

Antrag für ein Promotionskolleg

NanoCompetence in der Gesellschaft: Forschung - Vermittlung - Gestaltung

an der
Universität Bremen
und der
Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

Förderinstitution:

**Hans Böckler
Stiftung** 

Antragstellerin:

Prof. Dr. Juliane Filser
Zentrum für Umweltforschung und nachhaltige Technologien (UFT)
Universität Bremen



Zentrum für
Umweltforschung &
nachhaltige Technologien



Überarbeitete Version

20. November 2013

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Motivation und Zielsetzungen des Kollegs | 6 |
| 2 | Gesellschaftliche Relevanz des Vorhabens | 9 |
| 2.1 | Chancen und Risiken von Nanoprodukten | 9 |
| 2.2 | Prospektive Technikbewertung und –gestaltung für nanotechnologische Innovationen | 11 |
| 2.3 | Risikokommunikation mit dem Leitbild der Risikomündigkeit | 13 |
| 2.4 | Wissenskommunikation und Kompetenzvermittlung | 16 |
| 2.5 | Zitierte Literatur | 17 |
| 3 | Fachlicher Hintergrund zu den ausgewählten Fallbeispielen | 20 |
| 3.1 | Metallische und metalloxidische Nanopartikel | 21 |
| 3.2 | Kupferoxid- und andere Kupfer-haltige Nanopartikel | 21 |
| 3.3 | Ceroxid-Nanopartikel | 23 |
| 3.4 | Toxikologische und ökotoxikologische Wirkungen..... | 25 |
| 3.5 | Partikeleigenschaften und Umgebungsmedium | 29 |
| 3.6 | Schlussfolgerungen | 30 |
| 3.7 | Zitierte Literatur | 30 |
| 4 | Struktur des Kollegs..... | 37 |
| 4.1 | Zusammenarbeit innerhalb des Kollegs..... | 37 |
| 4.2 | Bewerberauswahl | 41 |
| 4.3 | Synergieeffekte | 43 |
| 4.4 | Zitierte Literatur | 45 |
| 5 | Koordination des Kollegs | 46 |
| 6 | Forschungsangebote der beteiligten HochschullehrerInnen..... | 47 |
| 6.1 | Ökotoxikologische Risikoabschätzung von Kupferoxid- und Cer-oxid-Nanopartikeln unter besonderer Berücksichtigung des Risikobewusstseins für Böden | 48 |
| 6.2 | Aufnahme, Biokompatibilität und Metabolisierung von Kupferoxid-Nanopartikeln in Gehirnzellen..... | 54 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 6.3 | Einfluss der Biomolekül-Corona von Kupferoxid-Nanopartikeln in biologischen Matrices auf nanotoxikologische Effekte | 59 |
| 6.4 | Nutzung von Ceroxid und Seltenerdmetalloxiden in der Abgaskatalyse..... | 65 |
| 6.5 | Prospektive Bewertung der Umweltent- und Umweltbelastungspotenziale eines verbreiteten Einsatzes von nanopartikulärem Ceroxid und anderer Seltene Erden Metalle in der Abgaskatalyse sowie Ansätze zur Optimierung des Systemdesigns | 69 |
| 6.6 | Möglichkeiten und Grenzen der Risikoregulierung von Nanomaterialien: Eine Untersuchung am Beispiel von Kupferoxid-Nanopartikeln | 76 |
| 6.7 | Der Umgang mit Nanotechnologie als komplexes Entscheidungsproblem: Ökonomische, rechtliche, politische und ethische Aspekte | 82 |
| 6.8 | Nanotechnologie kompetent vermitteln: Entwicklung und empirische Überprüfung eines Modells zur Wissenskommunikation | 87 |
| 7 | Promotionsbegleitendes Studienprogramm..... | 92 |
| 7.1 | Interne Kollegentreffen..... | 92 |
| 7.2 | NanoCompetence-Kolloquien | 93 |
| 7.3 | StipendiatInnen-Tandems und Kleingruppen..... | 93 |
| 7.4 | Methodenseminare | 94 |
| 7.5 | Studentische Projekte und Abschlussarbeiten..... | 94 |
| 7.6 | Statusseminare | 94 |
| 7.7 | Klausurtreffen..... | 95 |
| 7.8 | Abschlussveranstaltung | 95 |
| 7.9 | Weitere Veranstaltungen und Aufgaben | 96 |
| 8 | Präsenz- und Residenzpflichten der Promovierenden | 96 |
| 9 | Betreuungskonzept | 97 |

Kontakt:

Prof. Dr. Juliane Filser

Universität Bremen, Zentrum für Umweltforschung und nachhaltige Technologien (UFT)

Abteilung Allgemeine und Theoretische Ökologie

Leobener Str.

28359 Bremen

Tel.: 0421 218 63470

E-Mail: filser@uni-bremen.de

Liste der am Antrag NanoCompetence beteiligten Arbeitsgruppen

(in alphabetischer Reihenfolge)

Universität Bremen

- Prof. Dr. Marcus Bäumer, Zentrum für Umweltforschung und nachhaltige Technologien (UFT), Institut für Angewandte und Physikalische Chemie (IAPC); Fachbereich 2
- Prof. Dr. Dagmar Borchers, Institut für Philosophie, Abt. Angewandte Philosophie, Fachbereich 9
- Prof. Dr. Ralf Dringen, Zentrum für Umweltforschung und nachhaltige Technologien (UFT), Abt. Neurobiochemie, Fachbereich 2
- Prof. Dr. Doris Elster, Institut für Didaktik der Naturwissenschaften, Abt. Biologiedidaktik, Fachbereich 2
- Prof. Dr. Juliane Filser, Zentrum für Umweltforschung und nachhaltige Technologien (UFT), Abt. Allgemeine und Theoretische Ökologie, Fachbereich 2
- Prof. Dr. Stefan Stolte / Prof. Dr. Jorg Thöming, Zentrum für Umweltforschung und nachhaltige Technologien (UFT), Abt. Nachhaltigkeit in der Chemie, Fachbereich 2
- Prof. Dr. Arnim von Gleich, Fachgebiet Technikgestaltung und Technologieentwicklung, Fachbereich 4

Westfälische Wilhelms-Universität Münster

- Prof. Dr. Sabine Schlacke, Institut für Umwelt- und Planungsrecht, Rechtswissenschaftliche Fakultät

1 Motivation und Zielsetzungen des Kollegs

Die Nanotechnologie gilt als Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts und durchdringt zunehmend nahezu alle gesellschaftlichen Bereiche von Alltagsprodukten über Industrieanwendungen bis hin zu High-Tech-Applikationen. Die künftige Produktion, Verbreitung, Anwendung und Entsorgung bzw. Wiederverwertung von nanotechnologischen Produkten wird eng verknüpft sein mit dem Strukturwandel, dem technologischen Wandel und den Nachhaltigkeitskonzepten einer sich rasch verändernden Gesellschaft. Nanotechnologische Anwendungen verfügen gleichermaßen über **Umweltentlastungs- und Umweltbelastungspotenziale**. Sie können zu einem hohem sozialen Nutzen (Arzneimittel, Medizintechnik, Wasseraufbereitung) und ebenso zur Einsparung von Energie und Ressourcen beitragen, aber auch zu einem erheblichen Eintrag von Nanomaterialien in die Umwelt führen, verbunden mit möglichen Risiken. Für einen zukünftigen sinnvollen und sicheren Umgang mit der Nanotechnologie sind die heute geltenden politischen, ökonomischen und rechtlichen Rahmenbedingungen und Instrumente nur bedingt geeignet.

Die Erfahrungen von Expertengruppen in Deutschland, z.B. der NanoKommission der Bundesregierung (BMU 2011), aber auch von Gruppen auf europäischer Ebene, z.B. des Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR), zeigen, dass das gegenwärtige **regulatorische Instrumentarium** für Nanomaterialien erhebliches Verbesserungspotenzial hat. Viele Verfahren unterschätzen das toxische Potenzial, Langzeitstudien sind nur in extremen Ausnahmefällen Gegenstand von Zulassungsverfahren.

Dem gegenüber steht ein sehr rudimentäres **Bewusstsein** in der Bevölkerung zu Chancen und Risiken von Nanomaterialien. Die bisherigen Erfahrungen der AntragstellerInnen mit der Öffentlichkeit (öffentliche Veranstaltungen, Presse, Politik etc.) zeigen eine Tendenz zur Aufspaltung in zwei kontroverse Lager, zum einen Gruppen, die sehr von den ökonomischen Potenzialen der Nanotechnologie geleitet werden („verwertungsgeleitet“), zum anderen Gruppen, bei denen die Angst vor möglichen Schäden dominiert und mit einer grundsätzlich ablehnenden Haltung verbunden ist. Die Erfahrungen der AntragstellerInnen zeigen weiterhin eine bislang mangelnde Dialogbereitschaft seitens der Industrie. Hier überwiegen die ökonomischen Interessen, was gerade bei den unter besonderen ökonomischen Zwängen stehenden kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) deutlich wird.

Es gilt also,

- Kommunikationshemmnisse zu beseitigen
- Reduktionistische Informationen zu vermeiden, stattdessen sachgerecht zu gestalten
- Interesse in der Öffentlichkeit zu wecken
- die Mündigkeit der VerbraucherInnen zu fördern

Beide Themenkomplexe, nämlich die Entwicklung des regulatorischen Vorgehens und des öffentlichen Bewusstseins, werden die künftige Gestaltung und weitere Verbreitung der Nanotechnologie entscheidend beeinflussen.

Aus Sicht der Antragsteller eignet sich für die Bearbeitung dieser Fragestellungen ein Team aus gesellschaftswissenschaftlichen und naturwissenschaftlichen Arbeitsgruppen. Als Instrument zur Vernetzung der Gruppen wird ein Promotionskolleg vorgeschlagen, in dem die DoktorandInnen gemeinschaftlich arbeiten und von mehreren der beteiligten ArbeitsgruppenleiterInnen betreut werden. Mit einem solchen Promotionskolleg sollen folgende **Zielsetzungen** erreicht werden:

- Schließen von Wissenslücken in den naturwissenschaftlichen Grundlagen, insbesondere diejenigen, die für die Bewertung der Chancen und Risiken sowie für die künftige Regulation von Bedeutung sein könnten
- Technologieentwicklung und Bewertung von Umweltentlastungs- versus Umweltbelastungspotenzialen an ausgewählten Fallbeispielen
- Aufdecken von Regulationsdefiziten und Beiträge zur Risikoregulierung
- Darstellung des Umgangs mit Nanotechnologie als komplexer öffentlicher Entscheidungsprozess und Untersuchung der Einflussfaktoren und Schwachstellen
- Verbesserung und neue Formen der Wissenskommunikation zu Chancen und Risiken der Nanotechnologie sowohl in institutionellen als auch non-formalen Bildungseinrichtungen

Diese Zielsetzungen sind bewusst sehr breit gefasst, um die verschiedenen Aspekte der Fragestellung hinreichend zu untersuchen. Angesichts des großen Spektrums sehr unterschiedlicher Nanomaterialien halten es die AntragstellerInnen für sinnvoll, sich im Kolleg auf wenige **Fallbeispiele** zu konzentrieren. Als Modellsubstanzen wurden aus folgenden Gründen metalloxidische Nanopartikel ausgewählt:

- Metalloxide gehören zu den am meisten produzierten und am häufigsten eingesetzten Nanomaterialien (Piccinno et al., 2012)
- Metalloxidische Nanopartikel sind chemisch reaktiv und weisen entsprechende Funktionalitäten (katalytische, antimikrobielle, absorptive Eigenschaften etc.), aber - aus dem gleichen Grund - auch mögliche Risiken auf (Übersichtsartikel: Sarkar et al. 2012, Huang et al. 2010)
- Für metalloxidische Nanopartikel stehen in der Regel begrenzte stoffliche Ressourcen zur Verfügung; sie können andererseits gegenüber dem nicht nanopartikulären Material gleicher chemischen Zusammensetzung (bulk-Material) zu Einsparungen im Ressourcenverbrauch führen („Ressourcen-Ambivalenz“)
- Für metalloxidische Nanopartikel liegen umfangreiche Erfahrungen der AntragstellerInnen vor (u.a. Filser et al. 2013, Hohnholt et al. 2013, Arndt et al. 2012, von Gleich et al. 2008 und viele mehr)

Das beantragte Kolleg fokussiert auf zwei Typen von grundsätzlich toxischen Nanopartikeln (Lopez-Morena et al. 2010b, Heckmann et al. 2011, Pan & Xing 2012, Priester et al. 2012) mit sehr unterschiedlichen Anwendungsbereichen: **Ceroxid-Nanopartikel** (CeO_2 -NP) wer-

den bereits seit längerem in Abgaskatalysatoren und in jüngerer Zeit als Kraftstoffzusatz verwendet. Über Katalyse erniedrigen sie den Schadstoffausstoß von Verbrennungsmotoren und dienen somit primär der Umwelentlastung. Im Gegensatz dazu werden **Kupferoxid-Nanopartikel** (CuO-NP) bisher hauptsächlich als Biozide eingesetzt, zum Beispiel als Anti-foulingzusätze bei Schiffsanstrichen. Hier wird also eine Umweltbelastung bewusst in Kauf genommen, während derartige durch CeO₂-NP verursachte Wirkungen unerwünschte Nebeneffekte darstellen. Andererseits ist Kupfer auch ein Metall, das für Lebewesen in geringen Mengen essenziell ist. Hierdurch ergibt sich gerade in der Nanotechnologie die spannende Frage, wie positive Wirkungen von CuO-NP genutzt werden können, z.B. in medizinischen Anwendungen.

Über Abgase erfolgt die Umweltexposition von CeO₂-NP großflächig und diffus. Die hauptsächlichlichen Quellen von CuO-NP (v.a. Schiffsrümpfe) sind durch die gezielte Anwendung zwar klar auszumachen, dennoch erfolgt die Ausbreitung entlang den Routen der Schiffe und damit in Gewässern ebenfalls großflächig. Die Umwelttoxizität von sowohl CuO- als auch insbesondere CeO₂-NP ist im Vergleich zu anderen Nanopartikeln bisher nur wenig untersucht worden (Tourinho et al. 2012, Kahru & Ivask 2013).

Arndt D, Gesing TM, Bäumer M (2012) Surface Functionalization of Iron Oxide Nanoparticles and their Stability in Different Media. *ChemPlusChem* 77, 576-583

BMU (2011) Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien. Bericht und Empfehlungen der Nano-Kommission 2011, Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit, FKZ UM 09 61 828, 70 S.

Filser J, Arndt D, Baumann J, Geppert M, Hackmann S, Luther EM, Pade C, Prenzel K, Wigger H, Arning J, Hohnholt MC, Köser J, Kück A, Lesnikow E, Neumann J, Schütrumpf S, Warrelmann J, Bäumer M, Dringen R, von Gleich A, Swiderek P, Thöming J. (2013) Intrinsically green iron oxide nanoparticles? From synthesis via (eco-)toxicology to scenario modelling. *Nanoscale* 5:1034-1046.

Gleich A von.; Steinfeld M, Petschow U (2008): A suggested three-tiered approach to assessing the implications of nanotechnology and influencing its development. *Journal of cleaner production* 16, 899-909

Hohnholt MC, Geppert M, Luther EM, Petters C, Bulcke F, Dringen R (2013) Handling of iron oxide and silver nanoparticles by astrocytes. *Neurochem. Res.* 38, 227-239.

Heckmann L-H, Hovgaard MB, Sutherland DS, Autrup H, Besenbacher F, Scott-Fordsmand JJ. (2011) Limit-test toxicity screening of selected inorganic nanoparticles to the earthworm *Eisenia fetida*. *Ecotoxicology* 20: 226-233.

Huang Y-W, Wu C-h, Aronstam RS (2010) Toxicity of Transition Metal Oxide Nanoparticles: Recent Insights from in vitro Studies , *Materials* Vol. 3: Iss. 10, 4842-4859.

Kahru A, Ivask A. (2013) Mapping the Dawn of Nanoecotoxicological Research. *Accounts of Chemical Research* 46:823-833.

López-Moreno ML, De La Rosa G, Hernández-Viezcás JA, Castillo-Michel H, Botez CE, Peralta-Videa JR, Gardea-Torresdey JL. (2010b). Evidence of the Differential Biotransformation and Genotoxicity of ZnO and CeO₂ Nanoparticles on Soybean (*Glycine max*) Plants. *Environmental Science and Technology* 44:7315-7320.

- Pan B, Xing B. (2012) Applications and implications of manufactured nanoparticles in soils: a review. *European Journal of Soil Science* 63:437-456.
- Piccinno F; Gottschalk F; Seeger S, Nowack B (2012) Industrial production quantities and uses of ten engineered nanomaterials in Europe and the world, *J Nanopart Res* 14:1109
- Priester JH, Ge Y, Mielke RE, Horst AM, Moritz SC, Espinosa K, Gelb J, Walker SL, Nisbet RM, An Y-J, Schimel JP, Palmer RG, Hernández-Viezcas JA, Zhao L, Gardea-Torresdey JL, Holden PA. (2012) Soybean susceptibility to manufactured nanomaterials with evidence for food quality and soil fertility interruption. *PNAS* E2451-E2456.
- Sarkar S, Guibal E, Quignard F, SenGupta AK (2012) Polymer-supported metals and metal oxide nanoparticles: synthesis, characterization, and applications . *J Nanopart Res* 14: 715.
- Tourinho PS, Van Gestel CAM, Lofts S, Svendsen C, Soares AMVM, Loureiro S. (2012) Metal-based nanoparticles in soil: fate, behavior, and effects on soil invertebrates. *Environmental Toxicology and Chemistry* 31:1679-1692.

2 Gesellschaftliche Relevanz des Vorhabens

2.1 Chancen und Risiken von Nanoprodukten

Für nanotechnologische Produkte gibt es bereits heute vielfältige **Anwendungen** in nahezu allen Bereichen einer sich rasch wandelnden Gesellschaft (SRU 2011). So gibt es auf dem europäischen Markt beispielsweise Nanoprodukte in den Bereichen

- Farben und Lacke
- Materialien und Kunststoffe (synthetische Zeolithe, Autoreifen, Fenstergläser, Polymere)
- Umweltschutz (keramische Filter, Autoabgaskatalysatoren, Silizium-Solarzellen, nanoskaliges Eisen zur Remediation von Böden und Grundwässern)
- Elektronik und Optik (Leuchtdioden, Poliermittel etc.)
- Gebrauchsgegenstände (Sportbedarf wie z.B. Tennis- oder Golfschläger, Pflegesprays, Socken, Wischtücher etc.)
- Kosmetische Produkte (Sonnencremes, Pflegecremes, Zahnbürsten, Zahncremes)

Zukünftige Entwicklungen werden diese Anwendungsbereiche noch deutlich ausweiten. Erwartungen werden insbesondere gesetzt in neue Materialien mit einem niedrigen Energieverbrauch, in die Effizienzsteigerung des Energiemanagements durch Nanotechnologie, in die Weiterentwicklung der Solartechnik, in effizientere Katalysatoren und nicht zuletzt in intelligente Materialien, sogenannte smart devices für die Medizin, Lebensmitteltechnologie und Verbraucherprodukte (SRU 2011). Insbesondere im Umweltschutz werden bereits bestehende Entlastungspotenziale durch nanotechnologische Produkte und Verfahren künftig an Bedeutung gewinnen (Steinfeldt et al. 2010).

Eng verknüpft mit den Anwendungsmöglichkeiten ist das **ökonomische Potenzial** der Nanotechnologie. Es besteht die Erwartung, dass Effizienzsteigerungen durch nanotechnologische Anwendungen zu einem geringeren Verbrauch an Ressourcen, insbesondere auch seltener und damit teurer Materialien führt. Dementsprechend werden große Marktpotenziale mit hohen Wachstumsraten für nanotechnologische Produkte und Verfahren erwartet. Eine quantitative Abschätzung des künftigen Marktpotenzials der Nanotechnologie ist insbesondere wegen des Querschnittscharakters der Technologie derzeit allerdings kaum möglich (BMBF 2009).

Neben diesen technologischen und ökonomischen Chancen kann die Nanotechnologie aber auch Risiken mit sich bringen. Der **Risiko-Begriff** steht dabei in engem Zusammenhang mit dem Nicht-Wissen, das angesichts einer immensen Komplexität und Vielfalt an Nanomaterialien auf erheblichen Wissenslücken einer noch jungen Technologie beruht. Dies gilt insbesondere für die Wirkungen solcher Materialien in der Umwelt, da sie in vielfältiger Weise Wechselwirkungen mit den Umweltmedien, aber z.B. auch mit umweltrelevanten Schadstoffen eingehen können. Mögliche Risiken, die von Nanomaterialien ausgehen, sind aufgrund der schon heute bestehenden vielfältigen Anwendungen im Gegensatz zu klassischen technologischen Gefahren, die sich durch Punktualität, Individualität und Konkretheit auszeichnen, weder örtlich, zeitlich noch sozial eingrenzbar, sondern weisen vielmehr einen globalen, kollektiven und diffusen Charakter auf (SRU 2011). Gerade der Umstand, dass die möglichen Risiken nicht sozial zurechenbar sind, erschwert die rechtliche Zuordnung der Verantwortlichkeit. Eine künftige adäquate **Risikoregulierung** steht hier also vor besonderen Herausforderungen und sollte Wege aufzeigen, wie gemäß des Vorsorgeprinzips mit Nicht-Wissen und daran anknüpfender Unsicherheit umzugehen ist.

Der Umgang mit Risiken ist aber nicht nur auf der Regulierungsebene zu lösen, sondern auch als gesamtgesellschaftliche Aufgabe anzusehen. Ausgangspunkt ist eine Situation, in der eine Gesellschaft und speziell die politisch Verantwortlichen angesichts der möglichen Chancen und Risiken Entscheidungen zu treffen haben, ob und in welchem Umfang neue nanotechnologische Produkte und Verfahren auf den Markt kommen. Diese Aufgabe stellt sich als **komplexes öffentliches Entscheidungsproblem** unter Einbeziehung ökonomischer, rechtlicher, politischer und ethischer Aspekte dar, welches einer näheren Untersuchung bedarf. Speziell nanotechnologische Anwendungen stellen im Vergleich zu Mikro- oder Makrotechnologien ganz neue Anforderungen an den Umgang und die Steuerung dar, wie der International Risk Governance Council (IRGC) identifiziert hat (Renn & Roco 2006). In ihrem umfangreichen Review zeigen die Autoren kurz- und langfristige Möglichkeiten zu einem veränderten Umgang mit aktuellen und künftigen Nanoprodukten auf und skizzieren Modelle einer globalen Nanotechnology Governance.

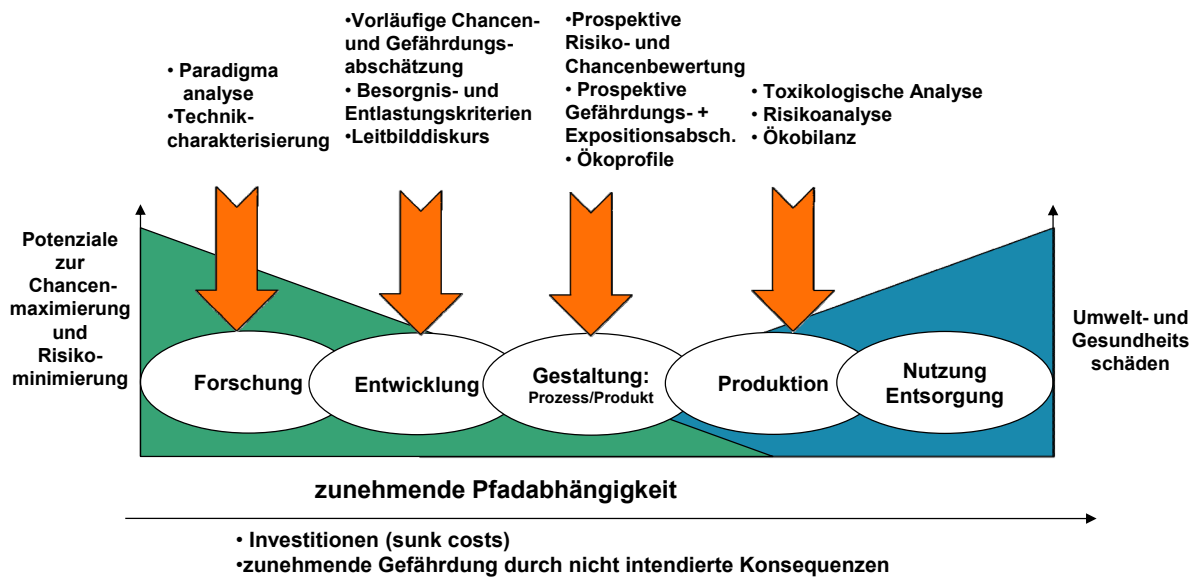
2.2 Prospektive Technikbewertung und –gestaltung für nanotechnologische Innovationen

Im Allgemeinen können sich Innovationen dann durchsetzen, wenn der gesellschaftliche Bedarf mit technologischen Neuerungen zusammen passt. Hier wird wiederum in Demand-Pull und Technology-Push Innovationen unterschieden, deren Zugehörigkeit sich in der Herkunft der Innovation unterscheidet. Während Demand-Pull Innovationen hauptsächlich durch die gesellschaftlichen Bedarfe vorangetrieben werden, bekommen Technology-Push Innovationen vornehmlich Impulse durch die Entwicklungsmöglichkeiten neuer Technologien (Hemmelskamp 1999, Gleich 2013). Nanotechnologien haben einen starken Technology-Push Charakter, zu denen die gesellschaftlichen Bedarfe jeweils passen müssen. Mit Innovationen ist zudem das Bestreben verbunden, vielversprechende Chancen zu realisieren, um im besten Fall einen Beitrag zur Nachhaltigkeit zu leisten im Sinne aller drei Säulen Ökologie, Ökonomie und Soziales. Zweck et al. (2008) fordern deshalb eine verstärkte integrierte Betrachtung von Innovations- und Nachhaltigkeitsaspekten in der Nanotechnologie, auch im Rahmen der Forschungsförderung.

Eine Bestandsaufnahme der Technikfolgenabschätzung für nanotechnologische Anwendungen und Produkte erfolgte im Rahmen eines Berichtes des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung des Deutschen Bundestages (TAB 2004). Weiterhin befasste sich die Zeitschrift des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) mit einem Schwerpunktthema über Nanotechnologie und deren Folgen mit wichtigen Fragen der Technikfolgenabschätzung (ITAS 2004, unter <http://www.tatup-journal.de/>).

Im Zuge der Technikfolgenabschätzung (TA) haben sich eine Reihe von innovationsbegleitenden TA entwickelt, zu denen die Constructive TA, die Real-Time TA und das Vision Assessment gehören. Die Constructive TA ist darauf ausgerichtet, begleitend zum Forschungsprozess die potenziellen Technikfolgen zu reflektieren und auf diese Weise frühe Entscheidungen hinsichtlich technologischer Pfade positiv zu beeinflussen. Ziel ist es daher, den technologischen Wandel mit seinen technologischen und gesellschaftlichen Facetten durch sozio-technische Dialoge zu gestalten (Schot & Rip 1997, Grunwald 2010). Die Real-Time TA ist als direkt beteiligte Begleitforschung sehr nah am Entwicklungsprozess und gekennzeichnet durch ethische Reflexionen, die wiederum in den Entwicklungsprozess einwirken (Guston & Sarewitz 2001, Grunwald 2010). Ziel des Vision Assessments ist es, auf Basis der Visionen der ForscherInnen einen offenen, kognitiv und evaluativen, normativ orientierten Dialog zu führen und so in frühen Phasen diese rational greifbar zu machen und zu evaluieren (Grin 2000, Grunwald 2010).

Der im beantragten Kolleg NanoCompetence verfolgte Ansatz der Technikfolgenforschung und leitbildorientierten Technikgestaltung geht zunächst von der Tatsache aus, dass sehr früh im Innovationsprozess die Spielräume für eine nachhaltige Technikgestaltung groß sind, weil viele Entscheidungen, die zu Pfadabhängigkeiten führen (z.B. mit der Technologie einhergehende infrastrukturelle und regulative Abhängigkeiten), noch nicht gefallen und entsprechende Investitionen noch nicht getätigt sind, wie in der folgenden Abbildung dargestellt:



Ansätze der Technikbewertung und –gestaltung nach Innovationsphasen (nach Gleich 2013)

Auf der anderen Seite ist - solange die konkreten Prozesse und Produkte der Zukunft noch nicht bekannt sind - das Wissen über konkrete Risiken (Risiko als Funktion von Eintrittswahrscheinlichkeit und potenzieller Schadenshöhe sowie Risiko als Funktion von Gefährdungspotenzial und Exposition) noch extrem gering. Diese Zwickmühle zwischen Gestaltungsspielräumen und Wissensanforderungen wird in der Technikfolgenabschätzung das Collingridge-Dilemma genannt (vgl. Collingridge 1980, Grunwald 2010). Mögliche Auswege aus dem Collingridge-Dilemma bestehen darin, dass man sich zum einen auf die Dinge konzentriert, die schon sehr früh im Innovationsprozess bekannt sind, also auf das, was die neue Technologie so interessant macht (vgl. von Gleich 1999). Es sind diese die neuen und verbesserten Funktionalitäten, die durch Nanotechnologien bzw. in diesem Fall durch die Nanoskaligkeit von Materialien hervorgebracht werden und sowohl Chancen als auch Risiken generieren.

Da Chancen und Risiken aber nicht allein nur durch technisch erzeugte Wirk-, Gefährdungs- oder Expositionspotenziale entstehen können, sondern genauso sehr durch die Anwendungsziele (inkl. Missbrauch) und die Anwendungskontexte, muss dieses Wissen ergänzt werden durch Szenarien, also durch die Erarbeitung möglichst konsistenter, kohärenter und plausibler Zukünfte mit Blick auf Produkte, Produktanwendungen, Anwendungskontexte, Markterfolge, auch als Überblick über den ganzen Produktlebenszyklus. Erst auf diesem Weg können begründeten Abschätzungen über Freisetzungsraten, Verluste, Ausbreitungen sowie Transformationen und letztendlich Expositionen erarbeitet werden. Die neuen Eigenschaften und Wirkungen (z. B. physikalisch-chemische Eigenschaften wie Löslichkeit, Schmelz- und Siedepunkte, Mobilität in verschiedenen Medien, Reaktivität, katalytische Effekte, mechanische, optische, magnetische, elektrische und Quanteneffekte) in Verbindung

mit gesellschaftlichen Bedarfen sind es schließlich, die die Nanomaterialien für technische Anwendungen (erfolgreiche Innovationen) interessant machen, und sie sind es zugleich, die als mögliche Quellen für unerwünschte Neben- und Folgewirkungen unsere besondere Aufmerksamkeit verdienen. Die Nano-Funktionalitäten stehen deshalb auch im Zentrum, wenn es darum geht, vorsorgeorientiert und leitbildorientiert (vgl. Dierkes et al 1992, Grunwald 2000) die Nanomaterialien und die Produkte und Prozesse, in denen sie eingesetzt werden, so zu gestalten, dass die gewünschten Nachhaltigkeitseffekte auch tatsächlich erzielt und die unerwünschten Neben- und Folgewirkungen so weit wie möglich minimiert werden. Die vorsorge- und leitbildorientierte Gestaltung der Produkte und Prozesse war auch Gegenstand der NanoKommission der Bundesregierung unter Mitwirkung von Prof. von Gleich (BMU 2010).

2.3 Risikokommunikation mit dem Leitbild der Risikomündigkeit

Gesellschaftliche Entscheidungsprozesse zum Umgang mit nanotechnologischen Produkten und Anwendungen erfordern eine adäquate Kommunikation der mit der Nanotechnologie verknüpften Risiken. Wie für andere Risiken auch ist davon auszugehen, dass mögliche Risiken, die von der Nanotechnologie ausgehen, nicht von der Gesellschaft in konsistenter Weise, sondern von verschiedenen Bevölkerungsgruppen und Akteuren unterschiedlich wahrgenommen werden. Ziel sollte deshalb eine Kompetenzvermittlung nanotechnologischer Inhalte und deren Risikobeurteilung am **Leitbild der Risikomündigkeit** sein, ein Konzept, das die sozialwissenschaftliche Risikoforschung entwickelt hat und die Entscheidung und Verantwortung des Bürgers in den Mittelpunkt stellt (Risikokommission 2003, Petts et al. 2003, Ruddat et al. 2007, Wiedemann & Mertens 2005, WBGU 1998). Gemeint ist mit dem Leitbild die „Fähigkeit [...], auf der Basis der Kenntnis der faktisch nachweisbaren Konsequenzen von risikoauslösenden Ereignissen oder Aktivitäten, der verbleibenden Unsicherheiten und anderer risikorelevanter Faktoren eine persönliche Beurteilung der jeweiligen Risiken vornehmen zu können, die den Wertvorstellungen für die Gestaltung des eigenen Lebens sowie den persönlichen Kriterien zur Beurteilung der Akzeptabilität dieser Risiken für die Gesellschaft insgesamt entspricht“ (Risikokommission 2003: 53).

Das Leitbild der Risikomündigkeit spielt eine zentrale Rolle bei der vom Bundesinstitut für Risikoforschung (BfR) in Auftrag gegebenen Studie „ERiK – Entwicklung eines mehrstufigen Verfahrens der Risikokommunikation“ (Renn et al. 2005). Durch „entsprechende Angebote der Information (Einweg-Kommunikation), des Dialogs (Zwei-Weg-Kommunikation) und der Beteiligung (Chance der Mitwirkung an der Entscheidungsvorbereitung und -findung)“ gilt es, BürgerInnen „in die Lage zu versetzen, ihren Anspruch auf Risikomündigkeit einzulösen“ (Renn et al. 2005: 11). Unter dieser Voraussetzung kommt den risikoregulierenden Institutionen die Aufgabe zu, Grundlagen für die notwendige Kommunikation zu schaffen und zu erhalten. Dabei sollten „alle Anstrengungen zur Risikokommunikation [...] von dem Leitbild der Risikomündigkeit getragen sein“, wobei unter Kommunikation „ein offener Prozess des gegenseitigen Abgleichs von Informationen und Argumenten zu verstehen“ ist (Renn et al. 2005: 56).

Das Konzept der Risikomündigkeit umfasst nach Ruddat (2009) drei zentrale Bestandteile:

- die Fähigkeit der BürgerInnen, selber sowohl über die Größe als auch die Akzeptanz von Risiken urteilen zu können im Sinne eines vorhandenen Reflexionsvermögens (Thalmann et al. 2004)
- die Berücksichtigung von sowohl Sachwissen als auch Orientierungswissen bei der persönlichen Beurteilung von Risiken, d.h. es sollen einerseits wissenschaftliche Erkenntnisse, andererseits eigene Werthaltungen in eine Urteilsbildung einfließen (WGBU 1998, Renn et al. 2005)
- die Verortung sowohl auf einer individuellen als auch kollektiven Ebene; hier gilt es die verschiedenen Adressatenkreise zu berücksichtigen, denn Motivation und Kompetenz zur Beurteilung von Risiken unterscheiden sich selbstverständlich bei den verschiedenen Mitgliedern einer Gesellschaft (Carius & Renn 2003).

Das Konzept der Risikomündigkeit erweitert die Forschungsansätze in der Risikowahrnehmung. Der Fokus der Risikomündigkeit liegt „auf den Voraussetzungen überlegter Entscheidungen und nicht auf der Wahrnehmung von Risikomerkmalen und deren Einfluss auf die Risikoakzeptanz“ (Ruddat 2009: 21), so dass es durch die Abwägung von Wissen und Werten zu einem Urteil kommt. Damit unterscheidet sich das Konzept der Risikomündigkeit von anderen Forschungsansätzen der Risikowahrnehmung (Douglas & Wildavsky 1993, Wildavsky & Dake 1998, Zwick 1998), ebenso wie von der Vertrauensforschung (Luhmann 2001, Renn & Levine 1991, Siegrist 2001, Zwick & Renn 1998, Zwick & Renn 2002).

Risikomündigkeit ist letztlich ein vielschichtiges Konzept, das neben rein sachlichen Wissenselementen auch Werte und Meinungen der jeweiligen BürgerInnen einschließt (Ruddat 2009). Für die Einflussnahme auf die Risikomündigkeit der BürgerInnen über Wissenskommunikation stehen die kognitiven Faktoren im Vordergrund.

Das Konzept der Risikomündigkeit mit Fokus auf die kognitiven Faktoren wurde in einer Dissertation von Ruddat (2009) einem empirischen Test auf seine Tauglichkeit im Bereich der Techniksoziologie unterzogen. Dazu wurde am Beispiel einer externen Technik (Atomkraft) und einer Produkttechnik (Mobilfunk) untersucht, in welche Weise Risikobeurteilungen von der kognitiven Kompetenz (d.h. Fähigkeiten, Wissensstand, Interesse an dem Thema etc.) der Akteure abhängen. Im Falle des Themas Atomkraft konnte nachgewiesen werden, dass sich mit steigendem Grad der kognitiven Faktoren der Risikobewertung (als Vorbedingung von Risikomündigkeit bei Laien) die Risikobewertungen von Laien und Experten tendenziell annähern. Dabei kommen Laien mit hoher kognitiver Kompetenz zu anderen Risikobewertungen als Laien mit niedriger kognitiver Kompetenz (Ruddat 2009). Für die Untersuchungen wurden sowohl

- quantitative Methoden auf der Basis einer Risikomündigkeitsumfrage des Bundesamtes für Strahlenschutz 2006 mit dem Titel: „Operationalisierung des Leitbildes ‚Risikomündigkeit‘ unter Berücksichtigung von Lebensstil und Wertorientierung als Grundlage für die Risikokommunikation im Strahlenschutz“ (Ruddat et al. 2007) als auch
- qualitative Methoden auf der Basis von jeweils knapp 60 Leitfadeninterviews zu Atomkraft und Mobilfunk

herangezogen. Beide Methoden kamen zu vergleichbaren Ergebnissen. Die Resultate können wichtige politische Implikationen haben, gerade wenn es um eine konstruktive und erfolgreiche Einbindung von BürgerInnen in Entscheidungsprozesse geht.

Aus der sozialwissenschaftliche Risikoforschung ist bekannt, dass sich Wahrnehmung und Bewertung von externen Techniken und Produkttechniken deutlich unterscheiden (Ruddat 2009). Insofern sind nanotechnologische Anwendungen und Produkte im Hinblick auf Untersuchungen zur differenzierten Risikowahrnehmung besonders interessant, denn sie fallen sowohl in die Kategorie „Externe Technik“ (z.B. nanotechnologische Systeme zur Erzeugung, Leitung und Speicherung von Energie) als auch in die Kategorie „Produkttechnik (z.B. Gebrauchsgegenstände wie Sportbedarf, Pflegesprays, Wischtücher etc.) (vgl. SRU 2011). Eine besondere Herausforderung für entsprechende Untersuchungen stellt dabei der Querschnittscharakter der Nanotechnologie dar, d.h. die Technologie findet Anwendung in verschiedensten Bereichen und unterschiedlichsten Zusammenhängen. Dies bedingt, dass es kein eng umrissenes Faktenwissen gibt, sondern – je nach Anwendung und Bereich – eine sehr vielschichtige Datenlage. Für das beantragte Promotionskolleg NanoCompetence ist weiterhin von Interesse, wie sich die vorhandenen Wissenslücken bei Nanoprodukten (insbesondere was deren Effekte auf Mensch und Umwelt betrifft) auf den Prozess der Risikowahrnehmung solcher Produkte auswirken. Auch hier konnte Ruddat (2009) an Beispielen mit unterschiedlichem Wissenstand die Unterschiede in den Auswirkungen auf das Konzept der Risikomündigkeit aufzeigen.

