



# Sicherheit und Gesundheit bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien

in Forschung, Entwicklung, Politikberatung und Transfer  
der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)

Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin forscht und entwickelt im Themenfeld Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, fördert den Wissenstransfer in die Praxis, berät die Politik und erfüllt hoheitliche Aufgaben im Gefahrstoffrecht, bei der Produktsicherheit und mit dem Gesundheitsdatenarchiv.

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
1.1	Forschungsschwerpunkt „Auswirkungen neuer Technologien auf Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit“	2
1.2	Nanomaterialien – Chemikaliensicherheit und Arbeitsschutz	2
<b>2</b>	<b>Forschungsschwerpunkt: Auswirkungen neuer Technologie auf Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit – Nanomaterialien</b>	<b>4</b>
2.1	Aktivitätsfeld: Arbeitsplatzbelastungen bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien	4
2.2	Aktivitätsfeld: Toxikologische Risikocharakterisierung	7
<b>3</b>	<b>Entwicklungsschwerpunkt: Fachkonzepte zur Risikoanalyse und -regulierung als Beiträge zur Chemikaliensicherheit</b>	<b>9</b>
3.1	Aktivitätsfeld: Beiträge zur Vorsorgestrategie für Nanomaterialien am Arbeitsplatz	9
<b>4</b>	<b>Politikberatung: Chemikaliensicherheit und Arbeitsschutz bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>Praxistransfer zu Nanomaterialien am Arbeitsplatz</b>	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>Abkürzungen</b>	<b>13</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Forschungsschwerpunkt „Auswirkungen neuer Technologien auf Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit“

Die Geschichte des Arbeits-, Umwelt- und Verbraucherschutzes ist geprägt von späten – im Fall von Asbest deutlich zu späten – Reaktionen auf frühe Hinweise zu den negativen Folgen einer Anwendung neuer Technologien oder Agenzien<sup>1</sup>. Mit der Mitteilung zum Vorsorgeprinzip<sup>2</sup> hat die Europäische Union im Jahr 2000 ein wichtiges Zeichen für staatliches Handeln gesetzt, wenn die Wissenschaft zwar eine qualifizierte Risikovermutung ausspricht, sie aber noch nicht durch entsprechende Studien untermauern oder sogar quantifizieren kann. So fordert z. B. die im Dezember 2010 in Kraft getretene Neufassung der Gefahrstoffverordnung, dass bei fehlenden Prüfergebnissen für Gefahrstoffe die entsprechenden Gefährdungen bei der Festlegung der Arbeitsschutzmaßnahmen zu unterstellen sind<sup>3</sup>.

Ein zukunftsfähiger Arbeitsschutz setzt jedoch bereits dort an, wo neue Stoffe, Arbeitsverfahren und -techniken entwickelt und noch an die Anforderungen zum Schutz der Gesundheit und der Umwelt angepasst werden können. Der Zukunftsreport „Arbeiten in der Zukunft – Strukturen und Trends der Industriearbeit“ des Büros für Technikfolgenabschätzung im Deutschen Bundestag identifiziert die Innovationsfelder „Nanotechnologie“, „Ambient Intelligence“ und „Biotechnologie“ als zukünftige Schlüsseltechnologien und skizziert Fragestellungen für eine begleitende Sicherheitsforschung<sup>4</sup>. Das Forschungs- und Entwicklungsprogramm 2010 - 13 der BAuA hat die ersten beiden Felder aufgegriffen<sup>5</sup>. In einem langfristig auf 10 Jahre angelegten Forschungsschwerpunkt will die BAuA Beiträge zu einer wissenschaftlich fundierten Beschreibung

und Bewertung von bislang nur unzureichend bekannten Sicherheits- und Gesundheitsrisiken für Beschäftigte aber auch zu den gesundheitlichen und leistungsrelevanten Potenzialen in den genannten Technologiebereichen leisten. Sie haben, im Sinne einer Vorlaufforschung, vor allem den zukünftigen Beratungs- und Regelungsbedarf der Bundesregierung im Fokus. Ziel ist es auch, die Entwicklung der neuen Technologien im Hinblick auf eine risikoarme Gestaltung von Produkten und die betriebliche Einführung von Arbeitsverfahren frühzeitig im Sinne des Arbeitsschutzes zu beeinflussen.

## 1.2 Nanomaterialien – Chemikaliensicherheit und Arbeitsschutz

Die Nanotechnologie ist im Fokus der Hightech-Strategie 2020 für Deutschland ein Schlüssel für die Industrieproduktion von morgen<sup>6</sup>. Obwohl einige nanotechnologische Verfahren, z. B. bei der Herstellung von Katalysatoren, schon seit Jahrzehnten genutzt werden, bietet sie eine Vielzahl neuer Techniken zum gezielten Aufbau von Werkstoffen mit spezifischen Eigenschaften. Chancen für eine nachhaltige Entwicklung werden erwartet durch Einsparung von Rohstoffen und Energie über Miniaturisierung, Gewichtsreduktion und Funktionsoptimierung, die Verbesserung der Reinigungsleistung von Filtersystemen für Abluft und Abwasser und die Substitution von Gefahrstoffen. Hinzu kommen Anwendungen in der Medizin, der Schutz vor UV-Strahlung und biozide Anwendungen.

Die Nanotechnologie nutzt das quantenchemische Phänomen, dass Atome an der Oberfläche eines Festkörpers andere Energiezustände aufweisen, als die im Innern des Materials liegenden. Wenn die Oberfläche eines Werkstoffes vergrößert wird, nimmt der Einfluss der Oberflächenatome auf die physikalischen und chemischen Eigenschaften zu. Nanomaterialien sind chemische Stoffe, die gezielt mit einer großen Oberfläche hergestellt werden und daher andere Materialeigenschaften aufweisen als die entsprechenden Basischemikalien.

