

Dialog zur Bewertung von synthetischen Nanopartikeln in Arbeits- und Umweltbereichen
Bonn 11. Oktober 2005

Umweltentlastungspotenziale und Nachhaltigkeitsaspekte von Nanotechnologien

Ulrich Petschow

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung



Institut für ökologische Wirtschaftsforschung

• Themen

- Innovationsstudien
 - Studien zu Umweltmärkten
 - Lead Markt Forschung
- Umweltmanagementsysteme
- Nanotechnologien
 - TAB
 - Europäisches Parlament
 - BMBF
- Bionik
 - TAB
 - BMBF

Kooperation mit Uni Bremen
(Prof. v. Gleich)



Institut für ökologische Wirtschaftsforschung



Gliederung

1. Nachhaltigkeit
2. Ökoeffizienz
3. Konkurrierende Nano-Zukunftsvisionen
4. Bewertungsprobleme
5. Nanotechnologien und Nanopartikel
6. Nutzen der Nanotechnologien
7. Fallstudien (Ökopprofile) Nanotechnologien
8. Fazit



Nachhaltigkeit

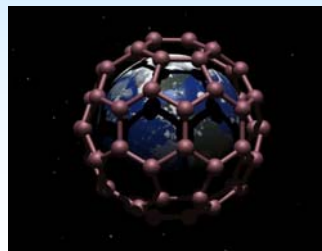
- **Zentrale (neue) Aspekte**
 - Scale (globale und lokale Betrachtung, erweiterte Zeithorizonte, Irreversibilitäten)
 - Drei Dimensionen (ökologisch, ökonomisch, sozial)
 - Unterschiedlichste Interpretationen (stark/schwach)

 - Technologische Innovationen haben einen wichtigen Stellenwert für eine nachhaltige Entwicklung



Top Ten Nachhaltigkeitsprobleme

1. Energie
2. Wasser
3. Nahrungsmittel
4. Umwelt
5. Armut
6. Kriege
7. Krankheiten
8. Ausbildung
9. Demokratie
10. Bevölkerung



Quelle: verändert nach Smalley (2003)

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung



Ziel: Entkopplung wirtschaftliche Entwicklung und Ressourcen-/Umweltverbrauch

Eine nachhaltige Ökonomie für « alle »...

Öko-Effizienz



...in den Grenzen der Tragfähigkeit

Faktor 4

Lebensqualität 10

8

Wirtschaftswachstum

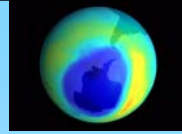
Umwelteinwirkungen

Quelle: verändert nach Fussler 2003

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung



Produktionsparadigmen Leitvorstellungen



- **Industrielles Produktionssystem**
 - Nebenfolgen werden zu zentralen Aspekten
 - Umweltproblematik (Asbest, DDT, hormonell aktive Substanzen, FCKW)
- **Bspw.: Hawkin / Lovins: „Natural Capitalism“**
 1. umfassende Steigerung der Ressourcenproduktivität
 2. Abkehr von konventionellen Herstellungsmethoden (hoher Energieaufwand, problematische Nebenprodukte).
Orientierung am Vorbild der Natur.
 3. Abkehr von Produkten, Orientierung auf Dienstleistungen (Kundenbedarfe)

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung



Konkurrierende Nano-Zukunftsvisionen

Chancen

- „radical green vision“ –
Nanotechnologien ermöglichen
eine umfassende
umweltentlastende Strategie
 - Kohlenstoff als Grundstoff
 - Radikale Reduktion des Ressourcenverbrauchs
 - Ökoeffizienz: Solarenergie, Katalysatoren, Lacke etc.

Risiken

- „Grey goo“ (selbstrepl. Roboter)-
Nanotechnologien könnten sich
als nicht beherrschbar erweisen
 - Foresight Guidelines on Molecular Nanotechnology
 - Ziel inhärente Sicherheit
 - Kombination von Nano- und Gentechnologien „green goo“?

