

Matrix zur Darstellung von Nutzen und Risiken von Nano-Produkten (NanoRate)

Endbericht



NanoRate wurde gefördert vom Jubiläumsfonds der Österreichischen Nationalbank und dem Lebensministerium



An NanoRate als Praxispartner beteiligte Unternehmen



AuthorInnen

Manfred Klade, Markus Meissner, Susanne Stark, Andrea Wallner, Antonia Wenisch, Enikő Veres

Kontakt

Manfred Klade; klade@ifz.tugraz.at; Tel. +43 316 81 39 09-27

Erstellt

November 2009

Inhaltsverzeichnis

Summary	6
Zusammenfassung	7
1 Forschungsfragen	9
1.1 Nachhaltige Entwicklung und Nanotechnologie	9
1.2 Ökobilanzierung zur Abschätzung des Umwelt- und Ressourcennutzens von Nano-Produkten	10
2 Zielsetzung und Durchführung	14
3 Nanotechnologie und Nano-Objekte: Problem der Definition und Abgrenzung	17
4 Marktperspektiven	20
4.1 Anwendungsperspektiven der Nanotechnologie in Produkten und Produktgruppen	23
4.2 Nanotechnologische Produkte und Anwendungen.....	24
4.3 Unternehmen im Bereich Nanotechnologie.....	28
4.4 Industrielle Produktion.....	29
4.4.1 Anwendung von Oberflächenbeschichtung, Nanoschichtsysteme	30
5 Die Risikobewertung von Nanoprodukten	32
5.1 Das Sol-Gel-Verfahren zur Herstellung von nanostrukturierten Oberflächen als Risikofaktor.....	35
5.2 Bearbeitung und Entsorgung von nanostrukturierten Oberflächen aus der Sicht der Risikobetrachtung	37
5.3 Risikokategorisierung von Nanomaterialien	37
5.4 Konzept der Risikomatrix	40
5.4.1 Risikopotenzial	41
5.4.2 Bestimmung der Nanorelevanz	41
5.4.2.1 Nanorelevanz der untersuchten Beschichtungssysteme in den Produktfallstudien <i>Nanoprotect</i> und <i>haptiX</i>	43
6 Produktfallstudien <i>Nanoprotect</i> und <i>haptiX</i>	45
6.1 Methode Ökobilanzierung	46
6.2 Ökonomische Betrachtung der Fallbeispiele	50
6.2.1 Ökonomische Relevanz ausgewählter Sektoren.....	50
6.2.2 Sektor <i>Herstellung von Chemikalien und chemischen Erzeugnissen</i>	53
6.2.3 Die Bedeutung der Nanotechnologie im Chemiesektor am Beispiel der Produktfallstudien..	56
6.3 Produktfallstudie <i>Nanoprotect</i> – Glasdusche mit einer Easy to clean Beschichtung	58
6.3.1 Ökobilanzierung	58

6.3.1.1	Produktbeschreibung und Sachbilanz	58
6.3.1.2	Produktapplikation und Reinigung: Praxisversuch Hotel Marriott	59
6.3.1.3	Systemgrenzen, funktionelle Einheit und Annahmen.....	63
6.3.1.4	Wirkungsbilanz.....	66
6.3.1.5	Sensitivitätsanalyse	66
6.3.1.6	Schlussfolgerungen und Interpretationen.....	67
6.3.1.7	Detailergebnisse der Wirkungsbilanz	69
6.3.1.8	Detailergebnisse zu den Prozessbeiträgen	76
6.3.2	Risikomatrix <i>Nanoprotect</i>	81
6.3.2.1	Einschätzung der Nanorelevanz	81
6.3.3	Ökonomische Untersuchung	82
6.3.3.1	Sektor <i>Herstellung und Bearbeitung von Glas</i>	83
6.3.3.2	Bedeutung der Nanotechnologie für die Glasindustrie.....	86
6.4	Produktfallstudie <i>haptiX</i> für eine Holzbodenbeschichtung	87
6.4.1	Vergleichende Ökobilanz	87
6.4.1.1	Produktbeschreibung.....	87
6.4.1.2	Sachbilanz.....	88
6.4.1.3	Sachbilanzdaten <i>haptiX</i>	88
6.4.1.4	Sachbilanzdaten <i>Hartöl</i>	91
6.4.1.5	Systemgrenzen, funktionelle Einheit und Annahmen	93
6.4.1.6	Ergebnisse der Wirkungsbilanz.....	95
6.4.1.7	Schlussfolgerungen und Interpretationen.....	96
6.4.1.8	Detailergebnisse der Wirkungsbilanz	97
6.4.1.9	Detailergebnisse zu den Prozessbeiträgen	104
6.4.2	Risikomatrix <i>haptiX</i>	108
6.4.2.1	Einschätzung der Nanorelevanz	108
6.4.3	Ökonomische Untersuchungen	109
6.4.3.1	Sektor <i>Be- und Verarbeitung von Holz</i> (ohne Herstellung von Möbeln).....	109
6.4.3.2	Die Bedeutung der Nanotechnologie in der Holzindustrie anhand der ausgewählten Produktfallstudien	112
7	Schlussfolgerungen	114
7.1	Aus der Sicht der Ökobilanz	114
7.2	Aus der Sicht der Risikodiskussion.....	118
7.3	Aus einer ökonomischen Perspektive	120
7.4	Empfehlungen.....	122
8	Diskurs: Zur Auszeichnung von Nanoprodukten mit Umweltzeichen	124
9	Das Schweizer Vorsorgeraster für Synthetische Nanomaterialien.....	127
10	Literatur	131

11	Internet Links.....	136
12	ExpertInnenworkshop.....	137
13	ExpertInnengespräche	145

Summary

Ecological benefits of nano-products and applications are generally claimed, they are assumed to bring savings in resource and energy consumption during the use phase and to reduce toxic emissions. Actually for nano-products it is however difficult to prospectively predict their risks – the hazard potential to humans and to the environment – since dose-response relationships are widely lacking. Experiences with the after-care of former product innovations – examples are asbestos, DDT and CFCs – strongly indicate the need for a prospective assessment of innovative technologies already in the development phase. And such an assessment is particularly needed, if the knowledge about presumed effects is fragmentary and inconsistent.

The project NanoRate was therefore designed to be a prospective assessment of distinct nano-products and to contribute to an overall sustainability policy in nanotechnology development. Nano-structured surfaces on wood and glass was selected as the investigated field of application because of their market relevance resp. gained market maturity. NanoRate calculated two product-case studies and compared the nano-products with the corresponding conventional product resp. the uncoated surface.

Life cycle assessment (LCA) is the method of choice to find out products or processes which are environmentally more benign. The NanoRate assessment was founded on primary data and declarations provided by the manufacturers as well as on secondary data from the ecoinvent database. Altogether the assessment and risk appreciation suffered from a lack of primary data. A synopsis of the gathered data, additional assumptions and appropriate system boundaries yet confirmed an overall environmental benefit of the examined products. The overall environmental benefit in one case could be ascribed to a reduced bulk amount during application, in the other case the product application resulted in a reduced cleaning effort during the use phase.

Since the risks fundamentally correlate with the release of nanoparticles, it was examined if such can be expected during the product life cycle. Therefore a risk assessment tool recommended from the Swiss Federal Office of Public Health – the precautionary matrix for synthetic nanomaterials – was applied. The matrix is recommended to be applied by trade and industry to adopt a structured approach for recognizing the possible risks in dealing with synthetic nanomaterials. Health related risk were rated to be rather small, however they could not be completely excluded for the application phase due to lacking knowledge about the nature of the sol-gel process. The ascertained data gaps indicate that nondisclosure and the protection of competitive advantages are substantial barriers to gather knowledge about product-innovations.

Finally an additional economic analysis was performed. The analysis revealed a substantial market volume for nano-products generating or upgrading surface functionalities. Again, data about the economic relevance of nanotechnologies was found to be rather incomplete not only for Austria.

Zusammenfassung

Der ökologische Nutzen von nanotechnologischen Produkten und Anwendungen wird immer wieder behauptet. Vorteile werden etwa in der Einsparung von Ressourcen und Energie bei Herstellung und Nutzung als auch in verminderten (toxischen) Emissionen gesehen. Für Nanoprodukte ist es schwierig, Risiken und Folgewirkungen zu prognostizieren, da für Nanopartikel Dosis-Wirkungsbeziehungen unzureichend erforscht und somit die potenziellen Gefahren für Mensch und Umwelt noch nicht abschätzbar sind. Erfahrungen mit der Nachsorge früherer Produktinnovationen – Beispiele sind etwa Asbest, DDT oder FCKWs – zeigen, dass neuartige Technologien einer den Gestaltungsprozess begleitenden Analyse und Bewertung bedürfen, auch und gerade wenn das Wissen über zu erwartende Wirkungen lückenhaft ist.

Als Beitrag für eine vorsorgeorientierte Technikgestaltung wurden im Projekt NanoRate am Markt verfügbare bzw. marktreife Produkte im Anwendungsbereich Nano-strukturierte Oberflächenbeschichtungen auf Glas und Holz Risiken und Umweltnutzen untersucht. NanoRate berechnete bzw. bewertete in zwei Fallbeispielen den Umwelt- und Ressourcennutzen der Nano-Beschichtungen im Vergleich zu herkömmlichen Beschichtungen bzw. zum nicht beschichteten Trägermaterial. Die Ökobilanz ist dabei Methode der Wahl, wenn es darum geht, bei Vergleich von Produkt- und Prozessalternativen über den Lebensweg ökologische Vorteile herauszuarbeiten. Die Methode kann allerdings nicht gesundheitliche Risiken bewerten, wenn die jeweiligen nanoskaligen Bestandteile und die Emissionen als auch Expositionen lokal begrenzt sind. Ziel des Projektes *NanoRate* ist die Darstellung des Umwelt- und Ressourcennutzens sowie allfälliger Risiken von konkreten Nano-Produkten bzw. Nano-Anwendungen im Vergleich mit konventionellen Produkten bzw. Anwendungen.

Die Bewertung baut auf von den Herstellern bereitgestellten Daten und Angaben auf. Insgesamt war man bei der Erstellung der Bilanzen und der Durchführung der Risikoabschätzungen mit dem Fehlen von Produkt- und Prozessdaten konfrontiert. Die erhaltenen Daten zusammen mit getroffenen Annahmen und Systembegrenzungen bestätigten in der Zusammenschau einen Umwelt- und Ressourcennutzen. Der Nutzen begründet sich in einem Fall auf einer verringerten Applikationsmenge, im zweiten Fall auf einen verminderten Reinigungsaufwand während der Nutzungsphase.

Da nanospezifische Risiken wesentlich zusammen mit einer Freisetzung von Nanopartikeln zu sehen sind, wurde geprüft, ob entlang des Lebensweges mit solchen Freisetzungen zu rechnen ist. Für diese Betrachtung wurde ein vom Schweizer Bundesamt für Gesundheit empfohlenes Vorsorgegeraster als Vorlage verwendet. Allfällige gesundheitliche Risiken wurden insgesamt als gering eingestuft, konnten aber für Phase der Produktapplikation nicht zur Gänze ausgeschlossen werden. Die festgestellten Datenlücken weisen darauf hin, dass betriebliche Geheimhaltung bzw. die Wahrung von Wettbewerbsvorteilen das Wissen zu den Vor- und Nachteilen der Produktinnovationen begrenzen.

In der Risikodiskussion geht man allgemein davon aus, dass nanospezifische Risiken nur dann entstehen, wenn sogenannte NPR freigesetzt werden können, die in 2 Dimensionen (Nanostäbchen, engl. "nanorods") oder 3 Dimensionen (Nanopartikel, engl. "nanoparticles") nanoskalig sind. Die Möglichkeit einer Freisetzung von NPR's korreliert damit unmittelbar mit dem Nano-Risikopotenzial. Deshalb wurde geprüft, ob NPR's im Produkt vorliegen oder im Verlauf der Anwendung oder Nutzung entstehen können. Die Vorgangsweise lehnt sich dabei eng an das Schweizer *Vorsorgeraster für Synthetische Nanomaterialien* an. Zur Erfassung der Nanorelevanz wurden die beiden Praxispartner befragt, ob und in welchen der einzelnen Prozessschritte NPR's eingesetzt werden oder entstehen. Beide schlossen den Einsatz von NPR's oder deren Entstehung während des Lebenszyklus aus. In der Folge ergab sich im Projektteam eine Diskussion über die Nanorelevanz des Sol-Gel-Prozesses, der für die Herstellung der Nano-Beschichtung eine Rolle spielt. Nach allgemeiner Vorstellung entstehen dabei zumindest intermediär Nanopartikel. Diese Frage konnte auf Grund fehlender Informationen über allfällige Risiken im Prozessverlauf bzw. über die Inhaltsstoffe nicht abschließend geklärt werden. Das Projektteam empfiehlt daher aus den gemachten Erfahrungen heraus die Ausarbeitung eines Verfahrens, das den Datenfluss zwischen Hersteller und (unabhängigen) Bewertungseinrichtungen strukturiert, durch Checklisten erleichtert und dabei zugleich Unternehmensdaten schützt.

NanoRate berechnete bzw. bewertete den Umwelt- und Ressourcennutzen der Nano-Beschichtungen mit ökobilanzierenden Methoden im Vergleich zu herkömmlichen Beschichtungen bzw. zum unbeschichteten Beschichtungsträger. Der Vergleich baut auf die von den Praxispartner bereitgestellten Daten sowie auf Annahmen auf. Der Beschichtungsträger Glas bzw. Holz wurde in der Bilanzierung nicht berücksichtigt, da sich daraus ergebende Wirkungen im Vergleich herauskürzen.

Bei der Erstellung der Sachbilanz war man in beiden Produktfallstudien mit dem teilweisen Fehlen von Produkt- und Prozessdaten konfrontiert. Einerseits waren dafür Ersatzdatensätze zu finden, andererseits musste man sich mit Annahmen und Systembegrenzungen behelfen. Über die Wirkungsbilanz konnte in beiden Produktfallstudien im Vergleich zu einem herkömmlichen Bodenbeschichtungssystem bzw. der unbeschichteten Alternative (Glas) insgesamt ein Umwelt- bzw. Ressourcennutzen der Nano-Beschichtungen berechnet werden. Dieser ist in einem Fall auf eine verminderte Applikationsmenge, im anderen Fall auf einen verminderten Reinigungsaufwand bzw. der Einsparung von Reinigungsmittel während der Nutzung zurückzuführen. In der Zusammenschau kann für beide nanoskalige Beschichtungen ein Umwelt- und Ressourcennutzen bestätigt werden.

Schließlich wurde auch eine ökonomische Analyse durchgeführt. Aus Mangel an Sekundärdaten oder relevanter Literatur ist es allerdings schwierig die Bedeutung der ausgewählten Einzelprodukte darzustellen. Betrachtet man aber die Wertschöpfungsstufe von Endprodukten, so ergeben sich erhebliche Marktvolumina für Produkte, deren Funktionalität wesentlich durch Nanoschichten bestimmt bzw. verbessert wird. Das Datenmaterial zur wirtschaftlichen Bedeutung der Nanotechnologie ist allerdings – nicht nur in Österreich – noch sehr lückenhaft, eine allgemein anerkannte breite Datenbasis liegt bisher noch nicht vor. Internationale Studien besagen, dass nicht der direkte Um-

satz mit Nanokomponenten wesentlich ist, sondern die vielfältigen Auswirkungen der Technologie in verschiedenen Anwendungsbereichen.

1 Forschungsfragen

1.1 Nachhaltige Entwicklung und Nanotechnologie

Nanotechnologie ist ein heterogener Satz von Technologien bzw. technologischer Anwendungen, die Systeme auf einer Nanoskala verwenden, also zumindest in einer Dimension zwischen 1 und 100 nm. Insgesamt gibt es hohe Erwartungen, was den Beitrag der Nanotechnologie zu einer nachhaltigen Entwicklung betrifft. Diese Erwartungen betreffen etwa einen geringeren Rohstoff- und Energieverbrauch sowie verringerte Emissionen bei Herstellung, Nutzung und Entsorgung eines Produktes.

Das nachhaltige Potenzial von Nanotechnologie wird oft betont. Es handelt sich dabei aber eher um eine wenig belegte Erwartungshaltung, welche (noch) nicht von fallbezogenen und mit Daten untermauerten Analysen und Bewertungen gestützt wird. Auf Dauer ist es wenig befriedigend, auf einer abstrakten und nicht-fallbezogenen Ebene über *nachhaltige Potenziale*¹ oder *gesundheitliche Bedrohungen* von Nano-Produkten bzw. Anwendungen zu spekulieren. Um die Evidenz eines nachhaltigen Nutzens zu bestätigen (oder auch gegebenenfalls zu entkräften) sollten Abschätzungen ökologischer Potenziale und gesundheitlicher Gefährdungen an konkreten Fallbeispielen vorgenommen werden, selbst wenn diese nicht durchgehend durch Daten untermauert werden. Offene Fragen rund um Nanotechnologie und deren Impact auf eine nachhaltige Entwicklung werden auch in thematischen Schwerpunkten (Special Issues) von renommierten Wissenschaftszeitschriften behandelt, Beispiele sind:

- Journal of Cleaner Production (May-June 2008): *Sustainable Nanotechnology Development*
- Journal of Industrial Ecology (June 2008): *Special Issue on Nanotechnology and Industrial Ecology*.

Dabei wird unter anderem die Meinung vertreten, das nanotechnologische Herstellungsverfahren erheblich zum Impact des Produktlebenszyklus beitragen könnten und keineswegs zu vernachlässigen sind. Dies trifft jedenfalls zu, wenn der Herstellungsprozess hochreine Ausgangsmaterialien, Chemikalien oder Umgebungsbedingungen bedingt [Sengül et al, 2008]. Deshalb bedarf es zunehmend eines Orientierungswissens, da bei zunehmender Marktpräsenz von Nanoprodukten und

¹ Auf die Problematik von produktübergreifenden ökonomischen „Nano-Prognosen“ geht das Kapitel Marktperspektiven ein.

-anwendungen Grundlagen für eine begründete Produktauswahl im Besonderen als auch Entscheidungskriterien bei der Festlegung auf Technologiepfade im Allgemeinen benötigt werden².

Vorausschauende Annahmen als auch Maßnahmen sind jedenfalls mit Unsicherheiten behaftet: *Any sustainability policy is confronted with the limits of the availability of knowledge. Shaping nanotechnologies for sustainable development therefore has to be carried out under conditions of uncertain knowledge and of provisional assessments.*

Das bedeutet nicht, dass Unsicherheiten und Ungewissheiten dazu führen sollten, Erhebungen und Interpretationen zu unterlassen: *For a purposeful sustainability policy in nanotechnology development it is decisive that uncertainty and incompleteness of knowledge do not paralyse or hinder action, but that a maximum range of opportunities for learning in these "experiments" is tapped in the interpretation and implementation of practical measures.* [kursiv: Fleischer und Grunwald, 2008].

Um die Relevanz von Nanotechnologie für eine nachhaltige Entwicklung zu klären, sind deshalb folgende Forschungsfragen zu stellen:

- Wie kann die Entwicklung der Nanotechnologie und die Anwendung daraus resultierender Produkte, Prozesse und Systeme in einer Weise organisiert werden, die eine nachhaltige Entwicklung ermöglicht?
- Wie können Nano-Anwendungen bzw. deren Entwicklungspfade so beeinflusst werden, dass diese einen positiven Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung leisten?
- Gibt es Möglichkeiten, nanotechnologische Entwicklungen bereits in einem frühen Stadium von Forschung und Entwicklung mittels Methoden der Technikbewertung zu beeinflussen?

1.2 Ökobilanzierung zur Abschätzung des Umwelt- und Ressourcennutzens von Nano-Produkten

Die Nanotechnologie als innovative Technologie befindet sich derzeit auf verschiedenen Stufen von Forschung und Entwicklung und hat in einigen Bereichen die Marktreife bzw. den Markt erreicht. Zugleich gibt bisher kaum „reine“ Nano-Produkte, also Produkte die nur aus nanoskaligen Komponenten bestehen³. In der weitaus überwiegenden Mehrzahl der Fälle sind Nanomaterialien als Bestandteile eines komplexen Makroproduktes zu sehen⁴. Das Instrument, welches besonders

² Z.B. für Produktempfehlungen etwa in der öffentlichen Beschaffung

³ Ein Beispiel wären etwa Nanopartikel für medizinische Anwendungen.

⁴ Aus ökonomischer Sicht wäre demnach etwa zwischen Umsätzen mit Nanokomponenten und Umsätzen mit Produkten, in denen Nanokomponenten inkorporiert sind, zu unterscheiden

geeignet ist, um Produkte, Prozesse und Anwendungen hinsichtlich ihres nachhaltigen Nutzens zu analysieren und zu bewerten, ist die Ökobilanz oder Life Cycle Assessment (LCA). LCA fokussiert aber auf Produkte bzw. Prozesse, die entweder am Markt sind oder Marktreife besitzen, um so durch nicht allzu viele Annahmen bezüglich der Datengrundlage Unsicherheiten in der Bewertung zu schaffen. Effekte, welche die Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit betreffen, werden derzeit über eine LCA teilweise, soziale Effekte gar nicht erfasst.

Was die menschliche Gesundheit betrifft, erfasst die Ökobilanzierungsmethode Effekte, die sich über Modelle beschreiben lassen und die durch (epidemiologische) Daten belegt sind. So sind etwa für bodennahes Ozon verursachende Substanzen Wirkmodelle verfügbar, mit denen sich über eine LCA Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit darstellen und bewerten lassen. Solche Wirkmodelle sind jedoch im Zusammenhang mit den Wirkungen von Nanomaterialien (noch) nicht verfügbar, da Wirkmechanismen als auch die Exposition noch unzureichend erforscht sind. Die Ökobilanzierungsmethode kann gesundheitliche Wirkungen nur dann bewerten, wenn die Wirkungszusammenhänge in den Grundzügen bekannt sind. Da dies für Nanomaterialien nicht der Fall ist, ist die Risikobewertung separat bzw. komplementär zu einer LCA zu leisten.

Die LCA ist aber die Methode der Wahl wenn es In einem weiteren Sinne darum geht, bei einem Vergleich von Produkt und Prozessalternative(n) ökologische Vorteile herausarbeiten und dies nach Möglichkeit über den gesamten Lebenszyklus. Die Bewertungsmethode ist deshalb auch in der Produktentwicklung weit verbreitet, entsprechende Tools bzw. Softwarepakete werden gegen Nutzungsentgelt angeboten (z.B. *SimaPro*) oder sind frei zugänglich (Open Software). Zu berücksichtigen ist, dass sich bei vergleichbaren Produkten bestimmte Phasen des Lebenszyklus nicht oder wenig unterscheiden. In diesem Fall kann in einer (vereinfachenden) Annahme dieser Lebenszyklusabschnitt aus der Bewertung genommen werden.

In einem Workshop des Woodrow Wilson Centers for Scholars [2007] wurde unter Beteiligung der US EPA und der Europäischen Kommission untersucht, ob das bestehende Instrumentarium der Ökobilanzierung geeignet ist, um auf Nanoprodukte angewendet zu werden⁵. Zusammenfassendes Fazit des Workshops war, dass das Regelwerk der ISO 14040 voll anwendbar ist. So wird empfohlen, einen Teil der Mittel der Nanoforschung dazu zu verwenden um LCA's durchzuführen: *Potential resource and environmental advantages of nanomanterials and products using nanomaterials over conventional products have not been investigated. Therefore a clear need exists to establish a full understanding of the environmental benefits and drawbacks of nanotechnology and nanomaterials compared with those of conventional technologies and products over their complete life cycles. LCA is the essential tool to achieve this.* [Woodrow Wilson Center, 2007]. Bisher ist die Zahl öffentlich zugänglicher Informationen zu Ökobilanzierungen nanotechnologischer Anwendungen und Produkte eher klein. Der Workshopbericht des Woodrow Wilson Centers for Scholars benennt dazu nur drei Studien (**Tabelle 1**).

⁵ Dabei werden unter Nanoprodukte (nanoproducts) Produkte verstanden, die Nanomaterialien enthalten (contain nanomaterials)

Tabelle 1

AuthorInnen	Datum	Kurzbeschreibung
Lloyd & Lave	2003	Eine Studie zu ökologischen und ökonomischen Implikationen von Nanokompositen in Automobilen
Steinfeldt et al.	2004	Eine im Auftrag des deutschen Bundesministeriums für Bildung und Forschung erstellte Studie des Institutes für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) über Nachhaltigkeitseffekte durch Herstellung und Anwendung nanotechnologischer Produkte. Diese zeigt etwa im Bereich der Oberflächenbehandlung ökologische Potenziale von Nanobeschichtungen auf, bleibt aber im Untersuchungsumfang hinter den Anforderungen einer vollständigen
Lloyd & Lave	2005	Untersuchung der Auswirkungen bei der Nutzung nanoskaligen Platin in Autokatalysatoren. Dabei zeigt die reduzierte Metalloberfläche einen geringeren Energieverbrauch sowie positive Umweltwirkungen.

Ein im Zuge von NanoRate durchgeführtes Desktop Search (Suchhilfe: ISI Web of Knowledge; Suchbegriffe: *Nanotechnology & Life Cycle*; Durchführungsdatum: 29.09.08) erbrachte 50 Treffer, die einer verfeinerten Analyse unterzogen wurden (Suchbegriffe *Assessment, Environmental Assessment* bzw. *Life Cycle Assessment*). Einige Publikationen behandeln zumindest Aspekte von Nanoprodukten bzw. -materialien in Zusammenhang mit einer Lebenszyklusanalyse (**Tabelle 2**)

Tabelle 2

AuthorInnen	Datum	Kurzbeschreibung
Osterwalder et al.	2006	Eine modifizierte Ökobilanzierung zum Vergleich des Energiebedarfs bei der Herstellung von Nanopartikel
Bauer et al.	2008	Thematisiert wird u.a. die fehlende Datenbasis für Lebenszyklusanalysen von Nanoprodukten und -anwendungen am Beispiel von Fallstudien: PVD coating (Dünnschichtbeschichtung von Metallen) & FED Bildschirme
Köhler et al.	2008	Am Beispiel von Fallstudien werden Carbon Nanotubes (CNT) einer Lebenszyklusbetrachtung hinsichtlich ihres Freisetzungsverhaltens unterzogen
Krishnan et al.	2008	Der Energie- und Materialverbrauch im Herstellungsprozess nanoskaliger Mikroprozessoren wird untersucht
Khanna et al.	2007	Herstellungsprozessanalyse von Carbon Nanofibers (CNF): Energieverbrauch ; GWP; human health
Roes et al.	2007	LCA und Umweltnutzen von Polypropylen-Nanokompositen im Ver-

		gleich zu herkömmlichen Materialien
Olsen et al	2006	Übersichtsartikel zur Problematik von Nanotechnologie & LCA

Als Haupthindernis bei der Durchführung von LCA's wird in der Literatur das Fehlen verlässlicher Input- und Outputdaten als auch Daten hinsichtlich der Wirkbeziehungen gesehen. Die Schwierigkeiten in der Datenbeschaffung begründen sich dabei unter anderem auf folgende Punkte:

Der Herstellungsprozess: Daten dazu sind vertraulich bzw. werden firmenintern geschützt

Toxizitätstests: Diese selbst oder Daten dazu fehlen

Anwendung bzw. Entsorgung: Eine solche findet großteils (noch) nicht statt

Die bisher durchgeführten bzw. oben angeführten Studien behandeln daher nicht den gesamten Lebenszyklus sondern nur Teile davon und erfüllen somit nicht immer die Kriterien einer vollständigen LCA nach ISO Standard 14040 und 14044. Ebenso wird eine Risikobetrachtung - wenn überhaupt - nur auf einer qualitativen Ebene durchgeführt und ist in keinem Fall in die LCA integriert. Die Anwendung der Ökobilanzierung auf Zukunftstechnologien hat somit einen stark prospektiven Aspekt, wobei angesichts fehlender Daten Annahmen über künftigen Nutzen als auch mögliche Wirkungen unvermeidlich sind.

