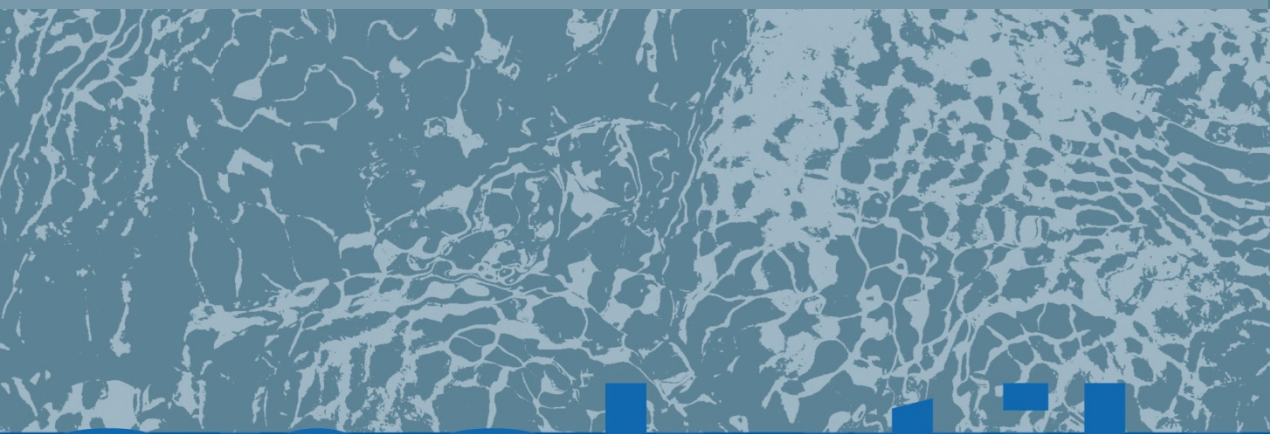




**Begleitforschung zur
Nanotechnologie in Bayern**



analytik



Begleitforschung zur Nanotechnologie in Bayern

Fachtagung am 21. Februar 2018

UmweltSpezial

Impressum

Begleitforschung zur Nanotechnologie in Bayern
Fachtagung des LfU am 21.02.2018

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: 0821 9071-0
Fax: 0821 9071-5556
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de/

Redaktion:

LfU Referat 12

Bildnachweis:

Bayerisches Landesamt für Umwelt / Autoren

Stand:

Februar 2018

Der Tagungsband steht als PDF-Datei zum kostenfreien Download zur Verfügung: www.bestellen.bayern.de/ (Kategorie Umwelt und Verbraucherschutz).

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Druckschrift auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Innovation Nanotechnologie – Vom Labor zur Serie	5
Dr.-Ing. Peter Grambow, Nanoinitiative Bayern GmbH	
Regulierung von Nanomaterialien in der EU: Aktuelle Entwicklung	6
Dr. Hubert Rauscher, Europäische Kommission, Joint Research Centre	
Nanopartikel in der Umwelt: Stellen wir die richtigen Forschungsfragen?	7
Prof. Dr. Martin Scheringer, ETH Zürich und Masaryk-Universität Brunn	
NanoWissen Bayern: Wissensvermittlung zur Nanotechnologie in Bayern	9
PD Dr. rer. nat. Wolfgang Schober und Hermann Fromme, Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, Sachgebiet Chemikaliensicherheit und Toxikologie, München	
UMWELTnanoTECH – Umweltverträgliche Anwendungen der Nanotechnologie und Nanotechnologie für den Klimaschutz	11
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Mayer, Dipl.-Ing. Wolfgang Krätschmer, Hochschule Kempten	
Nanokohlenstoff, ein umweltfreundliches Material für Anwendungen in der Energiespeicherung	13
Prof. Dr. Anke Krüger, Institut für Organische Chemie, Julius-Maximilians-Universität Würzburg	
Eisenoxidnanopartikel in Umwelt und Medizin	14
Prof. Dr. med. Christoph Alexiou, Universitätsklinikum Erlangen	
Nanopartikel in bayerischen Gewässern und Industrieabwässern	16
Dr. Marina Maier, Dr. Martin Wegenke, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg	
Nanosilber in Oberflächengewässern: Ist der Mensch immer schuld?	17
Andreas Wimmer, Prof. Dr. Michael Schuster, Technische Universität München	
Reinigung Nanopartikel-haltiger Umweltmedien	19
Hadi Bakhshi, Prof. Dr. Andreas Greiner, Universität Bayreuth	
Tagungsleitung / Referenten	21

Innovation Nanotechnologie – Vom Labor zur Serie

Dr.-Ing. Peter Grambow, Nanoinitiative Bayern GmbH

Die Utopien der Nanotechnologie werden mehr und mehr Wirklichkeit. Die Digitalisierung, wie sie heute realisiert wird, und die aktuelle Umsetzung von Industrie 4.0 wären ohne Nanotechnologie nicht denkbar. Die Miniaturisierung in diesem Bereich ist weit fortgeschritten. Moderne Speicherchips und Sensoren liegen mit ihren Dimensionen weit unterhalb von 100 nm. Daher ist es von großer gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Bedeutung, sich näher mit der Nanotechnologie zu beschäftigen. Es kommt darauf an, die vielfältigen Chancen der Nanotechnologie wahrzunehmen und zu nutzen, ohne gleichzeitig mögliche Risiken außer Acht zu lassen. Gelingt dies, eröffnen sich außerordentlich große nachhaltige Potenziale.

Schon Aischylos sagt: „Maßlose Furcht macht stets zum Handeln ungeschickt“.

Daher ist es wichtig immer wieder den Weg vom Labor zur Serie aufzuzeigen und mit Erfolgsbeispielen zu belegen was möglich ist, wirtschaftlich umgesetzt werden kann und im Sinne der möglichen Risiken bedenkenlos ist. Die Rahmenbedingungen hierzu sind gut und wenn Sie auf persönliches Engagement treffen ist die Wahrscheinlichkeit zum Erfolg zu kommen sehr hoch. Einige der folgenden aktuellen Beispiele zeigen das enorme Potenzial der Nanotechnologie auf sehr eindrucksvolle Art und Weise:

In der Medizin werden Tumore mit Eisenoxid-Nanopartikeln bekämpft, neuartige Energiespeicher nutzen die größere Oberfläche im Nanobereich, um Elektroden zu optimieren und sind damit viel effizienter, die lateralen Auflösungen in der Messtechnik und die modernen Möglichkeiten, Materialzusammensetzungen in der Analytik zu bestimmen, eröffnen ganz neue Möglichkeiten, um z. B. unsere Gewässer zu analysieren und zu bewerten, Reibungsreduktion durch die Beherrschung nanoskaliger Hybrid-Schichten ermöglicht CO₂-Einsparungen in erheblichem Maß, druckbare, flexible Elektronik ist zu einem wichtigen Forschungs- und Entwicklungsthema geworden, in der Robotik werden immer kleinere Systeme entwickelt, die immer leistungsfähiger werden.

Gleichwohl ist die Diskussion der Risiken eine wichtige Aufgabe der Gesellschaft und damit des Clusters Nanotechnologie. Daher ist uns die Zusammenarbeit mit allen Stakeholdern besonders wichtig und wir begrüßen besonders die Begleitforschung zur Nanotechnologie auf den verschiedenen Ebenen von Bund und Land. In diesem Zusammenhang begrüßen wir die Kooperation mit dem Umweltministerium sehr und halten Projekte wie den Projektverbund „Umweltverträgliche Anwendungen der Nanotechnologie - UMWELTnanoTECH“ für außerordentlich wichtig.

Dialog und Transparenz sind hier der Schlüssel zum Erfolg. Aber auch die weltweite Präsenz, um Strömungen zu erkennen und eigene Positionen zu beziehen, zu überprüfen oder nachdrücklich weiterzuführen, sind wichtige Elemente unserer Arbeit, die wir seit Jahren intensiv durchführen.

