

NanoDialog
der Bundesregierung

Chancen und Risiken von Neuartigen Materialien

Zusammenfassung der Diskussion

Juli 2019

Autoren: Antonia Reihlen, Till Zimmermann & Dirk Jepsen

Impressum:

ÖKOPOL GmbH
Institut für Ökologie und Politik

Nernstweg 32–34
D – 22765 Hamburg

www.oekopol.de
info@oekopol.de

Tel.: ++ 49-40-39 100 2 0
Fax: ++ 49-40-39 100 2 33

Inhalt

1	Einleitung	4
2	Zusammenfassungen der Vorträge	5
2.1	Einführung: Kategorisierung von advanced materials	5
2.2	Perspektiven der Behörden auf advanced materials	6
2.2.1	Die Material-Dachstrategie und die Sicherheitsforschung des BMBF	6
2.2.2	Herausforderungen aus Sicht der Chemikaliensicherheit	6
2.2.3	Gefährliche Arbeitsstoffe und advanced materials	7
2.2.4	Sichere Verbraucherprodukte	7
2.2.5	Herausforderungen für Materialprüfungen	8
2.2.6	Neuartige Materialien und Metrologie	9
2.3	Anwendungsbeispiele	9
2.3.1	Herausforderungen der additiven Fertigung	9
2.3.2	Hochleistungspolymere für Leichtbauanwendungen	10
2.3.3	Chancen und Herausforderungen der Anwendung organischer Materialien in der Elektronik	10
2.3.4	Anwendung intelligenter Materialien zur Digitalisierung und drahtlosen Frischemessung in Lebensmittelverpackungen	11
2.3.5	Innovation durch Funktionalisierung - Potenziale und Risiken von nanofunktionalisierten Fasern	12
3	Diskussionen zu advanced materials	12
3.1	Definition von advanced materials	12
3.2	Kategorisierung von advanced materials	13
3.3	Aspekte zur Bewertung der Relevanz von advanced materials	14
3.4	Risikopotenziale von advanced materials	14
3.5	Abfallbehandlung	15
3.6	Gesellschaftliche Bedürfnisse und Technologieentwicklung	16
3.7	Regulierung	17
3.8	Sicherheitsforschung	18
4	Schlussfolgerungen beim FachDialog	19
4.1	Wie können die Entwicklungen in der Anwendung von advanced materials beobachtet werden?	19
4.2	Wie können gesellschaftliche Bedürfnisse identifiziert und Prioritäten abgeleitet werden?	20
4.3	Wie können sachgerechte Regulierungen entwickelt werden?	20

1 Einleitung

Unter dem Begriff „advanced materials“¹ werden Werkstoffe mit Eigenschaften und Funktionalitäten verstanden, die sich von „vorher existierenden“ Materialien unterscheiden. Der Begriff enthält keine Eingrenzung auf einen Größenbereich, bestimmte physikalische Formen oder spezifische Eigenschaften und beschreibt eine heterogene Gruppe an Werkstoffen. Nanomaterialien werden im Allgemeinen als eine Untergruppe der advanced materials verstanden.

Advanced materials werden bereits in einer Vielzahl von Anwendungsbereichen und Produkten eingesetzt und erfüllen darin oft (besonders) hohe Leistungsansprüche. Einige advanced materials können gänzlich neue Funktionen oder unterschiedliche Funktionalitäten in einem Werkstoff vereinen. Teilweise ermöglichen sie qualitativ neue Produkte oder Fertigungsverfahren. Advanced materials sollen u. a. (kritische) Ressourcen einsparen, elektronische Elemente und Geräte leistungsfähiger machen, medizinische Heilungsmöglichkeiten verbessern oder negative Umweltwirkungen von Produkten und Prozessen verringern.

Da das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) auch für die Regulierung von advanced materials zuständig ist, widmete es dem Thema am 22. und 23. Mai 2019 einen FachDialog. Ziel der Veranstaltung war es, über advanced materials zu informieren und einen ersten Meinungsaustausch zum Stand der Regulierung und der Forschung zu initiieren.

Im Verlauf des FachDialogs stellten einige Stakeholdergruppen ihre Sicht auf das Thema dar. Informationen über advanced materials aus dem Bericht „Support for 3rd regulatory review on nanomaterials“² wurden vorgestellt. Fünf Bundesoberbehörden³ erläuterten ihre Perspektive auf das Thema, ergänzt durch eine Darstellung zur zukünftigen Materialdachstrategie des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). Weiterhin wurden fünf konkrete Anwendungsbereiche von advanced materials vorgestellt. Zum Abschluss wurden Optionen für einen gemeinsamen Stakeholderprozess zur Diskussion eines Regulierungsbedarfs eruiert, der

¹ Der FachDialog wurde ursprünglich mit dem Titel ‚Chancen und Risiken von Neuartigen Materialien‘ eingeladen. Im Laufe der Diskussion wurde jedoch festgestellt, dass durch die Übersetzung des Begriffes ins Deutsche, zusätzliche Schwierigkeiten bei der Entwicklung einer Definition auftreten. Daher wird im Folgenden der englische Begriff verwendet.

² Ricardo Energy and Environment: Support for 3rd regulatory review on nanomaterials. Final report, Brussels, 2016

³ Umweltbundesamt (UBA), Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) sowie Bundesamt für Materialforschung und -Prüfung (BAM)

die Sicherheit, gesellschaftliche Bedürfnisse und Erwartungen sowie Chancen und Entwicklungspotenziale von advanced materials berücksichtigt.

Dieser Bericht stellt die Inhalte der Vorträge (Kapitel 2) und Diskussionen (Kapitel 3) des FachDialogs dar. Die Folien der Vorträge sind im Internet⁴ verfügbar.

2 Zusammenfassungen der Vorträge

2.1 Einführung: Kategorisierung von advanced materials

Herr Hansen (Dänische Technische Universität (DTU)) erläuterte in seinem Vortrag, dass es keine formale Definition, aber einige Begriffsbestimmungen von advanced materials gibt. Diese basierten u. a. auf der „Neuartigkeit“ der Eigenschaften oder dem Entwicklungsstand der Materialien. Zudem gäbe es verschiedene Kategorisierungssysteme, die sich in ihren Klassifizierungskriterien⁵ und der Anzahl der Kategorien unterscheiden. Kompositmaterialien werden lt. Herrn Hansen in allen Systemen als zentral angesehen. Die Gründe für ihre zentrale Stellung seien jedoch zu überprüfen. Die Nanomaterialien träten in den Kategorisierungssystemen lediglich als ein Bereich unter mehreren anderen auf. Gemeinsam sei diesen Systemen, dass sie advanced materials als Produkte mit hohem Mehrwert charakterisieren, die konventionellen Materialien aufgrund neuer, einzigartiger Funktionalitäten oder verbesserter Eigenschaften überlegen sind.

