



Daniela Fuchs\*

## Green nano: Anwendungen der Nanotechnologie mit positiven Umwelteffekten

### Zusammenfassung

Die *green nano* Designprinzipien der deutschen Nanokommission stellen einen Versuch dar, konsensbasierte Richtlinien für umweltfreundlichere und nachhaltigere Produktion zu etablieren. Dieses Vorhaben fügt sich in aktuelle Ansinnen der internationalen Forschungs- und Entwicklungspolitik (z. B. *Responsible Research and Innovation, RRI*) und soll helfen, gewünschte gesellschaftliche Aspekte möglichst früh in die Technologieentwicklung zu integrieren. Dieses Dossier setzt sich mit der Frage auseinander, inwiefern ein solches Konzept zu umweltfreundlichen Entwicklungen im Bereich der Nanotechnologien beitragen kann und stellt Forschungsprojekte vor, die Teile der *green nano* Designprinzipien umsetzen. Vor dem Hintergrund technologischer und naturwissenschaftlicher Forschung und Entwicklung stellt sich im Anschluss die Frage, ob und wenn ja, inwieweit Konzepte wie die *green nano* Designprinzipien eine Einbindung von Umweltaspekten in der Forschung unterstützen.

\* Korrespondenzautorin

### Einleitung

Nanotechnologie steht schon lange im Blick der Risikoforschung. Auswirkungen auf Leben und Gesundheit (siehe u. a. [Dossiers Nr. 019, 021, 024, 033, 034](#)), aber auch Umwelt ([Dossiers 005, 012, 027, 035](#)) werden laufend untersucht, um eventuelle negative Konsequenzen frühzeitig erkennen und eindämmen zu können. Es gibt jedoch auch Anwendungsbereiche, in denen vermutet wird, dass Nanotechnologie Beiträge zum Umweltschutz oder zur nachhaltigeren Produktion leisten könnte (siehe [Dossier 026](#)). Hier gilt jedoch, dass Aussagen zum Umwelt- und Nachhaltigkeitspotential nicht generalisiert werden können, sondern jede Verwendung in ihrem Anwendungskontext differenziert betrachtet und das Umweltpotential abgeschätzt werden muss.<sup>1</sup>

Dieses Dossier setzt sich mit dem Thema Nanotechnologie und Umwelt auf mehreren Ebenen auseinander: Erstens befasst es sich mit dem Begriff der grünen Nanotechnologie (*green nano*) und stellt Konzepte für einen umweltfreundlichen Zugang vor. Zweitens führt es konkrete Forschungs- und Entwicklungsprojekte an, die *green nano* umzusetzen versuchen. Im Anschluss widmet es sich der Frage, ob und wenn ja, in welchem Ausmaß die *green nano* Designprinzipien der deutschen Nanokommission die aktuelle Forschung und Entwicklung der Nanotechnologie im Umweltbereich beeinflusst(en).

### Konzepte zur verantwortlichen Technologieentwicklung

Häufig wird gefordert, dass die Entwicklung neuer Technologien sich zunehmend an gesellschaftlich wünschenswerten Zielen ausrichten soll. Konzepte wie *Responsible Research and Innovation (RRI)* seitens der EU zeigen, dass gesellschaftliche Wert- und Wunschvorstellungen auf politischer Ebene stärker in den Innovationsprozess integriert werden sollen. Schomberg (2013)<sup>2</sup> gibt eine (vorläufige) Definition des Schlagworts RRI: „Responsible Research and Innovation is a transparent, interactive process by which societal actors and innovators become mutually responsive to each other with a view to the (ethical) acceptability, sustainability and societal desirability of the innovation process and its marketable products“<sup>3</sup>.

Die Idee, Technologiegenese bewusst in eine präferierte Richtung zu lenken, existiert allerdings schon länger: Der sogenannte Leitbild-Ansatz ermöglicht etwa, ein übergeordnetes Ziel (z. B. Nachhaltigkeit) zu konkretisieren, indem mehrere Teil-Leitbilder verbunden werden. Diese werden dann von verschiedenen AkteurInnen spezifisch ausgestaltet. So könnten beispielsweise Konzepte wie jenes der *green chemistry* (s. u.) beitragen, eine nachhaltigere Forschung und Produktion zu etablieren<sup>4</sup>.

