

NanoDialog
der Bundesregierung

Chancen und Risiken von Neuartigen Materialien

Hintergrunddokument

Mai 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	Hintergrund	4
1.1	NanoDialog der Bundesregierung	4
1.2	Zielsetzung und Themenstellung des FachDialogs	4
1.3	Geplanter Ablauf	5
2	Einführung	6
2.1	Forschung	6
2.2	Anwendungsbereiche, Nutzen und Risiken	7
2.3	Regulierung Neuartiger Materialien.....	8
3	Zusammenfassungen der Vorträge	9
3.1	Kategorisierung von Neuartige Materialien“	9
3.2	Mögliche Risiken und Regulierung - Überblick aus Perspektive der Behörden	10
3.2.1	Perspektive des Umweltbundesamtes auf neuartige Materialien: Herausforderungen aus Sicht der Chemikaliensicherheit.....	10
3.2.2	Gefährliche Arbeitsstoffe; Perspektive der BAuA auf Neuartige Materialien.....	10
3.2.3	Sichere Verbraucherprodukte; Perspektive des BfR auf Neuartige Materialien	11
3.2.4	Herausforderungen für Materialprüfungen; Perspektive der BAM auf Neuartige Materialien	12
3.2.5	Neuartige Materialien und Metrologie.....	13
3.3	Anwendungsbeispiele	13
3.3.1	Herausforderungen der additiven Fertigung.....	13
3.3.2	Chancen und Herausforderungen der Anwendung organischer Materialien in der Elektronik.....	14
3.3.3	Anwendung intelligenter Materialien zur Digitalisierung und drahtlosen Frischemessung in Lebensmittelverpackungen	15
3.3.4	Innovation durch Funktionalisierung - Potenziale und Risiken von nano-funktionalisierten Fasern	16

1 Hintergrund

1.1 NanoDialog der Bundesregierung

Der FachDialog „Chancen und Risiken von Neuartigen Materialien“ wird vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) im Rahmen der 5. Phase des NanoDialogs¹ ausgerichtet. Es werden ca. 30 Teilnehmende aus verschiedenen Stakeholdergruppen sowie aus Ressorts und Behörden erwartet.

Der NanoDialog wurde in der NanoKommission 2006 auf Initiative des BMU ins Leben gerufen. Nach zwei Dialogphasen (2006 – 2008 und 2009 bis 2011) beendete die NanoKommission ihre Arbeit und der Dialog wurde seitdem durch das BMU fortgesetzt, organisiert in Form zweitägiger FachDialoge.

Beim nächsten FachDialog am 22. und 23. Mai 2019 werden neben Nanomaterialien auch Substanzen und Materialien in den Fokus genommen, die nicht unter die Empfehlung der EU-Kommission für eine Definition² von Nanomaterialien fallen, also auch solche, die in keiner Dimension zwischen 0 und 100nm messen. Hiermit greift das BMU die Entwicklungen in den Materialwissenschaften auf, welche die Funktionalität und nicht die Größe von Materialien und Einsatzstoffen in den Vordergrund stellen.

Die Ergebnisse der Diskussionen beim FachDialog werden in einer Zusammenfassung dokumentiert, mit den Teilnehmenden abgestimmt und im Internet veröffentlicht. Sie werden zudem in einen ausführlicheren thematischen Bericht des BMU integriert.

Das vorliegende Hintergrunddokument führt in das Thema ein und enthält im Kapitel 3 Zusammenfassungen der Vorträge des FachDialogs. Es soll der Vorbereitung und Fokussierung des FachDialogs dienen. Eine Diskussion dieses Dokuments ist beim FachDialog nicht vorgesehen.

1.2 Zielsetzung und Themenstellung des FachDialogs

Der englische Begriff „advanced materials“ wird im Deutschen unterschiedlich übersetzt, z. B. mit den Bezeichnungen „neuartige Materialien“, „neuartige

¹ Die Dokumentationen der vorhergehenden Veranstaltungen des NanoDialogs finden Sie auf den Internetseiten des BMU <https://www.bmu.de/themen/gesundheit-chemikalien/nanotechnologie/nanodialog/>

² EMPFEHLUNG DER KOMMISSION vom 18. Oktober 2011 zur Definition von Nanomaterialien

Werkstoffe“, „fortgeschrittene Materialien“ oder „innovative Materialien“. Alle diese Bezeichnungen beinhalten den deutlichen Hinweis darauf, dass es einen Unterschied zu den „vorher existierenden“ Materialien gibt, der auf einer oder mehreren neuen und/oder verbesserten Qualität(en) beruht.

