



DECHEMA

Gesellschaft für Chemische Technik
und Biotechnologie e.V.



VCI

Verband der
Chemischen
Industrie e.V.

10 JAHRE FORSCHUNG ZU RISIKOBEWERTUNG, HUMAN- UND ÖKOTOXIKOLOGIE VON NANOMATERIALIEN

Statuspapier des DECHEMA/VCI-Arbeitskreises
„Responsible Production and Use of Nanomaterials“

IMPRESSUM

Herausgeber

DECHEMA/VCI-Arbeitskreis „Responsible Production and Use of Nanomaterials“

Vorsitzende: Dr. Péter Krüger, Bayer MaterialScience AG, Leverkusen

Prof. Dr. Harald F. Krug, Empa, St. Gallen, CH

Verantwortlich im Sinne des Presserechts

DECHEMA e.V.

Dr. Andreas Förster

Theodor-Heuss-Allee 25

60486 Frankfurt am Main

Redaktion

Dr. Andreas Förster, Frankfurt am Main

Dr. Péter Krüger, Leverkusen

Prof. Dr. Harald F. Krug, St. Gallen

Dr. Björn Mathes, Frankfurt am Main

Dr. Christoph Steinbach, Frankfurt am Main

Autoren

Mitglieder des Arbeitskreises „Responsible Production and Use of Nanomaterials“

ISBN: 978-3-89746-125-3

Erschienen im Oktober 2011

INHALTSVERZEICHNIS

Executive Summary	3
I. Einleitung	5
II. Nanotechnologie – Chancen einer neuen Technologie	8
II.1. Einführung	8
II.2. Nanomaterialien in bereits markteingeführten Produkten	8
II.3. Nanomaterialien in Produkten in der Entwicklung oder kurz vor der Markteinführung	10
II.4. Forschung für neue Anwendungen	11
III. Fragen und Antworten zur Emission, Umwelt- und Human-Toxikologie von Nanomaterialien	13
III.1. Fragen zu Nanomaterialien	13
III.1.1. Fragen zur Humantoxikologie und zur Sicherheitsforschung von Nanomaterialien	13
III.1.2. Fragen zu umweltbezogenen Sicherheitsaspekten sowie zur Freisetzung von Nanoobjekten	13
III.2. Antworten: Projekte zur Risikoforschung von Nanomaterialien	15
III.2.1. Überblick über Projekte zur gesundheitsbezogenen Sicherheitsforschung von Nanomaterialien	16
III.2.1.1. Nationale Forschungsprojekte	16
III.2.1.2. Europäische Forschungsprojekte	25
III.2.1.3. Roadmap zur Humantoxikologie und zur Sicherheitsforschung von Nanomaterialien	36
III.2.2. Überblick über Projekte zur ökologiebezogenen Sicherheitsforschung von Nanomaterialien	40
III.2.2.1. Nationale Forschungsprojekte	40
III.2.2.2. Europäische Forschungsprojekte	44
III.2.2.3. Roadmap zu umweltbezogenen Sicherheitsaspekten sowie zur Freisetzung von Nanoobjekten	46
III.2.3. Überblick über die bekannten Studien zur Freisetzung von Nanoobjekten aus Kompositmaterialien und Konsumgütern	48
III.2.3.1. Nationale Forschungsprojekte	48
III.2.3.2. Europäische Forschungsprojekte	52
IV. Weiterführende Informationen	54



EXECUTIVE SUMMARY

Die Nanotechnologie und die daraus resultierenden Nanomaterialien können zukünftig ein entscheidender Schlüssel zur Lösung der anstehenden Herausforderungen unserer Gesellschaft in unterschiedlichen zentralen Bedürfnisfeldern, wie Energie, Umwelt, Klima, Ressourceneffizienz, Mobilität, Sicherheit, Information/Kommunikation, Gesundheit und auch Ernährung sein. Um diese Chancen der Technologie nachhaltig nutzen zu können, ist es erforderlich, die Sicherheit der Nanomaterialien in ihren Anwendungen entlang der jeweiligen Wertschöpfungsketten und Lebenszyklen zu gewährleisten.

Im vergangenen Jahrzehnt wurde bereits eine Vielzahl von Projekten zur Sicherheitsforschung initiiert und durchgeführt, die eine Reihe von wichtigen Resultaten an verschiedenen Nanomaterialien hervorbrachte. Als allgemeines Fazit der bislang unter realitätsnahen Bedingungen durchgeführten Projekte kann festgestellt werden, dass

- » eine **Risikobewertung** – wenn sie im Einzelfall erforderlich sein sollte – auf Basis geeignet modifizierter und angepasster validierter und international anerkannter OECD-Verfahren **möglich** ist. Hiermit wurde die Feststellung der OECD, dass die international anerkannten Methoden und Testrichtlinien der OECD grundsätzlich zur Testung von Nanomaterialien geeignet sind, bestätigt.
- » eine Größenbezeichnung **Nano** nicht unmittelbar auch „toxisch“ bedeutet, also **kein intrinsisches Gefährdungsmerkmal** darstellt.

Zum Nutzen der gesamten Gesellschaft sollte der kontinuierliche Transfer der Forschungsergebnisse aus den Labors in erfolgreiche Innovationen weitergeführt und durch eine begleitende Sicherheitsforschung unterstützt werden. Diese Sicherheitsforschung benötigt:

- » finanzielle Mittel, gepaart mit einer ausreichenden Zahl und Qualifikation an Forschern,
- » die Erforschung aufeinander abgestimmter Gebiete der Wechselwirkungen von Nanomaterialien mit Mensch und Umwelt, damit sich die Einzelergebnisse zu Struktur-Wirkungs-Beziehungen zusammenfügen lassen, die dann als Wegweiser für neue, sichere Nanomaterial-Entwicklungen dienen können,
- » die Einhaltung von Forschungsstandards (z. B. durch Standard Operation Procedures (SOP), also einheitliche Arbeitsweisen), um die Vergleichbarkeit von Ergebnissen zu ermöglichen,
- » die Publikation auch negativer Forschungsergebnisse, d. h. Studien, in denen keine Auswirkungen von Nanomaterialien gezeigt werden konnten, um das Gesamtbild nicht zu verzerren,
- » die thematische Betrachtung von Lebenszyklen, sobald entsprechende kommerzielle Anwendungen sich abzeichnen.

Diese wissenschaftlichen Untersuchungen und Ansätze sollten durch Informations- und Dialogmaßnahmen ergänzt werden, damit die Bürger die Chancen und Sicherheitsaspekte von Nanomaterialien verstehen und somit ihre Technologieakzeptanz erhöht wird.



I. Einleitung

Unsere globale Gesellschaft sieht sich heute einer Vielzahl von Herausforderungen gegenüber, für deren zukünftige Lösungen eine breite Palette von neuen technologischen Bausteinen benötigt wird. Die sichere und nachhaltige Nutzung der Nanotechnologie und insbesondere von Nanomaterialien kann dazu vielfältige und weitreichende Ansätze zum Vorteil für die Menschen und für die Umwelt bereitstellen. Sie kann damit ein entscheidender Schlüssel zur Lösung der anstehenden Herausforderungen unserer Gesellschaft in unterschiedlichen zentralen Bedürfnisfeldern werden:

- » Im Bereich Energie und Mobilität beispielsweise durch neue Materialien für eine effizientere Energie-Umwandlung auf Basis erneuerbarer Energiequellen sowie durch verbesserte, effizientere Energie-Speicherung und -Nutzung.
- » Für Klima, Umweltschutz und Ressourcen unter anderem durch effizientere Nutzung von Ressourcen durch spezifische Katalysatoren und Prozesse und damit z. B. durch Vermeidung von unerwünschten Nebenprodukten sowie auch für die Sanierung von Luft, Wasser und Boden mit Hilfe von Nanomaterialien.
- » Bei Erhalt und Wiederherstellung der Gesundheit beispielsweise durch verbesserte UV-Schutzsubstanzen und durch neue Behandlungsmethoden z. B. in der Krebstherapie sowie auch im Bereich Verpackungen, die in Entwicklungsländern zur erhöhten Haltbarkeit von Nahrungsmitteln beitragen können, die sonst auf dem Weg zum Konsumenten schnell verderben würden.
- » Für die erhöhte Sicherheit im Alltag können z. B. gegen Erdbeben sicherere Bauten sorgen, und effizientere Crashelemente können einen besseren Aufprallschutz für Insassen von Fahrzeugen und für Fußgänger im Straßenverkehr ermöglichen.
- » Im Bereich Kommunikation/Information sind bereits heute Mikrochips auf Basis nanoskaliger Schaltelemente nicht mehr wegzudenken; sie sind heute also längst „Nanochips“. Speichermedien und neue Informationsverarbeitungskonzepte werden diesen Trend sicher weiter fortsetzen.

Durch diesen breiten Querschnittscharakter werden die Nanotechnologie bzw. die Nanomaterialien die Voraussetzung für zahlreiche weitreichende Innovationen entlang der Wert-

schöpfungsketten in vielen Bereichen der deutschen, europäischen und weltweiten Wirtschaft schaffen.

Entsprechend wurden und werden daher international große Anstrengungen im Bereich Forschung und Entwicklung unternommen, um die potentiellen Chancen der Nanotechnologie in erfolgreiche Innovationen umzusetzen. Deutschland und Europa haben daher in den letzten Jahren massiv in Forschung und Entwicklung in der Nanotechnologie investiert. Inzwischen hat sich Deutschland als eines der weltweit führenden Forschungsländer in diesem Bereich etabliert. Basierend auf den hervorragenden Forschungsergebnissen gilt es nun hierzulande, diese in Produkten und Anwendungen in möglichst vielen der oben genannten Bedürfnisfelder erfolgreich zu implementieren. Diese Übertragung von Forschungsergebnissen in nachhaltige Innovationen beinhaltet insbesondere, dass für die Sicherheit dieser auf Nanotechnologie bzw. Nanomaterialien basierenden Produkte und Anwendungen entlang ihrer Lebenszyklen Sorge getragen werden muss. Aus diesem Grunde werden begleitend zur Produkt- und Anwendungs-Forschung bzw. -Entwicklung seit über einem Jahrzehnt verschiedene Aktivitäten zur Sicherheitsforschung für Nanomaterialien von Industrie und Hochschulen durchgeführt und insbesondere auch von öffentlicher Seite gefördert. Diese Projekte haben bereits eine Vielzahl von Resultaten hervorgebracht.

Insgesamt belegt Deutschland im europäischen wie auch im weltweiten Vergleich bei der Sicherheitsforschung an Nanomaterialien einen der vorderen Plätze. Dies verdanken wir unter anderem einem konstruktiven Dialog über die Chancen und Herausforderungen als auch den Sicherheitsaspekten der Nanotechnologie, der bereits frühzeitig von verschiedenen Gruppierungen in Gang gesetzt wurde. In diesen Dialog haben sich sowohl Interessensvertreter der Endanwender, z. B. Umwelt- und Verbraucherschützer, die Politik, Behörden, als auch Forscher an Hochschulen und Instituten und insbesondere eine sich ihrer Verantwortung bewusste chemische Industrie eingebracht. Die chemische Industrie als Hersteller von Nanomaterialien betrachtet im Rahmen ihrer „Product Stewardship“-Programme die Sicherheitsaspekte von Nanomaterialien und sieht die begleitende Sicherheitsforschung heute als einen integralen Bestandteil ihrer Innovationsstrategie an.

Seit nunmehr über drei Jahrzehnten werden Materialien erforscht, deren kleinste Einheiten im Bereich von nur wenigen Nanometern liegen. So wurden bereits in den 80er und

goer Jahren des vergangenen Jahrhunderts Forschungen zu Sicherheitsfragen von mikro- und nanoskaligen Materialien durchgeführt, damals noch unter den (teils nano-äquivalenten) Begriffen Kolloid und Ultrafeinstaub. Als ein Beispiel seien hier Arbeiten zu magnetischen Nanopartikeln von Peter Gehr zusammen mit Jo Brain an der Harvard Medical School genannt, die bereits Anfang der 80er Jahre in Nature publiziert wurden. Mit der Einführung und der schnellen und tiefgreifenden Weiterverbreitung des Begriffs Nanotechnologie wurden in den letzten zehn Jahren zunehmend auch direkt Sicherheitsfragen zu Nanomaterialien in Forschungsprojekten erforscht, um vorhandene Wissenslücken zu schließen.

Der DECHEMA/VCI-Arbeitskreis „Responsible Production and Use of Nanomaterials“ erarbeitete hierzu eine Liste und Priorisierung von anzugehenden Themen, in der die jeweils dazu bearbeiteten, laufenden und geplanten Aktivitäten und Projekte zusammengetragen und eingeordnet wurden.

Bei der Sicherheitsforschung für Nanomaterialien wurden und werden durch Akademia und Industrie allerdings oft unterschiedliche Aspekte adressiert:

Einerseits erforschen insbesondere Hochschulgruppen Grundlagenaspekte, wie beispielsweise prinzipielle Wirkungsmechanismen in der Wechselwirkung von Nanomaterialien und biologischen Systemen, und erarbeiten grundlegende Methoden zur Detektion und Charakterisierung.

Andererseits gewährleisten industrielle „Product Stewardship“-Programme die Sicherheit der Produkte in der Herstellung, Weiterverarbeitung und in den beabsichtigten Anwendungen entlang ihrer Lebenszyklen. Sie sind entsprechend primär auf die von den jeweiligen Unternehmen in den Verkehr gebrachten Produkte fokussiert.

Über die beiden obigen Aspekte hinaus können gemeinsame Konsortien aus Industrie und Akademia systematisch Grundlagenmechanismen an kommerziell relevanten bzw. an anwendungsnahen Systemen bearbeiten. Hieraus sollten sich zusammenhängende Struktur-Wirkungsbeziehungen ergeben, die zukünftige Produktentwicklungen der Industrie unterstützend beeinflussen können.

Zur Gewährleistung der Sicherheit von auf „Nano“ basierenden Produkten sind prinzipiell Risikobewertungen dieser in ihren jeweilig beabsichtigten Anwendungen und bezogen auf ihre Lebenszyklen entlang von Wertschöpfungsketten erforderlich. Diese können nach Meinung der entsprechenden Experten der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) und des Wissenschaftlichen Ausschusses „Neu auftretende und neu identifizierte Gesundheitsrisiken“ (SCENIHR) der Europäischen Kommission

prinzipiell mit geeignet angepassten, validierten und international anerkannten (z. B. OECD-) Methoden erfolgen. Daraus können dann angemessene Maßnahmen (z. B. Arbeitsplatzgrenzwerte) abgeleitet werden, die eine sichere Produktion, Weiterverarbeitung, Nutzung und auch Wiederverwertung in der jeweiligen Wertschöpfungskette ermöglichen.

In eine solche Risikobetrachtung gehen folgende verschiedene Faktoren und Überlegungen ein: Zum Einen ist zu untersuchen, ob und ggf. in welcher Menge in einer beabsichtigten Anwendung überhaupt eine Freisetzung, d. h. Emission von Nanomaterialien bzw. -objekten erfolgen kann. Es ist zudem zu klären, ob die und ggf. in welcher Höhe eventuell emittierten Nanomaterialien bzw. -objekte in eine Interaktion mit den umgebenden biologischen Systemen treten können, d. h. ob eine Exposition in der jeweiligen Anwendung überhaupt erfolgt.

Zum Anderen werden die Wechselwirkungen des zu bewertenden Nanomaterials bzw. deren Auswirkung auf biologische Systeme, also auf Mensch und Umwelt, unter definierten Bedingungen, z. B. bei verschiedenen Expositionswegen (oral, dermal, inhalativ, etc.) und bei unterschiedlichen Dosierungen, d. h. Expositionshöhen, untersucht und eingeordnet. Einerseits werden also die möglichen Expositionsszenarien in einer Anwendung des Nanomaterials bzw. -objekts und deren biologische Wirkung jeweils einzeln betrachtet. Für eine Risikobewertung eines Materials in einer Anwendung müssen andererseits beide Faktoren miteinander verknüpft werden, um eine generelle Risikoaussage treffen zu können. Dies bedeutet, dass beispielsweise eine fehlende relevante Exposition in einer Anwendung bzw. das Fehlen einer negativen biologischen Wechselwirkung bei einer zu erwartenden entsprechenden Exposition auf ein nicht vorhandenes Risiko in dieser Anwendung hinweisen.

Für relevante Studien zu Sicherheitsbetrachtungen bedeutet dies also, dass die biologische Wirkung (Faktor 1) systematisch unter definierten Versuchsbedingungen (definierte Versuchsaufbauten und Vergleichssysteme, charakterisierte Materialien, definierte Expositionswege und Expositionshöhen) untersucht werden muss. Zudem müssen realistische Szenarien für die jeweilige Anwendung und dazugehörige realistische Expositionshöhen (Faktor 2) und Expositionswege erarbeitet werden.

Die Kombination der aufeinander abgestimmten Untersuchungen beider Faktoren ermöglicht dann eine zuverlässige Risikobewertung, aus der auch angemessene Maßnahmen zur Minimierung der Risiken dieser Anwendung im Lebenszyklus resultieren.

Eine Reihe solcher Studien, die Daten zu Sicherheitsaspekten von Nanomaterialien liefern bzw. geliefert haben, wurde be-

reits durchgeführt bzw. ist zurzeit in Bearbeitung. Exemplarisch seien hier einige Projekte, wie z. B. das vom BMBF geförderte NanoCare-Projekt genannt, in dem praxisrelevante Nanomaterialien unter realistischen und reproduzierbaren Testbedingungen untersucht wurden, woraus konkrete systematische Daten resultierten. Das von der Europäischen Kommission geförderte Nanoderm-Vorhaben gehört in diesem Zusammenhang ebenfalls sicher zu den meist zitierten Projekten, in dem gezeigt werden konnte, dass Nano-TiO₂ die unverletzte Haut nicht durchdringt. Zudem starteten im Rahmen der Innovationsallianz Carbon Nanotubes (Inno.CNT) die Projekte CarboSafe (seit 2008) und CarboLifeCycle (seit 2010). Hier werden beispielsweise Umweltaspekte sowie Emissions- bzw. Expositionsszenarien von Kohlenstoffnanoröhrchen (CNTs) untersucht. Erst kürzlich starteten die Projekte der BMBF-Ausschreibungen NanoCare und NanoNature, die sich mit Fragen der Humantoxizität und Wechselwirkungen von Nanopartikeln mit der Umwelt beschäftigen. Darüber hinaus sind auf der europäischen Ebene zahlreiche Projekte und Aktivitäten im Rahmen des 6. (bereits abgeschlossenen) und 7. EU-Forschungsrahmenprogramms angelaufen bzw. neu ausgeschrieben.

Die Resultate der industriellen Sicherheitsforschung werden insbesondere als Grundlage für die Registrierungen im Rahmen von REACH bei der Europäischen Chemikalienagentur ECHA dienen.

Auch wenn die aktuelle Datenlage zur Umwelt- und Human-toxizität von zahlreichen Nanomaterialien sich bereits zufriedenstellend entwickelt hat, wird sie in weiteren Anstrengungen gemeinsam mit Forschern aus Akademia und Industrie weiter ausgebaut.

Neben der Forschungsarbeit stellt der Dialogaspekt unter den Stakeholdern zu Nutzen und Herausforderungen der Nanotechnologie eine Besonderheit in Deutschland dar, die unter anderem durch die fachlich übergreifende Arbeit der inter-

national einmaligen NanoKommission der Bundesregierung im Rahmen des NanoDialogs hervorzuheben ist. Der offene Dialog über die neuen Technologien und neuen Materialien und die damit verbundene direkte Rückkopplung der jeweiligen Anforderungen und Erwartungen zwischen den verschiedenen Interessengruppen vermittelt ein gegenseitig tieferes Verständnis für die unterschiedlichen Bedürfnisse. Hierdurch können die verschiedenen Aspekte – Chancen wie Herausforderungen – der Nanotechnologie heute bereits realistischer eingeschätzt werden.

Neben dem Dialog der Stakeholder ist für die Transparenz der Nano-Sicherheitsforschung die öffentliche und verständliche Bereitstellung relevanter Informationen von großer Bedeutung. Dieser Aspekt wurde durch eine Internetplattform im Rahmen des NanoCare-Projektes begonnen und wird nun mit Unterstützung des BMBF im Projekt „DaNa“ intensiv fortgesetzt. Das Projekt DaNa fasst vorhandenes Wissen und aktuelle Ergebnisse aus der Sicherheitsforschung zu Nanomaterialien auf der Internetseite „www.nanopartikel.info“ zusammen und versucht, den interessierten Bürger mit objektiven, verständlichen Informationen zum Thema zu versorgen bzw. ihn in eine sachliche Diskussion einzubinden.

Dieses vorliegende Papier bietet eine Zusammenstellung der bereits geleisteten Arbeiten und erzielten Ergebnisse in der Sicherheitsforschung für Nanomaterialien einerseits sowie der laufenden Aktivitäten und zu erwartenden Resultate andererseits. Dabei liegt der Fokus der Betrachtung auf Deutschland mit einem Ausblick auf Arbeiten und Ergebnisse auf europäischer Ebene. Darüber hinaus kann eine notwendige Diskussion über weitere Themen und Prioritäten auf diesem Gebiet nur basierend auf solchen Bestandsaufnahmen (wie sie auch für EU-Projekte durch den „NanoSafety-Cluster“ in ähnlicher Weise erstellt wurde) sinnvoll geführt werden. Insofern soll diese vorliegende Zusammenstellung die sachliche Diskussion zum weiteren Vorgehen bei der Sicherheitsforschung von Nanomaterialien effektiv unterstützen.

II. Nanotechnologie – Chancen einer neuen Technologie

II.1. Einführung

Unter der Bezeichnung „Nanotechnologie“ wird eine Vielzahl von verschiedensten Innovationen und Entwicklungen zusammengefasst. Gemeinsames Merkmal dieser Technologien sind die verhältnismäßig kleinen Abmessungen der erzeugten mechanischen oder elektronischen Bauteile sowie von Objekten verschiedenster chemischer Elemente und Verbindungen.

Als „nanoskalig“ versteht man im Kontext der Nanotechnologie einen Größenbereich zwischen etwa 1 und 100 Nanometern (nm) (DIN ISO-Norm 27687). „Nanoobjekte“ haben Teilchengrößen bzw. Strukturen im nanoskaligen Bereich. „Nanopartikel“ sind in allen drei Dimensionen nanoskalig, „Nanoplättchen“ in einer Dimension und „Nanofasern“ in zwei Dimensionen. Nanomaterialien im Sinne dieses Papiers sind feinteilige oder fein strukturierte chemische Stoffe mit besonderen technischen Eigenschaften. Die Dimensionen der Teilchen oder Strukturen liegen typischerweise zwischen 1 und 100 Nanometern.

Die chemische Industrie stellt schon seit Jahrzehnten viele Produkte unter Verwendung von Teilchen oder Strukturen her, die Abmessungen von etwa 1 bis 100 nm haben. Sie liegen z. B. als unregelmäßige Partikel, Kugeln, Plättchen, Fasern, Röhren oder Schichten vor. Optische, elektrische und magnetische Eigenschaften, aber auch Härte, Zähigkeit und Schmelzverhalten von Nanomaterialien unterscheiden sich teilweise deutlich von herkömmlichen Materialien. Ihr Einsatz eröffnet die Möglichkeit, völlig neuartige Werkstoffe zu schaffen, die speziell auf die jeweiligen Einsatzbedürfnisse zugeschnitten sind. Keramiken, Metalle oder Kunststoffe, die Nanoobjekte enthalten oder mit ihnen beschichtet wurden, sind beispielsweise kratzfest, entspiegelt bzw. wasser-, fett- und schmutzabweisend. Auch Oberflächen, die Bakterien abtöten oder chemische Reaktionen katalysieren, werden durch Nanomaterialien ermöglicht.