Basis der Risikomündigkeit ist der jeweilige Bildungsstatus. Dessen Grundstein wird wesentlich, aber nicht ausschließlich, in der schulischen Bildung gelegt. Deshalb widmet das beantragte Kolleg der didaktischen Vermittlung besondere Aufmerksamkeit (vgl. 2.4). Im Folgenden ist dies am Beispiel des Biologieunterrichts näher ausgeführt.

Mit der **Integration des Konzeptes der Risikomündigkeit in die Fachdidaktik** beschäftigt sich eine gerade abgeschlossene Masterarbeit an der Universität Bremen (Schindler 2013). Dabei geht es im Rahmen der Biologiedidaktik am Beispiel der Nanotechnologie um die Frage, in welchem Ausmaß OberstufenschülerInnen einer ausgewählten Bremer Schule über Risikomündigkeit verfügen. Risikomündigkeit wird in diesem Zusammenhang als Teil der Bewertungskompetenz der SchülerInnen verstanden. Der Bremer Bildungsplan weist fundiertes Fachwissen und die Bereitschaft zur Reflexion als zentrale Elemente in Bewertungssituationen aus:

„Der Biologieunterricht hat das Anliegen, dass Schülerinnen und Schüler naturwissenschaftliche Aussagen und Situationen hinterfragen und überprüfen sowie diese in Relation zu den vorhandenen Informationen bewerten. Es werden naturwissenschaftliche Aussagen in Beziehung zu gesellschaftlich relevanten Fragestellungen gesetzt sowie Anwendungsmöglichkeiten und deren individuelle sowie gesellschaftliche Folgen in Bereichen wie Technik, Gesundheit und Umwelt geprüft, diskutiert und bewertet. Ziel ist es, dass Schülerinnen und Schüler Meinungsbildungsprozesse und Entscheidungen mitgestalten und für sich dabei verschiedene Handlungsmöglichkeiten finden.“ (SenBW 2008: 5)

Auch in den Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss (KMK 2004) kommt dem Kompetenzbereich Bewertung eine zentrale Rolle zu. Ziel dabei ist es, dass sich die Lernenden neue Sachverhalte in Anwendungsgebieten der modernen Biologie erschließen um sich dann am gesellschaftlichen, zum Teil kontrovers geführten Diskurs, beteiligen zu können, wenn sie Bewertungskompetenz entwickelt haben. Dabei stellen Themen, die das verantwortungsbewusste Verhalten des Menschen gegenüber sich selbst und den anderen sowie gegenüber der Umwelt betreffen, die Schwerpunkte einer ethischen Urteilsbildung dar.

„Kriterien für Bewertungen liefern Grundsätze für eine nachhaltige Entwicklung sowie zwei grundlegende ethische Denktraditionen. Die eine stellt in erster Linie die Würde des Menschen in den Mittelpunkt und sieht diese als unantastbar an, die andere orientiert sich letztendlich am Wohlergehen des Menschen bzw. am Schutz einer systemisch intakten Natur um ihrer selbst willen.“ (KMK 2004: 14).

Im Rahmen ihrer Masterarbeit entwickelt Frau Schindler ein Modell zur Bewertung von Risikomündigkeit, das auf dem Stufenmodell ethischen Bewertens (Kohlberg 1996) und auf dem Kreislauf der moralischen Urteilsfindung (Höfke 2003) fußt. In einer Pilotstudie überprüft sie die Risikomündigkeit Bremer OberstufenschülerInnen unter Anwendung Leitfaden-gestützter Interviews. Sie kommt zu dem Schluss, dass die Risikomündigkeit der OberstufenschülerInnen bezogen auf Fragen zu nanotechnologischen Materialien gefördert werden sollte. Um das Modell zur Bewertung der Risikomündigkeit in die Fachdidaktik zu integrieren, müsste die Studie modifiziert und ausgeweitet werden. Die Masterarbeit stellt eine **wichtige Vorarbeit zu einer der wesentlichen Fragestellungen** des beantragten Kollegs NanoCompetence dar.

2.4 Wissenskommunikation und Kompetenzvermittlung

Das Thema „Wissenskommunikation und Kompetenzvermittlung“ nimmt im beantragten Promotionskolleg NanoCompetence eine zentrale Rolle ein. NaturwissenschaftlerInnen und GesellschaftswissenschaftlerInnen, die im Bereich der Nanotechnologie forschen, sind bemüht, Fachwissen und Ergebnisse ihrer Forschung zu verbreiten und zu diskutieren. Sie stehen einer Öffentlichkeit gegenüber, die den neuen Errungenschaften oft skeptisch oder konträr gegenübersteht und – meist aus mangelnden Fachkenntnissen - das Risiko, das damit verbunden ist, nur schwer abschätzen kann.

Um im Hinblick auf die zu erwartenden komplexen Antworten aus den naturwissenschaftlichen Arbeiten im Rahmen des Kollegs die Kommunikation zwischen NaturwissenschaftlerInnen und GesellschaftswissenschaftlerInnen einerseits und den ForscherInnen und der Öffentlichkeit (am Bsp. Jugendliche, interessierte Laien) analysieren zu können, soll ein **Kommunikationsmodell nanotechnologischer Inhalte** basierend auf France & Gilbert (2006) entwickelt werden. Das Modell basiert auf folgenden Grundannahmen:

- a) Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die im Bereich der Nanotechnologie forschen, bilden eine relativ kohärente soziale Gruppe, die sich teilweise durch ähnliche Kommunikationsstrukturen (Sprache, Konzepte, Denkfiguren) auszeichnet und den-

noch unterschiedlichen wissenschaftlichen „Nanotechnologie-Communities“ (naturwissenschaftlich, gesellschaftswissenschaftlich) zugeordnet werden können.

- b) Ihr gegenüber stehen die „Public Communities“ mit eigenen spezifischen Kommunikationsstrukturen.
- c) Es ist davon auszugehen, dass sich die Communities hinsichtlich folgender Elemente unterscheiden und dass diese Elemente die Sichtweise einer Person bezogen auf die Nanotechnologie beeinflussen:
 - das Fachwissen (das Wissen über Konzepte und Modelle der Nanotechnologie),
 - das epistemologische Wissen (das Metawissen über den naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess)
 - die Risikoerwartung (Erwartung und Abschätzung von möglichen Risiken)
 - die Einstellungen zur Nanotechnologie

Eine weitere Grundannahme ist die des geteilten Suchraums (search space), in dem die Kommunikation zwischen den Forscher-Communities und den Public Communities erfolgt. Es ist der Überschneidungsraum der Sichtweisen, der sogenannte „Common Ground“ (Bromme 1992; Bromme & Jucks 2001) der unterschiedlichen Communities. Hier ist der direkte Austausch möglich, in anderen Bereichen muss ein gemeinsames Verständnis erst durch langsame Annäherung entwickelt werden.

Die forschungsleitende Frage bezieht sich darauf, wie die Kommunikation zwischen Personen unterschiedlicher Communities erfolgt. Welche Operatoren werden in der Kommunikation verwendet? In welchen Bereichen entsteht der sogenannte „Common Ground“?

Um Kommunikationshemmnisse zu beseitigen, reduktionistische Informationen zu vermeiden und stattdessen sachgerecht zu gestalten, wird der Prozess der Wissensvermittlung begleitend erforscht. Zur Anwendung kommen hier Methoden der **Partizipativen Aktionsforschung** (PAR), da hier die Untersuchungsprozesse gemeinsam mit jenen Menschen durchgeführt werden, deren Einstellungen und Handlungsmuster (bezogen auf die Risikobereitschaft gegenüber Nanotechnologien) reflektiert bzw. verändert werden sollen. In der Konsequenz bedeutet dies, dass sich Erkenntnisinteresse und Forschungsfragen aus der Konvergenz zweier Perspektiven, d.h. vonseiten der Wissenschaft (Scientific Community) und der Praxis (Public Community), entwickeln. Die Teilnahme an partizipativer Aktionsforschung verlangt spezifische Kenntnisse und Fertigkeiten, also Kompetenzen, welche die Teilnehmenden sich schrittweise aneignen müssen. Hierzu gehören beispielsweise sprachliche Kompetenzen, systematisches Vorgehen im Forschungsprozess, kommunikative Fertigkeiten im Umgang mit Gruppen usw. Partizipative Aktionsforschung braucht also die gesellschaftlichen und politischen Bedingungen der Demokratie (Kemmis & McTaggart 2005).

2.5 Zitierte Literatur

BMBF (2009) nano.DE-Report 2009. Status Quo der Nanotechnologie in Deutschland. Bonn, Berlin

- BMU (2010) Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien. Bericht und Empfehlungen der Nano-Kommission 2011. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit., Hausdruck, 1. Aufl.
- Bromme R (1992) Der Lehrer als Experte: Zur Psychologie des professionellen Wissens. Bern, Huber.
- Bromme R, Jucks R (2001) Wissensdivergenz und Kommunikation: Lernen zwischen Experten und Laien im Netz. In: F. W. Hesse & H. F. Friedrich (Hrsg.). *Partizipation und Interaktion im virtuellen Seminar*. Münster, Waxmann, 83-103.
- Collingridge D (1980) *The Social Control of Technology*. London: Pinter
- Carius R, Renn O (2003) Partizipative Risikokommunikation. Wege zu einer risikomündigen Gesellschaft. In: *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*, Jg. 46, Nr. 7, S. 578-586
- Dierkes M, Hoffmann U, Marz L (1992) Leitbild und Technik. Zur Genese und Steuerung technischer Innovationen. Berlin: edition sigma
- Douglas M, Wildavsky A (1993) Risiko und Kultur. In: Krohn, W. / Krücken; G. (Hrsg.): *Riskante Technologien*, Frankfurt a. M., S. 113-138
- France B, Gilbert JK (2005) *A model for communication about biotechnology*. Sense Publisher, Rotterdam.
- Gleich A von (1999) Vorsorgeprinzip. In: Karsten Sundermann, Stephan Bröchler, Georg Simonis (Hrsg.). *Handbuch Technikfolgenabschätzung*. Berlin: edition sigma
- Gleich A von (2013) Prospektive Technikbewertung und Technikgestaltung zur Umsetzung des Vorsorgeprinzips, in: *Konzepte und Verfahren der Technikfolgenabschätzung (Lehrbuch)*, G. Simonis, Hrsg., Springer VS Wiesbaden
- Grin J (2000) Vision Assessment to Support Shaping 21st Century Society? Technology Assessment as a Tool for Political Judgement. In: Grin J. & Grunwald A (eds.) *Vision Assessment: Shaping Technology in 21st Century Society*. Springer Berlin Heidelberg.
- Grunwald A (2000) Technik für die Gesellschaft von Morgen. Möglichkeiten und Grenzen gesellschaftlicher Technikgestaltung. Frankfurt a. M.: Campus
- Grunwald A (2010) *Technikfolgenabschätzung. Eine Einführung*. Berlin: edition sigma
- Guston DH, Sarewitz D (2002) Real-Time Technology Assessment. *Technology in Society* 24, 93-109
- Hemmelskamp J (1999) *Umweltpolitik und technischer Fortschritt. Eine theoretische und empirische Untersuchung der Determinanten von Umweltinnovationen*. Heidelberg
- Hößle C (2003) Modell moralischer Urteilsbildung am Beispiel der embryonalen Stammzellentherapie. In: *Oldenburger Vordrucke* 466, Oldenburg: Oldenburg Drucke
- ITAS (2004) Große Aufmerksamkeit für kleine Welten - Nanotechnologie und ihre Folgen, *Zeitschrift des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)*, Schwerpunktthema 2/2004, unter <http://www.tatup-journal.de/>
- Kemmis St., McTaggart R. (2005) Participatory action research. Communicative action and the public sphere. In: N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *Handbook of qualitative research* (3rd ed., pp.559-603). Thousand Oaks, CA: Sage.
- KMK (2004): unter http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Biologie.pdf, S. 14

- Kohlberg L (1996) Die Psychologie der Moralentwicklung. Suhrkamp, Frankfurt am Main
- Luhmann N (2001) Vertrautheit, Zuversicht, Vertrauen: Probleme und Alternativen. In: Hartmann, Martin / Offe, Claus (Hrsg.): *Vertrauen – Die Grundlage des sozialen Zusammenhalts*, Frankfurt, Campus, S. 143-160
- Petts J, Wheeley S, Homan J, Niemeyer S (2003) Risk literacy and the public: MMR, Air Pollution and Mobile Phones. Final report. Birmingham: University of Birmingham, Centre for Environmental Research & Training
- Risikokommission (2003) ad hoc-Kommission „Neuordnung der Verfahren und Strukturen zur Risikobewertung und Standardsetzung im gesundheitlichen Umweltschutz der Bundesrepublik Deutschland“. *Abschlussbericht der Risikokommission*. Salzgitter.
- Renn O, Carius R, Kastenholz H, Schulze M (2005) ERiK – Entwicklung eines mehrstufigen Verfahrens der Risikokommunikation. Herausgegeben von R. F. Hertel und G. Henseler im Rahmen des Aktionsprogramms „Umwelt und Gesundheit“. Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), Berlin.
- Renn O, Levine D (1991) Credibility and Trust in Risk Communication. In: Kasperson, R.E. / Stallen, P.J.M. (Hrsg.): *Communicating Risks to the Public*. Kluwer Academic Publishers, S. 175 – 218
- Renn O, Rocco MC (2006): Nanotechnology and the need for risk governance, *Journal of Nanoparticle Research* 8: 153–191, DOI 10.1007/s11051-006-9092-7
- Ruddat M (2009) Kognitive Kompetenz zur Risikobewertung als Vorbedingung der Risikomündigkeit und ihre Bedeutung für die Risikokommunikation. Dissertation, Universität Stuttgart
- Ruddat M, Sautter A, Renn O (2007) Operationalisierung des Leitbildes ‚Risikomündigkeit‘ unter Berücksichtigung von Lebensstil und Wertorientierung als Grundlage für die Risikokommunikation im Strahlenschutz. Abschlussbericht. Bonn: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. *Reihe Umweltpolitik*, BMU 2007-704.
- Schindler J (2013) Nanomaterial und Bewertungskompetenz: Eine qualitative Studie zur Risikomündigkeit Bremer Jugendlicher. Masterarbeit, Universität Bremen
- Schot J, Rip A (1997) The Past and Future of Constructive Technology Assessment. *Technological Forecasting and Social Change*, 54, 251-268
- SenBW (2008) Biologie – Bildungsplan für die gymnasiale Oberstufe – Qualifikationsphase, Senatorin f. Bildung und Wissenschaft Bremen
- Siegrist M (2001) Die Bedeutung von Vertrauen bei der Wahrnehmung und Bewertung von Risiken. Stuttgart, *Arbeitsbericht der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden Württemberg* Nr. 197
- SRU (2011) Sachverständigenrat für Umweltfragen: Vorsorgestrategien für Nanomaterialien, Sondergutachten, Hausdruck, 611 S.
- Steinfeldt M, von Gleich A, Petschow U, Pade C, Sprenger R-U (2010) Entlastungseffekte für die Umwelt durch nanotechnische Verfahren und Produkte. Dessau- Roßlau: Umweltbundesamt. *UBA-Texte* 33/10
- TAB (2004) TA-Projekt Nanotechnologie. Bericht des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung. Deutscher Bundestag, Drucksache 15/2713

- Thalmann AT, Grutsch MA, Bernhard M, Wiedemann PM (2004) Pilotstudie zur Entwicklung eines Bewertungsansatzes für Mobilfunk-Informationenmaterialien. Arbeiten zur Risiko-Kommunikation des Forschungszentrums Jülich, *Programmgruppe Mensch, Umwelt, Technik (MUT)*, Heft 88
- WBGU (1998) Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen: Welt im Wandel. Strategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken. Jahresgutachten 1998 des WBGU, Berlin.
- Wildavsky A, Dake K (1998) Theories of Risk Perception : Who Fears What and Why? In: Löfstedt, Ragnar / Frewer, Lynn (Hrsg.): *Risk and modern Society*, London, Earthscan Publications, S. 101-114
- Wiedemann PM, Mertens J (2005) Sozialpsychologische Risikoforschung. In: *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis*, Jg. 14, Nr. 3, S. 38 - 45
- Zweck A, Bachmann G, Luther W, Ploetz C (2008) Nanotechnology in Germany: from forecasting to technological assessment to sustainability studies. *Journal of Cleaner Production* 16, 977-987
- Zwick M (1998) Wertorientierungen und Technikeinstellungen im Prozeß gesellschaftlicher Modernisierung. Das Beispiel der Gentechnik : Abschlußbericht. In: *Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg* (Hrsg.): Arbeitsbericht Nr. 106, Stuttgart
- Zwick M, Renn O (1998) Wahrnehmung und Bewertung von Technik in Baden Württemberg. Stuttgart, *Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden Württemberg*
- Zwick M, Renn O (2002) Wahrnehmung und Bewertung von Risiken – Ergebnisse des Risikosurvey Baden-Württemberg 2001. Gemeinsamer Arbeitsbericht der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden Württemberg und der Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Technik- und Umweltsoziologie, Arbeitsbericht Nr. 202, Stuttgart

3 Fachlicher Hintergrund zu den ausgewählten Fallbeispielen

Nanomaterialien (NM) bieten aufgrund ihrer Eigenschaften vielfältige Variationsmöglichkeiten, die zu zahlreichen innovativen Produkten und Technologien geführt haben. Dabei werden die Eigenschaften von NM bestimmt durch deren Zusammensetzung, Struktur, Größe und Oberflächeneigenschaften. Diese Besonderheiten führen zu nanospezifischen Funktionalitäten, z.B. strukturelle, katalytische, magnetische oder optische Eigenschaften, die sich grundlegend von nicht nanoskaligem Material gleicher chemischer Zusammensetzung (bulk-Material) unterscheiden (SRU 2011) und die die Verwendung von NM technologisch interessant machen. Durch diese Entwicklung ist seit der Jahrtausendwende die Menge an NM, die bei Herstellung, Transport, Anwendung und Entsorgung in die Umwelt gelangen, erheblich gestiegen (Piccinno et al. 2012). Betroffen sind alle Umweltkompartimente, z.B. durch Abrieb, Reinigung, Verbrennung oder gezielte Applikationen.

3.1 Metallische und metalloidische Nanopartikel

Die Erforschung der technischen Eigenschaften und Verwendungen von NM hat einen deutlichen Vorsprung gegenüber den toxikologischen und insbesondere den ökotoxikologischen Auswirkungen (Kahru & Ivask 2013) und steckt besonders für Böden noch in einem sehr frühen Stadium (Pan & Xing 2012). Von besonderer Bedeutung unter den NM sind sowohl in technischer Hinsicht als auch hinsichtlich ihrer möglichen Effekte auf Mensch und Umwelt metallische und metalloidische Nanopartikel (NP). Während Siliciumdioxid-NP und Titandioxid-NP die größten Produktionsvolumina aufweisen, sind Silber-NP durch ihre vielseitige Anwendbarkeit als antimikrobielle Agenzien in besonders vielen Produkten verbreitet (Sweet et al. 2012). Eine aktuelle Bestandsaufnahme der Produktionsvolumina von NM weltweit und in Europa auf Basis von Expertenbefragungen zeigt die Bedeutung von metallischen und insbesondere metalloidischen Nanopartikeln, darunter Siliciumdioxid-NP, Titandioxid-NP, Zinkoxid-NP, Eisenoxid-NP, Aluminiumoxid-NP, Ceroxid-NP und Silber-NP, die in verschiedensten Anwendungsbereichen zum Einsatz kommen (Piccinno et al. 2012). Nicht nur die Produktion, sondern auch die Verbreitung von metallischen und metalloidischen Nanopartikeln in der Umwelt nimmt zu. So finden sich Eisen-NP inzwischen verbreitet in der Umwelt, da sie unter anderem in großen Mengen für Grundwassersanierungen eingesetzt werden (Crane & Scott 2012, Noubactep et al. 2012).

Silber- und Eisen-basierte Partikel waren deshalb Gegenstand des Promotionskollegs nano-ToxCom, das sich derzeit in der Abschlussphase befindet (z.B. Filser et al. 2013, Hohnholt et al. 2013, Geppert et al. 2013, Luther et al. 2012, Arndt et al. 2012, Kück et al. 2011). Insgesamt wurden bislang im Rahmen der nanoToxCom-Gruppe mehr als 25 Veröffentlichungen publiziert, weitere sind in Vorbereitung (siehe unter http://www.nanotoxcom.uni-bremen.de/nano_publications_neu.htm). Von besonderer Bedeutung ist die Publikation von Filser et al. (2013): eine große Gemeinschaftspublikation des Kollegs mit insgesamt 22 Autoren bildet am Beispiel von Eisenoxid-Nanopartikeln die große Bandbreite der im Kolleg erarbeiteten Methoden ab und gelangt zu wichtigen Schlussfolgerungen aus den mit einheitlichem Referenzmaterial erzielten Ergebnissen.

In jüngerer Zeit gewinnen weitere metallische und metalloidische NP hinsichtlich ihrer Anwendung und ihres Eintrages in die Umwelt an Bedeutung. Dazu zählen zum einen Kupferoxid-NP (Rubilar et al. 2013, El-Trass et al. 2012, Chibber et al. 2013, Chang et al. 2012 u.v.m.), zum anderen Ceroxid-NP (Piccinno et al. 2012, Cassee et al. 2011, Gaiser et al. 2012 u.v.m.). Die Anwendungsbereiche, Verbreitungswege und toxikologischen bzw. ökotoxikologischen Wirkungen dieser beiden Partikelgruppen sind in den nachfolgenden Kapiteln dargestellt.

3.2 Kupferoxid- und andere Kupfer-haltige Nanopartikel

Aufgrund ihrer vielfältigen Eigenschaften werden Kupferoxid-Nanopartikel (CuO-NP) in sehr verschiedenen Bereichen eingesetzt, unter anderem als Katalysatoren (Jammi et al. 2009), in Batterien (Zhang et al. 2005, Waser et al. 2013, Qui et al. 2013), Gassensoren (Chowdhuri et al. 2004, Yang et al. 2013), Hochtemperatur-Kondensatoren (Dar et al. 2008) und in sola-

ren Energiewandlern (Yin et al. 2005). Darüber hinaus sind CuO-NP möglicherweise in der Lage, teure Edelmetall-Katalysatoren in der Kohlenmonoxid-Oxidation zu ersetzen (Zhou et al. 2006). Aufgrund der hervorragenden thermischen Leitfähigkeit sind CuO-NP-Dispersionen als wärmeübertragende Fluide in maschinentechnischen Anwendungen denkbar (Chang et al. 2005).

Neben diesen Anwendungen und potenziellen Möglichkeiten resultieren die Hauptanwendungen von CuO-NP aus ihren antimikrobiellen Eigenschaften, z.B. in Schiffsanstrichen („Antifouling“), Lacken oder medizinischen Produkten (Watermann et al. 2010, Ahmad et al. 2012, Borkow et al. 2010). In diesem Zusammenhang stellen CuO-NP eine kostengünstige Alternative zu den deutlich teureren Silber-NP als antimikrobielle Substanzen dar, da bereits das Ausgangsprodukt Kupfer deutlich weniger (3,6 US Dollar pro Pfund) als Silber (30 US Dollar pro Pfund) kostet (Jia et al. 2012, Rubilar et al. 2013). Ebenso kann Kupferoxid leichter als Silber mit Polymeren vermischt werden, um Komposite zu erhalten (Chang et al. 2012). Die antimikrobiellen Eigenschaften von nanopartikulärem Kupfer richten sich gegen eine Vielzahl von Bakterien und Pilzen (Ramayadevi et al. 2012). Die Kombination von antimikrobiellen und nanospezifischen Eigenschaften bietet Potenziale für vielfältige Anwendungen, z.B. für die Medizintechnik, für Wasseraufbereitungsverfahren und die Verarbeitung von Nahrungsmitteln (Veerapandian et al. 2012). Am Beispiel von Legionellen konnte kürzlich gezeigt werden, dass CuO-NP zu einer Wachstumshemmung sowie zu einer Verminderung der Expression von Virulenzgenen von *Legionella pneumophila* führt, was die Partikel für die Desinfektion von Trinkwasser interessant macht (Lu et al. 2013). Auch die Einbindung von Cu-haltigen Nanokompositen in Polymere im Hinblick auf Einsatzmöglichkeiten in Lebensmittelverpackungen wurde untersucht (Longano et al. 2012), ebenso die Verwendung von Cu-haltigen Nanopartikeln in Alginat-imprägnierten Baumwollstoffen (Bajpai et al. 2012). Voraussetzung für solche Anwendungsmöglichkeiten ist allerdings, dass mögliche Risiken sehr genau untersucht werden, bevor sie zum Einsatz kommen.

Wegen ihrer vielfältigen Einsatzmöglichkeiten wurden in den letzten Jahren verstärkte Anstrengungen unternommen, CuO-NP (bestehend aus nanopartikulärem CuO, Cu₂O oder Cu₄O₃) sowie weitere Cu-haltige NP, darunter Cu⁰- und CuS-haltige Partikel, biosynthetisch herzustellen (Rubilar et al. 2013). Die sich daraus ergebenden Anwendungsmöglichkeiten sind groß. So haben Kupfer-haltige Nanopartikel und -materialien bemerkenswerte katalytische Eigenschaften (Mitsudome et al. 2008). Da entsprechende Katalysatoren rezyklierbar und vielfach wiederverwendbar sind, wurden sie in jüngster Zeit intensiv untersucht (Ramu 2012, Santhanalakshmi & Parimala 2012; Svintsitskiy et al. 2013). Am Beispiel der Synthese von biologisch aktiven Substanzen konnte gezeigt werden, dass sich nanopartikuläre Cu-Katalysatoren als hocheffizient erwiesen, da die Reaktion bei Raumtemperatur, mit kurzen Reaktionszeiten, hohen Ausbeuten und auch nach vielen Zyklen ohne Effizienzverlust ablief (Dewan et al. 2012). Auch die Detoxifizierung von Umweltschadstoffen kann durch nanopartikuläres Kupfer katalysiert werden, wie am Beispiel der Dechlorierung von Dichlormethan, einem Grundwasser-gefährdenden chlorierten Kohlenwasserstoff, durch nullwertige Cu⁰-Nanopartikel in Anwesenheit von NaBH₄ gezeigt werden konnte (Huang et al. 2012). Auch für die Detoxifizierung weiterer umweltrelevanter Schadstoffe erwies sich nanopartikuläre Kupfer als geeignet, wie am Beispiel aromatischer Nitroverbindungen nachgewiesen wurde (Duan et

al. 2012). Diese Ergebnisse zeigen zwar ein Potential für die Remediation von kontaminierten Grundwässern, jedoch sollten angesichts der hohen Toxizität von Kupfer die damit verbundenen Risiken sehr genau geprüft werden, bevor derartige Partikel zum Einsatz kommen.

Neben dem Einsatz als Katalysatoren kommen Kupfer-basierte Nanopartikel auch für Anwendungen im Elektronik-Bereich in Frage, z.B. bei Tintenstrahlverfahren zur Generierung von elektronischen Labeln (Cheon et al. 2012) oder Speichermedien (Gupta et al. 2012). Voraussetzung dafür sind gut dispergierte Partikellösungen mit enger Größenverteilung. Weiterhin eignen sich Kupfer-haltige Nanopartikel als sogenannte photoakustische Kontrastmittel für bildgebende Verfahren in der Medizin (Ku et al. 2012) oder auch als elektrochemische Biosensoren (Srivastava et al. 2013, Sing et al. 2013).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich Kupferoxid (CuO , Cu_2O , Cu_4O_3) – Nanopartikel und andere kupferhaltige Nanopartikel (Cu^0 , CuS) für eine Vielzahl von Applikationen eignen, insbesondere vor dem Hintergrund, dass die Materialien deutlich günstiger sind als andere Metall-basierte Nanomaterialien, wie Gold- oder Silber-Nanopartikel. Die Vielzahl aktueller Untersuchungen zeigt, dass die Anwendungen von nanopartikulärem Kupfer immer mehr Beachtung finden. Deutlich wird aber auch der Forschungsbedarf an toxikologischen und ökotoxikologischen Untersuchungen, um diese Materialien künftig sicher einsetzen zu können (vgl. Kap. 3.4.1).

3.3 Ceroxid-Nanopartikel

Ceroxid-Nanopartikel (CeO_2 -NP) werden seit einigen Jahren in vielen Bereichen und Produkten eingesetzt, vorrangig als Zusatzstoff für Diesel in Abgaskatalysatoren, aber auch als Poliermittel für optische Gläser und Halbleitersubstrate oder in Beschichtungen aufgrund ihrer UV-Absorption, sowie als Antireflexbeschichtung für Infrarotfilter und in Brennstoffzellen.

In jüngerer Zeit kommen weitere potenzielle Anwendungsbereiche hinzu: CeO_2 -NP wurden erfolgreich eingesetzt für die Entwicklung eines Chemolumineszenz-Sensors für Wasserstoffperoxid (Li et al. 2013). Das Microarray-basierte Messverfahren erwies sich als sensitiv, selektiv, einfach und zeitsparend und zeigte zudem eine hohe Reproduzierbarkeit. Auf der Basis von CeO_2 -NP wurde ein leistungsfähiger Chemosensor mit hoher Sensitivität für Ethanol entwickelt (Khan et al. 2011). In der gleichen Arbeit wurde demonstriert, dass sich CeO_2 -NP auch für den photokatalytischen Abbau von toxischen Substanzen, darunter Acridinorange, eignet, was die Partikel für Applikationen im Umweltbereich interessant macht. Auch im Bereich Abwasserreinigung ergeben sich vielversprechende Perspektiven durch den Einsatz von CeO_2 -NP. So wurde die katalytische Aktivität in Bezug auf den Abbau des Modellschadstoffes Kongorot getestet (Li et al. 2012). Nach Optimierung der Abbaubedingungen konnte mit nanopartikulärem CeO_2 eine exzellente Reinigungsleistung in Kongorot-kontaminierten Abwässern erzielt werden.

Weiterhin könnten CeO_2 -NP auch im Zusammenhang mit medizinischen Anwendungen an Bedeutung gewinnen. Ein vielversprechender Ansatz könnte die Behandlung von Krebser-

krankungen mittels CeO₂-NP sein (Wason & Zhao 2013). Während Krebszellen auf die Partikel toxisch reagieren und für eine Strahlenbehandlung sensibilisiert werden, führen die CeO₂-NP bei normalem Gewebe nur zu minimalen toxischen Reaktionen. Für die geringe Toxizität gegenüber normalem Gewebe sind offensichtlich antioxidative Eigenschaften von CeO₂-NP verantwortlich, die diese Partikel auch für die Behandlung anderer Krankheiten, welche durch eine Akkumulation von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) charakterisiert sind (wie z.B. Diabetes oder die Degeneration der Macula), interessant werden lassen (Wason & Zhao 2013).

Als Katalysator, der dem Kraftstoff hinzugefügt wird, führen CeO₂-NP zusammen mit einem Filter zu einer Reduktion der Feinstaub- und NO_x-Emission, zugleich aber zu einem dramatischen Anstieg der Ultrafeinpartikel-Emission (Partikel <100nm) (Cassee et al. 2011, Farfaletti et al. 2005, Kuhlbusch & Nickel 2010, Park et al. 2008). Trotz effektiver Filterung wird ein Teil der CeO₂-NP mit dem Abgas emittiert. In einer modernen Müllverbrennungsanlage werden CeO₂-NP jedoch effektiv zurückgehalten - der Großteil der Partikel wurde unverändert oder lose gebunden an den Filtern und in der Schlacke nachgewiesen (Walser et al. 2012). Weitere Expositionen der Umwelt erfolgen bei Poliervorgängen, aus dem Abrieb von Beschichtungen und über das Abwasser. Partikel können aus der Atmosphäre sedimentieren oder ausgewaschen werden und somit in Gewässer und Böden übergehen. Ein Übergang in die Nahrungskette wurde von mehreren Autoren gezeigt (Lopez-Moreno 2010a, Wang et al. 2012, Zhao & Wang 2012).

Gelangen CeO₂-NP ins Abwasser, wird zwar ein Großteil im Klärschlamm zurückgehalten, doch bis zu 6% (Gewicht) erreichen auf diesem Weg direkt die Oberflächengewässer (Limbach et al. 2008, Gómez-Rivera et al. 2012). Wird der Klärschlamm auf Böden aufgetragen, können beim Abbau CeO₂-NP freigesetzt werden und in den Boden gelangen. Die wenigen Studien zum Verhalten von CeO₂-NP bzw. CeO₂-NP -haltigem Klärschlamm im Boden weisen auf eine geringe Retention hin (Cornelis et al. 2011).

Aus Verbrennungsvorgängen emittierte CeO₂-NP können vom Menschen über Inhalation aufgenommen werden. In einer Studie in Newcastle (UK) wurden 0,01 µg/m³ CeO₂-NP in der Atmosphäre gemessen, und für eine Straßenschlucht wurden Werte zwischen 20 und 80 µg Ce/m³ Luft modelliert (Park et al. 2008). In einem aquatischen Modellökosystem wurden 75% der zugegebenen CeO₂NP im Sediment wiedergefunden (Zhang et al. 2012), dem Kompartiment, dem in aquatischen Systemen mit größter Wahrscheinlichkeit die höchste Bedeutung und Aufmerksamkeit zukommen sollte.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich auf der einen Seite neben dem klassischen Einsatzbereich in der Abgaskatalyse neue vielversprechende Anwendungspotenziale für CeO₂-NP auftun, auf der anderen Seite die Anwendungen aber mit Freisetzungen der Partikel verbunden sein können, deren Auswirkungen derzeit noch nicht abschätzbar sind.

3.4 Toxikologische und ökotoxikologische Wirkungen

3.4.1 Kupferoxid-Nanopartikel

Zu den toxikologischen und ökotoxikologischen Wirkungen von CuO-NP liegen zwar eine Reihe von Einzelbefunden (insbesondere jüngeren Datums) vor, systematische Untersuchungen, z.B. an ökotoxikologischen Testbatterien, fehlen aber bislang (Chang et al. 2012).

In zwei aktuellen Übersichtartikeln werden die bislang vorliegenden Daten zu den toxikologischen und ökotoxikologischen Wirkungen von CuO-NP zusammengefasst (Chang et al. 2012, Bondarenko et al. 2013). Im Vergleich zu Untersuchungen mit Zinkoxid-Nanopartikeln und insbesondere Silber-Nanopartikeln erweist sich die Datenlage zu (öko-) toxikologischen Studien von CuO-NP als relativ schlecht (Bondarenko et al. 2013). Untersuchungen wurden durchgeführt mit Crustaceen, Algen, Fischen, Bakterien (insbesondere *Vibrio fischeri*), Hefen, Protozoen sowie an Säugerzellen *in vitro*. Die LC₅₀ – bzw. EC₅₀ –Werte von CuO-NP lagen bei 2 bis 3 mg/L für Crustaceen und Algen, bei > 100 mg/L für Protozoen und Bakterien und bei 10 bis 100 mg/L für die meisten anderen der untersuchten Organismen. Wegen der niedrigen LC₅₀ – bzw. EC₅₀ –Werte für Crustaceen und Algen werden CuO-NP damit als toxisch für aquatische Organismen gemäß der EU-Direktive 93/67/EFC (CEC 1996) klassifiziert (zum Vergleich: Silber- und Zinkoxid-Nanopartikel werden als „sehr toxisch“ eingestuft). Dass für alle drei untersuchten Nanopartikel (CuO-, ZnO- und AgNP) die Gruppe der Algen am empfindlichsten reagierte, ist von Bedeutung, weil Mikroalgen als Primärproduzenten eine Schlüsselkomponente für Nahrungsketten in aquatischen Ökosystemen darstellen. Es ist bekannt, dass Veränderungen in der Zusammensetzung und Produktivität von Algenpopulationen direkt oder indirekt Einfluss auf aquatische Ökosysteme haben und zu Veränderungen der Wasserqualität führen (Nyholm & Petersen 1997).

Die Gruppe der Bakterien erwies sich in der Übersichtsstudie von Bondarenko et al. (2013) interessanterweise als wenig sensitiv gegenüber CuO-NP, obwohl nanopartikuläres Kupfer als antimikrobielle Substanz Anwendung findet (siehe Kap. 3.2). Möglicherweise spielen hier Effekte der Testmedien eine Rolle, die zu einer Komplexierung von aus den Nanopartikeln freigesetzten Kupfer-Ionen führen können (Bondarenko et al. 2013). Die gleichen Autoren konnten in einer anderen Studie toxische Effekte für Bakterien durch CuO-NP nachweisen; hier waren es von CuO-NP freigesetzte zweiwertige Cu-Ionen, die zu ROS (Reactive Oxygen Species)-Produktion und DNA-Schäden führten (Bondarenko et al. 2012). Am Beispiel von *Escherichia coli* als Testorganismus konnten Zhao et al. (2013) eine hohe Toxizität von CuO-NP gegenüber Bakterien nachweisen. In Gegenwart von Fulvinsäuren, die eine wichtige Fraktion der organischen Substanz DOM (dissolved organic matter) des Bodens darstellen, konnte die Toxizität von CuO-NP allerdings signifikant vermindert werden. Die Untersuchungen zeigen, dass CuO-NP die bakterielle Zellwand und Zellmembran schädigt und dass Fulvinsäuren den Kontakt zwischen Cu-NP und Membran verhindern (Zhao et al. 2013). Diese Untersuchungen liefern wichtige Erkenntnisse zum Verhalten von CuO-NP in Böden.

Eine Reihe von ökotoxikologischen Einzelstudien zu CuO-NP betreffen insbesondere aquatische Organismen, wobei Algen und Zebrafische die am meisten verbreiteten Modellsysteme sind. Aruoja et al. (2009) untersuchten die Effekte von CuO-NP auf die Alge *Pseudokirchnerella*

riella subcapitata im Vergleich zu nicht-nanopartikulärem CuO als Kontrolle. In niedrigen Konzentrationen wiesen CuO-NP EC_{50} -Werte von 0,71 mg Cu/L auf und waren wasserlöslicher und deutlich toxischer als das nicht-nanopartikuläre bulk-Material ($EC_{50} = 11.55$ mg Cu/L). Die Ergebnisse zeigen, dass die Toxizität von nanopartikulärem und nicht-nanopartikulärem CuO stark von löslichen Cu-Ionen beeinflusst wird. Zu ähnlichen Schlussfolgerungen gelangten Grosell et al. (2007) und Griffitt et al. (2007), die nachwiesen, dass lösliche Cu-Spezies eine hohe Fischtoxizität aufwiesen. Bei Zebrafischen erwies sich das Kiemengewebe als primäres Target von CuO-NP, wobei einige beobachtete Gewebeveränderungen (Morphologie, Genexpression) auf nanospezifische Effekte und nicht nur auf freigesetzte Cu-Ionen zurückzuführen waren (Griffitt et al. 2007). Akkumulation und toxische Effekte durch CuO-NP wurden außerdem im Verdauungstrakt von Miesmuscheln gefunden (Gomes et al. 2012).

