

NanoDialog  
der Bundesregierung

# Nanotechnologien und Abfall

Bericht des BMUB

Januar 2015

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>Einleitung</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Begriffe - Abfälle, die Nanomaterialien enthalten</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Rechtliche Regelungen zu Nanomaterialien in Abfällen</b> .....	<b>5</b>
3.1	Einstufung von Abfällen als gefährliche Abfälle .....	5
3.2	Verbindungen zwischen Stoff- und Abfallrecht.....	6
3.3	REACH und die Abfallphase von Stoffen .....	7
3.4	Konsequenzen der Einstufung von Abfällen als gefährliche Abfälle .....	8
<b>4</b>	<b>Abschätzung möglicher Risiken durch Nanomaterialien in Abfällen</b> .....	<b>8</b>
4.1	Informationen über den Gehalt an Nanomaterialien in Abfällen .....	9
4.1.1	Abfälle aus der Herstellung und Verarbeitung von Nanomaterialien .....	9
4.1.2	Nanomaterialhaltige Abfälle aus Altprodukten .....	9
4.2	Entsorgungswege und mögliche Freisetzung von Nanomaterialien in die Umwelt .....	11
4.2.1	Deponierung.....	11
4.2.2	Biologische Verwertung.....	12
4.2.3	Thermische Verfahren .....	12
4.2.4	Landwirtschaftliche Verwertung .....	14
4.2.5	Stoffliche Verwertung.....	15
4.3	Wege zur Schließung der Wissenslücken über mögliche Risiken durch Nanomaterialien in Abfällen .....	16
4.3.1	Top-down Ansatz zur Emissionsabschätzung .....	17
4.3.2	Bottom-up Ansatz zur Emissionsabschätzung.....	18
<b>5</b>	<b>Chancen für die Abfallwirtschaft durch Nanotechnologien</b> .....	<b>18</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Empfehlungen vom FachDialog „Nanotechnologien und Abfall“</b>	<b>19</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Nanoabfall und nanomaterialhaltiger Abfall .....	5
---------------------------------------------------------------	---

## 1 Einleitung

Nanotechnologien und Nanomaterialien werden in zunehmendem Maße in Produkten und Prozessen eingesetzt. Hierdurch ist bezüglich der Abfallbehandlung einerseits mit Chancen für den Umweltschutz zu rechnen, unter anderem durch Materialeinsparungen (Abfallvermeidung) und Effizienzsteigerungen in den Verfahren zur Abfallentsorgung. Andererseits können auch Risiken entstehen, wenn Nanomaterialien aus Abfällen freigesetzt und (in die Umwelt) emittiert werden. Nanomaterialien können aus ihren Herstellungsprozessen, aus ihrer Verarbeitung sowie aus Altprodukten, in denen sie enthalten sind, in Abfälle gelangen.

Die möglichen Chancen der Anwendung von Nanotechnologien in der Abfallwirtschaft und die möglichen Risiken durch den Gehalt an Nanomaterialien in Abfällen sind bislang in der Öffentlichkeit wenig diskutiert. Auch die Akteure der Abfallwirtschaft haben sich bisher noch nicht eingehend mit der Thematik befasst.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) hat im Rahmen des NanoDialogs der Bundesregierung einen FachDialog zum Thema „Nanotechnologien und Abfall“ ausgerichtet<sup>1</sup>. Im Oktober 2014 setzten sich etwa 25 Vertreterinnen und Vertreter verschiedener Interessensgruppen anhand von Vorträgen und Diskussionen mit dem Thema auseinander.

Dieser Bericht gibt einen Überblick über den Stand des Wissens zu unterschiedlichen Aspekten des Themas „Nanotechnologien und Abfall“ und gibt zentrale Diskussionsinhalte und –ergebnisse des FachDialogs wieder. Die Thematik möglicher Gefährdungen am Arbeitsplatz wird explizit nicht behandelt.

## 2 Begriffe - Abfälle, die Nanomaterialien enthalten

In diesem Dokument wird der Begriff „Nanoabfälle“ für Abfälle verwendet, die hauptsächlich Nanomaterialien enthalten und gezielt und getrennt gesammelt werden (können). Nanoabfälle entstehen lediglich während der Herstellung und Verarbeitung von Nanomaterialien. Abfälle aus Produkten, in denen Nanomaterialien enthalten sind, werden als „nanomaterialhaltige Abfälle“ bezeichnet<sup>2</sup>. In beiden Fällen muss gemäß der rechtlichen Definition von Abfall eine Entledigung stattfinden,

---

<sup>1</sup> [http://www.bmub.bund.de/themen/gesundheitschemikalien/nanotechnologie/details-nanotechnologie/artikel/fachdialog-3-abfall-und-entsorgung/?tx\\_ttnews\[backPid\]=2227](http://www.bmub.bund.de/themen/gesundheitschemikalien/nanotechnologie/details-nanotechnologie/artikel/fachdialog-3-abfall-und-entsorgung/?tx_ttnews[backPid]=2227)

<sup>2</sup> Der Begriff Nanoabfall wird in anderen Kontexten teilweise anders verwendet. Im Nanotrust 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.

eine Entledigungsabsicht vorliegen oder eine Entledigung zum Schutz des Allgemeinwohls geboten sein.

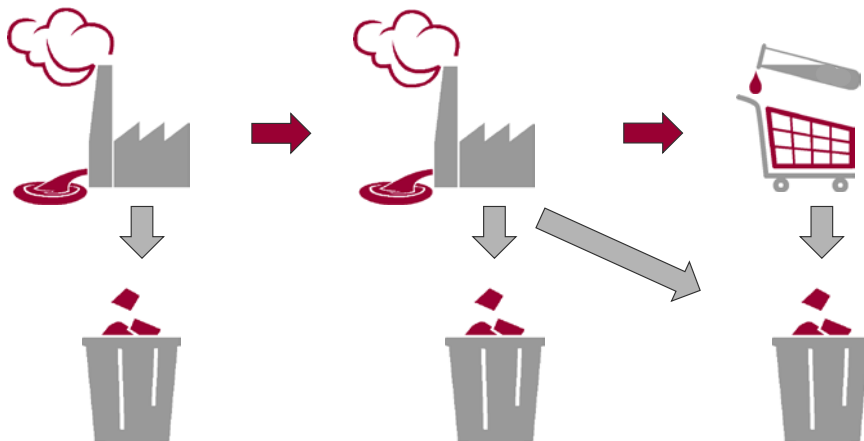


Abbildung 1: Nanoabfall und nanomaterialhaltiger Abfall

Nanomaterialhaltige Rückstände aus der Emissionsminderung in Anlagen, zum Beispiel Klärschlämme oder Filterrückstände aus thermischen Verwertungsanlagen, werden ebenfalls als nanomaterialhaltige Abfälle bezeichnet.

### 3 Rechtliche Regelungen zu Nanomaterialien in Abfällen

Nanomaterialien sind im europäischen und deutschen Abfallrecht weder speziell geregelt, noch von den Regelungen ausgenommen. Insofern beziehen sich alle rechtlichen Anforderungen an Abfälle auch auf Abfälle, die Nanomaterialien enthalten.

