

**NanoDialog**  
der Bundesregierung

## **FachDialog 2 „Aquatische Umwelt“**

Zusammenfassung der Diskussion vom FachDialog 2  
am 19. und 20. Mai 2014 in Berlin

Autoren: Antonia Reihlen, Dirk Jepsen, Laura Ausberg

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>Inhalte aus den Vorträgen</b> .....	<b>4</b>
2.1	<i>Emissionsquellen, Verteilung in der Umwelt und Regulierung</i> .....	5
2.1.1	Quellen und Verteilung von Nanomaterialien in der aquatischen Umwelt.....	5
2.1.2	Verhalten und Wirkungen von Nanomaterialien in der aquatischen Umwelt .....	5
2.1.3	Regulierung von Nanomaterialemissionen aus (industriellen) Prozessen.....	6
2.1.4	Regulierung von Nanomaterialemissionen aus Produkten .....	7
2.2	<i>Nanomaterialien im Abwasser und Abwasserklärung</i> .....	7
2.2.1	Verhalten von Nanomaterialien in Kläranlagen.....	7
2.2.2	Umweltwirkungen im Lebenszyklus von Nanosilber in Textilien .....	8
2.2.3	Abwasserreinigungstechnologien: Stand der Technik .....	8
2.3	<i>Grund- und Trinkwasser</i> .....	9
2.3.1	Regulierung von Nanomaterialien in Grund- und Trinkwasser .....	9
2.3.2	Einsatz von Nanomaterialien im Grundwasser .....	10
2.3.3	Trinkwasserreinigung mit keramischen Filtrationsmembranen .....	10
<b>3</b>	<b>Zentrale Aspekte der Diskussionen</b> .....	<b>11</b>
3.1	<i>Emission und Transformation von Nanomaterialien</i> .....	11
3.2	<i>Verhalten in der Kläranlage</i> .....	12
3.3	<i>Exposition des Bodens über den Klärschlamm</i> .....	12
3.4	<i>Messung von Nanomaterialien</i> .....	12
3.5	<i>Das Beispiel Nanosilber</i> .....	13
3.6	<i>Priorisierung von Nanomaterialien</i> .....	14
3.7	<i>Kennzeichnung und Kommunikation</i> .....	15
3.8	<i>Kommunikation der Medien</i> .....	16
3.9	<i>Nachhaltigkeitsbetrachtungen</i> .....	16
<b>4</b>	<b>Schlussfolgerungen</b> .....	<b>16</b>

## 1 Einleitung

Das Thema „Nanomaterialien in der aquatischen Umwelt“ wurde in den Diskussionen der NanoKommission sowie den vorhergehenden FachDialogen oft „am Rande mitbehandelt“. Dies liegt unter anderem daran, dass das Umweltkompartiment Wasser in der Chemikalienrisikobewertung zentral ist und viele Emissionen im Wasserpfad enden. Da für Umwelt und Gesundheit eine hohe Wasserqualität wichtig ist, wurde diesem Thema nun aber ein eigener FachDialog gewidmet.

Unter der „aquatischen Umwelt“ werden sowohl Oberflächengewässer, Grund und Trinkwasser als auch Kläranlagen verstanden. Letztere sind einerseits ein Schutzgut in der Umweltrisikobewertung und andererseits zentrale „Schaltstelle“, an der sich emittierte Nanomaterialien „sammeln“ und Abwasser von Nanomaterialien und anderen Stoffen mit oder ohne Verwendung von Nanotechnologien gereinigt wird.

Im FachDialog wurden drei inhaltliche Themenfelder diskutiert:

- 1) Oberflächengewässer: Einträge und Wirkungen von Nanomaterialien und die Regulierung der Einträge;
- 2) Abwasser: Verhalten von Nanomaterialien in Kläranlagen und nanotechnologisch unterstützte Abwasserreinigungstechniken;
- 3) Grund- und Trinkwasser: Regulierung und Behandlung.

In diesem Dokument sind die für den FachDialog zentralen Vortragsinhalte sowie die Diskussionsthemen und –ergebnisse zusammengefasst.

## 2 Inhalte aus den Vorträgen

In diesem Kapitel werden für den FachDialog zentrale Vortragsinhalte kurz wiedergegeben. Die Vorträge selbst können heruntergeladen werden unter: <http://www.oekopol.de/de/themen/chemikalienpolitik/nanodialog/nanofachdialoge-2013-2015/fachdialog-aquatische-umwelt/>

## **2.1 Emissionsquellen, Verteilung in der Umwelt und Regulierung**

### **2.1.1 Quellen und Verteilung von Nanomaterialien in der aquatischen Umwelt<sup>1</sup>**

Eine Methode, die Exposition der aquatischen Umwelt mit Nanomaterialien abzuschätzen, ist die Anwendung von Modellen. Da das Wissen über das Umweltverhalten von Nanomaterialien unvollständig ist, müssen hierfür teilweise Annahmen getroffen und im Modell integriert werden. Solange die Modelle nicht validiert werden können, ist unklar, wie realitätsnah die modellierten Expositionen sind.