Je früher Leitbilder in der Technologieentwicklung eingesetzt werden, desto größer ist ihr vermuteter Effekt.<sup>5</sup> In diesem Sinne sollte das Leitbild *green nano* eine längerfristige Ausrichtung von Nano-Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten erleichtern.<sup>6</sup> Als Rahmen für eine nachhaltige Forschung und Entwicklung wurde ihm besonders großer Einfluss am Anfang der Produktionskette zugesprochen, wo die Technologieentwicklung am grundlegendsten und einfachsten zu gestalten ist. Dies wird im-

mer schwieriger, weil entlang der Wertschöpfungskette immer mehr Akteure am Produktionsprozess direkt oder indirekt beteiligt sind. Daher rührt auch die Vorstellung, dass gerade in der Nanotechnologie eine Ausrichtung auf ein präferiertes Ziel (z. B. Nachhaltigkeit) einfach umzusetzen ist, weil sie ein recht junges Feld ist. Es gilt: Je früher Wissen um mögliche Wirkungen verfügbar ist, desto einfacher die Formulierung von Richtlinien und Rahmenbedingungen.<sup>7</sup>

Umweltfreundliches Design kann hier ein erster Schritt sein. Allerdings sind ihm Grenzen gesetzt: Um Prozesse und Technologien nachhaltig zu gestalten, spielen Anwendungsbedingungen von Produkten eine große Rolle.<sup>8</sup> Konkrete Einsatzzwecke stellen bestimmte Forderungen an die Gestaltung, während tatsächliche Auswirkungen in ihrer Frühphase kaum abschätzbar sind.<sup>9</sup>

## Der Begriff *green nano* in den USA

Der Begriff der *green nanotechnology* kann auf zweierlei Weise interpretiert werden. Zum einen kann durch Nanotechnologie eine Vielzahl von generellen Anwendungen und Prozessen umweltfreundlicher gestaltet werden (z. B. durch Ressourcen- und Energieeinsparungen, Schadstoffsubstitution etc.), zum anderen bezieht er sich direkt auf Anwendungen in der Umweltechnik.<sup>10</sup> Um dieser Zweideutigkeit vorzubeugen, wurde anfänglich differenziert: Zwar verwendete das Woodrow Wilson Institut<sup>11</sup> bereits 2007 den Begriff der *green nanotechnology*, stellte ihn jedoch der *nano-enhanced green technology* gegenüber. Dabei wurde die Anpassung von Konzepten für die umweltfreundliche Fertigung (grüne Chemie und grüne Technik) an die Bedingungen der Nanotechnologie bereits in Erwägung gezogen. Diese Definition von *green nanotechnology* bezog sich also v. a. auf eine umweltfreundlichere Produktion. Dazu gesellte sich die Nano-Umweltechnik (*nano-enhanced green technology*) als eigener Punkt. In Box 1 werden Beispiele vorgestellt, was unter den jeweiligen Begriffen verstanden wird.

### Box 1: Beispiele für *green nano* und *green nano-enhanced technologies* (Woodrow Wilson Institut) (übersetzt)<sup>12</sup>

#### Beispiele für *green nano*

- „grüne Nanoelektronik“
  - Entwicklung neuer Materialien für Halbleitermaterialien
  - biomolekulare Nanolithographie
  - Ersatz von Zinn-Blei-Lötlötmittel durch neue Nanomaterialien
- „grünen Synthese von Nanomaterialien“, also umweltfreundlichere Methoden zur Herstellung von:
  - wasserlöslichen Karbonröhrchen
  - metallischen Nanostäbchen und -drähten
  - Quantum Dots
  - Metalloxiden
- „grüne Nanoproduktion“
  - neue Möglichkeiten, organische Nanostrukturen in großem Stil zu produzieren
  - Herstellung von Nanofasern aus Stärke und Proteinen
  - Entwicklung von Methoden und Werkzeugen für sichere Nanoproduktion

#### Nano-enhanced green technologies

- Nano-Energietechnologien
  - Entwicklung von neuen Solarzellen durch halbleitende Nanokristalle oder flexible Solarzellen
  - Brennstoffzellen
  - neuen Methoden für die Wasserstoff-Lagerung
- Nano-Sanierungstechnologien
  - Eliminierung von Arsen durch magnetische Nanopartikel
  - Sanierung von Schwermetallen und organischen Lösemitteln in Wasser und Sedimenten durch nullwertiges Eisen
  - Detektion von gefährlichen Stoffen in wässrigem Umfeld durch polymere Nanokugeln
  - „grüne“ Nano-Industrietechnologien
  - umweltfreundliche Katalysatoren aus mesoporen Silizium-Nanopartikeln
  - Eliminierung von toxischen Schwermetallen aus Abwasser durch nanoporöse Sorptionsmittel<sup>13</sup>

### Box 2: Die Prinzipien der *green chemistry* (übersetzt)

#### Green chemistry (Grüne Chemie)<sup>16</sup>

- Abfallvermeidung bei der Synthese
- Herstellung möglichst wenig toxischer Chemikalien und Produkte
- Nutzung und bewusste Erzeugung nicht (öko-)toxischer Substanzen
- Verwendung erneuerbarer Ressourcen (z. B. aus landwirtschaftlichen Produkten oder aus Prozessabfällen)
- Abfallminimierung durch die Verwendung von Katalysatoren
- Vermeidung chemischer Derivate: Vermeidung von temporären Modifikationen und damit Minimierung zusätzlich benötigter Reagenzien und Abfälle
- Effiziente Herstellung (atomare Ökonomie): Produktion der maximalen Menge der gewünschten Substanz mit möglichst wenigen Ausgangskemikalien
- Weitgehende Vermeidung von Lösungsmitteln und Schaffung sicherer Reaktionsbedingungen durch ungefährliche Substanzen
- Erhöhung der Energieeffizienz durch chemische Reaktionen bei Umgebungstemperatur und -druck
- Abbaubare Chemikalien oder Produkte
- Echtzeit-Monitoring während des Prozesses, um Nebenprodukte und Verschmutzung zu minimieren
- Minimierung des Unfallpotentials (Explosionen, Feuer, Freisetzung in die Umwelt etc.) durch bewusstes Design von Chemikalien