#### 3.1 Einstufung von Abfällen als gefährliche Abfälle

Im Abfallrecht werden gefährliche und nicht gefährliche Abfälle unterschieden. Jeder Abfall ist nach der deutschen Abfallverzeichnisverordnung einzustufen. Das Abfallverzeichnis listet verschiedenste Abfallarten gruppiert nach Herkunftsbereichen und Abfallarten auf. Erfüllen Abfälle ein oder mehrere Gefährlichkeitskriterien - so genannte H-Kriterien - gelten sie als gefährlich. Sie müssen damit einem Eintrag mit

einem Sternchen (\*) zugeordnet und gemäß der Anforderungen an gefährliche Abfälle gehandhabt werden. Da Abfälle die gleiche Herkunft und Art haben, jedoch unterschiedlich zusammengesetzt sein können, gibt es oft zwei Einträge im Abfallverzeichnis („Spiegeleinträge“): einen mit und einen ohne Sternchen. Spezifische Einträge für Nanoabfälle und nanomaterialhaltige Abfälle gibt es bisher nicht.

In der Praxis, prüfen die Abfallerzeuger zunächst die Art und Herkunft der Abfälle und ermitteln so den Eintrag im Verzeichnis, der auf den Abfall zutrifft. Existieren Spiegeleinträge so ist die individuelle Einstufung anhand der H-Kriterien zu prüfen und entsprechend ein Eintrag mit oder ohne Sternchen zu wählen.

### 3.2 Verbindungen zwischen Stoff- und Abfallrecht

Das Stoff- und das Abfallrecht sind über die Gefährlichkeitsmerkmale miteinander verbunden. Im Anhang III der europäischen Abfallrahmenrichtlinie sind insgesamt 15 Gefährlichkeitsmerkmale als H-Kriterien definiert, wovon 12 denen der EU-Verordnung zur Einstufung und Kennzeichnung von Stoffen und Gemischen<sup>3</sup> entsprechen. Die Entscheidung über das europäische Abfallverzeichnis<sup>4</sup>, in der auch die H-Kriterien definiert sind, ist aktuell überarbeitet worden.<sup>5</sup>

Im Abfallrecht, wie auch im Stoffrecht, sind für die Gefährlichkeitsmerkmale Konzentrationsgrenzen definiert<sup>6</sup>. Enthält ein Abfall einen oder mehrere Stoffe<sup>7</sup> mit den jeweiligen gefährlichen Eigenschaften oberhalb dieser Konzentrationsgrenzen, so ist der Abfall als gefährlich einzustufen. Die Information über die gefährlichen Eigenschaften eines Stoffes (Einstufung aus dem Chemikalienrecht) in einem Abfall ist für die Einstufung des Abfalls also eine wichtige Grundlage.

Das Kriterium H14 definiert, wann ein Abfall aufgrund seiner ökotoxischen Eigenschaften als gefährlich einzustufen ist. Derzeit wird diesbezüglich überprüft, ob die M-Faktoren aus der Einstufungs- und Kennzeichnungsverordnung ins Abfallrecht übernommen werden. Die M-Faktoren sind für einzelne, besonders ökotoxische Stoffe, zum Beispiel Schwermetalle, in der Einstufungs- und Kennzeichnungsverordnung

<sup>3</sup> VERORDNUNG (EG) Nr. 1272/2008 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen

<sup>4</sup> ENTSCHEIDUNG DER KOMMISSION vom 3. Mai 2000 zur Ersetzung der Entscheidung 94/3/EG über ein Abfallverzeichnis gemäß Artikel 1 Buchstabe a) der Richtlinie 75/442/EWG des Rates über Abfälle und der Entscheidung 94/904/EG des Rates über ein Verzeichnis gefährlicher Abfälle im Sinne von Artikel 1 Absatz 4 der Richtlinie 91/689/EWG über gefährliche Abfälle

<sup>5</sup> BESCHLUSS DER KOMMISSION vom 18. Dezember 2014 zur Änderung der Entscheidung 2000/532/EG über ein Abfallverzeichnis gemäß der Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates (2014/955/EU)

<sup>6</sup> Nicht für alle Gefährlichkeitsmerkmale sind Konzentrationsgrenzen vorhanden, zum Beispiel fehlen diese für entflammbare Abfälle.

<sup>7</sup> Für Details der Einstufungs- und Kennzeichnungsregeln bzw. der Regeln zur Abfalleinstufung wird auf die einschlägige Literatur verwiesen. An dieser Stelle können nur die übergeordneten Prinzipien dargelegt werden.

spezifisch definiert und führen bei der Einstufung von Gemischen zu einer teilweise sehr deutlichen Verringerung der Konzentrationsgrenzen für die Ökotoxizität.

Wenn Nanomaterialien gefährliche Eigenschaften haben, so kann das ein Grund dafür sein, einen Abfall als gefährlich einzustufen. Dies wäre dann der Fall, wenn der Gehalt an als gefährlich eingestuften Nanomaterialien alleine oder in Summe mit anderen Abfallinhaltsstoffen mit den gleichen Eigenschaften, die Konzentrations-schwellen überschreiten. Der Gehalt an Nanomaterialien in Abfällen als solcher, ist dagegen kein Einstufungsmerkmal.

### 3.3 REACH und die Abfallphase von Stoffen

REACH verpflichtet Hersteller und Importeure von Stoffen, die in Mengen oberhalb von 1 t/a auf den Markt gebracht werden, im Rahmen der Registrierung Untersuchungen zu deren gefährlichen Eigenschaften durchzuführen. Die Art und Anzahl der durchzuführenden Tests steigt mit zunehmender Tonnage pro Hersteller oder Importeur. Somit werden durch REACH die Daten generiert<sup>8</sup>, die zur Einstufung und Kennzeichnung von Stoffen notwendig sind, was auch eine wichtige Grundlage für die Bestimmung der Gefährlichkeit von Abfällen ist.

Für als gefährlich eingestufte Stoffe, die in Mengen oberhalb von 10 t/a auf den Markt gebracht werden, ist für die REACH-Registrierung eine Stoffsicherheitsbewertung durchzuführen, die gemäß Anhang I der Verordnung auch die Bewertung von Risiken in der Abfallphase einschließt. Obwohl ein einschlägiger ECHA-Leitfaden<sup>9</sup> existiert, wird dieser Schritt bislang in der Realität kaum oder gar nicht bearbeitet<sup>10</sup>. Somit werden unter REACH keine neuen Informationen über mögliche Risiken durch Stoffe in Abfällen erzeugt und in der Wertschöpfungskette kommuniziert.

Die Registranten müssen zudem in ihrem Dossier angeben, welche Verwendungen des Stoffes sie unterstützen. Verwendungen werden auf Ebene von Branchen (zum Beispiel Textilverarbeitung), Typen von Gemischen (zum Beispiel Textilhilfsmittel, Wasch- und Reinigungsmittel) sowie Erzeugniskategorien (zum Beispiel Kunststoff-erzeugnisse, Papiererzeugnisse) beschrieben. Allerdings werden so nur sehr grob die möglichen Verwendungen charakterisiert. Eine Ableitung der Mengen eines Stoffes, die in der Realität in einer bestimmten Verwendung genutzt werden ist hingegen nicht möglich.