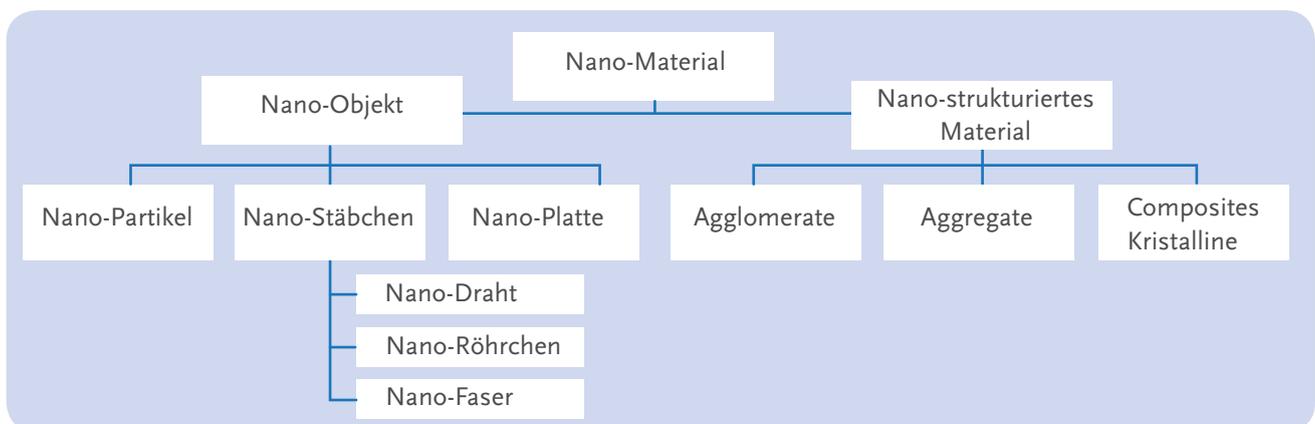


Abbildung 1: Klassifizierung von Nanomaterialien

<sup>1</sup> [http://www.eea.europa.eu/publications/environmental\\_issue\\_report\\_2001\\_22](http://www.eea.europa.eu/publications/environmental_issue_report_2001_22)

<sup>2</sup> [http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/de/com/2000/com2000\\_0001de01.pdf](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/de/com/2000/com2000_0001de01.pdf)

<sup>3</sup> <http://www.baua.de/Gefahrstoffverordnung>

<sup>4</sup> <http://www.tab-beim-bundestag.de/de/pdf/publikationen/berichte/TAB-Arbeitsbericht-ab113.pdf>

<sup>5</sup> <http://www.baua.de/de/Publikationen/Broschueren/Infomaterial/I5.html>

<sup>6</sup> [http://www.bmbf.de/pub/hts\\_2020.pdf](http://www.bmbf.de/pub/hts_2020.pdf)

Die Welt der Nanomaterialien ist komplex (s. Abb.1). Es gibt eine Vielzahl von Möglichkeiten im Rahmen von Herstellungsprozessen eine Oberflächenvergrößerung mit dem Ziel nanoskaliger Eigenschaften zu erreichen. Die gezielte Herstellung voneinander isolierter Nanopartikel mit Durchmessern unter 100 Nanometern (= 0.0001 mm) ist hierbei eher die Ausnahme, die meisten kommerziellen Nanomaterialien sind Agglomerate oder Aggregate von solchen „Primärpartikeln“ im Mikrometerbereich. Darüber hinaus kommt den faserförmigen Nanomaterialien eine besondere Bedeutung zu, aufgrund ihrer Eigenschaften zur Verstärkung der Zugfestigkeit von Werkstoffen, ggf. auch verbunden mit einer elektrischen Leitfähigkeit. Den weit reichenden Chancen der Nanotechnologie stehen allerdings - wie bei vielen anderen chemischen Stoffen – erhebliche Wissensdefizite zu den Risiken für Mensch und Umwelt gegenüber. Die zuständigen Ressortforschungseinrichtungen des Bundes (Umweltbundesamt, Bundesinstitut für Risikobewertung, BAuA) haben 2007 eine gemeinsame Forschungsstrategie aufgestellt, die den Bedarf an Sicherheitsforschung aus Sicht des Arbeits-, Umwelt- und Verbraucherschutzes beschreibt. Dies hat im Bereich des Arbeitsschutzes eine besondere Bedeutung, da die in der Entwicklung und Produktion von Nanomaterialien beschäftigten Personen zuerst mit den Auswirkungen der neuen Technologie konfrontiert sind. Die BAuA verfolgt das Thema „Nanomaterialien am Arbeitsplatz“ seit 2005 als Forschungsschwerpunkt, der im aktuellen Forschungs- und Entwicklungsprogramm 2010 - 13 (FuE Programm) fortgeführt wird.<sup>8</sup> Die FuE-Aktivitäten profitieren in erheblichem Maße von früheren Projekten, die die Kanzerogenität von biopersistenten Fasern und granulären Stäuben, die Übertragbarkeit tierexperimenteller Ergebnisse auf den Menschen und chronische Erkran-

kungen der Atemwege durch Stäube am Arbeitsplatz zum Gegenstand hatten.

Mit der Einführung der Europäischen Chemikalienverordnung – Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals (REACH) – im Sommer 2008 hat die Diskussion zu Nanomaterialien eine neue Dimension bekommen. Hier gilt es, den hohen Anspruch der Verordnung an die Sicherheit von Chemikalien für Mensch und Umwelt im gesamten Produktlebenszyklus in Einklang zu bringen mit Aspekten der praktischen Durchführbarkeit von ausstehenden Risikobewertungen für etwa 150.000 vorregistrierte chemische Stoffe und dem Anspruch einer Förderung der Wettbewerbsfähigkeit der chemischen Industrie in Europa. Gerade bei den Nanomaterialien, die einen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung leisten sollen, wird ein hohes Maß an Chemikaliensicherheit von Beginn an erwartet, was mit der pragmatischen Vorgehensweise von REACH (10 Jahre Übergangsfrist für Altstoffe, von der Herstellungsmenge abhängige Prüfanforderungen) nur bedingt erfüllt werden kann. Die BAuA unterstützt daher seit 2009 mit einem Entwicklungsschwerpunkt „Beiträge zur Vorsorgestrategie für Nanomaterialien am Arbeitsplatz“, die Umsetzung wissenschaftlicher Erkenntnisse bzw. Erkenntnisdefizite in regulatorische und praktische Strategien zum Risikomanagement.

Im Aktionsplan Nanotechnologie 2015<sup>9</sup>, den das Bundeskabinett im Januar 2011 verabschiedet hat, ist eine weitere Säule der Aktivitäten der BAuA genannt: die Beratung von Unternehmen zur Arbeits- und Chemikaliensicherheit im Umgang mit Nanomaterialien. Die Begleitung von nanotechnologischen Werkstoffinnovationen durch Sicherheitsforschung und -beratung soll so bereits an der Schwelle vom Laborstadium in die Pilotproduktion und Anwendungstechnik verankert werden. Dies soll insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU) und Start-up-Unternehmen die Möglichkeit eröffnen, dem Wunsch des Marktes nach anwendungssicheren Produkten frühzeitig Rechnung zu tragen, Fehlentwicklungen rechtzeitig zu erkennen und zu korrigieren.