Längst sprechen wir über Quantum Computing und haben damit die Grenzen der Nanotechnologie nach unten überschritten. Die Angst vor neuen Technologien ist kein guter Ratgeber, daher kommt es darauf an, in einem gemeinsamen gesellschaftlichen Diskurs Chancen und Risiken offen mit allen Stakeholdern zu diskutieren, um das Beste für unsere Zukunft zu erreichen.

Regulierung von Nanomaterialien in der EU: Aktuelle Entwicklung

Dr. Hubert Rauscher, Europäische Kommission, Joint Research Centre

Nanotechnologie ist eine Schlüsseltechnologie und die Innovationsbasis für eine breite Vielfalt von Produkten quer durch alle industriellen Sektoren. Nach Auffassung der EU-Kommission unterstützt sie eine umweltfreundlichere Wirtschaft, trägt zur Modernisierung der europäischen Industrie bei und führt bis hin zur Entwicklung gänzlich neuer Industriesparten. Nanomaterialien findet man in fast allen industriellen Sektoren. Trotz intensiver Forschung besteht aber noch Ungewissheit darüber, inwieweit der technische Einsatz von Nanomaterialien sicher für Mensch und Umwelt ist. Diesem Umstand soll künftig in europäischen Rechtsvorschriften noch besser Rechnung getragen werden.

In der EU gibt es keine Verordnung oder Richtlinie speziell nur für Nanomaterialien. Nanospezifische Aspekte werden aber entweder explizit oder implizit innerhalb sektorspezifischer Rechtsvorschriften behandelt. In dem Vortrag werden regulatorische Aspekte von Nanomaterialien unter besonderer Berücksichtigung neuer Entwicklungen vor diesem Hintergrund diskutiert.¹

Die Europäische Kommission entwickelte bereits 2011 eine grundlegende Definition des Begriffs „Nanomaterialien“ für regulatorische Zwecke,² die derzeit überarbeitet wird. Darüber hinaus schuf das EU-Projekt NanoDefine³ in den letzten vier Jahren die wissenschaftlich-technischen Voraussetzungen für eine zuverlässige Identifikation von Nanomaterialien. Basierend auf diesen Resultaten beabsichtigt die EU-Kommission, detaillierte technische Leitlinien zur Identifizierung von Nanomaterialien zu erarbeiten. Des Weiteren deckt die EU-Chemikalienverordnung (REACH)⁴ Nanomaterialien bislang implizit ab, und es gibt eine Reihe Leitlinien der Europäischen Chemikalienagentur ECHA speziell für Nanomaterialien. Es sind jedoch überarbeitete Anhänge zum Gesetzestext in Arbeit, in denen Nanomaterialien und ihre Sicherheit detailliert angesprochen werden. Die Verordnung über neuartige Lebensmittel („Novel Food“)⁵, die Verordnung betreffend die Information der Verbraucher über Lebensmittel⁶ und die Kosmetikverordnung⁷ beziehen sich explizit auf Nanomaterialien, jedoch basierend auf älteren Definitionen des Begriffs. Daher beabsichtigt die EU-Kommission, diese anzupassen. Die EU-Kommission hat inzwischen einen Katalog von Nanomaterialien in Kosmetikprodukten vorgestellt. Herkömmliche Testmethoden für Chemikalien sind oft nicht für Nanomaterialien geeignet. Entsprechende Methoden und harmonisierte Risikobewertungspraktiken sind im Rahmen der OECD und auf EU-Ebene in Arbeit. Beispielsweise entwickelt die Europäische Lebensmittelbehörde (EFSA) eine neue Leitlinie zur Risikobewertung der Anwendung von Nanotechnologie in Lebensmitteln und Tierfutter, die noch bis 4. März 2018 in der öffentlichen Konsultation ist.⁸ Dennoch ist mehr Forschung speziell in Hinsicht auf die Umsetzung der Nanomaterial-Definition, die Durchsetzung der Produktkennzeichnungspflicht und der nanomaterialspezifischen Risikobewertung notwendig.

¹ Siehe auch H. Rauscher, K. Rasmussen, B. Sokull-Klüttgen, Chem. Ing. Tech 89 (2017) 224

² 2011/696/EU (Empfehlung der EU-Kommission)

³ www.nanodefine.eu

⁴ (EC) No 1907/2006

⁵ (EU) 2015/2283

⁶ (EU) Nr. 1169/2011

⁷ (EG) Nr. 1223/2009

⁸ <https://www.efsa.europa.eu/en/consultations/call/180112>

Nanopartikel in der Umwelt: Stellen wir die richtigen Forschungsfragen?

Prof. Dr. Martin Scheringer, ETH Zürich und Masaryk-Universität Brunn

Wenn Nanopartikel in die Umwelt gelangen, sind sie einer großen Zahl von physikalischen, chemischen und biologischen Einflüssen ausgesetzt. Dies führt dazu, dass sich die Eigenschaften und das Verhalten der Nanopartikel nach der Emission in die Umwelt schnell und stark verändern können, z. B. chemische Veränderung wie Sulfidierung von Silberpartikeln; Modifikation der Beschichtung der Partikel bzw. Neubildung einer Beschichtung auf der Oberfläche; Aggregation mit anderen Partikeln, etc. Alle diese Veränderungen von Beschaffenheit und Verhalten können wiederum die möglichen toxischen Wirkungen der Nanopartikel beeinflussen. Aufgrund der Vielzahl von Faktoren, die bei all diesen Prozessen eine Rolle spielen (Beschaffenheit der Nanopartikel, pH-Wert, Konzentration von Salzen und insbesondere von Natrium- und Calciumionen, Anwesenheit natürlicher Huminstoffe, etc.), ergibt sich eine Fülle von Einzelfragen, welche schnell unübersichtlich wird. Insgesamt lässt sich daher eine Fragmentierung des Forschungsgebietes "Nanopartikel in der Umwelt" beobachten, und es stellt sich die Frage, wie sich Zusammenhänge zwischen den vielen Einzelbefunden herstellen lassen. Dieses Problem wird hier anhand der Frage untersucht, wie gelöste organische Substanz (Dissolved Organic Matter, DOM) das Verhalten von Nanopartikeln beeinflusst. Je nach Beschaffenheit von Partikeln und DOM kann die Wechselwirkung mit DOM die Partikel entweder stabilisieren oder aber ihre Aggregation fördern. Um ein systematisches Bild zu erhalten, wäre es geboten, möglichst viele verschiedene Kombinationen aus Partikeln und DOM zu untersuchen. Resultate aus 951 Experimenten mit diversen Arten von Partikeln (Particulate Matter, PM) und DOM zeigen jedoch, dass die Diversität der untersuchten Materialien recht begrenzt ist und sich auch im Lauf der Zeit nicht erhöht hat. Für diese Untersuchung wurden die in den 951 Experimenten verwendeten Arten von PM und DOM kategorisiert und in einem Netzwerk dargestellt. Jede Art von PM und DOM bildet einen Knoten im Netzwerk, und Experimente mit einer PM-DOM-Kombination werden als Verbindung zwischen den beiden entsprechenden Knoten dargestellt. Große Knoten und starke Verbindungslinien zeigen häufig verwendete Arten von PM und DOM sowie häufig untersuchte PM-DOM-Kombinationen. Dieses Netzwerk wurde für jedes Jahr im Zeitraum von 1990 bis 2015 erstellt und jedes Jahr anhand der neu publizierten Experimente aktualisiert, bis für das Jahr 2015 das Netzwerk mit allen 951 ausgewerteten Experimenten resultiert. Diese Analyse liefert mehrere Befunde:

(i) Die Visualisierung im Netzwerk liefert eine Orientierung für die Planung neuer Experimente, indem sie einen vollständigen Überblick über die bereits untersuchten Materialien und ihre Kombination vermittelt. Besonders häufig untersuchte Materialien sind Titandioxid- und Silbernanopartikel sowie Huminsäuren aus Flusswasser.

