

NanoDialog  
der Bundesregierung

**FachDialog**  
**„Nanotechnologie und Abfall“**

Hintergrunddokument

Oktober 2014

Autoren: Antonia Reihlen & Dirk Jepsen

Impressum:

ÖKOPOL GmbH  
Institut für Ökologie und Politik

Nernstweg 32–34  
D – 22765 Hamburg

[www.oekopol.de](http://www.oekopol.de)  
[info@oekopol.de](mailto:info@oekopol.de)

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

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Die FachDialogreihe .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>6</b>
2.1	<i>Themenstellung und Zielsetzung.....</i>	6
2.2	<i>Geplanter Ablauf .....</i>	7
<b>3</b>	<b>Grundlagen für den FachDialog .....</b>	<b>8</b>
3.1	<i>Nanoabfall und nanomaterialhaltiger Abfall .....</i>	8
3.2	<i>Abfallrecht .....</i>	9
3.3	<i>Quellen von Nanomaterialien in Abfällen .....</i>	9
3.4	<i>Abfallbehandlung .....</i>	9
<b>4</b>	<b>Inhalte der Vorträge .....</b>	<b>11</b>
4.1	<i>Rechtsrahmen zur Berücksichtigung von Gefährlichkeitseigenschaften im Abfallrecht - sichere Entsorgung von Abfällen, die Nanomaterialien enthalten .....</i>	11
4.2	<i>Abfallpolitischer Rahmen .....</i>	13
4.2.1	<i>Stand der abfallpolitischen Diskussion.....</i>	13
4.2.2	<i>Nanoabfälle – gibt es ein Problem?.....</i>	14
4.2.3	<i>Abfälle mit Nanomaterialien – Auswirkungen auf Organisation und Technologie der Abfallentsorgung? .....</i>	15
4.3	<i>Ressourceneffizienz und Chancen für die Abfallwirtschaft.....</i>	16
4.3.1	<i>Lebenszyklus von Nanoprodukten mit Fokus auf das Thema Abfall .....</i>	16
4.3.2	<i>Aktuelle Entwicklungen beim Recycling von Nanopartikeln.....</i>	17
4.4	<i>Entsorgung von Nanoabfällen und nanomaterialhaltigen Abfällen.....</i>	17
4.4.1	<i>Untersuchung des Emissionsverhaltens nanomaterialhaltiger Abfälle in der thermischen Verwertung.....</i>	17
4.4.2	<i>Auswirkungen von Nanomaterialien bei landwirtschaftlicher Verwertung von Klärschlämmen.....</i>	18
4.5	<i>Kreislaufwirtschaft.....</i>	19
4.5.1	<i>Relevanz von Nanomaterialien in Recyclingprozessen.....</i>	19
4.5.2	<i>EHS-Projekt NanoMia: Nanomaterialien in Abfällen – Erste Ergebnisse aus einem Expertenworkshop .....</i>	20

## Tabellenverzeichnis

Das Dokument enthält keine Tabellen

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Nanoabfall und nanomaterialhaltiger Abfall ..... 8

## 1 Die FachDialogreihe

Der FachDialog „Nanotechnologien und Abfall“ ist die dritte von insgesamt vier Veranstaltungen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit und Bauen (BMUB) im Rahmen der 4. Phase des NanoDialogs<sup>1</sup>.

Zu jedem der zweitägigen FachDialoge werden ca. 25 Vertreterinnen und Vertreter verschiedener Stakeholdergruppen sowie aus Ressorts und Behörden eingeladen. Die Protokolle der FachDialoge werden mit den Teilnehmenden abgestimmt. Die Diskussionsergebnisse werden zudem im Rahmen eigenständiger thematischer Berichte des BMUB veröffentlicht.

Wie auch bereits in der 3. Dialogphase, haben die FachDialoge jeweils eigenständige Themen. Die Diskussionen werden auf einige relevante Fragestellungen fokussiert und im Rahmen der Veranstaltungen abgeschlossen. Eine kontinuierliche inhaltliche und übergreifende Debatte zwischen den FachDialogen erfolgt hingegen nicht. Der Schwerpunkt der FachDialoge liegt auf der gesellschaftspolitischen Einordnung der Themenstellungen.

Dieses Hintergrunddokument dient der Vorbereitung und Fokussierung des 3. FachDialogs und wird dort nicht diskutiert. Es enthält eine Einleitung (Kapitel 2), die sowohl Themenstellung und Zielsetzung benennt als auch einen Überblick über den geplanten Ablauf des FachDialogs gibt. Im Kapitel 3.1 werden einige Grundlagen für den FachDialog aufgeführt und im Kapitel 4 werden die Vortragsthemen kurz eingeführt und Links auf weiterführende Informationen bereitgestellt.

---

<sup>1</sup> Die Ergebnisse der vorherigen Dialogphasen sind auf den Internetseiten des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit und Bauen (BMUB) dokumentiert unter: <http://www.bmub.bund.de/themen/gesundheitschemikalien/nanotechnologie/nanodialog/nanodialog/>

## 2 Einleitung

Im FachDialog Nanotechnologien und Abfall sollen unterschiedliche Aspekte des Lebensendes von Nanomaterialien, sowie der mögliche Einsatz der Nanotechnologien zur Verbesserung der Prozesse und Produkte der Abfallwirtschaft präsentiert und diskutiert werden.