Herr Hansen führte aus, dass in den Recherchen zum „3rd regulatory review on nanomaterials“⁶ nur wenig übergreifende Informationen zu den Verwendungen und eingesetzten Mengen von advanced materials, ihren Freisetzungen und den Entwicklungstrends zusammengetragen werden konnten. Regulierungsbedarf sah er nur für wenige Kategorien von advanced materials, u. a. dann, wenn die Stoffdefinition des Chemikalienrechts diese nicht oder nicht eindeutig abdeckt.

⁴ <https://www.oekopol.de/themen/chemikalienpolitik/nanodialog/nanofachdialoge-2016-2017/fachdialog-chancen-und-risiken-von-advanced-materials/>

⁵ So wird z. B. nach der Art der Endprodukte und Prozesse, für die advanced materials entwickelt werden, nach einzigartigen Eigenschaften oder nach Materialzusammensetzung unterschieden.

⁶ Ricardo Energy and Environment: Support for 3rd regulatory review on nanomaterials. Final report, Brussels, 2016

2.2 Perspektiven der Behörden auf advanced materials

2.2.1 Die Material-Dachstrategie und die Sicherheitsforschung des BMBF

Frau Gerhard-Abozari stellte vor, dass das BMBF zurzeit eine Material-Dachstrategie vorbereitet, welche eine strategische Neuausrichtung der BMBF-Materialforschungsförderung forciert und das laufende Materialforschungsprogramm „Vom Material zur Innovation“ ergänzt. Ziel ist es, die große Bedeutung von Materialien für Wirtschaft und Gesellschaft herauszustellen, die im Koalitionsvertrag der Bundesregierung bereits Niederschlag findet. Die Material-Dachstrategie werde sich an den Schwerpunktthemen der Hightech-Strategie 2025 orientieren und die neuen Themen „Digitalisierung“ und „Biologisierung“ der Materialforschung als neue Technologietrends verankern. Die Sicherheitsforschung zu Nanomaterialien werde weiter gefördert und auf Neuartige Materialien erweitert, um eine nachhaltige Entwicklung von Neuartigen Materialien zum Schutz von Mensch und Umwelt zu erreichen. Eine enge Verknüpfung der Innovationsförderung und der Regulierung ist lt. Frau Gerhard-Abozari anzustreben, um zum einen Innovationshemmnisse zu verhindern und zum anderen den Nutzen von Materialinnovationen für die Gesellschaft zu intensivieren.

2.2.2 Herausforderungen aus Sicht der Chemikaliensicherheit

Laut Frau Völker (Umweltbundesamt (UBA)) beschäftigt sich das UBA bislang vornehmlich aus stoffrechtlicher Perspektive mit advanced materials. Frau Völker beschrieb die Aktivitäten und Anpassungen der Regulierung von Nanomaterialien, welche die rechtliche Situation klären und die Datenlage verbessern würden. Ob die mit Nanomaterialien gesammelten Erfahrungen allerdings auf advanced materials übertragbar sind, sei unklar. Zudem müsse aus Sicht des UBAs geprüft werden, ob die Stoffdefinition unter REACH und die Instrumente zur Risikobewertung von Chemikalien auch auf (alle) advanced materials anwendbar sind und ob somit eine sichere Verwendung geprüft und gewährleistet werden kann. Hier werden Schwierigkeiten u. a. aufgrund der Tatsache erwartet, dass die Identität und die Eigenschaften einiger advanced materials nicht allein anhand ihrer chemischen Eigenschaften abgeleitet werden können.

Zur Beantwortung dieser grundlegenden Fragen hat das UBA ein Forschungs- und Dialogprojekt mit dem Ziel beauftragt⁷, neuartige Materialien und relevante Anwendungen zu identifizieren. Für die relevanten Anwendungen sollen dann der Stand des Wissens aufbereitet und die Bedeutung dieser Materialien/Anwendungsfelder für die

⁷ „Themenkonferenzen zu neuartigen Materialien und Werkstoffen: Prüfung des Handlungsbedarfs für die Chemikaliensicherheit“, FKZ 3719 66 402 0. Auftragnehmer: Ökopoll; ISR BOKU Wien

(Risikobewertung in der) Regulierung beurteilt werden. In Rahmen dieses, bis 2021 laufenden Projektes, sind Stakeholder-Konferenzen zur Reflexion der (Zwischen-) Ergebnisse geplant.

2.2.3 Gefährliche Arbeitsstoffe und advanced materials

Herr Packroff (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)) stellte die Prioritäten der BAuA in Bezug auf advanced materials vor. Diese beruhen insbesondere darauf, dass neue, „nanotoxische“ Effekte bislang nicht identifiziert seien und die stoffspezifische Toxizität von Chemikalien bereits ausreichend reguliert sei. Daher fokussiere die BAuA ihre Aktivitäten derzeit auf zwei, für den Arbeitsschutz besonders relevante Gruppen von Partikeln: granuläre, biobeständige Stäube (GBS) und atembare Fasern⁸. Das Besondere an diesen Stoffgruppen sei lt. Herrn Packroff, dass Risiken nur nach inhalativer Exposition entstehen können. Allerdings gäbe es oft zu wenige Informationen zur Exposition, wohingegen über Gefährdungspotenziale schon viel bekannt sei. Seiner Erfahrung nach reiche es für die Risikobewertung nicht aus, nachzuweisen, dass ein Stoff inert ist, sondern zusätzlich müsse die Morphologie beachtet werden. Aus gesundheitlicher Sicht seien Faserstücke am kritischsten und bürge ein höheres Gefährdungspotenzial als granulärer Staub. Da einzelne neuartige Materialien Fasern enthalten, ist laut Herrn Packroff zu prüfen, ob und wie ausreichend Informationen verfügbar gemacht werden können, damit Arbeitgeberinnen und –geber Schutzmaßnahmen ableiten und umsetzen können.