Modellierungen werden genutzt, da die routinemäßige Messung der Umweltkonzentrationen von Nanomaterialien aufgrund unzureichend entwickelter und nicht kostengünstig etablierter Methoden und Techniken derzeit nicht zufriedenstellend möglich ist. Dabei kann eine unvollständige Datenlage durch das Rechnen mit Wahrscheinlichkeitswerten teilweise ausgeglichen werden.

In der vorgestellten Modellierung für die Oberflächengewässer der Schweiz wurden Emissionsmengen von Nanomaterialien mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Herstellungs- und Verwendungsmengen und Informationen über Produkte, in denen sie verwendet werden, ermittelt. Die Modellierung ergab wiederum Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Umweltkonzentrationen von Nanomaterialien. Diese wurden in Hinblick auf unterschiedliche Fragestellungen ausgewertet. Es konnte zum Beispiel gezeigt werden, dass die Expositionshöhe an den verschiedenen Stellen der Gewässer stärker vom Geschehen im Wasserkörper abhängt als von der Gesamtemission. Für einige Nanomaterialien wurden modellierte Expositionshöhen mit den jeweiligen Toxizitätsschwellen verglichen. Die Ergebnisse deuten an, dass derzeit in der Schweiz ein akutes Risiko durch Nanomaterialien unwahrscheinlich ist<sup>2</sup>. Allerdings ist auch hier zu beachten, dass unklar ist, inwieweit die modellierten Expositionen den realen Umweltkonzentrationen entsprechen.

### **2.1.2 Verhalten und Wirkungen von Nanomaterialien in der aquatischen Umwelt<sup>3</sup>**

Es wird davon ausgegangen, dass Nanomaterialien bereits in der Kanalisation, in Kläranlagen sowie in der Umwelt transformiert werden. Hierdurch können sich zum Beispiel die Größe der Teilchen, ihre Oberflächenmodifikation, der

---

<sup>1</sup> Siehe Vortrag von Herrn Dr. Fadri Gottschalk, von der ETSS – Environmental, technical and scientific services

<sup>2</sup> Über mögliche Langzeitrisiken wurden keine Aussagen gemacht.

<sup>3</sup> Siehe Vortrag von Frau Dr. Kerstin Hund-Rinke, Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie IME

Agglomerationsgrad oder ihre Aggregation verändern. Diese Transformationen werden in den ökotoxikologischen Standardtestverfahren nicht hinreichend abgebildet, da zum Beispiel die Wechselwirkungen mit organischem Material und Lebewesen, die zwar in der Umwelt, aber nicht im Testsystem vorhanden sind, nicht stattfinden können.

In Versuchen mit Nanosilber in einer Modellkläranlage konnte gezeigt werden, dass ein großer Anteil der Nanomaterialien im Klärschlamm absorbiert wird. Der Ablauf der Kläranlage, der den verbleibenden Anteil der Silbernanomaterialien enthielt, zeigte aber eine höhere Ökotoxizität als bei gleicher Konzentration der Nanomaterialien in Standardtests ermittelt wurde. Der Grund hierfür ist derzeit nicht geklärt.

Aus den Erkenntnissen der Studie wird abgeleitet, dass aufgrund der Transformation von Nanomaterialien in der Umwelt Langzeituntersuchungen der Toxizität durchgeführt werden sollten. Derzeit fehlen pragmatische Ansätze bzw. Modelle, um aus Kurzzeitstudien und anhand des Verständnisses der Wechselwirkungen Schlüsse über die Langzeitwirkungen zu ziehen.

### **2.1.3 Regulierung von Nanomaterialemissionen aus (industriellen) Prozessen<sup>4</sup>**

Industrieanlagen, die ihr Abwasser direkt in den Vorfluter einleiten (Direkteinleiter), sowie Kläranlagen sind die wichtigsten Punktquellen für Einträge von Nanomaterialien in die aquatische Umwelt. Industrieanlagen und Kläranlagen unterliegen dem Wasserhaushaltsgesetz sowie der Abwasserverordnung. Letztere definiert in ihren jeweiligen Anhängen branchenbezogene Emissionsgrenzwerte. Zusätzlich gilt das kommunale Satzungsrecht zum Schutz der öffentlichen Abwasseranlagen, welches die Definition weiterer Anforderungen an das eingeleitete industrielle und gewerbliche Abwasser erlaubt. Diese müssen jedoch mit einer konkreten vorliegenden Gefährdung begründet werden. Die Oberflächengewässerverordnung legt Umweltqualitätsziele für gelistete Stoffe fest.

Insbesondere um Belastungen mit Keimen und anthropogenen Spurenstoffen, zum Beispiel Arzneimittelinhaltstoffe und hormonell wirksame Substanzen, weiter zu reduzieren, wird derzeit die Notwendigkeit einer vierten Reinigungsstufe für Kläranlagen diskutiert.

Keines der geltenden Regelwerke enthält bislang Vorgaben, die sich speziell auf Nanomaterialien beziehen. Derzeit existieren allerdings auch keine Messmethoden, anhand derer eventuelle Vorgaben überprüft werden könnten. Aus Sicht der Abwasserbeseitigungspflichtigen sollten gegebenenfalls Maßnahmen zur

---

<sup>4</sup> Siehe Vortrag von Frau Dr. Andrea Poppe, Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR

Vermeidung und Verminderung eines Eintrages von Nanomaterialien direkt an den jeweiligen Quellen geprüft werden.

