

Zusammenfassung der Diskussion

# FachDialog 3

## Nachhaltigkeit von Nanotechnologien

August 2012

**Ökopol GmbH**  
**Institut für Ökologie und Politik**  
Nernstweg 32-34  
D-22765 Hamburg

Autoren: Dirk Jepsen, Antonia Reihlen

**Impressum**

**ÖKOPOL GmbH**  
**Institut für Ökologie und Politik**

Nernstweg 32–34  
D – 22765 Hamburg  
☎ 0049-40-39 100 2 0  
fax:0049-40-39 100 2 33

[www.oekopol.de](http://www.oekopol.de)  
[info@oekopol.de](mailto:info@oekopol.de)

## Inhalt

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1   | Hintergrund.....  | 4  |
| 2   | Ablauf.....   | 4  |
| 3   | Leitbilder.....   | 5  |
| 4   | Impulse aus den Vorträgen.....                                      | 6  |
| 5   | Zentrale Themen der Diskussion.....                                 | 10 |
| 5.1 | „Green“ und „Sustainable“.....                                      | 10 |
| 5.2 | Verständnis von Nanotechnologien.....                               | 11 |
| 5.3 | Bewertung der Nachhaltigkeit von Nanotechnologien.....              | 12 |
| 5.4 | Umgang mit Nichtwissen.....   | 13 |
| 5.5 | Nanotechnologien als Problemlösungsbeitrag.....                     | 14 |
| 5.6 | Ethische Aspekte.....   | 14 |
| 5.7 | Wirken von Leitbildern.....   | 15 |
| 6   | Schlussfolgerungen zum Leitbild „nachhaltige Nanotechnologien“..... | 16 |

## Abbildungsverzeichnis

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| Abbildung 1: | Nachhaltigkeitsleitbilder und Konkretisierungen mit Bezug zu Nanotechnologien.....              | 6  |
| Abbildung 2: | Verständnis des Begriffs „Nanotechnologien“ und Tendenzen für die Nachhaltigkeitsbewertung..... | 12 |
| Abbildung 3: | Mögliches Zusammenspiel von Leitbildern und Technologien.....                                   | 17 |

## 1 Hintergrund

Der dritte FachDialog des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) stand unter dem Thema „Nachhaltige Nanotechnologien“. Die Diskussionen um Chancen und Risiken der Nanotechnologien aus der [ersten](#)<sup>1</sup> und [zweiten](#)<sup>2</sup> Dialogphase der NanoKommission wurden somit weitergeführt.

Bei der Konferenz der Vereinten Nationen zu Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro (1992) wurde „Nachhaltigkeit“ als Leitbild für Entwicklung erstmals explizit und auf globaler Ebene vereinbart. Seitdem hat sich ein grundlegendes Verständnis über die Balance der Dimensionen „Ökologie“, „Ökonomie“ und „Soziales“ entwickelt<sup>3</sup>. „Nachhaltigkeit“ wurde als Entwicklungsziel und Gestaltungskonzept in den unterschiedlichsten thematischen Zusammenhängen in Leitbilder integriert.

Im FachDialog 3 sollte vor diesem Hintergrund diskutiert werden, inwiefern die Entwicklung eines eigenständigen Leitbildes „nachhaltige Nanotechnologien“ bei der weiteren Ausgestaltung dieses Technologiepfades/-feldes hilfreich und bei seiner weiteren gesellschaftlichen Einbettung unterstützend sein würde.

Die im Rahmen des FachDialogs gehaltenen [Impulsvorträge](#) beleuchteten unterschiedliche Aspekte der Diskurse über solch ein mögliches Leitbild „nachhaltige Nanotechnologien“.

## 2 Ablauf

Der erste Tag des FachDialogs begann mit einem Beitrag über „Green Chemistry“ sowie Vorträgen zu Debatten im Kontext der Nachhaltigkeit von Chemikalien auf globaler Ebene (Strategic Approach to International Chemicals Management (SAICM)), in der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit

---

<sup>1</sup> Es wurden Kriterien zur vorläufigen Bewertung möglicher Risiken von Nanomaterialien entwickelt, der Bedarf an Sicherheitsforschung konkretisiert und die möglichen Nutzen und Risiken konkreter Produkte bewertet.

<sup>2</sup> Es wurde ein Kriterienset zur vorläufigen Einschätzung von Nanomaterialien, sowie ein Kriterienkatalog zur Gegenüberstellung von Nutzen- und Risikoaspekten von Nanoprodukten erarbeitet, sowie Fragestellungen vorsorgender Regulierung erörtert. Außerdem formulierte eine Arbeitsgruppe Designprinzipien für nachhaltige Nanomaterialien („green nano“).

<sup>3</sup> In Allgemeinen werden die drei Dimensionen dahingehend konkretisiert, dass natürliche Lebensgrundlagen nur in dem Maße beansprucht werden, wie diese sich regenerieren (Ökologie), keine wirtschaftlichen Belastungen für die nachkommenden Generationen erzeugt werden (Ökonomie) und ein friedliches Zusammenleben gewährleistet wird (Soziales).

und Entwicklung (OECD), in der EU sowie in Deutschland. Die [Designprinzipien](#) „green nano“ der NanoKommission aus der Dialogphase 2009-2011 wurden ebenfalls vorgestellt.

Am zweiten Tage des FachDialogs wurde die Diskussion in Hinsicht auf ethische und soziale Aspekte der Nachhaltigkeit von Technologieentwicklungen erweitert. Des Weiteren wurde am Beispiel von BASF die praktische Umsetzung und Anwendung von Nachhaltigkeitsleitbildern in Unternehmen erläutert. Die Hintergründe für die Ableitung von Beschaffungskriterien der Stadt Wien zeigten eine andere Facette der Konkretisierung derartiger Leitbilder.

