

INANU

Innovation durch Nanotechnologie in der Umweltechnik als Schlüssel zur Nachhaltigkeit

Daniel Heubach (IAO), Gerhard Angerer (ISI)

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart
Fraunhofer-Institut System- und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE), Freiburg

Förderkennzeichen: BWI 25002

Die Arbeiten des Programms Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung werden mit
Mitteln des Landes Baden-Württemberg gefördert

April 2007

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation	6
2	Aufgabenstellung	9
3	Planung und Ablauf des Vorhabens	11
3.1	Modul M1: Entwicklung von ökonomisch-ökologisch innovativen Anwendungsszenarien für Unternehmen und Gesellschaft	11
3.1.1	AP 1.1: Umfeldanalyse und Experten-Interviews.....	11
3.1.2	AP 1.2: Entwicklung von bewerteten ökonomisch-ökologischen Szenarien	13
3.1.3	AP 1.3: kursorischen Kurzstudie Farbstoff- und organische Solarzellen.....	15
3.2	Modul M2: Entwicklung eines Beratungskonzepts für den Einsatz der Nanotechnologie in der Umwelttechnik.....	16
3.3	Modul M3: Transfer.....	17
4	State-of-the-art	18
5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	21
6	Beitrag der Ergebnisse zu den Zielen des Förderprogramms ..	22
7	Erzielte Ergebnisse	24
7.1	Ökonomisch-ökologischen Anwendungsszenarien der Nanotechnologie für den Umweltschutz	24
7.1.1	Funktionalisierte Oberflächen durch Nanotechnologie	24
7.1.2	Expertenbefragung zu nanotechnologischer Funktionalisierung von Oberflächen zur Einstellung umwelttechnisch vorteilhafter Eigenschaften	25
7.1.2.1	Ausfüllanleitung.....	26
7.1.2.2	Ergebnisse.....	29
7.1.3	Anwendungsszenarien der Nanotechnologie für den Umweltschutz	39
7.1.3.1	Kratzfeste Kunststoffbeschichtung	39
7.1.3.2	Anti-Fingerprint Ausrüstung von Metalloberflächen.....	43
7.1.3.3	Diffusionssperre auf Metallen.....	46

7.1.3.4	Antistatische Ausrüstung von Kunststoffen.....	49
7.1.3.5	Antimikrobielle Ausrüstung	52
7.1.3.6	Photokatalytische Sterilisation.....	55
7.1.3.7	Selbstheilende superhydrophobe Beschichtung.....	59
7.1.3.8	Korrosionsschutz.....	65
7.2	Kurzstudie zu den Farbstoff- und organischen Solarzellen ...	72
7.2.1	Farbstoffsolarzellen.....	73
7.2.1.1	Innovative Anwendungspotenzial	73
7.2.1.2	Technische Grundlagen	75
7.2.1.3	Herstellungsverfahren	76
7.2.1.4	Eingesetzte Materialien	77
7.3	Beratungsansatz für Unternehmen zum Einsatz von Nanotechnologie für den Umweltschutz	79
8	Voraussichtlicher Nutzen.....	81
9	Bekannt gewordene Fortschritte anderer Stellen	83
10	Erfolgte und geplante Veröffentlichungen.....	89
10.1	Fachvorträge und Artikel	89
10.1.1	Vorträge.....	89
10.1.2	Artikel	90
10.2	Veranstaltungen und Ergebnistransfer	90
10.3	Veröffentlichung durch andere Stellen.....	90
11	Literatur	91

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Ablaufschema der Konkretisierung von Oberflächenfunktionalisierungen mit umwelttechnisch vorteilhaften Eigenschaften	14
Abbildung 2:	Oberflächenfunktionalisierung durch Nanotechnologie.....	24
Abbildung 3:	prinzipieller Aufbau konventioneller Lacke (links) und Nanolacke (rechts).....	39
Abbildung 4:	Priorisierung nanotechnologischer Zwischenprodukte hinsichtlich der Marktrelevanz für die Chemische Industrie bis zum Jahr 2006 (angegeben ist die Anzahl der Nennungen durch die Workshopteilnehmer) (VDI 2004) ...	40
Abbildung 5:	Prinzipskizze einer Anti-Fingerprint Ausrüstung für Mattglas (Quelle Nanogate)	44
Abbildung 6:	Edelstahloberfläche, links ohne, rechts mit Anti-Fingerprint Ausrüstung (Quelle: ThyssenKrupp 2005)	44
Abbildung 7:	Weichmacherdiffusion aus PVC (Quelle Fraunhofer ISC) ...	49
Abbildung 8:	Wirkweise von Silber-Nanopartikel (links, Release-Mechanismus) und Polyammoniumverbindungen (rechts, Kontaktmechanismus).....	53
Abbildung 9:	Photokatalytischer Effekt mit TiO ₂ -Nanopartikel (Quelle NANO-X).....	56
Abbildung 10:	Benetzungsverhalten eines Tropfens auf einem festem Substrat	59
Abbildung 11:	Doppelt strukturierte Oberfläche der Lotusblume (Quelle Nees-Institut, Bonn).....	60
Abbildung 12:	Selbstregenerierende hydrophobe Beschichtung (Quelle Fraunhofer IST und SuNyX).....	61
Abbildung 13:	AFM Aufnahme der Konversionsschichten von Bonderite NT und der Eisenphosphatierung (Henkel 2005)	68
Abbildung 14:	Prozessführung zur Erzeugung einer Konversionsbeschichtung bei Raumtemperatur (links Bonderite NT, rechts konventionelles Verfahren) (Henkel 2005).....	70
Abbildung 15:	Literaturentwicklung und -verteilung der organischen Solarzellen (oben) und Farbstoffsolarzelle (unten) (VDI 2006b).....	73

Abbildung 16: Einige am Fraunhofer ISE hergestellte Prototypen von Farbstoffsolarzellenmodulen. Die Bilder vermitteln einen Eindruck von den Variationsmöglichkeiten in der Gestaltung hinsichtlich Semitransparenz, Farbigkeit und Strukturierung	74
Abbildung 17: SWOT-Analyse der Farbstoffsolarzelle.....	75
Abbildung 18: Funktionsprinzip einer konventionell aufgebauten Farbstoffsolarzelle. Nach Photoanregung des Farbstoffes findet ein ultra-schneller Elektronentransfer in das nanokristalline Titandioxid (Photoelektrode) statt. Der resultierende oxidierte Zustand des Farbstoffes wird durch einen, die Poren des Titandioxides durchdringenden, Redox-Elektrolyten reduziert und anschließend durch Aufnahme von Elektronen an der katalytisch beschichteten Gegenelektrode regeneriert (Quelle Fraunhofer ISE).....	76
Abbildung 19: Herstellung von Farbstoffsolarzellen-Modulen mit Glaslotversiegelung am Fraunhofer ISE (Quelle Fraunhofer ISE)	77
Abbildung 20: Beispiele für Anwendungsoptionen und Reifegrad nanotechnologischer Entwicklungen für den Bereich Umwelt/ Energie (BMBF 2006).....	84

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Visionen zur nanotechnologischen Oberflächenfunktionalisierung zur Verbesserung der Umweltleistung.....	12
Tabelle 2:	Beispiele für Oberflächenfunktionen durch Nanotechnologie und deren Umwelteffekte	25
Tabelle 3	Ergebnisübersicht der schriftlichen Expertenbefragung	30
Tabelle 4:	Wasch- und Reinigungsmittelmarkt in Deutschland 2006 (IKW 2006)	63
Tabelle 5:	Vorgehen zur Bewertung von Einsatzpotenzialen der Nanotechnologie in der Umwelttechnik.....	79
Tabelle 6:	Potential US Energy Savings from 8 Nanotechnology Applications (EPA 2005)	86
Tabelle 7:	Key Market Opportunities for Nanomaterials – USA 2020 (Auswahl) (Chemical Industry 2003)	87

Die Nanotechnologie zählt zu den Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts mit einem Innovationspotenzial für Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft. Nanotechnologie ist jedoch kein Produkt, vielmehr beschreibt sie neue Erkenntnisse von Materialeigenschaften und -funktionalitäten durch die gezielte Strukturierung und die definierte Anordnung von Partikeln, Materialien und Komponenten in der Nano-Dimension (10^{-9}m). Die neuen Phänomene, die allein von der Dimensionen im Nanometerbereich abhängig sind, betreffen bspw. die chemischen, biologischen, optischen, elektrischen oder mechanischen Eigenschaften von Werkstoffen und Oberflächen (siehe Bachmann 1998, TAB 2004). Die Kombination dieser neuen Phänomene mit bestehenden, konventionellen Produkten oder Technologien ergibt völlig neue Perspektiven. Sie betreffen das Produkt, die Anwendungsfelder, aber auch das Engineering von Produkten – gleichzeitig sind völlig neue Einsatzgebiete zu erwarten.

Die Forschung und erste Anwendungen der Nanotechnologie stecken noch in den Anfängen (Hullmann 2001). Daraus resultiert zum einen die Herausforderung, dass viele Anwendungen vorstellbar sind, aber wenig konkrete Abschätzungen über die Chancen und Risiken vorliegen. Zum anderen bietet sich auch die Chance, in diesem frühen Stadium die weitere Entwicklung der Nanotechnologie, bspw. auch unter Gesichtspunkten der Integrierten Produktpolitik (IPP), zu steuern und zu fördern. Erste Anwendungen der Nanotechnologie u.a. in Kosmetika, in Reinigungsmitteln, in der Elektrotechnik, im Automobilbau oder der Chemie sind schon bekannt, ein großes Potenzial ist auch für den Anwendungsbereich der Umwelttechnik zu erwarten (Spath et al 2004a, Heubach et al 2005). So bedient sich die Umwelttechnik als Querschnittstechnologie verschiedenster Basistechnologien und Disziplinen: Innovationen wie z.B. in der Werkstofftechnik, Verfahrenstechnik, Biotechnologie, Mikrotechnik und Informationstechnologie kommen der Umwelttechnik zugute (siehe Angerer et al 1998). Schlüsseltechnologien wie die Nanotechnologie können in der Umwelttechnik für Innovationsschübe sorgen, indem Optimierungspotenziale von Prozessen und Produkten realisiert oder nachhaltige Produkte entwickelt werden.

Anwendungspotenziale der Nanotechnologie für die Umwelttechnik erstrecken sich u. a. auf Reinigungs- und Aufbereitungsprozesse, Sensorik und Analyseverfahren, Energiesysteme, Materialauswahl und die Oberflächenfunktionalisierung mit umweltfreundlichen Eigenschaften. In diesem Forschungsvorhaben steht das aus Umweltsicht interessante nanotechnologische Anwendungsfeld der funktionalisierten Oberflächen im Mittelpunkt. Hierzu gehören „Nicht-Verschmutzungs“-Beschichtungen (Easy-to-Clean), Beschichtungen mit bioziden Eigenschaften oder reibungsarme Oberflächen. Hiervon erhofft man sich u. a. ein Einsparpotenzial an Reinigungsmitteln.

teln oder Schmierstoffen in der Industrie und eine Lebenszyklusverlängerung von Bauteilen.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhaben wird das Anwendungsfeld der neuartigen Farbstoff- oder organische Solarzellen (siehe Hinsch 2004, Bachmann/ Rieke 2004), die statt Silizium nanokristalline Elektroden aus Titandioxid einsetzen, in die eine Schicht aus organischen Farbstoffen eingebettet ist, in einer kursorischen Kurzstudie dargestellt. Solche Farbstoff-solarzellen können im Siebdruckverfahren hergestellt werden und benötigen keine Reinraumtechnik. Erste Prototypen existieren bereits. Baden-Württemberg ist auf diesem Gebiet weltweit in der Spitze vertreten. Sie dienen als Beispiel für Innovationssprünge in der Umwelttechnik durch die Nanotechnologie.

Um die Marktbringung von nanotechnologischen Materialien, Komponenten oder Systemen technologisch voranzutreiben, muss die möglichkeitsgetriebene Nanoforschung mit dem problemlösungs-orientierten Ansatz der Umwelttechnik methodisch zusammengeführt werden. Aus dieser Kombination der Nanotechnologie und Umwelttechnologie können sich dann neue potenzielle Anwendungen und Geschäftsfelder für Unternehmen und innovative Produkte am Markt ergeben. Neben einem Beitrag zum Schutz der Umwelt wird so auch der Wirtschaftsstandort Baden-Württemberg in Schlüsseltechnologien wie der Nanotechnologie und der Umwelttechnik durch neue innovative Produkte und Dienstleistungen gestärkt.

In zwei Studien des Fraunhofer IAO und des IAT, Universität Stuttgart, wurden die Einsatz- und Innovations-potenziale der Nanotechnologie in der Umwelttechnik bewertet (Spath et al 2004a, Heubach et al 2005). Dabei zeigten sich folgende Defizite:

- In der Nanotechnologie wird zurzeit an den Grundlagen zukünftiger Materialien und Anwendungen geforscht. Bisher verbessert die Nanotechnologie bereits die Eigenschaften einiger weniger bestehender Produkte. Es werden hohe Wachstumsraten, Marktvolumen, aber auch Effizienzpotenziale erwartet, eine genaue Abschätzung der konkreten ökonomischen Potenziale sowie der Chancen und Risiken (besonders der ökologischen Chancen) fehlt jedoch bisher, besonders vor dem Hintergrund zukünftiger Anwendungsszenarien.
- Die Katalyse, die Sensorik, die Oberflächen, die Trenn- und Aufbereitungsverfahren sowie die Energiesysteme sind mögliche potenzielle Anwendungsfelder der Nanotechnologie in der Umwelttechnik. Eine detaillierte Analyse der Anwendungsfälle als Praxisbeispiele für Unternehmen fehlt noch. Insgesamt ist die Nanotechnologie in der Umwelttechnik noch weitgehend unbekannt.
- Die Entwicklung der Nanotechnologie bisher stark von den erforschten Möglichkeiten und entdeckten Funktionalitäten getrieben ist, während die Forschung in der Umwelttechnik problemgetrieben

ist. Beide müssen zusammengeführt werden, um eine Umsetzung von Inventionen am Markt zu erreichen. Ein weiteres Hemmnis ist der fehlende Informationsaustausch über die jeweiligen Forschungsfragen. Der Querschnittscharakter beider Technologien erfordert die Anpassung und Erweiterung von Methoden des Technologie- und Innovationsmanagement, um den Technologie- und Wissenstransfer zu unterstützen und besonders KMU an den Innovationspotenzialen partizipieren zu lassen.

- Baden-Württemberg steht mit an der Spitze der Nanotechnologieforschung. Diese Kompetenz kann für neue Anwendungsfelder in der Umwelttechnik genutzt werden und damit der Wissens- und Wirtschaftsstandort Baden-Württemberg gestärkt werden.

Das vorliegende Forschungsvorhaben baut auf diesen Ergebnissen auf.

Aufgabenstellung

Die Ziele des Vorhabens gliedern sich wie folgt:

- Die Entwicklung von ökonomisch-ökologisch innovativen Anwendungsszenarien für den Einsatz der Nanotechnologie auf dem Gebiet funktionalisierte Oberflächen, sowie die Abschätzung der Chancen und Risiken des Einsatzes der Nanotechnologie auf Grundlage der entwickelten Szenarien in Bezug auf ökologischen Nutzen sowie ökonomische Potenziale.
- Erstellung einer kursorischen Kurzstudie zu dem gegenwärtigen Entwicklungsstand, den technischen Grundlagen und den Einsatzmöglichkeiten der Farbstoff- und organischen Solarzellen Grundlage für den Wissenstransfer in die Praxis. Damit soll das Innovationspotenzial und die Spitzenstellung Baden-Württembergs aufgezeigt werden.
- Entwicklung eines Beratungskonzepts für Unternehmen, um die Einsatzmöglichkeiten der Nanotechnologie für KMUs zur Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes bewerten zu können.

Die Analyse und Abschätzung toxikologischer Fragestellungen war nicht Gegenstand des Projekts. Diese Forschungsfragen werden gegenwärtig in einigen großen EU- oder BMBF-Forschungsvorhaben bearbeitet (siehe Kapitel 4)

Die Ziele des Vorhabens werden im Folgenden anhand des nanotechnologischen Anwendungsfelds funktionalisierte Oberfläche erläutert. Im Projekt werden gezielt Unternehmen aus Baden-Württemberg beteiligt.

Anwendungsfeld funktionalisierte Oberflächen

Umweltfreundliche Eigenschaften können durch funktionalisierte Oberflächen auf verschiedene Arten erreicht werden: Denkbar sind die Nutzung des Easy-to-Clean-Effekts, biozide, hydrophobe, photokatalytische Oberflächen, Nicht-Verschmutzungs- oder Anti-Beschlageffekt, oder Veränderung der Reibung oder der Adhäsion. Dadurch sollen Ressourcen eingespart (z.B. Reinigungsmittel, Schmiermittel), Prozesse optimiert und effizienter gestaltet (z.B. Behandlung von Oberflächen) und Entlastungspotenziale realisiert werden. In dem Vorhaben soll der Schwerpunkt auf den Einsatz von „Nicht-Verschmutzungsoberflächen“ (Easy-to-Clean, biozid) sowie der Beeinflussung von Reibungseigenschaften liegen. Fragen der technischen Rea-

lisierbarkeit funktionalisierter Oberflächen sowie der ökonomischen und ökologischen Einsparpotenziale stehen im Mittelpunkt. Von einem Marktverstehen mit den konkreten Bedarfen an Oberflächeneigenschaften in technischen Anlagen oder im Food-Bereich aus sollen mögliche Funktionalitäten der Nanotechnologie erfasst und analysiert werden. Erste kommerzielle Anwendungen von Easy-to-Clean-Produkten und Beschichtungen existieren bereits. Durch nanostrukturierte Oberflächen werden schmutzabweisende Oberflächen geschaffen. Sie können die Reinigungsintensität bis zu einem Faktor 4 senken und führen damit zu Einsparungen von Reinigungs- und Desinfektionsmitteln sowie Wasser. Da in diesem Bereich bereits einige wenige bestehende Entwicklungen schon fast marktreif sind (TAB 2004), wird dieses Anwendungsfeld aus der Perspektive des Market-Pull betrachtet.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Im Folgenden sind die Arbeitsschritte des Projektes zusammengestellt, welche ausgehend von der Entwicklung von Anwendungsentwürfen nanotechnologisch funktionalisierter Oberflächen zur Identifikation und deren Bewertung führen sollte. Parallel wurde eine Kurzstudie zu den organischen und Farbstoffsolarzellen – neue Generationen von Solarzellen mit Nanotechnologie – erstellt.

3.1 Modul M1: Entwicklung von ökonomisch-ökologisch innovativen Anwendungsszenarien für Unternehmen und Gesellschaft

Das Ziel von Modul 1 war es, ökonomisch-ökologisch innovative Anwendungsszenarien für den Einsatz der Nanotechnologie im Anwendungsgebiet funktionalisierte Oberflächen und Solarzellen zu entwickeln.

Zunächst wurden Anwendungsentwürfe gemeinsam mit den im Industriebeirat integrierten Unternehmen aufgestellt. Die Anwendungen wurden mit Technologieexperten auf ihre Realisierbarkeit hin diskutiert und bewertet (AP 1.1). Die Ergebnisse Anwendungsentwürfe wurden dann in einer schriftlichen Experten-Befragung validiert und abgesichert. Anschließend wurden die Chancen des Einsatzes der Nanotechnologie für die entwickelten Szenarien in Bezug auf den ökologischen Nutzen und der ökonomischen Potenziale abgeschätzt (AP 1.2).

Parallel wurde in einer Kurzstudie zu den organischen und Farbstoffsolarzellen – neue Generationen von Solarzellen mit Nanotechnologie – deren technologische Grundlagen und Innovationspotenzial beschrieben (AP 1.3).

3.1.1 AP 1.1: Umfeldanalyse und Experten-Interviews

In der Umfeldanalyse wurde der Stand des Wissens nanotechnischer Anwendungen zur Verbesserung der Umweltleistung von Produkten und Verfahren erfasst. Zentrale Arbeiten dazu haben das IÖW (Steinfeldt 2004), das Büro für Technik-Folgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB 2004), der VDI (VDI 2004), die US EPA (EPA 2004), die The Royal Society of UK (Royal Society 2004) und das Umweltbundesamt (UBA 2006) vorgelegt. Aus der Umfeldanalyse wurde erste Visionen möglicher nanotechnologi-

scher Anwendungen in der Umwelttechnik entwickelt. Der thematischen Ausrichtung des Projekts entsprechend lag dabei der Schwerpunkt auf der Oberflächenfunktionalisierung.

Tabelle 1 Visionen zur nanotechnologischen Oberflächenfunktionalisierung zur Verbesserung der Umweltleistung

Funktion	Anwendungsbeispiele	Nachhaltigkeitseffekte
Hydrophobe Strukturierung oder Beschichtung (Lotoseffekt)	Fensterscheiben, Solarzellen, Armaturen, Anlagenbau, ...	Weniger Reinigungsmittel, weniger Biozide
Antimikrobielle Beschichtung	Holzschutz, Schiffsanstrich, Medizintechnik, Textilien, ...	Weniger Biozide
Antihafbeschichtung oder -strukturierung	Lebensmittelverfahrenstechnik, medizinische Apparate, Armaturen, Rohre, Schläuche, ...	Weniger Reinigungsmittel, längere Standzeit
Diffusionsschutzschichten	Getränkeflaschen, Medizinprodukte, Halbleiterfertigung, ...	Gesundheitsschutz, Materialeinsparung
Kratzfeste Beschichtungen aus Oxiden	Kunststoffprodukte, Lacke, ...	Weniger Reparaturaufwand, längere Haltbarkeit
Hartstoffschichten aus Carbiden und Nitriden	Werkzeuge, Lagerschalen, ...	Längere Standzeit, weniger Kühlschmierstoffe
Nanolacke	Ersatz von Phosphatierung und Chromatierung als Grundierung	weniger Cr VI Emissionen, weniger Phosphat
Leitfähige Lacke	Pulverlackierung	Weniger VOC Emissionen
Selbstschmierende oder lipophile Beschichtung	Implantate, Armaturen, Anlagenbau, ...	Weniger Schmierstoffe
Adhäsive Strukturierung, ultrapräzise Flächen (Geckoeffekt)	Verbindungstechnik nutzt die van der Waals Kräfte der Moleküle	Weniger Klebstoff, weniger Lösemittelmmissionen
Photokatalytische Beschichtung	Fassadenelemente, Fensterscheiben, Lacke, ...	Weniger Reinigungsmittel
Schaltbare IR-Absorption	Fensterscheiben mit Sommer- / Winterschaltung	Energieeinsparung

Im nächsten Schritt der Projektkonkretisierung wurde der Industriebeirat akquiriert und konstituiert. Ein Ziel des Projekts war es, Anwender und Anbieter nanotechnologischer Lösungen zusammen zu bringen. Im Industriebeirat war die Anwenderseite vertreten. Dabei ist es gelungen, die folgenden Unternehmen für eine Mitwirkung zu gewinnen:

- Alfred Kärcher GmbH & Co. KG, Winnenden, als Hersteller von Reinigungsmaschinen,
- DIW Deutsche Industriewartung AG, Stuttgart, als Dienstleister für industrielle Wartung und Instandhaltung von Anlagen,

- Groninger & Co. GmbH, Crailsheim, als Hersteller von Abfüllmaschinen für Medikamente und Kosmetika,
- Hansgrohe AG, Schiltach; als Hersteller von Sanitärarmaturen und –einrichtungen,
- Lippemeier Gebäudereinigungsdienst GmbH, Schönaich, als Gebäudereiniger.

Mit den Unternehmen im Industriebeirat wurden nanotechnologische Anwendungsvisionen entwickelt, die eine Verbesserung ihrer hergestellten Produkte oder angebotenen Dienstleistungen ermöglichen. Der dabei erzielbare technisch-wirtschaftliche Mehrwert sollte auch von positiven Umwelteffekten begleitet sein.

Die Anwendungsvisionen wurden vom Fraunhofer IAO und ISI in Interviews mit Nanotechnologie Experten einer Vorprüfung auf Realisierbarkeit unterzogen. Absehbar nicht realisierbare Visionen wurden nicht weiter verfolgt.

3.1.2 **AP 1.2: Entwicklung von bewerteten ökonomisch-ökologischen Szenarien**

Mit den aus der Vorprüfung hervorgegangenen potentiellen Anwendungen, sie wurden als Anwendungsentwürfe bezeichnet, sind Technologieforen organisiert worden. Ziel dieser Foren war es, Anbieter einschlägiger Nanotechnologie mit den Anwendern, dem Industriebeirat, zusammen zu bringen und die technische und wirtschaftliche Realisierbarkeit der Anwendungsentwürfe zu prüfen. Ergebnis der Technologieforen waren jeweils Maßnahmenpläne für konkrete Prüfaufgaben und den Austausch von Prüfungen. Es wurden drei Technologieforen durchgeführt, jeweils mit einem der folgenden Technologieanbieter:

- Bayer AG,
- Degussa AG,
- Fraunhofer ISC.

Als weiter Technologieanbieter war die Henkel KGaA eingebunden. Die aus den Technologieforen als potentiell aussichtsreich eingestuften Anwendungen wurden in einer schriftlichen Delphi ähnlichen Befragung Nanotechnologie Experten zur Beurteilung der Realisierungschancen und des Realisierungsaufwands vorgelegt. Zur Durchführung dieser Befragung wurde eine Expertendatenbank aufgebaut, die rund 200 Einträge erhält.

Die Ergebnisse der Expertenbefragung wurden mit den Unternehmen im Industriebeirat kommuniziert. Als weiteres Element des Technologietransfers in die Unternehmen wurde in einer Abschlussveranstaltung der Stand der vereinbarten Prüfungen nanotechnologischer Produkt- und Verfahrensverbesserungen durch die Anwender und Technologieanbieter abgefragt. Abbildung 1 gibt den Ablauf der Konkretisierung der Anwendungen wieder.

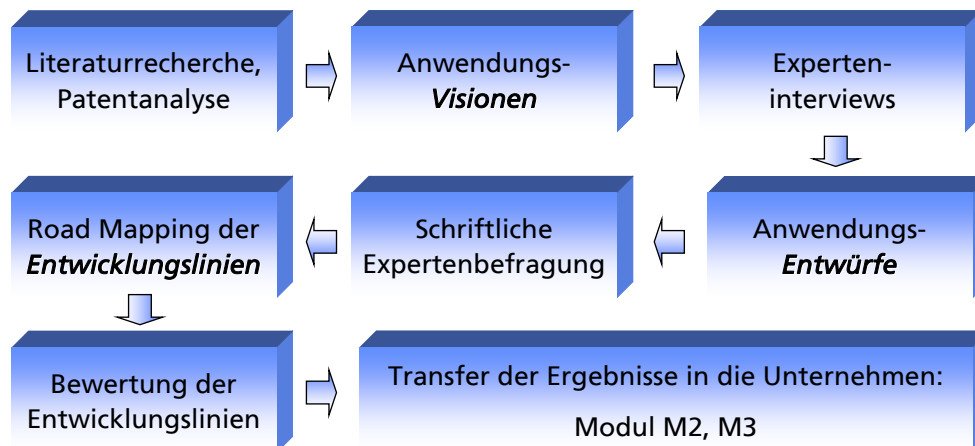


Abbildung 1 Ablaufschema der Konkretisierung von Oberflächenfunktionalisierungen mit umwelttechnisch vorteilhaften Eigenschaften

Die aus dem moderierten Szenarioprozess hervorgegangenen aussichtsreichen Entwicklungslinien wurden unter ökologischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten bewertet. Bei der Bewertung des wirtschaftlichen Nutzens standen folgende Fragen im Vordergrund:

- Realisierungszeitraum
- FuE Aufwand
- Marktpotential
- Technologiepotential (Übertragbarkeit der Lösung)
- Bedeutung der Lösung für Wissenschaft, Technologie, Wirtschaft und Gesellschaft

Die Einschätzung des ökologischen Nutzens schloss

- Umwelt- und Nachhaltigkeitseffekte und
- Risiken für Gesundheit, Umwelt, Sicherheit und Gesellschaft

ein. Dabei konnte im Rahmen des Projekts Risikoaspekte nur cursorisch behandelt werden.

Die Schätzung des Entwicklungsaufwands und des Marktpotentials orientierte sich primär an den Expertenbefragungen. Das Ergebnis für jedes Anwendungscluster wurde als Roadmap dargestellt. Die Analyse der Übertragbarkeit der Lösungen und die Abschätzung der ökologischen Vorteile basierten primär auf Quellenstudium einschlägiger Veröffentlichungen. Das Bewertungsergebnis wurde in einem Exposé zusammengefasst, das folgende Elemente enthält:

1. Problemstellung und Hintergrund
2. Beschreibung der Technik und der Anwendungen
3. Wirtschaftliche Bedeutung
4. Ökologische Bedeutung

Nicht in allen Fällen ist es gelungen die ökologischen Effekte umfassend zu quantifizieren. Es wurde dann zumindest eine diskursive Betrachtung vorgenommen, in die neben den klassischen Umwelteffekten der Emissionsminderung auch die Schonung mineralischer Ressourcen und das neue Politikkonzept der Integrierten Produktpolitik (IPP) einbezogen wurden.