Herr Packroff berichtete von Untersuchungen der BAuA, bei denen zufällig auffiel, dass pechbasierte Carbonfasern zu asbestähnlichen Fasern zerbrechen können. Er stellte fest, dass REACH keine spezifische Identifizierung und Prüfstrategie für Fasern vorsehe. Daher arbeite die BAuA an Vorschlägen, um die REACH-Anhänge und die Gesetze im Arbeitsschutz für atembare Fasern und GBS anzupassen. Dies beinhalte auch entsprechende Prüf-, Mess- und Bewertungsstrategien.

2.2.4 Sichere Verbraucherprodukte

Für das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) stellte Frau Haase beispielhaft einige Anwendungen von advanced materials vor, die ggf. Risiken für Verbraucherinnen und Verbraucher bergen könnten:

- Filamente, die privat im 3D-Druck eingesetzt werden, unterlägen zwar grundsätzlich der Produkthaftung, aber die hergestellten Gegenstände seien

⁸ GBS reichern sich in der Lunge an und können entzündliche Reaktionen auslösen (Staubproblematik). Atembare faserförmige Partikel können Krebs auslösen (Asbestproblematik), wobei der Durchmesser der Fasern einen Einfluss auf die Wirkung hat. Man geht davon aus, dass sich dünne Fasern in der Lunge „verknäulen“ und sich in Fresszellen eher wie Partikel verhalten, aber dennoch als „Staub“ die Lunge schädigen können.

nicht geprüft. So sei eine Migration von (Schad-)Stoffen denkbar, wenn z. B. Produkte für den Lebensmittelkontakt gedruckt würden.

- Da eine spezifische Gesetzgebung für Textilien fehle, sei unklar, wie Expositionen und mögliche Risiken durch Sensoren in Kleidung ermittelt und kontrolliert werden können.
- Eine weitere kritische Anwendung sind aus Sicht des BfR Materialien, die mit biologischen Systemen in Wechselwirkung treten, z. B. Implantate und sog. wearables⁹.

Frau Haase erwähnte auch, dass in Lebensmittelverpackungen aktive bzw. intelligente Materialien verwendet werden, die u. a. gezielt Stoffe abgeben oder aufnehmen. Dies sei durch die spezifische Gesetzgebung abgedeckt. Somit könne man in diesem Fall sicherer sein, dass mögliche Risiken identifiziert und bearbeitet werden.

Spezifische Herausforderungen ergeben sich laut Frau Haase auch aus der Strukturiertheit von advanced materials, welche zu sequenziellen Effekten¹⁰ führen könnten. Diese könnten mit den existierenden Instrumenten nicht bewertet werden.

Vor dem Hintergrund dieser Überlegungen wird das BfR zusammen mit weiteren Partnerinstitutionen im Rahmen des vom BMBF geförderten Forschungsprojektes InnoMatLife die Sicherheit verschiedener „innovativer Materialien“ entlang ihres Lebenszyklus untersuchen.¹¹ Dieses Projekt bietet auch die Möglichkeit, zu untersuchen, welche Erkenntnisse, Herangehensweisen und Methoden sich aus dem Feld der Nanomaterialien auf „innovative Materialien“ übertragen lassen.

2.2.5 Herausforderungen für Materialprüfungen

Herr Rühle (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)) erläuterte, dass die BAM für advanced materials u. a. Referenzmaterialien bereitstellt und Referenzmessverfahren und -daten erarbeitet. Da sich die Funktionalität der advanced materials auch aus ihrer Struktur ergebe, sollten Messmethoden die Morphologie entsprechend berücksichtigen. Ob dies jedoch immer möglich ist, stellte

⁹ ‚Miniaturcomputer‘, die am Körper getragen und zukünftig aber ggf. implantiert werden sollen.

¹⁰ Hiernit wurden Effekte bezeichnet, die aufgrund der Struktur von advanced materials nacheinander ablaufen könnten, wenn sich diese Struktur zum Beispiel im Körper abbaut. Der Kern eines Nanomaterial mit zwei Schalen beispielsweise erst nach einem Abbau der beiden Schalen eine toxische Wirkung erzeugen können. Wenn auch die Schalen adverse wirken, gäbe es also eine Folge von Wirkungen durch das so strukturierte Material.

¹¹ Gegenstand von InnoMat.Life sind drei Klassen von innovativen Materialien: polydisperse Materialien der industriellen Anwendung (z. B. Metall-/ Polymerpulver für 3D-Druck), Materialien mit besonderen und möglicherweise kritischen Morphologien und hybride Materialien, z. B. mit gemischten organisch/anorganischen Strukturen (https://www.bfr.bund.de/de/presseinformation/2019/13/innomat_life_mehr_sicherheit_fuer_neuartige_materialien-240513.html).

Herr Rühle infrage. Zudem wies er darauf hin, dass aufgrund der strukturabhängigen Veränderung von Eigenschaften, „grouping“-Ansätze voraussichtlich nur begrenzt möglich sind. Er führte auch aus, dass häufig die Funktionalitäten der advanced materials über die Funktionalitäten der Einzelkomponenten hinauszugehen scheinen.

Er bestätigte, dass es ein sehr breites Anwendungsspektrum gebe, was eine Herausforderung für die Sicherheit in Chemie und Technik sei. Anhand verschiedener Beispiele zeigte er, welche Aspekte der Materialien für ihre Funktionalität relevant sein und wie diese gemessen werden könnten. Herr Rühle betonte, dass die Sicherheit von advanced materials (in ihren jeweiligen Anwendungen) im Designprozess berücksichtigt werden sollte.

2.2.6 Neuartige Materialien und Metrologie

Herr Richter (Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)) führte aus, dass eine verlässliche und definierte Messtechnik zur Charakterisierung von Materialien die Grundlage für die Anwendung von Technologien sowie für die Bewertung ihrer Sicherheit ist. Um die Wirkung von Nanomaterialien bzw. advanced materials beschreiben zu können, müsse zunächst die chemisch-physikalische Eigenschaft identifiziert werden, welche für diese Wirkung ursächlich ist. Für diese Eigenschaft müsse dann die passende Messmethode entwickelt werden. Herr Richter erläuterte beispielhaft anhand der Prinzipien einiger Messmethoden, wie diese Schritte in der Praxis aussehen und wie verschiedene Partikeleigenschaften ein Messergebnis beeinflussen können.