In Wasserlinsen wurde der Chlorophyllgehalt durch CuO-NP gesenkt und toxische Effekte beobachtet, die deutlich höher waren als die der Kontrolle mit Cu-Ionen aus bulk-Material, was durch eine höhere Aufnahme von Cu-Ionen, die von NP freigesetzt wurden, erklärt werden konnte (Shi et al. 2011). Phytotoxische und genotoxische Effekte durch CuO-NP konnten für Buchweizen nachgewiesen werden, wobei nicht nur das Wurzelwachstum gehemmt wurde, sondern auch morphologische Veränderungen an den Wurzeln beobachtet wurden (Lee et al. 2013).

Humantoxikologische Untersuchungen und Toxizitätsabschätzungen von CuO-NP in Säugtieren befassen sich hauptsächlich mit den verschiedenen relevanten Expositionsrouten wie dem Respirationstrakt oder dem Verdauungstrakt. Entzündungsreaktionen wurden in den Lungen von Versuchsratten beobachtet, sowohl akute Effekte bei hohen Dosen als auch chronische Effekte bei niedrigeren Dosen oder wiederholter Exposition (Yokohira et al. 2009). Auch Zellkulturen aus humanen Lungen-Epithelzellen zeigten Effekte, wobei oxidativer Stress als primärer toxischer Effekt identifiziert wurde (Wang et al. 2012). Darüber hinaus werden die Katalase-Aktivität und der Glutathion-Stoffwechsel durch CuO-NP beeinträchtigt (Fahmy & Cormier 2009), wobei sich CuO-NP *in vitro* als toxischer erwies als viele andere metalloxidische NP und auch als Kohlenstoff-Nanoröhren (Karlsson et al. 2008).

In einer eigenen aktuellen Publikation der Arbeitsgruppe Dringen, die am beantragten Kolleg NanoCompetence beteiligt ist, wurden die Effekte von mit Dimercaptosuccinat gecoateten CuO-NP auf Gehirnzellen aus Säugerzellkulturen untersucht (Bulcke et al., im Druck). Bei Exposition von Astrozyten mit CuO-NP erhöhten sich die Kupfergehalte in den Zellen und es kam zu zeit-, konzentrations- und temperatur-abhängigen Einschränkungen der Zellvitalität. Dabei erwies sich die Zelltoxizität durch die CuO-NP vergleichbar mit der von Kupfersalzen. Die durch CuO-NP induzierte Toxizität wurde begleitet von einer Zunahme in der Bildung reaktiver Sauerstoffspezies (ROS) in den Zellen, die oxidativen Stress anzeigen (Bulcke et al., im Druck). Diese Untersuchungen stellen wichtige **Vorarbeiten für die Fragestellungen im beantragten Kolleg** dar.

Die dargestellten Ergebnisse weisen somit auf mehr oder weniger toxische und ökotoxische Eigenschaften von CuO-NP hin, die Datenlage ist aber noch unzureichend, insbesondere im Vergleich zu anderen metallischen Nanopartikeln wie z.B. zu Silber-Nanopartikeln.

3.4.2 Ceroxid-Nanopartikel

In aquatischen Testsystemen wurden Daphnien, Fischembryonen und Algen mit CeO₂-NP exponiert (van Hoecke et al. 2009, 2011). Die EC₁₀-Werte für Algen lagen zwischen 2,6 und 5,4 mg/L, für chronisch exponierte Daphnien zwischen 8,8 und 20 mg/L. Erhöhte Mortalität von Daphnien und besonders von Chironomiden wurde bei Exposition CeO₂-NP gefunden, wobei diese auch gentoxisch wirkten (Lee et al. 2009). In einer Arbeit von Garcia et al. (2011) wurden verschiedene standardisierte Biotests angewendet, um die Toxizität von CeO₂-NP zu untersuchen. Eingesetzt wurden ein Biolumineszenz-Test mit *Vibrio fischeri*, ein Akuttest mit *Daphnia magna* sowie Keimungstests mit verschiedenen Arten (*Lactuca sativa*, *Cucumis sativus*, *Solanum lycopersicum*, *Spinacia oleracea*), um die Phytotoxizität zu bestimmen. Es stellte sich heraus, dass CeO₂-NP in allen Tests ausgesprochen toxisch wirkten. Bereits in geringen Konzentrationen führten CeO₂-NP zu mehr als 80% Hemmung im Biolumineszenz-Test und der LC₅₀-Wert für die Mortalität von Daphnien lag bei 0,012 mg/L. Auch die Keimtests zeigten eine hohe Sensitivität gegenüber CeO₂-NP, wobei bei Letzteren Lösemittelleffekte nicht ganz auszuschließen waren. Im Gegensatz zu Garcia et al. (2011) konnten Gaiser et al. (2012) in einem Akuttest mit *Daphnia magna* für Konzentrationen von CeO₂-NP bis zu 10 mg/L keinerlei toxische Effekte beobachten. Erst im chronischen Test mit längeren Expositionen (21 Tage) zeigten sich in einigen Ansätzen Effekte. Die Untersuchung von Gaiser et al. (2012) ist eine der ersten Studien, in denen systematisch mit verschiedenen Testsystemen (humane Hepatozyten, Fisch-Hepatozyten, *Daphnia magna*, *Cyprinus carpio*) die Toxizität von CeO₂-NP (<25nm) untersucht wurde und zum Vergleich CeO₂-Partikel im Mikromaßstab (1-5 µm) herangezogen wurden. Interessanterweise ergaben sich keine wesentlichen Unterschiede im Toxizitätsverhalten von mikro- und nanopartikulärem CeO₂, so dass nanospezifische Effekte nicht sichtbar wurden. Der Vergleich der Arbeiten von Garcia et al. (2011) und Gaiser et al. (2012) macht am Beispiel von Daphnien deutlich, wie widersprüchlich die Datenlage zur Toxizität von CeO₂-NP in der Literatur derzeit ist.

Ein aktuelles Review (Tourinho et al. 2012) zu metall(oxid)ischen NP in Böden enthält nur wenige Referenzen zu CeO₂ und keine zu CuO (sondern ausschließlich zu nicht-oxidischen Cu-NP). Die Referenzen zu CeO₂ beziehen sich fast ausschließlich auf Partikeleigenschaften und -mobilität. Für CeO₂-NP wurden bei realistischen Konzentrationen (< 100 nM) toxische Effekte auf Bodentiere (Nematoden) gezeigt (Zhang et al. 2011). Eine Wachstumsinhibition in Gegenwart von CeO₂-NP konnte für den im Boden lebenden Nematoden *Caenorhabditis elegans* in einer aktuellen Untersuchung nachgewiesen werden (Arnold et al. 2013). Sowohl nanopartikuläres CeO₂ als auch nicht nanopartikuläres bulk-Material führte zu toxischen Effekten, wobei das Ausmaß der Toxizität bei den Nanopartikeln deutlich höher war als beim bulk-Material in äquimolaren Mengen. Neben spezifischen Effekten könnte eine der Ursachen für die Wachstumsinhibition von *C. elegans* in Gegenwart von CeO₂-NP sein, dass die Partikel die bakterielle Biomasse, die als Futterquelle für den Nematoden dient, durch Aggregation einschließen und damit die Verfügbarkeit herabsetzen (Arnold et al. 2013).

In einer aktuellen Studie wurden neben Eisenoxid (Fe₃O₄)- und Zinkoxid (ZnO₂)-NP auch die Effekte von CeO₂-NP auf die mikrobielle Biomasse im Boden untersucht sowie Studien zur-

Verfügbarkeit und Verteilung der NP im Boden durchgeführt (Antisari et al. 2013). Dazu wurden zwei A-Horizonte von Cambisol mit verschiedenen Konzentrationen der metalloxidischen NP dotiert und über 7 Tage (Kurzzeiteffekte) und 60 Tage (Langzeiteffekte) inkubiert. Während Fe_3O_4 - und ZnO_2 -NP zu einer Erhöhung des C/N-Verhältnisses der mikrobiellen Biomasse führte, was darauf hindeutet, dass die pilzliche Biomasse gegenüber der bakteriellen Biomasse zunimmt (Paul & Clark 1996), zeigten CeO_2 -NP keinen signifikanten Effekt auf das C/N-Verhältnis der mikrobiellen Biomasse im Boden. Weiterhin gab es Hinweise darauf, dass in CeO_2 -NP dotierten Böden freigesetztes Ce von Bodenmikroorganismen aufgenommen wird. Die Daten bilden die Basis für weitere Studien, um potenzielle Risiken von CeO_2 -NP in Böden abzuschätzen.

Bandyopadhyay et al. (2012) untersuchten die Effekte von CeO_2 -NP und Zinkoxid (ZnO)-NP auf das Stickstoff-fixierende und in Symbiose mit Wirtspflanzen lebende Bodenbakterium *Sinorhizobium meliloti* als Modellorganismus. Dabei erwiesen sich CeO_2 -NP als weniger toxisch als ZnO -NP, wie anhand von Lebendzellzahluntersuchungen mit *S. meliloti* gezeigt werden konnte. Wachstumstests zeigten, dass CeO_2 -NP lediglich einen bakteriostatischen Effekt auf *S. meliloti* hatten, während bei ZnO -NP ein bakterizider Effekt beobachtet wurde. Beide Partikelarten wurden auf der bakteriellen Zelloberfläche nachgewiesen, wobei CeO_2 -NP in Gegensatz zu ZnO -NP nicht in den periplasmatischen Raum gelangten. Dieser Befund könnte in Zusammenhang mit den unterschiedlichen Toxizitäten von CeO_2 - und ZnO -NP für *S. meliloti* stehen.

Weitere Studien befassen sich mit möglichen Auswirkungen von CeO_2 -NP in Böden. So werden CeO_2 -NP z.B. von Gurken (Pan & Xing 2012) oder Sojabohnenwurzeln konzentrationsabhängig aufgenommen und verursachen gentoxische Effekte (Lopez-Morena et al. 2010b), veränderte Stickstoff-Fixierung und reduziertes Wachstum (Priester et al. 2012). Auch von Mais und Tomaten ist bekannt, dass CeO_2 -NP aufgenommen werden (Zhao et al. 2012, Wang et al. 2012). Für Sojabohnen konnte gezeigt werden, dass CeO_2 -NP hauptsächlich in den Reproduktionsorganen bzw. essbaren Teilen der Pflanze eingelagert wird (Hernandez-Viezcas et al. 2013). In einer aktuellen Arbeit von Morales et al. (2013) wurden Koriander-Pflanzen (*Coriandrum sativum* L.) in Böden gezogen, die mit 0 bis 500 mg/kg CeO_2 -NP dotiert waren. Die Autoren konnten zeigen, dass die Pflanzen in Ansätzen mit 125 mg/kg CeO_2 -NP längere Wurzeln bildeten und erhöhte Katalase-Aktivitäten im Sprossgewebe sowie erhöhte Peroxidase-Aktivitäten im Wurzelgewebe aufwiesen. In Ansätzen mit 500 mg/kg CeO_2 -NP kam es zu einer Cer-Akkumulation im Pflanzengewebe.

Am Beispiel der Hefe *Saccharomyces cerevisiae* als Modellorganismus wurde die Toxizität einer Reihe von metalloxidischen Nanopartikeln untersucht, darunter CeO_2 -NP (Garcia-Saucedo et al. 2011). Als einzige Partikelart führten dispergierte CeO_2 -NP in einer Konzentration von 1.000 mg/L zu einer deutlichen Hemmung (47%) der Sauerstoffaufnahme durch die Hefe. Die CeO_2 -NP führten allerdings nicht zu einer Membranschädigung bei *S. cerevisiae*, so dass die Hemmung der Respiration der Hefe nicht durch Zellschädigung erklärt werden kann.

Für CeO_2 -NP gibt es einige *in vitro*-Studien zur Humantoxikologie, hauptsächlich Lungenzelllinien, da die Lunge den Haupteintrittspfad darstellt, aber auch an Gewebemodellen der Lun-

ge (Übersicht in Cassee et al. 2011). Viele Ergebnisse weisen darauf hin, dass zelluläre ROS-getriggerte Apoptose ursächlich für die Zytotoxizität ist; allerdings können CeO₂-NP auch als Radikalfänger fungieren (Hirst et al. 2009), weshalb biochemische und medizinische Anwendungen zur Diskussion stehen (Niu et al. 2007).

Die dargestellten Ergebnisse zeigen, dass auch die Datenlage zu den (öko-)toxikologischen Wirkungen von CeO₂-NP noch sehr unzureichend ist, dass systematische Untersuchungen mit Ausnahme von Gaiser et al. (2012) weitgehend fehlen und dass die Daten zum Teil widersprüchlich sind.

3.5 Partikeleigenschaften und Umgebungsmedium

Neben Größe und Form der NP sind die Oberflächeneigenschaften (Ladung, Coating, Struktur, Funktionalisierung) entscheidend für Löslichkeit, Aggregation und damit Bioverfügbarkeit und Transport (Kim et al. 2013, Pan & Xing 2012, Petosa et al. 2012, Zhu et al. 2013). Im Übersichtsartikel von Chang et al. (2012) sind die Auswirkungen der wichtigsten Oberflächeneigenschaften am Beispiel von CuO- und ZnO-NP zusammengefasst. So konnte gezeigt werden, dass die Zytotoxizität von NP beeinflusst wird durch die jeweilige Oberflächenladung (Hu et al. 2009). Oberflächeneigenschaften von NP können durch Funktionalisierungen verändert werden, wodurch die Dispersivität von NP in wässrigen Lösungen erhöht werden kann. Die Oberflächeneigenschaften bestimmen maßgeblich das Aggregationsverhalten von NP und dieses wiederum hat Einfluss auf die Toxizität bzw. Ökotoxizität der NP (Chang et al. 2012, Bondarenko et al. 2013). Die Oberflächeneigenschaften metallischer und metalloxidischer NP haben aber nicht nur Einfluss auf die Löslichkeit und das Aggregationsverhalten von NP, sondern auch auf die Freisetzung von Metallionen, die wiederum toxische bzw. ökotoxische Effekte auslösen können. Begünstigt wird die Freisetzung der Metallionen durch das hohe Oberflächen-Volumenverhältnis von NP, was in einigen Fällen dazu führen kann, dass nanopartikuläre Metalle/Metalloxide deutlich toxischer sind als das entsprechende nicht nanopartikuläre bulk-Material (Blinova et al. 2010).

Einen großen Einfluss auf Löslichkeit, Aggregation und damit Bioverfügbarkeit und Transport von NP hat auch das Umgebungsmedium über chemische Interaktionen, Sorptionsprozesse an die feste Matrix sowie biologischen Abbau (Batley et al. 2013, Keller et al. 2010, Pan & Xing 2012). Von großer Bedeutung für die Verteilung der NP sind Proteine und organische Substanzen, die beide die Dispersion der NP im Medium stabilisieren (Nel et al. 2009, Batley et al. 2013, Gao et al. 2009). Während die Zusammensetzung der Proteincorona der Partikel in Zellkulturmedien in den letzten Jahren vermehrt untersucht wurde (Nel et al. 2009, Tenzer et al. 2011), wurden im Umweltbereich nur Arbeiten gefunden, in denen Summenparameter wie gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) zwar im Medium, nicht aber an den Partikeln selbst gemessen wurden (z. B. Quik et al. 2010).

3.6 Schlussfolgerungen

Für die technologisch sehr interessanten CuO-NP und CeO₂-NP bestehen erhebliche Kenntnislücken in Bezug auf ihre toxikologischen und ökotoxikologischen Wirkungen (insbesondere im Boden) sowie ihr Verhalten in verschiedenen Umweltmedien. An den Fallbeispielen sollen für das Promotionskolleg NanoCompetence insbesondere diejenigen Kenntnislücken geschlossen werden, die für die Bewertung der Umweltentlastungs- versus Umweltbelastungspotenziale, für die künftige Risikoregulierung sowie für öffentliche Entscheidungsprozesse über den Umgang mit NM von Bedeutung sind. Dies betrifft vor allem die Untersuchung von toxischen und ökotoxischen Langzeiteffekten, von möglicherweise atypischen Dosis-Wirkungseffekten – bedingt durch die Neigung von NP, Agglomerate und Aggregate zu bilden (Filser et al. 2013, SRU 2011) - und die Untersuchung von Struktur-Wirkungs-Beziehungen der Biomolekül-Corona, die die Partikel in Umweltmedien unter verschiedenen Umgebungsbedingungen bilden.

3.7 Zitierte Literatur

- Ahmad Z, Vargas-Reus MA, Bakhshi R, Ryan F, Ren GG, Oktar F, Allaker RP (2012) Antimicrobial Properties of Electrically Formed Elastomeric Polyurethane-Copper Oxide Nanocomposites for Medical and Dental Applications. In: Duzgunes N (Ed) *Methods in Enzymology*, 509: 87-99.
- Antisari LV; Carbone S; Gatti A, Vianello G, Nannipieri P (2013) Toxicity of metal oxide (CeO₂, Fe₃O₄, SnO₂) engineered nanoparticles on soil microbial biomass and their distribution in soil. *Soil Biology & Biochemistry*, Volume: 60, 87-94
- Arndt, D., Gesing, T.M., Bäumer, M. (2012). Surface Functionalization of Iron Oxide Nanoparticles and their Stability in Different Media. *ChemPlusChem*, DOI: 10.1002/cplu.201200065
- Arnold MC; Badireddy AR; Wiesner MR; Di Giulio RT, Meyer JN (2013) Cerium Oxide Nanoparticles are More Toxic than Equimolar Bulk Cerium Oxide in *Caenorhabditis elegans*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* Volume: 65 Issue: 2, 224-233 DOI: 10.1007/s00244-013-9905-5
- Aruoja V., Dubourguier H.-C., Kasemets K., Kahru A. (2009) Toxicity of nanoparticles of CuO, ZnO and TiO₂ to microalgae *Pseudokirchneriella subcapitata*. *Sci. Total Environ.* 407, 1461–1468.
- Bajpai SK, Bajpai M, Sharma L (2012) Copper nanoparticles loaded alginate-impregnated cotton fabric with antibacterial properties. *J Appl Polym Sci* 126:E318–E325
- Bandyopadhyay S; Peralta-Videa JR.; Plascencia-Villa G, Jose-Yacamán M, Gardea-Torresdey JL (2012) Comparative toxicity assessment of CeO₂ and ZnO nanoparticles towards *Sinorhizobium meliloti*, a symbiotic alfalfa associated bacterium: Use of advanced microscopic and spectroscopic techniques. *Journal of Hazardous Materials* Volume: 241, 379-386
- Batley GE; Kirby JK; McLaughlin MJ (2013) Fate and Risks of Nanomaterials in Aquatic and Terrestrial Environments. *Accounts of Chemical Research* 46(3): 854-862.
- Blinova, I.; Ivask, A.; Heinlaan, M.; Mortimer, M.; Kahru, A. (2010) Ecotoxicity of nanoparticles of CuO and ZnO in natural water. *Environ. Pollut.* 158, 41–47

- Bondarenko O.; Ivask A.; Käkinen A.; Kahru A. (2012) Sub-toxic effects of CuO nanoparticles on bacteria: Kinetics, role of Cu ions and possible mechanisms of action. *Environ. Pollut.* 169, 81–89.
- Bondarenko O; Juganson K; Ivask A; Kasemets K, Kahru A (2013) Toxicity of Ag, CuO and ZnO nanoparticles to selected environmentally relevant test organisms and mammalian cells in vitro: a critical review. *Archives of Toxicology* Volume: 87 Issue: 7, 1181-1200 DOI: 10.1007/s00204-013-1079-4
- Borkow G, Okon-Levy N, Gabbay J (2010) Copper Oxide Impregnated Wound Dressing: Biocidal and Safety Studies. *Wounds* 22: 301-310.
- Bulcke F., Thiel K., Dringen R. (2013) Uptake and toxicity of copper oxide nanoparticles in cultured primary brain astrocytes. *Nanotoxicology*, in press.
- Cassee FR; van Balen EC; Singh C (2011) Exposure, Health and Ecological Effects Review of Engineered Nanoscale Cerium and Cerium Oxide Associated with its Use as a Fuel Additive. *Critical review in toxicology* 41: 213-229
- CEC (1996) CEC (Commission of the European Communities) technical guidance document in support of commission directive 93/67/EEC on risk assessment for new notified substances. Part II, Environmental Risk Assessment. Office for official publications of the European Communities, Luxembourg
- Chang H.; Jwo C.S.; Lo C.H.; Tsung T.T.; Kao M.J.; Lin H.M. (2005) Rheology of CuO nanoparticle suspension prepared by ASNSS. *Rev. Adv. Mater. Sci.* 10, 128–132.
- Chang Y-N, Zhang M, Xia L, Zhang J, Xing G. (2012) The Toxic Effects and Mechanisms of CuO and ZnO Nanoparticles. *Materials* 5(12):2850-2871.
- Cheon J, Lee J, Kim J (2012) Inkjet printing using copper nanoparticles synthesized by electrolysis. *Thin Solid Films* 520:2639–2643
- Chibber, Sandesh; Ansari, Shakeel Ahmed; Satar, Rukhsana. (2013) New vision to CuO, ZnO, and TiO₂ nanoparticles: their outcome and effects. *Journal of Nanoparticle Research* Volume: 15 Issue: 4 Article Number: UNSP 1492 DOI: 10.1007/s11051-013-1492-x
- Chowdhuri A.; Gupta V.; Sreenivas K.; Kumar R.; Mozumdar S.; Patanjali P.K. (2004) Response speed of SnO₂-based H₂S gas sensors with CuO nanoparticles. *Appl. Phys. Lett.* 84, 1180–1182.
- Cornelis G, Ryan B, McLaughlin MJ, Kirby JK, Beak D; Chittleborough D (2011) Solubility and Batch Retention of CeO₂ Nanoparticles in Soils *Environmental Science and Technology* 45: 2777–2782
- Crane RA, Scott TB (2012) Nanoscale zero-valent iron: Future prospects for an emerging water treatment technology. *Journal of Hazardous Materials* 211, 112-125
- Dar M.A.; Kim Y.S.; Kim W.B.; Sohn J.M.; Shin H.S. (2008) Structural and magnetic properties of CuO nanoneedles synthesized by hydrothermal method. *Appl. Surf. Sci.* 254, 7477–7481.
- Dewan M, Kumar A, Saxena A, De A, Mozumdar S (2012) Biginelli reaction catalyzed by copper nanoparticles. *PLoS ONE* 7:e43078
- Duan Z, Ma G, Zhang W (2012) Preparation of copper nanoparticles and catalytic properties for the reduction of aromatic nitro compounds. *Bull Korean Chem Soc* 33: 4003–4006
- El-Trass A.; ElShamy H.; El-Mehasseb I.; El-Kemary M (2012) CuO nanoparticles: Synthesis, characterization, optical properties and interaction with amino acids. *Applied Surface Science* Volume: 258 Issue: 7, 2997-3001 DOI: 10.1016/j.apsusc.2011.11.025

- Fahmy B.; Cormier S.A. (2009) Copper oxide nanoparticles induce oxidative stress and cytotoxicity in airway epithelial cells. *Toxicol. In Vitro* 23, 1365–1371.
- Farfaletti A, Astorga C, Martini G, Manfredi U, Mueller A, Rey M, De Santi G, Krasenbrink A, Larsen BR (2005) Effect of water/fuel emulsions and a cerium-based combustion improver additive on HD and LD diesel exhaust emissions. *Environmental Science and Technology* 39: 6792-6799.
- Filser J, Arndt D, Baumann J, Geppert M, Hackmann S, Luther EM, Pade C, Prenzel K, Wigger H, Arning J, Hohnholt MC, Köser J, Kück A, Lesnikow E, Neumann J, Schütrumpf S, Warrelmann J, Bäumer M, Dringen R, von Gleich A, Swiderek P, Thöming J. (2013). Intrinsically green iron oxide nanoparticles? From synthesis via (eco-)toxicology to scenario modelling. *Nanoscale* 5:1034-1046.
- Gaiser BK; Fernandes TF; Jepson MA.; Lead JR, Tyler CR, Baalousha M, Biswas A, Britton GJ, Cole PA, Johnston BD, Ju-Nam Y, Rosenkranz P, Scown TM, Stone V (2012) Interspecies comparisons on the uptake and toxicity of silver and cerium dioxide nanoparticles. *Environmental Toxicology and Chemistry* Volume: 31 Issue: 1 Special Issue: SI Pages: 144-154 DOI: 10.1002/etc.703
- Garcia A; Espinosa R; Delgado L; Casals E, Gonzalez E, Puentes V, Barata C, Font X, Saez A (2011) Acute toxicity of cerium oxide, titanium oxide and iron oxide nanoparticles using standardized tests. *Desalination* Volume: 269 Issue: 1-3, 136-141
- Garcia-Saucedo C; Field JA; Otero-Gonzalez L; Sierra-Alvarez R (2011) Low toxicity of HfO₂, SiO₂, Al₂O₃ and CeO₂ nanoparticles to the yeast, *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Hazardous Materials* Volume: 192 Issue: 3, 1572-1579
- Geppert, M., C. Petters, K. Thiel, R. Dringen (2013) Presence of serum alters properties of iron oxide nanoparticles and lowers their accumulation by cultured brain astrocytes. *J. Nanopart. Res.* 15, 1349.
- Gomes T.; Pereira C.G.; Cardoso C.; Pinheiro J.P.; Cancio I.; Bebianno M.J. (2012) Accumulation and toxicity of copper oxide nanoparticles in the digestive gland of *Mytilus galloprovincialis*. *Aquat. Toxicol.* 118–119, 72–79.
- Gómez-Rivera F, Field JA, Brown D, Sierra-Alvarez R (2012) Fate of cerium dioxide (CeO₂) nanoparticles in municipal wastewater during activated sludge treatment. *Bioresource technology* 108: 300-304.
- Griffitt R.J.; Weil R.; Hyndman K.A.; Denslow N.D.; Powers K.; Taylor D.; Barber D.S. (2007) Exposure to copper nanoparticles causes gill injury and acute lethality in Zebrafish (*Danio rerio*). *Environ. Sci. Technol.* 41, 8178–8186.
- Grosell M.; Blanchard J.; Brix K.V.; Gerdes R. (2007) Physiology is pivotal for interactions between salinity and acute copper toxicity to fish and invertebrates. *Aquat. Toxicol.* 84, 162–172.
- Gupta RK, Kusuma DYK, Lee OS, Srinivasan MP (2012) Copper nanoparticles embedded in a polyimide film for non-volatile memory applications. *Mater Lett* 68:287–289
- Hernandez-Viezcás, J. A.; Castillo-Michel, H.; Andrews, J. C.; Cotte, M.; Rico, C.; Peralta-Videa, J. R.; Priester, J. H.; Holden, P. A.; Gardea-Torresdey, J. L. In situ synchrotron fluorescence mapping and coordination of CeO₂ and ZnO nanoparticles in soil cultivated soybean (*Glycine max*). *ACS Nano* 2013, 7, 1415–1423.
- Hirst SM, Karakoti AS, Tyler RD, Sriranganathan N, Seal S, Reilly CM (2009) Anti-inflammatory Properties of Cerium Oxide Nanoparticles. *Small* 5: 2848-2856.

- Hohnholt, M.C., M. Geppert, E.M. Luther, C. Petters, F. Bulcke, R. Dringen (2013) Handling of iron oxide and silver nanoparticles by astrocytes. *Neurochem. Res.* 38, 227-239.
- Hu, X.; Cook, S.; Wang, P.; Hwang, H.-M. (2009) *In vitro* evaluation of cytotoxicity of engineered metal oxide nanoparticles. *Sci. Total Environ.* 407, 3070–3072.
- Huang C-C, Lo S-L, Lien H-L (2012) Zero-valent copper nanoparticles for effective dechlorination of dichloromethane using sodium borohydride as a reductant. *Chem Eng J* 203:95–100
- Jia B, Mei Y, Cheng L, Zhou J, Zhang L (2012) Preparation of copper nanoparticles coated cellulose films with antibacterial properties through one-step reduction. *Appl Mat Interfaces* 4:2897–2902
- Jammi S.; Sakthivel S.; Rout L.; Mukherjee T.; Mandal S.; Mitra R.; Saha P.; Punniyamurthy T. (2009) CuO nanoparticles catalyzed C-N, C-O, and C-S cross-coupling reactions: Scope and mechanism. *J. Org. Chem.* 74, 1971–1976.
- Kahru A, Ivask A. (2013). Mapping the Dawn of Nanoecotoxicological Research. *Accounts of Chemical Research* 46:823-833.
- Karlsson H.L.; Cronholm P.; Gustafsson J.; Möller L. (2008) Copper Oxide Nanoparticles Are Highly Toxic: A comparison between metal oxide nanoparticles and carbon nanotubes. *Chem. Res. Toxicol.* 21, 1726–1732.
- Keller AA, Wang H, Zhou D, Lenihan HS, Cherr G, Cardinale BJ, Miller R, Ji Z (2010) Stability and Aggregation of Metal Oxide Nanoparticles in Natural Aqueous Matrices *Environmental Science & Technology* 44(6): 1962–1967.
- Khan SB; Faisal M; Rahman, Mohammed MR, Jamal A (2011) Exploration of CeO₂ nanoparticles as a chemi-sensor and photo-catalyst for environmental applications. *Science of the Total Environment* Volume: 409 Issue: 15, 2987-2992 DOI: 10.1016/j.scitotenv.2011.04.019
- Kim ST, Saha K, Kim C, Rotello VM (2013) The Role of Surface Functionality in Determining Nanoparticle Cytotoxicity. *Accounts of Chemical Research* 46(3): 681-691
- Ku G, Zhou M, Song SL, Huang Q, Hazle J, Li C (2012) Copper sulfide nanoparticles as a new class of photoacoustic contrast agent for deep tissue imaging at 1064 nm. *ACS Nano* 6:7489–7496
- Kück, A., M. Steinfeldt, K. Prenzel, P. Swiderek, A. v. Gleich and J. Thöming (2011) Green nanoparticle production using micro reactor technology. *J. Phys.: Conf. Ser.* 304, 012074
- Kuhlbusch T. & Nickel C. (2010) *UBA-Bericht* 52/2010; UBA FB001395
- Lee s; Chung H; Kim S; Lee I (2013) The Genotoxic Effect of ZnO and CuO Nanoparticles on Early Growth of Buckwheat, *Fagopyrum Esculentum*. *Water, Air and Soil Pollution* Volume: 224 Issue: 9 Article Number: 1668 DOI: 10.1007/s11270-013-1668-0
- Lee, Si-Won; Kim, Sung-Man; Choi, Jinhee (2009) Genotoxicity and ecotoxicity assays using the freshwater crustacean *Daphnia magna* and the larva of the aquatic midge *Chironomus riparius* to screen the ecological risks of nanoparticle exposure. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 28: 86-91
- Li H; Wang G; Zhang F, Cai Y, Wang Y, Djerdj I (2012) Surfactant-assisted synthesis of CeO₂ nanoparticles and their application in wastewater treatment. *RSC Advances* Volume: 2 Issue: 32, 12413-12423 DOI: 10.1039/c2ra21590j
- Li X; Zhang Z; Tao L; Li Y, Yun Li Y (2013) A Chemiluminescence Microarray Based on Catalysis by CeO₂ Nanoparticles and Its Application to Determine the Rate of Removal of Hydrogen Peroxide

- by Human Erythrocytes. *Applied Biochemistry and Biotechnology* Volume: 171 Issue: 1, 63-71
DOI: 10.1007/s12010-013-0345-5
- Limbach LK, Bereiter B, Müller E, Krebs R, Gälli R, Stark WJ (2008) Removal of oxide nanoparticles in a model wastewater treatment plant: Influence of agglomeration and surfactants on clearing efficiency *Environmental Science and Technology* 42: 5828-5833.
- Longano D, Ditaranto N, Cioffi N, Di Niso F, Sibillano T, Ancona A, Conte A, Del Nobile MA, Sabbatini L, Torsi L (2012) Analytical characterization of laser-generated copper nanoparticles for antibacterial composite food packaging. *Anal Bioanal Chem* 403:1179–1186
- López-Moreno ML, de la Rosa G, Hernández-Viezcas JA, Peralta-Videa JR, Gardea-Torresdey J (2010a) X-ray Absorption Spectroscopy (XAS) Corroboration of the Uptake and Storage of CeO₂ Nanoparticles and Assessment of Their Differential Toxicity in Four Edible Plant Species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58: 3689-3693.
- López-Moreno ML, De La Rosa G, Hernández-Viezcas JA, Castillo-Michel H, Botez CE, Peralta-Videa JR, Gardea-Torresdey JL. (2010b). Evidence of the Differential Biotransformation and Genotoxicity of ZnO and CeO₂ Nanoparticles on Soybean (*Glycine max*) Plants. *Environmental Science and Technology* 44:7315-7320.
- Lu J; Struewing I; Buse HY.; Kou J, Shuman HA, Faucher SP, Ashbolt NJ (2013) *Legionella pneumophila* Transcriptional Response following Exposure to CuO Nanoparticles. *Applied and Environmental Microbiology* Volume: 79 Issue: 8, 2713-2720 DOI: 10.1128/AEM.03462-12
- Luther, E.M., M.M. Schmidt, J. Diendorf, M. Eppele, R. Dringen (2012) Upregulation of metallothioneins after exposure of cultured primary astrocytes to silver nanoparticles. *Neurochem. Res.* 37, 1639-1648.
- Morales MI; Rico CM.; Hernandez-Viezcas JA; Nunez JE, Barrios AC, Tafoya A, Flores-Marges JP, Peralta-Videa JR, Gardea-Torresdey JL (2013) Toxicity Assessment of Cerium Oxide Nanoparticles in Cilantro (*Coriandrum sativum* L.) Plants Grown in Organic Soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* Volume: 61 Issue: 26, 6224-6230 DOI: 10.1021/jf401628v
- Mitsudome T, Mikami Y, Ebata K, Mizugaki T, Jitsukawa K, Kaneda K (2008) Copper nanoparticles on hydrotalcite as a heterogeneous catalyst for oxidant-free dehydrogenation of alcohols. *Chem Commun* 39:4804–4806
- Nel AE, Mädler L, Velegol D, Xia T, Hoek EMV, Somasundaran P, Klaessig F, Castranova V, Thompson M (2009) Understanding biophysicochemical interactions at the nano-bio interface. *Nature Materials* 8: 543-557.
- Niu J, Azfer A, Rogers LM, Wang X, Kolattukudy PE (2007) Cardioprotective effects of cerium oxide nanoparticles in a transgenic murine model of cardiomyopathy. *Cardiovascular Research* 73: 549-559.
- Noubactep C; Care S; Crane R (2012) Nanoscale Metallic Iron for Environmental Remediation: Prospects and Limitations. *Water, Air and Soil Pollution*, Vol. 223, 1363-1382
- Nyholm N, Petersen HG (1997) Laboratory bioassays with microalgae. In: Wang W, Gorsuch JW, Hughes JS (eds) *Plants forenvironmental studies*. Lewis Publishers, Boca Raton, Chapter 9
- Pan B, Xing B. (2012). Applications and implications of manufactured nanoparticles in soils: a review. *European Journal of Soil Science* 63:437-456.

- Park B, Donaldson K, Duffin R, Tran L, Kelly F, Mudway I, Morin J-P, Guest R, Jenkinson P, Samaras Z, Giannouli M, Kouridis H, Martin P (2008) Hazard and risk assessment of a nanoparticulate cerium oxide-based diesel fuel additive - A case study. *Inhalation Toxicology* 20: 547-566.
- Paul, E.A., Clark, F.E., 1996. Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press, San Diego, pp. 131-146.
- Petosa AR, Brennan SJ, Rajput F, Tufenkji N (2012) Transport of two metal oxide nanoparticles in saturated granular porous media: Role of water chemistry and particle coating. *Water Research* 46(4):1273-1285.
- Piccinno F; Gottschalk F; Seeger S, Nowack B (2012) Industrial production quantities and uses of ten engineered nanomaterials in Europe and the world, *J Nanopart Res* 14:1109
- Priester JH, Ge Y, Mielke RE, Horst AM, Moritz SC, Espinosa K, Gelb J, Walker SL, Nisbet RM, An Y-J, Schimel JP, Palmer RG, Hernández-Viezcás JA, Zhao L, Gardea-Torresdey JL, Holden PA. (2012). Soybean susceptibility to manufactured nanomaterials with evidence for food quality and soil fertility interruption. *PNAS* E2451-E2456.
- Qiu D; Zhao B; Lin Z; Pu L, Pan L, Shi Y (2013) In situ growth of CuO nanoparticles on graphene matrix as anode material for lithium-ion batteries. *Materials Letters* Volume: 105, 242-245 DOI: 10.1016/j.matlet.2013.04.030
- Quik, JTK.; Lynch I; Van Hoecke K (2010) Effect of natural organic matter on cerium dioxide nanoparticles settling in model fresh water. *Chemosphere* 81: 711-715.
- Ramu VG, Bordoloi A, Nagaiah TC, Schuhmann W, Muhler M, Cabrele C (2012) *Appl Catal A* 431–432:88–94
- Ramyadevi J, Jeyasubramanian K, Marilani A, Rajakumar G, Rahuman AA (2012) *Mat Lett* 71:114–116
- Rubilar O; Rai M; Tortella G; Diez MC, Seabra AB, Duran N (2013) Biogenic nanoparticles: copper, copper oxides, copper sulphides, complex copper nanostructures and their applications, *Biotechnology Letters* Volume: 35 Issue: 9, 1365-1375 DOI: 10.1007/s10529-013-1239-x
- Santhanalakshmi J, Parimala L (2012) The copper nanoparticles catalysed reduction of substituted nitrobenzenes: effect of nanoparticle stabilizers. *J Nanopart Res* 14:1090
- Shi J.; Abid A.D.; Kennedy I.M.; Hristova K.R.; Silk W.K. (2011) To duckweeds (*Landoltia punctata*), nanoparticulate copper oxide is more inhibitory than the soluble copper in the bulk solution. *Environ. Pollut.* 159, 1277–1282.
- Sing J, Srivastava M, Roychoudhury A, Lee DW, Lee SH, Malhotra BD (2013) Bionzyme-functionalized monodispersed biocompatible cuprous oxide/chitosan nanocomposite platform for biomedical application. *J Phys Chem B* 117: 141–152
- Srivastava M, Sing J, Mishra RK, Ojha AK (2013) Electrooptical and magnetic properties of monodispersed colloidal Cu₂O nanoparticles. *J Alloy Compd* 555:123–130
- SRU (2011) Sachverständigenrat für Umweltfragen: Vorsorgestrategien für Nanomaterialien, Sondergutachten, Hausdruck, 611 S.
- Svintsitskiy DA, Chupakhin AP, Slavinskaya EM, Stonkus OA, Stadnichenko AI, Koscheev SV, Boronin AI (2013) Study of cupric oxide nanopowders as efficient catalysts for low-temperature CO oxidation. *J Mol Catal A* 368–369:95–106

- Sweet MJ, Chesser A, Singleton I (2012) Review: Metal-Based Nanoparticles; Size, Function, and Areas for Advancement in Applied Microbiology, *Advances in Applied Microbiology* 80, 113-142.
- Tourinho PS, Van Gestel CAM, Lofts S, Svendsen C, Soares AMVM, Loureiro S. (2012). Metal-based nanoparticles in soil: fate, behavior, and effects on soil invertebrates. *Environmental Toxicology and Chemistry* 31:1679-1692.
- Veerapandian M, Sadhasivam S, Choi J, Yun K (2012) Glucosamine functionalized copper nanoparticles: preparation, characterization and enhancement of anti-bacterial activity by ultraviolet irradiation. *Chem Eng J* 209:558–567
- Waser O; Hess M; Guentner A, Novak P, Pratsinis SE (2013) Size controlled CuO nanoparticles for Li-ion batteries. *Journal of Power Sources* Volume: 241, 415-422
- Watermann BT, Daehne D, Führle C (2010) Einsatz von Nanomaterialien als Alternative zu biozidhaltigen Antifouling-Anstrichen und deren Umweltauswirkungen. *UBA-Texte* 40/2010, UBA-FB001301
- Van Hoecke K.; Quik JTK.; Mankiewicz-Boczek J (2009) Fate and Effects of CeO₂ Nanoparticles in Aquatic Ecotoxicity Tests. *Environmental Science and Technology* 43: 4537-4546.
- Van Hoecke K; De Schamphelaere KAC; Van der Meeren P, Smagghe G, Janssen CR (2011) Aggregation and ecotoxicity of CeO₂ nanoparticles in synthetic and natural waters with variable pH, organic matter concentration and ionic strength. *Environmental Pollution* 159: 970-976.
- Walser T; Limbach LK; Brogioli R (2012) Persistence of engineered nanoparticles in a municipal solid-waste incineration plant. *Nature Nanotechnology* 7: 520-524.
- Wang Q, Ma X, Zhang W, Pei H, Chen Y (2012) The impact of cerium oxide nanoparticles on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and its implications for food safety. *Metallomics* 4: 1105-1112.
- Wang Z.; Li, N.; Zhao J.; White J.C.; Qu P.; Xing B. (2012) CuO nanoparticle interaction with human epithelial cells: Cellular uptake, location, export, and genotoxicity. *Chem. Res. Toxicol.* 25, 1512–1521.
- Wason, Melissa S.; Zhao, Jihe (2013) Cerium oxide nanoparticles: potential applications for cancer and other diseases. *American Journal of Translational Research* Volume: 5 Issue: 2, 126-131
- Yang C; Su X; Wang J, Cao X, Wang S, Zhang L (2013) Facile microwave-assisted hydrothermal synthesis of varied-shaped CuO nanoparticles and their gas sensing properties. *Sensors and Actuators B-Chemical* Volume: 185, 159-165 DOI: 10.1016/j.snb.2013.04.100
- Yin M.; Wu C.-K.; Lou Y.; Burda C.; Koberstein J.T.; Zhu Y.; O'Brien S. (2005) Copper oxide nanocrystals. *J. Am. Chem. Soc.* 127, 9506–9511.
- Yokohira M.; Hashimoto N.; Yamakawa K.; Suzuki S.; Saoo K.; Kuno T.; Imaida K. (2009) Lung carcinogenic bioassay of CuO and TiO₂ nanoparticles with intratracheal instillation using F344 male rats. *J. Toxicol. Pathol.* 22, 71–78.
- Zhang D.-W.; Yi T.-H; Chen C.-H. (2005) Cu nanoparticles derived from CuO electrodes in lithium cells. *Nanotechnology* 16, 2338–2341.
- Zhang H, He X, Zhang Z, Zhang P, Li Y, Ma Y, Kuang Y, Zhao Y, Chai Z (2011) Nano-CeO₂ Exhibits Adverse Effects at Environmental Relevant Concentrations. *Environmental Science and Technology* 45: 3725-3730.

