauf ist die Toxizität zurückzuführen?

2.3 Können Sie den Wirkmechanismus beschreiben?

	2.1 Aggregatzustände						2.2 Ursache für Toxizität				2.3 Wirkmechanismus
	als flüchtige Partikel	in einem Aerosol	natürlich aggregiert	gecoatet	im flüssigen Medium / in einem Löse-mittel	eingebunden in eine Matrix	Löslichkeit	Größe (Angabe in Bereich, z. B. < 70 nm)	Gestalt	Oberfläche und Reaktivität	
Siliciumdioxid	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Können Sie den Wirkmechanismus beschreiben? (z. B. Genotoxizität, oxidativer Stress...)
Titandioxid	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Zinkoxid	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Chrom(III)-oxid	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Nickeloxid	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Aluminiumoxid	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Eisenoxid	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Silikate	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

	2.1 Aggregatzustände						2.2 Ursache für Toxizität				2.3 Wirkmechanismus
	als flüchtige Partikel	in einem Aerosol	natürlich aggregiert	gecoatet	im flüssigen Medium / in einem Lösemittel	eingebunden in eine Matrix	Löslichkeit	Größe (Angabe in Bereich, z. B. < 70 nm)	Gestalt	Oberfläche und Reaktivität	Können Sie den Wirkmechanismus beschreiben? (z. B. Genotoxizität, oxidativer Stress...)
Anorganische Farbpigmente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Organische Farbpigmente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Carbonnanotubes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Fullerene	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Polymere	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Nanokomposite	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Silber	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Vitamine	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Abbaubare Materialien: Lipidverbindungen, Biopolymere	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Nanotone / Schichtsilikate	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Anmerkungen?

3 Exposition

3.1 Expositionsweg

Welche Bedeutung haben die verschiedenen Expositionswegen für negative gesundheitliche Effekte? Bitte bewerten Sie die Bedeutung für die folgenden Materialien im Bezug auf die Expositionswegen in der Dropdownliste mit „keine Bedeutung“, „niedrige Bedeutung“, „mittlere Bedeutung“, „hohe Bedeutung“ oder „weiss nicht“.

	Oral	Dermal	Inhalativ
Siliciumdioxid	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -
Titandioxid	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -
Zinkoxid	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -
Chrom(III)-oxid	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -
Nickeloxid	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -
Aluminiumoxid	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -
Eisenoxid	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -
Silikate	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -
Anorganische Farbpigmente	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -
Organische Farbpigmente	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -
Carbonnanotubes	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -
Fullerene	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -
Polymere	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -
Nanokomposite	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -
Silber	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -
Vitamine	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -
Abbaubare Materialien (Lipidverbindungen, Biopolymere?)	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -
Nanotone / Schichtsilikate	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -

Anmerkungen?

3.2 Exposition der Verbraucher mit Nanomaterialien

Sind Ihrer Ansicht nach Verbraucherinnen und Verbraucher bei Textilien oder Oberflächenbeschichtungen einer Exposition von Nanomaterialien *durch Abriebe* ausgesetzt? Wenn ja, welche Effekte erwarten Sie? Können Sie bestimmten Materialien bestimmte Effekte zuordnen?

Ja Nein Weiss nicht

Effekte (ggf. zugeordnet zu Materialien):

Erwarten Sie eine Exposition von Verbraucherinnen und Verbrauchern durch den Einsatz von Nanomaterialien *in Aerosolen*? Wenn ja, welche Effekte erwarten Sie? Können Sie bestimmten Materialien bestimmte Effekte zuordnen?

Ja Nein Weiss nicht

Effekte (ggf. zugeordnet zu Materialien):

Erwarten Sie eine Exposition von Verbraucherinnen und Verbrauchern durch Nanomaterialien *in Nahrungsmitteln und Nahrungsergänzungsmitteln*? Wenn ja, welche Effekte erwarten Sie? Können Sie bestimmten Materialien bestimmte Effekte zuordnen?

Ja Nein Weiss nicht

Effekte (ggf. zugeordnet zu Materialien):

Erwarten Sie eine Exposition von Verbraucherinnen und Verbrauchern durch Nanomaterialien *in Kosmetik- und Pharmaprodukten*? Wenn ja, welche Effekte erwarten Sie? Können Sie bestimmten Materialien bestimmte Effekte zuordnen?

Ja Nein Weiss nicht

Effekte (ggf. zugeordnet zu Materialien):

Anmerkungen?

3.3 Dermale, inhalative und orale Expositionswege

Stimmen Sie den folgenden Thesen zu?

3.3.1 Dermaler Expositionsweg

1. „Die Haut ist weitgehend dicht für Nanopartikel, wenn sie ihrer Schutzfunktion nachkommen kann und frei von Beschädigungen oder starken mechanischen Beanspruchungen ist.“ Ja Nein Weiss nicht Es kommt darauf an, (bitte ergänzen)

Ergänzungen:

2. „Bei Hautverletzungen, starker mechanischer Beanspruchung und sehr kleinen Nanopartikeln (< 5 – 10 nm) ist die Schutzfunktion wahrscheinlich eingeschränkt.“ Ja Nein Weiss nicht Es kommt darauf an, (bitte ergänzen)

Ergänzungen:

3. „Eine dermale Belastung ergibt sich unter anderem durch manuelle Tätigkeiten mit staubförmigen oder suspendierten Partikeln. Sind die Nanopartikel in einer Feststoffmatrix gebunden, ist eine Hautbelastung gering.“

Ja Nein Weiss nicht Es kommt darauf an, (bitte ergänzen)

Ergänzungen:

4. „Liposomen können weder die intakte Stratum corneum passieren, noch können Sie die Aufnahme aktiver Inhaltsstoffe verbessern.“

Ja Nein Weiss nicht Es kommt darauf an, (bitte ergänzen)

Ergänzungen:

5. „Bei üblichem Gebrauch sind durch nanoskalige TiO₂-Partikel keine genotoxischen oder photo-genotoxischen Risiken für den Menschen zu befürchten.“

Ja Nein Weiss nicht Es kommt darauf an, (bitte ergänzen)

Ergänzungen:

6. „Nanoskaliges TiO₂ schützt die Haut vor genotoxischen und karzinogenen Wirkung des UV-Lichts.“

Ja Nein Weiss nicht Es kommt darauf an, (bitte ergänzen)

Ergänzungen:

7. „Nanopartikel können die Haut passieren und verursachen eine systemische Exposition des Organismus.“

Ja Nein Weiss nicht Es kommt darauf an, (bitte ergänzen)

Ergänzungen:

Anmerkungen?

3.3.2 Inhalativer Expositionsweg

1. „Eine Verwendung der Partikel in einer nichtstaubenden Form oder in einer flüssigen Suspension (fest in flüssig), die nicht versprüht wird sowie der Einschluss der Partikel in eine feste Matrix (fest in fest) können die inhalative Exposition wesentlich reduzieren.“

Ja Nein Weiss nicht Es kommt darauf an, (bitte ergänzen)

Ergänzungen:

2. „Nanopartikel haben nach inhalativer Aufnahme eine karzinogene Wirkung.“

Ja Nein Weiss nicht Es kommt darauf an, (bitte ergänzen)

Ergänzungen:

3. „Da Nanopartikel toxischer sind als Mikropartikel, führt ihre Inhalation zu neuen Toxizitäten.“

Ja Nein Weiss nicht Es kommt darauf an, (bitte ergänzen)

Ergänzungen:

4. „Inhalierter Nanopartikel werden systemisch aufgenommen und beeinflussen das Herz-Kreislauf-System und das Gehirn.“

Ja Nein Weiss nicht Es kommt darauf an, (bitte ergänzen)

Ergänzungen:

5. „In Bereichen der Nanotechnologie, wo Nanotubes zur Anwendung kommen, können sich möglicherweise ähnliche gesundheitliche Folgen einstellen wie bei Asbestfasern, da die Nanotubes sich möglicherweise analog zu größeren lungengängigen Fasern verhalten.“

Ja Nein Weiss nicht Es kommt darauf an, (bitte ergänzen)

Ergänzungen:

Anmerkungen?

3.3.3 Oraler Expositionsweg

1. „Die orale Aufnahme von Nanopartikeln produziert systemische Exposition des Organismus.“

Ja Nein Weiss nicht Es kommt darauf an, (bitte ergänzen)

Ergänzungen:

2. „Metallische Nanopartikel werden vom Körper nicht über den Magen-Darm Trakt aufgenommen.“

Ja Nein Weiss nicht Es kommt darauf an, (bitte ergänzen)

Ergänzungen:

3. „Nanopartikel brauchen bestimmte Rezeptoren, um überhaupt aufgenommen zu werden.“

Ja Nein Weiss nicht Es kommt darauf an, (bitte ergänzen)

Ergänzungen:

Anmerkungen?

4 Verbraucherrelevante Anwendungen

4.1 Nanotechnologie und Lebensmittel

Anwendung	Toxizität / negative gesundheitliche Effekte des Endprodukts	Akzeptanz des Verbrauchers	Positive gesundheitliche Effekte	Realisierungszeitraum	Anmerkungen
Anwendung L 1: Vitamine oder Aminosäuren werden in Nanocontainer (z. B. Liposome) eingekapselt. Diese Kapseln , zwischen zehn und 100 Nanometern groß, sollen löslicher, beweglicher und robuster als herkömmliche Nahrungszusätze in Mikrotropfen-Form sein.	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Anwendung L 2: Membranen aus (mehrwandigen) Carbon Nanotubes werden zur Abtrennung von Biomolekülen mit funktionellem Wert (z. B. Proteine, Peptide, Vitamine und Mineralien) genutzt. Diese sollen zur Anreicherung von Lebensmitteln oder zur Herstellung diätetischer Zusätze bzw. von Medikamenten genutzt werden.	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Anwendung L 3: Kolloidale Kieselsäure bzw. Siliziumdioxid wird aufgrund des hohen Adsorptionsvermögens als Rieselhilfsmittel oder Trägerstoff verwendet, um ein Zusammenbacken von Kochsalzkristallen und Lebensmitteln zu verhindern.	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Anwendung L 4: Es ist geplant, Schokoriegel mit Hilfe einer geschmacksneutralen, nur wenige Nanometer dicken Titandioxidschicht zu überziehen, so dass sie ansehnlich bleiben , selbst wenn sie einige Zeit offen herumliegen.	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Anwendung L 5: Hochdisperse Kieselsäure soll in Ketchup als effizientes Verdickungsmittel eingesetzt werden. Die Nanopartikel besitzen einen Durchmesser von 5 bis 30 nm. Das im Ruhezustand zähflüssige System soll durch Schütteln leicht flüssig werden.	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Anwendung L 6: Durch nanotechnologische Antioxidanz -Systeme sollen Lebensmittel länger frisch bleiben. Als Träger für Antioxidantien dienen nanoskalige Mizellen .	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Anwendung L 7: In reinem Wasser gelöste Silberpartikel (Durchmesser 0,8 nm, Konzentration 10 ppm) werden als Nahrungsergänzungsmittel angeboten. Die Ladung des Silbers und seine nanoskalige Formulierung sollen das Wohlbefinden und die Abwehrkräfte steigern.	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	

4.2 Nanotechnologie und kosmetische Erzeugnisse

Anwendung	Toxizität / negative gesundheitliche Effekte des Endprodukts	Akzeptanz des Verbrauchers	Positive gesundheitliche Effekte	Realisierungszeitraum	Anmerkungen
Anwendung K 1: Mit Hilfe von Hydroxylapatit -Nanopartikeln kann angegriffener Zahnschmelz beim Zähneputzen wieder aufgebaut werden. Das Material ist vom chemischen Aufbau her identisch mit dem Zahnschmelz , wodurch die Partikel nach der Anwendung einen zusammenhängenden dünnen Film bilden, der die Fehlstellen überdeckt.	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Anwendung K 2: Nanopartikel (Zinkoxid und Titandioxid) werden zur Herstellung der neuesten Generation von Kontakt-linsen verwendet. Dabei werden die Linsen nicht komplett eingefärbt, sondern mit einem durchbrochenen Muster aus verschiedenen Pigmenten versehen. So sollen Nanopartikel eine natürlich wirkende Augenfarbe schaffen.	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Anwendung K 3: Sonnencremes enthalten als UV-Filter Materialien aus Titandioxid partikeln mit einem Durchmesser von 15 bis 20 nm. Je kleiner die eingesetzten Partikel sind, umso dichter liegen sie nebeneinander auf der Haut und umso besser sollen sie die Haut vor UV-Licht schützen.	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Anwendung K 4: Hydrophile oder hydrophobe Dispersion aus ZnO (Partikelgröße 100 nm) sollen für transparenten, kosmetischen UV-Schutz sorgen.	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Anwendung K 5: Nano-Emulsion mit Avocadoöl oder Jojobaöl werden in Haarkuren zur Pflege der Haare eingesetzt. Die Tropfen dieser Emulsion sind 100 mal feiner als die einer normalen Emulsion und sollen das Haar in Sekunden kämmbar, glänzend und geschmeidig machen.	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Anwendung K 6: Silber -Nanopartikel (Durchmesser ca. 7 nm) kommen in Seifen zur Hautreinigung und Desinfektion zum Einsatz. Dadurch soll das Entstehen von Akne verhindert und Hautzellen aktiviert werden.	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Anwendung K 7: C60-Fullerene werden als Anti-Oxidantien in Cremes eingesetzt. Fullerene sollen in der Lage sein, gefährliche freie Radikale zu neutralisieren und so die vorzeitige Alterung der Haut zu verhindern.	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	