Zur Vorbereitung der Diskussion wurde ein [Hintergrunddokument](#) erstellt.

### 3 Leitbilder

Im Mittelpunkt des FachDialogs standen die Funktionen, der Stellenwert und die Rolle eines möglichen Leitbildes „nachhaltige Nanotechnologien“ für die Technologieentwicklung und Forschung. Die folgenden Aspekte zu Leitbildern wurden zu Beginn des FachDialogs eingeführt und im Laufe der Diskussion ergänzt, verändert und weiter entwickelt.

Leitbilder formulieren einen Auftrag (Mission), die damit verbundenen strategischen Ziele (Vision) und geben Orientierung über die Art und Weise ihrer Umsetzung (Werte). Sie sind häufig bildhaft und unscharf, lassen Raum für Konkretisierungen und sind zukunftsgerichtet.

Leitbilder können unterschiedliche Funktionen erfüllen, z.B.:

- Unternehmen bei Entscheidungen auf Basis unvollständigen Wissens Orientierung geben,
- unterschiedliche Akteure/innen für Innovationen motivieren und ihnen Richtungssicherheit geben sowie für ihre Vision werben,
- Forschungsaktivitäten koordinieren und synchronisieren,
- die interne und externe Kommunikation in Institutionen und Organisationen strukturieren und unterstützen,
- Komplexität reduzieren und
- einen möglichen Umgang mit Nichtwissen aufzeigen.

Leitbilder sind bezogen auf bestimmte (Gruppen von) Akteuren/innen und spiegeln deren Werthaltungen wider. Ihre Entwicklung und Umsetzung wird durch die Adressaten/innen selbst bestimmt. Die Art, wie Leitbilder entstehen, entscheidet auch über ihre Wirksamkeit.

Leitbilder können von ergänzenden Zielformulierungen und Konkretisierungen in Form von Prinzipien, Indikatoren und/oder Kriterien begleitet werden. Sie können auf unterschiedlichen Ebenen entstehen und/oder wirken.

In der Abbildung 1 sind Beispiele für chemiespezifische Nachhaltigkeitsleitbilder und von Kriterien/Konzepten ihrer unterstützenden Konkretisierungen abgebildet. Sie sind räumlich (Y-Achse) und nach dem Grad ihrer Abstraktheit (X-Achse) geordnet.

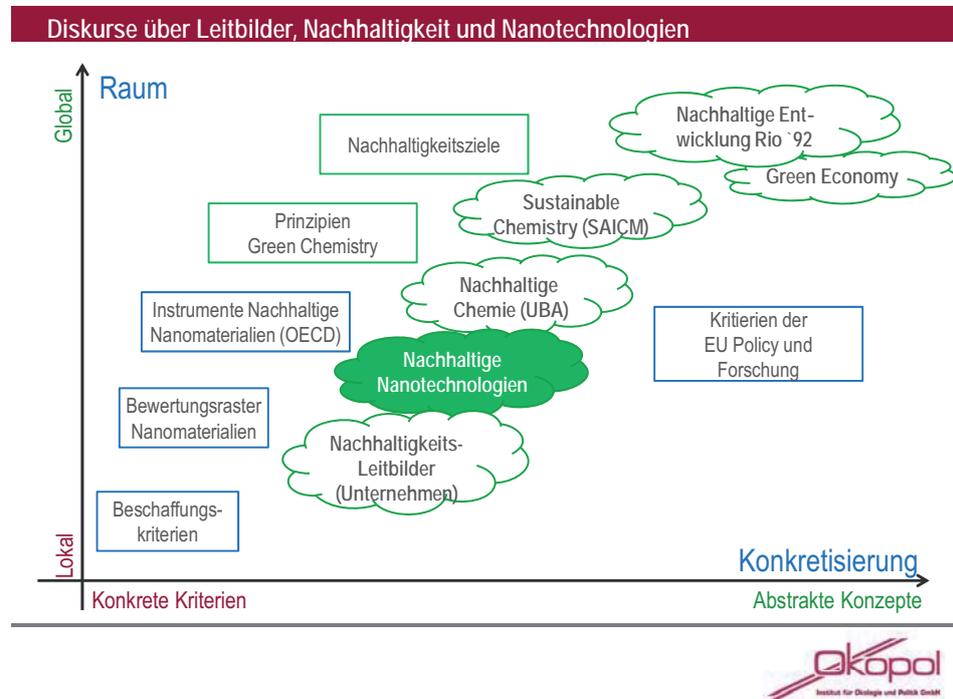


Abbildung 1: Nachhaltigkeitsleitbilder und Konkretisierungen mit Bezug zu Nanotechnologien

Die Abbildung verdeutlicht auch die im Rahmen des FachDialogs diskutierte Frage der Verortung eines Leitbildes „nachhaltige Nanotechnologie“.

## 4 Impulse aus den Vorträgen

In den folgenden Abschnitten werden die zentralen Diskussionsimpulse aus den Vorträgen in Form von Kernaussagen aufgelistet. Die vollständigen Vorträge, die deutlich umfangreicher waren und weitere Aspekte berührten, sind im Internet [verfügbar](#).

### Green chemistry

- Das Leitbild „green chemistry“ hat sich im Diskurs zu einem Leitbild „sustainable chemistry“ gewandelt.
- Unter anderem ergänzen die folgenden Aspekte die 12 Prinzipien von Anastas und Warner: räumliche und zeitliche Reichweite der Chemie, Produktnutzen, soziale Aspekte (besonders Arbeitnehmerschutz) und wirtschaftlicher Nutzen.

- Die Nachhaltigkeitsbewertung kann „altbewährte Glaubenssätze“ in Frage stellen, z.B. den, dass nachwachsende Rohstoffe grundsätzlich ökologisch „besser“ sind als synthetische Materialien.