(ii) Selbst bei Experimenten mit gleichen oder ähnlichen Materialien ist eine bessere Charakterisierung sowohl der verwendeten Materialien wie auch der Versuchsbedingungen essentiell. Zu viele Experimente sind unzureichend dokumentiert, wodurch ein Vergleich und eine systematische Analyse unmöglich werden. Es ist sehr einfach, durch eine neue Wahl von Materialeigenschaften und Versuchsbedingungen ein Experiment aufzusetzen, das in dieser Weise noch nicht durchgeführt worden ist und daher in der wissenschaftlichen Literatur als "novel" gelten kann. Aufgrund der fehlenden Vergleichbarkeit ist "Novelty" jedoch kein zureichendes Kriterium für die Relevanz von neuen Resultaten, und die Anforderung an Wissenschaftler, neuartige Befunde zu präsentieren, wird hier kontraproduktiv.

(iii) Gleichzeitig besteht eine Tendenz, bereits untersuchte Materialien und PM-DOM-Kombinationen immer wieder zu verwenden. Dadurch hat die Diversität der untersuchten Materialien im Verhältnis zur Anzahl der Experimente über die Jahre abgenommen, und es besteht die Gefahr, dass bestimmte Materialien aufgrund ihrer hohen Sichtbarkeit in der wissenschaftlichen Literatur immer wieder und wieder unter leicht veränderten Bedingungen untersucht werden. Dies führt jedoch, u. a. aufgrund der mangelnden Vergleichbarkeit, zu keinem großen Erkenntnisgewinn. Daher ist es umso wichtiger, auch eine übergeordnete Perspektive zu entwickeln und die Diversität der untersuchten Materialien gezielt auszubauen, ggf. auch durch Koordination mehrerer Forschungsgruppen.

- [1] Sani-Kast, N., Labille, J., Ollivier, P., Slomberg, D., Hungerbühler, K., Scheringer, M. (2017) A network perspective reveals decreasing material diversity in studies on nanoparticle interactions with dissolved organic matter, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 114, E1756–E1765, <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1608106114>.

NanoWissen Bayern: Wissensvermittlung zur Nanotechnologie in Bayern

PD Dr. rer. nat. Wolfgang Schober und Hermann Fromme, Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, Sachgebiet Chemikaliensicherheit und Toxikologie, München

Die Nanotechnologie ist im Fokus der Hightech-Strategie 2020 für Deutschland ein Schlüssel für die Technologieentwicklung und Industrieproduktion von morgen. Durch Verkleinerung oder synthetische Herstellung werden auf molekularer Ebene Nanomaterialien erzeugt, die im Vergleich zum Ursprungsmaterial völlig neue Eigenschaften haben. Dadurch eröffnen sich innovative Möglichkeiten, Anwendungen und Produktionsprozesse entscheidend zu verbessern. Pharmazeutische Industrie und Medizin sehen große Chancen bei der Entwicklung neuartiger Arzneistoffe und der Implantationsmedizin. Verbundwerkstoffe in der Autoindustrie, Nanotone im Baubereich sowie Beschichtungen und Farben zur Herstellung von Oberflächen mit verbesserten Eigenschaften wie Kratzfestigkeit und biozider Wirkung sind weitere Anwendungsfelder. Hohe Erwartungen an die Nanotechnologie bestehen vor allem im Bereich der Ressourceneffizienz, etwa bei der Energiegewinnung, der Energiespeicherung und dem Rohstoffverbrauch. Um die Akzeptanz der Bevölkerung für diese Schlüsseltechnologie weiter zu stärken, sind neben einer vorsorgeorientierten Begleitforschung vor allem Transparenz und Information von zentraler Bedeutung. Vor diesem Hintergrund hat das Bayerische Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit 2007 die fachübergreifende Informationsplattform NanoWissen Bayern aufgebaut. Dort werden zentrale Aspekte der Nanotechnologie im Rahmen des Gesundheits-, Umwelt- und Verbraucherschutzes zusammengeführt und sowohl Basiswissen als auch aktuelle Forschungsergebnisse in den Nanowissenschaften verständlich und zielgruppenorientiert kommuniziert. Mit der konsequenten inhaltlichen Weiterentwicklung von NanoWissen Bayern und dem Relaunch im Jahr 2016 steht der Öffentlichkeit heute eine moderne interaktive Wissensplattform zur Verfügung, die über vier Informationsmodule (NanoWissen, Nanoforschung, NanoLab, NanoTeach) Wissen zur Nanotechnologie mit unterschiedlicher Reichweite und didaktischer Tiefe transportiert (Abb. 1).

Das Informationsmodul „NanoWissen“ liefert Basisinformationen zu Strukturen im Nanomaßstab, erklärt Begriffe und stellt durch umfangreiches Bild- und Videomaterial Anwendungen von Nanomaterialien in der Natur und in Alltagsgegenständen vor. Erläutert werden auch Einsatzmöglichkeiten im Bereich der Medizin, der Pharmazie und des Umweltschutzes sowie der sichere Umgang mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz. Das Modul „Nanoforschung“ richtet sich in der Wissensvermittlung vor allem an das Fachpublikum aus Wissenschaft und Behörden. Es enthält ausführliche Informationen zu Projekten der vorsorgeorientierten Begleitforschung auf den Gebieten Umweltschutz, Medizin und Lebensmittelsicherheit. Die Projekte werden mit Unterstützung des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) an Hochschulen und Behörden bearbeitet. Das Modul beschreibt die Arbeitsschwerpunkte der Forschungsvorhaben und kommuniziert zeitnah neue Erkenntnisse und Weiterentwicklungen. Dies ermöglicht einen intensiven Austausch von wissenschaftlichem Know-how, insbesondere um Synergien zu nutzen und Doppelforschung zu vermeiden. Mit dem Modul „NanoLab“ steht ein voll ausgestattetes Analyselabor zur Verfügung, das neben Dienstaufgaben auch für Demonstrationszwecke genutzt wird. Besucher können dort in die Welt der Zwerge eintauchen und Nano live erleben. Das NanoLab verfügt über verschiedene Lehrmaterialien (z. B. Animationsfilme, Poster, Anschauungsobjekte aus Natur und Wissenschaft) sowie über umfangreiche Messtechnik und bildgebende Verfahren (Rasterelektronenmikroskopie). Dadurch können nanospezifische Lerninhalte anschaulich erklärt und durch praktische Übungen mit den eigenen Händen „erfasst“ wer-

den. Interessenten können sich auf NanoWissen Bayern über die Inhalte der Führungen informieren, Termine buchen und bereits vorab einen virtuellen Rundgang durch die Laborräume erleben. Kurzfilme geben einen Einblick in die vielfältigen Messtechniken zur Bestimmung von Nanopartikeln in Flüssigkeiten und Aerosolen. Das Informationsmodul „NanoTeach“ transportiert Wissen zur Nanotechnologie gezielt durch Lehrerfortbildungen in die Unterrichtsgestaltung. Das Multiplikatorenprogramm fördert den fachlich informierten Dialog zur Nanotechnologie zwischen Lehrern und Schülern und gewährleistet einen hohen Informationsgehalt zu Chancen und Risiken dieser Zukunftstechnologie. Integrale Bestandteile des Programms bilden Fachvorträge, Workshops, Laborführungen (NanoLab) und praktische Übungen. Zusätzlich können Lehrkräfte auf NanoWissen Bayern kostenlos Lehrmaterialien zur Nanotechnologie (Poster, Präsentationen) herunterladen und frei für die Unterrichtsgestaltung nutzen.

In der Bevölkerung wird die Nanotechnologie derzeit meist positiv wahrgenommen. NanoWissen Bayern unterstützt diese Entwicklung und schafft durch Wissensvermittlung Transparenz. Dies ermöglicht den Abbau von Vorbehalten gegenüber Nano in der Öffentlichkeit und fördert Akzeptanz und Vertrauen. Der modulare Ansatz trägt dem Anspruch Rechnung, nanospezifische Sachverhalte verständlich und mit hoher Reichweite oder zielgruppenorientiert und mit didaktischer Tiefe zu kommunizieren. Die Module sind im Informationsgehalt überlappend und miteinander verknüpft. Sie bilden ein stetig wachsendes Wissensnetzwerk, das der interessierten Öffentlichkeit und Experten aus Wissenschaft und Behörden jederzeit für Fach- und Sachfragen zur Verfügung steht. Gerade im Bereich des Umwelt- und Gesundheitsschutzes leistet NanoWissen Bayern einen wertvollen Beitrag, die vielfältigen Initiativen des StMUV und seiner Landesbehörden in Bayern angemessen darzustellen.