- Zhang P, He X, Ma Y, Lu K, Zhao Y, Zhang Z (2012) Distribution and bioavailability of ceria nanoparticles in an aquatic ecosystem model. *Chemosphere* 85(5): 530-535.
- Zhao CM & Wang WX (2012) Size-Dependent Uptake of Silver Nanoparticles in *Daphnia magna*. *Environmental Science and Technology* 46(20): 11345-11351.
- Zhao J; Wang Z; Dai Y, Xing B (2013) Mitigation of CuO nanoparticle-induced bacterial membrane damage by dissolved organic matter. *Water Research* Volume: 47 Issue: 12 Special Issue: SI, 4169-4178 DOI: 10.1016/j.watres.2012.11.058
- Zhao, L.; Peralta-Videa, J. R.; Varela-Ramirez, A.; Castillo-Michel, H.; Li, C.; Zhang, J.; Aguilera, R. J.; Keller, A. A.; Gardea-Torresdey, J. L. Effect of surface coating and organic matter on the uptake of CeO₂ NPs by corn plants grown in soil: Insight into the uptake mechanism. *J. Hazard. Mater.* 2012, 225–226, 131–138.
- Zhou K.; Wang R.; Xu B.; Li Y. (2006) Synthesis, characterization and catalytic properties of CuO nanocrystals with various shapes. *Nanotechnology* 17, 3939–3943.
- Zhu M, Nie G, Meng H, Xia T, Nel A, Zhao Y (2013) Physicochemical Properties Determine Nanomaterial Cellular Uptake, Transport, and Fate. *Accounts of Chemical Research* 46(3): 622-631.

4 Struktur des Kollegs

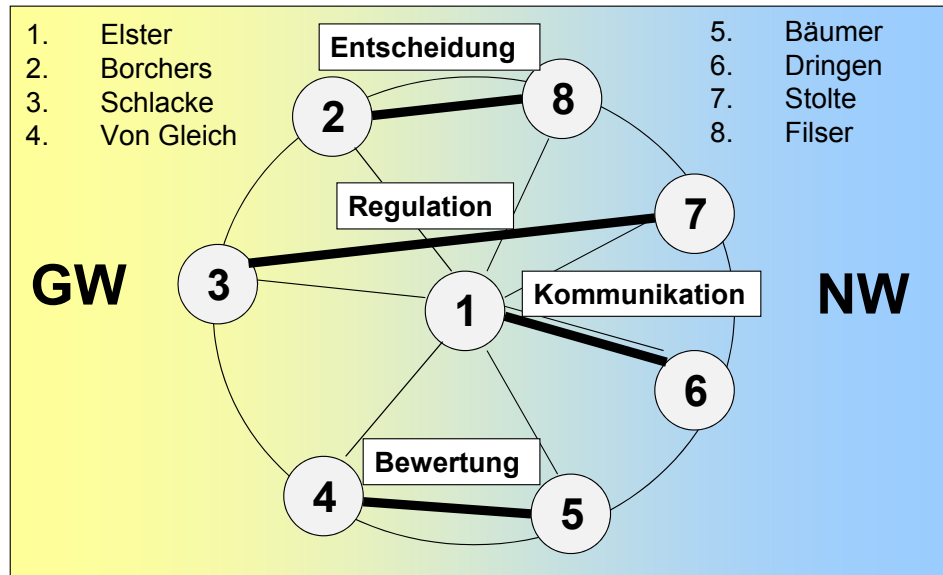
4.1 Zusammenarbeit innerhalb des Kollegs

Mittels eines paritätisch besetzten Forschungsverbundes aus gesellschafts- und naturwissenschaftlichen Arbeitsgruppen soll ein für die nachhaltige technologische Entwicklung hochrelevantes Thema bearbeitet werden. Bei der Zusammenstellung des Teams wurde bewusst darauf geachtet, dass die Gesellschaftswissenschaften und die Naturwissenschaften gleich stark vertreten sind, weil beide Wissenschaftszweige einen gleichgewichtigen Beitrag zu den Zielen des Kollegs leisten sollen.

Von den 8 beteiligten Arbeitsgruppen sind 7 Gruppen an der Universität Bremen angesiedelt, während die Arbeitsgruppe von Frau Prof. Schlacke (ehemals Universität Bremen) inzwischen an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster ist. Um eine enge Kooperation zwischen beiden Standorten sicherzustellen, ist die regelmäßige Teilnahme von Frau Prof. Schlacke und der/s von ihr betreuten Stipendiatin/en an den Veranstaltungen des promotionsbegleitenden Studienprogrammes (siehe unter 7) verabredet. Darüber hinaus soll mindestens eines der Methodenseminare im Kolleg in Münster stattfinden (vgl. 7.4). Der Termin soll mit einer Veranstaltung am Centrum für Bioethik in Münster verknüpft werden, zu dem über Frau Prof. Borchers bereits gute Kontakte bestehen. Aus der Zusammenarbeit sind wichtige fachliche Impulse für das Kolleg zu erwarten.

Jeweils zwei der StipendiatInnen im Kolleg sollen Tandems bilden, die über die Vernetzung im Kolleg hinaus besonders eng und fachübergreifend zusammenarbeiten. Jedes Tandem setzt sich aus einer/m gesellschaftswissenschaftlich und einer/m naturwissenschaftlich arbeitenden Stipendiatin/en zusammen. Es soll eine gemeinsame Betreuung der StipendiatInnen-

Tandems durch die beiden jeweiligen ArbeitsgruppenleiterInnen erfolgen, wobei beide auch PrüferInnen im Promotionskolloquium sein werden.



Tandem-Struktur des beantragten Promotionskollegs NanoCompetence

GW = Gesellschaftswissenschaften, NW = Naturwissenschaften, 1 bis 8 = Leiter/-innen der beteiligten Arbeitsgruppen, schwarze Balken = Tandems, Linien = Vernetzung

Aus der Tandem-Struktur ergeben sich über die allgemeinen Kooperationen im Kolleg hinaus 4 Hauptkooperationen, die nachfolgend dargestellt sind:

Hauptkooperation Forschung und Kommunikation

Beteiligt sind die Arbeitsgruppen von

- Prof. Dr. Ralf Dringen, Neurobiochemie
- Prof. Dr. Doris Elster, Didaktik der Naturwissenschaften - Biologiedidaktik

Untersucht werden soll, wie neue Forschungserkenntnisse (Effekte von Nanomaterialien auf Mensch und Umwelt mit Fokus auf Säugerzellen) in den Prozess der Wissenskommunikation in institutionellen Bildungseinrichtungen (Schulen, Hochschulen) und an non-formalen Bildungsorten (z.B. Jugendverbände, KinderUni, Gewerkschaften, soziale, kulturelle und politische Bildungsangebote etc.) einfließen und auf die **Risikomündigkeit der Gesellschaft** Einfluss nehmen können.

Darüber hinaus kooperiert die Arbeitsgruppe von Frau Prof. Elster wegen des **zentralen Themas „Kommunikation“ im NanoCompetence-Kolleg** mit allen anderen beteiligten Arbeitsgruppen des Verbundes in besonderer Weise. Weitere Informationen zur Zusammenarbeit sind unter den jeweiligen Forschungsangeboten der beteiligten Arbeitsgruppen in Abschnitt 6 dargestellt.

Hauptkooperation Forschung und Entscheidung

Beteiligt sind die Arbeitsgruppen von

- Prof. Dr. Juliane Filser, Allgemeine und Theoretische Ökologie
- Prof. Dr. Dagmar Borchers, Institut für Philosophie

Untersucht werden soll, wie neue Forschungserkenntnisse zu nanospezifischen Besonderheiten (z.B. ökotoxikologisches Potenzial, Langzeitwirkungen von Nanomaterialien auf die Umwelt, Sensitivität und Aussagekraft von Testverfahren für Böden, mögliches atypisches Dosis-Wirkungsverhalten von Nanomaterialien und Anwendbarkeit von Grenzwerten) auf den **komplexen öffentlichen Entscheidungsprozess zum Umgang mit Nanotechnologie** Einfluss nehmen können.

Hauptkooperation Forschung und Regulation

Beteiligt sind die Arbeitsgruppen von

- Prof. Dr. Stefan Stolte, Nachhaltige Chemie
- Prof. Dr. Sabine Schlacke, Deutsches, europäisches und internationales Umweltrecht

Untersucht werden soll an einem Fallbeispiel (CuO-NP), ob die bestehende Risikoregulierung im ausreichenden Maße mögliche Umweltbeeinträchtigungen überprüft, welche Lücken und Defizite es ggf. gibt und auf welche Weise Erkenntnisse über die Veränderungen der Partikeleigenschaften von NP in verschiedenen Umweltmedien Einfluss auf die künftige **Risikoregulierung von Nanomaterialien** haben könnten.

Hauptkooperation Forschung und Bewertung

Beteiligt sind die Arbeitsgruppen von

- Prof. Dr. Marcus Bäumer, Institut für Angewandte und Physikalische Chemie
- Prof. Dr. Arnim von Gleich, Technikgestaltung und Technologieentwicklung

Es soll an einem Fallbeispiel mit begrenzter Ressourcenverfügbarkeit (CeO₂-NP in der Abgaskatalyse) eine **prospektive Bewertung von Umweltentlastungs- versus Umweltbelastungspotenzialen** vorgenommen werden. Weiterhin sollen neue Techniken zur Verbesserung der katalytischen Wirkung und Stabilität der Katalysatoren erprobt werden und daran anknüpfend **technologische Optimierungsmöglichkeiten** in der Abgaskatalyse bei gleichzeitiger Minimierung von Umwelteinträgen abgeschätzt werden.

Disziplinübergreifende Zusammenführung der Tandems

Bereits bei der Vorbereitung des vorliegenden Antrages hat es einen intensiven Austausch der BetreuerInnen der jeweiligen Tandems gegeben. Um von vorneherein das Funktionieren der Tandems sicherzustellen, soll es zu Beginn des Kollegs einen **gemeinsamen Arbeits-**

plan für die jeweiligen Tandems gegeben, ausgearbeitet durch die daran beteiligten StipendiatInnen und abgestimmt mit dem BetreuerInnen-Duo. Dieser Arbeitsplan soll nicht nur die inhaltliche Zusammenarbeit der Tandems vorgeben, sondern auch festlegen, in welchem zeitlichen Turnus Treffen zwischen den StipendiatInnen und BetreuerInnen stattfinden. Die Abstände der Treffen richten sich nach den spezifischen Erfordernissen der einzelnen Kooperationen und können sich von Tandem zu Tandem unterscheiden. Der Arbeitsplan und somit auch der zeitliche Turnus der Treffen sollen halbjährlich von den beteiligten StipendiatInnen und BetreuerInnen aktualisiert werden. Neben diesen „offiziellen“ Treffen der Tandems wird es selbstverständlich zwischen den StipendiatInnen-Partnern einen engmaschigen Austausch geben.

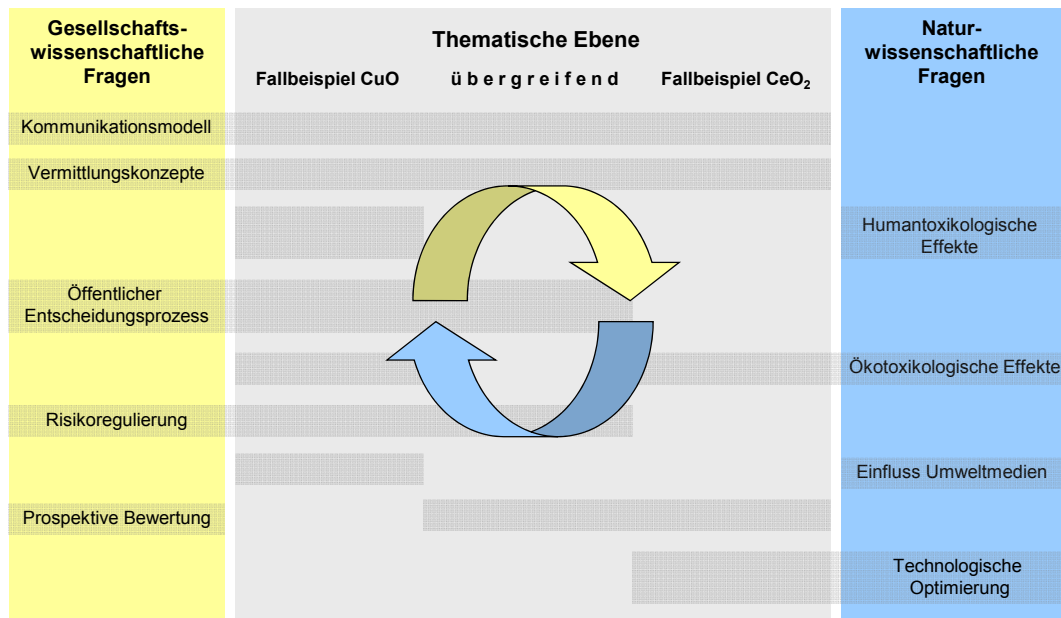
Um die Kooperation innerhalb der Tandems zu fördern, sollen im Verlauf der Dissertationsprojekte Ideen („Stories“) für **disziplinübergreifende Publikationen** entwickelt und diese in geeigneten, interdisziplinär ausgerichteten Fachzeitschriften eingereicht und veröffentlicht werden. Um auch nach außen hin die Tandem-Struktur zu unterstreichen, ist angedacht, dass es auf dem geplanten öffentlichkeitswirksamen Abschluss-symposium des Kollegs **Tandem-Vorträge** geben soll, in denen besonders die disziplinübergreifenden Erkenntnisse und Synergieeffekte (siehe auch unter 4.3) der Tandem-Kooperationen herausgestellt werden.

Für die Realisierung der disziplinübergreifenden Zusammenarbeit innerhalb der Tandems und im gesamten Kolleg ist es von großem Vorteil, dass alle Mitglieder der Gruppe bereits **interdisziplinäre Erfahrungen** haben (vgl. auch einschlägige Publikationen und Projekte in Kap. 6). Dies trifft insbesondere auf die HochschullehrerInnen zu, die dem interdisziplinär ausgerichteten UFT (Prof. Filser, Prof. Bäumer, Prof. Dringen, Prof. Stolte, Prof. Thöming) bzw. dem interdisziplinären Forschungszentrum Nachhaltigkeit artec (Prof. von Gleich) angehören. Auch über UFT und artec hinaus gibt es disziplinübergreifende Kooperationen von Mitgliedern des beantragten Kollegs, z.B. mit den Materialwissenschaften der Universität bzw. mit dem benachbarten Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM (Prof. Dringen, Prof. Filser, Prof. von Gleich, Prof. Thöming).

Auch in der **disziplinübergreifenden Betreuung von Studierenden und DoktorandInnen** gibt es unter den Mitgliedern des beantragten Kollegs langjährige Erfahrungen, z. B. bei der Mitwirkung an den Graduiertenkollegs PoreNet (DFG, 2006-2012), MIMENIMA (DFG, seit 2013, siehe unter www.mimenima.uni-bremen.de) und dem Promotionskolleg nanoToxCom (Hans-Böckler-Stiftung, 2008-2013, siehe unter <http://www.nanotoxcom.uni-bremen.de/index.htm>). Gerade im nanoToxCom-Kolleg konnten durch Doppel- bzw. Mehrfachbetreuungen durch die beteiligten HochschullehrerInnen viele interdisziplinäre Erfahrungen gewonnen werden. Diese Basis der Zusammenarbeit wird die Einbindung der bislang nicht mit der Gruppe vernetzten HochschullehrerInnen Prof. Elster, Prof. Borchers und Prof. Schlacke erleichtern. Neben den oben dargestellten Tandem-spezifischen Maßnahmen werden dazu auch die internen Kollegtreffen (siehe unter 7.1) und insbesondere das als Vernetzungsveranstaltung geplante 1,5 bis 2-tägige erste Klausurtreffen (siehe unter 7.7) beitragen.

Weitere Kooperationen

Neben den Hauptkooperationen wird es weitere Anknüpfungspunkte zwischen den beteiligten Arbeitsgruppen geben. Die daraus resultierende enge Verzahnung der gesellschaftswissenschaftlichen und naturwissenschaftlichen Fragestellungen geht aus der folgenden Übersicht hervor:



Verzahnung gesellschafts- und naturwissenschaftlicher Fragen im Promotionskolleg NanoCompetence

Kooperationen sind zum einen selbstverständlich zwischen Arbeitsgruppen möglich, die sich mit dem gleichen Fallbeispiel beschäftigen. Zum anderen wird es aber auch unabhängig vom jeweiligen Fallbeispiel thematische Verknüpfungen zwischen den Gruppen geben, da eine Reihe von Fragestellungen im Kolleg themenübergreifend angelegt ist. Auf welchen Feldern Kooperationen geplant sind, geht aus den einzelnen Forschungsangeboten der beteiligten HochschullehrerInnen hervor.

4.2 Bewerberauswahl

Um geeignete Bewerber mit wissenschaftsübergreifenden Kompetenzen für das Kolleg zu gewinnen, soll in der **Stellenausschreibung** nachdrücklich darauf hingewiesen werden, dass das jeweilige Promotionsthema im Tandem mit einem gesellschafts- bzw. naturwissenschaftlichen Partner bearbeitet werden soll. Bei der Auswahl der BewerberInnen ist die Kompetenz und Bereitschaft zu einer engen disziplinübergreifenden Zusammenarbeit ein wesentliches Kriterium.

Darüber hinaus sollen Hochschulen, die **einschlägige interdisziplinäre Studiengänge** anbieten, gezielt kontaktiert werden. Gerade im Bereich Nachhaltigkeit gibt es inzwischen eine

Vielzahl von Studiengängen mit übergreifenden ökologischen, ökonomischen und sozialwissenschaftlichen Inhalten, die von verschiedenen Hochschulen in Deutschland und auch im europäischen Ausland angeboten werden. An deutschen Hochschulen bestehen beispielsweise folgende Studiengänge:

- Ecological Impact Assessment, Bachelor- und Master-Studiengang, Universität Koblenz-Landau
- Environmental and Resource Management, Bachelor- und Master-Studiengang der TU Cottbus sowie der Universitäten Trier und Weimar
- Environmental Science, Master-Studiengang, Universitäten Hohenheim und Köln
- Integrated Natural Resource Management, Master-Studiengang, Humboldt-Universität Berlin
- Management natürlicher Ressourcen, Bachelor- und Master-Studiengang, Universitäten Halle-Wittenberg und Kiel
- Öffentliches und betriebliches Umweltmanagement, Master-Studiengang, FU Berlin
- Ressourcen- und Umweltmanagement, Bachelor- und Master-Studiengang, Universität Gießen
- Sustainable Economics and Management, Master-Studiengang, Universität Oldenburg
- Sustainability Sciences, Master-Studiengang, Universität Lüneburg
- Sustainable Development, Master-Studiengang, Universität Leipzig
- Umweltwissenschaften, Bachelor- und Master-Studiengang, Universitäten Bielefeld, Frankfurt/M., Greifswald, Koblenz-Landau, Lüneburg, Oldenburg
- Wirtschaftsingenieurwesen, Bachelor- und Masterstudiengang, Universität Bremen

Zu einer Reihe der aufgeführten Hochschulen bestehen gute Kontakte der Antragsteller, was die Bewerbersuche erleichtern dürfte. Welche Hochschulen im Einzelnen kontaktiert werden, hängt vom jeweiligen Promotionsthema ab. Auch Kontakte zu Universitäten im europäischen Ausland sollen für die Bewerbersuche genutzt werden, so z.B. die langjährige Kooperation des UFT mit der Umweltanalytik der Universität Gdansk in Polen.

Selbstverständlich wird auch versucht, aus dem **eigenen wissenschaftlichen Nachwuchs** Bewerber mit disziplinübergreifenden Kompetenzen zu gewinnen. Beispielhaft sei hier der Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen der Universität Bremen genannt, ein sehr gut nachgefragter interdisziplinärer und praxisorientierter Studiengang der Fachbereiche Wirtschaftswissenschaft und Produktionstechnik. Auch einzelne interdisziplinäre Lehrmodule an der Universität Bremen wie z.B. die Module „Sustainability Studies“ am Forschungszentrum Nachhaltigkeit artec oder „Sustainability Research“ und „Environmental Risks and Ecotoxicology“ im MSc Ecology könnten genutzt werden, um potenzielle KandidatInnen zu gewinnen. Zudem haben wir bereits jetzt damit begonnen, in unseren Augen geeignete BewerberInnen gezielt auf ein mögliches neues Kolleg anzusprechen.

Von der gezielten Suche nach BewerberInnen mit einem disziplinübergreifenden Profil, das auch ausdrücklich sozialwissenschaftliche Kompetenzen einschließt, wird erwartet, dass auch die Chancen der KandidatInnen steigen, den **Förderkriterien der Hans-Böckler-Stiftung** zu entsprechen. Neben der fachlichen und persönlichen Qualifikation soll bereits bei der Stellenausschreibung und bei der Vorauswahl der BewerberInnen durch die Antragsteller insbesondere das bisherige gesellschaftspolitische Engagement bewertet werden. Die Bewerbersuche soll unmittelbar nach einer Bewilligung des Kollegs mit hoher Priorität erfolgen, damit gewährleistet ist, dass die Starttermine der einzelnen Promotionen möglichst eng beieinander liegen.

4.3 Synergieeffekte

Voraussetzung für Synergien, die sich aus dem disziplinübergreifenden Konzept des Kollegs ergeben, ist zunächst ein intensiver Austausch über die natur- und gesellschaftswissenschaftlichen Fragestellungen gerade in der Anfangsphase des Kollegs. Neben den internen Kollegtreffen zu Beginn des Vorhabens (siehe unter 7.1) soll insbesondere das erste Klausurtreffen abseits des Universitätsbetriebes (siehe unter 7.7) diese **Vernetzungsaufgabe** erfüllen. Dabei wird sich das Kolleg am Konzept der sogenannten „learning communities“ orientieren, in denen Teilnehmer mit unterschiedlicher Expertise an einer gemeinsamen Fragestellung arbeiten. Gerade die Verschiedenheit des fachlichen Hintergrundes innerhalb einer Gruppe bietet die Chance zur Entwicklung innovativer Ideen, die unter Fachleuten gleicher Expertise weniger zustande kommen (Mandl & Reinmann-Rothmeier 2000, Elster 2010 u.v.m.).

Nachdem in den letzten Jahren eine umfangreiche naturwissenschaftliche Datengrundlage für die Bewertung von Chancen und Risiken von Nanomaterialien geschaffen wurde (siehe auch Publikationen und Projekte unter 6.1 – 6.8), wird es in Zukunft zunehmend darauf ankommen, die gesellschaftliche Relevanz dieser neu gewonnenen Daten, z.B. für die künftige Risikoregulierung, aber auch für die Wissenskommunikation in der Öffentlichkeit, zu untersuchen. Der aktuelle öffentliche Diskurs zum Umgang mit Nanomaterialien, z.B. der Beitrag der NanoKommission der Bundesregierung, macht deutlich, dass es künftig einer **engeren Verzahnung zwischen den naturwissenschaftlichen Grundlagen und den Untersuchungen zu den gesellschaftlichen Auswirkungen** bedarf (BMU 2010, BASF 2012). Hier kann das Promotionskolleg NanoCompetence einen wichtigen Baustein darstellen, in dem diese disziplinübergreifenden Fragestellungen im Rahmen eines Forschungsverbundes an ausgewählten Fallbeispielen gemeinsam untersucht werden und nicht aus isolierten Einzelprojekten zusammengetragen werden müssen.

Bereits das Promotionskolleg nanoToxCom hat ergeben, dass neue naturwissenschaftliche Erkenntnisse Auswirkungen auf den künftigen Umgang mit Nanomaterialien haben. So konnte gezeigt werden, dass in der Chemikaliientestung übliche Testsysteme unbedingt modifiziert werden müssen, um - im Rahmen einer künftigen Risikoregulierung - auf Nanopartikel angewendet werden zu können, z. B. bei der Festlegung von Grenzwerten. Besonders interessant erwiesen sich in diesem Zusammenhang die ökotoxikologischen Befunde zum inver-

sen Dosis-Wirkungsverhalten von Nanopartikeln sowie zu verlängerter Versuchsdauer als in den Standard Operation Procedures (SOP) der Chemikaliientestung vorgesehen (Baumann et al. 2013, Filser et al. 2013a, b, Filser et al., in Vorb.). Solche **für die Praxis relevanten Befunde** werden auch im neuen Promotionskolleg NanoCompetence erwartet und können dort disziplinübergreifend untersucht werden, so dass gegenüber einer rein disziplinären Bearbeitung Synergieeffekte zu erwarten sind.

Grundsätzlich sind in der Zusammenarbeit von Natur- und Gesellschaftswissenschaftlern in Tandems Synergieeffekte zu erwarten. Der naturwissenschaftliche Partner profitiert von dem Erkenntnisgewinn, wie die eigenen Forschungsergebnisse im Kontext der zugehörigen gesellschaftswissenschaftlichen Fragestellung (Risikoregulierung, öffentlicher Entscheidungsprozess, Wissenskommunikation) zu bewerten sind, während der gesellschaftswissenschaftliche Partner Einblick erhält, unter welchen Randbedingungen die naturwissenschaftlichen Erkenntnisse zustande kommen, was wiederum Auswirkungen auf die Frage der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Realbedingungen hat.

Auch im Hinblick auf die Akquisition weiterer Drittmittelvorhaben sind aus der Synergie zwischen Natur- und Gesellschaftswissenschaften im Kolleg neue Perspektiven zu erwarten. Im neuen EU-Forschungsrahmenprogramm Horizon 2020 wird es neben den drei Prioritäten „Wissenschaftsexzellenz“, „Führende Rolle der Industrie“ und „Gesellschaftliche Herausforderungen“ ein separates Programm **„Wissenschaft mit und für die Gesellschaft“** („**Science with and for society**“) mit eigener Struktur und eigenem Budget geben (EU 2013). In dieses Programm, zu dessen Zielen gehört, wissenschaftliche und technologische Bestrebungen harmonisch in die Gesellschaft einzubetten, passt das Konzept des Kollegs hervorragend hinein, so dass – abhängig von den Ausschreibungsinhalten – eine Antragstellung durchaus Sinn machen würde. Von Vorteil sind in diesem Zusammenhang die Erfahrungen von Frau Prof. Elster, die bereits in dem Projekt INQUIRE im Vorläuferprogramm „Science in Society“ des FP7 der EU teilgenommen hat (Elster 2013, Elster et al. 2013a, Elster et al. 2013b). Auch unter der Priorität „Gesellschaftliche Herausforderungen“ verfolgt Horizon 2020 ein zum Kolleg passendes Konzept, in dem das künftige Rahmenprogramm auf die Zusammenführung der „in unterschiedlichsten Gebieten, Technologien und Disziplinen vorhandenen Ressourcen und Kenntnisse, einschließlich der Geistes- und Sozialwissenschaften“ abzielt (KOM 2011).

4.4 Zitierte Literatur

- Baumann J, Sakka Y, Bertrand C, Köser J, Filser J (2013) Adaptation of the *Daphnia sp.* acute toxicity test: miniaturization and prolongation for the testing of nanomaterials. *Environmental Science and Pollution Research*, DOI 10.1007/s11356-013-2094-y
- BASF (2012): Dialogforum Nano der BASF 2011 | 2012 - Transparenz in der Kommunikation über Nanomaterialien vom Hersteller bis zum Verbraucher. <http://www.basf.com/group/corporate/site-ludwigshafen/de/news-and-media-relations/news-releases/P-12-500> (Letzter Zugriff: 21.11.2013).
- BMU (2010) Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien. Bericht und Empfehlungen der Nano-Kommission 2011. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit., Hausdruck, 1. Aufl.
- Elster D. (2010) Learning Communities in Teacher Education. The Impact of e-Competence. In: *International Journal of Science Education* 32 (16), Routledge, Taylor & Francis, 2185 – 2216.
- Elster D. (2013) Prevent Plant Blindness through INQUIRE - Results of the European Project INQUIRE. In: *Proceedings of the 6th International Conference of Education, Research and Innovation ICERI 2013*, Seville, 18th-20th November 2013, Seville/IATED (ISBN 978-84-616-3849-9)
- Elster D, Barendziak T, Haskamp F, Kastenholz L (2013a) Course INQUIRE for Teacher Students: What is its impact?. In: *Proceedings of the INQUIRE Conference*, July 9th-10th 2013; Royal Botanic Gardens London, London/BGCI
- Elster D., Barendziak T., Kastenholz L., Haskamp F. (2013b) Raising Standards through INQUIRE in Pre-Service Teacher Education. In: *IOSTE Eurasioan Regional Symposium & Brokerage Event HORIZON 2020*; Symposium Programme and Abstracts, 30 October - 01 November 2013, Antalya / ISBN 978-605-355-215-4, 38
- EU (2013) Agreement on „HORIZON 2020“: the EUs research and innovation programme for the years 2014 to 2020. Council of the European Union. 11985/13, 17.07.2013
- Filser J, Arndt D, Baumann J, Geppert M, Hackmann S, Luther EM, Pade C, Prenzel K, Wigger H, Arning J, Hohnholt MC, Köser J, Kück A, Lesnikow E, Neumann J, Schütrumpf S, Warrelmann J, Bäumer M, Dringen R, von Gleich A, Swiderek P, Thöming J (2013a) Intrinsically green iron oxide nanoparticles? From synthesis via (eco-)toxicology to scenario modelling. *Nanoscale* 5:1034-1046.
- Filser J, Wiegmann S, Schröder B (2013b) Collembola in Ecotoxicology - any News or just Boring Routine? *Applied Soil Ecology*, in press.
- KOM (2011) Horizon 2020 – das Rahmenprogramm für Forschung und Innovation. Mitteilung der europäischen Kommission KOM (2011) 808, 30.11.2011
- Mandl H, Reinmann-Rothmeier (2000) Die Rolle des Wissensmanagements für die Zukunft: Von der Informations- zur Wissensgesellschaft. In: Mandl H, Reinmann-Rothmeier (Hrsg.) *Wissensmanagement*, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München, S. 1-18.

5 Koordination des Kollegs

Die Erfahrungen des Promotionskollegs nanoToxCom haben gezeigt, dass eine erfolgreiche und fachübergreifende Zusammenarbeit im Kolleg eines wissenschaftlichen Koordinators bedarf. Deshalb ist auch im Vorhaben NanoCompetence ein Koordinator mit 30% der regulären Arbeitszeit vorgesehen. Die entsprechenden Personalmittel werden als Eigenleistungen der Universität Bremen in das Vorhaben eingebracht.

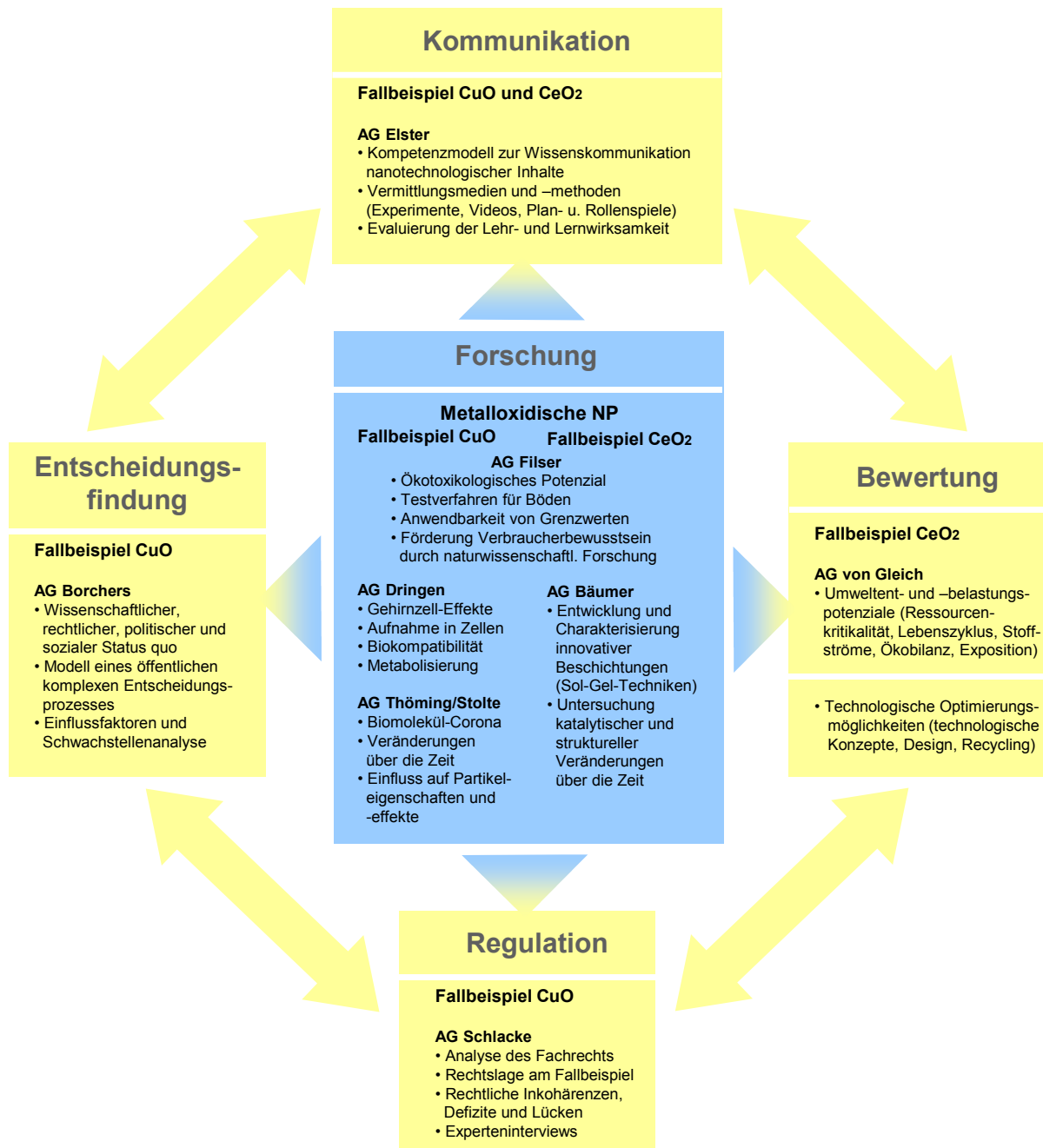
Folgende Aufgaben sollen im Kolleg durch den Koordinator wahrgenommen werden:

- Schnittstelle zwischen StipendiatInnen, BetreuerInnen und assoziierten WissenschaftlerInnen im Rahmen des Promotionskollegs
- Organisation von internen Kollegtreffen (siehe unter 7.1)
- Unterstützung der StipendiatInnen bei der Organisation von Kolloquien mit externen ReferentInnen (siehe unter 7.2)
- Organisation von Statusseminaren mit der Hans-Böckler-Stiftung (siehe unter 7.6)
- Organisation von jährlichen Klausurtreffen der StipendiatInnen, BetreuerInnen und assoziierten WissenschaftlerInnen (siehe unter 7.7)
- Vorbereitung und Organisation einer öffentlichen Abschlussveranstaltung (vgl. 7.8)
- Erstellung und Pflege einer eigenen Homepage für das Promotionskolleg NanoCompetence
- Unterstützung bei der Erstellung von Gemeinschaftspublikationen im Kolleg
- Wahrnehmung der Kontakte zum Promotionszentrum und anderer strukturierter Promotionsprogramme der Universität Bremen
- Präsentation des Kollegs und aktueller Forschungsergebnisse in verschiedenen Foren (nach Bedarf)
- Aufbau und Pflege von Kontakten mit potenziellen Kooperationspartnern aus Wissenschaft und Industrie
- Steuerung und Verwaltung der Finanzen; Abstimmung der Mittelbedarfe innerhalb der Gruppe

Es ist geplant, dass diese Aufgaben von Herrn Prof. Dr. Jürgen Warrelmann wahrgenommen werden, der bereits das Promotionskolleg nanoToxCom koordiniert und damit die fachlichen und administrativen Voraussetzungen mitbringt. Die Stelle von Herrn Prof. Warrelmann ist durch die Universität Bremen grundfinanziert.

