

NanoDialog
der Bundesregierung

Nanomaterialien und Nanotechnologien in der aquatischen Umwelt

Bericht des BMUB einschließlich der
Diskussionsergebnisse des FachDialogs
„Aquatische Umwelt“

August 2014

Autoren: Antonia Reihlen & Dirk Jepsen

Impressum:

ÖKOPOL GmbH
Institut für Ökologie und Politik

Nernstweg 32–34
D – 22765 Hamburg

www.oekopol.de
info@oekopol.de

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

Inhalt

1	Einleitung	5
1.1	Was wird unter Nanotechnologien verstanden?.....	5
1.2	Gefährlichkeit von Nanomaterialien	6
2	Eintrag von Nanomaterialien in die aquatische Umwelt	8
2.1	Die „aquatische Umwelt“	8
2.2	Nachweis von Nanomaterialien in der Umwelt.....	8
2.3	Freisetzung von Nanomaterialien aus Produkten und Prozessen.....	9
2.3.1	Umweltemission über die Kläranlage	11
2.3.2	Direkte Emission in die Umwelt.....	12
3	Gesetzliche Vorgaben zu Emissionen von Nanomaterialien	13
4	Beitrag der Nanotechnologien zum Erhalt der Ressource Wasser	14
5	Zusammenfassung	16

1 Einleitung

Wasser ist unabdingbare Voraussetzung allen Lebens auf dieser Erde. Daher ist es wichtig, dass es in ausreichender Menge und Qualität verfügbar ist. Vielfältige Maßnahmen zum Schutz der aquatischen Umwelt sind zu diesem Zweck bereits umgesetzt worden, unter anderem verschiedene Gesetze mit Anforderungen zur Minderung von Schadstoffeinträgen oder der Bau und die Verbesserung von Kläranlagen in den Kommunen und der Industrie.

Unter Nanotechnologien werden der technische Einsatz von Nanomaterialien¹ und Strukturen in Nanometergröße verstanden. Da diese neue „Art“ von Stoffen in die Umwelt freigesetzt werden (kann), stellt sich, wie auch zuvor bei anderen Stoffen, die Frage, ob die aquatische Umwelt vor eventuell vorhandenen Risiken durch Nanomaterialien ausreichend geschützt ist. Dabei sind mögliche Risiken auch im Zusammenhang mit den Chancen der Verwendung von Nanomaterialien zum Schutz der Ressource Wasser zu sehen.

Ziel dieses Berichts ist es, grundlegende Informationen zum Thema bereitzustellen, um eine entsprechende Meinungsbildung für interessierte Bürgerinnen und Bürger zu fördern. Der Bericht basiert auf den Inhalten und Diskussionen aus dem FachDialog „Nanotechnologie und die aquatische Umwelt“, der im Rahmen des NanoDialogs der Bundesregierung im Mai 2014 in Berlin stattgefunden hat².

1.1 Was wird unter Nanotechnologien verstanden?

Unter Nanotechnologien versteht man im Allgemeinen die Anwendung technologischer Verfahren im Größenbereich von 1-100 Nanometern³ (nm). Es kann unterschieden werden in die Verwendung von:

- Nanomaterialien; dies sind laut Empfehlung der EU-Kommission⁴ Materialien die Partikel enthalten, wobei mindestens 50% dieser Partikel in mindestens einer Dimension Nanometergröße haben müssen. Hierbei ist unerheblich, ob

¹ Als Nanomaterialien werden chemische Stoffe bezeichnet, die als Primärpartikel in einer, zwei oder drei Dimensionen Nanogröße haben. Dies wird im Kapitel 2.1 weitergehend erläutert.

² Die Vorträge und Dokumente des FachDialogs sind im Internet verfügbar unter <http://www.oekopol.de/de/themen/chemikalienpolitik/nanodialog/nanofachdialoge-2013-2015/fachdialog-aquatische-umwelt/>

³ Ein Nanometer sind ein Millionstel Meter (10^{-9}). Chemische Moleküle haben eine Größe von wenigen Nanometern. Bakterien sind einige Mikrometer groß. Es gibt keine weltweit einheitliche Definition für Nanomaterialien. In der EU wie auch auf Ebene der OECD gibt es eine Definition die sich auf den Bereich auf 1-100 nm bezieht.

⁴ Europäische Kommission: EMPFEHLUNG DER KOMMISSION vom 18. Oktober 2011 zur Definition von Nanomaterialien; 2011/696/EU; <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:275:0038:0040:de:PDF>

und wie diese Partikel chemisch oder physikalisch gebunden sind⁵. Durch ihre Kleinheit haben Nanomaterialien teilweise besondere Eigenschaften, zum Beispiel können sie eine höhere Reaktivität als das Ausgangsmaterial besitzen.

- Nanostrukturierte Materialien: dies sind Materialien, die eine innere Struktur in Nanogröße haben, zum Beispiel Schäume und nanoporöse Filter.