## Vorläufer der green nano Designprinzipien

Im Versuch, den Begriff *green nano* in einem umfassenden Konzept zu konkretisieren und seine Teilaspekte zusammenzufassen, lehnte sich die zweite deutsche Nanokommission (2009-2011) an zwei bereits existierende Forderungskataloge der U.S.-amerikanischen Environmental Protection Agency (EPA) an. Diese hatte bereits 2006 mögliche Aspekte für eine nachhaltigere, grüne Chemie und Technik definiert.

Unter *green chemistry* (Box 2) versteht sie die Entwicklung chemischer Produkte und Prozesse, welche die Verwendung und Erzeugung von gefährlichen Substanzen reduzieren oder vermeiden. Sie kann über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts angewandt werden. *Green chemistry* trägt zwar auf diese Weise zur Minimierung von Verschmutzung direkt an der Quelle bei, beinhaltet jedoch keine Sanierung von Umweltschäden oder Abfallbehandlung (vgl. *nano-enhanced green technology*).<sup>14</sup> *Green Engineering* (Box 3) umfasst das Design, den Vertrieb und die Nutzung von Prozessen und Produkten. Durch eine frühe Einbindung in den Entwicklungspfad von Technologien (vgl. Leitbildansatz) wird größtmöglicher Nutzen und höchstmögliche Kosteneffizienz erwar-

**Box 3:** Die Prinzipien des *green engineering* (übersetzt)

### Green engineering (Grüne Technik)<sup>17</sup>

- Holistische Planung von Prozessen und Produkten durch Systemanalyse und Umwelt-Abschätzungen
- Schutz und Verbesserung des Zustands natürlicher Ökosysteme sowie Schutz der menschlichen Gesundheit und des Wohlbefindens
- Integration von Lebenszyklus-Ansätzen in alle technischen Planungsaktivitäten
- Verwendung möglichst ungefährlicher Materialien und Energiequellen
- Minimierung der Ausbeutung natürlicher Ressourcen
- Abfallvermeidung
- Entwicklung von Lösungen unter Rücksichtnahme lokaler Gegebenheiten, Ziele und Kulturen
- Verbesserung und Innovation bestehender Technologien, um Nachhaltigkeit zu erreichen
- Aktive Einbindung von Gemeinden und Stakeholdern in die Entwicklung von technischen Lösungen

tet. Entwicklungen, die in diesen Bereich fallen, sollen ökonomisch und umsetzungsnahe sein und mögliche (Umwelt-)Kontamination auf ein Minimum beschränken.<sup>15</sup>

## Diskussion um die green nano Designprinzipien in Deutschland

Die Diskussion um Vor- und Nachteile der Nanotechnologie durchlief mehrere Phasen.<sup>18</sup> In Deutschland markierte die Bildung der ersten deutschen Nanokommission (2006-2008) eine Veränderung im Diskurs, indem sich die Diskussion weg von wirtschaftspolitischen hin zu Institutionen verlagerte, die mit Schutzaufgaben betraut waren.<sup>19</sup> Im Zuge dieser Entwicklung entstanden bereits Leitfäden zur Berücksichtigung von Umweltaspekten in der Industrie, die aber nicht umgesetzt wurden.<sup>20</sup> 2008 erfuhr die Nanokommission eine Erweiterung sowohl in ih-

rer Zusammensetzung als auch in ihrer Ausrichtung. Die ursprünglich vier Themengruppen wurden durch eine zusätzliche Arbeitsgruppe „Nachhaltige Nanotechnologie – green nano“ ergänzt. Während sich erstere im Verlauf des Arbeitsprozesses stärker regulatorischen Fragestellungen widmeten<sup>21</sup>, fasste letztere bereits existierende Ideen zu nachhaltiger Nanotechnologie zusammen und vereinheitlichte diese ohne jedoch auf eine konkrete Umsetzbarkeit zu fokussieren.

Durch die Adaption und Erweiterung der Prinzipien von *green chemistry* und des *green engineering* versuchte man, einen einheitlicheren Zugang zur umweltfreundlicheren Produktion zu entwickeln. Im Gegensatz zur Definition des Woodrow Wilson Instituts werden in der deutschen Interpretation unter *green nano* sowohl umweltfreundliche Produkte und Fertigungsprozesse als auch Verbesserungen in der Umwelttechnik verstanden. Die Breite der Begriffsdefinition spiegelt sich auch in den Designprinzipien wider, die sowohl (Forschungs-)prozesse als auch Anwendungen umfassen können.