### **Strategic Approach to International Chemicals Management (SAICM)**

- Das Leitbild „sustainable development“ wird auf internationaler Ebene durch SAICM für den Chemiesektor konkretisiert.
- SAICM formuliert eine Vision und Umsetzungsziele, unter anderem die Unterstützung der Entwicklungsländer im Chemikalienmanagement.
- Nanotechnologien sind in diesem Kontext ein sogenannter „emerging issue“ und es wurden erste Aktivitäten zur Bewusstseinsbildung in den Entwicklungsländern unternommen.

### **Umweltbundesamt (UBA)**

- Das UBA hat zusammen mit der OECD das Konzept „nachhaltige Chemie“ anhand von generellen Prinzipien zu einem Leitbild ausgestaltet. Dieses erweitert die Inhalte der 12 Prinzipien von Anastas und Warner zu einem umfassenderen Ansatz.
- Der „Leitfaden nachhaltige Chemikalien“ konkretisiert das Leitbild „nachhaltige Chemie“ für die Nutzung in Unternehmen mittels Kriterien im Bereich Risiken, Ökonomie und Soziales.
- Das Geschäftsmodell „Chemikalienleasing“ ist eine Möglichkeit, den Einsatz von (gefährlichen) Chemikalien in Unternehmen zu minimieren, den Ressourcenverbrauch und die Kosten zu reduzieren und die Anwendung von Chemikalien somit auf ökologischer und ökonomischer Ebene nachhaltig zu gestalten.
- Das UBA stellt mit dem „Nano-Nachhaltigkeits-Check“ ein Instrument zur Verfügung, mit dem die Nutzen und Risiken von Nanomaterialien analysiert werden können.

### **OECD**

- In den Arbeitsgruppen der „*OECD Working Party on Manufactured Nanomaterials (WPMN)*“<sup>4</sup> werden Testprogramme für Nanomaterialien durchgeführt, Leitfäden und Bewertungsinstrumente entwickelt, Testvorschriften erarbeitet etc. Diese Arbeiten stehen überwiegend im Kontext der Risikobewertung.
- Die Arbeitsgruppe Lebenszyklusanalysen (LCA) strebt eine Methodenkonsolidierung für Nanomaterialien an, sowie die

<sup>4</sup> [http://www.oecd.org/departement/0,3355,en\\_2649\\_37015404\\_1\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.oecd.org/departement/0,3355,en_2649_37015404_1_1_1_1_1,00.html)

Veröffentlichung eines konkreten Beispiels zur Illustration von möglichen positiven und negativen Aspekten und / oder Folgen.

- Die „*OECD Working Party on Nanomaterials (WPN)*“<sup>5</sup> erarbeitet Ratschläge zu wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Herausforderungen aufstrebender Technologien.

## EU

- In der Strategie „Europa 2020“<sup>6</sup> wird „Nachhaltiges Wachstum“ zum wichtigen Ziel der EU erhoben.
- Nachhaltiges Wachstum beinhaltet unter anderem: eine wettbewerbsfähige, emissionsarme Wirtschaft; einen effizienten und nachhaltigen Ressourceneinsatz; Umweltschutz und Führung bei umweltfreundlichen Technologien und der Entwicklung der Produktion.
- Im Rahmen des Projektes „*EU-PROSUITE*“<sup>7</sup> wurden Nachhaltigkeitsindikatoren zusammengestellt, getestet und bewertet.

## Forschungsprogramm „Horizon 2020“ der EU

- Die Forschungsprioritäten der EU sollen laut Bericht des NanoSafety Cluster<sup>8</sup> dazu dienen die Vorhersage und Kontrolle nanospezifischer Risiken zu ermöglichen und verbessern.
- Das NanoSafety Cluster formuliert Visionen und konkrete Ziele<sup>9</sup> für einzelne Forschungsfelder.
- Die Forschungsprojekte unterstützen die Nachhaltigkeit von Nanomaterialien in Bezug auf „Sicherheit, Gesundheit und Umwelt“. Gesellschaftliche und ökonomische Aspekte werden nicht explizit erfasst.

## Designprinzipien der NanoKommission

- Die Designprinzipien sollen das Leitbild „Nachhaltige Nanotechnologien“ konkretisieren und Unternehmen frühzeitig im Entwicklungsprozess Orientierung für die Produktentwicklung geben.
- Voraussetzungen für die Prinzipien sind technische Handlungsspielräume, insbesondere die Nutzung der Chancen durch bottom up Nanotechnologien und die Trennung erwünschter „Nano-

<sup>5</sup> [http://www.oecd.org/site/0,3407,en\\_21571361\\_41212117\\_1\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.oecd.org/site/0,3407,en_21571361_41212117_1_1_1_1_1,00.html)

<sup>6</sup> [http://ec.europa.eu/europe2020/index\\_de.htm](http://ec.europa.eu/europe2020/index_de.htm)

<sup>7</sup> <http://www.prosuite.org/web/guest/home;jsessionid=3C6D88A2196D252B6443955B8D01504D>

<sup>8</sup> Das NanoSafety Cluster ist ein Verbund aus Organisationen, die an EU Forschungsprojekten arbeiten.

<sup>9</sup> Die Arbeitsgruppen 3, 4 und 9 formulieren beispielsweise für den Bereich Transformation und Exposition unter anderem die folgenden Visionen: Expositionshöhen können überwacht werden (Biomonitoring), es gibt ein vertieftes Verständnis von Umweltverhalten und Transport der Nanomaterialien, es gibt ein erstes Modell für Transport und Transformation. Zentrales Ziel ist die Entwicklung und Implementierung eines integrierten Freisetzungszu-Expositionsmodells für Arbeitsplätze, Verbraucheranwendungen und die Umwelt.

Funktionalitäten“ von nicht erwünschten durch das Design von Materialien.

- Die Designprinzipien beschränken sich auf die ökologische Nachhaltigkeitsdimension.