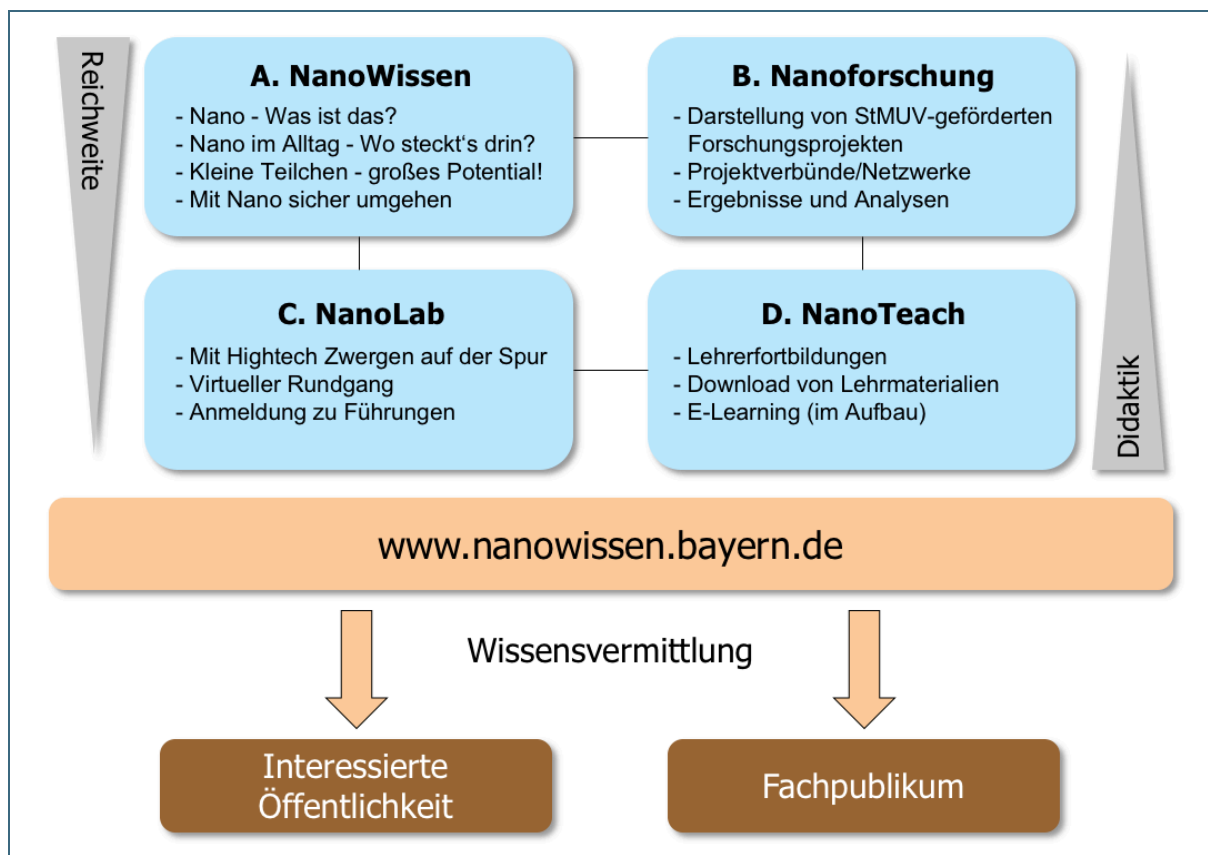


Abb. 1: Konzeption und Aufbau der modularen Informationsplattform NanoWissen Bayern.

UMWELTnanoTECH – Umweltverträgliche Anwendungen der Nanotechnologie und Nanotechnologie für den Klimaschutz

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Mayer, Dipl.-Ing. Wolfgang Krätschmer, Hochschule Kempten

Der Projektverbund UMWELTnanoTECH wurde 2013 vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz gestartet und erstreckte sich über eine Laufzeit von drei Jahren. Es waren neun bayerische Hochschulen beteiligt. Die insgesamt zehn Teilprojekte gliederten sich in neun Forschungsprojekte und ein Koordinierungsprojekt. Jeweils drei der Forschungsprojekte waren in den thematischen Schwerpunkten Organische Photovoltaik, Energiespeicher und Thermoelektrizität zusammengefasst. Über die Tätigkeiten des Verbunds wurde in mehr als 70 Beiträgen berichtet, darunter über 30 wissenschaftliche Originalartikel in internationalen Fachzeitschriften und über 15 Konferenzbeiträge. Es wurden mehrere Kapitel für Fachbücher verfasst, in die die Erkenntnisse der Projekte eingeflossen sind. Ziele und Ergebnisse der Projekte wurden in knapp 20 nichtwissenschaftlichen Beiträgen und Meldungen im Internet, in Magazinen und Berichten zusammengefasst. In allen Schwerpunkten konnten die untersuchten nanotechnologischen Anwendungen auch mit Hilfe umweltverträglicherer Verfahren und Materialien realisiert werden, ohne dadurch entscheidend an Leistungsfähigkeit einzubüßen.

Folgende Hochschulen waren am Projektverbund UMWELTnanoTECH beteiligt:

- Hochschule für angewandte Wissenschaften Kempten
- Technische Universität München
- Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden
- Ludwig-Maximilians-Universität München
- Technische Hochschule Nürnberg Georg-Simon-Ohm
- Universität Bayreuth
- Julius-Maximilians-Universität Würzburg
- Technische Hochschule Deggendorf
- Friedrich-Alexander-Universität Erlangen

Im Schwerpunkt Organische Photovoltaik wurde gezeigt, dass sich leistungsfähige organische Solarzellen auch mit grünen Lösungsmitteln umweltschonend herstellen lassen. Außerdem wurden Fortschritte bei der Stabilisierung nanoskaliger Schichtstrukturen organischer und hybrider organisch-anorganischer Solarzellen erzielt. Im Schwerpunkt Energiespeicher konnten wichtige Alterungsprozesse bei Superkondensatoren identifiziert, und neue nanoförmige Materialien für eine Steigerung der Speicherkapazität hergestellt und charakterisiert werden. Im Schwerpunkt Thermoelektrizität wurden präzise Verfahren zur Messung der thermischen und elektrischen Leitfähigkeit im Nanobereich wesentlich weiterentwickelt. Es wurde demonstriert, wie Thermoelektrika mit umweltverträglichen Nanomaterialien drucktechnisch verarbeitet werden können.

Ziel der wissenschaftlichen Arbeit des Koordinierungsprojekts war die bibliometrische Auswertung der Literatur zu Nanotechnologie. Es wurden bibliographische Angaben von knapp 100.000 Forschungsarbeiten mit deutscher Beteiligung aus dem Zeitraum von 1994 bis 2014 ausgewertet. Die Untersuchungsschwerpunkte waren die geographische Verteilung der Forschung in Deutschland und die au-

tomatisierte Kategorisierung der Forschungsinhalte. Dazu wurden die beteiligten Institute geokodiert. Hinsichtlich der Publikationsaktivität sind in Bayern München/Garching, Erlangen und Würzburg führend, in Deutschland Berlin und Dresden. Es wurde gezeigt, dass eine Aufschlüsselung der Forschungsbereiche auf kommunaler Ebene möglich ist. Weiterhin wurde die Forschung an Nanotechnologie durch Themenmodellierung automatisch kategorisiert.