### 2.1 Themenstellung und Zielsetzung

Ziel des FachDialogs „Nanotechnologien und Abfall“ ist es, unterschiedliche Fragestellungen zum Themenbereich zu beleuchten, über aktuelle Entwicklungen zu informieren und einen Raum zu schaffen, in dem über mögliche Chancen und Risiken diskutiert werden kann.

Da das Thema noch nicht in allen Facetten aufbereitet und in die Praxis vorgedrungen ist, konnten nicht für alle Themen Referenten gefunden werden. Im FachDialog kann und soll es daher auch darum gehen, die „weißen Flecken“ zu benennen und abzuschätzen, welche Chancen und Risikopotenziale mit ihnen verbunden sein könnten. Zudem kann der FachDialog als Chance oder Auftakt für die Vernetzung von Akteuren im Themenfeld Nanotechnologien und Abfall gesehen werden. Die folgenden Arten von Ergebnissen werden beim FachDialog erwartet:

- gemeinsames Verständnis über die rechtlichen Anforderungen an Nanomaterialien sowie Produkte und Abfälle, die Nanomaterialien enthalten
- Austausch über den Stand des Wissens über Emissionen von Nanomaterialien und mögliche Risiken aus Prozessen der Abfallwirtschaft
- Meinungsbild zu Potenzialen zur Ressourcenschonung / Abfallvermeidung durch Nanotechnologien
- Einschätzung zur Notwendigkeit von Anforderungen an die Getrennthaltung und (Vor-)Behandlung von nanomaterialhaltigen Abfällen, um
- eine risikoarme Abfallbehandlung sicher zu stellen
- hochwertige Formen des (Material-)Recycling zu stützen
- Benennung „weißer Flecken“ im Themenfeld und Identifizierung von Handlungsbedarf, um den Wissensstand zu verbessern und darauf aufbauend Prioritäten für die Regulierung und Behandlung von Nanoabfällen und nanomaterialhaltigen Abfällen setzen zu können
- Netzwerkbildung.

## 2.2 Geplanter Ablauf

Der erste Tag des FachDialogs beginnt mit einem Vortrag über die rechtlichen Anforderungen an Nanoabfälle und nanomaterialhaltige Abfälle. Danach stellen verschiedene Stakeholder in kurzen Statements ihren Bezug sowie die wichtigsten Gedanken zum Thema dar. Dem folgen ein Beitrag über die abfallpolitische Diskussion mit Bezug zu Nanoabfällen sowie ein allgemeiner Problemaufriss aus Sicht des Umweltbundesamtes und eine Darstellung von Aktivitäten der OECD sowie des Schweizer Bundesamtes für Umwelt. Der erste Tag des FachDialogs endet mit Vorträgen zu Lebenszyklusaspekten von Nanoprodukten mit Bezug zur Abfallphase und der Wiedergewinnung von Nanomaterialien.

Am zweiten Tag des FachDialogs werden die Themen Nanomaterialien in der Abfallverbrennung sowie in Klärschlämmen erörtert und Fragestellungen der Kreislaufwirtschaft von Nanoabfällen und mögliche Wirkungen auf die Umwelt und die Gesundheit der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer diskutiert.

## 3 Grundlagen für den FachDialog

### 3.1 Nanoabfall und nanomaterialhaltiger Abfall

In diesem Dokument wird der Begriff „Nanoabfälle“ für Abfälle verwendet, die lediglich bzw. hauptsächlich Nanomaterialien enthalten und die gezielt und getrennt gesammelt werden (können); dies sind in der Hauptsache Abfälle aus der Produktion von Nanomaterialien. Hingegen werden Abfälle aus Produkten in denen Nanomaterialien enthalten sind, als „nanomaterialhaltige Abfälle“ bezeichnet. In beiden Fällen muss laut der rechtlichen Definition von Abfall eine Entledigungsabsicht vorliegen, bzw. die Behandlung im öffentlichen Interesse liegen.

Der Begriff Nano-Abfall wird in anderen Kontexten teilweise anders verwendet. Im Nanotrast dossier „Nano-Abfall: Produkte mit Nanomaterialien am Ende ihres Lebenszyklus“ (<http://epub.oeaw.ac.at/?arp=0x00313fef>), wird der Begriff verwendet, wenn Nanomaterialien in Kontakt mit festen Abfällen kommen und getrennt gesammelt werden können. Dies umfasst sowohl Produktionsabfälle, als auch Klärschlämme, in denen Nanomaterialien aus dem Abwasser abgeschieden werden und Abfälle aus nanomaterialhaltigen Produkten.

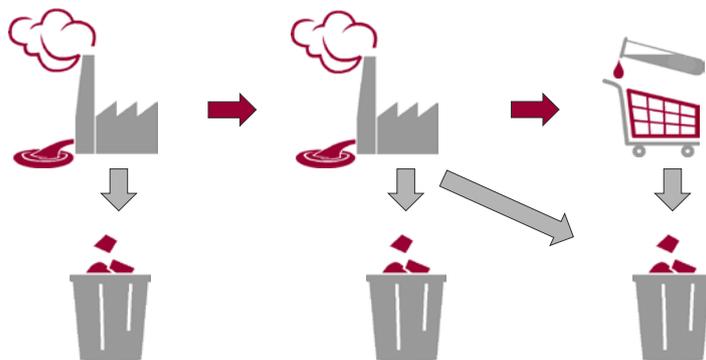


Abbildung 1: Nanoabfall und nanomaterialhaltiger Abfall

Schlämme aus der Abwasserreinigung oder Filtrerrückstände aus thermischen Verwertungsanlagen, die Nanomaterialien enthalten, werden ebenfalls als nanomaterialhaltige Abfälle bezeichnet.