**Box 4:** Die *green nano Designprinzipien* der deutschen Nanokommission (z. T. gekürzt)<sup>22</sup>

### 1. Biomimetik

- Nutzung lokaler Stoff- und Energiequellen sowie nachwachsender Rohstoffe
- Nutzung molekularer Selbstorganisation als Herstellungsparadigma (z. B. Biomineralisation zur Herstellung hierarchisch strukturierter, anisotroper, selbstheilender Werkstoffe)
- Physiologische Herstellungsbedingungen (z. B. wässrige Synthese)

### 2. Ressourceneffizienz

- Atomare Effizienz und molekulare Spezifität (z. B. durch Vermeidung von Nebenreaktionen, Nutzung enzymatischer Reaktionen, Präzisionsherstellung, Miniaturisierung/Dematerialisierung, Vermeidung von Reinigungsprozessen & seltenen Stoffen etc.)
- Energieeffizienz (z. B. hoher Wirkungsgrad bei Strom oder Licht, niedrige Prozesstemperaturen, Leichtbau etc.)
- Kreislauffähigkeit (z. B. Vermeidung von Verlusten durch geringe Materialvielfalt, Trennbarkeit/Modularität, die Minimierung von Zusatz- und Hilfsstoffen, die Vermeidung diffuser Emissionen und Materialverunreinigungen bzw. von Störstoffen)

### 3. Risikoarmut – benign by design

- Vermeidung sicherheits-, umwelt- oder gesundheitsgefährdender Nanostrukturen sowie toxischer Stoffe
- Vermeidung problematischer Strukturen, Eigenschaften und Gefahrenstoffe (z. B. Bioakkumulation, Persistenz, Aufnahme in Zellen)
- Verantwortungsvoller Einsatz von Nanofunktionalitäten<sup>23</sup> (z. B. Bevorzugung wenig sicherheits-, umwelt- und gesundheitsgefährdender Nanofunktionalitäten bzw. Substitution gefährlicher Stoffe durch u. a. Wahl von Stoff und Gestalt, Coatings etc.)
- Minimierung und Vermeidung von Expositionsmöglichkeiten (z. B. durch Vermeidung von Mobilität, Bioverfügbarkeit durch Bindung in Matrix oder Containment bei Verarbeitung)

### 4. Energie- und Umwelttechnik

- Emissionsminderung
- Umweltmonitoring
- Umweltsanierung in und ex situ
- Regenerierbare Energiequellen und nachwachsende Rohstoffe

## Die green nano Designprinzipien

Die Idee der Designprinzipien ist es, Produkte und Prozesse soweit wie möglich natürlichen Vorgängen anzunähern und diese so ungefährlich und umweltschonend wie möglich zu gestalten. Dazu identifizierte man vier Hauptfelder mit unterschiedlich weitreichendem Einfluss auf den Produktionsprozess (Biomimetik, Ressourceneffizienz, Risikoarmut, Energie- und Umwelttechnik) und spezifizierte diese (Box 4). Es wurden damit Zeitpunkte ausgelotet, in welche Fragen der Nachhaltigkeit explizit oder implizit integriert werden können.

Die Felder Biomimetik und Ressourceneffizienz stehen für die Aufforderung, geringe Stoff- und Energiemengen aufzuwenden und diese möglichst lange und verlustarm für zielgenaue Fertigung zu nutzen. Dazu sollen natürliche und einfache Herstellungswege im Großen wie im Kleinen, z. B. durch die Verwendung von lokalen Stoff- und Energiequellen oder durch Selbstorganisation auf molekularem Niveau, beitragen.

Mögliche Sicherheitsrisiken für Mensch und Umwelt werden von zwei Seiten angegangen: Berührungspunkte mit Nanoprodukten soll es so wenige wie möglich geben, während gefährliche Nanostrukturen und toxische Stoffe vermieden werden und der Einsatz von Nanofunktionalitäten möglichst kontrollierbar bleiben soll.

Der Bereich der Energie- und Umwelttechnik hingegen weist auf neue Entwicklungsfelder hin: Genannt werden hier Ressourcen- und Energienutzung, (Schadstoff-)Monitoring und Emissionsminderung sowie neue Optionen zur Verbesserung des Umweltzustands.