4.3 Nanotechnologie und Textilien

Anwendung	Toxizität / negative gesundheitliche Effekte des Endprodukts	Akzeptanz des Verbrauchers	Positive gesundheitliche Effekte	Realisierungszeitraum	Anmerkungen
Anwendung T 1: Titandioxid wird in Textilien als UV-absorbierende Nanoschicht implementiert. Die geringe Größe der Pigmentpartikel von rund 20 Nanometern sorgt für ein großes Absorptionspotenzial bei gleichzeitig geringer Lichtstreuung, so dass die Partikelschicht transparent und der Sonnenschutz unsichtbar ist.	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Anwendung T 2: Eine neue Anti- Geruchs -Technologie bettet Silber -Nanopartikel (Durchmesser 15 nm) in die Fasern von Socken, Schuhen sowie Wischlappen ein. Die Silber-Partikel töten geruchsbildende Bakterien ab bzw. hemmen deren Wachstum.	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Anwendung T 3: In Textilien (Bekleidung, aber auch Teppiche und Sofas) werden Nanocontainer mit Duft- und Wirkstoffen integriert. Die Kapseln bilden sich, wenn Duftstoff-Isocyanat-Öltröpfchen (ab 100 nm Größe) in eine wässrige Polyaminlösung gebracht wird und die Isocyanat -Moleküle an der Oberfläche der Öltröpfchen mit den umgebenden Polyaminen im Wasser reagieren und so den Duftstoff einschließen. Kapseln mit poröser Hülle geben ihren Inhalt über Monate hinweg in gleich bleibender Menge ab.	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Anwendung T 4: Halamide (polymere Moleküle) werden zur Beschichtung von Textilien genutzt. So entstehen Materialien, die Viren und Bakterien einfangen und abtöten. Eingesetzt werden die antimikrobiellen Materialien zum Schutz von medizinischem Personal und Landwirten, die mit Pestiziden arbeiten.	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Anwendung T 5: Einwandige und doppelwandige Carbonnanotubes werden zur Verbesserung der elektrischen und thermischen Leitfähigkeit von Fasern eingesetzt.	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Anwendung T 6: Durch die Beschichtung der Fasern mit Ag-, Al- oder Ti-Nanopartikeln bekommen die Fasern antistatische Eigenschaften.	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Anwendung T 7: Die Integration von Schichtsilikaten (z. B. Montmorillonit) und Nanotonen in Bikomponenten-Fasern verbessert die Temperaturbeständigkeit und die Flammschutz -eigenschaften von Textilien.	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Anwendung T 8: Nanopartikel aus SiO₂ werden zur Bildung nanostrukturierter Oberflächen auf Fasern genutzt. Dadurch bekommen die Textilien schmutzabweisende Eigenschaften.	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	

4.4 Nanotechnologie und Oberflächenbeschichtungen

Anwendung	Toxizität / negative gesundheitliche Effekte des Endprodukts	Akzeptanz des Verbrauchers	Positive gesundheitliche Effekte	Realisierungszeitraum	Anmerkungen
Anwendung O 1: Die Verwendung nanostrukturierter Materialien (Nanocomposite aus modifizierten Aluminium-Schicht-Silicat und Polymeren) in der Lebensmittelverpackung kann durch verbesserte Barrieren gegen Sauerstoff, Kohlendioxid, Feuchtigkeit die Haltbarkeit verarbeiteter Lebensmittel deutlich verlängern.	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Anwendung O 2: Plastikfolien, in die Teilchen aus Titandioxid (Durchmesser 10-20 nm) eingearbeitet sind, blockieren die UV-Strahlung und verhindern damit chemische Prozesse im Lebensmittel. So sieht das verpackte Produkt auch nach etlichen Tagen noch appetitlich aus.	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Anwendung O 3: Silizium-Nanopartikel , die mit fluoreszierenden Farbstoffmolekülen und Antikörpern versehen sind, erlauben die Detektion von Bakterien . Wenn die Antikörper an die Antigene eines Bakteriums andocken, kann dies über das fluoreszente Leuchten der Nanopartikel festgestellt werden.	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Anwendung O 4: Antimon-Zinn-Oxid (Sb:Sn-Verhältnis = 1:9, Reinheit 99.5+%, Partikelgröße 30 nm) wird Beschichtungen beigemischt, um die antistatischen Eigenschaften von Oberflächen zu verbessern.	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Anwendung O 5: Tintenstrahldruckerpapiere sowie -folien, die mit amorphen Nanopartikeln aus Kieselsäure oder gemischten Oxiden (z. B. Siliziumdioxid und Aluminiumoxid) beschichtet sind, weisen eine gute Haftung und schnelle Absorption der Tintentropfen auf.	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Anwendung O 6: Zur Verbesserung der Kratzfestigkeit wird in Parkett- und Möbellacken eine 30-%ige Dispersion aus Aluminium-(Al₂O₃)-Nanopartikeln (Partikelgröße 45 nm) in Hexanedioldiacrylate (HDDA) eingesetzt.	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Anwendung O 7: Nanoskaliges CaCO₃ (Partikelgröße ca. 50 nm) wird als funktionaler Füllstoff für Papier und Beschichtungen eingesetzt, um die Steifheit und Festigkeit zu verbessern.	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Anwendung O 8: Eine Wandfarbe, in der nanometergroße Silberpartikel homogen verteilt sind, verhindert die Schimmelbildung in Innenräumen sowie das Algenwachstum an Fassaden. Die Teilchen setzen Silberionen frei, die Nährstoff transportierende Enzyme blockieren, wichtige Eiweiße zerstören, an das Erbgut koppeln und in die Zellwandsynthese eingreifen.	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	

5 Weitere Aspekte der Risikobewertung, der Risikokommunikation, des Risikomanagements und des Dialogs mit Stakeholdern

Bei neuen Technologien sollten neben Toxizität und Exposition auch noch weitere Aspekte in die Risikocharakterisierung einbezogen werden. Geben Sie die **Bedeutung der folgenden Themen** für die Bereiche Lebensmittel, Kosmetik, Textilien und Oberflächen an:

	Lebensmittel	Kosmetik	Textilien	Oberflächen
Bioverfügbarkeit/Abbaubarkeit in der Natur	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -
Persistenz	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -
Reversibilität	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -
Unzureichendes Wissen	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -
Unkontrollierbarkeit	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -
Mobilisierungspotenzial der Öffentlichkeit	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -
Entscheidungsfreiheit der Verbraucher	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -
Kennzeichnung / Labeling der Produkte	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -

Anmerkungen?

6 Identifizierung offener Forschungs- und Regulierungsfragen / Monitoring

Bitte beantworten Sie die folgenden offenen Fragen ausführlich:

Reichen vorhandene rechtliche Regularien (REACH) aus? Bitte begründen Sie Aussage.

Antwort:

Müssen an bestehenden rechtlichen Regularien Anpassungen für Nanomaterialien vorgenommen werden? Wenn ja, welche?

Antwort:

Müssen neue Nano-Regulierungen entwickelt werden? Bitte begründen Sie.

Antwort:

Auf der Basis welcher Informationen können Regulationsempfehlungen (z. B. Einstufungen, Grenzwerte, Empfehlungen) entwickelt werden?

Antwort:

Halten Sie freiwillige Selbstverpflichtung der Unternehmen (Best Practice Guidelines) für hilfreich? Bitte begründen Sie.

Antwort:

Was sollten freiwillige Selbstverpflichtungen enthalten?

	Ja	Nein	Weiss nicht
Vorlage für detaillierte Nano-Sicherheitsdatenblätter	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hinweise für die Arbeitsplatzbewertung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sicherheitsbewertungen für alle einzelnen Glieder der Produktionskette	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sicherheitsbewertung für das Endprodukt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Einsatz des „precautionary principle“ bis zur Anpassung von Regulierung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen?

7 Entwicklung von Handlungsstrategien zur Risikovermeidung / Risikominimierung

Wie sinnvoll schätzen Sie die folgenden Vorschläge ein:

	Nicht sinnvoll	Wenig sinnvoll	Sinnvoll	Sehr sinnvoll	Weiss nicht
Systematische Erfassung biologischer Effekte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lebenszyklusbewertung von Nanoprodukten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Systematische Erforschung von Wechselwirkungen mit natürlichen und künstlichen Stoffen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bessere Vernetzung/ Kooperation der Informationsgeber (Industrie, Forschung, Behörden)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Offene, ergebnisorientierte Dialoge zwischen den Stakeholdern zur gemeinsamen Risikobewertung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Stakeholder-Dialog zur gemeinsamen Entwicklung von freiwilligen Selbstverpflichtungen der Industrie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bürger-Dialoge / Verbraucherkonferenzen zu ausgewählten Themen der Nanotechnologie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Anmerkung und weitere Handlungsstrategien:

***Wir danken Ihnen im Namen des Bundesinstituts für Risikobewertung
und der Universität Stuttgart
für Ihr Engagement und Ihre Zeit!***

***Bitte vergewissern Sie sich, dass alle Ihre Eingaben gespeichert wurden bevor Sie den Fragebogen
an uns zurücksenden.***

Für ein weiteres Feedback oder generelle Anmerkungen haben Sie hier die Gelegenheit:

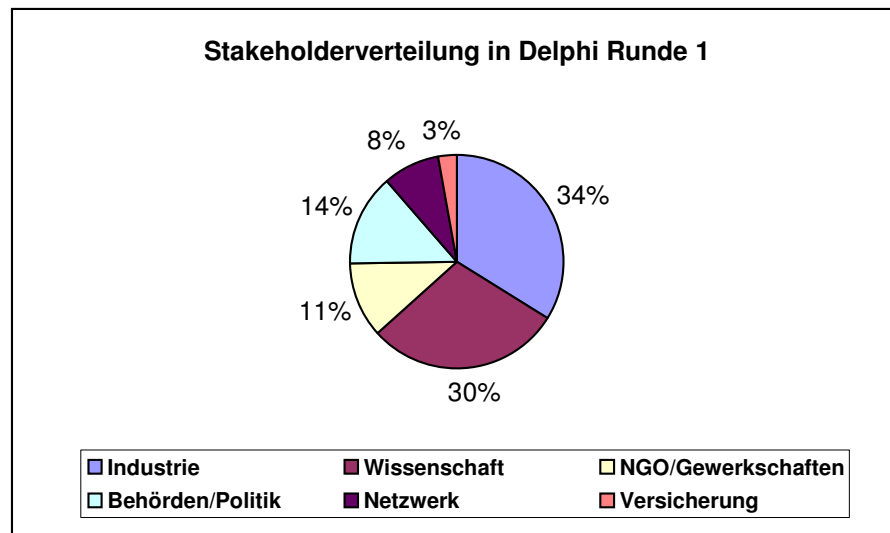
9.2 Fragebogen Befragungsrunde 2

Zweite Runde der Delphi-Befragung zu Nanotechnologien in den Bereichen Nahrungsmittel, kosmetische Erzeugnisse und Bedarfsgegenstände:

Nur die rot markierten Fragen sind zu bearbeiten! Bitte nach dem Ausfüllen des Fragebogens die Datei mit Ihren Einträgen abspeichern. Vielen Dank!

Anrede:	Organisation:
Titel:	Strasse:
Vorname:	PLZ und Ort:
Name:	Tel:
Funktion:	Email:

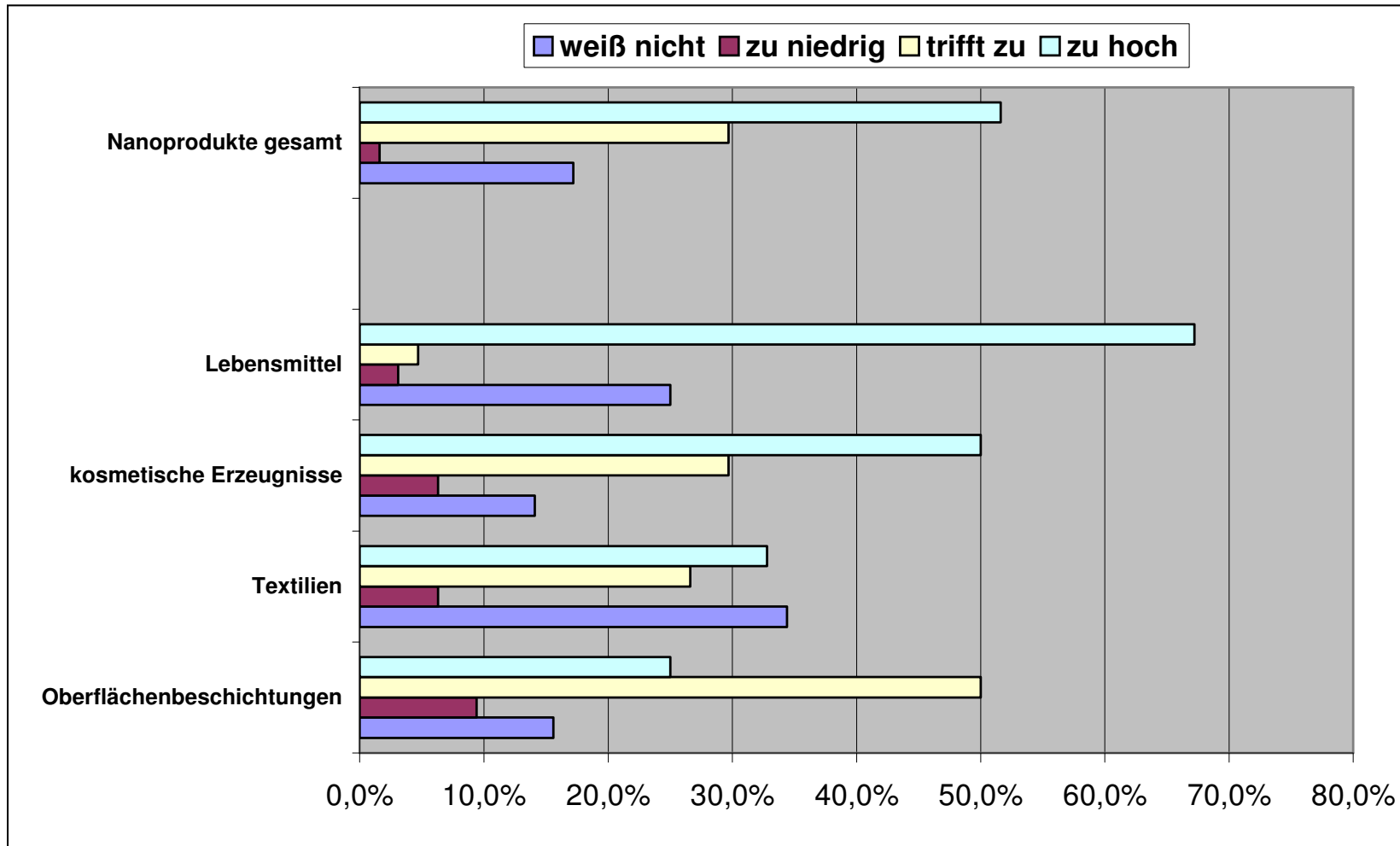
Soziodemographische Daten: Ergebnisse Runde 1