<sup>8</sup> Aufgrund der unterschiedlichen Prüfanforderungen in Abhängigkeit von der registrierten Tonnage sind für die Stoffe, die in kleineren Mengen registriert werden allerdings nicht für all Gefährlichkeitseigenschaften auch Daten vorhanden.

<sup>9</sup> [http://echa.europa.eu/documents/10162/13632/r18\\_v2\\_final\\_en.pdf](http://echa.europa.eu/documents/10162/13632/r18_v2_final_en.pdf)

<sup>10</sup> Hierfür gibt es unterschiedliche Gründe, unter anderem a) die Meinung, dass die Bewertung abgebrochen werden darf, wenn ein Stoff im Gemisch / Erzeugnis ausreichend verdünnt ist, b) das Fehlen entsprechender Emissionsmodelle für die Prozesse der Abfallwirtschaft sowie c) ein Verständnis der Registranten, dass REACH die Abfallphase nicht abdeckt und eine Bewertung der Abfallphase nicht durchgeführt werden muss.

Nanomaterialien sind unter REACH ebenso zu registrieren, wie Stoffe, die nicht nanoskaliert sind. Sie können als Verwendung eines Bulkstoffes oder, wenn keine solche existiert, wie zum Beispiel bei Kohlenstoffnanoröhrchen, eigenständig registriert werden.

Die deutschen Bundesoberbehörden haben der EU-Kommission einen Vorschlag<sup>11</sup> zur Überarbeitung von REACH bezüglich Nanomaterialien unterbreitet. Zur Verbesserung der Informationslage werden unter anderem Änderungen der Testanforderungen für und eine vereinfachte Registrierung von Nanomaterialien in Mengen ab 100 kg/a vorgesehen. Es ist derzeit unklar, wann die EU-Kommission einen Vorschlag für eine Anpassung von REACH vorlegen wird. Fest steht insoweit, dass die EU-Kommission nur die Anhänge von REACH anpassen wird. Die Verordnung selbst wird nicht geöffnet.

### **3.4 Konsequenzen der Einstufung von Abfällen als gefährliche Abfälle**

Bei der Handhabung und in der Entsorgung gefährlicher Abfälle sind höhere Sicherheitsstandards einzuhalten, als bei den nicht als gefährlich eingestuften Abfällen. Diese Standards gelten für die Getrennthaltung, für die Lagerung, den Transport sowie die Behandlung der entsprechenden Abfälle. Darüber hinaus gelten umfassende Dokumentationspflichten des Entsorgungsweges. Auch gelten strengere Anforderungen bei der Genehmigung der Entsorgungsanlagen, das heißt an die dort zu implementierenden Schutzmaßnahmen für die Arbeitnehmer und die Umwelt. Spezifische Schutzstandards für Nanoabfälle oder nanomaterialhaltige Abfälle existieren nicht.

## **4 Abschätzung möglicher Risiken durch Nanomaterialien in Abfällen**

Die Abschätzung möglicher (Umwelt-)risiken durch Nanomaterialien erfordert Informationen über die Gefährlichkeit von Nanomaterialien und die aus Abfällen in die Umwelt emittierten Mengen der Nanomaterialien, sowie Daten zu ihrem Umweltverhalten oder gemessenen Expositionshöhen. In den folgenden Kapiteln wird auf die einzelnen Aspekte eingegangen sowie Möglichkeiten aufgezeigt, bestehende Wissenslücken zu schließen.

---

<sup>11</sup> <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/nanomaterialien-reach>



## 4.1 Informationen über den Gehalt an Nanomaterialien in Abfällen

### 4.1.1 Abfälle aus der Herstellung und Verarbeitung von Nanomaterialien

Den Herstellern von Nanomaterialien sollte die Zusammensetzung ihrer Produktionsabfälle, einschließlich des Gehaltes an Nanomaterialien, gut bekannt sein. Allerdings sind Abfälle, die ausschließlich aus einem Nanomaterial bestehen eine Ausnahme, da aus Gründen der Produktionseffizienz bei der Herstellung zumeist kaum Abfälle entstehen. Es können jedoch Fehlchargen anfallen oder Abfälle entstehen, wenn Stoffe zu lange gelagert werden, die dann entsorgt werden müssen.

Die Kenntnis der Abfallzusammensetzung aus der Verarbeitung der Nanomaterialien sollte auch bei den Formulierern relativ gut sein, da sie ihre Einsatzstoffe in der Regel kennen. Hersteller von Erzeugnissen wissen hingegen oftmals nicht genau, ob und welche Stoffe / Nanomaterialien in den Gemischen, Materialien oder Bauteilen enthalten sind, die sie einsetzen. Daher ist ihnen auch über die Bestandteile der von ihnen erzeugten Abfälle wenig bekannt.

Beim FachDialog „Nanotechnologien und Abfall“ wurde am Beispiel einer nanozinkhaltigen Beschichtung für Gläser zur Abschirmung von UV-Strahlen verdeutlicht, dass Hersteller und Verarbeiter der Beschichtung über ausreichend Informationen zu den spezifischen Eigenschaften der enthaltenen Nanomaterialien und des Abfalls insgesamt verfügen, um den anfallenden Nanoabfall sicher zu handhaben und zu entsorgen. Durch eine Vorbehandlung vor Ort, in diesem Fall dem Einstellen eines sauren oder basischen pH-Werts, können die kritischen Eigenschaften des Abfalls verändern und der Abfall dann „normal“ weiter behandelt werden.

### 4.1.2 Nanomaterialhaltige Abfälle aus Altprodukten

Der überwiegende Teil der Abfallströme besteht aus Stoffmischungen und Altprodukten (Erzeugnissen), deren konkrete Zusammensetzung nicht oder nur wenig bekannt ist. Für diese Abfallströme kann eine Einstufung basierend auf den H-Kriterien einzelner Inhaltsstoffe schwierig sein. Abfälle aus Altprodukten (zum Beispiel Elektronikschrott) gelten zudem in der Regel nicht deswegen als gefährlich, weil von ihnen eine direkte Gefahr ausgeht, sondern weil besondere Entsorgungswege zu wählen sind, um Gefahren zu vermeiden; gegebenenfalls sind auch Ressourcen zurückzugewinnen.

Eine Möglichkeit, Hinweise auf den Gehalt von Nanomaterialien in Abfällen zu bekommen ist es, Kenntnisse darüber zu erlangen, welchen Nanomaterialien in welchen Produkten enthalten sind.

In einem Arbeitspapier der EU-Kommission zur Überprüfung der EU-Gesetzgebung bezüglich Nanomaterialien<sup>12</sup> werden die folgenden Kategorien mengenmäßig relevanter Nanomaterialien auf dem europäischen Markt gebildet: anorganische nichtmetallische Nanomaterialien, kohlenstoffbasierte Nanomaterialien, metallische Nanomaterialien und organische, makromolekulare oder polymere Nanomaterialien.

Den größten Marktanteil hat gemäß dem Arbeitspapier der EU-Kommission Carbon Black, das in Reifen und Gummiprodukten angewendet wird, gefolgt von funktionellen Füllstoffen in Polymeren (überwiegend synthetisches, amorphes Silizium sowie Metalloxide und Silber). Des Weiteren werden Nanomaterialien in relevantem Umfang in der Elektronikindustrie (amorphes Silizium und Bariumtitanat), in kosmetischen Produkten (amorphes Silizium, Titandioxid und Zinkoxid) sowie biomedizinischen Anwendungen (verschiedene Materialien, unter anderem Gold und Silber) eingesetzt.