#### **2.1.4 Regulierung von Nanomaterialemissionen aus Produkten<sup>5</sup>**

Die Verringerung der Emissionen von Nanomaterialien aus Gemischen und Erzeugnissen „an der Quelle“ kann durch eine Vermeidung der Verwendung oder aber durch eine Minderung der Emissionen am Verwendungsort erwirkt werden.

Eine Verminderung der Emissionen von Nanomaterialien aus Produkten könnte unter anderem durch Information der Käufer über die Gefährlichkeit eines Produktes (chemikalienrechtliche Kennzeichnung) und/oder über die Inhaltsstoffe in einem Produkt erreicht werden. Freiwillige Instrumente wie zum Beispiel Umweltzeichen können Anforderungen bzgl. des Gehaltes an Nanomaterialien stellen und damit eine Lenkungswirkung erzielen.

Andererseits kann der Zugang zum Markt für Produkte, die gefährliche Substanzen enthalten, auch durch Verfahren der Zulassung, Beschränkung oder Notifizierung beeinflusst werden. Dies ist bereits für Biozidprodukte und Pflanzenschutzmittel (Zulassung) sowie verschiedene Produkte (Beschränkung) und Kosmetika (Notifizierung) der Fall. Maßnahmen zur Verringerung der Emissionen am Verwendungsort können in Folge der Stoffsicherheitsbewertung unter REACH oder durch gesetzliche Pflichten, die im Zusammenhang mit der Kennzeichnung wirksam werden, erforderlich sein.

Die diskutierten rechtlichen Instrumente beziehen sich auf Chemikalien und decken Nanomaterialien daher prinzipiell ab. Sie enthalten aber nur in wenigen Fällen für Nanomaterialien spezifische Vorgaben<sup>6</sup>. Auf EU-Ebene gibt es Bestrebungen, die rechtlichen Instrumente bezüglich der Regulierung von Nanomaterialien anzupassen.

## **2.2 Nanomaterialien im Abwasser und Abwasserklärung**

### **2.2.1 Verhalten von Nanomaterialien in Kläranlagen<sup>7</sup>**

Untersuchungen in der Schweiz mit dotiertem Abwasser in einem realen Abwassersystem zeigen, dass Silbernanomaterialien bereits in der Kanalisation teilweise sulfidisieren, an der Biomasse des Abwassers adsorbieren und „ohne Verluste“ transportiert werden. Das bedeutet, dass keine Anreicherungen in der

<sup>5</sup> Siehe Vortrag von Frau Antonia Reihlen, Ökopool GmbH

<sup>6</sup> Z.B. die Kennzeichnungspflicht von nanoskaligen Inhaltsstoffen in Kosmetika und Biozidprodukten oder die Verpflichtung einer gesonderten Bewertung von Nanomaterialien, wenn diese als Wirkstoff in Biozidprodukten enthalten sind.

<sup>7</sup> Siehe Vortrag von Herrn Dr. Ralf Kägi, Eawag: Das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs

Kanalisation entstehen. Die Sulfidisierung verringert die Toxizität der Nanomaterialien. Daher werden die nachfolgenden biologischen Prozesse in der Kläranlage weniger gestört.

In weiteren Untersuchungen wurde bestätigt, dass Nanosilber in der Kläranlage weiter sulfidisiert und zu großen Teilen im Klärschlamm adsorbiert werden. Lediglich ein Anteil von ca. 5-10% der eingetragenen Nanomaterialien wird in den Vorfluter eingetragen, beziehungsweise 90-95% der Nanomaterialien werden in der Kläranlage zurückgehalten.

### **2.2.2 Umweltwirkungen im Lebenszyklus von Nanosilber in Textilien<sup>8</sup>**

Eine Studie zum Lebenszyklus von Nanosilber in Textilien zeigt, dass die entstehenden Belastungen der aquatischen Umwelt verhältnismäßig gering sind. Dies liegt trotz zum Teil hoher Auswaschraten vor allem an der effizienten Entfernung der Materialien aus dem Abwasser. Gemäß der Studie treten toxische Effekte von Silbernanomaterialien oft erst nach langen Zeiträumen auf. Dies ist Anlass zur Sorge und Hinweis auf die Bedeutung von Langzeitstudien für die Risikobewertung.

Austräge von Silbernanomaterialien aus der Kläranlage erfolgen weniger über den Wasserpfad, sondern insbesondere mit dem Klärschlamm. Wird dieser auf Ackerflächen ausgebracht, resultiert hier eine entsprechende Umweltexposition. Da Silber nicht abgebaut werden kann, können so mittel- bis langfristig toxische Wirkschwellen im Boden überschritten werden. In Versuchen mit belastetem Belebtschlamm (keine vorherige Faulung) wurde beobachtet, dass die absorbierten Nanomaterialien durch den Abbau des Klärschlammes wieder freigesetzt werden und hierdurch Risiken entstehen können.