Von 100 versendeten Fragebögen der ersten Runde des Experten-Delphis wurden 71 beantwortet und im vorgesehenen Zeitrahmen zurückgeschickt. Unter den teilnehmenden Personen befinden sich 54 Männer und 17 Frauen. Der ersten Gruppe sind Expertinnen und Experten der forschenden und anwendenden Industrie zugeordnet (23 Personen). In der zweiten Gruppe sind Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zusammengefasst (21 Personen). Eine dritte, sehr heterogene Gruppe mit 27 Teilnehmerinnen und Teilnehmern besteht aus Expertinnen und Experten, die sich institutionell vorrangig mit der Risikobewertung von Nanotechnologien befassen (Behörden = 10, NGOs = 8 aus Umweltorganisationen, Verbraucherschutzgruppen und Gewerkschaften, Netzwerkinstitutionen = 7, Versicherungen = 2).

1 Wirtschaftliche Bedeutung von Nanotechnologien

Gesamtumsatz mit Nanoprodukten: Bewertung des Wachstumspotenzials von 70 %: Ergebnis der Runde 1



Vertiefungsfragen 1.1:

Aus den Anmerkungen über alle Stakeholder-Gruppen wurde deutlich, dass die Einschätzung der Mengen und Wachstumspotenziale wesentlich von der Frage abhängt, ob Materialien als „neue“ Nanomaterialien eingestuft werden, oder bereits seit vielen Jahren produziert werden und als „alt“ zu bezeichnen sind.

1.1.1 Welche Kriterien zur Einstufung in „neue“ und „alte“ Nanomaterialien halten Sie für sinnvoll?

Kriterien, um ein Nanomaterial als „neu“ zu bezeichnen?

Kriterien, um ein Nanomaterial als „alt“ zu bezeichnen?

2 Toxizität: Ergebnisse aus Runde 1

Folgenden Substanzen wurden von den Teilnehmenden in Runde 1 ein toxisches Potenzial zugeschrieben: Orange markiert sind die Substanzen ab 21 Nennungen, gelb markiert sind Substanzen mit 11 bis 20 Nennungen.

Substanz	als flüchtige Partikel	in einem Aerosol	natürlich aggregiert	gecoatet	im flüssigen Medium	in einer Matrix
Siliciumdioxid	26	28	4	9	8	1
Titandioxid	32	29	5	10	12	2
Zinkoxid	32	28	8	8	14	3
Chrom(III)-oxid	22	29	11	12	15	4
Nickeloxid	24	30	14	13	17	7
Aluminiumoxid	21	25	4	7	9	3
Eisenoxid	21	26	4	7	10	3
Silikate	17	23	8	6	6	2
Anorganische Farbpigmente	19	28	7	5	11	3
Organische Farbpigmente	17	25	6	5	11	3
Carbonnanotubes	25	31	13	7	15	4
Fullerene	25	26	7	8	18	2
Polymere	15	18	4	4	8	3
Nanokomposite	13	17	3	4	5	1
Silber	17	21	10	7	11	4
Vitamine	6	8	4	3	6	1
Abbaubare Materialien: Lipidverbindungen, Biopolymere	7	9	4	6	2	5
Nanotone / Schichtsilikate	10	16	5	4	6	3

Über alle Stoff-Aggregatzustand-Kombinationen werden den Aerosolen am häufigsten toxische Potenziale zugeordnet (417 Positivnennungen), gefolgt von der Kategorie „als flüchtige Partikel“ (349 Positivnennungen). Die Kategorien „im flüssigen Medium“ (184), „gecoatet“ (125), „natürlich aggregiert“ (121) und „in einer Matrix“ (54) folgen mit relativem Abstand. In der Klasse mit den höchsten Bewertungen (Orange) befinden sich nur Nennungen der Aggregatzustände „als flüchtige Partikel“ und „in einem Aerosol“. Dieser sehr einheitlichen Spitzengruppe folgt eine Gruppe mit mittleren Bewertungen (gelb), in der sehr verschiedene Aggregatzustände genannt werden.

Wir bitten Sie, die Toxizität in der zweiten, gelben Gruppe noch einmal zu bewerten.

Vertiefungsfrage: Welche Wirkmechanismen ordnen Sie den Substanzen zu oder sehen Sie andere?

Substanz	Aggregatzustand	Nennungen Runde 1	Toxizität	Wirkmechanismen	Andere/Anmerkungen
Anorganische Farbpigmente	als flüchtige Partikel	19	- Auswählen -	- Auswählen -	
Fullerene	im flüssigen Medium	18	- Auswählen -	- Auswählen -	
Polymere	in einem Aerosol	18	- Auswählen -	- Auswählen -	
Nickeloxid	im flüssigen Medium	17	- Auswählen -	- Auswählen -	
Nanokomposite	in einem Aerosol	17	- Auswählen -	- Auswählen -	
Silikate	als flüchtige Partikel	17	- Auswählen -	- Auswählen -	
Organische Farbpigmente	als flüchtige Partikel	17	- Auswählen -	- Auswählen -	
Silber	als flüchtige Partikel	17	- Auswählen -	- Auswählen -	
Nanotone/Schichtsilikate	in einem Aerosol	16	- Auswählen -	- Auswählen -	
Chrom(III)-oxid	im flüssigen Medium	15	- Auswählen -	- Auswählen -	
Carbonnanotubes	im flüssigen Medium	15	- Auswählen -	- Auswählen -	
Polymere	als flüchtige Partikel	15	- Auswählen -	- Auswählen -	
Zinkoxid	im flüssigen Medium	14	- Auswählen -	- Auswählen -	
Nickeloxid	natürlich aggregiert	14	- Auswählen -	- Auswählen -	
Nickeloxid	gecoatet	13	- Auswählen -	- Auswählen -	
Carbonnanotubes	natürlich aggregiert	13	- Auswählen -	- Auswählen -	
Nanokomposite	als flüchtige Partikel	13	- Auswählen -	- Auswählen -	
Titandioxid	im flüssigen Medium	12	- Auswählen -	- Auswählen -	
Chrom(III)-oxid	gecoatet	12	- Auswählen -	- Auswählen -	
Anorganische Farbpigmente	im flüssigen Medium	11	- Auswählen -	- Auswählen -	
Organische Farbpigmente	im flüssigen Medium	11	- Auswählen -	- Auswählen -	
Silber	im flüssigen Medium	11	- Auswählen -	- Auswählen -	
Chrom(III)-oxid	natürlich aggregiert	11	- Auswählen -	- Auswählen -	

2.2 Sind die abgefragten Kriterien ausreichend?

2.2.1 Aggregatzustand:

als flüchtige Partikel
in einem Aerosol
natürlich aggregiert
gecoatet
im flüssigen Medium / in einem Lösemittel
eingebunden in eine Matrix

Die Liste ist ausreichend Ja Nein Weiß nicht

Ergänzungen oder Präzisierungen:

2.2.2 Ursachen für Toxizität

Löslichkeit
Größe (Angabe in Bereich, z. B. < 70 nm)
Gestalt
Oberfläche und Reaktivität

Die Liste ist ausreichend Ja Nein Weiß nicht

Ergänzungen oder Präzisierungen:

3 Exposition: Ergebnisse aus Runde 1

In der nebenstehenden Grafik finden Sie eine **Auswahl** von Substanzen rot markiert, denen von mehr als 50% der Experten eine hohe oder mittlere Bedeutung des Expositionsweges für negative gesundheitliche Effekte zugeschrieben wurde. Gelb markiert wurden die Stoffe, denen von mehr als 33 % der Experten eine hohe oder mittlere Bedeutung zugeschrieben wurde. Ausgewählt wurden Stoffe, bei denen nicht nur der inhalative Weg vorrangig genannt wurde, sondern auch andere Expositionswege eine hohe oder mittlere Bedeutung für negative Effekte erhielten.

Expositionsweg der Stoffe (geordnet nach Anzahl der Nennungen)	Anzahl der Nennungen	Oral [in %]	Dermal [in %]	Inhalativ [in %]
Carbonnanotubes	135	33,3	22,2	88,9
Fullerene	123	36,6	43,9	78,0
Silber	108	36,1	27,8	63,9
Vitamine	108	47,2	16,7	30,6
Nickeloxid	105	60,0	48,6	65,7
Abbaubare Materialien (Lipidverbindungen, Biopolymere?)	102	35,3	20,6	26,5
Chrom(III)-oxid	99	51,5	39,4	84,8
Organische Farbpigmente	93	32,3	41,9	77,4

3.1 Bitte bewerten Sie erneut diese Auswahl:

Welche Bedeutung haben die verschiedenen Expositionswege für negative gesundheitliche Effekte? Bitte bewerten Sie die Bedeutung für die folgenden Materialien im Bezug auf die Expositionswege in der Dropdownliste.

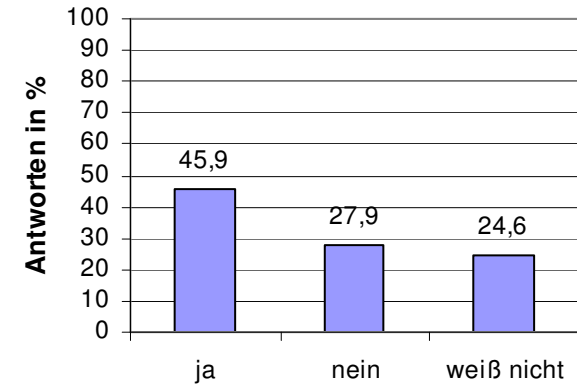
Stoff	Oral	Dermal	Inhalativ	Begründung
Carbonnanotubes	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Fullerene	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Silber	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Vitamine	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Nickeloxid	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Abbaubare Materialien (Lipidverbindungen, Biopolymere)	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Chrom(III)-oxid	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	
Organische Farbpigmente	- Auswählen -	- Auswählen -	- Auswählen -	

Anmerkungen?

3.2 Exposition der Verbraucher mit Nanomaterialien

Nebenstehend finden Sie die Ergebnisse aus Runde 1 auf die Frage: „Sind Ihrer Ansicht nach Verbraucherinnen und Verbraucher bei Textilien oder Oberflächenbeschichtungen einer Exposition von Nanomaterialien durch Abriebe ausgesetzt?“

Da in der Frage zwei Anwendungsbereiche genannt wurden, bitten wir um eine differenzierte Bewertung und um eine Begründung.