Der Projektverbund UMWELTnanoTECH endete 2016. Das Projekt „NanoK – Umweltverträgliche Nanotechnologie für den Klimaschutz“ startete 2017 und erweitert die bibliometrischen Untersuchungen des Koordinierungsprojekts von UMWELTnanoTECH. Der Untersuchungsrahmen wird dabei von Forschungsartikeln auf Patentanmeldungen und Produkte, die Nanomaterialien beinhalten erweitert. Es wurden Datenquellen für die vordefinierten Phasen Forschung, Entwicklung und Markt identifiziert. Für Forschung und Entwicklung kommen umfangreiche Datenbanken zum Einsatz, die bibliometrische Daten über mehr als 1,1 Mio. wissenschaftliche Artikel und etwa 840.000 Patentanmeldungen beinhalten. Für die Phase Markt stehen Datenquellen bereit, die mehrere Tausend Produkteinträge enthalten. Dazu werden die Textdaten jedes Eintrags mittels Methoden des maschinellen Lernens analysiert. Insbesondere kommt Themenmodellierung zum Einsatz. Als Ergebnis erhält man eine wahrscheinlichkeitsbasierte Zuordnung der einzelnen Dokumente zu einer vorgegebenen Anzahl von Themen sowie eine ebenso wahrscheinlichkeitsbasierte Zuordnung von Wörtern zu Themen. Der Fokus richtet sich auf diejenigen Dokumente und Themen, die einen Bezug zu umweltverträglicher Nanotechnologie für den Klimaschutz aufweisen. Es soll ermittelt werden, inwiefern ein quantitativer Zusammenhang zwischen den Phasen Forschung, Entwicklung und Markt besteht.

Nanokohlenstoff, ein umweltfreundliches Material für Anwendungen in der Energiespeicherung

Prof. Dr. Anke Krüger, Institut für Organische Chemie, JMU Würzburg

Die Bereitstellung von elektrischen Energiespeichern, die auch bei Lade- und Entladevorgängen im Sekunden- und Subsekundenbereich eine hohe Energiedichte aufweisen, ist eine wesentliche Komponente bei der Entwicklung einer Infrastruktur, die die effiziente Nutzung erneuerbarer elektrischer Energiequellen ermöglicht.

Bisher werden für die Speicherung elektrischer Energie in mobilen Anwendungen, wie Elektrofahrzeugen, in der Regel Batterien bzw. Akkumulatoren (z. B. auf Basis von Lithiumionen) verwendet. Diese besitzen jedoch eine Reihe von Nachteilen. Dazu gehören neben der begrenzten Rohstoffverfügbarkeit die extrem geringe Zyklenfestigkeit sowie die bisher stark eingeschränkte Leistungsdichte, die dazu führt, dass bei schnellem Laden/Entladen nur ein kleiner Bruchteil des Speichers tatsächlich genutzt werden kann.

Neben den Batterien spielen im Bereich der hocheffizienten Energiespeicher Superkondensatoren eine wichtige Rolle, da sie in Bezug auf Zyklenfestigkeit und Leistungsdichte den Akkumulatoren deutlich überlegen sind. Gegenüber Li-Ionen-Speichern besitzen Superkondensatoren allerdings eine um 1 bis 2 Größenordnungen geringere Energiedichte, so dass aktuell noch große Volumina für die Speicherung vergleichbarer Energiemengen bereitgestellt werden müssen.

Kohlenstoff-Nanomaterialien stellen eine wichtige Materialklasse für den Einsatz in neuartigen Elektroden in Superkondensatoren mit hoher Leistungs- und Energiedichte dar. Dabei können neben hochporösen Kohlenstoff insbesondere auch Additive die aus synthetischen, nanoskaligen Diamantpartikeln erzeugt werden eingesetzt werden. Letztere können auch in großen Mengen aus organischen Vorstufen kostengünstig und umweltfreundlich hergestellt werden. Sie sind geeignet zur Herstellung von Kompositelektroden und als Additiv für herkömmliche Elektrodenmaterialien. In Kombination mit geeigneten Elektrolyten können die Leistungsparameter für Superkondensatoren und Batterien und damit deren Anwendungsgebiete signifikant erweitert werden.

Darüber hinaus bieten Nanokohlenstoffmaterialien die Möglichkeit, auch Kohlendioxid – also ein Endprodukt der Verbrennung fossiler Rohstoffe – als Ausgangsstoff für die Gewinnung bedeutender Grundchemikalien wie Methanol zu verwenden. Hier macht man sich die besondere elektronische Struktur von Diamant zu Nutze, der unter Lichtbestrahlung in der Lage ist, Elektronen auch in eine wässrige Umgebung zu emittieren und somit eine photokatalytische Reduktion von CO₂ in Wasser zu ermöglichen. Dieser abfallfreie und umweltverträgliche Prozess ermöglicht die chemische Speicherung von Energie und die Herstellung solarer Brennstoffe mit Hilfe diamantbasierter Kohlenstoff-Nanomaterialien. Dies ist für eine umweltfreundliche Bereitstellung z. B. von Kraftstoffen und Grundchemikalien von großem Interesse.

Der Vortrag stellt die Herstellung und besonderen Eigenschaften verschiedener nanoskaliger Kohlenstoffmaterialien sowie die maßgeschneiderte Veränderung der Materialeigenschaften für die Nutzung in verschiedenen Energiespeicheranwendungen vor.

Die hier vorgestellte Forschung wurde durch das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz im Verbund „UMWELTnanoTECH“ (<http://www.umwelt-nanotech.de>) und im „Horizon2020 research and innovation programme“ der Europäischen Union (Projekt DIACAT, Grant Agreement 665085, www.diacat.eu) gefördert.

Eisenoxidnanopartikel in Umwelt und Medizin

Prof. Dr. med. Christoph Alexiou, Universitätsklinikum Erlangen

In Anwesenheit von Sauerstoff und Wasser reagiert Eisen zu Eisenoxiden, die allgemein unter dem Sammelbegriff „Rost“ bekannt sind. Abhängig von ihrer chemischen Zusammensetzung haben sie eine gelbe, rote oder schwarze Färbung, weswegen sie bereits seit Jahrhunderten als Pigmente in Farben angewendet werden. Auch heutzutage werden Eisenoxide und Eisenhydroxide in Nano- und größerer Form in Farben, Lacken, Kosmetika oder als Lebensmittelzusatzstoffe (E172) genutzt. Neben ihrer Färbung haben Eisenoxidnanopartikel weitere physikochemische Eigenschaften, die sie für diverse Anwendungen interessant machen. Superparamagnetische Eisenoxidnanopartikel (SPIONs, bestehend aus Fe_2O_3 , Fe_3O_4) werden in der Medizin als Kontrastmittel für die Magnetresonanztomographie, als magnetisch steuerbare Transporter für Medikamente, als Wärmeträger für die magnetische Hyperthermie oder zum Magnetisieren von Zellen für die magnetische Geweberekonstruktion genutzt.

Unabhängig von ihrem Anwendungsszenario müssen Nanopartikel mit neuartigen Eigenschaften toxikologisch untersucht werden, um deren Unbedenklichkeit für den Verbraucher oder Patienten sicherzustellen. Da Nanopartikel in diversen Formen, Größen, Oberflächenbeschichtungen und Agglomerationszuständen auftreten können, ist eine genaue physikochemische Charakterisierung der Nanopartikel unumgänglich und jede toxikologische Bewertung eine individuelle Entscheidung für jedes untersuchte Partikelsystem. Eine besondere Herausforderung in der Analyse von Nanopartikeln ist deren Wechselwirkung mit gängigen toxikologischen Nachweismethoden. Da viele Nanopartikel eine Eigenfärbung aufweisen, können sie mit konventionellen auf Absorption, Fluoreszenz oder Chemilumineszenz beruhenden photometrischen Testmethoden interferieren. Um umweltrelevante und medizinische Nanopartikel zuverlässig und aussagekräftig untersuchen zu können, mussten wir daher alternative toxikologische Testsysteme entwickeln, die an die speziellen Beschaffenheiten von Nanopartikeln angepasst sind. Durch die Förderung des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz konnten wir in den letzten Jahren eine Testbatterie entwickeln, die verschiedene komplementäre Methoden beinhaltet. Multiparameterfärbungen mit diversen Stress- und Vitalitätsmarkern charakterisieren nanotoxikologische Effekte in der Durchflusszytometrie und Fluoreszenzmikroskopie, während markierungsfreie Echtzeitanalysen Kinetiken von morphologischen zellulären Vorgängen aufzeichnen können. Die Kombination der unterschiedlichen Techniken liefert uns nun ein umfassendes Bild über Reaktionen, die durch Nanopartikel ausgelöst werden können. Alle Methoden stehen als valide Plattformtechnologien für die Analyse umweltrelevanter und medizinischer Nanopartikel zur Verfügung.