2.3 Anwendungsbeispiele

2.3.1 Herausforderungen der additiven Fertigung

Herr Mülhaupt (Freiburger Materialforschungszentrum (FMF)) gab in seinem Vortrag einen breiten Überblick über die Verfahren der additiven Fertigung. Er beschrieb, dass Vorteile des 3D-Drucks gegenüber traditionellen Fertigungstechniken u. a. darin bestehen, dass kein Formenbau notwendig ist, dass dezentral produziert werden kann und dass mehrere Materialien gleichzeitig verarbeitet werden können. Nachteilig sei, dass Stützstrukturen benötigt würden, die Fertigung (noch) relativ lange dauere und vereinzelt noch Qualitätsdefizite bestünden. Herr Mülhaupt erwähnte verschiedene F&E-Aktivitäten zur Optimierung der jeweiligen Verfahren.

Herr Mülhaupt trug vor, dass das Spektrum der verarbeiteten Materialien sehr groß ist und organische, anorganische sowie auch biologische Materialien umfasst. Diese könnten als Ausgangsmaterial pulverförmig, flüssig oder als Filamente vorliegen. Die

Verfahren basierten auf unterschiedlichen Prinzipien, die auf die jeweiligen Anwendungsanforderungen anzupassen seien. So entstehe derzeit der sog. 4D-Druck, dessen vierte Dimension die Zeit sei und dessen Produkte auch Bewegungsabläufe ermöglichen, die beispielsweise für Orthesen genutzt werden könnten.

2.3.2 Hochleistungspolymere für Leichtbauanwendungen

Herr Dreyer (Fraunhofer IAP und TH Wildau) stellte dar, dass Hochleistungspolymere im Leichtbau, insbesondere für die Luftfahrt- und Automobilindustrie, aber auch z. B. in der Fertigung von Windkraftanlagen genutzt werden. Aktuell würden vielfach Verbundwerkstoffe eingesetzt, bei denen ausgerichtete Fasern durch eine Harzmatrix fixiert und stabilisiert werden.

Herr Dreyer erläuterte, dass durch eine Leichtbauweise Energie eingespart werden kann, da die zu bewegenden Lasten verringert und lastgerechter konstruiert werden kann. Als nachteilig benannte er die geringe Recyclingfähigkeit der verwendeten Verbundwerkstoffe: Die Harzmatrices könnten lediglich chemisch abgebaut und als Rohstoffe für neue Harze verwendet werden. Eine Rückgewinnung und Wiederverwendung der Fasern sei nicht möglich und deren Entsorgung schwierig. Beim thermischen Recycling würde die Matrix verschwelen und die Faserreste könnten Elektrofilter in Müllverbrennungsanlagen verstopfen. Wenn Carbonfasern beim thermischen Recycling schrumpfen, könne daraus ein erhöhtes Gefährdungspotenzial resultieren. Daraus ergebe sich die Gestaltungsanforderung, dass die Fasern möglichst effektiv chemisch abgebaut werden können.

Ein weiterer Nachteil gegenüber konventionellen Materialien sei die Tatsache, dass Verbundwerkstoffe spröde und daher gegen Schlagschäden wenig tolerant seien. Dies erfordere ein Qualitätsmonitoring und ggf. vorsorgliche Reparaturen der Produkte, besonders in sicherheitsrelevanten Anwendungen, wie dem Flugzeugbau.

2.3.3 Chancen und Herausforderungen der Anwendung organischer Materialien in der Elektronik

Herr Meerholz (Universität Köln, COPT) berichtete über die Anwendung organischer Halbleiter in der Elektronik.

Vorteile organischer Halbleiter seien u. a. der geringe Gehalt an anorganischen Verbindungen, (geringere Toxizität, geringerer Verbrauch (kritischer) Rohstoffe) und die Möglichkeit, flexible und flächige Module zu erzeugen (Anwendung z. B. in der Fotovoltaik oder Lichterzeugung). Da sie oft einen geringen Massenanteil in einem Gerät als die anderen verwendeten Materialien hätten, würden die Umweltnutzen organischer Halbleiter durch die Umweltlasten anderer Materialien in der Regel überlagert und somit nicht sichtbar.

Organische Halbleiter seien grundsätzlich langsamer und weniger leistungsfähig als anorganische Halbleiter. Daher könnten sie auch auf absehbare Zeit die „klassischen“ Halbleiter nicht ersetzen. Organische Halbleiter würden jedoch zusätzlich oder ergänzend eingesetzt. Wichtige Anwendungsbereiche sind laut Herrn Meerholz neben der Erzeugung von Licht und Energie auch die Integration elektronischer Funktionen in Verpackungen, Kleidung, Taschen und medizinischen Anwendungen.

2.3.4 Anwendung intelligenter Materialien zur Digitalisierung und drahtlosen Frischemessung in Lebensmittelverpackungen

Herr Yakushenko (is it fresh GmbH) stellte vor, wie in Verpackungen integrierte, organische Elektronikkomponenten genutzt werden können, um die Frische von Lebensmitteln zu messen und zu kommunizieren. Ziel des vorgestellten Systems sei es, den Anteil der während des Transports und der Lagerung verderbenden Lebensmittel zu verringern. Dies solle durch den Ersatz des fixen Mindesthaltbarkeitsdatums mit einer flexiblen Frischeüberwachung erreicht werden, deren Daten von der Transportkette und im Lebensmittelhandel entsprechend genutzt werden könnten.

Herr Yakushenko erläuterte, dass der elektronische Sensor (Chip) Informationen über die Frischparameter an ein Auslesegerät weitergeben kann. Der Chip sei eine gedruckte, flexible Schicht, die aufgrund der geringen Materialmengen und Komplexität im Verhältnis zu vollständig anorganischen Systemen¹² sehr kostengünstig sei. Es werde keine Batterie benötigt. Der Chip könne der Verpackung darüber hinaus auch eine eindeutige Identität verleihen, die dann z. B. mit anderen Informationen aus der Herstellungs- und Lieferkette verknüpft werden könnte.