Nanoobjekte werden beispielsweise in einer sehr heißen Gasflamme oder in wässriger Phase hergestellt. In den Herstellungsprozessen entstehen üblicherweise zunächst „primäre“ Nanoobjekte. Diese sind normalerweise sehr reaktiv und reagieren in wenigen tausendstel Sekunden mit anderen primären Nanoobjekten zu (sekundären) Aggregaten. Die Bestandteile der Aggregate sind chemisch verbunden und

trennen sich – auch bei der späteren Verwendung des Produktes – nur sehr schwer oder gar nicht mehr. Die Aggregate lagern sich ihrerseits mit anderen Aggregaten zu (tertiären) Agglomeraten zusammen; auch Agglomerate aus primären Nanoobjekten sind möglich. Agglomerate lassen sich durch geeignete Maßnahmen wieder aufbrechen.

Da ein Aggregat durch seinen Zusammenschluss aus primären Nanoobjekten Strukturen im nanoskaligen Bereich aufweist, bleiben häufig deren „Nano-Eigenschaften“ erhalten. Neue technische Eigenschaften durch nanoskalige Strukturen und eine Teilchengröße von Aggregaten oberhalb von hundert Nanometern sind somit kein Widerspruch.

In Endanwender-Produkten kommen freie Nanoobjekte meist nicht vor – es sei denn, sie werden für spezielle Anwendungen (z. B. in der Medizin), normalerweise mit erheblichem Aufwand, entsprechend hergestellt. Die in den folgenden Kapiteln beispielhaft aufgeführten Nanomaterialien enthalten in der Regel größere nanostrukturierte Teilchen, es handelt sich nicht um singuläre Nanoobjekte.

Wie bei allen Produkten müssen auch bei Nanoobjekten und Nanomaterialien die individuellen human- und öko-toxikologischen Eigenschaften untersucht werden, wenn eine Exposition (d. h. eine Freisetzung in die Umwelt oder der Kontakt mit dem Menschen) nicht ausgeschlossen werden kann. Hierbei spielt die Verwendung der Nanomaterialien natürlich eine wesentliche Rolle. Generelle Aussagen zu Risiken von Nanomaterialien sind aufgrund der unterschiedlichen Materialeigenschaften und Anwendungsbedingungen nicht möglich. Wie bei allen Chemikalien ist auch bei Nanomaterialien das Risiko einzelfallbezogen zu bewerten.

II.2. Nanomaterialien in bereits markteingeführten Produkten

Die Nanotechnologie hat Querschnittscharakter und ermöglicht völlig neue Produkte und Anwendungen in den verschiedensten Branchen. Einige nanotechnologiebasierte Produkte sind bereits weit entwickelt beziehungsweise sogar schon seit vielen Jahren am Markt etabliert.

Seit über hundert Jahren wird **Industrieruß (Carbon Black)** bei der Herstellung von Autoreifen verwendet. Die Rußteil-

chen setzen sich in das polymere Netzwerk aus Gummi-Molekülen. So wird der Reifen mechanisch verstärkt und der Verschleiß verringert.

Synthetische amorphe Kieselsäuren (amorphes Siliziumdioxid) werden seit Jahrzehnten in den verschiedensten Bereichen eingesetzt. Bei den amorphen Kieselsäuren werden schon im Herstellungsprozess aus den primär erzeugten Nanopartikeln recht stabile amorphe Strukturen im Mikrometerbereich aufgebaut. Amorphe Kieselsäuren dienen als Verstärkungsmittel in Silikonkautschuk, als Gelbildner in Kosmetika sowie als Fließ- bzw. Rieselfverbesserer bei der Tablettenherstellung. In Lacken und in Kleb- und Dichtstoffen sorgen sie für die richtige Viskosität. Sie sind Hauptbestandteil bei der Herstellung leistungsfähiger Hochtemperatur-Isolationsmaterialien und dienen in der Mikrochipindustrie als ultrafeines Poliermittel. In Reinigungsmitteln wird amorphes Siliziumdioxid als Verdicker und als Hilfsmittel zur Veränderung von Oberflächeneigenschaften eingesetzt. Wassertröpfchen benetzen die mit diesen Reinigungsmitteln behandelten Fensterscheiben sofort und fließen augenblicklich zusammen; die Scheibe beschlägt deshalb auch nicht. Der Vorteil für den Verbraucher ist ein geringerer Reinigungsaufwand aufgrund der besseren bzw. gleichmäßigeren Benetzungseigenschaften.

Mit Hilfe eines Sols, in dem 20 – 50 nm große **Siliziumdioxid**-Kügelchen enthalten sind, wird antireflexbeschichtetes Einscheibensicherheitsglas für den Schutz von Sonnenkollektoren und Photovoltaikanlagen hergestellt. Dank einer dünnen Schicht aus Siliziumdioxid kann nahezu das gesamte energetisch nutzbare Spektrum des Sonnenlichts die Abdeckscheibe durchdringen. Die Reflexion wird von acht auf zwei Prozent reduziert und so die Energieausbeute von Solaranlagen deutlich erhöht.

Seit längerem ist ein speziell beschichtetes Papier für Tintenstrahldrucker auf dem Markt. Eine poröse Schicht aus **Siliziumdioxid-Nanomaterial** adsorbiert die fein versprühte Tinte sofort und erlaubt damit eine hohe Druckgeschwindigkeit.

Viele Sonnencremes enthalten **Titandioxid-** oder **Zinkoxid-Nanopartikel**. Die Creme bleibt auf der Haut transparent, denn die vor der UV-Strahlung schützenden Oxid-Partikel sind so klein, dass sie für das langwelligere sichtbare Licht durchlässig sind. Die schädlichen UV-Strahlen mit einer kürzeren Wellenlänge werden zuverlässig blockiert.

Auch in neuartigen Polyamidfasern blockieren **Titandioxid-Nanoobjekte** die schädlichen UV-Strahlen. Es kann so ein Lichtschutzfaktor von bis zu 80 realisiert werden.

Kunststoffbrillengläser werden dank einer Oberflächenveredelung mit **Zirkondioxid-** und **Titandioxid-Nanoobjekten**, die mit **Siliziumdioxid** ummantelt sind, kratzfester.

In der Glasur neuartiger keramischer Wand- und Bodenfliesen ist nanoskaliges **Titandioxid** verteilt. Dieses ist photokatalytisch aktiv und bildet bei Lichteinfall mit anhaftenden Substanzen wie Sauerstoff, Wasser oder organischen Substanzen reaktive Radikale, die unerwünschte Stoffe zersetzen können, z. B. in toxikologisch unbedenkliche Substanzen. Bei der Anregung durch UV-Strahlung, z. B. Sonnenlicht, lassen sich durch Oxidation mit Hilfe von nanoskaligem Titandioxid in Fassadenfarben oder Betonoberflächen Luftschadstoffe, wie Stickoxide, vermindern. Wird für die Anregung sichtbares Licht (es reicht z. B. die Innenraumbeleuchtung) verwendet, können entsprechend ausgerüstete Innenwandfarben flüchtige organische Verbindungen (z. B. Gerüche) beseitigen. Auch andere Selbstreinigungseffekte sind mit Hilfe der Photokatalyse möglich: Die gebildeten Radikale können Bakterien, Pilze, Algen und Moose zerstören und die Entstehung neuer Erreger verhindern.

Schmutzabweisende Sanitärkeramiken werden auch durch Zusatz von nanoskaligem **Aluminiumoxid** bzw. **Siliziumdioxid** in die Glasur hergestellt.

Ein neu entwickelter Lack enthält mit **Silber** beschichtetes Nano-**Titandioxid**, um Bakterien und Pilze abtöten zu können. Der für das sichtbare Licht durchlässige Lack kann auf Metall, Kunststoff oder Glas aufgebracht werden.

Silber-Nanopartikel werden in medizinischen Gegenständen als antibakterielle Komponente und für Selbstreinigungseffekte eingesetzt.

Sensoren spielen in der Arbeitssicherheit, im Umweltschutz und bei chemischen Prozessen eine wichtige Rolle. **Zinnoxid-, Indiumoxid-** und **Wolframoxid-Nanomaterialien** ändern ihre elektrische Leitfähigkeit in Gegenwart von bestimmten Gasen und eignen sich dadurch hervorragend als Sensor material zum Aufspüren von Gasen oder höhermolekularen Kohlenwasserstoffen. Die Empfindlichkeit solcher Sensoren hängt stark von der Struktur ihrer Oberfläche ab, die von der Feinkörnigkeit der verwendeten Oxide beeinflusst wird.

Ferrofluide (Dispersionen mit nanoskaligem **Eisenoxid** oder **anderen magnetischen Materialien**) werden z. B. in schnell rotierenden Computerfestplatten als flüssige Dichtungen eingesetzt.

Beschichtetes nanoskaliges **Eisenoxid** wird in der Kernspintomografie als bildgebendes medizinisches Kontrastmittel benutzt.

Für die industrielle Hydrierung werden nanoskalige **Palladium/Platin-Katalysatoren** eingesetzt, die auf einem Trägermaterial aufgebracht sind und eine sehr hohe aktive Oberfläche besitzen.

Katalytische Reaktionsschritte werden in der chemischen Industrie breit angewandt. Mit Hilfe nanoskaliger Katalysatoren wird der Verbrauch von Rohstoffen signifikant reduziert und Nebenreaktionen und Energieverbrauch werden minimiert.

Ein bemerkenswertes Beispiel ist der **Autoabgaskatalysator**, mit dem Kohlenwasserstoff-, NO_x - und Kohlenmonoxid-Emissionen um 90% reduziert werden. Sowohl in mobilen als auch in stationären Anwendungen führen Katalysatoren aus Nanomaterialien zu saubereren Verbrennungsvorgängen und folglich zu einer Verringerung der Emissionen.

Polymerdispersionen, die Polymerteilchen in der Größenordnung von 10 nm bis einigen 100 nm enthalten, finden z. B. als Bindemittel für Fliesenkleber und Anstrichfarben sowie zur Veredelung von Papier, Textilien und Leder Anwendung.

Nanoröhrchen aus Kohlenstoff (Carbon Nanotubes, CNT) zeichnen sich durch hervorragende Werkstoffeigenschaften aus, die für die Steigerung der elektrischen Leitfähigkeit (Nanodraht) und die mechanische Verstärkung von Kunststoffen ideal sind. Erste Produkte für den Freizeitbereich sind bereits auf dem Markt, z. B. Eishockey-Schläger, Tennisschläger und Golfschläger aus CNT-verstärkten Kunststoffen. Auch in Flugeln von Windkraftwerken finden CNT Einsatz: Dank geringem Gewicht und höherer mechanischer Belastbarkeit kann die Spannweite der Flügel erhöht und so die Windenergie effizienter in elektrischen Strom umgewandelt werden.

Polymere Nanofasern finden seit Jahren verstärkten Einsatz in der Filtertechnik, beispielsweise in der effizienten Luftfiltration im Automobilbereich. Des Weiteren kommen derzeit Hightech-Textilien auf den Markt, die durch elektrogewebene Nanofasern eine stark verbesserte Atmungsfähigkeit aufweisen bei gleichzeitig anhaltendem Schutz vor Regen und Wind.

II.3. Nanomaterialien in Produkten in der Entwicklung oder kurz vor der Markteinführung

Mit Hilfe eines neu entwickelten hydrophoben – also wasserabstoßenden – nanoskaligen **Siliziumdioxids**, das in einem organischen Lösungsmittel dispergierbar ist, können auf verschiedenen Werkstoffen mikro- und nanoskalige Schichten aufgebracht werden, die der Oberfläche selbstreinigende Eigenschaften verleihen. Beispielsweise können Fässer, Becher, Pipetten und Schüsseln innen so beschichtet werden,

dass diese rückstandslos entleert werden. Eine Beschichtung mit dieser neuen Siliziumdioxid-Formulierung liefert auch bei vielen Gewebearten selbstreinigende Textilien, die zudem wasserabweisend sind. Die Atmungsaktivität bleibt dennoch erhalten.

Nanoskalige **Tonerden** („Nano-Bentonite“) können als Füllstoffe für Polymere zur Herstellung sogenannter „Nanocomposit-Polymere“ verwendet werden. Ein Zusatz von bis zu 5% nanoskaliger Tonerde kann die Steifigkeit von Polyolefinen deutlich verbessern. Außerdem wird das Schrumpfverhalten verringert und die Thermostabilität zusammen mit der Chemikalienresistenz erhöht. Zudem sind die mit Tonerde verstärkten Polymere im Vergleich zu mit Glasfasern verstärkten Polymeren leichter. Tonerde enthaltende Nanocomposit-Polymere lassen sich schwerer entflammen als unmodifizierte und tropfen beim Brennen weniger – sie reduzieren so die Gefahr schwerer Brandwunden. Auch technische Kunststoffe wie Polyamid lassen sich mit nanoskaligen Tonerden qualitativ verbessern. Wie bei den Polyolefinen verbessern sich Schrumpfverhalten, Thermostabilität und Chemikalienresistenz; zudem können dünnwandigere Teile hergestellt werden. Anwendungen sind Stoßstangen, Innenverkleidungen von Autos, Chemikalienbehälter, aber auch Textilien.

Polymer-Composite mit nanoskaliger **Tonerde** werden auch zur Herstellung neuartiger Folien genutzt. Je nach Zusammensetzung und Matrix können die Tonerden als Barrierestoffe für Wasser, Sauerstoff oder Kohlendioxid eingesetzt werden (Anwendung z. B. in PET- und Polypropylen-Flaschen bzw. generell bei Materialien im Verpackungsbereich).

Ein neuer Klebstoff soll ermöglichen, dass sich eine Klebeverbindung „per Knopfdruck“ ausbilden und wieder lösen lässt. Im Kleber schwimmen dabei reine und dotierte **Eisenoxid-Nanoobjekte**. Mit Hilfe eines Magnetwechselfeldes erhitzen die winzigen Nanoobjekte den Klebstoff, der dabei aushärtet. Ein stärkeres Feld und höhere Temperaturen können die Stoffe später wieder trennen.

In der Medizin wird viel mit magnetischen **Eisenoxid-Nanoobjekten** geforscht: Mit Wirkstoffen beladen sollen die Nanoobjekte im Körper durch ein Magnetfeld gezielt in ein Organ gesteuert werden und dort ihre Fracht abladen. Diese Arbeiten befinden sich noch im Bereich der klinischen Forschung. Eine etwas einfachere Variante, in der magnetische Eisenpartikel in Tumore gespritzt und mittels magnetischer Wechselfelder erhitzt werden, damit der Tumor durch die entstehende Wärme zerstört wird, befindet sich derzeit in der klinischen Prüfung.

Nanoskaliges **Aluminiumoxid** wird als Zusatzstoff in Lacke eingearbeitet, wodurch Möbel und Parkett- bzw. PVC-Böden

kratzfester werden sollen. Diese Lacke werden zurzeit auf ihre Marktchancen getestet.

„Nanophosphore“ sind fluoreszierende Teilchen mit einer Teilchengröße unter 10 nm, die beispielsweise aus **Metall-Silikaten, -Oxiden, -Sulfaten** oder **-Phosphaten** bestehen, in deren Kristallgitter z. B. einzelne **Lanthanoid-Ionen** eingebaut sind. Die Wellenlänge ihres Emissionslichts hängt von der Art der verwendeten Lanthanoid-Ionen ab. Nanophosphore sollen Untersuchungen von Blut-, Speichel-, Urin- und Haarproben in Zukunft noch schneller und sicherer machen.

Nanoröhrchen aus Kohlenstoff (Carbon Nanotubes, CNT) und **Nanofasern aus Kohlenstoff** können die physikalischen Eigenschaften von Kunststoffen verändern und damit neue Anwendungen ermöglichen. So sind nach gewissen Synthesemethoden hergestellte Carbon Nanotubes gute thermische Leiter. Sie können aber auch so hergestellt werden, dass sie entweder elektrische Leiter- oder aber Halbleitereigenschaften sowie eine äußerst hohe mechanische Festigkeit aufweisen. Anwendungen leitender Nanotubes und Nanofasern sind z. B. antistatisch ausgerüstete Polymere.

Carbon Nanotubes (CNT) können außerdem die physikalischen Eigenschaften von Metallen (z. B. Aluminium) positiv beeinflussen. Neuartige CNT-Aluminium-Komposite besitzen fast die Festigkeit von Stahl, sind aber nur halb so schwer. Dadurch haben sie überall dort Einsatzchancen, wo Gewicht und Energieverbrauch durch Leichtbau gesenkt werden sollen – beispielsweise in der Auto- und Flugzeugindustrie.

II.4. Forschung für neue Anwendungen

Die Nanotechnologie weist noch ein großes Potential auf für neue und besondere Funktionalitäten in den verschiedensten Bereichen:

- » Elektronik und Optik
- » Gesundheit
- » Energie
- » Bauwesen
- » Umwelt

Im Folgenden sind exemplarisch einige Forschungsfelder mit hohem Anwendungspotential skizziert. Die Auswahl umfasst Partikel-Systeme, Schichten sowie poröse Systeme mit einer Dimensionierung im Nanometerbereich.

Elektronik und Optik

Preiswerte **elektronische Bauelemente und Sensoren**, die aus nanostrukturierten Materialien aufgebaut werden, haben ausgezeichnete Marktchancen. Hier sind Forschungsarbeiten

hinsichtlich der Zusammensetzung und Formulierung der Materialien sowie der Entwicklung unkonventioneller neuer Produktionstechniken, z. B. dem Ink-Jet-Verfahren, notwendig.

Langfristig wird am Einsatz von Carbon Nanotubes in einer neuen Generation von **Computerchips** gearbeitet. Die Nanotubes sollen – auf einen geeigneten Kunststoffträger aufgebracht – als Leiterbahnen und Transistoren agieren. So sollen Chips mit einer um den Faktor eine Million höheren Speicherdichte als durch die herkömmliche Silizium-Technologie realisiert werden.

Forschungsbedarf besteht weiterhin bei der Herstellung **transparenter elektrisch leitfähiger Beschichtungen**, z. B. für Flachbildschirme, die über eine geeignete Oberflächenstrukturierung im Nanometerbereich bzw. über das Aufbringen von funktionalisierten Nanoobjekten erzeugt werden können.

In der **Polymerelektronik** werden derzeit OLEDs (Organic Light Emitting Diodes) mit Schichtdicken im Nanometerbereich für Anwendungen in Farbdisplays getestet. Forschungsbedarf besteht hier insbesondere bei der Lebensdauer der OLEDs, die bislang für den Alltagseinsatz zu gering ist.

Gesundheit

Wirkstoffträger aus nanoskaligen Materialien können für die Behandlung bislang nicht oder nur schwer therapierbarer Krankheiten, z. B. Krebs, Demenzerkrankungen oder Diabetes, wesentliche Fortschritte bringen. In den meisten Fällen werden dabei Nanoobjekte als Transportvehikel für Wirkstoffe eingesetzt. Dadurch kann der Wirkstoff gegen vorzeitige Zersetzung geschützt oder besser vom Körper aufgenommen werden. Auch schwer lösliche Wirkstoffe könnten so effektiver transportiert werden. Vielfältige Möglichkeiten bieten dabei unterschiedliche chemische Veränderungen der Oberfläche der nanopartikulären Wirkstoffträger. Durch Einführen spezieller biologischer Funktionalitäten kann eine gerichtete Wirkstofffreisetzung am Zielort erreicht und damit die Wirksamkeit des Medikaments erhöht und die Nebenwirkungen verringert werden. Auch können nanopartikuläre Transportsysteme eine Möglichkeit sein, körpereigene Barrieren, wie beispielsweise die Blut-Hirn-Schranke, zu überwinden und so Medikamente direkt ins Gehirn zu transportieren. Nanopartikuläre Wirkstoffträger können zudem mit Markierungen versehen werden, die es möglich machen, die Verfügbarkeit der Wirkstoffe am Zielort zu überprüfen.

Weiterhin ist die Beschichtung von **Implantationsmaterial** mit biokompatiblen oder leicht zu reinigenden Oberflächen mit bioziden oder anti-adhäsiven Eigenschaften von Interesse.

Energie

Forschungsbedarf besteht bei der Synthese und Formulierung von Nanoobjekten für **Super-Kondensatoren** (Super-Caps) für die kurzfristige Energiespeicherung, z. B. in Verbindung mit Solarzellen. Diese Super-Kondensatoren ließen sich auch zur kurzzeitigen Speicherung großer Energiemengen, z. B. im Automobilbereich für die Speicherung der Bewegungsenergie, einsetzen.

Ebenso werden durch Verwendung von Nanomaterialien verbesserte **Akkumulatoren als Energiespeicher** (beispielsweise neue Lithium-Ionen-Batterien) und leistungsfähigere **Katalysatoren für Brennstoffzellen** erwartet.

Zur **Speicherung von Wasserstoff** für Brennstoffzellen werden metallorganische Nanostrukturen, sog. MOFs (metal organic framework) untersucht. Mit nanoporösen Netzwerken, die aus solchen Strukturen aufgebaut sind, können heute bis über 10 Gew.-% Wasserstoff gespeichert werden¹, allerdings bei tiefen Temperaturen und hohen Drücken. Ziel ist es, mindestens 6,5 Gew.-% Speicherdichte auch bei Raumtemperatur zu erreichen, dann beginnen sie, für eine Anwendung z. B. im Wasserstoff-Brennstoffzellen-Auto interessant zu werden.

Bauwesen

Das Verständnis nanoporöser Systeme ist für neue und entscheidend verbesserte Anwendungen in der Isolationstechnik von großem Interesse. So könnten Materialien mit Poren im Nanometerbereich für eine verbesserte **Isolationswirkung** bei **Dämmmaterialien** im Gebäudebau, aber auch im Flugzeug- und Fahrzeugbau, führen.

Nanometerdicke Schichten sind für den **Oberflächenschutz** und die Funktionalisierung von Oberflächen nutzbar. Die „Lotosoberfläche“, also die selbstreinigende Oberfläche von Wänden oder Dachziegeln, ist ein Beispiel für den erfolgreichen Transfer nanotechnologischer Forschung in die Praxis (obwohl die Lotosoberfläche eigentlich aus mikro- und nanometer-strukturierten Anteilen besteht). Beim Einsatz entsprechender Wandfarben im Gebäudeschutz zeigt sich aber, dass die Technik noch weiterentwickelt werden muss (höhere Härte der Oberflächenschicht, keine Schmutzstreifenbildung bei Regen). Speziell im Hinblick auf die Kombination physikalischer und chemischer Nanotechnologie (Oberflächenstrukturierung bzw. Hydrophilisierung/Hydrophobierung) besteht noch großes Verbesserungspotential.

