

TEXTE

34/2010

Untersuchung des Einsatzes von Nanomaterialien im Umweltschutz

Kurzfassung

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Förderkennzeichen 3707 61 301/05
UBA-FB 001337

Untersuchung des Einsatzes von Nanomaterialien im Umweltschutz

Kurzfassung

von

Dr. Sonja Martens

Dr. Bernd Eggers

Thorsten Evertz

Golder Associates GmbH, Celle

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

UMWELTBUNDESAMT

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=1337 verfügbar. Hier finden Sie auch den vollständigen Band und eine englische Kurzfassung.

Die in der Studie geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 14 06
06813 Dessau-Roßlau
Tel.: 0340/2103-0
Telefax: 0340/2103 2285
E-Mail: info@umweltbundesamt.de
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet III 2.3K Chemische Industrie, Energieerzeugung
Dr. Wolfgang Dubbert

Dessau-Roßlau, Juni 2010

Die Nanotechnologie ist in den vergangenen Jahren verstärkt ins Blickfeld der öffentlichen Diskussion gelangt und gilt im Allgemeinen als eine der Schlüsseltechnologien der Zukunft. Schwerpunkt der vorliegenden Studie waren nanotechnische Anwendungen im Umweltschutz, speziell in den Bereichen Wasser und Luft.

Zunächst wurden sowohl im Forschungs- und Entwicklungsstadium befindliche nanotechnische Lösungen als auch am Markt verfügbare Produkte recherchiert. Ziel war es, einen Querschnitt gegenwärtiger und zukünftig möglicher Lösungen im Umweltschutz aufzuzeigen. Anschließend wurden mit Hilfe ökobilanzieller Betrachtungen anhand von zwei Fallstudien überprüft, welche Umweltentlastungs- und Umweltbelastungspotenziale sich durch den Einsatz nanotechnischer Produkte oder Verfahren im Vergleich zu konventionellen Lösungen ergeben. Die erste Fallstudie beschäftigt sich mit der solaren Behandlung von mit Tetrachlorethen belastetem Wasser unter Einsatz von nanoskaligem Titandioxid (Halbleiter-Photokatalyse) im Vergleich zum Photo-Fenton-Verfahren. In der zweiten Fallstudie wurde ein PKW-Kombinationsfilter mit Nanofaserbeschichtung mit einem herkömmlichen Kombinationsfilter verglichen.

Im Ergebnis der durchgeführten Recherche waren die folgenden nanotechnischen Lösungen für die Wasser- und Luftreinhaltung festzuhalten:

Sektor Wasser

Nanotechnische Produkte kommen in der Trinkwasseraufbereitung, der Abwasserreinigung und der Grundwassersanierung zum Einsatz. Neben bereits kommerziell verfügbaren Produkten und Anwendungen befinden sich zahlreiche Techniken in den folgenden Bereichen noch im Entwicklungs- oder Teststadium:

- **Filtration/Separation:** Nanoskalige Membranen stellen den Stand der Technik dar. Als Membranmaterialien werden sowohl organische Polymere als auch anorganische Keramiken verwendet. Anwendungen der Nanofiltration finden sich z.B. in der Trinkwasseraufbereitung, Lebensmittelindustrie sowie in der Textil- und Farbstoffindustrie. Große Potenziale der Nanotechnologie werden im Bereich der Meerwasserentsalzung gesehen.
- **Funktionalisierung von Oberflächen:** Viele Entwicklungen zielen derzeit darauf ab, Nanomaterialien mit definierten Funktionalitäten, wie speziellen chemischen oder mechanischen Eigenschaften, auszustatten. Beschichtungen auf Nanotechnologie-Basis sollen z.B. Fouling-Prozessen bzw. Ablagerungen auf Membranen, in Wärmetauschern, Reaktoren oder an Schiffsrümpfen entgegenwirken.