## **Forschungsförderung des BMBF**

- Die Hightech-Strategie der Bundesregierung sowie der Aktionsplan Nanotechnologie 2015 orientieren sich am Prinzip der Nachhaltigkeit.
- Auf Projektebene ist Sicherheit integraler Bestandteil jedes Projekts, das im Bereich der Nanotechnologie oder Werkstofftechnologie gefördert wird. Projekte, die ausschließlich die Risikoforschung im Bereich der Nanotechnologie zum Ziel haben, werden fortgesetzt.
- Eine konkrete Integration des Themas „Nachhaltigkeit“ in die Projektförderung für die Nanotechnologie erfolgt durch die Ausrichtung an den strategischen Papieren der Bundesregierung (s.o.), die auch konkrete, globale Bedarfsfelder wie z. B. Gesundheit/Ernährung, Klima/Energie oder Mobilität benennen.

## **Ethische Aspekte und Integration in Leitbilder**

- Es gibt keine spezifische „Nanoethik“ – die meisten Fragen stellen sich auch für andere Technologien; allerdings mit anderen Schwerpunkten.
- Die Konzepte der Risikoethik sind kaum anwendbar, da wenig über mögliche Risiken der Technologie ausgesagt werden kann.
- Ethische Fragen der Verteilungsgerechtigkeit und der Verantwortung sind wichtige gesellschaftliche Themen hinsichtlich der Nanotechnologien. Sie liefern in Technikdebatten jedoch nur „schwache“ Argumente und sind überwiegend eine Frage der gesellschaftlichen Werte und Verhältnisse insgesamt.

## **Ergänzende ethische Aspekte**

- Ethik kann orientierend wirken und ebenso „Leitplanken“ für Entwicklungen definieren, wie die Risikodebatte.
- Die Möglichkeiten der Nanotechnologien (wie alle Technologien) berühren gesellschaftliche Normen und Werte und damit auch das Selbstverständnis des Menschen.
- „Natürlichkeit“ ist ein Aspekt mit hoher Bedeutung für die Bewertung der Nanotechnologien.

## **Nachhaltigkeit als „business case“**

- Das Thema Nachhaltigkeit integriert die Diskussionen über Sicherheit, Verschmutzung, Klimawandel und Soziales und hat als Anforderung und damit auch als ökonomische Chance die Agenden der Unternehmen erreicht. Nachhaltigkeit heißt heute nicht nur

Risikominimierung sondern die Ergreifung ökonomischer Chancen durch Entwicklung und Verkauf „nachhaltiger“ Produkte.

- Zur Entwicklung nachhaltiger Produkte können gängige Instrumente des Forschungscontrolling genutzt werden, wie z.B. ein phase-gate Prozess. Das heißt, dass Produkte im Forschungs- und Entwicklungsprozess der Unternehmen an jedem phase-gate geprüft und die Prüfergebnisse zur Entscheidung über weitere Schritte genutzt werden.
- Zur numerischen Bewertung von Nachhaltigkeit wurden Instrumente entwickelt. Diese beinhalten auch Kriterien und Indikatoren, die über die ökologische Bewertung hinausgehen.

### Nachhaltigkeitskriterien für die Beschaffung

- Die öffentliche Beschaffung kann einen Beitrag für eine nachhaltige Entwicklung von (Nano-)Technologien leisten, indem sie ökologisch vorteilhafte Lösungen stärkt und wenig nutzbringende bzw. nicht ausreichend untersuchte Produkte ausschließt.
- Die Kommunikation der Beschaffungskriterien kann Entscheidungen von Firmen und Verbraucher/innen für oder gegen bestimmte Produkte beeinflussen.
- Bei der Produktbewertung spielt das Vorsorgeprinzip aufgrund des vielfach fehlenden Wissens über Risiken und Nutzen von Produkten eine große Rolle.

## 5 Zentrale Themen der Diskussion

Im Verlauf des FachDialogs fand ein sehr intensiver Austausch zwischen den Teilnehmenden über das Verständnis der Nachhaltigkeit und die Funktion von Leitbildern bei der Technologieentwicklung statt. In diesem Abschnitt werden wichtige Aspekte der Diskussionen unter einigen zentralen Themen zusammengefasst.

### 5.1 „Green“ und „Sustainable“

Das Leitbild der „green chemistry“, das z.B. durch die 12 Prinzipien von Anastas und Warner konkretisiert wurde, bezieht sich lediglich auf Risikoarmut, Schadstofffreiheit und Effizienz von chemischer Produktion und chemischen Produkten. Im Gegensatz dazu sahen die Teilnehmenden des FachDialogs im Leitbild „sustainable chemistry“ weitere Aspekte verwirklicht, die aus den Erfahrungen der Umwelt-, Chemie- und Technologiediskussion entstanden sind. Dies sind unter anderem:

- eine Orientierung an der Funktionalität als Referenzgröße für den Vergleich / die Bewertung
- eine Berücksichtigung der räumlichen (Umwelteffekte treten nicht am Herstellungsort auf) und zeitlichen Reichweite (einschließlich z.B. der von Investitionen)
- die Betrachtung der Wirkungen entlang des gesamten Lebenszyklus
- der Ressourcenschutz
- die Berücksichtigung sozialer, ethischer und wirtschaftlicher Aspekte der Anwendung von Technologien und Produkten
- die Betrachtung des gesellschaftlichen Bedarfs für ein Produkt sowie möglicher rebound Effekte<sup>10</sup>

Über die von einigen Beteiligten eingebrachte Frage, ob die ökologische Dimension einen höheren Stellenwert in der Nachhaltigkeitsbewertung haben sollte (Natur als Basis) als die wirtschaftliche und soziale bestand keine Einigkeit. Die Verfügbarkeit und Funktionsfähigkeit der Umwelt ist unzweifelhaft die zentrale Grundlage für wirtschaftliches Handeln, aber die Gleichberechtigung der Dimensionen ist ebenfalls ein breit akzeptiertes und konstituierendes Prinzip der Nachhaltigkeit.