3.2.1 Stimmen Sie den folgenden Aussagen zu?

3.2.1.1 Oberflächenbeschichtungen (z. B. Lacke, Easy-To-Clean-Beschichtungen)

- | | | | | |
|---|-----------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------------|
| Es kann zu Abrieben von Nanomaterialien kommen | Ja <input type="checkbox"/> | Nein <input type="checkbox"/> | Es kommt darauf an <input type="checkbox"/> | Weiß nicht <input type="checkbox"/> |
| Die Abriebe können nanoskalig sein | Ja <input type="checkbox"/> | Nein <input type="checkbox"/> | Es kommt darauf an <input type="checkbox"/> | Weiß nicht <input type="checkbox"/> |
| Die Abriebe sind im Mikrometerbereich und zeigen keine nanospezifischen Effekte | Ja <input type="checkbox"/> | Nein <input type="checkbox"/> | Es kommt darauf an <input type="checkbox"/> | Weiß nicht <input type="checkbox"/> |

Bitte begründen:

3.2.1.2 Textilien

- | | | | | |
|---|-----------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------------|
| Es kann zu Abrieben von Nanomaterialien kommen | Ja <input type="checkbox"/> | Nein <input type="checkbox"/> | Es kommt darauf an <input type="checkbox"/> | Weiß nicht <input type="checkbox"/> |
| Die Abriebe können nanoskalig sein | Ja <input type="checkbox"/> | Nein <input type="checkbox"/> | Es kommt darauf an <input type="checkbox"/> | Weiß nicht <input type="checkbox"/> |
| Die Abriebe sind im Mikrometerbereich und zeigen keine nanospezifischen Effekte | Ja <input type="checkbox"/> | Nein <input type="checkbox"/> | Es kommt darauf an <input type="checkbox"/> | Weiß nicht <input type="checkbox"/> |

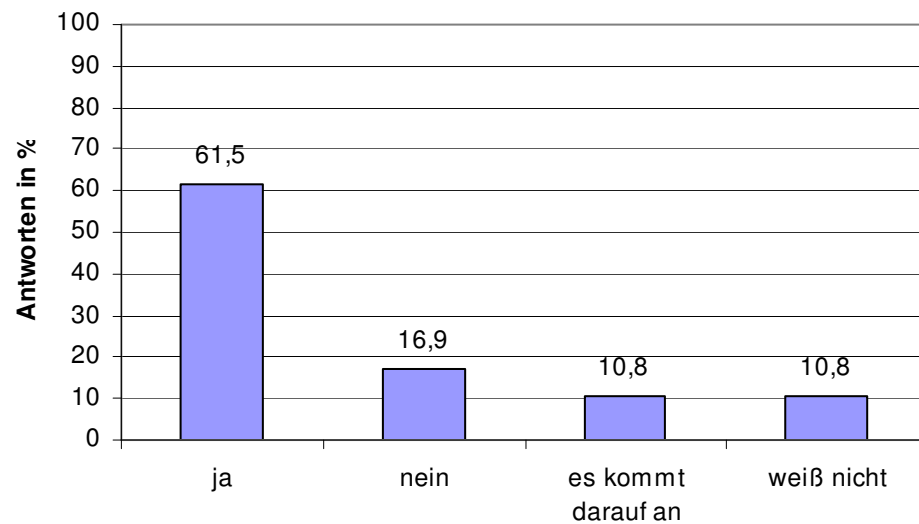
Bitte begründen:

3.3 Dermale, inhalative und orale Expositionswege

Im folgenden Abschnitt wurden generalisierte Thesen abgefragt, um eine grundsätzliche Tendenz von Bewertungen zu erhalten. Aus den Anmerkungen haben sich einige Nachfragen ergeben, die Sie jeweils unter den Ergebnisgrafiken finden.

3.3.1 Dermaler Expositionsweg

Ergebnis These 1: „Die Haut ist weitgehend dicht für Nanopartikel, wenn sie ihrer Schutzfunktion nachkommen kann und frei von Beschädigungen oder starken mechanischen Beanspruchungen ist.“



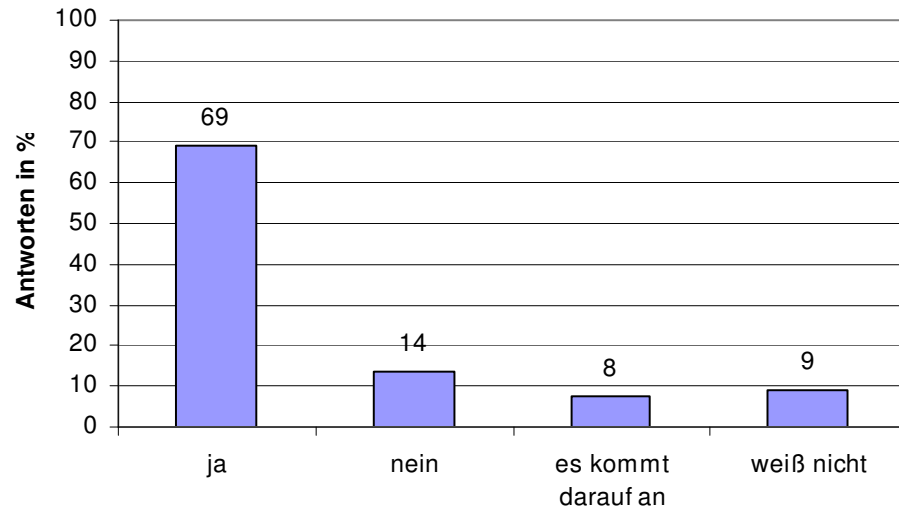
3.3.1.1 Nachfrage aufgrund der Anmerkungen:

Besteht Ihrer Ansicht nach ein erhöhtes Allergierisiko, wenn Nanomaterialien in Kontakt mit der Haut kommen?

Ja Nein Es kommt darauf an Weiß nicht

Bitte begründen:

Ergebnis These 2. „Bei Hautverletzungen, starker mechanischer Beanspruchung und sehr kleinen Nanopartikeln (< 5 – 10 nm) ist die Schutzfunktion wahrscheinlich eingeschränkt.“



3.3.1.2 Nachfrage aufgrund der Anmerkungen:

Erwarten Sie bei Kontakt mit Nanomaterialien auf gestresster Haut einen negativen gesundheitlichen Effekt, der sich auf die Nanoskaligkeit der Stoffe zurückführen läßt?

Ja Nein Es kommt darauf an Weiß nicht

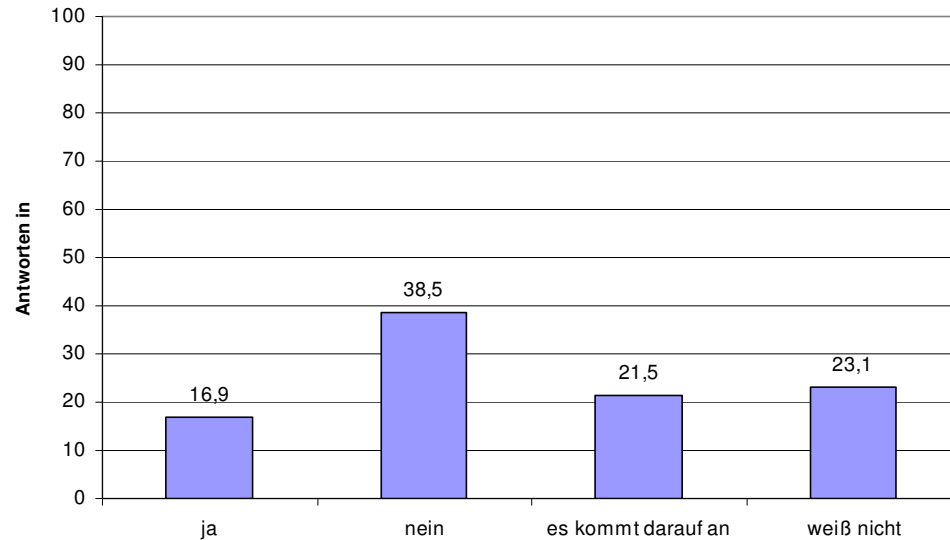
Bitte begründen

Erwarten Sie bei Kontakt mit sehr kleinen Nanopartikeln (<5-10 nm) auf der gesunden Haut negative gesundheitliche Effekte?

Ja Nein Es kommt darauf an Weiß nicht

Bitte begründen

Ergebnisse zu These 4: „Liposomen können weder die intakte Stratum corneum passieren, noch können sie die Aufnahme aktiver Inhaltsstoffe verbessern.“



3.3.1.3 Nachfragen aufgrund der Anmerkungen:

3.3.1.3.1 Können Liposome die intakte Stratum corneum passieren?

Ja Nein Es kommt darauf an Weiß nicht

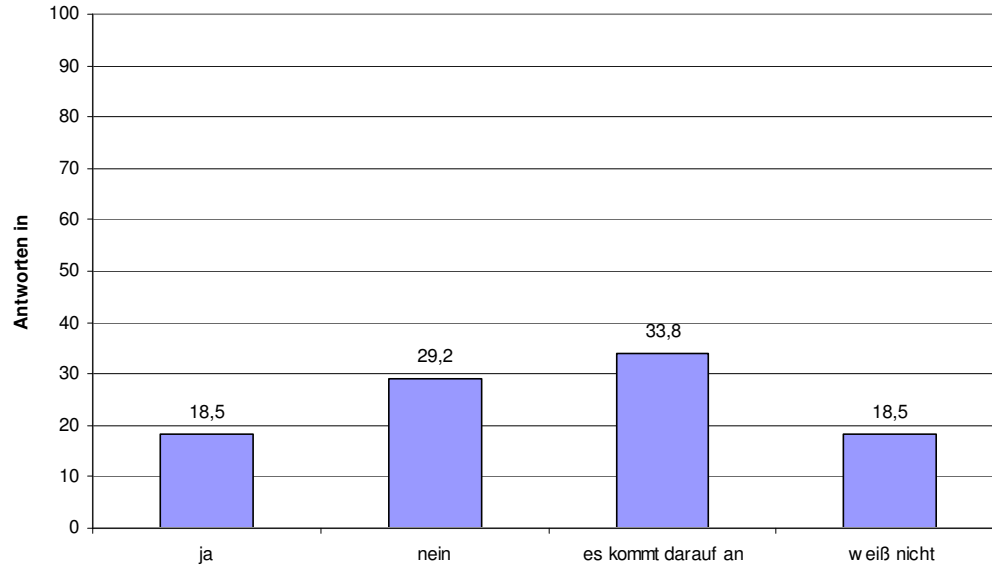
Bitte begründen:

3.3.1.3.2 Verbessern sie die Aufnahme aktiver Inhaltsstoffe?

Ja Nein Es kommt darauf an Weiß nicht

Bitte begründen:

Ergebnisse These 7. „Nanopartikel können die Haut passieren und verursachen eine systemische Exposition des Organismus.“



In den Anmerkungen differenzieren viele Teilnehmende in der Frage der systemischen Exposition nach Substanzen. Besonders häufig werden Fullerene als negative Beispiele genannt.

3.3.1.4 Nachfragen aufgrund der Anmerkungen zu Fullerenen:

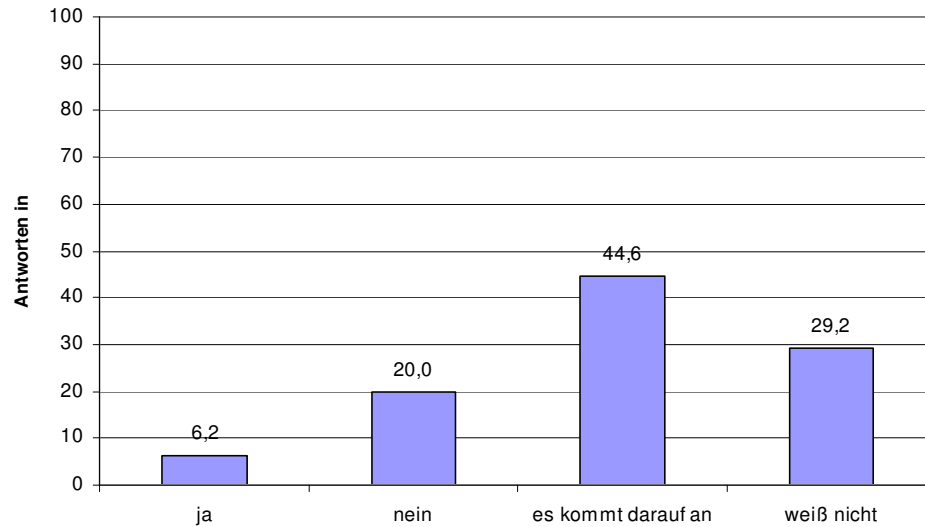
Erwarten Sie beim dermalen Kontakt mit **Fullerenen** eine systemische Exposition?

Ja Nein Es kommt darauf an Weiß nicht

Ich erwarte keinen negativen gesundheitlichen Effekt

Ich erwarte einen negativen gesundheitlichen Effekt und zwar:

3.3.2 Ergebnis These 2: Inhalativer Expositionsweg. „Nanopartikel haben nach inhalativer Aufnahme eine karzinogene Wirkung.“



3.3.2.1 Nachfrage zu den Abhängigkeitsfaktoren

In den Anmerkungen wurden verschieden Abhängigkeitsfaktoren identifiziert, die eine Karzinogenität auslösen könnten.

Wir bitten Sie um Ihre Einschätzung dieser Faktoren:

Die Karzinogenität bei Nanomaterialien ist abhängig von ...

Abhängigkeitsfaktor	Bewertung	Anmerkung/Begründung
Persistenz der Partikel	- Auswählen -	
Oberflächenreaktivität	- Auswählen -	
Potenzial, freie Radikale zu erzeugen	- Auswählen -	
Dosis	- Auswählen -	
Art der Substanz	- Auswählen -	
Beschichtung / Coating	- Auswählen -	
Form	- Auswählen -	
Verteilung im Gewebe	- Auswählen -	
Ladungsverteilung zwischen den Molekülen	- Auswählen -	
Grad der Agglomeration	- Auswählen -	
Oxidative Mechanismen	- Auswählen -	
Größe	- Auswählen -	

Anmerkungen?

4 Verbraucherrelevante Anwendungen: Ergebnisse

Angegeben sind die Häufigkeiten der gewählten Nennung. Die Angabe „weiß nicht“ ist in dieser Übersicht nicht enthalten. Markiert ist der jeweils höchste Wert.

Wir bitten um erneute Bewertung einiger ausgewählter Anwendungen.