Im Workshopbericht des Woodrow Wilson Centers of Scholars [2007] wird deshalb auch die Frage thematisiert, ob das LCA Konzept auf Converging Technologies⁶ überhaupt angewendet werden soll, da diese im Gegensatz zu „reifen Technologien“ mit vielen Annahmen und Datenunsicherheiten behaftet sind. Der Bericht empfiehlt deren Anwendung aber explizit, da die Erarbeitung und Bereitstellung frühzeitiger LCA's Stakeholdern jedenfalls die Möglichkeit vorausschauenden Handelns bietet. Ein Fehlen von Daten sollte jedenfalls kein Hindernis für die Durchführung eines LCA sein: *However, performing LCA should not be delayed until complete data are available.*

Insbesondere ist bei prospektiven Ökobilanzierungen mit Datenlücken zu rechnen. Der Umgang mit Datenlücken sollte dabei auf folgende Weise erfolgen: Das Setzen von unteren und oberen Limits für getroffene Abschätzungen bzw. Annahmen als auch das klare und transparente Ausweisen derselben: *As such, we do not need a specific LCI methodology for nanoproducts but we do need an approach to data estimation.* Im Projekt NanoRate werden Datenlücken jedenfalls aufgezeigt und in die Risikoabschätzung integriert.

⁶ Die Bezeichnung Converging Technologies ist ein Sammelbegriff, der für neuartige, aufstrebende Technologien wie der Nanotechnologie, Biotechnologie oder auch Robotik verwendet wird.

2 Zielsetzung und Durchführung

Das Projekt will einen wissenschaftlichen Beitrag zur Nutzen - Risiko Analyse von Produkten mit nano-technologischen Komponenten leisten, wofür erst wenige Beispiele bekannt sind. Solche Analysen sind umso dringlicher, als solche Produkte auf den Markt drängen, gleichzeitig aber die laufende Risikodiskussion zeigt, dass die Kenntnis über das Risiko und somit das Nutzen - Risiko Verhältnis unzureichend ist. Deshalb soll mit dem Projekt das *Nicht-Wissen* zu Produkten entlang des Lebensweges an konkreten Beispielen gezeigt und - vor dem Hintergrund aktueller Ergebnisse in der Risikoforschung - bewertet werden.

Als Ergebnis sollte der Vergleich Nano-Produkt/Anwendung versus konventionelles Produkt/Anwendung folgende Aussage(n) ermöglichen:

- Es liegt (k)ein Umweltnutzen vor und dieser ist – im Rahmen einer gewissen Unschärfe - quantifizierbar (etwa als: CO₂ Einsparung, Energie und Ressourceneinsparung jeweils bezogen auf eine funktionelle Einheit).
- Ein Umweltnutzen ist zwar nicht quantifizierbar, auf Grund von Analogieschlüssen ist er aber (oder: ist er nicht) zu vermuten.
- Es können - zur gegebenen Datenbasis - keine Aussagen über den Umweltnutzen gemacht werden.
- Es besteht auf Basis von Herstellerangaben, der Meinung von ExpertInnen oder verfügbaren Daten und Studien (k)ein Anlass, ein Arbeits-, Umwelt- oder Verbraucherrisiko anzunehmen.

Die Darstellung in Form zweier Produktfallbeispiele ermöglicht es, komplexe Diskussionen und Sachverhalte auf eine konkrete Ebene herunterzubrechen. Auf einer Einzelfallebene kann eine vorher nur vermutete unzureichende Datenlage, können Wissenslücken konkret benannt werden. Das Projektergebnis ist somit eine Darstellung und Interpretation des Wissens als auch Nicht-Wissens zu zwei konkreten Produkten und Anwendungen. Umgekehrt sind daraus gezogene verallgemeinernde Schlussfolgerungen nur bedingt möglich.

Das Projekt setzt dieses Ziel an konkreten am (österreichischen) Markt befindlichen bzw. marktauglichen Produkten mit nano-technologischen Komponenten um. Das Produkt- bzw. Anwendungskriterium „Nano“ wird dabei vom Anbieter bzw. Entwickler selbst eingebracht, der sein Produkt mit diesem Terminus beschreibt bzw. bewirbt. Es handelt sich dabei um einen Produktclaim, welcher Voraussetzung für die Produktauswahl ist. Im Zuge der durchgeführten Produktfallstudie wird per se hinterfragt, was die „Nanoeigenschaft“ im Zusammenhang mit dem Produkt ist.

Die Darstellung des Umwelt- und Ressourcennutzens sowie allfälliger Risiken erfolgt in Form zweier Produktfallstudien. Die Akquise der Praxispartner fokussierte sich dabei auf Nano-

Beschichtungen, da für dieses Anwendungsgebiet eine ausreichende Anzahl von Produkt entwickelnden Unternehmen recherchiert werden konnte, ein ökologischer Nutzen plausibel erscheint, die Produktentwicklungen bzw. -anwendungen ausreichend weit fortgeschritten sind und schließlich das „Produktdesign“ nicht zu komplex für das Vorhaben ist. Ende 2008 konnte die Akquise auf zwei Kandidaten eingegrenzt werden, die Verhandlungen führten anschließend zu verbindlichen Kooperationen, als Praxispartner wurden gefunden:

PROFACTOR GmbH (Produkt: *haptiX*)

Die PROFACTOR Gruppe ist ein Unternehmen in der angewandten Produktionsforschung. So werden maßgeschneiderte Oberflächen für Glas, Holz, Papier, Metalle oder Polymeere entwickelt. Know-how in der Nanotechnologie wird in der Entwicklung einer wasserabweisenden, widerstandsfähigen und leicht zu reinigenden Beschichtung für Holzfußböden eingesetzt.

Wagenhofer Coating Services (Produkt: *Nanoprotect*) sowie Hotel Marriott (Wien)

Die Wagenhofer Coating Services ist österreichische Vertriebsfirma für eine easy-to-clean Beschichtung. Die Beschichtung nutzt den Lotus Effekt und eignet sich für Glas- und Keramikoberflächen, das Produkt ist am Markt verfügbar. In NanoRate wurde als Anwendungsbereich die Beschichtung von Glasduschen ausgewählt.

Die daran anschließende Nutzen Risiko Analyse setzte sich aus einer Datenrecherche, einer Lebenszyklusanalyse samt Ökobilanzierung sowie einer Risikoanalyse zusammen. Außerdem wurde ein Praxisversuch in einem Wiener Hotel durchgeführt, um Informationen zur Reinigungswirkung einer Beschichtung zu sammeln. Die Datenrecherchen erfolgen mit den Praxispartnern. Abgerundet wurde das Forschungsvorhaben durch ein Workshop mit ExpertInnen im Juni 2009 sowie durch eine ökonomische Analyse. Letztere lieferte Hinweise darauf, wie sich das makroökonomische Umfeld der Produktfallbeispiele (in Österreich) darstellt und mit welcher Entwicklung zu rechnen ist. Die Risikoanalyse recherchierte aktuelle Beiträge zum Thema Risikoforschung, insbesondere wurde dabei die laufende Diskussion auf nationaler und internationaler Ebene, der Arbeitsschutzkontext und dabei insbesondere Risikoabschätzungsmodelle berücksichtigt.

Aus den Projektergebnissen sollten Handlungsempfehlungen ableitbar sein: Nanotechnologische Anwendungen stehen in einer relativ frühen Phase ihrer Pfadentwicklung und bieten noch ein erhebliches Gestaltungspotenzial. Für ihren potenziellen Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung macht es daher Sinn, Analysen und somit Orientierungshilfen für die Ausgestaltung einer zukunftsfähigen Technologie- und Forschungspolitik zu liefern.

Der vorliegende Projektbericht möchte dazu beitragen, die Entwicklung der Nanotechnologie mit dem Leitbild einer zukunftsfähigen Wirtschaftsweise zu verschränken und Entwicklungspotenziale aufzuzeigen:

- Unternehmen kommt als Akteuren im Rahmen einer Integrierten Produktpolitik zunehmend die Aufgabe zu, ihre Produkte und Dienstleistungen nachhaltig zu entwerfen. Insbesondere

kleine und mittlere Unternehmen benötigen in ihrer tägliche Praxis Unterstützung, um Produkte und Anwendungen entsprechend deren nachhaltigen Potenzials - sei es für Produktdesign oder für ihr betriebliches oder öffentlichkeitswirksames Berichtswesen – besser einschätzen zu können.

- Innovationen beinhalten per se potenzielle Risiken und solche sind durch vorsorgende Instrumente nicht vollständig zu vermeiden, es sei denn man verhindert die Innovation insgesamt. Nichts desto trotz hat die Gesellschaft ein Recht, über das Ausmaß des Nicht-Wissens oder Noch-nicht-Wissens in Kenntnis gesetzt zu werden, um informiert Entscheidungen treffen zu können.
- Konkret profitieren können neben Politik- und Beschaffungsverantwortlichen, KonsumentInnen und Down Stream Usern auch die Hersteller selbst, wenn so der nachhaltige Nutzen eines Produktes oder einer Anwendung transparent gemacht wird.

3 Nanotechnologie und Nano-Objekte: Problem der Definition und Abgrenzung

Bei der Definition der Nanotechnologie gibt es noch keine international einheitliche Sichtweise. Die Frage der Abgrenzung von Nanotechnologie zur Mikrotechnologie, zu chemischen Prozessen und Methoden der Nanobiotechnologie wird über Beispiele verdeutlicht. Ein Bericht der OECD [2009] stellt dazu fest: *es [gibt] keine absolut richtige und unanzweifelbare Definition für die Klassifizierung von technologischen Prozessen und Produkten in der Nanotechnologie.* Derzeit gibt es keine Branche *Nanotechnologie*. Eher sind es spezifische Anwendungsbereichen und Kommerzialisierungswege, von denen einige zur Bildung von Wertschöpfungsketten beisteuern.

Abbildung 1 Definitionen für Nanotechnologie

Quelle	Definition
USA National Nanotechnology Initiative (2001-)*	<i>Nanotechnology is the understanding and control of matter at dimensions of roughly 1 to 100 nanometers, where unique phenomena enable novel applications. Encompassing nanoscale science, engineering and technology, nanotechnology involves imaging, measuring, modelling, and manipulating matter at this length</i>
EU 7th Framework Programme (2007-2013)*	<i>Generating new knowledge on interface and size-dependent phenomena; nano-scale control of material properties for new applications; integration of technologies at the nano-scale; self-assembling properties; nano-motors; machines and systems; methods and tools for characterisation and manipulation at nano dimensions; nano precision technologies in chemistry for the manufacture of basic materials and components; impact on human safety, health and the environment; metrology, monitoring and sensing, nomenclature and standards; exploration of new concepts and approaches for sectoral applications, including the integration and convergence of emerging technologies.</i>
Japan Second Science and Technology Basic Plan (2001-2005)*	<i>Nanotechnology is an interdisciplinary S&T that encompasses IT technology, the environmental sciences, life sciences, materials science, etc. It is for controlling and handling atoms and molecules in the order of nano (1/1 000 000 000) meter, enabling discovery of new functions by taking advantage of its material characteristics unique to nano size, so that it can bring technological innovation in various fields.</i>
Working definition of ISO* TCC 229 in 2007	<i>Understanding and control of matter and processes at the nanoscale, typically, but not exclusively, below 100 nanometers in one or more dimensions where the onset of size-dependent phenomena usually enables novel applications. Utilising the properties of nanoscale materials that differ from the properties of individual atoms, molecules, and bulk matter, to create improved materials, devices, and systems that exploit these new properties.</i>
European Patent Office*	<i>The term nanotechnology covers entities with a geometrical size of at least one functional component below 100 nanometers in one or more dimensions susceptible of making physical, chemical or biological effects available which are intrinsic to that size. It covers equipment and methods for controlled analysis, manipulation, processing, fabrication or measurement with a precision below 100</i>

*Quelle :OECD 2009

Nanotechnologie ist die Herstellung, Untersuchung und Anwendung von Strukturen, molekularen Materialien, inneren Grenz- und Oberflächen mit mindestens einer kritischen Dimension oder mit Fertigungstoleranzen (typischerweise) unterhalb 100 Nanometer. In der Regel werden hierbei aus der Nanoskaligkeit der Systemkomponenten resultierende neue Funktionalitäten und Eigenschaften zur Verbesserung bestehender oder Entwicklung neuer Produkte und von Anwendungsoptionen genutzt. Diese neuen Effekte und Möglichkeiten sind überwiegend im Verhältnis von Oberflächen- zu Voluminatomen und im quantenmechanischen Verhalten der Materiebausteine begründet“. Wobei es sich bei Nanomaterialien handelt und wie diese zu definieren sind ist - wie Abbildung 2 verdeutlicht – Gegenstand von Normierungs- und Regulierungsanstrengungen, aber noch nicht in letzter Konsequenz verbindlich festgelegt.

Abbildung 2 Definitionen für Nanomaterialien

Quelle	Definition
DIN CEN ISO/TS 27687:2008-11	<p>Nanomaßstab, Nanoskaligkeit: Größenbereich von etwas 1nm bis 100 nm.</p> <p>Anmerkung: Eigenschaften, die keiner Extrapolation von einer größeren Größe entsprechen, zeigen sich üblicherweise, jedoch nicht ausnahmslos, in diesem Größenbereich. Für derartige Eigenschaften sind die Größengrenzwerte als ungefähre Werte zu betrachten.</p> <p>Nano-Objekt: Material mit einem, zwei oder drei Außenmaßstäben im Nanomaßstab.</p> <p>Nano-Objekte wie etwa Nanopartikel, Nanofasern und Nanoplättchen treten häufiger in großen Gruppen auf.</p>
Neue europäische Kosmetikverordnung, ⁷	<p>Nanomaterial: Ein unlösliches oder biologisch beständiges und absichtlich hergestelltes Material mit einer oder mehreren äußeren Abmessungen oder einer inneren Struktur in einer Größenordnung von 1 bis 100 Nanometern.</p>
Vorschlag zur europäischen Novel-Food-Verordnung, diskutiert im EU-Parlament am 25.3.2009 ⁸	<p>Konstruierte Nanomaterialien: Absichtlich hergestellte Materialien mit einer oder mehreren äußeren Abmessungen in einer Größenordnung von höchstens 100 Nanometern oder mit funktionell getrennten Teilen im Innern oder an der Oberfläche, von denen viele eine oder mehrere äußere Abmessungen in der Größenordnung von höchstens 100 Nanometern haben, einschließlich Strukturen, Agglomerate oder Aggregate, die mehr als 100 Nanometer groß sein können, jedoch für den Nanomaßstab kennzeichnende Eigenschaften haben.</p> <p>Typische Eigenschaften im Nanomaßstab: Eigenschaften, die mit der großen spezifischen Oberfläche der betreffenden Materialien zusammenhängen bzw. besondere physikalisch-chemische Eigenschaften, die sich von den Eigenschaften der nicht nanoformen Strukturen aus denselben Materialien unterscheiden.</p>

⁷Angenommen am 20.November 2009: <http://register.consilium.europa.eu/pdf/en/09/st03/st03623.en09.pdf>

⁸ <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+P6-TA-2009-0171+0+DOC+XML+V0//DE&language=DE>

Im Zusammenhang mit der Risikodiskussion insbesondere im Arbeitsschutz herrscht eine gewisse Begriffsvielfalt. Eine Voraussetzung für eine fundierte Risikodiskussion zu Nanotechnologie ist ein gemeinsames und verbindliches Verständnis dessen, worüber diskutiert wird. Im allgemeinen Sprachgebrauch werden die Begriffe Nanomaterialien, Nano-Objekte und Nanopartikel oft synonym verwendet. Der vorliegende Bericht folgt dabei weitgehend den folgenden Zuordnungen:

Nano-Objekte: Material mit einer, zwei oder drei äußeren Dimensionen im Bereich zwischen 1 und 100 nm [DIN/CEN/ISO, 2008]

(Synthetische) Nanomaterialien: Absichtlich hergestellte Materialien mit strukturellen Bestandteilen (z.B. Kristallite, Fasern, Partikel), die in mindestens einer äußeren oder inneren Dimension nanoskalig sind mit speziellen Eigenschaften oder spezieller Zusammensetzung typischerweise zwischen 1 und 100 nm [Bericht des Bundesrates der Schweiz, 2008]

Synthetische Nanopartikel: Gezielt hergestellte Teilchen, welche typischerweise in mindestens 2 Dimensionen zwischen 1 und 100 nm groß sind [Bericht des Bundesrates der Schweiz, 2008]

Nano-strukturierte Materialien: Materialien mit nano-skaliger Oberfläche [LUBW, 2008]

4 Marktperspektiven

Das von Joanneum Research bearbeitete Modul des Gesamtprojektes stellt die ökonomische Relevanz der ausgewählten nanotechnologischen Produkte dar. Ziel dieses Teilberichtes ist es, die wirtschaftliche Relevanz der Wirtschaftsaktivitäten (ÖNACE) in Zusammenhang mit der Produktgruppe (ÖCPA), der die ausgewählten zwei nanotechnologischen Produkte zugeordnet werden können, mithilfe von verfügbaren ökonomischen Indikatoren für Österreich darzustellen.

Die Nanotechnologie ist eine der Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts. Die Nanotechnologie ist grundsätzlich interdisziplinär bzw. als Querschnittsthema zu sehen. Diese neue Querschnittstechnologie baut Verknüpfungen insbesondere zu Chemie, Elektronik, Optik und sogar zur Textilindustrie auf und findet immer breiteren Eingang in Verbraucherprodukte in den Bereichen Kosmetik, Glas- und Keramikverarbeitung, Haushalt, Autoherstellung und bei der Herstellung von Holzwaren etc. Durch ihre Interdisziplinarität und breite Einsetzbarkeit wird die Nanotechnologie von vielen Akteuren als der nächste Quantensprung in der technologischen Entwicklung gesehen. Durch Nanotechnologie kommt der nano-strukturierten Oberflächenveredelung zunehmende Bedeutung zu, darunter sind Beschichtungen aller Art zu verstehen, die wesentlich zur Verbesserung der Eigenschaften wie Kratzfestigkeit, Wasser- und Schmutzabweisung beitragen.

Bei den zwei im Rahmen des Projektes untersuchten Produkten handelt es sich ebenso um nano-strukturierte Oberflächen, genauer gesagt um eine nano-strukturierten Oberflächenbeschichtung eines Fußbodens sowie um eine nano-strukturierten Oberflächenbeschichtung für Glas und Keramik. Die Beschichtung dient dem Schutz vor Verunreinigung bei gleichzeitigen Erhalt ansprechender haptischer Eigenschaften.

Die großen sozioökonomischen Versprechen der Nanotechnologie sind die Hauptgründe für die rapide Erhöhung des öffentlichen Interesses, gemessen auch an den erhöhten F&E Investitionen im Bereich Nanotechnologie. Der Nanotechnologie wird in vielen Regionen Österreichs strategische Priorität mit dementsprechender öffentlicher und privater Förderung eingeräumt. (Siehe z.B. AustriaNano Forum unterstützt vom BMWF, Nanonet Styria, unterstützt durch Strukturfondsmittel 2000-2006). Diese Investitionen schließen auch Förderungen angrenzender Wissenschaften und Technologiebereiche mit ein.⁹ Im privaten Sektor wird viel in nanotechnologische F&E-Aktivitäten investiert, weil ein schnell wachsender und Ertrag bringender Markt für Nanotechnologie prophezeit wird. Trotz allem sind auf Grund von fehlenden Indikatoren und Statistiken, kombiniert mit dem noch nicht ausgereiften Charakter der Nanotechnologie, sozioökonomische Auswirkungen schwer zu erforschen.¹⁰ Bisher stellen Literaturanalysen, Experteninterviews, Warenbestandsaufnahmen

⁹ Experteninterview mit DI Helmut Wiedenhofer

¹⁰ www.cordis.europa.eu/nanotechnology, The economic development of nanotechnology - An indicators based analysis

and Marktprognosen die wichtigsten Quellen für die Beurteilung der sozioökonomischen Auswirkungen dar.

Bereits heute werden mit Produkten, die sich nur mit Hilfe der Nanotechnologie realisieren lassen, beträchtliche Umsätze erzielt. Diese Umsätze dürften mit dem wirtschaftlichen Durchbruch der Nanotechnologie zukünftig enorm steigen.

Die hier durchgeführte Analyse der Anwendungs- und Marktperspektiven der Nanotechnologie in Produkten und Produktgruppen basiert im Wesentlichen auf einer Sekundäranalyse relevanter Publikationen. Neben einer qualitativen Beschreibung der Anwendungspotenziale sollten hierbei auch quantitative Aussagen zum Marktpotenzial der Nanotechnologie getroffen werden. Hierbei ist anzumerken, dass das Gebiet der Nanotechnologie folgende Charakteristika aufweist, die eine quantitative Einschätzung des Marktpotenzials erschweren (vgl. Luther, 2003; Fleischer, 2002):

- Nanotechnologie lässt sich nicht klassischen Industriebranchen zuordnen, deren Umsätze in Wirtschaftsstatistiken erfasst werden. Es handelt sich vielmehr um eine branchenübergreifende Querschnittsdisziplin.
- Nanotechnologie stellt keine einheitliche Technologieplattform dar, sondern beinhaltet ein breites Spektrum unterschiedlicher Technologie- und Forschungsfelder (Werkstofftechnik, Schichttechnologie, Nanostrukturierung, Analytik, Oberflächenbearbeitung).
- Nanotechnologische Verfahren und Produkte setzen überwiegend am Beginn der Wertschöpfungskette an und beziehen sich vorzugsweise lediglich auf einzelne Komponenten, deren Funktionalität durch Nanotechnologie verbessert wird. Der Anteil der Nanotechnologie an der Wertschöpfung marktgängiger Produkte lässt sich oftmals kaum oder nur ungenau erfassen.

Die Nachfrage nach Marktprognosen bezüglich Nano-Produkten begann im Jahr 2000. Parallel dazu gab es auch erste spezielle Förderprogramme für Nanotechnologien. Tabelle 1 enthält eine Auswahl dieser Marktprognosen ab dem Jahr 2000 (siehe auch Malanowksi et al., 2006 and Hullmann, 2007). Abgesehen von der NSF, haben einige große Banken und Consulting-Unternehmen Prognosen zu den Entwicklungen im nanotechnologischen Bereich erstellt. Darüber hinaus haben einige Industrieverbände, wie die NanoBusinessAlliance in den USA und die Nanotechnology Industries Association (NIA) in UK, Marktprognosen und Folgeabschätzungen verfasst. Die Spanne existierender Marktzahlen zur Nanotechnologie umfasst einen weiten Bereich von 900 Mio. USD für das Weltmarktvolumen nanostrukturierter Materialien im Jahr 2005 (BCC, Business Communication Company 2001) bis zu einer Billion USD für das Weltmarktvolumen nanotechnologisch beeinflusster Produkte im Jahr 2015 (NSF, National Science Foundation, 2001).

Tabelle 3 Vergleich verschiedener Marktprognosen für den Nanotechnologie Weltmarkt in Milliarden USD

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
LuxResearch (2006, 2008)	30		147							2600	3100
BCC (2001, 2008)	0,9		12	13			27				
Cientifica (2008)				167				263			1500
RNCOS (2006)						1000					
Wintergreen (2004)											750
MRI (2002)	66					148					
Kamei (2002)	66					148					
Evolution Capital (2001)	105					700					
NanoBusiness Alliance (2001)	225			700							
NSF (2001)	54										1000

Quelle: LuxResearch (2006, 2008), BCC (2008), Cientifica (2008), RNCOS (2006), Wintergreen (2004), MRI (2002), Kamei (2002), Evolution Capital (2001), NanoBusiness Alliance (2001), NSF (2001)

Jedoch ist zu berücksichtigen, dass die verschiedenen Marktprognosen zum Teil auf sehr unterschiedlichen Definitionen und Bewertungsansätzen basieren und somit nicht direkt vergleichbar sind. Um eine richtige Einschätzung von Marktzahlen und -prognosen zu ermöglichen und Fehlinterpretationen zu vermeiden, ist es daher notwendig, die Aussagen im Kontext folgender Fragestellungen zu diskutieren:

- Welche Definition von Nanotechnologie wird zugrunde gelegt? Auf welcher Datenbasis beruhen die genannten Zahlen?
- Welche (Teil)Bereiche der Nanotechnologie umfasst die Markteinschätzung (z. B. Nanomaterialien, Nanobeschichtungen, Tools und Messtechnik zu Erzeugung von Nanostrukturen etc.)?
- Auf welche Wertschöpfungsstufe beziehen sich die Marktzahlen (Grundstoffe wie z. B. Nanopulver, Zwischenprodukte wie Laserdioden oder Endanwenderprodukte wie Computer oder Haushaltsgeräte)?

- Beziehen sich die oben erwähnten Marktprognosen entweder auf die ganze Palette von Nano-Produkten entlang der Wertschöpfungskette oder auf zu verwertendes nanotechnologisches Rohmaterial (wie zum Beispiel Carbon Nanoröhrchen, Quantenpunkte, Fullerene) und andere Komponenten (wie zum Beispiel Nano-Beschichtungen oder Verbundstoffe, elektronische Geräte etc.)¹¹

Trotz unterschiedlicher Definitionen und Methoden in den Marktprognosen prophezeien alle Schätzungen eine sehr hohe Wachstumsrate für den Nano-Produkt-Markt. Eine Betrachtung der einzelnen Marktanteile, die auf Österreich entfallen, ist nicht ohne weiteres möglich. Die Perspektiven der Nanotechnologie für die zukünftige Entwicklung österreichischer Unternehmen werden aber durchweg als positiv angesehen.

