

# Wege in die Zukunft – Roadmap für den Klimaschutz mit Nanotechnologien

## Synopse der Jahrestagung des Öko-Instituts vom 14.09.2010 in Darmstadt

Anlässlich der Jahrestagung des Öko-Instituts am 14. September 2010 diskutierten insgesamt 110 Teilnehmer/innen aus Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und Zivilgesellschaft über Beiträge der Nanotechnologien für die zentralen Herausforderungen unserer Zeit. In zwei Einführungsvorträgen, einer Podiumsdiskussion, drei parallelen Workshops und einem abschließenden Zwiegespräch wurde der Frage nachgegangen, welche konkreten Chancen die Nanotechnologien für die Nachhaltigkeit bieten. Dabei standen neben den aktuell marktverfügbaren Produkten ausdrücklich auch die derzeit noch in der Entwicklung befindlichen Anwendungen im Mittelpunkt. Neben dem möglichen Beitrag zu einzelnen Nachhaltigkeitszielen wurde auch der Aspekt der Methodik einer integrierten Bewertung nanotechnologischer Anwendungen beleuchtet. In Ergänzung dazu diskutierten die Teilnehmer/innen, wie ein regulatorischer Rahmen gestaltet sein sollte, damit einerseits die Realisierung der Nachhaltigkeitspotenziale und gleichzeitig auch Risikovorsorge und Gefahrenabwehr angemessen berücksichtigt werden.

### Einführungsvorträge aus Politik und Wirtschaft

In den beiden Einführungsvorträgen stellten Prof. Dr. Wolf-Dieter Lukas aus dem Bundesministerium für Bildung und Forschung und Prof. Dr. Rüdiger Iden als Vertreter von BASF SE zunächst den Blickwinkel der staatlichen Forschungsförderung relevanter Anwendungsfelder und die Aktivitäten der Wirtschaft dar.

Demnach sei es für die Bundesregierung zentral wichtig, die Forschung im Bereich der Nanotechnologien so auszurichten, dass sie mit ihren Anwendungen einen wichtigen Beitrag zu Klimaschutz, Ressourcenschonung und Gesundheit leisten können. Der Staat müsse hier klar eine Richtung bezüglich der gewünschten Anwendungsfelder vorgeben und zudem kontinuierlich überprüfen, ob die Richtung noch stimme. Chancen und Risiken müssten grundsätzlich bei allen Anwendungen in einem vernünftigen Verhältnis zueinander stehen. Während bei bestimmten medizinischen Anwendungen (zum Beispiel der Krebstherapie) „Nebenwirkungen“ akzeptiert würden, müssten hingegen im Lebensmittel- und Kosmetiksektor alle Produkte absolut sicher sein. Darüber hinaus wies Prof. Dr. Lukas auf die Notwendigkeit einer Betrachtung des gesamten Lebenszyklusses hin: So müsse beispielsweise bei den neuen, durch nanotechnologische Komponenten ermöglichten Akkus für die Elektromobilität das Recycling gewährleistet sein, damit die Ökobilanz insgesamt stimme. Schließlich sei es auch essentiell, dass alle wichtigen Themen im Bereich der Risikoforschung berücksichtigt und angemessen gefördert würden.

Prof. Dr. Iden arbeitete in seiner Keynote heraus, dass von den globalen Megatrends und den daraus resultierenden Bedürfnissen (Gesundheit & Ernährung, Bauen & Wohnen, Energie &

Rohstoffe sowie Mobilität & Kommunikation) wichtige Impulse für die Nanotechnologie-Forschung der Wirtschaft ausgehen würden. Allein bei der BASF betrage der jährliche Umsatz mit Nanomaterialien derzeit rund zehn Milliarden Euro und stelle mit einem Wachstum von 10-15 Prozent den dynamischsten Sektor in der Spezialitätenchemie dar. Mit ca. 200 Millionen Euro würden rund ein Siebtel aller Forschungsmittel der BASF gegenwärtig für die Entwicklung der Nanotechnologien eingesetzt. Allerdings bestehe die Herausforderung darin, die entwickelten Materialien mit Bedacht und größtmöglichem Nutzen zu verwenden. So gehe es beispielsweise darum, die erforderliche Revolution im Energiesektor mit gezielten Innovationen im Bereich der erneuerbaren Energien und neuer Energiespeicher voranzutreiben. Ferner spiele auch die Substitution und Entfernung von Schadstoffen sowie die Effizienzsteigerung bei Produkten und Prozessen eine bedeutende Rolle. Gleichzeitig müssten aber auch ungewollte negative Effekte untersucht und kontrolliert werden. In diesem Zusammenhang wies Prof. Dr. Iden auf die vorbildliche Diskussion zu den Chancen und Risiken der Nanotechnologie in Deutschland hin, zu der unter anderem die Aktivitäten der NanoKommission und von NanoCare maßgeblich beigetragen hätten.