Beim FachDialog „Neuartige Materialien“ soll unter anderem ein Verständnis geschaffen werden, welche Arten von Materialien und welche Anwendungen unter die Bezeichnung „Neuartige Materialien“ gefasst werden, welche Potenziale diese Materialien für eine nachhaltige, technologische Entwicklung bieten und welche Risiken möglicherweise mit ihrer Verwendung einhergehen. Hier können sowohl stoffliche als auch andere Herausforderungen angesprochen werden, z. B. bzgl. der Kreislauffähigkeit von Materialien.

Ziel des FachDialogs ist es, hierzu den Informations- und Meinungsaustausch der Akteurinnen und Akteure zu unterstützen sowie eine Meinungsbildung über ggf. notwendige oder hilfreiche Optionen zur Regulierung zu ermöglichen. Der FachDialog könnte auch dazu beitragen, Forschungsprioritäten aus gesellschaftspolitischer Sicht zu identifizieren.

1.3 Geplanter Ablauf

Der FachDialog ist in mehrere inhaltliche Blöcke unterteilt:

- Im ersten Block wird ein Überblick über Neuartige Materialien gegeben und damit das Thema des FachDialogs umrissen. Kurze Stellungnahmen der Stakeholder ermöglichen eine erste Einschätzung von erwarteten Nutzen und möglichen Problemstellungen.
- Im zweiten Block stellen die Bundesoberbehörden, welche sich mit dem Thema „Neuartige Materialien“ beschäftigen dar, welche Aspekte für sie besondere Relevanz haben. Hierdurch werden auch mögliche Herausforderungen in der (Regulierung der) Anwendung Neuartiger Materialien aus Behördensicht beschrieben.
- Im dritten Block werden fünf Bereiche der Anwendung Neuartiger Materialien vorgestellt. Für jedes Anwendungsfeld wird ein Überblick über die verwendeten Materialien und technologischen Potenziale gegeben und konkrete Beispiele zur Diskussion von Chancen und Risiken vorgestellt.
- Im vierten Block wird die Möglichkeit gegeben, übergeordnete Aspekte des Themas in Arbeitsgruppen zu vertiefen.
- Der FachDialog wird mit einer Zusammenfassung und Schlussfolgerungen enden.

2 Einführung

2.1 Forschung

Die Entwicklung und Anwendung Neuartiger Materialien (advanced materials) wird von der EU-Kommission in ihrem Forschungsrahmenprogramm Horizon 2020 als eine der „ermöglichenden Schlüsseltechnologien“ (key enabling technologies) angesehen und gefördert.

Im Rahmen der High-Tech Strategie 2025 der Deutschen Bundesregierung³ wird die Erarbeitung einer Materialdachstrategie angekündigt, die Schwerpunkte u. a. in der Förderung der Material- und Werkstoffentwicklung definieren wird, einschließlich Neuartiger Materialien. Zudem soll im Rahmen der Strategie eine effiziente, schnelle und effektive Entwicklung (Neuartiger) Werkstoffe unterstützt werden, indem Technologien und Standards für digitale Modellierungen und Simulationen erarbeitet sowie für eine entsprechende Ausbildung und Vernetzung von Forscherinnen und Forschern sowie Ingenieurinnen und Ingenieuren gesorgt wird.

Die Bundesoberbehörden haben 2007 eine gemeinsame Strategie⁴ zur Erforschung von Umwelt- und Gesundheitsrisiken der Nanotechnologien erarbeitet und veröffentlicht, im Rahmen derer bis 2011 über 80 Forschungsprojekte stattfanden. Die fortgeschriebene gemeinsame Forschungsstrategie⁵ wurde auf „andere innovative Werkstoffe/Materialien“ ausgedehnt. Sie trägt damit der Tatsache Rechnung, dass Materialinnovationen nicht auf den Größenbereich von 1-100nm beschränkt sind und dass Risiken für Mensch und Umwelt auch von Materialien in größeren Dimensionen ausgehen können. Die fortgeschriebene Strategie bezieht sich auf Materialinnovationen insgesamt und enthält vier Forschungsschwerpunkte u. a. zur (weiteren) Entwicklung von Prüf- und Bewertungsmethoden, zur (Risiko-)Kommunikation sowie zur Entwicklung von Rechtsvorschriften und Praxisempfehlungen zum sicheren Umgang mit Materialinnovationen.