4.1 Nanotechnologie und Lebensmittel

Anwendung	Toxizität / negative gesundheitl. Effekte des Endprodukts	Akzeptanz des Verbrauchers	Positive gesundheitliche Effekte	Realisierungszeitraum	Anmerkungen
Anwendung L 3: Kolloidale Kieselsäure bzw. Siliziumdioxid wird aufgrund des hohen Adsorptionsvermögens als Rieselhilfsmittel oder Trägerstoff verwendet, um ein Zusammenbacken von Kochsalzkristallen und Lebensmitteln zu verhindern.	keine 45,7 % geringe 10,9 % mittlere 6,5 % hohe 6,5 % - Auswählen -	keine 4,3 % geringe 15,2 % mittlere 39,1 % hohe 28,3 % - Auswählen -	keine 47,8 % geringe 21,7 % mittlere 15,2 % hohe 8,7 % - Auswählen -	auf d. Markt 47,8 % 1-2 J. 8,7 % 2-5 J. 8,7 % 5-10 J. 0,0 % - Auswählen -	
Anwendung L 4: Es ist geplant, Schokoriegel mit Hilfe einer geschmacksneutralen, nur wenige Nanometer dicken Titandioxidschicht zu überziehen, so dass sie ansehnlich bleiben , selbst wenn sie einige Zeit offen herumliegen.	keine 27,1 % geringe 14,6 % mittlere 10,4 % hohe 4,2 % - Auswählen -	keine 16,7 % geringe 33,3 % mittlere 29,2 % hohe 6,3 % - Auswählen -	keine 56,3 % geringe 22,9 % mittlere 8,3 % hohe 0,0 % - Auswählen -	auf d. Markt 8,3 % 1-2 J. 29,2 % 2-5 J. 10,4 % 5-10 J. 0,0 % - Auswählen -	
Anwendung L 6: Durch nanotechnologische Antioxidanz -Systeme sollen Lebensmittel länger frisch bleiben. Als Träger für Antioxidantien dienen nanoskalige Mizellen .	keine 27,9 % geringe 14,0 % mittlere 7,0 % hohe 2,3 % - Auswählen -	keine 7,0 % geringe 25,6 % mittlere 48,8 % hohe 7,0 % - Auswählen -	keine 16,3 % geringe 32,6 % mittlere 37,2 % hohe 7,0 % - Auswählen -	auf d. Markt 7,0 % 1-2 J. 14,0 % 2-5 J. 25,6 % 5-10 J. 0,0 % - Auswählen -	
Anwendung L 7: In reinem Wasser gelöste Silberpartikel (Durchmesser 0,8 nm, Konzentration 10 ppm) werden als Nahrungsergänzungsmittel angeboten. Die Ladung des Silbers und seine nanoskalige Formulierung sollen das Wohlbefinden und die Abwehrkräfte steigern.	keine 11,9 % geringe 26,2 % mittlere 23,8 % hohe 7,1 % - Auswählen -	keine 16,7 % geringe 38,1 % mittlere 26,2 % hohe 4,8 % - Auswählen -	keine 59,5 % geringe 21,4 % mittlere 14,3 % hohe 0,0 % - Auswählen -	auf d. Markt 28,6 % 1-2 J. 19,0 % 2-5 J. 7,1 % 5-10 J. 0,0 % - Auswählen -	

4.2 Nanotechnologie und kosmetische Erzeugnisse

Anwendung	Toxizität / negative gesundheitl. Effekte des Endprodukts	Akzeptanz des Verbrauchers	Positive gesundheitliche Effekte	Realisierungszeitraum	Anmerkungen
Anwendung K 6: Silber-Nanopartikel (Durchmesser ca. 7 nm) kommen in Seifen zur Hautreinigung und Desinfektion zum Einsatz. Dadurch soll das Entstehen von Akne verhindert und Hautzellen aktiviert werden.	keine 22,4 % geringe 22,4 % mittlere 12,2 % hohe 6,1 % - Auswählen -	keine 4,1 % geringe 10,2 % mittlere 57,1 % hohe 22,4 % - Auswählen -	keine 4,1 % geringe 28,6 % mittlere 32,7 % hohe 10,2 % - Auswählen -	auf d. Markt 16,3 % 1-2 J. 18,4 % 2-5 J. 4,1 % 5-10 J. 0,0 % - Auswählen -	
Anwendung K 7: C60-Fullerene werden als Anti-Oxidantien in Cremes eingesetzt. Fullerene sollen in der Lage sein, gefährliche freie Radikale zu neutralisieren und so die vorzeitige Alterung der Haut zu verhindern.	keine 10,9 % geringe 15,2 % mittlere 19,6 % hohe 8,7 % - Auswählen -	keine 6,5 % geringe 23,9 % mittlere 34,8 % hohe 15,2 % - Auswählen -	keine 23,9 % geringe 41,3 % mittlere 13,0 % hohe 2,2 % - Auswählen -	auf d. Markt 21,7 % 1-2 J. 10,9 % 2-5 J. 4,3 % 5-10 J. 2,2 % - Auswählen -	

4.3 Nanotechnologie und Textilien

<p>Anwendung T 2: Eine neue Anti-Geruchs-Technologie bettet Silber-Nanopartikel (Durchmesser 15 nm) in die Fasern von Socken, Schuhen sowie Wischlappen ein. Die Silber-Partikel töten geruchsbildende Bakterien ab bzw. hemmen deren Wachstum.</p>	<p>keine 26,9 % geringe 23,1 % mittlere 11,5 % hohe 3,8 % - Auswählen -</p>	<p>keine 1,9 % geringe 9,6 % mittlere 34,6 % hohe 42,3 % - Auswählen -</p>	<p>keine 26,9 % geringe 28,8 % mittlere 26,9 % hohe 9,6 % - Auswählen -</p>	<p>auf d. Markt 53,8 % 1-2 J. 13,5 % 2-5 J. 0,0 % 5-10 J. 0,0 % - Auswählen -</p>
<p>Anwendung T 3: In Textilien (Bekleidung, aber auch Teppiche und Sofas) werden Nanocontainer mit Duft- und Wirkstoffen integriert. Die Kapseln bilden sich, wenn Duftstoff-Isocyanat-Öltröpfchen (ab 100 nm Größe) in eine wässrige Polyaminlösung gebracht wird und die Isocyanat-Moleküle an der Oberfläche der Öltröpfchen mit den umgebenden Polyaminen im Wasser reagieren und so den Duftstoff einschließen. Kapseln mit poröser Hülle geben ihren Inhalt über Monate hinweg in gleich bleibender Menge ab.</p>	<p>keine 20,5 % geringe 15,9 % mittlere 11,4 % hohe 9,1 % - Auswählen -</p>	<p>keine 4,5 % geringe 25,0 % mittlere 43,2 % hohe 15,9 % - Auswählen -</p>	<p>keine 56,8 % geringe 31,8 % mittlere 6,8 % hohe 4,5 % - Auswählen -</p>	<p>auf d. Markt 15,9 % 1-2 J. 22,7 % 2-5 J. 9,1 % 5-10 J. 0,0 % - Auswählen -</p>
<p>Anwendung T 4: Halamide (polymere Moleküle) werden zur Beschichtung von Textilien genutzt. So entstehen Materialien, die Viren und Bakterien einfangen und abtöten. Eingesetzt werden die antimikrobiellen Materialien zum Schutz von medizinischem Personal und Landwirten, die mit Pestiziden arbeiten.</p>	<p>keine 5,3 % geringe 31,6 % mittlere 7,9 % hohe 10,5 % - Auswählen -</p>	<p>keine 0,0 % geringe 15,8 % mittlere 34,2 % hohe 39,5 % - Auswählen -</p>	<p>keine 2,6 % geringe 15,8 % mittlere 34,2 % hohe 31,6 % - Auswählen -</p>	<p>auf d. Markt 10,5 % 1-2 J. 18,4 % 2-5 J. 10,5 % 5-10 J. 0,0 % - Auswählen -</p>
<p>Anwendung T 8: Nanopartikel aus SiO₂ werden zur Bildung nanostrukturierter Oberflächen auf Fasern genutzt. Dadurch bekommen die Textilien schmutzabweisende Eigenschaften.</p>	<p>keine 46,2 % geringe 0,0 % mittlere 23,1 % hohe 1,9 % - Auswählen -</p>	<p>keine 1,9 % geringe 1,9 % mittlere 19,2 % hohe 67,3 % - Auswählen -</p>	<p>keine 32,7 % geringe 15,4 % mittlere 30,8 % hohe 13,5 % - Auswählen -</p>	<p>auf d. Markt 32,7 % 1-2 J. 17,3 % 2-5 J. 3,8 % 5-10 J. 0,0 % - Auswählen -</p>

4.4 Nanotechnologie und Oberflächenbeschichtungen

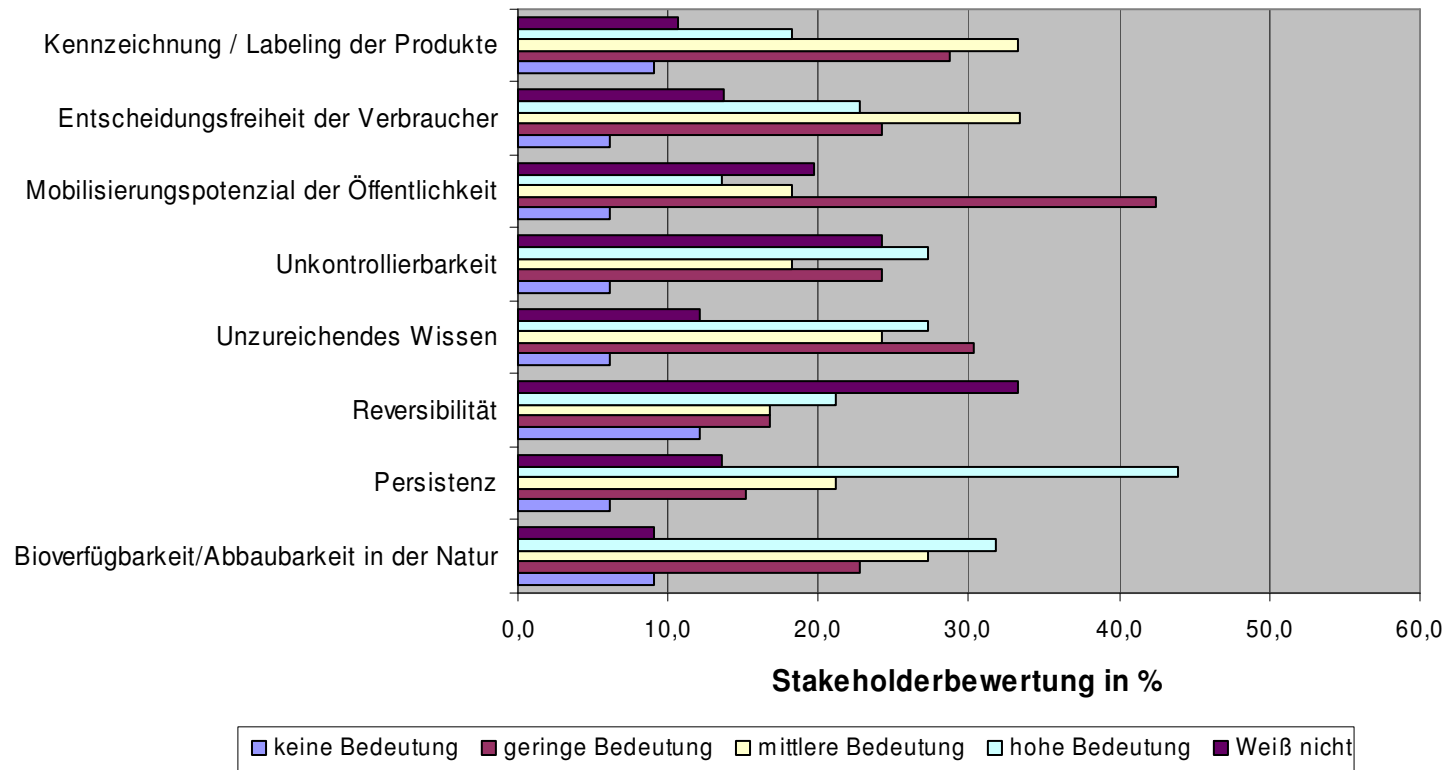
<p>Anwendung O 3: Silizium-Nanopartikel, die mit fluoreszierenden Farbstoffmolekülen und Antikörpern versehen sind, erlauben die Detektion von Bakterien. Wenn die Antikörper an die Antigene eines Bakteriums andocken, kann dies über das fluoreszente Leuchten der Nanopartikel festgestellt werden.</p>	<p>keine 26,2 % geringe 23,8 % mittlere 7,1 % hohe 4,8 % - Auswählen -</p>	<p>keine 4,8 % geringe 14,3 % mittlere 45,2 % hohe 23,8 % - Auswählen -</p>	<p>keine 14,3 % geringe 4,8 % mittlere 47,6 % hohe 23,8 % - Auswählen -</p>	<p>auf d. Markt 4,8 % 1-2 J. 9,5 % 2-5 J. 21,4 % 5-10 J. 0,0 % - Auswählen -</p>	
<p>Anwendung O 4: Antimon-Zinn-Oxid (Sb:Sn-Verhältnis = 1:9, Reinheit 99.5+%, Partikelgröße 30 nm) wird Beschichtungen beigemischt, um die antistatischen Eigenschaften von Oberflächen zu verbessern.</p>	<p>keine 23,9 % geringe 17,4 % mittlere 8,7 % hohe 13,0 % - Auswählen -</p>	<p>keine 2,2 % geringe 19,6 % mittlere 45,7 % hohe 8,7 % - Auswählen -</p>	<p>keine 37,0 % geringe 26,1 % mittlere 13,0 % hohe 2,2 % - Auswählen -</p>	<p>auf d. Markt 15,2 % 1-2 J. 19,6 % 2-5 J. 10,9 % 5-10 J. 0,0 % - Auswählen -</p>	
<p>Anwendung O 6: Zur Verbesserung der Kratzfestigkeit wird in Parkett- und Möbellacken eine 30-%ige Dispersion aus Aluminium-(Al₂O₃)-Nanopartikeln (Partikelgröße 45 nm) in Hexanedioldiacrylate (HDDA) eingesetzt.</p>	<p>keine 29,4 % geringe 23,5 % mittlere 7,8 % hohe 2,0 % - Auswählen -</p>	<p>keine 0,0 % geringe 3,9 % mittlere 39,2 % hohe 45,1 % - Auswählen -</p>	<p>keine 51,0 % geringe 5,9 % mittlere 21,6 % hohe 7,8 % - Auswählen -</p>	<p>auf d. Markt 29,4 % 1-2 J. 15,7 % 2-5 J. 5,9 % 5-10 J. 2,0 % - Auswählen -</p>	
<p>Anwendung O 8: Eine Wandfarbe, in der nanometergroße Silberpartikel homogen verteilt sind, verhindert die Schimmelbildung in Innenräumen sowie das Algenwachstum an Fassaden. Die Teilchen setzen Silberionen frei, die Nährstoff transportierende Enzyme blockieren, wichtige Eiweiße zerstören, an das Erbgut koppeln und in die Zellwandsynthese eingreifen.</p>	<p>keine 23,1 % geringe 30,8 % mittlere 5,8 % hohe 9,6 % - Auswählen -</p>	<p>keine 1,9 % geringe 7,7 % mittlere 46,2 % hohe 32,7 % - Auswählen -</p>	<p>keine 17,3 % geringe 19,2 % mittlere 34,6 % hohe 19,2 % - Auswählen -</p>	<p>auf d. Markt 36,5 % 1-2 J. 19,2 % 2-5 J. 3,8 % 5-10 J. 0,0 % - Auswählen -</p>	

Anmerkungen?