Das Konzept „benign by design“ wurde von einigen Teilnehmenden erwähnt und als weitergehend angesehen, als „nur green“. Dadurch, dass nach diesem Konzept nicht nur die inhärente Sicherheit von Stoffen verlangt, sondern auch eine das Ökosystem nährenden Funktion erfüllt werden soll, trüge es dazu bei, Probleme zu vermeiden. Hinsichtlich des Designs von Nanomaterialien gelte, dass sie nicht persistent sein sollten<sup>11</sup>, keine problematischen Abbau-, Umwandlungs- und Alterungsprodukte bilden, keine kritischen Morphologien aufweisen und möglichst „naturnah“ sein sollten (Verwendung von Kernpartikeln, die in der Natur häufig vorkommen anstelle von z.B. Seltenen Erden).

## 5.2 Verständnis von Nanotechnologien

In der Diskussion wurde deutlich, dass der Begriff „Nanotechnologien“ meist unscharf verwendet wird. Faktisch umfasst der Begriff die verschiedenen Zwischen- und Endprodukte sowie deren Herstellungsverfahren entlang des Lebenszyklus von Nanomaterialien. Darüber hinaus sind nicht nur die Herstellung der Nanopartikel, ihre Funktionalisierung und Verwendung in Werkstoffen, Gemischen und Produkten zu betrachten, sondern auch die Technologien, die ihre Herstellung erst ermöglichen. Die Methoden und Geräte zur Analytik von Nanomaterialien werden ebenfalls mit dem Begriff Nanotechnologien adressiert.

---

<sup>10</sup> So kann z. B. eine höhere Ressourceneffizienz durch eine insgesamt höhere Menge an verbrauchten Stoffen oder Produkten überkompensiert werden.

<sup>11</sup> Dies gilt nicht für anorganische Nanomaterialien, wobei zwischen der Persistenz der Verbindung als solcher und der Persistenz der Nanoeigenschaften zu unterscheiden ist. Letztere Interpretation der Persistenz kann auch auf anorganische Nanomaterialien angewendet werden.

Die Abbildung 2 zeigt dieses breit gefasste Verständnis von Nanotechnologien im schematischen Überblick.

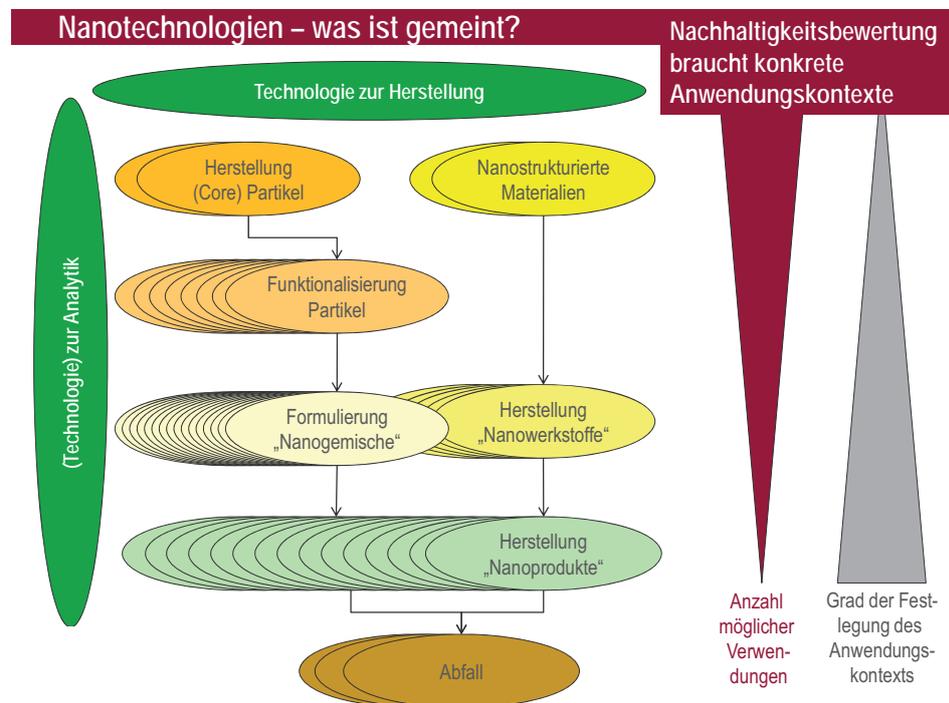


Abbildung 2: Verständnis des Begriffs „Nanotechnologien“ und Tendenzen für die Nachhaltigkeitsbewertung

### 5.3 Bewertung der Nachhaltigkeit von Nanotechnologien

Die Abbildung 2 zeigt auch ein weiteres wichtiges Ergebnis der geführten Diskussionen: „Eine alle Dimensionen umfassende Nachhaltigkeitsbewertung erfordert jeweils die Konkretisierung des Anwendungskontextes einer Technologie“.

Ein isoliertes Nanomaterial ist bezüglich seiner Nachhaltigkeit nicht vollständig zu bewerten, da:

- mögliche Risiken sich auch aus dem Freisetzungspotenzial (entlang des Lebenswegs) ableiten, welches durch die Anwendung mitbestimmt wird,
- die Art des Produktes sowie der Zweck und die Art und Weise seiner Anwendung entscheidende Einflussgrößen auf die weiteren Dimensionen der Nachhaltigkeit sind.

Damit stellte sich die grundsätzliche Frage, ob in einer frühen Forschungs- und Entwicklungsphase die „Nutzung der Nanotechnologie“ bezüglich ihrer Nachhaltigkeit überhaupt bewertet werden kann. Viele Teilnehmende waren der Meinung, dass eine Technologie ohne ihre Anwendung generell nicht bezüglich ihrer Nachhaltigkeit bewertbar sei.