³ Die Deutsche Bundesregierung: Forschung und Innovation für die Menschen - Die Hightech-Strategie 2025. Berlin, September 2018 (S. 36)

⁴ Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Bundesinstitut für Risikobewertung, Umweltbundesamt: Nanotechnologie: Gesundheits- und Umweltrisiken von Nanomaterialien – Forschungsstrategie, Dezember 2007

⁵ Bundesamt für Materialprüfung, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Bundesinstitut für Risikobewertung, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Umweltbundesamt: Fortschreibung der gemeinsamen Forschungsstrategie der Bundesoberbehörden - Nanomaterialien und andere innovative Werkstoffe: anwendungssicher und umweltverträglich, September 2016

2.2 Anwendungsbereiche, Nutzen und Risiken

Materialien werden in der Regel als „neuartig“, „fortgeschritten“ oder „innovativ“ bezeichnet, wenn sie Eigenschaften haben, die sie von „konventionellen“ oder bisher verwendeten Materialien unterscheiden und sie entweder besonders hohen Leistungsansprüchen genügen oder Funktionen in sich vereinen, die zuvor durch mehrere Materialien abgedeckt wurden.

Neuartige Materialien werden in der Mehrzahl der industriellen Herstellungsprozesse bereits verwendet. Sie werden eingesetzt in der Konstruktion von Fahrzeugen und Gebäuden, in der Herstellung elektrischer und elektronischer Geräte, in der Energieerzeugung oder in medizinischen Geräten, Medizinprodukten etc.

Aufgrund der hohen Vielfalt der Neuartigen Materialien gibt es unterschiedliche Möglichkeiten, diese zu strukturieren und zu Gruppen zusammen zu fassen, z. B. nach der chemischen Zusammensetzung und Beschaffenheit („Legierungen“, „(Polymer-)Komposite“, „Keramiken“ und „Glas“) oder nach ihrer Funktion („strukturenbende“, „funktionale“, „multifunktionale“ Materialien etc.). Die Zuordnung einzelner Materialien ist nicht immer eindeutig möglich und die Kategorien der unterschiedlichen Systeme überlappen sich⁶. Ob, zu welchem Zweck und wie eine Definition von Neuartigen Materialien möglich und hilfreich ist, wird auch beim FachDialog diskutiert werden.

Die Erwartungen an die Nutzen von Neuartigen Materialien sind ebenso vielfältig, wie ihre Anwendungen und erstrecken sich unter anderem auf die Einsparung (kritischer) Ressourcen, Verbesserungen in der Leistungsfähigkeit elektronischer Elemente und Geräte, neue und/oder verbesserte Diagnose- und Therapiemethoden im Gesundheitswesen oder auch die Verringerung der Umweltwirkungen von Produkten und Prozessen, einschließlich einer Verringerung des Energieeinsatzes und der Abfallmengen.

Im Hintergrunddokument zu einer 3. regulatorischen Überprüfung bzgl. Nanomaterialien⁶ haben die Autorinnen und Autoren auch versucht, Informationen darüber zu erheben, wie hoch Mensch und Umwelt zukünftig gegenüber Neuartigen Materialien exponiert sein werden. Allerdings konnten sie für die einzelnen Materialien weder Basisinformationen zu Herstellungsmengen, Anwendungen und der Marktdurchdringung finden, noch zu möglichen Freisetzungen aus Produkten und Prozessen. Dieser Mangel an Verwendungs- und Expositionsdaten führt auch dazu, dass Bewertungen möglicher (stofflicher) Risiken derzeit nur vereinzelt zu erwarten sind.

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

2.3 Regulierung Neuartiger Materialien

Die Frage, ob Neuartige Materialien angemessen reguliert sind kann nicht generell beantwortet werden. Hierfür wäre zu prüfen, ob:

- Neuartige Materialien durch die Definitionen/die Geltungsbereiche des Chemikalien-, Verbraucher-, Produkt-, Umwelt-, Arbeits- und Abfallrechts erfasst werden,
- Neuartige Materialien mit den vorhandenen Instrumenten ausreichend bewertet werden können, um mögliche Risiken zu ermitteln und
- Durch Neuartige Materialien entstehende Risiken mit den existierenden Instrumenten, sowohl auf regulatorischer als auch auf technischer Ebene in angemessener Weise auf ein akzeptables Maß gemindert werden können.

Hier spielen REACH und die CLP-Verordnung eine zentrale Rolle, da sie die Prinzipien und Instrumente für die Datenerzeugung und –erhebung und die Bewertung der Gefährlichkeit sowie der möglichen Risiken von Stoffen beinhalten. Allerdings sind Materialien im Chemikalienrecht nicht definiert und es bleibt zukünftig zu prüfen, ob hierdurch Regulierungslücken im Bereich der neuartigen Materialien entstehen (können).

In diesen Bereichen bestehen derzeit verschiedene Unsicherheiten, die teilweise auch beim FachDialog angesprochen und diskutiert werden können.