4.1 Anwendungsperspektiven der Nanotechnologie in Produkten und Produktgruppen

Mit der Nanotechnologie verstärkt sich die Hoffnung auf bedeutende Umsatzpotenziale in fast allen Branchen der Wirtschaft. Wie oben bereits erwähnt, steckt zwar die Verbreitung am Markt von nanotechnologischen Verfahren und Produkten noch ziemlich in den Anfängen, jedoch hat eine Reihe von Produkten und Verfahren bereits den Weg in den Markt gefunden.

Nanotechnologische Erkenntnisse fließen schon seit Jahren in den Bereich funktionelle Oberflächenbeschichtungen ein. In den letzten Jahren sind nanotechnologische Erkenntnisse zunehmend auch in die Felder Chemie, Holz und Glasindustrie eingeflossen, dieser Trend wird voraussichtlich weiter anhalten. Bereits heute sind deutliche Einflüsse nanotechnologischer Erkenntnisse bei der chemischen Oberflächenbehandlung zu erkennen.

Zu unterscheiden ist zwischen direkten Umsätzen mit Nanokomponenten und Umsätzen mit Produkten, in denen Nanotechnologien inkorporiert sind. Das Datenmaterial zur wirtschaftlichen Bedeutung der Nanotechnologie ist allerdings – nicht nur in Österreich – noch sehr lückenhaft, eine allgemein anerkannte breite Datenbasis liegt bisher noch nicht vor.

Die Hebelwirkung der neuen Technologie ist als entscheidender Faktor für das Marktvolumen anzusehen. Internationale Studien besagen, dass nicht der direkte Umsatz mit Nanokomponenten wesentlich ist, sondern die vielfältigen Auswirkungen der Technologie in verschiedenen Anwen-

¹¹ von BCC und NSF werden in dem Bewertungsansatz zwei gegensätzliche Positionen eingenommen. Während BCC sich auf ein eng begrenztes Teilgebiet der Nanotechnologie (anorganische Nanopartikel) beschränkt und den Marktwert der Grundstoffe kalkuliert, bezieht sich die NSF auf den Marktwert sämtlicher Endprodukte, die in irgendeiner Form durch Nanotechnologie beeinflusst werden (z. B. Medikamente, Computer, Datenspeicher etc.), ohne dabei konkrete Produkte zu nennen und den Anteil der Nanotechnologie an der Wertschöpfung näher zu spezifizieren. Es ist daher nicht verwunderlich, dass sich die angegebenen Marktvolumina unterscheiden, wobei allerdings sicherlich der unterschiedliche Zeithorizont eine wesentliche Rolle spielt

dungsbereichen. Unternehmen, die sich auf Nanotechnologie konzentrieren, sind gezwungen, den schwierigen Übergang von der wissenschaftlichen Forschung zur Produktverbreitung auf dem Hersteller- und Verbrauchermarkt zu meistern. Als hilfreich werde sich dabei oft die Entwicklung strategischer Partnerschaften erweisen.

4.2 Nanotechnologische Produkte und Anwendungen

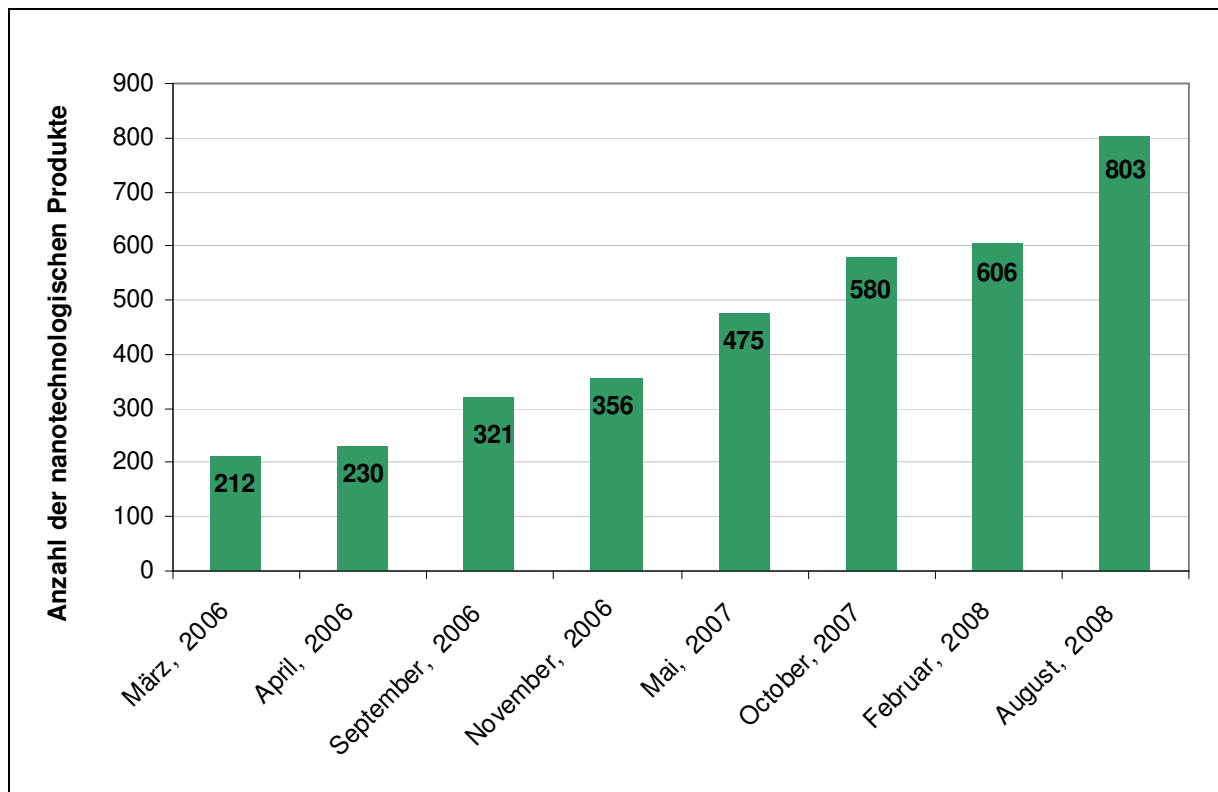
Wenige einheitliche Informationen gibt es über nanotechnologische Anwendung in der Produktentwicklung und bezüglich nanotechnologische Innovationstätigkeiten innerhalb der Unternehmungen. Der Informationsstand zu bereits verfügbaren Produkten, insbesondere Konsumprodukten, die in irgendeiner signifikanten Weise etwas mit Nanotechnologie zu tun haben, sei es weil sie Nanomaterialien enthalten oder mit nanotechnologischen Verfahren hergestellt wurden, oder die aus dem Bereich der Nanobionik stammen, ist weltweit gering. Öffentlich verfügbar gibt es nur zwei nennenswerte Informationsquellen: erstens die Datenbank des amerikanischen Woodrow Wilson Centers (Projekt von „Emerging Nanotechnologies at the Woodrow Wilson International Centre for Scholars in the United States“), zweitens die deutsche „Nanoproducts“¹² Datenbank.

Für die Woodrow Datenbank wurden Produktlisten, anhand einer web-basierten Suche mit Hilfe von drei Auswahlkriterien erstellt. Die Auswahlkriterien waren, dass die Produkte leicht von den Konsumenten gekauft werden können, dass diese Produkte ohne Weiteres als Nano-Produkte identifiziert werden können und dass die nanotechnologischen Ansprüche für diese Produkte angemessen erscheinen.

Die erste Version dieses Inventars wurde im März 2006 veröffentlicht. Das letzte Update erfolgte im August 2008. Derzeit enthält dieses globale Verzeichnis 803 Nano-Produkte bzw. Produktlinien (im Jahr 2006 beinhaltete es nur 212 Produkte). Des Weiteren findet man in diesem Verzeichnis Informationen über den Hersteller des Produktes (wie zum Beispiel Herkunftsland und Kategorie).

¹² www.nanoproducts.de

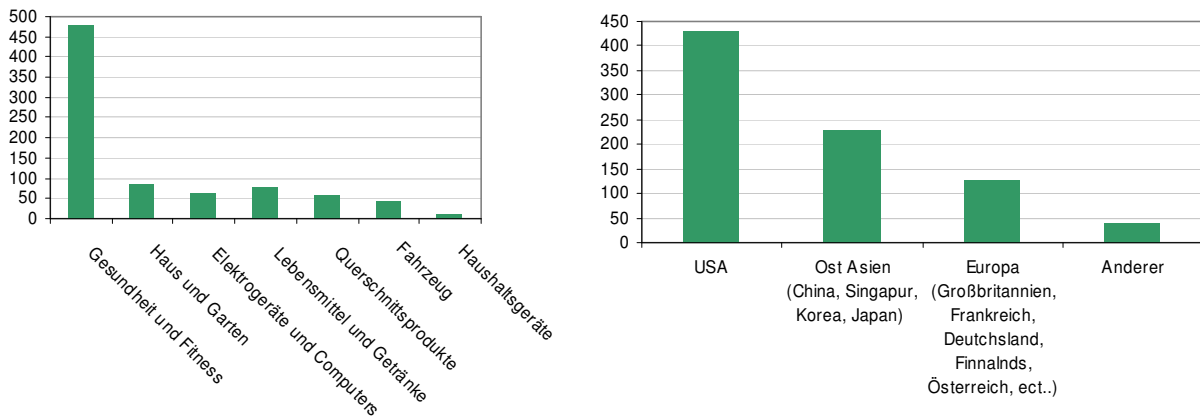
Abbildung 3 Registrierte Nano-Produkte



Quelle: Woodrow Wilson International Centre for Scholars (2008)

Abbildung 3 stellt die Verteilung der Nano-Produkte nach Verwendungsbereichen (auf der linken Seite von Abb. 2.) und nach Herkunftsland (auf der rechten Seite von Abb. 2). Insgesamt wurden 21 Länder untersucht (USA, Korea, Japan, des vereinigten Königreich, Deutschland, Frankreich, China, Taiwan, Australien usw.) Diese Datenbank registriert über 800 nanotechnologische Produkte, enthält zwar auch europäische Produkte, hat ihren Schwerpunkt aber auf dem US-amerikanischen Markt. Daher ist sie nur bedingt umlegbar auf europäische oder insbesondere österreichische Verhältnisse. Die Dominanz von US-Firmen wird auch anhand der Zahl der Produkte (mit 426 Produkten) deutlich, sie werden von ostasiatischen Ländern (China, Chinesisch Taipei, Korea und Japan) mit 227 Produkten gefolgt und letztendlich von Europa (Vereinigtes Königreich, Frankreich, Deutschland, Finnland, die Schweiz, Italien und Schweden) mit 108 Produkten. Die Verteilung nach Verwendungsbereichen von Nano-Produkten zeigt eine Konzentration im Feld von Gesundheitsprodukten an. Die übrigen Produkte sind verhältnismäßig gleichmäßig über die Hauptkategorien Haus und Garten, Elektronik und Computer, Speisen und Getränke, Querschnittsprodukte (z.B. mehrfacher Gebrauch), Fahrzeuge und auf Haushaltsgeräte verteilt.

Abbildung 4 Nanotechnologische Produkte nach Verwendungsbereich und Herstellungsland



Quelle: Woodrow Wilson International Centre for Scholars (2008)

Die deutsche Datenbank „nanoproducts“ bietet zwar einen Überblick über europäische Produkte, allerdings nur in eingeschränkter Form. Im Gegensatz zur Datenbank des Woodrow Wilson Center werden in diese Datenbank nur Produkte direkt von den Herstellern eingetragen, d. h. es werden von den Datenbankbetreibern nicht selbst aktiv Recherchen betrieben. Die Anzahl der registrierten Produkte ist deshalb geringer als in der amerikanischen Datenbank, nämlich nur knapp über 400.

Um die Dringlichkeit der Beschäftigung mit potenziellen Risiken der Nanotechnologie besser einschätzen zu können, wurde auch in Österreich mehrfach die Frage aufgeworfen, was eigentlich schon am österreichischen Markt erhältlich ist. Das Projekt „NanoTrust“ der Österreichischen Akademie der Wissenschaften versuchte dieser Frage auf zwei Wegen näher zu kommen: einerseits durch Untersuchungen spezieller Produktgruppen, wie etwa von Lebensmitteln oder Kosmetika; andererseits durch systematische Recherchen auf dem Markt. Im Rahmen von NanoTrust wurde ein Datenbank aufgebaut, in der Nano-Produkte in Österreich registriert sind. Es wurden Produkte mit folgenden Spezifikationen in die Datenbank aufgenommen¹³ und in (bislang) 19 Kategorien eingeteilt, die in **Tabelle 4** aufgelistet und kurz beschrieben sind.

13. Auf der Verpackung des Produkts kommt der Begriff „nano“ vor;

- Laut Herstellerangaben (Produktbroschüren, Produkt-Webseiten, Presseinformationen, etc.) beinhaltet das Produkt Nanomaterialien oder basiert auf Nanotechnologie;
- Das Produkt war im April 2008 in der Sonderausstellung „Nano im Alltag“ des Deutschen Museums in München ausgestellt;
- Das Produkt ist in den Datenbanken des Woodrow Wilson Centers und von nanoproducts.de erfasst und kann von österreichischen KonsumentInnen gekauft werden.

Tabelle 4 Produktkategorien (österreichische Erhebung)

Kategorie	Produkte
<i>Autobedarf, -zubehör</i>	<i>Reinigungsmittel, Motoröl-Additive, Reifen, Lacke</i>
<i>Baumaterialien</i>	<i>Reparaturmörtel, selbstreinigende Tondächer, Additive für Beton</i>
<i>Beschichtungen für verschiedene Materialien</i>	<i>Fassaden, Maschinen, Metalle, Dächer, Brillengläser, Kunststoffe, Glas, Boote, Fahrradrahmen, Sportgeräte, Segel, Markisen, Backöfen, Kraftwerke, Beton, med. Bereich, Holz, Stein</i>
<i>Farben und Lacke</i>	<i>Wand- und Fassadenfarben, Holzlasuren</i>
<i>Geräte</i>	<i>Staubsauger, Kühlgeräte, Waschmaschinen, Klimageräte, Haarglätter, Haartrimmer, Bartschneider, Notebook-Tastaturen, Hörgeräte mit Nanosilber-Beschichtung, Backöfen mit nanokeramischer Innenbeschichtung, Dampfgerät, Bügeleisen mit Nanoglas-beschichteter Bügelsohle</i>
<i>Heimtextilien</i>	<i>Pölster, Decken, Kissen mit Nanosilber</i>
<i>Imprägnierungsmittel</i>	<i>für Schuhe und Textilien</i>
<i>Kosmetik</i>	<i>Haut- und Haarpflegeprodukte, Deodorants, Sonnenschutzmittel, Zahncremes, Zahnbürsten, Kämme, Make-Up, Wimperntusche, Nagellack</i>
<i>Lebensmittel</i>	<i>i.w.S. Frischhaltedosen, Nahrungsergänzungsmittel, Küchenutensilien</i>
<i>Medizin</i>	<i>Zahnmaterialien, Arzneimittel, Impfstoffe, Wundverband, Kontrastmittel, Knochenmatrix</i>
<i>Pflanzen und Boden</i>	<i>Bodenhilfsstoffe, Pflanzenstärkungsmittel, Wachstumsregler für Rasen</i>
<i>Reinigungsmittel</i>	<i>für verschiedene Oberflächen (Böden, Glas, Fliesen etc.) ,Microfasertücher mit Nanosilber, Weichspüler mit Nanosilber</i>
<i>Sport und Outdoor</i>	<i>Schi, Tennis-, Squash-, Badmintonrackets, Eishockeyschläger, Eispickel, Fahrradrahmen, Steigeisen, Tennisbälle, beschichtete Sportbrillen und Motorradhelm-Visiere, Kettenöl, Schiwachs, Zelte und Schlafsäcke mit Nano--finish</i>
<i>Textilien</i>	<i>Hemden, Hosen, Jacken, Socken, Berufsbekleidung</i>
<i>Tiere</i>	<i>Futter für Korallen; Fellglanzspray, Kühlungsgel, Decke für Pferde;</i>
<i>Sanitär</i>	<i>Waschbecken, Duschtassen, Badewannen, Urinale mit Nanobeschichtung</i>
<i>Dienstleistung</i>	<i>österreichische Unternehmen, die anbieten, Oberflächenbeschichtungen und -versiegelungen für verschiedenste Materialien durchzuführen</i>
<i>Direktvertrieb</i>	<i>Deutsche und österreichische Unternehmen, die über das Internet verschiedenste „Nano-Produkte“, insbesondere im Bereich Oberflächenveredelung und Reinigung anbieten (Online-Shops)</i>
<i>Sonstiges</i>	<i>Glasmarkierungen, beschichtete Ferngläser, Kontaktlinsenbehälter, Druckerpapier, Schuhdeodorant, beschichteter Regenschirm, Nano-Pad-Halterung für Kleingeräte (Basis Nanobionik), Desinfektionsmittel, entspiegeltes Glas, Schuheinlagen, beschichtete Solargläser, Markisen</i>

Quelle: <http://nanotrust.ac.at/>

Nicht erfasst wurden (bislang) Produkte aus den Bereichen Elektronik, Optik, Autoindustrie (mit Ausnahme von Autozubehör und -bedarf), Energie- und Umwelttechnik, Analytik- und Sensortechnik. Daraus abgeleitet besteht die Möglichkeit, dass die Datenbank sowohl zu viele, als auch zu wenige Produkte enthält. Mit Stand März 2009 enthält die Datenbank über 450 Einträge, davon sind über 30 Industrieprodukte. Über 230 Produkte können direkt in österreichischen Handelsgeschäften gekauft werden. Die meisten Einträge finden sich im Bereich Kosmetika und Textilien

(jeweils über 70). Im Mittelfeld mit je mehr als 30 Einträgen in der Datenbank finden sich Beschichtungen, Imprägnierungen, Medizinprodukte, Reinigungsmittel sowie Sportartikel.

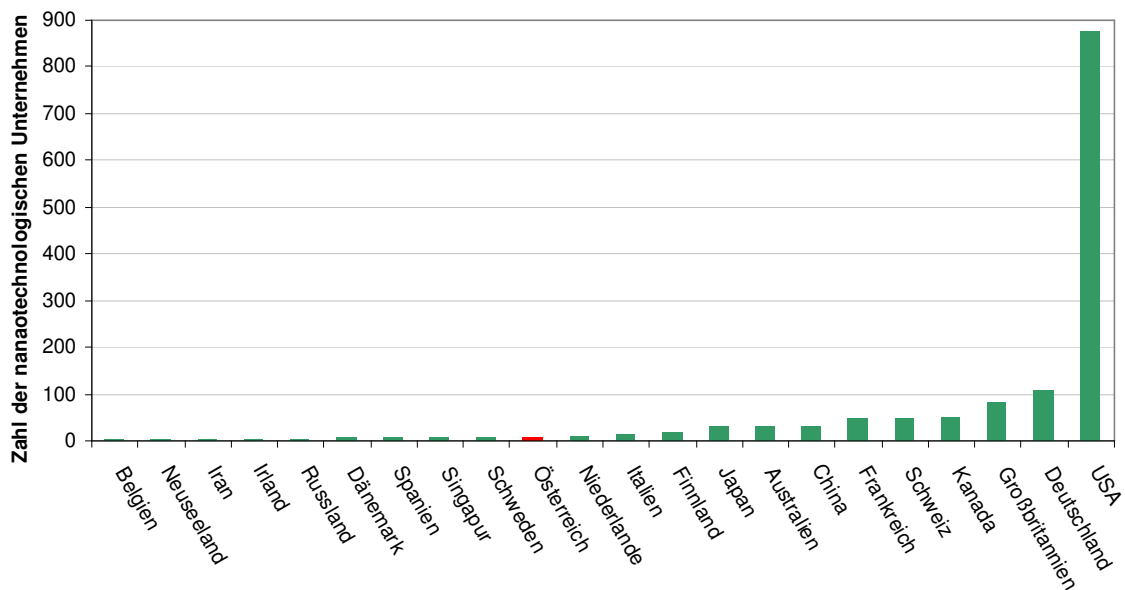
4.3 Unternehmen im Bereich Nanotechnologie

Trotz gegenwärtiger Ungewissheit bezüglich der Auswirkungen auf die Struktur und die Dynamik der Industrie werden Produkte auf Basis von Nanotechnologien sowohl von jungen als auch von etablierten Unternehmen entwickelt. Es ist schwierig, Unternehmen die im Bereich Nanotechnologie tätig sind, zu identifizieren, dies gilt insbesondere für Großunternehmen. Der Grund dafür ist, dass diese Unternehmen meist viele andere technologische Aktivitäten betreiben, und somit kann die Nanotechnologie nur als eine Technologie unter vielen anderen betrachtet werden. Obwohl mit immer wieder neuauftauchenden Definitionsfragen und damit verbundenen neuen Herausforderungen zu kämpfen ist, wurden Versuche zur Identifizierung von sogenannten Nano-Produkten unternommen. Hierbei wird kurz eine der umfangreichsten Register, und deren Ergebnisse vorgestellt.

Diverse Business Register mit dem Schwerpunkt Nanotechnology wurden bereits erstellt. Das ge-läufigste ist das Nanotechnology Nanovip International Business Directory.¹⁴ Im November 2008 waren in diesem Register 1.608 Nanotechnology-Unternehmen vermerkt. Hierbei ist anzumerken, dass es keine international anerkannte Definition für solche Unternehmen gibt und dass neue und kleinere Unternehmen leichter zu identifizieren sind, da diese ihre nanotechnologischen Aktivitäten gerne für Werbezwecke verwenden. **Abbildung 5** zeigt die räumliche Verteilung von Nanotechnologie-Unternehmen. Die Abbildung enthält jene Länder, in deren mindesten zwei nanotechnologische Unternehmen registriert wurden.

¹⁴ <http://www.nanovip.com/>

Abbildung 5 Nanotechnologische Unternehmen in ausgewählten Ländern



Quelle: www.nanovip.com,

Dieses Register enthält Daten über globale, nationale oder regionale Nanotechnologie-Unternehmen. Schwer erhältlich sind Informationen über Umsatz und Mitarbeiter. Eine exakte Ableitung des „Nanotechnologieweltmarktes“ ist auf Basis der genannten Zahlen in öffentlich zugänglichen Studien trotzdem kaum möglich. Beispielsweise identifiziert eine aktuelle deutsche Studie 450-Unternehmen als „nanotechnologisch aktiv“, das Nanovip Business Register enthält jedoch nur 113 Unternehmen [Malanowski et al., 2006]. Laut der Studie von Malanowski werden als „Nanotechnologieunternehmen“ jene Unternehmen bezeichnet, die sich entweder nach eigener Einschätzung als in der Nanotechnologie tätige Unternehmen betrachten, an Projekten des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Bereich Nanotechnologie partizipieren oder aufgrund ihrer Aktivitäten im Bereich Nanotechnologie als solche Unternehmen von den Verfassern dieser Studie klassifiziert wurden.

Ein ähnlicher Fall betrifft eine finnische Studie, in der 50 % der 130-150 befragten Unternehmen als „nanotechnologisch aktiv“ bezeichnet werden [Palmberg and Nikulainen, 2008]. Das Nanovip Business Register enthalten aber nur 22 finnische Unternehmen. Laut Nanovip International Business Directory in 2008 wurden acht österreichische Nanotechnologie-Unternehmen registriert. Einen vergleichbaren Referenzwert liefert die Plattform des Austria Nano Forums, in der im Jahr 2009 14 Nanotechnologie- Unternehmen registriert wurde.

4.4 Industrielle Produktion

Die aus der Nanotechnologie erwachsenden Potenziale stellen die Industrie vor die Aufgabe, Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung schnell in die Praxis umzusetzen, um die Anschlussfä-

higkeit im internationalen Wettbewerb zu erhalten und auszubauen. Gerade die Umsetzung der Ergebnisse vom Labormaßstab in die industrielle Praxis stellt eine Hürde dar, die aber im Verbund aus Forschungseinrichtungen und Industrieunternehmen überwunden werden kann. Dabei gilt es unter anderem, die bisherigen Grenzen der Produktionstechnologien zu überwinden, um neuartige, leistungsfähigere Produkte prozesssicher und wirtschaftlich herzustellen. Neben technischen Herausforderungen sind auch Fragen der Arbeitsprozessgestaltung und neue Erfordernisse an die betriebliche Aus- und Weiterbildung zu klären. Die heute eingesetzten Verfahren der Präzisionsfertigung erreichen bereits Genauigkeiten von wenigen Mikrometern.