3.1.3 AP 1.3: kursorischen Kurzstudie Farbstoff- und organische Solarzellen

In einer kursorischen Kurzstudie wurde die technologischen Grundlagen und das Innovationspotenzial von Farbstoff- und organischen Solarzellen beschrieben. Beide Arten von Solarzellen gehören zu den Solarzellen der nächsten Generation und bauen auf den Erkenntnissen und Materialentwicklungen in der Nanotechnologie auf.

Farbstoffsolarzellen sind elektrochemische Dünnschichtsolarzellen. Sie verfügen über nanokristalline Elektroden aus Titandioxid, in die eine Schicht aus organischen Farbstoffen auf der Basis von Ruthenium eingebettet ist. Damit kann eine höhere Lichtausbeute und ein besserer Elektronentransfer vom Lichtabsorber zur Elektrode erreicht werden. Im Labor konnten bei direktem Lichteinfall solare Wirkungsgrade bis 8 % erreicht werden. Diese Werte liegen zwar unter denen kommerziell verfügbarer Siliziumsolarzellen, es wird jedoch davon ausgegangen, dass sich der solare Wirkungsgrad von Farbstoffsolarzellen mittel- bis langfristig noch deutlich erhöhen lässt. Für Farbstoffsolarzellen ergeben sich vollständig neue Anwendungsgebiete, da für ihre Produktion im Vergleich zur Siliziumtechnik kostengünstigere und wesentlich einfachere Herstellungsverfahren aus der Siebdrucktechnik zur Anwendung kommen und die Technologie größere Freiheitsgrade für das Design (Farb- und Formgebung) von Solarmodulen erlaubt.

Eine erste Lebenszyklusbetrachtung von Farbstoffsolarzellen zeigte, dass ihre energetische Amortisationszeit halb so groß wie die von konventionellen Solarzellen ist (vgl. TAB 2004). Durch einen großflächigen Einsatz von Farbstoff- und organischen Solarzellen könnten somit erhebliche Energieeinsparungen erreicht werden. Die erwarteten geringen Produktionskosten können zudem die Verbreitung von photovoltaischen Anwendungen erhöhen und damit die Nutzung regenerativer Energien insgesamt stärken. Auch werden sozial positive Auswirkungen erwartet, da durch günstigere Anschaffungspreise z.B. Nutzer in Entwicklungs- und Schwellenländern gewonnen werden können, die bisher keinen Zugang zu einer günstigen und umweltfreundlichen Energieversorgung hatten.

Die Kurzstudie wird als elektronisches Dokument von Fraunhofer ISE und Fraunhofer IAO herausgegeben.

3.2 **Modul M2: Entwicklung eines Beratungskonzepts für den Einsatz der Nanotechnologie in der Umwelttechnik**

Das Ziel von Modul 2 war es, die Anwendbarkeit der Nanotechnologie für Praktiker in der Industrie zum Einsatz in der Umwelttechnik zu verbessern. Hierzu wurde das Vorgehen im Projekt zur Identifikation und Bewertung von Anwendungsmöglichkeiten der Nanotechnologie generalisiert. Dadurch sollen Unternehmen schnell und zielführend einen systematischen Zugang zur Nanotechnologie erhalten und mögliche spezifische Einsatzfelder im Unternehmen (Produkte, Prozesse) zur Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes analysiert und Innovationspotenziale aufgezeigt werden.

Das Vorgehen baut auf dem prinzipiellen Problemlösungsprozess nach folgendem Schema auf (vgl. Bruns 1991):

Schritt 1: Definition der Zielsetzung

Schritt 2: Identifikation und Beschreibung des Problems

Schritt 3: Sammlung und Auswertung von Informationen

Schritt 4: Identifikation und Bewertung von Lösungsmöglichkeiten

Schritt 5: Planung und Umsetzung von Maßnahmen

Das generalisierte Konzept besteht aus einem drei-stufigen Vorgehen wie in Tabelle 5 (Seite 79) dargestellt.

3.3 Modul M3: Transfer

Das Ziel des Moduls 3 war es, die entwickelten Methoden und bewertete Szenarien aufzubereiten, in Form von Fallstudien darzustellen und in Wissenschaft und Praxis zu transferiert.

Mit dem in das Projekt integrierten Industriebeirat wurden die Zwischenergebnisse diskutiert und das Vorgehen generalisiert.

Der Kontext des Forschungsvorhabens, der Einsatz der Nanotechnologie in der Umwelttechnik, und die Ergebnisse des Forschungsvorhabens wurden auf dem gemeinsam von Umweltministerium Baden-Württemberg und Fraunhofer IAO veranstalteten Symposium „Nano meets Umwelttechnik II“, am 19. Juli 2006 in Konstanz präsentiert und mit Unternehmensvertretern diskutiert.

Die Nanotechnologie befindet sich in einigen Bereichen noch in der Erforschung der naturwissenschaftlichen Grundlagen, in anderen Teilen ist sie bereits fester Bestandteil von Produkten und deren Leistungsumfang. Im Bereich der Medizintechnik und Kosmetik, in der IuK-Branche, im Automobil, Beschichtungstechnologie u. a. kommt heute bereits Nanotechnologie zum Einsatz (vgl. TAB 2004). Die größten Anwendungspotenziale werden in dem Bereich Chemie, Material und Herstellung, Umweltschutz und Energie, Elektronik und Computer, Medizin und Gesundheit, Luft- und Raumfahrt sowie Automobilbau gesehen. Es werden hohe Wachstumsraten und Marktvolumen in den einzelnen Bereichen erwartet. Generell wird sich, so ist die Meinung der Experten, die Nanotechnologie auf nahezu alle industriellen Branchen auswirken (Spath et al 2004a).

Oftmals wird eine indirekte Auswirkung der Nanotechnologie auf den Umweltschutz gesehen, bspw. in Easy-to-clean-Beschichtungen. Die Umwelttechnik ist nicht die treibende Kraft hinter der Nanoforschung und -entwicklung, sie profitiert vielmehr von einer Reihe von „indirekten“ Anwendungsfeldern der Nanotechnologie (Heubach/ Beucker 2004). Potenzielle Anwendungsfelder in der Umwelttechnik bieten sich hauptsächlich im Bereich der Katalyse, der Sensorik, der Oberflächen, der Trenn- und Aufbereitungsverfahren sowie der Energiesysteme mit neuen Arten von organischen und Farbstoff-Solarzellen (Heubach et al. 2005, TAB 2004, Zhang 2003). Nanotechnologie ist in der Umwelttechnik jedoch noch weitgehend unbekannt, sodass der Wissen- und Technologietransfer und der Informationsaustausch zwischen beiden Disziplinen notwendig ist und als erfolgsentscheidend angesehen wird (Spath et al 2004a).

In den USA wird an der US-amerikanischen EPA (Environmental Protection Agency) in einzelnen Forschungsprojekten der Einsatz von Nanotechnologie erforscht, in den nächsten Jahren werden rund 12 Mio. US\$ an Projektförderung u. a. im Bereich Beschichtung, Werkstoffe und Auswirkungen ausgegeben (eigene Analyse unter www.epa.gov/ncer, Heubach/ Beucker 2004). In Deutschland findet bisher eine Konzentration der Nanoforschung auf die Bereich Fabrikation für die Nanoelektronik (NanoFab), innovative Lichtanwendungen (NanoLux), Nanomaterialien und Nanotechnologie im Auto (NanoMobil), und Nanomaterialien und Nanobiotechnologie für LifeSciences und Gesundheit (Nano for Life). Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) will die Bemühungen, einen wachsenden und anspruchsvollen Wohlstand mit weniger Energie und Ressourcenverbrauch zu verbinden unterstützen. Die Chancen des Einsatzes von Nanotechnologie für die Nachhaltigkeit und den Umweltschutz sowie die Entwicklungspotenziale für die heimische Umwelttechnikindustrie werden bisher jedoch kaum näher erforscht. So ist bisher bspw. nur ein Projekt in den USA bei der US EPA bekannt, dass an einem Ansatz zur Anwendung der Life Cycle

Analysis in der Nanotechnologie arbeitet (Royal Society 2004, vgl. Lekas 2005, Lloyd/ Lave 2003).

Die Umweltauswirkungen des Einsatzes von Nanotechnologie werden in einem Projekt des BMBF zur Technikfolgenabschätzung untersucht (von Gleich 2004), ebenso gibt es erste grundlegende Untersuchungen zu den Nachhaltigkeitseffekten der Nanotechnologie (Steinfeldt 2003 und 2004). So wurde der Anwendungskontext „ökoeffiziente Nanolacke“, „Nanotechnologische Prozessinnovation der Styrolsynthese“, „Nanoinnovationen im Displaybereich“, „Nanooanwendungen im Lichtbereich“ sowie „Risikopotenziale nanotechnologischer Anwendungen“ in Fallbeispielen untersucht (Steinfeldt et al 2004). Allerdings wurden einzelne Technologien und weniger ein ganzes Anwendungsfeld analysiert. Ebenso findet eine breite Diskussion in der Innovations- und Technikanalysen (ITA), bspw. durch den VDI und das BMBF (Baron/ Zweck 2003, Malanowski 2003) statt. Deutlich wird, dass eine differenzierte und methodische Betrachtung der Chancen, Risiken und mögliche Gestaltungsalternativen notwendig ist.

Auch aus diesem Grund hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) einen Nano-Dialog 2006-2008 gestartet, der die beteiligten gesellschaftlichen Interessensvertretern zu Chancen und Risiken von Nanomaterialien integrieren soll zu den „Chancen für Umwelt und Gesundheit“, „Risiken und Sicherheitsforschung“ und „Verantwortungsvoller Umgang mit Nanomaterialien“. Dies vor dem Hintergrund, dass sich alle beteiligten Bundesministerien unter Federführung des BMBF in der „Nano-Initiative – Aktionsplan 2010“¹ erstmals einen einheitlichen und ressortübergreifenden Aktionsrahmen geschaffen haben, der Ziele und Handlungsansätze der Nanontechnologie bündelt.

In Deutschland und international werden die Ausbreitung und Auswirkungen von Nanopartikeln auf die menschlichen Organe untersucht, so zum Beispiel die Überwindung der Blut-Hirn-Schranke oder die möglichen Auswirkungen auf Zellfunktionen (siehe Oberdörster 2004, Kreyling et al 2004). So wurde bspw. an dem Center for Biological and Environmental Nanotechnology (CBEN) an der Rice University, Texas/ USA die zytotoxischen Auswirkungen bestimmter Fullerene untersucht. Für viele potenzielle Anwendungen von Nanotechnologie fehlen jedoch gesicherte Erkenntnisse über die – sowohl positive wie negative – Langzeiteffekte und das Produktverhalten. Bisher werden die toxikologische Auswirkungen von Nanopartikel wie die für die Umwelt positiven Entlastungspotenziale kaum in konkreten Anwendungen anschaulich dargestellt und bewertet. Dies ist jedoch aus Sicht der anwendenden Unternehmen und für eine Akzeptanz am Markt die Grundvoraussetzung. Aktuell werden in einigen großen Forschungsprojekten – u. a. „Nanoderm“, „NanoCare“, „INOS“ und „Nano-

¹ Siehe www.bmbf.de/pub/nano_initiative_aktionsplan_2010.pdf

Safe“ – von Forschung und Industrie Analyse zur Toxikologie durchgeführt und Daten gesammelt.²

Der in dem Projekt INANU verfolgte Ansatz, prinzipiell möglichen Anwendungsgebieten von nanotechnologisch funktionalisierten Oberflächen mit positiven Auswirkungen auf die Umwelt (durch Ressourceneffizienz, Rohstoffeinsparung, Abfallvermeidung) gezielt zu identifizieren, ist neu. Bisherige Ansätze entwickelten Anwendungen aufbauend auf einer bestimmten Beschichtung (z.B. kratzfest, Easy-to-clean, u. a.), d.h. technologiegetrieben, während in INANU die Nutzersicht eingenommen wurde. Dadurch wurden

- konkrete Problemstellungen mit Potenzial für z.B. Ressourceneffizienz, Rohstoffeinsparung oder Abfallvermeidung ins Zentrum gestellt, sowie
- Unternehmen, die bisher keine Anknüpfungspunkte zur Nanotechnologie hatten oder die in der Vergangenheit eine Potenzialanalyse durchgeführt hatten, einen Zugang zu den Umweltentlastungspotenzialen der Nano-Beschichtungen zu bieten, indem Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt und diese mit Experten diskutiert und bewertet wurden.

² Siehe eine umfassende Darstellung zum verantwortlicher Umgang mit Nanomaterialien auf der Informationsplattform der Aktionslinie hessen-nanotech des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung sowie des Nano-NetzwerkHessen unter www.nanoportal-hessen.de/infoplattform-nanorisiken

5

Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Es fand keine Zusammenarbeit mit anderen Stellen statt.

Beitrag der Ergebnisse zu den Zielen des Förderprogramms

Baden-Württemberg steht mit an der Spitze der Nanotechnologie-Forschung, besonders im Bereich der Materialien, aber auch der ultrapräzisen Oberflächenbearbeitung, der Nanopartikel und der Entwicklung von Solarzellen. Sowohl in regionalen Clustern, als auch in nationalen und internationalen Verbänden wird im Bereich der Nanotechnologie geforscht. Diese Kompetenz kann für neue Anwendungsfelder in der Umwelttechnik genutzt werden (Spath et al 2004a).

Das Anwendungsfeld funktionalisierte Oberflächen hat eine große Bedeutung für viele Anwendungen in der Produktionstechnik, sowie im Anlagen- und Maschinenbau, der traditionell in Baden-Württemberg stark vertreten ist (Haas, Heubach 2007). Funktionalisierte Oberflächen bieten beispielsweise (siehe Kapitel 7 und Tabelle 2) einen technologischen Lösungsansatz

- zur *Steigerung der Ressourceneffizienz* von Prozessen und Produkten, z.B. durch „Nicht-Verschmutzungs“-Eigenschaften von Oberflächen, wodurch Reinigungsmittel und -aufwand eingespart werden kann, bzw.
- zur *Reduktion des Rohstoffverbrauchs oder deren Einsparung*, indem die Verschmutzung von Oberflächen reduziert wird, z.B. durch photokatalytische oder antimikrobielle Beschichtungen – sei es aus Funktionserhaltenden Gründen (z.B. Oberfläche von Solarzelle), ästhetischen Gründen (z.B. Bewuchs von Fassaden durch organischen Material) oder als Teil eines Produktionsprozesses (z.B. in Sterilisationsverfahren),
- zur *Substitution von schädlichen Substanzen*, indem Materialien substituiert oder ganz neue Beschichtungen entwickelt werden, z.B. eine Korrosionsschutzschicht durch Nanoceramics, deren Verfahren keine Schwermetalle oder BSB/ CSB im Abwasser enthält und das deutlich weniger Energie verbraucht, oder
- zur *Verlängerung der Lebensdauer*, indem die Bauteilfunktionalität länger gewährleistet wird, z.B. durch Kratzfestbeschichtungen, oder (in Kombination) andere, *umweltfreundlichere Werkstoffe* eingesetzt werden können, deren Oberflächengüte (Kratzfestigkeit) durch Nano-Beschichtungen erreicht wird.

Das große Einsparpotenzial dieser Anwendungen ergibt sich aus der möglichen breiten Anwendung. Dadurch wird die Umwelt geschont und ein

Mehrwert für Produkte geschaffen, was den Wirtschaftsstandort Baden-Württemberg und die Innovationskraft von Unternehmen stärkt.

Mit der Kurzstudie zu den Farbstoffsolarzellen und organischen Solarzellen wird eine neue Generation von Solarzellen vorgestellt, die sich bisher noch im Forschungsstadium befinden. Sie bauen auf neuen Produktionsverfahren (Siebdruckverfahren zur Herstellung der Farbstoffsolarzelle, Rolle-zu-Rolle-Druck von organischen Solarzellen) auf und eröffnen neue Anwendungsfelder. Durch Nanotechnologie werden somit disruptive Technologiesprünge ermöglicht, die ein großes Innovationspotenzial eröffnen. In wie weit dieses realisiert werden kann und welche Solarzellen-Anwendungen genau davon profitieren werden, muss sich zeigen – in ersten Projekten werden aber z.B. schon Wertschöpfungsketten für Farbstoffsolarzellen versucht aufzubauen.³

Baden-Württemberg ist mit führend in der Solarzellentechnologie, die Kompetenzen für die Erforschung und Entwicklung von Farbstoff- und Solarzellen sind ebenfalls vorhanden. Hier wird es wichtig sein, zum einen die weitere Entwicklung hin zu ersten Applikationen weiter zu unterstützen, und zum anderen durch geeignete Demonstrationsprojekte die Technologie sichtbar werden zu lassen sowie deren Funktionsfähigkeit zu demonstrieren.

Durch das Vorgehen im Projekt und die Darstellung der analysierten nanofunktionalisierten Oberflächenbeschichtungen wird eine anwendungsorientierte Detaillierung und Diskussionsgrundlage geschaffen, die die Beteiligten aus Industrie, Wirtschaft und Forschung befähigt, über zukünftige Möglichkeiten des Einsatzes der Nanotechnologie in der Umwelttechnik und zur Umsetzung einer IPP zu beraten. Es werden dadurch wichtige Innovationsimpulse für die Anwendungsfelder erwartet, die neben der Stärkung der Wirtschaftskraft einen Beitrag zur Nachhaltigkeit bringen.

³ Siehe www.colorsol.de

7 Erzielte Ergebnisse

7.1 Ökonomisch-ökologischen Anwendungsszenarien der Nanotechnologie für den Umweltschutz

7.1.1 Funktionalisierte Oberflächen durch Nanotechnologie

Oberflächenbeschichtungen und Werkstoffeigenschaften von z.B. neuen Materialkomposite sind eines der wichtigsten Anwendungsfelder der Nanotechnologie (VDI 2004). Der Mehrwert entsteht durch die Integration oder Kombination unterschiedlicher Oberflächeneigenschaften, z.B. besonders kratzfest und antimikrobiell, oder photokatalytisch und hydrophil/ hydrophob. Nanotechnologie stellt dabei ganz unterschiedliche technologische Ansätze bereit, um Oberflächen zu funktionalisieren, sie es als Schutz- oder Funktionsschicht: So können nm-dicke Beschichtungen aufgebaut werden, Nanopartikel oder -fasern in herkömmliche Lacksystem eingearbeitet werden, durch organisch-anorganische Hybridpolymere neue Schichtsysteme vernetzt werden oder durch nanoskalige Strukturierung die Oberfläche mit z.B. definierter Rauigkeit gestaltet werden (siehe Abbildung 2).

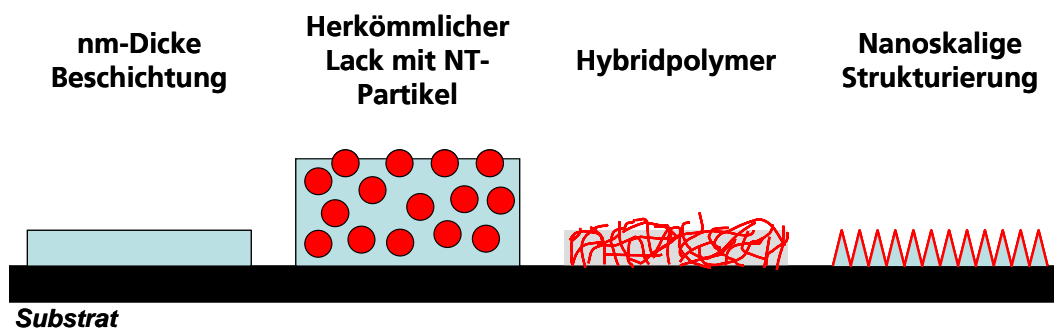


Abbildung 2: Oberflächenfunktionalisierung durch Nanotechnologie

Die Oberflächenausrüstung mit Nanotechnologie kann die mechanischen (Kratzfestigkeit, Tribologie, Schmierung), die chemischen (selbstreinigend, photokatalytisch, ole-/hydrophob/ -phil, Korrosionsschutz, Diffusionssperre), biologischen (antimikrobiell), elektro-magnetischen (antistatisch, leitfähig), optischen (antireflex, transparent, IR-Absorption) oder thermischen (leitfähig, thermochrom, hitzebeständig,) Funktionen oder Kombinationen dieser betreffen (siehe Haas, Heubach 2007). Tabelle 2 zeigt Beispiele für

Oberflächenfunktionen durch Nanotechnologie für einzelne Anwendungen und deren Umwelteffekte.

Tabelle 2: Beispiele für Oberflächenfunktionen durch Nanotechnologie und deren Umwelteffekte

Funktionen	Beispiele für Anwendungen	Umwelteffekte
(Super)Hydrophobe Strukturierung oder Beschichtung	Fensterscheiben, Solarzellen, Armaturen, Anlagenbau, ...	Weniger Reinigungsmittel, weniger Biozide
Antimikrobielle Beschichtung	Holzschutz, Schiffsanstrich, Medizintechnik, Textilien, ...	Weniger Biozide
Antihaftbeschichtung oder -strukturierung	Lebensmittelverfahrenstechnik, medizinische Apparate, Armaturen, Rohre, Schläuche, ...	Weniger Reinigungsmittel, längere Standzeit
Diffusionsschutzschichten	Getränkeflaschen, Medizinprodukte, Halbleiterfertigung, ...	Gesundheitsschutz, Materialeinsparung
Selbstschmierende oder lipophile Beschichtung	Implantate, Armaturen, Anlagenbau, ...	Weniger Schmierstoffe
Photokatalytische Beschichtung	Fassadenelemente, Fensterscheiben, Lacke, ...	Weniger Reinigungsmittel
Kratzfeste Beschichtungen aus Oxiden	Kunststoffprodukte, Lacke, ...	Weniger Reparaturaufwand, längere Haltbarkeit
Schaltbare IR-Absorption	Fensterscheiben mit Sommer- / Winterschaltung	Energieeinsparung
Nanolacke	Ersatz von Phosphatierung und Chromatierung als Grundierung	weniger Cr VI Emissionen, weniger Phosphat, weniger Materialeinsatz, Energieeinsparung

7.1.2 Expertenbefragung zu nanotechnologischer Funktionalisierung von Oberflächen zur Einstellung umwelttechnisch vorteilhafter Eigenschaften

Zwischen Mitte September und Mitte Oktober 2006 wurde eine schriftliche Befragung von Nanotechnologie Experten durchgeführt. Für den Versand ist die in dem Projekt aufgebaute Expertendatenbank genutzt worden. Insgesamt wurden 200 Experten einbezogen. Davon haben 50 (25 %) geantwortet. 5 Experten haben sich beruflich verändert und waren unter der eingetragenen Adresse nicht mehr erreichbar. 6 Experten haben sich als fachfremd auf dem Gebiet der nanotechnischen Oberflächenfunktionalisierung bezeichnet und den Fragebogen nicht beantwortet. Insgesamt lagen somit 39 (20 %) auswertbare Antworten vor.

Versandte Fragebögen	200	100 %
Vorliegende Antworten	50	25 %

Experte verzogen	5		
Experte bei allen Thesen fachfremd	6		
Auswertbare Antworten	39	20 %	100 %
Interesse an Zusendung des Ergebnisberichts	31		80 %

Die Befragung wurde Delphi ähnlich konzipiert, es war jedoch nur eine Befragungsrunde vorgesehen. Die Fragen an die Experten wurden, wie bei dieser Methode üblich, als Thesen über zukünftige Entwicklungen formuliert. Die Experten sollten den Realisierungszeitraum, den FuE Aufwand, das Marktpotential, das Technologiepotential, Umwelt- und Nachhaltigkeitseffekte, die Bedeutung der Lösung und mögliche Risiken einschätzen. In einem weiteren Feld wurde die Möglichkeit für Kommentare gegeben, beispielsweise um die Gültigkeit der Antwort zu präzisieren.

Insgesamt wurden 12 Thesen in den Fragebogen aufgenommen. Dabei handelt es sich um nanotechnische Anwendungsentwürfe, die für die Firmen im Industriebeirat des Projekts interessant sind. Sei es, weil damit bestehende Produkte funktions- und umwelttechnisch verbessert werden könnten, sei es weil sie zu neuen umweltfreundlichen Produkten im Angebotsportfolio führen würden. Die technisch-wirtschaftliche Beschreibung der Anwendungen findet sich im Kapitel 7.1.3.

Die Fachkenntnis des Experten wurde für jede einzelne These abgefragt. Es bestand die Möglichkeit zwischen „großer“, „mittlerer“, „geringer“ und „keiner“ Fachkenntnis zu unterscheiden. Da Expertenurteile gefragt waren, sind Personen, die zu einer bestimmten These über keine spezifischen Fachkenntnisse verfügen, gebeten worden, solche Thesen zu überspringen.

In der Ausfüllanleitung wurden das Ziel der Befragung und die Bedeutung der Antwortkategorien erläutert sowie die Metrik der vorgegebenen Antwortskalen (bspw. „hoch“, „mittel“, „klein“) definiert. Sie wird im nächsten Kapitel abgedruckt.

7.1.2.1 Ausfüllanleitung

Ziel der Befragung

Die vorliegende Befragung wendet sich an ausgewählte Experten und Expertinnen der Nanotechnologie. In den vorgelegten Thesen sollen die Realisierungschancen bestimmter Oberflächenfunktionalisierungen mit umweltfreundlichen Eigenschaften eingeschätzt werden. Die Thesen beschreiben zukünftige industrielle Anwendungen. Sie wurden mit Unternehmen entwickelt und zielen auf die Verbesserung von angebotenen Produkten ab.

Zeitaufwand

Für die Beantwortung der 12 Thesen des Fragebogens benötigen Sie etwa 20 Minuten. Wir wissen, dass Ihre Zeit kostbar ist und haben uns bemüht, die Fragen auf das Wesentliche zu beschränken. Als Dank für Ihre Mühe erhalten Sie kostenlos ein Exemplar des Abschlussberichts des Projekts I-NANU, für das wir diese Befragung durchführen.

Datenschutz

Die Auswertung der Antworten werden wir anonymisiert vornehmen. Rückschlüsse auf die Antworten einzelner Firmen oder Personen sind ausgeschlossen. Für Rückfragen und für die Übersendung des Projektberichts bitten wir Sie trotzdem, nach Möglichkeit um die Angabe Ihrer Kontaktadresse.

Ausfüllanleitung

Ob zu einer Frage nur eine oder mehrere Antworten zulässig sind, ist am Fragebogen unten gekennzeichnet. Wenn Sie zu einer Frage kein Antwortkästchen ankreuzen, interpretieren wir dies als keine Meinung.

Die Thesen

Sie finden in der dritten Spalte des Fragebogens Thesen zur nanotechnischen Erzeugung bestimmter Oberflächenfunktionen, die Sie beurteilen sollen. Wenn von einer dauerhaften Beibehaltung der Oberflächenfunktion gesprochen wird, ist ein Zeitraum von mindestens 10 Jahren gemeint.

Fachkenntnis

Bitte beurteilen Sie hier Ihre Fachkenntnis für die spezielle These. Groß ist Ihre Fachkenntnis, wenn Sie zurzeit aktiv auf diesem Gebiet arbeiten.

Realisierungszeitraum

Kreuzen Sie bitte jenen Zeitraum an, den Sie für die Realisierung der These, so wie sie formuliert ist, am wahrscheinlichsten halten.

FuE Aufwand

Hoch ist der Forschungs- und Entwicklungsaufwand, wenn Sie den Aufwand bis zur fertigungsreifen Umsetzung der These auf mehr als 500.000 € schätzen. Klein ist der FuE Aufwand, wenn Sie weniger als 50.000 € für nötig halten. Die Investitionskosten für die Fertigung selbst sind darin nicht enthalten.

Marktpotential

Das Marktpotential ist hoch, wenn Sie den insgesamt weltweit erzielbaren Umsatz mit allen Produkten, die durch die Realisierung der betreffenden These verbessert werden können, auf über 500 Mio. € schätzen; klein, wenn Sie diesen auf weniger als 50 Mio. € schätzen.

Technologiepotential

Für die Einschätzung des Technologiepotentials ist der Umfang der Übertragbarkeit der Lösung auf verschiedene Anwendungen maßgebend. Groß ist das Technologiepotential, wenn Sie auf Anhieb eine Vielzahl von Anwendungen erkennen. Keine Übertragbarkeit heißt, die Lösung bleibt auf eine einzige Anwendung beschränkt.

Umwelt- und Nachhaltigkeitseffekte

Bitte schätzen Sie hier ein, ob die Lösung neben der Produktverbesserung auch zu einer Verbesserung der Energieeffizienz, der Verbesserung der nichtenergetischen Nutzungseffizienz von Rohstoffen, zur Minderung von Emissionen in die Luft und die Gewässer, zur Abfallvermeidung oder zum Gesundheitsschutz von Beschäftigten oder Verbrauchern beiträgt. Berücksichtigen Sie dabei auch indirekte Effekte, zum Beispiel den vermiedenen Verbrauch von Reinigungsmitteln durch eine hydrophobe Beschichtung oder die Verlängerung der Nutzungsdauer eines Produkts.

Bedeutung der Lösung

Bitte schätzen Sie ein, welche Bedeutung die Lösung für die Wissenschaft (Forschung), die Technologie (technische Entwicklung), die Wirtschaft (Umsatz, Gewinn und Wettbewerbsfähigkeit) und die Gesellschaft (drängende gesellschaftliche Probleme) hat.

Risiken

Hier haben Sie die Möglichkeit auf Risiken hinzuweisen, die mit der Realisierung der These verbunden sein können.