Letztendlich sollen unsere toxikologischen Untersuchungen die Risikoabschätzung für umweltrelevante Nanopartikel ermöglichen und für medizinische Nanopartikel die Translation aus der Grundlagenforschung heraus in die Klinik vorantreiben. Für die medizinische Anwendung werden die SPIONs ins Gefäßsystem appliziert, daher müssen sie in humanem Blut kolloidal stabil sein und dürfen keinerlei gefährliche Reaktionen auslösen. Um dies zu gewährleisten, verwenden wir SPIONs, die mit biokompatiblen Hüllen beschichtet sind. Diese Partikel werden mit Wirkstoffen beladen (z. B. Chemotherapeutika) und für die Tumorthherapie ins tumorzuführende Gefäßsystem appliziert [1-4]. Die Partikel können auch in der Magnetresonanztomographie visualisiert werden und dienen so alleine als Kontrastmittel oder nach Beladung mit Wirkstoffen als „Theranostikum“.

Bei allen nanotoxikologischen Untersuchungen ist es wichtig, die Experimente unter möglichst relevanten, realitätsnahen Bedingungen durchzuführen. Dies versuchen wir durch entsprechende Modellsysteme zu gewährleisten, die komplexe biologische Umgebungen nachstellen. Um die magnetische Akkumulierbarkeit von Nanopartikeln für die Anwendung als magnetische Wirkstofftransporter zu untersuchen, verwenden wir Fluss-Modelle, die ein Gefäßsystem simulieren und mittels einer peristaltischen Pumpe durchspült werden [5]. Das Verhalten von Nanopartikeln in dreidimensionalen gewebeähnlichen Strukturen wird anhand multizellulärer Tumorsphäroide analysiert, die mit längerer Inkubationszeit und entsprechender Größenzunahme einen nekrotischen Kern ausbilden und so einem „Minitumor“ ähneln [6]. Mit diesen Strukturen lassen sich Therapieresistenzen nachstellen, relevante Dosisbereiche für die Krebs-Behandlung herausfinden und das magnetgesteuerte Eindringen von Nanopartikeln untersuchen. Zur Bestimmung der Blutverträglichkeit der Nanopartikel wurde eine eigene Assay-Kaskade in Anlehnung an die des Nanotechnology Characterization Laboratory (NCL, Frederick, USA), dem weltweiten Referenzlabor für medizinische Nanopartikel, etabliert. Hier werden nacheinander unterschiedliche Parameter untersucht, die die Biokompatibilität der Nanopartikel in Anwesenheit von Blutzellen und löslichen Plasma-Komponenten sicherstellen [7].

Um im Sinne des Tierschutzes (3R; „Refine, Replace, Reduce“) die Aussagekraft der *in vitro* Modelle zu erhöhen (und damit *in vivo* Versuche reduzieren zu können), werden diese durch Hinzunahme zusätzlicher Zelltypen immer weiter an die tatsächliche Gewebesituation angepasst. In Zusammenarbeit mit unterschiedlichen Kooperationspartnern analysieren wir, ob Eisenoxid-Nanopartikel natürliche Barrieren des Körpers (Haut, Blut-Hirn-Schranke) überwinden können. Hinsichtlich der Untersuchung der Biokompatibilität von umweltrelevanten Eisenoxidnanopartikeln bzw. freigesetzten medizinischen SPIONs führen wir derzeit Untersuchungen im Zebrafischmodell und im Hühnereimodell durch. Je nach Anwendung wechselwirken die Nanopartikel mit unterschiedlichen Zellen bzw. Organismen und dementsprechend müssen die Untersuchungsmodelle individuell gewählt werden.

Referenzen:

- [1] Lyer S, Tietze R, Unterweger H, Zaloga J, Singh R, Matuszak J, Poettler M, Friedrich RP, Duerr S, Cicha I, Janko C, Alexiou C. Nanomedical innovation: the SEON-concept for an improved cancer therapy with magnetic nanoparticles. *Nanomedicine (Lond)*. 2015;10(21):3287-304.
- [2] Zaloga J, Janko C, Nowak J, Matuszak J, Knaup S, Eberbeck D, Tietze R, Unterweger H, Friedrich RP, Duerr S, Heimke-Brinck R, Baum E, Cicha I, Dörje F, Odenbach S, Lyer S, Lee G, Alexiou C. Development of a lauric acid/albumin hybrid iron oxide nanoparticle system with improved biocompatibility. *Int J Nanomedicine*. 2014 Oct 20;9:4847-66
- [3] Unterweger H, Tietze R, Janko C, Zaloga J, Lyer S, Dürr S, Taccardi N, Goudouri OM, Hoppe A, Eberbeck D, Schubert DW, Boccaccini AR, Alexiou C. Development and characterization of magnetic iron oxide nanoparticles with a cisplatin-bearing polymer coating for targeted drug delivery. *Int J Nanomedicine*. 2014 Aug 5;9:3659-76.
- [4] Tietze R, Lyer S, Dürr S, Struffert T, Engelhorn T, Schwarz M, Eckert E, Göen T, Vasylyev S, Peukert W, Wiekhorst F, Trahms L, Dörfler A, Alexiou C. Efficient drug-delivery using magnetic nanoparticles--biodistribution and therapeutic effects in tumour bearing rabbits. *Nanomedicine*. 2013 Oct;9(7):961-71.
- [5] Matuszak J, Dörfler P, Zaloga J, Unterweger H, Lyer S, Dietel B, Alexiou C, Cicha I. Shell matters: Magnetic targeting of SPIONs and *in vitro* effects on endothelial and monocytic cell function. *Clin Hemorheol Microcirc*. 2015;61(2):259-77.
- [6] Hornung A, Poettler M, Friedrich RP, Zaloga J, Unterweger H, Lyer S, Nowak J, Odenbach S, Alexiou C, Janko C. Treatment Efficiency of Free and Nanoparticle-Loaded Mitoxantrone for Magnetic Drug Targeting in Multicellular Tumor Spheroids. *Molecules*. 2015 Sep 30;20(10):18016-30.
- [7] Unterweger H, Janko C, Schwarz M, Dézsi L, Urbanics R, Matuszak J, Órfi E, Fülöp T, Bäuerle T, Szebeni J, Journé C, Boccaccini AR, Alexiou C, Lyer S, Cicha I. Non-immunogenic dextran-coated superparamagnetic iron oxide nanoparticles: a biocompatible, size-tunable contrast agent for magnetic resonance imaging. *Int J Nanomedicine*. 2017 Jul 24;12:5223-5238.

Nanopartikel in bayerischen Gewässern und Industrieabwässern

Dr. Marina Maier, Dr. Martin Wegenke, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg

Zum Vorkommen synthetischer Nanopartikel in der Umwelt liegen bislang kaum Daten vor. Damit ist es auch schwierig zu beurteilen, ob diese Partikel ein Risiko für die Umwelt darstellen. Entsprechende Abschätzungen basieren bislang im Wesentlichen auf Modellrechnungen, die allerdings mit großen Unsicherheiten behaftet sind.

Um einen Überblick über das Vorkommen von Nanopartikeln im aquatischen Bereich zu erhalten, wurden Proben von 25 Messstellen des bayerischen Fließgewässermessnetzes auf Metall-Nanopartikel untersucht. Für die Nanopartikel-Analytik wurde die asymmetrische Fluss-Feld-Fluss-Fraktionierung (AF4) in Kombination mit der induktiv gekoppelten Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS) bzw. single particle ICP-MS eingesetzt.

Für acht nanoskalige Metalle (Silber, Titan, Eisen, Aluminium, Kupfer, Cer, Nickel, Zink) können erstmals Daten zum Vorkommen in bayerischen Fließgewässern vorgelegt werden. Die höchsten Werte (300 ng/l) wurden für Nano-Eisen gemessen, die Gehalte von Nano-Zink und Nano-Aluminium waren etwa halb so hoch. Nanoförmiges Silber, Titan und Nickel lagen in Konzentrationen < 20 ng/l vor. Es ist davon auszugehen, dass die gemessenen Nanopartikel überwiegend natürlichen Ursprungs sind.