### **2.2.3 Abwasserreinigungstechnologien: Stand der Technik<sup>9</sup>**

Nanotechnologien können insbesondere in der vierten Reinigungsstufe von Kläranlagen zur Eliminierung von Spurenstoffen beitragen, die mit den klassischen Reinigungstechnologien nicht entfernt werden. Hier werden insbesondere das hohe Oberflächen-Volumenverhältnis, die Reaktivität und die Möglichkeit genutzt, Nanomaterialien mit spezifischen Funktionen herzustellen, die bestimmte Prozesse in der Abwasserreinigung ausführen oder unterstützen.

---

<sup>8</sup> Siehe Vortrag von Frau Prof. Dr. Juliane Filser, Institut für Ökologie der Universität Bremen

<sup>9</sup> Siehe Vortrag von Frau Dr. Ilka Gehrke, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik

Die Verfahren können unterteilt werden in

- Nanosorbentien: Kohlenstoffnanoröhrchen, Polymere oder Zeolithe werden zur Entfernung unterschiedlicher Spurenstoffe oder zur Desinfektion eingesetzt
- Nanomembranen: verschiedene Typen wie Nanokomposit- oder selbstorganisierende Membranen, zum Beispiel zur Filtration, Osmose oder Reduzierung des Härtegrades
- Metallische Nanomaterialien: zum Beispiel zur Desinfektion oder Dekontamination organischer Schadstoffe, als Pulver oder Filter.

Im Projekt „Nanopurification“ wurden nanobeschichtete (Titandioxid) Nickelmikrosiebe zur Wasseraufbereitung getestet, die mittels LED-Bestrahlung aktiviert werden. Diese sich in der Entwicklung befindende Technologie kann bestimmte Spurenstoffe effizient aus dem Abwasser eliminieren, ist jedoch nicht zur Entfernung „aller Stoffe“ geeignet (keine Breitbandwirkung).

## 2.3 Grund- und Trinkwasser

### 2.3.1 Regulierung von Nanomaterialien in Grund- und Trinkwasser<sup>10</sup>

Die Grundwasserverordnung und die Trinkwasserverordnung beinhalten keine spezifischen Grenzwerte für Nanomaterialien. Die Trinkwasserverordnung enthält aber ein allgemeines Minimierungsgebot für Verunreinigungen und fordert, dass Trinkwasser rein sein soll und keine Stoffe in Konzentrationen enthalten darf, die die menschliche Gesundheit schädigen könnten.

Für nicht regulierte Stoffe gilt ein Vorsorgewert (gesundheitlicher Orientierungswert = GOW) von 0,1 bzw. 0,01 µg/l<sup>11</sup>. Bei einer Überschreitung des Vorsorgewertes wird mittels Studien ein humantoxikologisch begründeter Grenzwert (Leitwert) für den jeweiligen Stoff erarbeitet, der durchaus höher liegen kann als der Vorsorgewert. Wird auch dieser überschritten, sind Minderungsmaßnahmen erforderlich.

Nach heutigem Wissensstand werden Nanomaterialien durch die Filterwirkung des Bodens zurückgehalten und erreichen kaum das Grundwasser. Allerdings ist dies auch von der Beschichtung und Stabilität der Materialien abhängig. Basierend auf Modellierungen möglicher Nanomaterialkonzentrationen im Oberflächenwasser, dem Anteil des Trinkwassers, das aus Oberflächenwasser gewonnen wird und

<sup>10</sup> Siehe Vortrag von Herrn Dr. Marcel Riegel, DVGW-Technologiezentrum Wasser

<sup>11</sup> Der niedrigere Wert gilt für stark mutagene Stoffe

Informationen über die Aufbereitung von Trinkwasser ist derzeit keine akute Besorgnis erkennbar<sup>12</sup>.

Eine Einführung von Grenzwerten für Nanomaterialien im Grund- und / oder Trinkwasser ist (unter anderem aufgrund der fehlenden routinemäßig nutzbaren Messtechnik) derzeit nicht in der Diskussion.

### 2.3.2 Einsatz von Nanomaterialien im Grundwasser<sup>13</sup>

Die *In-situ*-Reinigung von Grundwasser stellt vielfältige Anforderungen an die Technologie, da das Grundwasserökosystem nicht gestört werden sollte und die Bedingungen im Grundwasserleiter nur schwer vorhersagbar und beeinflussbar sind.

Im vorgestellten Projekt Fe-Nanosit wurden Versuche mit in Aktivkohle eingebetteten Eisennanopartikeln (Eisen-Aktivkohle-Komposit – Carbo-Iron®) durchgeführt, um die Einträge einer Kontamination mit chlorierten Kohlenwasserstoffen aus dem Grundwasserleiter zu entfernen. Hierbei wirken die eingebrachten Kolloide als Schadstoffbarriere und gleichzeitig als Reduktionsmittel.

Diese Nanomaterialien sind im Test mit Embryonen des Zebrafisches nicht akut toxisch. In einem ersten Pilotversuch konnte eine Verringerung der Chlorkohlenwasserstoffkonzentration um mehrere Größenordnungen im Grundwasser gemessen werden. Die Bildung der Abbauprodukte Ethan und Ethen, deuten auf die Wirksamkeit der injizierten Kolloide am untersuchten Standort hin.

Das Verfahren ist wahrscheinlich im Vergleich zu konventionellen Methoden weniger energie- und zeitaufwendig; bisher sind allerdings noch keine entsprechenden Langzeituntersuchungen durchgeführt worden.