Kommentar

In dieser Spalte haben Sie die Möglichkeit eine bessere technische Lösung zu nennen, auf bestimmte Einschränkungen für Ihre Antwort hinzuweisen und den Wirkstoff für die Realisierung der Funktion zu spezifizieren, auf den sich Ihre Antwort bezieht (bspw. ZnO bei antimikrobiellen Beschichtungen).

7.1.2.2

Ergebnisse

Auf den folgenden Seiten werden die Ergebnisse der Auswertung wiedergegeben. Zu jeder These werden 2 Antwortzeilen angeboten. Die obere Zeile enthält die Auswertung aller auf die Frage Antwortenden mit Fachkenntnis, die untere Zeile die Einschätzung der Personen mit großer Fachkenntnis.

In der Spalte „Anzahl der Antworten“ werden die Fallzahl aller Antworten (obere Zeile) und die Fallzahl der Antworten von Personen mit großer Fachkenntnis (untere Zeile) wiedergegeben. Die prozentualen Anteile in allen Folgespalten sind auf diese Fallzahlen bezogen. Sie sind durchwegs kleiner als die Anzahl der ausgewerteten Fragebögen (39), weil keiner der Experten Fachkenntnis für alle 12 Thesen hatte.

Bei den abgefragten sehr spezifischen Anwendungen der Nanotechnik ist naturgemäß die Zahl der Antwortenden mit großer Fachkenntnis klein und bleibt in dem vorliegenden Sample immer unter 10. Dadurch gewinnt die Einschätzung einzelner Personen an Gewicht. So schätzen in Frage 10 20 % der Personen mit großer Fachkenntnis die Anwendung als „bereits realisiert“ ein und zugleich beurteilen 20 % aus dem gleichen Fachkenntniskreis sie als „nie realisierbar“. In beiden Fällen steht hinter der Einschätzung jeweils nur eine Person. Die Unterschiede zwischen den Urteilen aller und den Experten mit großer Fachkenntnis halten sich in Grenzen.

Die Oberflächenfunktionalisierungen mit den meisten fachkundigen Experten sind Anti-Fingerprint (37), Kratzfestigkeit (36) und die antimikrobielle Ausrüstung in der Lebensmittelverarbeitung (36). Als größte technologische Herausforderung beurteilen die Experten die selbstheilende superhydrophobe Beschichtung. Während bei den übrigen Anwendungen kurz- bis mittelfristige Realisierungszeiträume dominieren, sind es hier die längerfristigen, ein Teil hält die Umsetzung in eine dauerhafte Oberflächenfunktionalisierung für gänzlich ausgeschlossen.

Tabelle 3 enthält eine Synopse der Ergebnisse der Delphi ähnlichen schriftlichen Expertenbefragung. Die vollständigen Ergebnisse finden sich auf den Folgeseiten.

Tabelle 3 Ergebnisübersicht der schriftlichen Expertenbefragung

Anwendung	Realisierungszeitraum	FuE-Aufwand	Marktpotenzial	Technologiepotenzial	Umwelteffekte	Bedeutung der Lösung für...
Kratzfestigkeit von dreidimensionale PE- und PP-Kunststoffgehäusen	2006-2010	●	●	●	Rohstoffeffizienz	Wirtschaft
Anti-Fingerprint von Sanitär-Armaturen (gebürstetem Edelstahl, poliertem Edelstahl, Chrom etc.)	Bereits realisiert	●	●	●	Unspezifisch	Wirtschaft
Diffusionsperre als Beschichtungen für wasserführende Metallbauteile zur Reduktion von Ni-/ Pb-Auswaschung	2006-2010	●	●	●	Gesundheitsschutz	Gesellschaft
Antistatik -Beschichtungen für Kunststofffolien	2006-2010	●	●	●	Rohstoffeffizienz	Technologie
Antimikrobielle Beschichtungen in Lebensmittel verarbeitenden Betrieben (Großküche, Schlachtereie) zur Verhinderung der Besiedelung mit MO	2006-2010	●	●	●	Gesundheitsschutz	Gesellschaft
Antimikrobielle Innenbeschichtungen für Schmutzwasserbehälter zur Verhinderung der Besiedelung mit MO und der Bildung von Biofilmen	2006-2010	●	●	●	Gesundheitsschutz	Wirtschaft
Photokatalytische Innenbeschichtungen keimfreier Verpackung von medizinischen Instrumenten und Medikamenten in PE- und PP-Schalen	2006-2010	●	●	●	Gesundheitsschutz	Gesellschaft
Superhydrophobe Beschichtung von Glas durch Wachsreservoirtechnik	2011-2015	●	●	●	Abfallvermeidung	Technologie
Superhydrophobe Beschichtung von Chrombauteilen durch Wachsreservoirtechnik	2011-2015	●	○	●	Abfallvermeidung	Technologie
Superhydrophobe Innenbeschichtungen (Wachsreservoirtechnik) von Edelstahlrohren/-behältern in ind. Abfüllanlagen für Kosmetika/ Med.	2011-2015	●	●	●	Rohstoffeffizienz	Technologie
Superhydrophobe von Kabinen und Werkstückträgern beim Spritzlackieren mit Wachsreservoirtechnik	2011-2015	●	●	●	Abfallvermeidung	Wirtschaft
● = groß; ● = mittel; ○ = klein/ gering						

Auf den folgenden 6 Seiten ist das Design des Fragebogens und die Auswertung der Fragen dargestellt. Jeweils eine Doppelseite nebeneinander (links ungerade Seite, recht gerade Seite) ergibt zusammengesetzte Tabelle mit den These in den Zeilen. Die Tabelle wird an den Spalten Marktpotenzial und Technologiepotenzial zusammengesetzt (siehe folgendes Schema)

Ungerade Seite

Gerade Seite

Thesen über nanotechnische Anwendungen		Anzahl der Aktivitäten		Fachkenntnis	Realisierungszeitraum	F&E Aufwand	Marktpotenzial
4	Lebensmittelverpackende Beschichtungen für wasserabweisende Metallbleche, bzw. aus Messing, werden entwickelt, die dauerhaft das Auswaschen von Schwermetallen wie Nickel und Eisen verhindern. Schwermetalle aus dem Trinkwasser, die aus Anstrichen, Formstücken und Rohren stammen, gehören der Vergangenheit an.	35	100%	hoch	2011 - 2013	hoch	hoch
		4	100%	hoch	2011 - 2013	hoch	hoch
5	Beschichtungen werden entwickelt, welche die elektrostatische Aufladung von Kunststoffen dauerhaft verhindern. Die Beschichtung ist kratzfest und hoch feinfelbig und kann deshalb auch auf Kunststoffflächen eingesetzt werden.	37	100%	hoch	2011 - 2013	hoch	hoch
		4	100%	hoch	2011 - 2013	hoch	hoch
6	Für höhere Lebenswesen bioenergetische Beschichtungen werden entwickelt, welche die Besiedlung von Oberflächen mit Mikroorganismen (bzw. Bakterien, Pilze, Algen) dauerhaft verhindern. Solche Beschichtungen können in Lebensmittel verarbeitenden Betrieben, darunter Großküchen und Schlachtereien, eingesetzt und auch nachträglich appliziert werden.	36	100%	hoch	2011 - 2013	hoch	hoch
		4	100%	hoch	2011 - 2013	hoch	hoch
7	Innenbeschichtungen für Schmutzwasserbehälter werden entwickelt, welche die Besiedlung mit Mikroorganismen und die Bildung von Biofilmen dauerhaft verhindern. Diese Beschichtung hat eine Lebensdauer von 10 Jahren und ist unempfindlich gegenüber Säuren, Shampoos und Haushaltsreinigern.	35	100%	hoch	2011 - 2013	hoch	hoch
		4	100%	hoch	2011 - 2013	hoch	hoch
8	Innenbeschichtungen für die kaldfreie Verpackung von medizinischen Instrumenten und Medikamenten in Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP) Schalen werden entwickelt, die es erlauben, die Zahl der Keime auf der Oberfläche mit Hilfe von UV-Strahlung merklich weniger Sekunden um den Faktor 10 ⁶ zu vermindern. Mit UV-Strahlung ohne Hilfebeschichtung erreicht man heute den Faktor 10 ⁴ .	28	100%	hoch	2011 - 2013	hoch	hoch
		4	100%	hoch	2011 - 2013	hoch	hoch

Eine Tabelle

Technologiepotenziale	Umwelt- und Nachhaltigkeitsaspekte	Bedeutung der Lösung für ...	Risiken	Kommentare
hoch	hoch	Wissenschaft	keine	Deutschland hat höchste Trinkwasserstandards die eingehalten werden. Es existieren einige spezielle Lösungen. Kunststoffrohre verwenden. Mögliche Beschichtungen führen zu Kontamination.
hoch	hoch	Wissenschaft	keine	Antistatische Effekte lassen sich durch die Zugabe von Nanopartikeln auch im Bulk erzielen. Alternative: leitfähige Polymere. Eisher keine Lösung bekannt.
hoch	hoch	Wissenschaft	keine	Lösungen bald durch antimikrobielle Peptide verfügbar. Für Röhre und Algen Silberionen verfügbar, aber nicht nachträglich applizierbar. Lösungen exist.: Nanosilber oder Nano Silberes Spray (Sanatko GmbH).
hoch	hoch	Wissenschaft	keine	Keine Erfahrung mit langfristigen Effekten. Die Kombination von antimikrobieller Beschichtung bei Schmutzwasserbehältern (aggressive Reinerger) und 10 Jahre Lebensdauer ist kaum realistisch.
keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe	Keine Kommentare vorhanden.

Thesen über nanotechnische Anwendungen		Anzahl der Antworten	Fachkenntnis			Realisierungszeitraum			FuE Aufwand		Marktpotential						
			groß	mittel	gering	bereits realisiert	2006 – 2010	2011 – 2015	2016 – 2020	nach 2020	nie	hoch	mittel	klein	hoch	mittel	klein
Kratzfestigkeit	1	36	17 %	58 %	25 %	11 %	58 %	31 %	0	0	0	31 %	58 %	8 %	56 %	36 %	3 %
			6	100 %			33 %	33 %	33 %	0	0	0	67 %	0	33 %	50 %	17 %
Anti-Fingerprint	2	37	24 %	38 %	38 %	43 %	38 %	11 %	8 %	0	0	19 %	43 %	35 %	24 %	60 %	5 %
		9	100 %			56 %	44 %	0	0	0	0	33 %	22 %	44 %	56 %	44 %	0
Anti-Fingerprint	3	37	14 %	45 %	45 %	27 %	41 %	22 %	0	0	0	11 %	31 %	27 %	16 %	31 %	16 %
		5	100 %			60 %	40 %	0	0	0	0	0	60 %	40 %	40 %	60 %	0
		Eine Angabe															

Technologiepote- ntial	Umwelt- und Nach- haltigkeitseffekte				Bedeutung der Lösung für ...				Risiken				Kommentare									
	groß	mittel	gering	keine Übertragbarkeit	Energieeffizienz	Rohstoffeffizienz	Emissionsminderung	Abfallvermeidung	Gesundheitsschutz	keine	Wissenschaft	Technologie		Wirtschaft	Gesellschaft	keine	Gesundheit	Umwelt	Sicherheit	Gesellschaft	andere	keine
	44 %	47 %	6 %	3 %	6 %	64 %	8 %	53 %	6 %	22 %	19 %	50 %	83 %	31 %	0	19 %	6 %	0	0	3 %	75 %	▶ Schmutzabweisend und kratzfest unter starker Beanspruchung bisher nicht erreicht.
	50 %	33 %	17 %	0	0	67 %	17 %	83 %	0	17 %	50 %	50 %	83 %	33 %	0	33 %	0	0	0	0	67 %	
	19 %	49 %	30 %	3 %	8 %	27 %	19 %	35 %	16 %	27 %	16 %	38 %	70 %	30 %	5 %	11 %	5 %	3 %	0	0	84 %	▶ Befriedigende Lösung technisch nicht möglich. ▶ Designeffekt ohne wirtschaftlichen Nutzen. ▶ FuE-Aufwand klein, da bereits realisiert. ▶ Falls wie bisher Abrieb, besteht Gesundheitsgefahr durch Stäube. ▶ Dauerhaftigkeit?
	44 %	33 %	22 %	0	11 %	44 %	44 %	44 %	22 %	0	33 %	44 %	89 %	11 %	0	22 %	0	0	0	0	78 %	
	16 %	41 %	35 %	8 %	3 %	27 %	14 %	27 %	11 %	38 %	19 %	30 %	60 %	32 %	14 %	32 %	22 %	3 %	0	0	49 %	▶ Befriedigende Lösung technisch noch nicht möglich. ▶ Falls wie bisher Abrieb besteht Gesundheitsgefahr durch Stäube. ▶ Keine dauerhafte Lösung zu erwarten.
	40 %	20 %	20 %	20 %	0	40 %	20 %	40 %	20 %	20 %	20 %	40 %	80 %	40 %	0	20 %	20 %	0	0	0	60 %	
Eine Angabe	Mehrfachnennung möglich																					

Thesen über nanotechnische Anwendungen		Anzahl der Antworten	Fachkenntnis			Realisierungszeitraum				FuE Aufwand		Marktpotential					
			groß	mittel	gering	bereits realisiert	2006 – 2010	2011 – 2015	2016 – 2020	nach 2020	nie	hoch	mittel	klein	hoch	mittel	klein
Diffusionssperre	4	26	15 %	42 %	42 %	19 %	50 %	15 %	12 %	0	4 %	39 %	39 %	19 %	42 %	35 %	12 %
			4	100 %			25 %	25 %	50 %	0	0	0	50 %	50 %	0	50 %	25 %
Antistatisch	5	37	24 %	41 %	35 %	16 %	43 %	16 %	19 %	5 %	0	41 %	43 %	11 %	41 %	43 %	3 %
			9	100 %			22 %	44 %	33 %	0	0	0	33 %	56 %	11 %	44 %	44 %
Antimikrobiell	6	36	33 %	33 %	33 %	25 %	39 %	28 %	3 %	6 %	0	47 %	42 %	11 %	56 %	33 %	11 %
			12	100 %			8 %	67 %	25 %	0	0	0	58 %	33 %	8 %	83 %	17 %
Antimikrobiell	7	30	30 %	40 %	30 %	3 %	37 %	37 %	10 %	7 %	7 %	57 %	40 %	3 %	27 %	47 %	7 %
			9	100 %			0	44 %	33 %	0	22 %	0	78 %	22 %	0	44 %	11 %
Photokatalytisch	8	28	29 %	36 %	36 %	14 %	46 %	36 %	4 %	0	0	43 %	46 %	11 %	32 %	43 %	11 %
			8	100 %			25 %	38 %	38 %	0	0	0	75 %	13 %	13 %	50 %	25 %
		Eine Angabe															

Technologiepote- ntial	Umwelt- und Nach- haltigkeitseffekte						Bedeutung der Lösung für ...						Risiken						Kommentare				
	groß	mittel	gering	keine Übertragbarkeit	Energieeffizienz	Rohstoffeffizienz	Emissionsminderung	Abfallvermeidung	Gesundheitsschutz	keine	Wissenschaft	Technologie	Wirtschaft	Gesellschaft	keine	Gesundheit	Umwelt	Sicherheit		Gesellschaft	andere	keine	
50 %	29 %	33 %	20 %	42 %	47 %	56 %	46 %	50 %	19 %	19 %	25 %	25 %	25 %	0	25 %	25 %	0	4 %	4 %	0	50 %	50 %	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Deutschland hat höchste Trinkwasserstandards die eingehalten werden. ▶ Es existieren einige spezielle Lösungen. ▶ Kunststoffrohre verwenden. ▶ Mögliche Beschichtungen führen zu Kontamination.
38 %	61 %	56 %	73 %	50 %	44 %	44 %	43 %	50 %	62 %	43 %	44 %	44 %	43 %	100 %	25 %	25 %	0	4 %	4 %	0	50 %	50 %	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Antistatische Effekte lassen sich durch die Zugabe von Nanopartikeln auch im Bulk erzielen. Alternative: leitfähige Polymere. ▶ Bisher keine Lösung bekannt.
13 %	11 %	11 %	7 %	8 %	8 %	0	5 %	0	15 %	5 %	0	0	5 %	75 %	25 %	0	0	4 %	4 %	0	0	0	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Lösungen bald durch antibiotische Peptide verfügbar. Für Pilze und Algen Silberionen verfügbar, aber nicht nachträglich applizierbar. ▶ Lösungen exist.: Nanosilber oder Nano Si-basiertes Spray (Sarastro GmbH).
0	0	0	0	0	0	0	0	0	4 %	5 %	0	0	5 %	0	0	0	0	4 %	4 %	0	0	0	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Keine Erfahrung mit langfristigen Effekten. ▶ Die Kombination von antimikrobieller Beschichtung bei Schmutzwasserbehältern (aggressive Reiniger) und 10 Jahre Lebensdauer ist kaum realistisch.
0	7 %	22 %	17 %	33 %	22 %	11 %	16 %	25 %	4 %	16 %	11 %	44 %	16 %	0	0	0	0	4 %	4 %	0	0	0	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Keine Kommentare vorhanden.
0	18 %	22 %	33 %	33 %	19 %	44 %	41 %	25 %	23 %	41 %	44 %	0	32 %	0	0	0	0	4 %	4 %	0	0	0	
25 %	11 %	11 %	13 %	17 %	17 %	0	5 %	25 %	23 %	5 %	0	0	24 %	25 %	0	0	0	4 %	4 %	0	0	0	
38 %	29 %	67 %	57 %	58 %	44 %	33 %	24 %	25 %	12 %	24 %	33 %	44 %	32 %	25 %	0	0	0	4 %	4 %	0	0	0	
75 %	86 %	67 %	77 %	92 %	92 %	44 %	32 %	75 %	92 %	32 %	44 %	44 %	32 %	75 %	0	0	0	4 %	4 %	0	0	0	
13 %	7 %	11 %	3 %	0	0	22 %	19 %	0	4 %	19 %	22 %	22 %	19 %	0	0	0	0	4 %	4 %	0	0	0	
13 %	25 %	44 %	33 %	33 %	31 %	44 %	43 %	25 %	19 %	43 %	44 %	44 %	43 %	25 %	0	0	0	4 %	4 %	0	0	0	
25 %	36 %	22 %	40 %	75 %	53 %	67 %	65 %	100 %	42 %	65 %	67 %	78 %	65 %	100 %	0	0	0	4 %	4 %	0	0	0	
63 %	43 %	67 %	57 %	75 %	67 %	78 %	70 %	75 %	50 %	70 %	78 %	78 %	70 %	75 %	0	0	0	4 %	4 %	0	0	0	
75 %	64 %	44 %	53 %	92 %	78 %	11 %	22 %	75 %	62 %	22 %	11 %	11 %	22 %	75 %	0	0	0	4 %	4 %	0	0	0	
0	7 %	11 %	3 %	0	0	0	0	0	12 %	0	0	0	0	0	0	0	0	4 %	4 %	0	0	0	
25 %	50 %	33 %	23 %	33 %	39 %	0	14 %	25 %	38 %	14 %	0	0	14 %	25 %	0	0	0	4 %	4 %	0	0	0	
0	11 %	44 %	43 %	33 %	33 %	22 %	16 %	0	12 %	16 %	22 %	16 %	16 %	0	0	0	0	4 %	4 %	0	0	0	
13 %	11 %	11 %	3 %	8 %	6 %	0	3 %	0	4 %	3 %	0	0	3 %	0	0	0	0	4 %	4 %	0	0	0	
0	7 %	0	3 %	0	0	0	3 %	0	0	3 %	0	0	3 %	0	0	0	0	4 %	4 %	0	0	0	
63 %	36 %	22 %	30 %	50 %	39 %	56 %	49 %	50 %	50 %	49 %	56 %	49 %	49 %	50 %	0	0	0	4 %	4 %	0	0	0	

Thesen über nanotechnische Anwendungen		Anzahl der Antworten	Fachkenntnis			Realisierungszeitraum				FuE Aufwand		Marktpotential					
			groß	mittel	gering	bereits realisiert	2006 – 2010	2011 – 2015	2016 – 2020	nach 2020	nie	hoch	mittel	klein			
Superhydrophobe Beschichtung	9 Superhydrophobe Glasbeschichtungen werden entwickelt, die ihre Funktion über 10 Jahre behalten und sich bei Beschädigungen durch mechanische oder chemische Reinigungsvorgänge neu bilden. Dies gelingt durch die Einbettung von Wachs in die Schichtmatrix, das an die Oberfläche diffundiert und dort eine hydrophobisierende Struktur ausbildet (Wachsreservoirtechnik).	28	29 %	54 %	18 %	7 %	36 %	36 %	11 %	7 %	4 %	71 %	25 %	4 %	39 %	39 %	14 %
		8	100 %			13 %	38 %	50 %	0	0	0	63 %	25 %	13 %	50 %	38 %	13 %
	10 Mit der Wachsreservoirtechnik werden superhydrophobe Beschichtungen für Chrom entwickelt, die ihre Funktion über 10 Jahre behalten und sich bei Beschädigungen durch mechanische oder chemische Reinigungsvorgänge neu bilden kann. Die Beschichtung verzögert die Bildung von Kalkablagerungen auf der verchromten Oberfläche erheblich.	23	22 %	43 %	35 %	4 %	26 %	35 %	13 %	9 %	13 %	57 %	35 %	4 %	26 %	30 %	30 %
		5	100 %			20 %	20 %	40 %	0	0	20 %	60 %	20 %	20 %	40 %	20 %	40 %
	11 Mit der Wachsreservoirtechnik werden superhydrophobe Innenbeschichtungen von Rohren und Behältern aus Edelstahl in industriellen Abfällanlagen für Kosmetika, Medikamente etc. entwickelt, die ihre Funktion über 10 Jahre behalten und sich bei Beschädigungen durch mechanische oder chemische Reinigungsvorgänge neu bilden. Die Beschichtung verringert den Reinigungsaufwand bspw. bei einem Wechsel des Fluids erheblich.	23	30 %	35 %	35 %	0	22 %	35 %	22 %	9 %	13 %	57 %	30 %	0	13 %	57 %	9 %
		7	100 %			0	14 %	29 %	14 %	14 %	29 %	71 %	14 %	0	14 %	43 %	29 %
	12 Mit der Wachsreservoirtechnik werden superhydrophobe Beschichtungen von Kabinen und Werkstückträgern beim Spritzlackieren entwickelt. Die Beschichtung verhindert die Haftung des Lackoversprays und verringert den Reinigungsaufwand erheblich.	24	29 %	38 %	33 %	8 %	29 %	29 %	21 %	0	13 %	58 %	25 %	13 %	25 %	38 %	21 %
		7	100 %			14 %	14 %	29 %	14 %	0	29 %	86 %	0	14 %	43 %	14 %	29 %
			Eine Angabe														

Technologiepote- ntial	Umwelt- und Nach- haltigkeitseffekte							Bedeutung der Lösung für ...				Risiken				Kommentare						
	groß	mittel	gering	keine Übertragbarkeit	Energieeffizienz	Rohstoffeffizienz	Emissionsminderung	Abfallvermeidung	Gesundheitsschutz	keine	Wissenschaft	Technologie	Wirtschaft	Gesellschaft	keine		Gesundheit	Umwelt	Sicherheit	Gesellschaft	andere	keine
	43 %	50 %	4 %	4 %	32 %	32 %	18 %	57 %	0	21 %	43 %	57 %	50 %	36 %	14 %	14 %	32 %	7 %	4 %	0	46 %	► Gefahr durch Reinigungsmittel.
	38 %	63 %	0	0	13 %	38 %	13 %	63 %	0	38 %	50 %	63 %	50 %	50 %	13 %	25 %	25 %	0	13 %	0	38 %	
	22 %	48 %	17 %	13 %	13 %	30 %	17 %	30 %	13 %	22 %	26 %	44 %	35 %	17 %	13 %	30 %	30 %	0	9 %	0	48 %	► Gefahr durch Reinigungsmittel. ► Wachsreservoir-Technik auf Chrom nicht sehr realistisch.
	20 %	40 %	20 %	20 %	0	0	20 %	20 %	0	60 %	40 %	60 %	20 %	0	20 %	20 %	40 %	0	20 %	0	20 %	
	30 %	52 %	4 %	13 %	22 %	39 %	9 %	35 %	13 %	9 %	35 %	48 %	48 %	22 %	0	44 %	26 %	4 %	9 %	0	39 %	► Technik für die gewünschte Funktion ungeeignet. ► Wegen Spuren in Medikamenten wenig Akzeptanz beim Anwender.
	29 %	43 %	14 %	14 %	29 %	0	14 %	29 %	14 %	29 %	57 %	57 %	14 %	14 %	0	57 %	29 %	0	29 %	0	14 %	
	17 %	63 %	17 %	4 %	17 %	46 %	25 %	63 %	8 %	4 %	17 %	50 %	71 %	21 %	4 %	13 %	17 %	4 %	4 %	0	71 %	► In dieser Anwendung wäre Technik etwas zu modifizieren durch Verwendung von niedrigmolekularen Komponenten (hohe Beweglichkeit) des verwendeten Basiskunststoffs. ► Lacke haften per Definition. Wenig realistisches Ziel.
	0	57 %	29 %	14 %	0	43 %	14 %	43 %	0	0	29 %	43 %	29 %	14 %	14 %	14 %	0	14 %	0	57 %		
Eine Anga- be	Mehrfachnennung möglich																					

7.1.3

Anwendungsszenarien der Nanotechnologie für den Umweltschutz

Im Folgenden werden die Anwendungsentwürfe nanotechnologischer Oberflächenfunktionalisierungen beschrieben, die aus dem Dialog zwischen Technologiebietern und Anwendern als aussichtsreich hervorgingen. Es sind Anwendungen, die aus technischer und wirtschaftlicher Sicht als realisierbar eingeschätzt wurden. Zu diesen Anwendungen wurden zwischen den Anbietern und Anwendern technische Prüfaufgaben der Gebrauchstauglichkeit für den Einsatz in Produkten für den Markt vereinbart.

7.1.3.1

Kratzfeste Kunststoffbeschichtung

Hintergrund

Kratzfestbeschichtungen gehören zu den am meisten geforderten Beschichtungsfunktionen. Bereits im Automobil gibt es im Autolack erste Anwendungen nanotechnologischer Kratzschuttschichten, der Einsatz von Polycarbonat (PC) als Substitut von Glas in der Automobil-Verschiebung hängt mit wesentlich von Beschichtungssysteme ab, die Witterungsbeständigkeit und Kratzfestigkeit gewährleisten. Kratz- und Abriebfeste Brillengläser (aus PC) und Sehhilfen werden ebenso mit nanotechnologisch optimierten Beschichtungen hergestellt.

Die folgende Abbildung 3 zeigt den prinzipiellen Aufbau konventioneller Lacke (oben) im Vergleich zu Nanolacken (unten). Der konventionelle Lack setzt sich aus Bindemittel (orange) und Vernetzern (rot) zusammen, während der Nanolack aus organischem Bindemittel mit hoher Elastizität (gelb) und anorganischen Nanopartikeln mit hoher Härte (blau) – sehr dicht gepackt, was für die Kratzfestigkeit sorgt – aufgebaut ist.

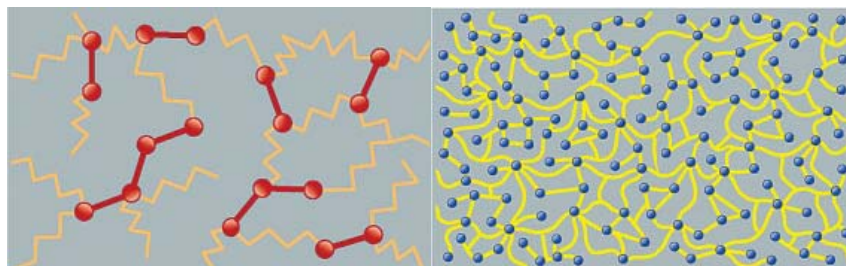


Abbildung 3: prinzipieller Aufbau konventioneller Lacke (links) und Nanolacke (rechts)

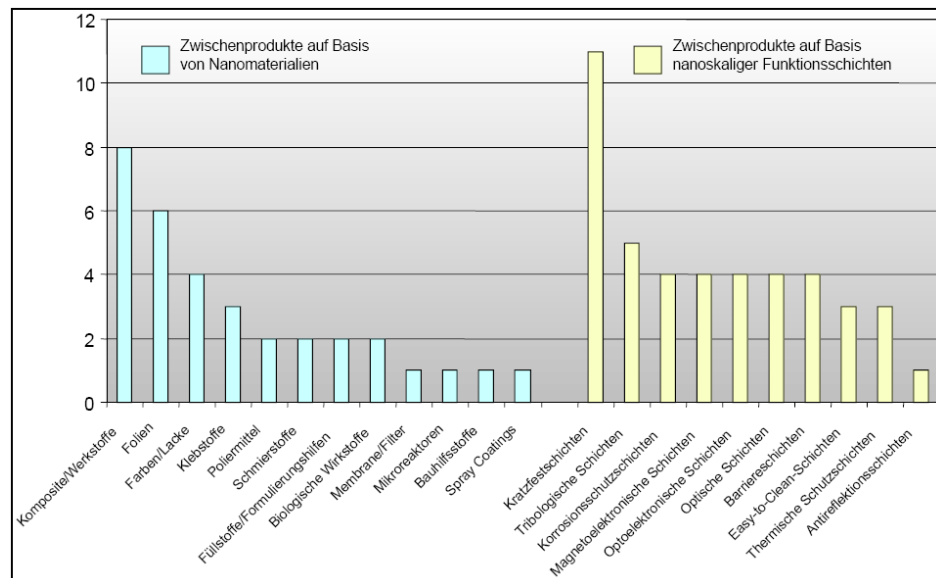


Abbildung 4: Priorisierung nanotechnologischer Zwischenprodukte hinsichtlich der Marktrelevanz für die Chemische Industrie bis zum Jahr 2006 (angegeben ist die Anzahl der Nennungen durch die Workshopteilnehmer) (VDI 2004)

Die Kratzfestigkeit⁴ von Oberflächen wird an vielen Stellen als Zusatzeigenschaft zu – oder in Kombination mit – weiteren Eigenschaften wie „Nicht-Verschmutzung“, „UV-Absorption“, „Antimikrobiell“ angewandt bzw. gewünscht. Insofern wird einerseits eine Oberflächenveredelung erreicht, andererseits aber auch ein zusätzlicher Schutz, indem Mikrokratzer und Schleifspuren verhindert werden, die wiederum in den Tälern Schmutz und organisches Material aufnehmen können.