### **Podiumsdiskussion: Beiträge der Nanotechnologien für die Nachhaltigkeit**

In der anschließenden Podiumsdiskussion wurden hochrangige Vertreter der verschiedenen Stakeholdergruppen um ihre Einschätzung gebeten, bei welchen nanotechnologischen Innovationen sie jeweils besonders große Nachhaltigkeitspotenziale sehen. Michael Sailer (Öko-Institut) benannte als erster Befragter aus dem Podium Verbesserungen bei der industriellen Prozessführung durch Nano-Katalysatoren und dadurch bedingte höhere Energieeffizienz und Ressourcenschonung. Als Vertreterin des BMU hob Cornelia Leuschner neuartige Anwendungen im Bereich der Abwasserreinigung hervor, mit deren Hilfe Industrieabwässer behandelt, aber auch besonders effizient Meerwasser entsalzt und Trinkwasser entkeimt werden könne. Wolf-Michael Catenhusen (NanoKommission) sieht große Potenziale bei organischen Leuchtdioden (OLEDs), die aus ökobilanzieller Sicht deutlich besser als die heutigen Energiesparlampen abschneiden würden. Besonders interessant aus der Sicht von Dr. Gerd Romanowski (VCI) seien u. a. Lithium-Ionen-Akkus als Stromspeicher. Nanomaterialien könnten sowohl die Separatoren in der Batterie als auch die Elektroden optimieren. Prof. Dr. Wilfried Kühling (BUND) bezog sich in seinem Statement ebenfalls auf Wasserreinigung, wies aber in diesem Zusammenhang darauf hin, dass technologische Lösungen mitunter auch notwendige Verhaltensänderungen und politische Anstrengungen verzögerten und den Blick auf die eigentlichen Ursachen der Probleme verstellten. Dr. Holger Krawinkel (vzbv) griff in seinem Beitrag neben anderen Anwendungen nochmals die Speichertechnologien auf und zeigte am Beispiel von E-Bikes die Chancen für andere, nachhaltigere Konsummuster auf, die durch nanotechnologische Innovationen befördert werden könnten.

Teilnehmer/innen aus dem Publikum forderten mehr Transparenz, in welchen Anwendungen Nanomaterialien enthalten sind. Es wurde in diesem Zusammenhang auch der zunehmende Einsatz von Nanosilber in zahlreichen Anwendungen kritisiert, wobei die „Silber-Socke“ als

Symbol für einen Einsatzbereich der Nanotechnologien mit vergleichsweise geringen Nachhaltigkeitspotenzialen mehrfach zitiert wurde. Weiterhin wurde seitens des Publikums darauf hingewiesen, dass bislang zu wenige Ökobilanzen für Nanoprodukte vorlägen, die Auskunft darüber geben könnten, welche Nachhaltigkeitspotenziale die verschiedenen nanotechnologischen Anwendungen tatsächlich bieten würden. Bei solchen Untersuchungen sei insbesondere der damit verbundene systemische Ansatz hilfreich, der es ermögliche, die Untersuchungsobjekte über den gesamten Lebenszyklus integriert zu betrachten und so positive wie negative Rebound-Effekte zu identifizieren. Wolf-Michael Catenhusen wies in diesem Zusammenhang darauf hin, dass es aus praktischen Gründen nicht möglich sein werde, Ökobilanzen für jede der zahlreichen Anwendungen anzufertigen, sondern eine Fokussierung auf strategisch wichtige Forschungs- und Anwendungsfelder vorgenommen werden müsse.

