

NanoDialog
der Bundesregierung

FachDialog
„Nanotechnologie und aquatische Umwelt“

Hintergrunddokument

Mai 2014

Autoren: Antonia Reihlen, Laura Ausberg &
Dirk Jepsen

Impressum:

ÖKOPOL GmbH
Institut für Ökologie und Politik

Nernstweg 32–34
D – 22765 Hamburg

www.oekopol.de
info@oekopol.de

Telefon: ++ 49-40-39 100 2 0
Fax: ++ 49-40-39 100 2 33

Inhalt

1	Die FachDialogreihe	4
2	Einleitung	4
2.1	Themenstellung und Zielsetzung.....	4
2.2	Geplanter Ablauf	6
3	Themen und Vorträge	7
3.1	Vorkommen und Regulierung von Nanomaterialien in der aquatischen Umwelt	7
3.1.1	Quellen und Verteilung von Nanomaterialien in der aquatischen Umwelt.....	7
3.1.2	Verhalten und Wirkungen in der aquatischen Umwelt – aktuelle Erkenntnisse aus der Bewertung von Kläranlagenausträgen	9
3.1.3	Prinzipien und Möglichkeiten der Regulierung der Emissionen von Nanomaterialien aus (industriellen) Prozessen.....	10
3.1.4	Prinzipien und Möglichkeiten der Regulierung von Nanomaterialemissionen aus Produkten	13
3.2	Chancen und Risiken der Anwendung von Nanotechnologien zur Reinigung von Abwasser und Oberflächengewässern.....	14
3.2.1	Verhalten von Nanomaterialien in Kläranlagen.....	14
3.2.2	Eigenschaften und Umweltwirkungen von Nanosilber im Lebenszyklus mit Blick auf den Wasserpfad	16
3.2.3	Abwasserreinigung mit Nanotechnologie: Stand der Technik und Vorstellung des Projektes NanoPurification mit konkreten Anwendungsbeispielen	17
3.3	Vorkommen und Regulierung von Nanomaterialien in Grund- und Trinkwasser	18
3.3.1	Regulierung von Grund- und Trinkwasser	18
3.3.2	Einsatz von Nanomaterialien im Grundwasser – Chancen & Risiken	19
3.3.3	Trinkwassereinigung mit keramischen Filtrationsmembranen.....	20

1 Die FachDialogreihe

Der FachDialog „Nanotechnologien und aquatische Umwelt“ ist die zweite von insgesamt vier Veranstaltungen des BMUB im Rahmen der 4. Phase des NanoDialogs¹. Zu jedem zweitägigen FachDialog werden ca. 25-35 Vertreterinnen und Vertreter von Stakeholdergruppen sowie aus Ressorts und Behörden eingeladen. Die Protokolle der FachDialoge werden mit den Teilnehmenden abgestimmt. Die Diskussionsergebnisse werden im Rahmen eigenständiger thematischer Berichte veröffentlicht.

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

Der Schwerpunkt der FachDialoge liegt auf der gesellschaftspolitischen Einordnung der Themenstellungen.

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

2 Einleitung

2.1 Themenstellung und Zielsetzung

Ziel des 2. FachDialogs ist es, Chancen und Risiken der Nanotechnologien für die aquatische Umwelt, d.h. sowohl für Oberflächengewässer als auch für Grund- und Trinkwasserressourcen, zu diskutieren.

Die Chancen und Risiken der Nanotechnologien für die aquatische Umwelt wurden im NanoDialog der Bundesregierung bislang noch nicht alleinstehend diskutiert. Allerdings wurden in der Diskussion um die Umweltrisikobewertung von

¹ Die Ergebnisse der vorherigen Dialogphasen sind auf den Internetseiten des Bundesumweltministeriums dokumentiert unter: <http://www.bmu.de/themen/gesundheit-chemikalien/nanotechnologie/nanodialog/nanodialog>.

Nanomaterialien und Nanotechnologien die Auswirkungen auf die aquatische Umwelt in vielen Fällen bearbeitet.

Vor diesem Hintergrund sollen nun im Rahmen des aktuellen FachDialogs für die Bereiche Abwasser und Oberflächenwasser sowie Grund- und Trinkwasser die folgenden Fragen vertiefend diskutiert werden:

- Gibt es Emissionen von Nanomaterialien in die jeweiligen Wasserressourcen? Was sind die Quellen und welche Risiken können dadurch entstehen? Wie ist der Stand des Wissens zu Verteilung, Abbau und Wirkungen von Nanomaterialien in der aquatischen Umwelt?
- Welche regulatorischen Rahmenbedingungen existieren zur Begrenzung/Vermeidung des Eintrages von Nanomaterialien in die jeweiligen Wasserressourcen?
- Welche (gesetzlichen) Qualitäts-Anforderungen bestehen für die Wasserressourcen und sind Nanomaterialien damit ausreichend abgedeckt?
- Werden bereits nanotechnologische Verfahren zur Entfernung von Schadstoffen (unabhängig von ihrer Größe) eingesetzt oder sind diese noch im Stadium der Erforschung und Entwicklung? Welche Chancen und welche Risiken sind mit diesen Verfahren verbunden?

Folgende Ergebnisse werden angestrebt:

- Gemeinsames Verständnis über mögliche Emissionsquellen von Nanomaterialien in die aquatische Umwelt und den Stand des Wissens zu daraus ggf. resultierenden Risiken,
- Einblick in die regulatorischen Prinzipien und Rahmenseetzungen zur Begrenzung/Vermeidung des Eintrags von Nanomaterialien in die aquatische Umwelt,
- Identifizierung von Anwendungen der Nanotechnologien zum Schutz der aquatischen Umwelt, die von der Mehrheit der Stakeholder
 - als verhältnismäßig risikoarm und sehr nutzbringend bewertet werden,
 - aus unterschiedlichen Gründen für kritisch gehalten werden,
 - deren weitere Erforschung als notwendig und hilfreich erachtet wird,
- Benennung möglicher regulatorischer Lücken,
- Benennung von Forschungs- und Handlungsbedarf.

2.2 Geplanter Ablauf

Der FachDialog wird mit einer Runde beginnen, in der die Vertreterinnen und Vertreter unterschiedlicher Interessengruppen ihre Statements abgeben. Diese wurden gebeten darzustellen, welche Aspekte der Thematik sie

- für besonders relevant halten,
- wo die Entwicklung einen guten Weg nimmt,
- wo die Entwicklungen als kritisch angesehen werden und
- in welchen Bereichen ein Handlungsbedarf für Politik und/oder Wirtschaft gesehen wird.