Diskussionen über die Risiken der Nanotechnologien beziehen sich meist auf die Verwendung von Nanomaterialien, da diese für Mensch und Umwelt schädlich sein und aus Produkten und industriellen Prozessen freigesetzt werden können. Nanostrukturierte Materialien hingegen haben meist keine gefährlichen Eigenschaften.

1.2 Gefährlichkeit von Nanomaterialien

Einige Nanomaterialien können schädigend⁶ auf den Menschen und / oder Umwelt wirken, zum Beispiel Entzündungen der Atemwege hervorrufen, Krebs verursachen oder die Beweglichkeit aquatischer Organismen einschränken.

Ob ein Nanomaterial für die Gesundheit und/oder die Umwelt schädlich ist, hängt unter anderem von seiner chemischen Zusammensetzung ab. Viele Nanomaterialien haben die gleichen schädlichen Eigenschaften wie die jeweiligen Stoffe in ihrer „normalen“ Form; dies ist zum Beispiel bei einigen Metallen der Fall⁷. Durch die größere spezifische Oberfläche von Nanomaterialien kann allerdings die Reaktivität der Nanomaterialien im Vergleich zur „normalen“ Form höher sein.

Weitere Aspekte, die für die Gefährlichkeit von Nanomaterialien für Mensch und Umwelt relevant sein können sind unter anderem:

- Coating: viele Nanomaterialien haben eine Beschichtung, die ihnen bestimmte Eigenschaften verleiht, zum Beispiel eine hohe Stabilität. Das sogenannte Coating kann die Gefährlichkeit eines Nanomaterials erhöhen oder verringern und es kann sich im Laufe des Lebenszyklus verändern oder ablösen.

⁵ Der genaue Wortlaut der Definition ist: „Nanomaterial“ ist ein natürliches, bei Prozessen anfallendes oder hergestelltes Material, das Partikel in ungebundenem Zustand, als Aggregat oder als Agglomerat enthält, und bei dem mindestens 50 % der Partikel in der Anzahlgrößenverteilung ein oder mehrere Außenmaße im Bereich von 1 nm bis 100 nm haben. In besonderen Fällen kann der Schwellenwert von 50 % für die Anzahlgrößenverteilung durch einen Schwellenwert zwischen 1 % und 50 % ersetzt werden, wenn Umwelt-, Gesundheits-, Sicherheits- oder Wettbewerbsbeträgungen dies rechtfertigen.

⁶ Schädliche Wirkungen von Nanomaterialien werden in der Fachsprache als „Gefährlichkeit“ bezeichnet. Die Eigenschaften des Materials, die diese verursachen werden als „gefährliche Eigenschaften“ bezeichnet. In diesem Bericht werden die Begriffe Schädlichkeit und Gefährlichkeit analog verwendet.

⁷ Ein Beispiel ist Silber, welches sowohl in seiner „normalen“ Form als auch als Nanomaterial über eine antibakterielle Wirkung verfügt (Mechanismus der Wirkung erfolgt über Silberionen, die unabhängig von der Stoffgröße abgeschieden werden).

- Form: Nanomaterialien können in unterschiedlichen Größenverteilungen⁸ und Formen (zum Beispiel Kugeln oder Stäbchen) vorliegen; auch die Form der Nanomaterialien kann die Wirkung auf Mensch und/oder die Umwelt beeinflussen.
- Wechselwirkungen: Nanomaterialien können sich sowohl in der Umwelt, als auch in Organismen durch Reaktionen mit sich selbst (Aggregation und Agglomeration) oder mit anderen Molekülen (Heteroagglomeration) verändern. Sie können sich auch durch chemische Reaktionen zu anderen Molekülen umwandeln, was auch zum Verlust der Nanoskaligkeit beziehungsweise der Partikelförmigkeit führen kann. Je nach Art der Wechselwirkung kann sich auch die Gefährlichkeit der Partikel für die menschliche Gesundheit und die Umwelt verändern.

Die gefährlichen Eigenschaften von Nanomaterialien werden in der Regel im Labor anhand von Kurzzeittests ermittelt. Für einige Nanomaterialien wurde in Laborversuchen gezeigt, dass sie im Kurzzeittest keine schädlichen Wirkungen haben, für andere wurden mögliche schädigende Wirkungen ermittelt. Diese Informationen sind allerdings noch nicht für alle auf dem Markt befindlichen Nanomaterialien verfügbar.

Relevante Informationslücken zu den gefährlichen Eigenschaften bestehen im Bereich der langfristigen Wirkungen von Nanomaterialien. Hier fehlen sowohl Daten darüber, wie sich ein anhaltender Kontakt von Mensch und Umwelt gegenüber Nanomaterialien auswirkt als auch darüber, ob und wie sich Nanomaterialien in der Umwelt verändern und welche Effekte diese Veränderungen auf die Gefährlichkeit haben.

Da die oben skizzierten Faktoren zusätzlich noch von den jeweiligen Medien abhängig sind, ist eine pauschale Bewertung der Gefährlichkeit von Nanomaterialien nicht möglich, und die Eigenschaften der Nanomaterialien müssen im Zusammenhang mit den jeweiligen Bedingungen differenziert ermittelt werden.