## 3.2 Abfallrecht

Im europäischen abfallrechtlichen Regelwerk sind derzeit keine nanospezifischen Vorgaben, wie z.B. Grenzwerte oder spezifische Behandlungswege enthalten. Auch im deutschen Recht werden keine Unterscheidungen zwischen Nanomaterialien und nicht-Nanomaterialien im Abfall getroffen.

Die Eigenschaften von Nanoabfällen und nanomaterialhaltigen Abfällen werden jedoch über die abfallrechtliche Einstufung und Kennzeichnung mit erfasst. So kann der Gehalt an Nanomaterialien dazu führen, dass ein Abfall als gefährlich zu kennzeichnen ist. Hiermit sind jedoch keine Festlegungen zur Entsorgung getroffen.

## 3.3 Quellen von Nanomaterialien in Abfällen

Grundsätzlich können Nanomaterialien aus drei unterschiedlichen Quellen in die Abfallströme gelangen:

- Nanomaterialien aus der Produktion von Nanomaterialien, sowie von Gemischen und von Produkten, die Nanomaterialien enthalten (Fehlchargen, Rückstände aus Forschung und Entwicklung, Produktionsabfälle, Abfälle von Prozesshilfsmitteln)
- Nanomaterialien, die in Produkten enthalten / gebunden sind, die von Industrie, Gewerbe und Verbraucherinnen und Verbrauchern entsorgt werden
- Nanomaterialien, die durch Reinigungstechnologien vor einer Emission in die Umwelt zurückgehalten werden aus:
  - Abwasser und Abluft in der industriellen Produktion (Klärschlämme, Filtermaterialien etc.)
  - der kommunalen Kläranlage (Klärschlämme) sowie
  - Prozessen der Abfallwirtschaft (Klärschlämme, Filtermaterialien, Schlacken, Aschen)

Über die den Gehalt an Nanomaterialien in Produkten und die entsprechenden Mengen in den Abfallströmen ist derzeit nur wenig bekannt.

## 3.4 Abfallbehandlung

Da es für Nanomaterialien keine gesonderten Vorgaben und keine Getrenntsammlung gibt, werden sie auf denselben Weg behandelt, wie Abfälle, die keine Nanomaterialien enthalten. Je nach Abfallursprung werden sie zunächst (getrennt) gesammelt, ggf. gelagert, zum Behandlungsort transportiert und dann behandelt. Für diesen letzten Schritt besteht prinzipiell die Möglichkeit einer

Beseitigung (z.B. Deponierung, Verbrennung) oder des Recyclings ggf. mit einer Rückgewinnung einzelner Wertstoffe oder bestimmter Sekundärmaterialien.

Grundsätzlich können Nanomaterialien aus diesen Prozessen der Abfallbehandlung in veränderter oder unveränderter Form

- über den Luftpfad freigesetzt werden (z.B. beim Shreddern oder Prozessen, die einen Abrieb erzeugen, sowie bei der Verbrennung)
- in das Abwasser gelangen (z.B. bei Reinigungs- oder spezifischen Lösungsprozessen)

Eine direkte Freisetzung in Böden erfolgt lediglich in den Fällen, wo in Klärschlämmen enthaltene Nanomaterialien in der Landwirtschaft eingesetzt werden sowie in ggf. schadhaften Deponien. Indirekt könnten Nanomaterialien über den Luftpfad auch durch Sedimentation in Böden gelangen.

## 4 Inhalte der Vorträge

### 4.1 Rechtsrahmen zur Berücksichtigung von Gefährlichkeits- eigenschaften im Abfallrecht - sichere Entsorgung von Abfällen, die Nanomaterialien enthalten

Herr Dr. Winfried Golla, VCI

Bei der Produktion oder der Verwendung von Nanomaterialien können Abfälle entstehen, die Nanomaterialien enthalten (im Folgenden „Nanoabfälle“ genannt). Solche Abfälle kommen z. B. bei der Herstellung von Stoffen, Gemischen oder Erzeugnissen, bei der Bearbeitung und Reparatur von Produkten oder bei der Entsorgung von Abfällen am Ende des Produktlebenszyklus vor.

Bei jeder Entsorgung von Abfällen sind zahlreiche rechtliche Regelungen zu beachten, um sowohl den Menschen wie auch die Umwelt vor nachteiligen Einflüssen zu schützen. Die zugrundeliegenden abfallrechtlichen Regelungen dienen auch zum Schutz vor gefährlichen Stoffen, die in den jeweiligen Abfällen enthalten sind. Spezifische Vorschriften für Nanoabfälle gibt es im Abfallrecht nicht. Es wird hingegen in Kürze im Rahmen der stoffrechtlichen EU-REACH-Verordnung (1907/2006/EG) spezifische Vorschriften zur Ermittlung von möglicherweise vorhandenen gefährlichen Eigenschaften von Nanomaterialien geben; dies hat dann auch Auswirkung auf die Einstufung und Kennzeichnung nach EU-CLP-Verordnung (1272/2008/EG).