- Beide Visionen sind vorrangig langfristig ausgerichtet (2020ff)
- Schritte vom „hier“ zum „da“ werden nicht einbezogen
- Problem: „rationaler“ gesellschaftlicher Diskurs um Chancen und Risiken wird eher behindert und Gestaltungspotenziale ausgeblendet

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung



Typisierung: Phasen der Entwicklung der Nanotechnologien

1. **Generation - Passive Nanostrukturen**
 - Nanopartikel, nanostrukturierte Materialien
2. **Generation – aktive Nanostrukturen**
 - Verstärker, Transistoren, adaptive Strukturen
3. **Generation – Nanosysteme**
 - Gezielte Nutzung der Selbstorganisation, neue Systemarchitekturen
4. **Generation – molekulare Nanosysteme**
 - Moleküle als „devices“, evolutionäre Systeme

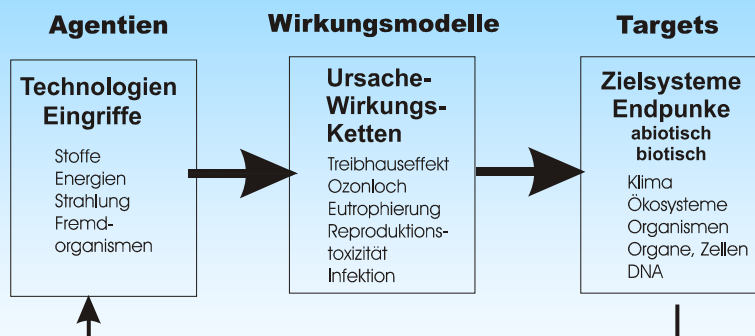
Quelle: in Anlehnung an Rocco 2002

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung



Charakterisierung von Technologien als Ansatz der prospektiven Technikbewertung

Kernelemente und Blickrichtungen der Technikfolgenabschätzung



Zur Operationalisierung des Vorsorgeprinzips bei fehlendem Wirkungsmodell:
 'Blickwende' von den Wirkungen hin zur Charakterisierung der Agentien

Bewertungskriterium **Eingriffstiefe**

Indikator erwartbare Länge der durch den Eingriff ausgelösten Ursache-Wirkungs-Ketten
 (wichtige Eigenschaften des Agens hierfür z. B. Persistenz, Mobilität, Halbwertszeit, Reproduktionsfähigkeit)

AVG 4/2003

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung



Was ist die Herausforderung?

- **Nanotechnologien als neue „industrielle Revolution“**
 - Verändertes Produktionsparadigma – „bottom-up“
 - Disruptive Technologien
 - Intendierte und nicht intendierte Folgen
 - Intendiert: Effizienzerhöhung, Ressourceneinsparung, neue Anwendungen etc.
 - Nicht – intendiert: „Nebenwirkungen“ ökologisch/sozial
 - Beide Folgen nicht wirklich vorhersehbar
 - Reflexiver Umgang mit Veränderung erforderlich

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung



Innovationen

- **Sind generell mit Unsicherheiten verbunden**
 - Durchsetzung, Effekte, Nebeneffekte
- **Weitreichende Innovationen verändern umfassend die Kontexte (Ko-Evolution)**
- **Gilt ebenfalls für Nanotechnologien als „neue industrielle Revolution“**
 - Schlüsselinnovation
 - Enabling technology
- **Fokus auf: Effizienzpotenziale**

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung

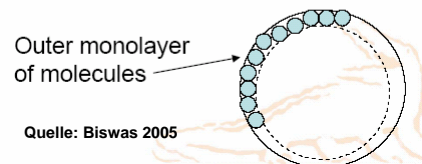


Weshalb sind Nanopartikel interessant?