Auf diese Art und Weise wird ein Rahmen verschiedener Positionen und Einschätzungen aufgespannt sowie die bestehenden Divergenzen und Gemeinsamkeiten gleich zu Beginn in den Dialog mit aufgenommen.

Die nachfolgende vertiefende Diskussion der fachlichen Aspekte erfolgt dann in drei Abschnitten.

In einem ersten thematischen Block sollen zunächst der aktuelle Kenntnisstand zu den Quellen und Eintragspfaden, der Verteilung, dem Verhalten und der Wirkung von Nanomaterialien in der aquatischen Umwelt dargestellt werden. Zusätzlich werden Prinzipien und Instrumente zur Regulierung von (Schadstoff-) Einträgen in Abwässer und Oberflächengewässer erläutert und die Frage diskutiert, inwieweit hier spezifische Anforderungen an Nanomaterialien bestehen.

In einem zweiten Block steht die Reinigung von Abwässern, die Nanomaterialien enthalten, sowie von Abwässern, die mit Hilfe von Nanotechnologien gereinigt werden, im Mittelpunkt. Dabei werden einerseits die Ergebnisse einschlägiger Forschungsvorhaben zum Eintrag von Nanomaterialien in das Abwasser, zu ihrem Verhalten in Kläranlagen sowie zu ihrem weiteren Verbleib und ihrer Wirkung vorgestellt. Andererseits werden die Möglichkeiten des Einsatzes von Nanotechnologien bei der Abwasserreinigung sowie der Entwicklungsstand dieser technischen Lösungen präsentiert und auf dieser Basis Chancen und Risiken diskutiert.

Ein dritter Themenblock wird sich dann dem Bereich des Grund- und Trinkwassers widmen. Hier wird zunächst der Frage nach bestehenden regulativen Anforderungen an die Qualität von Grund- und Trinkwasser und der Erfassung von Nanomaterialien durch diese Regelungen nachgegangen. Anschließend werden die Chancen, aber auch die Risiken der Nutzung von Nanomaterialien zur Reinigung von Grundwasser bzw. Kontaminationen des Bodens thematisiert. Das Beispiel nanotechnologischer Keramikmembranen zur Trinkwasserreinigung rundet hier die fachlichen Beiträge ab.

In allen drei Themenblöcken steht ausreichend Zeit für den Austausch weiterer fachlicher Aspekte, für die Klärung von Fragen sowie für die Diskussion der Einschätzung von Chancen und Risiken der Nanotechnologie zur Verfügung. In einer übergreifenden Abschlussdiskussion wird dann darauf aufbauend der Versuch eines gemeinsamen Resümees unternommen.

3 Themen und Vorträge

3.1 Vorkommen und Regulierung von Nanomaterialien in der aquatischen Umwelt

3.1.1 Quellen und Verteilung von Nanomaterialien in der aquatischen Umwelt²

Für die aquatische Umwelt ist derzeit gesichertes quantitatives Wissen zu Umweltmissionen und der daraus resultierenden Umweltexposition von synthetisch hergestellten Nanomaterialien (NM) fast nicht oder nur in einem sehr bescheidenen Umfang verfügbar (Gottschalk et al., 2013). Da es an quantitativen Methoden zur Erkennung, Charakterisierung und Quantifizierung von NM in komplexen natürlichen Medien mangelt, können Emissionen und Expositionshöhen von NM nicht gemessen werden (Hassellöv and Kaegi, 2009; Mitrano et al., 2012; von der Kammer et al., 2012). Infolgedessen sind modellierte Vorhersagen zu möglichen Expositionsvolumina und -pfaden ein wichtiges Instrument zur Bewertung möglicher Risiken für die (aquatische) Umwelt (Gottschalk and Nowack, 2011).

Derartige Modellierungen sehen sich allerdings mit der Schwierigkeit konfrontiert, das gesamte Spektrum möglicher Umweltemissionen, welche über den gesamten Lebenszyklus von Nanomaterial und -produkten erfolgen können, abzudecken (Sun et al., 2014). Aus den verschiedensten Stadien dieser meist vielstufigen Lebenszyklen können ggf. direkte oder auch indirekte Emissionen in Abwässer und Oberflächengewässer und damit in die aquatische Umwelt erfolgen. Neben den Schwierigkeiten, dieses komplexe und diffuse Emissionsspektrum zu identifizieren und zu quantifizieren, gibt es derzeit im Bereich der Ermittlung von Expositionshöhen ergänzend noch viele offene Punkte zu Transport und Verhalten von NM in den Gewässern.

Für letztgenannte Parameter zu Transport und Verhalten sind aber erste mechanistisch orientierte Modelle speziell unter Berücksichtigung der Agglomeration und Sedimentation von NM in der Entwicklung (Quik et al., 2011; Praetorius et al., 2012). Bezüglich der aquatischen Umweltemissionsmodellierung (teilweise mit

² Dr. Fadri Gottschalk, ETSS – Environmental, technical and scientific services.

Einbezug der Umweltexposition) liegen mittlerweile einige wenige Studien vor, für die in sehr bescheidenem Rahmen auch erste anfängliche Vergleiche zu Messdaten möglich sind (Gottschalk et al., 2013). Es handelt sich dabei mehrheitlich um Studien zu nanoskaligem TiO₂, Ag, ZnO, CeO₂, CNT und Fullerenen.

Im Vortrag wird zunächst ein Einblick in die oben erwähnten methodischen Herausforderungen der wissenschaftlichen Quantifizierung von Emissionsquellen, -pfaden und -mengen für NM in der aquatischen Umwelt gegeben. Anschließend wird ein Überblick zum derzeitigen Wissensstand solcher Emission (und daraus resultierender Exposition) gegeben.