Für Silber, Zink, Kupfer, Titan und Cer wurde geprüft, ob sich Hinweise auf ein Umweltrisiko durch Nanopartikel dieser Metalle ergeben. Als Beurteilungswerte wurden PNEC-Werte herangezogen, die von der dänischen Umweltschutzbehörde (DEPA) vorgeschlagen wurden [1]. Die in Fließgewässern gemessenen Konzentrationen liegen unter den von der DEPA angegebenen Werten. Ein Risiko durch die in Fließgewässern vorkommenden Metallnanopartikel ist daher nicht erkennbar. Da PNEC-Werte für Nanopartikel allgemein noch mit großen Unsicherheiten behaftet sind, kann es sich allerdings nur um eine vorläufige Risikoabschätzung handeln.

Ca. 40 % der bayerischen Nanotechnologie-Unternehmen leiten ihre betrieblichen Abwässer in Oberflächengewässer ein, dabei sind behördliche Auflagen zu beachten. Um zu prüfen, in welchem Ausmaß Metallnanopartikel aus industriellen Quellen in Gewässer eingetragen werden, wurden Abwässer von 27 Direkteinleitern auf ihre Gehalte an Metallnanopartikeln untersucht. Abwässer folgender Industriezweige wurden beprobt: Chemische Industrie, Metallverarbeitung, Maschinenbau, Elektronik/Leuchtmittelherstellung, Papierindustrie, Textil/Leder.

In allen untersuchten Industrieabwässern wurden Metallnanopartikel nachgewiesen. Vergleicht man das Vorkommen der Nanopartikel in den verschiedenen Abwässern, ergeben sich charakteristische Unterschiede. Weit verbreitet waren die Nanoformen von Silber, Zink, Kupfer, Aluminium und Eisen. Nano-Titan und Nano-Nickel waren weniger häufig zu finden. Am seltensten war Nano-Cer, das nur in drei Abwässern nachweisbar war (Chemieindustrie, Elektronik/Leuchtmittel, Maschinenbau). Unter den untersuchten Unternehmen waren chemische Betriebe sowie Maschinenbau und Metallverarbeitung die bedeutendsten Quellen für Nanopartikel. Die höchsten Frachten von nanoskaligem Silber, Titan, Nickel, Kupfer, Zink und Eisen fanden sich in Abwässern von Chemieunternehmen. Für Nano-Cer wurden nur in Abwässern von Maschinenbauunternehmen Frachten von mehr als 1 g/d gemessen, die höchsten Frachten an Nano-Aluminium enthielten Abwässer der Papierindustrie.

[1] Danish Environmental Protection Agency (2015): Environmental effects of engineered nanomaterials. Estimation of Predicted No-Effect Concentrations (PNECs)

Nanosilber in Oberflächengewässern: Ist der Mensch immer schuld?

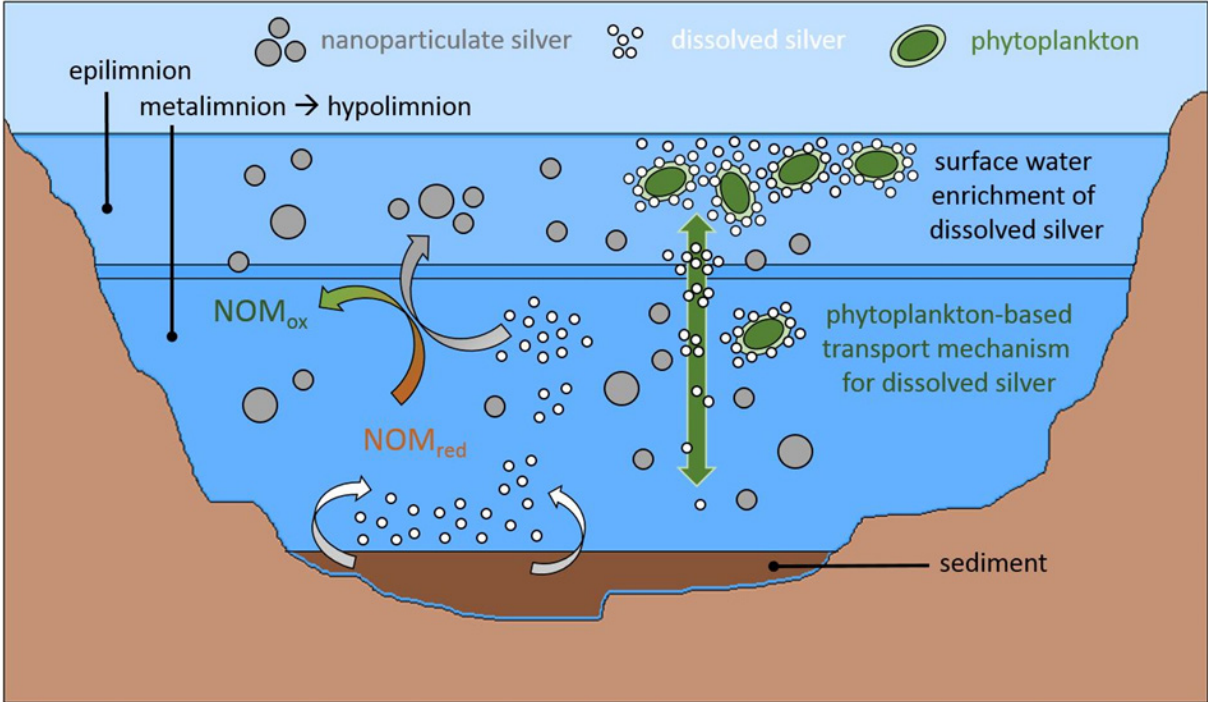
Andreas Wimmer, Prof. Dr. Michael Schuster, Technische Universität München

Die Bestimmung und Quantifizierung von Nanomaterialien in der Umwelt ist eine große Herausforderung für die moderne Analytische Chemie. Gründe dafür sind die komplexen Matrices, Störeinflüsse gelöster Spezies derselben chemischen Zusammensetzung und extrem niedrige Analytkonzentrationen. Cloud Point Extraktion (CPE) ermöglicht eine speziesspezifische Extraktion und Anreicherung von Nanomaterialien aus Umweltproben, die sehr schnell und einfach durchgeführt werden kann und damit für eine effiziente Umweltüberwachung prädestiniert ist.

Nanosilber in natürlichen Gewässern wird nach gängiger Literaturmeinung ausschließlich anthropogenen Quellen zugeschrieben. Nanosilber enthaltende Textilien, Kosmetika, Kunststoffe und viele weitere Produkte des täglichen Gebrauchs setzen bei Verwendung und Entsorgung Silbernanopartikel (AgNP) in das Abwassersystem und schlussendlich in natürliche Gewässer frei.

Durch Kombination der CPE mit elektrothermaler Atomabsorptionsspektrometrie (ET-AAS) und Einzelpartikel Massenspektrometrie (engl. single particle inductively coupled plasma mass spectrometry, sp-ICP-MS) war die Messung von AgNP in der Isar von der Quelle im Karwendelgebirge bis zur Mündung in die Donau möglich. Die Massenspektrometrie ermöglicht sogar erstmals die Größenbestimmung von AgNP in natürlichen Gewässern. In ländlichen Gebieten vor Erreichen Münchens konnte kein Nanosilber festgestellt werden. Erst die Einflüsse der urbanen Region Münchens und der nachfolgenden Städte flussabwärts haben zu einem Anstieg der AgNP Konzentration in den einstelligen ng/L-Bereich geführt. AgNP Beladungsspitzen nahe der Klärwerkseinleitestellen in die Isar haben deutlich gemacht, dass AgNP in der Isar anthropogenen Ursprungs sind.