Laut einer Studie der Prognos AG<sup>13</sup> enthalten die folgenden Abfallströme relevante Mengen an Nanomaterialien: Elektronik, Papier, Metalle, Textilien, Elektrogeräte, Batterien, Kunststoffe und Gummi. Allerdings erlaubt die bisherige Datenlage keine genauere Abschätzung über die Art und den Gehalt der Nanomaterialien in den verschiedenen Abfallfraktionen.

Auswertungen der Datenbank des österreichischen Instituts für Technikfolgenabschätzung über den Gehalt an Nanomaterialien in Verbraucherprodukten zeigen<sup>14</sup>, dass Titandioxid und Nanosilber die am häufigsten in Verbraucherprodukten verwendeten Nanomaterialien sind.

Eine dänische Studie<sup>15</sup> führt aus, dass in den Abfallströmen Metall, Plastik, Textilien, Elektro- und Elektronikschrott, Altfahrzeuge, Reifen und Bauschutt die häufigsten Nanomaterialien Kohlenstoffnanoröhrchen, Nanosiliziumdioxid, Nanosilber sowie Nanotitandioxid sind. Zinkoxid wird zudem sehr häufig in Elektro- und Elektronikschrott gefunden. Reifen und Plastik aus Verbraucheralterprodukten enthalten zudem häufig Nanoton.

---

<sup>12</sup> COMMISSION STAFF WORKING PAPER Types and uses of nanomaterials, including safety aspects Accompanying the Communication from the Commission to the European Parliament, the Council and the European Economic and Social Committee on the Second Regulatory Review on Nanomaterials, SWD(2012) 288 final, Brussels, 3.10.2012

<sup>13</sup> Jutta Struwe, Eva Schindler: Bedeutung von Nanomaterialien beim Recycling von Abfällen, Arbeitspapier 270, November 2012;  
[http://www.prognos.com/fileadmin/pdf/publikationsdatenbank/121100\\_Prognos\\_HansBoecklerStiftung\\_Bedeutung\\_von\\_Nanomaterialien.pdf](http://www.prognos.com/fileadmin/pdf/publikationsdatenbank/121100_Prognos_HansBoecklerStiftung_Bedeutung_von_Nanomaterialien.pdf)

<sup>14</sup> Siehe Vortrag Herr Dr. Gaszó, [http://www.oekopol.de/wp-content/uploads/12\\_Gazso\\_MIA\\_Projekt\\_und\\_Stakeholderdialog.pdf](http://www.oekopol.de/wp-content/uploads/12_Gazso_MIA_Projekt_und_Stakeholderdialog.pdf)

<sup>15</sup> Danish Ministry of the Environment: Nanomaterials in Waste, Environmental Project No. 1608, 2014;  
<http://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/2014/nov/nano-affaldsrapport/>

## 4.2 Entsorgungswege und mögliche Freisetzung von Nanomaterialien in die Umwelt

Grundsätzlich können vier Pfade für die Abfallentsorgung unterschieden werden:

- Deponierung,
- biologische Verwertung,
- thermische Verfahren und
- stoffliche Verwertung.

Die „Entsorgung“ von „Abfällen“ über Kläranlagen wird hier nicht betrachtet, sondern lediglich auf die Ausbringung der entstehenden Klärschlämme auf landwirtschaftlich genutzten Böden eingegangen<sup>16</sup>.

### 4.2.1 Deponierung

Seit 2009 sollten alle europäischen Deponien gemäß der Deponierichtlinie (Richtlinie 1999/31/EG) betrieben werden. In der Deponierichtlinie werden unter anderem die Anforderungen an den Bau und Betrieb von Deponien definiert, einschließlich der Art und Dicke der Bodenabdichtung, der Kontrolle der (pH und Dichte-) Bedingungen im Deponiekörper, der Drainage und Sickerwasserbehandlung, der Deponieabdeckung sowie der Deponiegasfassung.

Aufgrund der unterschiedlichen Abfallarten, Deponietypen und Bedingungen, die im Deponiekörper existieren, ist es schwierig, Emissionen von Stoffen aus Deponien zu modellieren. Vorhandene Modellierungsmethoden beziehen sich überwiegend auf die Bildung und Emission von Methan.

Die Autoren des Bericht „Nanomedicine – new solutions or new problems?“<sup>17</sup> interpretieren die Ergebnisse einer Studie zum Verhalten von Nanopartikeln in Deponien<sup>18</sup> dahingehend, dass Nanoabfälle Anlass zur Besorgnis geben, da sie unerwünschte Wirkungen auf die anaeroben und aeroben Prozesse in der Deponie (Zersetzung des Abfalls und Sickerwasserbehandlung) haben können. Zudem bestünde die Möglichkeit einer Freisetzung der Nanomaterialien mit dem Sickerwasser.

<sup>16</sup> Zum Thema Wasser, einschließlich der Abwasserbehandlung, hat ebenfalls ein FachDialog stattgefunden und ist ein Bericht verfügbar: [http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Nanotechnologie/nano\\_fd2\\_wasser\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Nanotechnologie/nano_fd2_wasser_bf.pdf)

<sup>17</sup> Healthcare without harm: Nanomedicine – new solutions or new problems? December 2013, Belgium <http://noharm-europe.org/sites/default/files/documents-files/2462/HCVH%20Europe%20Nanoreport.pdf>

<sup>18</sup> Originalfundstelle von Healthcare without harm: Bolyard, S. C. *et al.* Behavior of engineered nanoparticles in landfill leachate. *Environmental Science and Technology* **47**, 8114–8122 (2013).

In der dänischen Studie<sup>15</sup> werden Untersuchungen zitiert, die zwar Emissionen von Nanomaterialien mit dem Sickerwasser als grundsätzlich möglich, allerdings als relative unwahrscheinlich ansehen, da die Bedingungen im Deponiekörper eine Agglomeration und Immobilisierung von Nanomaterialien fördern. In einer dort zitierten Studie zur Emission von Kohlenstoffnanoröhrchen durch Permeation der Deponieabdichtung wurde gezeigt, dass auch dieser Emissionsweg unwahrscheinlich ist.

Die vorhandenen Informationen zum Verhalten und den Emissionen von Nanomaterialien in Deponien erlauben derzeit keine Schlussfolgerungen bezüglich möglicher Risiken durch gefährliche Nanomaterialien in Abfällen.

#### **4.2.2 Biologische Verwertung**

Bioabfälle machen einen wesentlichen Anteil der Haushaltsabfälle aus und werden teilweise in Kompostierungs- und Vergärungsanlagen entsorgt. Über eine Verwendung von Kompost und Vergärungsprodukten im Landschafts- und Gartenbau kann prinzipiell ein Eintrag der in den Bioabfällen gegebenenfalls enthaltenen Nanomaterialien in die Umwelt stattfinden. Zudem können für Mikroorganismen schädliche Stoffe die Prozesse in der Kompostierung und Vergärung stören.