Umwelt

Nanotechnologie und die Verwendung von Nanomaterialien weisen das Potential auf, die Umweltauswirkungen von technischen Prozessen und Produkten signifikant zu reduzieren. Darüber hinaus könnte der Gebrauch von Nanomaterialien zu Innovationen in anderen Sektoren, wie z. B. im Gesundheits-, Medizin-, Automobil-, Luftfahrt- und Energie-Sektor, führen. Einige Beispiele für positive Umwelteffekte sind unten aufgeführt. Darüber hinaus gibt es in der Literatur viele weitere erfolgversprechende Gebiete für produzierte Nanoobjekte.^{2, 3, 4}

Werkstoffe, die mit **Kohlenstoffnanoröhren** verstärkt und dadurch zugleich stabiler als auch leichter als herkömmliche Materialien sind, können dazu beitragen, Energie einzusparen. Diese Gewichtsreduktion kann in **Flugzeugen** zu verringertem Treibstoffverbrauch führen, die erhöhte Stabilität bei **Windkraftträgern** zu größeren und damit mehr Energie liefernden Rotorblättern.⁵

Auch die Effizienz regenerativer Energiequellen wie **Solarzellen** kann durch den Einsatz von Nanomaterialien optimiert werden. Nanomaterialien verbessern effiziente und kostengünstige Methoden zur Energieumwandlung und -speicherung (d. h. **Brennstoffzellen** und **Lithium-Ionen-Batterien**) und führen so zu Autos mit niedrigen Emissionswerten und geringem Spritverbrauch. In Autos mit konventionellem (Diesel-)Motor können selektive **Katalysatoren** dazu beitragen, die **Emission** von Partikeln und gasförmigen Schadstoffen zu vermindern.⁶

Die **Wasseraufreinigung** kann durch nanoskalige bzw. nanostrukturierte Materialien effizienter gestaltet werden. Zur Reinigung von Wasser laufen Untersuchungen, die photokatalytische Wirkung von nanostrukturiertem Titandioxid dazu zu nutzen, Schadstoffe in toxikologisch unbedenkliche Substanzen umzuwandeln. Auch Eisen und andere Metalle sowie Diamant können in nanoskaliger Form zur Wasseraufreinigung – teils direkt im Grundwasser – verwendet werden. Im Mai 2010 starteten hierzu die vom BMBF geförderten Projekte NAPASAN⁷, Fe-NANOSIT⁸ und NADINE⁹ aus der Nano-Nature-Förderung.

Membranen und hochsensitive **Sensoren** machen eine frühe Erkennung von Verunreinigungen möglich, bevor ein Schaden auftreten kann. Zusätzlich können Nanomaterialien (öko-)toxische Substanzen ersetzen (d. h. Flammschutzmittel oder toxische Korrosionsinhibitoren).

1 <http://www.rsc.org/ej/CS/2009/b8o2256a.pdf>

2 „Nanotechnologien in der Schweiz: Herausforderungen erkannt“, Bericht zum Dialogverfahren publicus „Nanotechnologien und ihre Bedeutung für Gesundheit und Umwelt“, Zentrum für Technikfolgenabschätzung, TA-P 8/2006 d, Bern, 2006, ISBN-Nr. 3-908174-25-2

3 NanoRoad SME: <http://www.nanoroad.net>

4 Nachhaltigkeitseffekte durch Herstellung und Anwendung nanotechnologischer Produkte, Schriftenreihe des IÖW 177/04, Berlin

5 Vgl. <http://www.nanopartikel.info/cms/Projekte/Inno.CNT/CarboAir>

6 Vgl. <http://www.nanopartikel.info/cms/Projekte/nano-scr>

7 Vgl. <http://www.nanopartikel.info/cms/Projekte/NAPASAN>

8 Vgl. <http://www.nanopartikel.info/cms/Projekte/Fe-NANOSIT>

9 Vgl. <http://www.nanopartikel.info/cms/Projekte/nadine>

III. Fragen und Antworten zur Emission, Umwelt- und Human-Toxikologie von Nanomaterialien

Die große Zahl an möglichen, teils auch schon realisierten Anwendungen der Nanotechnologie macht deutlich, dass Untersuchungen zu einem möglichen Risiko eine hohe Priorität eingeräumt werden musste. Die dabei gängige Vorgehensweise ist, einerseits die potentielle Gefährdung zu betrachten, d. h. zu untersuchen, ob sich eine gesundheitliche Gefährdung ergibt, wenn Lebewesen mit Nanoobjekten in Kontakt kommen. Um ein Risiko für die Bevölkerung, aber z. B. auch einen Arbeitnehmer am Arbeitsplatz abschätzen zu können, braucht man neben der o.g. Gefährdung andererseits auch noch die Wahrscheinlichkeit, dass es zu einem Kontakt der Personen mit der betrachteten Substanz kommt. Man spricht in diesem Zusammenhang von der Exposition. Das Risiko hängt sowohl von der Gefährdung als auch von der Exposition ab; üblich ist, von Risiko als Produkt von Gefährdung und Exposition zu sprechen. Gibt es keine Gefährdung oder gibt es keine Exposition, dann gibt es auch kein Risiko.

Im Kapitel III.1 werden zunächst die zu klärenden Fragen gestellt und thematisch geordnet. In Kapitel III.2 werden die vorhandenen Antworten exemplarisch aufgeführt: Die human- und ökotoxikologischen Aspekte sind in den Unterkapiteln III.2.1 und III.2.2 summiert. In Kapitel III.2.3 werden weiterhin einige Projekte aufgezeigt, die sich mit der Exposition von Nanoobjekten beschäftigen.

III.1 Fragen zu Nanomaterialien

Schon im Jahr 2003 haben in Deutschland die DECHEMA und der VCI einen gemeinsamen Arbeitskreis „Responsible Production and Use of Nanomaterials“ etabliert, dem Fachleute aus Industrie und Hochschulen, vor allem aus Deutschland angehören. Auch die deutschen Regulierungsbehörden sind in das Gremium eingebunden. Die Gruppe tauscht sich über wissenschaftliche Ergebnisse und „best practice“ zu Sicherheitsaspekten in der Produktion und im Gebrauch von Nanomaterialien aus. Sie hat auch die unten aufgeführte Liste der prioritären Forschungsthemen im Jahr 2005 erarbeitet und die zu erwartenden Projektergebnisse tabellarisch zugeordnet, wie es in der Tabelle in Kapitel III.2.1.3 abgebildet ist. Für das vorliegende Papier ist diese Zuordnung von Projekten

zu den in der Roadmap gestellten Fragen auf den aktuellen Stand (Anfang 2011) gebracht worden.

III.1.1 Fragen zur Humantoxikologie und zur Sicherheitsforschung von Nanomaterialien

In der Liste der Prioritären Forschungsthemen, die vom DECHEMA/VCI-Arbeitskreis Responsible Production and Use of Nanomaterials im Jahr 2005 erstellt wurde und die auf Seite 12 abgebildet ist, sind die prioritären Fragestellungen zur Sicherheitsforschung von Nanomaterialien zusammengefasst. Sie zielen auf ein vertieftes Verständnis der biologischen Effekte und Mechanismen.

Die Punkte aus dieser Prioritätenliste, die in Projekten bearbeitet werden oder wurden, sind in der Tabelle in Abschnitt III.2.1.3 in Form einer Roadmap markiert und zeitlich terminiert.

III.1.2 Fragen zu umweltbezogenen Sicherheitsaspekten sowie zur Freisetzung von Nanoobjekten

Die Effekte freier Nanoobjekte auf die Umwelt müssen früh untersucht werden. Typische Fragen sind:

- » Können spezielle Nanoobjekte bestimmte Bereiche der Umwelt schädigen?
- » Werden Nanoobjekte aus Sonnencremes, Beschichtungen und Farben in die Umwelt freigesetzt?
- » Wie ist das weitere Schicksal freigesetzter Nanoobjekte? Wir wirken sie sich auf Wasser und Boden aus? Gibt es unvorhergesehene Effekte?

In der Ausschreibung¹⁰ des BMBF vom 28.05.2008 zur Fördermaßnahme NanoNature werden aktuelle offene Fragen im Bereich der Auswirkungen synthetischer Nanoobjekte und -materialien auf die Umwelt beschrieben¹¹:

„Das Verhalten und die Wirkung von synthetischen Nanopartikeln bzw. -materialien sowie von Produkten mit integrierten funktionalen Nanomaterialien in der Luft, im Wasser und im Boden sollen untersucht werden. Dazu soll der gesamte Lebenszyklus der Nanopartikel bzw. -materialien in Bezug auf

¹⁰ <http://www.bmbf.de/foerderungen/12531.php>

¹¹ Im Folgenden wird der Original-Ausschreibungstext des BMBF zitiert. Später im gleichen Jahr wurde die DIN CEN ISO/TS 27687 als Vornorm veröffentlicht, in der eine allgemeine Definition von sog. Nanoobjekten eingeführt wurde, womit die Erscheinungsform von nanoskaligen Objekten beschrieben wird, die im Ausschreibungstext mit Nanopartikeln benannt wurde. Folglich muss im Ausschreibungstext der Begriff „Nanopartikel“ nach heutiger Wortwahl durch „Nanoobjekte“ ersetzt werden.

Liste der Prioritären Forschungsthemen (Humantoxikologie)

Toxikodynamik von Nanopartikeln (toxikologische und physiologische Studien)

- A.1 Untersuchung der entscheidenden Parameter für die toxischen Effekte (Größe, chemische Zusammensetzung, Oberflächen-, Morphologieeffekte, ...)
- A.2 Entwicklung und Bewertung von toxikologischen Prüfmethode hinsichtlich ihrer Eignung für die Erkennung unterschiedlicher spezifischer Wirkungen im Körper unter konkreten Praxisbedingungen, z. B. am Arbeitsplatz. Identifikation bzw. Entwicklung geeigneter (neuer) toxikologischer Modelle (in vivo und in vitro), Entwicklung von schnellen Screening-Möglichkeiten zur Untersuchung toxikologischer Effekte bereits in der Entwicklungsphase
- A.3 Durchführung toxikologischer Studien für andere Stoffe als Titandioxid und Industrierauflage
- A.4 Entwicklung von Methoden zur reproduzierbaren Aerosolherstellung im Nanobereich für toxikologische Studien

Toxikokinetik und Mechanistische Studien

- A.5 Transport von Nanoobjekten in Zellen hinein und durch Zellen hindurch (Überschreiten von organischer Schranken – Blut-Hirn-Schranke, Plazentaschranke u.a.m.)
- A.6 Aufnahmemechanismen von Nanoobjekten über die Haut
- A.7 Aufnahmemechanismen von Nanoobjekten über die Lunge

Partikel: Analytik/Herstellung/Freisetzung/ Umweltrelevanz/Entsorgung

- A.8 Untersuchungen zur realen Erscheinungsform (isolierte Nanoobjekte, Agglomerate) und Entwicklung von Methoden zur Erfassung von Art und Konzentration von Nanopartikeln am Arbeitsplatz und in der Umwelt
- A.9 Stabilität von Agglomeraten unter realen technischen Bedingungen
- A.10 Untersuchungen zur realen Erscheinungsform (isolierte Nanoobjekte, Agglomerate) im Körper
- A.11 Zerfallsmechanismen von Agglomeraten in Körperflüssigkeit

eine mögliche Ökotoxizität betrachtet werden. Dafür sind folgende Punkte von Bedeutung:

- » Aufstellung von Struktur-Wirkungs-Beziehungen (Leitstrukturbestimmung), Erforschung von Wirkmechanismen und relevanten Wirkschwellen zur ökotoxikologischen Bewertung
- » Parameterbestimmung (z. B. Größe/Oberfläche, Kristallstruktur, Agglomerationsverhalten, Suspendierbarkeit) auch unter Berücksichtigung der natürlichen Hintergrundbelastung (Unterscheidung synthetische/nicht synthetische Partikel)
- » Erarbeitung von Basistechniken und Standardtestverfahren, Etablierung von Referenzmaterialien, Reproduzierbarkeit und Modellierung
- » Untersuchungen zur Stabilität der Funktionalität und zum Eintrag der Partikel in die Umwelt (z. B. Analyse von Aufnahmemechanismen, Eintragsmengen, Eintragsformen, Abbauprodukte und Bioakkumulation)
- » Mobilität und Transformation der Partikel (z. B. Bioverfügbarkeit, Persistenz, Metamorphose, Multigenerationseffekte, Mischungstoxizität, Transporteffekte, Langzeiteffekte)
- » Risikoabschätzung an realen Matrices (z. B. Bestätigung der Ergebnisse durch umweltrelevante Untersuchungen, Ableitung und Übertragbarkeit von Gesetzmäßigkeiten)“

Die in der BMBF-Ausschreibung genannten, bedeutsamen Punkte fassen kurz zusammen, was in einer Aufstellung des Arbeitskreises „Responsible Production and Use of Nanomaterials“ detaillierter aufgeführt wurde. Diese Punkte, die sowohl umwelttoxikologische als auch Expositionsaspekte umfassen, sind im Folgenden aufgelistet. Auf diese detailliertere Liste bezieht sich auch die Gegenüberstellung der Fragestellungen zu den durchgeführten Projekten in Kapitel III.2.2.3:

Entwicklung von Methodologien für die Überprüfung von Effekten

- 1) Entwicklung von global harmonisierten Methoden für die Messung des Umwelteinflusses und der Ökotoxizität (Standardisierung erforderlich)
 - Untersuchung, um herauszufinden, ob existierende Methoden auch für die Messung von Umwelteinflüssen von Nanoobjekten angewendet werden können. Wenn notwendig, müssen die Testprozeduren angepasst werden und Standardprobenvorbereitungsmethoden (Rühren, Ultraschallbehandlung, Filtration, etc.) berücksichtigt werden. Die Testmethoden sollten alle re-

levanten unterschiedlichen Arten von Lösungsmitteln beinhalten sowie mögliche Seiteneffekte in Betracht ziehen, z. B. die Interaktion von Nanoobjekten mit der Analyseeinheit

- Entwicklung einer Standardprozedur für die Bestimmung der Partikelgröße während der einzelnen Tests

2) Identifikation und Vorbereitung von Referenz-Nanoobjekten

- Identifizierung und Definition von Produzenten, die identifizierte Referenzmaterialien über lange Zeit produzieren und liefern können
- Identifikation der Hauptparameter für die Charakterisierung der Nano-Form eines Referenzmaterials

Substanzeigenschaften

3) Bestimmung der Agglomeration/Segregation von spezifischen Nanoobjekten (Stabilität des Nanoobjekts), Generalisierung der Resultate, um ein Standardmodell für Agglomeration/Segregation zu entwickeln

- Bestimmung der Randbedingungen und der Rate der Agglomeration/Segregation von bestimmten Nanoobjekten
- Untersuchung der thermodynamischen Prinzipien, die die „Phasenübergänge“ bestimmen sowie der relevanten physikalischen Eigenschaften der Objekte
- Untersuchungen, ob das Verhalten von Nanopartikeln/-objekten mit den strukturellen Eigenschaften zusammenhängt und ob die Effekte generalisiert werden können
- Vergleich der Kinetiken von standardisierten Materialien
- Entwicklung einer Standardprozedur für die Festlegung der Partikelgröße während verschiedener Tests

4) Aspekte zum Lebenszyklus (Beseitigung von Stäuben, Recycling)

- Untersuchungen zur Emission von Nanoobjekten aus Produkten während ihrer Lebenszeit
- Durchführung von Life Cycle Assessments für unterschiedliche Nanoobjekte oder für ein Beispiel eines relevanten Nanoobjekts, das in verschiedenen Anwendungen verwendet wird
- Untersuchungen der direkten Umwelteffekte (z. B. Freisetzung von Nanoobjekten in die Umwelt, Stabilität von Nanostrukturen) und indirekte Effekte (z. B. Abfallbeseitigung von Staub, Recycling, Energieaufwand und Kohlendioxidemissionen)
- Überprüfung des natürlichen Vorkommens als Hintergrundwert von spezifischen Materialien (Eisenoxide, Titanoxid, Siliziumdioxid) bei Messungen

Verhalten und Schicksal in der Umwelt

5) Bestimmungen der Mobilität von persistenten, technischen Nanoobjekten in Oberflächenwässern, Grundwässern und Böden (Deposition, Mobilisation, Adsorption,

Desorption, Kinetik, Verteilung, Morphologie) und der wesentlichen Parameter zur Festlegung ihrer Mobilität

- Modellierung der Diffusion und Dispersion von Nanoobjekten in Wasser, Boden und Luft

- Entwicklung von Modellen, die die Wechselwirkung zwischen Nanoobjekten und anderen Substanzen in relevanten Gebieten darstellen

- Untersuchungen, um herauszufinden, ob Substanzen, die z. B. in organischen Medien gelöst sind, die Stabilität von Nanostrukturen beeinflussen und/oder mögliche Wege des Transports

6) Entwicklung von Methodologien, mit deren Hilfe Nanoobjekte in der Umwelt (Luft, Wasser, Boden) bei relevanten (z. B. niedrigen) Konzentrationen identifiziert und quantitativ bestimmt werden können

- Die Methoden müssen geeignet sein, zwischen natürlich vorkommenden und technisch hergestellten Nanoobjekten zu unterscheiden

7) Bestimmung der Hintergrundlast an Nanoobjekten in der Umwelt, um den Beitrag anthropogener Quellen abschätzen zu können

- Die Hintergrundlast enthält natürliche kolloidale Nanoobjekte und unbeabsichtigt freigesetzte Nanoobjekte (z. B. aus Verbrennungsprozessen); alle Umweltkompartimente (Boden, Wasser, Luft) müssen berücksichtigt werden
- Ein intensiver Austausch mit anderen Projekten, in denen die Bestimmung bzw. Quantifizierung von Nanoobjekten am Arbeitsplatz oder in lebenden Zellen bereits behandelt wird, wird empfohlen
- Ein interessanter Punkt könnte die Entwicklung von Methoden für die vor-Ort-Analyse sein (Instrumente, die einfach zu handhaben und zu transportieren sind, so dass die Ergebnisse in kurzer Zeit vor Ort erreicht werden können)

Effekte auf Organismen

8) Untersuchung der Aufnahme von persistenten Nanoobjekten durch lebende Organismen/Mikroorganismen (in vivo und in vitro). Zusammenstellung der Information zu Toxikokinetik, Deposition und Akkumulation von persistenten Nanoobjekten

- Die lebenden Organismen/Mikroorganismen sollten die sein, die auch für Standardtoxizitätstests relevant sind
- Die Untersuchungen sollten verschiedene Aufnahmewege und Kinetiken berücksichtigen

III.2 Antworten: Projekte zur Risikoforschung von Nanomaterialien

Viele der o.g. offenen Fragen wurden bzw. werden im Rahmen von Projekten untersucht, und es wurden schon viele Antwort-

ten auf die Fragen gefunden. Im Folgenden soll ein Einblick in einige laufende und abgeschlossene Projekte gegeben werden. Es wird versucht, auch die wesentlichen Ergebnisse herauszustellen.

III.2.1 Überblick über Projekte zur gesundheitsbezogenen Sicherheitsforschung von Nanomaterialien

Im Folgenden werden die nationalen und internationalen Forschungsprojekte aufgeführt, in denen mit dem Schwerpunkt Gesundheit von Nanomaterialien geforscht wurde oder wird. Hierbei werden bewusst fast sämtliche auf nationaler Ebene durchgeführten Projekte dargestellt, während dies für internationale Projekte nur auszugsweise geschieht, entsprechend der Verfügbarkeit von Daten zu den Projektergebnissen.

III.2.1.1 Nationale Forschungsprojekte

Name	Toxikologie von Partikeln aus technischen Prozessen/synthetischen Nanopartikeln
Förderer	Internes Forschungsprogramm, Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Toxikologie und Genetik
Laufzeit	seit ca. 1990
Aufgabenstellung	<ul style="list-style-type: none"> » Forschungsprogramm zur Toxikologie von Partikeln aus technischen Prozessen » seit 1996 weiter vorangetrieben in Richtung „Synthetische Nanopartikel“

Name	Kooperation zwischen dem Helmholtz Zentrum München ¹² und der Umweltschutzagentur der USA (EPA) auf dem Themengebiet „feine und ultrafeine Partikel“ und „Allergien/Asthma“
Förderer	HMGU München und US Environmental Protection Agency (EPA)
Laufzeit	seit 1998
Aufgabenstellung	<ul style="list-style-type: none"> » Epidemiologische Studien der Vergangenheit zeigten, dass winzige Staubpartikel in der Umgebungsluft unsere Gesundheit stark beeinträchtigen können. Besonders gravierend sind die Folgen für das Herz-Kreislauf-System und die Lunge, aber möglicherweise können auch weitere Organsysteme wie z. B. das zentrale Nervensystem in Mitleidenschaft gezogen werden. Als Quellen des Feinstaubes konnten die Wissenschaftler aus der GSF und den USA vor allem den Kraftverkehr identifizieren und an zweiter Stelle die Industrie. Ein weiteres Thema ist der Vergleich der unterschiedlichen Quellen der Stäube in beiden Ländern. » Aus der Kenntnis der Quellen allein kann jedoch nicht direkt auf die gesundheitlichen Folgen für die Bevölkerung geschlossen werden: Ob der Kontakt mit Feinstaub zu einer bestimmten Erkrankung führt, hängt sowohl von der Toxizität der Teilchen ab, als auch vom Gesundheitszustand und Alter der betroffenen Personen. Kardiovaskuläre Erkrankungen betreffen vor allem ältere Menschen und Menschen mit einer bestehenden Vorerkrankung. Das Risiko nimmt im Alter von über 50 Jahren stark zu. Herz-Kreislauf-Erkrankungen sind gegenwärtig die häufigste Todesursache.
Weitere Informationen	http://www.helmholtz-muenchen.de/neu/aerosols/aktuelles1.php

¹² Früher: GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit

Name	NEW – Nanoparticle exposure in workplaces
Förderer	International Carbon Black Association und verschiedene industrielle Drittmittelgeber
Laufzeit	2000 – 2010
Aufgabenstellung	„Nanoparticle exposure in workplaces (NEW)“ umfasst mehrere Einzelprojekte am IUTA Duisburg, die sich mit der Untersuchung der realen Morphologie (isoliert, agglomeriert) von Nanoobjekten und der Entwicklung von Methoden, um die Art und Konzentration von Nanoobjekten am Arbeitsplatz zu detektieren, befassen.
Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> » Kuhlbusch, T.A.J., Neumann, S., Fissan, H., Number size distribution, mass concentration, and particle composition of PM₁, PM_{2.5} and PM₁₀ in Bagging Areas of Carbon Black Production, <i>J. Occup. & Environ. Hygiene</i> 1, 660-671, 2004. » Kuhlbusch, T.A.J., Fissan, H., Particle Characteristics in the Reactor and Pelletizing Areas of Carbon Black Production, <i>J. Occup. & Environ. Hygiene</i> 3/10, 558 – 567, 2006. » Kuhlbusch, T.A.J., Fissan, H., Asbach, C., Nanotechnologies and Environmental Risks, in <i>Nanomaterials: Risks and Benefits</i>, Eds.: Linkov, I., Steevens, J., ISBN: 978-1-4020-9490-7, 233-243, 2009. » Kuhlbusch, T.A.J., Fissan, H., Asbach, C., Measurement and Detection of Nanoparticles Within the Environment, in <i>Nanotechnology: Volume 2: Environmental Aspects</i>. Ed. H. Krug, ISBN 978-527-31735-6, 229-266, 2008. » Weitere Veröffentlichungen sind derzeit in Arbeit

Name	NanoHealth – Netzwerk Nanopartikel und Gesundheit
Förderer	HMGU München
Laufzeit	2000 – 2008
Aufgabenstellung	<ul style="list-style-type: none"> » Erforschung der Aerosolbelastung der Atmosphäre im Hinblick auf die menschliche Gesundheit » Projekt von sechs Helmholtz-Zentren <p>Ziel:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Physikalische, chemische und biologische Eigenschaften von Aerosolpartikeln genauer zu erforschen: <ul style="list-style-type: none"> » Aerosolpartikel aus Umweltaerosolen physikalisch, chemisch und biologisch umfassend zu charakterisieren, » Modellpartikel für ausgewählte Klassen von Umweltaerosolen herzustellen (z. B. Rußpartikel mit chemisch variierender Hülle), » das relevante Maß der Expositionsdosis (chemische Komponenten und deren Gemische, Zahl, Oberfläche oder Masse dieser Partikel) zu ermitteln. 2. Aerosolpartikel insbesondere des Umweltaerosols zu identifizieren, die ein Gesundheitsrisiko darstellen: <ul style="list-style-type: none"> » gesundheitsrelevante Modellpartikel in in vitro Studien zu identifizieren, » suszeptible Tiermodelle zu etablieren, an denen Reaktionen des Atemtrakts und des Herz-Kreislauf-Systems auf die Exposition mit umweltrelevanten Konzentrationen solcher Modellpartikel untersucht werden, » Reaktionsmechanismen aufzuklären, » epidemiologische Studien mit neuen Dosis- und Reaktionsparametern durchzuführen, » eine Risikobewertung für die Inhalation dieser Umweltpartikel vorzunehmen.
Weitere Informationen	http://www.helmholtz-muenchen.de/neu/aerosols/index.php