Die abfallrechtlichen Anforderungen zur Ermittlung von gefährlichen Eigenschaften von Abfällen lehnen sich an das Stoffrecht an. Die EU-REACH-Verordnung wie auch die EU-CLP-Verordnung schließen Abfälle zwar zunächst einmal vom jeweiligen direkten Geltungsbereich aus. Das Abfallrecht enthält aber Querverweise und Querbeziehungen zum Stoffrecht. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn darüber zu entscheiden ist, ob ein Abfall gefährlich oder nicht gefährlich ist, und wenn Belange des Arbeitsschutzes beim Umgang mit Abfällen zu berücksichtigen sind.

Die Art der Gefährlichkeit von Abfällen wird mittels sogenannter H-Kriterien im Anhang III der EU-Abfallrahmenrichtlinie (2008/98/EG) festgelegt. Diese Abfall-H-Kriterien wiederum orientieren sich an stoffrechtliche Regelungen (aktuell noch: EU-Stoffrichtlinie (67/548/EWG) und zum Teil auch EU-Zubereitungsrichtlinie (1999/45/EG)). Eine Aktualisierung mit Bezug auf die CLP-Verordnung ist zur Zeit in Vorbereitung.

Um die Bestimmung der Gefährlichkeit von Abfällen zu systematisieren, hat die EU-Kommission mit ihrer Entscheidung 2000/532/EG ein Europäisches Abfallverzeichnis festgelegt, das mit den Abfall-H-Kriterien verknüpft ist. Der deutsche

Gesetzgeber hat dieses Abfallverzeichnis sowie die Spezifizierung der H-Kriterien mittels der Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung) in nationales Recht überführt.

Zudem verlangt die deutsche Gefahrstoffverordnung insbesondere aus Gründen des Arbeitsschutzes eine hinreichende Kennzeichnung beim Umgang mit gefährlichen Arbeitsstoffen. Entsprechende Hinweise für Abfälle finden sich in der TRGS 201 „Einstufung und Kennzeichnung bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen“.

Für die Überwachung von gefährlichen Abfällen existiert in Deutschland eine der weltweit umfangreichsten Nachweisregelungen, die in der deutschen Verordnung über die Nachweisführung bei der Entsorgung von Abfällen (Nachweisverordnung) festgeschrieben ist.

Mit der Erfüllung der Vorschriften der EU-REACH-Verordnung und der geplanten nanospezifischen Überarbeitung ihrer Anhänge wird sich die Datenbasis für Stoffe sukzessive erweitern. Dies wird sich auch auf die Bestimmung der Gefährlichkeit von Abfällen auswirken. Die REACH-Verordnung schreibt zudem vor, dass Registrierungsdossiers Hinweise zur Entsorgung enthalten müssen. Im Rahmen der Erstellung von Stoffsicherheitsberichten ist auch die Abfallphase der Stoffe zu betrachten.

Für gefährliche Stoffe und Gemische gemäß der EU-CLP-Verordnung verlangt die REACH-Verordnung zudem die Erstellung von Sicherheitsdatenblättern. Auch dort müssen Hinweise zur Entsorgung vorhanden sein.

Aus dem oben dargestellten Rechtsrahmen wird deutlich, dass das Stoffrecht sowohl bei der Festlegung der Gefährlichkeit von Abfällen wie auch beim Umgang mit diesen Abfällen eine wesentliche Rolle spielt. Dies bezieht sich sowohl auf die Betroffenheit der Umwelt als auch auf die des Menschen. Das Stoffrecht bewertet Stoffe nach ihren gefährlichen Eigenschaften und nach der Exposition von Mensch und Umwelt. Dies wird rechtlich auf dem oben skizzierten Weg auf Abfälle übertragen.

Sollte sich herausstellen, dass ein Stoff in nanoskaliger Form gefährliche Eigenschaften hat, wäre der konkrete Stoff stoffrechtlich entsprechend einzustufen und zu kennzeichnen, und es wären im Sicherheitsdatenblatt entsprechende Informationen zur Gefährlichkeit und Hinweise für Risikomanagementmaßnahmen zu geben. Dies würde über den oben beschriebenen Weg dann auch entsprechenden Eingang in das Abfallrecht finden und würde dann gegebenenfalls dazu führen, dass ein Nanoabfall als gefährlicher Abfall (sog. „Sonderabfall“) eingestuft würde.

Fazit:

Werden im Rahmen des Stoffrechtes Gefährlichkeitsmerkmale für Stoffe ermittelt, sind hieran die resultierenden abfallrechtlichen Anforderungen und die

gegebenenfalls erforderlichen Schutzmaßnahmen im Umgang mit den relevanten Abfällen angelehnt. Überlegungen zu eigenen stoffspezifischen Regelungen im Abfallrecht, z.B. für Nanoabfälle, wären aus Gründen der Kohärenz wohl kontraproduktiv und würden Vollzugs- und Anwendungsprobleme verursachen. Es wird hingegen in Kürze im Stoffrecht, im Rahmen der REACH-Verordnung, spezifische Vorschriften zur Ermittlung von möglicherweise vorhandenen gefährlichen Eigenschaften von Nanomaterialien geben, die dann Eingang in die nanospezifische Betrachtung von Nanoabfällen finden werden.

## 4.2 Abfallpolitischer Rahmen

### 4.2.1 Stand der abfallpolitischen Diskussion

Herr Dr. Andreas Jaron, BMUB

Die Kreislaufwirtschafts- und Abfallpolitik hat zwei zentrale Aufgaben:

- Rückführung von Ressourcen in den Wirtschaftskreislauf (Kreislauffunktion);
- Ausschleusung oder Zerstörung von schädlichen und unbrauchbaren Materialien (Senkenfunktion).