Lebensmittelverpackungen unterfallen dem Lebensmittelrecht, das lt. Herrn Yakushenko im konkreten Anwendungsfall widersprüchlich ist: Der Chip dürfe nicht direkt mit dem Lebensmittel in Kontakt kommen. Wäre er aber durch eine Membran vom Lebensmittel getrennt, würde selbst bei vollständiger Migration aller Inhaltsstoffe des Chips der Migrationsschwellenwert unterschritten. Ebenfalls unklar sei, inwieweit die verwendete Dünnschichtelektronik dem Elektro- und Elektronikgerätegesetz unterläge und wie sie zu entsorgen sei. Während eine gemeinsame Erfassung und Sammlung mit anderen Elektroaltgeräten weder praktisch möglich noch sinnvoll sei, stünde der gemeinsamen Sammlung und dem Recycling zusammen mit Altverpackungen nichts entgegen.

¹² Der Sensor Chip enthält ebenfalls einen geringen Anteil an anorganischen Halbleitern, besteht aber überwiegend aus organischen Schichten.

2.3.5 Innovation durch Funktionalisierung - Potenziale und Risiken von nano-funktionalisierten Fasern

Herr Brüll (Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen) stellte zwei Ansätze zur Funktionalisierung von Textilien vor: die Additivierung von Fasern im Herstellungsprozess und die Herstellung einer Nanostruktur durch Faser-/Textilstrukturierung.

Beispiele für Additivierungen sind: unsichtbare Markierung mit Fluoreszenzfarbstoffen, Erzeugung elektrischer Leitfähigkeit durch Metall- oder Rußnanopartikel sowie Erzeugung einer biologischen Wirkung bei Agrartextilien durch Integration von Bioziden und Geruchsstoffen. Die Additive werden direkt im Spinnprozess an die Fasern gebunden, weswegen nur geringe Migrationen der Partikel beobachtet wurden. Im Einsatz könne es jedoch durch Schädigung und Witterung zur unkontrollierten Freisetzung der Partikel kommen. Dies könne lediglich durch eine hohe Polymerhaftung der Partikel unterdrückt werden.

Nanostrukturierungen werden lt. Herrn Brüll durch die Verwendung spezifischer Spinnverfahren hergestellt. Beispiele hierfür seine Fließstoffe aus Endlosfilamenten zur Filtration, Hohlfasern zur Dialyse oder sog. Schneeflockenfasern zur Schallabsorption.

In Bezug auf die Problematik des Mikroplastiks werde an zwei Ansätze geforscht: die Filtration von Mikroplastik aus Abwasser und die Verwendung abbaubarer Polymere. Hierbei ergebe sich ein Spannungsfeld zwischen Recycling und Bioabbaubarkeit: Abbaubare Produkte könnten die Umweltbelastung reduzieren aber nicht recycelt werden und müssten daher stets neu hergestellt werden.

3 Diskussionen zu advanced materials

In den folgenden Unterkapiteln werden die Inhalte der Diskussionen thematisch sortiert und zusammenfassend wiedergegeben.

3.1 Definition von advanced materials

Beim FachDialog wurde von einigen Teilnehmenden mehrfach betont, dass eine regulatorische Diskussion über advanced materials eine oder ggf. auch mehrere Definitionen benötige, die eindeutig, verständlich und überprüfbar sind. Allerdings bezweifelten viele Beteiligte aufgrund der Vielzahl der Materialien und ihrer Kombinationen, dass die Formulierung einer übergreifenden Definition für die Regulierung möglich und sinnvoll ist.

Die Teilnehmenden am FachDialog diskutierten, dass die meisten vorgeschlagenen „Definitionen“ von advanced materials „relative“ Elemente enthielten. Advanced materials würden in Abgrenzung zu anderen (ebenfalls) nicht definierten Gruppen von Materialien beschrieben werden, die wahlweise „vorhanden“, „älter“, „weniger leistungsfähig“ etc. genannt würden. Es sei daher unklar, ab wann eine Eigenschaft oder Funktionalität „neuartig“, „innovativ“ oder „anders als zuvor“ ist. Zudem ergebe sich das Problem, dass sich alt/neu oder innovativ im zeitlichen Verlauf verändere.

In der Diskussion wurden zwei eigenständige Definitionen beispielhaft formuliert:

- Advanced materials sind Materialien mit Eigenschaften, die sich allein über die chemische Zusammensetzung nicht erklären lassen.
- Advanced materials sind Materialien mit spezifischer Funktionalität, die mehr sind als die Summe der Einzelkomponenten.

3.2 Kategorisierung von advanced materials

Die Teilnehmenden am FachDialog sahen eine Notwendigkeit, advanced materials in Gruppen zu unterteilen: Aufgrund der hohen Materialvielfalt sei eine Untersuchung jeder einzelnen Variante im Rahmen regulatorischer Anforderungen praktisch nicht durchführbar. Es könne geprüft werden, inwieweit Erkenntnisse der Nanosicherheitsforschung und die entwickelten Gruppierungsansätze auf komplexere advanced materials übertragbar seien. Eine Reduzierung der Komplexität und Vielfalt wurde unter anderem gewünscht, um:

- den Austausch über advanced materials zu unterstützen, indem eindeutig geklärt und konkretisiert wird, worüber kommuniziert wird,
- die Erhebung und Verarbeitung von Daten zu advanced materials zu strukturieren und priorisieren.
- die Förderung von Projekten zur Innovation und Sicherheitsforschung zu organisieren,
- die Entwicklung von Definitionen für die Regulierung von (Untergruppen der) advanced materials zu unterstützen,
- die Angemessenheit von existierender Regulierung strukturiert überprüfen zu können.

Allerdings wurde auch kritisch hinterfragt, ob es überhaupt möglich ist, ein eindeutiges System zur Unterteilung von advanced materials zu erarbeiten, da eine Zuordnung von Materialien zu (nur) einer Kategorie teilweise für unmöglich gehalten wurde. Zudem sahen einige Teilnehmende die Gefahr sehr komplizierter Kategorien, wenn diese den Kombinationen von Materialien und Technologien Rechnung trügen.