Problem	Verkratzen von Kunststoffoberflächen und dadurch stärker Verschmutzung dieser durch Ansammlung von Schmutz in den Tälern der Kratzkerben oder Beeinträchtigung der optischen Eigenschaften
Zielanwendung	Kratzfeste Beschichtungen für dreidimensionale Polyethylen- (PE) und Polypropylen- (PP) Oberflächen, die zugleich als Sperre gegen die Haftung von Schmutz auf der Kunststoffoberfläche wirken. Die Kunststoffoberflächen behalten dadurch dauerhaft ihr neuwertiges Aussehen, auch wenn diese als Gerätegehäuse im professionellen Einsatz harten Beanspruchungen ausgesetzt sind
Lösungsansätze	Die Realisierung von Kratzfestbeschichtungen mit Nanotechnologie erfolgt

⁴ Die Kratzfestigkeit wird nach DIN ISO mit einem Bleistifhtest gemessen. Das Ergebnis wird als Bleistifhtärke 1H, 2H, ... 9H angegeben. Eine weitere Methode ist der Taber-Abrasionstest (DIN 52347) mit der Haze-Messung.

mit Nanotechnologie

auf unterschiedlichem technischem Wege:

- Durch die spezifische Gestaltung und Ausbildung der Matrix im Schichtsysteme (Organische bzw. anorganische Schichten oder Hybrid-schichten mit Kratzfest-Eigenschaften und weiteren funktionalen Gruppen, Herstellung im Sol-Gel Verfahren)
- Durch Modifizierung der Matrix im Schichtsysteme mit Nano-Partikel (Einbringen funktionaler Nanopartikel in das Lacksystem als Kratzschutz und Funktionalisierung)

Anorganisch-organische Hybridpolymere (Ormocer[®]e) werden über den Sol-Gel-Prozess hergestellt. Bei diesen Beschichtungen übernimmt der organische und anorganische Teil bifunktionaler Silane $[R'-(CH_2)_n-Si(OR)_3]$ eine netzwerkbildende Funktion (im Fall des organischen Teils auch netzwerk-wandelnde Funktion). Das Ergebnis ist eine Beschichtung mit anorganischem Netzwerk (glasähnlich) als Grundgerüst, allerdings deutlich höher vernetzt durch organische Vernetzer und mit weiteren organisch funktionalen Gruppen. Diese ermöglichen die besonderen und spezifisch einstellbaren Eigenschaften des transparenten Hybridpolymers, z.B. Kratz- und Abriebfestigkeit, Benetzungseigenschaften, antimikrobielle Ausrüstung oder Barriereigenschaften.

Es sind bereits mehrere anwendungsfertige Beschichtungsprodukte auf Basis der Hybridpolymere entwickelt worden, darunter ORMOCER[®]-Kratzfestbeschichtungen auf Kunststoffen (PMMA, PC). Hybridpolymere härten thermisch oder unter UV-Licht aus. Hybridpolymere Lacke müssen gezielt auf die spezifische Anwendung eingestellt werden (Tailored Varnish), wofür in der Regel Entwicklungsarbeit nötig ist – jedoch kann auf eine Basiszusammensetzung zurückgegriffen werden, die dann in Richtung der Anwendung ausformuliert wird.

AEROSIL[®] (pyrogene Kieselsäure) wird ebenfalls zur Kratzfestfunktionalisierung eingesetzt. Dieses nanopartikuläre Aerosil $[SiO_2 \cdot n H_2O]$ wird in Anteilen von 5 bis max. 10 % dem Lack beigemischt und verbessert u. a. die Kratzfesteigenschaften von Lacken. Aerosile werden auch für die Einstellung der Rheologie von Lacken eingesetzt. Die Aushärtung kann thermisch und UV induziert erfolgen.

Nanoskaliges Zirkoniumoxid (ZrO_2), das zu den härtesten Keramiken zählt, wird ebenso für den Kratzschutz in Nanolacken eingesetzt. Die Zugabe von Nano-TiO₂ mit Kupfer/ Wolfram verbessert ebenfalls die Kratzfestigkeit. Ebenso werden DLC-Schichten (Diamond like Carbon, Amorphe diamant-ähnliche Kohlenstoffschichten) bieten hohe Verschleißbeständigkeit in Kombination mit hervorragenden Reibungs- oder Antihafteigenschaften für besonders beanspruchte Bauteile.

Eine anderer Lösungsansatz für das Problem „verkratzte Oberflächen“ sind

die sogenannten selbstheilende Oberfläche durch Nanopartikel u. a. in der Schichtaufbaumatrix (Stenzel 200). Diese bewirken nicht nur eine längerer Werterhaltung, sondern können auch die Rissbildung etc. reduzieren, die zu einer Zerstörung der Beschichtung führt und dadurch zur Schwächung bis zum Versagen eines Bauteils. Durch die selbstheilende Oberfläche sollen so Kosten gesenkt und die Lebensdauer und Sicherheit von Investitionsgütern erhöht werden. Angedachte Anwendungen sind der Korrosionsschutz, Windenergie, Flugzeug- oder Fahrzeugbau.

Erwartete Umwelteffekt

Im Zusammenhang mit dem Einsatz der Nanotechnologie im Umweltschutz wird immer wieder auch die Kratzschutzbeschichtung genannt, auch wenn ein direkter messbarer Zusammenhang nicht immer direkt hergestellt werden kann. So werden nach Ansicht der Befragten Experten die größten Umwelteffekte durch den Einsatz von Kratzschutzbeschichtungen im Rohstoffeffizienz und Abfallvermeidung gesehen. Beispielsweise ist die Kratzfestigkeit eine wesentliche Herausforderung, aber auch Erfolgsfaktor für den Einsatz von Kunststoffen im Automobil. Der mit dem Kunststoffeinsatz verbundene Mehrwert ist – neben den Kosten – eine Gewichtsreduktion sowie Funktionsintegration, was direkte (Leichtbau = Weniger Kraftstoffverbrauch) oder indirekte positiven Umwelteffekte erwarten lässt.

Die durch Kratzfestigkeit erzielbaren Vorteile für den Umweltschutz sind deshalb:

- Die *Langlebigkeit* von Kunststoff-Oberflächen kann erhöht werden, was sich in einer höheren Anmutung (ästhetische Gesichtspunkte), aber auch in einer geringeren „Alterung“ des Werkstücks ausdrückt und somit die Lebensdauer verlängern kann.
- Durch Kratzfestigkeit bleibt die Kunststoff-Oberfläche glatter und bietet in ihrer Mikrostruktur weniger „Angriffsmöglichkeiten“ für Verschmutzung, wodurch auch der *Reinigungsaufwand* solcher Oberflächen *verringert* werden kann – gerade in Kombination mit Selbstreinigungseigenschaften von Oberflächen.
- Durch Kratzfestbeschichtungen können *Kunststoff-Gläser oder -Oberflächen verstärkt eingesetzt* werden, wodurch z.B. eine Gewichtsreduktion (vgl. PC-Verschiebung im Automobil) realisiert werden könnte, was zu einem verminderten Energieaufwand im Betrieb führen kann (Diese Betrachtung muss aber immer die Herstellungsprozesse und Rohstoffgewinnung mit berücksichtigen). So werden im Automobil verstärkt aus Gewichts- und Verarbeitungsgründen Kunststoffe eingesetzt, deren Oberflächenanmutung und -belastung entsprechenden Anforderungen genügen muss.
- Durch Kratzfestbeschichtungen kann die *Bauteil- oder Produktfunktionalität überhaupt erst gewährleistet* werden. So benötigen optische

Datenträger, Optiken, Solarzellen, Displays u. a. eine kratzfreie Oberfläche, um keine ungewollte Streuung oder Ablenkung des Lichts zu ermöglichen.

Marktpotenzial	Die meisten der befragten Experten in der Expertenbefragung schätzen das Marktpotenzial als „hoch“ ein. Die größte Bedeutung der Lösung wird für die Wirtschaft gesehen, d.h. die aktuelle Entwicklung und getätigte FuE kommt direkt den Unternehmen zunutze, gefolgt von Technologie und Wissenschaft.
Technologiepotenzial	Das Potenzial einer solchen Kratzfestbeschichtung als Technologieträger wird mehrheitlich von den Experten als „mittel“ bis „groß“ eingeschätzt (47 % mittel, 44 % groß, von den Experten mit Fachwissen als mehrheitlich „groß“). Dies deckt sich mit dem erwarteten großen Innovationspotenzial, das den mechanischen Oberflächenfunktionen sowie der Kopplung von z.B. Kratzfestigkeit und Selbstreinigungseigenschaften zugemessen wird (Roths, Gochermann 2006). Auch hier wird noch großer Forschungsbedarf gesehen. Und Kratzfestschichten haben in der chemischen Industrie die höchste Priorität hinsichtlich der Marktrelevanz bis zum Jahr 2006 (Abbildung 4, VDI 2004)
Realisierungszeitraum	Nach Einschätzung der meisten Experten kann eine Kratzschuttschicht für die geforderte Kunststoffoberflächen innerhalb der nächsten 5 Jahre (2006 – 2010) realisiert. Bei den Experten mit Fachwissen verteilt sich die Erwartung des Realisationszeitraums zu gleichen Teilen auf die Phasen „bereits realisiert“, „2006 – 2010“ und „2011 – 2015“.

7.1.3.2 Anti-Fingerprint Ausrüstung von Metalloberflächen

Hintergrund	<p>In Umgebungen, in denen hohe hygienische Anforderungen gestellt werden, kommen Metallfronten, meist aus Edelstahl, zum Einsatz. Darunter in Lebensmittel verarbeitenden Betrieben, Kliniken, Betriebsküchen und Küchen im Haushalt. Die Metalloptik gilt als schick und die Hersteller bedienen diesen Trend. So sind Metalloberflächen auch in andere Anwendungen vorgedrungen. Beispiele sind edel metallisierte Sanitärarmaturen, Gehäuse von elektronischen Geräten, Verkleidungselemente im Fahrzeuginterieur (Titanoptik), Tür- und Schubladengriffe, Schreibutensilien oder dekorative Gebrauchsgegenstände. Neben Edelstahl spielen dabei insbesondere Chrom, Aluminium, Titan und Kupfer eine Rolle.</p> <p>Metalloberflächen sind stark reflektierend, wodurch Verschmutzungen, welche die Lichtreflexion stören, gut sichtbar werden. Mit solchen Verschmutzungen behaftete Metalloberflächen wirken unschön und unsauber.</p>
--------------------	--

Quelle solcher Verschmutzungen sind beispielsweise Fingerabdrücke, mit denen Hautfett, Proteine und Schweiß auf die Oberflächen aufgebracht werden. Insbesondere aus gebürsteten Metalloberflächen, deren mattes Aussehen durch Mikroriefen hervorgerufen wird, sind solche Verschmutzungen kaum zu entfernen, weil sie in die Oberflächenvertiefungen eindringen und dort mit Wischtüchern nicht erreichbar sind.

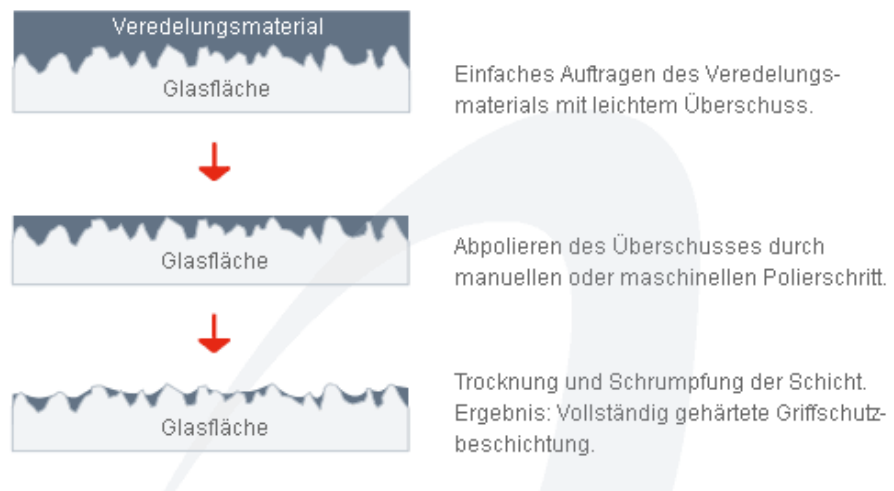


Abbildung 5: Prinzipskizze einer Anti-Fingerprint Ausrüstung für Mattglas (Quelle Nanogate)



Abbildung 6: Edelstahloberfläche, links ohne, rechts mit Anti-Fingerprint Ausrüstung (Quelle: ThyssenKrupp 2005)

Problem

Verschmutzung von Edelstahloberflächen durch Fingerabdrücke

Zielanwendung

Beschichtungen für Metalloberflächen, auf denen keine Rückstände von Fingerabdrücken entstehen oder von denen die Rückstände einfach mit einem trockenen Tuch abgewischt werden können. Dadurch behalten Oberflächen aus gebürstetem Edelstahl, poliertem Edelstahl, Chrom oder anderen metallisierten Oberflächen dauerhaft ihr neuwertiges Aussehen.

**Lösungsansätze
mit Nanotechno-
logie**

Die Nanotechnik bietet die Chance ultradünne und maßgeschneiderte Beschichtungen zu entwickeln welche das Reflexionsverhalten und die Haptik der Oberfläche kaum verändern. Ein Lösungsansatz sind hybridpolymere Lacke mit Fluorsilanen als Easy-to-clean Funktionsträger, die Verschmutzungen der Oberfläche durch einfaches Wischen entfernbar machen. Das Beschichtungsmaterial kann zusätzlich kratzfest ausgerüstet werden, wodurch sich die Abriebfestigkeit und Dauerhaftigkeit der Schicht verbessern lässt. Wo dies nötig ist, beispielsweise an Edelstahlfronten von Lebensmittel verarbeitenden Betrieben, kann die Beschichtung zusätzlich mit antimikrobiellen Funktionsträgern ausgerüstet werden. Auch an Beschichtungen mit Plasmatechniken wird geforscht

**Erwartete
Umwelteffekt**

Verschmutzungen dekorativer oder funktioneller Oberflächen erfordern Reinigungsvorgänge, die durch den Einsatz von Anti-Fingerprint-Beschichtungen reduziert werden könnten. Jede Reinigung ist mit dem Verbrauch von Wasser, Tensiden oder organischen Lösungsmitteln verbunden. Nicht selten enthalten wässrige Reinigungsmittel auch organische Lösungsmittelanteile. Wasserbasierte Reinigungsmittel werden zumindest zum Teil über den Abwasserpfad in die Kläranlagen und die Gewässer eingetragen. Organische Reinigungsmittel, beispielsweise Alkohole, Reinigungsbenzin oder Aceton, weisen ausgezeichnete Fett lösende Eigenschaften auf, haben aber durchwegs einen hohen Dampfdruck, sind also flüchtig. Bei der Reinigung mit organischen Reinigungsmitteln kommt es deshalb zu VOC⁵ Emissionen in die Umgebungsluft.

Marktpotenzial

Das Marktpotenzial für die Anti-Fingerprint Ausrüstung von Metalloberflächen schätzen über 50 % der Experten als mittel ein. Das heißt, das globale Marktpotenzial für so ausgerüstete Produkte beträgt bis zu 500 Mio. €. Über 70 % aller antwortenden Experten und über 80 % der Experten mit hoher Fachkenntnis schätzen die Lösung als bedeutsam für die Wirtschaft ein. „Bedeutsam“ heißt in diesem Kontext, die technische Lösung des Anti-Fingerprint Problems ist wichtig für die Wettbewerbsfähigkeit und den wirtschaftlichen Erfolg der innovierenden Unternehmen. Das Technologiepotential, also die Übertragbarkeit der Anti-Fingerprint Lösung auf andere Substratoberflächen wird von den Experten recht unterschiedlich eingeschätzt.

Die Deutsche Forschungsgesellschaft für Oberflächenbehandlung bezeichnet in ihrer Innovationsstudie „... die Vermeidung von Fingerprints durch eine unsichtbare, kratz feste und chemisch beständige Beschichtung ... von nichtrostendem Edelstahl ... als das vordringliche Zukunftsthema“ bei der Verwendung von Edelstahl für Hausgeräte (DFO 2006).

⁵ VOC ... Volatile Organic Compounds (flüchtige organische Verbindungen)

Technologiepotenzial

Eine naheliegende Übertragung ist mattiertes Glas, womit sich zusätzlich ein großes Einsatzspektrum auftut, insbesondere im Architekturbereich. Polycarbonat (PC), ein transparenter Kunststoff, der beispielsweise für Abschlusscheiben von Automobilscheinwerfern, Visiere von Motorradschutzhelmen, Brillengläser und Wintergärten verwendet wird, ist wie Glas Fingerprint empfindlich. Auch dies ist eine Anwendung für die Anti-Fingerprint Beschichtung, wobei hier UV aushärtende Beschichtungsmaterialien der Vorzug zu geben ist, um eine thermische Schädigung des Kunststoffes zu vermeiden. Weltweit werden 2,2 Mio. t Polycarbonat hergestellt, das sind 1,3 % der globalen Kunststoffproduktion

Realisierungszeitraum

43 % der antwortenden Experten geben an, dass es solche Beschichtungen für die werkseitige Applikation schon gibt, 27 % sagen dies auch für die nachträgliche Applikation. 49 % gehen davon aus, dass die werkseitige Ausrüstung bis 2015 realisierbar ist, 63 % halten in diesem Zeitraum auch die nachträgliche Applikation für möglich. Der FuE Aufwand für die technische Realisierung wird überwiegend als klein bis mittel eingeschätzt.

7.1.3.3

Diffusionssperre auf Metallen

Hintergrund

Bei der Trinkwasserinstallation von Gebäuden werden Rohre und Formstücke aus Kupfer, Messing und verzinkter Stahl genutzt. Auch verchromte Messingbauteile werden eingesetzt. Aus diesen Metallen werden vom Kontaktwasser Kupfer-, Blei- und Nickel-Ionen in das Wasser gelöst. Die Metallkonzentration im Leitungswasser ist von der Wasserbeschaffenheit und der Kontaktdauer abhängig. Saures Wasser vermag mehr Metall herauszulösen, und im Stagnationswasser konzentrieren sich diese Schwermetalle auf. Schwermetalle wirken bei überschreiten bestimmter Konzentrationsschwellen für Lebewesen toxisch. Sie sind deshalb im zum Verzehr bestimmten Trinkwasser nicht erwünscht.

Brauchwasser, beispielsweise für die Toilettenspülung, die Körperpflege, das Waschen von Wäsche, oder andere Zwecke, gelangt nach der Nutzung über die Kanalisation in die Kläranlagen. Im Abwasser vorhandene Schwermetalle konzentrieren sich im Klärschlamm auf, ein Teil wird mit dem Kläranlagenablauf in die Flüsse eingetragen. Beides ist unerwünscht. Toxische Schwermetalle schädigen aquatische Lebewesen und die können die Biologie der Gewässer verändern. Bei der Verwertung von Klärschlamm als Dünger in der Landwirtschaft werden die Schwermetalle in die Ackerböden eingebracht und konzentrieren sich dort auf. Bei der Verbrennung von Klärschlamm werden die Schwermetalle bei der Rauchgasreinigung mit dem Flugstaub abgeschieden, ein Teil gelangt mit den Reingas in die Um-

welt.

Problem	Diffusion und Auslösung von (a) Schwermetall-Ionen aus Metallen (Kupfer, Messing, verzinkter Stahl, verchromte Messingbauteile) oder (b) von Weichmacher aus Kunststoffen
Zielanwendung	Lebensmittelverträgliche Beschichtungen für wasserführende Metallbauteile, bspw. aus Messing, die dauerhaft das Auswaschen von Schwermetallen wie Nickel und Blei verhindern.
Lösungsansätze mit Nanotechnologie	<p>Diffusionsbarriereschichten basieren z.B. auf anorganisch-organischen Hybridpolymeren (ORMOCER®e). Hybridpolymere sind transparent anorganisch vernetzte Schichtsysteme (glasähnlich), deren organischer Komponente ebenfalls als Vernetzer oder Netzwerkwandler fungiert (Polymer). Sie werden im Sol-Gel-Verfahren hergestellt. Durch die Einstellung des Schichtaufbaus und Vernetzungsgrades sowie dem Einbau funktioneller Gruppen können die spezifischen Eigenschaften – hier die Barrierefunktion – eingestellt und an das Substrat angepasst werden.</p> <p>Durch eine solche Beschichtung kann bspw. die Weichmacher-Migration (Octylphthalat) aus PVC um den Faktor 10 reduziert werden (siehe Abbildung 7). Diffusionsschutzschichten haben aber nicht nur eine Barrierefunktion für Weichmacher oder Metall-Ionen, sondern auch für Feuchte, Sauerstoff, Lösemittel oder Dämpfe.</p>
Erwartete Umwelteffekt	<p>Die gesundheitliche und ökologische Bedeutung der Unterbindung der Lösung von Schwermetallen aus der Trinkwasserinstallation wurde eingangs bereits dargestellt. Insbesondere Blei und Nickel sind kritisch. Dies erkennen in der schriftlichen Befragung 92 % der Antwortenden, indem sie den Beitrag zum Gesundheitsschutz dieser nanotechnologischen Anwendung besonderes hervorheben.</p> <p>Die Trinkwasser-Verordnung setzt den Grenzwert für Blei auf 10 µg/l fest. Blei wurde in der jüngsten MAK- und BAT-Werte-Liste der Deutschen Forschungsgemeinschaft sogar in die Liste der krebserzeugenden Arbeitsstoffe (Kategorie 2) aufgenommen (DFG 2006). Kategorie 2 enthält Stoffe, die aufgrund von Tierversuchen und epidemiologischen Analysen als krebserzeugend beim Menschen anzusehen sind. Der Grenzwert für Nickel beträgt 20 µg/l. Nickelmetall und einige Nickelverbindungen finden sich sogar in Kategorie 1 der krebserzeugenden Arbeitsstoffe. Für Kupfer beträgt der Grenzwert in der Trinkwasser-Verordnung 2000 µg/l.</p> <p>Nach neuesten Forschungsergebnissen gehen in Deutschland jährlich 290 t Kupfer, 2,9 t Blei und 530 t Zink aus der Trinkwasserinstallation der Gebäude in das Trinkwasser über (UBA 2005). Davon gelangen jährlich rund 65 t Kupfer, 500 kg Blei und 140 t Zink in die Gewässer. Der Rest gelangt</p>

in andere Umweltkompartimente (Boden, Atmosphäre), ein Teil wird mit dem Trinkwasser vom Menschen aufgenommen.

Gelingt es, die beschriebene Diffusionssperre für Metalle zur Serienreife zu bringen, können die Einträge in die Umwelt und die Aufnahme durch den Menschen vollständig vermieden werden. Als Randbedingung für die Entwicklung der Diffusionssperre muss gelten, dass die Beschichtung selbst lebensmittelverträglich ist und es zu keiner Problemverlagerung kommt. Hier hegen in der schriftlichen Befragung immerhin 38 % aller Antwortenden und 25 % der Top Experten Zweifel. Sie halten von der Beschichtung ausgehende gesundheitliche Risiken für wahrscheinlich. Allerdings wurde in der Befragung die stoffliche Zusammensetzung der Diffusionssperre nicht näher spezifiziert, so dass unklar bleibt, von welchen Inhaltsstoffen eine Gefährdung erwartet wird. Mit einer Diffusionssperre ausgerüstete Produkte der Wasserinstallation von Gebäuden werden vom DVGW⁶ zertifiziert. Dabei werden auch die hygienischen Eigenschaften des Produkts geprüft.

Marktpotenzial 42 % der Antwortenden und 50 % der Top Experten schätzt das globale Marktpotential der beschichteten Produkte auf über 500 Mio. €. Nur 12 % aller und keiner der Top Experten hält ein Marktpotential von weniger als 50 Mio. € für wahrscheinlich. Dies wird durch die Antworten zum Technologiepotential der Lösung untermauert, bei dem über 80 % aller und 100 % der Top Experten eine große bis mittlere Übertragbarkeit der Lösung auf andere Anwendungen vermuten.

In Deutschland werden jährlich etwa 60 Mio. Meter Kupferrohre für die Trinkwasserinstallation in Gebäuden verbaut (KRV 2004). Das entspricht einem Markt von etwa 330 Mio. €/a. Bei einer angenommenen Beschichtungsstärke von 5 µm würden für die Innenbeschichtung der Rohe jährlich etwa 12 t Lack benötigt. Eine grobe Hochrechnung auf den weltweiten Markt ergibt ein Absatzvolumen von Kupferrohren für die Trinkwasserinstallation von 5.6 Mrd. €/a und einen Lackverbrauch von 200 t/a. Die Markteinschätzung aus der schriftlichen Befragung wird von dieser Abschätzung bestätigt.

Technologiepotenzial Einer funktionsfähige und dauerhafte Diffusionssperre auf Metallen stehen darüber hinaus vielfältige weitere Anwendungen mit einem insgesamt beträchtlichen Marktvolumen offen. Dazu zählen umweltoffene Kupfer- und Zinkbauteile für Dächer, Fassaden, Regenrinnen und Regenfallrohre. Die Auswaschung von Kupfer und Zink aus diesen Anwendungen und ihr Eintrag in die Gewässer stehen unter Beobachtung der Umweltpolitik. Künftige Verbote solcher offenen Anwendungen sind nicht auszuschließen. Die Bereitstellung einer transparenten, dauerhaften Beschichtung, welche die

⁶ Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V.

Metalloptik erhält, wäre eine wirksame Problemlösung. Umweltoffene Diffusionssperren müssen zwingend mit UV-Schutz ausgerüstet werden, um die gewünschte Dauerhaftigkeit zu gewährleisten. Hierfür werden bereits nanotechnologischen Lösungen vermarktet, beispielsweise für Lacke und Holzschutzlasuren.

Auch für Kunststoffe werden vielfältige Anwendungen für Diffusionssperren gesehen (siehe Abbildung 7). Darunter fallen Brauseschläuche aus PVC, aus denen Weichmacher, beispielsweise Diethylhexylphthalat (DEHP), in das Duschwasser diffundiert. Zugleich dienen Weichmacher an der Schlauchinnenfläche Bakterien als Nährstoff, wodurch die Ausbildung unerwünschter Biofilme begünstigt wird. Weitere Beispiele sind die Innenbeschichtung von Getränkeflaschen aus PET und das Aufbringen einer Sauerstoffsperre auf Verpackungsfolien für Lebensmittel, um die Lebensmittellagerung zu verzögern

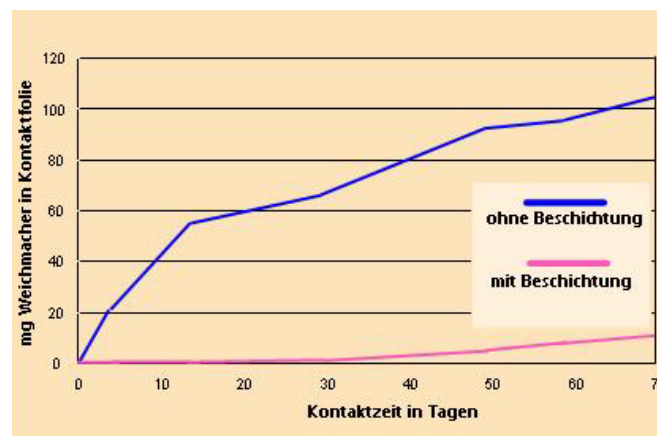


Abbildung 7: Weichmacherdiffusion aus PVC (Quelle Fraunhofer ISC)

Realisierungszeitraum

In der schriftlichen Befragung halten fast 70 % der Antwortenden mit Fachkenntnis die Realisierung der Anwendung innerhalb von 5 Jahren bis zum Jahre 2010 für wahrscheinlich. Die Hälfte der Antwortenden mit großer Fachkenntnis („Top Experten“ dieser Anwendung) ist hier ein wenig skeptischer und vermutet die Realisierung in der Zeitspanne zwischen 2011 und 2015.