Name	CFN – Zentrum für funktionale Nanostrukturen (CFN) am KIT ¹³
Förderer	DFG
Laufzeit	seit 7/2001
Aufgabenstellung	Der Transport von Nanoobjekten in und durch Zellen sowie der Durchgang durch Organbarrieren (Blut-Hirn-Schranke, Plazentaschranke, etc.) wird untersucht.
Weitere Informationen	http://www.cfn.uni-karlsruhe.de

Name	INOS – Identification and Assessment of the Effects of Engineered Nanoparticles on Human and Environmental Health
Förderer	BMBF
Laufzeit	01/2006 – 12/2008
Aufgabenstellung	<p>In dem vom BMBF geförderten Projekt INOS wurden mögliche Gesundheitseffekte bei der Produktion, Charakterisierung und Verarbeitung von nanoskaligen Pulvern evaluiert.</p> <p>Die Arbeiten konzentrierten sich auf keramische und metallische Partikel wie Diamant, Wolframcarbid, Titandioxid, Titancarbonitrid, Cobalt, Platin, Keramik-Metall-Mischungen sowie Kohlenstoffnanoröhren und Industrie-Ruß (Carbon Black).</p> <p>Für die zelltoxikologischen Untersuchungen kamen verschiedene menschliche und tierische Zellen wie Lungen- und Darmepithelzellen, Epidermiszellen, Neuronen und Gliazellen als Zelllinien oder Primärzellen zum Einsatz. Als Endpunkte wurden die Vitalität, die allgemeine Stressantwort (wie Änderung der Proteinexpression), oxidativer Stress, inflammatorische und immunmodulatorische Effekte, Genotoxizität, Zelltod etc. untersucht.</p>
Ergebnisse	<p>Mikroskalige Wolframcarbid-Cobalt Partikel konnten in Fresszellen (Makrophagen) und nanoskalige Wolframcarbid-Cobalt Partikel in verschiedenen Zelllinien beobachtet werden.</p> <p>In den Körper aufgenommenes Wolframcarbid-Cobalt lässt sich im Blut nachweisen und wird über den Urin wieder ausgeschieden. Für diese Partikel gibt es Vergleichsuntersuchungen mit größeren Partikeln. Die Vermutung, dass Nanopartikel aufgrund ihrer geringen Größe andere Wirkmechanismen haben könnten als größere, trifft auf diese Materialien nach den bisherigen Untersuchungen nicht zu. Der Vergleich der biologischen Wirkungen zeigte lediglich Unterschiede in der Wirkstärke auf. Gleichermäßen erweist sich Wolframcarbid-Cobalt als toxisch, eine Exposition tritt jedoch fast ausschließlich am Arbeitsplatz auf, wo geeignete Schutzmaßnahmen ergriffen werden.</p> <p>Wolframcarbid-Partikel sind chemisch inert und untoxisch, geeignete Schutzmaßnahmen am Arbeitsplatz sollten dennoch ergriffen werden.</p>
Weitere Informationen	http://www.nanopartikel.info/cms/Projekte/INOS

¹³ Karlsruher Institut für Technologie

Name	NanoCare – Gesundheitsrelevante Aspekte synthetischer Nanopartikel: Schaffung einer allgemeinen Informations- und Wissensbasis als Grundlage für eine innovative Materialforschung
Förderer	BMBF
Laufzeit	03/2006 – 07/2009
Aufgabenstellung	<ul style="list-style-type: none"> » Entscheidende Parameter untersuchen, die toxische Effekte steuern (Größe, chemische Zusammensetzung, Effekte der Oberfläche, Morphologie) » Methoden zur Testung der Toxizität entwickeln und überprüfen, unter Beachtung ihrer Eignung, verschiedene spezifische Effekte in Körpern unter praktischen Bedingungen, z. B. am Arbeitsplatz zu detektieren » Die Toxikologie von anderen Materialien als Titanoxid und Industrieruß untersuchen » Methoden entwickeln, um reproduzierbar inhalierbare Umgebungen von Nanomaterialien, die sich für toxikologische Studien eignen, zu produzieren » Die Stabilität agglomerierter Nanoobjekte in Körperflüssigkeiten untersuchen
Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> » Daten zur Toxikologie von elf marktgängigen Nanomaterialien und deren Variationen¹⁴ » Standard Operation Procedures zur Durchführung von Untersuchungen an Nanomaterialien <p>Details: Toxikologische Studien, die <i>in vivo</i> an Ratten mittels Inhalation oder via intratrachealer Instillation, <i>in vitro</i> mit Zelllinien und <i>ex vivo</i> an Alveolarmakrophagen durchgeführt wurden, ergaben: Keines der untersuchten Materialien zeigte schwere Effekte in dem Sinne, dass Zellen oder Tiere Zeichen akuter Toxizität oder biologischer Effekte aufwiesen bei Behandlung mit niedrigen Konzentrationen. Der Vergleich der Ergebnisse aus den <i>in vitro</i> und <i>in vivo</i> Studien zeigte eine gute Korrelation. In einer ersten Näherung spiegeln die <i>in vitro</i> Studien gut die <i>in vivo</i> Untersuchungen wider.</p> <p>Die Expositionsexperimente zeigten, dass</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) acht der getesteten Materialien eine Tendenz zur Freisetzung kleiner Partikel aus Agglomeraten bei schwachen Scherkräften haben, elf Partikel allerdings zeigten keine hohe Staubung; (2) starke Scherkräfte, wie sie bei einem Leck entstehen, die Zahl an kleinen Partikeln zunehmen lassen, der Effekt ist aber stark materialabhängig; (3) Modelle zur Partikeldispersierung am Arbeitsplatz gute Werkzeuge sind, um das Verhalten und die Verteilung von Nanopartikeln und die mögliche Exposition am Arbeitsplatz abzuschätzen; (4) bei keiner der Messungen an realen Arbeitsplätzen Nanopartikel oder -objekte durch den Produktionsprozess detektiert wurden; (5) eine Standardisierung von Messungen gebraucht wird und NanoCare daraufhin Standardarbeitsanweisungen für Arbeitsplatzexpositionsexperimente entwickelte; (6) innovative Ansätze wie das „Karlsruher Expositions-System“ direkte Messungen der biologischen Effekte am Arbeitsplatz möglich machen.
Weitere Informationen	http://www.nanopartikel.info/cms/Projekte/NanoCare

¹⁴ Zusammenfassung der Ergebnisse unter: http://www.nanopartikel.info/files/content/dana/Dokumente/NanoCare/Publikationen/NanoCare_Final_Report.pdf

Name	TRACER – Toxikologie und Überprüfung des Gesundheitsrisikos von Kohlenstoffnanomaterialien
Förderer	BMBF
Laufzeit	03/2006 – 02/2009
Aufgabenstellung	Im Projekt TRACER wurden die Zytotoxizität und die Biokompatibilität von Carbon Nanotubes (CNT) evaluiert und Empfehlungen für eine sichere Herstellung, Verarbeitung und einen sicheren Gebrauch dieser Produkte abgeleitet. In dem Projekt arbeiteten Partner aus Hochschule und Industrie entlang verschiedener Stufen der Wertschöpfungskette zusammen.
Ergebnisse	<p>Im Rahmen des Projektes wurden neue Erkenntnisse zur Biokompatibilität/Toxizität und Freisetzung der Kohlenstoffnanomaterialien im Hinblick auf die Relevanz der Testmethoden bewertet und im Hinblick auf ihre Arbeitsplatz- und Gesundheitsrelevanz ausgewertet und – soweit möglich – Empfehlungen bezüglich des Umgangs und der Arbeitsplatzsicherheit zusammengestellt.</p> <p>Eine Freisetzung von CNT ist nur zu erwarten, wenn das CNT-Material als staubiges Pulver vorliegt, nicht mehr bei den nachfolgenden Aktivitäten, in deren Verlauf CNT-Material zu Verbundstoff weiterverarbeitet wurde. Die Auswertung der publizierten Daten und der experimentellen Ergebnisse in diesem Projekt machen deutlich, dass ein allgemein für Kohlenstoffnanomaterialien gültiger Wirkungscharakter auf der bestehenden Datenbasis nicht möglich ist. Im Einklang mit dem BAuA-/VCI-Leitfaden ist deshalb bis zum Festlegen spezifischer Grenzwerte für Kohlenstoffnanomaterialien eine Minimierung der Exposition anzustreben.</p> <p>Basierend auf den Ergebnissen dieses Projektes sind die Empfehlungen des BAuA-/VCI-Leitfadens zum Schutz der Arbeitnehmer beim Umgang mit Nanomaterialien auch für Kohlenstoffnanomaterialien zutreffend.</p>
Weitere Informationen	http://www.nanopartikel.info/cms/Projekte/Tracer

Name	⁴⁴ Ti-Markierung von TiO ₂ -Nanomaterialien
Förderer	Hausinterne Forschung (Uni Leipzig/HMGU München)
Laufzeit	seit 06/2006
Aufgabenstellung	Charakterisierung der Nanomaterialien über Kernquadrupolwechselwirkung mittels gestörter γ - γ -Winkelkorrelation und Löslichkeitsstudien in synthetischen Körperflüssigkeiten
Ergebnisse	Ergebnisse über den Volumen- und Oberflächenanteil des Kernquadrupolwechselwirkungssignals, wie Kristallinität und Oberflächeneigenschaften (Porosität, H-Mobilität), liegen für eine Reihe von TiO ₂ -Nanomaterialien (Partikel, Tubes, Wires) vor.

Name	NanoExpo (BY) und NanoGesund
Förderer	LGL Bayern
Laufzeit	10/2007 – 10/2010
Aufgabenstellung	Gegenstand dieser beiden Projekte ist die Exposition gegenüber Nanoobjekten und deren gesundheitliche Bedeutung. Die beiden Projekte untersuchen dabei gezielt Arbeitsplätze, an denen Nanoobjekte hergestellt oder verarbeitet werden, sowie am Markt befindliche „Nano“-Produkte auf ihre Expositionsbelastung hin. Sollte eine Exposition festgestellt werden, wird untersucht, ob dies negative Auswirkungen auf die Gesundheit hat.
Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> » Bei dem gerichteten Umgang mit synthetischen Nanopartikeln in der Produktion unter Einhaltung der einschlägigen Schutzmaßnahmen konnte bisher keine erhöhte Exposition festgestellt werden. » Messung der Aerosolbildung von Verbraucherprodukten: Druckgas-Sprays: starke Aerosolbildung Pumpsprays: weniger Aerosolbildung » Kurzzeitige experimentelle Exposition gegenüber Laserdruckeremissionen technisch gut durchführbar und zugleich akzeptables und sensitives Untersuchungsprogramm möglich (Hauptlimitation: Zeitaufwand moderner nichtinvasiver Verfahren) » Bei Gesunden der Pilotstudie weder in objektiven Messgrößen noch in subjektiven Größen klinisch relevant erscheinende Effekte eines Laserdruckers mit hoher Emission von Nanopartikeln » Sehr diskrete Hinweise auf mögliche Effekte in Alveolen und Nasenschleimhaut
Weitere Informationen	http://www.lgl.bayern.de/gesundheits/umweltmedizin/projekt_nanopartikel.htm http://www.nanowissen.bayern.de/nanoforschung/forschungsprojekte/nanoexpo

Name	Untersuchung der antioxidativen Antworten von Lungenzellen als Endpunkt für die Bewertung von Aerosolen nach Exposition an der Luft-Flüssigkeitsgrenzschicht am KIT/ITG
Förderer	BfR
Laufzeit	11/2007 – 9/2011
Aufgabenstellung	Ziel der Arbeiten ist, die Regulation der antioxidativen Antworten nach Exposition mit Nanopartikeln besser zu verstehen, um das <i>in vitro</i> Verfahren zur toxikologischen Bewertung von Aerosolen weiter zu entwickeln hinsichtlich sensitiver Endpunkte in Lungenzellen. Mit dem <i>in vitro</i> Testverfahren sollen Aerosole mit möglicher Gesundheitsgefährdung detektiert werden.
Ergebnisse	Veröffentlichung in Vorbereitung

Name	SPP 1313 Bio-Nano-Responses - Biological responses to nanoscale particles
Förderer	DFG/dt. Universitätsinstitute
Laufzeit	01/2008 – 12/2013
Aufgabenstellung	<ul style="list-style-type: none"> » Molekulare und zelluläre Prozesse der Nanopartikel-Toxikologie im Menschen » Synthese und Charakterisierung von Nanopartikeln (Metalle, Metalloxide, Ruß, Polymere, Quantendots) » Oberflächeneigenschaften von Nanopartikeln und Agglomeration in biologischen Medien » Wechselwirkungen von Nanopartikeln mit biologischen Systemen (Proteinen, Membranen, Zellen und Zellkernen) » Auswirkungen auf biologische Funktionen
Ergebnisse	Statusseminare, Zwischenberichte und Publikationen der Projektnehmer
Weitere Informationen	http://www.spp1313.de

Name	LENA – Lebensmittelsicherheit beim Einsatz von Nanoprodukten und im Rahmen von nanotechnologischen Anwendungen
Förderer	LGL Bayern
Laufzeit	10/2009 – 10/2012
Aufgabenstellung	<p>Im Rahmen des Projektes will das LGL erste Grundlagen zum analytischen Nachweis von Nanoobjekten im Lebensmittelbereich entwickeln. Das Projekt gliedert sich dabei in zwei Module:</p> <ul style="list-style-type: none"> » Im ersten Modul wird die Migration aus Verpackungen in Lebensmittel untersucht. Dabei wird untersucht, welche Materialien für Lebensmittelverpackungen verwendet werden und ob ein Übergang von Nanoobjekten aus der Verpackung ins Lebensmittel möglich ist. Des Weiteren sollen im Falle einer Migration die dafür nötigen Randbedingungen (Kontaktbedingungen Verpackung-Lebensmittel, Art der Nano-Materialien und der Verpackung) erforscht werden. » Im zweiten Modul wird die Analytik und Charakterisierung von Nanomaterialien in Lebensmitteln entwickelt. Dabei werden u.a. die orale Aufnahme sowie die Veränderung im Verlauf der Magen-Darm-Passage von Nanoobjekten beziehungsweise „Nano“-Produkten untersucht. Zudem erhofft man sich eine klärende Antwort auf die Frage, ob Nanoobjekte aus dem Gastrointestinaltrakt in den Organismus aufgenommen werden.
Ergebnisse	Projekt noch nicht abgeschlossen, bislang keine veröffentlichten Ergebnisse
Weitere Informationen	http://www.lgl.bayern.de/gesundheits/umweltmedizin/projekt_lena.htm

Name	NanoExpo (BMBF) – Nanobalancedetektor für personenbezogene Messungen von Nanopartikel-Expositionen
Förderer	BMBF
Laufzeit	05/2010 – 04/2013
Aufgabenstellung	<p>Ziel des Vorhabens „NanoExpo“ ist es, mit Hilfe von mikro- und nanoskalig strukturierten Materialien hochempfindliche miniaturisierte Bauelemente zur personenbezogenen Nanopartikelanalyse zu entwickeln. Sie sollen in der Art eines Dosimeters eine tragbare, kontinuierliche und schnelle Erfassung der Nanopartikel-Belastung ermöglichen. Mit nanoskaligen Resonanzwaagen wird die Partikelmasse direkt erfassbar gemacht, durch Vorselektion soll zusätzlich eine Klassifizierung nach Größe erfolgen. Die Basis für diese Entwicklung ist die Halbleiter-Nanotechnologie. Diese Technik hat das Potential für eine kostengünstige Serienfertigung von speziellen Sensoren. Als Funktionstest ist die abschließende Erprobung des Sensors am Arbeitsplatz in einem Nanopartikel verarbeitenden Betrieb vorgesehen.</p>
Ergebnisse	Projekt noch nicht abgeschlossen, bislang keine veröffentlichten Ergebnisse
Weitere Informationen	http://www.nanopartikel.info/cms/lang/de/Projekte/nanoexpo

Name	Carbon Black – Prädiktion humantoxikologischer Wirkung synthetischer Carbon Black Nanopartikel
Förderer	BMBF
Laufzeit	08/2010 – 07/2013
Aufgabenstellung	<p>Das Verbundvorhaben Carbon Black zielt darauf ab, ein Prüfsystem mit Testmodellen zunehmender Komplexität zu etablieren, um die toxikologische Wirkung von modifizierten und gut charakterisierten Carbon Black-Nanopartikeln (CBNP) in den Atemwegen und der Lunge zu überprüfen. Das mehrstufige Prüfsystem reicht vom einfachen Zellkultur-Modell über Gewebekultur-Modelle bis hin zur Überprüfung im Tiermodell mit Inhalationsstudien.</p> <p>Teilprojekte</p> <ul style="list-style-type: none"> » TP 1: Spezifisch modifizierte Carbon Black-Nanopartikel (CBNP) durch Gasphasensynthese (<i>Karlsruher Institut für Technologie</i>) » TP 2: Tox-Screening <i>in vitro</i> – Inhalation <i>in vivo</i> (<i>Fraunhofer Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin</i>) » TP 3: Wirkung von Carbon Black-Nanopartikeln auf das Trachealepithel (<i>Universität Lübeck</i>) » TP 4: Atemwegregionsspezifische Wirkungen von Carbon Black-Nanopartikeln (<i>Forschungszentrum Borstel</i>) » TP 5: Toxikologische Wirkungen von CBNP auf Typ II Pneumozyten und Clara-Zellen (<i>Philipps-Universität Marburg</i>)
Ergebnisse	Projekt noch nicht abgeschlossen, bislang keine veröffentlichten Ergebnisse
Weitere Informationen	http://www.nanopartikel.info/cms/Projekte/CarbonBlackProject

Name	NanoGEM – Nanostrukturierte Materialien – Gesundheit, Exposition und Materialeigenschaften
Förderer	BMBF
Laufzeit	08/2010 – 07/2013
Aufgabenstellung	<p>NanoGEM ist ein Konsortium aus universitären und privaten Forschungseinrichtungen, Industrie und Behörden, das die offenen Fragen der nachhaltigen Entwicklung und Risikoabschätzung mit speziell angepassten Strategien beantworten will. So wird eine umfassende Bewertung der Gefährlichkeit von industrierelevanten Nanopartikeln und Nanomaterialien erstmals auch in weiterverarbeiteten Produkten erfolgen. Dem Aspekt der Biokinetik, also der Aufnahme und Verteilung von Nanopartikeln im menschlichen Körper in Abhängigkeit von Größe, Struktur und Oberflächeneigenschaften, wird besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Fragen der Arbeits- und Produktsicherheit bei der Herstellung, Verarbeitung, Anwendung und Entsorgung sollen u. a. mit neu entwickelten tragbaren Messgeräten beantwortet werden. Im Rahmen von NanoGEM werden für eine Risikoabschätzung so die notwendigen Daten zum internen und externen Kontakt von Nanopartikeln mit Organismen zusammengetragen.</p>
Ergebnisse	Projekt noch nicht abgeschlossen, bislang keine veröffentlichten Ergebnisse
Weitere Informationen	http://www.nanogem.de

Name	CarboTox – Entwicklung von Screening-Verfahren zur Untersuchung eines möglichen kanzerogenen Potentials von Carbon Nanotubes
Förderer	BMBF
Laufzeit	09/2010 – 08/2013
Aufgabenstellung	CNT kommen als Fasern unterschiedlicher Länge und Dicke, gestreckt oder in verknäuelter Form und mit verschiedenen Oberflächeneigenschaften vor und können möglicherweise bei der Aufnahme in die Lunge schädliche Wirkungen hervorrufen. Das Hauptziel des Vorhabens ist es zu klären, ob einzeln vorliegende CNT-Fasern eine asbestartige biologische Wirkung hervorrufen. Ferner sollen möglichst sichere Prüfverfahren entwickelt werden, die als schnelle Labortests eine Aussage über das Gefahrenpotential unterschiedlicher CNT-Formen erlauben, ohne dass aufwendige Tierversuche notwendig werden. Wenn solche verlässliche Tests verfügbar sind, können schon in frühen Produktentwicklungsphasen unbedenkliche CNT-Typen identifiziert werden. Damit könnte ein potentielles Gesundheitsrisiko bei der Herstellung von CNT-Fasern und der Verarbeitung zu CNT-haltigen Produkten bzw. Bauteilen erheblich verringert werden. Die Bedeutung solcher Prüfverfahren für eine verlässliche Toxizitätsbewertung in industriellen Anwendungen ist besonders hoch.
Ergebnisse	Projekt noch nicht abgeschlossen, bislang keine veröffentlichten Ergebnisse
Weitere Informationen	http://www.nanopartikel.info/cms/Projekte/Carbotox

Name	NanoKon – Systematische Bewertung der Gesundheitsauswirkungen nanoskaliger Kontrastmittel
Förderer	BMBF
Laufzeit	10/2010 - 09/2013
Aufgabenstellung	Ziel des Projektes ist es, die Auswirkungen neuartiger Nanopartikel insbesondere auf den Magen-Darm-Trakt systematisch zu untersuchen und zu bewerten. Ausgangspunkt der Untersuchungen sind Nanopartikel unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit und mit bestimmten physikalisch-chemischen Eigenschaften, die die Wechselwirkung mit einzelnen Körperzellen und ganzen Organen bestimmen.
Ergebnisse	Projekt noch nicht abgeschlossen, bislang keine veröffentlichten Ergebnisse
Weitere Informationen	http://www.nanopartikel.info/cms/Projekte/NanoKon

Name	NanoMed – Toxikologische Charakterisierung von Nanomaterialien für die diagnostische Bildgebung in der Medizin
Förderer	BMBF
Laufzeit	09/2010 – 08/2013
Aufgabenstellung	Ziel des Projektes ist die Entwicklung, Charakterisierung und Erfassung der internen Belastung von Menschen durch innovative Nanopartikel mit hervorragenden bildgebenden Eigenschaften für die Computertomografie (CT) und die Magnet-Resonanz-Tomografie (MRT) sowie die Bewertung der Gefährlichkeit. Zudem werden innovative Testmodelle entwickelt, die die Nanopartikel in der Zelle im Labor und im Tier nachweisen.
Ergebnisse	Projekt noch nicht abgeschlossen, bislang keine veröffentlichten Ergebnisse
Weitere Informationen	http://www.nanopartikel.info/cms/Projekte/nanomed

Name	Nanosilberpartikel – Wirkmechanismen und Untersuchung ihrer möglichen Interaktion mit Geweben, Zellen und Molekülen. Definition ihres relevanten Unverträglichkeitspotenzials
Förderer	BMBF
Laufzeit	10/2010 – 09/2013
Aufgabenstellung	Ziel des Projektes ist es, Methoden zu erarbeiten, die es ermöglichen, in unterschiedlichen nanosilberhaltigen medizinischen Materialsystemen Silber und gelöstes Silber unterscheiden zu können, um die Wirkung zuordnen zu können. Dafür werden drei verschiedene Modellsysteme wie z. B. nanosilberhaltige Prothesen mit unterschiedlichen Nanosilbergehalten entwickelt, die Freisetzung der Silberpartikel getestet und die Gefährlichkeit für den Menschen untersucht.
Ergebnisse	Projekt noch nicht abgeschlossen, bislang keine veröffentlichten Ergebnisse
Weitere Informationen	http://www.nanopartikel.info/cms/Projekte/Nanosilberpartikel

III.2.1.2 Europäische Forschungsprojekte

Name	NANODERM – Quality of skin as a barrier to ultra-fine particles
Förderer	EU
Laufzeit	01/2003 – 06/2006
Aufgabenstellung	Hautpenetration von TiO ₂ -Nanopartikeln, insbesondere Visualisierung putativer Transportpfade sowie <i>in vitro</i> und <i>in vivo</i> Respons von Hautzellen auf Kontakt mit Nanopartikeln.
Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> » Keine Penetration in vitales Gewebe bei gesunder Haut. » Kein diffusiver Transport, sondern mechanisches Einreiben. » Inhomogene Verteilung von Sonnenschutzmitteln auf der Hornhaut. » Tiefe Penetration in Haarfollikel, aber nicht in vitales Gewebe. » Große Variation im Respons von Hautzellen auf Kontakt mit Nanopartikeln. <p>Die Ergebnisse bestätigten, dass die gesunde Haut ein wirksamer Schutz ist.</p>
Weitere Informationen	http://www.uni-leipzig.de/~nanoderm

Name	Nanosafe – Risk Assessment in Production and Use of Nanoparticles with Development of Preventive Measures and Practice Codes
Förderer	EU
Laufzeit	04/2003 – 06/2004
Aufgabenstellung	Im Projekt Nanosafe wurden Risiken in der Produktion, Handhabung und Verwendung von Nanoobjekten in industriellen Prozessen und Produkten sowie in Konsumgütern bewertet. Es wurden die verfügbaren Informationen über die möglichen Gefahren von Nanoobjekten gesammelt, um die Risiken für Arbeitnehmer und Verbraucher zu bewerten und um regulatorische Maßnahmen und Verhaltensregeln an die Hand zu geben, um möglichen Gefahren vorzubeugen.
Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> » Zusammenstellung der möglichen Gefahren der Exposition gegenüber Nanopartikeln für Arbeitnehmer und Verbraucher (http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Nanosafe1_final_report.pdf) » Empfehlungen für regulatorische Maßnahmen und Codes of Practice
Weitere Informationen	Nanoparticles – known and unknown health risks. <i>Journal of Nanobiotechnology</i> 2 (12), 2004.