Der Ansatz der green nano-Designprinzipien ist komplementär zu regulativen Maßnahmen. Daher setzt seine Anwendung eine bereits bestehende (öffentliche) Diskussion über Nanotechnologie und ein von allen Akteuren mitgetragenes Verantwortungsgefühl voraus.<sup>24</sup>

Anders als das Woodrow-Wilson-Institut integrieren die deutschen green nano Designprinzipien sowohl allgemein industrielle Prozesse als auch Umwelttechnologien und versuchen, Herstellungsprozesse ganzheitlich zu betrachten. Dabei bleiben jedoch, abgesehen von der Rohstoff- und Energiebeschaffung, lokale, kulturelle bzw. (planungsrelevante) soziale Gegebenheiten, wie sie in den Prinzipien zur grünen Technik erwähnt werden, außen vor. Das Hauptaugenmerk liegt

auf der technischen Fertigung, während Gegebenheiten, die bei der Implementierung von Technologie(systemen) relevant werden können, nicht berücksichtigt werden.

## Green nano in der Forschung: Beispiele für Umweltsanwendungen

Im Folgenden werden exemplarisch Forschungsprojekte<sup>25</sup> vorgestellt, die green nano zugerechnet werden können. Alle Projekte haben eine umweltfreundliche Komponente, entweder durch den möglichen Anwendungskontext, durch die Verbesserung eines industriellen Prozesses oder aber durch die Art der Technologie. Da sie unterschiedliche Aspekte der Umweltschonung berücksichtigen, variieren auch die angewandten Punkte der Designprinzipien (Tabelle 1).

## Programmatische Begriffe in Konzept und Anwendung

Wie oben gezeigt, ist eine „grüne“ Komponente in allen vorgestellten Arbeiten Thema, wenngleich die Art der Umwelteffekte variiert. Jedes dieser Projekte deckt einen oder mehrere Punkte der green nano Designprinzipien ab, z. B. die Verbesserung des Umweltmonitorings und der Umweltanalytik, Umweltsanierung, Ressourceneffizienz durch Energieeffizienz und Kreislauffähigkeit.

Im Fall hochleistungskeramischer Nanofilter richtet sich das Hauptaugenmerk auf Ressourceneffizienz und neue technologische Möglichkeiten (wie den Einsatz in extremen Parametern): Im Zentrum des Interesses stehen Kreislauffähigkeit von Wasser oder organischen Lösemitteln sowie eine höhere Energieeffizienz der Membrantechnologie gegenüber anderer Trennmethoden. Dies bietet betriebsökonomische Vorteile (weniger Verbrauch und daher weniger Be- und eventuell Entsorgungskosten), während gleichzeitige Umweltschonung (im Vergleich zu anderen Trennverfahren) angestrebt wird.<sup>32</sup>

Noch klarer ist die Kontextabhängigkeit des Umweltnutzens am Beispiel der Sensortechnologie: Hier stehen Benutzerfreundlichkeit und Handlichkeit, sowie messtechnische Ver-

besserung im Vordergrund, während ein tatsächlicher Umweltnutzen (bei Vernachlässigung der rohstoffintensiven Produktion<sup>33</sup>) lediglich durch den Anwendungskontext gegeben wird.<sup>34</sup>

Damit spielt das Thema der (ökologischen) Nachhaltigkeit in der Forschung eine wichtige Rolle – einerseits im Zusammenhang mit ihren Ergebnissen und dem Forschungsvorhaben, andererseits im Prozess des Forschens selbst, also in der täglichen Forschungsroutine. Dies wird jedoch kaum über abstrakte Konzepte als vielmehr über konkrete Anforderungen in Projektschreibungen oder durch Auflagen für industrielle Anwendungen verankert.<sup>35</sup> Bei näherer Nachfrage stellte sich heraus, dass die Designprinzipien ForscherInnen teilweise bekannt sind, aber nicht unmittelbar umgesetzt werden.<sup>36</sup> Wenngleich Elemente daraus durchaus berücksichtigt werden, haben sich die green nano Designprinzipien bislang nicht als normativer Handlungsrahmen für die Forschung etabliert.

## Relevanz in politischen Zusammenhängen

Wie könnte nun ein solches Konzept politisch relevant sein? Zunächst zeigt sich an ihnen eine Veränderung des Nanotechnologie-Diskurses: Durch die Einbindung einer breiten Palette von Akteuren hatten diese die Möglichkeit, ihre Interessen auf hoher politischer Ebene in die Regulierungsdiskussion einzubringen.<sup>37</sup> Diese war in Deutschland tendenziell auf Konsens ausgerichtet<sup>38</sup>, woraus sich die thematische Breite und Undifferenziertheit der Designprinzipien erklärt. Zugleich sind sie ein Indiz dafür, dass informelle, selbstregulatorische Politikformen den politischen Diskurs in unterschiedlichem, aber zunehmendem Ausmaß prägen.<sup>39</sup> Ansätze wie die Designprinzipien versuchen, risiko- und anwendungsorientierte Fragen zu klären und Verknüpfungen zu gesellschaftlichen Problemfeldern herzustellen. Damit liegen sie auf einem Kurs mit der europäischen Forschungspolitik, die, z. B. durch RRI, auch technologische Lösungen für die Adressierung der „grand challenges“ propagiert.