Bei der Vielzahl der bereits auf dem Markt existierenden technisch hergestellten Nanomaterialien mit ihren zahlreichen Modifikationen wäre der Aufwand der Untersuchungen - besonders zur Wirkung auf die Umwelt - enorm. Es gibt daher verschiedene Ansätze, Gruppen ähnlicher Nanomaterialien zu bilden und aus den Ergebnissen repräsentativer Vertreter auf die Eigenschaften der anderen Materialien der Gruppe zu schließen.

⁸ In der Regel entstehen in der Herstellung von Nanomaterialien Partikel unterschiedlicher Größen gleichzeitig.

Da eine pauschale Bewertung der gefährlichen Eigenschaften von Nanomaterialien nicht möglich ist, kann auch keine pauschale Aussage über die mit der Verwendung von Nanomaterialien verbundenen Risiken getroffen werden. Aus diesem Grunde sollten die Chancen und Risiken „der Nanotechnologien“ nicht global, sondern jeweils bezogen auf konkrete Nanomaterialien und ihre Anwendungen diskutiert werden.

2 Eintrag von Nanomaterialien in die aquatische Umwelt

2.1 Die „aquatische Umwelt“

Unter „aquatischer Umwelt“ werden im Allgemeinen Oberflächengewässer, also Flüsse, Seen und Meere, sowie das Grundwasser verstanden. Die Elemente der aquatischen Umwelt sind durch den globalen Wasserkreislauf miteinander verbunden. In diesem Bericht stehen zwei Punkte im Vordergrund, an denen menschliche Aktivitäten in den Wasserkreislauf eingreifen: Die Einleitung von (geklärtem) Abwasser in Flüsse und die Verwendung von Grund- und teilweise Oberflächenwasser als Trinkwasser.

2.2 Nachweis von Nanomaterialien in der Umwelt

Es ist sehr schwierig, „die“ Nanomaterialien durch Messungen in der Umwelt nachzuweisen, beziehungsweise ihre Mengen und Konzentrationen zu bestimmen.

Dies liegt unter anderem daran, dass:

- es viele unterschiedliche Nanomaterialien mit unterschiedlichen Größen, Formen und Oberflächenmodifikationen gibt (siehe Kapitel 1.2),
- davon auszugehen ist, dass Nanomaterialien oft nur in geringen Konzentrationen in der Umwelt vorliegen,
- Messmethoden für bestimmte Materialien fehlen, nicht empfindlich genug (siehe vorheriger Punkt) oder sehr teuer sind,
- die Nanomaterialien sich in der Umwelt verändern (können) und sich in die verschiedenen Medien (Boden, Wasser, Luft) verteilen (können).

Daher werden derzeit fast keine Messungen zur Bestimmung eines möglichen Vorkommens beziehungsweise der Konzentrationen von Nanomaterialien in der aquatischen Umwelt vorgenommen. Stattdessen werden die Emissionsmengen und die resultierenden Umweltkonzentrationen mithilfe von Modellen abgeschätzt. Hierbei wird zum Beispiel für bestimmte Nanomaterialien abgeschätzt, in welchen Mengen sie hergestellt und in welchen Produkten sie eingesetzt werden. Nach Abschätzung der Freisetzung aus diesen Produkten und anhand der Eigenschaften der Nanomateri-

alien kann berechnet werden, wie sich diese in den Umweltmedien Wasser, Boden und Luft verteilen. Daraus kann dann eine modellierte Konzentration berechnet werden.⁹

2.3 Freisetzung von Nanomaterialien aus Produkten und Prozessen

Nanomaterialien können prinzipiell im Laufe ihres gesamten Lebenszyklus, also während ihrer Herstellung, der Verarbeitung zu Produkten¹⁰ sowie deren Nutzung und Entsorgung freigesetzt werden und in die aquatische Umwelt gelangen (siehe Abbildung 1).

Momentan weiß man nur wenig darüber, welche Nanomaterialien in welchen Produkten eingesetzt werden. Dies liegt zum einen daran, dass nur für wenige Produkttypen (Kosmetika und Biozidprodukte und Lebensmittel ab Herbst 2014) eine Pflicht zur Kennzeichnung für Nanomaterialien besteht¹¹. Eine Berichtspflicht für die Industrie über die Verwendung von Nanomaterialien als Prozesshilfsmittel oder als Rohstoff, der im Produkt verbleibt, besteht nicht.

Die Verwendung von Nanomaterialien in Industrieanlagen ist den Behörden teilweise bekannt¹². Diese Informationen sind allerdings nicht öffentlich verfügbar. Die bestehenden Datenbanken über Produkte, die Nanomaterialien enthalten, sind ebenfalls recht unvollständig, da diese auf freiwilliger Basis oder durch Recherchen von Instituten oder Verbänden erstellt werden¹³.