5 Weitere Aspekte der Risikobewertung, der Risikokommunikation, des Risikomanagements und des Dialogs mit Stakeholdern

5.1 Ergebnisse aus Runde 1:

Weitere Aspekte der Risikobewertung über alle Anwendungen



5.1.1 In den Bereichen Lebensmittel und Kosmetik bitten wir um erneute Bewertung und Begründung Ihres Standpunktes

	Lebensmittel	Begründung	Kosmetik	Begründung
Bioverfügbarkeit/Abbaubarkeit in der Natur	- Auswählen -		- Auswählen -	
Persistenz	- Auswählen -		- Auswählen -	
Reversibilität	- Auswählen -		- Auswählen -	
Unzureichendes Wissen	- Auswählen -		- Auswählen -	
Unkontrollierbarkeit	- Auswählen -		- Auswählen -	
Mobilisierungspotenzial der Öffentlichkeit	- Auswählen -		- Auswählen -	
Entscheidungsfreiheit der Verbraucher	- Auswählen -		- Auswählen -	
Kennzeichnung / Labeling der Produkte	- Auswählen -		- Auswählen -	

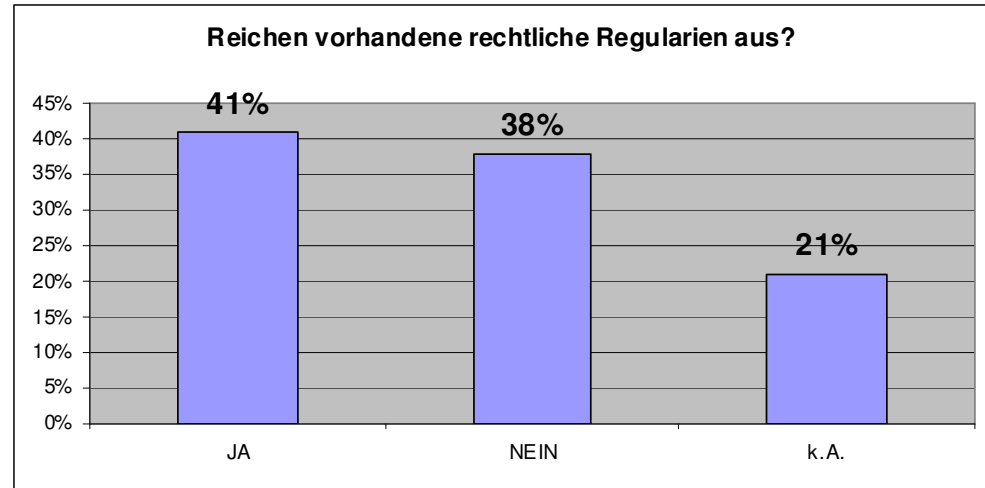
Anmerkungen?

6 Regulierungsfragen

6.1 Ergebnisse Runde 1: Reichen vorhandene rechtliche Regularien (REACH) aus?

6.1.1 Bitte bewerten Sie erneut: Reichen vorhandene rechtliche Regularien (REACH) aus?

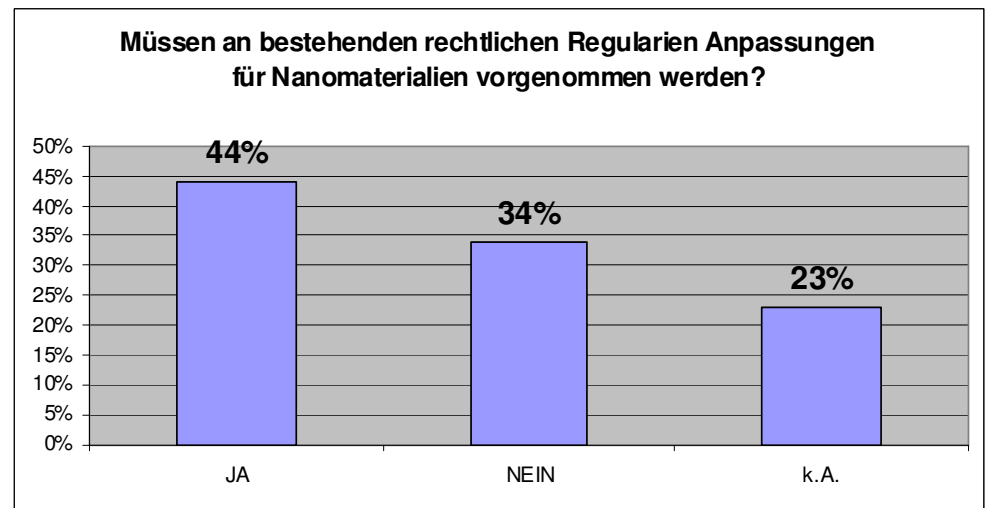
Ja Nein Weiß nicht



6.2 Ergebnisse Runde 1: Müssen an bestehenden rechtlichen Regularien Anpassungen für Nanomaterialien vorgenommen werden?

6.2.1 Bitte bewerten Sie erneut: Müssen an bestehenden rechtlichen Regularien Anpassungen für Nanomaterialien vorgenommen werden?

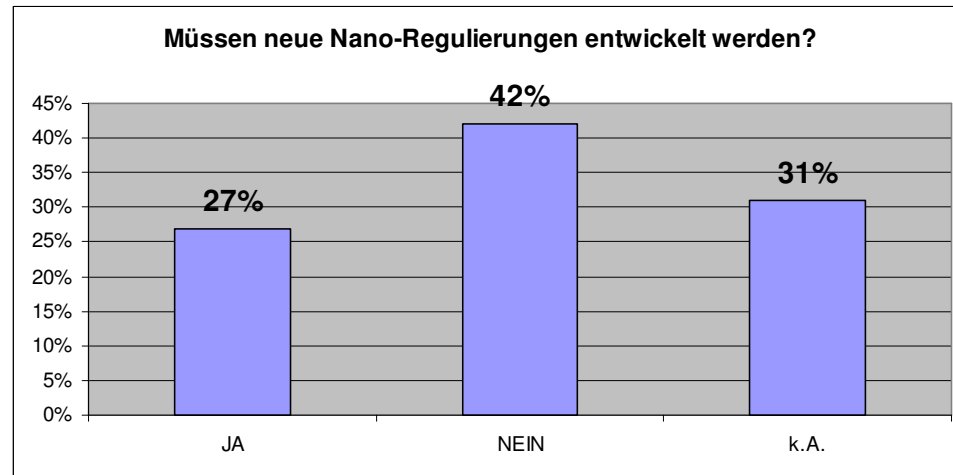
Ja Nein Weiß nicht



6.3 Ergebnisse Runde 1: Müssen neue Nano-Regulierungen entwickelt werden

6.3.1 Bitte bewerten Sie erneut: Müssen neue Nano-Regulierungen entwickelt werden?

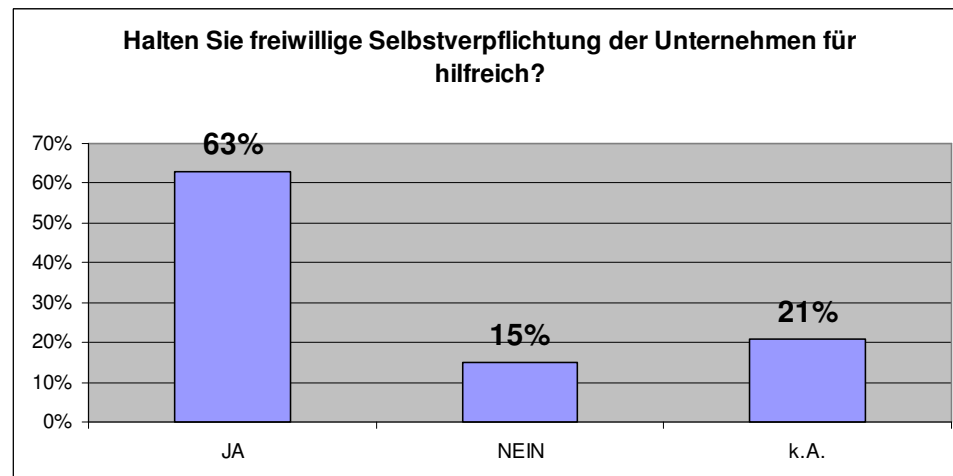
Ja Nein Weiß nicht



6.4 Ergebnisse aus Runde 1: Halten Sie freiwillige Selbstverpflichtung der Unternehmen (Best Practice Guidelines) für hilfreich?

6.4.1 Bitte bewerten Sie erneut: Halten Sie freiwillige Selbstverpflichtung der Unternehmen (Best Practice Guidelines) für hilfreich?

Ja Nein Weiß nicht



6.5 Ergebnisse Runde 1: Was sollten freiwillige Selbstverpflichtungen enthalten? Markiert sind alle Werte über 50%

Was sollten freiwillige Selbstverpflichtungen enthalten?	Ja	Nein	Weiß nicht
Hinweise für die Arbeitsplatzbewertung	87,3 %	4,2 %	8,5 %
Sicherheitsbewertung für das Endprodukt	85,9 %	7,0 %	7,0 %
Sicherheitsbewertungen für alle einzelnen Glieder der Produktionskette	67,6 %	16,9 %	15,5 %
Einsatz des „precautionary principle“ bis zur Anpassung von Regulierung	62,0 %	18,3 %	19,7 %
Vorlage für detaillierte Nano-Sicherheitsdatenblätter	59,2 %	28,2 %	12,7 %

Wir bitten um erneute Bewertung:

6.5.1 Was sollten freiwillige Selbstverpflichtungen enthalten?

	Ja	Nein	Weiß nicht
Vorlage für detaillierte Nano-Sicherheitsdatenblätter	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hinweise für die Arbeitsplatzbewertung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sicherheitsbewertungen für alle einzelnen Glieder der Produktionskette	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sicherheitsbewertung für das Endprodukt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Einsatz des „precautionary principle“ bis zur Anpassung von Regulierung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen?

7 Entwicklung von Handlungsstrategien zur Risikovermeidung / Risikominimierung

Ergebnisse aus Runde 1: Wie sinnvoll schätzen Sie die folgenden Vorschläge ein?

Orange hinterlegt sind die Werte mit der höchsten Zustimmung. Gelb hinterlegt sind die Werte mit der zweithöchsten Zustimmung.