**Tabelle 1:** Übersicht über Umweltaspekte, die in Beispielprojekten behandelt werden

Umweltrelevanz durch ...	Zielsetzungen/Methoden	Name des Projekts	Entsprechende Designprinzipien
... den Anwendungsbereich: Messgeräte für Umwelt-Monitoring	Entwicklung laserbasierter, genauerer Messinstrumente zur pH-Bestimmung	PLATON	IV. Energie- und Umwelttechnik (Umweltmonitoring)
.. die Verbesserung eines bestehenden industriellen Prozesses (Ressourceneinsparung)	Entwicklung von nanoporösen keramischen Membranen zur Wasser- und Lösemittleinsparung in Industrieprozessen	NANOMEMBRANE	II. Ressourcenschonung: Energieeffizienz und Kreislauffähigkeit
... die Wiederherstellung eines guten Umweltzustands durch neue Technologien	Sanierung von CKW-verseuchten Standorten durch Einbringung von Nano-Eisenpartikeln	NAPASAN/ NANOSAN	IV. Energie- und Umwelttechnik (Umweltsanierung in und ex situ)

**Umweltfreundlich durch Anwendungskontext: Mikroelektronik**

**PLATON – Processing Light: Advanced Technologies for Optical Nanostructures**

PLATON entwickelte laserbasierte Messinstrumente als neuen Zugang zur pH-Bestimmung. Bislang unerklärliche Störphänomene bei der Messung sollten vermieden und neue Eigenschaften für die zunehmende Datenmenge von Computern und Netzwerken genützt werden. Ein zusätzliches Ergebnis waren neue Photonik<sup>26</sup>-basierte Typen von Messinstrumenten. Die größte Herausforderung stellte die zunehmende Miniaturisierung von Messgeräten mit vereinfachter Handhabung dar.<sup>27</sup>

Der Umweltbezug des Projekts ergibt sich aus seinem Anwendungsbereich: Diese Messgeräte werden für Umweltmonitoring und zur Kontrolle von Schadstoffen und anderen ökologischen Störfaktoren aus industriellen Abwässern genutzt. So können Entwicklungen in der Mikroelektronik zu Umweltschutz und -monitoring beitragen.

**Umweltfreundlich durch Ressourcenschonung: Nanoporöse Keramikfilter**

**NanoMembrane – Nanoporöse keramische Membranen zur nachhaltigen Wasser- und Lösemittleinsparung durch Kreislaufschließung**

Das Projekt NanoMembrane verfeinerte die Trennfähigkeit einer nanoporösen keramischen Membran und testete sie für verschiedene industrielle Anwendungen. Fokus lag hier auf dem unteren Trennbereich der Nanofiltration, da man hier viele chemische Verbindungen für die Abwasserbehandlung (z. B. Pestizide in der Landwirtschaft, Tenside in der Industrie etc.) findet. Zusätzlich zur Trennfähigkeit arbeitete man daran, die Salzurückhaltung für Härtebildner (wie z. B. Carbonate, Sulfate) und die pH-Beständigkeit zu verbessern. Die Membran soll in verschiedenen Industrien (u. a. Textilveredelung, Metallbearbeitung, chemische Industrie) durch Kreislaufführung von Waschprozesswässern und der Verlängerung von Bäderstandzeiten helfen, Wasser einsparen bzw. organische Lösemittel aufzureinigen.<sup>28</sup>

Der Einsatz neuer Filtertechniken schont die Umwelt durch Wasser- bzw. Lösemittleinsparung, weshalb ihre Anwendung zur Nachhaltigkeit unterschiedlicher industrieller Prozesse beitragen kann. Allerdings sagt dies nichts über die Umweltfreundlichkeit des Prozesses per se aus.

**Fazit**

Fraglos haben Auswirkungen auf die Umwelt, vor allem mögliche positive Umwelteffekte durch den Einsatz von Nanomaterialien und -technologien einen hohen Stellenwert im allgemeinen Nano-Diskurs. Für eine Integration von Nachhaltigkeit in den Forschungsalltag existieren im Moment allerdings konkretere (und daher geeignetere) Mittel als die vorgestellten Designprinzipien. Interne und externe Anreize für Umweltverbesserungsmaßnahmen können unterschiedlich motiviert sein und diverse Aspekte wie Forschungsinteresse, ökonomische Vorteile von Produkten oder auch ökonomische Vorteile durch Ausschreibungen umfassen. Um eine „grüne“ Technikgenese zu forcieren, ist die Anwendung der Designprinzipien aktuell wenig effektiv. Eine zukünftige stärkere Verankerung dieses oder ähnlicher Konzepte könnte aber beitragen, ein einheitlicheres Verständnis von Begriffen wie „nachhaltiger Nanotechnologie“ zu schaffen.