In einer Untersuchung<sup>19</sup> zu möglichen Einträgen von Nanomaterialien in Anlagen zur biologischen Verwertung von Abfällen wurde festgestellt, dass bislang nur wenige Nanomaterialien in Nahrungs- und Futtermitteln zugelassen sind. Somit wird in der Publikation davon ausgegangen, dass auch die entsprechenden Abfallströme kaum Nanomaterialien enthalten sind. Allerdings könnten laut dem Autor zum Beispiel über Verpackungen oder Haushaltsgeräte und Fehlwürfe, Nanomaterialien in den Bioabfall eingetragen werden.

Über das Verhalten von Nanomaterialien in Kompostier- und Vergärungsanlagen sind derzeit keine Studien bekannt. Nach aktuellem Kenntnisstand fehlen auch spezifische Emissionsmodelle aus Anlagen zur biologischen Verwertung.

#### **4.2.3 Thermische Verfahren**

In thermischen Verfahren werden unterschiedlichste Materialien (Produkte, Rückstände et cetera) mit und ohne Nanomaterialien bei hohen Temperaturen verbrannt. Nach Stand der Technik wird die Abluft mit Hilfe von Filtern und Wäschern gereinigt und aus der Brennkammer verbleiben Schlacken sowie (Flug- und Rost-)Asche.

---

<sup>19</sup> Informationen aus diesem und dem ersten Absatz aus: Klaus Hoppenheidt: Einfluss von Nanomaterialeinträgen auf die Bioabfallkompostierung und –vergärung, DOI: 10.13140/2.1.4070.5920 Conference: Synthetische Nanopartikel in der Umwelt - Fachveranstaltung des Bayerischen, At München

Das Fraunhofer Institut Umsicht bearbeitet derzeit im Auftrag des Umweltbundesamtes ein Projekt zur „Untersuchung des Emissionsverhaltens nanomaterialhaltiger Abfälle in der thermischen Verwertung“. Nanoskaliges Titandioxid wurde in einer Versuchsanlage sowie in einer Müllverbrennungsanlage dem Abfall zugegeben. Die Analytik erfasste den Gehalt an Titan bzw. dessen Verteilung in den Emissionspfaden aus der Anlage.

Insgesamt konnte ein hoher Anteil des zugegebenen Nanomaterials wiedergefunden werden (ca. 95%). Die Messungen zeigen, dass sich weder die Titankonzentration im Rauchgas noch der Titananteil an der Staubmasse durch die Titandioxidzugabe signifikant erhöht. Der größte Anteil des Titans wird in der Verbrennung abgeschieden und findet sich entsprechend in der Rostschlacke (ca. 92 %) sowie der Flugasche (ca. 5%). Die Untersuchungen zeigen auch, dass die Rauchgasreinigung Titan effektiv zurückhält. Diese Ergebnisse stimmen mit denen einer Studie<sup>20</sup> aus der Schweiz zu Ceroxid in Müllverbrennungsanlagen überein.

Die dänische Studie zu Nanomaterialien und Abfall<sup>15</sup> fasst zusammen, dass anorganische Nanomaterialien hauptsächlich in der Schlacke und der Flugasche zu finden sind. Wird die Schlacke umweltoffen, zum Beispiel im Straßenbau, eingesetzt, ist es prinzipiell möglich, dass Nanomaterialien ausgewaschen werden. Kohlenstoffnanoröhrchen werden laut der Studie in der Verbrennung vollständig zerstört, wenn die Verbrennungstemperatur ausreichend hoch ist. Nicht zerstörte Kohlenstoffnanoröhrchen werden hauptsächlich in der Schlacke zurückgehalten.

Im Bericht „Nanomedicine – new solutions or new problems“<sup>17</sup> werden zwei Studien zitiert, in denen das Verhalten von Nanomaterialien in der Verbrennung und ihr Einfluss auf die Emission anderer Schadstoffe untersucht wurden. Es wurden Hinweise darauf gefunden, dass Nanomaterialien in der Verbrennung vielfältigen physikalischen und chemischen Umwandlungen unterliegen. Sie können die Bildung oder Zerstörung anderer Schadstoffe, zum Beispiel von Dioxinen, katalysieren oder die Effizienz von Emissionsminderungstechniken beeinflussen<sup>21</sup>. Zudem wird berichtet<sup>22</sup>, dass die Emission von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Abfällen, denen Nanomaterialien beigegeben waren, teilweise um ein 6-faches höher lag als bei Vorhandensein der entsprechenden Bulkmaterialien. Es wurden zudem höhere Konzentrationen chlorierter Furane gemessen, wenn die Abfälle Silber- und Titananopartikel enthielten.

<sup>20</sup> [http://www.ethlife.ethz.ch/archive\\_articles/120521\\_nanopartikel\\_kehricht\\_su/index](http://www.ethlife.ethz.ch/archive_articles/120521_nanopartikel_kehricht_su/index)

<sup>21</sup> Originalfundstelle von Healthcare without harm: Holder, A. L. *et al.* Nanomaterial disposal by incineration. *Environmental Science: Processes Impacts* **15(9)** 1652-1664 (2013).

<sup>22</sup> Originalfundstelle von Healthcare without harm: Vejerano, E. P. *et al.* Emissions of polycyclic aromatic hydrocarbons, polychlorinated dibenzo-p-dioxins, and dibenzofurans from incineration of nanomaterials. *Environmental Science and Technology* **47**, 4866-4874 (2013).

Die Ergebnisse zum Verhalten von Nanomaterialien können als Hinweis darauf gewertet werden, dass thermische Verwertungsanlagen, die dem Stand der Technik entsprechen, Nanomaterialien aus dem Abfall zurückhalten und es kaum Emissionen in die Umwelt gibt. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die Ergebnisse nicht auf alle Nanomaterialien und Anlagenarten übertragen werden können. Zudem wurde die weitere Entsorgung der Schlacken und Aschen nicht betrachtet; eine Verwendung im Straßenbau könnte zum Beispiel zu einer relevanten Freisetzung der Nanomaterialien in Böden führen. Außerdem ist unklar, ob und inwieweit Nanomaterialien in Verbrennungsanlagen die Bildung anderer Schadstoffe katalysieren oder verringern können. Daher sind auch zur Verbrennung bislang keine abschließenden Aussagen zum Risikopotenzial von Nanoabfällen möglich.

#### 4.2.4 Landwirtschaftliche Verwertung

Laut verschiedener Studien<sup>23</sup> werden zwischen 90 und 95% der untersuchten, im Abwasser enthaltenen Nanomaterialien mit dem Klärschlamm in den Kläranlagen zurückgehalten. Ob und inwieweit die Studienergebnisse über zumeist metallische Nanopartikel auf alle Nanomaterialien übertragen werden können ist derzeit unklar.

Ein Teil der in Kläranlagen anfallenden Klärschlämme werden getrocknet und in thermischen Verwertungsanlagen verbrannt (siehe Kapitel 4.2.3).

Die Verwendung von Klärschlämmen auf landwirtschaftlichen Flächen ist nur unter bestimmten Bedingungen möglich. Aufgrund der teilweise hohen Schadstoffgehalte wird aktuell diskutiert, die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlämmen in Deutschland in naher Zukunft zu beenden.