6 Forschungsangebote der beteiligten HochschullehrerInnen

In der nachfolgenden Übersicht sind die Themenangebote der beteiligten HochschullehrerInnen und AGs sowie deren Vernetzung dargestellt.



Themenangebot und -vernetzung des Promotionskollegs NanoCompetence

Blau unterlegt: Themen der naturwissenschaftlichen AGs

Gelb unterlegt: Themen der gesellschaftswissenschaftlichen AGs

6.1 Ökotoxikologische Risikoabschätzung von Kupferoxid- und Ceroxid-Nanopartikeln unter besonderer Berücksichtigung des Risikobewusstseins für Böden

AG Filser, Allgemeine und theoretische Ökologie, Universität Bremen

Die Gefährdungsabschätzung neuer Substanzen und Verbindungen im Rahmen der Umweltregulation erfolgt zum größten Teil über Kurzzeit-Testsysteme mit aquatischen Organismen. Dies ist der Praktikabilität geschuldet, aber in puncto Umweltrelevanz nur bedingt sachgerecht: Die Verbindungen verbleiben nicht nur wenige Stunden bis Tage (typische Testdauer) in der Umwelt, und für Metalle und deren Oxide gilt, dass sie nicht abbaubar sind und nur unter bestimmten Bedingungen chemisch umgewandelt werden können. Viele Metalle sind toxisch, wobei die toxische Wirkung der verschiedenen Verbindungen eines Metalls extrem unterschiedlich sein kann. Wie fast alle nicht flüchtigen anorganischen Verbindungen werden auch aus Metallen und Metalloxiden bestehende Nanopartikel letztlich in Böden und Gewässersedimenten landen und sich dort bzw. in Organismen anreichern (Pan & Xing 2012, Zhang et al. 2012).

Dies führt zu der absurden Situation, dass das mögliche Gefährdungspotenzial von Nanopartikeln über ein Umweltkompartiment und Zeiträume ermittelt wird, die das tatsächliche Expositionsszenario eindeutig verfehlen. Umso bedenklicher ist dies, als der weitaus größte Teil menschlicher Ernährung mittel- oder unmittelbar von gesunden Böden abhängig ist. Hinzu kommt, dass Böden – ganz anders als z.B. der Lebensraum Meer – praktisch gar nicht im Bewusstsein von Menschen sind und, außer vielleicht von traditionellen Landwirten, eher gering geschätzt und häufig einfach als „Dreck“ bezeichnet werden („Luft atmen wir, Wasser trinken wir, aber den Boden treten wir mit Füßen“). Das skizzierte Vorhaben soll helfen, bestehende Wissenslücken zu Risiken von Kupfer- und Ceroxid-Nanopartikeln zu schließen und gleichzeitig dazu beitragen, das öffentliche Bewusstsein für den Wert von Böden und über mögliche Risiken durch Nanomaterialien zu stärken.

Entsprechend den obigen Ausführungen hinkt die Risikoforschung zu Nanomaterialien in Böden deutlich der für wässrige Systeme hinterher (Navarro et al. 2008). Auch die ökotoxikologische Wirkung von kupferhaltigen und CeO_2 -Nanopartikeln wurde überwiegend in aquatischen Systemen ermittelt (z.B. Blinova et al. 2010, Wang et al. 2011, Zhao et al. 2011). Die langjährige Anwendung von Kupferpräparaten zur Pilzbekämpfung im Pflanzenbau führt zur Anreicherung des Metalls im Boden und beeinträchtigt die Bodenorganismengemeinschaften deutlich und nachhaltig (z.B. Filser et al. 1995, 2002). Auch Cu-NP mindern in hoher Konzentration die Reproduktion von Regenwürmern, jedoch nicht so stark wie CuCl_2 (Heckmann et al. 2011), während niedrige Konzentrationen keine Auswirkungen zu haben scheinen (Urine et al. 2010). Auf den Energiestoffwechsel von Enchytraeiden (Kleiningelwürmer) hatten Cu-NP kurzfristige negative Effekte, vergleichbar denen von CuCl_2 (Tourinho et al. 2012). Allerdings zeigten Laborversuche unterschiedliche Auswirkungen der beiden Kupferformen auf die Genexpression von *Enchytraeus albidus* (Gomes et al. 2012). CeO_2 -NP sind genotoxisch (Lopez-Morena et al. 2010) und wirken toxisch auf Nematoden (Zhang et al. 2011),

Pflanzen und Mikroorganismen (Priester et al. 2012). Dabei beeinflussen Bodeneigenschaften das Aggregations- und Lösungsverhalten der Partikel (Tourinho et al. 2012).

Im Rahmen des Vorläuferkollegs nanoToxCom wurde von Stephan Hackmann (unveröffentlicht) herausgefunden, dass Silbernanopartikel in einem (OECD-standardisierten) Einzelartentest die Reproduktion von Springschwänzen fördern können, was in völligem Gegensatz zu den Resultaten für dieselbe Art stand, wenn man sie in einem realistischeren Drei-Arten-System mit Räubern oder Konkurrenten den gleichen Bedingungen aussetzte. Dies ist ein klarer Hinweis darauf, dass in der Umweltregulation gängige Testverfahren zu falschen Einschätzungen des tatsächlichen Gefährdungspotenzials führen können und sollte unbedingt weiter verfolgt werden.

Von Seiten der Umweltregulation von ebenfalls großer Bedeutung ist die Tatsache, dass Dosis-Wirkungskurven nicht immer einen einheitlichen Verlauf haben, also mit zunehmender Konzentration eine stärkere Wirkung eintritt (Fagin 2012). Bekanntes Beispiel dafür sind Spurenelemente wie Kupfer, das stark toxisch ist, in geringen Konzentrationen jedoch eine fördernde Wirkung hat (z.B. Pfeffer et al. 2010). Für Nanopartikel mit dem ebenfalls essenziellen, aber normalerweise unbedenklichen Eisen (Fe_3O_4) wurden für Bakterien sowohl erstaunliche als auch bedenkliche Effekte gefunden: in höheren Konzentrationen hatten die Partikel keine oder sogar eine leicht fördernde Wirkung, während sie sich in niedrigen Konzentrationen deutlich oder sogar stark hemmend auf die Aktivität von Bakterien in Böden und anaerobem Klärschlamm auswirkten (Filser et al. 2013). Ein Erklärungsansatz hierfür könnte die Aggregation (und damit geringere Löslichkeit) der Partikel bei höheren Konzentrationen sein, was auf einen nano-spezifischen Effekt hindeutet, der auch bei anderen Nanopartikeln auftreten könnte. Viel bedeutender ist jedoch, dass dieses Phänomen dazu führt, dass die in der Umweltregulation üblichen Grenzwerte bei derartigen Beziehungen völlig nutzlos wären. Weitere Forschungen hierzu sind dringend erforderlich.

6.1.1 Arbeitsplan

Folgende Leitthemen und exemplarische Fragen sollen im Rahmen dieses Vorhabens angegangen werden:

1) Ökotoxikologisches Potenzial der untersuchten Materialien

Wie unterscheidet sich die toxische Wirkung von CeO_2 - und CuO -NP? Wie kann man durch Variation bei der Herstellung – z.B. Aufbringung auf Trägermaterialien im Vergleich zu dispergierten NP – die toxische Wirkung beeinflussen? Welchen Einfluss haben die Eigenschaften des Umgebungsmediums auf die Wirkung der Partikel? Sind Tests in wässrigen Systemen immer empfindlicher als Tests in Böden?

2) Sensitivität und Aussagekraft von Testverfahren für Böden

Welche Testorganismen oder –systeme reagieren am sensitivsten? Welche ökologisch relevanten Endpunkte sind für eine effiziente Gefährdungsabschätzung am besten geeignet?

Welchen Einfluss hat die Expositionsdauer auf die Testergebnisse? Ist es möglich, mit Kurzzeittests oder Tests unter sehr artifiziellen Bedingungen (z.B. Exposition in Lösung ohne Bodenmatrix) belastbare Aussagen zu erzielen? Werden vergleichbare Aussagen unter verschiedenen Bodenbedingungen ermittelt? Wenn nein, wodurch lassen sich die Unterschiede am besten erklären?

3) Anwendbarkeit von Grenzwerten für die Risikoregulierung

Lassen sich auch für CeO₂- und CuO-NP umgekehrte Dosis-Wirkungsbeziehungen beobachten? Wenn ja, verhält es sich bei korrespondierenden Salzlösungen dieser Metalle nicht so? Sind die Ergebnisse reproduzierbar? Stützen analytische Daten den oben aufgeführten Erklärungsansatz?

4) Förderung des Verbraucherbewusstseins zum Thema Nanomaterialien in Böden

Wie können die bisherigen Erkenntnisse zu den aufgeführten Themen transparent und attraktiv in die Öffentlichkeit vermittelt werden? Wie kann die naturwissenschaftliche Forschung dazu beitragen, Verbraucherinnen und Verbraucher zu einem kritischen, aber auch ergebnisoffenen Umgang mit Nanomaterialien zu bewegen? Wie kann deren Interesse für die wichtige Ressource Boden befördert werden?

Es versteht sich von selbst, dass der oben aufgeführte umfangreiche Fragenkatalog nicht in einem einzelnen Promotionsvorhaben bearbeitet werden kann. Die Auflistung soll Bewerberinnen und Bewerbern Anregungen bieten, ihr Vorhaben vor dem Hintergrund ihres eigenen Vorwissens optimal in das Kollektiv der übrigen Stipendiatinnen und Stipendiaten einzubetten. Dafür steht in der Abteilung Ökologie das folgende methodische Instrumentarium zur Verfügung:

- Ökotoxikologische Testbatterie mit einer Vielzahl von Organismen und Endpunkten (standardisierte, modifizierte und neue Verfahren mit Bakterien, verschiedenen Bodentieren, Pflanzen sowie aquatischen Organismen; Akut-, Reproduktions- und Verhaltenstests, Einzel- und Mehrarten-Systeme)
- Zuchten, Klimakammern und klimatisierter Kulturraum für die verschiedenen Testsysteme
- Optik-Labor (Binokulare, Mikroskope, Kameras) mit teilautomatisierter Bildauswertung
- Umfangreiche Vorerfahrungen zur Gefährdungsabschätzung in Böden, insbesondere von metallischen und metalloxidischen Nanopartikeln (v.a. Silber und Eisenoxid) sowie Kupferverbindungen
- Verschiedene statistische Auswertungsverfahren und -programme (R, ToxRat, SPSS)
- Umfassendes Netzwerk im Bereich Nanotechnologie aus aktuellen und früheren Projekten (Universität Bremen, national, international)

6.1.2 Hauptkooperation im Kolleg: Tandem mit der AG Borchers

Die eingangs und unter dem Leitthema Nr. 4 aufgeführte Diskrepanz zwischen der Einstellung von Verbraucherinnen und Verbrauchern gegenüber der Ressource Boden und deren beträchtlichem Gefährdungspotenzial durch Nanomaterialien drängt eine gemeinschaftliche Beantwortung der im Teilprojekt der AG Borchers aufgeführten Fragen geradezu auf. Die Antragsteller versprechen sich von der Kooperation viele interessante Ergebnisse von hoher gesellschaftlicher Relevanz, die sicher auch von der Zusammenarbeit mit den übrigen Teilprojekten in vielfältiger Weise befruchtet werden:

6.1.3 Weitere Kooperationen im Kolleg

- AG Dringen: Bestimmung der Gehalte von Kupfer und anderen Metallen in Organismen und Böden
- AG Thöming / Stolte: Bedeutung der Biomolekül-Corona von CuO-NP für deren toxische Wirkung auf Bodenorganismen
- AG von Gleich: Risikobeurteilung der eingesetzten Nanopartikel
- AG Bäumer: Methodenabgleich für strukturelle Untersuchungen von nanopartikulärem Ceroxid
- AG Elster: Didaktische Vermittlung der Gefährdung der Ressource Boden durch die untersuchten Nanomaterialien
- AG Schlacke: Implikationen der Untersuchungsergebnisse insbesondere zu Leitthema Nr. 3 für die Risikoregulierung

6.1.4 Einschlägige eigene Publikationen und Projekte

Ausgewählte Publikationen

- Baumann J, Sakka Y, Bertrand C, Köser J, Filser J (2013) Adaptation of the *Daphnia sp.* acute toxicity test: miniaturization and prolongation for the testing of nanomaterials. *Environmental Science and Pollution Research*, DOI 10.1007/s11356-013-2094-y
- Filser J, Arndt D, Baumann J, Geppert M, Hackmann S, Luther EM, Pade C, Prenzel K, Wigger H, Arning J, Hohnholt MC, Köser J, Kück A, Lesnikow E, Neumann J, Schütrumpf S, Warrelmann J, Bäumer M, Dringen R, von Gleich A, Swiderek P, Thöming J (2013a) Intrinsically green iron oxide nanoparticles? From synthesis via (eco-)toxicology to scenario modelling. *Nanoscale* 5:1034-1046.

Filser J, Wiegmann S, Schröder B (2013b) Collembola in Ecotoxicology - any News or just Boring Routine? *Applied Soil Ecology*, in press.

Navarro E, Baun A, Behra R, Hartmann NB, Filser J, A, Miao A-I, Quigg A, Santschi PH, and Sigg, R (2008) Environmental behaviour and ecotoxicity of engineered nanoparticles to algae, plants and fungi. *Ecotoxicology* 17: 372-386, DOI 10.1007/s10646-008-0214-0

Filser J, Koehler H, Ruf A, Römbke J, Prinzing A, Schaefer M (2008) Ecological theory meets soil ecotoxicology: challenge and chance. *Basic Appl. Ecol.* 9: 346-355, doi:10.1016/j.baee.2007.08.010

Ausgewählte Projekte

Verbundvorhaben „Abschätzung der Umweltgefährdung durch Siber-Nanomaterialien: vom chemischen Partikel bis zum technischen Produkt (UMSICHT)“, Mittelgeber: BMBF, 16 Kooperationspartner aus Wissenschaft, Wirtschaft und Regulierungsbehörden, Gesamtleitung: J. Filser, Laufzeit: 2008-2013

Promotionskolleg „Toxische Kombinationswirkungen künstlich hergestellter Nanopartikel (nanoToxCom)“, Mittelgeber: Hans-Böckler-Stiftung, Verband der chemischen Industrie, Beteiligung von sieben Arbeitsgruppen der Universität Bremen und einem Kooperationspartner aus der Wirtschaft, Sprecherin: J. Filser, Laufzeit: 2008-2013

Kompetenz in der Entwicklung und Umweltgefährdungsbeurteilung von Nanopartikeln (Umweltkompetenz Nanomaterialien), Mittelgeber: Senator für Umwelt, Bau und Verkehr, Bremen, Europäischen Fonds für regionale Entwicklung EFRE, Laufzeit: 2008-2013

Analytik und Risikoabschätzungsstrategie für mikrobiozide nanotechnologische Produkte, Mittelgeber: Wirtschaftsförderung Bremen (WFB), Laufzeit: 2007-2009

Promotionskolleg „Toxische Kombinationswirkungen - Komplexe Wirkungen chemischer und physikalischer Stressoren auf Mensch und Umwelt (ToxCom)“, Mittelgeber: Hans-Böckler-Stiftung, Beteiligung von fünf Arbeitsgruppen der Universitäten Bremen und Oldenburg, Laufzeit: 2003-2006

6.1.5 Zitierte Literatur

Blinova I, Ivask A, Heinlaan M, Mortimer M, Kahru A. (2010). Ecotoxicity of nanoparticles of CuO and ZnO in natural water. *Environmental Pollution* 158:41-47.

Fagin D. (2012). The learning curve. *Nature* 490:462-465.

Wang Z, Li J, Zhao J, Xing B. (2011). Toxicity and internalization of CuO nanoparticles to prokaryotic alga *Microcystis aeruginosa* as affected by dissolved organic matter. *Environmental Science & Technology* 45:6032-6040.

Zhao J, Wang Z, Liu X, Xie X, Zhang K, Xing B. (2011). Distribution of CuO nanoparticles in juvenile carp (*Cyprinus carpio*) and their potential toxicity. *Journal of Hazardous Materials* 197:304-310.

- Filser J, Arndt D, Baumann J, Geppert M, Hackmann S, Luther EM, Pade C, Prenzel K, Wigger H, Arning J, Hohnholt MC, Köser J, Kück A, Lesnikow E, Neumann J, Schütrumpf S, Warrelmann J, Bäumer M, Dringen R, von Gleich A, Swiderek P, Thöming J. (2013). Intrinsically green iron oxide nanoparticles? From synthesis via (eco-)toxicology to scenario modelling. *Nanoscale* 5:1034-1046.
- Heckmann L-H, Hovgaard MB, Sutherland DS, Autrup H, Besenbacher F, Scott-Fordsmand JJ. (2011). Limit-test toxicity screening of selected inorganic nanoparticles to the earthworm *Eisenia fetida*. *Ecotoxicology* 20:226-233.
- López-Moreno ML, De La Rosa G, Hernández-Viezcas JA, Castillo-Michel H, Botez CE, Peralta-Videa JR, Gardea-Torresdey JL. (2010). Evidence of the Differential Biotransformation and Genotoxicity of ZnO and CeO₂ Nanoparticles on Soybean (*Glycine max*) Plants. *Environmental Science and Technology* 44:7315-7320.
- Pan B, Xing B. (2012). Applications and implications of manufactured nanoparticles in soils: a review. *European Journal of Soil Science* 63:437-456.
- Priester JH, Ge Y, Mielke RE, Horst AM, Moritz SC, Espinosa K, Gelb J, Walker SL, Nisbet RM, An Y-J, Schimel JP, Palmer RG, Hernández-Viezcas JA, Zhao L, Gardea-Torresdey JL, Holden PA. (2012). Soybean susceptibility to manufactured nanomaterials with evidence for food quality and soil fertility interruption. *PNAS* E2451-E2456.
- Zhang H, He X, Zhang Z, Zhang P, Li Y, Ma Y, Kuang Y, Zhao Y, Chai Z. (2011). Nano-CeO₂ Exhibits Adverse Effects at Environmental Relevant Concentrations. *Environmental Science and Technology* 45:3725-3730.
- Zhang P, He X, Ma Y, Lu K, Zhao Y, Zhang Z. (2012). Distribution and Bioavailability of ceria nanoparticles in an aquatic ecosystem model. *Chemosphere* 89:530-535.
- Tourinho PS, Van Gestel CAM, Lofts S, Svendsen C, Soares AMVM, Loureiro S. (2012). Metal-based nanoparticles in soil: fate, behavior, and effects on soil invertebrates. *Environmental Toxicology and Chemistry* 31:1679-1692.
- Gomes SIL, Novais SC, Scott-Fordsmand JJ, De Coen W, Soares AMVM, Amorim MJB. (2012). Effect of Cu-nanoparticles versus Cu-salt in *Enchytraeus albidus* (Oligochaeta): Differential gene expression through microarray analysis. *Comp Biochem Physiol Part C: Toxicol Pharmacol* 155:219-227.
- Unrine J; Tsyusko O; Hunyadi S; Judy J; Bertsch PM (2010) Effects of particle size on chemical speciation and bioavailability of Cu to earthworms (*Eisenia fetida*) exposed to Cu nanoparticles. *J. Environ. Qual.*, doi: 10.2134/jeq2009.0387.
- Filser J, Fromm H, Nagel R, Winter K. (1995). Effects of previous intensive agricultural management on microorganisms and the biodiversity of soil fauna. *Plant and Soil* 170:123-129.
- Filser J, Mebes K-H, Winter K, Lang A, Kampichler C. (2002). Long-term dynamics and interrelationships of soil Collembola and microorganisms in an arable landscape following land use change. *Geoderma* 105:201-221.
- Navarro E, Baun A, Behra R, Hartmann NB, Filser J, Miao A-I, Quigg A, Santschi PH, Sigg R. (2008). Environmental behaviour and ecotoxicity of engineered nanoparticles to algae, plants and fungi. *Ecotoxicology* 17:372-386.

Pfeffer SP, Khalili H, Filser J. (2010). Food choice and reproductive success of *Folsomia candida* feeding on copper-contaminated mycelium of the soil fungus *Alternaria alternata*. *Pedobiologia* 54:19-23.

6.2 Aufnahme, Biokompatibilität und Metabolisierung von Kupferoxid-Nanopartikeln in Gehirnzellen

AG Dringen, Neurobiochemie, Universität Bremen

Die zellulären Mechanismen der Aufnahme, der Toxizität und der Metabolisierung von Nanopartikeln, die redoxaktive Metalle enthalten, sind bisher für Gehirnzellen wenig verstanden. Hierbei sind insbesondere Kupfer-enthaltende Nanopartikel von besonderem Interesse, da diese vielfältig für technische und antimikrobielle Applikationen eingesetzt werden (Chang et al. 2005; Ren et al. 2009; Ahmad et al. 2012; Lignier et al. 2012). Kupferionen sind unverzichtbar für Zellen. Auf Grund ihrer Beteiligung an Reaktionen mit Ein-Elektronen-Übergängen sind Kupferionen für viele enzymatische Reaktionen wichtig und spielen z.B. eine essentielle Rolle in der mitochondrialen Atmungskette (Komplex IV), bei der Entgiftung von reaktiven Sauerstoffspezies (Kupfer-Zink-Superoxiddismutase) und beim Eisenstoffwechsel (Ceruloplasmin) (Scheiber & Dringen 2013). Ein Überschuss an Kupferionen hat jedoch sehr nachteilige Konsequenzen für Zellen, da Kupferionen in redoxaktiver Form durch eine Fenton-analoge chemische Reaktion die Bildung von Hydroxylradikalen aus Wasserstoffperoxid katalysieren. Hydroxylradikale sind überaus reaktiv und schädigen Biomoleküle wie Nukleinsäuren, Proteine und Lipide. Solche Prozesse sind an dem bekannten genotoxischen und carcinogenen Potential von Kupfer-enthaltenden Nanopartikeln beteiligt (Magaye et al. 2012). Störungen der Kupferhomöostase des Gehirns werden im Zusammenhang mit einer Vielzahl von neurodegenerativen Erkrankungen diskutiert, wobei sowohl ein Überangebot von Kupfer wie auch ein neuronales Kupferdefizit zur Schädigung beitragen können (Greenough et al. 2013; Liddell et al. 2013). Astrozyten haben vermutlich eine zentrale Rolle bei der Regulation der Kupferhomöostase im Gehirn, da diese Zellen effizient Kupferionen aufnehmen, einen Überschuss von Kupfer als Glutathionkomplex oder in Metallothioneinen speichern, sowie Kupferionen abgeben können (Scheiber & Dringen 2012; Scheiber et al. 2010, 2012; Dringen et al. 2013).

Aufnahme und Metabolisierung von Eisenoxid- und Silbrenanopartikel durch Astrozyten sind von der Arbeitsgruppe Dringen in den letzten Jahren im Rahmen von *nanoToxCom* von Mark Geppert und Eva Luther intensiv untersucht worden (zur Übersicht s. Hohnholt et al. 2013). Ebenso wurde in der AG Dringen in den letzten Jahren die zentrale Rolle von Astrozyten im neuralen Kupferstoffwechsel nachgewiesen (zur Übersicht s. Scheiber & Dringen 2013, Dringen et al. 2013). Diese breite experimentelle Expertise soll jetzt genutzt werden, um das akute und chronische toxische Potential von Kupfer-enthaltenden Nanopartikeln auf Gehirnzellen und ihre zelluläre Metabolisierung zu untersuchen. Deshalb sollen die in der Arbeitsgruppe Dringen durchzuführenden Teilprojekte sowohl akute wie chronische Konsequenzen einer Exposition von Gehirnzellkulturen mit Kupferoxidnanopartikeln untersuchen. Dazu sollen zelluläre Aufnahme, die oxidative Wirkung, das zellschädigende Potential, die Freiset-

zung von Kupferionen aus den aufgenommenen Nanopartikeln sowie ein potentieller Kupferexport an etablierten Zellkulturmodellen für Nervenzellen (Tulpule et al., 2013) und Astrozyten (Geppert et al., 2011; Luther et al., 2012) untersucht werden. Zur Bearbeitung dieser Fragestellungen kann eine Vielzahl von etablierten Methoden genutzt werden.

6.2.1 Arbeitsplan

Folgende Teilprojekte sollen bearbeitet werden:

1) *Untersuchung der Aufnahme der Nanopartikel:*

Dazu sollen zelluläre Gehalte von Kupfer nach Exposition von Gehirnzellkulturen mit Kupferoxidnanopartikeln durch Atomabsorptionsspektroskopie (Scheiber et al. 2010) quantifiziert und eine Modulation der zellulären Akkumulation der Partikel durch Variation der Konzentration und der Temperatur untersucht werden. Weiterhin soll durch Applikation von Endozytoseinhibitoren die molekularen Mechanismen der Partikelaufnahme sowie Effekte von Serumproteinen auf die Aufnahme untersucht werden. Für diese Untersuchungen sollen die erfolgreichen experimentellen Strategien genutzt werden, die bereits für Eisenoxid- und Silbernanopartikel eingesetzt wurden (Geppert et al. 2011, 2013; Luther et al. 2011, 2012).

2) *Untersuchung der Biokompatibilität von Kupferoxidnanopartikeln:*

Dazu soll nach Gaben der Nanopartikeln eine potentielle Zellschädigung durch Messung der Freisetzung des zellulären Enzyms Lactatdehydrogenase und durch Anfärbung der Zellen mit dem Membran-impermeablen Farbstoff Propidiumjodid quantifiziert und visualisiert werden (Hohnholt & Dringen 2011; Hohnholt et al. 2011), sowie die Konzentrationen an Nanopartikeln bestimmt werden, die halbmaximale toxische Wirkungen hervorrufen. Durch Bestimmung des Verhältnisses von Glutathion zu Glutathiondisulfid sowie des Vorkommens intrazellulärer Radikale (Hohnholt & Dringen 2011; Hohnholt et al. 2011) als Indikatoren soll eine Beteiligung von oxidativem Stress an der Toxizität von Kupferoxidnanopartikeln nachgewiesen werden.

3) *Untersuchung des zellulären Abbaus und der Freisetzung von Kupfer aus akkumulierten Kupferoxidnanopartikeln:*

Eine Mobilisierung von Kupferionen aus Nanopartikeln würde zu einem Anstieg der zellulären Konzentration niedermolekularen Kupfers führen, der durch Nachweis der starken Synthese von Metallspeicherproteinen (Metallothioneine) mittels immunocytochemischer Färbung und Westernblotanalysen (Luther et al. 2012; Scheiber und Dringen 2012) nachgewiesen werden kann. Darüber hinaus soll durch Messung der Kupfergehalte in Medien von Zellen, die mit Kupferoxidnanopartikeln beladen wurden, auf einen Export von aus Kupferoxidnanopartikeln freigesetzten Kupferionen aus Zellen getestet werden.

6.2.2 Hauptkooperation im Kolleg: Tandem mit der AG Elster

Die in den Arbeitsgruppen Elster und Dringen tätigen StipendiatInnen sollen zusammen mit weiteren Mitgliedern dieser Arbeitsgruppen Konzepte zur besseren Vermittlung von Chancen und Risiken der Nanotechnologie entwickeln. Dazu sollen auch einfache Experimente für Schüler etabliert werden, die ein Verständnis von Größe, Eigenschaften und Reaktivitäten von Nanopartikeln vermitteln.

6.2.3 Weitere Kooperationen im Kolleg

| | |
|-------------------|---|
| AG Filser: | Bestimmung der Gehalte von Kupfer- und anderer Metalle in Organismen und Böden |
| AG Thöming/Stolte | Optimierung der organischen Hüllkomponenten der Nanopartikel hinsichtlich Biokompatibilität, Aufnahme und Metabolisierung |
| AG Bäumer | beidseitige Ergänzung analytischer Methoden |
| AG Schlacke: | Implikationen der Untersuchungsergebnisse für die Risikoregulierung |
| AG Borchers | Implikationen der Untersuchungsergebnisse für den Umgang mit Nanotechnologie als komplexes Entscheidungsproblem |

6.2.4 Besondere Raum- und Sachausstattung

- Graphitrohr-Atomabsorptionsspektrometer (Varian AA240Z mit Graphitrohrföfen GTA120 und Probengeber PSD-120)
- Zwei Zellkulturräume mit vollständiger Ausrüstung für Säugerzellkulturen

6.2.5 Einschlägige eigene Publikationen und Projekte

Publikationen mit Bezug zum Thema des Teilprojektes

- Bulcke F, Thiel K, Dringen R (2013) Uptake and toxicity of copper oxide nanoparticles in cultured primary brain astrocytes. *Nanotoxicology*, in press. (IF = 7.844)
- Dringen R, Scheiber IF, Mercer JFB (2013) Copper metabolism of astrocytes. *Front. Aging Neurosci.* 5, article 9, 1-4. (IF = 5.224)
- Luther EM, Petters C, Bulcke F, Kaltz A, Thiel K, Bickmeyer U, Dringen R (2013) Endocytotic uptake of iron oxide nanoparticles by cultured microglial cells. *Acta Biomater.* 9, 8454-8465. (IF = 5.093)

Geppert M, Hohnholt MC, Nürnberger S, Dringen R (2012) Ferritin upregulation and transient ROS production in cultured brain astrocytes after loading with iron oxide nanoparticles.. *Acta Biomat.* 8, 3832-3839. (IF = 5.093)

Geppert M, Hohnholt MC, Thiel K, Nürnberger S, Grunwald I, Rezwan K., Dringen R (2011) Accumulation of dimercaptosuccinate-coated magnetic iron oxide nanoparticles by cultured astrocytes. *Nanotechnology* 22, 145101. (IF = 3.842)

Projekte mit Bezug zum Thema des Teilprojektes

Synthese, Charakterisierung und Zelltoxizität von Kupferoxid-Nanopartikeln (Felix Bulcke, Doktorarbeit), Finanzierung: Universitäts-Haushaltmittel der AG Dringen, laufendes Projekt seit 2012

Copper metabolism and copper-mediated alterations in the metabolism of cultured astrocytes (Ivo F. Scheiber, Dissertation 2012), Finanzierung: Universitäts-Haushaltmittel der AG Dringen, in 2012 abgeschlossenes Projekt

Synthesis and characterization of iron oxide nanoparticles and investigation of their biocompatibility on astrocyte cultures (Mark Geppert, Dissertation 2012), Finanzierung: Hans-Böckler-Stiftung im Rahmen von nanoToxCom sowie Universitäts-Haushaltmittel der AG Dringen, in 2012 abgeschlossenes Projekt

Accumulation of iron oxide and silver nanoparticles in cultured brain cells (Eva. M. Luther, Dissertation 2013), Finanzierung: Hans-Böckler-Stiftung im Rahmen von nanoToxCom sowie Universitäts-Haushaltmittel der AG Dringen, in 2013 abgeschlossenes Projekt

Aufnahme und Stoffwechsel von fluoreszierenden Nanopartikeln in Gehirnzellen (Charlotte Petters, Doktorarbeit), Finanzierung: Universitäts-Haushaltmittel der AG Dringen, laufendes Projekt seit 2011

6.2.6 Zitierte Literatur

Ahmad Z., Vargas-Reus M.A., Bakhshi R., Ryan F., Ren G.G., Oktar F., Allaker R.P. (2012) Antimicrobial properties of electrically formed elastomeric polyurethane-copper oxide nanocomposites for medical and dental applications. *Methods Enzymol.* 509, 87-99.

Chang H., Jwo C.S., Lo C.H., Tsung T.T., Kao M.J., Lin H.M. (2005) Rheology of CuO nanoparticle suspension prepared by ASNSS. *Rev. Adv. Mater Sci.* 10, 128-132.

Dringen R., Scheiber I.F., Mercer J.F.B. (2013) Copper metabolism of astrocytes. *Front. Aging Neurosci.* 5, article 9, 1-4.

Geppert M., Petters C., Thiel K., Dringen R. (2013) Presence of serum alters properties of iron oxide nanoparticles and lowers their accumulation by cultured brain astrocytes. *J. Nanopart. Res.* 15, 1349.

- Geppert M., Hohnholt M.C., Thiel K., Nürnberger S., Grunwald I., Rezwan K., Dringen R. (2011) Accumulation of dimercaptosuccinate-coated magnetic iron oxide nanoparticles by cultured astrocytes. *Nanotechnology* 22, 145101.
- Greenough M.A., Camakaris J., Bush A.I. (2013) Metal dyshomeostasis and oxidative stress in Alzheimer's disease. *Neurochem. Int.* 62, 540-555.
- Hohnholt M.C., Dringen R. (2011) Iron-dependent formation of reactive oxygen species and glutathione depletion after accumulation of magnetic iron oxide nanoparticles by oligodendroglial cells. *J. Nanopart. Res.* 13, 6761-6774.
- Hohnholt M.C., Geppert M., Dringen R. (2011) Treatment with iron oxide nanoparticles induces ferritin synthesis but not oxidative stress in oligodendroglial cell. *Acta Biomater.* 7, 3946-3954.
- Hohnholt M.C., Geppert M., Luther E.M., Petters C., Bulcke F., Dringen R. (2013) Handling of iron oxide and silver nanoparticles by astrocytes. *Neurochem. Res.* 38, 227-239.
- Liddell J.R., Bush A.I., White A.R. (2013) "Copper in brain and neurodegeneration", in *Encyclopedia of Inorganic and Bioinorganic Chemistry*, Volume: Metals in Cells (Hoboken, NJ: Wiley), in press.
- Lignier P., Bellabarba R., Tooze R.P. (2012) Scalable strategies for the synthesis of well-defined copper metal and oxide nanoparticles. *Chem. Soc. Rev.* 41, 1708-1720.
- Luther E.M., Koehler Y., Diendorf J., Epple M., Dringen R. (2011) Accumulation of PVP-coated silver nanoparticles by cultured astrocytes. *Nanotechnology* 22, 375101.
- Luther E.M., Schmidt M.M., Diendorf J., Epple M., Dringen R. (2012) Upregulation of metallothioneins after exposure of cultured primary astrocytes to silver nanoparticles. *Neurochem. Res.* 37, 1639-1648.
- Magaye R., Zhao J., Bowman L., Ding M. (2012) Genotoxicity and carcinogenicity of cobalt-, nickel- and copper-based nanoparticles. *Exp. Ther. Med.* 4, 551-561.
- Ren G., Hu D., Cheng E.W.C., Vargas-Reus M.A., Reip P., Allaker R.P. (2009) Characterisation of copper oxide nanoparticles for antimicrobial applications. *Int. J. Antimicrobiol. Agents* 33, 587-590.
- Scheiber I.F., Dringen R. (2013) Astrocyte functions in the copper homeostasis of the brain. *Neurochem. Int.* 62, 556-565.
- Scheiber I.F., Mercer J.F., Dringen R. (2010) Copper accumulation by cultured astrocytes. *Neurochem. Int.* 56, 451-460.
- Scheiber I.F., Schmidt M.M., Dringen R. (2012) Copper export from cultured astrocytes. *Neurochem. Int.* 60, 292-300.
- Tulpule K., Hohnholt M.C., Dringen R. (2013) Formaldehyde metabolism and formaldehyde-induced stimulation of lactate production and glutathione export in cultured neurons. *J. Neurochem.* 125, 260-272

6.3 Einfluss der Biomolekül-Corona von Kupferoxid-Nanopartikeln in biologischen Matrices auf nanotoxikologische Effekte

AG Thöming/Stolte, Nachhaltigkeit in der Chemie, Universität Bremen

Die Nanotechnologie gilt als einer der Schlüsselwissenschaften des 21. Jahrhunderts und eröffnet Möglichkeiten für neuartige Produkte und Verfahren in fast allen Industriebereichen. Insbesondere Kupferoxid-Nanopartikel (CuO-NP) werden zum Beispiel als Katalysatoren¹ und Schmierstoffe² sowie in Batterien³ und Gassensoren⁴ verwendet. Auch wenn Kupferionen für den menschlichen Körper essentiellen sind, können erhöhte Konzentrationen human-toxikologische Effekte hervorrufen.^{5,6} Auch die Umweltgefährlichkeit von CuO-NP wurde in den letzten Jahren intensiv erforscht und so konnten Schadwirkungen z. B. gegenüber Fischen, Krebstieren, Algen und Bakterien festgestellt werden.⁷⁻⁹

Eine große Herausforderung bei der Bewertung der Toxizität/Ökotoxizität von Nanopartikeln ist der Umstand, dass sich in die Umwelt eingebrachte Nanomaterialien in Abhängigkeit der Zusammensetzung des Umweltmediums schlagartig verändern.¹⁰⁻¹² Somit sind die bei der industriellen Herstellung oftmals gut charakterisierten Nanomaterialien nur bedingt mit den in der Umwelt vorkommenden Nanopartikeln zu vergleichen. Neben Faktoren wie pH-Wert und Ionenstärke hat insbesondere die Gegenwart von Proteinen (vorhanden in den meisten physiologischen Medien) einen wesentlichen Einfluss auf die Partikeleigenschaften.¹²⁻¹⁴ Welche Proteine an welche Nanopartikel besonders effizient binden und wie die von ihnen dadurch ausgebildete Biomolekül-Hülle, die so genannte „Corona“, von den physikalisch-chemischen Eigenschaften der Nanomaterialien wie Größe, Material und/oder Oberflächenbeschaffenheit beeinflusst wird, ist noch weitgehend unverstanden und wird vor allem im Bereich der Humantoxikologie aktuell intensiv untersucht.^{12,15} Nicht nur physiologische Umgebungen des menschlichen Körpers, sondern auch umwelttoxikologisch-relevante Umgebungen, z. B. Gewässer oder Böden, enthalten verschiedenste Biomoleküle. Während in humanen Organismen hauptsächlich Proteine vorherrschen, sind Umweltmatrices hochkomplexe Mischungen aus unter anderem organischen Säuren, Mono-, Di- und Polysacchariden, Lipiden, Aminosäuren und Proteinen.¹⁶ So konnte ein starker Einfluss von gelösten organischen Substanzen („Dissolved Organic Matter“, DOM) in natürlichen Wässern auf das Agglomerationsverhalten von Ag-, Cu-, TiO₂-, ZnO-, CeO₂- und Si-Nanopartikeln nachgewiesen werden.^{10,11,16,17} Die Gegenwart von Biomolekülen in dem Umweltmedium hat demzufolge einen direkten Einfluss auf die Bioverfügbarkeit und stellt einen Schlüssel bei der Interpretation von (Öko-)Toxizitätsdaten¹¹ und bei dem Verständnis von Transportprozessen von Nanopartikeln in der Umwelt dar.¹⁷

Bisher gibt es in der Umwelt-, und Nanoökotoxikologie keinerlei Untersuchungen zum Einfluss der Biomolekül-Corona auf die Umweltverträglichkeit von Nanomaterialien, darunter auch CuO-NP. Die bisher publizierten Forschungsergebnisse zur Wechselwirkung von Biomolekülen in Umweltmatrices und Nanopartikel beruhen alle auf der Verwendung von Summenparametern (z. B. DOM), ohne die Corona der Partikel (Proteine, Lipide, Saccharide etc.) selbst zu identifizieren.