Name	NanoRisk – Integrated Foresight: The Safety and Risks of Carbon Nanotubes
Förderer	Eidgenössisches Bundesamt für Gesundheit (BAG), Eidgenössisches Bundesamt für Umwelt (BAFU), Eidgenössisches Bundesamt für Berufsbildung und Technologie – Förderagentur für Innovation (BBT-KTI), Empa Materials Science & Technology (CH)
Laufzeit	02/2004 – 02/2007
Aufgabenstellung	<ul style="list-style-type: none"> » Darstellung des Wissensstandes und der Unsicherheiten bezüglich der Sicherheit von CNTs » Durchführung einer Foresight Studie, welche potentiellen Probleme über den CNT-Lebenszyklus auftreten könnten, um Vorsorgemaßnahmen schon während der Entwicklung in Angriff nehmen zu können » <i>In vitro</i> Studien an menschlichen Lungenzellen
Ergebnisse	Es wurden unterschiedliche Materialien und Endpunkte/Parameter in verschiedenen biologischen Systemen getestet. Hauptergebnis war die Beschreibung des „Trojanischen Pferd“-Effektes von Nanopartikeln, durch den Material in Zellen eingeführt wird, welches „normalerweise“ ausgeschlossen würde. Dadurch werden möglicherweise negative Effekte in den Zellen hervorgerufen.
Weitere Informationen	<ul style="list-style-type: none"> » <i>In vitro</i> cytotoxicity of oxide nanoparticles: comparison to asbestos, silica, and the effect of particle solubility. <i>Environmental Science & Technology</i> 40, 4374-4381. » Effects of combustion-derived ultrafine particles and manufactured nanoparticles on heart cells in vitro. <i>Toxicology</i> 253, 70-78. » Risk assessment of engineered nanomaterials: a survey of industrial approaches. <i>Environmental Science & Technology</i> 42, 640-646. » Reviewing the environmental and human health knowledge base of carbon nanotubes. <i>Environ Health Perspect</i> 115, 1125-1131. » Exposure of engineered nanoparticles to human lung epithelial cells: influence of chemical composition and catalytic activity on oxidative stress. <i>Environmental Science & Technology</i> 41, 4158-4163. » <i>In vitro</i> evaluation of possible adverse effects of nanosized materials. <i>Phys Stat Sol b</i> 243, 3556-3560. » Studying the potential release of carbon nanotubes throughout the application life cycle. <i>Journal of Cleaner Production</i> (2008) 16: 8-9. 927-937. » The degree and kind of agglomeration affect carbon nanotube cytotoxicity. <i>Toxicology letters</i> (168) 121-131.

Name	Canape – Carbon Nanotubes for Applications in Electronics, Catalysis, Composites and Nano-Biology
Förderer	EU
Laufzeit	06/2004 – 05/2008
Aufgabenstellung	<ul style="list-style-type: none"> » Entwicklung von CNT-Produktionstechniken » Integration von biologischen und nicht-biologischen-Systemen auf Nano-Ebene durch Oberflächenmodifizierung und Zellwachstum » CNTs in elektronischen Anwendungen » CNTs als Katalysator (z. B. Produktion von Styrol) » Einbindung der Nanotechnologie zur Steigerung der Lebensqualität (Sicherheits- und Gesundheitsaspekte) » Verschieben der Grenzen von CMOS und Vorbereitung auf Post-CMOS. » CNTs in Brennstoffzellen
Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> » Eine ISO109933-5 Prüfung reicht nicht aus, um die Toxizität zu beschreiben » Effekte sind zelltypenabhängig » Agglomeration beeinflusst die Toxizität » C₆₀-Toxizität beruht meist auf Lösungsmittelkontamination durch die Produktion » SWCNT beeinflusst die Zelladhäsion und die Migrationsgeschwindigkeit » Keine Evidenz für CNT-induzierte Apoptose
Weitere Informationen	<ul style="list-style-type: none"> » Reviewing the environmental and human health knowledge base of carbon nano-tubes. <i>Environmental Health Perspectives</i>, 115, 8, p 1125 – 1131. » The degree and kind of agglomeration affect carbon nanotube cytotoxicity. <i>Toxicology letters</i> (168) 121-131. » In vitro evaluation of possible adverse effect of nanosized materials. <i>Physica Status Solidi b</i> 243(13) 3556-60.

Name	Nanotox – Investigative Support for the Elucidation of the Toxicological Impact of Nanoparticles on Human Health and the Environment
Förderer	EU
Laufzeit	02/2005 – 01/2007
Aufgabenstellung	<p>Analyse von Informationen zum toxikologischen Einfluss von Nanoobjekten durch die Bewertung von Informationen zu</p> <ul style="list-style-type: none"> » physikalischen und chemischen Eigenschaften von verschiedenen Arten von Nanoobjekten und agglomerierten Nanokristallen, Herstellung und Gebrauch, Effekte auf die menschliche Gesundheit inkl. Nebeneffekte, Tiertoxykologie, Umweltauswirkungen, Mutagenität/Genotoxizität, Metabolismus/Pharmakokinetik, Standards für den sicheren Gebrauch, sichere Labormethoden, etc. » möglichen Wegen einer Verbreitung von und Kontamination durch Nanoobjekte und agglomerierte Nanokristalle (z. B. Adsorption, Desorption, Transport, Aggregation, Deposition, biologische Aufnahme).

Name	IMPART – Improving the understanding of the impact of nanoparticles on human health and the environment
Förderer	EU
Laufzeit	02/2005 – 10/2008
Aufgabenstellung	Das Projekt IMPART hatte zum Ziel, die neuesten wissenschaftlichen und technologischen Entwicklungen mit Bezug auf die Risiken einer Nanoobjektfreisetzung für die menschliche Gesundheit und die Umwelt festzulegen. Richtlinien und Empfehlungen für zukünftige Standards und Freisetzungsgrenzen von Nanoobjekten wurden formuliert.

Name	Nanosafe2 – Safe production and use of nanomaterials
Förderer	EU
Laufzeit	04/2005 – 03/2009
Aufgabenstellung	<p>Es wurden</p> <ul style="list-style-type: none"> » toxikologische Testmethoden entwickelt und überprüft, unter Berücksichtigung ihrer Eignung, verschiedene spezifische Effekte im Körper unter praktischen Umständen, z. B. am Arbeitsplatz zu detektieren, » die Toxizität anderer Materialien als Titanoxid und Carbon Black studiert, » Methoden entwickelt, um nanoskalige Aerosole für toxikologische Studien reproduzierbar zu liefern, » Mechanismen untersucht, wie Nanoobjekte in die Lunge aufgenommen werden, » die wahre Morphologie (isoliert, agglomeriert) von Nanoobjekten untersucht und Methoden entwickelt, um die Art und Konzentration von Nanoobjekten am Arbeitsplatz zu detektieren.
Ergebnisse	<p>Teilergebnisse des Instituts für Epidemiologie des HMGU: Epidemiologische und toxikologische Daten wurden für die Bewertung auf einem Screening Level von (1) Arbeits-, (2) Verbraucher- und (3) Umweltsicherheit angewandt.</p> <p>Verschiedene gesundheitsrelevante Dosis-Metriken (Masse, Partikelzahl und Oberfläche) wurden genutzt, um potentielle Risiken zu quantifizieren und die Eigenschaften dieser alternativen Methoden zur Risikobewertung zu vergleichen.</p>
Weitere Informationen	<ul style="list-style-type: none"> » Brüske-Hohlfeld, I., Peters, A., Wichmann, H.-E. (2005), Do Nanoparticles Interfere with Human Health? <i>GAIA, Ecological Perspectives for Science and Society</i> 14/1: 21– 23 » Brüske-Hohlfeld, I., Peters, A. (2008), Epidemiological Studies on Particulate Air Pollution. In: <i>Nanotechnology, Vol. 2: Environmental Aspects</i> (Hrsg.: Krug, H.F. et al.). Weinheim: Wiley-VCH, 267-290 (2008) » Hänninen, O., Brüske-Hohlfeld, I., Loh, M., Stoeger, T., Kreyling, W., Schmid, O. and Peters, A. (2009), Estimation of health risks and safety margins due to inhalation of ultrafine particles and nanoparticles in selected occupational, consumer and environmental settings, <i>Journal of Physics: Conference Series</i> 170, published online doi:10.1088/1742-6596/170/1/012031 » Hänninen, O., Brüske-Hohlfeld, I., Loh, M., Stoeger, T., Kreyling, W., Schmid, O., Peters, A. (2009), Occupational and consumer risk estimates for nanoparticles emitted by laser printers, <i>Journal of Nanoparticle Research</i>, published online doi: 10.1007/s11051-009-9693-z » http://www.nanosafe.org

Name	NEST Particle Risk – Risk Assessment of Exposure to Particles
Förderer	EU
Laufzeit	06/2005 – 05/2008
Aufgabenstellung	Im EU-Projekt „NEST Particle Risk“ wurde eine Studie zu Gesundheitsgefährdungen, die durch neue Typen von Objekten wie Nanotubes oder Fullerene hervorgerufen werden, erstellt. Ebenso entwickelten die Partner Methoden, um die Anwesenheit von Nanoobjekten in lebenden Geweben zu detektieren und zu quantifizieren. Die Aufnahme und der Transport von Nanoobjekten in lebenden Systemen wurde anhand des Modellsystems Maus untersucht. Auch <i>in vivo</i> Toxizität wurde am Mausmodell untersucht; <i>in vitro</i> Tests werden an Zellkulturen durchgeführt werden.
Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> » Eine einzelne Nachweismethode kann keine aussagekräftige Charakterisierung von Nanopartikeln liefern. Die optimale Anzahl der benötigten Nachweismethoden sollte auf der Grundlage der untersuchten Nanopartikel gewählt werden. » Nanopartikel-Biokinetik: Translokation ist abhängig von der Nanopartikelgröße und der Oberflächenladung. » <i>In vivo</i> Pulmonaleffekte: Gold und C₆₀ rufen schwach entzündliche Reaktion hervor. » Genotoxizität: Alle Nanopartikel zeigten bei der Einzelzellgelelektrophorese auf BAL-Zellen drei Stunden nach Einträufelung eine Zunahme der Genotoxizität. » Freisetzung und Risikobewertung: Identifikation und Integration der wichtigsten Lines of evidence (LoE), um die möglichen Ursachen der Gefährdung durch Nanopartikel gemäß dem Weight of evidence (WoE)-Ansatz zu beurteilen. » Bewertung eines Risiko-Index für Nanopartikel auf Grundlage der ermittelten Lines of evidence unter Berücksichtigung der tatsächlichen/potentiellen Anwendungen von Nanopartikeln und den von der Exposition betroffenen menschlichen Gruppen. » Rangliste gefährdender Nanopartikel

Name	NANOTRANSPORT – The Behaviour of Aerosols Released to Ambient Air from Nanoparticle Manufacturing – A Pre-normative Study
Förderer	EU
Laufzeit	09/2006 – 04/2008
Aufgabenstellung	Ziele des Projektes „NANOTRANSPORT“ waren die Untersuchung des Verhaltens von Aerosolen in der Umgebungsluft von Arbeitsplätzen in Betrieben, die Nanomaterialien herstellen bzw. verarbeiten, die Definition realistischer Testbedingungen hinsichtlich der Charakterisierung der Aerosole, die für nanotoxikologische Untersuchungen verwendet werden sollen, und die Testung und Zertifizierung technischer Kontrollsysteme (Feinstaub-Messgeräte, Messgeräte für Emissionen und technische Gase). Es wurde erwartet, dass die in diesem Projekt gewonnenen Erkenntnisse zur Entwicklung von standardisierten Test-Aerosolen dienen.
Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> » Es gibt eine beträchtliche Veränderung der Nanoaerosole im Laufe der Zeit: ihre durchschnittliche Größe nimmt zu, während ihre Konzentration abnimmt. » Natürliche Hintergrundaerosole sind Scavenger für Nanopartikel. » Die Zeitskala für die Veränderung der Aerosolgröße hängt von der Konzentration und der primären Größe der Nanopartikel und des Hintergrundaerosols ab – sie kann zwischen wenigen Minuten bis zu einer halben Stunde differieren. » Nanopartikel verändern sich in ihrer physikalischen/chemischen Größe nach der Emission. » Die Filtereffizienz für primäre Nanopartikel < 80 nm ist üblicherweise ausreichend hoch, ihre Agglomerate befinden sich jedoch im Most Penetrating Particle Size (MPPS)-Bereich zwischen 80 und 200 nm.

Name	DIPNA – Development of an integrated platform for nanoparticle analysis to verify their possible toxicity and the eco-toxicity
Förderer	EU
Laufzeit	11/2006 – 10/2009
Aufgabenstellung	<p>Das Projekt hatte zum Ziel:</p> <ul style="list-style-type: none"> » die Entwicklung eines Zellmodells zur Nanoobjekt-induzierten Immuntoxizität, um die <i>in vivo</i> Befunde zu erklären, » die Durchführung von <i>in vitro</i> Tests zur Wechselwirkung zwischen künstlichen Nanoobjekten und Körperzellen, » die Identifikation der Schlüsselmechanismen der Partikel-Zell-Interaktion und » die Entwicklung von Zellmodellen und deren Anwendung in Felduntersuchungen.
Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> » Die Auswirkungen von Cobalt-, Gold-, Cer-, und Eisenoxid-Nanopartikeln in flüssiger Suspension und im trockenen Zustand auf verschiedene Arten von menschlichen Abwehrzellen wurde <i>in vitro</i> untersucht, um Biomarker für Nanotoxizität und Design-Assays zu identifizieren. » Bei akuter Exposition verursachten die meisten der getesteten Nanopartikel keine relevanten toxischen Wirkungen, noch beeinflussten sie ausgewählte entzündliche Parameter in menschlichen Leukozyten und der Lunge oder den Darmschleimhaut-Epithelzellen. » Zellwachstumshemmung und Produktion von reaktiven Sauerstoff-Spezies wurde nur für Cobalt-Nanopartikel beobachtet und wurde vermutlich durch die Freisetzung von Cobaltionen verursacht und nicht durch eine Nanopartikel-Zell-Interaktion. » Ein automatisiertes Modul-System, bestehend aus einem kontrollierten Inkubator, einem Fluidsystem und optischen Detektoreinheiten, wurde für nanotoxikologische Felduntersuchungen konstruiert. » Ein System für das wiederholte Versprühen von trockenen Nanopartikeln in Luft wurde entwickelt.

Name	NANOSH – Inflammatory and genotoxic effects of engineered nanomaterials“
Förderer	EU
Laufzeit	11/2006 – 04/2010
Aufgabenstellung	<p>Das Ziel dieses Projektes ist die Aufklärung zwischen der Relation der physikalisch-chemischen Eigenschaften von Nanoobjekten (Größe und Oberflächenchemie) und deren möglichen toxischen Potentials auf verschiedene Organe des menschlichen Körpers (Lunge und Verdauungstrakt, Leber, Nieren, Immunsystem). Hierzu sollen nicht nur konventionelle toxikologische Methoden Anwendung finden, sondern auch innovative Methoden wie die der Toxikogenomik. Im Rahmen des Projektes sollen verbindliche Aussagen über mögliche Gesundheitsgefährdungen von Nanoobjekten getroffen werden. Neben den Ergebnissen zur Belastung der Bevölkerung sollen auch Ergebnisse zur Belastung von Arbeitern durch Nanoobjekte erhalten werden.</p>

Name	NANOINTERACT – Development of a platform and toolkit for understanding interactions between nanoparticles and the living world
Förderer	EU
Laufzeit	01/2007 – 12/2009
Aufgabenstellung	<p>Die Ziele des Projektes „NANOINTERACT“ waren die Untersuchung und Beschreibung der Wechselwirkungen zwischen Nanoobjekten und lebenden Zellen: Startend mit der Aufnahme der Partikel in den Körper, über deren Transport, der Art der Aufnahme und Ansammlung in Geweben und Organen bis hin zur vollständigen Aufklärung der Nanoobjekt-Interaktion mit der Einzelzelle. Das Augenmerk ist hierbei gerichtet auf:</p> <ul style="list-style-type: none"> » Möglichkeit des Zelleindringens von Nanoobjekten » Abhängigkeit des Zelleindringens durch die Eigenschaften der Nanoobjekte (Größe, Form und Oberfläche)
Ergebnisse	<p>Das Projekt brachte keine neu identifizierten Gefahren (allein aufgrund nanoskaliger Elemente) für Nanoobjekte hervor, aber es weist auf einige Probleme hin, die weitere Untersuchungen benötigen, insbesondere in Bezug auf die Notwendigkeit einer Prüfung der Angemessenheit von einigen der etablierten OECD (und anderer)-Tests für chemische Toxizität von Nanoobjekten zur Beurteilung der Toxizität.</p> <p>NanoInteract veröffentlichte über 40 Publikationen zu verschiedenen Aspekten der Nanoobjekt-Wechselwirkungen mit lebenden Systemen, einschließlich der Round-Robin-Studien zur Validierung von Testmethoden. Ebenfalls sind 2 Bücher in Vorbereitung.</p>

Name	NanoSafe Textiles
Förderer	TVS Textilverband Schweiz und Empa (CH)
Laufzeit	2007 – 2009
Aufgabenstellung	Ziel dieses Projektes war es, eine Auslegeordnung zu den Entwicklungstrends heutiger und zukünftiger Anwendungen von synthetischen Nanoobjekten in Textilien zu erstellen und mögliche Risiken entlang des Lebenszyklus von textilen Anwendungen aufzudecken.
Ergebnisse	<p>Zitate aus dem Abschlussbericht (Stand März 2010), bezogen auf Nanoobjektmodifizierte Textilien:</p> <p>„Bezüglich der Gesundheit stufen wir basierend auf dem heutigen Wissensstand Nanopartikel aus Silber (Ag), Titandioxid (TiO₂) und Siliziumdioxid (SiO₂) eher als unbedenklich ein.“</p> <p>„Nanopartikel aus Aluminium(hydr)oxid und Montmorillonit können derzeit nicht beurteilt werden, da es einfach keine Studien zu diesen beiden Materialien gibt.“</p> <p>„Bei den Kohlenstoffnanoröhrchen ist eine Beurteilung ebenfalls sehr schwierig, da die Variabilität der verwendeten Materialien sehr groß ist und damit ein direkter Vergleich aller Ergebnisse nicht möglich ist. Hier sind Hinweise sowohl für eine toxische Wirkung als auch für ihre Unbedenklichkeit vorhanden, so dass erst nach einer systematischen Untersuchung dieses Materials zutreffende Aussagen möglich erscheinen.“</p> <p>„Zinkoxid und Carbon Black (Industrieruß) dagegen sind zwei Materialien, die in biologischen Systemen nachgewiesenermaßen Reaktionen hervorrufen können. So können sie Gewebearrieren überschreiten, und es gibt Hinweise auf eine DNA-schädigende Wirkung. Allerdings muss auch in diesen Fällen betont werden, dass die Effekte erst in einem sehr hohen Konzentrationsbereich auftreten. Diese Konzentrationen spielen selbst in Worst-Case-Szenarien nur selten eine Rolle, so dass nicht von einer bedenklichen Situation gesprochen werden kann.“</p>
Weitere Informationen	http://www.swisstextiles.ch/news/allenews/archive-2010/?id=10756

Name	AntiCarb – Monoclonal ANTlbody-targeted CARBon nanotubes against cancer
Förderer	EU
Laufzeit	03/2008 – 08/2011
Aufgabenstellung	Das Ziel von ANTICARB ist das Design und die Entwicklung von Carbon-Nanotube-Antikörper (CNT-Ab)-Konstrukten. Sie werden als neuartige, kombinatorische therapeutische/diagnostische Mittel für die Krebstherapie untersucht.
Ergebnisse	Abschlussreport derzeit in Bearbeitung. Links zu projektbezogenen Publikationen auf der Website.
Weitere Informationen	http://anticarb.org

Name	NanoTEST – Development of methodology for alternative testing strategies for the assessment of the toxicological profile of nanoparticles used in medical diagnostics. To study specific and nonspecific interactions of NP with molecules, cells and organs and to develop in vitro methods which can identify the toxicological potential of nanoparticles.
Förderer	EU
Laufzeit	04/2008 – 09/2011
Aufgabenstellung	Das EU-Projekt NanoTEST hat das Ziel, neue und alternative Testverfahren und Strategien zur Charakterisierung von Nanomaterialien zu entwickeln. Es sollen vor allem Testverfahren für <i>in vitro</i> - und <i>in vivo</i> -Systeme (weiter)entwickelt werden, um so eine bessere Risikobewertung von Nanomaterialien zu erhalten.
Ergebnisse	Projekt lief bis September 2011, noch keine veröffentlichten Ergebnisse

Name	NANOMMUNE – Comprehensive Assessment of Hazardous Effects of Engineered Nanomaterials on the Immune System
Förderer	EU
Laufzeit	09/2008 – 08/2011
Aufgabenstellung	Im Projekt NANOMMUNE wird der Einfluss synthetischer Nanomaterialien auf das Immunsystem und deren mögliche negative Auswirkungen auf die Gesundheit untersucht. Das toxische Potential ausgewählter Nanomaterialien (Gold, Silber, Ceroxid, Eisenoxide u.a.) wird bestimmt.
Ergebnisse	Abschlussreport ist derzeit in Bearbeitung. Erste Erkenntnisse sind u.a.: <ul style="list-style-type: none"> » Neuartige biomedizinische Anwendungen von CNTs sind unter den Bedingungen eines sorgfältigen, kontrollierten biologischen Abbaus möglich. » Das Konsortium stellt ein NANOMMUNE Qualitäts-Handbuch zusammen, in dem aus dem Projekt hervorgegangene Standard Operating Procedure (SOPs) zusammengefasst sind. Das Handbuch wird frei erhältlich sein.
Weitere Informationen	http://www.nanommune.eu (mit Links zu den Publikationen des Projektes)