#### **Forschungsschwerpunkt:**

#### **„Auswirkungen neuer Technologien auf Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit – Nanomaterialien“**

##### **Nano I – Arbeitsplatzbelastungen bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien**

- F 2217: Thermalpräzipitator
- F 2157: Nano - Expo
- F 1946: CarboSafe (BMBF)
- F 2248: NANODEVICE (EU 7. Rahmenprogramm)
- F 2304: Stichprobenplanung Thermalpräzipitator
- F 2284: CarboLifeCycle (BMBF)

##### **Nano II – Toxikologische Risikocharakterisierung**

- F 2135: Nano - Gentoxizität
- F 2043: Nano in vitro
- F 2133: Nano - Dispersion
- F 2246: Nanotox

#### **Entwicklungsschwerpunkt: „Fachkonzepte zur Risikoanalyse und -regulierung als Beiträge zur Chemikaliensicherheit – Nanomaterialien“**

##### **Nano III – Beiträge zur Vorsorgestrategie für Nanomaterialien am Arbeitsplatz**

- F 2269: NanoGEM (BMBF)
- F 2268: NanoValid (EU 7. Rahmenprogramm)
- F 2271: Firmenbefragung
- F 2272: Thermalpräzipitator Software
- F 2273: Memorandum Vorsorgeprinzip
- F 2261: Nano Charakterisierung

**Abbildung 2:** FuE-Projekte zur Nanotechnologie

<sup>8</sup> <http://www.baua.de/de/Publikationen/Broschueren/Infomaterial/I5.html>

<sup>9</sup> [http://www.bmbf.de/pub/aktionsplan\\_nanotechnologie.pdf](http://www.bmbf.de/pub/aktionsplan_nanotechnologie.pdf)

## 2 Forschungsschwerpunkt: Auswirkungen neuer Technologien auf Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit – Nanomaterialien

Mit neuen Erkenntnissen zur Exposition von Beschäftigten bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz und Beiträgen zur Toxikologie von Ultrafeinstäuben will die BAuA auf wissenschaftlicher Ebene an einer differenzierten „Risiko-Landkarte“ für die Nanotechnologie mitwirken

### 2.1 Aktivitätsfeld: Arbeitsplatzbelastungen bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien

Die verlässliche Ermittlung der Exposition von Beschäftigten gegenüber Nanomaterialien setzt geeignete Messverfahren und -strategien voraus. Im Rahmen von früheren Projekten hat die BAuA den Thermalpräzipitator als Sammelgerät für Nanomaterialien und ultrafeine Partikel (UFP) am Arbeitsplatz entwickelt. In Verbindung mit Rasterelektronenmikroskopie und Röntgenspektroskopie bietet er die Möglichkeit einer chemischen und morphologischen Charakterisierung der erfassten Nanomaterialien und der UFP. Derzeit wird das tragbare Messsystem modifiziert, um die Ermittlung von Expositionen insbesondere gegenüber der faserförmigen Nanomaterialien effektiver

zu ermöglichen. Eingesetzt wird der Thermalpräzipitator u. a. in Verbindung mit einem Schwingbettaerosolgenerator („Shaker“) zur Charakterisierung der Morphologie der untersuchten CarboNanoTubes und CarboNanoFasern (CNT/CNF). Bei den Felduntersuchungen sollen, unterstützt durch Laborversuche, auch das Agglomerationsverhalten von Nanomaterialien untersucht und die Erfassung umgebungsbedingter Hintergrundkonzentrationen von Ultrafeinstäuben erprobt und validiert werden. Letzteres ist die Voraussetzung, um die tatsächliche Konzentration von Partikeln aus beabsichtigt hergestellten Nanomaterialien am Arbeitsplatz beurteilen zu können.

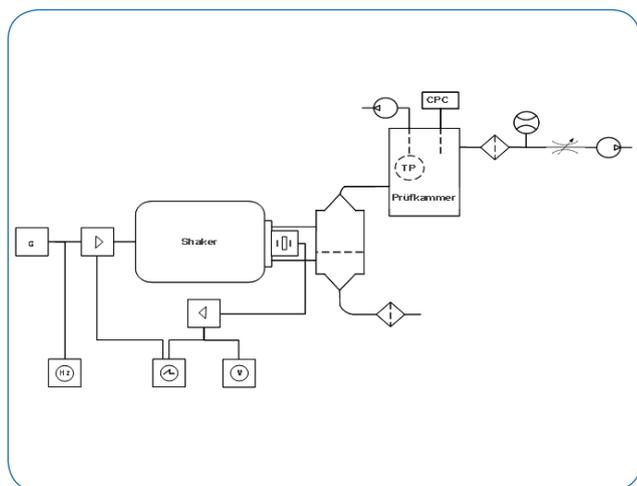


Abbildung 3: Prüfstandtest zur Beurteilung des Staubungsverhaltens von Nanomaterialien („Shaker-Verfahren“)

## Aktuelle Projekte des Teams „Nano I“

Plitzko, Sabine; Gierke, Erhard; Dziurawicz, Nico; Broßell, Dirk; Thim, Carmen, Wojtkowiak, Barbara; Dr. Bachmann, Volker; Dr. Kersten, Norbert

### F 2217: Thermalpräzipitator Optimierung des personengebundenen Thermalpräzipitators für die Messung von Nanopartikeln an Arbeitsplätzen

Auftragnehmer:  
IUTA – Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V., Duisburg

Projekt ist abgeschlossen (2010)

<http://www.springerlink.com/content/57550028537x4t65/>

Der Thermalpräzipitator (TP) ist ein personengebundenes Messgerät zur Bestimmung der Exposition und zur Cha-



rakterisierung ultrafeiner Stäube, das auf dem Prinzip der Thermophorese basiert. Hierbei wird eine definierte Temperaturdifferenz zur Abscheidung der Partikel genutzt. Die Partikel und Fasern können dann unter dem Rasterelektronenmikroskop morphologisch und chemisch charakterisiert werden. Der Probensammelkopf des TP wurde im Rahmen dieses Vorhabens weiterentwickelt und erprobt. Der Grund hierfür lag in einer bislang konstruktiv bedingten inhomogenen Abscheidung der Partikel, die einen hohen Auswerteaufwand der Präparate bedingte. Mit Hilfe von Modellberechnungen wurden Optimierungsvorschläge abgeleitet und Prototypen gebaut. In diesen befinden sich nun zwei parallele Platten in einem Abstand von 1 mm mit einem definierten Temperaturgradienten. Eine homogene Abscheidung konnte gewährleistet werden, was durch Validierungsmessungen belegt wurde.

Abbildung 4: Thermalpräzipitator, Bild: BAuA

<http://www.springerlink.com/content/57550028537x4t65/>

## F 2157: Nano – Expo

### Messung der Exposition gegenüber beabsichtigt hergestellten Nanomaterialien an ausgewählten Arbeitsplätzen

Eigene Untersuchung

Projekt ist abgeschlossen (2010)

An Industriearbeitsplätzen wurden inhalative Expositionen gegenüber Nanomaterialien ermittelt. Dabei kamen stationäre und personenbezogene Messtechniken zur Anwendung. Neben der Expositionshöhe standen auch das Agglomerationsverhalten von Nanopartikeln und Hintergrundkonzentrationen an den Arbeitsplätzen im Blickpunkt des Vorhabens.