3.3 Aspekte zur Bewertung der Relevanz von advanced materials

Die Teilnehmenden des FachDialogs waren sich einig, dass für eine Beobachtung der Entwicklungen im Bereich der advanced materials sowie unter regulativen Gesichtspunkten priorisiert werden müsste, welche advanced materials „relevant“ sind. In eine Bewertung der Relevanz könnten zum Beispiel die folgenden Aspekte einfließen:

- Herstellung- und Verwendungsmengen,
- Toxizität,
- Größe (wobei keine willkürliche Grenze die Relevanz einschränken sollte),
- Partikeleigenschaften, die schädlich auf Mensch und Umwelt wirken (können); Gehalt an „WHO-Fasern“ oder GBS bzw. Potenziale, diese freizusetzen,
- Kombinationen von Materialien:
 - Für die wenige Informationen verfügbar sind,
 - Die biologische Materialien enthalten,
 - Für die Mischungs- oder sequenzielle Effekte möglich sind oder für die herkömmliche Risikobewertungsinstrumente (wahrscheinlich) nicht anwendbar sind.
- Möglichkeit der Translokation von Materialien im Körper,
- Anwendungen mit hoher Umwelt- und Verbraucherexposition,
- Geringes Recyclingpotenzial,
- Verwendung seltener / kritischer Rohstoffe (Ressourcenschutz).

Es wurde nicht diskutiert, welche Kriterien eine besonders hohe oder niedrige Relevanz indizieren und welches Gewicht sie im Rahmen einer Priorisierung haben sollten.

Da die Relevanzbewertung primär unter dem Gesichtspunkt der Risikovermeidung und Regulierung diskutiert wurde, sind in diesen Kriterien keine Chancenaspekte adressiert. In der Diskussion wurde jedoch häufig darauf hingewiesen, dass neben der Vermeidung der Risiken der Blick auch auf die Förderung und Verstärkung der Chancen durch die Anwendung von advanced materials gerichtet werden sollte.

3.4 Risikopotenziale von advanced materials

Beim FachDialog wurden einige Risikopotenziale von advanced materials vertieft diskutiert, während andere Bereiche, z. B. die Themen Ressourcenknappheit und Ressourcenkritikalität, Kreislaufwirtschaft und Ethik zwar benannt, jedoch aus Zeitgründen nicht in der Tiefe besprochen werden konnten.

Die Stakeholder stellten fest, dass die chemische Zusammensetzung (lediglich) einer der Faktoren ist, welche die (öko-)toxischen Wirkungen und damit die möglichen Risiken von advanced materials beeinflussen. Auch wenn die Art der gefährlichen Eigenschaften zwar bekannt sei, befürchteten verschiedene Teilnehmende, dass die „herkömmlichen“ Instrumente für eine Risikobewertung nicht ausreichen, da weitere Faktoren die Wirkungen beeinflussen könnten, z. B. das Vorhandensein verschiedener Materialien (Kombinationen) und die Materialstruktur (sequenzielle Effekte).

Bezüglich der Partikeleigenschaften von einem Teil der advanced materials wurde mehrfach auf die regulatorischen Anpassungen für Nanomaterialien verwiesen, die sowohl die Vorgaben zur Datengenerierung als auch die Risikobewertungsinstrumente betrafen. Ob neue, umwelt- oder gesundheitsgefährdende Partikeleffekte bei anderen (Gruppen von) advanced materials auftreten, die ebenfalls regulatorische Anpassungen notwendig machen könnten, wurde nicht im Detail diskutiert, aber als Forschungsbedarf formuliert.

Es bestand Einigkeit darüber, dass atembare Fasern und GBS Risikopotenziale aufweisen (s. Kapitel 2.2.3). Diese Gruppen seien relevant, da einige advanced materials diese Partikelformen enthielten oder in solche zerfallen könnten. Für die Risikobewertung wurde allerdings betont, dass die Gruppeneinteilung nicht eindeutig sei und zusätzlich auch (klassisch) toxische Eigenschaften vorhanden sein könnten.

Auch advanced materials, die biologische Materialien beinhalten oder Anwendungen von advanced materials im menschlichen Körper (Implantate) sowie Verwendungen mit besonders hoher Verbraucherexpositionen wurden von verschiedenen Teilnehmenden als möglicherweise besonders risikobehaftet bezeichnet.

Aus Sicht des Verbraucherschutzes wurde ein Augenmerk darauf gelenkt, dass Technologien zwar für eine bestimmte Anwendung entwickelt, sie später aber in weitere Bereiche „überspringen“ würden. Dies führe dazu, dass ursprüngliche Technologie- und Materialbewertungen eventuell nicht alle möglichen Szenarien und Risiken abdecken. So würden z. B. Innovationen aus der Medizin teilweise in kosmetischen Anwendungen aufgenommen, für die sie jedoch nicht bewertet wurden (z. B. Nanocarriersysteme). Ein anderes Beispiel seien Techniken der additiven Fertigung, die jetzt als 3D-Druck im privaten Umfeld angewendet und adaptiert werden.

3.5 Abfallbehandlung

Die Chancen und Risiken von advanced materials für die Kreislaufwirtschaft wurden vielfach angesprochen. Die Stakeholder sahen nur vereinzelt Möglichkeiten, Verbundmaterialien werkstofflich im Kreislauf zu führen. Gründe hierfür wurden insbesondere darin gesehen, dass die Materialkombinationen so „fest“ seien, dass

keine mechanische Trennung und somit kein mechanisches Recycling erfolgen könne. Während es möglich erschien, dass manchmal (Haupt-)Komponenten eines Verbundmaterials chemisch recycelt werden, wurde die Wahrscheinlichkeit, dass dies für alle oder zumindest mehrere der kombinierten Materialien wirtschaftlich sei, eher gering eingeschätzt. Ob ein chemisches Recycling grundsätzlich auch (ökologisch) nutzbringend ist, wurde nicht diskutiert.

Einige Akteure erwähnten, dass Produkte oder Teile von Produkten, die advanced materials enthalten, erkannt und separat gesammelt werden müssten, um sie entweder einem spezifischen Recycling zuzuführen oder sie aus den Materialkreisläufen auszuschleusen, falls sie das Recyclat verunreinigen oder die Abfallbehandlungsprozesse stören würden. Weder Systeme zur Identifizierung, noch für die getrennte Sammlung und Behandlung seien derzeit umfassend vorhanden. Die Nutzung von Chips z. B. im Verpackungsbereich (s. Kapitel 2.3.4) oder der Additivierung von Textilien mit Fluoreszenzfarbstoffen (s. Kapitel 2.3.5) könnten jedoch auch für die Kreislaufwirtschaft hilfreiche Funktionalitäten bereitstellen, wenn sie zur Markierung und späteren Identifizierung von Produkten in Abfallströmen genutzt werden.