Die Ergebnisse des Projekts „Umsicht“<sup>24</sup> zeigen verschiedene kritische Punkte bezüglich des Gehalts an Nanomaterialien, die mit Klärschlämmen auf landwirtschaftlich genutzte Böden ausgebracht werden, unter anderem: Nanosilber (und gegebenenfalls andere (ähnliche) Nanomaterialien) werden in einem Klärschlamm-Boden-Gemisch gebunden und können sich im Boden anreichern. Nanosilber sowie Eisenoxid-Nanopartikel hemmen die Aktivität von Mikroorganismen, teilweise bereits bei sehr geringen Konzentrationen, und können somit die natürlichen Prozesse in Böden stören.

Die oben zitierten Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Ausbringung von Klärschlämmen auf landwirtschaftlichen Flächen zu Umweltemissionen von Nanomaterialien sowie negativen Wirkungen auf Böden führen kann. Eine

---

<sup>23</sup> Siehe auch die Dokumentation des FachDialogs 2 unter [http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Nanotechnologie/nano\\_fd2\\_wasser\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Nanotechnologie/nano_fd2_wasser_bf.pdf)

<sup>24</sup> Abschätzung der Umweltgefährdung durch Silber-Nanomaterialien: vom Chemischen Partikel bis zum Technischen Produkt; <http://www.umsicht.uni-bremen.de/>



abschließende Bewertung möglicher Risiken kann daraus jedoch nicht abgeleitet werden.

#### 4.2.5 Stoffliche Verwertung

Nanomaterialien gelangen über Altprodukte (siehe Kapitel 4.1.2) beziehungsweise andere Altmaterialströme in die Prozesse der stofflichen Verwertung. Je nach Material unterscheiden sich die Recyclingverfahren und damit die physikalisch-chemischen Bedingungen, denen Nanomaterialien in den Produktmatrices ausgesetzt sind.

Derzeit existieren kaum Untersuchungen<sup>25</sup>, ob und in welchem Ausmaß in den verschiedenen Prozessen mit einer Freisetzung von Nanomaterialien aus den Altprodukten zu rechnen ist. In der dänischen Studie zu Nanomaterialien und Abfall<sup>15</sup> wird lediglich beschrieben, dass wiederum Abfälle aus den Recyclingprozessen entstehen, deren Entsorgung bereits beschrieben wurde (siehe oben).

Auch über einen Transfer von Nanomaterialien in neue Produkte ist bislang kaum Information vorhanden. In der dänischen Studie<sup>15</sup> werden verschiedene Fälle beschrieben, für die eine Auslaugung von Nanomaterialien aus Recyclingprodukten möglich ist, zum Beispiel die Nutzung von Altreifen oder Altplastik im Straßenbau oder auf Außenflächen.

Ob und wie Nanomaterialien die Recyclingprozesse stören können und / oder ob die Materialqualitäten durch ihren Gehalt in Altprodukten beeinflusst werden (können) ist ebenfalls nicht bekannt.

Möglichkeiten zur gezielten stofflichen Verwertung von Nanomaterialien aus Abfällen bestehen derzeit kaum (beim FachDialog wurde lediglich die Rückgewinnung von Nanosilber aus fotochemischen Prozessabwässern genannt). Allerdings werden Verfahren zur Rückgewinnung wertvoller Nanomaterialien derzeit erforscht. Während bei magnetischen Nanopartikeln relativ gute Anreicherungs- und Abtrennungsmöglichkeiten bestehen, sind die Verfahren für nicht-magnetische Partikel aufwändig und derzeit noch nicht wirtschaftlich darstellbar.

---

<sup>25</sup> Im Vortrag von Herrn Danzebrink beim FachDialog wurde berichtet, dass beim Schmelzen von mit Nanozinkoxid beschichteten Gläsern keine Nanozinkpartikel freigesetzt werden.

### 4.3 Wege zur Schließung der Wissenslücken über mögliche Risiken durch Nanomaterialien in Abfällen

Prinzipiell können weitere Erkenntnisse über mögliche Risiken durch Nanomaterialien in Abfällen auf zwei Wegen erhalten werden:

- Top-down: Abschätzung der Exposition von Mensch und Umwelt aus Informationen über die Verwendung von gefährlichen Nanomaterialien und die jeweiligen Entsorgungspfade nanomaterialhaltiger Produkte mittels Modellierung,
- Bottom-up: Emissionsmessungen bei der Entsorgung verschiedener, marktrelevanter Nanomaterialien mit gefährlichen Eigenschaften in unterschiedlichen Prozessen der Abfallwirtschaft und Extrapolation dieser Messergebnisse anhand von Marktdaten.

Für beide Wege sind Informationen über die Gefährlichkeit der jeweils betrachteten Nanomaterialien notwendig, um eine Risikobewertung durchführen zu können. Die Informationslage zu den gefährlichen Eigenschaften von Nanomaterialien ist nach übereinstimmender Einschätzung der Teilnehmenden verschiedener FachDialoge nicht zufriedenstellend, unter anderem aufgrund einer fehlenden (Aufbereitungen von) Toxizitätsdaten und widersprüchlichen Testergebnissen. Allerdings seien die vorhandenen Daten ausreichend, um Arbeiten zur Risikoforschung auf diejenigen Materialien zu fokussieren, welche nachgewiesenermaßen gefährliche Eigenschaften haben oder für die es starke Hinweise auf eine Gefährlichkeit gibt.

Neue Informationen über die Gefährlichkeit von Nanomaterialien werden durch die REACH-Umsetzung (insbesondere nach der Überarbeitung der Anhänge mit den Testvorschriften) erwartet. Allerdings könnte die Untergrenze von 1t/a für die Registrierungspflicht die Anzahl der Nanomaterialien, für die neue Informationen verfügbar werden, einschränken.

Für die Ermittlung der Expositionshöhe der Umweltkompartimente mittels Modellierungen sind auch Informationen über das Umweltverhalten von Nanomaterialien notwendig. Diese werden ebenfalls aus der Registrierung erwartet.

Ein grundsätzliches Problem liegt darin, dass zwar regionale und auf bestimmte Anlagenstandards bezogene Einschätzungen möglich sind, aber die entsprechenden nanomaterialhaltigen Abfälle weltweit entstehen und Anlagen nach Stand der Technik (BAT) nur in wenigen Staaten vorhanden sind. Welche Emissionen und Risiken in Staaten zu erwarten sind, die nicht über Entsorgungswege nach Stand der Technik verfügen, und welche Bedeutung dies für die Produzentenverantwortung hat, ist weiter zu diskutieren.



### 4.3.1 Top-down Ansatz zur Emissionsabschätzung

Die Umweltexposition mit Nanomaterialien aus der Abfallphase könnte ausgehend von den Marktmengen mittels Emissions- und Expositionsmodellen für die Prozesse der Abfallwirtschaft abgeschätzt werden. Für diesen top-down Ansatz würden die Mengen der Nanomaterialien, die in die Abfallentsorgung eingehen, ermittelt aus Informationen über:

- Herstellungsmengen,
- den Gehalt in Produkten, die zu Abfall werden,
- Erwartungsmengen an Altprodukten,
- Anteile an Altprodukten in unterschiedlichen Abfallströmen und Entsorgungspfaden.