### 2.3.3 Trinkwasserreinigung mit keramischen Filtrationsmembranen<sup>14</sup>

Zur Ultra- und Nanofiltration in der Trinkwasseraufbereitung werden sowohl Polymer- als auch keramische Filtermembranen eingesetzt. Erstere werden aufgrund ihres geringen Gewichts, großer Filterflächen pro Modul und geringen Kosten breit eingesetzt. Keramische Filtermembranen haben eine höhere Stabilität gegenüber Temperatur, Druck und Reibung und sind im Betrieb verlässlicher und kostengünstiger (Möglichkeit der Rückspülung). Allerdings sind sie teurer, schwerer

---

<sup>12</sup> Das heißt, eine Überschreitung des GOW ist nicht wahrscheinlich. Allerdings bestehen Unsicherheiten bzgl. der Funktionalisierung von Nanomaterialien, der steigenden Produktionsmengen von Nanomaterialien und der Angemessenheit des massenbezogenen Grenzwertes. Über langfristige Entwicklungen gibt es daher keine entsprechenden Abschätzungen.

<sup>13</sup> Siehe Vortrag von Herrn Steffen Bleyl, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH

<sup>14</sup> Siehe Vortrag von Herrn Dr. Ralph Nonninger, Deutscher Verband Nanotechnologie e.V.

und haben kleinere Filterflächen pro Filtrationsmodul, insbesondere die Anschaffungskosten begrenzen derzeit ihren Einsatz<sup>15</sup>.

Die Herstellung keramischer Filtermembranen durch Verschmelzung mineralischer Nanomaterialien ist aufgrund niedrigerer Brenntemperaturen kostengünstiger als bei Verwendung nicht-nanoskaliger Ausgangsmaterialien. Hierdurch kann die Marktdurchdringung erhöht und können neue Anwendungsfelder erschlossen werden.

### **3 Zentrale Aspekte der Diskussionen**

#### **3.1 Emission und Transformation von Nanomaterialien**

Nanomaterialien können aus verschiedenen Produkten<sup>16</sup> und Prozessen und entlang ihres gesamten Lebenszyklus<sup>1</sup> in die Umwelt emittieren. Vielfach werden Nanomaterialien allerdings auch lediglich in der Produktion verwendet und sie sind im Endprodukt nicht mehr enthalten.

Beim FachDialog wurde kaum über Emissionen gesprochen, die nicht über die Kläranlage geleitet werden, sondern direkt in die Oberflächengewässer gelangen. Über die Art und Höhe der diffusen und direkten Emissionen und der daraus entstehenden Risiken ist wenig bekannt. Hier können entsprechende Modellierungen Ansatzpunkte liefern.

Die meisten Teilnehmenden am FachDialog waren der Meinung, dass, anders als vor einigen Jahren, heute deutlich mehr und fundiertere Informationen zum Verhalten und zur Wirkung von Nanomaterialien in der aquatischen Umwelt vorhanden sind. Aus diesen kann unter anderem geschlossen werden, dass durch die traditionelle Abwasserreinigung ein hoher Prozentsatz der Nanomaterialien umgewandelt, beziehungsweise in den Klärschlamm überführt wird. Auch könne das Verhalten der Nanomaterialien in Kläranlagen zumindest für einige Stoffgruppen anhand der Gesetzmäßigkeiten des Periodensystems beziehungsweise des Verhaltens der Bulkmaterialien (Stoffe in nicht nanoskaliger Form) abgeschätzt werden.

Es wurde aber auch angemerkt, dass das Verhalten von Nanomaterialien in der Umwelt auch von anderen Stoffen abhängig ist. Diese können dazu führen, dass

---

<sup>15</sup> Dies gilt nach den Erfahrungen des Vortragenden selbst dann, wenn aufgrund der höheren Standzeiten der keramischen Filtermembranen im Vergleich zu polymeren Membranen im gesamten Nutzungszyklus relevante Kosten eingespart werden können.

<sup>16</sup> Informationen über Nanoprodukte auf dem österreichischen Markt finden sich unter anderem im Bericht zum Projekt NanoProdEx - "Nano-Produkte - Identifikation und Exposition" unter <http://www.bionanonet.at/content/view/403/22/lang.german/>

keine „normalen“ Dosis-Wirkungs-Beziehungen abgeleitet werden können und eine Risikobewertung nach derzeit üblichem Standardverfahren nicht mehr möglich ist.

### 3.2 Verhalten in der Kläranlage

Die meisten Teilnehmenden teilten die Einschätzung, dass die Ergebnisse für die bislang untersuchten Nanomaterialien belegen, dass in der Kläranlage ein großer Teil der eingetragenen Nanomaterialien aus dem Abwasser entfernt wird. Dessen ungeachtet müsse man sich über die Wirkung der verbleibenden Emissionen im Kläranlagenablauf Gedanken machen, da diese in die Umwelt eingetragen werden und sich zum Beispiel in Sedimenten anreichern könnten. So könnten auch geringe, aber kontinuierliche Einträge mit der Zeit problematisch werden. Hierzu sei die Toxizität des Abwassers zu untersuchen und Langzeitstudien mit niedrigen Konzentrationen von Nanomaterialien durchzuführen<sup>17</sup>.