Literatur & Verweise:

- Gottschalk, F., Nowack, B., 2011. The release of engineered nanomaterials to the environment. *J. Environ. Monitoring* 13, 1145-1155.
- Gottschalk, F., Sun, T.Y., Nowack, B., 2013. Environmental concentrations of engineered nanomaterials: Review of modeling and analytical studies. *Environmental Pollution* 181, 287-300.
- Hassellöv, R., Kaegi, R., 2009. Analysis and Characterization of Manufactured Nanoparticles in Aquatic Environments, in: Lead, J.R., Smith, E. (Eds.), *Nanoscience and Nanotechnology: Environmental and human health implications*. Wiley, pp. 211-266.
- Mitrano, D.M., Leshner, E.K., Bednar, A., Monserud, J., Higgins, C.P., Ranville, J.F., 2012. Detecting nanoparticulate silver using single-particle inductively coupled plasma-mass spectrometry. *Environmental Toxicology and Chemistry* 31, 115-121.
- Praetorius, A., Scheringer, M., Hungerbühler, K., 2012. Development of environmental fate models for engineered nanoparticles - a case study of TiO₂ nanoparticles in the Rhine River. *Environ Sci Technol.* 46, 6705-6713.
- Quik, J.T.K., Vonk, J.A., Hansen, S.F., Baun, A., Van De Meent, D., 2011. How to assess exposure of aquatic organisms to manufactured nanoparticles? *Environment International* 37, 1068-1077.
- Sun, T.Y., Gottschalk, F., Hungerbühler, K., Nowack, B., 2014. Comprehensive probabilistic modelling of environmental emissions of engineered nanomaterials. *Environmental Pollution* 185 69e-76.
- von der Kammer, F., Ferguson, P.L., Holden, P.A., Masion, A., Rogers, K.R., Klaine, S.J., Koelmans, A.A., Horne, N., Unrine, J.M., 2012. Analysis of engineered nanomaterials in complex matrices (environment and biota): General considerations and conceptual case studies. *Environ. Toxicol. Chem.* 31, 32-49.

3.1.2 Verhalten und Wirkungen in der aquatischen Umwelt – aktuelle Erkenntnisse aus der Bewertung von Kläranlagenausträgen³

Verhalten und Wirkung von Chemikalien, einschließlich Nanomaterialien, werden anhand der Originalsubstanz untersucht. Für derartige Untersuchungen stehen standardisierte Testsysteme (z.B. nach OECD- oder ISO-Richtlinien) zur Verfügung. Die Erfassung der ökotoxikologischen Wirkung unter standardisierten Bedingungen auf Algen, Daphnien, Regenwürmer, Pflanzen, Mikroorganismen oder Abbau bzw. Verlagerung in den Boden stellen einige Beispiele dar. Entstehen beim Abbau konventioneller Chemikalien signifikante Mengen an Metaboliten, wird deren Verhalten und Wirkung ebenfalls umfassend untersucht.

Viele Nanomaterialien sind biologisch nicht abbaubar. Dennoch ist nicht auszuschließen, dass sie sich in der Umwelt verändern, was bislang jedoch aufgrund fehlender oder eingeschränkter Messtechnik nicht oder nur mit sehr großem Aufwand analytisch nachweisbar ist. Somit werden derzeit längerfristige Veränderungen von Nanomaterialien bei deren Gefährdungsabschätzung oder Risikobeurteilung nicht berücksichtigt. Es bleibt auch unberücksichtigt, dass sich die Bedingungen in der Umwelt deutlich von den standardisierten Bedingungen eines Labortests unterscheiden. Andere pH-Werte oder das Vorliegen von Huminstoffen sind nur zwei Beispiele. Huminstoffe können beispielsweise die Stabilität von NM in wässrigen Medien erhöhen und die Sedimentation vermindern, doch führen sie in der Regel zu einer niedrigeren Bioverfügbarkeit und damit Toxizität.

Allgemein wird davon ausgegangen, dass Nanomaterialien in Kläranlagen gelangen und sich im Klärschlamm anreichern. Auf dem Weg zur Kläranlage, aber auch in der Kläranlage, ist eine Transformation der Materialien aufgrund von variierendem Umgebungsmilieu (z.B. aerobe und anaerobe Zustände, verschiedene pH-Werte) und mechanischer Belastung nicht auszuschließen.

Am Fraunhofer IME wird das Verhalten von Nanomaterialien in Laborkläranlagen näher untersucht. Bislang liegt der Schwerpunkt auf Silbernanomaterialien (Ag-NM). Die Untersuchungen werden aber auf weitere Materialtypen ausgeweitet.

In den Ergebnissen der Untersuchungen zu Ag-NM bestätigte sich eine hohe Anreicherung im Klärschlamm. Dies und weitere Ergebnisse zeigen, dass Nanomaterialien differenziert zu betrachten sind, Aussagen zum längerfristigen Verhalten nicht unreflektiert von einem Material auf ein anderes übertragen werden und Wirkungen von NM in der Umwelt sich von den im Labor ermittelten deutlich unterscheiden können. Darüber hinaus ist nicht auszuschließen, dass die

³ Dr. Kerstin Hund-Rinke, Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie IME.

Veränderungen der Nanomaterialien, die zu einer gesteigerten Ökotoxizität geführt haben, auch deren Verhalten und Verbleib in der Umwelt beeinflussen können.

Literatur & Verweise:

AJ Bone, BP Colman, AP Gondikas, KM Newton, KH Harrold, RM Cory, JM Unrine, SJ Klaine, CW Matson, RT Di Giulio. 2012. Biotic and abiotic interactions in aquatic microcosms determine fate and toxicity of Ag nanoparticles: Part 2-Toxicity and Ag Speciation. Environmental Science & Technology. doi: 10.1021/es204683m.

JM Unrine, BP Colman, AJ Bone, AP Gondikas, CW Matson. 2012. Biotic and abiotic interactions in aquatic microcosms determine fate and toxicity of Ag nanoparticles: Part 1. Aggregation and Dissolution. Environmental Science & Technology. doi: 10.1021/es204682q

Cleveland D, Long SE, Pennington PL, Cooper E, Fulton MH, Scott GI, Brewer T, Davis J, Petersen EJ, Wood L. Pilot estuarine mesocosm study on the environmental fate of Silver nanomaterials leached from consumer products. Sci Total Environ. 2012 Apr 1;421-422:267-72. doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.01.025. Epub 2012 Feb 26.

3.1.3 Prinzipien und Möglichkeiten der Regulierung der Emissionen von Nanomaterialien aus (industriellen) Prozessen⁴

Prinzipiell gibt es zwei Möglichkeiten, industrielles und gewerbliches Abwasser zu entsorgen: Bei der Einleitung industriellen und gewerblichen Abwassers kann zwischen der Direkteinleitung in Gewässer nach vorheriger Reinigung durch den Anlagenbetreiber selber und der Indirekteinleitung, bei welcher das Abwasser in die kommunale Kläranlage eingeleitet wird, unterschieden werden.