3.6 Gesellschaftliche Bedürfnisse und Technologieentwicklung

In einigen Diskussionen wurde hinterfragt, ob und – wenn ja – inwieweit die technologischen Innovationen durch advanced materials gesellschaftlich notwendig und ökologisch sinnvoll sind. Dies sei angesichts der sehr schnellen Entwicklungen und der Vielzahl an Anwendungsfeldern kaum nachzuverfolgen und zu bewerten. Möglichkeiten, die ethischen und gesellschaftlichen Aspekte zu berücksichtigen, seien Ethikkommissionen oder „codes of conduct“.

Einige Teilnehmende zweifelten an, dass advanced materials, auch wenn sie mit dem Ziel der Ressourcenschonung und der Lösung von Umweltproblemen entwickelt werden, einen (signifikanten) Beitrag hierzu leisten können. Dies läge insbesondere daran, dass eventuelle Umweltnutzen durch Umweltlasten an anderer Stelle kompensiert werden könnten, z. B. durch eine mangelnde Recyclingfähigkeit oder einen (vermuteten) hohen Ressourcenaufwand bei der Herstellung.

Es bestand Einigkeit darüber, dass Unternehmen sowie Forscherinnen und Forscher in wissenschaftlichen Institutionen bereits früh in der (Produkt-)Entwicklung mögliche Risiken und unerwünschte Effekte von advanced materials berücksichtigen sollten. Hierzu zählen gemäß der Diskussion beim FachDialog insbesondere:

- (Öko-)toxikologische Aspekte, einschließlich der Betrachtung, ob und wie sich Materialien im Lebenszyklus verändern,
- Anwendungen, Expositionen und Risiken entlang des Lebenszyklus,

- Ressourceneffizienz,
- Kritikalität der Rohstoffe,
- Kreislauffähigkeit,
- Ethische Aspekte in der Anwendung,
- Regulatorische Anforderungen für mögliche zukünftige Anwendungen.

Einige Teilnehmende führten aus, dass Investorinnen und Investoren insbesondere in Deutschland nur in geringem Ausmaß in Chemie- und Werkstoff-Startups investierten, wohingegen Investitionen in digitale Startups deutlich schneller getätigt würden. Auch wenn eine frühzeitige Klärung und Ausformung einer sachgerechten regulatorischen Rahmung aus fachlicher Perspektive Investitionsrisiken möglicherweise senken könne, schränke in der Praxis ein frühzeitiges Prüfen möglicher rechtlicher Anforderungen nicht nur das Suchen von und das „Spielen“ mit innovativen Lösungen ein, sondern schrecke auch Investitionen ab. Investorinnen und Investoren hätten nicht die Ressourcen, sich tiefergehend mit rechtlichen Überlegungen zu beschäftigen und würden sich eher von schlaglichtartigen Beobachtungen zur gesellschaftlichen Akzeptanz leiten lassen. Eine allein auf das Risiko fokussierte Regulierungsdiskussion würde abschreckend auf Wissenschaft und Unternehmen wirken, die auf diesem Forschungs- und Innovationsfeld arbeiten.

Insgesamt sollten Bedürfnisse und Besorgnisse der Gesellschaft, die u. a. aus der Diskussion um Chemikaliensicherheit und Nanomaterialien bekannt seien, in Unternehmen und Wissenschaft bei der Produktentwicklung orientierend wirken. Hierfür sei es wichtig, sowohl die gesellschaftlichen Perspektiven als auch die Zielrichtungen von Innovationen konkret und transparent auszuformulieren und z. B. in partizipativen Prozessen zu diskutieren (open innovation).

3.7 Regulierung

In Bezug auf mögliche Regulierung(en) wurden ein „top down“ und ein durch evidenzbasierte Risikohypothesen getriebener Ansatz „bottom-up“ diskutiert.

Beim FachDialog wurde der top-down Ansatz wie folgt verstanden: Advanced materials werden anhand einer oder mehrerer Definitionen beschrieben. Für die definierten Materialien werden Anforderungen bzgl. der Bereitstellung von Informationen, der Sicherheitsbewertung sowie der Identifizierung möglicher Maßnahmen zum Risikomanagement formuliert. Dies entspricht dem Regelungsansatz von REACH.

Demgegenüber würde eine Regulierung, die auf evidenzbasierten Risikohypothesen aufbaut (bottom-up), als dynamischer Prozess verstanden. Es würde zunächst identi-

fiziert, für welche (Kombinationen von) advanced materials und Anwendungsbereichen es Hinweise auf mögliche Risiken gibt. Im zweiten Schritt würden diese Fälle weitergehend analysiert. Würden Risiken identifiziert, wären geeignete und ggf. spezifische Anforderungen zu definieren und es müsste geprüft werden, ob eine regulatorische Anpassung oder neue Regelungen notwendig sind.

In der Diskussion hat die Mehrheit der Teilnehmenden den zweiten, auf Risikohypothesen basierenden Ansatz favorisiert, da mit diesem die Vielzahl und Heterogenität der advanced materials und deren Anwendungsfelder eher bearbeitbar sei. Allerdings wurde kritisch angemerkt, dass der bottom-up Ansatz die Gefahr berge, dass die Verantwortung für Risikobewertung und -management von advanced materials teilweise von der Industrie auf die Behörden verschoben werden könnte.

Es wurde auch kontrovers diskutiert, ob eine Regulierung horizontal ansetzen sollte (beispielsweise sektoral oder spezifisch für bestimmte Anwendungsfelder) oder ob eine vertikale Regulierung (stoffliche/materialspezifische Perspektive) sinnvoller sein könnte.

In der Diskussion um mögliche Regulierungsinstrumente hatten die Beteiligten eine Präferenz für die Ausgestaltung/Anpassung vorhandener gegenüber der Entwicklung neuer Gesetze/Verordnungen. Einige Teilnehmende betonten allerdings, dass auf einige advanced materials die bestehenden Gesetze nicht anwendbar seien, z. B. weil diese, wie z. B. die Multikomponentensysteme, von der REACH-Stoffdefinition nicht erfasst würden. Es bedürfe angesichts der raschen technologischen Entwicklung einer „regulatory preparedness“.

Einige Stakeholder betonten die Bedeutung von Aktivitäten, welche die Regulierung ergänzen, wie z. B. eine verstärkte Kommunikation in der Wertschöpfungskette. Dies sei z. B. zur Erfüllung der Informationspflichten über SVHC in Erzeugnissen bereits in der Umsetzung. Hier würden auch IT-Systeme, wie blockchain und andere distributed ledger Technologien diskutiert, um den Informationsaustausch zu unterstützen.