Neue Verfahren gerade in der für unsere Analyse so relevanten Oberflächenbeschichtung ermöglichen Funktionsschichten, die auf ultradünnen Schichten mit charakteristischen Schichtdicken von weniger als hundert Nanometern beruhen. Solche Schichten kommen überwiegend in der optischen Industrie oder in Glasindustrie zum Einsatz, etwa um neue, funktionale Beschichtungen anzubringen und die Verschmutzungen großflächiger Glasscheiben vermeiden. [VDI 2004]

4.4.1 Anwendung von Oberflächenbeschichtung, Nanoschichtsysteme

Nanotechnologische Oberflächenbeschichtungen stellen in vielen Produktanwendungen ein funktionsbestimmendes Element dar. Durch eine nanotechnologische Schicht lässt sich eine Vielzahl physikalischer oder chemischer Effekte erzielen, die sich für kommerzielle Produkte nutzen lassen. Einen guten Überblick über die erzielbaren Effekte nanoskaliger Schichten sowie Beispiele für die entsprechenden Anwendungen findet sich im Arbeitsbericht vom Büro für Technikfolgenabschätzung des Deutschen Bundestages. [TAB, 2003]:

Tabelle 5 Produkteigenschaften nanoskaliger Schichtsysteme

Eigenschaft	Beispiele für Effekte durch nanoskalige Konfiguration	Anwendungsbereiche
<i>Benetzungsverhalten</i>	<i>Hydrophobie, Hydrophilie</i>	<i>Antigraffiti, Antifouling, Lotuseffekt, selbstreinigende Oberflächen für Textilien, und Keramik</i>
<i>Elektrisch</i>	<i>Erhöhte elektrische Leitfähigkeit in Keramiken und magnetischen Nanokompositen, höherer elektrischer Widerstand in Metallen</i>	<i>Magnetoresistive Sensoren und Datenspeicher, dielektrische Schichten für Transistoren, antistatische Beschichtungen für Verpackungs- und Gehäusematerialien, transparente elektrisch leitfähige Schichten für Solarzellen und Displays</i>
<i>Thermische und chemische Eigenschaften</i>	<i>(Hitze- und Korrosionsbeständigkeit)</i>	<i>Korrosionsschutz für Metalloberflächen (z. B. Aluminium), Hitzeschutz für Turbinen und Triebwerke</i>
<i>Mechanisch</i>	<i>Erhöhte Härte und Festigkeit von Metallen und Legierungen, verbesserte Duktilität, Härte und Formbarkeit von Keramiken</i>	<i>Verschleißschutz für mechanische Geräte, z. B. Computerfestplatten, mechanischer Schutz für weiche Materialien (Polymere, Holz, Textilien) z. B. kratzfeste Kunststoffgläser für Brillen</i>
<i>Optisch</i>	<i>Spektrale Verschiebung der optischen Absorptions- und Fluoreszenzeigenschaften, Steigerung der Lumineszenz</i>	<i>Photo- und elektrochrome Verglasungen, anti-reflektierende Scheiben und Solarzellen</i>

von Halbleiterkristalliten

Biologisch Erhöhte Durchlässigkeit für Biokompatible Implantate, antibakterielle physiologische Barrieren (Membrane, Oberflächen für medizinische Geräte und im Blut-Hirn-Schranke etc.), erhöhte Sanitärbereich

Quelle: TAB, 2003

Aufgrund der Fülle der unterschiedlichen Produktklassen und Anwendungsfelder, in denen nanoskalige Schichtsysteme eine funktionsbestimmende Rolle spielen, ist eine Erfassung des Marktvolumens an dieser Stelle allerdings nicht möglich. Ebenso ist der Anteil der nanoskaligen Schichtsysteme an der Wertschöpfung der Produkte in der Regel nicht zu schätzen, da die Beschichtung bzw. Oberflächenfunktionalisierung nur einen Teilschritt im Produktionsprozess darstellt, der häufig auf der Wertschöpfungsstufe von Vor- und Zwischenprodukten durchgeführt wird. Für die Beschichtung als solches lässt sich zurzeit noch kein Marktwert bestimmen.

Betrachtet man aber die Wertschöpfungsstufe von Endprodukten, so ergeben sich erhebliche Marktvolumina für Produkte, deren Funktionalität wesentlich durch Nanoschichten bestimmt bzw. verbessert wird. Die Studie von Bachmann [2004] gehört zu den wenigen, die das Weltmarktpotenzial für derartige Produkte schätzen (für das Jahr 2001 auf 21 Mrd. USD). In einer Studie [VDI, 2004] wurde eine Unternehmensbefragung durchgeführt, wobei einige auf nanoskaligen Schichtsystemen basierende Produktgruppen und ihre (geschätzten) Weltmarktvolumina genannt wurden. Diese sind:

- Hartschichten (Weltmarktvolumen im Jahr 2006 ca. 0,5 – 1 Mrd. EUR)
- Tribologische Schichten (Weltmarktvolumen im Jahr 2006 ca. 1-5 Mrd. EUR)
- Antifog-Schichten (Weltmarktvolumen im Jahr 2006 ca. 50-250 Mio. EUR)
- Antireflexschichten auf Kunststoffoberflächen (Weltmarktvolumen im Jahr 2006 ca. 100 Mio. EUR)
- Werkzeugbeschichtungen (Weltmarktvolumen im Jahr 2006 ca. 50- 250 Mio. EUR)
- Korrosionsschutzschichten (Weltmarktvolumen im Jahr 2006 ca. 1-5 Mrd. EUR)
- Elektronik auf Basis funktionaler Nanoschichten, z. B. GMR-HDD, MRAM (Weltmarktvolumen im Jahr 2006 > 5 Mrd. EUR)

5 Die Risikobewertung von Nanoprodukten

Nanotechnologie ist die Herstellung, Untersuchung und Anwendung von Strukturen, molekularen Materialien, inneren Grenz- und Oberflächen mit mindestens einer kritischen Dimension oder mit Fertigungstoleranzen (typischerweise) unterhalb 100 Nanometer. In der Regel werden hierbei aus der Nanoskaligkeit der Systemkomponenten resultierende neue Funktionalitäten und Eigenschaften zur Verbesserung bestehender oder Entwicklung neuer Produkte genutzt. Damit verknüpft ist eine Diskussion potenzieller Risiken für Mensch und Umwelt durch die dabei eingesetzten bzw. freigesetzten Nanomaterialien¹⁵.

Führende Toxikologen haben 2006 in der Zeitschrift *Nature* fünf wesentliche Herausforderungen für die Risikoforschung benannt [Maynard, 2006]: Dazu zählen die Entwicklung von Instrumenten zur gezielten Messung von Nanomaterialien in Luft und Wasser, die Bewertung der Gefahren von neuen Nanomaterialien, die Entwicklung von Modellen für die Vorhersage der Toxizität von neu entwickelten Nanomaterialien, die Entwicklung und Anpassung von Lebenszyklusanalysen an Nanotechnologien und -materialien und die Entwicklung von strategischen Programmen für die Risikoforschung.

Eine weitere dringende Herausforderung ist jene an die Gesetzgebung – neben dem Chemikaliengesetz REACH müssen noch eine Reihe anderer Gesetze angepasst und gegebenenfalls neue Regelungen entwickelt werden.

Der Fokus der Risikodiskussion richtet sich insbesondere auf Anwendungen und Produkte mit (ungebundenen) synthetischen Nanomaterialien. Zum jetzigen Zeitpunkt sind die etablierten Methoden des Risikomanagements für Nanomaterialien höchstens im ArbeitnehmerInnenschutz ausreichend. Sie sind aber ungeeignet, um zum Beispiel die potenziellen Risiken für die Umwelt zu kontrollieren, weil viele grundlegende Daten und Fakten fehlen. In vielen Bereichen des Umgangs mit Nanomaterialien sollten deshalb erweiterte Risikomanagementmaßnahmen unter zumindest teilweiser Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips angewandt werden.

Risiko ist das Produkt einer gefährdenden Eigenschaft eines Stoffes und dessen Einwirkung (Exposition) auf Mensch und Umwelt. Aufgrund ihrer Kleinheit können viele Nanomaterialien durch die Zellwand dringen und werden im Körper viel stärker verteilt als gröbere Materialien. So hat die Gruppe um Wolfgang Kreyling Nanopartikel außer in den primären Organen Lunge und Haut auch

¹⁵ (Synthetische) Nanomaterialien: Absichtlich hergestellte Materialien mit strukturellen Bestandteilen (z.B. Kristallite, Fasern, Partikel), die in mindestens einer Dimension nanoskalig sind typischerweise zwischen 1 und 100 nm sind

in allen sekundären Organen, inklusive Gehirn, Herz und sogar in Föten nachgewiesen¹⁶. Abhängig war die Verteilung von Aufnahmeweg, Größe und Art der Nanomaterialien.

Nanomaterialien bilden reaktive Sauerstoffspezies (ROS), die in der Wechselwirkung mit biologischem Material Ursache für Entzündungsreaktionen und in weiterer Folge für Herz-Kreislaufprobleme und sogar Krebserkrankungen sein könnten. Die Fähigkeit, ROS zu bilden, hängt von verschiedenen Faktoren ab. In den letzten Jahren wurde entdeckt, dass Nanopartikel in biologischen Systemen meist von einer sogenannten „Protein-Corona“ umgeben sind, einer dynamischen Schicht von Proteinen und anderen Biomolekülen. Der Einfluss dieser Wechselwirkungen auf die Proteinfunktionen und zellulären Vorgängen muss noch geklärt werden.

Forschungsdaten aus den letzten Jahren nähren die Befürchtung, dass die Inhalation von manchen Kohlenstoff-Nanoröhrchen (CNT) auf den Organismus ähnliche Wirkungen wie Asbestfasern haben könnten, sofern sie vergleichbare Strukturen aufweisen [Innovationsgesellschaft, 2009].

Ein wichtiger Aufnahmepfad für Schadstoffe ist die Lunge, daher gelten auch alveolengängige Nanomaterialien etwa in Form von Stäuben oder Aerosolen als besonders bedenklich. Das Eindringen von Nanopartikel durch die unversehrte menschliche Haut kann nach derzeitigem Stand des Wissens weitgehend ausgeschlossen werden. Möglich wäre es, dass Nanopartikel durch die Haar Kanäle oder durch gespannte bzw. verletzte Haut in den Körper gelangen. Die Risiken bei der Aufnahme von Nanomaterialien durch den Magen-Darm-Trakt sind bislang noch kaum untersucht worden.

Die deutsche Forschungsstrategie zu Nanotechnologie benennt dringende Forschungsziele, für den ArbeitnehmerInnenenschutz die Entwicklung von Messmethoden zur Bestimmung von Nanomaterialien in der Luft. Geplant sind vorläufige Handlungshilfen wie Infoblätter und Broschüren für bestimmte, häufig vorkommende Tätigkeiten mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz geplant. Mit Stand November 2009 finden sich etwa auf folgenden links Informationen zum ArbeitnehmerInnenenschutz: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (BGIA)¹⁷ und Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAUA)¹⁸. Für den Verbraucherschutz werden für den Zeitraum 2008 / 2009 Untersuchungen zur Resorption, systemischen Verfügbarkeit, Akkumulation und Ausscheidung von Nanomaterialien nach oraler Exposition (Lebensmittel und Lebensmittelverpackungen) sowie die Bewertung der Toxizität von Nanomaterialien nach oraler Exposition als vordringlich gesehen [BAUA-BfR-Umweltbundesamt, 2007].

¹⁶ Vortrag von Prof. Kreyling bei der Tagung „Risk Governance of Nanotechnologies - Possible Health Effects of Manufactured Nanomaterials“ an der österr. Akademie der Wissenschaften vom 24.9.2009 <http://nanotrust.ac.at/nano09/abstracts.html#kreyling>

¹⁷ <http://www.dguv.de/bgja/de/fac/nanopartikel/index.jsp>

¹⁸ http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/Links-Beispiele.html?__nnn=true&__nnn=true

Um die Wissenslücken zu den Risiken von Nanomaterialien zu füllen, gibt es zahlreiche Aktivitäten. So hat etwa die *OECD's Working Party on Manufactured Nanomaterials (WPMN) 2007* ein umfassendes Stewardship-Programm ins Leben gerufen. Zu 14 ausgewählten Nanomaterialien werden Daten zu deren Charakterisierung erhoben ¹⁹

Die europäische Kommission finanziert seit einigen Jahren verschiedene Studien zu Gesundheit, Sicherheit und Umwelt (HSE health, safety and environment). In den Jahren 2005-2006 wurden 25 Mio. €, 2007/2008 (FP7) 50 Mio. € an Forschungsgeldern vergeben [Stand Jänner 2008: European Commission 2008]. Am 29. Oktober 2009 hat die europäische Kommission den zweiten Durchführungsbericht zu ihrem Aktionsplan veröffentlicht [COM[2009]607 final]²⁰. Im Begleitdokument²¹ wird von der Bildung eines „Nanosafety Clusters“ für Forschungsprojekte im Bereich der Sicherheit der Nanotechnologie berichtet. Dieses Cluster beinhaltet 24 Forschungsprojekte im Rahmen des 7. Rahmenprogramms der EU, 5 weitere sollen Ende 2009 aufgenommen werden, ebenso wie 2 nationale Projekte. Folgende Themen werden in den verschiedenen Projekten behandelt:

- Standardmethoden zur Messung und Charakterisierung von Nanomaterialien
- Verhalten von Nanomaterialien im menschlichen Körper und in der Umwelt, Mechanismen der Toxizität
- Wirkungen von Nanomaterialien im menschlichen Körper und in der Umwelt, Testmethoden inklusive alternativer Testmethoden
- Modelle und Berechnungen zur Vorhersage und Bewertung von Toxizitäten, Expositionen und Risiken
- Bedarf an Datenbasen und Informationen
- Schicksal und Verhalten von Nanopartikeln in der Umwelt
- Risikobewertung und LCA

¹⁹ [http://www.oilis.oecd.org/oilis/2008doc.nsf/LinkTo/NT000034C6/\\$FILE/JT03248749.PDF](http://www.oilis.oecd.org/oilis/2008doc.nsf/LinkTo/NT000034C6/$FILE/JT03248749.PDF)

²⁰ <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0607:FIN:EN:PDF>

²¹ <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SEC:2009:1468:FIN:EN:PDF>

5.1 Das Sol-Gel-Verfahren zur Herstellung von nanostrukturierten Oberflächen als Risikofaktor

Ein wichtiger Prozess zur Herstellung nanostrukturierter Oberflächen ist der Sol-Gel-Prozess, der auch in der Produktfallstudie *haptiX* in Kapitel 6.4 vom Produktentwickler PROFACTOR als der die Schicht bildende Prozess genannt wird²². Wegen der geringen Größe der zunächst erzeugten Solpartikel im Nanometerbereich, lässt sich der Sol-Gel-Prozess als Teil der chemischen Nanotechnologie verstehen und aus diesem Grund wird sein Ablauf sowie die Risikorelevanz der dabei gebildeten Nano-Objekte im folgenden Abschnitt analysiert.

Der Sol-Gel-Prozess ist ein Verfahren zur Herstellung nichtmetallischer anorganischer oder hybridpolymerer Materialien aus kolloidalen Dispersionen, den sogenannten Solen. Die Ausgangsmaterialien werden auch als Prekursoren bezeichnet. Aus ihnen entstehen in Lösung in ersten Grundreaktionen feinste Teilchen. Durch eine spezielle Weiterverarbeitung der Sole lassen sich Pulver, Fasern, Schichten oder Aerogele erzeugen (Quelle: Wikipedia).

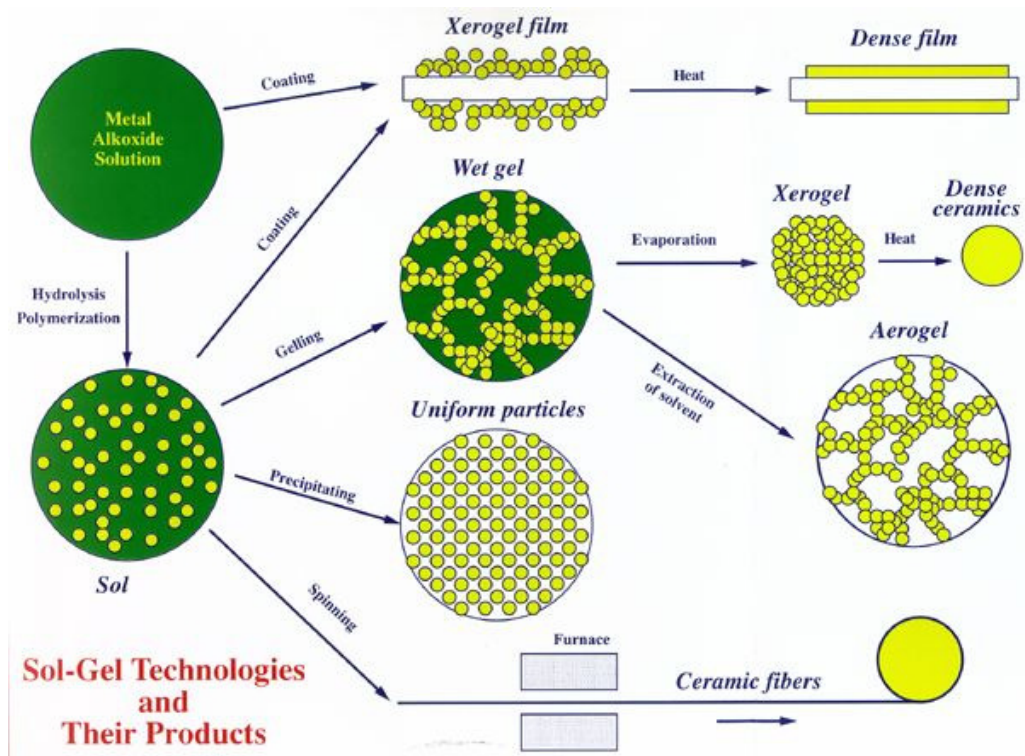
Die Produkte des Prozesses sind sehr feine Pulver, monolithische Keramiken und Gläser, Keramikfasern, anorganische Membranen, dünne Beschichtungen oder Aerogele. Jedes dieser Produkte kann je nach den Details im Verfahrensablauf ein breites Spektrum unterschiedlicher und meist besonderer Eigenschaften aufweisen, weshalb der Sol-Gel-Prozess eine wichtige Rolle in der Materialforschung spielt.

Die Ausgangsmaterialien des Sols werden auch als Precursoren bezeichnet und sind Alkoxide von Metallen²³. Den Sol-Gel-Prozess kann man vereinfacht in zwei Teilprozesse/-reaktionen unterteilen, in Hydrolyse und Kondensation. Bei den typischen Sol-Gel-Prozessen laufen die Hydrolyse und Kondensationsprozesse gleichzeitig ab. Dabei bilden sich zunächst Feststoffpartikel von wenigen Nanometern Größe, welche in dem Dispersionsmittel kolloidal verteilt sind. Diese können sich vernetzen und zu einem Gel kondensieren. Während der Sol-Gel-Transformation kommt es zu einer 3-dimensionalen Vernetzung der Nanopartikel im Lösungsmittel, wodurch das Gel Festkörpereigenschaften erhält. Durch einen sauren pH wird das Sol stabilisiert, die Aggregation und Agglomeration und die Gelierung wird durch die Abstoßung der Teilchen in Lösung verhindert. Durch Änderung des pHs oder das Verdampfen des Lösungsmittels wird geht Abstoßung der Teilchen in anziehung über und die Gelbildung findet statt. Auf Oxiden basierende Sol-Gel-Systeme ist die Aushärtung irreversibel, weil sich stabile Sauerstoffbrücken und Wasserstoffbrücken ausbilden. Die Oberflächenreaktivität der aber durch Modifikationen verändert werden [Schmidt, H.K. et al, 1998], [Sakka, S., 2008].

Abbildung 6: Schematische Darstellung der Sol-Gel-Prozesse

²² Auch bei der Produktfallstudie Nanoprotect kann der Sol-Gel-Prozess als der die Schicht bildende Prozess vermutet werden, dazu gibt es aber vom Produkthanbieter keine eindeutigen Hinweise.

²³ Alkoxide, auch Alkoholate genannt, sind Salze aus Metallkationen und Alkoholatanionen



Quelle: <http://sariyusriati.files.wordpress.com/2008/10/flowchat-sol-gel1.jpg&imgrefurl>

Daraus ergibt sich folgende, für die Risikobetrachtung wichtige Frage:

Bedeutet das Auftreten der Nanopartikeln im Sol zum einen im Arbeitsprozess, zum anderen bei der Anwendung von Do-It-Yourself-Produkten ein Risiko für ArbeitnehmerInnen oder VerbraucherInnen?

Nanopartikel, die vorübergehend im Sol entstehen, weisen eine Konzentration von 15 bis maximal 30% auf. Laut Auskunft eines Experten aus dem Bereich Herstellung²⁴ wird für KonsumentInnen nicht das instabile Sol, sondern ein (gequollenes) Gel angeboten. Hier sind die Nanopartikel bereits vopolymerisiert und die Oberfläche härtet nach dem Auftragen auf die Oberfläche endgültig aus. Im Arbeitsprozess sollte während der Entstehung des Sols und der Sol-Gel-Umwandlung (welche häufig in einem Schritt erfolgen), möglichst kein Sprühprozess eingesetzt werden, um Aerosolbildung zu vermeiden. Falls dieser nicht in geschlossenen Systemen und ohne die Anwesenheit von ArbeitnehmerInnen erfolgen kann, müssen Schutzmaßnahmen, wie sie z.B. auf der BGIA-Webseite²⁵ zu finden sind, genau beachtet werden.

²⁴ Experteninterview Herrn Breitwieser, Firma Rembrandtin 26.11.2009

²⁵ <http://www.dguv.de/bgja/de/fac/nanopartikel/schutzmassnahmen/index.jsp>

5.2 Bearbeitung und Entsorgung von nanostrukturierten Oberflächen aus der Sicht der Risikobetrachtung

Die Risikobetrachtung nanostrukturierter Oberflächen hat auch deren Bearbeitung und Entsorgung – im Fall der Produktfallstudien sind dies der beschichteten Holz- oder Glasoberflächen – zu umfassen. Für eine vorläufige Bewertung stehen folgende Forschungserkenntnisse zur Verfügung:

An der Fakultät Maschinenwesen, Arbeitsgruppe Mechanische Verfahrenstechnik der technischen Universität Dresden werden diese Fragestellungen in Zusammenhang mit Nano-Lacken im Auftrag des VdL (Verband der deutschen Lackindustrie) untersucht [Vorbau, 2009]. In einer ersten Studie wurde die normale Nutzung von Lackoberflächen betrachtet. Es wurde nachgewiesen, dass keine Nanoteilchen aus der Oberfläche freigesetzt wurden. In einer zweiten Studie wurden Lackproben mit und ohne Nanopartikel-Additive unter Verwendung einer Schleifmaschine zur Nachstellung von professionellen Schleifprozessen untersucht. Die Veröffentlichung zu diesem Projekt hat derzeit den Status "confidential draft, to be submitted". In der Abteilung sind noch weitere Untersuchungen wie die Freisetzung von CarbonNanoTubes (CNT) aus Lackmatrizen und Untersuchungen an künstlich gealterten Lackproben geplant. In der Schweiz wurde die Auswaschung von Nanopartikeln aus Fassadenfarben untersucht. Es wurde nachgewiesen, dass Nano-Titandioxid aus Fassaden ausgewaschen wird [Kägi R. et al, 2008]. Bei Untersuchungen zu Nano-Silber der gleichen Gruppe [Kaegi, R., et al 2009] wurde nachgewiesen, dass auch dieses durch Regen ausgewaschen wird: Die Konzentration betrug einige Mikrogramm/l im Regenwasser, die Teilchen war ca. 10nm groß und kugelförmig. Da diese Materialien in dieser Größe in Bakterienzellwände eindringen können, ist hier große Vorsicht geboten.

Diese Untersuchungen beziehen sich aber immer auf Oberflächen, die Nanopartikel enthalten. Zu Nanostrukturierten Oberflächen ohne Nanopartikel ist in der Wegleitung zum Schweizer Vorsorgeraster [Höck, J. et al, 2008] ist auf Seite 5 folgendes nachzulesen: „Nanospezifische Risiken von Oberflächenstrukturen und Beschichtungen mit Schichtdicken im Bereich von Nanometern werden vom Vorsorgeraster nicht erfasst, sofern sie keine NPR beinhalten. Unabhängig vom Vorliegen eines Nanomaterials können nanometer-große Partikel auch durch Abrieb- oder Verbrennungsprozesse sowie das Ablösen von Bruchstücken (Nanoplättchen) aus Beschichtungen entstehen. Die davon ausgehenden Risiken werden im Zusammenhang mit der Fein/Feinst-Staub-Thematik behandelt und vom Vorsorgeraster nicht erfasst.“

5.3 Risikokategorisierung von Nanomaterialien

Die Risikodiskussion zur Nanotechnologie fokussiert stark auf die Eigenschaften von Nanopartikel, denn nach derzeitigem Wissenstand entsteht eine Exposition und damit eine Gefährdung in erster Linie bei Prozessen, die ungebundene Partikel erzeugen, als Ausgangsbasis nutzen oder bei denen diese als Nebenprodukte freigesetzt werden. Die Diskussion dazu wird vor allem auf Herstellungsprozesse und Situationen am Arbeitsplatz bezogen, sie gilt aber auch für die Nutzungs- und Entsorgungsphase.

Für den Arbeitsplatz wird vorrangig eine Exposition gegenüber bzw. eine Gefährdung durch Nanopartikel diskutiert, Eine solche wird jedenfalls angenommen, wenn Partikel inhalativ oder oral aufgenommen werden, eine Aufnahme über die (geschädigte) Haut wird ebenso diskutiert. Die über diese Aufnahmewege entstehenden Risiken hängen auch von den daran beteiligten Materialien ab und sind nur bisher unzureichend erforscht: So wird etwa eine Aufnahme in den Blutkreislauf, die Überwindung der Blut-Hirn Schranke oder die Induktion von Tumoren im Tierversuch durch Kohlenstoff-Nanoröhrchen diskutiert.

Risiken von Nanomaterialien, die fest in einer Matrix eingebunden sind, werden dabei als eher gering eingeschätzt. Da die diskutierten Risiken somit an das freie und ungebundene Auftreten von Nanomaterialien bzw. -partikeln gebunden sind ²⁶, sollte bei nano-strukturierten Materialien, die keine Nanopartikel enthalten oder die zumindest aus der Matrix nicht freisetzbar sind, ein vernachlässigbares oder geringes Risiko aufweisen [Groneberg 2009].

Unter der Prämisse, das Risiken nicht mit letzter Sicherheit auszuschließen sind, erscheint es daher sinnvoll, bei der Bewertung von Nano-Produkten, als solchen zu deren Herstellung Nanomaterialien verwendet werden oder die nano-strukturierte Materialien aufweisen, Kriterien einzuführen, die es erlauben, hinsichtlich des Gefährdungspotenzials der jeweiligen Anwendung bzw. des Produktes zu differenzieren.

Einen entsprechenden Vorschlag macht die NanoKommission der deutschen Bundesregierung in ihrem Abschlussbericht [NanoKommission, 2008]: Der Vorschlag sieht eine Unterteilung in 3 Gefährdungskategorien vor, wobei in dem Dokument darauf hingewiesen wird, dass eine Operationalisierung bzw. Standardisierung der Kategorien noch ausständig ist.

Davon ausgehend schlägt die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg qualitative Kriterien für die jeweiligen Kategorien vor [LUBW, 2009]:

Demnach führt die Integration in eine Matrix oder eine weitgehend ausgeschlossene Exposition zur Zuordnung zur Gruppe 3 (geringe Besorgnis), während eine entsprechende Exposition verbunden mit einer Toxizität der Materialien zur Einordnung in Gruppe 1 (hohe Besorgnis) führt. Empfohlen wird außerdem, dass bei Fehlen von Information eine vorläufige Einordnung in Gruppe 1 (hohe Besorgnis) vorgenommen werden sollte. Das LUBW empfiehlt, das Hersteller und nach geordnete Verarbeiter das Einteilungssystem für die Kommunikation in der Lieferkette verwenden, d.h. die verwendeten Materialien in die Gruppen einzuteilen und entsprechende Risikomaßnahmen zu kommunizieren.