Beide Wege werden vom Wasserhaushaltsgesetz (WHG) in den §§ 57 (Direkteinleitung) und 58 (Indirekteinleitung) erfasst. Danach ist für die Gewässerbenutzung eine Einleitungserlaubnis bzw. für die Indirekteinleitung eine Genehmigung erforderlich. Sie werden von den Wasserbehörden nur erteilt, wenn die Menge und die Schädlichkeit des Abwassers so gering wie möglich gehalten werden. Dazu müssen vom Einleiter Mindestanforderungen nach dem Stand der Technik erfüllt werden. Diese beziehen sich auf die Abwasserbehandlung, aber auch auf produktionsintegrierte Maßnahmen. Die Anforderungen an die industrielle, gewerbliche und kommunale Abwassereinleitung werden in der Abwasserverordnung (AbwV) und ihren Anhängen für einzelne Herkunftsbereiche (Branchen) (z.B. Anhang 1 Häusliches und kommunales Abwasser, Anhang 22 Chemische Industrie) konkretisiert und damit bundeseinheitlich festgelegt. Dabei richtet sich die AbwV selbst nicht unmittelbar an die Einleiter, sondern an die für die Erteilung der Einleitungserlaubnis zuständigen Wasserbehörden.

⁴ Dr. Andrea Poppe, Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR.

Der Vollzug der wasserrechtlichen Vorschriften obliegt den Behörden der Länder.

Die Anforderungen der AbwV beziehen sich nach § 5 auf die Stelle, an der das Abwasser in das Gewässer eingeleitet wird und, soweit in den Anhängen zu dieser Verordnung bestimmt, auch auf Abwasser vor seiner Vermischung und auf den Ort des Anfalls. Der Einleitungsstelle steht der Ablauf der Abwasseranlage, in der das Abwasser letztmalig behandelt wird, gleich. Ort vor der Vermischung ist auch die Einleitungsstelle in eine öffentliche Abwasseranlage.

Die Anhänge der AbwV mit den Anforderungen an die verschiedenen Herkunftsbereiche enthalten zahlenmäßige Grenzwerte. Die zugehörigen Analysen- und Messverfahren sind ebenfalls in der AbwV aufgeführt. Die Mindestanforderungen der AbwV werden für die jeweiligen Branchen mit verfahrensorientierten Emissionsbegrenzungen über Summen-, Gruppen- und Einzelparameter (z.B. CSB, AOX, Hg) festgesetzt. Ergänzend wird die aquatische Toxizität über biologische Testverfahren begrenzt. Die Überwachung dieser Begrenzungen erfolgt durch die Wasserbehörden.

Gemäß § 61 WHG sind Einleiter darüber hinaus zur Selbstüberwachung ihrer Abwasserbehandlungsanlage bzw. ihres Abwassers verpflichtet. Die Bundesländer haben dazu entsprechende Selbstüberwachungsverordnungen erlassen.

Zu erwähnen sei ferner das eng mit dem Wasserrecht verknüpfte Abwasserabgabengesetz, das eine Lenkungsfunction ausübt. Danach ist je nach Menge und Schädlichkeit des Abwassers eine Abgabe für die Gewässerbenutzung an die Länder zu entrichten. Die Abgabe wird zweckgebunden für die Gewässerreinigung verwendet.

Auf EU-Ebene stellt die Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG grundlegende Regelungen zum Erreichen eines EU-weiten guten Zustands der Gewässer auf. Hier werden im Anhang X für bestimmte kritische Stoffe (prioritäre und prioritär gefährliche Stoffe) Gewässerqualitätsnormen formuliert. Die Umsetzung in deutsches Recht erfolgte 2011 mit der Oberflächengewässerverordnung.

Unterstützung bietet den Fachbehörden der Wasserwirtschaft, Ingenieurbüros, Anlagenherstellern und dem mit dem Umweltschutz befassten Personal in den Betrieben das Regelwerk der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA). Hier finden sich u. a. diverse Merkblätter zum Abwasser aus den verschiedensten Branchen, die Empfehlungen und Hilfen zur Lösung technischer und betrieblicher Probleme geben, oder die Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen beschreiben, die noch nicht allgemein anerkannt sind.

Verfolgen die Anforderungen des Wasserrechts das Ziel eines vorsorgenden Gewässerschutzes, so sind aus Sicht des Betreibers der öffentlichen Abwasseranlage (Kanalnetz und Kläranlage) andere Schutzziele maßgebend, denn er hat

sicherzustellen, dass die Funktion und der Betrieb der öffentlichen Abwasserlage nicht gefährdet, geschädigt oder unverhältnismäßig erschwert oder verteuert wird.

Aus Sicht des Betreibers der öffentlichen Abwasserbehandlungsanlage sind daher folgende Schutzziele relevant: Keine gesundheitliche Beeinträchtigung oder Gefährdung des in und auf der öffentlichen Abwasseranlage tätigen Personals, keine nachteilige Beeinflussung der öffentlichen Abwasseranlage in ihrem Bestand und Betrieb, keine Verunreinigung oder sonst nachteilige Veränderung des Gewässers bzw. keine Gefährdung der Direkteinleiterpflichten (s. AbwV Anhang 1 Häusliches und kommunales Abwasser), keine Erschwerung oder Verteuern der Schlammbehandlung und -entsorgung (Gesetzliche Grundlage für die landwirtschaftliche Klärschlamm-Verwertung ist die Klärschlammverordnung (AbfKlärV)).

Um diese Schutzziele sicherzustellen, stellt der Betreiber der öffentlichen Abwasseranlage in seiner Entwässerungs-/Abwassersatzung ebenfalls Anforderungen an die Beschaffenheit und die Inhaltsstoffe industrieller und gewerblicher Indirekteinleitungen, wobei er auch für Vollzug und Überwachung dieser Anforderungen zuständig ist. Diese Anforderungen sind nicht branchenspezifisch und richten sich gleichermaßen an alle Indirekteinleiter.

Begrenzt werden analog zum Wasserrecht gewässerrelevante Schadstoffe wie z.B. Schwermetalle, Organische Halogenverbindungen (AOX) oder Mineralölkohlenwasserstoffe (KW-Index). Ausgeschlossen vom Einbringen in die öffentliche Abwasseranlage sind Abfälle.

Die Anforderungen in den gemeindlichen Satzungen richten sich nach den Mustersatzungen der kommunalen Spitzenverbände, die auf den Empfehlungen des DWA-Merkblattes M 115 beruhen, so dass auch hier i. d. R. bundesweit gleiche Anforderungen bestehen. Jedoch kann der Satzungsgeber davon abweichen, wenn es seine örtlichen Gegebenheiten erfordern. Er kann die Anforderungen z.B. verschärfen oder auf weitere Schadstoffe ausweiten. Von dieser Möglichkeit wird in der Praxis allerdings eher selten Gebrauch gemacht.