### **Drei Workshops zur Vertiefung der Fragestellungen aus den Einführungsvorträgen und der Podiumsdiskussion**

Im Rahmen der parallel stattfindenden Workshops wurde im **ersten Workshop** die Frage vertieft, welchen spezifischen Beitrag Nanotechnologien zur Lösung gesellschaftlicher Problemfelder leisten können. Dabei wurde insbesondere thematisiert, ob sich die mittels Nanotechnologien erreichbaren Verbesserungspotenziale in den jeweiligen Problemfeldern heute bereits genauer quantifizieren lassen.

Ein erstes, von Dr. Eckhard Rikowski (TU-Darmstadt) vorgestelltes Beispiel betraf Weiterentwicklungen im Bereich neuartiger Sensortechniken. Hier könnten durch den Einsatz spezieller Nanomaterialien und eine Integration von Nano- und Mikrotechnik neben Nutzensvorteilen auch Einsparungspotenziale im Material- und Energieverbrauch sowie Vorteile bei der Entsorgung erzielt werden. Ein weiteres von Dr. Enrico da Como (LMU München) untersuchtes Beispiel diskutierte den Beitrag, den organische Solarzellen unter Nutzung nanotechnologischer Verfahren zur zukünftigen Energieversorgung leisten können. Um diese gegenüber den derzeit dominierenden siliziumbasierten Zellen konkurrenzfähig am Markt platzieren zu können, seien Fortschritte bei den Wirkungsgraden (zur Zeit maximal acht Prozent) und bei den Herstellungskosten erforderlich. So wären in ca. fünf Jahren Modulpreise von unter 30 Euro pro Quadratmeter erreichbar. Wenn Preise unterhalb von fünf Cent / kWh erzielt werden sollen, seien dann jedoch Wirkungsgrade von etwa 13 Prozent erforderlich. Erst bei Herstellungspreisen im Bereich von zehn Euro pro Quadratmeter würden bereits Wirkungsgrade von ca. neun Prozent ausreichend sein. Als drittes Beispiel wurde von Dr. Péter Krüger (Inno.CNT) dargestellt, dass durch die gezielte Gestaltung der molekularen Struktur bei dem sehr flexiblen Ausgangsmaterial Kohlenstoff eine Vielzahl neuer Materialien denkbar sei, die ebenfalls gezielt zu einer Reihe von gesellschaftlich wünschenswerten Anwendungen beitragen könnten. Hierzu gehörten beispielsweise Windrotoren, Brennstoffzellen und Solarzellen, aber auch Energietransport durch Materialien mit verbesserter Leitfähigkeit, die Energiespeicherung durch neue Batterien sowie Energiesparen durch Leichtbauweise und effizientere Produktionsprozesse. Eine Quantifizierung der Nachhaltigkeitspotenziale sei jedoch für diese Forschungsfelder, die sich noch im Stadium der Entwick-

lung spezieller Kohlenstoff-Nanoröhrchen (Carbon Nanotubes) befinde und noch keine konkreten Produkte erforsche, praktisch nicht möglich. Erst bei deren konkreter Implementierung in einem Produktbereich seien deren Auswirkungen genauer quantifizierbar. Dr. Hubert Meisinger (Zentrum Gesellschaftliche Verantwortung der Ev. Kirche in Hessen und Nassau) stellte fest, dass eine Bewertung von konkreten Anwendungen auf eine nachvollziehbare Datenbasis als Beleg für positive und negative Auswirkungen angewiesen sei. Er ging darauf ein, dass eine Bewertung von Nanotechnologien immer nur durch einen gesellschaftlichen Dialogprozess unter Beteiligung aller relevanten Stakeholdergruppen möglich sei, da keine absoluten Kriterien für „gute“ oder „schlechte“ Technologien zur Verfügung stünden. Dr. Astrid Schwarz (Institut für Philosophie, TUD) wies darauf hin, dass mit dem Versprechen einer „grünen Nanotechnologie“ die Aufhebung des Widerspruchs zwischen einer eher vorsichtig-bewahrenden und einer eher innovationsfreundlichen, risikobereiten Ideologie versprochen werde. Dies könne aber nur in Form eines gesellschaftlichen Experiments realisiert werden, in dem Forschung und Entwicklung in einem stetigen partizipativen Prozesses zwischen Wissenschaft und Politik bzw. Gesellschaft gemeinsam weiterentwickelt würden.