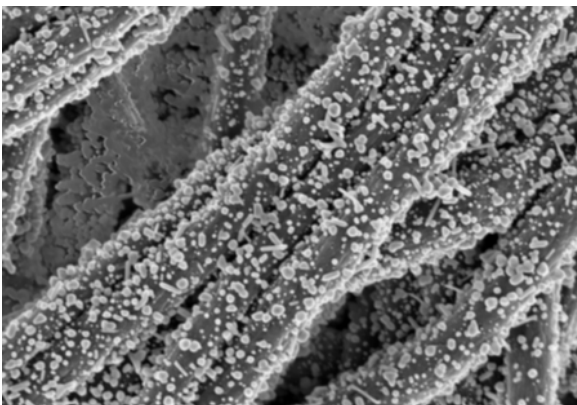
Voralpenseen mit klärwerksbelasteten Zuflüssen enthielten ebenfalls AgNP. Überraschenderweise waren solche Partikel aber auch in überwiegend grundwassergespeisten Seen zu finden, die keine Klärwerkseinleitungen erhalten. Dies trifft u. a. auf den eutrophen Waginger See und den oligotrophen Königssee zu, die ähnliche geogene Gesamtsilberkonzentrationen aufweisen. AgNP wurden aber nur im Waginger See gefunden, der eine vergleichsweise hohe Konzentration an natürlichem organischen Material (NOM) aufweist. Laborversuche haben bestätigt, dass ein Zusammenhang zwischen der Bildung von AgNP aus gelösten Spezies und NOM besteht, welches in der Lage ist Ag(I) auch im Ultraspurenbereich zu AgNP zu reduzieren. Nur der Waginger See enthielt ausreichend NOM, um gelöstes Silber in AgNP umzuwandeln, was im Königssee nicht stattfinden konnte. Zudem war in beiden Seen eine Anreicherung gelöster Silberspezies an der Oberfläche der Seen zu beobachten, die sehr wahrscheinlich Phytoplankton geschuldet ist, das Silber adsorbiert und nach lichtinduzierter Bewegung an die Wasseroberfläche dort anreichert. Die neuen Erkenntnisse, dass AgNP auch geogen in der Natur vorkommen, sind in folgender Abbildung zusammengefasst.



Reinigung Nanopartikel-haltiger Umweltmedien

Hadi Bakhshi, Prof. Dr. Andreas Greiner, Universität Bayreuth

Nanopartikel sind definiert als Stoffe mit in mindestens einer Dimension 1-100 nm. Nanopartikel aus Luft- und Wasserquellen haben sich als eines der größten Umweltprobleme erwiesen. Berichte haben gezeigt, dass diese kleinen Partikel in die menschlichen Bronchien und Lungen eindringen und zu Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen führen können [1,2]. Daher ist die Entwicklung einer Filtertechnologie zur effektiven Reinigung von Nanopartikeln aus Umweltmedien eine wichtige und dringende Aufgabe. Luftfilter mit elektrogewebenen Fasern zeichnen sich durch sehr hohe Filtrationseffizienzen in Kombination mit einem geringen Druckabfall von der Anströmseite zur Abströmseite aus, wodurch ausgesprochen energieeffiziente Filtrationsverfahren entwickelt werden können. Elektrogewebene Vliese haben Poren von einigen Mikrometern zwischen den einzelnen Fasern der Vliese. Diese Poren sind nicht ausreichend für die effiziente Filtration von Nanopartikeln sowohl aus der Luft als auch aus wässrigen Dispersionen. Die Filtration könnte jedoch wesentlich erhöht werden, indem die Faseroberfläche der elektrogewebenen Vliese Ankergruppen aufweist, die Nanopartikel durch chemische Wechselwirkung adsorbieren können. Ein besonderes Beispiel ist unsere Vorarbeit im Zusammenhang mit Elektrospinnen. Diese beschreibt die Anwendung des Layer-by-Layer Verfahrens zur gezielten Immobilisierung von Titandioxid bzw. Silbernanopartikeln auf den Oberflächen elektrogewebener Fasern mit geeigneten Ankergruppen (z. B. Polyimin) [3]. Im Folgenden, drei Jahre andauernden Projekt werden Vliese aus Polyacrylat-Dispersion und Schwämme aus Polyimid hergestellt. Die Polyacrylat-Dispersionen werden in unserem Labor synthetisiert und zur Herstellung von Vliesfiltern mittels Elektrospinnverfahren verwendet [3]. Die Polyimid-Schwämme werden aus Polyamidocarbonsäure-Vliesen durch Schneiden in Dispersion und anschließend durch Gefriertrocknung zu 3D Schwämmen verarbeitet [4]. Diese Vliese und Schwämme werden weiter funktionalisiert mit Ankergruppen für Nanopartikel mit Polyimin. Sie wurden zuerst für die Filtration von Carbonanopartikeln und Metall- bzw. Metalloxid-Nanopartikeln in Modellsystemen verwendet und dann in ausgewählten bayerischen limnischen Gewässern sowie in der Abluft von Laserdruckern eingesetzt. Die Entfernung von Nanopartikeln aus Luft und wässrigen Dispersionen wird durch unsere neu erworbenen Scanning Mobility Partikelanalysator (SMPS) und Metallfreien Feldfluss-Fraktionierung (M-FFF) bestimmt.



Absorption von Titanoxid-Nanopartikeln durch Vliese aus Polyacrylat-Dispersion.

- [1] Raaschou-Nielsen, O., et al., *The Lancet Oncology*, 2013. **14**: 813-22.
- [2] Brook, R.D., et al., *An Update to the Scientific Statement From the American Heart Association*, 2010. **121**: 2331-78.
- [3] Giebel, E., et al., *Advanced Functional Materials*, 2013. **23**: 3156-63.
- [4] Jiang, S., et al., *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2016. **4**: 4797-804.

Tagungsleitung / Referenten

Claus Kumutat
Präsident
Bayer. Landesamt für Umwelt
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: 0821 9071–5001
E-Mail: Claus.Kumutat@lfu.bayern.de

Dr. Martin Wegenke
Bayer. Landesamt für Umwelt
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: 0821 9071–5122
E-Mail: Martin.Wegenke@lfu.bayern.de

Prof. Dr. Christoph Alexiou
Universitätsklinikum Erlangen
Waldstraße 1
91054 Erlangen
Tel.: 0913 18534769
E-Mail: C.Alexiou@web.de

Dr.-Ing. Peter Grambow
Clustermanagement Cluster Nanotechnologie/
Nanoinitiative Bayern GmbH
Josef-Martin-Weg 52
97074 Würzburg
Tel.: 0931 31 89374
E-Mail: Peter.Grambow@nanoinitiative-bayern.de

Prof. Dr. Andreas Greiner
Lehrstuhl für Makromolekulare Chemie und Bayerisches Polymerinstitut, Universität Bayreuth
Universitätsstraße 30
95440 Bayreuth
Tel.: 0921 55–3399
E-Mail: Andreas.Greiner@uni-bayreuth.de

Prof. Dr. Anke Krüger
Institut für Organische Chemie
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
Am Hubland
97074 Würzburg
Tel.: 0931 85334
E-Mail: Anke.Krueger@uni-wuerzburg.de

Dr. Marina Maier
Bayer. Landesamt für Umwelt
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: 0821 9071–5811
E-Mail: Marina.Maier@lfu.bayern.de

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Mayer
Hochschule Kempten
Bahnhofstraße 61
87435 Kempten
Tel.: 0831 2523–9528
E-Mail: Wolfgang.Mayer@hs-kempten.de

Dr. Hubert Rauscher
Europäische Kommission
Joint Research Centre
Via E. Fermi, 2749. TP125
I-21027 Ispra (VA), Italy
Tel.: +390332785128
E-Mail: Hubert.Rauscher@ec.europa.eu

Prof. Dr. Martin Scheringer
ETH Zürich
Vladimir-Prelog-Weg 1-5/10
8093 Zürich
Tel.: +41446323062
E-Mail: Scheringer@chem.ethz.ch

Priv.-Doz. Dr. rer. nat. Wolfgang Schober
Sachgebiet Chemikaliensicherheit und Toxikologie
Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit
Pfarrstraße 3
80538 München
Tel.: 09131 6808-4242
E-Mail: Wolfgang.Schober@lgl.bayern.de

Prof. Dr. Michael Schuster
Andreas Wimmer, M. Sc.
Lichtenbergstraße 4
85747 Garching
Tel.: 089 289–13763
E-Mail: Michael.Schuster@lrz.tu-muenchen.de