Einige Beteiligte sahen zumindest in der Eingriffstiefe einer Technologie und in den generellen Möglichkeiten ihrer Anwendung grundlegende Indikatoren, um

die Technologien einzuschätzen zu können. Meistens hätten Forscher/innen und Entwickler/innen von neuen Nanomaterialien eine konkrete Funktionalität (Design der technischen Eigenschaften) und vielfach auch eine Anwendung „im Blick“.

Beim Stoffdesign mit „computational chemistry“ würden allerdings zunächst alle möglichen Moleküle zugelassen und diese dann nach entsprechenden Kriterien selektiert. Die Auswahlkriterien können durch die Anwendung oder durch Risikoerwägungen vorgegeben sein. Auch bei der Entwicklung von neuen Werkstoffen sei die Endanwendung oft noch nicht festgelegt sondern lediglich die technischen Anforderungen bekannt.

Die Designprinzipien der NanoKommission konkretisieren vor diesem Hintergrund die Anforderungen an die Sicherheit der Nanomaterialien und ihrer Herstellung. Sie beziehen den konkreten Anwendungskontext nicht ein und auch die gesellschaftlichen und ökonomischen Dimensionen werden lediglich sehr indirekt (Arbeitsschutz, Erhalt der Grundlagen des Wirtschaftens) erfasst. Sie könnten damit nicht zur Bewertung der Nachhaltigkeit herangezogen werden.

Viele Teilnehmende betonten, dass es auch sehr wichtig sei, den Innovationsprozess nicht zu früh einzuengen. Zu viele Anforderungen an die Nachhaltigkeit sowie durch Gefährlichkeitskriterien zu eng begrenzte Forschungskorridore könnten Innovationen und Risikobereitschaft von Unternehmen einschränken.

## **5.4 Umgang mit Nichtwissen**

Trotz der vielfältigen, laufenden Aktivitäten zur Wissensgenerierung wurde festgestellt, dass zur Nachhaltigkeitsbewertung der Nanotechnologien (und anderer Technologien) relevante Daten fehlen.

Informationslücken über die Gefährdungspotenziale und möglichen Expositionen erschweren eine Einschätzung möglicher Umwelt- und Gesundheitsrisiken. Strategien, wie der Informationsbedarf für eine Bewertung reduziert werden kann, sind insbesondere wegen der Vielfalt der Materialien und Anwendungen wichtig. Das „benign by design“ ist hier eine Möglichkeit, die Erzeugung von Daten zu Expositionen weitgehend überflüssig zu machen. Die Forschungsaktivitäten zur Modellierung der Gefährlichkeit und Exposition von Nanomaterialien in der EU (Horizon 2020) können ebenfalls wichtige Beiträge zur Deckung des Informationsbedarfs leisten.

Auch ökonomische Daten, die Aussagen über den gesamtwirtschaftlichen Nutzen der Technologieanwendung erlauben, sind praktisch nicht vorhanden. Das liegt u.a. im Charakter der Nanotechnologie als „enabling technology“ begründet, der dazu führt, dass die Technologie in sehr vielen unterschiedlichen Produkten angewendet wird (und werden kann) und ihr jeweiliger Beitrag zur Wertschöpfung, Innovation oder Wettbewerbsfähigkeit damit kaum abzugrenzen ist.

Die Möglichkeiten, die soziale Dimension der Nanotechnologie „als solche“ zu bewerten, wurden als noch geringer eingestuft.

Die skizzierten Informationen werden nicht nur zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Nanoprodukten und Technologien benötigt, sondern auch z.B. für gesetzliche Folgenabschätzung<sup>12</sup> der EU.

## 5.5 Nanotechnologien als Problemlösungsbeitrag

In vielen Diskussionen tauchte die Frage nach dem Treiber nanotechnologischer Entwicklungen und Innovationen auf. Alle Akteure/innen des FachDialogs waren sich darin einig, dass Nanotechnologien kein Selbstzweck sind, sondern sie der Lösung gesellschaftlicher Problemen dienen und dienen sollten.

Idealerweise würde damit dem Einsatz von Nanotechnologien die Definition des Problems und des gesellschaftlichen Bedarfs vorausgehen, sowie eine Abwägung, welche technologischen Möglichkeit (oder auch Verhaltensalternative) den identifizierten Bedarf am nachhaltigsten erfüllen kann<sup>13</sup>. In der Realität entwickeln sich Technologien jedoch häufig parallel zur Abwägung der Nachhaltigkeit ihrer Anwendung im jeweiligen Kontext.

Uneinigkeit bestand in diesem Zusammenhang darüber, ob in der Praxis die nanotechnologischen Innovationen eher durch ihre Möglichkeiten getrieben werde (technology-push) oder durch den Bedarf an Lösungen (demand-pull).

Diese Diskussion ist eng verknüpft mit der Einschätzung, ob der frühe Innovationsprozess allein auf die Erzielung bestimmter Materialeigenschaften abzielt, oder ob bereits in frühen Entwicklungsphasen konkrete Anwendungen (Nutzungskontexte) dieser Nanomaterialien bekannt („vorgedacht“) sind.

## 5.6 Ethische Aspekte

Die ethischen Debatten um die Nanotechnologien wurden sowohl von den Referenten/innen als auch von den sonstigen Teilnehmenden nicht als spezifisch angesehen, sondern als „klassische Fragestellungen“ der Technikfolgeabschätzung. Die mögliche Vielfalt der Anwendungen bedingt allerdings eine Vielzahl von Diskursen (mit jeweils z.T. sehr anders gelagerten Randbedingungen). Es wurde auch von einigen Teilnehmenden angemerkt, dass sowohl gesellschaftliche als auch Arbeitsschutzaspekte in der Diskussion um die Nutzung der Nanotechnologien zwar verstärkt eingebracht, aber dennoch oft unterrepräsentiert sind.