⁹ Oft werden die Eingangsinformationen Herstellungsmenge, Mengen in den Verwendungen und Freisetzungsraten aus den Produkten als Bandbreiten (Minimum und Maximum) oder Wahrscheinlichkeiten angegeben. Dadurch ergeben sie minimale (best case) und maximale (worst case) Konzentrationen oder Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Konzentrationen in der Umwelt. Diese Verfahren können zwar keine realen Konzentrationen voraussagen, aber dennoch eine recht gute Orientierung über mögliche Konzentrationen und deren Veränderungen in den Umweltmedien geben.

¹⁰ Aufgrund der unterschiedlichen Freisetzung von Stoffen ist es sinnvoll, zwischen chemischen Produkten (Gemischen) und Erzeugnissen (Gegenstände) zu unterscheiden. Beispiele für chemische Produkte sind Farben, Reinigungsmittel und Sonnencremes.

¹¹ Selbst wenn eine allgemeine Kennzeichnungspflicht bestünde, wäre immer noch keine Information über Mengen und Formen der Nanomaterialien bekannt. Dennoch wäre dann die Informationsbasis über das Vorkommen von Nanomaterialien in Endprodukten verbessert.

¹² Die Anlagen, in denen Nanomaterialien hergestellt werden, sind in der Regel bekannt. Zudem gibt es eine Verpflichtung im Rahmen des Genehmigungsantrages für Industrieanlagen, ein Inventar der Einsatzstoffe zu erstellen. Hierbei sind insbesondere die eingesetzten gefährlichen Stoffe und Gemische aufzuführen. Die Nanoskaligkeit von Einsatzstoffen ist dabei bislang allerdings kein eigenständiges Merkmal und wird somit nicht erfasst.

¹³ Es existieren einige Nanoproduktdatenbanken von Umweltverbänden und Forschungseinrichtungen. Diese speisen sich aus Marktinformationen und den Produktinformationen der Hersteller. Diese Datenbanken sind freiwillig und daher naturgemäß nicht vollständig.

In Frankreich und Dänemark gibt es nationale Meldepflichten für Nanomaterialien in Produkten, in Belgien ist dies für 2016 geplant. In weiteren Ländern der EU wird über eine Meldepflicht diskutiert. In der EU wird die Einrichtung eines Nanoproduktregisters nicht erwogen. Das Thema Nanoproduktregister war Gegenstand eines eigenständigen FachDialogs, die Hintergrundinformationen hierzu können heruntergeladen werden unter: <http://www.bmub.bund.de/themen/gesundheit->