Für die Direkt- und Indirekteinleitung von nanomaterialhaltigem Abwasser gibt es bislang weder in den Anhängen zur AbwV noch in den gemeindlichen Abwassersatzungen oder der EU-Wasserrahmenrichtlinie spezifische Anforderungen.

Literatur & Verweise:

Koppe, P: Schadstoffelimination in Abwässern vor Einleitung in die öffentliche Abwasseranlage unter Berücksichtigung der zulässigen Gehalte in Klärschlamm; DWA Band 59 (Aachen 1983), S.159ff

DWA M 115 Indirekteinleitung nicht häuslichen Abwassers, Teil 1 bis 3

A. Poppe, F. Reinhold, DWA-Kommentar Indirekteinleitung nicht häuslichen Abwassers, September 2007.

3.1.4 Prinzipien und Möglichkeiten der Regulierung von Nanomaterialemissionen aus Produkten⁵

Das Freisetzungspotenzial von Nanomaterialien ist in der Regel höher, wenn diese in chemischen Produkten (Mischungen von Stoffen = Gemische) enthalten sind im Vergleich zu anderen Produkten (Erzeugnissen). Daher sollte auch der Grad der Regulierung zum Schutz der Umwelt zwischen Gemischen und Erzeugnissen unterscheiden.

Stoffe werden aus Gemischen in der Regel während ihrer Verwendung freigesetzt. Hier gibt es keine grundlegenden Unterschiede zwischen Nanomaterialien und nicht nanoskaligen Stoffen. Anforderungen aus der gesetzlichen Regulierung zielen deshalb insbesondere auf eine Emissionsminderung während der Nutzungsphase ab. Für gewerblich genutzte Gemische können auch Maßnahmen zur Expositionsminderung vorgeschrieben werden. In beiden Fällen sind die unterschiedlichen Verwendungsbedingungen von Industriechemikalien, Bioziden, Pflanzenschutzmitteln, Kosmetika, aber auch von Arzneimitteln u.a. zu beachten.

Bei Erzeugnissen unterscheiden sich die Freisetzungsraten in der Nutzungsphase nach Erzeugnistyp und Nutzungsmuster, z.B. von Möbeln (Innenraum oder Gartenutzung), IT-Geräten, Kleidungsstücken oder Bauprodukten. Eine entsprechende Regulierung zielt primär auf den Verbraucherschutz ab, bewirkt aber auch Emissionsminderungen in die natürliche Umwelt. Eine Regulierung kann hier aber auch in Emissionen aus der Abfallphase begründet sein.

Ein wichtiges Element bestehender Regulierungen sind die Anforderungen an die Kommunikation der Gefährlichkeit.

Inverkehrbringer von Stoffen und Gemischen sind gesetzlich verpflichtet, diese einzustufen und zu kennzeichnen (Einstufungs- und Kennzeichnungsverordnung). Die dafür notwendigen Verfahren und Kriterien sind gesetzlich definiert. Die Unternehmen sind für ihre sachgerechte Umsetzung verantwortlich und werden von den Behörden stichprobenartig geprüft.

Gefahren für die aquatische Umwelt werden durch ein Gefahrensymbol und entsprechende H-Sätze, Information über Schutzmaßnahmen mit P-Sätzen kommuniziert. Weitere Detailinformationen sind im Sicherheitsdatenblatt enthalten, welches allerdings nur dem gewerblichen Verwender zur Verfügung steht. Bislang

⁵ Antonia Reihlen, Ökopool – Institut für Ökologie und Politik GmbH.

differenzieren weder die Einstufungskriterien noch die Kommunikationsanforderungen zwischen Nanomaterialien und Nicht-Nanomaterialien.

Die Kennzeichnung beeinflusst die Auswahl von und den Umgang mit chemischen Produkten durch die Verwender. Die umweltbezogene Einstufung hat derzeit kaum direkte Rechtsfolgen, löst allerdings die Pflicht zur Risikobewertung unter REACH aus.

Für Erzeugnisse sind die bestehenden Kommunikationsanforderungen deutlich weniger weitreichend. Die REACH-Verordnung erfordert lediglich, den Gehalt eines besonders besorgniserregenden Stoffes (SVHC) der Kandidatenliste oberhalb von 0,1% innerhalb der Wertschöpfungskette gegenüber den gewerblichen Anwendern zu kommunizieren und den privaten Endkunden auf Nachfrage entsprechende Informationen verfügbar zu machen. Unmittelbare Pflichten resultieren aus diesen Informationen (zunächst) nicht. Faktisch ist allerdings zu beobachten, dass die Information über erhöhte SVHC-Gehalte vielfach zu entsprechenden Ausweichreaktionen der Kunden auf SVHC-freie Produkte führt.

Ein weiteres regulatives Grundelement bei chemischen Produkten ist die Verpflichtung zur Emissions- oder Expositionsminderung nach einer entsprechenden Risikobewertung. Unter REACH obliegt die allgemeine Prüfung, ob die unter verschiedenen Anwendungsbedingungen zu erwartende Exposition von Mensch und Umwelt eine „sichere“ Dosis übersteigt, den Stoffherstellern. Werden Risiken ermittelt, können daraus z.B. Verpflichtungen zur Kommunikation entsprechender Risikomanagementmaßnahmen erwachsen. Behördliche Risikobewertungen liefern oft die Begründungen für Stoffverbote, Zulassungsverfahren und/oder Verwendungsbeschränkungen.

3.2 Chancen und Risiken der Anwendung von Nanotechnologien zur Reinigung von Abwasser und Oberflächengewässern

3.2.1 Verhalten von Nanomaterialien in Kläranlagen⁶

Nanomaterialien werden in verschiedenen Konsumentenprodukten eingesetzt, wie zum Beispiel in Textilien und Kosmetika. Durch den Waschprozess gelangen diese Materialien ins Abwasser und werden über die Kanalisation der Abwasserreinigungsanlage (ARA) zugeführt. Für die Nanomaterialien ist die ARA deshalb die letzte Barriere, bevor sie in die Vorfluter und somit ins Oberflächengewässer gelangen. Ob

⁶ Dr. Ralf Kägi, Eawag: Das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs.

und mit welcher Effizienz die Nanomaterialien aus dem Abwasser entfernt werden, muss deshalb untersucht werden.