Eine Erhöhung der Partikelanzahlkonzentrationen in der Luft am Arbeitsplatz konnte bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien im geschlossenen System und in Laborabzügen nicht nachgewiesen werden. Auf Filter- und Liegestaubproben wurden allerdings nanostrukturierte Partikelagglomerate gefunden, die wahrscheinlich beim Ab-, Umfüllen und Dispergieren von Nanomaterialien freigesetzt wurden. Auch bei Reinigungs- und Wartungsarbeiten sowie Störungen des Normalbetriebes ist eine erhöhte Freisetzung von Nanopartikeln möglich. In der Feldstudie konnte gezeigt werden, dass bei der Messung von Nanomaterialien andere Emittenten im Arbeitsbereich (z.B. Ruß, Schweißrauch, Ölnebel) berücksichtigt werden müssen.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19558230>

## F 1946: CarboSafe

### Sicherheit, Gesundheit und Qualität im Umgang mit Carbon Nano Tubes (CarboSafe)

Eigene Untersuchung, Beiträge zu einem Drittmittelprojekt des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF)

Geplantes Projektende: 2012

Das hohe Innovationspotenzial von Kohlenstoffnanoröhrchen (CNT) und -fasern (CNF) wird in den kommenden Jahren eine Vielzahl von Anwendungen zur Folge haben. Das vom BMBF geförderte Verbundprojekt hat zum Ziel, noch offene Fragen der Sicherheit beim Umgang mit CNT/CNF zu klären. Mit dem Ziel besserer Aussagen zur Exposition von Beschäftigten gegenüber CNT/CNF wird der Thermalpräzipitator auf die Erfordernisse der Probenahme und Analyse dieser Nanomaterialien modifiziert und getestet. Dabei soll die Visualisierung der Nanomaterialien durch eine rasterelektronenmikroskopische Analyse ausgebaut werden. Dies macht sowohl Aussagen zur Morphologie der Nanomaterialien als auch chemische Analysen mit Hilfe der EDX-Analyse (energie-dispersive Röntgenspektroskopie) möglich. Der Thermalpräzipitator (TP) bietet gegenüber den Routinemesssystemen (Scanning Mobility Particle Sizer - SMPS,

Condensation Particle Counter - CPC) die Möglichkeit, Aussagen zum Agglomerationsverhalten der CNT zu ermöglichen. Nach Projektabschluss soll ein Sammelsystem zur Verfügung stehen, das an Arbeitsplätzen in der Herstellung und Verarbeitung von CNT/CNF zum Einsatz kommen kann. Es wird angestrebt, dass das System auch bei weiteren nanoskaligen faserförmigen Materialien zum Einsatz kommen kann. Darüber hinaus wird eine Versuchsanordnung entwickelt, mit der das Verstaubungsverhalten von CNT beurteilt werden kann.

<http://www.baua.de/de/Forschung/Forschungsprojekte/f1946.html>

[http://www.inno-cnt.de/de/backgrounder\\_carbosafe.php](http://www.inno-cnt.de/de/backgrounder_carbosafe.php)

## F 2248: NANODEVICE

### Neue Konzepte, Methoden und Techniken zur Entwicklung von personengetragenen, einfach anzuwendenden Geräten zur Messung und Analyse von Arbeitsplatzbelastungen mit hergestellten Nanopartikeln

Eigene Untersuchung,  
Beiträge zum Drittmittelprojekt im 7. Forschungsrahmenprogramm der EU

Geplantes Projektende: 2013

Ziel des Arbeitspaketes ist die Entwicklung eines tragbaren, registrierenden Messsystems zur Bestimmung der Anzahl- und Oberflächenkonzentration von Nanopartikeln am Arbeitsplatz. Ausgangspunkt ist der im Projekt F 2217 entwickelte Prototyp des Thermalpräzipitators (TP), der nun als Modul an das tragbare System angekoppelt werden soll. Darüber hinaus wird auf der Grundlage des Thermalpräzipitators ein mit menschlichen Lungenzellen belegtes Sammelsystem („Cyto-TP“) entwickelt, das zukünftig ein zytotoxisches Screening von Nanomaterialien ermöglichen soll (Abb. 5).

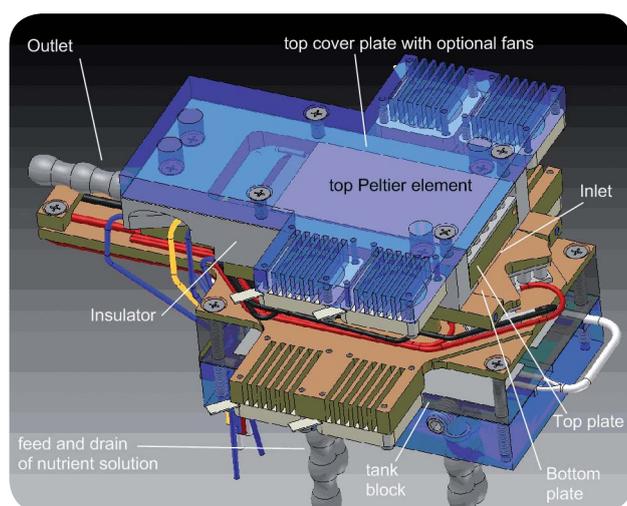


Abbildung 5: CAD Modell für den Cyto-TP

<http://www.baua.de/de/Forschung/Forschungsprojekte/f2248.html>

<http://www.ttl.fi/partner/nanodevice/Pages/default.aspx>

## F 2304: Stichprobenplanung Thermalpräzipitator Stichprobenplanung für die Auswertung von Messungen mit dem Thermalpräzipitator

Eigene Untersuchung

Geplantes Projektende: 2011

Zur Messung von Belastungen von Nanopartikeln und -fasern an Arbeitsplätzen werden diese im Thermalpräzipitator (TP) auf Siliziumscheiben abgeschieden und anschließend elektronenmikroskopisch dargestellt. Die Bestimmung der Partikelanzahl erfolgt dann über eine Auszählung pro digitalisiertem Bild. Die Basis dafür bilden 12x10 µm große Bildfelder auf den TP-Präparaten. Für gesicherte Folgerungen von einer Partikelanzahl auf dem TP-Präparat auf ein Messergebnis, ausgedrückt als Partikelanzahl pro m<sup>3</sup> Luft, muss eine hinreichend große, statistisch gesicherte Zahl von Bildfeldern ausgewertet werden. Bei der Anzahl der elektronenmikroskopischen Aufnahmen und die damit verbundene Anzahl von Bildanalysen ist zwischen Aufwand und der notwendigen Genauigkeit für die Messergebnisse auszubalancieren. Im diesem Projekt wird mit Hilfe wahrscheinlichkeitstheoretischer Rechenverfahren die optimale Anzahl elektronenmikroskopischer Aufnahmen und Bildanalysen ermittelt