Informationen über die Herstellungsmengen sind wahrscheinlich momentan am vollständigsten und sind zum Beispiel in einem Arbeitspapier<sup>12</sup> der EU-Kommission zusammengetragen.

Im Rahmen vorausgegangener FachDialoge wurde hingegen bereits festgestellt, dass Daten über den Einsatz von Nanomaterialien in Produkten derzeit nur sehr vereinzelt verfügbar sind.

Daten über den Gehalt spezifischer Nanomaterialien in Produkten könnten prinzipiell den vorhandenen Produktdatenbanken entnommen werden. Allerdings sind diese zumeist sehr lückenhaft, da die Meldung von Produkten freiwillig ist oder die Datenbanken auf öffentlich verfügbaren Produktinformationen beruhen. Die Meldepflichten für Nanomaterialien in Frankreich, Belgien und Dänemark könnten aber in naher Zukunft entsprechende Informationen liefern.

Die REACH-Verordnung erzeugt dagegen nur sehr bedingt Informationen zu Verwendungen von Nanomaterialien, da mit der Registrierung lediglich mögliche Anwendungsbereiche in einer sehr groben Auflösung und ohne tatsächliche Mengenströme benannt werden.

Die Abfallwirtschaft erhebt regelmäßig die Anteile verschiedener Materialien und Altprodukte in den unterschiedlichen Entsorgungspfaden. Allerdings bestehen deutliche Unsicherheiten in Hinblick auf die erwarteten Produktmengen in den Abfallfraktionen, die zu einem bestimmten Zeitpunkt oder in einer bestimmten Zusammensetzung auf den Markt gebracht wurden.

Für eine Emissionsabschätzung aus den Prozessen der verschiedenen Entsorgungspfade werden Modelle mit Emissionsfaktoren für die Behandlung von Nanomaterialien in Abfällen benötigt. Diese existieren derzeit jedoch nicht und müssten entwickelt

werden. Daher können momentan lediglich worst-case Abschätzungen gemacht werden, die grundlegende chemisch-physikalische Eigenschaften der Nanomaterialien und Prozessbedingungen in den Entsorgungsprozessen berücksichtigen. Soweit vorhanden, könnten Informationen aus Emissionsmessungen zur Verfeinerung dieser worst-case Abschätzungen oder zur Entwicklung validerer Emissionsmodelle verwendet werden (siehe nächstes Kapitel).

#### **4.3.2 Bottom-up Ansatz zur Emissionsabschätzung**

Bei einem bottom-up Ansatz zur Emissionsabschätzung würden Messdaten über Emissionen aus einigen Prozessen und für einige Nanomaterialien auf die gesamte Abfallwirtschaft und auf alle relevanten Nanomaterialien extrapoliert.

Entsprechend würden relevante, gefährliche Nanomaterialien, beispielhafte Abfallströme und konkrete Entsorgungsprozesse für repräsentative Messungen zum Emissionsverhalten von Nanomaterialien ausgewählt. In den Messungen wären dann jeweils die Eingangsmengen der Nanomaterialien in den Entsorgungsprozess sowie die Emissionsmengen in Luft, Wasser und gegebenenfalls den Boden zu bestimmen (siehe auch das Vorgehen zur Emissionsbewertung aus der thermischen Verwertung in Kapitel 4.2.3).

Im zweiten Schritt müsste die Übertragbarkeit der gewonnenen Daten auf andere Nanomaterialien in weiteren Abfallströmen und gegebenenfalls anderen Entsorgungsprozessen geprüft und eine Extrapolation der Emissionsmengen unter Berücksichtigung der Herstellungsmengen, Verwendungen und Abfallstruktur vorgenommen werden. Hier würde auf Informationen des top-down Ansatzes zurückgegriffen.

## **5 Chancen für die Abfallwirtschaft durch Nanotechnologien**

Momentan liegen vergleichsweise wenige Informationen über den Einsatz von Nanomaterialien und Nanotechnologien in der Abfallwirtschaft und den dadurch erzeugten Nutzen vor. Beispiele für eine Effizienzsteigerung der Prozesse finden sich zum Beispiel in der Verwendung von mit Nanomaterialien beschichteten Wärmetauschern in thermischen Verwertungsanlagen, die die Energieausbeute aus der Verbrennung deutlich erhöhen. Zudem werden Nanotechnologien und -materialien zum Beispiel in Form von Filtern zur Abluftreinigung eingesetzt. Vielfältige, nanotechnologiebasierte Verfahren zur Reinigung von Abwasser<sup>26</sup> werden bereits eingesetzt oder befinden sich in der Erforschung.

---

<sup>26</sup> Diese Thematik wurde beim FachDialog zum Thema aquatische Umwelt eingehend beleuchtet. Hier wird auf den entsprechenden Bericht verwiesen.

Beim FachDialog „Nanotechnologien und Abfall“ wurden weitere Potenziale in der Verwendung von Nanomaterialien als Marker für (Kunststoff-) Materialien gesehen, die die Sortiereffizienz von Kunststoffabfallströmen erhöhen könnten.

Der Einsatz von Nanomaterialien in Produkten kann zudem Potenziale im Bereich der Abfallvermeidung eröffnen, zum Beispiel durch die Verlängerung der Lebensdauer von Produkten aufgrund stabilerer Materialien (unter anderem Kunststoffkomposite mit Kohlenstoffnanoröhrchen).

Ob der geringe Informationsstand zu konkreten technischen Lösungen und Einsatzerfahrungen darin begründet liegt, dass sich die entsprechenden Verfahren noch in der internen Entwicklung befinden oder ob dies einer generellen Zurückhaltung von Verfahrensanbietern in Bezug auf das Herausstellen der nanotechnischen Basis ihrer Lösungen zurückzuführen ist<sup>27</sup>, konnte im Verlauf des FachDialoges nicht aufgeklärt werden.

## 6 Zusammenfassung und Empfehlungen vom FachDialog „Nanotechnologien und Abfall“

Die möglichen Risiken und Nutzen der Anwendung von Nanotechnologien im Bereich Abfall und Abfallwirtschaft sind bislang nur wenig diskutiert und erforscht.

Beim FachDialog „Nanotechnologien und Abfall“ wurde berichtet, dass Verbraucherinnen und Verbraucher durchaus ein Interesse am Thema haben. Aus den Unternehmen der Entsorgungswirtschaft war das Bild uneinheitlich: einige Entsorger sehen eine prinzipielle Besorgnis in Hinblick auf mögliche Risiken im Arbeits- und Umweltschutz; bei anderen überwiegt die Überzeugung, dass die bestehenden, dem Stand der Technik entsprechenden Verfahren und Anlagen eine sichere Entsorgung auch von Nanomaterialien gewährleisten.

Grundsätzlich bestand beim FachDialog Einigkeit, dass in der Diskussion zwischen Abfällen aus der Produktion und Verarbeitung von Nanomaterialien (Nanoabfälle) und Abfällen aus Altprodukten (nanomaterialhaltige Abfälle) unterschieden werden sollte. Im Vergleich zu nanomaterialhaltigen Abfällen

- ist die Zusammensetzung von Nanoabfällen, einschließlich ihrem Gehalt an Nanomaterialien prinzipiell bekannt,
- sind Nanoabfälle homogen und haben vielfach keine komplexe Matrixstruktur.