In verschiedenen Studien wurde das Verhalten, insbesondere der Rückhalt der Nanomaterialien in der ARA, untersucht. Da, wie eingangs erwähnt, die Nanomaterialien über die Kanalisation der ARA zugeführt werden, untersuchen die Forscher der EAWAG auch das Verhalten der Nanomaterialien während des Transportes in der Kanalisation. Von besonderem Interesse ist das Nanosilber, das aufgrund seiner antimikrobiellen Wirkung in diversen Produkten eingesetzt wird. Im Folgenden werden Studien zum Verhalten von Nanomaterialien in der Kanalisation und der ARA diskutiert.

Transport und Umwandlung in der Kanalisation: Der Transport und die Umwandlung von Silber-Nanopartikeln in der Kanalisation wurden anhand eines Experiments studiert, bei dem Silber-Nanopartikel dem Abwasser zugegeben wurden. Die Resultate zeigten, dass die Silber-Nanopartikel sehr schnell an die bereits vorhandenen (weit größeren) Partikel im Abwasser anhaften und so der ARA zugeführt werden. Weiter konnte festgestellt werden, dass die Silber-Nanopartikel schon während des Transportes in sehr schwer lösliches Silbersulfid umgewandelt wurden (Kaegi et al., 2013).

Umwandlung und Entfernung in der ARA: Zahlreiche Studien haben untersucht, wie verschiedene Nanomaterialien in der ARA zurückgehalten werden (Doolette et al., 2013; Kaegi et al., 2011; Ma et al., 2014; Westerhoff et al., 2011). Zu den meistuntersuchten Materialien gehören Silber und Titandioxid (TiO₂). In allen Studien konnte festgestellt werden, dass in der ARA mehr als 95% der Nanopartikel aus dem Abwasser entfernt werden. Zudem wurde in mehreren Studien gezeigt, dass Silber-Nanopartikel fast vollständig in Silbersulfid umgewandelt werden.

Die Studien weisen darauf hin, dass die derzeitig verwendeten Nanomaterialien durch den Klärprozess in der ARA sehr effizient aus dem Abwasser entfernt werden. Silber-Nanopartikel werden dabei in der ARA nahezu vollständig in sehr schwer lösliches Silbersulfid umgewandelt, wodurch die ursprüngliche antimikrobielle Wirkung der Silber-Nanopartikel verloren geht.

Literatur & Verweise:

Doolette, C. L., McLaughlin, M. J., Kirby, J. K., Batstone, D. J., Harris, H. H., Ge, H., and Cornelis, G. (2013) Transformation of PVP coated silver nanoparticles in a simulated wastewater treatment process and the effect on microbial communities. *Chemistry Central Journal*, 7.

Kaegi, R., Voegelin, A., Ort, C., Sinnet, B., Thalmann, B., Krismer, J., Hagendorfer, H., Elumelu, M., and Mueller, E. (2013) Fate and transformation of silver nanoparticles in urban wastewater systems. *Water research*, 47(12), 3866–3877.

Kaegi, R., Voegelin, A., Sinnet, B., Zuleeg, S., Hagendorfer, H., Burkhardt, M., and Siegrist, H. (2011) Behavior of Metallic Silver Nanoparticles in a Pilot Wastewater Treatment Plant. *Environmental Science & Technology*, 49(9), 3902 – 3908.

Ma, R., Levard, C., Judy, J. D., Unrine, J. M., Durenkamp, M., Martin, B., Jefferson, B., and Lowry, G. V. (2014) Fate of Zinc Oxide and Silver Nanoparticles in a Pilot Wastewater Treatment Plant and in Processed Biosolids. *Environmental Science & Technology*, 48(1), 104–112.

Westerhoff, P., Song, G., Hristovski, K., and Kiser, M. A. (2011) Occurrence and removal of titanium at full scale wastewater treatment plants: implications for TiO₂ nanomaterials. *Journal of Environmental Monitoring*, 13(5), 1195.

3.2.2 Eigenschaften und Umweltwirkungen von Nanosilber im Lebenszyklus mit Blick auf den Wasserpfad⁷

Nanosilber wird heute in einer Reihe von Produkten, u.a. in entsprechend ausgerüsteten Textilien, eingesetzt. In diesem Beitrag wird, basierend auf den Ergebnissen des vom BMBF geförderten Verbundprojekts "UMSICHT", der Wissensstand zu Umwelteinträgen von Nanosilberpartikeln aus Textilien insbesondere in Hinblick auf das Abwasser erläutert.

Ziel des zwischen 2010 und 2013 durchgeführten UMSICHT-Vorhabens war es, grundlegende Daten zu Emissionen, Verhalten, Verbleib und Wirkungen von Silbernanopartikeln (Ag-NP) aus Textilien zu generieren, um so mögliche Umwelt Risiken zu erfassen. Um eine Emissions- und Expositionsabschätzung vornehmen zu können, wurde der Freisetzungs- und Verteilungsprozess beim Gebrauch untersucht – beginnend beim Verhalten der Silbernanopartikel selbst und Austragen bei der Nutzung und Reinigung entsprechend ausgerüsteter Textilien über eine (Modell-) Kläranlage bis hin zur Ausbringung der entstehenden Ag-NP-haltigen Klärschlämme auf (Acker-) Boden. Produktionsmengen ausgerüsteter Textilien wurden grob geschätzt, für die Entsorgung wurden Literaturdaten herangezogen.

Nachweis und Analytik zeigten, dass mit der Zeit Silberionen freigesetzt werden, wobei hier je nach untersuchtem Partikelbau Unterschieden bestanden. Auch die Wasserzusammensetzung beeinflusste das Verhalten der Partikel.

Die Wirkungen der Nanopartikel auf Wasserorganismen waren bei Bakterien, Algen und Wasserflöhen am größten. Außerdem wurde deutlich, dass nicht alle existierenden Prüfverfahren, insbesondere die für Böden, Risiken der Partikel unterschätzen. Diese und weitere Erkenntnisse haben u.a. Bedeutung für die Umweltregulation. So sind die aus Textilien mit Silbernanomaterialien zu erwartenden Silbermengen in der Umwelt für Wasserorganismen wahrscheinlich unbedenklich. Doch ihre Anreicherungen im Sediment und vor allem Boden können dazu führen, dass bei

⁷ Prof. Dr. Juliane Filser, Institut für Ökologie der Universität Bremen.

fortgesetzter Klärschlammaufbringung in einigen Jahrzehnten bis Jahrhunderten Risikoschwellen allein durch die Austräge aus Textilien erreicht werden.

Auch diese Einschätzungen sowie die verbleibenden bzw. resultierenden offenen Fragen werden vorgetragen und zu Diskussion gestellt.