Dies stellt eine entscheidende Wissenslücke für das umwelttoxikologische Verständnis der Kurz- und Langzeitwirkung von Nanomaterialien dar, welche in diesem Forschungsvorhaben am Beispiel von CuO-NP detailliert untersucht werden soll.

Neben den physikalisch-chemischen Eigenschaften von Nanomaterialien, welche bisher für deren Biokompatibilitäts- und Risiko-Bewertung herangezogen wurden, könnte die Bestimmung der Biomolekül-Corona zusätzliche wichtige Kriterien zur Bewertung von Nanomaterialien liefern. So könnte sich gegebenenfalls herausstellen, dass die (Öko-)Toxizität von CuO-NP keine intrinsische, sondern eine extrinsische Partikeleigenschaft ist, die durch die Partikel-Corona und demnach durch die Biomoleküle der entsprechenden Umweltmatrix definiert wird.

Arbeitsplan

1) Partikel und Medienauswahl

In Rückkopplung mit den anderen Arbeitsgruppen des Kollegs werden CuO-NP und die zu untersuchenden biologischen Medien definiert.

2) Anpassung der Probenvorbereitung und analytischen Methoden

Die komplexen analytischen Fragestellungen, die einer breit aufgestellten instrumentellen Analytik bedürfen, werden in enger Kooperation mit der Abteilung „Umweltanalytik“ der Universität Danzig durchgeführt (Herr Stolte unterhält in dieser Abteilung eine Gastprofessur und kann die Infrastruktur zur Verfügung stellen). Benötigte Reisemittel können über ein vom DAAD (Deutscher Akademische Austauschdienst) finanziertes Austauschprogramm bestritten werden.

Die Arbeitsgruppe „Umweltanalytik“ der Universität Danzig und das UFT haben gemeinsam eine breite Expertise in der Analytik von u.a. Fettsäuren-, -Alkoholen, -Aldehyden, -Ketonen und Fettsäureestern sowie Terpenoiden und Lipiden via MALDI-TOF-MS und LC/MS/MS.¹⁸⁻²⁰ Bei der Analyse von Kohlenhydraten mittels NMR (1D, 2D und 3D), MALDI-TOF-MS, GC-MS und der Größenausschlusschromatographie können wir auf langjährige Erfahrungen zurückgreifen.²¹⁻²³

Zur Analyse von Huminstoffen gilt es, in der Literatur beschriebene Methoden²⁴ der Größenausschlusschromatographie am UFT zu etablieren.

3) Bestimmung der Biomolekül-Nanopartikel Corona

Die ausgewählten Partikel (Arbeitspaket 1) werden mit optimierten Methoden (Arbeitspaket 2) hinsichtlich ihrer Biomolekül-Corona (Lipide, Kohlenhydrate, Proteine etc.) in unterschiedlichen Medien untersucht. Neben Untersuchungen zur Corona werden das Agglomerationsverhalten mittels DLS und das Zeta-Potenzial der Partikel in den unterschiedlichen Medien analysiert. Entsprechende Methoden sind am UFT etabliert.²⁵

4) Bestimmung der Corona über die Zeit

Dieses Arbeitspaket beinhaltet Untersuchungen zur Veränderung der Corona mit der Verweilzeit der Partikel in Umweltmedien. In definierten Zeitintervallen (Minuten, Stunden, Tagen, Wochen), die den ökotoxikologischen Testlaufzeiten entsprechen, wird die dynamische „Evolution“ der Corona festgehalten.

5) Struktur-Eigenschafts- und Struktur-Wirkungs-Beziehungen

Die Ergebnisse aus Arbeitspaket 3 und 4 werden zur Ableitung von Struktur-Eigenschafts-, und Struktur-Wirkungs-Beziehungen herangezogen. Im Zentrum dieser Untersuchungen stehen die folgenden Fragenstellungen: Welche Biomoleküle haben die größte Affinität zu CuO-NP? Wie stabil ist diese Corona? Wie verändern sich die Partikeleigenschaften (Größe, Zeta-Potenzial etc.) durch diese Corona? Desweiteren fließen die gesammelten umweltchemischen und ökotoxikologischen Erkenntnisse der Partner ein, um die Auswirkungen der Biomolekül-Nanopartikel Corona auf Bioverfügbarkeit, Ökotoxizität und Aufnahmeverhalten von CuO-NP zu interpretieren.

6.3.1 Hauptkooperation im Kolleg: Tandem mit der AG Schlacke

Die StipendiatInnen der Arbeitsgruppen Schlacke und Thöming/Stolte nutzen die Fallstudie Kupferoxid-Nanopartikel um zu ermitteln, welche Teilgebiete des Umweltrechts für CuO-NP greifen. Hierzu werden gemeinsam Produktionsvolumina, Einsatzbereiche und potenzielle Eintragspfade von CuO-NP in die Umwelt ermittelt. Ziel dieses Fallbeispiels ist darüber hinaus, zu prüfen, ob das vorhandene Recht im ausreichenden Maße mögliche Umweltbeeinträchtigungen überprüft und gegebenenfalls auf Lücken und Defizite im geltenden Recht hinzuweisen.

6.3.2 Weitere Kooperationen im Kolleg

| | |
|-------------|--|
| AG Filser: | Vernetzung der Ergebnisse „Corona“ und biologische Effekte in Böden; Bereitstellung von analytischen Methoden zur CuO-NP-Charakterisierung in Medien |
| AG Dringen: | Einfluss der Biomolekül-Corona auf die Aufnahme in Zellen; beidseitige Ergänzung analytischer Methoden. |
| AG Bäumer | beidseitige Ergänzung analytischer Methoden |
| AG Borchers | Implikationen der Untersuchungsergebnisse für den Umgang mit Nanotechnologie als komplexes Entscheidungsproblem |

AG Elster: „Übersetzung“, Kommunikation und didaktische Vermittlung der Forschungsergebnisse zu Veränderungen der Partikeleigenschaften in Umweltmedien

6.3.3 Einschlägige eigene Publikationen und Projekte

Ausgewählte Publikationen AG Thöming/Stolte

Arndt D, Thöming J, Bäumer M (2013) Improving the quality of nanoparticle production by using a new biphasic synthesis in a slug flow microreactor. *Chemical engineering Journal* (228), 1083-1091.

Kück A, Steinfeldt M, Prenzel K, Swiderek P, von Gleich A, Thöming J (2011) Green nanoparticle production using micro reactor technology. *J. Phys.: Conf. Ser.* 304, 012074

Kolodziejska M, Maszkowska J, Bialk-Bielinska A, Steudte S, Kumirska J, Stepnowski ., Stolte S (2013) Aquatic toxicity of four veterinary drugs commonly applied in fish farming and animal husbandry. *Chemosphere* 92(9), 1253-1259.

Anmerkung: Die mit ionischen Flüssigkeiten gewonnenen Erfahrungen zu Struktur-Wirkungsbeziehungen (SAR) von Chemikalien (siehe nachfolgende Publikationen) sind auch für die Übertragung auf Nanopartikel hilfreich und wichtig

Steudte S, Neumann J, Bottin-Weber U, Diedenhofen M, Arning J, Stepnowski P, Stolte S (2012) Hydrolysis study of fluoroorganic and cyano-based ionic liquid anions - consequences for operational safety and environmental stability. *Green Chemistry* 14(9), 2474-2483

Cho C-W, Preiss U, Jungnickel C, Stolte S, Arning J, Ranke J, Klamt A, Krossing I., Thöming J (2011) Ionic Liquids: Predictions of Physicochemical Properties with Experimental and/or DFT-Calculated LFER Parameters To Understand Molecular Interactions in Solution. *The Journal of Physical Chemistry B*, 115 (19), 6040-6050.

Ausgewählte Projekte AG Thöming/Stolte

COORETEC- Niederdruck Membranverfahren zur energieeffizienten CO₂-Abtrennung (Einsatz von Nanopartikeln zur Membranherstellung), Mittelgeber: BMWi, E.ON, RWE, Laufzeit 2010-2013

Kontinuierliche Fraktionierung von Mikro- und Nanopartikeln in polaren und unpolaren Medien mittels konzentrischer inhomogener elektrischer Felder, Mittelgeber: DFG, Laufzeit: 2012-2013

Hyperthermie-Therapie – Entwicklung eines kontinuierlichen Herstellungsverfahrens nanopartikulärer Magnetfelder für die Hyperthermie-Therapie zur Bekämpfung von Tumoren; Verfahrenstechnische Konzeption, Aufbau und Test des kontinuierlichen Reaktosystems, Mittel-

geber: BMWi, AIF ZIM Projekt, Kooperationspartner: MagForce AG, Berlin Laufzeit: 2013-2014

Eigensichere Rhenium-Katalysatoren für nachhaltige Synthesen, Mittelgeber: Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Laufzeit: 2011-2014

Fotokatalytischer Abbau von umweltgefährlichen Lösungsmitteln aus der Bio-Butanol-Extraktion, Mittelgeber: Senator für Umwelt, Bau und Verkehr, Bremen, Laufzeit: 2012-2014

6.3.4 Zitierte Literatur

- (1) Jammi, S.; Sakthivel, S.; Rout, L.; Mukherjee, T.; Mandal, S.; Mitra, R.; Saha, P.; Punniyamurthy, T. CuO Nanoparticles Catalyzed C–N, C–O, and C–S Cross-Coupling Reactions: Scope and Mechanism. *The Journal of Organic Chemistry* **2009**, *74*, 1971–1976.
- (2) Hernández Battez, A.; González, R.; Viesca, J. L.; Fernández, J. E.; Díaz Fernández, J. M.; Machado, A.; Chou, R.; Riba, J. CuO, ZrO₂ and ZnO nanoparticles as antiwear additive in oil lubricants. *Wear* **2008**, *265*, 422–428.
- (3) Zhang, D.-W.; Yi, T.-H.; Chen, C.-H. Cu nanoparticles derived from CuO electrodes in lithium cells. *Nanotechnology* **2005**, *16*, 2338–41.
- (4) Chowdhuri, A.; Gupta, V.; Sreenivas, K.; Kumar, R.; Mozumdar, S.; Patanjali, P. K. Response speed of SnO₂-based H₂S gas sensors with CuO nanoparticles. *Applied Physics Letters* **2004**, *84*, 1180.
- (5) Zietz, B.; Dieter, H.; Lakomek, M.; Sschneider, H.; Keslergadedke, B.; Dunkelberg, H. Epidemiological investigation on chronic copper toxicity to children exposed via the public drinking water supply. *The Science of The Total Environment* **2003**, *302*, 127–144.
- (6) Galhardi, C. M.; Diniz, Y. S.; Faine, L. A.; Rodrigues, H. G.; Burneiko, R. C. M.; Ribas, B. O.; Novelli, E. L. B. Toxicity of copper intake: lipid profile, oxidative stress and susceptibility to renal dysfunction. *Food and Chemical Toxicology* **2004**, *42*, 2053–2060.
- (7) Zhao, J.; Wang, Z.; Liu, X.; Xie, X.; Zhang, K.; Xing, B. Distribution of CuO nanoparticles in juvenile carp (*Cyprinus carpio*) and their potential toxicity. *Journal of hazardous materials* **2011**, *197*, 304–10.
- (8) Blinova, I.; Ivask, A.; Heinlaan, M.; Mortimer, M.; Kahru, A. Ecotoxicity of nanoparticles of CuO and ZnO in natural water. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)* **2010**, *158*, 41–7.
- (9) Wang, Z.; Li, J.; Zhao, J.; Xing, B. Toxicity and internalization of CuO nanoparticles to prokaryotic alga *Microcystis aeruginosa* as affected by dissolved organic matter. *Environmental science & technology* **2011**, *45*, 6032–40.
- (10) Gao, J.; Youn, S.; Hovsepyan, A.; Llana, V. L.; Wang, Y.; Bitton, G.; Bonzongo, J.-C. J. Dispersion and toxicity of selected manufactured nanomaterials in natural river water samples: effects of water chemical composition. *Environmental science & technology* **2009**, *43*, 3322–8.
- (11) Keller, A. a; Wang, H.; Zhou, D.; Lenihan, H. S.; Cherr, G.; Cardinale, B. J.; Miller, R.; Ji, Z. Stability and aggregation of metal oxide nanoparticles in natural aqueous matrices. *Environmental science & technology* **2010**, *44*, 1962–7.

- (12) Monopoli, M. P.; Aberg, C.; Salvati, A.; Dawson, K. a Biomolecular coronas provide the biological identity of nanosized materials. *Nature nanotechnology* **2012**, *7*, 779–86.
- (13) Gebauer, J. S.; Malissek, M.; Simon, S.; Knauer, S. K.; Maskos, M.; Stauber, R. H.; Peukert, W.; Treuel, L. Impact of the nanoparticle-protein corona on colloidal stability and protein structure. *Langmuir : the ACS journal of surfaces and colloids* **2012**, *28*, 9673–9.
- (14) Nel, A. E.; Mädler, L.; Velegol, D.; Xia, T.; Hoek, E. M. V.; Somasundaran, P.; Klaessig, F.; Castranova, V.; Thompson, M. Understanding biophysicochemical interactions at the nano-bio interface. *Nature materials* **2009**, *8*, 543–57.
- (15) Tenzer, S.; Docter, D.; Rosfa, S.; Wlodarski, A.; Rekić, A.; Knauer, S. K.; Bantz, C.; Nawroth, T.; Bier, C.; Sirirattanapan, J.; Mann, W.; Treuel, L.; Zellner, R.; Maskos, M.; Stauber, R. H. Nanoparticle Size Is a Critical Physico- chemical Determinant of the Human Blood Plasma Corona : A Comprehensive Quantitative Proteomic Analysis. **2011**.
- (16) Thio, B. J. R.; Zhou, D.; Keller, A. a Influence of natural organic matter on the aggregation and deposition of titanium dioxide nanoparticles. *Journal of hazardous materials* **2011**, *189*, 556–63.
- (17) Liu, X.; Wazne, M.; Chou, T.; Xiao, R.; Xu, S. Influence of Ca(2+) and Suwannee River Humic Acid on aggregation of silicon nanoparticles in aqueous media. *Water research* **2011**, *45*, 105–12.
- (18) Gołębiowski, M.; Maliński, E.; Nawrot, J.; Stepnowski, P. Identification and characterization of surface lipid components of the dried-bean beetle *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Stored Products Research* **2008**, *44*, 386–388.
- (19) Gołębiowski, M.; Boguś, M. I.; Paszkiewicz, M.; Stepnowski, P. The composition of the free fatty acids from *Dendrolimus pini* exuviae. *Journal of insect physiology* **2010**, *56*, 391–7.
- (20) Gołębiowski, M.; Boguś, M. I.; Paszkiewicz, M.; Stepnowski, P. Cuticular lipids of insects as potential biofungicides: methods of lipid composition analysis. *Analytical and bioanalytical chemistry* **2011**, *399*, 3177–91.
- (21) Caicedo, N. H.; Kumirska, J.; Neumann, J.; Stolte, S.; Thöming, J. Detection of Bioactive Exometabolites Produced by the Filamentous Marine Cyanobacterium *Geitlerinema* sp. *Marine biotechnology (New York, N.Y.)* **2012**, *14*, 436–45.
- (22) Kumirska, J.; Weinhold, M. X.; Steudte, S.; Thöming, J.; Brzozowski, K.; Stepnowski, P. Determination of the pattern of acetylation of chitosan samples: Comparison of evaluation methods and some validation parameters. *International Journal of Biological Macromolecules* **2009**, *45*, 56–60.
- (23) Kumirska, J.; Czerwicka, M.; Kaczyński, Z.; Bychowska, A.; Brzozowski, K.; Thöming, J.; Stepnowski, P. Application of spectroscopic methods for structural analysis of chitin and chitosan. *Marine drugs* **2010**, *8*, 1567–636.
- (24) McDonald, S.; Bishop, A. G.; Prenzler, P. D.; Robards, K. Analytical chemistry of freshwater humic substances. *Analytica Chimica Acta* **2004**, *527*, 105–124.
- (25) Filser, J.; Arndt, D.; Baumann, J.; Geppert, M.; Hackmann, S.; Luther, E. M.; Pade, C.; Prenzler, K.; Wigger, H.; Arning, J.; Hohnholt, M. C.; Köser, J.; Kück, A.; Lesnikov, E.; Neumann, J.; Schütrumpf, S.; Warrelmann, J.; Bäumer, M.; Dringen, R.; Von Gleich, A.; Swiderek, P.; Thöming, J. Intrinsically green iron oxide nanoparticles? From synthesis via (eco-)toxicology to scenario modelling. *Nanoscale* **2013**, *5*, 1034–46.

6.4 Nutzung von Ceroxid und Seltenerd-mischoxiden in der Abgaskatalyse

AG Bäumer, Angewandte und Physikalische Chemie, Universität Bremen

Die Nutzung nanotechnologisch erzeugter Produkte scheint auf den ersten Blick ein Bereich zu sein, der erst seit wenigen Jahrzehnten für die wirtschaftliche Entwicklung vieler Länder eine Rolle spielt. Es gibt jedoch auch Sparten, die schon sehr viel länger auf nanostrukturierte Materialien in industriellen Prozessen oder bei der Herstellung von Produkten zurück greifen, ohne dass dies in der Öffentlichkeit klar bekannt ist. Ein solcher Bereich ist z.B. die Herstellung von Carbon Black (Ruß), welcher als Pigment seit vielen Jahrzehnten Verwendung findet. Ein anderer Sektor ist die Katalyse, die darauf basiert, dass katalytische aktive Materialien mit hoher Oberfläche zum Einsatz kommen, um chemische Prozesse energieeffizienter, d.h. bei geringerer Temperatur und unter Ausstoß geringerer Mengen von Nebenprodukten und Abfällen, herstellen zu können. Ein typischer heterogener Katalysator besteht dabei aus einem hochporösen Trägermaterial und darauf abgeschiedenen Nanopartikeln. Bei letzteren handelt es sich häufig um Edelmetalle, wie Pt, Rh und Ir. Ein in der breiten Öffentlichkeit weithin bekannter Katalysator ist der Autoabgaskatalysator, der in besonders herausgehobener Weise die Chancen und Risiken von Nanomaterialien verdeutlicht. Auf der einen Seite ist er ein Garant für eine Minimierung von Schadstoffausstoßen im Falle der immer noch den Verkehrssektor dominierenden Verbrennungsmotoren. Auf der anderen Seite sind Ressourcenprobleme (Edelmetalle!) und Probleme hinsichtlich der Freisetzung der verwendeten Materialien in der Umwelt mit seiner Nutzung verbunden. Es ist zum Beispiel nicht vermeidbar, dass Teile des Katalysators ausgetragen werden und so in die Umwelt gelangen.

Das vorliegende Projekt soll sich dabei Ceroxid und Ceroxid-Mischoxiden (wie z.B. CeO_2 - Al_2O_3 , CeO_2 - ZrO_2 , CeO_2 - TbO_x ...etc.) widmen, welche im Dreiwegekatalysator (TWC) aufgrund ihrer Sauerstoffspeicherkapazitäten eingesetzt werden. Da solche Materialien gewisse Mengen Sauerstoff im Gitter einlagern und auch wieder abgeben können, fungieren diese als Puffer, wenn die Zusammensetzung des Kraftstoffgemisches leicht vom Optimum zwischen mager und fett variiert. Da reines CeO_2 unter Reaktionsbedingungen schnell an Oberfläche verliert, werden häufig Mischoxide im TWC eingesetzt. [1-5].

Das Projekt wird sich mit neuartigen Methoden beschäftigen, Ceroxid auf Trägersysteme (sogenannte Monolithe) aufzubringen. Traditionell werden Trägermaterialschichten aus Al_2O_3 als Washcoat aufgetragen, welche in einem vorherigen Schritt mit Cer-Nitrat imprägniert wurden. Hier hingegen soll die Aufbringung über Sol-Gel-Chemie erfolgen. Durch die Synthese von Oxiden über Sol-Gel-Techniken können, aufgrund der besseren Kontrolle von Oxid-Oxid-Wechselwirkungen und deren Zusammensetzungen, strukturelle und chemische Eigenschaften der Materialien direkt beeinflusst werden [6]. Diese Methode verspricht somit zum einen eine Optimierung der katalytischen Wirkung der OSC-Komponente sowie die Verbesserung der Stabilität auf dem Träger. Zur Charakterisierung stehen umfangreiche Methoden zur Verfügung, die von der Transmissionselektronenmikroskopie über Röntgen-

beugung bis hin zu oberflächenspektroskopischen Verfahren wie Photoelektronenspektroskopie und IR-Spektroskopie reichen.

Die Eigenschaften der Systeme werden in zweierlei Weise getestet: auf der einen Seite als reine Systeme, d.h. ohne aufgebrauchte Edelmetallnanopartikel. Aufgrund der Ressourcenproblematik böte der erste Fall Vorteile, wobei allerdings deutlich höhere Temperaturen als im zweiten Fall von Nöten wären, was aber durch eine motornähere Anordnung des Katalysators erreicht werden könnte. Auf der anderen Seite soll der Einsatz mit zusätzlich aufgebrauchten Pt- und Rh-Partikeln erprobt werden. Hier ist es vor allem denkbar, dass durch die direkte Integration von Edelmetallen in den Sol-Gel-Prozess die Dispersion und Stabilität der aktiven Materialien erhöht wird und somit weniger Komponenten ausgetragen werden können.

Neben der CO- und Kohlenwasserstoffoxidation soll die NO-Reduktion untersucht werden. Im Sinne der oben angesprochenen Freisetzungproblematik sollen Langzeitstudien helfen, den Austrag von Seltenerdoxidkomponenten (v.a. Ceroxid) und Edelmetallen im Betrieb abzuschätzen. Hier sind dann auch vergleichende Studien mit klassischen Washcoats geplant.

Die Arbeitsgruppe Bäumer hat in den für das Projekt relevanten Feldern eine Reihe von Vorarbeiten. Im Bereich Sol-Gel-Chemie ist die sog. Epoxide-Addition-Method (EAM) als Methode zur Herstellung von Aero- und Xerogelen seit einiger Zeit in der Gruppe etabliert [7]. Poröse Seltenerdoxidmaterialien wurden für andere Reaktionen als die Abgaskatalyse studiert [8]. Im Bereich Herstellung und katalytische Charakterisierung von Nanopartikeln wurde in den letzten Jahren weitreichende Expertise aufgebaut [9]. In Arbeiten zu Metallnanopartikeln auf Wabenkörpern wurde hierbei auch schon der Frage nach dem Austrag nanopartikulärer Katalysatoren nachgegangen [10].

6.4.1 Arbeitsplan

1) Entwicklung der Beschichtungen

In Zusammenarbeit mit einem anderen Doktoranden der Arbeitsgruppe aus dem Graduiertenkolleg MIMENIMA (Homepage unter www.mimenima.uni-bremen.de) sollen Sol-Gel-Techniken für Ceroxid und Ceroxid-Mischoxide entwickelt werden. Dabei steht neben der Synthese auch die Aufbringung der Oxide auf monolithische Wabenkörper (keramisch und metallisch) im Vordergrund.

2) Charakterisierung der Schichten

Für dieses Arbeitspaket stehen die oben schon genannten mikroskopischen und spektroskopischen sowie Beugungsmethoden zur Verfügung. Das Ziel ist es, die Struktur hinsichtlich der Größe, Form und Kristallinität der nanostrukturierten Schichten als Funktion der Präparationsparameter genau zu charakterisieren.

3) Untersuchung unter katalytischen Bedingungen

In diesem Arbeitspaket liegt der Schwerpunkt der Untersuchungen auf der Charakterisierung der Veränderung der katalytischen Eigenschaften und der damit einher gehenden strukturellen Veränderung der Schichten als Funktion der Zeit unter abgaskatalytischen (bzw. abgaskatalytisch-nahen) Bedingungen.

6.4.2 Hauptkooperation im Kolleg: Tandem mit der AG von Gleich

Die StipendiatInnen der Arbeitsgruppen von Gleich und Bäumer nutzen die Fallstudie, um experimentelle Daten zum Austrag von nanostrukturiertem Ceroxid mit genau bekannten (ggf. zu variierenden) Eigenschaften zu ermitteln. Im Idealfall werden klassische Washcoats vergleichend untersucht, um Vorteile eines Sol-Gel-Ansatzes als ein potentiell alternatives Beschichtungsverfahren zu ermitteln.

6.4.3 Weitere Kooperationen im Kolleg

AG Elster: Entwicklung von Unterrichtseinheiten, v.a. für die Grundschule. In diesen soll es insbesondere darum gehen, den Übergang vom Makroskopischen zum Mikroskopischen zu erklären und erlebbar zu machen, um den Schülern eine erste Idee davon zu vermitteln, was „Nano“ bedeutet.

Weitere Kooperationen im Kolleg sind im inhaltlichen Tandem mit dem Projekt der AG von Gleich – wie dort beschrieben – geplant.

6.4.4 Einschlägige eigene Publikationen und Projekte

Ausgewählte Publikationen

Bäumer M, Freund H-J (1999) Metal deposits on thin well-ordered oxide films. *Prog. Surf. Sci.* 61, 127.

Frank M, Bäumer M (2000) From atoms to crystallites: adsorption on oxide-supported metal particles. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2, 3723.

Biener J, Wittstock A, Zepeda-Ruiz L, Biener MM, Zielasek V, Kramer D, Viswanath RN, Weissmüller J, Bäumer M, Hamza AV (2009) Surface chemistry driven actuation in nanoporous gold. *Nature Materials*, 8, 47.

Wittstock A, Zielasek V, Biener J, Friend C, Bäumer M (2010) Novel nanoporous gold catalysts for green chemistry: highly selective gas phase oxidation of methanol at low temperature. *Science* 327, 319.

Arndt D, Gesing TM, Bäumer M (2012) Surface Functionalization of Iron Oxide Nanoparticles and their Stability in Different Media. *ChemPlusChem*. 77, 576.

Ausgewählte Projekte

Applications and mechanistic understanding of rare earth oxides in catalysis (Applications), Mittelgeber: DFG, Laufzeit: 2010-2013

New strategy for the deposition of metals by CVD and ALD: mechanistic and kinetic investigation for the growth of cobalt as a model system (New Strategy), Mittelgeber: DFG, Laufzeit: 2010-2014

Trägerkatalysatoren auf Basis kolloidal hergestellter Metallnanopartikel: Reaktionskontrolle durch Strukturkontrolle, Mittelgeber: DFG, Laufzeit: 2010-2013

Von Pr₂O₃ zu PrO₂ - Interdisziplinäre Studie zum Einfluss von Volumen- und Oberflächendefekten auf Materialeigenschaften geordneter Praseodymoxid-Schichten, Mittelgeber: DFG, Laufzeit: 2010-2013

Nanostrukturierte Fischer-Tropsch-Katalysatorsysteme (^{Nano}FT-Kat), Mittelgeber: EWE (Energieversorgung Weser-Ems AG), Laufzeit: 2009-2012

6.4.5 Zitierte Literatur

- [1] R.J.Farrauto and R.M. Heck Catalytic converters: state of the art and perspectives *Catal. Today* 51 (1999) 351-360
- [2] A. Trovarelli, C. de Leitenburg: The utilization of ceria in industrial catalysis, *Catal. Today* 50 (1999) 353
- [3] S. Bernal, G. Blanco, M.A. Cauqui, P. Corchado, J.M. Pintado, J.M. Rodríguez-Izquierdo Oxygen buffering capacity of mixed cerium terbium oxide: A new material with potential applications in three-way catalysts *Chem. Commun.* (1997) 1545-1546
- [4] M. Shelef, R.W. McCabe, Twenty-five years after introduction of automotive catalysts: what next? *Catal. Today* 62 (2000) 35-50
- [5] R. DiMonte, J. Kasper: Scientific and Technical Developments in Automotive Emissions Control Since the 1970s, *Top. Catal.* 28 (2004) 47-57
- [6] J.B. Miller, E. Ko: Control of mixed oxide textural and acidic properties by the sol-gel method. *Catal. Today* 35 (1997) 269-292
- [7] B.J. Clapsaddle, B. Neumann, A. Wittstock, D. W. Sprehn, A.E. Gash, J.H. Satcher Jr., R.L. Simpson, M. Bäumer A sol-gel methodology for the preparation of lanthanide-oxide aerogels: preparation and characterization, *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 64 (2012), 381-389
- [8] B. Neumann, T. W. Elkins, W. Dreher, H. Hagelin-Weaver, J. C. Nino, M. Bäumer, Enhanced catalytic methane coupling using novel ceramic foams with bimodal porosity, *Catalysis Science and Technology* 3 (2013) 89.

[9] P. Sonström and M. Bäumer, Supported colloidal nanoparticles in heterogeneous gas phase catalysis: on the way to tailored catalysts, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 13 (2011) 19270–19284.

[9] P. Sonström, B. Jürgens, S. Tambou Djakpou, B. Ritz, K. Ahrenstorf, G. Grathwohl, H. Weller, M. Bäumer, Foam, fleece and honeycomb: catalytically active coatings from colloiddally prepared nanoparticles, *Catal. Sci. Technol.* 1 (2011) 830–838.

6.5 Prospektive Bewertung der Umwelt- und Umweltbelastungspotenziale eines verbreiteten Einsatzes von nanopartikulärem Ceroxid und anderer Seltene Erden Metalle in der Abgaskatalyse sowie Ansätze zur Optimierung des Systemdesigns

AG von Gleich, Technikgestaltung und Technologieentwicklung, Universität Bremen

Die umweltentlastende Wirkung von Abgaskatalysatoren in Automobilen durch die Reduktion von Stickoxiden und die Oxidation von Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffen ist bekannt (Deutschmann and Grunwaldt, 2013). Bekannt ist aber auch der Ressourcenbedarf von im Durchschnitt 1-2 g an Platingruppenmetallen pro Katalysator (Steinfeldt et al. 2003; Herpertz and Moritz, 2005). Platingruppenmetalle sind nicht unbegrenzt verfügbar und haben einen sehr großen ‚ökologischen Rucksack‘ (ca. 1:350.000). Durch die Abrasivität des Abgasstroms werden in der Gebrauchsphase große Anteile der Katalysatormaterialien ausgetragen und in die Umwelt dissipiert (Steinfeldt et al. 2003; Deutschmann and Grunwaldt, 2013). Dies führt zu einer doppelten Problematik: Das mit hohem Aufwand gewonnene Material ist für das Recycling verloren (Du and Graedel, 2013; Zimmermann and Gößling-Reisemann, 2013). Außerdem ist durch die Kontamination der Umwelt mit katalytisch aktivem Platin mit ökotoxikologischen Wirkungen sowie über direkte (Atmung) und indirekte Eintragspfade (Trinkwasser, Nahrungsmittel) mit gesundheitlichen Problemen zu rechnen (Hooda et al., 2007; Wang and Li, 2012).

Auch nanopartikuläres Ceroxid wird wegen Fähigkeit zur Sauerstoffzwischenspeicherung schon seit längerem in Drei-Wege-Katalysatoren eingesetzt. Zudem wurde und wird insbesondere in Großbritannien mit Ceroxid als Additiv zum Dieseltreibstoff experimentiert. Bei der Verwendung von Ceroxid als unterstützendem Katalysatormaterial oder als Treibstoffzusatz muss, genauso wie beim Einsatz weiterer Seltene Erden Metalle in diesem Bereich, mit vergleichbaren Problemen wie beim Platin gerechnet werden.

Um in einer *ganzheitlichen Bilanz* die umweltentlastenden Effekte mit den umweltbelastenden Effekten vergleichen zu können, ist es nötig, diese ganzheitlich und lebenszyklusübergreifend abzuschätzen. Es gilt, nicht nur den ökologischen Rucksack zu bestimmen, also das Verhältnis von nicht genutzten und genutzten Anteilen an den beteiligten Stoffströmen, sondern insgesamt die ‚Kritikalität‘ des jeweiligen Seltene Erden Metalls, insbesondere Versorgungsrisiken, Substituierbarkeit, Recyclingpotenziale usw. (Erdmann and Graedel, 2011). Für die Bestimmung der Umweltbelastungspotenziale mit Blick auf Umwelteffekte wie Treibhauseffekt, stratosphärische Ozonzerstörung, Versauerung, Eutrophierung und Bildung bodennahen Ozons ist die produktlebenszyklusübergreifende Modellierung der beteiligten

Stoffströme im Rahmen einer Ökobilanz nötig. Und für die Bestimmung von toxikologischen Umwelt- und Gesundheitsrisiken sind zum einen experimentelle ökotoxikologische und toxikologische Daten nötig und zum anderen – zur Bestimmung der erwartbaren Expositionen – die Modellierung der Emissionsmengen und deren Ausbreitungswege in den Umweltkompartimenten (Hendren et al., 2011; Johnson and Park, 2012; Piccinno et al., 2012; Filser et al., 2013).

Darüber hinaus gilt es aber auch die *technologischen Möglichkeiten zur Optimierung* der umweltentlastenden und zur Minimierung der umweltbelastenden Umweltwirkungen experimentell zu begleiten und abzuschätzen. Welche Möglichkeiten gibt es, um die Aufbringung der Katalysatormaterialien zu optimieren und zwar mit Blick sowohl auf optimierte Wirkungen als auch auf minimiertem Austrag? Gibt es Möglichkeiten die Abrasivität des Abgasstroms herab zu setzen? Welche Auswirkungen hätten höhere Temperaturen im Zuge einer Verschiebung des Katalysators näher zum Motor? Welche Recyclingstrategien sind realisierbar? Gibt es Möglichkeiten für ein vorsorgeorientiertes umweltentlastendes Design der Materialien durch Dotierung bzw. Doping?

Die Beantwortung all dieser Fragen ist als Arbeitspensum für eine einzelne Doktorandin / einen einzelnen Doktoranden nicht leistbar. Die Einbettung der Stipendiatin / des Stipendiaten in das gesamte Team des Kollegs ist deshalb hier besonders hilfreich. Andererseits muss auch daran gedacht werden, evtl. zwei Promovierende auf diesen breiten Strauß von Fragen anzusetzen. Vor dem Hintergrund der Unsicherheit zum einen, wie viele Stipendien insgesamt gewährt und wie viele von den Arbeitsgruppen auch jeweils zeitnah besetzt werden können, sollen hier zwei Promotionsarbeiten skizziert werden, eine, die auf die Nutzen-Risiko-Abschätzung fokussiert ist und eine, die auf die technologischen Optimierungsmöglichkeiten ausgerichtet ist. Wenn mehr über die Besetzungsmöglichkeiten und die Besetzungserfolge bekannt ist, besteht die Möglichkeit (bzw. Notwendigkeit) sich für einen der beiden Wege zu entscheiden, oder einzelne Elemente aus beiden Wegen so zu kombinieren, dass das Gesamtpaket bearbeitbar wird.

6.5.1 Arbeitspläne

6.5.1.1 Bestimmung von Umweltent- und Belastungspotenzialen

Eine wichtige Voraussetzung für die Bearbeitbarkeit dieser Dissertation im vorgesehenen Zeitraum besteht darin, dass auf dem schon recht gut erforschten Beispiel Platin in Abgaskatalysatoren aufgesetzt werden kann (Helmers, 1997; Rauch et al., 2005; Hooda et al., 2007; Zerenini et al., 2007; Wang and Li, 2012). Hier existieren schon zahlreiche Daten zu den Verlusten über den Abgasstrom und auch schon Messungen zu den in den Umweltkompartimenten vorfindbaren Konzentrationen (z. B. Artelt et al 1999, Lloyd et al 2005, Herpertz and Moritz 2005; Hooda et al. 2007; Zerenini et al., 2007, Limbeck et al. 2007; Mathur et al., 2010, Spatiani et al 2008 sowie zu konventionellen und unkonventionellen Recyclingstrategien (vgl. z. B. Martins 2013). Eine weitere wichtige Basis sind die Arbeiten, die schon zu den möglichen Folgen eines Einsatzes von Ceroxid als Dieseladditiv durchgeführt wurden.

So signalisiert z. B. die jüngst erschienene Arbeit von Batley et al (2013) für diesen – vom Einsatz im Dreiwegekat durchaus verschiedenen – Einsatzbereich, hinsichtlich der erwartbaren Expositionen mit Blick auf nanopartikuläre Formen und erwartbare Umweltkonzentrationen eher Entwarnung.

1.) Bestimmung der Kritikalität der Ressource Cer bzw. weiteren in Frage kommender ‚Seltener Erden Metalle‘

Angetrieben durch ein breites öffentliches Echo auf die Ressourcenstrategie Chinas wurde und wird in diesem Bereich aktuell viel geforscht. Es gilt diese Informationen zusammen zu tragen und hinsichtlich ihrer Qualität einzuordnen, um zu vorläufigen Aussagen zu kommen.

2.) Lebenszyklusanalyse – Stoffstrommodellierung – Ökobilanz

Es gilt auf der Basis von einer Ökobilanzsoftware ein Modell zu erarbeiten, in dem über alle Produktlebensphasen (Herstellung des Materials, Herstellung des Katalysators, Nutzungsphase, end-of-Life, Recycling) hinweg die damit verbundenen Material- und Energieströme abgebildet werden. Darauf aufbauend lassen sich dann die durch diese Stoffströme ausgelösten potenziellen Umweltwirkungen bestimmen.

3.) Exposition und Umweltwirkungen

Aufbauend auf der Modellierung der Stoff- und Energieströme lassen sich Verlustraten bzw. Freisetzungsmengen über die Lebensdauer des Katalysators bestimmen. Im nächsten Schritt gilt es dann die Ausbreitungswege (d. h. Verteilung in und zwischen den Kompartimenten sowie mögliche Transformationen) dieser Freisetzungsmengen zu modellieren. Auf diese Weise lassen sich schließlich mit verfügbaren (öko)toxikologischen Daten Umweltrisiken bestimmen in Form des Verhältnisses der ‚predicted environmental concentrations‘ und der ‚predicted no effect concentrations‘ (PEC/PNEC).

6.5.1.2 Abschätzung technologischer Optimierungsmöglichkeiten (Optimierung der katalytischen Wirkung bei Minimierung der Verlustraten)

Dieses Arbeitspaket befindet sich noch in einem frühen Planungsstadium, d.h. es handelt sich hier um eine Option, die je nach Besetzungsmöglichkeiten der Stelle weiter konkretisiert werden müsste.

1.) Aufbringung der Katalysatormaterialien

Es soll untersucht werden, ob sich durch Sol-Gel-Technik die katalytische Wirkung optimieren und die Verlustraten minimieren lassen. Die Ermittlung der Verlustraten erfolgt idealerweise mit einem Teststand (Motorprüfanlage). Hierfür ist die Einbindung eines geeigneten Kooperationspartners notwendig, der über einen solchen Teststand verfügt.

2.) Wirkungen der Abgastemperatur

Es soll untersucht werden, wie sich das Platzieren des Katalysators näher am Motor auf die Katalysatorleistung und die Verlustraten auswirkt. Auch diese Arbeiten lassen sich am bes-

ten mit einem Teststand realisieren, in dem die Position des Katalysators im Strang der Anlage und damit die dort herrschende Abgastemperatur variiert werden kann.