3 Zusammenfassungen der Vorträge

3.1 Kategorisierung von Neuartige Materialien“

Prof. Dr. Steffen Foss Hansen, DTU

Neuartige Materialien sind eine der sechs Technologien, welche von der EU Kommission als „Key Enabling Technologies“ (KETs) identifiziert wurden. Im Vortrag werden erste Ansätze vorgestellt, wie diese Materialien systematisch kategorisiert, definiert und bezüglich der Regulierung durch die EU Umweltgesetzgebung bewertet werden können. Die meisten in der Literatur vorgeschlagenen Kategorisierungsansätze beinhalten klare Klassifizierungen für Neuartige Materialien, die sich aber untereinander sowohl in der Anzahl der Kategorien als auch bezüglich der Materialien, die sie abdecken, unterscheiden. Einige wenige Ansätze beinhalten Kategorien von Neuartigen Materialien, die nicht im Detail erklärt oder definiert werden.

Das Verständnis darüber ob und inwieweit ein Neuartiges Material oder eine Kategorie Neuartiger Materialien unter eine bereits existierende Definition in der EU Gesetzgebung fällt, ist bezüglich der regulatorischen Einordnung essenziell. So kann es z. B. sein, dass die in der REACH-Verordnung enthaltene Definition von Polymeren nicht auf Hochleistungspolymere anwendbar ist. Es ist daher zu prüfen, ob die in Forschung und Gesetzgebung genutzten Definitionen die relevanten Kategorien Neuartiger Materialien ausreichend gut abdecken. Während nur wenige oder keine gesetzlichen Fragestellungen erwartet werden, solange Neuartige Materialien von den bestehenden Definitionen abgedeckt sind, ist unklar, wie solche Neuartige Materialien reguliert werden, die nicht abgedeckt sind.

Um die Regulierung und Bewertung von Umweltemissionen und mögliche Risiken durch Neuartige Materialien zu unterstützen, ist es auch notwendig, einen besseren Überblick über jährliche Herstellungs- und Verkaufsmengen zu bekommen. Expertenbefragungen und die Beteiligung der Stakeholder können dazu beitragen zu ermitteln, welche Risiken entstehen könnten und wie diese am besten beherrscht werden können.

3.2 Mögliche Risiken und Regulierung - Überblick aus Perspektive der Behörden

3.2.1 Perspektive des Umweltbundesamtes auf neuartige Materialien: Herausforderungen aus Sicht der Chemikaliensicherheit

Dr. Doris Völker, Umweltbundesamt, Dessau

Unter neuartigen Materialien und Werkstoffen (englisch „new materials“ oder „advanced materials“) versteht man eine sehr heterogene Gruppe von neuen oder modifizierten Materialien, deren Eigenschaften neben der chemischen Zusammensetzung, auch von physikalischen und morphologischen Eigenschaften bestimmt werden. Neuartige Materialien und Werkstoffe versprechen verbesserte Eigenschaften hinsichtlich ihrer angedachten Anwendung.

Unter neuartige Materialien und Werkstoffe fallen auch weiterentwickelte Nanomaterialien (wie in der EU Definitionsempfehlung von 2011 mit einer Größe von 1 - 100nm definiert), nanostrukturierte Materialien aber auch Materialien in Größenordnungen (z.T. deutlich) über 100nm. Aufgrund ihrer Eigenschaften versprechen diese Materialien vielfältige Anwendung für Umwelt- und Ressourcenschutz, Energie und Klimaschutz, Mobilität und Gesundheit.

Dem gegenüber besteht die Frage, ob sich neuartige Materialien sachgerecht hinsichtlich ihres potenziellen Risikos für Mensch und Umwelt bewerten lassen und sich somit eine sichere Verwendung gewährleisten lässt. Auch führt die Betrachtung der neuartigen Materialien zur Situation, dass man immer enger an die Grenzen des Stoffbegriffs des Chemikalienrechts stößt.

Der Beitrag des UBAs zum FachDialog stellt die derzeitige Situation zur Risikobewertung und Regulierung von Nanomaterialien im Rahmen der Chemikaliensicherheit dar (Definition, Anpassung der REACH-Anhänge, Aktivitäten der OECD zur Anpassung von Prüfrichtlinien zur Bewertung) und präsentiert den Handlungsbedarf für neuartige Materialien aus Sicht des UBAs.

3.2.2 Gefährliche Arbeitsstoffe; Perspektive der BAuA auf Neuartige Materialien

Dr. Rolf Packroff, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund

Für berufsbedingte Erkrankungen der Atemwege ist eine der Hauptursachen immer noch das Einatmen von Staub am Arbeitsplatz. Trotz Asbestverbot und Verpflichtung zu staubmindernden Maßnahmen durch die Gefahrstoffverordnung zeigt sich durch die langen Latenzzeiten von bis zu 40 Jahren bei der Anzahl der Berufskrankheiten bislang keine deutliche Besserung. Gerade bei neuartigen Materialien muss in

verstärktem Maße auf eine anwendungssichere Gestaltung geachtet werden, um zu verhindern, dass altbekannte Gefährdungen wieder in neuem Gewand in der Arbeitswelt auftauchen.