	Nicht sinnvoll	Wenig sinnvoll	Sinnvoll	Sehr sinnvoll	Weiss nicht
Systematische Erfassung biologischer Effekte	2,8 %	2,8%	35,2%	57,7%	1,4%
Lebenszyklusbewertung von Nanoprodukten	4,2%	4,2%	38,0%	47,9%	5,6%
Systematische Erforschung von Wechselwirkungen mit natürlichen und künstlichen Stoffen	12,7%	8,5%	29,6%	45,1%	4,2%
Bessere Vernetzung/ Kooperation der Informationsgeber (Industrie, Forschung, Behörden)	0%	1,4%	38,0%	57,7%	2,8%
Offene, ergebnisorientierte Dialoge zwischen den Stakeholdern zur gemeinsamen Risikobewertung	0%	5,6%	50,7%	39,4%	4,2%
Stakeholder-Dialog zur gemeinsamen Entwicklung von freiwilligen Selbstverpflichtungen der Industrie	2,8%	12,7%	64,8%	15,5%	4,2%
Bürger-Dialoge / Verbraucherkonferenzen zu ausgewählten Themen der Nanotechnologie	8,5%	23,9%	46,5%	15,5%	5,6%

7.1 Wir bitten um erneute Bewertung:

Für wie sinnvoll halten Sie die folgenden Vorschläge:

	Nicht sinnvoll	Wenig sinnvoll	Sinnvoll	Sehr sinnvoll	Weiß nicht
Systematische Erfassung biologischer Effekte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lebenszyklusbewertung von Nanoprodukten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Systematische Erforschung von Wechselwirkungen mit natürlichen und künstlichen Stoffen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bessere Vernetzung/ Kooperation der Informationsgeber (Industrie, Forschung, Behörden)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Offene, ergebnisorientierte Dialoge zwischen den Stakeholdern zur gemeinsamen Risikobewertung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Stakeholder-Dialog zur gemeinsamen Entwicklung von freiwilligen Selbstverpflichtungen der Industrie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bürger-Dialoge / Verbraucherkonferenzen zu ausgewählten Themen der Nanotechnologie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Anmerkung und weitere Handlungsstrategien:

***Wir danken Ihnen im Namen des Bundesinstituts für Risikobewertung
und der Universität Stuttgart erneut für Ihr Engagement und Ihre Zeit in der 2. Delphi-Runde!***

***Der Schlussbericht mit allen Ergebnissen wird im Dezember an den Auftraggeber übergeben und schnellstmöglich allen
Teilnehmenden zur Verfügung gestellt.***

***Mit den besten Grüßen,
Dr. Antje Grobe, ZIRN, Universität Stuttgart und Dr. René Zimmer, Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin***

Für ein weiteres Feedback oder generelle Anmerkungen haben Sie hier die Gelegenheit:

10 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Ablauf der BfR-Delphi-Studie zur Nanotechnologie	14
Abb. 2: Stakeholderverteilung nach Delphi-Befragung 1 und Delphi-Befragung 2	17
Abb. 3: Antworten auf die Frage: Ist die Kriterienliste zur Beschreibung des Aggregatzustandes der Nanomaterialien ausreichend? (n=46 Antworten)	23
Abb. 4: Einschätzung der These: Da Nanopartikel toxischer sind als Mikropartikel, führt ihre Inhalation zu neuen Toxizitäten (n=65 Antworten)	25
Abb. 5: Antworten auf die Frage: Ist die Kriterienliste zur Bewertung der Toxizität von Nanomaterialien ausreichend? (n=46 Antworten)	26
Abb. 6: Einschätzung der These: Bei üblichem Gebrauch sind durch nanoskalige TiO ₂ -Partikel keine genotoxischen oder photo-genotoxischen Risiken für den Menschen zu befürchten (n=65 Antworten)	29
Abb. 7: Einschätzung der These: In Bereichen der Nanotechnologie, wo Nanotubes zur Anwendung kommen, können sich möglicherweise ähnliche gesundheitliche Folgen einstellen wie bei Asbestfasern, da die Nanotubes sich möglicherweise analog zu größeren lungengängigen Fasern verhalten (n=65 Antworten)	33
Abb. 8: Einschätzung der These: Nanopartikel haben nach inhalativer Aufnahme eine karzinogene Wirkung (n=65 Antworten)	37
Abb. 9: Abhängigkeitsfaktoren für karzinogene Wirkungen von Nanomaterialien (jeweils n=46 Antworten)	38
Abb. 10: Geschätzter Verbrauch von Nanomaterialien weltweit (n=59 Antworten)	41
Abb. 11: Einschätzung der These: Die orale Aufnahme von Nanopartikeln produziert systemische Exposition des Organismus (n=65 Antworten)	44
Abb. 12: Einschätzung der These: Metallische Nanopartikel werden nicht über den Magen-Darm-Trakt aufgenommen (n=65 Antworten)	45
Abb. 13: Einschätzung der These: Nanopartikel brauchen bestimmte Rezeptoren, um überhaupt aufgenommen zu werden (n=65 Antworten)	45
Abb. 14: Einschätzung der These: Nanopartikel können die Haut passieren und verursachen eine systemische Exposition des Organismus (n=65 Antworten)	46
Abb. 15: Einschätzung der These: Die Haut ist weitgehend dicht für Nanopartikel, wenn sie ihrer Schutzfunktion nachkommen kann und frei von Beschädigungen oder starken mechanischen Beanspruchungen ist (n=65 Antworten)	46
Abb. 16: Einschätzung der These: Bei Hautverletzungen, starker mechanischer Beanspruchung und sehr kleinen Nanopartikeln (< 5–10 nm) ist die Schutzfunktion wahrscheinlich eingeschränkt (n=65 Antworten)	47
Abb. 17: Einschätzung der These: Erwarten Sie bei Kontakt mit Nanomaterialien auf gestresster Haut einen negativen gesundheitlichen Effekt, der sich auf die Nanoskaligkeit der Stoffe zurückführen lässt? (n=56 Antworten)	47
Abb. 18: Einschätzung der These: Erwarten Sie bei Kontakt mit sehr kleinen Nanopartikeln (<5-10 nm) auf der gesunden Haut negative gesundheitliche Effekte? (n=56 Antworten)	48

Abb. 19: Einschätzung der These: Eine dermale Belastung ergibt sich unter anderem durch manuelle Tätigkeiten mit staubförmigen oder suspendierten Partikeln. Sind die Nanopartikel in einer Feststoffmatrix gebunden, ist eine Hautbelastung gering (n=65 Antworten)	48
Abb. 20: Einschätzung der These: Liposome können weder die intakte Stratum corneum passieren, noch können Sie die Aufnahme aktiver Inhaltsstoffe verbessern (n=65 Antworten)	49
Abb. 21: Einschätzung der These: Nanoskaliges TiO ₂ schützt die Haut vor genotoxischen und karzinogenen Wirkungen des UV-Lichts (n=65 Antworten)	49
Abb. 22: Einschätzung der These: Inhalierete Nanopartikel werden systemisch aufgenommen und beeinflussen das Herz-Kreislauf-System und das Gehirn (n=65 Antworten)	50
Abb. 23: Einschätzung der These: Eine Verwendung der Partikel in einer nicht staubenden Form oder in einer flüssigen Suspension (fest in flüssig), die nicht versprüht wird sowie der Einschluss der Partikel in eine feste Matrix (fest in fest) können die inhalative Exposition wesentlich reduzieren (n=65 Antworten)	50
Abb. 24: Einschätzung der Wachstumsprognose von 70 % für den weltweiten Umsatz mit Nanoprodukten (n=64 Antworten)	54
Abb. 25: Einschätzung des Zeitraums, in dem Nanoprodukte auf den Markt gebracht werden, durch Delphi-Experten. Das in Klammern angegebene „n“ ist dabei die Summe der Nennungen aus den abgefragten Einzelanwendungen für die vier Bereiche Oberflächen (8 Einzelanwendungen), Textilien (8 Einzelanwendungen), Kosmetika (7 Einzelanwendungen) und Lebensmittel (7 Einzelanwendungen)	56
Abb. 26: Einschätzung des Zeitraums in Jahren, in dem Nanoprodukte aus dem Bereich Oberflächen auf den Markt gebracht werden, durch Delphi-Experten (Anzahl der Antworten in Klammern)	58
Abb. 27: Einschätzung des Zeitraums, in dem Nanoprodukte aus dem Bereich Textilien auf den Markt gebracht werden, durch Delphi-Experten (Anzahl der Antworten in Klammern)	60
Abb. 28: Einschätzung des Zeitraums, in dem Nanoprodukte aus dem Bereich Kosmetika auf den Markt gebracht werden, durch Delphi-Experten (Anzahl der Antworten in Klammern)	62
Abb. 29: Einschätzung des Zeitraums, in dem Nanoprodukte aus dem Lebensmittelbereich auf den Markt gebracht werden, durch Delphi-Experten (Anzahl der Antworten in Klammern)	64
Abb. 30: Einschätzung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte von Nanoprodukten durch Delphi-Experten. Das in Klammern angegebene „n“ ist dabei die Summe der Nennungen aus den abgefragten Einzelanwendungen für die vier Bereiche Oberflächen (8 Einzelanwendungen), Textilien (8 Einzelanwendungen), Kosmetika (7 Einzelanwendungen) und Lebensmittel (7 Einzelanwendungen)	66
Abb. 31: Einschätzung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte von Nanoprodukten aus dem Bereich Oberflächen durch Delphi-Experten (Anzahl der Antworten in Klammern)	67

Abb. 32: Einschätzung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte von Nanoprodukten aus dem Bereich Textilien durch Delphi-Experten (Anzahl der Antworten in Klammern)	68
Abb. 33: Einschätzung einer möglichen Exposition der Verbraucher gegenüber Nanomaterialien durch Abreiben von Textilien oder Oberflächenbeschichtungen (n=60 Antworten)	69
Abb. 34: Einschätzung des Allergierisikos durch Kontakt mit Nanomaterialien (n=56 Antworten)	72
Abb. 35: Einschätzung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte von Nanoprodukten aus dem Bereich Kosmetika durch Delphi-Experten (Anzahl der Antworten in Klammern)	73
Abb. 36: Einschätzung der Exposition von Verbrauchern gegenüber Nanomaterialien in Kosmetik und Pharmaprodukten (n=61 Antworten)	74
Abb. 37: Einschätzung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte von Nanoprodukten aus dem Lebensmittelbereich durch Delphi-Experten (Anzahl der Antworten in Klammern)	76
Abb. 38: Einschätzung der Exposition von Verbrauchern gegenüber Nanomaterialien in Lebensmitteln und Nahrungsergänzungsmitteln (n=61 Antworten)	77
Abb. 39: Einschätzung der systemischen Exposition gegenüber Fullerenen bei dermale Kontakt (n=56 Antworten)	79
Abb. 40: Einschätzung der Exposition der Verbraucher gegenüber Aerosolen (n=61 Antworten)	80
Abb. 41: Einschätzung der Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte durch Delphi-Experten. Das in Klammern angegebene „n“ ist dabei die Summe der Nennungen aus den abgefragten Einzelanwendungen für die vier Bereiche Oberflächen (8 Einzelanwendungen), Textilien (8 Einzelanwendungen), Kosmetika (7 Einzelanwendungen) und Lebensmittel (7 Einzelanwendungen)	82
Abb. 42: Einschätzung der Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte aus dem Bereich Oberflächen durch Delphi-Experten (Anzahl der Antworten in Klammern)	83
Abb. 43: Einschätzung der Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte aus dem Bereich Textilien durch Delphi-Experten (Anzahl der Antworten in Klammern)	84
Abb. 44: Einschätzung der Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte aus dem Bereich Kosmetika durch Delphi-Experten (Anzahl der Antworten in Klammern)	86
Abb. 45: Einschätzung der Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte aus dem Lebensmittelbereich durch Delphi-Experten (Anzahl der Antworten in Klammern)	87
Abb. 46: Bedeutung weiterer Bewertungselemente zur Charakterisierung von Risiken über alle Anwendungen (Runde 1). Das in Klammern angegebene „n“ ist dabei die Summe der Nennungen aus den abgefragten Einzelanwendungen für die vier Bereiche Oberflächen (8 Einzelanwendungen), Textilien (8 Einzelanwendungen), Kosmetika (7 Einzelanwendungen) und Lebensmittel (7 Einzelanwendungen)	89

Abb. 47: Bedeutung weiterer Bewertungselemente zur Charakterisierung von Risiken von Nanoanwendungen im Bereich Oberflächen (Runde 1) (Anzahl der Antworten in Klammern)	90
Abb. 48: Bedeutung weiterer Bewertungselemente zur Charakterisierung von Risiken von Nanoanwendungen im Bereich Textilien (Runde 1) (Anzahl der Antworten in Klammern)	91
Abb. 49: Bedeutung weiterer Bewertungselemente zur Charakterisierung von Risiken von Nanoanwendungen im Bereich Kosmetik (Runde 1) (Anzahl der Antworten in Klammern)	92
Abb. 50: Bedeutung weiterer Bewertungselemente zur Charakterisierung von Risiken von Nanoanwendungen im Bereich Lebensmittel (Runde 1) (Anzahl der Antworten in Klammern)	93
Abb. 51: Einschätzung der Frage: Reichen vorhandene rechtliche Regularien (REACH) aus? (Anzahl der Antworten in Klammern)	98
Abb. 52: Einschätzung der Frage: Müssen an bestehenden rechtlichen Regularien Anpassungen für Nanomaterialien vorgenommen werden? (Anzahl der Antworten in Klammern)	98
Abb. 53: Einschätzung der Frage: Müssen neue Nano-Regulierungen entwickelt werden? (Anzahl der Antworten in Klammern)	99
Abb. 54: Einschätzung der Frage: Halten Sie freiwillige Selbstverpflichtungen der Unternehmen für hilfreich? (Anzahl der Antworten in Klammern)	101
Abb. 55: Bedeutung der Entscheidungsfreiheit der Verbraucher in Zusammenhang mit Anwendungen der Nanotechnologie in verschiedenen Produktbereichen (Anzahl der Antworten in Klammern)	106
Abb. 56: Bedeutung der Kennzeichnung von Nanoprodukten aus verschiedenen Produktbereichen (Anzahl der Antworten in Klammern)	106