### 3.3 Exposition des Bodens über den Klärschlamm

Nanomaterialien, die am Klärschlamm adsorbieren, können über die Ausbringung in der Landwirtschaft in Böden gelangen. Durch die Nutzung von Klärschlamm in der Landwirtschaft können organische Schlammanteile sowie enthaltene Phosphate dem Boden zugeführt werden. Allerdings können sich auch die enthaltenen Schadstoffe im Boden anreichern.

In welcher Form Nanomaterialien im Klärschlamm enthalten sind, hängt unter anderem davon ab, wie dieser behandelt wird. Für Nanosilber konnte in einer Studie gezeigt werden, dass diese nach einer Faulung transformiert vorlagen. Dies wird auch für andere Nanomaterialien vermutet, wobei Ergebnisse aus Studien zu einem Nanomaterial nur bedingt auf andere Nanomaterialien übertragen werden können. Im Aktivschlamm sind die Nanomaterialien lediglich adsorbiert und können nach Abbau der organischen Bestandteile wieder freigesetzt werden. Entsprechende Langzeitstudien sind allerdings nicht vorhanden. Der Verbleib von durch Klärschlamm aufgebraachte Nanomaterialien auf Böden ist bisher unzureichend geklärt.

### 3.4 Messung von Nanomaterialien

Es bestand Einigkeit darüber, dass die Konzentration von Nanomaterialien in der aquatischen Umwelt sowie im Trinkwasser bislang kaum gemessen werden kann, da

---

<sup>17</sup> In der COST-Action TD1204 MODENA (Modelling Nanomaterial Toxicity) <http://www.modena-cost.eu/> werden Daten zur Modellierung der Wirkungen von Nanomaterialien gesammelt und verarbeitet.

- Messmethoden fehlen beziehungsweise nicht empfindlich genug sind, um die Nanomaterialien in komplexen Medien zu detektieren
- ein quantitativer Nachweis aufgrund der hohen Hintergrundbelastung (bei vielen Nanomaterialien) hohe Nachweisgrenzen erfordert und
- ein flächendeckendes Monitoring sehr teuer ist.

Die Modellierung von Umweltkonzentrationen kann ein Weg sein, sich Orientierung über die Expositionshöhen zu verschaffen und gegebenenfalls weitere Untersuchungen anzuregen, um den Wissensstand zu erhöhen. Hierbei geben die Modelle hinweise darauf, welche Untersuchungen einen hohen Erkenntnisgewinn erzeugen können. Diese Erkenntnisse können dann zur Verbesserung der Modelle genutzt werden.

Das Fehlen von (ausreichend empfindlichen) Messmethoden wurde auch als ein Grund für fehlende spezifische Grenzwerte für Nanomaterialien in Trinkwasser und im Kläranlagenabwasser genannt: Denn solange Grenzwerte nicht überprüfbar sind, sei es nicht sinnvoll, solche Werte festzulegen. Dies gilt auch für Umweltqualitätsziele von Oberflächen- und Grundwasser.

Ein regelmäßiges Monitoring von Umwelt- oder Emissionskonzentrationen von Nanomaterialien, zum Beispiel am Auslauf von Kläranlagen, wurde von einigen Stakeholdern abgelehnt. Dies wurde damit begründet, dass Kläranlagen Nanomaterialien zu circa 95% aus dem Abwasser entfernen und somit keine relevanten Konzentrationen zu erwarten seien. Andere Stakeholder waren der Meinung, dass zunächst die möglichen Risiken durch die „restlichen 5%“ bewertet werden müssten, um entscheiden zu können, ob ein Monitoring oder Risikominderungsmaßnahmen notwendig sind oder nicht. Die Menge der emittierten Nanomaterialien ohne Informationen über ihre Toxizität erlaube also keine Aussagen über mögliche Risiken.

### **3.5 Das Beispiel Nanosilber**

In verschiedenen Vorträgen wurden Ergebnisse von Untersuchungen mit Nanosilber vorgestellt. Dies warf die Frage auf, inwieweit die jeweiligen Nutzen und Risiken nanospezifisch sind oder sich auf die biozide Wirkung von Silberionen beziehen. Einige Teilnehmende waren der Ansicht, dass eine diesbezügliche Unterscheidung nicht sinnvoll sei, da die Effekte auf der Wirkung der Ionen beruhen. Andere Teilnehmende äußerten, dass die Effekte aufgrund der Oberfläche, unterschiedlicher Löslichkeiten und in Abhängigkeit von den Testorganismen variieren und daher eine Differenzierung notwendig sei.

In verschiedenen Untersuchungen wurde eine stabile Sulfidierung der Silbernanomaterialien (in der Kanalisation, der Kläranlage sowie im Schlamm)

nachgewiesen, die zu einer geringeren Toxizität des Nanosilbers führt. Dieser Effekt kann auf andere schwefelliebende Metalle übertragen werden. Insofern sind die Ergebnisse zumindest für bestimmte andere Nanomaterialien verallgemeinerbar, wenngleich beachtet werden sollte, dass die Sulfidierung für andere Nanomaterialien ggf. weniger stabil ist als für Nanosilber. In anderen Fällen wurden durch ökotoxikologische Tests Hinweise auf eine Erhöhung der Toxizität nach Durchlaufen einer Kläranlage gefunden, deren Ursache noch nicht geklärt ist.