- **Materialien zeigen auf der Nanoebene ein neues Verhalten**

- Neue Eigenschaften
- Neue Funktionalitäten
- U.a. ausgelöst durch
 - Verhältnis Oberfläche/Volumen
 - Quanteneffekte

Particle Size (nm)	Fraction of Molecules in Outer Layer
2500 (2.5 μm)	$< 2 \times 10^{-4}$
1000 (1 μm)	$< 6 \times 10^{-4}$
100	0.006
10	0.06
1	48.8



Quelle: Biswas 2005

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung



Nutzung der Nanopartikel

- **Def. i.d.R. in einer Dimension < 100 nm**
- **„building blocks“ für Nanotechnologien**
- **Gezielte Nutzung der Eigenschaften**
 - Form
 - Oberflächenstruktur
 - Einbindung in größere Strukturen

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung



Zwei Seiten einer Medaille

- **Veränderte Eigenschaften der Nano-Partikel**

- Einerseits

- Ökonomisch interessant
- Umweltentlastungen (Effizienz)

- Andererseits

- ggf. problematisch bei Emission
 - Vielfach unbekanntes Verhalten
 - Form und Oberflächenchemie entscheidend
 - die sich extrem unterscheiden können
 - Und die gezielt verändert werden können



Nanopartikel/-technologien

Nanopartikel	Positive Effekte	Potenzielle Probleme
Partikelgröße und Mobilität	Gezielte Nutzung für ressourcen-/ökoeffiziente Technik	Dissemination und Wirkungen auf Mensch und Umwelt (Öko)Toxizität?
Neue Funktionalitäten und Effekte (Verhältnis Volumen/Oberflächen)	Erhöhte Reaktivität, katalytische Effekte Selektivität	Überraschende Wirkungen, Dissemination, (Öko)Toxizität?
Adhäsion, Kohäsion, Agglomeration	“Eigensicherheit” durch die genannten Effekte	Verhalten in der Umwelt kaum bekannt



Nanopartikel/-technologien

Nanopartikel	Positive Effekte	Potenzielle Probleme	Beispiele
Neue physikalische Effekte (optisch, elektrisch, magnetisch)	Gezielte Nutzung für ressourceneffiziente Technik	Hochreine und hochdefinierte 'technische Umgebungen' erforderlich	CMR-Sensoren, OLEDs, Weiße LED
Selbst-Organization	Nutzung für ressourceneffiziente und konsistente Technik		u.a. biomimetische Materialsynthese

Quelle: Steinfeldt et al. 2004

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung



Fazit: Chancen/Risiken

- **Nanopartikel**
 - Weitgehende Möglichkeiten der Nutzung des veränderten Verhaltens für Umweltentlastungen
 - Adverse Effekte möglich, Wissen aber nur begrenzt vorhanden
 - Vielfalt der Anwendungsmöglichkeiten
 - Vielfalt der Eigenschaften und potenzielle Effekte
 - Eineindeutige Aussagen gegenwärtig nur begrenzt möglich