²⁶ Siehe dazu die entsprechenden Definitionen in Kapitel 4

Abbildung 7 Kategorisierung von Gefährdungen, solange keine Risikobewertungen für Gesundheits- und Umweltschutz vorliegen

Gruppe 1: Gefährdung wahrscheinlich – Besorgnis hoch

Kriterien: Exposition gegeben, hohe Mobilität, Reaktivität, Persistenz oder Toxizität der Materialien

Maßnahmenkonzept zur Minimierung der Exposition oder Verzicht auf bestimmte Anwendungen

Gruppe 2: Gefährdung möglich – Besorgnis mittel

Kriterien: Exposition nicht auszuschließen, unbekanntes Agglomerations- bzw. Deagglomerationsverhalten, zu wenig Information zur Löslichkeit und biologischen Abbaubarkeit, Möglichkeit der Freisetzung von Nanopartikeln aus der Matrix nicht geklärt.

Maßnahmenkonzept zur Verminderung der Exposition von Mensch und Umwelt erforderlich

Gruppe 3: Gefährdung unwahrscheinlich – Besorgnis gering

Kriterien: Exposition weitgehend ausgeschlossen, Materialien löslich oder biologisch abbaubar, Materialien gebunden in einer Matrix, Bildung stabiler Aggregate oder Agglomerate

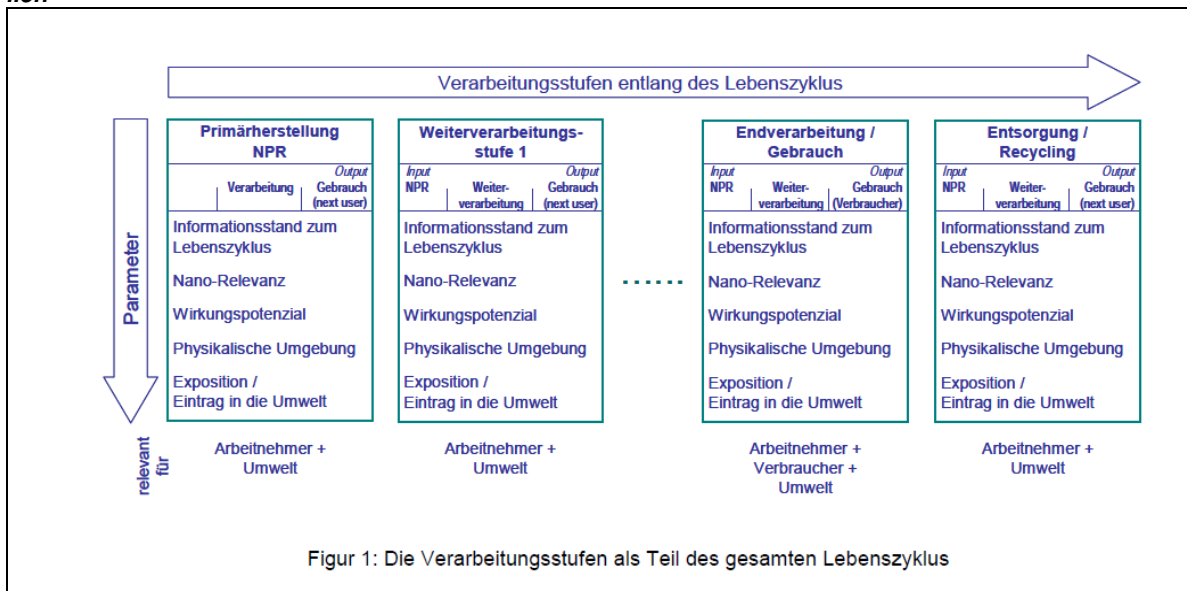
Keine über die „gute Arbeitsschutzpraxis“ (oder Hygienepraxis) hinausgehenden Maßnahmen erforderlich.

Quelle: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Hrsg.) Nanomaterialien: Arbeitsschutzaspekte

5.4 Konzept der Risikomatrix

Um (Umwelt)nutzen als auch Risiken von Nanoprodukten vollständig zu beschreiben, ist zusätzlich zur Ökobilanzierung eine Risikobetrachtung nötig. Die Ökobilanzierungsmethode kann gesundheitliche Wirkungen nur dann bewerten, wenn die Wirkungen und Wirkzusammenhänge der untersuchten Stoffe in den Grundzügen bekannt sind. Da dies für Nanomaterialien in Bezug auf Umwelt und Gesundheit bisher nicht der Fall ist, ist ergänzend zu einer Ökobilanzierung eine Risikobewertung durchzuführen. Dazu wird auf die Produktfallstudien eine Risikobewertungsmatrix angewendet, die für jeden Prozessschritt etwaige Risiken, bereits vollzogene Maßnahmen und eventuell noch nötige Maßnahmen aufzeigt. Ebenso sollen damit Lücken in der Bewertung von Risiken aufgezeigt werden. Für die Erstellung der Risikobewertungsmatrix wurden verschiedene Konzepte erwogen. Als Vorbild und Modell für die Risikobewertungsmatrix wurde das Schweizer *Vorsorgeraster für Synthetische Nanomaterialien*, welches im Rahmen des Schweizer Aktionsplans entwickelt wurde, ausgewählt [Höck J. et al, Bern 2009]. Die Ausführungen beziehen sich weitgehend auf dessen Rahmenbedingungen, eine detaillierte Darstellung des Vorsorgerasters findet sich in Kapitel 9. Über die Stufen des Lebenszyklus hinweg werden vom Vorsorgeraster folgende Faktoren für das Risikopotenzial berücksichtigt bzw. bewertet: Nano-Relevanz, Informationsstand zum Lebenszyklus, Wirkungspotenzial, physikalische Umgebung und Exposition

Abbildung 8 Das Konzept des Schweizer Vorsorgerasters für Synthetische Nanomaterialien



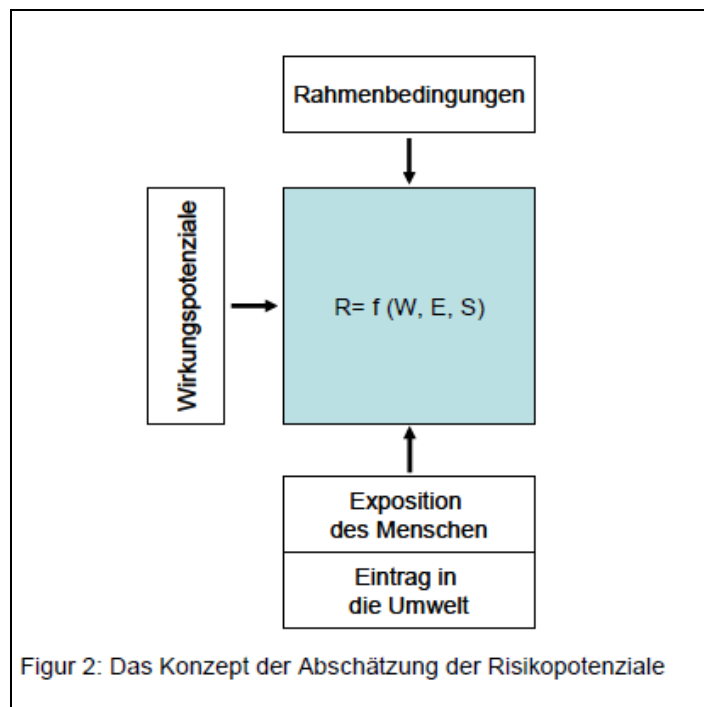
Quelle: *Wegleitung zum Vorsorgeraster für Synthetische Nanomaterialien*

5.4.1 Risikopotenzial

Im Vorsorgeraster ist das Risikopotenzial **R** eine Funktion des Wirkpotenzials **W**, der Exposition (gegenüber Mensch bzw. Umwelt) **E**, sowie der Nano-Relevanz **S1** und der Informationen zum Lebenszyklus **S2**.

Das (Nano)Risikopotenzial **R** berechnet sich: $R = (W \cdot E + S2) \cdot S1$

Abbildung 9 Das Konzept des Schweizer Vorsorgerasters



Quelle: Wegleitung zum Vorsorgeraster für Synthetische Nanomaterialien

5.4.2 Bestimmung der Nanorelevanz

In der Risikodiskussion geht man allgemein davon aus, dass nanospezifische Risiken nur dann entstehen, wenn Teilchen freigesetzt werden können, die in 2 Dimensionen (Nanostäbchen, engl. "nanorods") oder 3 Dimensionen (Nanopartikel, engl. "nanoparticles") nanoskalig sind. Im Schweizer Vorsorgeraster für Synthetische Nanomaterialien werden diese beiden Typen von Teilchen zusammenfassend als Nanopartikel und Nanostäbchen bezeichnet und gemäß den englischen Begriffen als NPR abgekürzt. Die Möglichkeit einer Freisetzung von NPR's korreliert damit unmittelbar mit dem Nano-Risikopotenzial. Das Vorsorgeraster sieht für die Feststellung der Nano-Relevanz folgende Vorgangsweise vor:

Bestimmung von S1.1: In einem ersten Schritt wird die Größe der Primärpartikel bestimmt, die in den zu bewertenden Nanomaterialien frei, ungebunden, als Aggregate oder Agglomerate vorliegen:

Abbildung 10 Das Konzept des Schweizer Vorsorgerasters für die Nano-Relevanz S1.1

Größenordnung der in den Materialien (in freier, gebundener, aggregierter oder agglomerierter Form) enthaltenen Primärpartikel (NPR)	>1nm, <100nm	>100nm, <500nm	>500nm
S1.1	1	1	0

Tabelle 2: Nano-Relevanz

Quelle: Wegleitung zum Vorsorgeraster für Synthetische Nanomaterialien

Liegen die Primärpartikel (< 500 nm) in aggregierter oder agglomerierter Form > 500 nm vor, so ist für die Nanorelevanz entscheidend, ob diese unter den jeweiligen Umgebungsbedingungen in Primärpartikel oder kleinere Agglomerate zerfallen können.

Bestimmung von S1.2: In einem zweiten Schritt wird die Stabilität möglicher Agglomerate unter physiologischen Bedingungen bewertet, sowohl unter Gesundheits- als auch unter Umweltbedingungen:

Abbildung 11 Das Konzept des Schweizer Vorsorgerasters für die Nano-Relevanz S1.1

Findet unter den möglichen physiologischen Bedingungen Deagglomeration ¹¹ von Agglomeraten (oder Aggregaten) zu Primärpartikeln oder Agglomeraten (<500nm) statt.	Ja	nein
S1.2_{A,v}	1	0 (1) ¹⁰
Findet unter den möglichen Umweltbedingungen Deagglomeration von Agglomeraten (oder Aggregaten) zu Primärpartikeln oder Agglomeraten (<500nm) statt.	Ja	nein
S1.2_u	1	0

Tabelle 3: Agglomerate

Quelle: Wegleitung zum Vorsorgeraster für Synthetische Nanomaterialien

Die Nanorelevanz **S1** berechnet sich **S1 = S1.1•S1.2**

5.4.2.1 Nanorelevanz der untersuchten Beschichtungssysteme in den Produktfallstudien *Nanoprotect* und *haptiX*

Um für die Produktfallbeispiele die Nanorelevanz über den Lebenszyklus zu identifizieren, wurde das Formular **Risikobewertung von Nanoprodukten: Erfassung der Nanorelevanz** erstellt, das auf der folgenden Seite zu finden ist. Dieses Formular wurde den Praxispartnern PROFACTOR GmbH sowie Wagenhofer Coating GmbH übersandt mit der Bitte, entsprechende Einträge vorzunehmen und diese mit einer Unterschrift zu bestätigen.

Die Frage lautet: *Werden NRP (d.h. Nanopartikel und Nanostäbchen) während der Produktion, dem Gebrauch und/oder der Entsorgung eingesetzt oder entstehen sie in einem dieser (Prozess)schritte ?*

Beide Praxispartner beantworteten die Frage mit NEIN und bestätigten dies durch ihre Unterschrift. Auf Basis dieser schriftlich bestätigten Herstellerangaben kann davon ausgegangen werden, dass die in den Produktfallstudien untersuchten Produkte keine Primärpartikel, weder in freier, gebundener oder agglomerierter Form enthalten und dass diese auch nicht über den Lebenszyklus hin entstehen.

Damit würde sich für **S1** ein Wert von **0** ergeben, ebenso wie für das Risikopotenzial

$$R = (W \cdot E + S_2) \cdot S_1 = 0$$

Die Herstellerangaben wurden im Projektteam diskutiert. Ihr Zutreffen bestimmt wesentlich über die Risikobewertung, da damit alle nachfolgenden Bewertungsschritte wie Abschätzung des Wirkungspotenzials sowie Exposition hinfällig wären.

Insbesondere wurde diskutiert als auch Informationen darüber eingeholt, wie weit der Sol-Gel Prozess eine mögliche Quelle von Primärpartikeln ist. In den Tabellen zur Risikobetrachtung der Produktfallstudien wird deshalb den Herstellerangaben die Einschätzung des NanoRate Teams gegenübergestellt, die wesentlich die unzureichende bzw. unbefriedigende Datenlage widerspiegelt und nicht auf tatsächliches Wissen zurückgreifen kann.

Die Risikomatrix im Detail findet sich bei den Produktfallstudien und zwar in den Kapiteln 6.3.2 und 6.4.2

Abbildung 12 Formular zur Erhebung der Nanorelevanz

Projekt NanoRate

**Risikobewertung von Nanoprodukten:
Erfassung der Nanorelevanz**

Dieses Blatt soll einen schematischen Überblick über das Auftreten von Nanopartikeln oder Nanostäbchen während der Prozessschritte eines Nanoproduktes geben. Zur grundsätzlichen Abschätzung der Nanorelevanz im gesamten Lebenszyklus wird daran anschließend die Anwendung des Schweizer Vorsorgerasters¹ empfohlen.

Es wird davon ausgegangen, dass nanospezifische Risiken nur dann entstehen, wenn Teilchen freigesetzt werden können, die in 2 Dimensionen (Nanostäbchen, engl. "nanorods") oder 3 Dimensionen (Nanopartikel, engl. "nanoparticles") nanoskalig sind. Im Vorsorgeraster werden diese beiden Typen von Teilchen zusammenfassend als **Nanopartikel und Nanostäbchen** bezeichnet und gemäss den englischen Begriffen **als NPR abgekürzt**.

Im Vorsorgeraster werden Nomenklatur und Definitionen der ISO² benutzt. Im Rahmen des Rasters wird aber der Bereich der Nanoskaligkeit auf 500nm erweitert. Unter diesem Grössenbereich werden Partikel nicht mehr von Makrophagen erkannt.

Produktname
Werden NPR während Produktion, Gebrauch und/oder Entsorgung eingesetzt oder entstehen sie in einem dieser (Prozess)Schritte? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
Falls ja, bitte um die Angabe des/der (Prozess-)Schritte:

Für jeden (Prozess-)Schritt, bei dem NPR entstehen, soll nachfolgend ein Vorsorgeraster für synthetische Nanomaterialien ausgefüllt werden.

Firma	
Adresse	
Kontaktperson	
Tel.Nr./Fax.Nr. e-mail-Adresse	
Ort, Datum und Unterschrift	

¹ Der Vorsorgeraster kann unter folgendem Link heruntergeladen werden:
<http://www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00228/00510/05626/index.html?lang=de>

² Technical Specification ISO/TS 27687, Nanotechnologies — Terminology and definitions for nanoparticles, Proof, © ISO 2007

Interuniversitäres Forschungszentrum IFZ Graz – Österr. Ökologie Institut - Verein f. Konsumenteninformation

6 Produktfallstudien *Nanoprotect* und *haptiX*

Das Projekt *Nanorate* will einen wissenschaftlichen Beitrag zur Nutzen-Risiko Analyse von Produkten mit nano-technologischen Komponenten leisten. Dazu werden in den Modulen Ökobilanz und Risikobewertung an konkreten Anwendungen der ökologische Nutzen als auch potenzielle Risiken herausgearbeitet. Im Modul „Ökobilanz“ wird die Methode der weiter unten noch genauer beschriebenen Ökobilanzierung dazu verwendet um Umweltauswirkungen von herkömmlichen und nano-technologischen Produkten zweier Fallstudien zu vergleichen. Folgende Produkte werden als Fallstudien in einer Ökobilanz untersucht:

- Eine nanoskalige Glasbeschichtung der Firma Wagenhofer Coating Services (*Nanoprotect*)
- Eine nanoskalige Holzbodenbeschichtung der Firma PROFACTOR GmbH (*haptiX*)

In beiden Fällen geben die Hersteller an, dass die Beschichtungen nanoskalige Dimensionen , d.h. Schichtdicken < 100 nm aufweisen. In beiden Fallstudien bilden sich die nanoskaligen Oberflächen durch chemische Prozesse beim Zusammenmischen bzw. beim Auftragen der Produkte – *Nanoprotect* bzw. *haptiX* – aus, wobei die Hersteller jeweils angeben, dass diese Produkte keine Nanostäbchen oder Nanopartikel enthalten. Gemeint sind damit Teilchen, die in 2 oder 3 Dimensionen nanoskalig (d.h. <100 nm) sind.

Für jede der beiden Produkte einschließlich der Beschichtung wird eine Bilanzierung auf Basis der von den Herstellern bereitgestellten Daten durchgeführt. Darüber hinaus werden Annahmen getroffen bzw. Defaultwerte aus der Inventardatenbank Ecoinvent verwendet. Besondere Bedeutung hat dabei die Identifizierung von Datenlücken hinsichtlich der Produktkomponenten sowie deren Bestandteile zu, die in der jeweiligen Sachbilanz gesondert ausgewiesen werden. Dies betrifft insbesondere auch die Frage, ob darin Nanopartikel oder Nanostäbchen (NPR) enthalten sind.

Ziel der Ökobilanzen ist es, einen allfälligen ökologischer Nutzen der Produkte bzw. der daraus hergestellten Oberflächenbeschichtungen in der Nutzungsphase im Vergleich zu unbehandelten Oberflächen oder konventionellen – d.h. nicht nanoskaligen Produktalternativen – herauszuarbeiten.

Auf eine Betrachtung von Prozessschritten, die für das nanoskalige- sowie das konventionelle Produkt bzw. die entsprechende Beschichtung identisch sind oder die sich auf die Herstellung und Entsorgung der beschichteten Oberflächen beziehen, wird verzichtet.

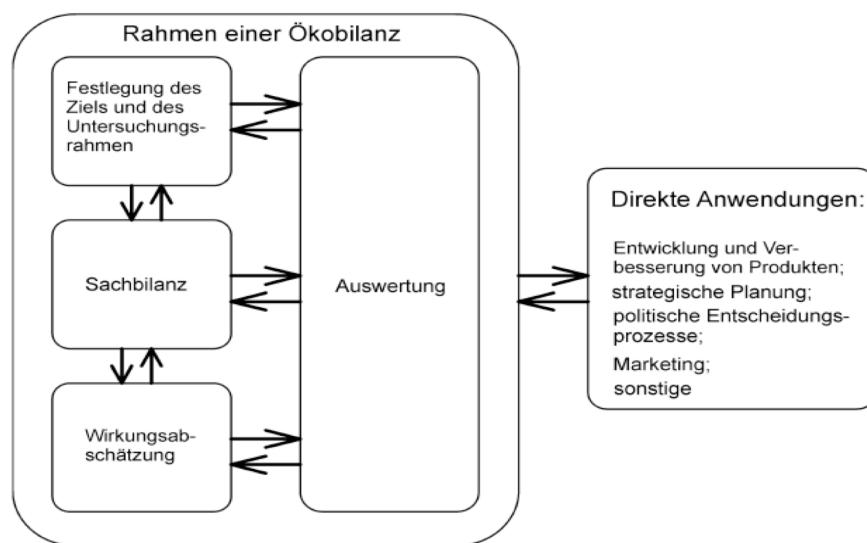
Für die Wirkungsabschätzung werden vier Methoden verwendet: Die Beschreibung von Wirkungsindikatoren nach IPCC 2007 (Klimawandel) und KEA 2007 (Kumulierter Energieaufwand) sowie die Bewertungen nach Eco-Indicator 99 und Umweltbelastungspunkte UBP 2006 finden sich im fol-

genden Kapitel. Die Methoden ergänzen sich und bilden Umweltauswirkungen umfassend ab. Durch die Verwendung mehrerer Methoden werden die Ergebnisse abgestützt.

6.1 Methode Ökobilanzierung

Mit einer Ökobilanz werden die Auswirkungen der Stoff- und Energieströme (sowohl In- als auch Outputs) auf die Umwelt während des gesamten Lebensweges bzw. bestimmter Abschnitte erfasst.

Abbildung 13 Bestandteile einer Ökobilanz (aus DIN EN ISO 14040)



Ökobilanzen liefern Informationen für Entscheidungsträger zur strategischen Planung, Prioritätensetzung, Produktentwicklung. Das Aufzeigen von Möglichkeiten zur Verbesserung der Umwelteigenschaften von Produkten bzw. Dienstleistungen in den verschiedenen Phasen ihres Lebensweges unterstützt Verantwortliche beim Auswählen der wesentlichen Indikatoren, und deren Messmethoden. Eine Ökobilanz umfasst im Wesentlichen vier Schritte:

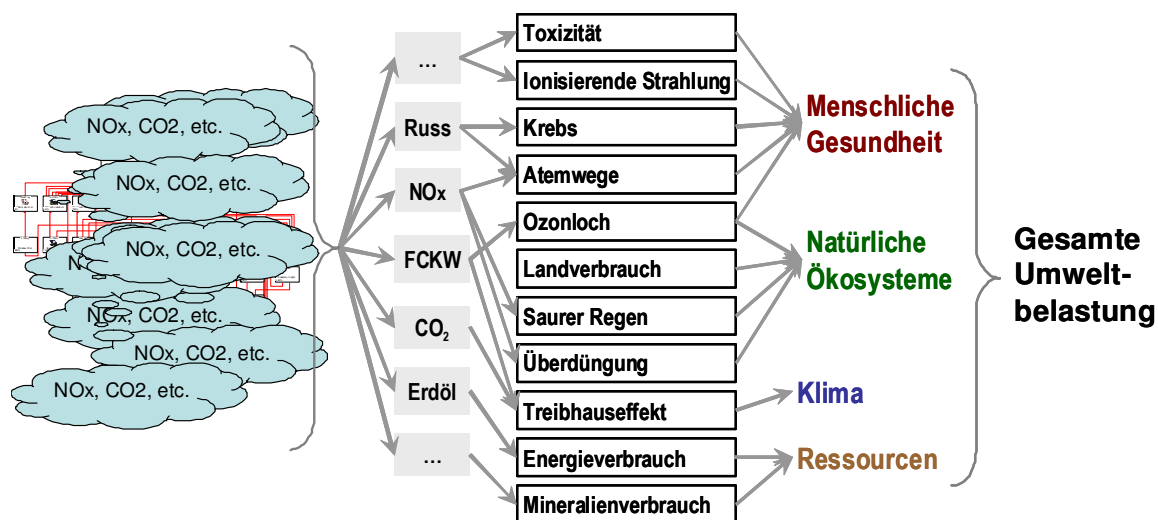
- Problemstellung und Rahmenbedingungen: Festlegen der Szenarien und der Systemgrenzen
- Sachbilanz
- Wirkungsbilanz
- Interpretation und Bewertung der Ergebnisse

Die vorliegende Ökobilanz orientiert sich an den Vorgaben der DIN EN ISO 14040 und 14044 und wird durch die Anwendung verschiedener Bewertungsmethoden ergänzt.

In der Wirkungsbilanz werden die Umweltauswirkungen der verschiedenen Stoffflüsse ausgewiesen. Basierend auf einer umfassenden Recherche der bisher vorliegenden ökologischen Bewer-

tungen werden dabei die Produkte beschrieben sowie ihre Betriebsdaten und Umweltauswirkungen betreffend Herstellung und Transport erhoben und in der Wirkungsabschätzung für alle im Zusammenhang mit der vorliegenden Fragestellung wichtigen Umweltkriterien gegenübergestellt. Im Rahmen dieser Studie werden u.a. die folgenden Auswirkungen berechnet:

Abbildung 14 Kriterien zur Beschreibung der Umweltbelastung (Mid- und Endpoints)



- Treibhauspotential (GWP): Einfluss auf das Klima und Beitrag zur Erwärmung des Klimas auf Grund von Gasen wie z.B. CO₂, Methan und Lachgas gemäß IPCC 2007.
- Kumulierter Energieaufwand (KEA oder KME): Verbrauch an nicht erneuerbaren Ressourcen wie z.B. Erdöl oder Erdgas (vgl. FRITSCHE et RAUSCH, 2003).
- Ökotoxizität: Auswirkungen auf Tiere und Pflanzen durch die Emission von Stoffen. Methode: Umweltbelastungspunkte (UBP)2006
- Landnutzung: Einfluss auf die Biodiversität durch die Flächennutzung und deren Veränderung. Methode: Eco-Indicator 99 (GOEDKOOPT, 2000).

Weiters werden folgende Werte bilanziert: Fossile Brennstoffe, Atemwegserkrankungen infolge anorganischer Stoffe, Krebserregende Stoffe, Mineralienverbrauch, Ionisierende Strahlung, Atemwegserkrankungen infolge organischer Stoffe und Ozonabbau (alle nach Eco-Indicator 99). Bei Anwendung der Methode der ökologischen Knappheit (UBP 2007) werden die Auswirkungen eingeteilt in Emissionen ins Grundwasser, Emissionen in die Luft, Emissionen in den Boden, Emissionen in Oberflächengewässer, Natürliche Ressourcen, Energieressourcen und Abfälle.

Die in der vorliegenden Ökobilanz angewandten Methoden sind:

a) Klimawandel gemäß IPCC 2007 Zeithorizont 100 Jahre

Die Bewertung unterschiedlicher gasförmiger Emissionen bzgl. deren Treibhausgaspotentials und Zusammenfassung der einzelnen Emissionen in der Wirkungskategorie „Klimawandel“ ist eine der meist verwendeten Methoden im Rahmen von LCAs. Die Charakterisierungsfaktoren beruhen dabei auf den Publikationen des Intergovernmental Panel on Climate Change²⁷. In der vorliegenden Untersuchung wird die weiterentwickelte Version aus dem Jahr 2007 eingesetzt. (IPCC 2007). Der Zeithorizont wird mit 100 Jahren festgelegt.

b) Kumulierter Energieaufwand (KEA 2007)

Der kumulierte Energieaufwand zielt darauf ab, den direkten und indirekten Primärenergieeinsatz über den gesamten Lebenszyklus zu erfassen. Primärenergie bedeutet in diesem Sinne, dass beispielsweise nicht eingesetzter Strom bilanziert wird, sondern das für die Stromerzeugung notwendige Erdgas. Den Auswertungen dieser Studie wird der österreichische Energiemix von 1990 – 1994 zu Grunde gelegt.

c) Eco-Indicator 99 (EI 99) mit der Gewichtung HA (hierarchist average)

Beim Eco-Indicator 99 werden zuerst die Schäden, welche an den drei Schutzziele *Menschliche Gesundheit*, *Ökosystemqualität* und *Ressourcen* entstehen, berechnet. Die Menschliche Gesundheit wird dabei anhand der Beeinträchtigung bzw. des Verlustes von menschlicher Gesundheit in Lebensjahren (disability-adjusted life years - DALY) ausgedrückt. Die Ökosystemqualität wird über den Anteil an verschwundenen Species durch die Umweltbelastung kalkuliert (Potentially Disappeared Fraction of plant species PDF*m²*yr). Ressourcen werden über den zusätzlich notwendigen Energieaufwand durch das künftige Schürfen von Mineralien, bzw. der Bereitstellung von energetischen Ressourcen ausgedrückt (surplus energy requirement to compensate lower future ore grade MJ).