- Sorption: Durch den Einsatz von Sorptionsmitteln ergeben sich in verschiedenen Bereichen der Wasserbehandlung Möglichkeiten für nanotechnische Anwendungen. Beispielhaft sind ein Adsorbermedium zur Abtrennung von Arsen aus Trink- und Abwasser sowie ein papierähnliches Material aus Nanodrähten zur Aufnahme hydrophober Flüssigkeiten wie Mineralöl aus Wasser zu nennen.
- Nanokatalysatoren: In der Abwasserreinigung kommt nanoskaliges Titandioxid als Katalysator zum Einsatz. Bei der Photokatalyse werden durch Bestrahlung des Titandioxids sowohl Wasser als auch Luftsauerstoff zu reaktiven Hydroxylradikalen umgesetzt, die toxische oder biologisch schwer abbaubare organische Wasserinhaltsstoffe umwandeln. Im Fokus derzeitiger Entwicklungen steht die Anwendung der Photokatalyse in Ländern mit starker Sonneneinstrahlung und/oder für die Behandlung kleiner, schwach belasteter Wassermengen. Weitere Forschungsarbeiten betreffen die Entwicklung eines Nanokatalysators (Palladium auf Magnetit-Nanopartikeln) für die Behandlung von mit halogenorganischen Kohlenwasserstoffen belasteten Abwässern.
- Nanoreagenzien: Verschiedene Nanopartikel auf der Basis von nullwertigem Eisen finden in der In-situ-Grundwassersanierung Anwendung. Neben dem reinen Nanoeisen werden u.a. bimetallische Nanopartikel und eine mit Eisen-Nanopartikeln belegte Aktivkohle im Rahmen von Labor- und Pilotversuchen untersucht bzw. teilweise bereits für Sanierungen eingesetzt. Die Entwicklungen und Anwendungen konzentrieren sich auf den Abbau chlorierter organischer Schadstoffe im Grundwasser.

Sektor Luft

Im Bereich der Luftreinhaltung findet die Nanotechnologie seit 35 Jahren in Autoabgaskatalysatoren Anwendung. Darüber hinaus finden sich nanotechnische Produkte z.B. in Luftfiltern und bei photokatalytischen Anwendungen zur Entfernung von Luftschadstoffen.

- Autoabgaskatalysatoren: Katalysatoren zählen im Automobilbereich zum Stand der Technik. Ein Dreiwegekatalysator besteht aus einem Edelstahl-Gehäuse, das im Inneren katalytisch aktives Material enthält. Dieses befindet sich als Schicht auf einem Trägermaterial (Washcoat). Die Partikelgröße der im Washcoat katalytisch aktiven Edelmetalle liegt im nanoskaligen Bereich. Forschungsgegenstand ist gegenwärtig u.a. die Reduzierung des Edelmetallgehaltes bei vergleichbarer katalytischer Wirkung.

- **Filtration/Separation:** Im Automobilbereich kommen nanofaserbeschichtete Filtermedien in Kabinenluftfiltern zum Einsatz. Weitere Anwendungsbereiche nanofaserbeschichteter Filterwerkstoffe liegen u.a. in der Luftfiltration (Entstaubung) in Industrieanlagen und in der Zuluftfiltration für Gasturbinen. Forschungsvorhaben beschäftigen sich u.a. mit der Entwicklung und Optimierung nanostrukturierter Membranen zur Abtrennung von Kohlendioxid aus Kraftwerksabgasen.
- **Nanokatalysatoren:** Nanokatalysatoren zur nachhaltigen Entfernung von Schadstoffen aus der Luft befinden sich zumeist noch im Entwicklungsstadium oder am Beginn der Praxisreife. Zum Beispiel werden durch die Verwendung von nanokristallinem Titandioxid in Zement photokatalytisch aktive Betonoberflächen geschaffen, die einen Beitrag zur Luftreinhaltung in Städten leisten können.

Fallstudie 1: Solare Wasserbehandlung

Im Rahmen dieser Fallstudie erfolgte in Anlehnung an DIN EN ISO 14040 und 14044 eine ökobilanzielle Betrachtung von zwei Ansätzen zur solaren Behandlung von mit Tetrachlorethen belastetem Wasser. Untersucht wurde der Einsatz von nanoskaligem Titandioxid (Halbleiter-Photokatalyse) im Vergleich zur Anwendung von Eisen(II)-Verbindungen mit Wasserstoffperoxid (Photo-Fenton-Verfahren).

Die Datenerhebung erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Köln, das Reaktoren zur Photokatalyseforschung betreibt.

Im Rahmen der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung wurden für beide Varianten zur solaren Wasserbehandlung die Materialien zum Aufbau des Reaktors inklusive ihrer Produktion (Vorketten) sowie der Energiebedarf für die Versuchsdurchführung berücksichtigt. Des Weiteren wurden die jeweils eingesetzten Chemikalien inklusive ihrer Herstellung einbezogen. Eine mögliche Abtrennung und Wiederverwendung einzelner Chemikalien konnte aufgrund fehlender Daten nicht berücksichtigt werden.

Beide Ansätze wurden auf Basis der Bewertungsmethode Eco-indicator 99 verglichen. Die bewerteten Schutzgüter umfassten die Kategorien „Menschliche Gesundheit“, „Ressourcenverbrauch“ und „Ökosystemqualität“. Betrachtet wurde sowohl die Beeinträchtigung der Schutzgüter infolge des Reaktorbaus als auch drei Szenarien (Batch-versuch, 1 Jahr, 10 Jahre) hinsichtlich des Anlagenbetriebes. Die Wirkungsabschätzung ergab, dass bei beiden Ansätzen die Umweltbeeinträchtigung hauptsächlich durch den Ressourcenverbrauch bestimmt wurde.