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung



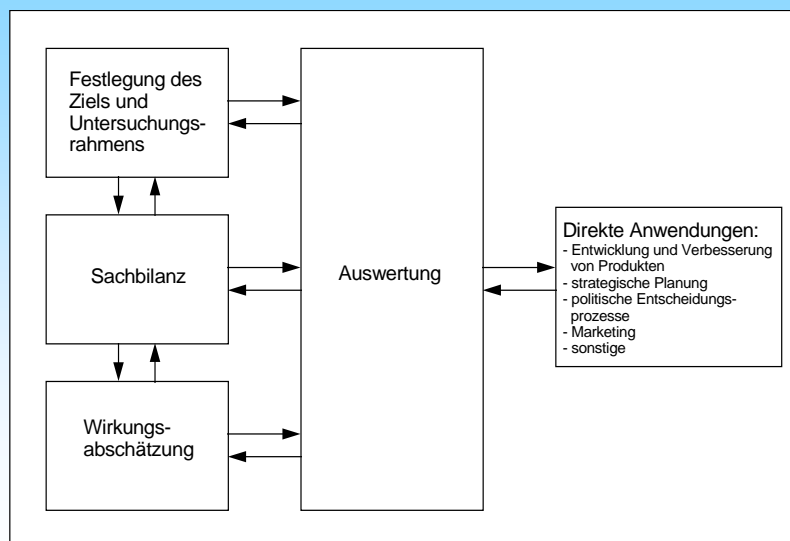
Umwelt-Nutzen der Nanotechnologien

- **Materialsubstitution**
 - Ersatz herkömmlicher Einsatzstoffe
 - Ziel: Effizienz und neue Nutzungen
- **Sensoren und Detektoren**
 - Höhere Empfindlichkeit und Selektivität
- **Dekontamination**
 - Boden, Grundwasser
- **Emissionskontrolle**
 - Sensoren und Katalysatoren
- **Energie**
 - Katalysatoren: Brennstoffzelle, Wasserstoffwirtschaft

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung



Ökopprofile - Ökobilanzmethode



Quelle: EN ISO 14040: Umweltmanagement, Ökobilanz - Prinzipien und allgemeine Anforderungen, 1997.

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung



Fallstudie: Ökoeffiziente Nanolacke

- Marktreife: kurzfristig, einige Produkte bereits marktreif (z.B. Clearcoat)
- Innovationsgrad: mittel - hohe Produktinnovation
- Ökologisches und ökonomisches Potenzial:

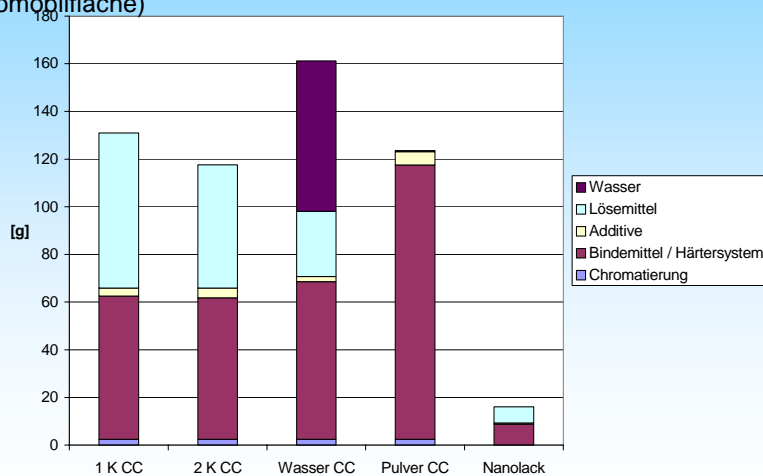
	Konventionelles Lackieren mit Chromatierung	„Nano“-Lackieren
Einsatzstoff	Vorbehandlung: Chromsäure (toxisch)	Silane (anorganisch-organische Hybridpolymere)
Schichtdicke (Lack)	50-100 μm	5-10 μm
Arbeitsschritte	Grundierung + Lack	Eine Schicht ausreichend

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung



Fallstudie: Ökoeffiziente Nanolacke

Lack- und Chromatierungsmengen (g/m^2 lackierter Aluminium-Automobilfläche)