11 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Einschätzung des Vorhandenseins eines toxischen Potenzials von Nanomaterialien in Abhängigkeit vom Aggregatzustand (Anzahl der Angaben als „toxisch“).	22
Tab. 2: Summe der Nennungen für Toxizität von Nanomaterialien über alle Aggregatzustände	24
Tab. 3: Mögliche Ursachen für Toxizität von Nanomaterialien (Anzahl der Nennungen)	25
Tab. 4: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von nanoskaligem Siliziumdioxid	28
Tab. 5: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von nanoskaligem Titandioxid	28
Tab. 6: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von nanoskaligem Zinkoxid	29
Tab. 7: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von nanoskaligem Chrom (III)-Oxid	30
Tab. 8: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von nanoskaligem Nickeloxid	30
Tab. 9: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von nanoskaligem Aluminiumoxid	31
Tab. 10: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von nanoskaligem Eisenoxid	31
Tab. 11: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von nanoskaligen Silikaten	31
Tab. 12: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von nanoskaligen anorganischen Farbpigmenten	32
Tab. 13: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von nanoskaligen organischen Farbpigmenten	32
Tab. 14: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von Carbonnanotubes	33
Tab. 15: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von Fullerenen	34
Tab. 16: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von nanoskaligen Polymeren	34
Tab. 17: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von Nanokompositen	34
Tab. 18: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von nanoskaligem Silber	35
Tab. 19: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von nanoskaligen Vitaminen	35
Tab. 20: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von nanoskaligen Lipidverbindungen, Biopolymeren	36
Tab. 21: Qualitative Beschreibung der Wirkmechanismen von Nanotonen/Schichtsilikaten	36
Tab. 22: Weltweiter Verbrauch von Nanomaterialien [nach Haas, et al. 2003]	40

Tab. 23: Zuschreibung negativer gesundheitlicher Effekte für verschiedene Expositionswege in Runde 1. Die Prozentangaben in den Spalten beziehen sich auf die Anzahl der Expertinnen und Experten (n), die für den jeweiligen Expositionsweg negative gesundheitliche Effekte durch Nanomaterialien erwarten.	43
Tab. 24: Zuschreibung negativer gesundheitlicher Effekte für verschiedene Expositionswege in Runde 2. Die Prozentangaben in den Spalten beziehen sich auf die Anzahl der Expertinnen und Experten (n), die für den jeweiligen Expositionsweg negative gesundheitliche Effekte durch Nanomaterialien erwarten.	43
Tab. 25: Potenzielle Anwendungen der Nanotechnologie im Bereich Oberflächen	57
Tab. 26: Einschätzung des Zeitraums, in dem Nanoprodukte aus dem Bereich Oberflächen auf den Markt gebracht werden, durch Delphi-Experten (Vergleich Befragungsrunde 1 mit Befragungsrunde 2)	58
Tab. 27: Potenzielle Anwendungen der Nanotechnologie im Bereich Textilien	59
Tab. 28: Einschätzung des Zeitraums, in dem Nanoprodukte aus dem Bereich Textilien auf den Markt gebracht werden, durch Delphi-Experten (Vergleich Befragungsrunde 1 mit Befragungsrunde 2)	60
Tab. 29: Potenzielle Anwendungen der Nanotechnologie im Bereich Kosmetika	61
Tab. 30: Einschätzung des Zeitraums, in dem Nanoprodukte aus dem Bereich Kosmetika auf den Markt gebracht werden, durch Delphi-Experten (Vergleich Befragungsrunde 1 mit Befragungsrunde 2)	62
Tab. 31: Potenzielle Anwendungen der Nanotechnologie im Lebensmittelbereich	63
Tab. 32: Einschätzung des Zeitraums, in dem Nanoprodukte aus dem Lebensmittelbereich auf den Markt gebracht werden, durch Delphi-Experten (Vergleich Befragungsrunde 1 mit Befragungsrunde 2)	64
Tab. 33: Einschätzung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte von Nanoprodukten aus dem Bereich Oberflächen durch Delphi-Experten (Vergleich Befragungsrunde 1 mit Befragungsrunde 2)	67
Tab. 34: Einschätzung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte von Nanoprodukten aus dem Bereich Textilien durch Delphi-Experten (Vergleich Befragungsrunde 1 mit Befragungsrunde 2)	69
Tab. 35: Exposition der Verbraucher gegenüber Abrieben von Oberflächenbeschichtungen und Textilien (qualitative Anmerkungen)	70
Tab. 36: Einschätzung einer möglichen Exposition der Verbraucher gegenüber Abrieben aus Oberflächen (jeweils n=56 Antworten)	70
Tab. 37: Einschätzung einer möglichen Exposition der Verbraucher gegenüber Abrieben aus Textilien (jeweils n=56 Antworten)	71
Tab. 38: Einschätzung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte von Nanoprodukten aus dem Bereich Kosmetika durch Delphi-Experten (Vergleich Befragungsrunde 1 mit Befragungsrunde 2)	73
Tab. 39: Einschätzung der Exposition von Verbrauchern gegenüber Nanomaterialien in Kosmetik und Pharmaprodukten	75
Tab. 40: Einschätzung möglicher gesundheitsschädlicher Effekte von Nanoprodukten aus dem Lebensmittelbereich durch Delphi-Experten (Vergleich Befragungsrunde 1 mit Befragungsrunde 2)	76

Tab. 41: Einschätzung der Exposition von Verbrauchern gegenüber Nanomaterialien in Lebensmitteln und Nahrungsergänzungsmitteln	78
Tab. 42: Exposition der Verbraucher gegenüber Aerosolen (qualitative Anmerkungen)	80
Tab. 43: Einschätzung der Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte aus dem Bereich Oberflächen durch Delphi-Experten (Vergleich Befragungsrunde 1 mit Befragungsrunde 2)	83
Tab. 44: Einschätzung der Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte aus dem Bereich Textilien durch Delphi-Experten (Vergleich Befragungsrunde 1 mit Befragungsrunde 2)	85
Tab. 45: Einschätzung der Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte aus dem Bereich Kosmetika durch Delphi-Experten (Vergleich Befragungsrunde 1 mit Befragungsrunde 2)	86
Tab. 46: Einschätzung der Verbraucherakzeptanz für Nanoprodukte aus dem Lebensmittelbereich durch Delphi-Experten (Vergleich Befragungsrunde 1 mit Befragungsrunde 2)	88
Tab. 47: Einschätzung verschiedener Elemente, die freiwillige Selbstverpflichtungen enthalten sollten (Anzahl der Antworten in Klammern)	101
Tab. 48: Einschätzung verschiedener Handlungsstrategien zur Risikovermeidung und Risikominimierung in Runde 1 (n=70 Antworten)	103
Tab. 49: Einschätzung verschiedener Handlungsstrategien zur Risikovermeidung und Risikominimierung in Runde 2 (n=56 Antworten)	104

Bereits erschienene Hefte der Reihe BfR-Wissenschaft

- 01/2004 Herausgegeben von L. Ellerbroek, H. Wichmann-Schauer, K. N. Mac
Methoden zur Identifizierung und Isolierung von Enterokokken und deren
Resistenzbestimmung
€ 5,-
- 02/2004 Herausgegeben von M. Hartung
Epidemiologische Situation der Zoonosen in Deutschland im Jahr 2002
€ 15,-
- 03/2004 Herausgegeben von A. Domke, R. Großklaus, B. Niemann, H. Przyrembel,
K. Richter, E. Schmidt, A. Weißenborn, B. Wörner, R. Ziegenhagen
Verwendung von Vitaminen in Lebensmitteln – Toxikologische und ernäh-
rungsphysiologische Aspekte
€ 15,-
- 04/2004 Herausgegeben von A. Domke, R. Großklaus, B. Niemann, H. Przyrembel,
K. Richter, E. Schmidt, A. Weißenborn, B. Wörner, R. Ziegenhagen
Verwendung von Mineralstoffen in Lebensmitteln – Toxikologische und ernäh-
rungsphysiologische Aspekte
€ 15,-
- 05/2004 Herausgegeben von M. Hartung
Epidemiologische Situation der Zoonosen in Deutschland im Jahr 2003
€ 15,-
- 01/2005 Herausgegeben von A. Weißenborn, M. Burger, G.B.M. Mensink, C. Klemm,
W. Sichert-Hellert, M. Kersting und H. Przyrembel
Folsäureversorgung der deutschen Bevölkerung – Abschlussbericht zum For-
schungsvorhaben
€ 10,-
- 02/2005 Herausgegeben von R. F. Hertel, G. Henseler
ERiK – Entwicklung eines mehrstufigen Verfahrens der Risikokommunikation
€ 10,-
- 03/2005 Herausgegeben von P. Luber, E. Bartelt
Campylobacteriose durch Hähnchenfleisch
Eine quantitative Risikoabschätzung
€ 5,-
- 04/2005 Herausgegeben von A. Domke, R. Großklaus, B. Niemann, H. Przyrembel,
K. Richter, E. Schmidt, A. Weißenborn, B. Wörner, R. Ziegenhagen
Use of Vitamins in Foods
Toxicological and nutritional-physiological aspects
€ 15,-
- 01/2006 Herausgegeben von A. Domke, R. Großklaus, B. Niemann, H. Przyrembel,
K. Richter, E. Schmidt, A. Weißenborn, B. Wörner, R. Ziegenhagen
Use of Minerals in Foods
Toxicological and nutritional-physiological aspects
€ 15,-

- 02/2006 Herausgegeben von A. Schulte, U. Bernauer, S. Madle, H. Mielke, U. Herbst, H.-B. Richter-Reichhelm, K.-E. Appel, U. Gundert-Remy
Assessment of the Carcinogenicity of Formaldehyde
Bericht zur Bewertung der Karzinogenität von Formaldehyd
€ 10,-
- 03/2006 Herausgegeben von W. Lingk, H. Reifenstein, D. Westphal, E. Plattner
Humanexposition bei Holzschutzmitteln – Abschlussbericht zum
Forschungsvorhaben
€ 5,-
- 04/2006 Herausgegeben von M. Hartung
Epidemiologische Situation der Zoonosen in Deutschland im Jahr 2004
Übersicht über die Meldungen der Bundesländer
€ 15,-
- 05/2006 Herausgegeben von J. Zagon, G. Crnogorac, L. Kroh, M. Lahrssen-
Wiederholt, H. Broll
Nachweis von gentechnisch veränderten Futtermitteln – Eine Studie zur
Anwendbarkeit von Verfahren aus der Lebensmittelanalytik
€ 10,-
- 06/2006 Herausgegeben von A. Weißenborn, M. Burger, G.B.M. Mensink, C. Klemm,
W. Sichert-Hellert, M. Kersting, H. Przyrembel
Folic acid intake of the German population – Final report on the research pro-
ject
€ 10,-
- 01/2007 Herausgegeben von A. Epp, R. Hertel, G.-F. Böhl
Acrylamid in Lebensmitteln – Ändert Risikokommunikation das Verbraucher-
verhalten?
€ 5,-
- 02/2007 Herausgegeben von B. Niemann, C. Sommerfeld, A. Hembeck, C. Bergmann
Lebensmittel mit Pflanzensterinzusatz in der Wahrnehmung der Verbraucher
Projektbericht über ein Gemeinschaftsprojekt der Verbraucherzentralen und
des BfR
€ 5,-
- 03/2007 Herausgegeben von M. Hartung
Epidemiologische Situation der Zoonosen in Deutschland im Jahr 2005
Übersicht über die Meldungen der Bundesländer
€ 15,-
- 04/2007 Herausgegeben von R. F. Hertel, G. Henseler
ERiK – Development of a multi-stage risk communication process
€ 10,-
- 05/2007 Herausgegeben von B. Niemann, C. Sommerfeld, A. Hembeck, C. Bergmann
Plant sterol enriched foods as perceived by consumers
Project report on a joint project of consumer advice centres and BfR
€ 5,-

- 01/2008 Herausgegeben von A. Epp, R. Hertel, G.-F. Böl
Formen und Folgen behördlicher Risikokommunikation
€ 5,-
- 02/2008 Herausgegeben von T. Höfer, U. Gundert-Remy, A. Epp, G.-F. Böl
REACH: Kommunikation zum gesundheitlichen Verbraucherschutz
€ 10,-
- 03/2008 Herausgegeben von R. Zimmer, R. Hertel, G.-F. Böl
BfR-Verbraucherkonferenz Nanotechnologie
Modellprojekt zur Erfassung der Risikowahrnehmung bei Verbrauchern
€ 5,-
- 04/2008 Herausgegeben von M. Hartung
Erreger von Zoonosen in Deutschland im Jahr 2006
Mitteilungen der Länder zu Lebensmitteln, Tieren, Futtermitteln und
Umweltproben
€ 15,-
- 05/2008 Herausgegeben von R. Zimmer, R. Hertel, G.-F. Böl
Wahrnehmung der Nanotechnologie in der Bevölkerung
Repräsentativerhebung und morphologisch-psychologische Grundlagenstudie
€ 10,-
- 01/2009 Herausgegeben von R. Zimmer, R. Hertel, G.-F. Böl
Public Perceptions about Nanotechnology
Representative survey and basic morphological-psychological study
€ 10,-
- 02/2009 Herausgegeben von E. Ulbig, R. Hertel, G.-F. Böl
Evaluierung der Kommunikation über die Unterschiede zwischen „risk“ und
„hazard“ – Abschlussbericht
€ 5,-
- 03/2009 Herausgegeben von R. Zimmer, R. Hertel, G.-F. Böl
BfR Consumer Conference Nanotechnology
Pilot project to identify consumer risk perception
€ 5,-

Die Hefte der Reihe BfR-Wissenschaft sind erhältlich beim:

Bundesinstitut für Risikobewertung
Pressestelle
Thielallee 88-92
D-14195 Berlin

Fax: 030-8412 4970

E-Mail: publikationen@bfr.bund.de