Name	IANH – International Alliance for NanoEHS Harmonisation
Förderer	Freiwillig, ohne spezielle Förderung
Laufzeit	09/2008 – ca. 2012
Aufgabenstellung	<ul style="list-style-type: none"> » Methoden zur Charakterisierung und zur biologischen Wirkung von Nanomaterialien » Ringversuche zur biologischen Wirkung
Ergebnisse	Die freiwillige Allianz dauert noch an.
Weitere Informationen	http://www.nanoehsalliance.org

Name	NanoImpactNet – European Network on the Health and Environmental Impact of Nanomaterials
Förderer	EU
Laufzeit	04/2008 – 03/2012
Aufgabenstellung	<p>Netzwerk, welches</p> <ul style="list-style-type: none"> » Zusammenarbeit zwischen Projekten fördert » Resultate zu Stakeholdern kommuniziert und deren Bedürfnisse zurück an die Forscher gibt » hilft, den „EU Action Plan for Nanotechnology“ zu implementieren
Ergebnisse	Erstellung und Verbreitung harmonisierter Protokolle für standardisierte Tests
Weitere Informationen	http://www.nanoimpactnet.eu

Name	POCO – Carbon Nanotube Confinement Strategies to Develop Novel Polymer Matrix Composites
Förderer	EU
Laufzeit	11/2008 – 10/2012
Aufgabenstellung	Ermittlung der Gesundheitsaspekte von (funktionalisierten) MWCNT (Multiwalled Carbon Nanotubes) mittels Zellkulturen
Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> » Materialien werden zurzeit geliefert » Effekte auf simple Einzelltyp- und komplexe Mehrzelltypsysteme
Weitere Informationen	http://www.poco-project.org

Name	MAGISTER – MAGnetic Scaffolds for in vivo Tissue EngineeRing
Förderer	EU
Laufzeit	12/2008 – 11/2012
Aufgabenstellung	Ermittlung der Gesundheitsaspekte von (funktionalisierten) magnetischen Nanoobjekten und mit magnetischen Nanoobjekten funktionalisierten Scaffolds mit oder ohne Magnetfelder mittels Zellkulturen
Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> » Effekte auf simple Einzelltyp- und komplexe Mehrzelltypsysteme

Name	NeuroNano – Do nanoparticles induce neurodegenerative diseases? Understanding the origin of reactive oxidative species and protein aggregation and misfolding phenomena in the presence of nanoparticles
Förderer	EU
Laufzeit	02/2009 – 01/2012
Aufgabenstellung	NeuroNano beschäftigt sich mit folgender Fragestellung: „Induzieren Nanoobjekte neurodegenerative Erkrankungen?“ Im Rahmen des Projektes soll die Entstehung von reaktiven oxidativen Spezies, der Protein-Aggregation und dem Fehlfaltungsphänomen in der Gegenwart von Nanoobjekten näher untersucht werden.
Ergebnisse	Projekt noch nicht abgeschlossen, bislang keine veröffentlichten Ergebnisse.
Weitere Informationen	http://www.neuronano.eu

Name	InLiveTox – Intestinal, Liver and Endothelial Nanoparticle Toxicity Development and evaluation of a novel tool for high-throughput data generation
Förderer	EU
Laufzeit	05/2009 – 04/2012
Aufgabenstellung	InLiveTox soll eine Alternativmethode zu Tierversuchen entwickeln, die die Gefahr von aufgenommenen Nanoobjekten ebenso effektiv beurteilen kann. Zudem soll die Grundtoxizität von spezifischen Partikeln zunächst individuell in jedem Zelltyp bestimmt werden und anschließend in Kombination mit anderen Partikeln.
Ergebnisse	Projekt noch nicht abgeschlossen, bislang keine veröffentlichten Ergebnisse.
Weitere Informationen	http://www.napier.ac.uk/randkt/rktcentres/nanosafety/research/people/Pages/InLiveTox.aspx

Name	ENPRA – Risk assessment of engineered Nanoparticles
Förderer	EU
Laufzeit	05/2009 – 10/2012
Aufgabenstellung	Das ENPRA-Projekt beschäftigt sich mit der Entwicklung und Implementierung eines neuen integrativen Ansatzes für die Risikobewertung von Nanoobjekten.
Ergebnisse	Projekt noch nicht abgeschlossen, bislang keine veröffentlichten Ergebnisse.
Weitere Informationen	http://www.enpra.eu

Name	VIGO – Bewertungssystem für biologische Wirkungen von Nanomaterialien
Förderer	CCMX, CH
Laufzeit	2010 – 2013
Aufgabenstellung	Standardisierung von Methoden zu den 4 wichtigsten biologischen Endpunkten: Vitalität, Entzündung, Gentoxizität, Oxidativer Stress
Ergebnisse	Projekt noch nicht abgeschlossen, derzeit keine veröffentlichten Ergebnisse
Weitere Informationen	http://www.ccmx.ch/organisational-structure/matlife/thematic-research-areas.html

Name	NANOGENOTOX – Towards a method for detecting the potential genotoxicity of nanomaterials
Förderer	Mitgliedsstaaten/EU (Joint Action)
Laufzeit	03/2010 – 02/2013
Aufgabenstellung	<p>Untersuchung der Genotoxizität ausgewählter Nanomaterialien. Es werden 15 unterschiedlich modifizierte Nanomaterialien untersucht, auf Basis von Siliciumdioxid (SiO₂), Titandioxid (TiO₂) und Kohlenstoffnanoröhrchen (CNT).</p> <p>Ziel des Projektes ist es weitere Informationen zu den Auswirkungen von den untersuchten Nanomaterialien auf Mensch und Umwelt, durch die Erarbeitung relevanter und zuverlässiger Daten, zur Verfügung zu stellen. Dazu werden u.a. folgende Arbeiten durchgeführt:</p> <ul style="list-style-type: none"> » Unterscheidung spezifischer Gefahren in Bezug auf die physikalischen und chemischen Parameter des Nanomaterials » Aufbau einer Korrelation zwischen genotoxikologischen Daten aus <i>in vivo</i> und <i>in vitro</i> Experimenten und weitere Informationen zur Bioakkumulation von Nanomaterialien durch die Identifizierung der Zielorgane.
Ergebnisse	Projekt noch nicht abgeschlossen, erste Publikationen auf Website
Weitere Informationen	Website mit Links zu ersten Publikationen: http://www.nanogenotox.eu

Die hier gelisteten Projekte¹⁵ sind in der Roadmap auf der folgenden Seite den in Kapitel III.1.1 gestellten Fragen zugeordnet und zeitlich einsortiert worden.

¹⁵ Weitere EU-Projekte siehe auch hier: <http://cordis.europa.eu/nanotechnology/src/safety.htm>

III.2.1.3 Roadmap zur Humantoxikologie und zur Sicherheitsforschung von Nanomaterialien

Projekte anhand der prioritären (DECHEMA/VCI) Forschungsthemen							
Priorität und Beschreibung		2000		2001		2002	
		1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd
1	Untersuchung der entscheidenden Parameter für die toxischen Effekte (Größe, chemische Zusammensetzung, Oberflächen-, Morphologieeffekte, ...)	=> seit 1998: GSF/EPA-Kooperation	GSF/EPA-Kooperation	GSF/EPA-Kooperation	GSF/EPA-Kooperation	GSF/EPA-Kooperation	GSF/EPA-Kooperation
2	Entwicklung und Bewertung von toxikologischen Prüfmethode hinsichtlich ihrer Eignung für die Erkennung unterschiedlicher spezifischer Wirkungen im Körper unter konkreten Praxisbedingungen, z. B. am Arbeitsplatz. Identifikation bzw. Entwicklung geeigneter (neuer) toxikologischer Modelle (<i>in vivo</i> und <i>in vitro</i>), Entwicklung von schnellen Screening-Möglichkeiten zur Untersuchung toxikologischer Effekte bereits in der Entwicklungsphase						
3	Durchführung toxikologischer Studien für andere Stoffe als Titandioxid und Industrieruß	FZK-ITG: internes Forschungsprogramm					
4	Entwicklung von Methoden zur reproduzierbaren Aerosolherstellung im Nanobereich für toxikologische Studien	NanoHealth	NanoHealth	NanoHealth	NanoHealth	NanoHealth	NanoHealth
5	Transport von Nanoobjekten in Zellen hinein und durch Zellen hindurch (Überschreiten von organismischen Schranken – Blut-Hirn-Schranke, Plazentaschranke u.a.m.)	FZK-ITG: internes Forschungsprogramm GSF/EPA-Kooperation	GSF/EPA-Kooperation	GSF/EPA-Kooperation	GSF/EPA-Kooperation CFN	GSF/EPA-Kooperation CFN	GSF/EPA-Kooperation CFN
6	Aufnahmemechanismen von Nanoobjekten über die Haut						
7	Aufnahmemechanismen von Nanoobjekten über die Lunge	GSF/EPA-Kooperation	GSF/EPA-Kooperation	GSF/EPA-Kooperation	GSF/EPA-Kooperation	GSF/EPA-Kooperation NanoHealth	GSF/EPA-Kooperation NanoHealth
8	Untersuchungen zur realen Erscheinungsform (isolierte Nanoobjekte, Agglomerate) und Entwicklung von Methoden zur Erfassung von Art und Konzentration von Nanopartikeln am Arbeitsplatz und in der Umwelt	GSF/EPA-Kooperation NEW	GSF/EPA-Kooperation NEW	GSF/EPA-Kooperation NEW	GSF/EPA-Kooperation NEW	GSF/EPA-Kooperation NEW	GSF/EPA-Kooperation NEW
9	Stabilität von Agglomeraten unter realen technischen Bedingungen						
10	Untersuchungen zur realen Erscheinungsform (isolierte Nanoobjekte, Agglomerate) im Körper						
11	Zerfallsmechanismen von Agglomeraten in Körperflüssigkeit						

Abkürzungen Roadmap:

Ag-NP: Nanosilberpartikel (BMBF), aap Biomaterials GmbH;

ASO: Aerosol-Synthese von Metalloxiden, Univ. Duisburg-Essen;

DFG: SP1313 der Deutschen Forschungsgemeinschaft;

CFN: DFG-Centre for Functional Nanostructures, Karlsruhe;

KIT: F&E Institut für Toxikologie und Genetik des KIT (Karlsruher Institut für Technologie, bis 2009 FZK: Forschungszentrum Karlsruhe);

2003		2004		2005		2006	
1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd
Nanosafe GSF/EPA- Kooperation	Nanosafe GSF/EPA- Kooperation	Nanosafe NanoRisk Canape GSF/EPA- Kooperation	NanoRisk Canape GSF/EPA- Kooperation	Nanotox NanoRisk Canape GSF/EPA- Kooperation	Nanotox NanoRisk Canape GSF/EPA- Kooperation	INOS NanoCare KIT HMGU Nanotox Tracer NanoRisk Canape	INOS NanoCare KIT HMGU Nanotox Tracer CellNanoTox NANOSH NanoRisk Canape
					Nanosafe2	INOS Nanosafe2 HMGU	INOS Nanocare KIT Nanosafe2 HMGU CellNanoTox DIPNA
		NanoRisk Canape	NanoRisk Canape	NanoRisk Canape	KIT Nanosafe2 Particle Risk NanoRisk Canape	INOS Nanocare KIT Nanosafe2 HMGU Particle Risk NanoRisk Canape	INOS Nanocare KIT Nanosafe2 HMGU Particle Risk NanoRisk Canape
NanoHealth	NanoHealth	NanoHealth	NanoHealth	NanoHealth	KIT ASO Nanosafe2 NanoHealth	Nanocare KIT ASO HMGU Nanosafe2 NanoHealth	Nanocare KIT ASO Nanosafe2 HMGU NANO-TRANSPORT NanoHealth
GSF/EPA- Kooperation CFN	GSF/EPA- Kooperation CFN	NanoRisk GSF/EPA- Kooperation CFN	NanoRisk GSF/EPA- Kooperation CFN	NanoRisk GSF/EPA- Kooperation CFN	CFN Nanosafe2 Particle Risk NanoRisk GSF/EPA- Kooperation	CFN Particle Risk Nanosafe2 INOS NanoRisk	CFN Particle Risk Nanosafe2 INOS DIPNA NanoRisk
Nanoderm	Nanoderm	Nanoderm	Nanoderm	Nanoderm	Nanoderm	Nanoderm	
GSF/EPA- Kooperation NanoHealth	GSF/EPA- Kooperation NanoHealth	NanoRisk GSF/EPA- Kooperation NanoHealth	NanoRisk GSF/EPA- Kooperation NanoHealth	HMGU LS NanoRisk GSF/EPA- Kooperation NanoHealth	HMGU LS Nanosafe2 NanoRisk GSF/EPA- Kooperation NanoHealth	HMGU NanoCare Nanosafe2 LS NanoRisk NanoHealth	HMGU Nanocare LS Nanosafe2 CellNanoTox NANOSH NanoRisk NanoHealth
Nanosafe GSF/EPA- Kooperation NEW	Nanosafe GSF/EPA- Kooperation NEW	Nanosafe GSF/EPA- Kooperation NEW	GSF/EPA- Kooperation NEW	Nanosafe2 GSF/EPA- Kooperation NEW IMPART	Nanosafe2 GSF/EPA- Kooperation NEW IMPART	Nanosafe2 NEW IMPART HMGU	Nanosafe2 NEW IMPART HMGU NANOSH
						NanoCare HMGU	Nanocare HMGU
						HMGU NEW Nanosafe2 NanoCare	HMGU NEW Nanosafe2 Nanocare
						Nanocare INOS	Nanocare INOS UniL

HMGU: Helmholtz Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt;

LS: Development of a lung simulator, IUTA, Duisburg;

NEW: Nanopartikel-Exposition am Arbeitsplatz, IUTA, Duisburg;

UniL: Universität Leipzig

III. ANTWORTEN – HUMANTOXIKOLOGIE – ROADMAP

Projekte anhand der prioritären (DECHEMA/VC) Forschungsthemen							
Priorität und Beschreibung		2007		2008		2009	
		1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd
1	Untersuchung der entscheidenden Parameter für die toxischen Effekte (Größe, chemische Zusammensetzung, Oberflächen-, Morphologieeffekte, ...)	INOS Nanocare KIT HMGU Nanotox Tracer CellNanoTox NANOSH EMPA NanoRisk Canape	INOS Nanocare KIT HMGU Nanotox Tracer CellNanoTox NANOSH EMPA Canape	NanoCare INOS TRACER CarboSafe CellNanoTox NANOSH EMPA KIT HMGU Canape	NanoCare INOS TRACER CarboSafe CellNanoTox NANOSH EMPA KIT HMGU IANH	NanoCare TRACER CarboSafe CellNanoTox NANOSH KIT HMGU IANH InLiveTox	NanoCare CarboSafe CellNanoTox AnNa NanoLang NANOSH KIT HMGU IANH InLiveTox
2	Entwicklung und Bewertung von toxikologischen Prüfmethode hinsichtlich ihrer Eignung für die Erkennung unterschiedlicher spezifischer Wirkungen im Körper unter konkreten Praxisbedingungen, z. B. am Arbeitsplatz. Identifikation bzw. Entwicklung geeigneter (neuer) toxikologischer Modelle (<i>in vivo</i> und <i>in vitro</i>), Entwicklung von schnellen Screening-Möglichkeiten zur Untersuchung toxikologischer Effekte bereits in der Entwicklungsphase	INOS Nanocare KIT Nanosafe2 HMGU CellNanoTox DIPNA NanolInteract EMPA	INOS Nanocare KIT Nanosafe2 HMGU CellNanoTox DIPNA NanolInteract EMPA	INOS Nanocare KIT Nanosafe2 HMGU CellNanoTox DIPNA NanolInteract EMPA	INOS Nanosafe2 CellNanoTox DIPNA NanolInteract NANOMMUNE KIT EMPA HMGU NanolImpactNet	Nanosafe2 CellNanoTox DIPNA NanolInteract NANOMMUNE KIT HMGU NanolImpactNet InLiveTox	CellNanoTox DIPNA NanolInteract NANOMMUNE KIT HMGU NanolImpactNet InLiveTox
3	Durchführung toxikologischer Studien für andere Stoffe als Titandioxid und Industrieruß	INOS Nanocare KIT Nanosafe2 HMGU Particle Risk EMPA NanoRisk Canape Nanosafe Tex.	INOS Nanocare KIT Nanosafe2 HMGU Particle Risk EMPA Canapoe Nanosafe Tex.	Nanocare Nanosafe2 HMGU Particle Risk INOS CarboSafe EMPA KIT Canape AntiCarb POCO MAGISTER Nanosafe Tex.	Nanosafe2 Particle Risk INOS CarboSafe EMPA KIT HMGU AntiCarb POCO MAGISTER Nanosafe Tex.	Nanosafe2 CarboSafe NanoTEST KIT HMGU AntiCarb POCO MAGISTER Nanosafe Tex.	CarboSafe AnNa NanoLang NanoTEST KIT HMGU AntiCarb POCO MAGISTER Nanosafe Tex.
4	Entwicklung von Methoden zur reproduzierbaren Aerosolherstellung im Nanobereich für toxikologische Studien	Nanocare KIT ASO Nanosafe2 HMGU NANO-TRANSPORT NanoHealth	Nanocare KIT ASO Nanosafe2 HMGU NANO-TRANSPORT NanoHealth	Nanosafe2 NANO-TRANSPORT KIT HMGU NanoHealth	Nanosafe2 KIT HMGU NanoHealth	Nanosafe2 KIT HMGU	KIT HMGU
5	Transport von Nanoobjekten in Zellen hinein und durch Zellen hindurch (Überschreiten von organismischen Schranken – Blut-Hirn-Schranke, Plazentaschranke u.a.m.)	CFN Particle Risk Nanosafe2 INOS DIPNA NanoRisk	CFN Particle Risk DFG Nanosafe2 INOS DIPNA	CFN Particle Risk DFG INOS Nanosafe2 DIPNA NanoTEST EMPA POCO MAGISTER	CFN Particle Risk DFG INOS Nanosafe2 DIPNA NanoTEST EMPA KIT POCO MAGISTER	CFN Nanosafe2 DFG DIPNA NanoTEST KIT POCO MAGISTER NeuroNano InLiveTox	CFN DFG DIPNA NanoTEST KIT POCO MAGISTER NeuroNano InLiveTox
6	Aufnahmemechanismen von Nanoobjekten über die Haut						
7	Aufnahmemechanismen von Nanoobjekten über die Lunge	HMGU Nanocare LS Nanosafe2 CellNanoTox NanolInteract NANOSH NanoRisk NanoHealth	HMGU Nanocare LS Nanosafe2 CellNanoTox NanolInteract NANOSH NanoHealth	Nanocare LS Nanosafe2 CellNanoTox NanolInteract NANOSH HMGU NanoHealth	Nanocare LS Nanosafe2 CellNanoTox NanolInteract NANOSH HMGU NanoHealth	Nanosafe2 CellNanoTox NanolInteract NANOSH HMGU	CellNanoTox NanolInteract NANOSH HMGU
8	Untersuchungen zur realen Erscheinungsform (isolierte Nanoobjekte, Agglomerate) und Entwicklung von Methoden zur Erfassung von Art und Konzentration von Nanopartikeln am Arbeitsplatz und in der Umwelt	Nanosafe2 NEW IMPART HMGU NANOSH	Nanosafe2 NEW IMPART HMGU NANOSH NanoExpo(BY) NanoGesund	Nanosafe2 NEW IMPART DFG CarboSafe NANOSH NanoExpo(BY) NanoGesund HMGU	Nanosafe2 NEW IMPART DFG CarboSafe NANOMMUNE NANOSH NanoExpo(BY) NanoGesund HMGU	Nanosafe2 NEW DFG CarboSafe NANOMMUNE NANOSH NanoExpo(BY) NanoGesund HMGU NanoHouse	NEW DFG CarboSafe NANOMMUNE NANOSH NanoExpo(BY) NanoGesund NanoHouse
9	Stabilität von Agglomeraten unter realen technischen Bedingungen	Nanocare HMGU	Nanocare HMGU	Nanocare HMGU	Nanocare HMGU	HMGU	HMGU
10	Untersuchungen zur realen Erscheinungsform (isolierte Nanoobjekte, Agglomerate) im Körper	HMGU NEW Nanosafe2 Nanocare	HMGU NEW Nanosafe2 Nanocare	HMGU NEW Nanosafe2 Nanocare	HMGU NEW Nanosafe2 Nanocare	Nanosafe2 HMGU	LENA HMGU
11	Zerfallsmechanismen von Agglomeraten in Körperflüssigkeit	Nanocare INOS UniL	Nanocare INOS UniL	Nanocare INOS HMGU UniL	Nanocare INOS HMGU UniL	Nanocare HMGU UniL	HMGU UniL

III. ANTWORTEN – HUMANTOXIKOLOGIE – ROADMAP

2010		2011		2012		2013	
1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd
CarboSafe AnNa NanoLang KIT HMGU IANH InLiveTox NANOGENOTOX	CarboSafe AnNa NanoLang KIT HMGU NanoGEM IANH InLiveTox Carbon Black CarboTox NanoKon NanoMed NANOGENOTOX	CarboSafe AnNa NanoLang KIT HMGU NanoGEM IANH InLiveTox Carbon Black CarboTox NanoKon NanoMed NANOGENOTOX	CarboSafe AnNa NanoLang KIT HMGU NanoGEM IANH InLiveTox Carbon Black CarboTox NanoKon NanoMed NANOGENOTOX	CarboSafe NanoLang NanoGEM IANH InLiveTox Carbon Black CarboTox NanoKon NanoMed NANOGENOTOX	NanoGEM Carbon Black CarboTox NanoKon NanoMed NANOGENOTOX	NanoGEM Carbon Black CarboTox NanoKon NanoMed NANOGENOTOX	NanoGEM Carbon Black CarboTox NanoKon NanoMed
NANOMMUNE KIT HMGU NanoImpactNet InLiveTox VIGO NANOGENOTOX	NANOMMUNE KIT HMGU NanoImpactNet InLiveTox VIGO CarboTox NanoMed NANOGENOTOX	NANOMMUNE KIT HMGU NanoImpactNet InLiveTox VIGO CarboTox NanoMed NANOGENOTOX	NANOMMUNE KIT HMGU NanoImpactNet InLiveTox VIGO CarboTox NanoMed NANOGENOTOX	NanoImpactNet InLiveTox VIGO CarboTox NanoMed NANOGENOTOX	VIGO CarboTox NanoMed NANOGENOTOX	CarboTox NanoMed NANOGENOTOX	CarboTox NanoMed
CarboSafe AnNa NanoLang NanoTEST KIT HMGU AntiCarb POCO MAGISTER NANOGENOTOX	CarboSafe AnNa NanoLang NanoTEST KIT HMGU AntiCarb POCO MAGISTER CarboTox NanoKon NanoMed Ag-NP NANOGENOTOX	CarboSafe AnNa NanoLang NanoTEST KIT HMGU AntiCarb POCO MAGISTER CarboTox NanoKon NanoMed Ag-NP NANOGENOTOX	CarboSafe AnNa NanoLang NanoTEST KIT HMGU AntiCarb POCO MAGISTER CarboTox NanoKon NanoMed Ag-NP NANOGENOTOX	CarboSafe NanoLang POCO MAGISTER KIT HMGU POCO MAGISTER CarboTox NanoKon NanoMed Ag-NP NANOGENOTOX	CarboTox NanoKon NanoMed Ag-NP NANOGENOTOX	CarboTox NanoKon NanoMed NANOGENOTOX	CarboTox NanoKon NanoMed
KIT HMGU	KIT HMGU Carbon Black	KIT HMGU Carbon Black	KIT HMGU Carbon Black	Carbon Black	Carbon Black	Carbon Black	Carbon Black
CFN DFG NanoTEST KIT POCO MAGISTER NeuroNano InLiveTox	CFN DFG NanoTEST KIT POCO MAGISTER NeuroNano InLiveTox Carbon Black NanoKon NanoMed	CFN DFG NanoTEST KIT POCO MAGISTER NeuroNano InLiveTox Carbon Black NanoKon NanoMed	CFN DFG NanoTEST KIT POCO MAGISTER NeuroNano InLiveTox Carbon Black NanoKon NanoMed	CFN DFG POCO MAGISTER NeuroNano InLiveTox Carbon Black NanoKon NanoMed	CFN DFG Carbon Black NanoKon NanoMed	DFG Carbon Black NanoKon NanoMed	DFG Carbon Black NanoKon NanoMed
HMGU	HMGU Carbon Black	HMGU Carbon Black	HMGU Carbon Black	Carbon Black	Carbon Black	Carbon Black	Carbon Black
NEW DFG CarboSafe NANOMMUNE NanoExpo(BY) NanoGesund NanoHouse NanoExpo (BMBF)	NEW DFG CarboSafe NANOMMUNE NanoExpo(BY) NanoGesund NanoHouse NanoExpo (BMBF)	DFG CarboSafe NanoHouse NanoExpo (BMBF)	DFG CarboSafe NanoHouse NanoExpo (BMBF)	DFG CarboSafe NanoHouse NNanoExpo (BMBF)	DFG NanoHouse NanoExpo (BMBF)	DFG NanoExpo (BMBF)	DFG
HMGU	HMGU	HMGU	HMGU				
LENA HMGU	LENA HMGU NanoKon Ag-NP	LENA HMGU NanoKon Ag-NP	LENA HMGU NanoKon Ag-NP	LENA NanoKon Ag-NP	LENA NanoKon Ag-NP	NanoKon	NanoKon
HMGU UniL	HMGU UniL NanoMed	HMGU UniL NanoMed	HMGU UniL NanoMed	NanoMed	NanoMed	NanoMed	NanoMed

III.2.2 Überblick über Projekte zur ökologiebezogenen Sicherheitsforschung von Nanomaterialien

nationalen Forschungsprojekten wegen der besseren Datenzugänglichkeit.