## F 2284: CarboLifeCycle

### Sicherheit, Gesundheit und Qualität im Umgang mit Carbon Nano Tubes (CNT)

Eigene Untersuchung, Beiträge zum Drittmittelprojekt des BMBF

Projektende: 2013

Die Sicherheits- und Risikoforschung für Kohlenstoffnanoröhrchen (Carbon Nano Tubes – CNT) und -fasern (Carbon Nano Fibres – CNF) steht im Mittelpunkt dieses weiteren Projektes im Rahmen innerhalb der Innovationsinitiative Inno.CNT aus der High-Tech-Strategie der Bundesregierung. Die Beiträge der BAuA konzentrieren sich auf die Exposition von Beschäftigten bei Herstellung und Verwendung von CNT/CNF und im Lebenszyklus von Produkten auf CNT/CNF-Basis. Diese wird in Feldstudien und Prüfstanduntersuchungen mit Hilfe des im Rahmen von CARBOSAFE entwickelten Mess- und Analysensystems ermittelt. Des Weiteren soll das Shakerverfahren in Verbindung mit bildgebenden Verfahren standardisiert werden, um das Staubungsverhalten und die Morphologie der entstehenden faserförmigen Aerosole zu charakterisieren.

<http://www.baua.de/de/Forschung/Forschungsprojekte/f2284.html>

[http://www.inno-cnt.de/de/news\\_20101206.php](http://www.inno-cnt.de/de/news_20101206.php)

## 2.2 Aktivitätsfeld: Toxikologische Risikocharakterisierung

Im Vordergrund der extramuralen Arbeiten zur toxikologischen Charakterisierung von Nanomaterialien steht die Untersuchung des Wirkungsprofils von Nanopartikeln. Ziel ist die wissenschaftliche Ableitung von Wirkprinzipien für die toxikologische Charakterisierung unterschiedlicher Nanomaterialien. Die Projekte hierzu beziehen sich hauptsächlich auf die unlöslichen und schwerlöslichen Nanomaterialien, da diese nach bisherigen Kenntnissen als toxikologisch relevant bewertet werden. Da es sich bei diesen Materialien insbesondere um Fasern und Stäube handelt, kann an eine langjährige Forschungstradition der BAuA zur Toxikologie von Faser- und Feinstäuben angeknüpft werden. Die dort erzielten Erfolge legten, unter wesentlicher Beteiligung der BAuA, u. a. das wissenschaftliche Fundament für ein gezieltes Design der heute verwendeten neuen Generation von biolöslichen Mineralwolle-Dämmstoffen.

## Aktuelle Projekte des Teams „Nano II“

Prof. Dr. Gebel, Thomas; Dr. Orthen, Bruno

### F 2135: Nano – Genotoxizität

#### Gesundheitsschädliche Wirkungen von Fein- und Ultrafeinstäuben in der Lunge

Auftragnehmer: Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin (ITEM), Hannover

Projekt ist abgeschlossen (2011)

Mit einer immunhistochemischen Methode, die verschiedene Typen von DNA-Schäden nachweisen kann, wurden 3 Monate nach der Instillation von verschiedenen Stäuben genotoxische Wirkungen im Zielgewebe der Rattenlunge nachgewiesen. Alle getesteten Stoffe (Quarz, Carbon Black, amorphes Siliziumdioxid) zeigten zumindest in einem Teil der Tests eine statistisch signifikante Wirkung, wenn auch in unterschiedlichem Ausmaß. Im tumorerzeugenden Dosisbereich ist somit auch Genotoxizität im Lungengewebe bereits nach 3-monatiger Exposition nachzuweisen. Eine lokale Genotoxizität in der Lunge kann daher ein ursächlicher Indikator der Karzinogenität granulärer Partikel sein. Die Eignung der angewendeten Methoden muss noch weiter validiert werden: mit Proben aus Inhalationsstudien und mit Studien bei niedrigeren Expositionshöhen. Die Frage, ob die Genotoxizität einem schwellenwertartigen Mechanismus unterliegt oder nicht, hat einen entscheidenden Einfluss auf die Ableitung von Einstufungen, Expositions-Risiko-Beziehungen und Grenzwerten.

<http://www.baua.de/de/Publikationen/Fachbeitraege/F2135.html>

## **F 2043: Nano in-vitro**

### **Bestimmung der Sensitivität und Spezifität von in-vitro Methoden zur Beurteilung der chronischen Toxizität und Karzinogenität von Nanomaterialien, Feinstäuben und Fasern im Rahmen der regulatorischen Toxikologie (Literaturlauswertung)**

Auftragnehmer: Beratungsbüro für Risikoabschätzung, Dortmund

Projekt ist abgeschlossen (2011)

Im Rahmen einer umfangreichen Literaturlauswertung wurde die Aussagekraft von in-vitro Genotoxizitätstests in Relation zu Erkenntnissen aus Epidemiologie und Langzeit-Tierversuchen zur Karzinogenität atembaref faserförmiger und granulärer Stäube untersucht. Über alle Studien und Stäube hinweg ließ sich keine klare Korrelation zwischen der Wahrscheinlichkeit positiver Befunde der in In-vitro-Versuche und den Befunden aus Langzeit-Tierversuchen und epidemiologischen Befunden finden. Die untersuchten Stäube wurden in drei Potenzklassen der karzinogenen Wirkungsstärke eingeteilt. Die in-vitro Methoden zeigten zum Teil eine geringe Sensitivität, karzinogene Wirkungen vorherzusagen. Außerdem sind sie gegenwärtig kaum in der Lage, quantitative Unterschiede in der Wirkungsstärke zu ermitteln.