Dabei steht die Faserproblematik im Vordergrund. Auch mehr als 20 Jahre nach dem Verbot sterben jährlich immer noch mehr als 1.600 Menschen in Deutschland vorzeitig an den Spätfolgen des Einatmens lungengängiger Asbestfaserstäube. Nach dem toxikologisch begründeten Faserprinzip ist neben den Faserdimensionen (dünner als 3.000 Nanometer, länger als 5.000 Nanometer) die Biobeständigkeit des Faserstaubs für die kanzerogene Wirkstärke ausschlaggebend. Somit sind neben Asbest auch andere Faserarten in das Blickfeld des Arbeitsschutzes geraten, in jüngster Zeit u. a. Kohlenstoffnanoröhrchen. Hier zeigen im Tierexperiment einige Formen mit Durchmessern zwischen 30 und 3000 Nanometern eine kanzerogene Potenz. Keine auffälligen Ergebnisse liefern hingegen Studien mit sehr dünnen, verknäulten Fasern. Es gibt die Vermutung, dass neben der Faserdimension und der Biobeständigkeit die Biegesteifigkeit als weiterer Faktor für ein Gesundheitsrisiko zu berücksichtigen ist. Diese Erkenntnisse sollen im Rahmen des „erweiterten Faserprinzips“ wissenschaftlich weiter fundiert werden, um Prüf- und Bewertungsinstrumente zu verbessern und bestehende Lücken in der europäischen Chemikaliensicherheit zu schließen. Gleichzeitig sollen Kriterien für ein anwendungssicheres Design innovativer Materialien abgeleitet werden, um so Arbeitsschutzprobleme erst gar nicht entstehen zu lassen.

Referenz : <http://doku-arbeitswelten.baua.de/nano#183080>

3.2.3 Sichere Verbraucherprodukte; Perspektive des BfR auf Neuartige Materialien

Dr. Andrea Haase; BfR

Die Nanotechnologie ist eine der Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts. Sie eröffnet zahlreiche und vielfältige Anwendungsmöglichkeiten. Die Nanosicherheitsforschung hat sich in den letzten 20 Jahren intensiv mit der Erforschung von möglichen Risiken und deren Vermeidung befasst. Der Schwerpunkt lag dabei allerdings primär auf Nanomaterialien aus reinen Substanzen mit enger Größenverteilung und überwiegend sphäroidaler Morphologie, wie z.B. Nanosilber, Titandioxid oder Zinkoxid. Ergänzt wurde dies nur exemplarisch durch Forschung zu beispielsweise Kohlenstoffnanoröhrchen und Graphen.

In der Praxis sind jedoch weit mehr Materialformen im Einsatz. Häufig werden z.B. Hybridmaterialien, bestehend aus zwei oder mehr Substanzen, eingesetzt. Viele der industriell eingesetzten Materialien sind zudem polydispers, d.h. sie enthalten verschiedene Partikelgrößen und weisen oft eine breite Größenverteilung auch über

den Nanometerbereich hinaus auf. Zudem basieren viele industrielle Anwendungen auf Materialsystemen, die ihre Struktur bei der Herstellung oder Anwendung verändern (transformieren). Beispiele hierfür liefert die Additive Fertigung, mit dem bekannten Teilbereich des 3D- Drucks. Inwieweit Erkenntnisse der bisherigen Nanosicherheitsforschung auf diese komplexeren Materialgruppen übertragbar sind, ist nicht geklärt.

Dieser Vortrag widmet sich aus der Perspektive des Verbraucherschutzes relevanten innovativen Materialien und deren Anwendung, nennt bestehende Wissenslücken und Unsicherheiten und stellt aktuelle Forschungsprojekte des BfR dazu vor. Insbesondere hervorzuheben ist dabei das kürzlich gestartete BMBF Verbundprojekt InnoMat.Life, welches vom BfR koordiniert wird und ganzheitlich Gesundheits- und Umweltrisiken neuartiger innovativer Materialien und neuer Produktionsverfahren entlang des gesamten Lebenszyklus erforscht. InnoMat.Life erweitert die gegenwärtige Forschung um drei wesentliche Materialschwerpunkte:

- 1) polydisperse Materialien der industriellen Anwendung (z.B. Pulver aus Metallen und Polymeren für die Additive Fertigung bzw. den 3D-Druck),
- 2) Materialien mit besonderen und möglicherweise kritischen Morphologien (z.B. Stäbchen, Plättchen, Fasern) und
- 3) hybride Materialien, z.B. mit gemischten organisch/anorganischen Strukturen

Abschließend widmet sich der Vortrag dem gegenwärtigen Stand der Regulation und benennt aus Sicht des BfR noch bestehenden Handlungsbedarf.