Anschließend werden diese Schäden auf der Basis von gesellschaftlichen Wertmaßstäben relativ zueinander gewichtet. Diese Wertmaßstäbe wurden von einem wissenschaftlichen ExpertInnenpanel erarbeitet und eingeschätzt. Für diese Wertmaßstäbe wurden drei Bewertungsperspektiven erarbeitet: Hierarchisch, Egalitär und Individualistisch. Die drei Perspektiven weisen den drei Schutzziele unterschiedliche Gewichtungen zu. Hierarchisch wertet verstärkt *Menschliche Gesundheit* und *Ökosystemqualität*, Egalitär fokussiert stark auf die *Ökosystemqualität* und Individualistisch auf *Menschliche Gesundheit*. Das Kriterium „nicht erneuerbare energetische Ressourcen“ wird bei dieser Methode wesentlich stärker gewichtet als bei den UBP.

d) Methode der ökologischen Knappheit (Umweltbelastungspunkte, UBP 2006)

²⁷ The Intergovernmental Panel of Climate Change is the leading body for the assessment of climate change, established by the United Nations Environment Programme (UNEP) and the World Meteorological Organization (WMO) to provide the world with a clear scientific view on the current state of climate change and its potential environmental and socio-economic consequences.

Bei den UBP handelt es sich um eine in der Schweiz entwickelte Methode, welche sich auf die schweizerische Umweltpolitik abstützt. Bei dieser Methode werden neben den bereits bestehenden Belastungen die umweltpolitischen Ziele der Schweiz für die Bewertung berücksichtigt. In diesem Projekt wurde die überarbeitete Version des BAFU aus dem Jahre 2006 verwendet. Die schadstoffbedingten Kriterien sind hier stärker gewichtet als bei der Methode Eco-Indicator 99.

Die beiden Methoden c) und d) unterscheiden sich im grundsätzlichen Vorgehen der Bewertung nicht voneinander, sondern gewichten lediglich die Bewertungskriterien aus unterschiedlicher Präferenz. Beide greifen bei Ihren Algorithmen unter anderem auf die Methoden a) und b) die Wirkungsindikatoren beschreiben, zurück.

In der vorliegenden Studie werden alle vier Methoden - die Beschreibung von Wirkungsindikatoren nach a) und b) sowie die Bewertungen nach c) und d) - verwendet, um die Ergebnisse abzustützen. Zudem erlaubt dies eine bessere Vergleichbarkeit mit anderen Studien. Der Methodenmix bildet somit die gesamten Umweltauswirkungen (innerhalb der gewählten Systemgrenzen und getroffenen Annahmen) ab. Es gibt innerhalb der Wirkungsabschätzung keine allgemein gültige Methode, welche als die 'Richtige' betrachtet werden kann. Der Begriff Bewertung drückt schon aus, dass es dabei um Werte geht. Solche „Werte“ beruhen auf gesellschaftlichen Relevanzen und Erkenntnissen, sind immer subjektiv und bringen das Wertesystem des bewertenden Subjekts zum Ausdruck. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen werden im Folgenden die wesentlichen Ergebnisse mit allen oben genannten Methoden dargestellt.

Das Treibhauspotential wird gesondert ausgewiesen, da die Auswirkungen auf das Klima von hoher Aktualität sind. Zusätzlich werden die Ergebnisse zum KEA (Kumulierter Energieaufwand) aufgeführt, der zum einen eine Rechengröße zur Energiebilanz darstellt, darüber hinaus aber auch stellvertretend für den Verbrauch fossiler Ressourcen steht. Weiters ist zu beachten, dass die Methode Eco-Indicator zum heutigen Zeitpunkt die Gewässerbelastung durch eutrophierende Stoffe nicht explizit berücksichtigt, sondern nur pauschal über die landwirtschaftliche Flächennutzung.

Die Ergebnisse werden durch Sensitivitätsanalysen auf ihre Robustheit untersucht. Hierdurch wird der Einfluss durch Änderung der Bilanzfestlegungen geprüft und dies fließt in die abschließende Diskussion ein.

6.2 Ökonomische Betrachtung der Fallbeispiele

Um mehr über die im Projekt untersuchten Produkte zu erfahren, wurden qualitative Multiplikatorengespräche mit der jeweiligen Vertriebfirma durchgeführt. Die Firma Wagenhofer und die Firma Profactor stellen in diesen Sinnen einen Multiplikator dar, welcher sowohl die Herausforderung des Marktes der Nano-Produkte als auch die Schwierigkeit bezüglich der Vermarktung der nanotechnologischen Produkte kennt. Als erstes werden die bis jetzt bekannten Eigenschaften und Vertriebs-herausforderungen der nanotechnologischen Oberflächenbeschichtungen anhand des Beispiels der *easy to clean* Beschichtung erläutert.

6.2.1 Ökonomische Relevanz ausgewählter Sektoren

Im folgenden Abschnitt ist eine kurze Darstellung der ökonomischen Relevanz der identifizierten Wirtschaftsbranchen nach ÖNACE anhand von allgemein gebräuchlichen und vergleichbaren ökonomischen Indikatoren zu finden. Die Darstellung der ökonomischen Relevanz der Wirtschaftsbranchen ist besonders relevant, weil sie die wichtigste sekundärstatistische Basis zur Einschätzung der ökonomischen Bedeutung der ausgewählten Einzelprodukte darstellt. Unter anderem wird die Branchenstruktur in Österreich (i.e. Hersteller bzw. Vertrieb) dargestellt und diskutiert, welche Herausforderungen die Vermarktung nanotechnologische Produkte mit sich bringt. Es wird weiterhin auf die Fragen eingegangen, welches Marktpotenzial die untersuchten Industriebranchen darstellen und was die etwaigen sozioökonomischen Auswirkungen der Nanotechnologie in den untersuchten Branchen sind.

Wie schon bereits erwähnt lässt sich Nanotechnologie nicht klassischen Industriebranchen zuordnen, deren Umsätze und Beschäftigtenzahlen in Wirtschaftsstatistiken erfasst werden. Es handelt sich vielmehr um eine branchenübergreifende Querschnittsdisziplin. Bisherige veröffentlichte Studien sind oftmals zu lückenhaft, als dass sie die wirtschaftliche Bedeutung der Nanotechnologien für alle betroffenen Branchen abbilden könnten. [Evolution Capital Limited (2001), „Nanotechnology: Commercial Opportunity“, London Beckmann und TAB (2003): „TA-Projekt Nanotechnologie Endbericht“, Arbeitsbericht Nr. 92, TAB Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag). Nanotechnologische Verfahren und Produkte werden überwiegend am Beginn der Wertschöpfungskette angesetzt und beziehen sich oft lediglich auf einzelne Komponenten bei anderen konventionellen Produkten, deren Funktionalität und Eigenschaften durch Nanotechnologie verbessert werden. Nanotechnologie befindet sich zu einem großen Teil noch im Forschungsstadium. Laut der vorhandenen Literatur sowie sekundärstatistischen Datenanalysen lässt sich der Anteil der Nanotechnologie an der Wertschöpfung marktgängiger Produkte kaum oder nur ungenau erfassen.

Derzeit gibt es schon die verschiedensten Beschichtungsvarianten auf der Basis von Nanopartikel, am bekanntesten sind wohl die selbstreinigenden Oberflächen, die aufgrund ihrer Struktur

schmutz- und wasserabweisend sind. Diese Beschichtungen können genutzt werden, um Verbraucherprodukte aus Glas - oder Keramik wirksam gegen Verschmutzung zu schützen.

Die zwei im Projekt NanoRate ausgewählten Beschichtungen werden den relevanten Produktklassen, klassifiziert nach ÖCPA, sowie den Produktklassen mit statistisch erfassten Wirtschaftsaktivitäten, klassifiziert nach ÖNACE, zugeordnet. Durch die Zuordnung wird es ermöglicht, die ökonomische Relevanz der Wirtschaftsaktivitäten in Österreich in Zusammenhang mit der Produktgruppe, der die ausgewählten Produkte zugeordnet werden können, darzustellen.

ÖNACE ist die in der Wirtschaftsstatistik angewendete österreichische Version der europäischen Klassifikation der Wirtschaftstätigkeiten (NACE Rev. 1), die gemäß Europäischer Ratsverordnung (VO (EWG) Nr. 3037/ 90) für alle Mitgliedsstaaten verbindlich anzuwenden ist ("NACE" steht für *Nomenclature générale des activités économiques dans les communautés européennes*). Güterklassifikationen sind in vielen Bereichen der Wirtschaftsstatistik wie z.B. in der Produktions- und Verbrauchsstatistik von zentraler Bedeutung. Um wirtschaftsstatistische Daten aus diesen Bereichen adäquat analysieren und darstellen zu können, bedarf es einer Gütersystematik, die den aktuellen wirtschaftlichen Gegebenheiten entspricht. Die ÖCPA 2002 ist die nationale Fassung der auf europäischer Ebene geltenden und aktualisierten Gütersystematik CPA 2002 („CPA“ steht für *classification of products by activities 2002*). Diese trat per Verordnung (EG) Nr. 204/2002 der Kommission vom 19. Dezember 2001 (ABl. Nr. L 36 vom 06.02.2002) am 1. Jänner 2003 in Kraft.

Die Zuordnung erfolgt in zwei Schritten. Wie Abbildung 6 darstellt, wurde das Produkt „Nanobeschichtung“ den chemischen Erzeugnissen (ÖCPA 24, Herstellung von Anstrichmitteln, Druckfarben und Kitt) zugeordnet, während die aus der Nanobeschichtung resultierenden Verbrauchsgüter Glas, Keramik, bearbeitete Steine und Erden (ÖCPA 26) sowie Holz, Korb und Flechtwaren (ÖCPA 20) zuzuordnen sind. Im zweiten Schritt folgt eine Darstellung der ökonomischen Relevanz der identifizierten Wirtschaftsbranchen nach ÖNACE anhand von allgemein gebräuchlichen und vergleichbaren ökonomischen Indikatoren.

Abbildung 15 Zuordnung der zwei ausgewählten Einzelprodukte zur relevanten Produktklasse nach ÖCPA

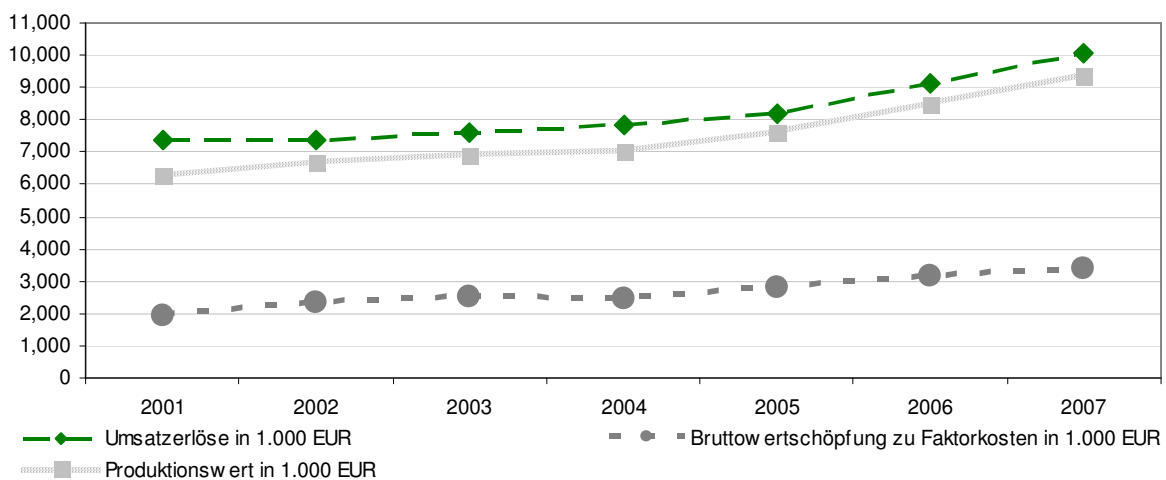
	ÖNACE				ÖCPA			
ÖNACE/ÖCPA-Abschnitte:	D Sachgütererzeugung				D Sachgütererzeugung			
ÖNACE/ÖCPA-Unterabschnitte	ÖNACE DD (Be- und Verarbeitung von Holz (ohne Herstellung von Möbeln))	ÖNACE DG (Herstellung von Chemikalien und chemischen Erzeugnissen)	ÖNACE DI (Herstellung und Bearbeitung von Glas)		ÖCPA DD (Holzwaren (ohne Herstellung von Möbeln))	ÖCPA DG (Chemikalien und chemische Erzeugnisse)	ÖCPA DI (Glas, Keramik, bearbeitete Steine und Erden)	
2-Steller	ÖNACE 20 (Be- und Verarbeitung von Holz (ohne Herstellung von Möbeln))	ÖNACE 24 (Herstellung von Chemikalien und chemischen Erzeugnissen)	ÖNACE 26 (Herstellung und Bearbeitung von Glas)		ÖCPA 20 (Holz sowie Holz-,Korb- und Flechtwaren)	ÖCPA 24 (chemische Erzeugnisse)	ÖCPA 26 (Glas, Keramik, bearbeitete Steine und Erden)	
3-Steller	ÖNACE 20.3 (Herstellung von Konstruktionsteilen, Fertigbauteilen, Ausbauelementen und Fertigteilbauten aus Holz)	ÖNACE 24.3 (Herstellung von Anstrichmitteln, Druckfarben und Kitten)	ÖNACE 26.1 (Herstellung und Bearbeitung von Glas)	ÖNACE 26.3 (Herstellung von keramischen Wand- und Bodenfliesen und -platten)	ÖCPA 20.3 (Konstruktionsteile, Fertigbauteile, Ausbauelemente und Fertigteilbauten aus Holz)	ÖCPA 24.3 (Anstrichmittel, Druckfarben und Kitte)	ÖCPA 26.1 (Glas und Glaswaren)	ÖCPA 26.3 (Keramische Wand-, Bodenfliesen und -platten)
4-Steller	ÖNACE 20.30 (Herstellung von Konstruktionsteilen, Fertigbauteilen, Ausbauelementen und Fertigteilbauten aus Holz)	ÖNACE 24.30 (Herstellung von Anstrichmitteln, Druckfarben und Kitten)	ÖNACE 26.12 bzw. 26.11 (Veredlung und Bearbeitung von Flachglas bzw. Herstellung von Flachglas)	ÖNACE 26.30 (Herstellung von keramischen Wand- und Bodenfliesen und -platten)	ÖCPA 20.30 (Konstruktionsteile, Fertigbauteile, Ausbauelemente und Fertigteilbauten aus Holz)	ÖCPA 24.30 (Anstrichmittel, Druckfarben und Kitte)	ÖCPA 26.12 (Veredeltes und bearbeitetes Flachglas)	ÖCPA 26.30 (Keramische Wand-, Bodenfliesen und -platten)
6-Steller					ÖCPA 20.3099 (Industrielle Dienstleistungen bei der Herstellung von Parkett- und Schiffböden)	ÖCPA 24.3020 (Zubereitete Pigmente usw. und Glasfritte für die Keramik-, Emaillier- oder Glasindustrie, andere Anstrichfarben, Lacke, zubereitete Sikkative und Pigmente, Prägefolien, Färbemittel, Kitte, Druckfarben)	ÖCPA 26.1290 (Veredlungsleistungen an Flachglas)	ÖCPA 26.3099 (Industrielle Dienstleistungen bei der Herstellung von keramischen Wand-, Bodenfliesen- und -platten)

Quelle: InTeReg Darstellung, Statistik Austria ÖNACE Grundsystematik der Wirtschaftstätigkeiten 2003, ÖCPA Grundsystematik der Güter 2002

6.2.2 Sektor *Herstellung von Chemikalien und chemischen Erzeugnissen*

Beschichtungen (gleichgültig, wofür sie verwendet werden) kann man der österreichischen Produktgruppe der „Chemikalien und Chemische Erzeugnisse“ zuordnen. Betrachtet man die präziseste, von der STATISTIK AUSTRIA erfasste Klassifikationsebene dieser Produktgruppen (auf 2-, 4-, 6-Steller Ebene), so sind die im Projekt ausgewählten Nano-Beschichtungen mit der Produktgruppe „Zubereitete Pigmente usw. und Glasfritte für die Keramik-, Emaillier- oder Glasindustrie usw.“ (ÖCPA 6-Steller 24.3020) identisch (siehe Abbildung 6). Zur weiteren Analyse wird die ÖCPA-Güterklasse mit den statistisch erfassten Wirtschaftsaktivitäten im Bereich „Herstellung von Chemikalien und chemischen Erzeugnissen“ (ÖNACE 24) und insbesondere die Herstellung von Anstrichmitteln, Druckfarben und Kitten (ÖNACE 24.3) verknüpft. Dieser Bereich umfasst auch die Herstellung von Anstrichfarben und Lacken, Lackharzen. Der Sektor „Herstellung von Chemikalien und chemischen Erzeugnissen (ÖNACE 24) gehört zu den größten und bedeutendsten Industriebranchen in Österreich. Im Verhältnis zur gesamten Industrie repräsentierte 2007 die chemische Industrie 1,5 % der Beschäftigten, 2,4 % des Produktionswerts, 2,1 % der Bruttowertschöpfung und 13,5 % der F&E-Ausgaben. Die chemische Industrie umfasste 2007 laut Leistungs- und Strukturstatistik der Statistik Austria 433 Unternehmen, darunter 98 forschende Unternehmen, und wird hauptsächlich von multinationalen Akteuren dominiert. Im Bereich (ÖNACE 2.43) Herstellung von Anstrichmittel, Druckfarben und Kitten inklusive der Herstellung von Lacken wurden 2006 49 Unternehmen identifiziert. Die 433 Unternehmen erzielten im Jahr 2007 gemäß Statistik Austria 6,5 % der Umsatzerlöse der gesamten österreichischen Sachgütererzeugung (insgesamt 10.1 Mrd. Euro) sowie 7,2 % der Bruttowertschöpfung im Bereich der Sachgütererzeugung (insgesamt 3.4 Mrd. Euro) Der Produktionswert der Branche konnte in den vergangenen sieben Jahren um beachtliche 60 % erhöht werden.

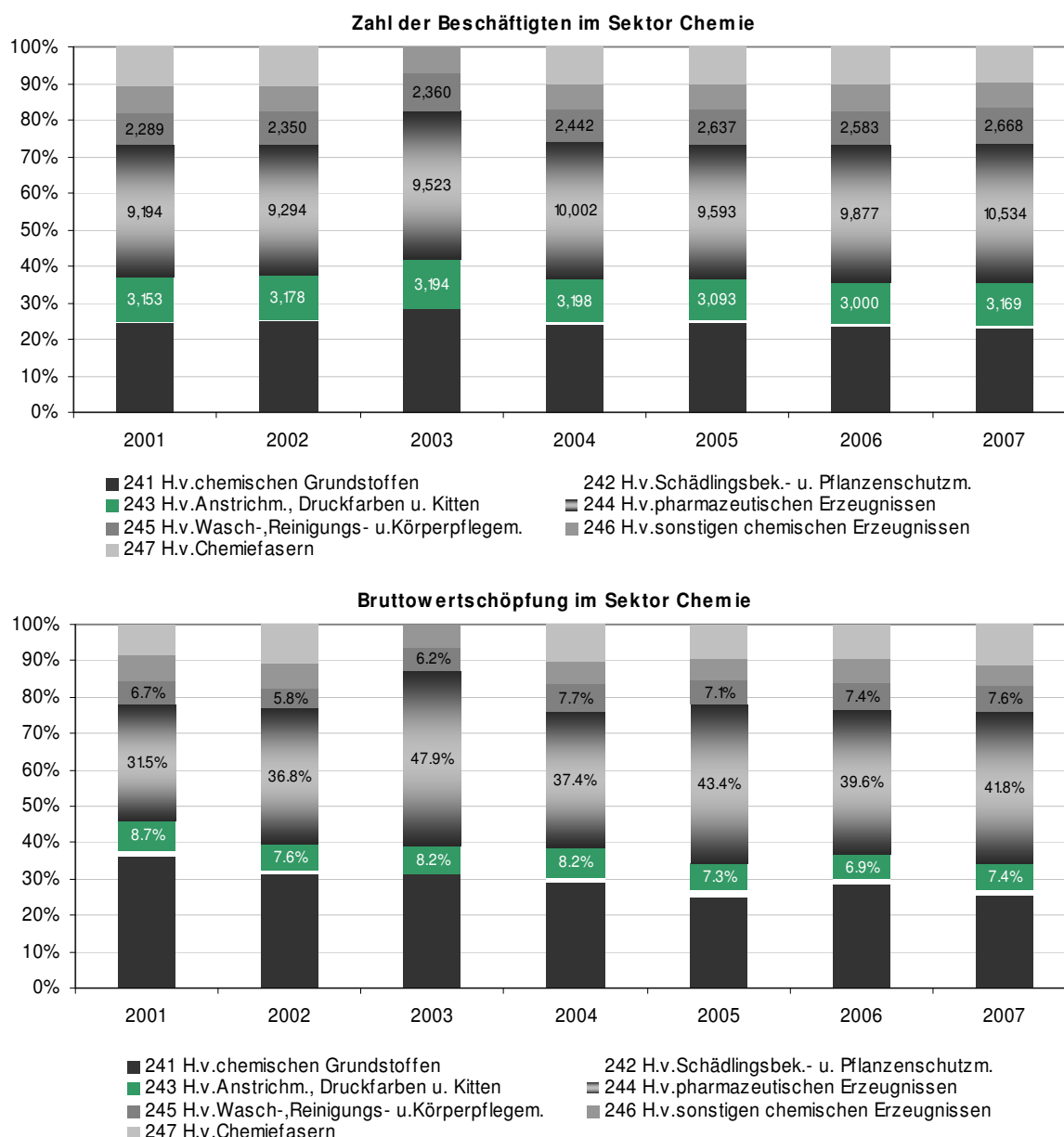
Abbildung 16 Produktivität, Umsatz und Bruttowertschöpfung in der Chemieindustrie 2001-2007



Quelle: Statistik Austria 2008, Konjunkturindikatoren im Produzierenden Bereich 2008

Der Chemiesektor war 2007 für 12,9 % der F&E Aufwendungen des Unternehmenssektors verantwortlich. Mit 27.524 Beschäftigten im Jahr 2007 (2006: 26.558) nahm die Beschäftigtenzahl in der Holzindustrie leicht zu. Fast jeder dritte Beschäftigte in der chemischen Industrie ist in einem KMU tätig. Mittelständische Betriebe mit durchschnittlich rund 145 Mitarbeitern prägen das Bild der chemischen Industrie. Von den rund 433 Unternehmen beschäftigen lediglich 17 mehr als 500 Arbeitnehmer.

Abbildung 17 Verteilung der Beschäftigten und Bruttowertschöpfung im Sektor Chemie

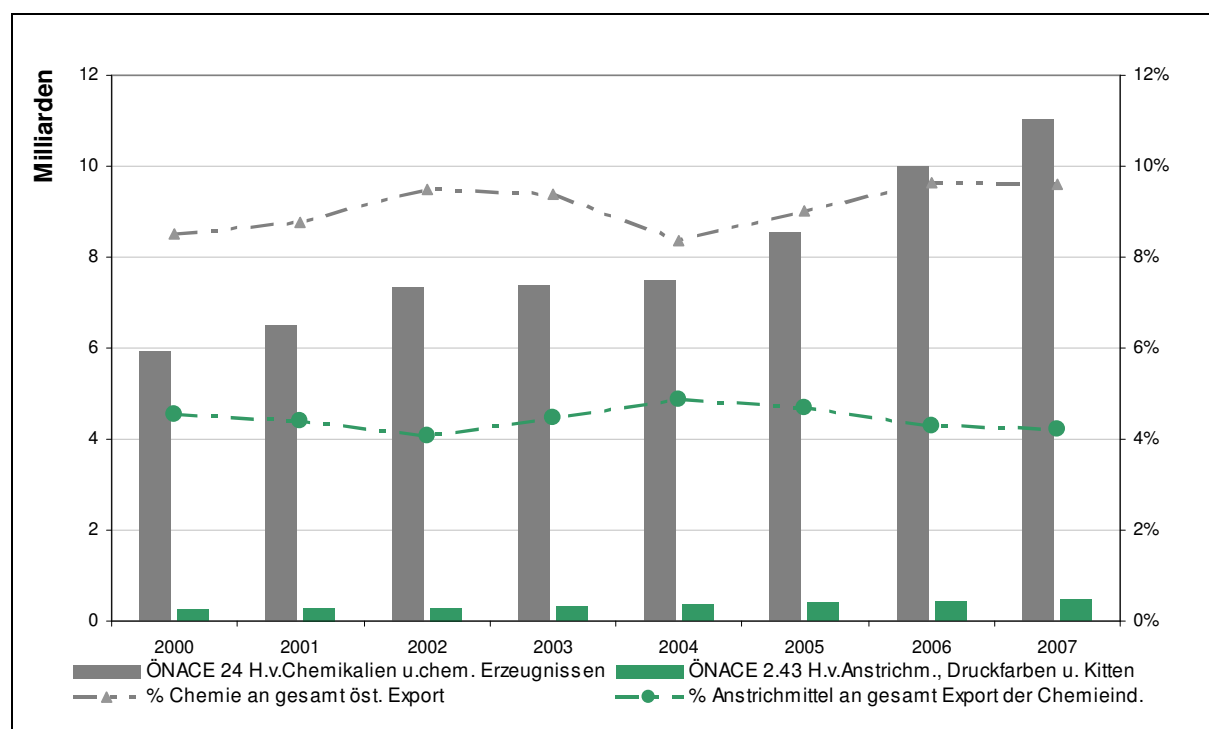


Quelle: STATISTIK AUSTRIA 2009, Österreichische Leistungs- und Strukturstatistik

Die Chemische Industrie wird durch Hersteller von chemischen Grundstoffen und durch Pharmaunternehmen dominiert. Diese zwei Bereiche der chemischen Industrie mit 212 Unternehmen erzielen 68 %

der gesamten Umsatzerlöse und 67 % der gesamten Bruttowertschöpfung im Sektor (4,7 % der Sachgüterproduktion). Der Bereich (ÖNACE 2.43) Herstellen von Anstrichmitteln, Druckfarben und Kitten ist etwas kleiner, die 49 Unternehmen beschäftigen 3.169 Mitarbeiter und produzieren 7.38 % der Bruttowertschöpfung der Österreichische Chemieindustrie (0,5 % der Sachgüterproduktion).