Im Ergebnis der Fallstudie „Solare Wasserbehandlung“ war festzuhalten, dass bei einem längerfristigen Betrieb der solaren Anlage unter den genannten Randbedingungen

beim Einsatz von nanoskaligem Titandioxid für die Photokatalyse im Vergleich zum Photo-Fenton-Verfahren mit einem deutlich höheren Umweltbelastungspotenzial zu rechnen ist. Das mit zunehmender Laufzeit steigende Umweltbelastungspotenzial bei der Photokatalyse ist auf das Titandioxid zurückzuführen, das durch einen hohen Verbrauch an Ressourcen in der Vorkette gekennzeichnet ist.

Fallstudie 2: Filtermedien in Kabinenluftfiltern

Im Rahmen dieser Fallstudie wurde ein PKW-Kombinationsfilter mit Nanofaserbeschichtung mit einem herkömmlichen Kombinationsfilter verglichen. Die Datenerhebung erfolgte in Zusammenarbeit mit der Mann + Hummel GmbH. Dabei wurden, soweit dieses aus Wettbewerbsgründen möglich war, produktspezifische Informationen und Versuchsdaten des Kooperationspartners berücksichtigt.

Im Rahmen der ökobilanziellen Betrachtung lag der Schwerpunkt der Sachbilanz und Wirkungsabschätzung auf den Modulen „Produktion“ und „Gebrauch im PKW“. Eine Abschätzung des Kraftstoff-Einsparpotenzials bzw. der möglichen CO₂-Reduzierung ergab bei Betrachtung eines einzelnen nanofaserbeschichteten Filters äußerst geringe Vorteile gegenüber dem konventionellen Filter. Zwei Beispiele verdeutlichten jedoch, welche Umweltentlastungspotenziale sich durch den Einsatz nanofaserbeschichteter Filter durch Summationseffekte ergeben können:

- Auf Basis der von Mann + Hummel GmbH zur Verfügung gestellten Verkaufszahlen (2006 bis 2008: Auslieferung von etwa 4,1 Mio. Filter mit Nanofasern) ergibt sich für diesen Zeitraum eine Reduktion der CO₂-Emissionen von ca. 1.800 t durch den Einsatz der Nanotechnologie. Da auch Mitbewerber Filter mit Nanofasern anbieten, dürfte die tatsächliche CO₂-Reduzierung noch deutlich höher anzusetzen sein.
- Die Anzahl der Fahrzeuge in Deutschland belief sich am 01. Januar 2008 auf etwa 49 Mio. (41 Mio. PKW, 8 Mio. Kleintransporter, LKW, Busse und andere). Angenommen, dass alle PKW mit Kabinenluftfiltern mit Nanofasern ausgestattet wären, ergibt sich theoretisch eine Verringerung der CO₂-Emission von 18.150 t pro Lebensdauer der Filter (je 15.000 km) verglichen mit dem Fall, dass alle PKW noch mit konventionellen Filtern ausgerüstet wären.

Nachfolgend wurden Produktion und Gebrauch beider Kabinenluftfiltermedien mit Hilfe der Bewertungsmethoden Eco-indicator 99 und CML 2001 analysiert. Der Vergleich der zwei Filtermedien nach Eco-indicator 99 zeigte nur marginale Differenzen innerhalb der drei Schutzgüter „Menschliche Gesundheit“, „Ressourcenverbrauch“ und „Ökosys-

temqualität“. Festzuhalten war, dass die Resultate wesentlich durch den Gebrauch des Filters (PKW-Fahrleistung von 15.000 km) bestimmt waren; die Produktion inklusive Vorketten der Filtermedien selbst hatte nur einen minimalen Anteil an der EI99-Gesamtpunktzahl und damit an der Beeinträchtigung der Schutzgüter.

Im Ergebnis der Fallstudie „Filtermedien in Kabinenluftfiltern“ fiel damit die ökobilanzielle Betrachtung leicht zugunsten des nanotechnischen Produktes aus. Wie am Beispiel der CO₂-Emissionen erläutert wurde, ist das Einsparpotenzial bei Bilanzierung eines einzelnen nanofaserbeschichteten Filtermediums jedoch sehr gering. Erst die Betrachtungen der im Markt eingesetzten großen Filtermengen bzw. hoher PKW-Gesamtfahrleistungen verdeutlichen die Umweltentlastungspotenziale infolge des Einsatzes der Nanotechnologie im Filterbau.