Auch hier werden wieder nationale und internationale Projektergebnisse dargestellt. Entsprechend der Vorgehensweise in Kapitel III.2.1 liegt wieder der Schwerpunkt auf den

(Weitere Projekte, die neben Umwelt- auch Human-Toxikologieaspekte berühren, finden sich in den vorhergehenden Kapiteln.)

III.2.2.1 Nationale Forschungsprojekte

Name	NanoFlow – Mobilität synthetischer Nanopartikel im wassergesättigten und variabel wassergesättigten Untergrund
Förderer	BMBF
Laufzeit	10/2009 – 09/2012
Aufgabenstellung	Thema des Vorhabens NanoFlow ist die Erforschung der Auswirkung synthetischer Nanoobjekte auf die Umwelt. Im Fokus stehen das Verhalten und die Wirkung von Materialien sowie von Produkten mit integrierten funktionalen Nanomaterialien im Boden und Grundwasser. Dazu werden grundlegende Techniken und Standardtestverfahren zur Bestimmung relevanter Wirkmechanismen und -schwellen erarbeitet, mit denen die Beweglichkeit von Nanomaterialien im Untergrund studiert werden soll. Die Ergebnisse werden als Grundlage für die Ableitung von Gesetzmäßigkeiten zur Mobilität, Stabilität und den Wechselbeziehungen von untersuchten Materialien mit Boden und Wasser dienen. Ziel ist die Entwicklung von Modellen zur Risikoabschätzung bei der Verbreitung von Nanoobjekten in Boden und Grundwasserleitern.
Ergebnisse	Projekt noch nicht abgeschlossen, bislang keine veröffentlichten Ergebnisse.
Weitere Informationen	» http://webserver.lih.rwth-aachen.de/content/e35/e1049/ » Neukum, C., Klumpp, E., Pütz, T., Klein, T., Azzam, R. (2010): NANOFLOW: Mobilität synthetischer Nanopartikel im Untergrund – Projektvorstellung in: <i>Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften</i> 67, 151

Name	AnNa (Roadmap-Acronym) – Anwendung zweier am häufigsten verwendeter Nanomaterialien wie Titandioxid und Silber in den grundlegenden Testverfahren zur Charakterisierung dieser Substanzen
Förderer	UBA
Laufzeit	10/2009 – 11/2011
Aufgabenstellung	Verschiedene Nanomaterialien werden hinsichtlich ihrer akuten Ökotoxizität auf aquatische und terrestrische Organismen nach standardisierten Richtlinien untersucht. Ziel ist nicht allein die Ermittlung von schädlicher Wirkung auf die Umwelt, sondern auch die Anpassung standardisierter Testverfahren an die besonderen Eigenschaften von Nanomaterialien.
Ergebnisse	Projekt noch nicht abgeschlossen, bislang keine veröffentlichten Ergebnisse.

Name	NanoLang (Roadmap-Acronym) – Prüfung ausgewählter Nanomaterialien hinsichtlich ihrer ökotoxikologischen Langzeitwirkungen – Anpassung der Prüfverfahren“
Förderer	UBA
Laufzeit	10/2009 – 02/2012
Aufgabenstellung	Das Projekt beschäftigt sich mit Langzeiteffekten von Nanomaterialien auf die Umwelt. Auch hier sollen die angewandten standardisierten Tests an Nanomaterialien angepasst werden.
Ergebnisse	Projekt noch nicht abgeschlossen, bislang keine veröffentlichten Ergebnisse.

Name	UmRiNa (Roadmap-Acronym) – Umweltrisiken von Nanomaterialien: Untersuchung des Verhaltens ausgewählter Nanomaterialien unter Umweltbedingungen in Abhängigkeit von Form, Größe und Oberflächengestaltung
Förderer	UBA
Laufzeit	10/2009 – 10/2011
Aufgabenstellung	In dem Projekt werden standardisierte Testverfahren (OECD-Guidelines) in Hinblick auf die Anwendbarkeit für Nanomaterialien getestet und gegebenenfalls Modifikationen erarbeitet und vorgeschlagen. Die mit diesen Methoden erhaltenen Ergebnisse liefern weiterhin Ergebnisse zum Verhalten und Mobilität von Nanomaterialien in der Umwelt.
Ergebnisse	<p>Wesentliche Punkte, die sich in dem Projekt zeigen sind z.B.</p> <ul style="list-style-type: none"> » Stabile Suspensionen der Nanomaterialien in für die Studien notwendigen Flüssigkeiten sind nicht mit einer Dispersionsvorschrift zu erfassen, » die Kläranalgenexperimente zeigen ein hohes Rückhaltevermögen von Nanomaterialien; Einige wenige Prozent des zugegebenen Nanomaterials verlässt die Anlage mit dem Abfluss; » die Transportuntersuchungen von Nanomaterialien in Böden zeigen eine Akkumulation in den obersten Bodenschichten in den Säulenexperimenten. <p>Diese und weitere Ergebnisse werden im Abschlussbericht im Oktober 2011 einem Fachgremium vorgestellt und anschließend veröffentlicht.</p>

Name	Nano-gTC (Roadmap-Acronym) – Anwendung zweier am häufigsten verwendeter Nanomaterialien wie TiO ₂ und Silber in den grundlegenden Testverfahren zur Charakterisierung dieser Substanzen
Förderer	UBA
Laufzeit	10/2009 – 02/2012
Aufgabenstellung	Das Projekt befasst sich mit der Anwendung und möglicherweise notwendigen Anpassung verschiedener OECD-Richtlinien zur ökotoxikologischen Untersuchung von Nanomaterialien. Es kommen dazu exemplarisch verschiedene nanoskalige Titandioxidmaterialien, als auch ein Nanosilbermaterial zum Einsatz. Dabei werden die Umweltkompartimente Wasser, Boden, Sediment betrachtet.
Ergebnisse	Werden erst nach Endberichtserstellung und Rücksprache mit dem UBA verfügbar

Name	Fe-NANOSIT – Eisenbasierte Nanopartikel und Nanokompositstrukturen zur Schadstoffentfernung aus Grund- und Abwässern
Förderer	BMBF
Laufzeit	05/2010 – 04/2013
Aufgabenstellung	Ziel des Projektes Fe-NANOSIT ist die Entwicklung neuer energie- und ressourcenschonender Reinigungstechnologien zur Ab- und Grundwasserreinigung. Dazu sollen reaktive Nanomaterialien eingesetzt werden, um das hohe Potential der Nanotechnologie für die Wasserreinigung verstärkt zu nutzen. Im Zentrum der Arbeiten stehen maßgeschneiderte, neuartige und reaktive Nanoobjekte auf der Basis von Eisen/Kohlenstoff-Kompositen sowie magnetischer Nanokatalysatoren. Die Regenerierung kontaminierter Wasserressourcen mit Hilfe der neuen Materialien soll einfach handhabbar sein, nur niedrige Kosten verursachen und kurze Sanierungszeiten erfordern. Der wirtschaftliche Nutzen der neuen Verfahren zur Grund- und Abwasserreinigung soll vor allem kleinen und mittelständischen Unternehmen zugutekommen. Im Rahmen der geplanten Arbeiten sind für die neuen Nanomaterialien eine umfassende Risikobewertung und eine ökotoxikologische Bewertung vorgesehen.
Ergebnisse	Projekt noch nicht abgeschlossen, bislang keine veröffentlichten Ergebnisse.
Weitere Informationen	http://www.nanopartikel.info/cms/Projekte/Fe-NANOSIT

Name	NAPASAN – Einsatz von Nano-Partikeln zur Sanierung von Grundwasserschadensfällen
Förderer	BMBF
Laufzeit	05/2010 – 04/2013
Aufgabenstellung	Ziel des Vorhabens NAPASAN ist es, Herstellungsprozesse von Nanoobjekten (Eisen und Nichteisenmetalle) unter Berücksichtigung von abzureinigenden Schadstoffen und ökonomischen Gesichtspunkten weiterzuentwickeln. Die Partikel müssen so modifiziert werden, dass ein Transport in der Bodenzone ermöglicht und ein Kontakt mit den Schadstoffen und damit deren Abbau gewährleistet wird. Parallel hierzu soll eine Gefahrenabschätzung der Anwendung dieser Nanoobjekte vorgenommen sowie der Nachweis ihrer sicheren Anwendung für den Sanierungserfolg erbracht werden.
Ergebnisse	Projekt noch nicht abgeschlossen, bislang keine veröffentlichten Ergebnisse.
Weitere Informationen	http://www.napasan.de

Name	NanoKiesel – Nanoskaliger Kieselsäureschlamm – Technologieentwicklungen zur Verwertung in mineralischen Baustoffen mit dem Ziel der Verbesserung der Werkstoffeigenschaften
Förderer	BMBF
Laufzeit	05/2010 – 04/2012
Aufgabenstellung	Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines Verwertungsverfahrens für nanoskaligen Kieselsäureschlamm aus der Abwasserbehandlung in der Industrie und der Einsatz dieses Nano-Reststoffs in Baustoffen zur Verbesserung der Werkstoffeigenschaften. Dazu gehören die Entwicklung einer Aufbereitungstechnologie und die Untersuchung verschiedener Anwendungsmöglichkeiten im Bauwesen. Das Projekt beinhaltet die Entwicklung der Maschinen- und Anlagentechnik zum Aufbereiten der Filtrerrückstände mit dem Ziel einer Anpassung für den anschließenden Einsatz in den verschiedenen Baustoffen (Ziegel, Beton, Putz, Mörtel). Der Umgang mit Kieselsäureabfällen während der Aufbereitung und Verarbeitung wird ökotoxikologisch bewertet, um für den nanoskaligen Reststoff Anforderungen an den Gesundheits- und Umweltschutz zu definieren.
Ergebnisse	Projekt noch nicht abgeschlossen, bislang keine veröffentlichten Ergebnisse.
Weitere Informationen	http://www.nanopartikel.info/cms/Projekte/NanoKiesel

Name	NanoSan – Nanotechnologisches Sanierungsverfahren – <i>In situ</i> Anwendung von Eisenoxid-Nanopartikeln zur Elimination von Schadstoffen in Altlasten
Förderer	BMBF
Laufzeit	07/2010 – 06/2013
Aufgabenstellung	Im Rahmen des Vorhabens NanoSan soll ein neues Verfahren zur biologischen <i>in situ</i> -Sanierung von Benzin- und Teeröl-Grundwasserschäden entwickelt werden. In kontaminierten Grundwasserleitern kann das Potential einer natürlichen Selbstreinigung durch Mikroorganismen oft nicht genutzt werden, da das reichlich vorhandene Eisen(III), das als Stimulans für den biologischen Abbau fungieren kann, nicht bioverfügbar ist. Durch Einsatz von speziellen, ökotoxikologisch geprüften Eisenoxid-Nanopartikeln direkt am Schadensherd soll die Bioverfügbarkeit verbessert und damit eine innovative <i>in situ</i> -Sanierungsmethode erarbeitet werden. Diese neue Methode ist im Grundsatz erheblich effizienter, kostengünstiger und umweltschonender als bisherige konservative Verfahren.
Ergebnisse	Projekt noch nicht abgeschlossen, bislang keine veröffentlichten Ergebnisse.
Weitere Informationen	http://www.nanopartikel.info/cms/Projekte/NanoSan

Name	MVV-Nano (Roadmap-Acronym) – Mobilität, Verhalten und Verbleib von Nanomaterialien in den verschiedenen Umweltmedien
Förderer	UBA
Laufzeit	10/2010 – 08/2012
Aufgabenstellung	<p>Folgeprojekt von UmRiNa, mit folgenden Schwerpunkten:</p> <ul style="list-style-type: none"> » Untersuchung des Einflusses von Coatings von Nanoobjekten auf deren Verhalten in der Umwelt, » Untersuchung der Stabilität der Coatings von Nanomaterialien unter Umweltbedingungen bzw. Entwicklung von Verfahren zur Analyse des Coatings, » Betrachtung der Mobilisierung von Schadstoffen, der Bindung von Nährstoffen oder der möglichen Wirkung als Katalysatoren beim Transport von Nanomaterialien in Böden.
Ergebnisse	Es stehen noch keine veröffentlichte Ergebnisse zur Verfügung

Name	Nanorisk (UBA) – Umweltrisiken durch Nanomaterialien unter Beachtung relevanter Expositionsszenarien
Förderer	UBA
Laufzeit	11/2010 – 06/2013
Aufgabenstellung	<p>Innerhalb des Projektes sollen mehrere OECD-Richtlinien auf ihre Anwendbarkeit für die Bewertung von Nanomaterialien überprüft und gegebenenfalls weiterentwickelt werden. Für eine realistische Risikobewertung von nano-TiO₂ werden Test auf verschiedenen trophischen Ebenen (Bakterien, Wasserfloh, Fisch, Wurm), auf verschiedenen Effektebenen (Atmung, Mobilität, embryonale Entwicklung, Reproduktion) sowie in verschiedenen Umweltkompartimenten (Belebtschlamm, Wasser, Boden) durchgeführt. Zudem sollen die Kombinationswirkung von TiO₂-Partikeln und einer umweltrelevanten Chemikalie bezüglich der Effekte auf Organismen untersucht werden.</p>
Ergebnisse	Projekt noch nicht abgeschlossen, bislang keine veröffentlichten Ergebnisse.

III.2.2.2 Europäische Forschungsprojekte

Name	NanoSafe Textiles
Förderer	TVS Textilverband Schweiz und Empa (CH)
Laufzeit	2007 – 2009
Aufgabenstellung	Ziel dieses Projektes war es, eine Auslegeordnung zu den Entwicklungstrends heutiger und zukünftiger Anwendungen von synthetischen Nanoobjekten in Textilien zu erstellen und mögliche Risiken entlang des Lebenszyklus von textilen Anwendungen aufzudecken.
Ergebnisse	Zitate aus dem Abschlussbericht (Stand März 2010), bezogen auf umweltbezogene Aspekte von nanoobjektmodifizierten Textilien ¹⁶ : „Bezüglich der Umwelt ergibt sich ein etwas anderes Bild im Vergleich zur Gesundheit. Siliziumdioxid, Aluminium(hydr)oxide, Montmorillonit, CNT und CB [Anm. d. Red.: Industrieruß, Carbon Black] scheinen eher unbedenklich zu sein, während Silber und ZnO [Anm. d. Red.: Zinkoxid] problematischer sind, vor allem, da sie sich auflösen und das gelöste Ion bekanntermaßen eine toxische Wirkung auf Organismen hat. Bei TiO ₂ spielt die Auflösung zwar keine Rolle, doch wird es in relativ hohen Mengen eingesetzt und ist dasjenige NP [Anm. d. Red.: Nanopartikel], bei welchem Effekte in einigen Studien schon bei recht niedrigen Konzentrationen beobachtet werden konnten. Jedoch sind diese Effekte immer noch relativ schwach, verglichen zum Beispiel mit einigen in der Schweiz zugelassenen Pestiziden. Diese Einschätzungen müssen neu angepasst werden, je nachdem, wie viele neue Nano-Produkte mit welchen spezifischen Lebenszyklen auf den Markt kommen.“
Weitere Informationen	http://www.swisstextiles.ch/news/allenews/archive-2010/?id=10756

Name	EXPO (Roadmap-Acronym) – Expositionsmodellierung von technischen Nanopartikeln in der Umwelt
Förderer	Empa (CH)
Laufzeit	2008
Aufgabenstellung	In der „Expositionsmodellierung von technischen Nanopartikeln in der Umwelt“ (EXPO), die an der Empa in St. Gallen durchgeführt wurde, werden die Bewegungen der Nanoobjekte während des gesamten Lebenszyklus von Nano-Produkten verfolgt und es wird geschätzt, wann eine Freisetzung von Nanoobjekten auftreten kann, z. B. während der Produktion, Verwendung oder Entsorgung eines Produktes. Diese Lebenszyklus-Modellierung sollte nicht mit Lebenszyklus-Analyse (LCA), die die Untersuchung und Bewertung der Umweltauswirkungen eines Produktes oder einer Dienstleistung ist, verwechselt werden. Untersucht wurden Nano-Silber, Nano-TiO ₂ und Kohlenstoff-Nanoröhren (CNT).
Ergebnisse	Der neue Modellierungs-Ansatz dieser Arbeiten bietet einen quantitativen Ausgangspunkt für die Diskussion über die ökologischen Auswirkungen von Nanoobjekten. Die Ergebnisse dienen als eine erste Grundlage, um ökotoxikologische Daten zu vergleichen und Wissenschaftlern zu helfen, Experimente zu entwickeln, die natürliche Bedingungen nachahmen.
Weitere Informationen	<i>Environ. Sci. Technol.</i> , 2008, 42 (12), pp 4447–4453

¹⁶ Zu humantoxikologischen Aspekten s. Kapitel III.2.1.2

Name	ENNSATOX – Engineered Nanoparticle Impact on Aquatic Environments: Structure, Activity and Toxicology
Förderer	EU
Laufzeit	07/2009 – 06/2012
Aufgabenstellung	Das Ziel ist die Untersuchung und Zuordnung der Struktur und Funktionalität von vollständig charakterisierten synthetischen Nanoobjekten zu ihrer biologischen Aktivität in aquatischen Umgebungen, unter Berücksichtigung des Einflusses von Nanoobjekten auf ökologische Systeme von Beginn ihrer Freisetzung an bis zur Aufnahme durch Umweltorganismen.
Ergebnisse	Projekt noch nicht abgeschlossen, bislang keine veröffentlichten Ergebnisse.
Weitere Informationen	http://www.ennsatox.eu

Die hier gelisteten Projekte sind auf der folgenden Seite den in Kapitel III.1.2 gestellten Fragen zugeordnet und zeitlich einsortiert worden. Sofern in den Projekten zur Humantoxikologie ebenfalls ökotoxikologische oder Expositions-Untersuchungen zuzuordnen waren, sind diese Projekte ebenfalls in der Tabelle aufgeführt.