3.) *Weitere Maßnahmen*

Es soll untersucht werden, ob sich durch andere Maßnahmen in der Motortechnik (Motor-konzepte), in der Verbrennungsdynamik bzw. durch vorgeschaltete Elektrofilter die Abrasivität des Abgasstroms und damit die Verluste verringern lassen. Die Untersuchungen zum Elektrofilter sollen an einem Teststand erfolgen, in dem ein entsprechender Filter vorgeschaltet ist. Für die Untersuchungen zur Verbrennungsdynamik kann die Expertise des Zentrums für angewandte Raumfahrttechnologie und Mikrogravitation (ZARM) der Universität Bremen einbezogen werden.

4.) *Vorsorgeorientiertes Design*

Es soll untersucht werden welche Möglichkeiten durch das Design der nanopartikulären Katalysatormaterialien (z. B. Doping) bestehen, um einerseits eine Verbesserung der katalytischen Wirkung im Abgasstrom zu erhalten, und andererseits nach einer Freisetzung die Expositions- und Ausbreitungswahrscheinlichkeiten und / oder die (öko-)toxikologischen Wirkungspotenziale zu verringern. Bezüglich der Expositions- und Ausbreitungswahrscheinlichkeiten gibt es probabilistische Methoden der Ausbreitungsmodellierung, auf die zurückgegriffen werden kann. Die Ermittlung der (öko-)toxikologischen Wirkungspotenziale soll durch Kooperation mit den AGs Filser und Dringen im Kolleg erfolgen.

5.) *Recyclingstrategien*

Die Möglichkeiten zu einer besseren Gestaltung des Recyclings von Abgaskatalysatoren sollen untersucht werden, so dass ggf. nicht nur die Edelmetalle, sondern auch die eingesetzten Selten Erden Metalle zurück gewonnen werden können.

6.5.2 Hauptkooperation im Kolleg: Tandem mit der AG Bäumer

Die StipendiatInnen der Arbeitsgruppen von Gleich und Bäumer nutzen die Fallstudie, um über eine lebenszyklusorientierte Bewertung die Vor- und Nachteile eines Einsatzes von Ceroxid und anderen Selten Erden Metallen in Abgaskatalysatoren vornehmen zu können. Eine wichtige Schnittmenge zwischen den beiden Arbeitsgruppen besteht in der Untersuchung der technologischen Möglichkeiten zur Optimierung der katalytischen Wirkung bei gleichzeitiger Minimierung sowohl der Austräge von Katalysatormaterial in die Umwelt als auch von dessen adversen Wirkungspotenzialen. Im Idealfall werden klassische Washcoats vergleichend untersucht, um Vor- und Nachteile eines Sol-Gel-Ansatzes als Beschichtungsverfahren zu ermitteln.

6.5.3 Weitere Kooperationen

Wichtige Kooperationspartner für Fallbeispiel-übergreifende (öko)toxikologische Bewertungsfragen sind die toxikologisch und ökotoxikologisch arbeitenden Arbeitsgruppen Dringen,

Filser sowie Thöming/Stolte. Diese Arbeitsgruppen werden zudem bei der (öko)toxikologischen Wirkungsabschätzung etwaiger neuer vorsorgeorientierter ‚Designs‘ von Katalysatoren (im Sinne von ‚green nano‘) eine wichtige Rolle spielen.

Das Thema Abgaskatalysator ist bei Schülern populär und einer interessierten Öffentlichkeit wohlbekannt. Wenn verlässliche Aussagen über die Umweltent- und Umweltbelastungspotenziale von auf Selten Erden Metallen basierten Katalysatormaterialien gemacht werden können, lassen sich mehrere interessante und z. T. sehr kontrovers diskutierte Themen in der Öffentlichkeitsarbeit und in den Curricula thematisieren: Möglichkeiten und Grenzen von End-of-the-Pipe Umwelttechnologien, Wirkungen von Katalysatoren, die Notwendigkeit von Lebenszyklusbetrachtungen um zu ganzheitlichen Aussagen über Vor- und Nachteile zu kommen, Ressourcenverfügbarkeit und Ressourcenpolitik am Bsp. Seltene Erden (China!), Chancen und Risiken von Nanomaterialien usw. Insofern reizt hier die Zusammenarbeit mit der AG Elster,

Ähnliches gilt für die Zusammenarbeit mit der AG Schlacke. Hier könnten die bisherigen Erfolge und Misserfolge der Umweltgesetzgebung mit Blick auf Abgasemissionen thematisiert werden (inkl. Thematisierung des Rebound Effekts). Es sollte vor diesem Hintergrund erarbeitet werden, wie eine zukünftige Gesetzgebung in diesem Bereich angelegt werden könnte, so dass sie sowohl Aspekte wie den Rebound Effekt mit einbeziehen, als auch mit dem technologischen Fortschritt mithalten, und sogar zur Steuerung der technologischen Entwicklung im Sinne einer Umsetzung des Vorsorgeprinzips beitragen kann.

6.5.4 Einschlägige eigene Publikationen und Projekte

Ausgewählte Publikationen

Filser, J., Arndt, D., Baumann, J., Geppert, M., Hackmann, S., Luther, E. M., Pade, C., Prenzel, K., Wigger, H., Arning, J., Hohnholt, M. C., Koser, J., Kuck, A., Lesnikov, E., Neumann, J., Schutrumpf, S., Warrelmann, J., Baumer, M., Dringen, R., von Gleich, A., Swiderek, P. & Thoming, J. (2013): Intrinsically green iron oxide nanoparticles? From synthesis via (eco-)toxicology to scenario modelling. *Nanoscale*, 5, 1034-1046.

Zimmermann, T.; Gössling-Reisemann, S. (2013) Critical materials and dissipative losses: a screening study. *Sci Total Environ*, 461-462, 774-80.

Steinfeldt, M. (2012): Environmental impact and energy demand of nanotechnology. In: Lambauer, J.; Fahl, U.; Voß, A.(Ed.): *Nanotechnology and Energy - Science, promises and its limits*, Pan Stanford Publishing. p.252-271.

Steinfeldt, M. (2011): A method of prospective technological assessment of nanotechnological techniques. In: Finkbeiner, M. (ed.): *Towards Life Cycle Sustainability Management*. Springer Dordrecht Heidelberg London New York, p.131-140.

Steinfeldt, M.; Gleich, A. von; Petschow, U.; Pade, C.; Sprenger, R.-U. (2010): Entlastungseffekte für die Umwelt durch nanotechnische Verfahren und Produkte. *UBA-Texte 33/2010*, Dessau.

Ausgewählte Projekte

SUN – Sustainable Nanotechnologies, Mittelgeber: EU FP7, in Kooperation mit 44 weiteren Partnern, Leitung Arbeitspaket 2: Lifecycle Thinking, Laufzeit: 2013-2017

NanoSustain - Development of sustainable solutions for nanotechnology-based products based on hazard characterization and LCA, Mittelgeber: EU FP7, in Kooperation mit 11 weiteren Partnern, Leitung Arbeitspaket 4: Life cycle assessment and prospective technological assessment, Laufzeit: 2010-2013

Recyclingpotentiale strategischer Metalle (ReStra), Mittelgeber: Umweltbundesamt (FKZ 3711 93 339), Kooperation mit Ökopol GmbH u.a., Analyse der in 2020 aus verschiedenen Anwendungen als Abfall zu erwartenden Mengen strategischer Metalle, u.a. von Cer- und Lanthan-haltigen Katalysatoren zum katalytischen Cracken sowie von Autokatalysatoren. Betrachtung der Recyclingkette und Quantifizierung entlang der Entsorgungskette auftretender Materialverluste; Laufzeit: 2012-2014

Promotionskolleg „Toxische Kombinationswirkungen künstlich hergestellter Nanopartikel (nanoToxCom)“, Mittelgeber: Hans-Böckler-Stiftung, Verband der chemischen Industrie, Beteiligung von sieben Arbeitsgruppen der Universität Bremen und einem Kooperationspartner aus der Wirtschaft, Laufzeit: 2008-2013

Entlastungseffekte für die Umwelt durch nanotechnische Verfahren und Produkte, Mittelgeber: Umweltbundesamt, in Kooperation mit dem Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), Laufzeit: 2007-2008

Herr Prof. von Gleich war außerdem Mitglied der NanoKommission der Bundesregierung und leitete dort die Arbeitsgruppe „Green Nano“ – Aspekte einer nachhaltigen Gestaltung von Nanotechnologien, Laufzeit bis 2011

6.5.5 Zitierte Literatur

Artelt, S.; O. Creutzenberg, H. Kock, K. Levsen, D. Nachtigall, U. Heinrich, T. Rühle, R. Schlögl, Bioavailability of fine dispersed platinum as emitted from automotive catalytic converters: a model study, *Science of the Total Environment*, 228 (1999), pp. 219–242

Birbaum, Karin; Brogioli, Robert; Schellenberg, Maya; Martinoia, Enrico; Stark, Wendelin J.; Günther, Detlef; Limbach Ludwig K.: No Evidence for Cerium Dioxide Nanoparticle Translocation in Maize Plants *Environ. Sci. Technol.*, 2010, 44 (22), pp 8718–8723

Batley, Graeme E. ; Brendan Halliburton; Jason K. Kirby; Casey L. Doolette; Divina Navarro; Mike J. McLaughlin; Colin Veitch: Characterization and ecological risk assessment of nanoparticulate CeO₂ s a diesel fuel catalyst, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2013 (accepted and published online)

- Cornelis, Geert ; Ryan, Brooke; McLaughlin, Mike J., Kirby, Jason K.; Beak, Douglas; Chittleborough, David: Solubility and Batch Retention of CeO₂ Nanoparticles in Soils, *Environ. Sci. Technol.*, 2011, 45 (7), pp 2777–2782
- Deutschmann, Olaf; Grunwaldt, Jan-Dierk, Abgasnachbehandlung in mobilen Systemen: Stand der Technik, Herausforderungen und Perspektiven, in: *Chemie Ingenieur Technik* 2013, 85, No. 5, 595–617
- Du, X.; Graedel, T. E. 2013. Uncovering the end uses of the rare earth elements. *Sci Total Environ.*
- Erdmann, L.; Graedel, T. E. 2011. Criticality of non-fuel minerals: a review of major approaches and analyses. *Environ Sci Technol*, 45, 7620-7630.
- Filser, J.; Arndt, D.; Baumann, J.; Geppert, M.; Hackmann, S.; Luther, E. M.; Pade, C.; Prenzel, K.; Wigger, H.; Arning, J.; Hohnholt, M. C.; Köser, J.; Kück, A.; Lesnikov, E.; Neumann, J.; Schüttrumpf, S.; Warrelmann, J.; Bäumer, M.; Dringen, R.; Von Gleich, A.; Swiderek, P.; Thöming, J. Intrinsically green iron oxide nanoparticles? From synthesis via (eco-)toxicology to scenario modelling. *Nanoscale* 2013, 5, 1034–46.
- Helmers, E. 1997. Platinum emission rate of automobiles with catalytic converters - Comparison and assessment of results from various approaches. *Environmental Science and Pollution Research*, 4, 100-103.
- Hendren, Christine Ogilvie; Dröge, Xavier Mesnard; Jocelyn Wiesner, Mark R., Estimating Production Data for Five Engineered Nanomaterials As a Basis for Exposure Assessment, *Environ. Sci. Technol.* 2011, 45, 2562–2569
- Herpertz, S.; Moritz, K. 2005. Verkehrsbedingte Einträge der Platingruppenelemente in die straßenbegleitenden Flächen - Analytik und Abschätzung der Folgen für die straßennahen Ökosysteme und den Menschen – Literaturstudie. Bd. 1 In: BEER, F., HERPETZ, S., MORITZ, K., PETERS, A., SALTZMANN-KOSCKE, G., EGETHOF, U. & WIRTZ, H. (eds.) Untersuchungen zu Fremdstoffbelastungen im Straßenseitenraum (BAST-Bericht V 122). Bundesanstalt für Straßenwesen.
- Hoecke, Karen van; Quik, Joris T. K.; Mankiewicz-Boczek, Joanna; De Schamphelaere, Karel A.C.; Elsaesser, Andreas; Van der Meeren, Paul; Barnes, Clifford; McKerr, George; Howard, C. Vyvyan; Van De Meent, Dik; Rydzyński, Konrad; Kenneth A. Dawson; Anna Salvati; Anna Lesniak; Iseult Lynch; Geert Silversmit; Björn De Samber; Laszlo Vincze and Colin R. Janssen: Fate and Effects of CeO₂ Nanoparticles in Aquatic Ecotoxicity Tests, *Environ. Sci. Technol.*, 2009, 43 (12), pp 4537–4546
- Hooda, P. S., Miller, A. & Edwards, A. C. 2007. The distribution of automobile catalysts-cast platinum, palladium and rhodium in soils adjacent to roads and their uptake by grass. *Sci Total Environ*, 384, 384-392.
- Johnson, Andrew C.; Park, Barry; Predicting Contamination by the Fuel Additive Cerium Oxide engineered Nanoparticles within the United Kingdom and the Associated Risks, *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 31, No. 11, pp. 2582–2587, 2012
- Limbeck, A., Puls, C.; , Handler, M. 2007. Platinum and Palladium Emissions from On-Road Vehicles in the Kaisermühlentunnel (Vienna, Austria). *Environ. Sci. Technol.*, 41, 4938-4945.
- López-Moreno, Martha L.; Guadalupe de la Rosa; José A. Hernández-Viezcás; José R. Peralta-Videa and Jorge L. Gardea-Torresdey: X-ray Absorption Spectroscopy (XAS) Corroboration of the Uptake and Storage of CeO₂ Nanoparticles and Assessment of Their Differential Toxicity in Four Edible Plant Species, *J. Agric. Food Chem.*, 2010, 58 (6), pp 3689–3693

- Lloyd, S.; L. Lave, H.S. Matthews: Life cycle benefits of using nanotechnology to stabilize platinum-group metal particles in automotive catalysts: *Environmental Science and Technology*, 39 (2005), pp. 1384–1392
- Martins, Mónica ; Ana Assunção; Hélio Martins; António Pedro Matos; Maria Clara Costa: Palladium recovery as nanoparticles by an anaerobic bacterial community, *Journal of Chemical technology and biotechnology*, April 2013 (first published online)
- Mathur, R.; Balam, V., Satynarayanan, M.; Sawant, S. S.; Ramesh, S. L. 2010. Anthropogenic platinum, palladium and rhodium concentrations in road dusts from Hyderabad city, India. *Environmental Earth Sciences*, 62, 1085-1098
- Piccinno, Fabiano; Gottschalk, Fadri; Seeger, Stefan, Nowack Bernd, Industrial production quantities and uses of ten engineered nanomaterials in Europe and the world, *J Nanopart Res* (2012) 14:1109
- Rauch, S., Hemond, H. F., Barbante, C., Owari, M.; Morrison G. M., Peucker-Ehrenbrink, B.; Wass, U. 2005. Importance of automobile exhaust catalyst emissions for the deposition of platinum, palladium, and rhodium in the northern hemisphere. *Environ Sci Technol*, 39, 8156-8162.
- Spaziani F, Angelone M, Coletta A, Salluzzo A, Cremisini C. 2008. Determination of platinum group elements and evaluation of their traffic-related distribution in Italian urban environments. *Anal Lett* 41: 2658–2683
- Steinfeldt, M.; Petschow, U.; Hirschl, B. 2003. Anwendungspotenziale nanotechnologiebasierter Materialien Teilgebiet 2: Analyse ökologischer, sozialer und rechtlicher Aspekte. Gutachten im Rahmen des TA-Projektes „Nanotechnologie“ im Auftrag des Deutschen Bundestages. Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung.
- Wang, Y. & Li, X. 2012. Health Risk of Platinum Group Elements from Automobile Catalysts. *Procedia Engineering*, 45, 1004-1009.
- Zerenini, F.; Wiseman, C. ; Püttmann, W. 2007. Changes in Palladium, Platinum, and Rhodium Concentrations, and Their Spatial Distribution in Soils Along a Major Highway in Germany from 1994 to 2004. *Environ. Sci. Technol.*, 41, 454-456.
- Zimmermann, T.; Gössling-Reisemann, S. 2013, Critical materials and dissipative losses: a screening study. *Sci Total Environ*, (Accepted).

6.6 Möglichkeiten und Grenzen der Risikoregulierung von Nanomaterialien: Eine Untersuchung am Beispiel von Kupferoxid-Nanopartikeln

AG Schlacke, Institut für Umwelt- und Planungsrecht,
Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Nanotechnologie wird als Zukunfts- und Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts gepriesen. Sie kann einen Beitrag zur Verbesserung der Lebensqualität und der industriellen Entwicklung und Wettbewerbsfähigkeit leisten.¹ Zahlreiche Chancen und Vorteile werden mit Nanomaterialien aufgrund ihrer neuartigen Eigenschaften (z.B. erhöhte Festigkeit, chemische Reaktionsfähigkeit oder Leitfähigkeit) im Vergleich zu nicht nanoskaligen Stoffen ver-

knüpft. Sie werden – mit steigender Tendenz – bereits in vielen Bereichen eingesetzt, z.B. bei Industrieanlagen, Produkten (z.B. Batterien, Kleidung, Automobile, Lebensmittel) oder in der Medizin.² Wenngleich ihre Vorteile wissenschaftlich erforscht und in die Praxis umgesetzt werden, so bestehen erhebliche Wissenslücken und -defizite hinsichtlich ihrer möglicherweise nachteiligen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Obschon Nanomaterialien nicht per se gefährlich oder risikobehaftet sind, so existiert für Hersteller und Verwender bislang kaum ein Anreiz, die bestehende Ungewissheit über gesundheitliche und Umweltrisiken von Nanomaterialien zu ermitteln und zu bewerten. Zugleich mangelt es auch im Bereich der Überwachung, also nach Inverkehrbringen oder Verwendung von Nanomaterialien, an Wissen und Erkenntnismethoden, schädliche Auswirkungen von Nanomaterialien festzustellen, so dass gegenwärtig lediglich ein Schadensfall zu einem behördlichen Eingreifen führen kann. Zudem besteht keine Verpflichtung, Verwender oder Verbraucherinnen und Verbraucher darüber zu informieren, dass das von ihnen verwendete Produkt Nanomaterialien enthält. Insoweit besteht keine Wahlfreiheit.

Dieses Ergebnis ist vor allem auf die geltende Rechtslage zurückzuführen: Bislang fehlt es weitgehend an spezifischen Regelungen, die das Risikopotential von Nanomaterialien für Mensch und Umwelt in den Blick nehmen, zu einer Ermittlung und Bewertung sowie Information über die Verwendung von Nanomaterialien verpflichten sowie ein entsprechendes Instrumentarium zur Verhütung und Beseitigung von Risiken und Gefahren vorhalten. Obgleich zahlreiche Nanopartikel aufgrund ihrer molekularen Zusammensetzung dem Chemikalienrecht (REACH-Verordnung)³ unterfallen, fehlt es bislang auch in diesem Bereich weitgehend an Regelungen, die die Besonderheiten und Risiken von Nanomaterialien erfassen.⁴ Auch das übrige Umweltrecht, insbesondere das Immissionsschutz-, Wasser- und Kreislaufwirtschaftsrecht, erfassen Nanomaterialien nicht eigenständig. Es fehlen vor allem kohärente, sektorenübergreifende Schwellen- und Grenzwerte, die im Rahmen von Zulassungsverfahren und Überwachungsmaßnahmen Anwendung finden könnten. Weder auf EU-, noch auf nationaler Ebene existiert ein Nanotechnologiestraßengesetz. Insoweit zeichnet sich das geltende Recht durch nanospezifische Regelungslücken aus.⁵

Während die rechtlichen Anforderungen an die Risikoregulierung von Nanomaterialien, die sich aus dem im deutschen und europäischen Recht anerkannten Vorsorgeprinzip ergeben, recht gut untersucht sind,⁶ besteht erheblicher Forschungsbedarf hinsichtlich des umweltrechtlichen Fachrechts.⁷ So ist zunächst das einschlägige Umweltfachrecht zu identifizieren, bevor spezifische Regelungsdefizite und -lücken des geltenden Umweltrechts ermittelt und bewertet werden. Gegenstand der Untersuchung dürften insoweit insbesondere das Chemikalienrecht, das Immissionsschutzrecht („Stand der Technik“) sowie das Kreislaufwirtschafts-, Wasser- und Produktrecht sein. Die einschlägigen Rechtsgebiete werden mit Hilfe des Fallbeispiels „Kupferoxid-Nanopartikel (CuO-NP)“ identifiziert und bewertet.

Das Fallbeispiel soll dazu dienen, konkrete, kohärente und zugleich sektorenübergreifende Regulierungsvorschläge für die Festlegung von Grenz- Schwellenwerten und ihre Rezeption durch das Recht zu entwickeln und sowie Instrumente vorzuschlagen, die Umweltrisiken durch Nanotechnologien verhüten oder zumindest vermindern können. Ein Schwerpunkt der Untersuchung wird darüber hinaus auf der Ermöglichung der Wahlfreiheit des Verwenders und Verbrauchers liegen: Inwiefern kann gewährleistet werden, dass Verwender und End-

verbraucher von Produkten, die mit Hilfe von Nanomaterialien hergestellt wurden, in die Lage versetzt werden, sich über das Produkt ausreichend zu informieren, Risiken abzuschätzen und auf Alternativprodukte zugreifen zu können. Ziel der Untersuchung ist es, allgemeine Anforderungen an die Risikoregulierung, -überwachung sowie -information zu entwickeln, um auf dieser Grundlage ein umweltrechtliches Regulierungssystem für Nanomaterialien zu konzipieren, das Risiken für die Umwelt vermeidet und minimiert, ausreichend flexibel ist, um auf neue wissenschaftliche Erkenntnisse zu reagieren und das gleichzeitig Innovationen nicht verhindert. Für diese Zielstellung werden über das Fallbeispiel Kupferoxid-NP hinaus allgemeine rechtliche Fragestellungen untersucht, die Anknüpfungspunkte auch zu den Arbeitsgruppen Bäumer und von Gleich (die sich mit dem anderen Fallbeispiel Ceroxid-NP beschäftigen) bieten.

6.6.1 Arbeitsplan

1) *Literatur- und Rechtsprechungsrecherche*

Da die rechtlichen Anforderungen an die Risikoregulierung von Nanomaterialien, die sich aus dem im deutschen und europäischen Recht anerkannten Vorsorgeprinzip ergeben, recht gut erforscht sind, wird sich hier auf eine Analyse des chemikalien- und umweltspezifischen Fachrechts, insbesondere des Immissionsschutz-, Kreislaufwirtschafts- und Wasserrechts sowie des Produktrechts mit seinen jeweils unionsrechtlichen Bezügen konzentriert. Hierzu wird zunächst eine umfängliche Literatur- und Rechtsprechungsrecherche und –auswertung durchgeführt.

2) *Ermittlung der geltenden Rechtslage*

In einem zweiten Schritt wird vor dem Hintergrund und mittels Verarbeitung der Rechtsprechungs- und Literaturanalyse die geltende Rechtslage ermittelt. Das Fallbeispiel „Kupferoxid-Nanopartikel (CuO-NP)“ und die Einsatzbereiche von Kupferoxid-Nanopartikeln dienen insofern als Ausgangspunkt für die Ermittlung des anzuwendenden Rechts. Ziel ist es, rechtssystematische Inkohärenzen, rechtliche Defizite und Lücken zu identifizieren.

3) *Durchführung von Experteninterviews zur Fundierung der Rechtstatsachen*

Auf der Grundlage der Analyse der geltenden Rechtslage sollen Experteninterviews durchgeführt werden, um die rechtliche Bewertung vor dem Hintergrund der Rechtspraxis zu spiegeln und ggf. neu zu bewerten. Hierbei handelt es sich nicht um eine quantitative oder qualitative Untersuchung mit Hilfe der Methoden der empirischen Sozialwissenschaften. Dennoch soll die Ermittlung der praktischen Bedeutung und Anwendung von Nanomaterialien, insbesondere von Kupferoxid-Nanopartikeln, dazu dienen, die rechtlichen Mängel von Seiten der Praxis zu beleuchten und zu bewerten.

4) Bewertung der Rechtslage und Vorschläge zur Fortentwicklung des Rechts

Die rechtswissenschaftliche Untersuchung soll vor dem Hintergrund der Informationen aus der Praxis in eine abschließende Bewertung münden, die gleichsam die Grundlage für Vorschläge zur Fortentwicklung des Rechts darstellt. Hierbei gilt es insbesondere auszuloten, auf welcher Ebene eine Risikoregulierung für Nanomaterialien festzulegen ist, ob diese Regelungen an bestehende Rechtsgebiete (etwa Chemikalienrecht) anknüpfen sollten oder ob es eines eigenständigen Regelwerks bedarf.

6.6.2 Hauptkooperation im Kolleg: Tandem mit der AG Thöming/Stolte

Die StipendiatInnen der Arbeitsgruppen Schlacke und Thöming/Stolte nutzen die Fallstudie Kupferoxid-Nanopartikel, um zu ermitteln, welche Teilgebiete des Umweltrechts für CuO-NP greifen. Insoweit bedarf es einer wechselseitigen Abstimmung über Produktionsvolumina, Einsatzbereiche und potenzielle Eintragspfade von CuO-NP in die Umwelt, denn diese Eigenschaften entscheiden möglicherweise, welches Recht Anwendung findet. Ziel dieses Fallbeispiels ist darüber hinaus, aus rechtswissenschaftlicher Perspektive zu überprüfen, ob der umweltrechtliche Rahmen Kupferoxid-Nanomaterialien im Hinblick auf ihre Auswirkungen auf die Umwelt erfasst, und wenn ja, wie Vorsorge gegenüber möglichen Umweltrisiken gewährleistet wird.

6.6.3 Weitere Kooperationen im Kolleg

| | |
|----------------|---|
| AG Filser: | Überprüfung der Anwendbarkeit von Grenzwerten vor dem Hintergrund möglicher atypischer Dosis-Wirkungskurven von NP |
| AG Dringen: | Implikationen der Auswirkungen von CuO-NP auf Säugerzellen für die Risikoregulierung |
| AG von Gleich: | Auswirkungen von Strategien zur Risikobeurteilung auf die Regulation von NM; Aufzeigen von Gemeinsamkeiten und Unterschieden für CuO-NP und CeO ₂ -NP, insbesondere für die Expositionsabschätzung |
| AG Borchers | Rechtliche Regelungen; <i>status quo</i> und notwendige Verbesserungen auf nationaler und internationaler Ebene. |
| AG Elster: | Kommunikation und didaktische Vermittlung der rechtswissenschaftlichen Forschungsergebnisse |

6.6.4 Einschlägige eigene Publikationen und Projekte

Ausgewählte Publikationen

- Schlacke S. (2013): Komitologie nach dem Vertrag von Lissabon: die (neue) Bedeutung des Ausschusswesens für delegierte und Durchführungs-Rechtsetzung, in: Häberle, Peter, *Jahrbuch des Öffentlichen Rechts der Gegenwart*, Bd. 61, S. 293-327
- Schlacke S. (2011): Auf dem Weg zu einer Informationsverfassung für Produktrisiken, in: Albers, Marion/Appel, Ivo, *Risikoregulierung im Bio-, Gesundheits- und Medizinrecht*, Baden-Baden, S. 100-125
- Schlacke S. (2011): Rechtsschutz durch europäische und nationale Gerichte unter Einschluss des Europäischen Bürgerbeauftragten in seiner Funktion zur Sicherung des Informationszugangs, in: Schröder/Hendler/Marburger/Reiff (Hrsg.), *Aktuelle Rechtsfragen und Probleme des freien Informationszugangs, insbesondere im Umweltschutz*, UTR Band 108, Berlin, S. 271-302
- Schlacke S. (2000): Centralisation and Europeanization of Administrative Implementation: Product Safety Legislation, in: Andenas, Mads/Türk, Alexander (eds.), *Delegated Legislation and the Role of Committees in the EC*, The Hague, London, Boston, S. 303-329
- Schlacke S. (1998): Risikoentscheidungen im europäischen Lebensmittelrecht. Eine Untersuchung am Beispiel des gemeinschaftlichen Zusatzstoffrechts unter besonderer Berücksichtigung des europäischen Ausschusswesens („Komitologie“), Baden-Baden 1998, 399 S.

Ausgewählte Projekte

- Stärkung eines nachhaltigen Konsums im Bereich der Produktnutzung durch Anpassungen im Zivilrecht und Öffentliches Recht (FKZ 3713 18 308), Mittelgeber: Umweltbundesamt, Laufzeit: 2013-2015
- ZenTra: Klimawandel und transnationale Klimapolitik – Projekt: Legitimation transnationaler Klimaschutzmaßnahmen, Mittelgeber: Mercator-Stiftung, Laufzeit: 2012-2017
- Laufende Bewertung europarechtlicher Fragestellungen im Zusammenhang mit nationalen Förderinstrumenten für erneuerbare Energien (Rechtsgutachten). Mittelgeber: BMU, Laufzeit: 2012-2014
- Europarechtliche Fragen der deutschen Förderinstrumente für Erneuerbare Energien (Rechtsgutachten). Mittelgeber: BMU, Laufzeit :2011-2012
- Frauen. Innovation. Technik – FIT in MINT“, Modulprojekt „Umweltrecht und Umweltenergie-recht“, Mittelgeber: Institut für Wissenstransfer an der Universität Bremen GmbH, Laufzeit: 2011-2012

Internationales Graduiertenkolleg "Integrated Coastal Zone and Shelf-Sea Research" (INTERCOAST), Mittelgeber: DFG, Umfang: 2 Projekte, Laufzeit: 2009-2014

Frau Prof. Schlacke ist außerdem Mitglied im Wissenschaftlichen Beirat Umweltveränderungen (WBGU) der Bundesregierung und hat dafür eine wiss. Mitarbeiter/in-Stelle, Laufzeit 2008-2016

6.6.5 Zitierte Literatur

- 1 Vgl. Europäische Kommission, Nanomaterials, abrufbar unter:
<http://ec.europa.eu/environment/chemicals/nanotech/#ripon> (9.5.2013)
- 2 Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat und den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss, Zweite Überprüfung der Rechtsvorschriften zu Nanomaterialien, KOM (2012) 572 endg., S. 3 m.w.N.
- 3 Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 v. 18.12.2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Agentur für chemische Stoffe, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission, ABl. Nr. L 396 v. 30.12.2006, 1; vgl. Martel, D. *REACH - Komitologie und Rechtsschutz. ZEuS* **2008**, 4, 601-662; Fischer, K. *REACH - das neue europäische Chemikalienrecht. DVBl.* **2007**, 14, 853-863.
- 4 Vgl. Raupach, M. *Nanomaterialien im Stoffrecht, StoffR* **2012**, 1, 3-10; Calliess, C., Stockhaus, H. *Regulierung von Nanomaterialien - reicht REACH?*, *DVBl.* **2011**, 921-929; Merenyi, S., Führ, M. *Ordnung, K. Regulierung von Nanomaterialien im geltenden und künftigen Chemikalienrecht - Analyse und Gestaltungsoptionen, StoffR* **2007**, 2, 50-61; Bauer, M. C., Koester, A., Lach, S. *Nanotechnologie - Regulatorische und haftungsrechtliche Herausforderungen, StoffR* **2010**, 1, 2-11. Die Europäische Kommission empfiehlt, ein Risikomanagement für Nanomaterialien im Rahmen der REACH-Verordnung zu verankern, vgl. Bericht der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen gemäß Artikel 117 Absatz 4 der REACH-Verordnung und Artikel 46 Absatz 2 der CLP-Verordnung sowie Auswertung bestimmter Elemente der REACH-Verordnung im Einklang mit Artikel 75 Absatz 2, Artikel 138 Absatz 2, 3 und 6 der REACH-Verordnung, KOM(2013) 49, S. 15.
- 5 Scherzberg, A., Wendorff, J. H. *Nanotechnologie: Grundlagen, Anwendungen, Risiken, Regulierung, (Köln)* **2008**.
- 6 Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) *Vorsorgestrategien für Nanomaterialien* **2011**, 13 ff.; Calliess, C., Stockhaus, H. *Regulierung von Nanomaterialien - reicht REACH?*, *DVBl.* **2011**, 921-929; Scherzberg, A. *Risikoabschätzung unter Ungewissheit – Preliminary risk assessment im Kontext der Nanotechnologie*, *ZUR* **2010**, 6, 281-336; Calliess, C. *Das Vorsorgeprinzip und seine Auswirkungen auf die Nanotechnologie*. in: 24. Trierer Kolloquium zum Umwelt- und Technikrecht, Umwelt und Technikrecht Bd. 99, **2009**, 21-56.
- 7 Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) *Vorsorgestrategien für Nanomaterialien* **2011**, 315 ff., 407 ff.

6.7 Der Umgang mit Nanotechnologie als komplexes Entscheidungsproblem: Ökonomische, rechtliche, politische und ethische Aspekte

AG Borchers, Angewandte Philosophie, Universität Bremen

Der Einsatz von Nanotechnologien in verschiedenen Bereichen wie etwa der Medizin, der Ernährung, der Entwicklung neuer Oberflächen und neuartiger Produkte zum Schutz und zur Behandlung von Oberflächen, der Umwelttechnik usw. verspricht wesentliche Verbesserungen, birgt aber neben Chancen auch Risiken. Traditionell ist auch die Philosophie in die kritische Reflexion neuartiger Technologien eingebunden – aktuell neben der Nanotechnologie auch der Gentechnik und der Neurotechnologien sowie derjenigen, die sich aus dem Kontext der Synthetischen Biologie ergeben könnten. All diese Entwicklungen sind eng miteinander verbunden und überschneiden sich hinsichtlich ihrer Quelle und der mit ihnen verbundenen Probleme und Herausforderungen. Es wäre aber angesichts der Fülle der hier anstehenden Fragen zu eng gedacht, wollte man den philosophischen Part von vornherein auf eine ethische Expertise beschränken. Stattdessen bietet es sich an, hier ein wesentlich breiter aufgestelltes philosophisches Projekt zu entwickeln: Man kann die Einführung von Nanotechnologien im Zuge der Einführung neuartiger Produkte als komplexes öffentliches Entscheidungsproblem verstehen, das eine umfassende duale Herangehensweise nötig macht. Zum einen muss es darum gehen, die Komplexität offen zu legen und die diversen Fragen und Schwierigkeiten systematisch zu analysieren; zum anderen steht dann aber wiederum eine Synthese an, in der deutlich wird, wie die verschiedenen Aspekte integriert und systematisch in einem durchdachten, gut begründeten, transparenten Entscheidungsprozess berücksichtigt werden können. Dies soll im Rahmen des philosophischen Teilprojekts geschehen.

Worin besteht die Komplexität des hier anstehenden Entscheidungsproblems? Ausgangspunkt ist eine Situation, in der eine Gesellschaft, speziell allerdings die politisch Verantwortlichen, zu entscheiden haben, ob und in welchem Umfang sie die Entwicklung, vor allem aber die Zulassung neuer Produkte, die mit Nanotechnologien arbeiten, zulassen wollen. Das philosophische Teilprojekt wird sich auf den Einsatz von Kupferoxid-Nanopartikeln als antimikrobiellen Wirkstoff als aktuelles Fallbeispiel konzentrieren. Komplex ist diese Entscheidungsproblematik nun in zweierlei Hinsicht:

In der einschlägigen Entscheidungsforschung bezeichnet man eine Entscheidungssituation als komplex, wenn viele Faktoren berücksichtigt werden müssen, die untereinander kausal wechselwirken, ohne dass die kausalen Wechselwirkungen transparent sind. Zudem sind die Risiken nicht bekannt. Desweiteren steht die Entscheidung unter einem gewissen Zeitdruck – es muss eine Entscheidung getroffen werden, ohne dass die anstehenden Fragen geklärt werden können. Eine komplexe Entscheidung in diesem Sinne ist also eine, bei der mit unzureichenden Informationen, unbekanntem Risiken unter Zeitdruck entschieden werden muss. (vgl. u. a. Dörner 2003, Kapitel 3.) Diese Grundsituation scheint hier gegeben – inwiefern genau, muss die in diesem Teilprojekt anzufertigende Studie im Detail aufzeigen. Ein wichtiger Grund für diesen Befund liegt allerdings in der Technologie selbst begründet: Wie der Moralphilosoph Johann Ach unter Berufung auf eine Studie der Royal Academy (Royal Society & Royal Academy of Engineering 2004, S. 52f.) aufzeigt, wird die Nanotechnologie

generell als „*enabling technology*“ aufgefasst. Es handelt sich dabei um Technologien, die „im Zusammenhang mit anderen Technologien neue und vorher nicht erreichbare Möglichkeiten schaffen. Solche Technologien haben möglicherweise einen großen und oft nur schwer vorausschätzbaren Einfluss auf die Gesellschaft“ (Ach 2008, S. 4.) Darüber hinaus bezeichnet man sie auch als „*disruptive Technologien*“ (Arnall 2003): Damit wird ihnen das Potential zugesprochen, „alte Technologien abzulösen und neue Produkte oder Produktionsweisen an ihre Stelle zu setzen. Dies kann, wenn die Akteure mit dieser Entwicklung nicht mithalten oder die Veränderungen bestimmte Produktionszweige überflüssig machen, zu massiven Umverteilungen in den Märkten führen, mit manifesten Auswirkungen zum Beispiel auf die Arbeitsplatzsituation.“ (Ach 2008, S. 4.)

Eine zweite Explikation von Komplexität liegt in ihrer Mehrdimensionalität. Komplexität in diesem Sinne liegt vor, wenn die Entscheidungssituation politische, rechtliche, ökonomische, ethische sowie diverse weitere Teilaspekte aufweist, die unterschiedlichen Rationalitäten folgen und untereinander in ein gewisses Spannungsverhältnis geraten können. Nicht nur die Charakterisierung der Nanotechnologien als disruptive Technologien mit dem Hinweis auf die ggf. massiven ökonomischen Implikationen legt den Verdacht nahe, dass mit dem hier zu untersuchenden Fallbeispiel auch in diesem zweiten Sinne eine komplexe Entscheidungssituation vorliegt. In ökonomischer Hinsicht stehen hier offensichtlich relativ komplexe Nutzen-Kosten-Abschätzungen an. In rechtlicher Hinsicht stellt sich die Frage nach dem anstehenden juristischen Regulierungsbedarf (vgl. Teilprojekt AG Schlacke) und den sich in diesem Kontext ergebenden Optionen und rechtlichen Gestaltungsspielräumen. Die politische Dimension muss neben einer gesamtgesellschaftlichen Verantwortung auch darin bestehen, gesamtgesellschaftliche Abstimmungsprozesse zu koordinieren und Partizipationsmöglichkeiten zu schaffen, die Transparenz und demokratische Legitimation und damit eine breite gesellschaftliche Basis für die anstehenden Entscheidungen sichern. Ach weist darauf hin, dass im Zusammenhang der Diskussion über ethische und soziale Herausforderungen von Nanotechnologien insbesondere das sog. Vorsorgeprinzip („*Precautionary Principle*“) eine wichtige Rolle spielt (vgl. Ach a. a. O., S. 18.) Es spricht der Regierung eines Landes eine besondere Verantwortung zu, präventiv tätig zu werden, um Schäden für Mensch und Umwelt zu vermeiden, selbst wenn die wissenschaftliche Expertise über Art und Umfang der möglichen Schadenpotentiale noch aussteht. (Vgl. ETC Group 2003, S. 72.) Die mit den Gefahren und Möglichkeiten der Nanotechnologien befasste ETC Group formuliert im Zusammenhang mit dem Vorsorgeprinzip als normativem Leitwert eine klare Forderung: „To implement a precautionary approach, civil society and governments must begin to formulate the legislative, regulatory and social framework necessary to guide the assessment – and where appropriate the introduction – of new technologies. This process must be transparent, democratic and involve those who are potentially adversely affected by new technologies.“ (ETC Group a. a. O.)