<http://www.baua.de/de/Publikationen/Fachbeitraege/F2043.html>

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21458593>

## **F 2133: Nano – Dispersion**

### **Dispersion und Retention von Ultrafeinstaub und Nanopartikeln in der Lunge**

Auftragnehmer: Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin ITEM), Hannover

Projekt ist abgeschlossen (2011)

Im Mittelpunkt des Projektes stand die Frage, ob Nanomaterialien, die in der Regel als Agglomerate oder Aggregate von Primärpartikeln vorkommen, nach Inhalation in der Lunge in einzelne Primärpartikel zerfallen. In verschiedenen in-vivo und in-vitro Testsystemen zeigten die untersuchten Nanomaterialien keinen Zerfall in monodisperse freie Nanopartikel. Die Größe der Agglomerate oder Aggregate änderte sich jedoch nach Kontakt mit biologischem Material. Ein deutlicher Zerfall in mehrheitlich kleinteilige Agglomerate oder Aggregate mit Durchmessern unter 100 nm wurde bei den untersuchten Nanomaterialien jedoch nicht beobachtet. Darüber hinaus zeigen in-vivo Studien für das Nanomaterial  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  nur eine geringe systemische Verfügbarkeit nach Inhalation. Aufgenommen wurde ca. 1 % der in der Lunge vorhandenen Stoffmenge, die durchschnittliche Größe der Agglomerate oder Aggregate im Aerosol war allerdings mit ca. 1300 nm relativ groß.

<http://www.baua.de/de/Publikationen/Fachbeitraege/F2133.html>

## F 2246: Nanotox

# Toxische Wirkungen verschiedener Modifikationen eines Nanopartikels nach Inhalation

Auftragnehmer: Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin (ITEM), Hannover

Geplantes Projektende: 2012

Wie Oberflächeneigenschaften von Nanopartikeln die Art und das Ausmaß der toxischen Wirkung beeinflussen ist weitgehend unklar. Als Beitrag zur Klärung dieser offenen Fragen soll ein exemplarischer Typ eines Nanopartikels in drei verschiedenen Modifikationen in einem geeigneten tierexperimentellen Ansatz untersucht werden.

<http://www.baua.de/de/Forschung/Forschungsprojekte/f2246.html>

## 3 Entwicklungsschwerpunkt: Fachkonzepte zur Risikoanalyse und -regulierung als Beiträge zur Chemikaliensicherheit

Chemische Arbeitsstoffe zeichnen sich immer noch für mehr als 4.000 Vergiftungen pro Jahr und mehr als jede zweite Berufskrankheit verantwortlich, die bei den Unfallversicherungsträgern in Deutschland angezeigt werden. Für zwei Drittel der in den Jahren 1995 – 2008 im Rahmen der Europäischen Altstoffverordnung bewerteten Tätigkeiten mit chemischen Arbeitsstoffen besteht – trotz umfangreicher Arbeitsschutzbestimmungen – nach wie vor Besorgnis für die Gesundheit der Beschäftigten. Die Internationale Arbeitsorganisation (ILO) geht weltweit von jährlich 440.000 zusätzlichen Todesfällen durch Chemikalien am Arbeitsplatz aus.

### 3.1 Aktivitätsfeld: Beiträge zur Vorsorgestrategie für Nanomaterialien am Arbeitsplatz

Die Bewertung der Gesundheitsrisiken durch Nanomaterialien am Arbeitsplatz wird in der nächsten Dekade weiterhin durch erhebliche wissenschaftliche Erkenntnisdefizite geprägt sein. Ergänzend zu den Ansätzen, diese „Datenlücken“ zu schließen, ist eine konsequente Anwendung des Vorsorgeprinzips erforderlich, um die innovativen Stärken der Nanotechnologie, u. a. im Zusammenhang mit der nachhaltigen Entwicklung, nicht zu gefährden. Die EU-Vorsorgestrategie sieht zum Schutz der Gesundheit von Beschäftigten zunächst strenge Arbeitsschutzmaßnahmen vor, die dann mit zunehmenden wissenschaftlichen Erkenntnissen schrittweise an die tatsächlichen Gesundheitsrisiken angepasst werden. Mit Gutachten, Memoranden, Werkzeugen und Herstellungshilfen auf Grundlage des Vorsorgeprinzips soll das regulatorische Handeln auf gesetzlicher und untergesetzlicher Ebene sowie die Selbstverantwortung von Unternehmen im Bereich der Nanotechnologie unterstützt werden.

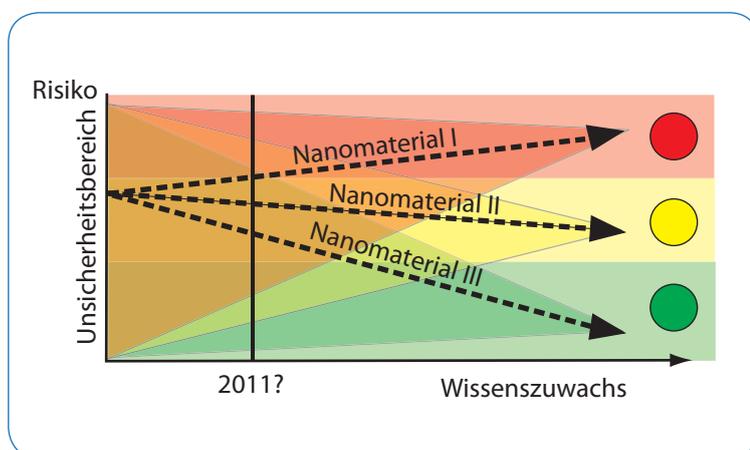


Abbildung 6: Vorsorgeprinzip – Sicherheitshandeln bei Nichtwissen

## Aktuelle Projekte des Teams Nano III

Dr. Packroff, Rolf; Dr. Pipke, Rüdiger; Dr. Kujath, Peter; Plitzko, Sabine; Gierke, Erhard; Broßell, Dirk; Dziurawitz, Nico; Thim, Carmen; Wojtkowiak, Barbara; Dr. Bachmann, Volker; Kockentiedt, Stephen; Dr. Haas, Claus; Dr. Schröder, Frauke; Dr. Kahler-Jenett, Elke; Dr. Wolf, Torsten; Dr. Baron, Miriam; Prof. Dr. Gebel, Thomas; Dr. Orthen, Bruno

### F 2269: NanoGEM

#### Nanostrukturierte Materialien - Gesundheit, Exposition und Materialeigenschaften

Eigene Untersuchung, Beiträge zum Drittmittelprojekt des BMBF

Geplantes Projektende: 2013

Die Expositionen gegenüber Nanomaterialien am Arbeitsplatz und in der Umwelt sind aufgrund der Neuartigkeit der Technologie und fehlender Messsysteme weitgehend noch wenig bekannt. In diesem Projekt entwickelt die BAuA in Zusammenarbeit mit einem interdisziplinären Konsortium Messstrategien zur Bestimmung der inhalativen Exposition von Nanomaterialien an Arbeitsplätzen und evaluiert die Messstrategie in Felduntersuchungen. Mit einem Schwingbett-Aerosolgenerator („Shaker-Verfahren“) wird das Deagglomerationsverhalten bzw. die Staubungsneigung von ausgewählten Nanomaterialien untersucht. In einem zweiten Schwerpunkt wird eine vorläufige Risikoabschätzung für ausgewählte Nanomaterialien aus der Sicht des Arbeitsschutzes erstellt.