### 3.6 Priorisierung von Nanomaterialien

Wenngleich es mittlerweile viele Informationen zu Emissionen, Verhalten, Expositionen, Toxizität und Risiken von Nanomaterialien gibt, können Öffentlichkeit und Regulierer diese kaum für ihre Entscheidungsfindung nutzen. Das liegt sowohl an einer fehlenden Vergleichbarkeit der vorliegenden Daten als auch daran, dass die Informationen kaum zusammengeführt und so ausgewertet sind, dass ein vollständiges Bild entsteht, das handlungsleitend sein kann.

Die EU-Definition<sup>18</sup> von Nanomaterialien ist sehr breit und umfasst viele, auch natürlich vorkommende, Materialien. Die Mehrheit der Teilnehmenden am FachDialog teilte die Ansicht, dass es notwendig sei, sich mit weiterer Forschung und gegebenenfalls technischen oder regulativen Maßnahmen auf die Nanomaterialien zu konzentrieren, von denen eine Gefährdung zu erwarten ist. Es gibt Hinweise darauf, welche Nanomaterialien toxisch sein können, zum Beispiel wenn das Bulkmaterial bereits toxisch ist, sowie erste Ansätze, Nanomaterialien zu gruppieren und priorisieren<sup>19</sup>. Auch in der Kommunikation sei es wichtig, zwischen „problematischen“ und „nicht problematischen“ Nanomaterialien und Anwendungen zu unterscheiden und nicht von „den Nanomaterialien“ zu sprechen.

In kommenden Untersuchungen sei es nach Meinung vieler Teilnehmender ausreichend, einige Vertreter einer etablierten Gruppe zu untersuchen. Vorab gilt es zu prüfen, ob einerseits durch die Kleinheit der Nanomaterialien neue Effekte auftreten und ob die Ergebnisse andererseits auf die Gruppe übertragbar sind oder nicht. Es wurde jedoch darauf hingewiesen, dass die Übertragung von Wissen umso komplexer wird, je differenzierter die Gruppen werden, zum Beispiel wenn das häufig gebräuchliche Coating (Oberflächenmodifizierung) von Nanomaterialien mit betrachtet wird.

---

<sup>18</sup> <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:275:0038:0040:de:PDF>

<sup>19</sup> Hier wurde auf ein Dokument aus dem Regierungsdialog zwischen den USA und Kanada hingewiesen, das auf der Website verfügbar ist: <http://www.oekopol.de/de/themen/chemikalienpolitik/nanodialog/nanofachdialoge-2013-2015/fachdialog-aquatische-umwelt/>. In der OECD werden ebenfalls entsprechende Prinzipien diskutiert. Mit einer Veröffentlichung der Ergebnisse ist vor 2015 nicht zu rechnen.

Eigenschaften der Bulkmaterialien können und sollten bei der Bewertung von Nanomaterialien berücksichtigt werden. Allerdings müssen diese mit den jeweils relevanten physikalisch-chemischen Eigenschaften der Materialien im Zusammenhang bewertet werden. So sollte zum Beispiel bei löslichen Metallen die Lösungskinetik beachtet werden (unterschiedlicher Aufbau und Beschichtung von Nanomaterialien beeinflussen die Löslichkeit). Die Untersuchungen zur Toxizität sollten in jedem Fall auch Langzeitstudien beinhalten, um das Verhalten von Nanomaterialien in der Umwelt angemessen zu berücksichtigen. Eine Fokussierung der Aktivitäten auf die Nanomaterialien, für die eine Gefährlichkeit wahrscheinlich oder bekannt ist, ist auch aufgrund der begrenzten Ressourcen für die Risikoforschung sinnvoll.

### **3.7 Kennzeichnung und Kommunikation**

Die Kennzeichnung des Vorhandenseins von Nanomaterialien in Produkten ist eine Möglichkeit, Transparenz zu schaffen und den Verbraucherinnen und Verbrauchern eine Entscheidung für oder gegen ein Produkt zu ermöglichen. Eine gesetzliche Kennzeichnung mit „nano“ in der Inhaltsstoffliste ist derzeit für Kosmetika und Biozidprodukte erforderlich.

Bezüglich der Bezeichnung von Produkten mit „nano“ aus Marketinggründen wurde einerseits berichtet, dass zum Teil Produkte als „nano“ ausgelobt werden, obwohl keine Nanomaterialien enthalten sind – hier werden Nano-Effekte beworben, die nicht auf Nanomaterialien zurückgehen. Andererseits würden Firmen zunehmend jegliche Assoziation ihrer Produkte mit der Debatte um Nanomaterialien vermeiden, unabhängig davon, ob Nanomaterialien enthalten sind oder bei der Verarbeitung genutzt wurden oder nicht. Wenngleich die Zurückhaltung in der Kommunikation über Nanoprodukte in der Öffentlichkeit nicht unbedingt bemerkbar ist, wird sie in Anfragen nach „nanofrei“ in den Lieferketten als diffuse Ablehnung der Nanotechnologien deutlich.