3.8 Sicherheitsforschung

Beim FachDialog wurde insbesondere ein methodischer Forschungsbedarf deutlich, der sich bezieht auf:

- die Identifizierung von advanced materials und/oder derjenigen Anwendungsfelder, die ein mögliches Risikopotenzial aufweisen,
- die Prüfung der Anwendbarkeit von Instrumenten zur Risikobewertung und zum Risikomanagement und, je nach Ausgang der Prüfung, ggf. die Anpassung und/oder Neuentwicklung von entsprechenden Instrumenten.

In verschiedenen Wortäußerungen wurde zudem darauf hingewiesen, dass es hilfreich und wichtig sei, die Sicherheitsforschung stärker in die Innovationsforschung bzw. Produktentwicklung zu integrieren. Dies schließe auch die Berücksichtigung möglicher regulatorischer Aspekte bei der Produktentwicklung ein, um zu vermeiden, dass Produkte entwickelt werden, die die regulatorischen Sicherheitsanforderungen nicht erfüllen. Diesbezüglich wurde vorgeschlagen, dass Einrichtungen zur Unterstützung von Ausgründungen und Startups regulatorisches Know-How in Form von Vorlesungen, Beratungen oder Informationsgesprächen vermitteln.

4 Schlussfolgerungen beim FachDialog

Am Ende des FachDialogs wurden die Erkenntnisse aus Vorträgen und Diskussionen anhand von Leitfragen zusammengetragen.

4.1 Wie können die Entwicklungen in der Anwendung von advanced materials beobachtet werden?

Die Breite und Heterogenität der advanced materials und ihrer Anwendungsbereiche in Kombination mit einer derzeit sehr schnellen Entwicklung machen es schwer, einen Überblick zu gewinnen und ggf. kritische Trends zu identifizieren. Es gab verschiedene Vorschläge, wie die Entwicklungen beobachtet werden könnten, die jedoch keine offensichtliche, allgemeine Zustimmung hatten. So schlugen einige Teilnehmende vor, die Beobachtung zu unterstützen durch:

- eine Auswertung von Forschungsprogrammen,
- Veröffentlichung regelmäßiger, fokussierter Berichte über die Materialforschung (ähnlich wie Berichte ‚nano.DE‘ für die Nanoforschung) oder
- eine Ausweitung des Monitorings des EUON¹³.

Partizipations- und Dialogprozesse könnten sowohl zur Beobachtung als auch zur Identifizierung von Prioritäten und Regelungsprinzipien genutzt werden. Kontinuierliche und etablierte Kommunikationsstrukturen wurden befürwortet, wie z. B. im Arbeitsschutz bereits etabliert. Diese partizipatorischen Elemente wurden von verschiedenen Teilnehmenden als wichtige Elemente der Governance von advanced materials angesehen.

¹³ Europäisches Observatorium für Nanomaterialien. Das EUON ist eine Einrichtung der ECHA und hat unter anderem die Aufgabe, Informationen über Nanomaterialien für die Öffentlichkeit zu sammeln und bereitzustellen.

4.2 Wie können gesellschaftliche Bedürfnisse identifiziert und Prioritäten abgeleitet werden?

Eine Priorisierung von Regulationen und Sicherheitsforschung sollte sich an den gesellschaftlichen Bedürfnissen und Besorgnissen ausrichten. Diese sollten gemäß der Teilnehmenden aus den Zielen und Prinzipien bestehender Regulierungen abgeleitet werden. Die Erwartungen in Bezug auf Lösungen für gesellschaftliche Herausforderungen seien ebenso zu berücksichtigen wie die Risikohypothesen von Behörden, Umwelt- und Verbraucherverbänden, Forschungsplattformen und Industrieorganisationen. Übergeordnete Politikziele, wie die Vermeidung von Risiken für Umwelt und Gesundheit, die Steigerung des Recyclings und die Senkung des Ressourcenverbrauches, gäben ebenfalls eine entsprechende Orientierung.

In Bezug auf den effizientesten Weg zur Bildung von Kategorien von advanced materials und einer Priorisierung derselben bzgl. möglicher Risiken und Regulierungsbedarfe gab es unterschiedliche Ansichten. Unter anderem wurde vorgeschlagen, systematisch die Chancen und Risiken von (Kategorien von) advanced materials (Matrix) zu prüfen, die Anwendungsfelder strukturiert zu analysieren oder anhand der Nutzen und Ziele von Materialien/Anwendungen eine Priorität abzuleiten. Es wurde angemerkt, dass advanced materials (in Anwendungen), die mit vorhandenen Risikobewertungsinstrumenten nicht ausreichend bewertet werden können, zu priorisieren seien.

4.3 Wie können sachgerechte Regulierungen entwickelt werden?

In der Diskussion darüber, was und wie gegebenenfalls zu regulieren sei, wiesen einige Teilnehmende des FachDialogs darauf hin, dass die Partizipation in der Entwicklung von Gesetzen nur eingeschränkt hilfreich sei. Es wurde auch angemerkt, dass bei bekannten Gefährdungen und Risiken sowohl Beschränkungen unter REACH als auch Selbstverpflichtungen zum Risikomanagement genutzt werden können.

Nach Meinung vieler Stakeholder sollten bestehende Regelungen überprüft und falls notwendig angepasst werden (z. B. Ökodesignanforderungen). Die Entwicklung neuer Regelungen solle nur dann erwogen werden, wenn die bestehenden nicht ausreichen oder nicht ausreichend erweitert werden können.

Einige Teilnehmende bezweifelten, dass die Entwicklung einer Regulierung, die sich auf begründete Risikohypothesen stützt, ausreichend und möglich sei, da die dafür notwendigen Daten fehlten. Daher müsste zumindest ein Monitoring initiiert werden, das sich an zu entwickelnden Besorgnis- und Entlastungskriterien orientiert, um Risikobereiche erkennen zu können.

In einer langfristigen Perspektive erschien es einigen Beteiligten möglich, basierend auf den Erfahrungen der Einzelfallbewertungen, Gruppierungsansätze für die Regulierung zu bilden.

Einige Stakeholder regten an, dass das BMU einen breiteren gesellschaftlichen Dialog zum Thema advanced materials, ähnlich der NanoKommission, initiieren könnte.