<http://www.baua.de/de/Forschung/Forschungsprojekte/f2269.html>

### F 2268: NanoValid

#### Praktische Leitlinie zum Arbeitsschutz bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien im Labormaßstab

Eigene Untersuchung, Beitrag zum Drittmittelprojekt im 7. Rahmenprogramm der EU

Geplantes Projektende: 2015

Bedingt durch das hohe Innovationspotential wird in Forschungseinrichtungen, Start-Up-Unternehmen und KMU eine große Bandbreite verschiedener neuer Nanomaterialien eingesetzt. In diesem Projekt entwickelt die BAuA in Zusammenarbeit mit einem internationalen Konsortium den Vorschlag für eine praktische Leitlinie der EU zum Arbeitsschutz bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien im Labor-Maßstab. Der Vorschlag wird in Felduntersuchungen evaluiert und durch ein Schulungskonzept unterstützt. Ziel ist es, die Basis für einheitliche Standards zum sicheren Umgang mit Nanomaterialien in Laboren und Pilotanlagen auf Grundlage des Vorsorgeprinzips der EU zu schaffen.

### F 2271: Firmenbefragung

#### Firmenbefragung zum Arbeitsschutz bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien

Eigene Untersuchung

Geplantes Projektende: 2012

In einer gemeinsamen Firmenbefragung mit dem Verband der Chemischen Industrie (VCI) hat die BAuA vor 3 Jahren einen ersten Überblick zu Tätigkeiten mit Nanomaterialien an Arbeitsplätzen in Deutschland gewonnen. In der Folgebefragung, die auch der Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) unterstützt, soll der Fokus über die herstellenden Betriebe hinaus auf die gesamte Breite der gewerblichen Anwendung von Nanomaterialien erweitert werden. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen den Akteuren im Arbeitsschutz ein zielgerechtes Handeln auf Grundlage der europäischen Vorsorgestrategie ermöglichen und eine Basis für die Abschätzung der Auswirkungen verschiedener Regulationsansätze bieten.

## **F 2273: Memorandum Vorsorgeprinzip**

### **Memorandum zur Anwendung des Vorsorgeprinzips bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz**

Eigene Untersuchung

Geplantes Projektende: 2012

Umfassende wissenschaftliche Erkenntnisse zu den möglichen Gesundheitsrisiken von Nanomaterialien werden kurzfristig nicht zur Verfügung stehen. Eine konsequente Anwendung des Vorsorgeprinzips im Arbeitsschutz ist notwendig, da aufgrund der steigenden Bedeutung der Nanotechnologie eine zunehmende Zahl von Arbeitnehmern in der Entwicklung, Produktion und Anwendung von Nanomaterialien beschäftigt ist. In einem fortlaufenden Memorandum sollen die regulatorischen und praktischen Rahmenbedingungen für ein anwenderfreundliches staatliches Handeln im Arbeitsschutz beschrieben werden. Ein Schwerpunkt liegt hierbei auf der Erarbeitung eines Konzeptes zur Ableitung eines Arbeitsplatzgrenzwertes für GBS-Nanomaterialien (alveolengängige granuläre biopersistente Stäube mit Primärpartikeldurchmessern unter 100 nm ohne bekannte signifikante spezifische Toxizität).

## **F 2261: Nano Charakterisierung**

### **Charakterisierung von nanoskaligen Eigenschaften chemischer Stoffe als Grundlage für eine Regulierung im Rahmen der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH)**

Auftragnehmer: Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

Geplantes Projektende: 2011

Durch eine Literaturstudie sollen die Grundlagen für eine Charakterisierung von nanoskaligen Eigenschaften im Rahmen der Registrierung von chemischen Stoffen nach der Europäischen Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH) geschaffen werden. Übereinstimmungen und Unterschiede bei physikalisch-chemischen Daten von chemischen Stoffen in nanoskaliger und nicht-nanoskaliger Form werden ermittelt. Es wird geprüft, welche Prüfmethode nach der Europäischen Verordnung Nr. 440/2008 zur Ermittlung der nanoskaligen Eigenschaften bereits zur Verfügung stehen und welche Ergänzungen für eine sachgerechte Anwendung im Rahmen der REACH-Verordnung notwendig sind.

<http://www.baua.de/de/Forschung/Forschungsprojekte/f2261.html>

## **F 2272: TP Software**

### **Entwicklung einer Software zur Auswertung der Anzahlkonzentration der Agglomerate und Primärpartikel von Nanomaterialien am Arbeitsplatz**

Eigene Untersuchung in Kooperation mit der Universität Magdeburg

Geplantes Projektende: 2014

Validierte Messmethoden und –strategien für Nanomaterialien am Arbeitsplatz sind notwendige Voraussetzung für eine sachgerechte Überwachung der Wirksamkeit von Arbeitsschutzmaßnahmen. Durch eine Software zur computer-gestützten Zählung und Analyse der Anzahlkonzentration der Agglomerate und Primärpartikel von Nanomaterialien auf rasterelektronenmikroskopisch erzeugten digitalisierten Bildern, soll die Messung von Nanomaterialien am Arbeitsplatz mit dem Thermalpräzipitator erleichtert werden.

<http://www.baua.de/de/Forschung/Forschungsprojekte/f2272.html>

# Weitere abgeschlossene Projekte mit Bezug zu den Themenfeldern „Nanomaterialien/Ultrafeinstäube“

- Untersuchungen zur Kanzerogenität granulärer Stäube an Ratten – Ergebnisse und Interpretationen (2007)
- Charakterisierung von ultrafeinen Partikeln für den Arbeitsschutz (2007)<sup>10</sup>
- Manganbelastung durch Schweißrauche: Personengebundene Analyse ultrafeiner Personengebundene Analyse ultrafeiner Partikel (UFP) (2005)
- Histologische Diagnose von Rattenlungen nach Belastung mit granulären, biopersistenten Stäuben (2005)
- Charakterisierung von ultrafeinen Partikeln für den Arbeitsschutz (2003)
- Beschreibung und Auswertung einer Kanzerogenitätsstudie mit 19 Stäuben an Ratten (2002)
- Toxische Wirkung von faserförmigen und nicht faserförmigen Stäuben nach intraperitonealer Injektion (2002)

**Ergebnisse sind einsehbar unter:**

[www.baua.de](http://www.baua.de) > Forschung und Entwicklung > F+E-Ergebnisse

## 4 Politikberatung: Chemikaliensicherheit und Arbeitsschutz bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien

Die Erkenntnisse aus den Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten der BAuA werden für die Politikberatung auf nationaler und internationaler Ebene aufbereitet. Dies erfolgt über Stellungnahmen für die zuständigen Ressorts der Bundesregierung und Mitwirkung in relevanten Gremien. Derzeit werden folgende Schwerpunkte für eine pro-aktive Beratung gesetzt:

### Deutschland

- Bundesregierung / Ressorts: Beratung zur regulatorischen Einbindung von Nanomaterialien in die Gefahrstoffverordnung (Bundesministerium für Arbeit und Soziales - BMAS), Chemikaliengesetz, CLP-, REACH-Verordnung (BMAS, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit – BMU)
- Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS): Ableitung von Grenzwerten und Expositions-Risiko-Beziehungen für GBS-Materialien (UA III), Handlungshilfen zum Arbeitsschutz für Tätigkeiten mit Nanomaterialien (UA I)
- Nanokommission: Prinzipien zum verantwortungsvollen Umgang mit Nanomaterialien
- Länderausschuss für Arbeitssicherheit: Projektgruppe Nanomaterialien

### International

- Gremien der EU zur Chemikaliensicherheit: Risk Assessment Committee (RAC), REACH-Arbeitsgruppen zu Nanomaterialien (RIPoN), Arbeitsgruppe der EU-Behörden (CASG)
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) Working Party on manufactured Nano Materials (WPMN): Arbeitsgruppe „Exposure measurement and exposure mitigation“, u. a. Zusammenstellung der internationalen Handlungshilfen zum Arbeitsschutz bei Nanomaterialien im Laborbereich<sup>11</sup>
- Österreichische Regierung, Wissenschaftlicher Beirat zum Nano Environment, Health, Safety (EHS) Programm

<sup>10</sup><http://www.baua.de/de/Publikationen/Fachbeitraege/F2075.html>

## 5 Praxistransfer zu Nanomaterialien am Arbeitsplatz

Gemeinsam mit dem Verband der Chemischen Industrie (VCI) gibt die BAuA seit 2007 einen Leitfaden für Tätigkeiten mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz heraus<sup>12</sup>. Dieser soll in Kürze in einer überarbeiteten Version erscheinen, in die auch Erkenntnisse aus den o. g. FuE-Aktivitäten einfließen, z. B. zur Messstrategie. Veranstaltungen zum Arbeitsschutz (z. B. die Messe A+A in Düsseldorf), zu Gefahrstoffen und ein vielfältiges Seminar- und Vortragsprogramm der BAuA bieten ein gutes Forum für den Informationsfluss zu den Anwendern.

Im Rahmen des Nano-Dialogs der Bundesregierung fand am 17. Januar 2011 in der Arbeitswelt Ausstellung DASA das

Dialog-Forum „Nanomaterialien am Arbeitsplatz“ mit mehr als 200 Interessierten aus Unternehmen, Behörden und Wissenschaft statt. Im Mittelpunkt standen die

Forschungsergebnisse der BAuA und deren Einbindung in Politik und Praxis. Zwischen Februar und Oktober 2011 wurde die Sonderschau „nano!“ des TECHNOSEUM Landesmuseum für Arbeit und Technik, Mannheim in der DASA Arbeitswelt Ausstellung durch umfangreiches Begleitprogramm unterstützt, das die breite Öffentlichkeit mit Fragen zur Sicherheit von Nanomaterialien vertraut machte. Aber auch Forschungseinrichtungen und Start-up Unternehmen der Nanotechnologie wurden mit Seminaren zu Fragen der Risikobewertung von Nanomaterialien gezielt angesprochen.



**Abbildung 7:** Podiumsdiskussion in der DASA, Foto: BAuA/Fox/Völkner

<sup>11</sup><http://www.oecd.org/officialdocuments/displaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono%282010%2947&doclanguage=en>

<sup>12</sup>[http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/pdf/Leitfaden-Nanomaterialien.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/pdf/Leitfaden-Nanomaterialien.pdf?__blob=publicationFile)

## 6 Abkürzungen

- AGS                    Ausschuss für Gefahrstoffe
- BAM                   Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
- BAuA                  Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
- BDI                    Bundesverband der Deutschen Industrie
- BMAS                Bundesministerium für Arbeit und Soziales
- BMBF                Bundesministerium für Bildung und Forschung
- BMU                  Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
- CASG                REACH Competent Authorities Sub-Group on Nanomaterials
- ChemG              Chemikaliengesetz
- CLP                   Classification, Labelling, Packaging
- CNF                   Carbon Nano Fibres
- CNT                   Carbon Nanotubes
- CPC                   Condensation Particle Counter
- DASA                Arbeitswelt Ausstellung
- EDX                   Energiedispersive Röntgenspektroskopie  
(energy dispersive x-ray spectroscopy)
- EHS                   Environment, Health, Safety
- FuE                    Forschung und Entwicklung
- GBS                   Granuläre biobeständige Stäube
- ILO                    International Labour Organization
- ITEM                  Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin
- IUTA                  Institut für Energie- und Umwelttechnik
- KMU                  Kleine und mittlere Unternehmen
- OECD                Organisation for economic co-operation and development
- RAC                   Risk Assessment Committee
- REACH                Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals
- RiPoN                REACH Arbeitsgruppe zu Nanomaterialien  
(REACH Implementation Projekt on Nanomaterials)
- SMPS                Scanning Mobility Particle Sizer
- TP                    Thermalpräzipitator
- UA                    Unterausschuss
- UBA                   Umweltbundesamt
- UFP                   Ultrafeine Partikel
- VCI                    Verband der chemischen Industrie
- WPMN                Working Party on Manufactured Nanomaterials

**Herausgeber:**

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Sitz Dortmund  
Friedrich-Henkel-Weg 1-25  
44149 Dortmund

Telefon 0231 9071-0

Fax 0231 9071-2454

E-Mail [poststelle@baua.bund.de](mailto:poststelle@baua.bund.de)

Internet [www.baua.de](http://www.baua.de)

**Text:** Dr. Rolf Packroff, Wissenschaftlicher Leiter des Fachbereichs „Gefahrstoffe und biologische Arbeitsstoffe“

**Bearbeitung:** Annika Herbst, Stephanie Crombach

**Layout und Gestaltung:** Martina Brandau-Pollack

**Quelle:**

[www.baua.de](http://www.baua.de) > Themen von A-Z > Nanotechnologie > BAuA-Aktivitäten > Downloads > „Forschung und Entwicklung zu Nanomaterialien am Arbeitsplatz“

**Umschlagbild:** Ausstellung nano! des TECHNOSSEUM Mannheim (BAuA/Fox/Völkner)

**Stand:** September 2011

Alle Rechte einschließlich der fotomechanischen Wiedergabe und des auszugsweisen Nachdrucks vorbehalten.