3.2.4 Herausforderungen für Materialprüfungen; Perspektive der BAM auf Neuartige Materialien

Dr. Bastian Rühle, Dr. Harald Bresch, Dr.-Ing. Claudia Eggert, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

Neuartige Materialien, die bekannte (Werk-)Stoffe mit neuen Funktionalitäten ausstatten, spielen eine zunehmend wichtige Rolle im Bereich der Materialforschung und -prüfung. Das Spektrum neuartiger Materialien reicht von der gezielten Oberflächenfunktionalisierung und -strukturierung makroskopischer Materialien über dünne Beschichtungen bis hin zu mikro- und nanoskaligen Kompositmaterialien und funktionalen Materialien an der Schnittstelle zur Biologie, Biotechnologie, nachhaltige Energiespeicherung und Sensorik. Dabei bieten neuartige Materialien die Chance, Werkstoffe und Produkte mit erweiterter oder verbesserter Funktionalität zu erhalten und Sicherheit bereits im Designprozess zu berücksichtigen. Durch dieses breite Anwendungsspektrum und die Herausforderungen, die solche Materialien für die Sicherheit in Chemie und Technik mit sich bringen, sind diese in allen Themenfeldern

der BAM repräsentiert (Material, Analytical Sciences, Energie, Infrastruktur und Umwelt).

Die Aufgaben der BAM erstrecken sich dabei von der Herstellung von Referenzmaterialien für Industrie, Forschung und Regulation, über die Erstellung von standardisierten Referenzverfahren für nachhaltige Messungen im Umwelt- und Lebenswissenschaftsbereich bis hin zur Bereitstellung von belastbaren und zitierbaren Referenzdaten. Durch die genaue Charakterisierung neuartiger Materialien können potenziell problematische Substanzen identifiziert und deren Risiken besser abgeschätzt werden. In diesem Beitrag werden einige aktuelle Beispiele aus diesen Bereichen vorgestellt.

3.2.5 Neuartige Materialien und Metrologie

Prof. Mathias Richter, Dr. Harald Bosse, Dipl.-Phys. Thorsten Dziomba, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

Unter neuartigen Materialien versteht man häufig Verbundwerkstoffe, deren Beschaffenheit sich aus dem strukturellen Aufbau und dem Zusammenspiel der verschiedenen Bestandteile ergibt. Die Strukturen liegen dabei oft im Nanometerbereich und bestimmen die mechanischen, chemischen, elektronischen oder optischen Eigenschaften und damit die Funktionalität des Materials. Für die Entwicklung und Herstellung von Bauteilen und Produkten auf der Grundlage neuartiger Materialien in Bereichen von der Fotovoltaik bis hin zur Medizin ist eine verlässliche Messtechnik (Metrologie) von zentraler Bedeutung, die sich einerseits auf die Charakterisierung der komplexen Materialstrukturen bezieht und andererseits auf die sich daraus ergebenden Produkteigenschaften. Diese umfassen ggfs. auch unerwünschte Nebenwirkungen. Damit fällt der Metrologie nicht nur bei der Technologienentwicklung eine wichtige Rolle zu sondern auch beim Verbraucher-, Arbeits- oder Umweltschutz. In dem Beitrag werden dazu einige Beispiele vorgestellt.

3.3 Anwendungsbeispiele

3.3.1 Herausforderungen der additiven Fertigung

Prof. Dr. Rolf Mülhaupt, Freiburger Materialforschungszentrum (FMF) und Freiburger Leistungszentrum für Nachhaltigkeit der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Zu Beginn des 21. Jahrhunderts hat sich der 3D-Druck alias Additive Fertigung rasant entwickelt und die Schranken der schnellen Prototypenfertigung überwunden. Das Anwendungsspektrum reicht von Luft- und Raumfahrt bis hin zu Fahrzeugbau, Architektur, Konsumgüter, Medizin und Lebensmittel. Obwohl viele 3D-Druck-Prozesse im Vergleich zum Spritzguss erheblich langsamer sind, verkürzt die Additive

Fertigung den Weg von der Idee zum Produkt, da direkt nach Computerdesign gefertigt wird, ohne den Umweg über den Werkzeugbau gehen zu müssen. Der 3D-Druck eröffnet völlig neuartige Möglichkeiten für das Design und die bedarfs-, anwendungs- und personengerechte Fertigung komplexer, multifunktionaler Bauteile mit der Integration verschiedenartiger Materialien und Funktionen, die früher undenkbar oder nur in aufwendigen mehrstufigen Verfahren machbar waren. Zudem nutzt der 3D-Druck das Internet der Dinge, vereinfacht die Logistik und ist wesentlich für die Digitalisierung von Entwicklung und Produktion.