7.1.3.4

Antistatische Ausrüstung von Kunststoffen

Hintergrund

Kunststoffe sind im Allgemeinen sehr gute Isolatoren (Dielektrika). Aus elektrostatisch aufgeladenen Dielektrika können die Ladungsträger nicht vollständig abfließen auch wenn eine Verbindung mit der Erde besteht. Es

fließen nur Ladungen ab, die sich unmittelbar um den Berührungspunkt mit der Erdung befinden. Die elektrostatische Aufladung erfolgt durch berühren oder reiben mit Textilien, Leder, Gummi oder anderen Materialien. Die elektrostatische Aufladung wird deshalb auch als Reibungselektrizität bezeichnet. Sie kommt durch den Austausch von Elektronen zwischen den Kontaktmaterialien an den Berührungsflächen zustande. Im Ergebnis entsteht eine Potentialdifferenz zwischen dem Isolator und der Erde.

Die elektrostatische Aufladung von Werkstoffen und Bauteilen kann verschiedene unerwünschte technische Effekte nach sich ziehen. Sie kann beispielsweise mikroelektronische Bauteile schädigen und deren Ausfall bewirken. Besonders empfindlich sind integrierte Schaltungen, weshalb bei der Herstellung, bei der Verpackung und beim Einbau besondere Vorkehrungen getroffen werden müssen. Empfindliche Bauteile werden in antistatisch ausgerüsteten Verpackungen versandt. Elektrostatisch aufgeladene Kunststoffoberflächen ziehen Staubpartikel mit gegensinniger Polarität an. Neben der damit verbundenen Verschmutzung begünstigen die durch die Coulombkräfte festgehaltenen Partikel das Verkratzen der Oberfläche durch die Schmirgelwirkung beispielsweise beim Reinigen. Dramatische Folgen kann die elektrostatische Aufladung von Stäuben haben, wenn Entladungsfunken eine Staubexplosion auslösen.

Unerwünschter Effekt der hier einbezogenen Anwendung ist die elektrostatische Abstoßung gleichartig elektrostatisch geladener Kunststoffprodukte. Die Abstoßungskräfte kommen insbesondere bei kleinen und leichten Teilen zum Tragen.

Problem	Elektrostatische Aufladung von Kunststoffteilen in der Produktion
Zielanwendung	Beschichtungen zur dauerhaften Verhinderung der elektrostatischen Aufladung von Kunststoffen, die Beschichtungen müssen zugleich kratzfest und hoch flexibel sein.
Lösungsansätze mit Nanotechnologie	Als leitfähige Additive, auch als Antistatika bezeichnet, werden <i>Indium-Zinn-Oxid (ITO)</i> in verschiedenen Modifikationen und <i>Antimon-Zinn-Oxid (ATO)</i> eingesetzt. Antimon und seine anorganischen Verbindungen sind krebserzeugende Arbeitsstoffe der Kategorie 2, das heißt im Tierversuch nachweislich krebserzeugend (DFG 2006). Deshalb wird ITO der Vorzug gegeben. Zur Oberflächenfunktionalisierung werden diese Antistatika als Additive in Lacke eingearbeitet. Je nach Rezeptur können Oberflächenwiderstände von 10^4 bis $10^8 \Omega$ eingestellt werden. Ist eine thermische Lackaushärtung wegen der Kunststoffverweichung oder Schädigung nicht möglich, stehen UV aushärtende Lacke zur Verfügung. Bifunktionale Lacke, welche die Oberfläche kratzfest und antistatisch ausrüsten werden angeboten (Degussa 2006). ITO ist mit 2.500 €/kg relativ teuer, allerdings reichen

schon sehr geringe Mengen von etwa 1,5 g/m² aus. Aber selbst in dieser geringen Menge verursacht das ITO Additiv zusätzliche Materialkosten von 3,75 €/m².

In Körperpflegemitteln, bspw. Haarshampoos, werden *quartäre Ammoniumverbindungen*⁷ als Antistatika eingesetzt. Sie bilden auf Oberflächen, bspw. von Haaren, einen zusammenhängenden leitfähigen Film und verringern dadurch die elektrostatische Aufladung. Kunststoffoberflächen lassen sich mit hybridpolymeren Lacksystemen, sogenannte OMOCER[®]e, mit Hilfe von hoch polaren Funktionsgruppen wie Alkoxysilanverbindungen oder quartären Ammoniumsilanen antistatisch ausrüsten (ISC 2006). Damit können Oberflächenwiderstände von 10⁸ Ω erreicht werden.

Eine neuere Entwicklung ist die Nutzung von *Kohlenstoff-Nanoröhren* (*Carbon Nano Tubes, CNT*) als Antistatika. Kohlenstoff besitzt in der Graphitmodifikation ausgezeichnete Leitfähigkeitseigenschaften. CNT, die einen Länge zu Durchmesser Quotienten von 1.000 aufweisen, erreichen schon in geringen Konzentrationen eine Durchkontaktierung, wie sie für die antistatische Ausrüstung von Kunststoffen benötigt werden (Diemert 2006). Durch die nanoskalige Geometrie der Nanoröhren kommt es zu keiner Streuung von sichtbarem Licht, das den Wellenlängenbereich von 400 bis 700 nm umfasst, und damit zu keiner Einbusse der Transparenz.

Erwartete Umwelteffekt

Die vorliegende Anwendung zielt auf die Vermeidung der elektrostatischen Abstoßung von kleinen Kunststoffbehältnissen bei der maschinellen Befüllung, Verschleißung und Etikettierung auf Abfüllanlagen. Störungen beim Transport der Behältnisse verursachen Maschinenstillstandszeiten, produzieren Ausschuss und erfordern unter Umständen Reinigungsvorgänge, wenn befüllte Behälter umkippen.

Produktionsausschuss erzeugt Abfälle und führt zu zusätzlichem Rohstoffverbrauch für den Ersatz der unbrauchbaren Produkte. Reinigungsvorgänge benötigen Tenside, Wasser und gegebenenfalls organische Lösungsmittel. Die Anwendung von organischen Lösungsmitteln verursacht VOC Emissionen, der Verbrauch wässriger Reiniger Einträge von Tensiden in die Gewässer. Durch Produktionsstörungen steigt der Stromverbrauch für die Abfüllmaschine und die Nebenanlagen wie die Beleuchtung und Druckluft-erzeugung.

Die durch die Produktionsstörungen entstehenden Emissionen und der Mehrverbrauch an Energie und Rohstoffen lassen sich nicht quantifizieren. Der durch die antistatische Ausrüstung der Kunststoffe optimierte Betrieb der Abfüllanlage wird deren Umwelt- und Nachhaltigkeitsleistung nur mar-

⁷ Das sind Verbindungen in denen alle vier Wasserstoffatome des Ammoniums durch organische Reste oder ihre Silizium Homologen (Ammoniumsilane) ersetzt sind.

ginal verbessern. Die Bedeutung der Problemlösung liegt im wirtschaftlichen Bereich, denn die Absenkung der Maschinenstillstandszeiten reduziert die Stückkosten.

Diese Einschätzung wird im Wesentlichen durch die Expertenbefragung untermauert. Um die 20 % der Antwortenden sehen mit der Anwendung keine Umwelt- und Nachhaltigkeitseffekte verbunden, 40 % sehen ein Potential für Rohstoffeinsparungen, 24 % für die Abfallreduktion und 16 % für Energieeinsparungen. Potentielle Emissionsminderungen wurden von 2 Experten vermutet.

Marktpotenzial	<p>Die antistatische Ausrüstung von Kunststoffen zählt nicht zu den prioritären Entwicklungszielen in der Oberflächenfunktionalisierung. Dies bestätigt eine breite Untersuchung der Deutschen Forschungsgesellschaft für Oberflächen (DFO). Die „elektrischen Eigenschaften“ von Oberflächen, wozu neben der leitfähigen auch halbleitende und photovoltaische Funktionalisierungen gezählt wurden, ist lediglich in der Druckindustrie und in der Elektronik unter den drei wichtigsten FuE-Zielen vertreten (DFO 2006). In der VDI Studie der potentiellen künftigen Nanotechnologiemärkte kommt die antistatische Oberflächenfunktionalisierung nicht vor (VDI 2004).</p> <p>43 - 44 % der Nanotechnologieexperten sehen für diese multifunktionale Beschichtung ein mittleres Marktpotenzial, 41 – 44 % vermuten ein hohes Marktpotenzial mit einem globalen Umsatz so ausgerüsteter Produkte von über 500 Mio. €/a. Ein Experte (3 %) schätzt das Marktpotenzial mit unter 50 Mio. €/a als niedrig ein.</p>
Technologiepotenzial	<p>Der Umfang der Übertragbarkeit der Lösung auf unterschiedliche Anwendungen wird zu fast 100 % als groß bis mittel angegeben. Dies ist vor dem Hintergrund der oben angesprochenen Anwendungsbeispiele nachvollziehbar.</p>
Realisierungszeitraum	<p>Fast 60 % aller Antwortenden Nanotechnikexperten und 2/3 der Experten mit großer Fachkenntnis halten die Realisierbarkeit der Anwendung bis 2010 für möglich. Keiner der Antwortenden verneint die Realisierbarkeit dieser Anwendung.</p>

7.1.3.5 Antimikrobielle Ausrüstung

Hintergrund Die antimikrobielle Ausrüstung von Oberflächen zählt mit zu den bekanntesten Anwendungsbeispielen von funktionalisierten Oberflächen durch Nanotechnologie. Ziel ist es, die bakterielle bzw. mikrobielle Besiedelung von Oberflächen zu reduzieren oder gar komplett zu verhindern. Damit

sollen Oberflächen von Krankheitskeimen sauber gehalten werden, indem diese Mikroorganismen abgetötet werden. Die antimikrobielle Ausrüstung kann jedoch nicht erst durch Nanotechnologie realisiert werden, Cremes mit entzündungshemmendem ZnO (Penaten-Wundcreme) oder silberbedampfte Wundverbände sind schon seit langem auf dem Markt. Allerdings kann durch Nanotechnologie die Wirksamkeit und die Beschichtungsmöglichkeiten optimiert werden.

- Problem** Aufwuchs von Biofilm, Besiedelung von Bakterien, Pilzen auf Oberflächen
- Zielanwendung** (A) (Dauerhafte) Verhinderung der Besiedelung von Oberflächen mit Mikroorganismen (bspw. Bakterien, Pilze, Algen) durch eine – für höhere Lebewesen bioverträgliche – antimikrobielle Beschichtungen für den Einsatz in Lebensmittel verarbeitenden Betrieben (darunter Großküchen und Schlachtereien)
- (B) Dauerhafte Verhinderung der Besiedelung mit Mikroorganismen und die Bildung von Biofilmen in Schmutzwasserbehälter durch eine antimikrobielle Innenbeschichtungen für Schmutzwasserbehälter.

Lösungsansätze mit Nanotechnologie

Art der Wirkung (siehe Abbildung 8):

- *Kontakt-Mechanismus*: Kontakt der Mikroorganismen (Bakterien, Hefen, Pilze) mit der antimikrobiellen Substanz an der Kontaktfläche. Die Mikroorganismen werden beim Kontakt mit der Oberfläche abgetötet. Eine Freisetzung des Reagenz findet nicht statt, da die Substanz fest an die Oberfläche gebunden ist
- *Release-Mechanismus*: Diffusion und Migration der antimikrobiellen Substanz aus der Matrix der Beschichtung an die Oberfläche und dort in die direkte Umgebung

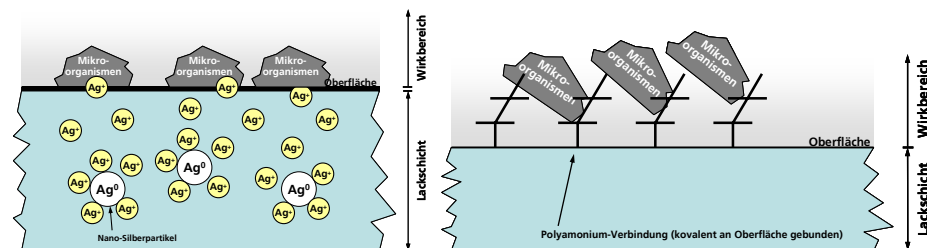


Abbildung 8: Wirkweise von Silber-Nanopartikel (links, Release-Mechanismus) und Polyammoniumverbindungen (rechts, Kontaktmechanismus)

Nanotechnologische Materialien/ Beschichtungen:

- *Nano-Silber (Ag⁺-Ionen)* bilden in einer Beschichtung Silber-Ionen, die an die Oberfläche diffundieren (Release-Mechanismus) und destabilisierende Wirkung auf die Zellmembran haben. Gleichzeitig wird der Zell-

stoffwechsel sowie der Zellteilungsprozess gestört. Wundverbände oder Katheder sind z.B. mit Nano-Silber ausgerüstet.

- *nanoskaliges Zinkoxid (ZnO)* hat ebenfalls antimikrobielle Eigenschaften. Die Wirkung beruht auf der Freisetzung von antimikrobiell wirksamen Zink-Ionen. ZnO als antimikrobielle Ausrüstung wird z.B. in transparentem Silikon eingesetzt (mit zusätzlichem UV-Schutz). Die antimikrobielle Wirkung ist deutlich besser als Silber-Nanopartikel, zudem ist das ZnO transparent und nicht bräunlich wie Ag⁺. Der ZnO-Einsatz ist in Schiffslacken geplant als „Anti-Fouling“-Schicht.
- Konservierungsstoffe wie z. B. Ascorbinsäure (im Release-Mechanismus) oder Polymere wie z.B. Polyammoniumsalze oder Polyethylenglykol (im Kontakt-Mechanismus) in Hybrid-Polymer-Beschichtung

Erwartete Umwelteffekt

Die wesentlichen Vorteile der Anwendung A) liegen nach Meinung der Experten im (Experten mit großer Fachkenntnis: Gesundheitsschutz (92 %), Abfallvermeidung (58 %)). Bei der Anwendung B) in Schmutzwasserbehältern werden die Umwelt- und Nachhaltigkeitseffekte nach Ansicht aller Experten ebenfalls im Gesundheitsschutz (77 %), Abfallvermeidung (57 %) und Rohstoffeffizienz gesehen (33 %) (Experten mit großer Fachkenntnis: Gesundheitsschutz (67 %), Abfallvermeidung (67 %)).

Die Bedeutung antimikrobieller Beschichtungen liegt vornehmlich im Gesundheitsschutz und in zweiter Linie im Ressourcenschutz.

Mithilfe der Nanotechnologie lassen sich Beschichtungen für medizinische Geräte herstellen, die antimikrobiell wirken, kaum verschmutzen oder leicht zu reinigen sind und Korrosion bei der Sterilisation oder Desinfektion verhindern. Allein die Bauschäden, die durch anhaftende Mikroorganismen auf Fassadenoberflächen verursacht werden, liegen in Deutschland in einer geschätzten Größenordnung von jährlich ca. 2–4 Mrd. Euro (VDI 2006).

Antibakterielle (oder auch antimykotische) Holzbeschichtungen sind z.B. für Anwendungen in Feucht- und Innenbereichen von Arztpraxen, Wellness- und Gesundheitsbereichen, oder auch für Klimaanlage in antibakteriell wirksame Wärmetauscher geeignet.

600.000 Menschen erkranken jährlich an nosokomialen Infekten (Krankenhauseskeime) (hessen-nanotech NEWS 2/2006). „Weltweit stellen MRSA-Infektionen⁸ ein stark zunehmendes Problem in stationären Einrichtungen dar“, heißt es in einer aktuellen Empfehlung des Robert-Koch-Instituts (RKI). Die Katheter-assoziierte Veneninfektionen sind ein der häufigsten

⁸ MRSA (Abkürzung für Methicillin-resistenter Staphylococcus aureus) bezeichnet gegen bestimmte Antibiotika resistente Stämme.

nosokomialer Infektsursachen. Antimikrobiell beschichtete Katheder werden in Deutschland oder den USA angeboten. Im Handel sind in Deutschland Produkte, die außenseitig mit Chlorhexidin und Silber-Sulfadiazin beschichtet sind oder auch reine Silber-Katheder. Randomisierte klinische Studien haben gezeigt, dass solche funktionalisierten Katheder die Infektionsrate um knapp den Faktor 5 reduzieren können (SZ 2007).

Im Bereich der Lebensmittel könnten durch eine entsprechende Ausrüstung Konservierungsmittel – die im Verdacht stehen, Allergien auszulösen – reduziert werden. Bakterien stellen zudem die wichtigste Erkrankungsursache für Erkrankungen verursacht durch den Verzehr von Lebensmitteln (Bean, Griffin 1990).

Marktpotenzial Am Beispiel der Silber-Nanopartikel kann die Hebelwirkung der Nanotechnologie aufgezeigt werden: Nano-Ag im Wert von einigen 100.000 US\$ kommt in antimikrobiellen Wundverbänden im Wert von über 25 Mio US\$ zum Einsatz (Hessen Agentur 2006).

Ebenso wird von der absoluten Mehrheit der Experten (56 %) sowie der Experten mit großer Fachkenntnis (83 %) das Marktpotenzial der Anwendung A) als große (> 500 Mio. €) eingestuft. Für die Anwendung B) wird von der Mehrheit der Experten (47 %) ein mittleres Marktpotenzial (zwischen 50 und 500 Mio. €), von den Experten mit großem Fachwissen (44 %) jedoch mehrheitlich ein großes Marktpotenzial erwartet.

Technologiepotenzial Das Technologiepotenzial wird von den Meisten Experten – auch denen mit großer Fachkenntnis – als mittel eingestuft, d.h. die Lösung ist in einzelne andere Anwendungen übertragbar.

Realisierungszeitraum Der Realisierungszeitraum für die angedachten Anwendungen wird von den meisten Experten in den Jahren 2006 – 2010 gesehen (39 % aller Experten und 60 % der Experten mit großer Fachkenntnis bei der Anwendung A), 37 % aller Experten und 44 % der Experten mit großer Fachkenntnis bei der Anwendung B)). Immerhin 22 % der Experten mit großer Fachkenntnis glauben, dass die Anwendung B) erst nach 2020 realisierbar wäre, 7 % der Experten glauben, dass sie nie realisierbar ist.

7.1.3.6 Photokatalytische Sterilisation

Hintergrund Photokatalytische Beschichtungen sind – neben antimikrobiellen Ausrüstungen und „Easy-to-Clean“-Beschichtungen – ein technologischer Lösungsansatz einer aktiven Beschichtung zur Reduktion der Verschmutzung

von Oberflächen. Die Grundlage ist ein aktiver chemischer Prozess zum photokatalytischen Abbau von organischen Verunreinigungen. Das Prinzip beruht auf der Absorption von UV-Licht, der Zersetzung von Wasser zu OH-Radikalen bzw. der Bildung von H_2O_2 mit Luftsauerstoff und der Oxydation, d.h. Zersetzung von organischen Verunreinigungen durch OH- bzw. H_2O_2 .

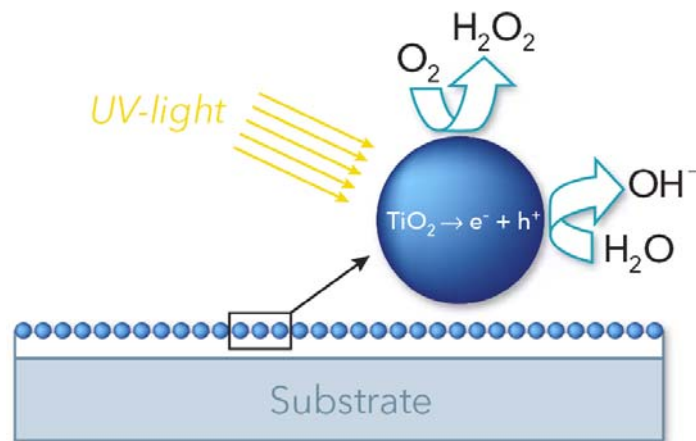


Abbildung 9: Photokatalytischer Effekt mit TiO_2 -Nanopartikel (Quelle NANO-X)

Problem	Verschmutzung von Oberflächen mit organischen Substanzen/ Mikroorganismen
Zielanwendung	Innenbeschichtungen für die keimfreie Verpackung von medizinischen Instrumenten und Medikamenten in Polyethylen- (PE) und Polypropylen- (PP), die es erlauben, die Zahl der Keime auf der Oberfläche mit Hilfe von UV Strahlung innerhalb weniger Sekunden um den Faktor 10^6 zu vermindern. (Mit UV-Bestrahlung ohne Hilfsbeschichtung erreicht man heute den Faktor 10^4).
Lösungsansätze mit Nanotechnologie	<p>Für photokatalytische Beschichtungen ist das <i>nanoskalige</i> TiO_2 das Mittel der Wahl. Sein Absorptionsmaximum liegt im UV-B Strahlungsbereich. Für die chemische Umsetzung wird UV-Licht, Feuchtigkeit und Sauerstoff benötigt, unterhalb einer relativen Luftfeuchtigkeit von 30% kommt der photokatalytische Abbau zum Stillstand.</p> <p>In Verbindung mit einer hydrophilen Beschichtung (wasserspreitender Effekt) ist sowohl für die ausreichende Feuchte als auch – bei entsprechender Neigung der Oberfläche – für das Abwaschen der organischen Partikel durch den abfließenden Wasserfilm gesorgt. Momentan sind weitere Entwicklungen im Gange, Materialien zu entwickeln, die im sichtbaren Bereich des Lichts photokatalytisch wirken. Solche Schichten erscheinen dann farbig, weil die absorbierten Wellenlängen in der reflektierten Strahlung fehlen.</p>

Die durch den photokatalytischen Effekt gebildeten Hydroxyl-Radikale (OH-Radikal) bzw. Wasserstoffperoxid haben eine oxidative und damit zersetzende Wirkung auf organische Moleküle. Diese werden in ihrer Struktur aufgebrochen und damit leicht abwaschbar. Auf viele Kleinstlebewesen wirkt H_2O_2 stark toxisch, weshalb es neben der organischen Material zersetzenden Wirkung auch eine selbstdesinfizierende Wirkung hat.

Erwartete Umwelteffekt

Die Umwelt- und Nachhaltigkeitseffekte werden von mehr als drei-viertel im Bereich des Gesundheitsschutz gesehen, indem die Verkeimung reduziert und damit die Infektionsgefahr verringert wird. Dies gilt prinzipiell für Flächen, Anlagen und Geräten, die einer großen Verkeimung aufgrund z.B. Publikumsverkehr ausgesetzt sind, für den Bereich der Wassersterilisation und -aufbereitung, z.B. im häuslichen Bereich (Grauwasser, Swimming-Pools), aber auch im Bereich der sterilen Verpackung und Sterilhaltung von medizinischen Geräten und Umverpackungen von Medikamenten oder Lebensmitteln. Einen weiteren positiver Umwelteffekt sehen rund drei-viertel in der Abfallvermeidung, indem Umverpackung besser steril gehalten werden kann oder z.B. durch geschickte Prozesssteuerung und Sterilisation ein Umverpacken eingespart werden kann.

Photokatalytische Beschichtungen sind überall dort interessant, wo die Verschmutzung von Oberflächen durch organisches Material reduziert werden soll – sei es aus funktionserhaltenden Gründen wie bei Solarzellen oder eher kosmetisch-werterhaltenden Gründen bei Fassaden o. ä. – oder wo die Reinigung von Wasser/ Flüssigkeiten oder Teil eines Prozessschrittes ist – z.B. bei der Wasserdesinfektion oder Sterilisation von Gegenständen.

Im Baubereich kommen beispielsweise photokatalytische Beschichtung auf Dachziegel, Fensterscheiben (Pilkington Activ™ mit einer hydrophilen TiO_2 -Aussenbeschichtung), Fassaden (StoPhotosan Color), Beton (Forschungsarbeiten u. a. von HeidelbergerZement, siehe Dehn 2002), Pflastersteinen (Franz Carl Nüdling Basaltwerke GmbH & Co.KG, Airclean von Steinwerk) oder Badfliesen (Hydrotect von Deutsche Steinzeug) zum Einsatz, die mit einer photokatalytischen Ausrüstung und damit weniger Verschmutzung/ Reinigungsaufwand werben.⁹

Gerade der Bereich der Wasserentkeimung und Biofilm-Reduktion ist auch aus Umweltschutzsicht ein äußerst interessantes Anwendungsgebiet (Fischedick/ Ellendeck 2004). Von 6 Milliarden Menschen haben circa 2 Milliarden keinen oder nur zeitweiligen Zugang zu sauberem Trinkwasser. Man schätzt, dass ungefähr 5 Mio. Todesfälle auf verunreinigtes Trinkwasser zurückzuführen sind (Kühn/ Erdinger/ Pompe 2004).

Für die Abwasser- und Luftreinigung bieten sich für das Titandioxid eben-

⁹ <http://www.bauzentrale.com/news/2005/1frame.htm?1878.php4>

falls Einsatzmöglichkeiten. So wurde der Abbau verschiedener halogener Kohlenwasserstoffe durch TiO_2 mit außergewöhnlich großer Quantenausbeute experimentell nachgewiesen (Sachtleben Hombikat UV100). Für die Wasserentkeimung von Schwimmbädern oder Swimmingpools wurde z.B. ein Verfahren mit Nanotechnologie entwickelt, welches mit Hilfe einer dünnen Beschichtung, die gleichmäßig über die Oberfläche des Schwimmbeckens verteilt ist und dem photokatalytischen Effekt Bakterien und Algen aller Art direkt an der Schwimmbeckenwand abgetötet und anhaftender Schmutz durch die photokatalytische Reaktion in seiner chemischen Struktur aufbricht. Der gebildete aktive Sauerstoff und die Hydroxylradikale sorgen zusätzlich für eine Entkeimung des Beckenwassers. Andere Forschungsarbeiten gehen beispielsweise ebenfalls in die Richtung, Wasserbehälter so auszurüsten, dass auch unter erschwerten Bedingungen, z.B. bei fehlender zentraler Wasserversorgung in Drittweltländern oder in Krisenzeiten bei Einzelversorgung, die Biofilm- und Mikroorganismenbildung im wasserführenden System verhindert und sauberes Trinkwasser bereitgestellt werden kann (Kühn/ Erdinger/ Pompe 2004). Hierzu wurden Versuche mit lichtdurchlässigen Wasserbältern durchgeführt, die innen mittels Sol-Gel-Prozess mit photokatalytisch aktivem Titandioxid (TiO_2) beschichtet wurden. Erste Tests zeigten, dass $> 10^4$ KBE/ml E. coli innerhalb von 30 min abgetötet wurden und der Aufwuchs von Biofilm deutlich verlangsamt, jedoch nicht ganz unterbunden werden konnte.

Ein weiteres interessantes Einsatzgebiet für photokatalytisch aktive Beschichtungen stellt die Wasserreinigung von Grauwasser dar. So wird das biologisch gereinigte Wasser oftmals aus Sicherheitsgründen in einer UV-Entkeimungsanlage hygienisiert.

Marktpotenzial	Die Hälfte der Experten mit Fachwissen bewertet das Marktpotenzial als „hoch“ ein, knapp ein-drittel aller Experten sieht dies genauso. Mehr als 40 % sehen eine „mittleres“ Marktpotenzial. Dies mag mit daran liegen, dass es im Bereich der Ausrüstung steriler bzw. keimarmer Oberflächen eine Vielzahl an technologischen Lösungsmöglichkeiten gibt (vgl. Kapitel 7.1.3.5), bspw. Nano-Silberpartikel, ZnO-Partikel oder Konservierungstoffe, die eher Mittel der Wahl hierfür sind. Jedoch scheint die photokatalytische Ausrüstung dort bspw. eine interessante Ergänzung bzw. Leistungsverbesserung (hier um den Faktor 100 gewünscht) zu sein, wo bereits mit UV-Licht entkeimt wird.
Technologiepotenzial	Eine ähnliche Verteilung wie beim Marktpotenzial kann beim Technologiepotenzial beobachtet werden, das mehrheitlich „mittel“ bis „hoch“ eingestuft wird, wobei die Experten mit Fachwissen dies Technologiepotenzial höher bewerten.
Realisierungs-	Nach Einschätzung der meisten Experten liegt der Realisierungszeitraum für

zeitraum die geplante Anwendung im Bereich 2006-2010 (46 %) bzw. 2211-2015 (36 %) (bei den Experten mit Fachwissen sehen jeweils rund 40 % den Realisierungszeitraum zwischen 2006-2010 oder 2211-2015).

7.1.3.7 Selbstheilende superhydrophobe Beschichtung

Hintergrund Ein Flüssigkeitstropfen auf einem festen Substrat bildet ein Dreiphasensystem: die feste Phase des Untergrunds, die flüssige Phase des Tropfens und die gasförmige Phase der Umgebung. Die geometrische Form des Tropfens wird von den an den Phasengrenzen wirkenden Oberflächenkräften bestimmt.

Der sich zwischen der festen und flüssigen Phase einstellende Kontaktwinkel α wird als Maß für das Benetzungsverhalten der Flüssigkeit auf der Oberfläche verwendet (Abbildung 10). Gute Benetzung durch Wasser wird als Hydrophilie, schlechte Benetzung wird als Hydrophobie bezeichnet. Bei Kontaktwinkeln über 150° spricht man von Superhydrophobie. Auf hydrophoben Oberflächen bricht ein aufgebracht Wasserfilm auf und zieht sich durch die Oberflächenspannung zu einzelnen Tropfen zusammen und nimmt dabei im Wasser gelöste Stoffe mit, wie bspw. Kalk. Dies erleichtert die Reinigung, man spricht deshalb von Easy-to-clean Oberflächen.