In einer modernen Kreislaufwirtschaft wie der deutschen werden beide Aufgaben mit großem Erfolg erledigt: Sehr hohe Recyclingraten korrespondieren mit sehr hohen Emissionsreduzierungen und Zerstörungs- / Ausschleusungsraten.

Trotzdem bleiben in beiden Bereichen weitergehende Anforderungen: Weitere Stoffe (insbesondere die „kritischen Rohstoffe“) sind in den Kreislauf einzubeziehen; die „blinden Flecken“ bei potentiellen Schadstoffen sind aufzuhellen. In der Diskussion stehen hier insbesondere Mikrokunststoffe und Nanomaterialien in Abfällen; daneben gibt es jedoch immer wieder Materialien in Abfällen, die einer besonderen Betrachtung und Herangehensweise bedürfen.

Wegen der Eigenschaften von Nanomaterialien werden diese in Abfällen (außer bei Monochargen) in der Regel nicht festgestellt. Allerdings ist das Vorhandensein von Nanomaterialien in Altprodukten und damit in Abfällen evident. Ob die Entsorgungspfade und -technologien in der Lage sind, die vorhandenen Nanomaterialien zu zerstören / auszuschleusen ist Gegenstand verschiedener Untersuchungen, insbesondere im Rahmen der OECD. In der allgemeinen umweltpolitischen Diskussion steht diese unbeantwortete Frage nicht hoch auf der Prioritätenliste; trotzdem und gerade deshalb wird auf fachlicher Ebene versucht, hier sichere Erkenntnisse zu generieren und gegebenenfalls notwendige Maßnahmen zum Schutz von Gesundheit und Umwelt zu entwickeln.

## 4.2.2 Nanoabfälle – gibt es ein Problem?

Frau Dr. Julia Vogel, Umweltbundesamt

Nanomaterialien (NM) sind Materialien, die einen Anteil von mindestens 50% Partikel in der Größenordnung von 100 Nanometer oder weniger ( $\approx 1 - 100 \text{ nm}$ ) in mindestens einer Dimension enthalten (Definition der EU-Kommission <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:275:0038:0040:DE:PDF> ). Sie können natürlichen oder anthropogenen Ursprungs sein. Im Zusammenhang mit den Risiken der Nanomaterialien sind anthropogen hergestellte Nanopartikel im Fokus, diese werden häufig auch als ENP „engineered nanoparticles“ bezeichnet. Neben der tatsächlichen physikalischen Gestalt der Partikel ist sowohl die chemische Zusammensetzung als auch die Funktionalität der Oberfläche der Partikel sehr variabel; NM lassen sich keiner einzelnen Stoffgruppe zuordnen und können deshalb nur schwer als eine einheitliche Gruppe betrachtet werden, so dass generelle Aussagen über das Verhalten praktisch unmöglich sind.

Auch die Produkte in denen NM Anwendung finden sind sehr vielfältig<sup>2</sup>, so dass davon ausgegangen werden kann, dass sich nanomaterialhaltige Abfälle (sogen. Nanoabfälle) in vielen verschiedenen Abfallströmen wiederfinden. Eine Mengenabschätzung für Nanoabfälle ist schwierig, da bisher keine Kennzeichnungspflicht für Nanomaterialien in Produkten besteht und selbst die in Produkten enthaltenen Nanomaterialien deklariert sind, werden keine Mengen angegeben.

Da Nanomaterialien inzwischen in verschiedensten Produkten enthalten sind, ist auch davon auszugehen, dass in allen Abfallbehandlungsanlagen (MVA, MBA, Recycling) und Deponien auch Nanoabfälle mitbehandelt/eingbracht werden. Wie sich Nanomaterialien dort verhalten und wie oder ob sie von dort in die Umwelt eingetragen werden, ist bisher weitgehend unbekannt. Erste Studien an Abfallverbrennungsanlagen zeigen, dass sich Nanomaterialien weitestgehend in den festen Rückständen der Verbrennung und den Filterstäuben wiederfinden<sup>3</sup>.

Nanoabfälle rücken erst jetzt in den Fokus der Wissenschaft und es sind noch zu viele Fragen offen, um eine Antwort auf die Frage zu geben, ob Nanoabfälle ein Problem für Mensch und Umwelt sind. Es bleibt festzustellen, dass wir mehr Forschung benötigen und Nanoabfälle als potentielles Risiko im Blick behalten

---

<sup>2</sup> [http://www.bund.net/themen\\_und\\_projekte/nanotechnologie/einsatzbereiche/](http://www.bund.net/themen_und_projekte/nanotechnologie/einsatzbereiche/);  
[http://www.nanowerk.com/nanotechnology\\_databases.php](http://www.nanowerk.com/nanotechnology_databases.php); <http://nanotechproject.org/cpi/products/>

<sup>3</sup> Walser et al., "Persistence of engineered nanoparticles in a municipal solid-waste incineration plant", Nature Nanotechnology, Vol 7, August 2012

sollten, um ggf. schnell handeln zu können, sollten sich negative Umweltauswirkungen zeigen.