Das enge Zusammenwirken von Chemie, Maschinenbau und Informatik ist das Erfolgsrezept für den 3D-Druck. Heute erweitert sich das Spektrum der auf den 3D-Druck zugeschnittenen Materialsysteme rasch und umfasst Metalle, Keramik, Glas, Zement, Kunststoff, Gummi, Funktionsmaterialien, Pasten, Pulver, Lösungen, Dispersionen, Polymerblends, Verbundwerkstoffe, sowie biologische Systeme. Während die meisten 3D-gedruckten Objekte während ihrer gesamten Produktlebensdauer die gleichen Formen und Eigenschaften beibehalten, nutzt der 4D-Druck die Zeit als vierte Dimension für die Herstellung programmier- und schaltbarer sowie intelligenter und lebensähnlicher Materialsysteme. Diese sind interaktiv, können sich anpassen, ändern ihre Formen und Funktionen und können auf Änderungen ihrer Umwelt reagieren.

Dieser Vortrag gibt einen Überblick über Trends und Herausforderungen bei der Entwicklung von Materialsystemen, illustriert an ausgewählten Beispielen aus dem 3D- und 4D-Druck.

Literaturquelle: S.C. Ligon, R. Liska, J. Stampfl, M. Gurr, R. Mülhaupt, Chem. Rev. 2017, 117 (15), 10212-10290; Polymers for 3D printing and customized Additive Manufacturing

3.3.2 Chancen und Herausforderungen der Anwendung organischer Materialien in der Elektronik

Prof. Dr. Klaus Meerholz, Universität Köln, COPT

Die „organische Elektronik“ ist in den letzten Jahren von einer Kuriosität der Grundlagenforschung zu einem Gebiet mit hoher Attraktivität für Anwendungen geworden. Sie ist aufgrund von potenziellen Energieeinsparaspekten eine der wichtigsten „alternativen“ Technologien unserer Zeit, vielfach wird dieses Feld auch als „grüne Elektronik“ bezeichnet.

Zum Themenfeld der „organische Elektronik“ gehören Bauteile wie organische Leuchtdioden (OLED), organische Solarzellen (OSC), organische Feldeffekt-Transistoren (OFET) und neuerdings auch organische Speicher (OMEM). Anwendungsfelder zielen neben der Automobilindustrie auf den Beleuchtungsmarkt, Gebäude-integrierte Energieerzeugung, das Internet der Dinge, die Sensorik mit

Anwendungen in den Branchen Lebensmittel, Landwirtschaft, Medizin, Textilien und vieles mehr.

Die aktiven Schichten der o.g. Bauteile bestehen aus organischen Halbleitern, welche im Wesentlichen aus den Elementen Wasserstoff (H), Kohlenstoff (C), Sauerstoff (O) und Stickstoff (N) bestehen sowie einigen weiteren Elementen in geringer Menge. Bauteile werden durch Beschichtung eines geeigneten, mit einer Elektrode vorkonfektionierten Substrats hergestellt und anschließend verkapselt, um die Bauteile gegen Umwelteinflüsse zu schützen und eine lange Lebensdauer zu garantieren.

Insbesondere OLEDs haben sich bereits im Konsumgütermarkt etabliert. Bildschirme auf der Basis der OLED-Technologie haben bei „Smartphones“ einen erheblichen Marktanteil, und bei Fernsehgeräten nimmt die Bedeutung rasant zu. Demgegenüber sind die anderen Technologien noch mehr oder weniger weit von einer kommerziellen Nutzung entfernt. Hier müssen zunächst geeignete, skalierbare Prozesse etabliert werden, und es sind noch grundlegende Fragestellungen zum Verständnis der zugrunde liegenden physikalischen Prozesse zu beantworten. Dies steht im Vordergrund der weltweit laufenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.

Der Vortrag führt die verschiedenen Bauteile und Konzepte ein, berichtet über den jeweiligen Status quo und „Challenges“ und stellt zukünftige Anwendungen vor.