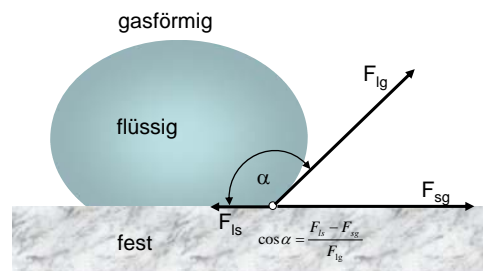


Abbildung 10: Benetzungsverhalten eines Tropfens auf einem festem Substrat

Superhydrophobe Oberflächen haben für die technische Nutzung interessante Eigenschaften. Rollt ein Wassertropfen über eine superhydrophobe Oberfläche nimmt er erwartungsgemäß hydrophile Schmutzpartikel, bspw. Lehm, auf und hält diese im Inneren fest. Überraschender Weise tritt der Reinigungseffekt auch bei hydrophobem Schmutz auf. Solche Partikel können zwar nicht in das Innere des Tropfens gelangen, sie werden jedoch an seiner Oberfläche festgehalten und rollen mit diesem ab. Es kommt zu einer Selbstreinigung der Oberfläche. Dies lässt die Vision von Fenstern, Fassaden, Dächern usw. aufkommen, die nie mehr oder zumindest nur selten

aktiv gereinigt werden müssen.

Superhydrophobe Oberflächen, die zur Vermeidung von Verschmutzungen ausgebildet wurden, lassen sich in der Natur beobachten. Das bekannteste Beispiel ist die Lotusblume, *Nelumbo nucifera* (Asien) und *Nelumbo lutea* (Amerika), aber auch andere Pflanzen, bspw. Kapuzinerkresse und Kohl.

Die Blattoberfläche der Lotusblume weist eine doppelt strukturierte Morphologie auf. Sie ist mit mikrofinen 5 - 10 μm hohen Noppen übersät, die selbst eine nanoskalige Struktur tragen (Abbildung 11). Ausgebildet wird die Nanostruktur durch Waxeskristalle, die aus dem Blattinneren an die Oberfläche diffundieren und sich bei einer (begrenzten) Beschädigung neu ausbilden.

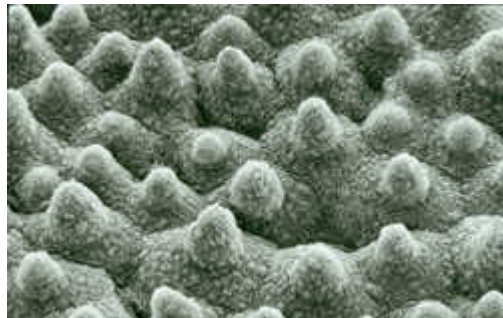


Abbildung 11: Doppelt strukturierte Oberfläche der Lotusblume (Quelle Nees-Institut, Bonn)

Problem	Verschmutzung von Oberflächen durch sogenannte „Wasserränder“, feuchte Stellen auf Oberflächen durch Nichtablaufen des Wassers
Zielanwendung	<p>Superhydrophobe Glasbeschichtungen, die ihre Funktion über 10 Jahre behalten und sich bei Beschädigungen durch mechanische oder chemische Reinigungsvorgänge neu bilden.</p> <p>Superhydrophobe Beschichtungen für Chrom mit den gleichen Eigenschaften.</p> <p>Superhydrophobe Innenbeschichtungen von Rohren und Behältern aus Edelstahl in industriellen Abfüllanlagen für Kosmetika und Medikamente mit den genannten Eigenschaften. Die Beschichtung soll den Reinigungsaufwand bei einem Wechsel des Abfüllmediums erheblich vereinfachen.</p> <p>Superhydrophobe Beschichtung von Kabinen und Werkstückträgern beim Spritzlackieren, welche die Haftung des Lackoversprays verhindert und den Reinigungsaufwand erheblich vermindern.</p>
Lösungsansätze mit Nanotechno-	Die technische Nachahmung der Hydrophobie der Lotuspflanze zur Selbstreinigung von Oberflächen wird als Lotuseffekt bezeichnet und ist die

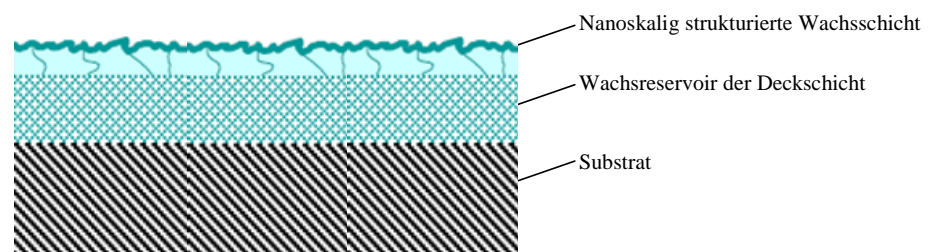
logie

wahrscheinlich bekannteste Leistung, welche die Bionik hervorgebracht hat. Sie gelingt durch Strukturierung der Oberfläche, die Aufbringung von Oberflächenschichten mit nanoskaligen hydrophoben Funktionsträgern und durch eine Kombination von beiden. Durch geeignete Funktionsträger in Schichtsystemen gelingt es auch, die Benetzung durch unpolare Stoffe wie Öle und Fette herabzusetzen, die Oberfläche oleophob auszurüsten. Ist die Oberfläche sowohl hydrophob als auch oleophob wird diese auch als ultraphob bezeichnet.

Allerdings hat die technische Nachahmung des Lotuseffekts das Problem, dass sich diese nicht regeneriert, wenn die mechanisch empfindliche Oberflächenstrukturierung zerstört wird. Die langanhaltende Funktionalität ist somit nicht gewährleistet.

Ein interessanter Ansatz, die sich allerdings noch in einem frühen Entwicklungsstadium befindet, ist die hier so genannte "Wachsreservoirtechnik". Sie versucht die Hydrophobisierungstechnik der Lotusblume konsequent technisch nachzubilden. Dazu wird in eine poröse Deckschicht, bspw. einem Polyurethanlack, ein geeignetes Wachs eingebettet, das durch gezielt eingestellte Poren der Deckschicht an die Oberfläche diffundieren kann, um dort eine nanoskalige Struktur wie auf der Lotusblume auszubilden (Abbildung 12). Bei einer Beschädigung der Wachsschicht diffundiert aus dem Reservoir der Deckschicht Wachs an die Oberfläche und regeneriert die nanoskalige Struktur.

Damit würde es möglich, selbstheilende superhydrophobe Oberflächen herzustellen. Theoretische Abschätzungen zeigen, dass es gelingen kann, ein ausreichendes Wachsreservoir bereitzustellen, um den Selbstheilungseffekt über 20 Jahre aufrecht zu erhalten. Ein ähnliches Langzeitverhalten wird bspw. für Autolacke gefordert. Die Herausforderung und das Know-how liegen in der Entwicklung eines geeigneten Wachses. Ihr erfolgreicher Abschluss und ihre Umsetzung in ein marktfähiges Produkt würde ein riesiges Anwendungspotential erschließen.



Quelle nach Fraunhofer IST; SuNyx

Abbildung 12: Selbstregenerierende hydrophobe Beschichtung (Quelle Fraunhofer IST und SuNyx)

Erwartete Umwelteffekt

Die umweltschonenden Effekte selbstreinigender Beschichtungen liegen auf der Hand. Weniger Reinigungszyklen schonen den Lack und verlängern seine Haltbarkeit. Die Verlängerung der Nutzungsdauer von Produkten verringert den Ressourcenverbrauch. Weniger Reinigungszyklen vermindern den Verbrauch von Wasser und Tensiden. Schließlich senken längere Reinigungsintervalle den Schmutzwasseranfall, der über die Kanalisation an die Kläranlagen abgegeben wird und den Eintrag von Schadstoffen, bspw. Tenside, aus der Kläranlage in die Vorfluter. Es kommt dadurch zu einer Minderung der Emissionen von Schadstoffen in die Gewässer

Tenside sind die zentrale Wirkstoffgruppe in Waschmitteln und wässrigen Reinigungsmitteln. Dabei handelt es sich um grenzflächenaktive Stoffe, die einen hydrophoben und einen hydrophilen Molekülteil tragen. Diese Struktur versetzt sie in der Lage, die Oberflächenspannung des Wassers herabzusetzen, die Haftung von öl- und fetthaltigen Verschmutzungen auf Oberflächen und Fasern zu unterwandern, den Schmutz abzulösen und seine Wiederablagerung zu verhindern, indem er in der wässrigen Lösung getragen wird (Schmutztragevermögen). In Westeuropa werden jährlich 2,9 Mio. t Tenside hergestellt (CESIO 2006).

Aufgrund ihrer Fähigkeit, die Oberflächenspannung von Wasser herabzusetzen sind Tenside für Fische und andere Wasserlebewesen in höherer Konzentration toxisch. Ihre Konzentration in den Oberflächengewässern wird durch die Forderung nach einem raschen biologischen Abbaus begrenzt. Beim Abbau dürfen keine kritischen Metaboliten entstehen. Die heute als Tenside genutzten Stoffe erfüllen mit einer Endabbaubarkeit von über 90 % diese Anforderungen. Schaumberge auf Flüssen gehören damit der Vergangenheit an. Beim Menschen können Tenside bei ständigen Kontakt Hautirritationen auslösen und die für Wasch- und Reinigungsmittel genutzten anionischen, kationischen und nichtionischen Tenside sind augenreizend. Sie sind deshalb in der EU Stoffrichtlinie 67/548/EWG als Gefahrstoffe eingestuft.

In Deutschland werden jährlich etwa 150.000 t Tenside für die Herstellung von Wasch- und Reinigungsmittel eingesetzt (IKW 2004). Davon dürften grob 6 % (9.000 t/a) für Autopflegemittel und 18 % (27.000 t/a) für Haushaltsreiniger, ein großer Teil davon Glasreiniger, verbraucht werden (Tabelle 4).

Tabelle 4: Wasch- und Reinigungsmittelmarkt in Deutschland 2006 (IKW 2006)

	Mio. €	%
Universalwaschmittel	975	26,0
Spezialwaschmittel	200	5,3
Waschhilfsmittel (Weichspüler, Waschzusätze etc.)	592	15,8
Geschirrspülmittel	548	14,6
Haushaltsreinigungsmittel	665	17,7
Wohnraumpflegemittel	137	3,7
Lederpflegemittel	68	1,8
Autopflegemittel	212	5,6
Spezialreinigungs- und -pflegemittel	355	9,5
	3.752	100

Geht man davon aus, dass sich durch die selbstreinigende superhydrophobe Beschichtung die Zahl der Reinigungsvorgänge in diesen beiden Anwendungen halbieren ließe, dann würde sich auch die verbrauchte Menge an Reinigungsmittel halbieren. Dies reduziert den Tensidverbrauch für die Autowäsche um 4.500 t und für Haushaltsreiniger um 13.500 t jährlich. Insgesamt würde dadurch in Deutschland der Eintrag von 18.000 t/a Tensiden in die Umwelt vermieden. Ein beachtliches Potential, das auf Europa hochgerechnet auf 90.000 t/a anwächst.

Neben dem abgeschätzten vermiedenen Tensideintrag lassen sich je nach Anwendung zahlreiche weitere Umwelt und Ressourcen schonende Effekte finden. So ist zu vermuten, dass die selbstreinigende Ausrüstung der Oberfläche von photovoltaischen Solarzellen die Stromausbeute steigern würde. Abfüllanlagen für Kosmetika werden vor dem Wechsel des Abfüllmediums, bspw. von Nagellack zu Shampoo, mit aggressiven Reinigern, Sattedampf mit 100°C und mit Wasserspritzverfahren gesäubert. Verbrauchte Reiniger werden aufgefangen und als Sonderabfall entsorgt, was wie die Dampferzeugung mit Energieeinsatz und Emissionen verbunden ist. Beim Spritzlackieren werden zum Entfernen des anhaftenden Oversprays auf Spritzkabinenbauteilen oder Werkstückträgern Wasserspritzverfahren auf einem Druckniveau von 2000 bar, thermische Abbrennverfahren und chemische Entlackungsverfahren eingesetzt. Bei allen Verfahren sind verbrauchte und verschmutzte Hilfsmittel zu entsorgen und es entstehen Emissionen.

Schon diese wenigen Beispiele vermitteln eine Vision über das Potential selbstreinigender Oberflächen für den Umweltschutz. Die Kombination der Superhydrophobie mit weiteren Funktionalitäten, bspw. dem photokatalytischen Abbau organischer Verschmutzungen oder einer antimikrobiellen

Ausrüstung, könnte den ökologischen Nutzen solcher Oberflächen weiter steigern.

Marktpotenzial 39 % aller Experten und 50 % der Experten mit großer Fachkenntnis sehen für selbstheilende superhydrophobe Glasbeschichtungen ein großes Marktpotenzial, das heißt für so funktionalisierte Produkte liegt der weltweite Umsatz über 500 Mio. €. Knapp 40 % der Experten sehen ein mittleres Marktpotenzial.

Die Übertragbarkeit der Lösung für Glasflächen auf andere Anwendungen wird von knapp 40 % als groß, vom Rest als mittel eingeschätzt. Letztes scheint angesichts der Fülle von Anwendungsfeldern eher vorsichtig beurteilt. Zu diesem Ergebnis kommt auch die Studie "Forschungsagenda Oberfläche" der Deutschen Forschungsgesellschaft für Oberflächenbehandlung (DFO). Danach stehen bei den befragten Unternehmen und Forschungseinrichtungen selbstreinigende Oberflächeneigenschaften an erster Stelle der Entwicklungsziele (DFO 2006 S 86)

Technologiepotenzial Etwa 60 % der im vorliegenden Projekt Befragten verstehen eine erfolgreich entwickelte selbstreinigende und selbstheilende Lösung als Technologieträger, deren Beherrschung die Oberflächentechnik insgesamt voran bringt. Eine nahe liegende Übertragung mit einem riesigen wirtschaftlichen Potential sind Autolacke. Mit Autolacken werden in Deutschland nach recht unscharfen Angaben 50 – 250 Mio. € jährlich umgesetzt (VDI 2004). Nach einer anderen Quelle gehen in Deutschland jährlich 86.000 t Lack in die Autoserienlackierung und 29.000 t in die Autoreparaturlackierung (DFO 2006). Damit liegt der Umsatz mit Autolacken allein für die Serienlackierung über der Obergrenze der zuvor angegebenen Spanne. Generell sind die meisten Außenanwendungen, die regelmäßig von Regen getroffen werden, der für den Selbstreinigungseffekt benötigt wird, potentielle Anwendungsfelder. Darunter Atrien, Wintergärten, Fenster, Fassaden, Dächer und Photovoltaikanlagen. Wo Regen nicht hinkommt könnte durch sanftes abspritzen mit reinem Wasser der Reinigungseffekt ausgelöst werden.

Für die Anwendung auf Fensterglas ist eine hohe Transparenz sowohl der das Wachsreservoir tragenden Deckschicht als auch der nanoskaligen Wachsschicht unerlässlich. Bei der Anwendung als Decklack, bspw. für Automobile, kann der Decklack die farbgebende Schicht sein, die nanoskalige Wachsschicht darf dann deren Brillanz nicht wesentlich beeinflussen.

Wie eingangs beschrieben, wird die Superhydrophobie des Vorbilds Lotusblume durch eine doppelt strukturierte Oberfläche erreicht. Für die technische Nachbildung bspw. bei Autolacken heißt dies, die mikroskalige Noppenstruktur der Decklackoberfläche muss dauerhaft erhalten bleiben und den Witterungseinflüssen und der mechanischen Beanspruchung bei aktiven Reinigungsvorgängen standhalten. Dies wird dauerhaft nur zu gewähr-

leisten sein, wenn die Deckschicht als weitere Funktionalität hohe Kratzfestigkeit aufweist. Auch das Wachs selbst, das die eigentliche Grenzschicht zur Umgebung bildet, muss eine gewisse Beständigkeit gegen äußere Einflüsse aufweisen, bspw. gegen sauren Regen und Tenside, um den Regenerationsmechanismus nicht zu überfordern.

Die hohen Anforderungen untermauern die Einschätzung der Experten, dass die Realisierung einer dauerhaften selbstheilenden superhydrophoben Beschichtung auf erhebliche technologische Herausforderungen stößt.

Realisierungszeitraum

Die Realisierbarkeit der Wachsreservoirtechnik wurden von den befragten Nanotechnik Experten von allen Anwendungen am pessimistischsten eingeschätzt. 13 % aller Experten und 29 % der Experten mit hoher Fachkenntnis gaben an, dass solche Beschichtungen auf Chrom, Edelstahl und als Antihafmittel für Lackoverspray nicht realisierbar seien. Am ehesten wird noch die Realisierung auf Glas gesehen. Fast 80 % aller Experten und alle Experten mit hoher Fachkenntnis halten hier einen erfolgreichen Abschluss der Entwicklung bis 2015 für möglich.

7.1.3.8

Korrosionsschutz

Hintergrund

Der Korrosionsschutz von Metallen ist von immenser wirtschaftlicher Bedeutung für die Volkswirtschaft. Effektiver Korrosionsschutz erhält die Gebrauchstauglichkeit von Gütern und verhindert den Wertverlust vor dem Ablauf ihrer Nutzungsdauer, beispielsweise von Autos und anderen Fahrzeugen, Maschinen, Geräten und Brücken. Die mengenmäßig wichtigste Korrosionsschutztechnik ist die Lackierung. Dabei kommt dem Lack oft auch die Funktion zu, das optische Erscheinungsbild des Produkts zu verbessern. Besonders ausgeprägt ist diese Doppelfunktion bei Automobilen. Gerade bei diesem Produkt werden höchste Anforderungen an die Optik der Lackierung gestellt.

Eine dauerhafte, Wert erhaltende Metalllackierung ist technisch nur durch eine Vorbehandlung der Metalloberfläche realisierbar. Sie erfolgt in mehreren Schritten. Zunächst wird die Oberfläche von Ziehölen, Kühlschmiermittelresten, Korrosionsschutzölen oder andern Fett-, Öl- und Schmutzresten gereinigt. Darauf wird eine sogenannte Konversionschicht aufgebracht. Ihre Aufgabe ist es, eine gute Haftung des Lacks mit dem metallischen Untergrund herzustellen und eine Unterrostung des Decklacks zu verhindern. Auf die so vorbehandelte Metalloberfläche wird das Decklacksystem aufgetragen, das selbst aus mehreren Schichten bestehen kann, beispielsweise dem Elektrotauchlack, dem Füllerlack, dem farbgebenden Lack und dem

äußeren Klarlack.

Für den Korrosionsschutz und die Dauerhaftigkeit der Lackierung kommt der Konversionsschicht höchste Bedeutung zu. Das konventionelle Standardverfahren ihrer Herstellung ist die Phosphatierung. Dabei kommt die Eisenphosphatierung und für hohe Ansprüche an den Korrosionsschutz, beispielsweise im Automobilbau, die Zinkphosphatierung zum Einsatz. Durch eine chemische Beizreaktion mit Phosphorsäure wird eine Phosphatschicht aufgebaut, welche die metallische Oberfläche vollständig bedeckt und mit dieser innig verzahnt ist. Die nicht in die Phosphatschicht aufgenommenen Reaktionsprodukte bilden einen schwermetallhaltigen Schlamm, der abgezogen und entsorgt wird. Die Qualität der Phosphatschicht kann durch eine anschließende Passivierung verbessert werden. Nach dem Spülen der passivierten Phosphatschicht mit vollentsalztem Wasser und der Trocknung im Ofen bei 110°C ist die vorbehandelte Metalloberfläche bereit für die Aufbringung des Decklacksystems.

Der Korrosionsschutz von Metallen ist von immenser wirtschaftlicher Bedeutung für die Volkswirtschaft. Effektiver Korrosionsschutz erhält die Gebrauchstauglichkeit von Gütern und verhindert den Wertverlust vor dem Ablauf ihrer Nutzungsdauer, beispielsweise von Autos und anderen Fahrzeugen, Maschinen, Geräten und Brücken. Die mengenmäßig wichtigste Korrosionsschutztechnik ist die Lackierung. Dabei kommt dem Lack oft auch die Funktion zu, das optische Erscheinungsbild des Produkts zu verbessern. Besonders ausgeprägt ist diese Doppelfunktion bei Automobilen. Gerade bei diesem Produkt werden höchste Anforderungen an die Optik der Lackierung gestellt.

Eine dauerhafte, Wert erhaltende Metalllackierung ist technisch nur durch eine Vorbehandlung der Metalloberfläche realisierbar. Sie erfolgt in mehreren Schritten. Zunächst wird die Oberfläche von Ziehölen, Kühlschmiermittelresten, Korrosionsschutzölen oder andern Fett-, Öl- und Schmutzresten gereinigt. Darauf wird eine sogenannte Konversionsschicht aufgebracht. Ihre Aufgabe ist es, eine gute Haftung des Lacks mit dem metallischen Untergrund herzustellen und eine Unterrostung des Decklacks zu verhindern. Auf die so vorbehandelte Metalloberfläche wird das Decklacksystem aufgetragen, das selbst aus mehreren Schichten bestehen kann, beispielsweise dem Elektrotauchlack, dem Füllerlack, dem farbgebenden Lack und dem äußeren Klarlack.

Für den Korrosionsschutz und die Dauerhaftigkeit der Lackierung kommt der Konversionsschicht höchste Bedeutung zu. Das konventionelle Standardverfahren ihrer Herstellung für eisenhaltige Materialien ist die Phosphatierung. Dabei kommt die Eisenphosphatierung mit Schichtdicken von 0,2 – 0,7 µm und für hohe Ansprüche an den Korrosionsschutz, beispielsweise

im Automobilbau, die Zinkphosphatierung zum Einsatz, mit der Konversionsschichten über 2 µm ausgebildet werden. Durch eine chemische Beizreaktion mit Phosphorsäure wird eine Phosphatschicht aufgebaut, welche die metallische Oberfläche vollständig bedeckt und mit dieser innig verzahnt ist. Die nicht in die Phosphatschicht aufgenommenen Reaktionsprodukte bilden einen schwermetallhaltigen Schlamm, der abgezogen und entsorgt wird. Die Qualität der Phosphatschicht kann durch eine anschließende Passivierung verbessert werden. Nach dem Spülen der passivierten Phosphatschicht mit voll entsalztem Wasser und der Trocknung im Ofen bei 110 °C ist die vorbehandelte Metalloberfläche bereit für die Aufbringung des Decklacksystems.

Problem	Korrosionsschutz und Konversionsschicht, bisherige Verfahren verursachen deutliche negative Umwelteffekte
Zielanwendung	(Allg.) Korrosionsschutz und Konversionsschicht für die Vorbehandlung von Metalloberflächen vor der Lackierung und als Schutz gegen Korrosion
Lösungsansätze mit Nanotechnologie	<p>Als Alternative zur konventionellen Phosphatierung hat die Henkel KGaA Ende 2003 eine nanokeramische Konversionsbeschichtung auf den amerikanischen Markt gebracht, die in der Zwischenzeit auch in Europa unter dem Namen „Bonderite NT“ vertrieben wird. Bonderite NT wird durch konventionelle Tauch- oder Spritzverfahren appliziert. Weltweit wurde diese Technologie nach Angaben des Unternehmens Mitte 2006 in 100 Anlagen genutzt, 50 davon in Europa (Schönherr 2006). Die Beschichtung besteht aus titan- und zirkonhaltigen Metalloxiden und komplexen Fluoriden. Die genaue Zusammensetzung wird als Betriebsgeheimnis nicht kommuniziert. Die keramische Beschichtung ist vollkommen frei von kritischen Schwermetallen wie Chrom und Nickel und enthält keine eutrophierenden Phosphorverbindungen und keine Sauerstoff zehrenden organischen Stoffe (CSB).</p> <p>Mit Bonderite NT wird im Tauch- oder Spritzverfahren eine 20 - 30 nm dünne nanokeramische Konversionsschicht aufgebaut. Eine anschließende Passivierung entfällt, wodurch sich kürzere Taktzeiten und damit ein höherer Anlagendurchsatz realisieren lassen. Das nonokeramische Produkt kann auf konventionellen Phosphatierungsanlagen eingesetzt werden. Die Anlagensteuerung ist den geänderten Verfahrensparameter anzupassen. Die Badtemperatur wird gegenüber der konventionellen Phosphatierung von 40 – 60°C auf 30°C abgesenkt. Nach Angaben von Henkel übertreffen der Korrosionsschutz und die Lackhaftung die mit der Eisenphosphatierung erreichbaren Werte. Sie erreicht allerdings (noch) nicht die Qualität der Zinkphosphatierung, wie sie beispielsweise im Automobilbau gefordert wird, und die wesentlich höhere Schichtdicken ausgebildet. Die Vorbehandlungstechnologie wurde für kalt gewalzten Stahl, galvanisierten Stahl, Zink, Aluminium und Magnesium erprobt. Bisher nicht jedoch für andere</p>

Metalle, wie bspw. Kupfer und Messing (Henkel 2006). Die Vorbehandlungstechnologie ist für die Nass- und Pulverlackierung geeignet.

Abbildung 13 zeigt Aufnahmen der Feinstruktur der Konversionsschicht von Bonderite NT und der Eisenphosphatierung im Rasterkraftmikroskop (AFM¹⁰). Die feinere Struktur der Bonderite NT Schicht führt nach Angaben des Herstellers zu einer besseren Lackhaftung. Die Abbildung 14 gibt die Prozessführung der beiden konkurrierenden Verfahren wieder.

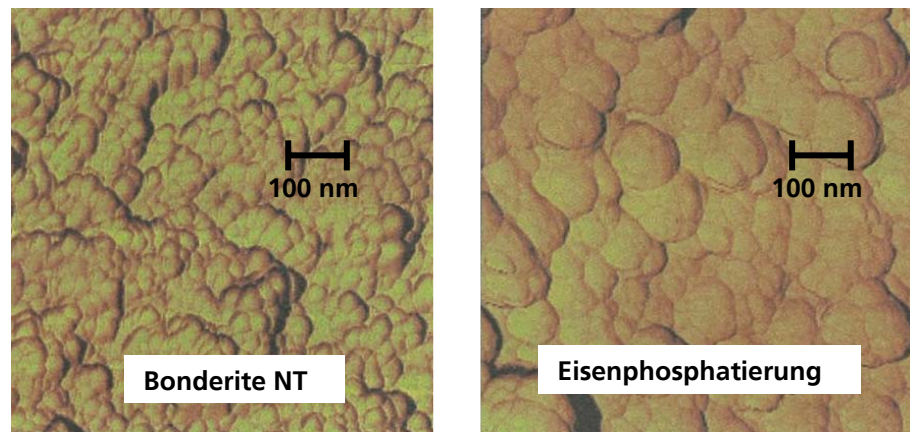


Abbildung 13: AFM Aufnahme der Konversionsschichten von Bonderite NT und der Eisenphosphatierung (Henkel 2005)

Erwartete Umwelteffekt

Die nanokeramische Konversionsbeschichtung ist ein Paradebeispiel für die umweltschonende Verbesserung von Prozessen durch die Nanotechnik. Die Beiträge der neuen Beschichtungstechnologie zur Nachhaltigkeit und zum Umweltschutz sind vielfältig und signifikant. Dies beginnt bei der Material- und Rohstoffeinsparung. Während die Eisenphosphatierung einen Materialverbrauch von 300 – 800 mg/m² und die Zinkphosphatierung über 2.000 mg/m² aufweist (Volk 2004), kommt die nanokeramische Beschichtung mit 50 – 200 mg/m² aus. Dies bei gleicher oder sogar verbesserter Qualität einer Eisenphosphatierung. Der Einsparung von Rohstoffen kommt angesichts steigender Rohstoffpreise und der mit ihrer Ausbeutung und Verarbeitung verbundenen Umweltlasten große Bedeutung zu. Die rasch wachsende Weltwirtschaft, die gegenwärtig insbesondere von China, künftig aber mehr und mehr auch von anderen BRICS Ländern getragen werden dürfte, wird die Rohstoffnachfrage weiter steigern.

Der zentrale umwelttechnische Vorteil liegt jedoch in der Vermeidung von kritischen Schwermetallen. Die Bonderite NT Beschichtung ist frei von Chrom und Nickel, die sich bei der konventionellen Phosphatierung im Bad und den zu entsorgenden Schlämmen finden. Insbesondere Chrom(VI)

¹⁰ Atomic Force Micrograph

Verbindungen sind kritisch, weil sie äußerst toxisch, mutagen und kanzerogen wirken. Das Chrom(VI)-Oxid CrO₃, das teilweise zum Passivieren bei der Zinkphosphatierung eingesetzt wird (Volk 2004), ist von der DFG als krebserzeugender Arbeitsstoff der Kategorie 2 eingestuft. Nickelmetall und Nickelverbindungen finden sich sogar in Kategorie 1 der krebserzeugenden Arbeitsstoffe, das heißt sie lösen beim Menschen nachweislich Krebs aus (DFG 2006).

Phosphatieranlagen werden vom Anhang 40, Metallbearbeitung, Metallverarbeitung, der Abwasserverordnung erfasst. Sie fordert folgende Grenzwerte für die hier relevanten Inhaltsstoffe

im Ablauf der Phosphatierungsanlage:

Nickel.....	0,5 mg/l
Chrom gesamt	0,5 mg/l
Chrom(VI)	0,1 mg/l

und an der Einleitungsstelle in das Gewässer

Phosphor gesamt	2 mg/l
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	300 mg/l

Über den Wasserpfad werden in Deutschland aus anthropogenen Quellen jährlich jeweils 290 t Chrom und Nickel in die Oberflächengewässer und damit in die Umwelt eingetragen (Böhm 2001). Es ist unbekannt, welche Menge davon aus Phosphatierungsanlagen stammt. Nanokeramische Konversionsbeschichtungsanlagen verursachen keine Einträge von Nickel, Chrom, Phosphor und organischen Stoffen (CSB).