#### **4.2.3 Abfälle mit Nanomaterialien – Auswirkungen auf Organisation und Technologie der Abfallentsorgung?**

Dr. Mathias Tellenbach, Terraconsult Bern

Arbeiten für das Schweizer BAFU zur Entsorgung von Produktionsabfällen und für die OECD zum Recycling von Abfällen mit Nanomaterialien

Wenn Produkte mit Nanomaterialien nach ihrem Gebrauch zu Abfall werden, gelangen sie zur Verbrennung, zum Recycling oder zur Deponie. Welche Nanomaterialien in den Produktabfällen enthalten sind ist für den Entsorger oder Recycler im Allgemeinen nicht ersichtlich. Sogar wenn die nanoteiligen Inhaltsstoffe bekannt sind, bestehen Wissenslücken über ihr Verhalten in Entsorgungsprozessen und über die möglichen Auswirkungen auf Gesundheit, Sicherheit und Umwelt. Die Abfallwirtschaft ist einmal mehr mit etwas Unbekanntem konfrontiert.

Eine Frage ist: Wie problematisch ist das überhaupt? Und eine weitere Frage: Gibt es sinnvolle Strategien, um mit weitgehend unbekanntem Risikopotenzialen in der täglichen Entsorgungspraxis umzugehen?

Der Referent wird sich anhand seiner Arbeiten für das Schweizer Bundesamt für Umwelt BAFU und für die OECD „Working Party on Resource Productivity and Waste WPRPW diesen Fragen annähern.

Links:

OECD WPRPW, Website: <http://www.oecd.org/env/waste/>

Bundesamt für Umwelt, Bern, Nanoabfälle:  
<http://www.bafu.admin.ch/abfall/01472/12850/index.html?lang=de>

Bundesamt für Gesundheit, Bern, Nano-Website des Bundes  
<http://www.bag.admin.ch/nanotechnologie/index.html?lang=de>

Direkter Link auf Konzept-Papier: M. Tellenbach: „Entsorgung von Abfällen aus Herstellung sowie industrieller und gewerblicher Verarbeitung von synthetischen Nanomaterialien“, Bern 2010:  
[http://www.bafu.admin.ch/abfall/01472/12850/index.html?lang=de&download=NHZLpZeg7t,lnp6l0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z26gpJCGeXx\\_fWym162epYbg2c\\_JjKbNoKSn6A--](http://www.bafu.admin.ch/abfall/01472/12850/index.html?lang=de&download=NHZLpZeg7t,lnp6l0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z26gpJCGeXx_fWym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A--)

## 4.3 Ressourceneffizienz und Chancen für die Abfallwirtschaft

### 4.3.1 Lebenszyklus von Nanoprodukten mit Fokus auf das Thema Abfall

Herr Dr. Rolf Danzebrink, Nanogate

Am Beispiel eines realen industriellen Produktes der Nanogate AG ([www.nanogate.com](http://www.nanogate.com)) werden entlang der Wertschöpfungskette die Abfallbilanzen erläutert. Bei dem betrachteten Produkt handelt es sich um Glas, welches mit einer UV-Schutzschicht versehen ist. Solche Gläser finden Anwendung in Museen, Bilderrahmen, Schaufenstern und auch Leuchten. UV-Schutzgläser bewahren Kunstwerke und Gegenstände vor Wertverlust. Die Schutzbeschichtung enthält nanopartikuläre UV-Absorber in einer hybriden Matrix.

Der Aufbau des Produktes wird schematisch erklärt und detailliert die Mobilität der Nanopartikel besprochen. Der Lebenszyklus des Produktes (Life Cycle Assessment, LCA) wird in Relation zu einem Referenzprodukt auf nicht nanotechnologischer Basis aufgezeigt und diskutiert. Es werden Chancen und Nutzen des Produktes für den Verbraucher dargestellt als auch die Risiken beleuchtet. Grundlage der Betrachtungen ist u.a. der Nachhaltigkeitscheck des Öko-Instituts e.V. (<http://www.oeko.de/fileadmin/pdfs/oekodoc/1138/2011-020-de.pdf>) und das EU-geförderte Projekt Nanosustain (<http://www.nanosustain.eu/>).

### **4.3.2 Aktuelle Entwicklungen beim Recycling von Nanopartikeln**

Herr Prof. Dr.-Ing. Jorg Thöming, Zentrum für Umweltforschung und nachhaltige Technologien - UFT, Universität Bremen

Die Rückgewinnung von Nanopartikeln steigt in ihrer Bedeutung mit dem Wert der Materialien. Die zukünftige Verknappung technologisch bedeutender Rohstoffe wird ihr Übriges tun, den Trend hin zu zunehmender Notwendigkeit einer Rückgewinnung von Nanopartikeln zu verstärken. Desungeachtet stecken die Rückgewinnungstechniken noch in den Kinderschuhen. Während Bulkmaterial, das Nanopartikel enthält (Beispiel Polymere), mit heutigen Techniken sortiert und aufbereitet werden kann, ist die (groß)technische Abtrennung von Nanopartikeln aus Matrices ein weitgehend unerforschtes Gebiet. Bereits eine Trennung von größeren Mengen von Submikrometerpartikeln kann mitunter eine Herausforderung sein.

Auf dem Gebiet der Analytik von Submikrometer-Partikeln gibt es eine Reihe von Konzepten zur Trennung. Ein Beispiel für derartige Trennapparate ist der Differential mobility analyzer, ein Aerosolseparator, der seit vielen Jahren etabliert, jedoch nur begrenzt für Nanopartikel einsetzbar ist. Das liegt an dem mit sinkender Partikelgröße zunehmendem Problem, die abzutrennenden Teilchen elektrisch aufzuladen. Derartige Herausforderungen finden sich bei allen technischen Optionen. Beispielsweise wird der störende Einfluss der Brownschen Molekularbewegung bzw. Diffusion umso größer, je kleiner die Partikel werden.