Und schließlich haben wir es offensichtlich mit einer umfassenden Palette von ethisch-philosophischen Fragen zu tun. Im Rahmen einer Risikoethik wäre eine ethische Prüfung der neuartigen Stoffe und Produkte vonnöten. Hinzu kommen in dem speziellen Fall der in diesem Projekt insgesamt thematisierten Nanotechnologie umweltethische und medizinethische Aspekte. Mit den Werten, Normen und ethischen Prinzipien, die bei der moralphilosophi-

schen Analyse, aber auch in den moralischen Urteilen der Öffentlichkeit eine wesentliche Rolle spielen, gehen grundlegende Einstellungen hinsichtlich der Charakterisierung der menschlichen Natur, der Umwelt sowie Technik und Fortschritt gegenüber einher. Sie sind nur zum Teil rational rekonstruierbar; zuteilen sind sie auch emotional und nur implizit vorhanden. Im Rahmen dieses Teilprojektes müsste also erst einmal dargelegt werden, welche spezifisch ethischen Probleme mit der Nanotechnologie und den hier anstehenden Produkten und Stoffen überhaupt verbunden wären.

Vor diesem Hintergrund hätte das philosophische Teilprojekt, in dem der gesellschaftliche Umgang mit Nanotechnologien als komplexes Entscheidungsproblem analysiert werden soll, folgende Ausgangsfrage zu beantworten: Inwiefern liegt in Bezug auf die Entwicklung und den Einsatz von Kupferoxid-Nanopartikeln als antimikrobieller Wirkstoff ein komplexes Entscheidungsproblem vor? Welche Dimensionen bzw. Teilaspekte sind relevant? Und wie könnte ein politisch verantwortlicher, die relevanten Aspekte berücksichtigender und integrierender Entscheidungsprozess aussehen, der das Vorsorgeprinzip als Leitwert anerkennt? Was würde die Anerkennung des Vorsorgeprinzips in Hinblick auf das Anwendungsbeispiel konkret bedeuten? Ziel des Vorhabens ist eine Einflussfaktoren- und Schwachstellenanalyse, die deutlich werden lässt, an welchen Stellen Verbesserungen oder Veränderungen im Entscheidungsprozess ansetzen müssten, um ihn im Sinne des Vorsorgeprinzips zu verbessern.

6.7.1 Arbeitsplan

1) Interdisziplinäre Bestandsaufnahme des status quo

Der erste Schritt umfasst umfassende Recherche- und Lektürearbeiten. Dabei geht es zentral darum, den wissenschaftlichen Stand der technischen Entwicklung von Kupferoxid-Nanopartikeln als antimikrobieller Wirkstoff zu erfassen (vgl. u. a. Watermann et al. 2010). Hinzu kommen Informationen über die rechtlichen Regelungen, politisch-administrative Abläufe, involvierte Gruppen und Institutionen usw. Hier steht eine interdisziplinäre Bestandsaufnahme des wissenschaftlichen, rechtlichen, politischen und sozialen *status quo* an, in deren Kontext eine intensive Kooperation mit den anderen Projektpartnern geboten ist.

2) und 3) Relevante Aspekte und Entscheidungsprozess

Der zweite Schritt liegt in einer systematischen Darlegung der für das Anwendungsbeispiel relevanten Aspekte und Teilbereiche. Vor diesem Hintergrund muss im dritten Schritt eine These dazu entwickelt werden, wie ein positiver komplexer Entscheidungsprozess aussehen könnte, der die als relevant herausgestellten Aspekte für den Einsatz von Kupferoxid-Nanopartikeln als antimikrobieller Wirkstoff berücksichtigt und integriert.

4) Gestaltung Gesamtprozess

Der vierte Schritt müsste dann darin bestehen, ausgehend vom Vorsorgeprinzip entsprechende Kriterien zu erarbeiten und systematisch aufzuzeigen, was deren Berücksichtigung für die Gestaltung des Gesamtprozesses bedeuten würde.

6.7.2 Hauptkooperation im Kolleg: Tandem mit der AG Filser

Die Stipendiaten der Arbeitsgruppe Borchers nutzen die Ergebnisse der AG Filser über biologische Effekte in Böden, um insbesondere die umweltethischen Aspekte auf eine fundierte Basis zu stellen.

6.7.3 Weitere Kooperationen im Kolleg

Da dieses Projekt interdisziplinäre Aspekte integriert, ist die Kooperation mit anderen Teilprojekten ebenfalls von großer Bedeutung:

| | |
|----------------|---|
| AG Schlacke: | Rechtliche Regelungen; <i>status quo</i> und notwendige Verbesserungen auf nationaler und internationaler Ebene. |
| AG von Gleich: | Auswirkungen von Strategien zur Risikobeurteilung auf den Umgang mit Nanotechnologie als komplexes Entscheidungsproblem |
| AG Dringen: | Implikationen der Auswirkungen von CuO-NP auf Säugerzellen für den Umgang mit Nanotechnologie |
| AG Elster: | Kommunikation und didaktische Vermittlung der ökonomischen, rechtlichen, politischen und ethischen Aspekte |

6.7.4 Einschlägige eigene Publikationen und Projekte

Ausgewählte Publikationen

Borchers D (2009) Verteilungsgerechtigkeit in der Intensivmedizin und der Intensivpflege“; in: Friesacher, H. et al. (Hg.): *Handbuch der Intensivpflege* 24, 04/09, S. 1-22.

Borchers D (2009) Ethiktools für die Güterabwägung oder: Wie pragmatisch dürfen Ethiker sein? in: Borchers, D./ Luy, J. (Hrsg.) *Der ethisch vertretbare Tierversuch. Kriterien und Grenzen*; Paderborn: Mentis.

Borchers D (2008) Neuroenhancement; *Information Philosophie* Oktober 2008,4, S. 46-51.

Borchers D, Czaniera U (2005) Wenn Prinzipien nicht weiterhelfen — Argumentationsmuster als Nothelfer in moralischen Sonderfällen; in: Rauprich, O./Steger, F. (Hg.) *Prinzi-*

pienethik in der Biomedizin. Moralphilosophie und medizinische Praxis; Frankfurt/M.: Campus, S. 439-464.

Borchers D (2003) Pränatales Leben im pluralistischen Kontext — Über ethische Theorien und das Bemühen, den moralischen Status von Embryonen zu bestimmen; in: Lenzen, W. (Hg.) *Wie bestimmt man den ‚moralischen Status‘ von Embryonen?*; Paderborn: Mentis, S. 31-72.

Ausgewählte Projekte

Die gesellschaftliche Akzeptanz der Energiewende (AKZEPTANZ), Mittelgeber: BMBF, in Kooperation mit dem Zentrum für Sozialpolitik der Universität Bremen, dem Institut für Wirtschaftswissenschaft der TU Clausthal und dem Institut für Wirtschaftsforschung, Essen, Laufzeit: 2013-2016

Nichtenscheiden - eine Strukturanalyse (Renke Reinstrom, Doktorarbeit), Finanzierung: Promotionsstipendium der Universität Bremen, laufendes Projekt

Zur gerechten Gestaltung von Strompreiserhöhungen im Kontext der Energiewende (Marcus Hrach, Doktorarbeit), Finanzierung: BMBF, laufendes Projekt

Die Wahrnehmung letztinstanzlicher normativer Autorität - eine Pflicht gegen sich selbst? (Svantje Guinebert, Doktorarbeit), Finanzierung: Universitäts-Haushaltmittel der AG Borchers, laufendes Projekt

Alles andre als Kinderleicht - Zur Ausstiegsoption von Kindern im liberalen Rechtsstaat (Christina von Behr, Doktorarbeit), Finanzierung: Universitäts-Haushaltmittel der AG Borchers, in 2012 abgeschlossenes Projekt

Weiterhin ist Frau Prof. Borchers mit der Studiengangsleitung des M.A. „Komplexes Entscheiden (Professional Public Decision Making)“ betraut und leitet

- *interdisziplinäre Projektseminare (u.a. zu den Themen Korruption, Verschuldung, Wann gelingen Reformen?, Entscheidungsprobleme und –prozesse in der Medizin)*
- *das Modul „Einführung in die Theorie komplexen Entscheidens“ (M1) sowie*
- *Seminare zu Synthetischen Biologie und zu Gentechnik & Genethik*

6.7.5 Zitierte Literatur

Ach, Johann/Jömann, Norbert (2008): *Size Matters. Ethische und soziale Herausforderungen der Nanobiologie. Eine Übersicht.*; Berlin: Lit Verlag (Münsteraner Bioethik-Studien 8).

Arnall, Alexander H. (2003): *Future Technologies, Today's Choices: Nanotechnology, Artificial Intelligence and Robotics A technical, Political and Institutional Map of Emerging Technologies*; London: Greenpeace Environmental Trust.

Dörner, Dietrich (2003): Die Logik des Misslingens. Strategisches Denken in komplexen Situationen; Hamburg: rororo.

ECT (2003): Big Down. From Genomes to Atoms – Atomtech: Technologies Converging at the Nano-Scale; Winnipeg/Can: ECT Group.

Watermann, B.T./Daehne, D./Fürle, C. (2010): Einsatz von Nanomaterialien als Alternative zu biozidhaltigen Antifouling-Anstrichen und deren Umweltauswirkungen; Bonn: Bundesumweltamt.

6.8 Nanotechnologie kompetent vermitteln: Entwicklung und empirische Überprüfung eines Modells zur Wissenskommunikation

AG Elster, Biologiedidaktik, Universität Bremen

Das geplante Promotionskolleg mit dem Titel „NanoCompetence in der Gesellschaft: Forschung – Vermittlung – Gestaltung“ wird durch einen interdisziplinär zusammengesetzten Forschungsverbund getragen, in dem Gesellschafts- und NaturwissenschaftlerInnen wissenschaftsübergreifend im Bereich der Nanotechnologie zusammenarbeiten. Als vermittelnde Wissenschaft unterstützt die Biologiedidaktik den Kommunikationsprozess dahingehend, dass sie bereits bestehende Formen der Wissenskommunikation zwischen Wissenschaftlern unterschiedlicher Expertisen und zwischen ForscherInnen und interessierter Öffentlichkeit analysiert und Wege zur deren Optimierung aufzeigt. Dabei sind vor allem die unterschiedlichen Auslegungen des Begriffs „Risiko“ im Zusammenhang mit Nanotechnologie im Allgemeinen und Kupferoxid- sowie Ceroxid-Nanopartikeln im Besonderen von Bedeutung. Umwelt- und Gesundheitsrisiken, ihre Analyse, Bewertung und der individuelle und gesellschaftliche Umgang mit ihnen basieren auf unterschiedlichem Verständnis des Risikobegriffs: In den technischen und naturwissenschaftlichen Disziplinen steht dabei das objektive Risiko im Vordergrund und das Erkenntnisinteresse besteht darin, eine präzise Vorhersage über eine zu erwartende schädliche Wirkung von Stoffen zu treffen. In der Soziologie und Psychologie beruht die Einschätzung von Risiken meist auch auf subjektiven Werturteilen wie z.B. dem Abwägen zwischen Schäden auf Umwelt oder Gesundheit. Der Risikodiskurs in den Rechtswissenschaften beschäftigt sich mit der Abschätzung der objektiven Schwere des Risikos (Wann ist staatliches Handeln erforderlich?) und mit einer subjektiven Bewertung der Akzeptabilität (SRU 2011).

6.8.1 Arbeitsplan

Der Arbeitsplan orientiert sich an folgenden Arbeitsfeldern der AG Biologiedidaktik mit Schwerpunkt Wissenskommunikation:

1) *Kompetenzmodell der Wissenskommunikation*

Aufgrund der zentralen Bedeutung der „Wissenskommunikation“ im NanoCompetence-Kolleg kooperiert die AG Elster mit allen Arbeitsgruppen des Verbundes in besonderer Weise. Gemeinsam soll ein **Kompetenzmodell zur Wissenskommunikation** nanotechnologischer Inhalte entwickelt und empirisch überprüft werden. Der fachliche Hintergrund eines solchen Kommunikationsmodells ist in Kap. 2 dargestellt.

2) *Vermittlungsmedien und Vermittlungsmethoden*

Die Entwicklung und Evaluierung von Konzepten und Materialien zur Vermittlung von Inhalten der Nanotechnologie und deren Risikobewertung stellen weitere Arbeitsschwerpunkte der AG Biologiedidaktik dar. In enger Kooperation mit der **AG Dringen** (Tandembildung) entwickeln wir **Experimente**, die in kompakter und anschaulicher Weise nanotechnologische Inhalte wie die Wirkung von Kupferoxid- und Ceroxid-Nanopartikeln auf tierliche/pflanzliche Zellen und die Umwelt erfahrbar machen (Fürkötter et al. 2013; Ebel et al. 2013; Kämpfer et al., 2013). Diese hands-on Experimente werden durch **Erklärvideos**, die abstrakte und komplexe Inhalte veranschaulichen, sowie **Plan- und Rollenspiele**, die Dilemmata der Risikobewertung nanotechnologischer Inhalte thematisieren (z.B. Bewertung des Umweltverhaltens von Stoffen unter REACH), ergänzt. Bereits bestehende fachdidaktische Modelle zur Bewertungskompetenz (entsprechend der Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss) werden dabei um die Aspekte der Risikobeurteilung erweitert (Bögeholz et al. 2004).

Wir erproben diese Konzepte und Materialien und evaluieren sie hinsichtlich ihrer Lehr- und Lernwirksamkeit in unserem fachdidaktischen, videogestützten Labor (Elster 2011).

Basis unserer Untersuchungen sind Erfahrungen und Ergebnisse der Evaluationsforschung aus dem Projekt „Biologie im Kontext“, in dem in einem Deutschland-weiten Projekt Kompetenzmodelle im Bereich der Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung zur Umsetzung der nationalen Bildungsstandards (KMK 2004) entwickelt, implementiert und evaluiert wurden (Elster 2010). Dazu wenden wir international anerkannte Ansätze des forschungsbasierten Lehrens und Lernens (*inquiry-based science education*) in sogenannten Communities of Practice an (Elster, et al. 2013).

Unser Ziel ist es, durch ein breites Vermittlungsangebot sowohl institutionelle Bildungseinrichtungen (Schulen, Hochschulen) als auch non-formalen Bildungseinrichtungen (Jugendverbände, KinderUni, Gewerkschaften, soziale, politische und kulturelle Bildungseinrichtungen etc.) zu erreichen.

Die Vermittlung von Inhalten der Nanotechnologie und deren Risikobewertung soll durch folgende Veranstaltungen und Projekte realisiert werden:

Nano Lectures im Tandem – Vortrags-Diskussionsreihe von jeweils einer/m Naturwissenschaftler/in und einer/m Gesellschaftswissenschaftler/in im Tandem angeboten

- a) Vortragsreihe zur Nanotechnologie z.B. im Haus der Wissenschaft unter Einbindung interessierter LehrerInnen / Multiplikatoren außerschulischer Bildungseinrichtungen. Diese erhalten Informationsmaterialien, die sie darin unterstützen, ihre Schulklassen / Probanden auf die Diskussion mit den NanowissenschaftlerInnen vorzubereiten (d.h. für das Thema Nanotechnologie und Risiko zu sensibilisieren und einen Fragenkatalog zu erstellen).
- b) Die NanowissenschaftlerInnen (Tandem) werden zum Vortrag mit anschließender Diskussion in die Schule / öffentlichen Raum eingeladen, in dem neben fachlicher Information und Risiko für die Umwelt auch auf soziale und ethische Fragen eingegan-

gen wird. Ziel ist es, die „Risikomündigkeit“ der Schülerinnen und Schüler zu fördern, indem sie mit Ergebnissen der Risikoforschung konfrontiert werden.

- c) (Ausgesuchte) Fragen und Antworten werden auf einer Projektwebsite veröffentlicht.
- d) Die Gespräche zwischen NanowissenschaftlerInnen/SchülerInnen/interessierter Öffentlichkeit werden analysiert mit dem Ziel, den Nanowissenschaftlern eine Rückmeldung zum Kommunikationsprozess (Operatoren, Common Ground) zu geben.
- e) Begleitevaluation zum Lerngewinn der SchülerInnen (Risikomündigkeit, Fachwissen, Einstellungen, epistemologisches Wissen) und der Lehrkräfte mit quantitativen und qualitativen Methoden.

Green Nano - Aus- und Fortbildungsprojekt zum forschenden Lernen

- a) Im Rahmen einer interdisziplinären Lehrveranstaltung (Projekt) bilden Lehramtsstudierende und Fachstudenten Teams, in denen sie nach einer Phase der gemeinsamen durch Fachwissenschaftler und Fachdidaktiker unterstützte Ausbildung Schulprojektideen (z.B. zur Wirkung von Kupferoxid- und Ceroxid-Nanopartikeln) entwickeln.
- b) Hands-on Experimente, Erklärvideos und Dilemma-Diskussionen werden in einer begleitenden Lehrerfortbildungsveranstaltung diskutiert und erprobt.
- c) Die Schulklassen führen die Nano-Schulprojekte betreut durch die Studierenden-Teams durch.
- f) Die Studierenden-Teams evaluieren den Zuwachs an Fachwissen und die Einstellungsänderung der Schülerinnen und Schüler. Ziel ist auch hier, die „Risikomündigkeit“ der Schülerinnen und Schüler zu fördern, indem sie mit Ergebnissen der Innovationsforschung und Risikoforschung konfrontiert werden.
- d) Forschungsdesign: Evaluationsstudie, partizipative Aktionsforschung, hauptsächlich qualitative Erhebungsinstrumente (Forschungstagebücher, Interviews, Unterrichtsbeobachtung).

Nano for Kids: Eintägiges Angebot für Kinder im Alter von 10-12 Jahren im Rahmen der KinderUni Bremen. Ich gehe davon aus, dass Einstellungen, Risikomündigkeit und Partizipation zu gesellschaftsrelevanten Fragen bereits frühzeitig gefördert werden sollen. Methodisch soll das im Rahmen eines Kinderparlaments bei der KinderUni erfolgen.

6.8.2 Hauptkooperation im Kolleg: Tandem mit der AG Dringen

Die in der AG Dringen und AG Elster tätigen StipendiatInnen sollen in Kooperation mit weiteren Mitgliedern dieser AG Konzepte zur besseren Vermittlung von Inhalten, Chancen und Risiken der Nanotechnologie entwickeln. Dazu sollen hands-on Experimente für Jugendliche und interessierte Laien etabliert werden, die ein Verständnis von Größen, Eigenschaften und Reaktivitäten von Nanopartikeln vermitteln. Inhalte mit hohem Abstraktionsgehalt sollen durch Erklärvideos verständlich gemacht werden.

6.8.3 Weitere Kooperationen im Kolleg:

Wegen der vernetzenden Aufgabe der AG Biodidaktik ist eine Kooperation mit allen AGs möglich und erwünscht.

| | |
|-------------------|--|
| AG Bäume | gemeinsame Entwicklung von Unterrichtskonzepten und Materialien einer „faszinierenden“ Nanotechnologie für Kinder („Nano for Kids“). Gemeinsame Entwicklung und Durchführung von Lehrerfortbildungsmaßnahmen zur Vermittlung dieser Konzepte |
| AG Filser | gemeinsame Entwicklung von Unterrichtsmaterialien und Experimente mit Modellorganismen (Daphnien, <i>Arabidopsis thaliana</i>) |
| AG Thöming/Stolte | „Übersetzung“ und Kommunikation der Forschungsergebnisse für Fachfremde z.B. durch Erklärvideos |
| AG von Gleich: | Erweiterung der fachdidaktischen Modelle zur Bewertungskompetenz (entsprechend der Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss) um die Aspekte der Risikobeurteilung. Anwendung dieses Modells bei der Beurteilung von Dilemmata bezogen auf Chancen und Risiken der Nanotechnologie (z.B. im Rahmen von virtuellen Dialogen und Rollenspielen über die Inhalte und Entwicklung von Nanotechnologien, in denen ethische, rechtliche und soziale Aspekte mit einbezogen werden), letzteres auch in Kooperation mit der AG Borchers |
| AG Schlacke | „Übersetzung“ und Kommunikation der Forschungsergebnisse für Fachfremde z.B. durch Plan- und Rollenspiele bzw. Dilemmata-Diskussionen |

6.8.4 Besondere Raum- und Sachausstattung

- Videolabor
- Fachdidaktisches Labor (für die Durchführung von Schulexperimenten)
- Stellplatz in den Gewächshäusern des Biogartens

6.8.5 Einschlägige eigene Publikationen und Projekte

Ausgewählte Publikationen

Elster, D. (2010): Zum Interesse Jugendlicher an den Naturwissenschaften. Ergebnisse der ROSE Erhebung aus Deutschland und Österreich, Aachen: Shaker

Lang, M., Couso, D., Elster, D., Mooney-Simmie, G., Klinger, U., Szybek, P. (2007): Professional Development and School Improvement. Science Teachers' Voices in School-Based Reforms, Innsbruck: Studienverlag

- Elster, D. (2010). Learning Communities in Teacher Education. The Impact of e-Competence. In: *International Journal of Science Education* 32 (16), Routledge/ Taylor & Francis, 2185 – 2216.
- Elster, D. (2013). Einstellungen Jugendlicher zur Umwelt, Naturwissenschaften und Technik und zum zukünftigen Beruf. In: *Umweltberufe - modern und vielfältig kommunizieren?* Wien/Forum Exkurse Edition, 35-46
- Elster, D. (2012). Reform in Biology Education: Teachers and Researchers in a Process of Negotiation. In: K.-H. Hansen, W. Gräber, M. Lang (Eds) *Crossing Boundaries in Science Teacher Education*, Münster: Waxmann, 103-134

Ausgewählte Projekte

- Inquiry-based teacher training for a sustainable future (INQUIRE). Mittelgeber: EU FP7, Laufzeit: 2010-2013
- The Relevance of Science Education (ROSE). Mittelgeber: Universität Wien. Internationales Projekt in Kooperation mit der Universität Oslo und 40 weiteren Ländern, Laufzeit: 2006-2009
- Interest and Recruitment in Science Education (IRIS), Mittelgeber: EU FP7, Laufzeit: 2009-2012
- Biologie Kompetenz-orientiert unterrichten (BIOKOM), Mittelgeber: FWF (Wissenschaftsfonds) Österreich, Laufzeit: 2008-2010
- Crossing Boundaries in Science Teacher Education (CROSSNET), Mittelgeber EU Sokrates Comenius 2.1

6.8.6 Zitierte Literatur

- Bögeholz, S., Hößle, C., Langlet, J., Sander, E., Schlüter, K. (2004). Bewerten – Urteilen – Entscheiden im biologischen Kontext: Modelle in der Biologiedidaktik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 10, 89-115.
- Ebel, M., Lampart, T., Evangelou, M. (2013). Schwermetalle in Kulturpflanzen – Lebensnotwendig oder giftig? In: O. Müller (Hrsg.). *Praxis der Naturwissenschaften – Biologie in der Schule* 3(62), Freising, Aulis, 40-45.
- Elster, D. (2010). Learning Communities in Teacher Education. The Impact of e-Competence. In: *International Journal of Science Education* 32 (16), Routledge, Taylor & Francis, 2185 – 2216.
- Elster, D., Glade, U., Herrmann, S., Schultz-Siatkowski, A. (2011). Backstage Science - Forschungsbasiertes Lernen im Oberstufenlabor. In: FdDB (Hrsg.): *Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie VBio "Didaktik der Biologie - Standortbestimmung und Perspektiven"* 12.-16. September 2011, Bayreuth: Universitätsdruck (2011), 92-93
- Elster, D. (2013). INQUIRE for Students - How to promote inquiry based learning? In: *New Perspective in Science Education*, Conference Proceedings 2013, Florence, March 14th-15th 2013, Florence /Libreriauniversitaria.it Edizioni (2013), 337-341

Fürkötter, J., Dahmen, R., Zielke, H., Hollert, H., Bohrmann, J. (2013). Der Fischeitest – Untersuchungen von Wirkung von Chemikalien auf Embryonen des Zebraäbrlings. In: O. Müller (Hrsg.). *Praxis der Naturwissenschaften – Biologie in der Schule* 3(62), Freising, Aulis, 7-15.

Kämpfer, C., Dahmen, R., Jahnke, J., Bohrmann, J. (2013). Ökotoxikologisches Bodenmonitoring mit Grünalgen. In: O. Müller (Hrsg.). *PdN Biologie in der Schule* 3 (62), Freising, Aulis, 34-40.

Kultusministerkonferenz (KMK) (2004). Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Bildungsabschluss. Bonn. http://www.kmk.org/schul/Bildungsstandards/Biologie_MSA_16-12-04.pdf. [Download 20. April 2013]

Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) (2011). *Vorsorgestrategien für Nanomaterialien*, 25 ff.

7 Promotionsbegleitendes Studienprogramm

Für das geplante Promotionskolleg NanoCompetence ist ein umfangreiches promotionsbegleitendes Studienprogramm vorgesehen, das der fachlichen Begleitung der StipendiatInnen (über die Einzelbetreuungen hinaus) sowie der personellen und thematischen Vernetzung dient. Je nach Veranstaltung ist das Programm offen für assoziierte WissenschaftlerInnen bzw. für externe Fachleute und die interessierte Öffentlichkeit (z.B. Abschlussveranstaltung). Bei der Planung des Studienprogramms kann auf Erfahrungen der beiden Böckler-Promotionskollegs nanoToxCom (2008-2013) und „Toxische Kombinationswirkungen“ (2003-2006) aufgebaut werden.

7.1 Interne Kollegtreffen

Während des Semesterbetriebes sind einmal monatlich interne Kollegtreffen mit den StipendiatInnen, BetreuerInnen und assoziierten WissenschaftlerInnen geplant. Die Treffen sollen dabei folgende Punkte zum Inhalt haben:

- Präsentation und Diskussion zum Stand der Arbeiten durch jeweils eine/n der StipendiatInnen oder der assoziierten Mitglieder
- Vorstellung und Abstimmung gemeinsamer Publikationsvorhaben
- Planung größerer Veranstaltungen (Klausurtreffen, ggf. Workshops, Abschlussveranstaltung)
- Planung von Tagungsbesuchen und -beiträgen
- Abstimmung von Finanzierungsbedarfen innerhalb der Gruppe (wenn erforderlich)
- News / Informationsaustausch zu aktuellen Fragen und Entwicklungen

Gerade zu Beginn des Promotionskollegs sind die Treffen für einen intensiven Austausch der natur- und gesellschaftswissenschaftlichen Arbeitsgruppen besonders wichtig, um eine **dis-**

ziplinübergreifende Vernetzung des Kollegs zu erreichen. Diese Vernetzung ist Voraussetzung, um die unter 4.3 beschriebenen disziplinübergreifenden Synergieeffekte zu nutzen.

Weiterhin sind sogenannte Status quo-Berichte einzelner StipendiatInnen mit dem jeweiligen Prüfungskomitee am Ende des ersten und zweiten Jahres nach Vorhabensbeginn geplant, um den Fortschritt und die weiteren Meilensteine der Arbeiten individuell abzustimmen. Diese Vorgehensweise hat sich im Promotionskolleg nanoToxCom bereits bewährt und den StipendiatInnen wertvolle Hilfestellung bei ihren Promotionsarbeiten geleistet.

Zur Abstimmung der StipendiatInnen untereinander sind Treffen ohne BetreuerInnen und assoziierte WissenschaftlerInnen vorgesehen. Sie sollten mindestens ein- bis zweimal pro Semester stattfinden, wobei die Termine nach Bedarf festgelegt werden.

Auch für die BetreuerInnen untereinander sind Abstimmungstreffen geplant, in der Regel einmal pro Semester.

7.2 NanoCompetence-Kolloquien

Es ist geplant, öffentliche Kolloquien mit externen, wenn möglich hochrangigen ReferentInnen einmal monatlich während der Semester durchzuführen. Die Auswahl der ReferentInnen soll auf Vorschlag der StipendiatInnen und in Abstimmung mit den BetreuerInnen und dem Koordinator erfolgen. Die Kontaktaufnahme und Einladung der ReferentInnen wird jeweils durch eine/n der StipendiatInnen übernommen, damit diese frühzeitig den Kontakt mit externen Fachleuten pflegen. Die/der betreffende Stipendiat/in übernimmt in der Veranstaltung dann auch die Vorstellung der/des ReferentIn/innen sowie die Diskussionsleitung in englischer Sprache und erwirbt auf diese Weise weitere Kompetenzen.

Begleitet werden sollen die Kolloquien durch Laborführungen und Fachdiskussionen der StipendiatInnen mit den jeweiligen ReferentInnen sowie durch abendliche Nachsitzungen, bei denen es um Erfahrungsaustausch in lockerer Atmosphäre geht.

7.3 StipendiatInnen-Tandems und Kleingruppen

Den Kern der Zusammenarbeit im Kolleg bilden neben den regelmäßigen Treffen und Veranstaltungen der Gruppe die StipendiatInnen-Tandems. Dazu ist ein engmaschiger fachlicher Austausch vorgesehen, der unter 4.1 näher dargestellt ist. Bei Bedarf können an dem Austausch selbstverständlich weitere KollegiatInnen teilnehmen, z.B. wenn es um die Bearbeitung übergreifender Themen oder das gemeinsame Kennenlernen von Methoden geht (vgl. 7.4).

Ab dem Zeitpunkt, an dem erste Resultate der Arbeiten vorliegen, sollen in den Tandems und Kleingruppen gemeinsame Publikationsideen entwickelt werden und diese im Rahmen der Kollegtreffen in der Gruppe vorgestellt und diskutiert werden.

7.4 Methodenseminare

Zu Beginn der experimentellen Arbeiten, d.h. im ersten Jahr des Kollegs, sind sogenannte Methodenseminare vorgesehen, in denen die StipendiatInnen in fachlich übergreifenden Methoden geschult werden. Die Auswahl und Reihenfolge der Themen wird auf Wunsch der StipendiatInnen, ggf. mit Unterstützung durch die BetreuerInnen erfolgen. Die Seminare sind für alle TeilnehmerInnen des Kollegs offen und werden von jeweils einer der beteiligten Arbeitsgruppen organisiert.

7.5 Studentische Projekte und Abschlussarbeiten

Durch die StipendiatInnen und BetreuerInnen sollen Themen für studentische Projekte angeboten werden, die im Zusammenhang mit den Themenstellungen des Kollegs stehen. Dies ermöglicht es den StipendiatInnen, ihre Erfahrungen in der universitären Lehre zu erweitern und ihre Wissens- und Datenbasis zu verbreitern. Dies dient der Nachwuchsförderung und bietet die Möglichkeit, geeigneten Studierenden eine Bachelor- oder Masterarbeit im thematischen Kontext des Kollegs anzubieten, in deren Betreuung die StipendiatInnen ebenfalls eingebunden werden.

Darüber hinaus können sich die StipendiatInnen auf eigenen Wunsch an der grundständigen Lehre beteiligen, um Erfahrungen in der Organisation und Betreuung größerer Lehrveranstaltungen zu sammeln.

7.6 Statusseminare

Um die Hans-Böckler-Stiftung zeitnah über den Fortschritt der Arbeiten zu informieren, sind neben den Arbeitsberichten der einzelnen StipendiatInnen zwei Statusseminare mit einer Zusammenschau der Konzepte und Ergebnisse vorgesehen. Geplant ist ein Kick-off Meeting zu Beginn des Kollegs und ein Mid-Term Meeting nach etwa 2 Jahren Laufzeit. Letzteres wird ergänzt durch eine Postersession mit den assoziierten WissenschaftlerInnen des Kollegs. Ein Statusseminar am Ende des Vorhabens entfällt zugunsten einer Abschlussveranstaltung (siehe unter 7.8).

An den Statusseminaren werden neben den StipendiatInnen und dem zuständigen Referenten der Hans-Böckler-Stiftung die BetreuerInnen und der Koordinator des Kollegs sowie ggf. Vertreter weiterer Mittelgeber teilnehmen.

Im Anschluss an die Statusseminare sollen Einzel- und Gruppengespräche des Referenten der Hans-Böckler-Stiftung mit den StipendiatInnen stattfinden, um Wünsche, Anregungen und Verbesserungen aufzunehmen.

7.7 Klausurtreffen

Eine wichtige Rolle im Kolleg werden insgesamt drei Klausurtreffen einnehmen, jeweils im ersten, zweiten und dritten Jahr des Kollegs. Es soll sich dabei um interne Treffen der gesamten Gruppe handeln (StipendiatInnen, BetreuerInnen, Assoziierte, Koordinator), die sich fernab vom Universitätsbetrieb über 1,5 bis 2 Tage intensiv über die anstehenden Themen austauschen können. Entsprechend positive Erfahrungen wurden in dem Promotionskolleg nanoToxCom gesammelt.

Die Agenda der Klausurtreffen soll folgende Punkte umfassen:

- Kurzvorstellung der beteiligten AGs durch die LeiterInnen (nur erstes Treffen)
- Präsentation der aktuellen Ergebnisse aller beteiligten StipendiatInnen mit Raum für intensive und fachübergreifende Diskussionen
- Kurzvorträge der assoziierten WissenschaftlerInnen mit anschließender Diskussion
- Gemeinsame Spaziergang zum informellen Informationsaustausch
- Bildung von Arbeitsgruppen zu ausgewählten Themen und Diskussion der Arbeitsergebnisse in der gesamten Gruppe
- Planung von einzelnen Vorhaben (z.B. Gemeinschaftspublikationen) und Veranstaltungen
- Festlegung und Ausrichtung von Meilensteinen über die Laufzeit des Kollegs

Gerade für ein Kolleg, das sowohl naturwissenschaftliche als auch gesellschaftswissenschaftliche Arbeitsgruppen umfasst, sind die Klausurtreffen von großer Bedeutung, indem sie Raum schaffen für einen wissenschaftsübergreifenden Austausch der Beteiligten. Vor diesem Hintergrund ist insbesondere **das erste Treffen als Vernetzungsveranstaltung** geplant (siehe auch unter 4. 3 Synergieeffekte).

Die Klausurtreffen ersetzen jeweils eines der unter 7.1 genannten Kollegtreffen.

7.8 Abschlussveranstaltung

Eine wichtige Säule im Kolleg stellt der Schwerpunkt Wissenskommunikation dar. Insofern kommt der geplanten öffentlichen Abschlussveranstaltung des Kollegs besondere Bedeutung zu. Ziel der Veranstaltung soll es sein, sowohl einem Fachpublikum als auch der interessierten Öffentlichkeit und MedienvertreterInnen die Ergebnisse des Kollegs anschaulich darzustellen und die daraus resultierenden Schlussfolgerungen für die Praxis aufzuzeigen und zu diskutieren. Eine vergleichbar ausgerichtete Veranstaltung im Promotionskolleg nanoToxCom führte zu einer durchweg positiven Resonanz.

Da nicht zu erwarten ist, dass die Arbeiten der StipendiatInnen genau zeitgleich stattfinden, sondern zumindest um wenige Monate versetzt beginnen und enden, ist der Zeitpunkt der Abschlussveranstaltung so zu wählen, dass (i) die experimentellen Arbeiten überwiegend

abgeschlossen sind und (ii) die StipendiatInnen noch vor Ort sind und nicht bereits eine Anschließtätigkeit aufgenommen haben. Als Veranstaltungsort empfiehlt sich ein verkehrsgünstiger und öffentlichkeitswirksamer Ort wie z.B. das Haus der Wissenschaft in Bremen, ggf. auch Einrichtungen der Gewerkschaften.

Um die disziplinübergreifende Struktur des Kollegs auch für die Öffentlichkeit sichtbar zu machen, ist angedacht, dass es auf dem Abschluss Symposium Tandem-Vorträge geben soll, in denen besonders die disziplinübergreifenden Erkenntnisse und Synergieeffekte (siehe auch unter 4.1 und 4.3) der Tandem-Kooperationen herausgestellt werden.

7.9 Weitere Veranstaltungen und Aufgaben

Über die speziell auf das Kolleg zugeschnittenen Veranstaltungen und Aufgaben hinaus sollen sich die StipendiatInnen an folgenden Veranstaltungen beteiligen:

- Beteiligung als Lernende und Lehrende an AG-Seminaren bzw. Kolloquien, Praktika und anderen Lehrangeboten der eigenen Arbeitsgruppe (vgl. 7.5) bzw. (in Einzelfällen) der anderen am Kolleg beteiligten Arbeitsgruppen
- Beteiligung an allgemeinen Aufgaben der jeweiligen AGs (z.B. Organisation von Labortreffen, Gerätenutzungsplänen, Homepage, Zuchtenbetreuung u.ä.); insbesondere Aufgaben im Rahmen von Arbeitsschutzmaßnahmen sollen übernommen werden
- Teilnahme an Vorträgen und Workshops an den Universitäten Bremen und Münster, die in Zusammenhang mit den Themen des Kollegs stehen
- Teilnahme an Veranstaltungen, die vom Promotionszentrum der Universität Bremen (ProUB) angeboten werden
- Beteiligung an den Fortbildungen der Stiftung

8 Präsenz- und Residenzpflichten der Promovierenden

Die praktischen Arbeiten, die nur in den Labors der beteiligten Arbeitsgruppen durchgeführt werden können, erfordern im Allgemeinen eine regelmäßige Anwesenheit der Promovierenden zu den üblichen Arbeitszeiten.

Eine grundsätzliche Präsenz- oder Residenzpflicht aller Promovierenden besteht nicht – sie sollen sich ihre Arbeitszeit möglichst frei einteilen und z.B. theoretische Arbeiten auch an anderen Orten durchführen können. Ausgenommen hiervon sind die unter 7. aufgeführten Veranstaltungen des promotionsbegleitenden Studienprogrammes.

Sollten StipendiatInnen den Wunsch äußern, zu Fortbildungszwecken oder zur Durchführung bestimmter Experimente zeitweilig in auswärtigen Arbeitsgruppen oder Institutionen zu arbeiten, so wird dies grundsätzlich begrüßt und ist im Einzelfall innerhalb des Kollegs rechtzeitig abzustimmen.

9 Betreuungskonzept

HauptbetreuerIn einer/s jeden Stipendiatin/en ist die/der jeweilige ArbeitsgruppenleiterIn, ZweitbetreuerIn die/der jeweilige ArbeitsgruppenleiterIn des Tandem-Partners. Beide BetreuerInnen sollten auch PrüferInnen im Promotionskolloquium sein. Je nach fachlichen Gesichtspunkten kann ein/e weitere/r BetreuerIn aus den beteiligten Arbeitsgruppen NebenbetreuerIn für eine/n Stipendiatin/en sein. Weiterhin steht als Ansprechpartner für organisatorische und ggf. fachliche Fragen der Koordinator des Kollegs zur Verfügung. Unterstützt wird die fachliche Betreuung der StipendiatInnen durch das vielfältige promotionsbegleitende Studienprogramm (siehe unter 7).