Abbildung 18 Exporttätigkeiten im Sektor Chemie 2000-2007



Quelle: STATISTIK AUSTRIA 2009, Österreichische Außenhandelsstatistik

Die chemische Industrie ist eng mit dem Ausland verflochten. Das sieht man auch daran, dass über zwei Drittel der Produktion in den Export fließen, andererseits machen die Exporte der Chemieindustrie alleine knapp 10 % des Österreichischen Exportvolumens aus. Die Chemieindustrie ist von der globalen Marktwirtschaft besonders geprägt, zahlreiche Unternehmen haben Auslandsniederlassungen in der ganzen Welt oder üben als Tochterunternehmen multinationaler Konzerne die Headquarter-Funktion für Mittel- und Osteuropa aus. Die Exporttätigkeiten wachsen seit 2001 kontinuierlich. Exporttätigkeiten der Chemieindustrie verlaufen äußerst dynamisch. Im Jahr 2000 trugen die Hersteller von Anstrichmitteln und Kitten mit 8,5 %, in 2006 mit 9,6 % zur gesamtösterreichischen Exportvolumen bei. Exporttätigkeiten der Lackindustrie sind seit 2000 konstant, bzw. steigen sogar leicht (zwischen 0,36 % und 0,4 %).

6.2.3 Die Bedeutung der Nanotechnologie im Chemiesektor am Beispiel der Produktfallstudien

Die Industriebranche „Herstellung von Chemikalien und chemischen Erzeugnissen“ (ÖNACE 24) übt eine große volkswirtschaftliche Hebelwirkung aus, da Materialinnovationen einen wesentlichen Treiber für den technologischen Fortschritt in vielen anderen Industriebranchen darstellen. *„Die Nanotechnologie, insbesondere der Bereich Nanobeschichtungen, wird in Zukunft eine wachsende Bedeutung in der chemischen Industrie bei der Erzeugung hochwertiger Spezialchemikalien überwiegend auf der Wertschöpfungsstufe von Vor- und Zwischenprodukten haben.“* (Experteninterview 2009, Juli, Nanocenter Weiz)

Viele dieser Produkte sind aber Nischenprodukte und werden häufig in KMUs, z.B. in Firmengründungen wissenschaftlicher Institutionen erzeugt. Beispiele dafür sind die Herstellung maßgefertigter Oberflächen für die Metall- oder Plastik-verarbeitende Industrie (selbst meist KMU), IT, Kamera, Computer-Industrie, Autoindustrie, Produzenten von Haushaltswaren. [H.Schmidt, 2009].

Die Chemische Industrie ist eng mit der Entwicklung der Nanotechnologie verknüpft: Sie ist einerseits Lieferant wesentlicher Grundstoffe, andererseits zukünftiger Nutzer nanotechnologiebasierter verfahrenstechnischer Innovationen. Von der Nanotechnologie wird erwartet, dass die Chemische Industrie aus ihr neue Innovationsdynamik schöpfen kann.

Zahlreiche Produkte der Chemischen Industrie, die heute dem Bereich Nanotechnologie zugerechnet werden, gibt es schon seit Jahrzehnten. In vielen Bereichen zeichnen sich aber neue Nanoprodukte ab, die auf Grund ihres potenziellen Marktvolumens wirtschaftlich relevant sind.

Hauptanwendungsgebiete der Nanotechnologie in der Chemischen Industrie sind die Katalyse, die Erzeugung von Füllstoffen, Pigmenten, Beschichtungen und Schmierstoffen, die Mikro-/Nanoreaktionstechnik, Membranen und Filter sowie Pharma und Kosmetik.

Die breite Anwendungspalette der Nanotechnologie in der Chemie betrifft Innovation auch in den Bereichen Nanobeschichtungen und Lacke. Im Bereich der Chemie werden die weltweiten Marktvolumen der nanostrukturierten Materialien auf derzeit ca. 2 Mrd. Euro geschätzt. In Österreich werden 4,41 %, (40.1 Mio. Euro) der im Sektor erzielten Umsatzerlöse für F&E verwendet, was darauf zurückzuführen ist, dass der Sektor sehr forschungsintensiv ist.

Die Lackindustrie ist bisher der einzige Bereich, wo nanoskalige Materialien bereits in Produkten verarbeitet werden. Hier gibt es auch die Schätzung, dass der Branchenumsatz innerhalb des nächsten Jahrzehnts zu fast einem Drittel mit Produkten erwirtschaftet werden wird, die sich auf Nanotechnologie stützen.

Aktuelle Zahlen, die sich auf tatsächliche Verkäufe stützen, lassen sich auf Grund der fließenden Übergänge zwischen „nano“ und „nicht-nano“ nicht erheben. In weiteren Bereichen beschränkt sich die Anwendung von nanoskaligen Materialien noch auf den experimentellen Einsatz zum Zweck der

Produktentwicklung. In erster Linie sind das Katalysatorgrundstoffe, Kunststoffverpackungen, Faserherstellung, Arzneimittelherstellung und auch die Herstellung von Textilhilfsmitteln. Bekannt ist, dass sich bereits Konkurrenzprodukte am Markt befinden, die eine Auslobung mit Bezug zur Nanotechnologie erhalten haben. Im Bereich der Kosmetik besteht die spezielle Situation, dass die Mitgliedsfirmen in Österreich keine Produktion aufrecht erhalten haben, die in Rede stehenden Produkte jedoch auf den Markt bringen (z.B. Sonnenschutzmittel).

Box 1: Bedeutung der Nanotechnologie für die österreichische Lackindustrie

Laut Aufzeichnungen der Wirtschaftskammer Österreich sind zurzeit in der österreichischen Lackindustrie hoch interessante Innovationen in der Pipeline. Innovationen im Bereich elektrisch leitende Beschichtungen, lackierte Oberflächen für Solarstrom, selbstheilende Beschichtungen, schaltbare Lacken, Wärme isolierende Beschichtungen. Entsprechend einer Umfrage innerhalb des Fachverband der Chemischen Industrie Österreichs (FCIÖ) beträgt der Marktanteil in Österreich an Lacken und Anstrichmitteln derzeit etwa 5 – 10 % der österreichischen Chemieindustrie und wird im Jahr 2015 einen geschätzten Anteil von 30 % erreichen.

Innerhalb der Chemischen Industrie stellt Nanotechnologie den Lackhersteller eine besondere Herausforderung dar. Die Lack- und Anstrichmittelindustrie in Österreich umfasst 40 Unternehmen mit 3000 Mitarbeitern und einer Produktionsmenge von 150.000 Tonnen. Nanotechnologie bedeutet für die Lackindustrie einen Technologiesprung, vielversprechende Entwicklungen sind etwa elektrisch leitende Beschichtungen, lackierte Oberflächen für Solarstrom oder auch Wärme isolierende Beschichtungen.

Nanolacke sind bereits am Markt etabliert, etwa selbstreinigende, antibakterielle oder photokatalytische Farben oder Lacke mit hoher Abriebfestigkeit und UV-Schutz.

Wichtig ist zu klären, ob bzw. welche Risiken von Nanolacken und Nanobeschichtungen im Alltagsgebrauch ausgehen. Quelle: Referat 2009, Dr. Klaus Schaubmayr, Fachverband der chemischen Industrie Österreich – FCIÖ

6.3 Produktfallstudie *Nanoprotect* – Glasdusche mit einer Easy to clean Beschichtung

6.3.1 Ökobilanzierung

6.3.1.1 Produktbeschreibung und Sachbilanz

Das Produkt *Nanoprotect* wird vom Unternehmen *Wagenhofer Coating Systems (C.S.)* vertrieben und für die Beschichtung von Glasoberflächen im Innen- und Außenbereich beworben. Das Unternehmen führt die Oberflächenbeschichtung auch durch. Wagenhofer C.S. wird in Folge als Produkthanbieter bezeichnet. Die Vorteile der Beschichtung sind lt. Produkthanbieter ein verminderter Reinigungsaufwand durch eine von der Beschichtung hervorgerufenen verminderten Anhaftung von Wasser, Öl und Schmutz. Dies bedingt auch einen verminderten Bedarf an Reinigungsmittel während der Nutzung sowie eine erhöhte Lebensdauer der beschichteten Oberfläche insgesamt. Die vom Produkthanbieter für *Nanoprotect* zur Verfügung gestellten Informationen fasst **Tabelle 6** zusammen.

Tabelle 6 Zusammensetzung von *Nanoprotect*

Komponenten	Menge je l <i>Nanoprotect</i>	Bestandteile	Menge je l <i>Nanoprotect</i>	NPR*
Aktivator	X ml (Menge bekannt)	A: Organisches Material; Genaue Stoffidentität nicht bekannt	Nicht bekannt	Nein
		B: Organisches Material; Genaue Stoffidentität nicht bekannt	Nicht bekannt	Nein
		C: Organisches Material; Genaue Stoffidentität nicht bekannt	Nicht bekannt	Nein
Alkoholkomponente	X ml (Menge bekannt)	Ethanol	900 ml bzw. 0.711 kg	-
		Salzsäure	Nicht bekannt	-
		Sonstige Bestandteile	keine	-

*...*Nanoparticels and -rods.*

Nanoprotect besteht aus zwei Komponenten – einem Aktivator und einer Alkoholkomponente – welche vor der Aufbringung auf die Oberfläche gemischt werden:

Die **Alkoholkomponente** enthält Ethanol, welcher mit 90 Volumprozent bzw. 71 Gewichtsprozent % insgesamt Hauptbestandteil, von Nanoprotect ist, die Alkoholkomponente enthält außerdem Salzsäure.

Der Produkthanbieter macht zur **Komponente Aktivator** folgende Angaben: Diese setzt sich aus 3 Bestandteilen – in Tabelle X mit A, B und C bezeichnet – zusammen, zu deren Identität als auch mengenmäßigem Anteil im Aktivator werden keine Informationen bekanntgegeben. Angegeben wird lediglich: Bei den Bestandteilen handelt es sich um Stoffe „organischen“ Ursprungs, ein Bestandteil verantwortet die Wasser und Öl abweisenden Eigenschaften, ein Bestandteil verbindet sich chemisch mit dem Substrat (Glas) und einer vernetzt und führt so zu einer nanoskaligen Oberflächenstruktur.

Vom Produkthanbieter wird ausgeschlossen, dass der Aktivator Teilchen mit nanoskaliger Struktur enthält. Im gesamten Herstellungsprozess von *Nanoprotect* treten keine Nanopartikel auf, die Bezeichnung *Nano* bezieht sich somit alleine auf die Nanoskaligkeit der vom Produkt erzeugten Oberflächenstruktur. Letztere Aussage steht im Widerspruch zu Angaben auf der Homepage des Produkthanbieters: *Die chemisch-abweisende Natur der verwendeten Nanopartikel wird durch die erzeugte, rauhe Oberfläche ... noch weiter unterstützt, die durch ihren Aufbau die Auflagefläche und somit die Adhäsion für Fremdstoffe minimiert.*²⁸ Für die weiteren Annahmen im Rahmen des Fallbeispiels, insbesondere für die Risikoabschätzung wird aber von einem Nicht-Auftreten von Nanopartikeln im Produktlebenszyklus ausgegangen.

Die Komponenten werden im Auftrag des Produkthanbieters von Chemiedienstleistern hergestellt, eine eigens errichtete Produktionsanlage wird nicht benötigt. Zum chemischen Prozess der Vernetzung werden keine Angaben gemacht. Das Produkt bleibt nach dem Zusammenmischen der Komponenten über mehrere Monate verarbeitbar. Eine Wärmebehandlung vor oder nach der Applikation ist nach Angaben des Produkthanbieters nicht unbedingt notwendig, sie erfolgte im nachfolgend beschriebenen Praxisversuch lediglich um den Hotelbetrieb nicht zu beeinträchtigen.

6.3.1.2 Produktapplikation und Reinigung: Praxisversuch Hotel Marriott

Um Daten für den Aufwand bei der Herstellung der Oberflächenbeschichtung (Applikation) sowie für die Reinigung während der Nutzungsphase zu gewinnen, wurde als Anwender der Beschichtung das Hotel Marriott (Parkring 12a, 1010 Wien) gewonnen. Dazu wurden im Hotel 10 Glasduschwände (74 cm x 164 cm) vom Produkthanbieter mit *Nanoprotect* beidseitig beschichtet (3 m² Glasfläche/Dusche) und über einen Zeitraum von 3 Wochen der Reinigungsaufwand beobachtet und vom Reinigungspersonal protokolliert.

28 <http://www.wagenhofer-cs.com/index.php?id=23>

Die **Applikation** der Beschichtung umfasst folgende Teilschritte:

- Grundreinigung der Glaswände mit Sanitärreiniger zur Entfernung der Kalkflecken (0.005 l/3 m²) und Isopropanol (4.0 g/3m²) zur Entfernung von Fettrückständen
- Danach wurden die Scheiben einer Beflammung unterzogen, um eine optimale chemische Aufbereitung zu gewährleisten und die Abriebstabilität zu erhöhen. Dieser Schritt ist nicht unbedingt nötig und hängt vom Zustand des Glases ab, - bei gebrauchtem Glas oder bei industrieller Auftragung kann es eingesetzt werden.
- Im nächsten Schritt wurde die Nanobeschichtung mittels Sprühflasche appliziert und durch ein Flietuch verteilt. Hautschutz durch Handschuhe war gegeben, Augen- und Atemschutzmaßnahmen wurden nicht gesetzt. Es wurden 7 ml Nanoprotect je m² verbraucht.
- Insgesamt wurde für die Applikation ein elektrischer Energieaufwand von 100 Wh bilanziert. Dieser energetische Aufwand ist nicht unbedingt nötig, führt allerdings nur zu vernachlässigbar geringen Änderungen der Ergebnisse.

Die Reinigung von Duschwänden im Hotel Marriott erfolgt üblicherweise täglich mit einem Glasreiniger (5 ml pro Glasduschwand), alle drei Monate wird zusätzlich mit einem Sanitärreiniger gereinigt (5 ml). Der tägliche Reinigungsaufwand umfasst:

- Wischen mit einem nebelfeuchten Microfasertuch, getränkt mit vordosiertem Glasreiniger
- Abziehen mit Schwammwischer (kein Nachspülen mit Wasser)
- Nachreinigen falls nötig
- Trocknen mit Tuch

Bei der Reinigung und Pflege von Duschwänden im Hotel Marriott kommen zwei Reinigungsmittel zum Einsatz. Der Reinigungsmittelbedarf für die Grundreinigung ist dabei im Vergleich zum Reinigungsmittelbedarf für die laufende Pflege eher gering. Über einen Zeitraum von 3 Wochen wurde der **Reinigungsaufwand der mit Nanoprotect beschichteten Glasduschwände** vom Reinigungspersonal dokumentiert. Vom Projektteam wurde dem Reinigungspersonal für die Reinigung eine Empfehlung gegeben:

- Grundsätzlich soll nur mit einem trockenen Baumwolltuch gereinigt werden.
- Sollte das nicht ausreichen kann stattdessen oder zusätzlich ein feuchtes Microfasertuch ohne Glasreiniger verwendet werden.
- Falls sich dies noch immer nicht als ausreichend erweisen sollte, kann das übliche getränkte Mikrofaser Tuch mit Glasreiniger eingesetzt werden.

Da die Reinigung von Duschwänden mit lediglich einem wasserfeuchten Tuch ohne Glasreiniger vom US-amerikanischen Hotelmanagement aus hygienischen Gründen abgelehnt wurde, konnte die Empfehlung insgesamt nicht im vollen Umfang umgesetzt werden. Über den Reinigungsbedarf der mit *Nanoprotect* beschichteten Duschwände wurden vom Reinigungspersonal folgende Einschätzungen gegeben:

- Eine Reinigung lediglich mit einem trockenen Tuch ist mit einem hohen mechanischen Reinigungsaufwand verbunden, der Reinigungseffekt war nicht zufriedenstellend
- Es wurde schließlich täglich mit Glasreiniger gereinigt - auf die zusätzliche Reinigung mit Sanitärreiniger alle drei Monate konnte verzichtet werden, da sich Kalkflecken auf der beschichteten Glaswand schlechter ansetzten.
- Insgesamt waren die Duschwände einfacher zu reinigen als ohne Beschichtung

Tabelle 7 Sachbilanz für Pflege 3 m² unbeschichtete Duschwand (Zeitraum: 5 Jahre)

Prozessschritt	Datenquelle	Input	Output	Menge	Annahme für die Ökobilanz (SimaPro)
Nutzungsphase Reinigungsvorgang bei täglicher Reinigung	Praxisversuch Hotel Marriott	Glasreiniger: Oasis Pro 40 Glas- und Allzweckreiniger	Keiner	1 mal pro Tag 0.005 l/3 m ² - 9.13 l über die 5 Jahre	<i>Reinigungsmittel, Glas</i>
		Sanitärreiniger: Oasis Pro 61 Saurer Sanitärreiniger		0.005 l alle 3 Monate = 0.1 l in 5 Jahren	<i>Reinigungsmittel, Sanitär</i>

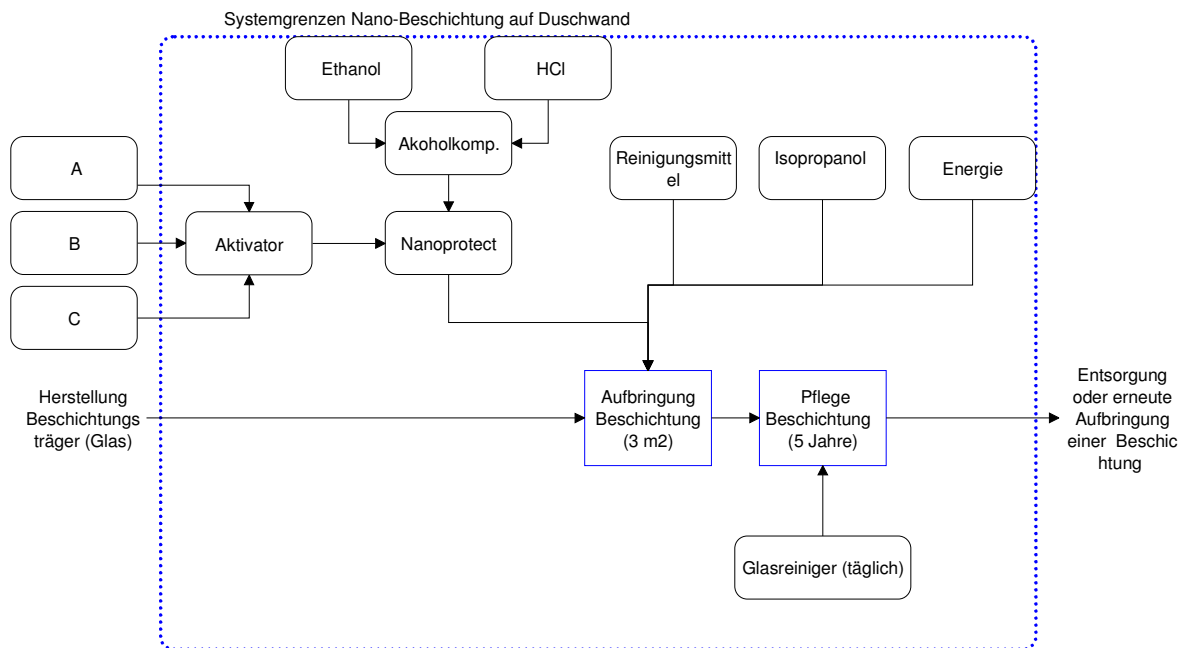
Tabelle 8 Sachbilanz für Beschichtung und Pflege 3 m² Duschwand (Zeitraum: 5 Jahre)

Prozessschritt	Input	Output	Menge	Datenquelle	Annahme für die Ökobilanz
Aktivator				SimaPro/Ecolvent	<i>Chemicals organic, at plant/GLO S</i>
Vermischen der Komponenten	Elektrische Energie zum Mischen		X Wh* (Menge bekannt)	Praxisversuch Hotel Marriott	X Wh*(Menge bekannt)
		Abwasser/ Abgase	keine		Keine
	Zusatzmittel, die nicht direkt in das Produkt einfließen:		Keine		Keine
Applikation der Beschichtung [3 m²]	Isopropanol		4.0 g		4.0 g
	Sanitärreiniger: Oasis Pro 61 Saurer Sanitärreiniger		0.0045 l/3 m ²		0.0045 l/3 m ² einmalig:
	Energieaufwand für Trocknung (Heißluftföhn)		0.1 kWh	0.1 kWh	
Nutzungsphase Reinigungsaufwand	Glasreiniger: Oasis Pro 40 Glas- und Allzweckreiniger		1 mal pro Tag 0.005 l/3 m ² : - 9.13 l über die 5 Jahre	SimaPro/Ecolvent	<i>Reinigungsmittel, Glas</i>
	Sanitärreiniger: Oasis Pro 61 Saurer Sanitärreiniger		keiner	-	keine

6.3.1.3 Systemgrenzen, funktionelle Einheit und Annahmen

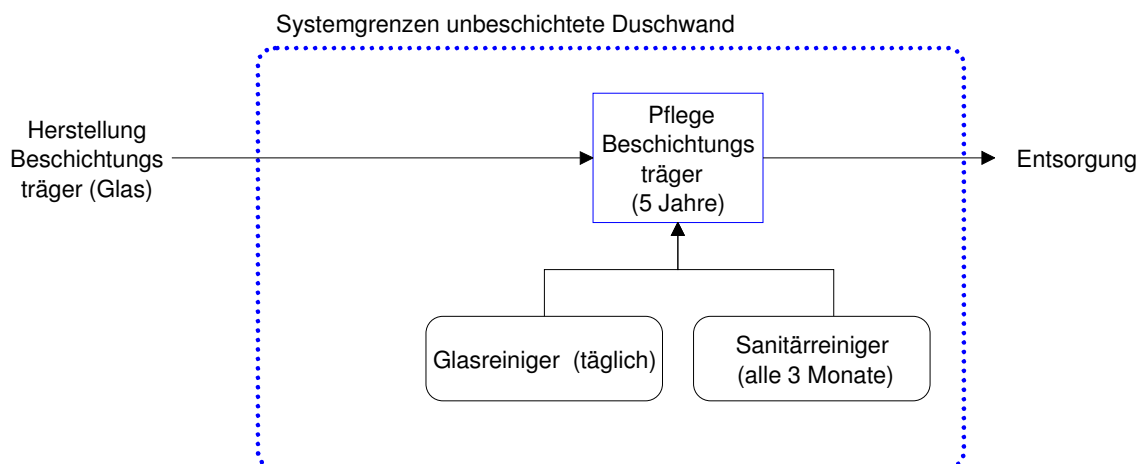
Die untersuchten Prozesse sowie die Systemgrenzen zeigt für die Nanoprotect-Beschichtung und die unbeschichtete Duschwand die **Abbildung 19** und **Abbildung 20** :

Abbildung 19 Prozesse und Systemgrenzen Nanoprotect-Beschichtung



:

Abbildung 20 Prozesse und Systemgrenzen unbeschichtete Alternative



Die Autoren weisen darauf hin, dass die Bilanzierung unter Einbeziehung einer Reihe von Annahmen erfolgt. Obwohl diese Annahmen mit größtmöglicher Sorgfalt getroffen wurden, erhöhen sich durch die Verwendung von Standarddatensätzen aus der Datenbank EcoInvent die Unsicherheiten insbesondere für die Wirkungsabschätzung und sind bei allfälligen Schlussfolgerungen zu berücksichtigen. Folgende Annahmen wurden getroffen:

- **Funktionelle Einheit:** Funktionelle Einheit ist die Aufbringung einer Oberflächenbeschichtung auf eine Duschwand aus Glas (3 m²) einschließlich der für die Pflege angenommenen Aufwands an Reinigungsmittel über fünf Jahre.
- **Vergleich:** Verglichen wird mit einer beschichteten mit einer unbeschichteten Glaswand gemäß den in **Abbildung 20** und **Abbildung 21** beschriebenen Systemgrenzen, wobei sich der Reinigungsaufwand bei der unbeschichteten Glaswand um eine Grundreinigung erhöht. Diese Annahme begründet sich auf den Ergebnissen des Praxisversuchs im Hotel Marriott.
- **Beschichtungsträger:** Die Herstellung und Entsorgung des Beschichtungsträgers (Glas) wird jeweils nicht berücksichtigt, da sich deren Einfluss auf die Bilanz im Vergleich aufhebt. Nicht berücksichtigt wird dadurch allerdings die vom Produktanbieter angenommene längere Lebensdauer beschichteter Glaswände. Sofern die Lebensdauer unbeschichteter Duschwände weniger als 5 Jahr beträgt, hätte dies einen Einfluss auf die Ergebnisse der Ökobilanz zugunsten der beschichteten Glaswand. Erfahrungswerte dazu wurden dem Projektteam allerdings nicht vorgelegt. .
- **Lebensdauer der Beschichtung:** Diese wird mit 5 Jahren angenommen. Der Bilanzierungszeitraum von 5 Jahren wird gewählt, weil nach Aussage des Produktanbieters die Beschichtung jedenfalls so lange ihre Funktion erfüllt (die Firma gibt eine Garantie über diesen Zeitraum). Erwartet wird eine längere Lebensdauer, jedoch gibt es aufgrund der Neuartigkeit des Produktes hierzu noch keine Erfahrungen.
- **Umweltbelastungen aus Infrastrukturen:** Solche – etwa die Produktionsanlage des Beschichtungssystems – werden nicht berücksichtigt. Die Infrastrukturbelastungen der Vorketten (Herstellung Bestandteile Reinigungsmittel/Bestandteile Beschichtung) sind in den EcoInvent-Datensätzen inkludiert.
- **Umweltbelastungen aus Transporten:** Umweltbelastungen aus Transporten wurden lediglich für die Rohstoffe der Reinigungsmittel berücksichtigt.
- **Aktivator:** Der Aktivator bzw. deren Bestandteile A, B und C ist unbekannter Identität, bekannt ist nur, dass es sich um organische Substanzen handelt. Dafür wird für den organischen Rohstoff der EcoInvent Datensatz *Chemicals organic, at plant/GLO S* herangezogen.
- **Bilanzierte Reinigungsmittel:** Da die genaue Zusammensetzung des im Hotel Marriott verwendeten Glasreinigers (Oasis Pro 40 Glas- und Allzweckreinger) und Sanitärreinigers (Oasis Pro 61 Saurer Sanitärreiniger) aus Sicherheitsdatenblatt und Produktbeschreibung nicht

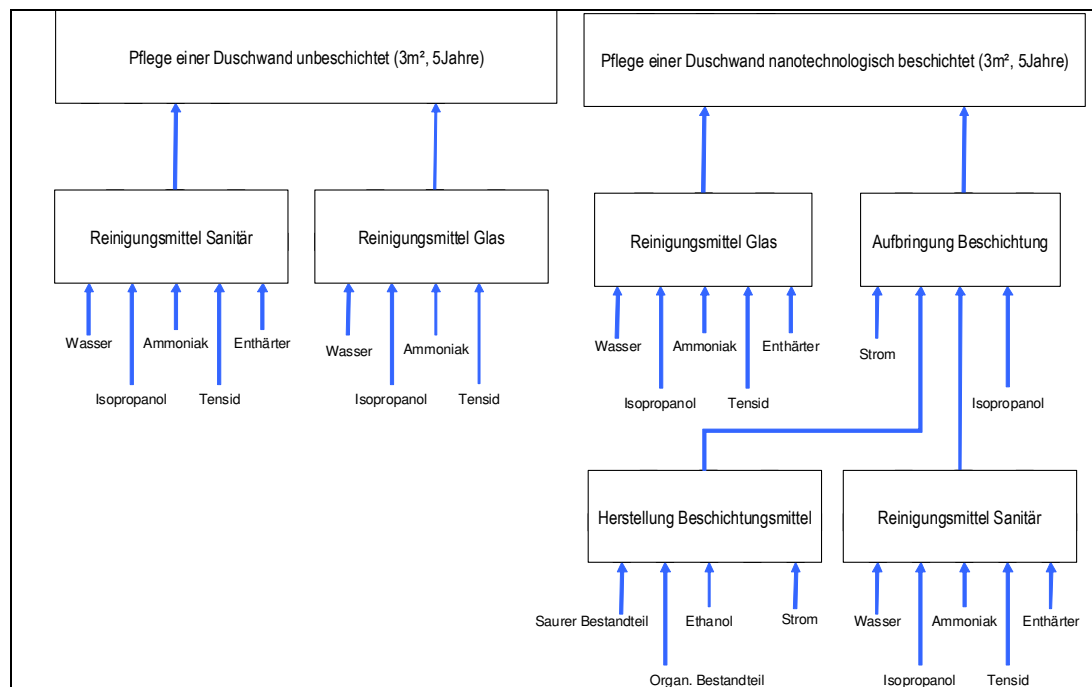
hervorgehen, wurden die Ecolnvent Datensätze *Reinigungsmittel, Glas* und *Reinigungsmittel, Sanitär* verwendet. Darin enthalten sind Werte für die Rohstoffgewinnung, die Gewinnung der Inhaltsstoffe sowie die Herstellung der Reinigungsmittel selbst.