Einen zusätzliche Frage ist, in wie weit sich bestehende Konzepte aus dem Bereich der Analytik derart im Maßstab vergrößern lassen, dass auch große Massenströme mit akzeptablem Energieaufwand behandelt werden können. Ob der Energieaufwand vertretbar wäre, ist von den Kosten ebenso abhängig wie vom Ergebnis einer Lebenszyklusanalyse.

## **4.4 Entsorgung von Nanoabfällen und nanomaterialhaltigen Abfällen**

### **4.4.1 Untersuchung des Emissionsverhaltens nanomaterialhaltiger Abfälle in der thermischen Verwertung**

Dipl.-Ing.(FH) Julia Zach<sup>1</sup>, Dr.-Ing. Michael Jakuttis<sup>1</sup> (Fraunhofer UMSICHT); Dr.-Ing. Ragnar Warnecke<sup>2</sup> (GKS – Gemeinschaftskraftwerk Schweinfurt GmbH)

Nanomaterialien werden in verschiedenen Bereichen wie z. B. in Textilien, Kosmetika oder Verpackungen eingesetzt. Infolgedessen ist davon auszugehen, dass Nanomaterialien bzw. nanomaterialhaltige Stoffe in Verbraucherprodukten am Ende ihrer Lebenszyklen entlang der bestehenden Entsorgungspfade in zunehmendem Umfang in Abfallverbrennungsanlagen gelangen. Dabei ist bisher

wenig darüber bekannt, wie sich nanomaterialhaltige Stoffe bei der Verbrennung verhalten und ob durch den erhöhten Einsatz von Nanomaterial in Produkten Expositionen in die Umwelt zu erwarten sind.

Innerhalb des dreijährigen Projektes des Umweltbundesamtes »Untersuchung möglicher Umweltauswirkungen bei der Entsorgung nanomaterialhaltiger Abfälle in Abfallbehandlungsanlagen« soll durch systematische Versuche in Kleinf Feuerungsanlagen im Technikumsmaßstab und Messungen an einer Müllverbrennungs – und Klärschlammverbrennungsanlage das Verhalten von nanomaterialhaltigen Abfällen bei der Verbrennung untersucht werden. Dabei sollen Erkenntnisse über Verbleib und mögliche strukturelle Veränderungen des Nanomaterials gewonnen werden. Hierzu wird der gesamte Weg vom Abfallstoff über Verbrennung, Filterung des Abgases bis hin zu einer möglichen Freisetzung in die Umwelt betrachtet. Aus den Experimenten sollen letztendlich die Verteilungspfade der untersuchten Nanomaterialien in Schlacke und Flugstaub sowie im Abgas nach den Filteranlagen ermittelt und soweit realisierbar quantifiziert werden.

Vorversuche im Technikumsmaßstab und erste Messkampagnen im Müllteil des Gemeinschaftskraftwerk Schweinfurt GmbH wurden bereits durchgeführt. Einige Ergebnisse werden bei der Veranstaltung Nanodialog gezeigt. Die nächste Messkampagne ist für Anfang nächsten Jahres in einer Klärschlammverbrennungsanlage geplant, da eine weitere Exposition der Nanomaterialien über den Abwasserpfad möglich ist.

#### **4.4.2 Auswirkungen von Nanomaterialien bei landwirtschaftlicher Verwertung von Klärschlämmen**

Frau Prof. Dr. Juliane Filser, Universität Bremen

Im Rahmen der Reststoffverwertung werden nach wie vor Klärschlämme auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht. Dieser Vortrag diskutiert mögliche unerwünschte Nebenwirkungen auf das Bodenleben.

Als Fallbeispiel werden Ergebnisse des vom BMBF geförderten Verbundprojekts "UMSICHT" zu Nanosilber in Textilien vorgestellt. In diesem Projekt wurden unter anderem Messungen in einer Modellkläranlage durchgeführt, die zeigten, dass mehr als 90% der Silbernanopartikel im Klärschlamm zurückgehalten werden. Wird dieser auf Böden aufgebracht, kann es zu Anreicherungen der Partikel und ggf. einer Freisetzung aus dem Schlamm kommen, wenn dessen organischen Bestandteile abgebaut werden. In Toxizitätstests konnten, wenngleich bei relativ hohen Konzentrationen, toxische Wirkungen auf alle Organismen beobachtet werden.

Basierend auf Daten anderer Studien sowie grundsätzlichen Überlegungen zu Nanomaterialien im Allgemeinen, die bei der Risikobewertung der landwirtschaftlichen Reststoffverwertung berücksichtigt werden sollten, stellen sich weitere Fragen, zum Beispiel:

- Wie verändern sich Nanomaterialien in Böden über die Zeit?
- Welche Bedeutung hat die chronische Exposition mit niedrigen Konzentrationen?
- Könnten Resistenzbildungen bei pathogenen Mikroorganismen durch Nanomaterialien gefördert werden?
- Können Nanomaterialien die Aufnahme anderer Schadstoffe im Umgebungsmedium bei Organismen erhöhen?
- Können sich Nanomaterialien über die Nahrungskette in höheren Organismen anreichern?