Die Grenzen des Wachstums sind hinsichtlich der gesellschaftlichen und ökologischen Nachhaltigkeit recht bedeutsam. Hier waren einige Teilnehmende

<sup>12</sup> [http://ec.europa.eu/dgs/secretariat\\_general/index\\_de.htm](http://ec.europa.eu/dgs/secretariat_general/index_de.htm) (dort auf „Folgenabschätzung“ klicken).

<sup>13</sup> Im Bereich der Grundlagenforschung trifft dies nicht zu, allerdings könnte auch hier die Exploration neuer Möglichkeiten bereits anhand von Designprinzipien oder Leitbildern in Richtung der Nachhaltigkeit gelenkt werden.

der Auffassung, dass Technologien zum Verschieben dieser Grenzen beitragen könnten und sollten. Anderen war es wichtiger, im Rahmen der „natürlichen“ Grenzen Wege zu finden, die gesellschaftlichen Bedürfnisse zu priorisieren und, wenn dies vorteilhaft ist, sie mittels der (neuen) Technologien zu befriedigen.

## **5.7 Wirken von Leitbildern**

Die Teilnehmenden waren sich einig, dass Leitbilder grundsätzlich eine Lenkungswirkung entfalten und unterschiedliche Akteure/innen motivieren können. In der Technologieentwicklung gäbe es verschiedene Ansatzpunkte, auf die Leitbilder einen Einfluss haben können, wie z.B. die zu lösenden gesellschaftlichen Herausforderungen, die Neugier der Forscher- und Entwickler/innen, die Machbarkeit von Verfahren und Produkten, die Personen und ihre Ambitionen, das Verantwortungsbewusstsein von Organisationen und Personen etc.

Im Forschungs- und Entwicklungsprozess ergeben sich häufig Fragen und Perspektiven, bei denen die orientierende Funktion von Leitbildern in der Begleitung hilfreich sein kann. Allerdings sind hier in der Praxis zum Teil deutliche Limitierungen durch den Charakter und die Art der Forschung und Entwicklung, wie z. B. erkenntnisorientierte Grundlagenforschung oder vorwettbewerbliche Forschung und Entwicklung mit dem Zweck der Vermarktung, zu erkennen. Zusätzlich fällt in Bezug auf die „Freiheit von Wissenschaft, Forschung und Lehre“ (Art. 5 Grundgesetz) strukturell eine (zwangsläufig) einengende Konkretisierung einer Forschungsrichtung schwer.

Unternehmensleitbilder lösen bei ihrer praktischen Umsetzung sowohl intern als auch extern Diskussionen aus und schaffen damit Bewusstsein. Es werden Fragen thematisiert, die sonst nicht auf der Managementagenda stehen. Damit ein Leitbild aber gezielt und konkret etwas verändern kann, muss es durch Prinzipien, Kriterien oder Instrumente operationalisiert werden, die im Rahmen der etablierten Prüfprozesse (z.B. phase-gate) „abgearbeitet“ werden können. Die Prinzipien zum verantwortungsvollen Umgang mit Nanomaterialien sowie die Kriterien und Bewertungsinstrumente der NanoKommission können als Operationalisierung des Leitbilds „nachhaltige Nanotechnologien“ für Unternehmen verstanden werden.

Die Teilnehmenden stellten fest, dass für die Entstehung und Wirkung eines Leitbildes sowohl die Attraktivität der Idee / des Bildes wichtig sind, als auch der Zeitpunkt, der allgemeinpolitische Kontext sowie die Unterstützung durch bedeutende Persönlichkeiten. Eine zentrale Herausforderung, die auch für das Leitbild der Nachhaltigkeit bisher nicht gemeistert sei, sei der Transfer in die Ausbildung in Schule und höherer Bildungseinrichtungen.

## 6 Schlussfolgerungen zum Leitbild „nachhaltige Nanotechnologien“

Der FachDialog konnte nach Einschätzung aller Beteiligten dazu beitragen, die unterschiedlichen Aspekte der Nachhaltigkeitsbewertung von Nanotechnologien sowie der möglichen Funktionen eines entsprechenden Leitbildes systematisch zu diskutieren.

Am Ende der Diskussion kristallisierte sich das in Abbildung 3 dargestellte Bild über ein Zusammenspiel von Leitbildern und Technologien auf unterschiedlichen Ebenen heraus.

„Nachhaltigkeit“ bzw. „nachhaltige Entwicklung“ ist faktisch zu einem grundlegenden gesellschaftlichen Konzept und Ziel geworden. Das Leitbild der „nachhaltigen Entwicklung“ selbst bleibt dabei aber eher vage und richtet sich an alle gesellschaftlichen Akteure/innen und Prozesse. Es bildet somit die Basis, auf die sich spezifischere Leitbilder beziehen (können). Das Konzept „Nachhaltigkeit“ wird dabei aus einer zugrundeliegenden Weltansicht gespeist, die z.B. globale Gerechtigkeit und den Erhalt der natürlichen Lebensgrundlagen als zentrale Werte beinhaltet.

Leitbilder wie „green economy“ oder „green chemistry“ sind spezifischer und konkretisieren eine Ausgestaltung der Nachhaltigkeit in sehr grundlegenden Feldern des gesellschaftlichen Handelns.

Daneben gibt es – quasi am anderen Ende – konkrete Visionen wie die „solare Wirtschaft“ oder die „Kreislaufwirtschaft“, die als Leitbilder eher Möglichkeiten des Zusammenführens gesellschaftlicher Bedürfnisse und zu beachtender Randbedingungen (wie die Tragfähigkeit der ökologischen Systeme, aber auch die angestrebte nachhaltige Ausgestaltung der gesellschaftlichen Handlungsfelder) beschreiben. Sie richten sich vorrangig an die Akteure/innen, die an der Umsetzung dieser „Idee“ beteiligt sind.