III.2.2.3 Roadmap zu umweltbezogenen Sicherheitsaspekten sowie zur Freisetzung von Nanoobjekten

Laufende Nummer und Beschreibung		2005		2006		2007		2008	
		1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd
Entwicklung von Methodologien für die Überprüfung von Effekten									
1	Entwicklung von global harmonisierten Methoden für die Messung des Umwelteinflusses und der Ökotoxizität (Standardisierung erforderlich)							CarboSafe	CarboSafe
2	Identifikation und Vorbereitung von Referenz-Nanoobjekten								
Substanzeigenschaften									
3	Bestimmung der Agglomeration/ Segregation von spezifischen Nanoobjekten (Stabilität des Nanoobjekts), Generalisierung der Resultate, um ein Standardmodell für Agglomeration/ Segregation zu entwickeln			NanoTox	NanoTox	NanoTox	NanoTox	CarboSafe	CarboSafe
4	Aspekte zum Lebenszyklus (Beseitigung von Stäuben, Recycling)					Nanosafe-Textiles	Nanosafe-Textiles	Expo CarboSafe Nanosafe-Textiles	CarboSafe Nanosafe-Textiles
Verhalten und Schicksal in der Umwelt									
5	Bestimmungen der Mobilität von persistenten, technischen Nanoobjekten in Oberflächenwässern, Grundwässern und Böden (Deposition, Mobilisation, Adsorption, Desorption, Kinetik, Verteilung, Morphologie) und der wesentlichen Parameter zur Festlegung ihrer Mobilität			NanoTox	NanoTox	NanoTox	NanoTox	CarboSafe	CarboSafe
6	Entwicklung von Methodologien mit deren Hilfe Nanoobjekte in der Umwelt (Luft, Wasser, Boden) bei relevanten (z.B. niedrigen) Konzentrationen identifiziert und quantitativ bestimmt werden können	NEW	NEW	NEW	NEW Nanotransport	NEW Nanotransport	NEW Nanotransport	NEW Nanotransport CarboSafe	NEW CarboSafe
7	Bestimmung der Hintergrundlast an Nanoobjekten in der Umwelt, um den Beitrag anthropogener Quellen abschätzen zu können							CarboSafe	CarboSafe
Effekte auf Organismen									
8	Untersuchung der Aufnahme von persistenten Nanoobjekten durch lebende Organismen/Mikroorganismen (<i>in vivo</i> und <i>in vitro</i>). Zusammenstellung der Information zu Toxikokinetik, Deposition und Akkumulation von persistenten Nanoobjekten und/oder Erfassung der Wirkung in ökotoxikologischen Tests			INOS	INOS	INOS	INOS	INOS DFG CarboSafe	INOS DFG CarboSafe

Abkürzungen in der Tabelle:

DFG: SP1313 der Deutschen Forschungsgemeinschaft

NEW: Nanopartikel-Exposition am Arbeitsplatz, IUTA, Duisburg

ansonsten sind die Kürzel aus den Projektbeschreibungen ersichtlich

III. ANTWORTEN – ÖKOTOXIKOLOGIE – ROADMAP

2009		2010		2011		2012		2013	
1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd
CarboSafe	UmRiNa AnNa NanoLang CarboSafe ENNSATOX	UmRiNa AnNa NanoLang CarboSafe NanoPharm NanoTrack UMSICHT ENNSATOX	UmRiNa AnNa NanoLang CarboSafe NanoPharm NanoSan NanoTrack UMSICHT CarboLifeCycle MVV-Nano ENNSATOX	UmRiNa AnNa NanoLang CarboSafe NanoPharm NanoSan NanoTrack UMSICHT CarboLifeCycle MVV-Nano ENNSATOX	UmRiNa AnNa NanoLang CarboSafe NanoPharm NanoSan NanoTrack UMSICHT CarboLifeCycle MVV-Nano ENNSATOX	CarboSafe NanoPharm NanoSan NanoTrack UMSICHT CarboLifeCycle MVV-Nano ENNSATOX	NanoPharm NanoSan NanoTrack UMSICHT CarboLifeCycle MVV-Nano	NanoPharm NanoSan NanoTrack UMSICHT CarboLifeCycle	CarboLifeCycle
		UMSICHT	UMSICHT	UMSICHT	UMSICHT	UMSICHT	UMSICHT	UMSICHT	
CarboSafe	CarboSafe	CarboSafe UMSICHT	CarboSafe UMSICHT CarboLifeCycle	CarboSafe UMSICHT CarboLifeCycle	CarboSafe UMSICHT CarboLifeCycle	CarboSafe UMSICHT CarboLifeCycle	UMSICHT CarboLifeCycle	UMSICHT CarboLifeCycle	CarboLifeCycle
CarboSafe Nanosafe- Textiles	UmRiNa CarboSafe Nanosafe- Textiles	UmRiNa CarboSafe NanoTrack UMSICHT NanoKiesel	UmRiNa CarboSafe NanoTrack UMSICHT NanoKiesel CarboLifeCycle MVV-Nano	UmRiNa CarboSafe NanoTrack UMSICHT NanoKiesel CarboLifeCycle MVV-Nano	UmRiNa CarboSafe NanoTrack UMSICHT NanoKiesel CarboLifeCycle MVV-Nano	CarboSafe NanoTrack UMSICHT NanoKiesel CarboLifeCycle MVV-Nano	NanoTrack UMSICHT CarboLifeCycle MVV-Nano	NanoTrack UMSICHT CarboLifeCycle	CarboLifeCycle
CarboSafe	CarboSafe UmRiNa NanoFlow	CarboSafe UmRiNa NanoFlow NAPASAN UMSICHT	CarboSafe UmRiNa NanoFlow NAPASAN UMSICHT CarboLifeCycle MVV-Nano	CarboSafe UmRiNa NanoFlow NAPASAN UMSICHT CarboLifeCycle MVV-Nano	CarboSafe UmRiNa NanoFlow NAPASAN UMSICHT CarboLifeCycle MVV-Nano	CarboSafe NanoFlow NAPASAN UMSICHT CarboLifeCycle MVV-Nano	NanoFlow NAPASAN UMSICHT CarboLifeCycle MVV-Nano	NAPASAN UMSICHT CarboLifeCycle	CarboLifeCycle
NEW CarboSafe	NEW CarboSafe UmRiNa NanoFlow ENNSATOX	NEW CarboSafe UmRiNa NanoFlow UMSICHT ENNSATOX	NEW CarboSafe UmRiNa NanoFlow UMSICHT CarboLifeCycle MVV-Nano ENNSATOX	CarboSafe UmRiNa NanoFlow UMSICHT CarboLifeCycle MVV-Nano ENNSATOX	CarboSafe UmRiNa NanoFlow UMSICHT CarboLifeCycle MVV-Nano ENNSATOX	CarboSafe NanoFlow UMSICHT CarboLifeCycle MVV-Nano ENNSATOX	NanoFlow UMSICHT CarboLifeCycle MVV-Nano	UMSICHT CarboLifeCycle	CarboLifeCycle
CarboSafe	CarboSafe	CarboSafe	CarboSafe CarboLifeCycle	CarboSafe CarboLifeCycle	CarboSafe CarboLifeCycle	CarboSafe CarboLifeCycle	CarboLifeCycle	CarboLifeCycle	CarboLifeCycle
DFG CarboSafe	AnNa NanoLang DFG Carbosafe Nano-gTC ENNSATOX	AnNa NanoLang DFG Carbosafe Fe-NANOSIT NanoPharm UMSICHT Nano-gTC ENNSATOX	AnNa NanoLang DFG Carbosafe Fe-NANOSIT NanoPharm UMSICHT CarboLifeCycle Nano-gTC Nanorisk (UBA) ENNSATOX	AnNa NanoLang DFG CarboSafe Fe-NANOSIT NanoPharm UMSICHT CarboLifeCycle Nano-gTC Nanorisk (UBA) ENNSATOX	AnNa NanoLang DFG CarboSafe Fe-NANOSIT NanoPharm UMSICHT CarboLifeCycle Nano-gTC Nanorisk (UBA) ENNSATOX	DFG CarboSafe Fe-NANOSIT NanoPharm UMSICHT CarboLifeCycle Nano-gTC Nanorisk (UBA) ENNSATOX	DFG Fe-NANOSIT NanoPharm UMSICHT CarboLifeCycle Nanorisk (UBA)	DFG Fe-NANOSIT NanoPharm UMSICHT CarboLifeCycle Nanorisk (UBA)	DFG CarboLifeCycle

III.2.3 Überblick über die bekannten Studien zur Freisetzung von Nanoobjekten aus Kompositmaterialien und Konsumgütern

Die hier aufgeführten Studien werden in nationale und internationale unterteilt und der Detaillierungsgrad der Darstellung folgt den verfügbaren Daten.

Des Weiteren bietet der neue, in der Schweiz entwickelte Ansatz einer Lebenszyklus-Modellierung von Nanoobjekten eine gute Diskussionsgrundlage über die ökologischen Auswirkungen von Nanoobjekten.

Derzeit gibt es abgeschlossene und noch laufende Studien zur Freisetzung von Nanoobjekten aus Produkten der folgenden Bereiche:

- » Textilien,
- » Farben und Beschichtungen,
- » Kompositmaterialien.

III.2.3.1 Nationale Forschungsprojekte

Textilien

Name	NAN-ON-TEX – Nanobasierte Veredelung und Funktionalisierung von Textiloberflächen zur Verbesserung des Raumklimas und der Hygiene in Kraftfahrzeugen
Förderer	BMBF
Laufzeit	07/2005 – 06/2008
Aufgabenstellung	Erstellung eines Versuchsaufbaus, der mechanische Tests an Textilien erlaubt.
Ergebnisse	Mittels des generierten Versuchsaufbaus wurde herausgefunden, dass während einer mechanischen Belastung Partikel mit einem Durchmesser von weniger als einem Mikrometer freigesetzt werden können. Derzeit wird das Projekt an der verbesserten Testeinrichtung am ITV Denkendorf fortgesetzt.

Name	SiNaTex – Sicherheit für Hersteller und Verbraucher zur Nanotechnologie bei Textilien
Förderer	Landesstiftung Baden-Württemberg GmbH
Laufzeit	2/2007 – 1/2009
Aufgabenstellung	Im Mittelpunkt des SiNaTex-Projektes stand die Entwicklung von Prüftechnologien zur detaillierten Charakterisierung der Emission und Immission von Nanoobjekten, die bei Gebrauchsbeanspruchung aus Textilien beziehungsweise aus deren Beschichtungen in die Luft freigesetzt werden.
Ergebnisse	Als Ergebnis der Entwicklungen steht am ITV Denkendorf eine Prüfmethode bereit, mit der luftgetragene Nanoobjekte im Größenbereich zwischen 4 und 800 nm, die aus faserbasierten Werkstoffen während der Verarbeitung oder unter Gebrauchsbeanspruchung freisetztbar sind, entdeckt und quantifiziert werden können. Die Art und Intensität der mechanischen Belastung im Stresstest kann entsprechend den Anforderungen an die Belastbarkeit des Textils variiert werden. Mit Informationen über Partikelkonzentrationen, Partikelgrößenverteilung, Partikelchemie und Partikelform sind wichtige Basisinformationen verfügbar, die für Rückschlüsse auf ein etwaiges Gefahrenpotential dienen. Die Untersuchungen zeigten beispielsweise, dass das Nanopartikel-Freisetzungspotential nanopartikelbasierter Beschichtungen durch eine richtige Abstimmung von Textilhilfsmitteln und der Prozesstechnik stark reduziert werden kann.

Name	Nanosilberpartikel in Textilien – Risiko für die Kläranlagen?
Förderer	Firmeninterne Forschung der Freudenberg Forschungsdienste KG, Weinheim
Laufzeit	2008
Aufgabenstellung	Untersuchung der Freisetzung von Silber aus Nano-Silber-dotierten Reinigungstextilien
Ergebnisse	Silber wird aus dem Gewebe ins Waschwasser freigesetzt.

Name	UMSICHT – Abschätzung der Umweltgefährdung durch Silber-Nanomaterialien: vom chemischen Partikel bis zum technischen Produkt
Förderer	BMBF
Laufzeit	05/2010 – 04/2013
Aufgabenstellung	Thema des Vorhabens UMSICHT ist es, Verhalten, Verbleib und Wirkung von Silbernanopartikeln in der Umwelt zu untersuchen und besser zu verstehen. Zudem sollen Verfahren zur Herstellung von Silbernanopartikeln mit unterschiedlicher Größe, Form oder Oberflächenbeschichtung und zu deren Nachweis entwickelt bzw. optimiert werden. Die Eigenschaften der Partikel beeinflussen dabei entscheidend das Verhalten und die Wirkung in der Umwelt. In einem weiteren Teilprojekt wird aus realen Textilprodukten Abrieb erzeugt und dessen Verhalten unter möglichst realitätsnahen Bedingungen in verschiedenen Szenarien untersucht.
Ergebnisse	Erste Veröffentlichungen in Bearbeitung
Weitere Informationen	http://www.nanopartikel.info/cms/Projekte/umsicht

Farben und Beschichtungen

Name	Freisetzung von Nanopartikeln aus Lacken im Normalgebrauch
Förderer	Verband der deutschen Lackindustrie (VdL)
Laufzeit	2008
Aufgabenstellung	Untersuchung der Freisetzung von Nanopartikeln im alltäglichen Gebrauch von Parkett-, Möbel- und Bautenlacken auf Holz und Blech
Ergebnisse	In dieser vom Verband der deutschen Lackindustrie beauftragten und an der TU Dresden durchgeführten Studie zeigte sich, dass die Freisetzung von Partikeln stark vom Substrat und der Farbe abhängt, jedoch nicht primär von der Tatsache, dass Nanoobjekte in die Lacke integriert sind. Ferner wurde gezeigt, dass die Freisetzung von Partikeln mit einem Durchmesser unter 100 nm vernachlässigbar gering ist (< 3 Partikel/cm ³). Zum Vergleich: In einem normalen Wohnraum befinden sich etwa 5000 Nanoobjekte in jedem Kubikzentimeter Luft, an viel befahrenen Innenstadtstraßen bis zu einer Million nanoskalige Staubpartikel.

Name	Freisetzung von Nanopartikeln aus Lacken durch Schleifen
Förderer	Verband der deutschen Lackindustrie (VdL)
Laufzeit	2009
Aufgabenstellung	Fortsetzung zur Studie „ <i>Freisetzung von Nanopartikeln aus Lacken im Normalgebrauch</i> “. Im zweiten Studienabschnitt wurden die Lackfilme mit einem Handschleifgerät bearbeitet und anschließend die Freisetzung von Nanoobjekten aus den Lackfilmen sowie der entstandene Abrieb untersucht.
Ergebnisse	Es zeigte sich, dass zwischen Lacken mit und ohne Nanoobjekten wiederum kein Unterschied in den freigesetzten Partikelzahlen besteht. Die zugesetzten Nanoobjekte sind auch im Abrieb weiterhin fest in der Lackmatrix eingebunden. Der Verband der deutschen Lackindustrie zog aus den Ergebnissen der Studie den Schluss, dass von lackierten Oberflächen, die Nanoobjekte enthalten, im alltäglichen Gebrauch kein Risiko für die menschliche Gesundheit oder die Umwelt ausgeht.
Weitere Informationen	Vorbau, M., Hillemann, L., Stintz, M. (2009), Method for the characterization of the abrasion induced nanoparticle release into air from surface coatings, <i>Aerosol Science</i> 40, 209 - 217.

Name	NanoTrack – Untersuchung des Lebenszyklus von Nanopartikeln anhand von $[^{45}\text{Ti}]\text{TiO}_2$ und $[^{105}\text{Ag}]\text{Ag}^0$
Förderer	BMBF
Laufzeit	05/2010 – 04/2013
Aufgabenstellung	Inhalt des Projektes NanoTrack ist die Untersuchung des Verhaltens von nanopartikulärem Titanoxid und nanopartikulärem Silber aus Nanokomposit-Lacken während Verschleiß, Freisetzung und Transport; zudem steht die Untersuchung von Auswirkungen der Partikel auf die Ökosysteme im Fokus. Ziel ist die qualitative und quantitative Erfassung der relevanten Prozesse und Randbedingungen, unter denen die Partikel in die Umwelt gelangen können. Daraus sollen in einem zweiten Schritt Anforderungen zum Schutz der Umwelt abgeleitet werden. Zur Lösung dieser komplexen Fragestellung im Sinne des präventiven Umweltschutzes arbeiten in einem interdisziplinären Ansatz industrielle und akademische Partner aus Materialwissenschaft, Geowissenschaft und Ökotoxikologie zusammen.
Ergebnisse	Projekt noch nicht abgeschlossen, bislang keine veröffentlichten Ergebnisse.

Kompositmaterialien

Name	TRACER – Toxikologie und Überprüfung des Gesundheitsrisikos von Kohlenstoffnanomaterialien
Förderer	BMBF
Laufzeit	03/2006 – 02/2009
Aufgabenstellung	Im Rahmen des Projektes „TRACER“ wurde die Freisetzung von CNTs aus Verbundwerkstoffen (Polycarbonat, Polyurethan, PEEK-Polymer) und aus Vlies-Materialien untersucht.
Ergebnisse	<p>Im Rahmen des Projektes wurden neue Erkenntnisse zur Biokompatibilität/Toxizität und Freisetzung der Kohlenstoffnanomaterialien in Hinblick auf die Relevanz der Testmethoden bewertet und im Hinblick auf ihre Arbeitsplatz- und Gesundheitsrelevanz ausgewertet und soweit möglich Empfehlungen bezüglich des Umgangs und der Arbeitsplatzsicherheit zusammengestellt.</p> <p>Eine Freisetzung von CNT ist nur zu erwarten, wenn das CNT-Material als staubiges Pulver vorliegt, nicht mehr bei den nachfolgenden Aktivitäten, in deren Verlauf CNT-Material zu Verbundstoff weiterverarbeitet wurde. Die Auswertung der publizierten Daten und der experimentellen Ergebnisse in diesem Projekt machen deutlich, dass ein allgemein für Kohlenstoffnanomaterialien gültiger Wirkungscharakter auf der bestehenden Datenbasis nicht möglich ist. Im Einklang mit dem BAuA-/VCI-Leitfaden ist deshalb bis zum Festlegen spezifischer Grenzwerte für Kohlenstoffnanomaterialien eine Minimierung der Exposition anzustreben.</p> <p>Basierend auf den Ergebnissen dieses Projektes sind die Empfehlungen des BAuA-/VCI-Leitfadens zum Schutz der Arbeitnehmer beim Umgang mit Nanomaterialien auch für Kohlenstoffnanomaterialien zutreffend.</p>
Weitere Informationen	http://www.nanopartikel.info/cms/Projekte/TRACER

Name	CarboSafe – Identifizierung des ökotoxikologischen Potenzials von CNT auf Basis geeigneter Messtechnologien
Förderer	BMBF (Projekt im Rahmen der Innovationsallianz Carbon Nanotubes – Inno.CNT)
Laufzeit	4/2008 – 3/2012
Aufgabenstellung	<p>Sicherheitsforschung zum Umgang mit und zum Lebenszyklus von Carbon-Nanotubes, u.a.:</p> <ul style="list-style-type: none"> » Untersuchung der Ökotoxizität von CNT » Vereinzelung von CNT für Prozessstudien und zur Kalibrierung von Messgeräten » Entwicklung einer Auswerteroutine zur Bestimmung von CNT im luftgetragenen Zustand » Freisetzung von CNTs aus Kompositen beim Schleifen, Bohren und während verschiedener Recyclingprozesse
Ergebnisse	<p>Erste Ergebnisse wurden veröffentlicht und sind unter folgender Website einzusehen:</p> <p>http://www.inno-cnt.de/de/backgroundunder_carbosafe.php</p>

Name	CarboLifeCycle
Förderer	BMBF (Projekt im Rahmen der Innovationsallianz Carbon Nanotubes – Inno.CNT)
Laufzeit	11/2010 – 10/2013
Aufgabenstellung	<p>CarboLifeCycle baut auf den bisherigen Ergebnissen von TRACER und CarboSafe auf. Ein neuer Aspekt ist das Degradationsverhalten (Verschleiß) von CNT-haltigen Produkten. Die Messverfahren für CNT sollen in diesem Projekt weiterentwickelt, die mögliche Freisetzung von CNT aus CNT-haltigen Produkten durch Umwelteinflüsse sowie das Verhalten von CNT in Umweltmedien, wie z. B. in Böden, untersucht werden. Die ökotoxikologischen Untersuchungen von CarboSafe werden in CarboLifeCycle hinsichtlich möglicher Langzeitwirkungen und Wirkungen auf zellulärer Ebene erweitert. Es sollen Methoden und Maßnahmen erarbeitet werden, welche helfen, die Sicherheit bei der Verarbeitung und Nutzung von CNT und CNT-haltigen Produkten zu gewährleisten.</p>
Ergebnisse	Projekt startete Ende 2010, noch keine veröffentlichten Ergebnisse

III.2.3.2 Europäische Forschungsprojekte

Textilien

Obwohl dieses Papier einen starken Fokus auf europäische und vor allem deutsche Forschungsprojekte aufweist, sei hier eine viel diskutierte amerikanische Studie mit genannt:

Name	Freisetzung nanopartikulären Silbers aus kommerziell erhältlichem Sockengewebe ins Wasser
Förderer	United States Environmental Protection Agency (EPA)
Laufzeit	2008
Aufgabenstellung	Untersuchung der Freisetzung von Silber aus Nano-Silber-dotierten Socken
Ergebnisse	Die Arbeiten von Benn und Westerhoff an der Arizona State University zeigen deutlich, dass bis zu 650 µg Silber in 500 ml destilliertes Wasser, aus kommerziell erhältlichen Socken, die bis zu 1360 µg Silber / g Socke enthalten, ausgewaschen werden. Im Sockenmaterial und im Waschwasser wurden im Laufe der Studie Silberpartikel mit Größen zwischen 10 und 50 nm gefunden. Ferner zeigten Sie, dass das Waschwasser sowohl kolloidales als auch ionisches Silber enthielt. Die Auswaschrategie wird laut den Autoren maßgeblich durch den Herstellungsprozess des Textils bestimmt.
Weitere Informationen	<i>Environ. Sci. Technol.</i> 2008, 42, 4133-4139

Name	Das Verhalten von Silber-Nanotextilien während des Waschens
Förderer	Empa (CH)
Laufzeit	2009
Aufgabenstellung	Untersuchung der Freisetzung von Nanomaterialien aus neun verschiedenen Textilien im Waschwasser. Erstmals sollte hier richtiges Waschwasser eingesetzt werden und kein destilliertes Wasser, was die Untersuchungsbedingungen wesentlich realer macht.
Ergebnisse	Die Textilien setzten in dieser Untersuchung der Empa in St. Gallen zwischen 1,3 und bis zu 35 % der Gesamtmenge an Silber frei. Durch den Einsatz von Bleichmitteln wurde die Freisetzung nicht beeinflusst. Jedoch wurden die meisten Silberpartikel während des ersten Waschganges freigesetzt; sie waren zudem meist nicht mehr nanoskalig, sondern weitaus größer, so dass die Schweizer zu dem Schluss kamen, dass es keinen Unterschied macht, ob man ein konventionelles Silber-Textil oder ein Nanosilber-Textil wäscht. Die Umweltbelastung durch das Nanosilber-Textil wäre insgesamt gar geringer. Es entstehe somit keine spezifische Nano-Gefährdung durch derartige Kleidungsstücke.
Weitere Informationen	» <i>Environ. Sci. Technol.</i> , 2009, 43 (21), pp 8113–8118 » <i>Science</i> , 2010, 330, 1054-1055

Farben und Beschichtungen

Name	Emission technischer TiO ₂ -Nanopartikel aus Außenfassaden in die aquatische Umwelt
Förderer	EAWAG/Empa (CH)
Laufzeit	2008
Aufgabenstellung	Im Rahmen des von der EAWAG und der Empa aus dem schweizerischen Dübendorf durchgeführten Projektes sollte der Ausstoß von TiO ₂ -Partikeln aus Fassadenfarben für den Außenbereich in die aquatische Umwelt verfolgt werden.
Ergebnisse	Die Forscher fanden heraus, dass TiO ₂ -Objekte mit Größen zwischen 20 und 300 nm durch natürliche Wetterbedingungen sowohl von neuen als auch von gealterten Fassadenanstrichen abgelöst wurden.
Weitere Informationen	<i>Environmental Pollution</i> 156, 2, 2008, pp. 233-239; Rapid communication

Name	NanoHouse – Life cycle of nanoparticle-based house coatings
Förderer	EU
Laufzeit	01/2010 – 06/2013
Aufgabenstellung	<ul style="list-style-type: none"> » Fokus auf Nanopartikeln (TiO₂ und nanoAg) in Lacken und Beschichtungen für Innen- und Außenanwendungen » Untersuchung der Alterung und Freisetzung dieser Substanzen durch Wettereinflüsse und mechanische Zerstörung » Lebenszyklusanalyse » Potentielle Umwelt-, Gesundheits- und Sicherheitsauswirkungen
Ergebnisse	Projekt noch nicht abgeschlossen, bislang keine veröffentlichten Ergebnisse.
Weitere Informationen	http://www-nanohouse.cea.fr

IV. Weiterführende Informationen

Viele weiterführende Informationen sind nicht in dieses Papier aufgenommen worden, weil sie einerseits dessen Rahmen sprengen würden, andererseits vielfach nur wenige zusätzliche Informationen liefern oder nicht zentral zum Thema passen, als dass sie einen wesentlichen Einfluss auf den Inhalt des Papiers haben würden. Einige Informationen sind auch

deshalb nicht aufgenommen worden, weil in der allgemein zugänglichen Literatur kaum mehr als Absichtsbezeugungen vorhanden sind. Um dem Interessierten aber selbst die Möglichkeit zu geben, weiter zu recherchieren, seien die bewusst nicht detaillierter untersuchten Quellen hier aufgeführt:

OECD-Datenbank zur Sicherheitsforschung an Nanomaterialien (englisch)

<http://webnet.oecd.org/NanoMaterials/>

Cordis-Datenbank zu EU-Projekten im Themenfeld (englisch)

<http://cordis.europa.eu/nanotechnology/src/safety.htm>

European NanoSafetyCluster (englisch)

<http://www.nanosafetycluster.eu>

Website des Projektes DaNa (deutsch und englisch)

www.nanopartikel.info / www.nanoobjects.info

DECHEMA

Gesellschaft für Chemische Technik
und Biotechnologie e.V.

Theodor-Heuss Allee 25
60486 Frankfurt am Main

Telefon: 069 7564-0

Telefax: 069 7564-117

E-Mail: info@dechema.de