3.2.3 Abwasserreinigung mit Nanotechnologie: Stand der Technik und Vorstellung des Projektes NanoPurification mit konkreten Anwendungsbeispielen⁸

Wassertechnik ist eines der wichtigsten Schlüsselthemen für die Weltbevölkerung, denn Wasserknappheit und -qualität sowie die Versorgungssicherheit stellen die wesentlichen globalen Herausforderungen in den kommenden 20 bis 30 Jahren dar. Da etablierte Verfahren und Produkte nur noch wenig Spielraum für neue Lösungsansätze bieten, können Innovationen aus den Nano-Laboren neue Akzente setzen.

Schon jetzt entfernen Nanofiltrationsmembranen u.a. Nitrate und Chloride aus Trinkwasser, absorbieren Nanopartikel und Zeolithe Verunreinigungen aus Abwässern und detektieren Nanosensoren Pathogene im Wasser.

Im Rahmen des Vortrages wird nach einer kurzen Einführung in die bislang bei der Abwasserreinigung in Kläranlagen üblichen Verfahren der Stand der Wissenschaft und Technik von Nanotechnik in der Abwassereinigungsverfahren vorgestellt. Insbesondere werden die folgenden Verfahren und Techniken mit einer Gegenüberstellung des jeweiligen Nutzens und Risikos vorgestellt:

- photokatalytische Verfahren mit Nanopartikeln,
- Nanopartikel, z.B. Eisen, zur Bodensanierung,
- nanotechnisch funktionalisierte Membran-(Filter)-verfahren,
- Desinfektion mit LEDs.

Im Projekt „NanoPurification“ wurde ein Hybridsystem (nanoPur) entwickelt und eingesetzt, das dank einer Integration nanoskaliger Komposit-Mikrosiebe (np-sieves) in eine UV-LED-Dekontamination hocheffizient und multifunktional ist. Es hält in einem Prozessschritt partikuläre Verunreinigungen und Mikroorganismen mechanisch zurück und eliminiert zusätzlich chemische und biologische Kontaminanten.

NanoPur verwendet statt der üblichen polymeren Mikrofilter metallische Mikrosiebe, die chemisch und mechanisch weniger anfällig und theoretisch unbegrenzt wieder verwendbar sind. Auf diese Mikrosiebe wird nanoskaliges photokatalytisches und bakterizides TiO₂/Silber immobilisiert. Außerdem werden energiesparende UVA-

⁸ Dr. Ilka Gehrke, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik.

LEDs verwendet, die die Photokatalyse von Titandioxid unabhängig vom Sonnenlicht und anstelle herkömmlicher UV-Strahler intensivieren. Das Hybridsystem ist modular aufgebaut, flexibel an gewünschte Anlagengrößen adaptierbar und kann sowohl als letzte Prozessstufe bei der Aufbereitung von Abwasser als auch zur Trinkwasseraufbereitung eingesetzt werden.

Literatur & Verweise:

www.nano-water.de

<http://www.umsicht.fraunhofer.de/de/bereiche/prozesse/projekte.html>

<http://www.derwesten.de/staedte/oberhausen/hilfe-aus-der-nanowelt-id6215465.html>

<http://www.effizienzfabrik.de/de/projekte/funktionale-oberflaechen-detail/nanoefficiency/631/>

<http://www.ingentaconnect.com/content/asp/jnn/2012/00000012/00000012/art00045>

3.3 Vorkommen und Regulierung von Nanomaterialien in Grund- und Trinkwasser

3.3.1 Regulierung von Grund- und Trinkwasser⁹

Aktuell gibt es keine Regulierungen der Maximalkonzentrationen von Nanopartikeln in Trink-, Oberflächen- oder Grundwässern.

Die Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001) erhebt jedoch die allgemeine Anforderung, dass Trinkwasser genusstauglich und rein sein muss. Ferner dürfen chemische Stoffe nicht in Konzentrationen enthalten sein, die eine Schädigung der menschlichen Gesundheit befürchten lassen. Konzentrationen von chemischen Stoffen, die das Wasser für den menschlichen Gebrauch verunreinigen, sollen so niedrig gehalten werden, wie dies nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik mit vertretbarem Aufwand möglich ist (Minimierungsgebot).

Generell hat das Umweltbundesamt als Empfehlung für die Bewertung der Anwesenheit von teil- oder nicht bewertbaren Stoffen im Trinkwasser gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) in Höhe von 0,1 µg/L für nicht bis schwach genotoxische Stoffe und von 0,01 µg/L für stark genotoxische Stoffe veröffentlicht.

Berechnungsergebnisse für Konzentrationen in Oberflächenwässern liefern für Nano-Titandioxid (nTiO₂) und für Nano-Zinkoxid (nZnO) Konzentrationen, die teilweise oberhalb von 0,1 µg/L liegen. Weitere Nanopartikel weisen entsprechend diesen Berechnungen geringere Konzentrationen in Oberflächengewässern auf.

⁹ Dr. Marcel Riegel, DVGW-Technologiezentrum Wasser.

Aktuell werden in den entsprechenden Fachgremien keine Diskussionen über die Einführung von Grenzwerten für Trinkwasser oder Oberflächenwasser geführt.

Aufgrund nicht etablierter Analysetechniken für künstliche Nanopartikel in realen Wässern wie Trinkwasser oder Oberflächenwasser sind die Überwachung und damit die Einführung eines entsprechenden Grenzwertes derzeit nicht durchführbar.

3.3.2 Einsatz von Nanomaterialien im Grundwasser – Chancen & Risiken¹⁰

Nanomaterialien besitzen ein enormes Anwendungspotenzial für den Umweltschutz. Dieses reicht von Filtermaterialien aus nanostrukturierten Werkstoffen bis hin zu reaktiven Nanopartikeln oder Nanokatalysatoren. Die deutlich verbesserten Eigenschaften von Nanopartikeln, wie die hohen Reaktivitäten und minimierten Transportwiderstände für Schadstoffe im Vergleich zu Materialien mit größerer Partikelgröße, machen insbesondere den Einsatz von Nanopartikeln für die Reinigung und Regenerierung von kontaminierten Medien wie Grund- und Abwasser attraktiv.