## 4.5 Kreislaufwirtschaft

### 4.5.1 Relevanz von Nanomaterialien in Recyclingprozessen

Frau Jutta Struwe, Prognos AG

Produkte, die Nanomaterialien enthalten, verbreiten sich zunehmend. In Herstellungs- und Verarbeitungsprozessen von Nanomaterial-basierten Produkten gilt den gesundheitlichen Risiken für die Beschäftigten ein besonderes Augenmerk. Da bisher keine abschließenden Befunde vorliegen, wird im Produktionsbereich umfassend auf Präventionsmaßnahmen zum Gesundheits- und Arbeitsschutz gesetzt. Die Studie der Prognos AG zur Bedeutung von Nanomaterialien beim Recycling von Abfällen zeigt, dass viele dieser nanomaterialhaltigen Produkte nach ihrem Nutzungsende wieder stofflich verwertet, d.h. recycelt, werden. Da im Recyclingprozess eine Wiederfreisetzung nanomaterialhaltiger Stäube nicht ausgeschlossen werden kann, wird die Anwendung spezifischer Präventionsmaßnahmen zum Gesundheitsschutz auch für die Beschäftigten im Bereich Recycling empfohlen. Es besteht darüber hinaus Forschungsbedarf zu Möglichkeiten einer Wiederfreisetzung von Nanomaterialien im Zuge des Recyclings und zu ihrer technischen Minimierung ebenso wie zur weiteren Verbreitung von Nanomaterialien in Recyclingprodukten.

Link zur Studie: <http://www.boeckler.de/5137.htm?produkt=HBS-005367&chunk=4&jahr>

#### 4.5.2 EHS-Projekt NanoMia: Nanomaterialien in Abfällen – Erste Ergebnisse aus einem Expertenworkshop

Dr. André Gzásó, Österreichische Akademie der Wissenschaften, Institut für Technikfolgen-Abschätzung

Projektkonsortium: Institut für Abfallwirtschaft, Universität für Bodenkultur, Wien und Österreichische Akademie der Wissenschaften, Institut für Technikfolgen-Abschätzung

Im Jahr 2011 waren in der Produktdatenbank des Woodrow Wilson International Center über 1.300 Konsumprodukte registriert, die synthetisch hergestellte Nanomaterialien bzw. Manufactured Nanomaterials (MNMs) enthalten und bereits am Markt erhältlich sind (PEN, 2012). Die Datenbank der Österreichischen Akademie der Wissenschaften umfasste im März 2009 über 450 Einträge, wobei die meisten Einträge in den Kategorien Textilien, Kosmetika, Beschichtungen und Medizin gezählt wurden (Greßler et al., 2009). Die Anzahl nanobasierter Konsumprodukte am weltweiten Markt nimmt rasant zu. Derzeit ist nur wenig bekannt, wie sich Nanomaterialien verhalten, wenn sie das Ende ihrer Nutzungsphase erreicht haben und über diverse Abfallströme Eingang in Abfallbehandlungsanlagen – z.B. (mechanisch-)biologische Verfahren, thermische Behandlung, spezifische Recyclingprozesse – finden oder in Deponien enden. Weder über die quantitative Relevanz noch hinsichtlich potentieller Wirkungsweisen weiß man derzeit Genaueres. Aus Sicht der Entsorgung von MNMs existieren bislang auch keine spezifischen rechtlichen Regelungen oder Überwachungsmechanismen.

Im Rahmen von NANOMIA soll in einem ersten Schritt die österreichische Produkt-Datenbank mittels Marktanalysen aktualisiert werden, um einen Überblick über die derzeit am österreichischen Markt erhältlichen Nano-Konsumprodukte zu bewahren. Die Ergebnisse dieser Datenbank sollen mittels Dialogverfahren in einer Expertenrunde mit Stakeholdern, wie Produzenten, Behörden, Vertretern des Arbeitnehmer- sowie Konsumentenschutzes, diskutiert und evaluiert werden.

Ein weiteres Ziel von NANOMIA ist, anhand von repräsentativen Produktbeispielen und auf Basis einer internationalen Literaturstudie stoffflussbasierte Entsorgungs- sowie Expositionsszenarien für die österreichische abfallwirtschaftliche Situation zu entwickeln, um eine Datengrundlage für weiterführende Risikobewertungen schaffen zu können.

Mit Fokus auf die „End-of-Life-Phase“ von Nanomaterialien zeigen bisherige Modellierungen von Mueller et al. (2013), dass z.B. bis zu 62 % von Nano-Zink und bis zu 61 % bzw. 58 % von Nano- Titandioxid oder -Silber als Schlacke in Reststoffdeponien abgelagert werden. Im Rahmen von NANOMIA sollen auf Basis dieser ersten internationalen Ansätze und anhand eines Literatur-Reviews mögliche

Entsorgungs- und Expositionspfade für MNMs in den ausgewählten Produkten mittels Stoffflussdiagrammen dargestellt werden.

Die entwickelten Szenarien sollen zur Veranschaulichung der derzeitigen Situation in Österreich dienen und gleichzeitig helfen, Handlungsbedarf hinsichtlich rechtlicher Regulative und notwendiger Überwachungsmechanismen zu identifizieren. Hierzu sollen Vorgaben des Abfallwirtschaftsgesetzes (AWG 2002) und ausgewählter Verordnungen sowie EU-weite Regelungen durchleuchtet und ihre Anwendbarkeit (z.B. Richtwerte, Mengenschwellen etc.) evaluiert werden. Auf Basis einer weiterführenden Literaturstudie über etablierte Verfahren in der Umweltanalytik sollen überblicksmäßig Methoden zum Monitoring von Nanomaterialien in Abfallströme