3.3.3 Anwendung intelligenter Materialien zur Digitalisierung und drahtlosen Frischemessung in Lebensmittelverpackungen

Dr. Alexey Yakushenko, it is fresh GmbH

Weltweit wird ein Drittel aller produzierten Lebensmittel verschwendet. Viele Verbraucher entsorgen Lebensmittel nach Ablauf des Mindesthaltbarkeitsdatums (MHD), obwohl das Lebensmittel oftmals noch lange darüber hinaus genießbar ist. Ein maßgeblicher Grund dafür ist, dass die Verpackung keinerlei Information über den Frischezustand des Produkts geben kann.

is it fresh GmbH entwickelt eine Lösung, welche in Lebensmittelverpackungen integriert werden kann und überträgt den Frischezustand digital und drahtlos. Diese Lösung ist eine Gesamtplattform aus einem gedruckten, flexiblen NFC-Sensortag, industriellen Auslesegeräten (z.B. intelligente Regale) und einer Digitalplattform, welche es u.a. Herstellern, Händlern und Konsumenten ermöglicht, Lebensmittelbestände und -vorräte zu verwalten und zu optimieren. Die gedruckten elektrochemischen Sensoren können die Frische eines Lebensmittels in Echtzeit messen. Dazu werden Temperatur und entweder flüssige (z.B. pH, Salzgehalt) oder gasförmige (Luftfeuchte, Sauerstoff, CO₂) Parameter gemessen. Der Konsument beispielsweise kann den Sensor über sein Smartphone oder einen intelligenten Kühlschrank über

Near Field Communication (NFC) auslesen. Während des Auslesensverfahrens misst der in der Lebensmittelverpackung integrierte Sensor die Frischeparameter und schickt die Rohdaten über Internet zur Auswertung in die is it fresh Cloud. Der Kunde erhält die ausgewerteten und nutzerfreundlich aufbereiteten Daten über den Frischestatus auf seinem Handy oder dem Bildschirm seines intelligenten Kühlschranks.

Mithilfe dieser neuartigen Nanotechnologien und additiven Verfahren der gedruckten Elektronik werden die Massenproduktionskosten von dem weltweit ersten lebensmittel-kompatiblen NFC-Sensortag auf lediglich **1-Eurocent** geschätzt. Dies ermöglicht zum ersten Mal eine großflächige Integration der Technologie in Lebensmittelverpackungen, die einen Gesamtmarkt von ca. 300 Mrd. USD erreichen.

Nach dem Einstieg in höherpreisigen Lebensmittelsegmenten wie Bio- und Gourmetprodukten wird die schrittweise Einführung für den Massenmarkt vorgenommen. Verbraucher werden somit in der Lage sein jederzeit zu prüfen, ob die Lebensmittel noch genießbar sind und entsorgen diese nicht mehr voreilig anhand eines Mindesthaltbarkeitsdatums, sondern ausgehend vom realen Frischestatus. Insgesamt entsteht für den Konsumenten sowohl ein ethischer als auch ein finanzieller Nutzen, da weniger Lebensmittel verschwendet werden.

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

Robert Brüll, M.Sc., M.Sc.; Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen, Aachen

Chemiefasern weisen einen Marktanteil von 75 % am weltweiten Fasermarkt auf. Aufgrund der Vielzahl an verarbeitbaren Kunststofftypen lassen sich vielseitige Eigenschaften erzielen, die die verschiedensten Anwendungsmöglichkeiten für Polymerfasern bieten. Zur weiteren Anpassung der Faser an ihr gewünschtes Eigenschaftsspektrum können diese durch zusätzliche Prozessschritte oder Additive (vorrangig Nanopartikel) funktionalisiert werden. Neben gängigen Anpassungen, wie dem Färben mit Pigmenten im Schmelzspinnprozess, können auch aufwendigere Funktionen, wie Antistatik, gute Reibeigenschaften oder anti-mikrobielle Eigenschaften durch Nanoadditivierung erzielt werden. Doch die Einbringung von Additiven und die Nutzung von neuartigen Polymeren zur Erweiterung des Einsatzspektrums bergen neben technischen Herausforderungen in der Produktion auch Risiken beim Einsatz und Recycling des finalen Produktes. Diese Risiken kommen vor allem unter den Gesichtspunkten des thermischen und stofflichen Recyclings zum Tragen. Beim stofflichen Recycling können die Additive freigesetzt werden und als Feinstaub zurückbleiben. Beim stofflichen Recycling werden die Materialeigenschaften durch die unkontrollierten Unreinheiten so herabgesetzt, dass

eine erneute Verarbeitbarkeit des Materials zum gewünschten Produkt oftmals nicht möglich ist.

Nach einer allgemeinen Einleitung in die Verarbeitung und den Einsatz von Chemiefasern werden im Vortrag verschiedene nano-funktionalisierte Fasern mit ihren neuartigen Funktionen vorgestellt sowie die Funktionserweiterung durch die Additive erklärt. Anhand von Produktbeispielen werden die Herausforderungen bei der Wiederverwertung beleuchtet.