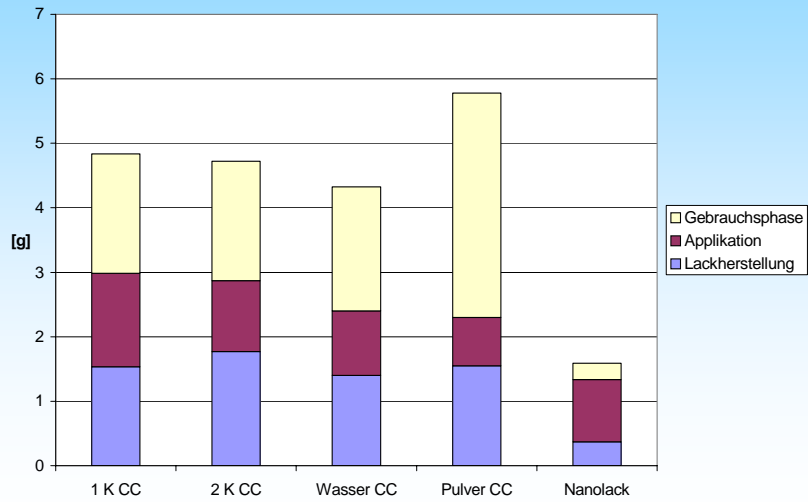


Institut für ökologische Wirtschaftsforschung



Fallstudie: Ökoeffiziente Nanolacke

VOC-Emissionen (g/m² lackierter Aluminium-Automobilfläche)

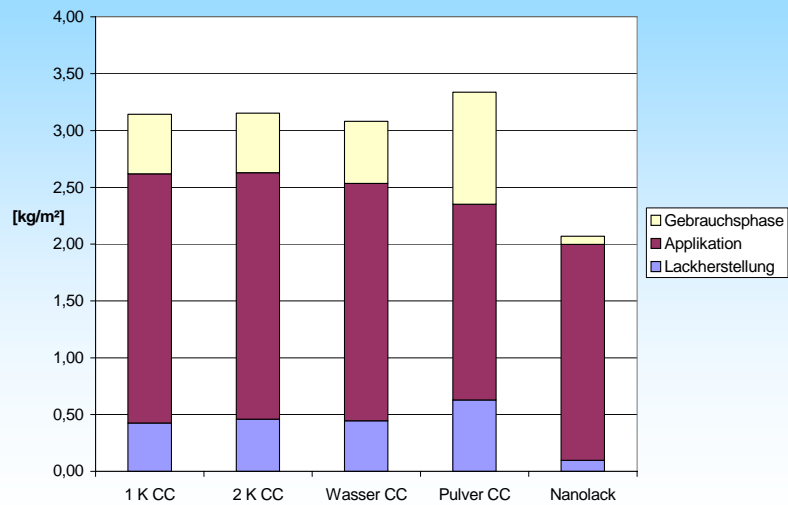


Institut für ökologische Wirtschaftsforschung



Fallstudie: Ökoeffiziente Nanolacke

Treibhauspotenzial (kg/m² lackierter Aluminium-Automobilfläche)



Institut für ökologische Wirtschaftsforschung



Fallstudie: Styrolsynthese (nanotechn. Prozessinnovation)

- **Styrolsynthese:** Gehört zu den zehn wichtigsten chemischen Prozessen
- **Styrol** ist Ausgangsstoff für zahlreiche Kunststoffe (z.B. Styropor)
- **Bisher: Katalysator aus Eisenoxid**
 - Annahme: Kohlenstoff behindert die Reaktion
- **Jetzt: Katalysator aus Nanoröhrchen**
 - Erkenntnis: geordneter Kohlenstoff (Nanoröhrchen, ...) beschleunigt die Reaktion!

Neues Verfahren ist:

 - energiesparend und ressourcenschonend (niedrigere Reaktionstemperatur, einfachere Prozessführung (überhitzter Wasserdampf wird nicht mehr benötigt))
 - effizient (höhere Ausbeute)
- **Ziel der Fallstudie:** Darstellung des Ökoeffizienzpotenzials von Nanotechnologie in einer katalytischen Anwendung in Form eines vergleichenden Ökoprofiles

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung



Fallstudie: Styrolsynthese (nanotech. Prozessinnovation)