Die mit Abstand am häufigsten vorkommenden Grundwasserschadstoffe in Deutschland sind chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW). Die hohe Persistenz und nicht weniger oft die hohe Toxizität und teilweise sogar karzinogene Wirkung, die von chlorierten organischen Schadstoffen ausgehen, verlangen vielerorts nach gezielten und zeitnahen Maßnahmen zum kontrollierten Schadstoffabbau, v.a. wenn Schutzgüter oder Trinkwassereinzugsgebiete bedroht sind. Die etablierten „Pump&Treat“-Verfahren werden aufgrund hoher Betriebskosten und langer Sanierungszeiten zunehmend von passiven Verfahren, wie z.B. den permeablen reaktiven Barrieren (PRBs), abgelöst. Als Erfolg versprechend gilt nanopartikuläres Eisen für den Abbau von CKWs, allerdings mit Limitationen in der Anwendung als einspülbares Reagenz zur „*In-situ*“-Grundwassersanierung.

Am Leipziger Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung wurde alternativ zum reinen Nano-eisen ein Verbundmaterial, bestehend aus Aktivkohle (AK) und Eisen (Carbo-Iron[®]), entwickelt und im erweiterten Labormaßstab hergestellt (Mackenzie et al., 2012; Bleyl et al., 2012). Carbo-Iron besitzt hervorragende Voraussetzungen, um als einspülbares Reagenz zum *In-situ*-Aufbau von PRBs zu dienen, sowohl zur Quellen- als auch zur Fahnensanierung. Der innovative Grundgedanke besteht darin, Eisen-Nanocluster auf feinstkörniger Aktivkohle ($d_P \approx 0,5$ bis $2 \mu\text{m}$) zu tragen und in kolloidaler Form als Suspension einzusetzen. Dem Eisen werden so durch das Trägermaterial AK neue Eigenschaften, wie verbesserte Anreicherung in CKW-Phasen oder erhöhte Mobilität in natürlichen Sedimenten, verliehen.

¹⁰ Steffen Bleyl, Katrin Mackenzie, Frank-Dieter Kopinke, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH.

Beim Einsatz von Nanopartikeln, insbesondere, wenn eine Freisetzung in die Umwelt nicht vollständig ausgeschlossen werden kann, sind die Untersuchungen von möglichen Risiken von elementarer Bedeutung für die Produktion und nachhaltige Anwendung. Die möglichen Schadwirkungen der Partikel auf die Umwelt sind jedoch bisher nur wenig untersucht. Eine frühzeitige Analyse und offene Diskussion möglicher Schadwirkungen sollten deshalb Bestandteil jeder nachhaltigen Technologieentwicklung sein und zu deren gesellschaftlicher Akzeptanz beitragen. Aus diesem Grund wurden im BMBF-finanzierten Verbundprojekt Fe-Nanosit, begleitend zur Entwicklung und Applikation von Nanomaterialien, auch ökotoxikologische Effekte von Nanopartikeln untersucht.

Literatur & Verweise:

Mackenzie, K., Bleyl, S., Kopinke, F.-D. (2012): Carbo-Iron® – an Fe/AC composite as an alternative to nano-iron for groundwater treatment. Water Res. 46, 3817-3826.

Bleyl, S., Kopinke, F.-D., Mackenzie, K. (2012): Carbo-Iron® - Synthesis and stabilization of Fe(0)-doped colloidal activated carbon for in situ groundwater treatment. Chem. Eng. J. 191, 588-595.

Bleyl, S., Kopinke, F.-D., Georgi A., Mackenzie K. (2013): Carbo-Iron® - ein maßgeschneidertes Reagenz zur In-situ-Grundwassersanierung. Chem. Ing. Tech. 85(8), 1302-1311

["Kleine Partikel mit großem Potenzial"](#)

["Kombination von Kohlenstoff und Nanoeisen eröffnet neue Perspektiven zur Wasserreinigung"](#)

[Wasserereinigung und Umweltkatalyse mit Nanopartikeln](#)

[BMBF-finanziertes Projekt Fe-Nanosit](#)

[Carbo-Iron](#)

3.3.3 Trinkwassereinigung mit keramischen Filtrationsmembranen¹¹

Die Bereitstellung ausreichender Mengen an Trinkwasser ist in vielen Regionen eine zentrale gesellschaftliche Herausforderung. Um sie zu bewältigen, sind große finanzielle Anstrengungen notwendig. Der Einsatz effizienter Technologien zur Reinigung verfügbarer Wasserressourcen spielt hierbei eine wichtige Rolle. Waren in der Vergangenheit Filterbetten das Mittel der Wahl, sind hier mittlerweile Membrananwendungen Stand der Technik. Hierbei gibt es unterschiedliche Varianten (Mikrofiltration, Umkehrosmose, Mikrosiebe, Nanofiltration u. v. a. m.).

¹¹ Dr. Ralph Nonninger, Deutscher Verband Nanotechnologie e.V.

Neben den weit verbreiteten Polymermembranen sind seit einigen Jahren auch keramische Membranen am Markt verfügbar. Um Nanofiltrationseinheiten herzustellen, werden für die keramischen Membranen nanoskalige Pulver eingesetzt, gebunden und gebrannt. Die Größe der für die Membran verwendeten Ausgangsstoffe ist hierbei maßgebend für die hergestellte Porengröße, welche die Trenneigenschaften der Membran bestimmen. Um die gewünschte Porengröße einzustellen, kommen hierbei Nanopartikel (z.B. Al₂O₃, TiO₂ & ZrO₂) zum Einsatz.

Nach dem Brennprozess sind die Nanopartikel als solche nicht mehr existent, sie sind vielmehr Bestandteil des keramischen Membranmaterials geworden.

Im Vergleich zu Polymermembranen verfügen keramische Membranen in vielen Bereichen über bessere Produkteigenschaften. Sie sind besonders stabil gegen thermische, chemische und mechanische Belastungen, so dass sie z.B. auch rückgespült werden können. Während Polymermembranen je nach Umgebungsbedingungen eine maximale Lebensdauer von 1 bis 2 Jahren haben, liegt diese bei keramischen Membranen eher bei 5 bis 10 Jahren.

Trotz dieser technischen Vorteile setzten sich die keramischen Membranen im breiten Markt nur recht langsam durch. Grund hierfür ist ihr deutlich höherer Preis. Die aus ökonomischer Perspektive dennoch vielfach gegebene Amortisation wird allerdings nur bei einer entsprechend vollständigen betriebswirtschaftlichen Kalkulation deutlich. Diese ist in vielen Anwendungsbereichen bislang nicht etabliert.

Anwendungsfelder für diese Filtrationstechnik sind deshalb derzeit vorrangig Bereiche, in denen „klassische“ Polymermembranen nicht geeignet sind, wie z.B. bei der Gewinnung von 60 bis 80° C warmem Grundwasser in Saudi-Arabien.