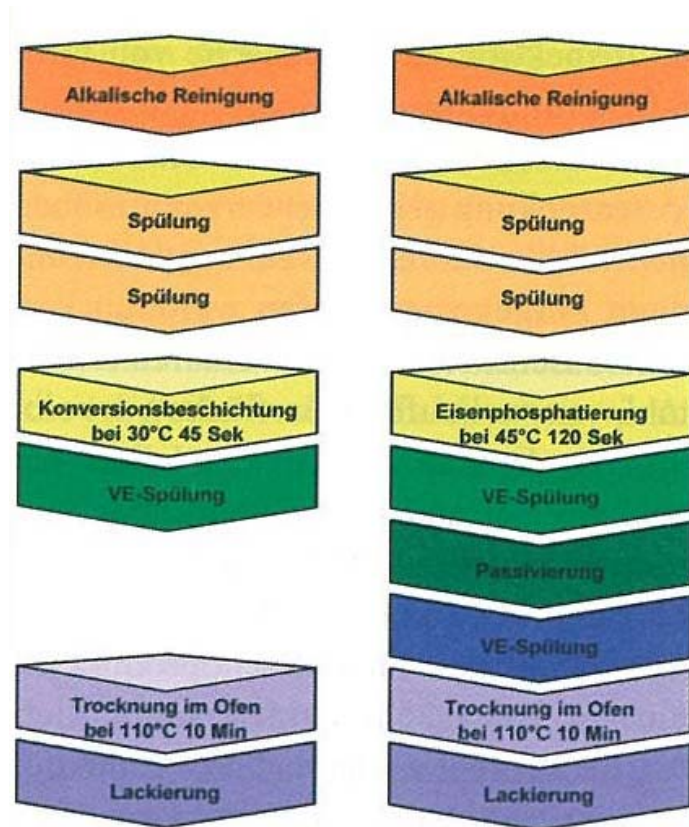


Abbildung 14: Prozessführung zur Erzeugung einer Konversionsbeschichtung bei Raumtemperatur (links Bonderite NT, rechts konventionelles Verfahren) (Henkel 2005)

Nicht nur mit dem Abwasser werden Schwermetalle aus den Phosphatierungsanlagen ausgetragen, sie finden sich auch im entsorgten Schlamm der Bäder. Nach einer Untersuchung des Landesumweltamts Nordrhein-Westfalen dürften in Deutschland jährlich etwa 8.500 t Schlamm aus Phosphatierungsanlagen anfallen, in dem 68 t/a Nickel und 1,2 t/a Chrom enthalten sind. Nach der gleichen Quelle werden davon 12,5 % einer stofflichen Verwertung zugeführt, der Rest wird deponiert, zum Teil nach einer chemisch-physikalischen Vorbehandlung (LUA NRW 2004). Mit den nicht verwerteten Phosphatierungsschlämmen werden knapp 60 t Nickel und gut 1 t Chrom Jahr für Jahr in die Umwelt eingetragen.

Nach Umstellung auf die nanokeramische Konversionsbeschichtung entfallen diese Einträge. Zugleich ist die anfallende und zu entsorgende Schlammmenge deutlich geringer. Durch die Absenkung der Badtemperatur auf Raumtemperatur entfällt der Energieaufwand für die Badheizung.

Aus umwelttechnischer Sicht ist die Umstellung auf die nanoskalige Kon-

versionsbeschichtung, dort wo dies die Qualitätsanforderungen an den Korrosionsschutz erlauben, wünschenswert. Nach den Angaben des Anbieters ist mit der Einführung der Technologie eine Rationalisierung und Kostensenkung verbunden, eine Umstellung also zugleich betriebswirtschaftlich interessant. Es wäre zu prüfen, ob es sich bei der nanoskaligen Konversionsbeschichtung im Sinne der IPPC um die Best Available Technologie (BAT) für Konversionsbeschichtungen mit Qualitätsanforderungen handelt, die mit einer Eisenphosphatierung erfüllbar sind.

Marktpotenzial

Die höheren Chemikalienkosten des nanokeramischen Produkts Bonderite NT gegenüber einem Eisenphosphatprodukt werden durch Einsparungen bei der Badheizung, bei der Reinigung und Wartung, der Schlamm Entsorgung und den Kosten für die Abwasserbehandlung kompensiert. Nach Angaben von Henkel sind die Prozesskosten der nanokeramischen Konversionsbeschichtung um 10 % günstiger als die Eisenphosphatierung. In einem konkreten betrieblichen Beispiel summierten sich die eingesparten Betriebskosten bei der Umstellung einer 5-Zonen-Eisenphosphatierung mit einer Kapazität von 8 Mio. m² pro Jahr auf 35.000 € jährlich (Henkel 2006). Wie zuvor schon erwähnt, können bestehende Anlagen zur Eisenphosphatierung weiter verwendet werden, so dass sich die Investitionskosten der Umrüstung gering sind.

Da die Qualität der Konversionsbeschichtung für den Massenmarkt der Automobilserienlackierung noch nicht ausreicht, zielt die Technologie zunächst auf andere Massenmärkte, beispielsweise große Haushaltsgeräte, elektrische und elektronische Geräte, Büromöbel und Landmaschinen.

Henkel geht davon aus, dass es durch die Weiterentwicklung der nanokeramischen Konversionsbeschichtung gelingen wird, mit der Technologie die Qualität der Zinkphosphatierung zu erreichen. Damit würde das gesamte Marktpotential der Phosphatierung erschlossen, das von Experten weltweit auf 500 Mio. € geschätzt wird (Heitbaum 2002).

Realisierungszeitraum

Die Korrosionsschutzschicht Bonderite NT wird bereits von einigen Unternehmen eingesetzt.

7.2

Kurzstudie zu den Farbstoff- und organischen Solarzellen

Beide Solarzellentypen – die Farbstoffsolarzelle und die organische Solarzellen – unterscheiden sich in ganz wesentlichen Punkten von konventionellen Silizium-Solarzellen, aber auch von den verschiedenen anorganischen Halbleiterdünnschicht-Solarzellen.

Die hierdurch bedingten besonderen Eigenschaften erfordern angepasste Herstellungsverfahren, kennzeichnen aber auch die herausragenden Chancen und Möglichkeiten dieser innovativen Solarzellenkonzepte mit Nanotechnologie.

Farbstoffsolarzellen sind Dünnschichtsolarzellen, die ein Millionenjahre altes Prinzip nutzen: Photosynthese. Chlorophyll verwandelt in Pflanzen Sonnenlicht in Energie. Genauso arbeitet eine Farbstoffsolarzelle: Sonnenlicht wird mit Hilfe eines Farbstoffs in Energie umgewandelt.

Organische Solarzellen benutzen Kohlenstoffverbindungen, die Halbleitereigenschaften besitzen, um Lichtenergie (Sonnenstrahlung) in elektrische Energie zu transformieren.

Es wird zwischen Farbstoffsolarzellen (1. Generation) und reinen organischen Solarzellen (2. Generation, „solid state organic solar cells“ bzw. vollständig aus organischen und polymeren Feststoffen bestehende Solarzellen) unterschieden.

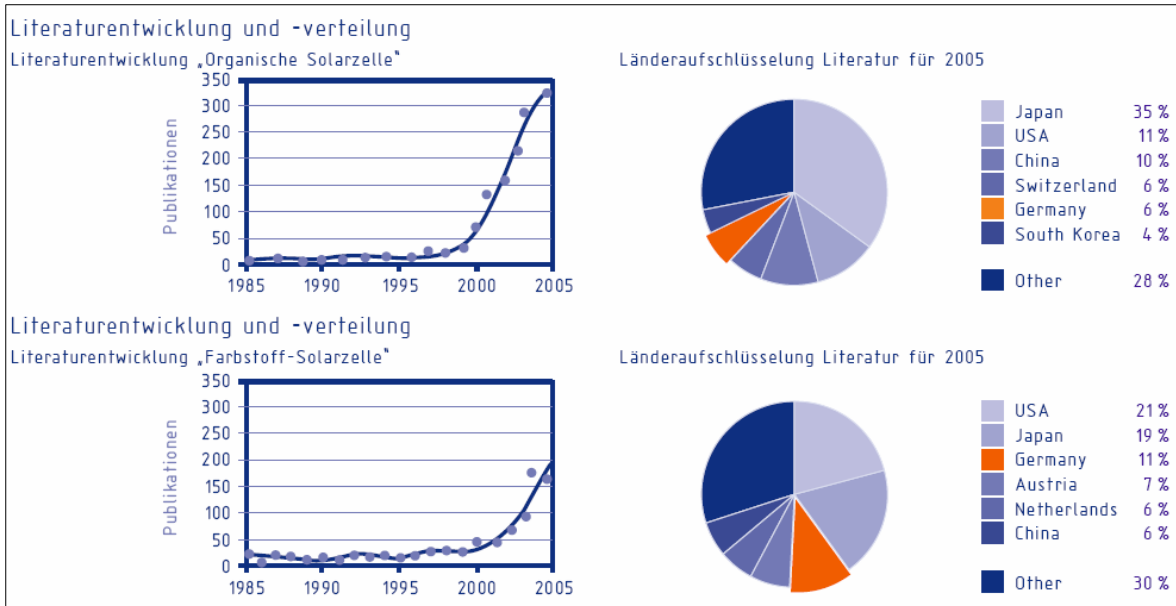


Abbildung 15: Literarentwicklung und -verteilung der organischen Solarzellen (oben) und Farbstoff-solarzelle (unten) (VDI 2006b)

Ein Foliensatz als Kurzstudie zu den Farbstoff- und organischen Solarzellen wird von Fraunhofer ISE und IAO erstellt und demnächste herausgegeben.

Am Beispiel der Farbstoffsolarzelle werden im Folgenden die relevanten Aspekte und Potenziale dargestellt.

7.2.1 Farbstoffsolarzellen

7.2.1.1 Innovative Anwendungspotenzial

Das Innovationspotenzial der Farbstoffsolarzelle liegt in den gestalterischen Möglichkeiten der Farbstoffzellentechnologie. Deren Ausnutzung sind wichtige Voraussetzungen für die Markteinführung:

- *Neue Einsatzmöglichkeiten*
Für Farbstoffsolarzellen ergeben sich völlig neue Einsatzmöglichkeiten, vor allem im Fassadenbau und zu Werbezwecken. Denn die Module sind zwar ockerfarben transparent, die Farbe kann aber durch spezielle Filter beliebig variiert werden.

- *Neue Designs*
Zusätzlich können durch Bedrucken mit streuenden Schichten innerhalb der Module Bilder und Schriftzüge ohne nennenswerten Verlust erzeugt werden.
- *Neues Herstellungsverfahren*
Das Herstellungsverfahren für Farbstoffsolarzellen baut auf Siebdruck-Technologie auf und benötigt keine Reinraum-Technologie.

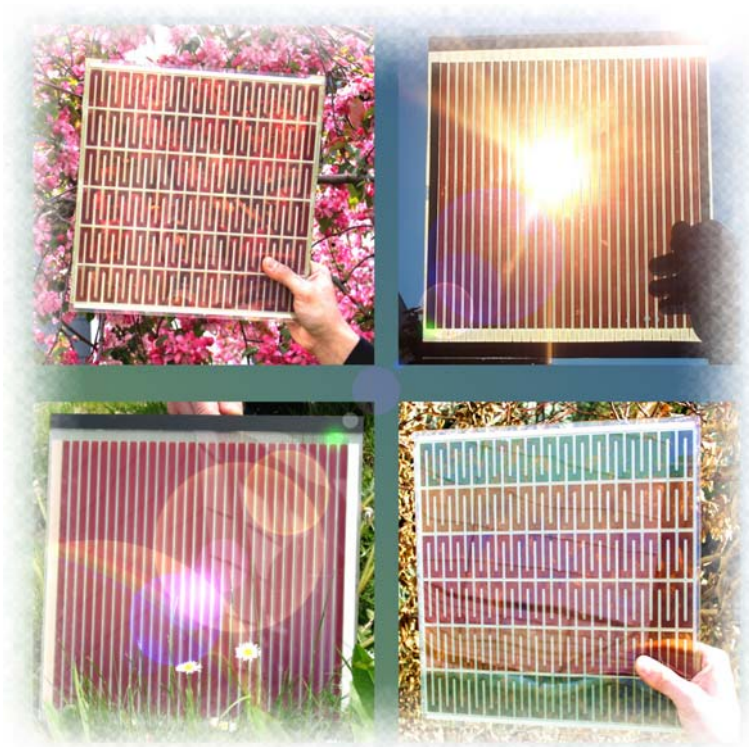


Abbildung 16: Einige am Fraunhofer ISE hergestellte Prototypen von Farbstoffsolarzellenmodulen. Die Bilder vermitteln einen Eindruck von den Variationsmöglichkeiten in der Gestaltung hinsichtlich Semitransparenz, Farbigkeit und Strukturierung

Abbildung 17 zeigt die SWOT-Analyse (Stärken-Schwächen, Chancen-Gefahren) für die Farbstoffsolarzelle.

<ul style="list-style-type: none"> • Semitransparenz, Dekor-Eigenschaften • Siebdruck • Elektrochemische Anwendungen (Sensor, Display) <p><i>Strength</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Geringe Effizienz • Bisher keine zertifizierte Stabilität <p><i>Weakness</i></p>
<p><i>Opportunities</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Höhere Effizienz • Reduktion der Materialkosten 	<p><i>Threats</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Geringe Marktdurchdringung in existierende Märkte

Abbildung 17: SWOT-Analyse der Farbstoffsolarzelle

7.2.1.2 Technische Grundlagen

Farbstoffsolarzellen sind elektrochemische Dünnschichtsolarzellen. Sie bestehen aus zwei aufeinander geklebten Glasplatten, die mit einem Elektrolyt gefüllt sind. Jeweils vorne und hinten befindet sich eine Elektrode (Anode und Kathode), die entweder aus einer transparenten, leitfähigen Oxidschicht (TCO) oder einer porösen Graphitschicht bestehen. Die hochporöse nanokristalline Elektrode hat eine sehr große Oberfläche, die in der Regel aus nanoskaligem Titandioxid besteht und auf der eine Schicht aus organischem Farbstoff (meisten auf der Basis von Ruthenium) adsorbiert ist.

Trifft nun Sonnenlicht auf die Zelle, absorbieren die Farbstoffmoleküle Energie und die Elektronen gehen in einen angeregten Zustand über. Dabei werden die Elektronen in einem ultraschnellen Prozess in den nanokristallinen Titandioxid-Halbleiter injiziert und wandern zur Kathode. Die gewanderten Ionen hinterlassen positiv geladene Farbstoff-Ionen, die nun ihrerseits auch wandern und durch einen Elektrolyten (zurzeit meist auf der Basis des Jodid/ Trijodid-Redoxsystems) zur Anode gelangen. Zwischen Anode und Kathode „fließt“ Strom.

Die Gegenelektrode ist auf der Innenseite meist mit einer dünnen Schicht aus Platin versehen, das einerseits den kathodischen Elektronentransfer katalysiert, andererseits gleichzeitig als Rückseitenreflektor für das transmittierte Licht dient. Beide Elektroden sind auf Substraten aus TCO-beschichtetem Glas aufgebracht. Über die TCO-Schicht und die damit ver-

bundenen Kontakte wird die Zelle mit einem externen Verbraucher verbunden.

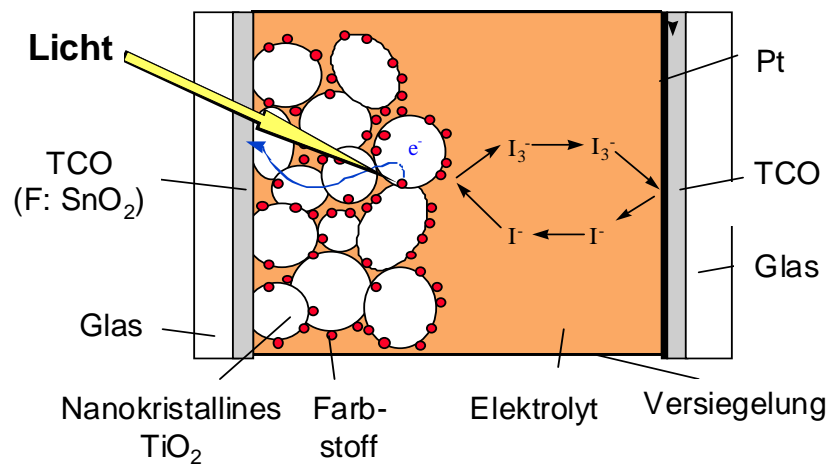


Abbildung 18: Funktionsprinzip einer konventionell aufgebauten Farbstoffsolarzelle. Nach Photoanregung des Farbstoffes findet ein ultra-schneller Elektronentransfer in das nanokristalline Titandioxid (Photoelektrode) statt. Der resultierende oxidierte Zustand des Farbstoffes wird durch einen, die Poren des Titandioxides durchdringenden, Redox-Elektrolyten reduziert und anschließend durch Aufnahme von Elektronen an der katalytisch beschichteten Gegenelektrode regeneriert (Quelle Fraunhofer ISE)

7.2.1.3 Herstellungsverfahren

Die Herstellung von Farbstoffsolarzellen ist, im Gegensatz zu herkömmlichen Solarzellen billig und einfach. Nach einer Vorbehandlung des Glases werden die einzelnen Schichten (z.B. TiO_2 , Silber, Glaslot) durch ein einfaches Siebdruckverfahren aufgetragen. Am Ende werden noch Farbe und Elektrolytflüssigkeit eingefüllt.

Das Flussdiagramm in Abbildung X gibt eine Übersicht über die Herstellungsschritte von Farbstoffsolarzellen-Modulen am Fraunhofer ISE. Die Vorbehandlung der Glassubstrate umfasst die Laser- oder mechanische Strukturierung der TCO-Schicht, das Bohren der Befüllöffnungen und das Waschen des Glases.

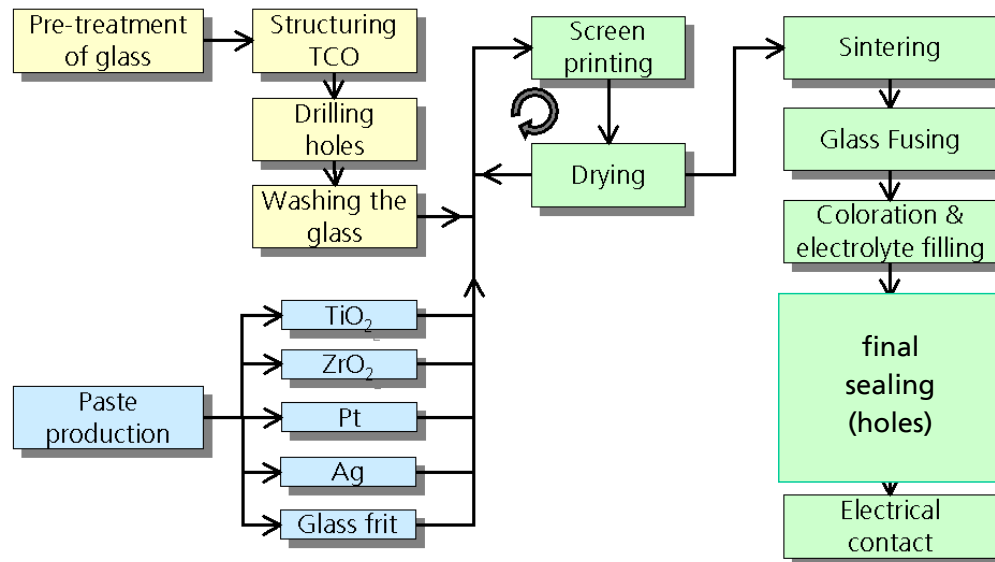


Abbildung 19: Herstellung von Farbstoffsolarzellen-Modulen mit Glaslotversiegelung am Fraunhofer ISE (Quelle Fraunhofer ISE)

Die TiO_2 -, ZrO_2 -, Platin-, Silber- und Glaslotschichten werden mit dem Siebdruckverfahren einzeln auf die jeweiligen Glassubstrate aufgetragen. Nach jedem Siebdruckschritt wird die Schicht in einem Durchlaufofen für etwa 10 min bei 150°C getrocknet.

Nach dem Trocknen werden alle Schichten bei rund 600°C für 10 min gesintert. Vorder- und Rückelektrode werden aufeinander ausgerichtet und bei Temperaturen um 600°C unter Standardatmosphäre miteinander in einem handelsüblichen Glasfusingofen verschmolzen.

Ganz am Schluss werden der Farbstoff und die Elektrolytflüssigkeit eingefüllt. Die Farbstoff- bzw. Elektrolytlösung wird mit hohem Druck über pneumatische Kartuschen in die Module injiziert (Abbildung 3). Dieser Prozess dauert zurzeit etwa 2 Stunden, kann jedoch als modularer Batchprozess leicht parallelisiert werden.

7.2.1.4 Eingesetzte Materialien

Die wichtigsten Materialien zur Herstellung von Farbstoffsolarzellen sind:

- der Farbstoff Ruthenium (Ru),
- Glaslot,

- Platin und
- Titandioxid TiO₂.

Der Ruthenium-Farbstoff fällt als Nebenprodukt der Platingewinnung an und ist ein wichtiger Bestandteil von Farbstoffsolarzellen. Für die Herstellung der Farbstoffsolarzellen wird ca. 0,1 g/m² Ruthenium benötigt. Die Jahresweltproduktion beträgt zurzeit rd. 24t. Trotz der geringen Häufigkeit von Ru ist die Menge an benötigtem Farbstoff kein begrenzender Faktor für die Produktion. Eine Ru-Knappheit ist nicht zu erwarten. So reicht prinzipiell das vorhandene Ru (Gesamtvorkommen), wenn es ausschließlich für die Herstellung von Farbstoffsolarzellen eingesetzt werden würde, für eine Gesamtleistung von 4800 bis 5700 GW-Peak. Eine Untersuchung der Cancerogenität des Ruthenium-Farbstoff im AMES-Test kam zu einem negativen Ergebnis (vgl. de Vries et al. 2000). Über weiterführende Tests wurde bisher nicht berichtet.

Glaslot ist ein geeignetes Material zur Versiegelung der Zellen. Aufgrund der hohen thermischen, mechanischen und chemischen Stabilität hält es den hohen Anforderungen einer dauerhaft stabilen Versiegelung stand. Darüber hinaus kann es kostengünstig mittels Siebdruck aufgebracht werden. Der Nachteil ist die hohe Verarbeitungstemperatur. Deshalb kann der Farbstoff bei dieser Versiegelungstechnologie erst nach dem Verschmelzen des Glases in das Modul injiziert werden.

Die Elektrode der Farbstoffsolarzelle wird aus dem Weißpigment Titandioxid TiO₂ hergestellt. Dies ist ein sehr häufiges Element, welches lichtbeständig, ungiftig ist und ein großes Färbe-Deckvermögen besitzt. Die jährliche Produktion beträgt ca. 2,5 Mio. t. Wegen dem relativ aufwendigen Herstellungsverfahren ist es aber teuer.

Der Bedarf an katalytischem Platin auf der Gegenelektrode in der Farbstoffsolarzellen liegt ähnlich niedrig wie für Ruthenium (0,05 bis 0,1 g/m²). Es ist daher auch für Platin keine Begrenzung der Verfügbarkeit zu erwarten.

Ein Ziel der Forschung an Farbstoffsolarzellen sollte jedoch sein, die Menge an notwendigen Edelmetallen weiter zu reduzieren oder zu ersetzen. Möglichkeiten, den Anteil an Ruthenium zu senken, liegen in der Entwicklung von stärker lichtabsorbierenden organischen Liganden im metallorganischen Farbstoffkomplex, oder in der Entwicklung von rein organischen Farbstoffen, durch die das Ruthenium komplett ersetzt werden könnte.

Bisher wurden für Farbstoffsolarzellen mit rein organischen Farbstoffen solare Wirkungsgrade bis 6 % berichtet. Die benötigte Menge an Platin lässt

sich durch die Aktivierung auf metalloxidischen Nanopartikeln weiter verringern. Eine weitere bisher wenig untersuchte Möglichkeit, Platin zu ersetzen, wird in der Verwendung von metalloxidischen Katalysatorschichten gesehen

7.3 **Beratungsansatz für Unternehmen zum Einsatz von Nanotechnologie für den Umweltschutz**

Das Vorgehen im Projekt INANU zur Identifikation und Bewertung von Anwendungsmöglichkeiten der Nanotechnologie wurde generalisiert, um Unternehmen schnell und zielführend einen systematischen Zugang zur Nanotechnologie zu ermöglichen. Der Beratungsansatz besteht aus den vier Phasen Definition der Zielstellung, Problemidentifikation, Lösungsidentifikation und Bewertung, unterstützt durch einfache Methoden wie Nutzwertanalyse und Portfolio-Ansatz sowie die Einbindung von Experten und deren implizites Wissen.

Im Rahmen des Projekts wurde eine Datenbank mit Experten für Oberflächenbeschichtungen aufgebaut sowie eine Sammlung möglicher Oberflächenfunktionalitäten durch Nanotechnologie aufgestellt.

Tabelle 5 zeigt das Vorgehen zur Bewertung von Einsatzpotenzialen der Nanotechnologie in der Umwelttechnik.

Tabelle 5: Vorgehen zur Bewertung von Einsatzpotenzialen der Nanotechnologie in der Umwelttechnik

Phasen	Methodisches Vorgehen	Im Rahmen von INANU entwickelte Elemente
Schritt 1: Definition der Zielstellung		
1.1 Definition der Zielstellung	-	-
Schritt 2: Problemidentifikation		
2.1 Identifikation von Anwendungsfeldern	<ul style="list-style-type: none"> • Umfeldanalyse • Problemidentifikation • Funktionenanalyse 	-
Schritt 3: Lösungsidentifikation		

Phasen	Methodisches Vorgehen	Im Rahmen von INANU entwickelte Elemente
3.1 Recherche von Lösungsmöglichkeiten 3.2 Identifikation von Technologieexperten	<ul style="list-style-type: none"> • Funktionale Beschreibung der gesuchten Lösung • Definition von Randbedingungen • Expertenidentifikation • Recherche von nanotechnologischen Lösungskonzepten 	<ul style="list-style-type: none"> • Zusammenstellung von Oberflächenfunktionen durch Nanotechnologie • Datenbank mit 200 Experten zu Oberflächenbeschichtung und -funktionalisierung durch Nanotechnologie • Zusammenstellung von nanotechnologischen Lösungskonzepten für ausgewählte Anwendungsbereiche (z.B. Kratzfest, Superhydrophobie, Diffusionssperre, photokatalytisch, Antimikrobiell, u.a. (siehe Kapitel 7.1.3))
Schritt 4: Bewertung		
4.1 Auswahl und Bewertung von Lösungsmöglichkeiten 4.2 Umsetzung der Lösungsmöglichkeiten	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzwertanalyse der Lösungsmöglichkeiten • Portfolio Erfüllungsgrad-Anwendungsreife 	<ul style="list-style-type: none"> • Portfolio-Ansatz zur schnellen Bewertung von Erfüllungsgrad und Anwendungsreife

In zwei Studien des Fraunhofer IAO und des IAT, Universität Stuttgart, wurden die Einsatz- und Innovations-potenziale der Nanotechnologie in der Umwelttechnik erstmals bewertet (Spath et al 2004a, Heubach et al 2005). Dabei zeigte sich folgender Bedarf:

- Es ist bereits bekannt, dass die Nanotechnologie die Eigenschaften einiger weniger bestehender Produkte in Bezug auf die Ressourceneffizienz verbessert (siehe Steinfeldt et al 2004). Eine genaue Abschätzung der konkreten ökonomischen Potenziale sowie der Chancen und Risiken für Oberflächen (besonders der ökologischen Chancen) fehlt jedoch bisher. Diese soll im vorliegenden Vorhaben für konkrete Anwendungsszenarien mit Beteiligung von Experten aus Industrie und Wissenschaft aufgestellt werden. Dabei werden ökonomische und ökologische Chancen und Risiken integriert betrachtet. Eine weitere Neuheit besteht in der Berücksichtigung des Konzeptes der Integrierten Produktpolitik (IPP).
- Das Anwendungsfeld funktionalisierte Oberflächen ist ein innovatives Einsatzgebiet der Nanotechnologie in der Umwelttechnik. Der Funktionsintegration in Oberflächen und Komponenten kommt eine immer größere Bedeutung zu. Eine detaillierte Analyse der Anwendungsfälle als Praxisbeispiele für Unternehmen fehlt bisher noch. Diese wird im vorliegenden Vorhaben durchgeführt und aus Umweltsicht bewertet. Indem diese im Vorhaben gewonnen Erkenntnisse in das zu entwickelnde Beratungskonzept einfließen, wird der Wissens- und Technologietransfer in die praktische Anwendung beschleunigt.
- Arbeiten über eine Integrierte Produktpolitik (IPP) für Produkte der Nanotechnologie sind bisher nicht bekannt. Über Betrachtungen der ökologischen Chancen und Risiken der beiden Anwendungsfelder sollen im vorliegenden Vorhaben erste Empfehlungen für eine Integrierte Produktpolitik in den untersuchten Anwendungsfeldern für Industrie und Politik abgeleitet werden. Die laufende BMBF-Studie „Nachhaltigkeitseffekte durch Herstellung und Anwendung nanotechnologischer Produkte“ trachtet generische Nutzenpotentiale der Nanotechnologie in Bezug auf den Umweltschutz zu ermitteln. Eine in spezifische Anwendungskontexte vertiefte Analyse, die

hier vorgeschlagen wird, kann diese Untersuchung aber nicht leisten.