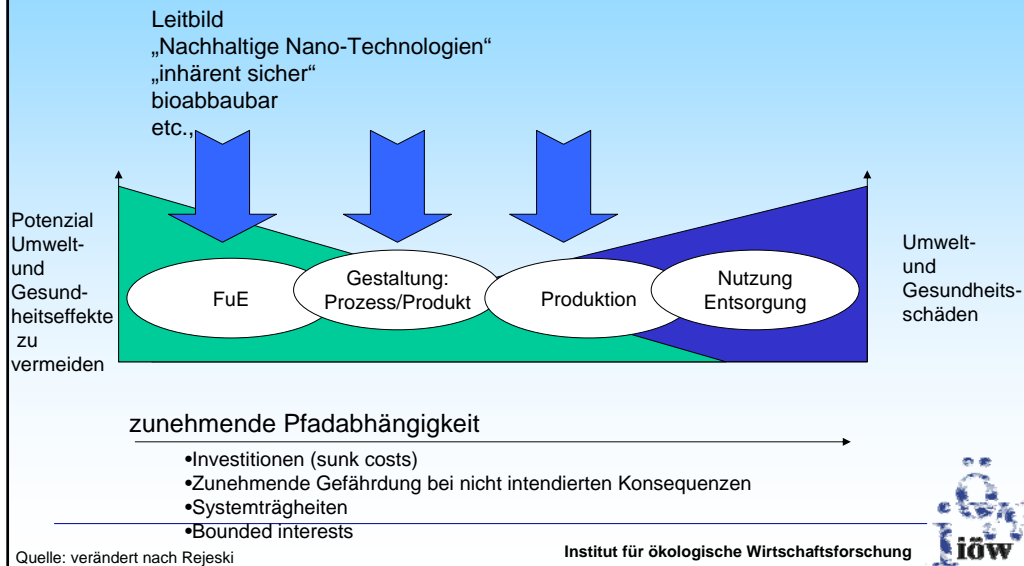
- **Marktreife:** mittel- bis langfristig
- **Innovationsgrad:** radikale Prozessinnovation
- **Ökologisches Potenzial:**

	Alt	Neu
Katalysator	Eisenoxid mit Schwermetallpromotoren (Chrom)	Einsatz von mehrwandigen Kohlenstoff-Nanoröhrchen
Reaktionstemperatur	Ca. 600°C	Ca. 400°C
Maximale Styrol-Ausbeute	45%	60%
Reaktion	Endotherm Dehydrierung mit ständiger Wasserdampfung	Exotherm Oxydehydrierung mit Sauerstoffzufuhr

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung



F&E, Produktion, Lebenszyklus und Potenziale der Vermeidung von EHS Risiken



Fazit

- **Nanotechnologien bieten Chancen für weit reichende Umweltentlastungen**
- **Wie bei jeder neuen Technologie sind „Nebeneffekte“ erwartbar**
 - Einige Problemfelder sind benannt und müssen „bearbeitet“ werden
- **Wesentliche Pfadgestaltungen geschehen heute**

Fazit

- **Umweltentlastungspotenziale werden nicht „automatisch“ erschlossen**
- **Rebound Effekte – Effizienzpotenziale werden wieder in Frage gestellt**
- **Fokus auf zentrale Umweltprobleme (Energie)**
- **Reflexivität der Prozesse**
 - Diese Veranstaltung ist ein Beitrag dazu

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung



Fazit und Perspektiven

Leitbild	Thema	Fokus	Beispiele
Ressourcen-effiziente Nanotechnologie	Umweltentlastung Effizienz	Quantität der Stoffströme	Membranen Katalysatoren etc.
Konsistente, eigensichere Nanotechnologie	Verträglichkeit, Eingepasstheit in die Stoffwechselprinzipien der Natur	Qualität der Stoffströme	Schnelle Abbaubarkeit, Geschlossene Anwendungen
Nanobionik	Technik nach dem Vorbild der Natur	Qualität der Technik	Biokatalysatoren, Biomimetische Materialsynthese

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung



- **Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**

- **Ulrich Petschow**

- **Beiträge zu dieser Präsentation von**

- Prof. Dr. A. v. Gleich (Universität Bremen)
- M. Steinfeldt
- R. Haum

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung