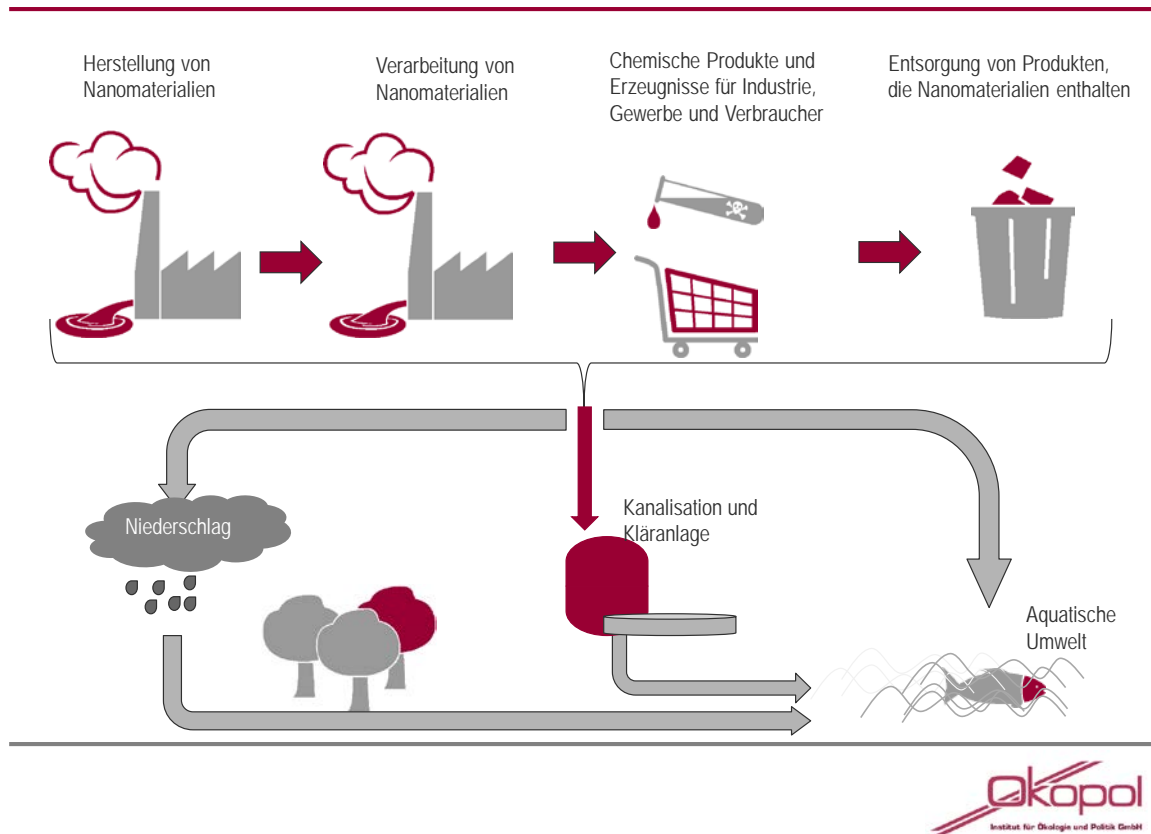


Abbildung 1: Lebenszyklus von Nanomaterialien und Emissionsquellen in die aquatische Umwelt

Sind Nanomaterialien in chemischen Produkten¹⁴ enthalten, so erfolgt ihre Freisetzung bei der Verwendung meist absichtlich und vollständig, da sie gerade so ihren jeweiligen Zweck erfüllen. Nanomaterialien in Erzeugnissen¹⁵ sollen dagegen in der Regel im Produkt verbleiben, um dort zum Beispiel an der Oberfläche ihre Funktion zu erfüllen. Daher werden sie während der Produktnutzung meist nur geringfügig und unbeabsichtigt freigesetzt. Ob und wie sie nach dem Produktlebensende in die Umwelt gelangen, hängt von der Art der Entsorgung ab. Produkte, die Nanostrukturen enthalten, zum Beispiel Filter zur Abwasserreinigung, setzen in der Regel keine Nanomaterialien frei.

[chemikalien/nanotechnologie/details-nanotechnologie/artikel/tagungsdokumente-des-2-fachdialogs-nanotechnologien/?tx_ttnews\[backPid\]=569](https://www.nano-dialog.de/chemikalien/nanotechnologie/details-nanotechnologie/artikel/tagungsdokumente-des-2-fachdialogs-nanotechnologien/?tx_ttnews[backPid]=569).

¹⁴ Darunter werden Produkte verstanden, die überwiegend durch ihre stoffliche Zusammensetzung und nicht durch ihre physikalische Form definiert sind. Beispiele sind Reinigungsmittel, Lacksprays oder Schmierstoffe.

¹⁵ Dies sind Produkte, deren Funktion stärker durch ihre physikalische Form als durch ihre stoffliche Zusammensetzung definiert wird. Beispiele sind Tische, Autos und Pullover.

Die Freisetzung von Nanomaterialien erfolgt entweder indirekt über eine Einleitung in die Kanalisation und kommunale Kläranlagen in die Flüsse oder direkt in Boden, Luft und Gewässer.

2.3.1 Umweltemission über die Kläranlage

Nanomaterialien aus chemischen Produkten für Verbraucher sowie aus Erzeugnissen, die zum Beispiel mit Wischwasser in Kontakt kommen (Fußbodenbelag, Möbel et cetera) oder durch Waschen (Textilien) freigesetzt werden, können über das häusliche Abwasser in die Kanalisation gelangen.

Es gibt wenige Studien darüber, was mit Nanomaterialien in der Kanalisation geschieht. Untersuchungen aus der Schweiz¹⁶ deuten darauf hin, dass Nanosilber in der Kanalisation umgewandelt wird und sich an andere Stoffe im Abwasser anlagert. Dadurch wird die Schädlichkeit des Nanosilbers bereits reduziert¹⁷. Dieses, beziehungsweise ein ähnliches Verhalten wird von vielen Fachleuten auch für andere Nanomaterialien als wahrscheinlich angesehen. Gewissheit darüber, ob sich „alle“ Nanomaterialien so verhalten, gibt es jedoch nicht.

In der Kläranlage wird das Abwasser mechanisch, physikalisch und biologisch gereinigt. In der biologischen Reinigungsstufe werden unter anderem organische Stoffe um- und abgebaut und als Schlamm am Boden der Behandlungsbecken gesammelt. Momentan gehen viele Fachleute, gestützt auf Untersuchungen zu unterschiedlichen Nanomaterialien¹⁸ davon aus, dass diese in der biologischen Reinigungsstufe der Kläranlagen zum größten Teil im Klärschlamm absorbiert und mit diesem aus dem Abwasser entfernt werden.

Der Klärschlamm wird in vielen Kläranlagen in Faultürmen behandelt; hierdurch findet ein weiterer Umbau organischer Stoffe statt, der in der Regel dazu führt, dass diese weniger schädlich für Mensch und Umwelt sind. Der Klärschlamm wird dann entweder getrocknet und verbrannt oder auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht. In der Verbrennung werden viele Stoffe, einschließlich am Schlamm absorbiertes Nanomaterialien, durch die hohen Temperaturen zerstört.¹⁹

¹⁶ Kägi Ralf, Voegelin Andreas, Ort Christoph, Sinnet Brian, Thalmann Basilius, Krismer Jasmin, Hagendorfer Harald, Elumelu Maline and Mueller Elisabeth. Fate and transformation of silver nanoparticles in urban wastewater systems (2013). Water Research: doi 10.1016/j.watres.2012.11.060

¹⁷ Dies ist weniger für Mensch und Umwelt wichtig, sondern mehr für die Funktionsfähigkeit der Kläranlagen von Bedeutung. Werden größere Konzentrationen an Schadstoffe in die biologische Reinigungsstufe (Belebtschlammbecken) eingetragen, können die Mikroorganismen, die für den Abbau der Stoffe verantwortlich sind, dadurch geschädigt werden.

¹⁸ Zum Beispiel das Projekt UMSICHT: Abschätzung der Umweltgefährdung durch Silber-Nanomaterialien: vom Chemischen Partikel bis zum Technischen Produkt der Universität Bremen; <http://www.umsicht.uni-bremen.de/>

¹⁹ Dies gilt nicht für Metalle und Mineralien; diese werden entweder durch Filter aus der Abluft von Verbrennungsanlagen zurückgehalten oder verbleiben in der Schlacke / Asche und werden letztlich in Deponien entsorgt.

Über den weiteren Verbleib von Nanomaterialien, die mit dem Klärschlamm auf die Äcker gebracht werden, ist nicht viel bekannt. In einer Studie zu Nanosilber¹⁸ konnte gezeigt werden, dass die Nanomaterialien an den Schlamm absorbieren und auch längerfristig daran gebunden bleiben²⁰. Allerdings wurde nicht untersucht, was nach dem Abbau der organischen Bestandteile des Schlammes passiert, an die die Nanomaterialien angelagert waren.

Nanomaterialien, die nicht in der Kläranlage abgebaut oder mit dem Klärschlamm entfernt werden, werden mit dem Kläranlagenabwasser in die Flüsse eingeleitet. Für das Beispiel des Nanosilbers wurde in Studien ermittelt, dass ca. 5 - 10% der in die Kläranlagen eingeleiteten Nanomaterialien diese mit dem Abwasser wieder verlassen. Auch hier gehen viele Experten davon aus, dass die Ergebnisse auf andere Nanomaterialien übertragen werden können. Ob die letztlich emittierten Nanomaterialien in der Kläranlage verändert wurden und somit auch eine andere Schädigung haben können, ist derzeit nicht bekannt. In weiteren Studien wurde eine erhöhte Toxizität von Nanosilber²¹ festgestellt, nachdem es die Kläranlage durchlaufen hatte. Die Ursache hierfür konnte jedoch bislang nicht geklärt werden.

Zusammenfassend wurde im FachDialog mit dem Thema „Nanotechnologien und die aquatische Umwelt“ festgestellt, dass es einige Hinweise darauf gibt, dass Nanomaterialien, die in die Kanalisation und Kläranlage gelangen, nur zu einem kleinen Teil in die aquatische Umwelt emittiert werden. In Hinblick auf die Fragen, ob dies für alle Arten von Nanomaterialien gilt und wie insbesondere die langfristigen Risiken durch die in die Flüsse freigesetzten Mengen zu bewerten sind, gibt es keine eindeutigen Erkenntnisse.

2.3.2 Direkte Emission in die Umwelt

Nanomaterialien können auch direkt in die Umwelt freigesetzt werden, nämlich wenn sie in Produkten enthalten sind, die draußen angewendet werden, wie zum Beispiel Pflanzenschutzmittel, Autopolituren, Farben für Häuserfassaden oder Gartenmöbel. Hier können die Nanomaterialien entweder unmittelbar während der Produktnutzung emittieren (Anwendung von chemischen Produkten) oder sie werden mit der Zeit aus Erzeugnissen herausgewaschen. Eine ganz andere mögliche Emissionsquelle sind nanomaterialbasierte Tierarzneimittel²², da diese von den Tieren wieder ausgeschieden werden können.

²⁰ Diese Versuche wurden mit aktivem Klärschlamm durchgeführt, also Schlamm, der nicht einer Faulung unterzogen wurde. In der Regel wird Klärschlamm jedoch nach einer Faulung in die Landwirtschaft verbracht. Daher sind die Ergebnisse nicht für alle Fälle von Klärschlammverbringung auf Felder repräsentativ.

²¹ Zum Beispiel durchgeführt am Fraunhofer Institut;
<http://www.ime.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelderAE/Chemikaliensicherheit/Nanomaterialien.html>

²² Derzeit sind allerdings in Deutschland keine Tierarzneimittel zugelassen worden, die Nanomaterialien enthalten.

Nanomaterialien können auch sehr gezielt zur Sanierung von Grundwasser und Böden direkt in der Umwelt eingesetzt werden. Die Entwickler solcher nanomaterialbasierten Verfahren und Produkte versprechen sich davon eine effizientere und verbesserte Reinigung der Umweltmedien Boden und Grundwasser im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren. Die entsprechenden Produkte sind derzeit mehrheitlich im Forschungs- und Entwicklungsstadium. In den meisten Fällen ist vorgesehen, Sanierungsmethoden zu verwenden, die es erlauben, die Nanomaterialien aus der Umwelt wieder zu entfernen oder sicherzustellen, dass sie sich dort nicht weiter verteilen.

3 Gesetzliche Vorgaben zu Emissionen von Nanomaterialien

Es ist nicht abschließend geklärt, ob mit Nanomaterialien in der Umwelt langfristig Risiken verbunden sind. Daher ist es wünschenswert, die Emissionen dieser Materialien möglichst gering zu halten (Vorsorgeprinzip).

Derzeit gibt es keine Gesetze, die den Gehalt von Nanomaterialien in chemischen Produkten begrenzen. Allerdings muss vor einer Verwendung von Nanomaterialien in Kosmetika eine Sicherheitsprüfung durchgeführt werden. Außerdem muss das Vorhandensein von Nanomaterialien in Kosmetika, Lebensmitteln und Biozidprodukten gekennzeichnet werden. Die Verwendung von Nanomaterialien in Erzeugnissen wird gesetzlich nicht eingeschränkt.

Für chemische Produkte gibt es zudem Beschränkungen für Stoffe, die bestimmte gefährliche Eigenschaften haben, die zum Beispiel krebserregend oder erbgutschädigend sind. Haben Nanomaterialien solche Eigenschaften, fallen auch sie unter diese Regelungen.

Großindustrielle Anlagen sind in der Regel genehmigungspflichtig und ihre Betreiber müssen entsprechende Grenzwerte für definierte Stoffe in ihrer Abluft und im Abwasser einhalten. Solche Grenzwerte gelten für chemische Stoffe oder Stoffgruppen allgemein und differenzieren nicht nach Nanomaterialien und nicht nanoskaligen Stoffen. Da es derzeit keine praktikablen Methoden zur Überwachung von Grenzwerten von Nanomaterialien in Emissionen gibt, wäre eine Einführung derselben derzeit auch nicht sinnvoll.

Für die Stoffverwendung und Emissionen aus kleineren gewerblichen Betrieben gibt es keine Regelungen, die speziell nanoskalige Stoffe betreffen.

Die Trinkwasserverordnung regelt, dass Trinkwasser:

- „genusstauglich und rein“ sein soll,
- keine chemischen Stoffe in Konzentrationen enthalten darf, die die Gesundheit schädigen könnten und
- fordert, dass die Konzentration von Verunreinigungen im Trinkwasser möglichst gering gehalten werden soll (Minimierungsgebot).

Diese Anforderungen gelten auch für Nanomaterialien, konkrete Grenzwerte existieren jedoch nicht.

Insgesamt gelten also für Nanomaterialien die allgemeinen rechtlichen Regelungen zu chemischen Stoffen, sowohl für Produkte als auch für (die Emissionen von) industrielle Anlagen sowie die Qualität von Trinkwasser.

4 Beitrag der Nanotechnologien zum Erhalt der Ressource Wasser

Nanotechnologien werden bereits in einigen Anwendungen zur Reinigung von Abwasser und Trinkwasser sowie zur Sanierung von Grundwasser eingesetzt. Hierbei kann die Verwendung von Nanotechnologien effizienter und kostengünstiger sein als konventionelle Verfahren oder aber die Entfernung von Schadstoffen aus dem Wasser ermöglichen, die für konventionelle Verfahren nur schwer zugänglich sind (zum Beispiel persistente organische Stoffe). Bei der Verwendung von Nanotechnologien in der Trinkwasser- und Abwasserreinigung werden insbesondere das hohe Oberflächen-Volumenverhältnis, die Reaktivität und die Möglichkeit genutzt, maßgeschneiderte Nanomaterialien herzustellen, die ganz spezifische Funktionen erfüllen können.

In einem Bericht des Umweltbundesamtes²³ werden der Stand der Technik zur Verwendung von Nanotechnologien in der Reinigung und Desinfektion von Trinkwasser, Abwasser und Grundwasser dargestellt. Hier wird beschrieben, dass die folgenden Technologien verwendet werden:

- Filtration/Separation: Nanoskalige Membranen können, im Gegensatz zu konventionellen Techniken, auch gelöste organische und anorganische Schadstoffe zurückhalten. Verwendet werden organische Polymere sowie anorganische Keramiken. Unter anderem durch die hohe spezifische Oberfläche, durch ihre hohe Porosität und enge Porengrößenstreuung sind Nanofilter und –membranen effizienter als konventionelle Technologien und

²³ Umweltbundesamt: Untersuchung des Einsatzes von Nanomaterialien im Umweltschutz, Juni 2010

können hinsichtlich der Durchlässigkeit und Selektivität sehr speziell ausgelegt werden.