**Umweltfreundlich durch neue Technologie: Remediation mit nullwertigen (Nano-)Eisenpartikeln**

**NAPASAN – Einsatz von Nanopartikeln zur Sanierung von Grundwasserschadensfällen<sup>29</sup> & NanoSan<sup>30</sup>**

Die beiden Projekte beschäftigen sich mit der Herstellung mit dem Einsatz von Nanoeisenpartikeln für die Sanierung von mit Chlorkohlenwasserstoff (CKW) verseuchten Böden. Dabei standen die Verbesserung bestehender Verfahren in punkto Funktionalität, Anwendbarkeit und Kostenreduktion im Vordergrund. Besonders wichtig war, die Reaktivität der Nanoeisenpartikel zu erhalten und so dafür zu sorgen, dass die Partikel sich über mehrere Meter im Untergrund ausbreiten konnten. Das Projekt NanoSan bettete Partikel in eine lösliche Matrix ein um die Schadstoffaffinität zu gewährleisten.

Beide Projekte kontrollierten die Ausbreitung der Partikel im Boden: NAPASAN entwickelte dafür einerseits eine Messspule, die eine Messung der Partikelmenge pro Zeit ermöglichte, andererseits eine mobile Methodik zur Untersuchung von Grundwasserproben auf Partikelmenge. Damit konnte die Reichweite der Eiseninjektionen zumindest im Labor und teilweise auch im Feldversuch festgestellt werden.<sup>31</sup>

Durch die Anwendung von Nanoeisenpartikeln können auch bisher nicht sanierbare Standorte behandelt werden. Ist ein Schadensfall durch Kontamination bereits eingetreten, kann diese Anwendung zur Wiederherstellung eines guten Umweltzustands beitragen, vorausgesetzt, es zeigen sich keine gegenteiligen Langzeiteffekte.

**Anmerkungen und Literaturhinweise**

<sup>1</sup> Steinfeldt, M., Gleich, A.v., Petschow, U., Pade C. und Sprenger R.U., 2010, *Entlastungseffekte für die Umwelt durch nanotechnische Verfahren und Produkte*. Kurzfassung UBA, Texte 33/2010. Online unter: <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/k3777.pdf>.

<sup>2</sup> Schomberg R., 2013, A vision of responsible innovation. In: Owen, R., Heintz, M., and Besant, J. (eds.) *Responsible Innovation*. London: John Wiley, S. 51-74.

<sup>3</sup> Siehe EN 2, S. 69.

<sup>4</sup> Reihlen, A., Jepsen, D., 2012, Nachhaltige Nanotechnologien. Bericht. ÖKOPOL, Institut für Ökologie und Politik. Hamburg. Online: [http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nanotechnologien\\_fachdialog3\\_bericht\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nanotechnologien_fachdialog3_bericht_bf.pdf).

<sup>5</sup> Siehe EN 4.

<sup>6</sup> Steinfeldt, M., Gleich, A.v., Petschow, Ul, Haum, R., 2010, *Nanotechnologies, Hazards and Resource efficiency. A three-tiered approach to assessing the implications of nanotechnology and influencing its development*. Springer 2010.

<sup>7</sup> Siehe EN 6, S. 10-13.

<sup>8</sup> Siehe EN 6, S. 203-221.

<sup>9</sup> BMU, 2010, Verantwortungsvoller Umgang mit Nanotechnologien. Bericht und Empfehlungen der NanoKommission 2011. Online: [http://nano.dguv.de/fileadmin/user\\_upload/documents/textfiles/Grundlagen/nano\\_schlussbericht\\_2011\\_bf.pdf](http://nano.dguv.de/fileadmin/user_upload/documents/textfiles/Grundlagen/nano_schlussbericht_2011_bf.pdf), S. 50.

<sup>10</sup> Siehe Schwarz, A., 2009, Green Dreams of Reason. Green Nanotechnology Between Visions of Excess and Control. In: Nanoethics, 2009, 3: 109-118. Und siehe Karn, B., 2008, The Road to Green Nanotechnology. In: Journal of Industrial Ecology, 2008, vol. 112. No. 3, S. 263-266.

<sup>11</sup> Schmidt, K.F., 2007, Green nanotechnology: It's easier than you think. Woodrow Wilson International Center for Scholars. Project on Emerging Nanotechnologies. Pen 8, 2007, online: [http://eprints.internano.org/68/1/GreenNano\\_PEN8.pdf](http://eprints.internano.org/68/1/GreenNano_PEN8.pdf).

<sup>12</sup> Siehe EN 11.

<sup>13</sup> Siehe EN 11, S. 11-19.

<sup>14</sup> <http://www2.epa.gov/green-chemistry/basics-green-chemistry#definition>.

<sup>15</sup> [http://www.epa.gov/oppt/greenengineering/pubs/whats\\_ge.html](http://www.epa.gov/oppt/greenengineering/pubs/whats_ge.html).

<sup>16</sup> EPA, 2006, Green Chemistry. Alle Punkte online unter: <http://www2.epa.gov/green-chemistry/basics-green-chemistry#twelve>.

<sup>17</sup> EPA, 2006, Green Engineering. Alle Punkte online unter: [http://www.epa.gov/oppt/greenengineering/pubs/basic\\_info.html](http://www.epa.gov/oppt/greenengineering/pubs/basic_info.html).

<sup>18</sup> Kurath, M., Nentwich, M., Fleischer, T., Eisenberger, I., 2014, Regulierungskulturen und -strategien der Nanotechnologie in Deutschland, Österreich, der Schweiz und der Europäischen Union. In: Gazsó, A., Haslinger, J., 2014, *Nano Risiko Governance*. Springer. S. 101-132.

<sup>19</sup> Siehe EN 18, S. 106f.

<sup>20</sup> Fuchs, D., 2013, Die Umsetzung eine green nano Konzepts in der aktuellen Nanotechnologie-Forschung. Zur Umweltrelevanz und Nachhaltigkeit der Nanotechnologie, Masterarbeit, Universität Wien. S. 95.

<sup>21</sup> Siehe EN 18, S. 106f.

<sup>22</sup> AG Green Nano der deutschen Nanokommission, 2010, Aspekte einer nachhaltigen Gestaltung von Nanotechnologien – 13 Designprinzipien. Stand 30.8.2010. Online: [http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Nanotechnologie/nano\\_designprinzipien\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Nanotechnologie/nano_designprinzipien_bf.pdf), letztes Zugriffsdatum: 26.1.2015, S. 4-10.

<sup>23</sup> Gleichbedeutend mit Nanoeigenschaften: Eigenschaft(en) eines Stoffes, die hervortreten, wenn dieser Stoff im Nanometerbereich vorliegt. Das Interesse an Nanomaterialien bezieht sich auf diese Eigenschaften, da sie sich häufig von den Stoffeigenschaften in anderen Größenbereichen unterscheiden.

<sup>24</sup> Siehe EN 22, S.4.

<sup>25</sup> Die Auswahl hat lediglich beispielhaften Charakter, eine wie auch immer als vollständig verstandene Projekt-Aufzählung wurde nicht intendiert.

<sup>26</sup> Grundlagen und Anwendung optischer Verfahren zur Informationsübertragung, -speicherung und Verarbeitung.

<sup>27</sup> Information zum Projekt PLATON: <http://www.platon-photonics.at/>.

<sup>28</sup> Fuchs, D., 2014, Green nano und der Forschungsalltag – Niederschlag eines Konzepts in der aktuellen Nanotechnologie-Umweltforschung. In: Gazsó, A., Haslinger, J., 2014, *Nano Risiko Governance*. Springer. S. 81-98, S. 92f.

<sup>29</sup> Siehe EN 28, S. 93f.

<sup>30</sup> Siehe EN 28, S. 94.

<sup>31</sup> Siehe EN 28, S. 93f.

<sup>32</sup> Siehe EN 20, S. 78f.

<sup>33</sup> Die rohstoff- und energieintensive Produktion elektronischer Bauteile greift unter anderem auf rare Ressourcen, wie z. B. seltene Erden zurück. Siehe EN 20, S. 75f.

<sup>34</sup> Siehe EN 20, S. 84f.

<sup>35</sup> Siehe EN 28, S. 95f.

<sup>36</sup> Siehe EN 28, S. 95f.

<sup>37</sup> Siehe EN 18, S. 122f.

<sup>38</sup> Siehe EN 18, S. 125.

<sup>39</sup> Siehe EN 18, S. 127.

**IMPRESSUM:**

**Medieninhaber:** Österreichische Akademie der Wissenschaften; Juristische Person öffentlichen Rechts (BGBl 569/1921 idF BGBl I 130/2003); Dr. Ignaz Seipel-Platz 2, A-1010 Wien

**Herausgeber:** Institut für Technikfolgen-Abschätzung (ITA); Strohgasse 45/5, A-1030 Wien; [www.oeww.ac.at/ita](http://www.oeww.ac.at/ita)

**Erscheinungsweise:** Die NanoTrust-Dossiers erscheinen unregelmäßig und dienen der Veröffentlichung der Forschungsergebnisse des Instituts für Technikfolgen-Abschätzung im Rahmen des Projekts NanoTrust. Die Berichte werden ausschließlich über das Internetportal „epub.oeww“ der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt: [epub.oeww.ac.at/ita/nanotruster-dossiers/](http://epub.oeww.ac.at/ita/nanotruster-dossiers/)

NanoTrust-Dossier Nr. 045, April 2015: [epub.oeww.ac.at/ita/nanotruster-dossiers/dossier045.pdf](http://epub.oeww.ac.at/ita/nanotruster-dossiers/dossier045.pdf)

ISSN: 1998-7293



Dieses Dossier steht unter der Creative Commons (Namensnennung-NichtKommerziell-KeineBearbeitung 2.0 Österreich) Lizenz: [creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/at/deed.de](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/at/deed.de)