Einige Teilnehmende berichteten, dass der Grund dafür, das Vorhandensein von Nanomaterialien in Produkten nicht aktiv zu kommunizieren, in der Erfahrung der Unternehmen begründet ist, dass die jeweiligen Produkte in den Mittelpunkt kritischer Diskussionen gerückt wurden und dann nur noch schwer zu vermarkten waren. Es sei fast unmöglich, Produkte herzustellen, an denen kein „Haken“ zu finden sei.

Die Entwicklung, dass auch dialogbereite und transparent kommunizierende Unternehmen sich zunehmend in der Kommunikation über Nanotechnologien in Produkten zurückhalten, führt unter anderem auch dazu, dass es wenige Produktbeispiele gibt, anhand derer die Nutzen der Nanotechnologien diskutiert werden können. Somit ist der Diskurs über Chancen und Risiken zu den Risiken hin verschoben, was die negative Wahrnehmung wiederum verstärkt.

Es wurde ebenfalls angemerkt, dass Nanotechnologien nicht mit Nanomaterialien gleichgesetzt werden sollten. Es existiere eine Vielzahl an Anwendungen, die lediglich Nanostrukturen haben, beziehungsweise aus denen keine Nanomaterialien freigesetzt werden und die somit auch keine potentiellen Risiken für Mensch und Umwelt bergen. Es sei für die Öffentlichkeit nicht deutlich, dass sich die Risikodiskussion lediglich auf den Teil der Technologie bezieht, bei dem Nanomaterialien eingesetzt werden.

Eine transparente und differenzierte Kommunikation mit der Öffentlichkeit über Chancen und Risiken der Nanotechnologien wurde von vielen Teilnehmenden als weiterhin sehr wichtig erachtet. Es müssten ausreichend Informationen bereitgestellt werden, um eine bewusste Entscheidung zu unterstützen.

### **3.8 Kommunikation der Medien**

Es bestand weitgehende Einigkeit darüber, dass die Medien mit ihrer teilweise recht undifferenzierten und skandalisierenden Berichterstattung dazu beitragen, das Bild über Nanotechnologien in der Gesellschaft (negativ) zu prägen.

Vorschläge, wie diese Situation zu verbessern sei, reichten von Hintergrundgesprächen mit Journalisten, um das Verständnis für das Thema und die Verwendung von Begrifflichkeiten zu verbessern, bis hin zur Bereitstellung von fertigen Pressemitteilungen und Materialien, die auch für wenig Fachkundige gut verständlich sind. Es wurde jedoch geäußert, dass eine aktive Kommunikation über Projektergebnisse und Produkte am besten lenkbar und daher am erfolgversprechendsten sei.

### **3.9 Nachhaltigkeitsbetrachtungen**

Die beim FachDialog vorgestellten Technologiebeispiele sind zum großen Teil derzeit noch in der Entwicklung. Daher liegen noch keine Betrachtungen der Wirtschaftlichkeit oder des Energieverbrauchs, beziehungsweise der Nachhaltigkeit insgesamt vor.

## **4 Schlussfolgerungen**

Nanomaterialien erreichen die aquatische Umwelt, wobei die ursprünglichen Emissionen aus Produkten und Prozessen, wenn sie in eine Kläranlage gelangen, dort effizient gemindert werden können. Das Wissen über Nanomaterialien in der aquatischen Umwelt hat insgesamt zugenommen, ist aber noch nicht in allgemeinverständlicher Form aufbereitet. Die Erkenntnisse deuten darauf hin, dass für die gängigsten Nanomaterialien mit geringen akuten Umweltrisiken zu rechnen

ist, während Aussagen über langfristige Wirkungen derzeit noch nicht abschließend möglich sind.

Die Nanotechnologie hat das Potenzial, die Reinigungstechnologien für Abwasser, Trinkwasser und Grundwasser deutlich zu verbessern, da durch die besonderen Eigenschaften der Nanomaterialien effizientere und auch neue Verfahren angewendet werden können. Viele dieser Technologien bergen vermutlich keine oder nur sehr geringe Risiken, da keine Nanomaterialien in das Wasser freigesetzt werden (Einbettung in Matrices). Über die Nachhaltigkeit der Technologien im Sinne der Umwelt- und Sozialverträglichkeit sowie der Wirtschaftlichkeit dieser Verfahren existieren bisher kaum Untersuchungen.

Insgesamt wurde von den Teilnehmenden keine erhöhte Besorgnis in einem der diskutierten Aspekte gesehen. Dennoch äußerten einige Teilnehmende den Wunsch, dass Emissionen aus Vorsorgegründen möglichst an der Quelle gemindert oder vermieden werden sollten. Forschungsprioritäten wurden im Bereich der Zusammenführung und Verknüpfung vorhandener Erkenntnisse gesehen, in der weiteren Forschung zur Langzeittoxizität, den Möglichkeiten, Erkenntnisse von einem Material auf andere zu übertragen sowie in der Entwicklung kostengünstiger Messmethoden.

Über die fachliche Debatte hinaus wurden konkrete Möglichkeiten diskutiert, wie die Kommunikation der differenzierten Ergebnisse aus den verschiedenen FachDialogen in die Politik und die interessierte Fachöffentlichkeit weiter verbessert werden könnte.