Der **zweite Workshop** widmete sich der integrierten Chancen-Risiko-Bewertung von Nanoprodukten. Dafür wurden bereits bestehende bzw. derzeit in Entwicklung befindliche Instrumente vorgestellt. Im Einzelnen handelte es sich dabei um die folgenden drei Ansätze: Michael Jung (Nanogate) stellte als Sprecher der Themengruppe 2 des laufenden NanoDialogs der Bundesregierung die Eckpunkte eines Kriterienkatalogs vor, der von den Mitgliedern dieser Themengruppe in einem Stakeholderprozess zur Gegenüberstellung von Nutzen- und Risikoaspekten erarbeitet wurde. Im Anschluss daran präsentierte Dr. Marianna Pierobon (BASF SE) mit der „SEEBalance“ das hauseigene Bewertungsinstrument der BASF zur Bewertung ökonomischer, ökologischer und sozialer Aspekte von Produkten und Prozessen. Seitens des Öko-Instituts erläuterte Martin Möller die Grundzüge des „Nano-Nachhaltigkeitschecks“. Dabei handelt es sich um ein speziell für Nanoprodukte entwickeltes Tool, welches neben der integrierten Nachhaltigkeitsbewertung mit fest vorgegebenen Schlüsselindikatoren auch eine strategische Optimierung der untersuchten Produkte durch die Unternehmen selbst ermöglicht.

Diese drei Impulsvorträge dienten als Grundlage für eine Diskussion, die in Tischrunden getrennt nach Stakeholdergruppen (Politik/Behörde, Industrie, Forschung/Beratung und NGO/Zivilgesellschaft) geführt wurde. Ausgehend von den Ergebnissen der Podiumsdiskussion am Vormittag wurde im Rahmen dieser Kleingruppen jeweils der Frage nachgegangen, bei welchen Produkten bzw. Produktgruppen ein vorrangiger Bedarf für eine integrierte Chancen-Risiko-Bewertung gesehen wird. Direkt damit verbunden war die Frage, welche spezifischen Informationen die einzelnen Stakeholder für eine solche Bewertung benötigen und wie aggregiert eine Gesamtbewertung sein darf, um einerseits überschaubar und kommunizierbar zu sein, andererseits aber genügend Differenzierungsmöglichkeiten zu bieten.

Bezüglich der Prioritätensetzung wurde ein besonders dringlicher Bedarf für einen „Nachhaltigkeitscheck“ bei Nanomaterialien gesehen, die bereits mit einer hohen Produktionsmenge auf

dem Markt vertreten und für verschiedene Anwendungsfelder von Bedeutung sind. Besonderes Augenmerk sollte hier nach Einschätzung der Behördenvertreter/innen auf konsumentennahe Anwendungen (z. B. Kosmetika) und umweltoffene Produkte (z. B. Biozide) gelegt werden. Grundsätzlich sollte dabei die Nachhaltigkeitsbewertung eines Nanoprodukts nicht absolut, sondern immer im Vergleich zu einem Referenzprodukt durchgeführt werden. In Hinblick auf den spezifischen Informationsbedarf wurden von den meisten Stakeholdergruppen vorrangig risiko-bezogene Aspekte wie Humantoxikologie und Persistenz (das heißt dem Verbleiben von Stoffen in der Umwelt) genannt. Daneben wurden aber auch Angaben zum technischen Nutzen sowie zu Umfeldfaktoren (Technologie- und Marktentwicklung) und zu Suffizienzaspekten genannt. Die Frage nach der Aggregation aller untersuchten Aspekte zu einem singulären Ergebniswert wurde kontrovers diskutiert. Konsens bestand allerdings darin, dass die Nachhaltigkeitsbewertung von Nanoprodukten grundsätzlich von einem systemischen Ansatz ausgehen und alle Lebenswegabschnitte des Produktes integrieren sollte. Eine Bewertung im Rahmen der vom Öko-Institut vorgeschlagenen SWOT-Analyse, die gleichzeitig auch Wege zu einer strategischen Optimierung aufzeigt, wurde dabei von mehreren Stakeholdern als besonders interessant erachtet.

Im **dritten Workshop** wurde der Frage nachgegangen, mit welchem Rechtsrahmen die Nachhaltigkeitspotenziale nanotechnologische Produkte optimal ausgeschöpft werden können.

Von allen Referenten dieses Workshops wurde hierfür REACH als die europäische chemikalienrechtliche Regelung in den Mittelpunkt gestellt. Grundsätzlich seien die Mechanismen in REACH geeignet, um eine Grundlage für die Risikobewertung von Nanomaterialien zu ermitteln. Uneinheitlich war das Bild aber bei der Frage, ob und inwieweit die REACH-Vorschriften für Nanomaterialien angepasst werden müssen. Diskutiert wurden u. a. eine Modifikation des Stoffbegriffs für Nanomaterialien und die Herabsetzung der Schwellenwerte für die Registrierung von Nanomaterialien. Prof. Dr. Martin Führ (Hochschule Darmstadt, sofia) empfahl, bereits jetzt schon Nanomaterialien zu registrieren, auch wenn die Fristen für die Registrierung noch nicht erreicht sind. Mehr Transparenz bei der Verwendung von Nanomaterialien für die Verbraucher/-innen forderte Jurek Vengels (BUND) und wies darauf hin, dass ein öffentliches Nanoproduktregister dieses Ziel befördern würde. Andreas Hermann (Öko-Institut) erläuterte, dass ein Register die Vorsorge bei Nanoprodukten und damit eine nachhaltige Entwicklung stärken könnte, indem Transparenz über die vermarkteten Nanoprodukte hergestellt und das Risikomanagement von Behörden, Herstellern und Inverkehrbringern verbessert werde. Zu trennen sei davon aber die Forderung nach einer allgemeinen Kennzeichnung von Nanoprodukten, deren Sinn er für fraglich hält. Prof. Dr. Rüdiger Iden (NIA) setzte entgegen, dass die Notifizierung und Kennzeichnung von Nanomaterialien auf der EU-Ebene in der Kosmetik-Verordnung schon vorgeschrieben sei und in weiteren Regelungsbereichen ansteht. Bei der Frage, ob es zusätzlicher Regelungen bedarf, damit Nanomaterialien einen Beitrag zu Nachhaltigkeitszielen liefern, forderte Dr. Alex Föllner (TEGEWA) einen an Nachhaltigkeitszielen ausgerichteten Handlungsrahmen, innerhalb dessen die Industrie dann eigenverantwortlich handeln könne.

## Nanotechnologien und Klimaschutz – ein Zwiegespräch

Zum Abschluss der Veranstaltung diskutierten Dr. Felix Chr. Matthes und Martin Möller (beide Öko-Institut) in einem Zwiegespräch, welche Rolle die Nanotechnologien für die nationalen Klimaziele spielen können. Hierzu erläuterte Dr. Matthes zunächst die Ziele, die für einen wirkungsvollen Klimaschutz nötig seien, so wie diese in der aktuellen [Studie „Modell Deutschland“ von Prognos AG, Öko-Institut und Dr. Hans-Joachim Ziesing im Auftrag vom WWF](#) dargelegt wurden. Demnach müssten weltweit die anthropogenen Treibhausmissionen drastisch reduziert werden, um die Klimaerwärmung auf einem Wert von unter 2°C im Vergleich zum vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Für Deutschland seien daher Minderungen um 95 Prozent bis zum Jahr 2050 erforderlich, was umgerechnet weniger als einer Tonne Treibhausgasemissionen pro Kopf bedeuten würde. 60 Prozent dieser Einsparungen müssten durch technologische Innovationen erfolgen, wobei die Lösungsbeiträge in erster Linie in den Bereichen regenerative Energiebereitstellung, Wärmedämmung, Stromspeicher, neue Werk- und Baustoffe und industrielle Produktionsprozesse realisiert werden müssten. Möller arbeitete heraus, dass in all diesen Technologiebereichen bereits vielversprechende nanotechnologische Produkte bzw. Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen bestehen. So existierten beispielsweise bei der regenerativen Energiebereitstellung durch Photovoltaik gleich drei interessante Ansätze, mit denen die spezifischen Kosten dieser Technologie erheblich gesenkt und damit ihre Konkurrenzfähigkeit deutlich verbessert werden könnten. Im Einzelnen handele es sich dabei um Nanokristalle aus Kupfer, Indium, Gallium und Selen („CIGS“), die eine Herstellung der Solarmodule in einem besonders effizienten Druckverfahren „Rolle zu Rolle“ ermöglichen. Daneben würden Zellen aus polymeren Halbleitern entwickelt, bei denen der Elektronentransport mittels Fullerenen erfolge. Als dritter Ansatz seien die so genannten „Grätzel-Zellen“ zu nennen. Dabei handele es sich um Farbstoffmoleküle auf Ruthen-Basis, welche die Elektronen an Titandioxid-Nanopartikel abgeben würden. Nur durch den Einsatz von Nanomaterialien könne bei diesen drei Entwicklungsrichtungen die Funktionalität sowie die für die Kostensenkung erforderliche Senkung des Ressourcenverbrauchs erreicht werden. Im Bereich der Wärmedämmung seien mit den Aerogelen bereits hocheffiziente nanoporöse Dämmmaterialien erhältlich, die nachträglich eingebaut werden und damit insbesondere die Altbausanierung erleichtern könnten. Darüber hinaus werde für die Wärmedämmung von Fenstern an transluzenten, das heißt lichtdurchlässigen, Elementen geforscht, die je nach Sonneneinstrahlung eine wärmedämmende oder eine stromproduzierende Funktion haben könnten. Auf die Lithium-Ionen-Akkus als nanotechnologische Energiespeicher sowie neuartige Werkstoffe sei bereits im Rahmen der Einführungsvorträge, der Podiumsdiskussion und des ersten Workshops ausführlich eingegangen worden. Ferner könnten Gasmembranen aus neuen Werkstoffen mit Carbon Nanotubes einen wertvollen Beitrag für eine effiziente Abscheidung von CO<sub>2</sub> aus Industrieprozessen (z. B. bei der Stahlgewinnung) leisten, die laut „Modell Deutschland“ für die verbleibenden Emissionen aus fossilen Brennstoffen unerlässlich sei.

Unter Einbeziehung des Plenums wurde herausgearbeitet, dass angesichts dieser Zukunftsperspektiven eine stärkere Zusammenführung und Kohärenz von technologischen Anforderungen zum Schutz des Klimas auf der einen und Nanotechnologie-Angebot auf der anderen

Seite wünschenswert wäre. So sollten Forschungs- und Entwicklungsprogramme neben einem ökonomischen Verwertungsplan auch entsprechende Szenarien für die zu erwartenden Klimaschutzpotenziale vorhalten. Im Rahmen eines Monitorings sollten sie sich dann mit den tatsächlich erzielten CO<sub>2</sub>-Einsparungen an diesen Zielen messen lassen. Lebenszyklusbasierte Untersuchungen mit einem systemischen Ansatz wären hierfür besonders gut geeignet. Eine Roadmap „Klimaschutz durch Nanotechnologie“ könne dabei den Prozess strukturieren, das Vertrauen in die Entwicklung von nanotechnologischen Lösungen stärken und somit die Dynamik bei der zielgerichteten Erschließung der Einsparungspotenziale in den genannten Technologiefeldern erheblich vergrößern. Auf diese Weise würde ein geeigneter Rahmen geschaffen, in dem die Nanotechnologien in Synergie mit anderen technologischen Ansätzen einen ganz wesentlichen Beitrag zur Lösung der globalen Klimaprobleme beisteuern könnten.

#### **Ansprechpartner für Rückfragen:**

Michael Sailer

Sprecher der Geschäftsführung

Öko-Institut e.V., Büro Darmstadt

Telefon: +49 6151 8191-120

E-Mail: [m.sailer@oeko.de](mailto:m.sailer@oeko.de)

Martin Möller

Wissenschaftlicher Mitarbeiter des Institutsbereichs Produkte & Stoffströme

Öko-Institut e.V., Geschäftsstelle Freiburg

Telefon: +49 761 45295-56

E-Mail: [m.moeller@oeko.de](mailto:m.moeller@oeko.de)

Dr. Christoph Pistner

Wissenschaftlicher Mitarbeiter des Institutsbereichs Nukleartechnik & Anlagensicherheit

Öko-Institut e.V., Büro Darmstadt

Telefon: +49 6151 8191-22

E-Mail: [c.pistner@oeko.de](mailto:c.pistner@oeko.de)