- Funktionalisierung von Oberflächen: beschichtete Oberflächen werden unter anderem zur Entfernung von Schadstoffen eingesetzt (Absorption, Immobilisierung) oder auch, um zum Beispiel Fouling-Prozessen²⁴ beziehungsweise anorganischen Ablagerungen auf Membranen entgegenzuwirken.
- Sorption: Nanomaterialien und nanostrukturierte Oberflächen können zur Abtrennung von Schadstoffen aus dem Wasser genutzt werden. Die großen spezifischen Oberflächen und die teilweise sehr hohen Sorptionsenergien von Nanomaterialien und/oder nanostrukturierten Materialien ermöglichen eine effektive und auch spezifische Bindung von Schadstoffen. Technologien unter anderem zur Adsorption von Schwermetallen, hormonell wirksamen und persistenten Stoffen sind derzeit überwiegend noch in der Entwicklungsphase.
- Nanokatalysatoren: bei der Katalyse wird der Ablauf chemischer Prozesse wie der Oxidation, Reduktion oder der Abbau von Schadstoffen beschleunigt. Der Katalysator wird hierbei nicht verändert. Nanomaterialien sind als Katalysatoren besonders geeignet, da sie einerseits eine stark erhöhte Reaktivität haben (können) und andererseits aufgrund ihrer hohen Oberfläche und gegebenenfalls komplexen Form und Struktur viele Ansatzpunkte für Reaktionen bieten. Nanokatalysatoren werden bereits in der Entfernung von Schwermetallen aus Grund- und Trinkwasser eingesetzt.

Des Weiteren finden Nanotechnologien Anwendung in der Analytik und Messtechnik. Hier werden beispielsweise für bestimmte Moleküle spezifische Sensoren entwickelt, verschiedene Tests in miniaturisierter Form angeboten („lab-on-a-chip“) oder kontinuierliche Messverfahren für die Vor-Ort-Analytik entwickelt. Unter anderem werden hier Verfahren zur Detektion von Nanomaterialien in der Umwelt entwickelt. Die Messtechnik ist zur Überwachung der Wasserqualität relevant und Nanotechnologien können dazu beitragen, mehr und kostengünstigere Messungen durchzuführen und somit eine schnellere Reaktion auf Verunreinigungen ermöglichen.

Die Nanotechnologien können auch zum Erhalt der Ressource Wasser beitragen, indem sie stark wasserverschmutzende industrielle Prozesse ersetzen oder den Wasserverbrauch in industriellen Prozessen optimieren.

Derzeit gibt es kaum Untersuchungen darüber, ob und in welchem Umfang der Einsatz von Nanotechnologien in der Abwasser- und Trinkwasserreinigung sowie der Sanierung von Grundwasser und Böden im Vergleich zu konventionellen

²⁴ Wachstum von Algen und Mikroorganismen auf Oberflächen, was zur Bildung sogenannter Biofilme führt.

Technologien zu Umweltentlastungen führt. Für die beim FachDialog „Nanotechnologien und die aquatische Umwelt“ vorgestellten Verfahren sind beispielsweise keine Ökobilanzen erstellt oder Nachhaltigkeitspotenziale untersucht worden. Allerdings werden für kommerzielle Verfahren wirtschaftliche Betrachtungen angestellt²⁵.

5 Zusammenfassung

Die Verwendung von Nanotechnologien in der Reinigung von Abwasser, Trinkwasser und Grundwasser kann es ermöglichen, Stoffe zu entfernen oder zu immobilisieren, die mit konventionellen Technologien entweder gar nicht oder nur mit deutlich höherem technischen und ökonomischen Aufwand zu entfernen wären.

Dem Nutzen der Nanotechnologien stehen mögliche Risiken durch die Freisetzung von Nanomaterialien aus Produkten und Prozessen entgegen. Hierbei steht die Verwendung von Nanomaterialien als solchen oder in Form von Beschichtungen im Fokus, da nanostrukturierte Materialien in der Regel keine gefährlichen Eigenschaften haben.

Untersuchungen zum Verhalten von Nanomaterialien in der Kläranlage deuten darauf hin, dass diese zu einem großen Anteil aus dem Abwasser entfernt werden (können) und nur zu einem geringen Anteil über das Abwasser in die aquatische Umwelt gelangen. Allerdings ist für die Bewertung des Gesamtrisikos relevant, wie der Klärschlamm, in dem sich die Nanomaterialien in der Regel befinden, behandelt wird und welche Gefährlichkeit die im Abwasser der Kläranlage verbleibenden Nanomaterialien haben.

Insgesamt erscheinen die Nutzen der Nanotechnologie im Bereich der Umwelttechnologien (zur Wasserreinigung) die Risiken zu überwiegen. Allerdings sind je nach verwendetem Material und Einsatzbereich Einzelfallprüfungen notwendig.

²⁵ Am Beispiel der keramischen Filter für die Trinkwasseraufbereitung wurde erläutert, dass hier die Kosten für nanotechnologiebasierte Verfahren zunächst deutlich höher waren, als für kunststoffbasierte Filtermembranen. Die Kosten konnten jedoch schrittweise gesenkt werden und sind, bei einer langfristigen Betrachtung der Kosten, nahezu so hoch, wie bei den konventionellen Produkten.