- Die Themenkombination Nanotechnologie und Umweltschutz wird bisher stark unter dem Aspekt der Risiken und der Toxikologie betrachtet. Deren sachliche Analyse und Abschätzung ist für den generellen Einsatz der Nanotechnologie unbedingt notwendig, eine anwendungs- und marktorientierte Sicht, die die ökologischen Chancen hervorhebt, gibt es noch nicht.

Bekannt gewordene Fortschritte anderer Stellen

Mittlerweile hat das Thema „Chancen der Nanotechnologie für den Umweltschutz“ eine breite Aufmerksamkeit erfahren.

Die deutsche „Nano-Initiative – Aktionsplan 2010“, ein thematischer Zusammenschluss von mittlerweile über 7 Bundesministerien zur Nanotechnologie unter Leitung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), nennt als Anwendungs- und Produktoptionen der Nanotechnologie für die Umwelttechnik (BMBF 2006):

- korrosionsbeständige Komponenten für alltägliche Produkte,
- energieeffiziente Aufbereitungssysteme für die Trinkwasserherstellung,
- stabile Leichtbauelemente für Gebäude, Maschinen, Autos und Flugzeuge sowie
- den Ersatz toxischer Substanzen durch Nanomaterialien.

Innerhalb dieser Initiative soll auch ein Branchendialog in dem Bereich Umwelt geführt werden. Diese Branchendialoge adressieren die wettbewerbsfähige Umsetzung der Erkenntnisse aus den Nanowissenschaften und der FuE in der Nanotechnologie in standortrelevante Produkte. Umwelt und Energie gehören zu den Leitinnovationen (aus BMBF 2006):

- *Umwelt*
Die Potenziale der Nanotechnologie für Umweltschutz und Ressourceneinsparungen sollen auf breiter Ebene erschlossen werden. Ansatzpunkte bieten beispielsweise neuartige Filtersysteme zur Abwassereinigung und Trinkwassergewinnung, der Ersatz toxischer Stoffe durch Nanomaterialien oder Rohstoffeinsparungen durch miniaturisierte technische Komponenten.
- *Energie*
Im Energiebereich liegen die Innovationspotenziale der Nanotechnologie in der effizienten, regenerativen Energieerzeugung und leistungsfähigen Energiespeichern für mobile Elektronikgeräte. Zu den

Anwendungsoptionen zählen leistungsoptimierte Solar- und Brennstoffzellen, Wasserstoffspeicher sowie Akkumulatoren oder Thermoelektrika zur Energieversorgung u. a. von Laptops, Handys oder MP3-Playern.

Abbildung 20 zeigt Beispiele für Anwendungsoptionen und Reifegrad nanotechnologischer Entwicklungen für den Bereich Umwelt/ Energie (BMBF 2006), bereits am Markt sind z.B. Korrosionsschutzschichten oder Verschleißschutz für mechanische Bauteile.

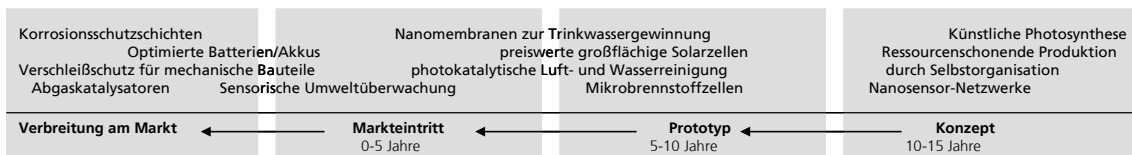


Abbildung 20: Beispiele für Anwendungsoptionen und Reifegrad nanotechnologischer Entwicklungen für den Bereich Umwelt/ Energie (BMBF 2006)

Das Bundesumweltministerium hat zwischenzeitlich eine Nanokommission eingerichtet mit drei Arbeitsgruppen die Chancen, Risiken und den Verantwortungsvollen Umgang mit Nanomaterialien (BMU 2007). In den Arbeitsgruppen diskutieren Experten aus Wirtschaft, Wissenschaft, Behörden und Verbänden im Rahmen des NanoDialogs¹¹ der Bundesregierung die Chancen und Risiken von Nanomaterialien. Der Nano-Dialog wurde von Bundesumweltminister Sigmar Gabriel im Herbst 2006 ins Leben gerufen, kurz darauf wurde auch die Nanokommission initiiert. Die Nanokommission wird von Staatssekretär a. D. Wolff-Michael Catenhusen geleitet. Sie begleitet den NanoDialog strategisch, erarbeitet Handlungsempfehlungen und veröffentlicht ihre Ergebnisse. Der Dialog ist zunächst auf zwei Jahre bis Ende 2008 angelegt.

Das BMU sieht in diesem Zusammenhang seine Aufgabe u. a. darin, die Chancen von Nanotechnologien oder Nanomaterialien für den Umwelt- und Ressourcenschutz zu erkennen und zu fördern.¹² Für die Energie- und Ressourceneffizienz zeichnen sich zahlreiche viel versprechende Ansätze ab, z.B.:

- transparente Nanobeschichtungen mit Selbstreinigungseffekt für Solarzellen für eine bessere Energieausbeute oder Dünnschichtso-

¹¹ http://www.bmu.bund.de/gesundheits_und_umwelt/nanotechnologie/nanodialog/doc/37262.php

¹² http://www.bmu.de/gesundheits_und_umwelt/nanotechnologie/chancen_fuer_gesundheit/umwelt/doc/38364.php

larzellen, bei denen ein siliciumhaltiges Gas auf kostengünstige Trägermaterialien abgeschieden wird,

- hocheffiziente Nano-Dämmmaterialien, die große Potenziale für die Altbausanierung versprechen,
- Erheblich leistungsfähigere Batterien oder Akkus und nanotechnologische supraleitende Materialien, die Leitungsverluste mindern,
- Schutz von Ressourcen durch neue Werkstoffe/ Materialien, z.B. durch dünnere Schichten, insgesamt leichtere Materialien, weniger Verarbeitungsvorgänge, Verzicht auf gefährliche Stoffe.
- Preiswertere und leistungsfähigere Brennstoffzellen durch nanotechnologische Verbesserungen bei Membranen, Katalysatoren und Elektroden.

Auch das Umweltbundesamt hat in einem Hintergrundpapier UBA (2006) Umweltentlastungspotenziale durch Nanotechnologie zusammengestellt.¹³ Diese sind:

- Einsparung von Rohstoffen durch Miniaturisierung
 - » Nanotechnikbasierte Sensoren mit geringerem Gewicht → energieeffizient
 - » Verringerung der Schichtdicke → Rohstoffe einsparen
- Einsparung von Energie durch Gewichtsreduktion oder durch Funktionsoptimierung
 - » Mit Nanotechnik lässt sich die Wasserqualität verbessern → z.B. Meerwasserentsalzung
 - » Einsatz nanotechnikbasierter Leuchtdioden → 3-5fache erhöhte Energieeffizienz
 - » Effektivere Nutzung regenerativer Energien → org. Solarzelle, Farbstoffsolarzelle
 - » Siliziumdioxid- und Nanorußpartikel in Autoreifen → Reduktion Rollwiderstand
 - » Optimierte Bauteile bei Solar- und Brennstoffzellen → verlustarme Speicherung

¹³ www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/hintergrund/nanotechnik.pdf

- Verbesserung der Reinigungsleistung von Filtersystemen
 - » „inverse Nanotechnik“ in Abwasserbehandlung (Minderung von Nanopartikeln)
 - » Nanoporöse Membrane und Filter zur Schadstoffentfernung/ Nebenproduktabtrennung
 - » Optimierte Abgasreinigung bei Kraftfahrzeugen mit Nanotechnik
- Verminderung des Einsatzes oder Ersatz der Verwendung gefährlicher Stoffe
 - » Nano-Anwendung im Infektionsschutz/ Schädlingsbekämpfung
 - » Korrosionsschutz durch nanotechnikbasierter Oberflächen → Chrom-IV Substitution
 - » gezielte Reaktionsführung mit Nanokatalysatoren → Erhöhung der Ressourceneffizienz

Die US-amerikanische Environmental Protection Agency (EPA) hat in einem White Paper (EPA 2005) neben möglichen Risiken auch die Umweltentlastungseffekte durch Nanotechnologie bilanziert. So könnte durch geeignete technische Maßnahmen der US-amerikanische Energieverbrauch um über 14% reduziert werden (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Potential US Energy Savings from 8 Nanotechnology Applications (EPA 2005)

Nanotechnology Application	Estimated Percent Reduction in Total Annual US Energy Consumption ¹⁴
Strong, lightweight materials in transportation	6.2
Solid state lighting (such as white light LED's)	3.5
Self-optimizing motor systems	2.0
Smart roofs (temperature-dependent reflectivity)	1.5
Novel energy-efficient separation membranes	0.8
Energy efficient distillation through supercomputing	0.3
Molecular-level control of industrial catalysis	0.2
Transmission line conductance	0.1
Total	14.6

¹⁴ Basierend auf dem US-amerikanischen jährlichen Energieverbrauch von 2004

Und nicht zuletzt wird die große Bedeutung der Umwelttechnik für die Nanotechnologie auch dadurch sichtbar, dass im Bereich Umwelt und Energie wichtige Schlüsselmärkte liegen, wie die Roadmap USA 2020 zeigt (Tabelle 7, Chemical Industry 2003)

Tabelle 7: Key Market Opportunities for Nanomaterials – USA 2020 (Auswahl) (Chemical Industry 2003)

Environment	Energy
<ul style="list-style-type: none"> • Chemical and biosensors • Environmental sensing (toxics.) • Remediation (TiO₂+UV, catalysts, etc) • Clean water (nano-filtration, sorption, exchange) • Clean air (adsorbents) • Catalysts (Hydrodesulfurization, emulsion) • H₂-storage for fuel cells • "Green" technologies (manufacturing) 	<ul style="list-style-type: none"> • Energy conversion (Graetzel cell type devices-dye plus nano inorganic, solid polymer heterojunctions) • Energy storage (H₂, nanotubes) • Batteries (high performance electrodes and electrolytes) • Fuel cells • Thermoelectrics • Magnetocaloric effects • Solid state lighting • Supercapacitors • Thermal batteries for materials enabling higher temperature combustion • Motors (higher efficiency through better magnets) • High-performance catalysts • Low power consumption lighting and displays

In dem STOA-Projekt "The Role of Nanotechnology in Chemical Substitution" wird in einer Studie das Potenzial der Nanotechnologie für die Substitution von Gefahrenstoffen untersucht.¹⁵ Als Anwendungsbeispiele werden nanotechnologische Beschichtungen genannt, die z.B. als Ersatz für Antifouling-Anstriche (Tributylzinn) der Schiffsindustrie verwendet werden könnten. Das Vorhaben ist eines von 11 Projekten der European Technology Assessment Group (ETAG), dessen Konsortium aus fünf TA-Instituten besteht. Auftraggeber ist das STOA-Panel (Scientific Technological Options Assessment) des Europäischen Parlaments.

Ziel des Projektes ist die Identifikation von Konzepten und Ideen für die Substitution gefährlicher Substanzen durch Nanotechnologie. Hintergrund ist die Erwartung, dass die Nanotechnologie alternative Lösungen für die Wirkung einer Substanz oder aber auch für die Herstellung einer Substanz bietet, bei der dann weniger toxische Abfallstoffe anfallen. Als Beispiel werden genannt:

¹⁵ <http://www.itas.fzk.de/deu/projekt/2006/fied0656.htm>

- Biozide Beschichtungen auf der Basis von texturierten Oberflächen oder photokatalytischen Wirkung von TiO₂ Partikeln.
- Toxische Schmierstoffe könnten durch nanotechnologische super harte und selbst schmierende Beschichtungen vermieden werden.
- Organische Lösungsmittel könnten durch Mikroemulsionen an der Basis von Lecithin ersetzt werden.
- Bromierte Flammschutzmittel könnten durch funktionalisierte Nanopartikel, die in Lacke eingebunden sind ersetzt werden.

Hierzu soll in dem Projekt ein Überblick über denkbare nanotechnologische Anwendungen für die Substitution gegeben werden. Auch hier wird darauf hingewiesen, dass *„die Bewertung der möglichen nanotechnologischen Substitute und ihrer Nebenwirkungen [...] nicht Gegenstand des Projektes“* ist und sein kann. Auch hier geht es zunächst nur um die Potenzialanalyse, die auf einer Literaturanalyse und Experteninterviews basiert.

10 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

10.1 Fachvorträge und Artikel

10.1.1 Vorträge

Heubach, D.
Anwendungsmöglichkeiten Nano-funktionalisierter Oberflächen für umweltfreundliche Verfahren und Produkte – Ergebnisse des INANU-Projekts, »Nano meets Umwelttechnik II«, 19. Juli 2006, Konstanz

Heubach, D.
Nanotechnologie: Innovationspotentiale für die Energie- und Umwelttechnik
NanoEquity Europe 2006, 11. Juli 2006, Deutsche Börse, Frankfurt

Heubach, D.
Nanotech für den Umweltschutz,
»Hessen im Dialog: Nano – hier ist die Zukunft«, 9. November 2006, Gießen

Heubach, D.
Potenziale und Chancen von Nanotechnologie erkennen und nutzen – Ein Beispiel aus dem Projekt »INANU«
Forum Innovationsmanagement 2006: Managing Emerging Technologies, 11. Oktober 2006, Fraunhofer IAO, Stuttgart

Heubach, D.
Nanotechnologie: Innovationspotenziale für die Umwelt- und Energietechnik
2. Nanotechnologieforum Hessen, Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, Congress Park Hanau, 16. November 2005,

10.1.2 Artikel

Heubach, D.
Umweltschutz durch Nanotechnologie – Oberflächen mit umwelt-
freundlichen Eigenschaften
Beitrag in wlb – Wasser, Luft, Boden, Heft 5/2007 (erscheint demnächst)

10.2 Veranstaltungen und Ergebnistransfer

„Nano meets Umwelttechnik II“
19. Juli 2006, Landratsamt Konstanz
Gemeinsame Veranstaltung von Umweltministerium Baden-Württemberg,
Fraunhofer IAO und Bodensee Standort Marketing

10.3 Veröffentlichung durch andere Stellen

-

11 Literatur

- Angerer, G.; Bierhals, R.; Hipp, C.; Kalb, H.; Lang, J.); Marscheider-Weidemann, F.; Nathani, C.; Reger, G.; Schön, M. (1998):
Innovationspotenziale von Umwelttechnologien: Innovationsstrategien im Spannungsfeld von Technologie, Ökonomie und Ökologie, Herausgegeben durch das Umweltbundesamt, Physika-Verlag, Heidelberg 1998
- Bachmann, G. (1998):
Innovationsschub aus dem Nanokosmos – Technologieanalyse, Bericht des VDI-Technologiezentrum, Abteilung Zukünftige Technologie des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI), Düsseldorf 1998
- Bachmann, G.; Rieke, V.; (2004):
Nanotechnologie erobert Märkte – Deutsche Zukunftsoffensive für Nanotechnologie, Herausgegeben durch das Ministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Berlin 2004, Bezug unter www.bmbf.de
- Baron, W.; Zweck, A. (2003):
Innovations- und Technikanalyse für die Wirtschaft, in Gotthard Stein (Hrsg.): Technikfolgenforschung und Systemanalyse in Deutschland, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 2003
- Bean, N. H., Griffin P. M. (1990):
Foodborne disease outbreaks in the United States, 1973-1987. Pathogens, vehicles and trends. J. Food Prot. 53, 804-817
- BMBF (Hrsg.) (2006):
Nano-Initiative – Aktionsplan 2010. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Bonn, Berlin 2006
- BMU (2007):
Experten diskutieren über Nanomaterialien, Pressemitteilung Nr. 084/07 des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin, 26. März 2007
- Bruns, M. (1991):
Systemtechnik: ingenieurwissenschaftliche Methodik zur interdisziplinären Systementwicklung. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg 1991

CESIO: Surfactants Production WE 1994 -2005. <http://www.cefic.be/files/Publications/CESIOSurf2005.pdf>. COMITE EUROPEEN DES AGENTS DE SURFACE ET DE LEURS INTERMEDIAIRES ORGANIQUES (CESIO). Brüssel 2006

Chemical Industry (2003):

Chemical Industry R&D Roadmap for Nanomaterials By Design: From Fundamentals to Function, Prepared by Chemical Industry Vision2020 Technology Partnership Energetics, Inc., sponsored by Chemical Industry Vision2020 Technology Partnership and U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, December 2003

de Vries, J. G., Scholtens, B.J.R, Maes, I., Grätzel, M., Winkel, S., Burnside, S., Wolf, M., Hinsch, A., Kroon, J.M., Ahlse, M., Tjerneld, F., Ferrero, G., Bruno, E., Hagfeldt, A., Bradbury, C., Carlsson, P., Pettersson, H., Verspeek-Rip, C.M., Enninga, I.C. (2000): Negative Ames-test of cisdi(thiocyanato)-N, N'-bis(4,4'-dicarboxy-2,2'-bipyridine)Ru(II), the sensitizer dye of the nanocrystalline TiO₂ solar cell, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 60 (2000). pp- 43-49

Degussa: Persönliche Mitteilung. Degussa AG, Hanau 2006

Dehn, F (2002):

Reinigung von Betonoberflächen mittels Photokatalyse, ZEMENT+BETON Sonderheft Kolloquium 2002, S.36-37

DFG (2006):

MAK- und BAT-Werte-Liste 2006. Deutsche Forschungsgemeinschaft. Wiley-VCH Verlag, Weinheim 2006

DFO (2006):

Forschungsagenda Oberfläche. Analyse des Innovations- und Nachhaltigkeitspotentials im Bereich der Oberflächenbehandlung. Deutsche Forschungsgesellschaft für Oberflächenbehandlung e. V., Neuss, 2006

Diemert, J.; K-H. Haas (2006):

Polymerbasierte Nanokomposite. Management-Fernlehrgang Nanotechnologie, Modul 4. IIR Verlag, Sulzbach 2006

EPA (2004):

Science to Achieve Results (STAR). Progress Review Workshop – Nanotechnology and the Environment II. Conf. Proc. United States Environmental Protection Agency. Washington, DC 2004

- EPA (Hrsg.) (2005):
Nanotechnology White Paper (External Review Draft, 2. Dezember 2005), U.S. Environmental Protection Agency, Prepared for the U.S. Environmental Protection Agency by members of the Nanotechnology Workgroup, a group of EPA's Science Policy Council Science Policy Council U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC 20460
- Fischedick, M, Ellendeck, T (2004):
Kurzstudie: Innovative Technologien für Entwicklungsländer – Aktuelle Ansätze zur Energie-, Trinkwasser- und Nahrungsbereitstellung, Wuppertal Institut, Dezember 2004
- Haas, K.-H., Heubach, D. (2007):
Innovationspotenziale für hessische Unternehmen durch Nanotechnologien in Produktionsprozessen, Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, Wiesbaden 2007
- Heitbaum (2002):
Phosphatierung – ein noch nicht verstandener industrieller Prozess. Vortrag von Dr. Joachim Heitbaum, Chemetall GmbH, Frankfurt, an der Technischen Universität Clausthal am 8.11.2002
- Henkel (2005):
Nanotechnologie in der Lackiervorbehandlung. Ersatz für die konventionelle Eisenphosphatierung. mo Metalloberfläche Heft 12, S 35-36, 2005
- Henkel (2006):
Persönliche Mitteilung. Henkel KGaA. Düsseldorf 2006
- Hessen Agentur (2006):
NanoMedizin – Innovationspotentiale für Hessen in der Medizintechnik und Pharmazeutische Industrie, Band 2 der Schriftenreihe der Aktionslinie hessen-nanotech, Wiesbaden
- hessen-nanotech NEWS (2006):
Newsletter des Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung und der Hessen Agentur HA GmbH, Ausgabe 2/2006
- Heubach, D.; Beucker, S.; (2004):
Applications of Nanotechnology in Environmental Technology – Innovation Potentials for Companies? Insights from two German Studies, Proceedings of the International Symposium on Environmental Nanotechnology 2004, December 01st - 03rd, 2004, Taipei/ Taiwan

- Heubach, D.; Beucker, S.; Lang-Koetz, C. (2005):
Einsatz von Nanotechnologie in der hessischen Umwelttechnologie – Innovationspotenziale für Unternehmen, Hrsg.: HA Hessen Agentur GmbH, Wiesbaden 2005, www.hessen-umwelttech.de
- Hinsch, A (2004):
Neue Potentiale in der Solarenergieforschung durch Nanotechnologie, Vortrag von Dr. Andreas Hinsch, Fraunhofer ISE, Freiburg, auf dem Symposium „Nano meets Umwelttechnik“ am 2. Juli 2004 am Fraunhofer IAO in Stuttgart Download unter <http://www.bum.iao.fraunhofer.de/nano>
- Hullmann, A. (2001):
Internationaler Wissenstransfer und technischer Wandel – Bedeutung, Einflussfaktoren und Ausblick auf technologische Implikationen am Beispiel der Nanotechnologie in Deutschland, Physika-Verlag, Heidelberg
- IKW (2004):
Persönliche Mitteilung. Industrieverband Körperpflege und Waschmittel e. V. (IKW). Frankfurt 2004
- IKW (2006):
Wasch-/Putz-/Reinigungsmittel-Markt Deutschland (zu Endverbraucherpreisen). <http://www.ikw.org/>. Industrieverband Körperpflege und Waschmittel e. V. (IKW). Frankfurt, Dezember 2006
- ISC (2006):
Persönlich Mitteilung. Fraunhofer-Institut für Silicatforschung (ISC). Würzburg 2006
- Kreyling, W.; Semmler M.; Möller, W. (2004):
Health Implications of Nanoparticles, Proceedings of the International Symposium on Environmental Nanotechnology, December 01st - 03rd, 2004, Taipei/ Taiwan
- KRV (2004):
Jahresbericht2004. Kunststoffrohrverband. Bonn, 2005
- Kühn, K. P., Erdinger, L., Pompe, W. (2004):
Photokatalytische Inaktivierung von Mikroorganismen und Vermeidung von Biofilmen auf TiO₂ Oberflächen, (Abstract zur 12. Konferenz der Gesellschaft für Hygiene und Umweltmedizin (GHU) gemeinsam mit der 8. Konferenz der International Society of Environmental Medicine (ISEM), 3.-5. Oktober 2004, Halle an der Saale) in: Umweltmed Forsch Prax 9 (4) 2004

- Lekas, D. (2005):
 Analysis of Nanotechnology from an Industrial Ecology Perspective Part I: Inventory & Evaluation of Life Cycle Assessments of Nanotechnologies (Revised Draft), Woodrow Wilson Center, November 2005, (Download unter http://www.nanotechproject.org/index.php?s=file_download&id=92)
- Lloyd, S., Lave, L. (2003):
 Life Cycle Economic and Environmental Implications of Using Nanocomposites in Automobiles, Environmental Science & Technology, Vol. 37, Nr. 15, 2003
- LUA NRW (2004):
 Abfalldatenblatt Galvanikschlämme. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen. Essen 2004
- Malanowski, N. (2003):
 Nanotechnologie aus der Perspektive der Innovations- und Technikanalyse, in Gott-hard Stein (Hrsg.): Technikfolgenforschung und Systemanalyse in Deutschland, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 2003
- Oberdörster, G. (2004):
 Nanotoxicology: An emerging discipline, Proceedings of the International Symposium on Environmental Nanotechnology, December 01st - 03rd, 2004, Taipei/ Taiwan
- Roths, K., Gochermann, J. (2006):
 Forschungsagenda Oberflächen: Analyse des Innovations- und Nachhaltigkeitspotenzials im Bereich der Oberflächenbehandlung. DFO - Deutsche Forschungsgesellschaft für Oberflächenbehandlung e.V. Neuss 2006
- Royal Society (2004):
 Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties, Studie der Royal Society und der Royal Academy of Engineering, London, 2004 (<http://www.raeng.org.uk>)
- Schönherr, M. (2006):
 Nanotechnologie für die Oberflächenbehandlung von Metallen. Vortrag von Dr. Maximilian Schönherr, Henkel KGaA, auf der Konferenz "Nano meets Umwelttechnik II". Konstanz, 16. Juli 2006
- Schuh, G.; Martini, C; Böhlke, U.; Schmitz, W. (1992):
 Planung technologischer Innovationen mit einem Technologiekalender, in: io Management Zeitschrift 61 (1992), Nr. 3, Verlag Industrielle Organisation BWI ETH Zürich

- Spath, D.; Heubach, D.; Beucker, S.; Kühne, C. (2004a):
Zukunftspotenziale der Mikro- und Nanotechnologie als Schlüsseltechnologie für die Umwelttechnik in Baden-Württemberg, Hrsg.: Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Stuttgart 2004.
- Steinfeldt, M. (2003):
Mit Nanotechnologie zur Nachhaltigkeit, Schriftenreihe des IÖW 166/03, Berlin 2003
- Steinfeldt, M. (2004):
Nachhaltigkeitseffekte durch Herstellung und Anwendung nanotechnologischer Produkte, in: TECHNIKFOLGENABSCHÄTZUNG, Theorie und Praxis, Nr. 2, 13. Jahrgang – Juni 2004 (Schwerpunktthema: Große Aufmerksamkeit für kleine Welten – Nanotechnologie und ihre Folgen), Zeitschrift des Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse
- Steinfeldt, M., von Gleich, A., Petschow, U., Haum, R., Chudoba, T., Haubold, S. (2004):
Nachhaltigkeitseffekte durch Herstellung und Anwendung nanotechnologischer Produkte, Schriftenreihe des IÖW 177/04, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung gGmbH
- Steinfeldt, Michael et al. (2004):
Nachhaltigkeitseffekte durch Herstellung und Anwendung nanotechnologischer Produkte.
- Stenzel, V. (2006):
Leuchtturmthema „Selbstheilende Schichten“, Vortrag von Dr. Volkmar Stenzel (Fraunhofer IFAM, Bremen) auf der Abschlussveranstaltung der „Forschungsagenda Oberfläche“, DFO – Deutsche Forschungsgesellschaft für Oberflächenbehandlung e.V. am 22.02.06 in Neuss (<http://fao.dfo.info/vorstellung.html>)
- SZ (2007):
Süddeutsche Zeitung, 11. Januar 2007, S. 10. Zitiert aus: Nicolle LE; SHEA Long-Term-Care-Committee: Urinary tract infections in long-term-care facilities. Infect Control Hosp Epidemiol. 2001 Mar;22
- TAB (2004):
Nanotechnologie, Bericht des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung des Deutschen Bundestages, März 2004, Deutscher Bundestag Drucksache 15/2713, Download unter <http://dip.bundestag.de/btd/15/027/1502713.pdf>, Herausgegeben als Arbeitsbericht Nr. 92, Juli 2003

ThyssenKrupp (2005):

Silver Ice® UV – Nirosta® clear lacquer coating with anti-fingerprint properties.
ThyssenKrupp Techforum, p 23 – 27, December 2005

UBA (2005):

Daten zur Umwelt. Der Zustand der Umwelt in Deutschland. Ausgabe 2005. Umweltbundesamt, Dessau 2005

UBA (2005):

Einträge von Kupfer, Zink und Blei in Gewässer und Böden. Texte 16/05. Umweltbundesamt. Dessau 2005

UBA (2006):

Nanotechnik: Chancen und Risiken für Mensch und Umwelt (Hintergrundpapier),
Umweltbundesamt (UBA), August 2006, Dessau,
Download unter www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/hintergrund/nanotechnik.pdf

VDI (2006):

Anwendungen der Nanotechnologie in Architektur und Bauwesen, Zukünftige
Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH, Zukünftige Technolo-
gien Nr. 62, Ergebnisse der Fachtagung am 24.1.06 im VDI, Düsseldorf, Düsseldorf,
2006

VDI (2006b):

future technologies update, Ausgabe 02/06, Zukünftige Technologien Consulting
(ZTC), VDI Technologiezentrum GmbH (Hrsg.), Düsseldorf 2006

VDI (Hrsg.) (2004):

Nanotechnologie als wirtschaftlicher Wachstumsmarkt – Innovations- und Technik-
analyse, Band Nr. 53, Zukünftige Technologien Consulting (ZTC) des VDI Technolo-
giezentrum GmbH, Düsseldorf 2004

Volk, P. (2004):

Phosphatierungsverfahren. Firmenschrift der SurTec Deutschland GmbH. Zwingen-
berg 2004

von Gleich, A. (2004):

Life-Cycle-Engineering and Precautionary Risk Management in Nanoscale Materials
Preliminary Results of a Study in Prospective TA, Vortrag auf dem Matforum 2004 –
Potentials and Risks of Nano-scale Materials, September 20 - 21, 2004, University of
Augsburg

Zhang, W.-X. (2003):

Nanoscale iron particles for environmental remediation: An overview, in: Roco, Mihail C. (Hrsg.): Journal of Nanoparticle Research 5: 323-332, 2003, Kluwer Academic Publishers, Arlington (VA) 2003