In solch einem Bild werden die Nanotechnologien von den Teilnehmenden des FachDialogs eher als Teil der „Technologieplattformen“ gesehen, die eine Mittlerfunktion zwischen den unterschiedlichen Ebenen von Leitbildern hat. Technologieplattformen stellen unterschiedliche technische Lösungen zur Verfügung, aus denen sich die Akteure/innen dem Bedarf entsprechend und der Zielsetzung folgend, bedienen könnten.

Die Technologieplattformen haben dabei kein eigenständiges (explizites) Nachhaltigkeitsleitbild. Sie können jedoch anhand von geeigneten Kriterien z.B. im Hinblick auf „Risikoarmut“ und „Effizienz“ optimiert werden, so dass innerhalb einer Technologie ausschließlich/vorrangig Lösungen angeboten werden, die sich innerhalb eines „sicheren“ Korridors bewegen und die damit

nicht im Widerspruch zu einer angestrebten Nachhaltigkeit der Gesamtlösung oder Anwendung stehen.

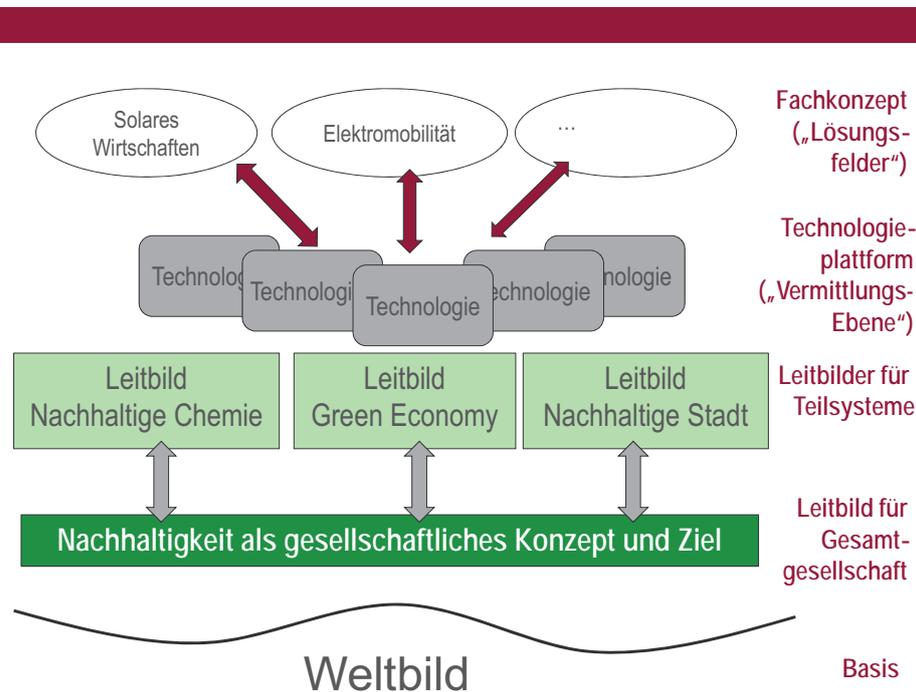


Abbildung 3: Mögliches Zusammenspiel von Leitbildern und Technologien

Nach solch einer Strukturierung der verschiedenen Handlungs- und Leitbildebene wäre eine eigenständige Bewertung der Nanotechnologie im Kontext der Nachhaltigkeit weder umsetzbar noch notwendig. Und es bedürfte auch keines umfassenden Leitbildes „nachhaltige Nanotechnologie“.

Was es aber bräuchte wären Prinzipien und Kriterien ähnlich den Designprinzipien „green nano“ der NanoKommission, die eine frühzeitige orientierende Qualifizierung von nicht-nachhaltigen Verfahren unterstützen können.

Die Teilnehmenden des FachDialogs formulierten unter anderem die folgenden möglichen Aktivitäten zur weiteren Ausarbeitung, Verbreitung und Umsetzung eines Leitbildes und/oder von Gestaltungsprinzipien in Hinblick auf eine nachhaltige (Nutzung der) Nanotechnologien:

- Die Gestaltungsprinzipien und -konzepte für nachhaltige Nanotechnologieentwicklungen sollten mit Produktentwicklern/innen diskutiert werden, um herauszufinden, was diese brauchen, um Orientierung in Richtung nachhaltiger Lösungen in ihrer täglichen Arbeit zu erhalten.
- Der Diskurs zur nachhaltigen Chemie sollte mit der Diskussion um die Nanotechnologien verzahnt werden. Insbesondere die Prüfung, inwieweit und welche Prinzipien der nachhaltigen Chemie geeignet sind, eine richtungssichernde Orientierung bei nanotechnologischen Entwicklungen zu geben, erscheint hier notwendig.

- Es sollte gezielt kommuniziert werden, dass Nachhaltigkeit, auch im Kontext der Nanotechnologien, ein tragfähiges Konzept ist, welches allerdings der Ausgestaltung und der Konkretisierung in den verschiedensten Anwendungsbereichen bedarf.
- Nachhaltigkeitsleitbilder und unterstützende Prinzipien und Kriterien sollten anschaulich dokumentiert und illustriert und im Rahmen der schulischen, universitären und beruflichen Ausbildung verbreitet werden.
- Das Leitbild Nachhaltigkeit heißt u.a. „zusammen agieren“. Hier wurde mit dem FachDialog wieder ein wichtiger Schritt gegangen und es sollte geprüft werden, ob, und wenn ja wo, eine Gruppe von Akteuren/innen installiert werden kann, die die Diskussion zum Thema fortführt.