<sup>27</sup> Generell zeigen die Erfahrungen im Kontext der Vorbereitung und Durchführung der verschiedenen thematischen FachDialoge eine zunehmende Zurückhaltung bei Marktakteuren nanotechnologische Aspekte offensiv in der Außendarstellung zu betonen.

Beim FachDialog wurde ausgeführt, dass Nanoabfälle bei Kenntnis der spezifischen Eigenschaften der enthaltenen (gefährlichen) Nanomaterialien und dem Einsatz moderner Entsorgungstechnik grundsätzlich sicher vorbehandelt und entsorgt werden können. Es wurde aber auch deutlich, dass nicht davon auszugehen ist, dass alle Unternehmen, die Nanomaterialien verarbeiten und entsprechende Nanoabfälle erzeugen, über entsprechende Sachkenntnis verfügen. Außerdem ist zu erwarten, dass die meisten Staaten nicht über entsprechend hochentwickelte Entsorgungsstrukturen (BAT) verfügen. Daher sollten nach Meinung der Teilnehmenden am FachDialog Leitfäden und Hilfestellungen zur sicheren Entsorgung von Nanoabfällen erstellt werden. Ein Beispiel hierfür ist das Konzeptpapier<sup>28</sup> aus der Schweiz. Zudem wurde betont, dass die Kommunikation konkreter Hinweise zur Vorbehandlung und Entsorgung von Nanoabfällen mit dem Sicherheitsdatenblatt durch die Hersteller von Nanomaterialien und die Formulierer nanomaterialhaltiger Gemische an die Anwender von zentraler Bedeutung ist.

Für eine übergreifende Abschätzung möglicher Risiken durch Nanomaterialien in Abfällen fehlen momentan sowohl Informationen über den Gehalt an Nanomaterialien in Abfällen sowie Emissionen der Nanomaterialien aus den Entsorgungsprozessen. Beim FachDialog wurde von einigen Beteiligten empfohlen, zur Schließung dieser Datenlücken die Informationslage zum Gehalt von Nanomaterialien in Produkten durch Meldepflichten oder Produktregister für priorisierte Nanomaterialien oder Produkte zu verbessern. Der Informationsbedarf der Abfallwirtschaft über Nanomaterialien in Produkten, die in bestimmte Entsorgungsprozesse gelangen, könnte zudem in die Diskussionen über die Möglichkeiten und Grenzen einer Kennzeichnungspflicht für Nanomaterialien eingebracht werden.

Ein umfassender Nachweis, dass die verschiedenen Entsorgungspfade für Nanoabfälle und nanomaterialhaltigen Abfälle hinsichtlich des Umweltschutzes geeignet sind, existiert bislang nicht.

Für die Verbrennung in Anlagen nach Stand der Technik zeigen erste Versuche mit metallischen Nanopartikeln eine gute Rückhaltung in der Schlacke. Allerdings ist nicht bekannt, ob bei der weiteren Verwertung der Schlacken Nanomaterialien in die Umwelt freigesetzt werden. Zudem ist der Einfluss von Nanomaterialien in Abfällen auf die Entstehung (umwelt-)schädlicher Verbrennungsprodukte und ihrer Rückhaltung unklar.

Untersuchungen mit Klärschlamm zeigen, dass eine landwirtschaftliche Verwertung nanosilberhaltiger Klärschlämme zu einer Anreicherung der untersuchten Partikel und negativen Effekten auf die Bodenmikroorganismen führen kann.

---

<sup>28</sup> Entwurf Konzeptpapier: Umweltverträgliche und sichere Entsorgung von Abfällen aus Herstellung sowie industrieller und gewerblicher Verarbeitung von synthetischen Nanomaterialien; <http://www.bag.admin.ch/nanotechnologie/12171/12177/index.html?lang=de>

Auch über die Auswirkungen und möglichen Emissionen von Nanomaterialien in Deponien ist nur wenig bekannt.

Nach Meinung der Teilnehmenden am FachDialog sollten weitere Untersuchungen zum Emissionsverhalten von Nanomaterialien durchgeführt werden, da die vorhandene Information zu Emissionen von Nanomaterialien aus Abfällen keine Risikobewertung (für unterschiedliche Materialien) erlauben.

Die Bestrebungen zur Verbesserung der Informationslage sollten sich dabei vorrangig auf solche Nanomaterialien fokussieren, die bekanntermaßen gefährliche Eigenschaften haben.

So könnte eine repräsentative Datenbasis aufgebaut und, im besten Fall, Emissionsmodelle für die Entsorgungsprozesse abgeleitet werden. Studien zu Verhalten und Emissionen von Nanomaterialien in Recyclingprozessen seien zudem auch deswegen hilfreich, um den Transfer von Nanomaterialien in die Produkte aus Sekundärmaterialien zu erforschen sowie mögliche Qualitätseinbußen bei den Prozessen und erhaltenen Recyclingmaterialien zu vermeiden.

Die Durchführung von Messkampagnen erfordert, wie bereits in vorherigen FachDialogen zu anderen Schwerpunktthemen festgestellt, dass die bislang fehlenden, standardisierten Messmethoden für Nanomaterialien (in komplexen Matrices) entwickelt werden.

In einigen Bereichen werden wichtige Chancen für die Abfallwirtschaft durch den Einsatz von Nanotechnologien gesehen. Beispiele hierfür sind die Installation von Wärmetauschern in Verbrennungsanlagen, der Einsatz von Nanofiltern und Nanomembranen zur Abgas- und Abwasserreinigung oder der Einsatz von „Nanomarkern“ zur Kennzeichnung von Materialien, um diese in Sortieranlagen besser erkennen und trennen zu können.

Nach Meinung verschiedener Teilnehmender beim FachDialog sollte, aufgrund des (teilweise) fehlenden Wissens und der global sehr unterschiedlichen Entsorgungsbedingungen das Vorsorgeprinzip in Hinblick auf mögliche nanospezifischen Risiken auch in der Abfallwirtschaft angewendet werden. Es bestand allerdings keine Einigkeit darüber, was das genau bedeuten würde.

Beispiele für mögliche Vorsorgemaßnahmen wären:

- Einstufung von Abfällen, die als gefährlich eingestufte Nanomaterialien oder Nanomaterialien, für die es Hinweise auf eine Gefährlichkeit gibt oder deren Identität unbekannt ist enthalten, als gefährliche Abfälle,

- Anwendung höchster Arbeitsschutz- und Umweltschutzstandards bei der Handhabung von (gefährlichen) Nanoabfällen und nanomaterialhaltigen Abfällen,
- Sicherstellung, dass Nanoabfälle und nanomaterialhaltige Abfälle nur in Entsorgungsprozesse gelangen, die eine Zerstörung der gefährlichen Eigenschaften der Nanomaterialien sicherstellen.

Wie dies bei global gehandelten Produkten durchgesetzt werden könnte, ist unklar. In jedem Fall ist eine transparente Kommunikation über den Gehalt an gefährlichen Nanomaterialien in Produkten und Abfällen notwendig, um alle Akteure der Lieferketten sowie die Verbraucherinnen und Verbraucher in die Lage zu versetzen, Abfälle sicher zu entsorgen.