Tabelle 9 Inhaltsstoffe Reinigungsmittel Glas und Sanitär (Basis: Ecolnvent Datensätze)

Inhaltstoff	Reinigungsmittel Glas	Reinigungsmittel Sanitär
Wasser	690 ml	790 ml
Ammoniak	10 ml	10 ml
Isopropanol	250 ml	50 ml
Ethyloxylierter Alkohol	50 ml	100 ml
EDTA ²⁹	-	50 ml

- **Grundreinigung:** Im Hotelbetrieb erfolgt eine tägliche Unterhaltsreinigung mit einem Glasreiniger sowie alle drei Monate eine Grundreinigung mit einem Sanitärreiniger. Auf Basis von Aussagen aus dem Praxisversuch kann bei der Beschichtung auf eine Grundreinigung weitgehend verzichtet werden.
- **Sonstige Hilfsmittel zur Reinigung:** Nicht berücksichtigt sind Aufwendungen für Putztücher sowie Wasser zur Herstellung der Reinigungslösung

Abbildung 21 Inputs der Sachbilanzierung



29 Dient als Stabilisator

6.3.1.4 Wirkungsbilanz

Bei der Bilanzierung der Duschwand werden keine Aufwendungen für die Produktion des Glases berücksichtigt, die funktionelle Einheit bezieht sich auf die Aufbringung und Pflege der Duschwand. Die eingesetzten Mengen an Reinigungsmitteln und die Aufwendungen bei der Aufbringung der Beschichtung (Material- und Energieeinsatz) stammen aus dem Praxisversuch Hotel Marriott. Berücksichtigt werden die für die Pflege benötigten Glas- bzw. Sanitärreiniger, wobei Datensätze X, Y aus EcolInvent verwendet werden. Für den Aktivator, dessen drei Bestandteile unbekannter Identität sind, wird der EcolInvent Datensatz *Chemicals organic, at plant/GLO S* herangezogen. Beiträge aus Errichtung und Betrieb von Infrastrukturen werden lediglich für die Vorketten (zB. Herstellung Bestandteile Reinigungsmittel/Bestandteile Beschichtung) berücksichtigt, da die entsprechenden EcolInvent Datensätze diese Aufwendungen inkludieren - nicht für die Herstellung des Beschichtungssystems selbst. (siehe dazu auch Kap.: *Systemgrenzen, funktionelle Einheit und Annahmen*).

Abgeschätzt bzw. verglichen werden Aufwand für die Beschichtung sowie Pflege der Duschwand mit einer Fläche von drei Quadratmeter und über einem Zeitraum von 5 Jahren. Der Aufwand für die Unterhaltsreinigung ist für die beschichtete und unbeschichtete Variante derselbe (siehe auch Graphik x und Y). Auf Basis der Ergebnisse des Praxisversuchs Hotel Marriott wird angenommen, dass für die beschichtete Variante die Grundreinigung alle drei Monate entfallen was kann.

Ergebnisse

- Die Wirkabschätzung nach IPCC 2007 liefert als Beitrag zum Klimawandel CO₂ Äquivalente (CO₂eq): Für die Reinigung der unbeschichteten Duschwand fallen 5,53 kg CO₂eq und für die beschichtete 5,60 kg CO₂eq an.
- Die Reinigung und Pflege einer unbeschichteten Duschwand erfordert einen kumulierten Energieaufwand (KEA) von 190 MJeq, jene einer beschichteten für 192 MJeq.
- Die Methode UBP 2006 berechnet für die beschichtete Duschwand ca. 6.300 Umweltbelastungspunkte (UBP), für die unbeschichtete Duschwand ca. 5.900 UBPs.
- Die Methode Eco-Indicator 99 berechnet für die unbeschichteten Duschwand 0,81 Punkte, für die beschichtete 0,80 Punkte.

Die Detailergebnisse zur Wirkbilanz samt Interpretationen finden sich in den Kapiteln 6.3.1.7 & 6.4.1.8.

6.3.1.5 Sensitivitätsanalyse

Die Vorgaben für Qualitätssicherung bei der Reinigung erlaubten es dem Praxispartner Hotel Marriott nicht, den Reinigungsempfehlungen des Projektteams zu folgen und auf eine tägliche Anwendung von

Glasreinigern zu verzichten und so die Reinigungsleistung der Beschichtung im Praxisversuch zu erproben (siehe auch Kap: Praxisversuch Hotel Marriott).

Um den Einfluss dieses Umstandes zu erfassen wird in einer Sensitivitätsanalyse ein Szenario modelliert, bei dem nur jeden zweiten Tag Glasreinigungsmittel für die Pflege der beschichteten Duschwand zum Einsatz kommen. Diese Annahme erscheint auf Basis der Aussagen des Reinigungspersonals in Bezug auf den Aufwand für die Reinigung der mit Nanoprotect beschichteten Duschwände gerechtfertigt. Die Analyse zeigt, dass eine Reduktion der Reinigungsmittelmenge zur laufenden Pflege um die Hälfte (50%) eine Reduktion der Umweltbelastung um 49 % bewirkt. Dieses Ergebnis ist unabhängig von der verwendeten Methode. Die Ergebnisse zeigt **Abbildung 27**.

6.3.1.6 Schlussfolgerungen und Interpretationen

Für das untersuchte Fallbeispiel Produkt *Nanoprotect* für eine *easy to clean* Beschichtung bei Glasduschen lassen sich aus der Datenrecherche (Sachbilanz), des Praxisversuchs Hotel Marriott sowie der darauf aufbauenden Wirkungsabschätzung einschließlich Sensitivitätsanalyse folgende Schlussfolgerungen in Bezug auf die Umweltbelastung des Beschichtungssystems:

In Bezug auf das Produkt *Nanoprotect* war es trotz der Teilnahme des Produkthanbieters Wagenhofer C.S. als Praxispartner nicht möglich, eine detaillierte Auskunft über Zusammensetzung und Identität der Inhaltsstoffe zu erhalten. Die Datenlücke bezieht sich dabei auf die Komponente *Aktivator*, die wiederum aus drei Komponenten besteht und einen Volumsanteil von ca. 5% an *Nanoprotect* aufweist. Da diese nicht im Sicherheitsdatenblatt vorkommen, weisen sie offensichtlich keine gefährlichen Eigenschaften im Sinne des Gesundheits-, Umwelt- und Arbeitsschutzes auf. Was die Nanoskaligkeit (<100nm) von Inhaltsstoffen in den Produktkomponenten betrifft, wurde vom Produkthanbieter mündlich erklärt, dass keine solchen darin enthalten sind. Auf die Ergebnisse der Ökobilanzierung haben allfällige Risiken, die daraus entstehen, nach jetzigem Wissenstand keinen Einfluss. Auswirkungen von Risiken von Nanopartikeln aufgrund deren Nanoskaligkeit wären zwar über die Wirkungskategorie Human- und Ökotoxizität kalkulierbar, doch bieten dafür nach Wissenstand des Projektteams derzeit keine Inventardatenbanken Daten dafür an. Im übrigen werden gemäß dem Design von *NanoRate* Risiken von einem separaten Modul abgedeckt. Das Wissen, dass es sich bei den oben beschriebenen Produkten um organische Substanzen handelt, erlaubt dennoch Aussagen bzgl. einer Tendenz und es ist für die tatsächlich entstehende Umweltbelastung ausreichend, für die organischen Bestandteile des Aktivators einen Standarddatensatz der Ecolnvent Datenbank heranzuziehen.

Abgeschätzt bzw. verglichen werden Aufwand für die Beschichtung sowie Pflege der Duschwand mit einer Fläche von drei Quadratmeter und über einem Zeitraum von 5 Jahren. Der Aufwand für die Unterhaltsreinigung ist für die beschichtete und unbeschichtete Variante derselbe (siehe auch Graphik x und Y). Bei der Pflege von Duschwänden im Praxisversuch wird ein Sanitär- und ein Grundreiniger eingesetzt. Im Hotelbetrieb erfolgt eine tägliche Unterhaltsreinigung mit einem Glasreiniger sowie alle drei Monate eine Grundreinigung mit einem Sanitärreiniger. Auf Basis von Aussagen aus dem Praxisversuch kann bei der Beschichtung auf eine Grundreinigung weitgehend verzichtet werden.

Die auf Basis obiger Annahmen in der Wirkungsabschätzung berechneten Umwelteffekte zeigen, dass die Aufbringung der Beschichtung auf die Glasoberfläche über einen Nutzungszeitraum von 5 Jahren und im Vergleich zu einer ebenso lang genutzten unbeschichteten Duschwand nur zu geringfügig unterschiedlichen Umweltbelastungen führt. Die Abweichung der untersuchten Beispiele betragen bei den Methoden IPCC 2007, liefert Kumulierter Energieaufwand (KEA) und Eco-Indicator 99 weniger als 2 %, bei der Methode Umweltbelastungspunkte liefert die Beschichtung im Vergleich zur unbeschichteten Oberfläche eine kumulierte Mehrbelastung von ca. 7%.

Daraus lässt sich als Schlussfolgerung ableiten, dass die **durch Aufbringung der nano-skaligen Beschichtung (Material- und Energieinput) verursachte erhöhte Umweltbelastung vernachlässigbar bis gering** ist, sofern eine angemessene Nutzungsdauer mit berücksichtigt wird. Der Reinigungsmittelbedarf für die Grundreinigung ist dabei im Vergleich zum Reinigungsmittelbedarf für die laufende Pflege sehr gering.

Die Umweltbelastung kommt hauptsächlich durch den Reinigungsmiteleinsatz über die Lebensdauer zustande. Der Praxisversuch Hotel Marriott brachte im konkreten Fall keine Verringerung der Umweltbelastung, da eine Verringerung des Reinigungsmiteleinsatzes nicht umsetzbar war: Eine verminderte Frequenz der Reinigung konnte aufgrund der internen Hygienevorschriften des Hotels nicht durchgesetzt werden. **Die Aussagen des Hotelpersonals lassen jedoch einen verminderten Reinigungsaufwand plausibel erscheinen, die Reinigungsmittelmenge und – bestätigt durch eine Sensitivitätsanalyse – ließe sich etwa um die Hälfte reduzieren (Unterhaltsreinigung jeden zweiten Tag anstatt täglich): In diesem Fall würde sich die durch die Anwendung einer nanoskaligen Beschichtung ein erhebliches Einsparpotenzial bei Reinigungsmitteln eröffnen.**

Vom Produkthanbieter wird als Produktnutzen angeführt, dass die damit erzeugte nanoskalige Oberflächenstruktur im Zusammenhang mit einem verminderten Reinigungsaufwand die Lebensdauer des Beschichtungsträgers (= Glaswand) verlängert. Begründet wird dies damit, dass die erhöhten Reinigungserfordernisse eine raschere Abnutzung der unbeschichteten Glaswand und damit einen rascheren Austausch als bei einer beschichteten Glaswand bewirken. In der vorliegenden Untersuchung wurde eine Lebensdauer von 5 Jahren für die beschichtete Glaswand als auch für die unbeschichtete Glaswand angenommen. **Sollte letztere tatsächlich im Vergleich kürzer sein – wofür dem Projektteam allerdings keine Daten zur Verfügung gestellt wurden – würde sich damit der ökologische Nutzen der Beschichtung im Sinne einer Lebensdauererlängerung erhöhen.**

6.3.1.7 Detailergebnisse der Wirkungsbilanz

KEA

Auch beim KEA zeigt sich, dass die Auswirkungen in allen einzelnen Wirkungskategorien nahezu gleich sind. Der gesamte Anteil an erneuerbaren Energieträgern liegt bei rund 7 %. Die aggregierte Darstellung weist für beide Alternativen einen überwiegenden Anteil an Nicht erneuerbaren, fossilen Energieträgern aus (rund 90%).

Abbildung 22: Vergleich des Kumulierten Energieaufwandes einer unbeschichteten und einer beschichteten Duschwand (3 m², 5 Jahre, Pflege und Aufbringung Beschichtung) bewertet mit KEA

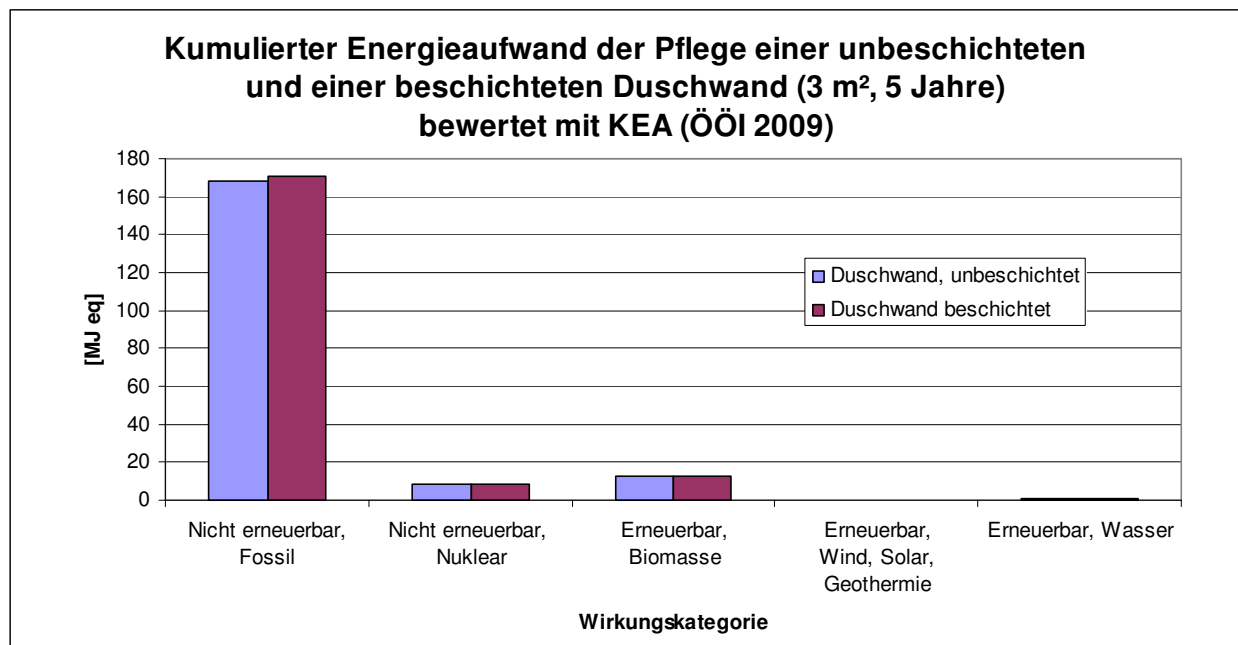
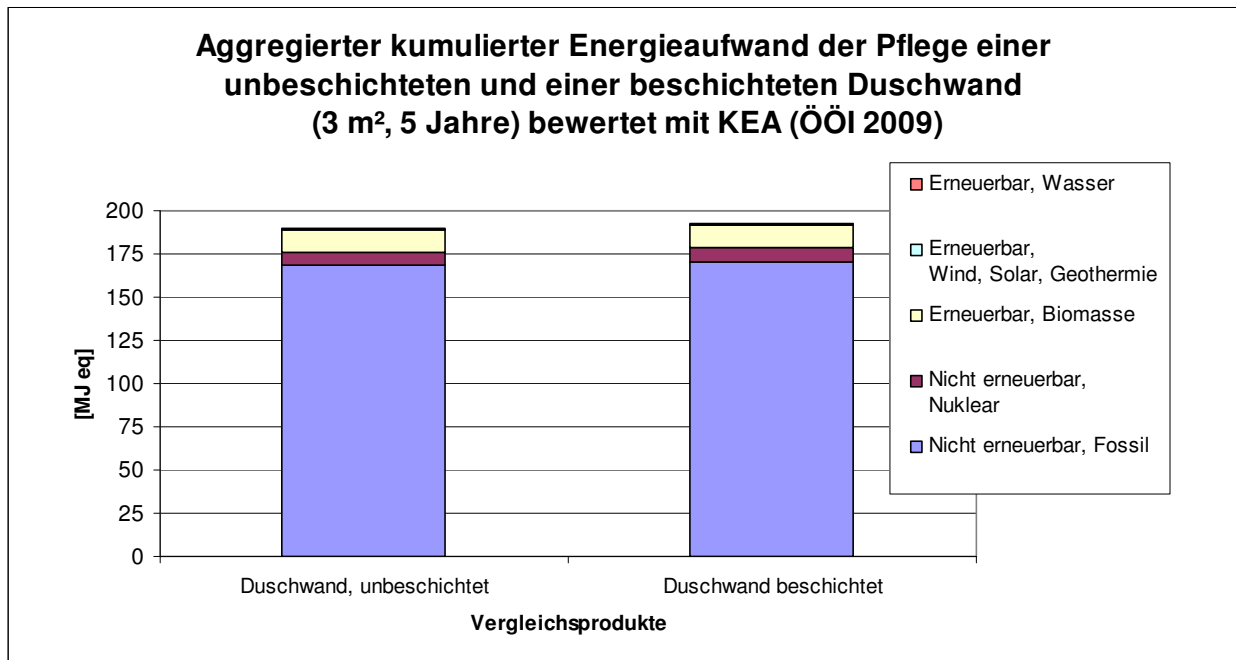


Tabelle 10: Kumulierter Energieaufwand einer unbeschichteten und einer beschichteten Duschwand (3 m², 5 Jahre, Pflege und Aufbringung Beschichtung) bewertet mit KEA

Wirkungskategorie	Duschwand, unbeschichtet	Duschwand, beschichtet
Nicht erneuerbar, Fossil	168,1	170,7
Nicht erneuerbar, Nuklear	8,2	8,2
Erneuerbar, Biomasse	12,5	12,3
Erneuerbar, Wind, Solar, Geothermie	0,1	0,1
Erneuerbar, Wasser	0,9	1,1
Summe	189,8	192,5

Abbildung 9 zeigt den KEA als aggregierte Darstellung. Die Pflege einer unbeschichteten Duschwand zeichnet demnach für einen KEA von 190 MJeq verantwortlich, jene einer beschichteten für 192 MJeq.

Abbildung 23: Aggregierter kumulierter Energieaufwand einer unbeschichteten und einer beschichteten Duschwand (3 m², 5 Jahre, Pflege und Aufbringung Beschichtung) bewertet mit KEA



Umweltbelastungspunkte USP 2006

Sämtliche Wirkungskategorien zeigen für die beschichtete Duschwand höhere Auswirkungen an als für die unbeschichtete Duschwand³⁰). Während für die unbeschichtete Duschwand insgesamt rd. 5.900 Umweltbelastungspunkte (UBP) berechnet werden, weist die beschichtete Duschwand rd. 6.300 UBP aus.

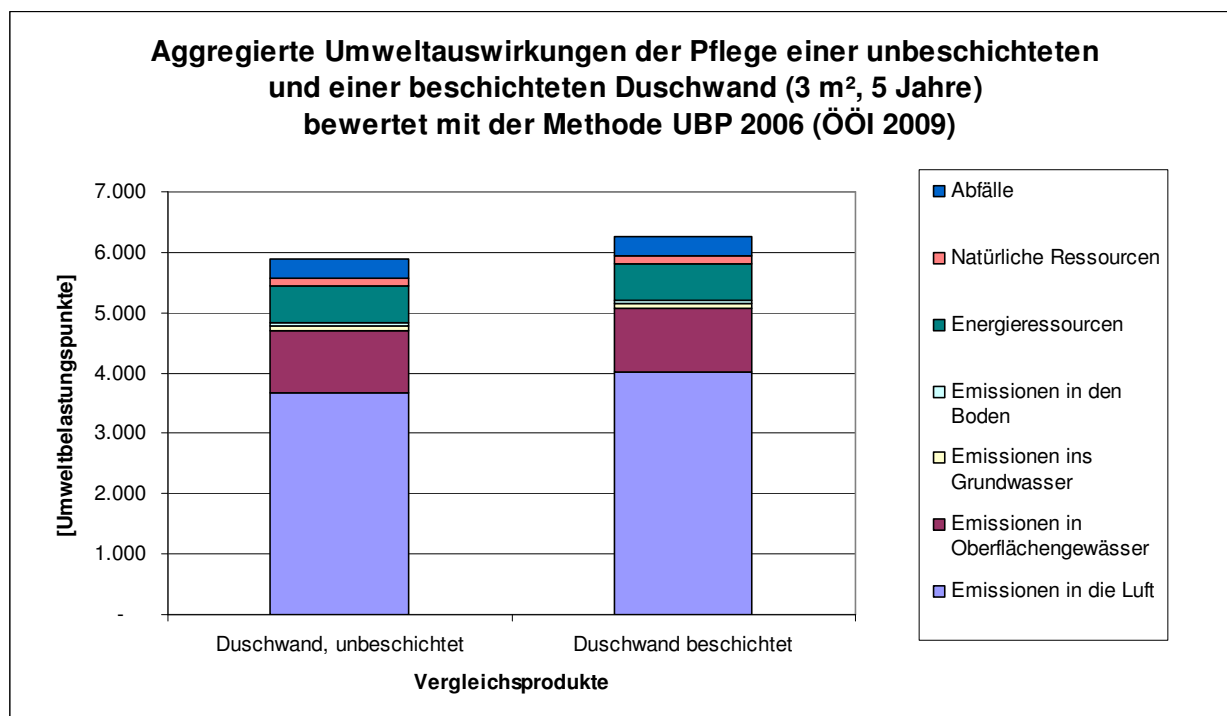
Die Bestandteile der Reinigungsmittel stellen eine Belastung für alle der in der UBP-Methode berücksichtigten Schutzgüter (siehe Tabelle 2) dar. Für beide Alternativen sind die *Emissionen in die Luft* (rd. 60 %) die wesentlichen. Mit Abstand folgen *Emissionen in Oberflächengewässer* (17 %) und *Energieressourcen* (10 %). Eine graphische Darstellung der Prozessketten findet sich im nächsten Kapitel.

³⁰ Aggregierte Bewertungen gehen über die Anforderungen der ISO 14040 hinaus, stellen aber zur Entscheidungsfindung eine gute Diskussionsgrundlage dar.

Tabelle 11 Vergleich: Umweltauswirkungen einer unbeschichteten und einer beschichteten Duschwand (3 m², 5 Jahre) bewertet mit der Methode UBP 2006

Wirkungskategorie	Duschwand, unbeschichtet	Duschwand, beschichtet
Emissionen in die Luft	3.671	4.017
Emissionen in Oberflächengewässer	1.020	1.049
Emissionen ins Grundwasser	77	75
Emissionen in den Boden	53	53
Energieressourcen	609	619
Natürliche Ressourcen	150	140
Abfälle	312	314
Summe	5.892	6.267

Abbildung 24: Vergleich Aggregierte Umweltauswirkungen einer unbeschichteten und einer beschichteten Duschwand (3 m², 5 Jahre, Pflege und Aufbringung Beschichtung) bewertet mit der Methode UBP 2006 – Beiträge von Wirkungskategorien



³¹). Während für die unbeschichtete Duschwand insgesamt rd. 5.900 Umweltbelastungspunkte (UBP) berechnet werden, weist die beschichtete Duschwand rd. 6.300 UBP aus.

Die Bestandteile der Reinigungsmittel stellen eine Belastung für alle der in der UBP-Methode berücksichtigten Schutzgüter (siehe **Tabelle 9**) dar. Für beide Alternativen sind die *Emissionen in die Luft* (rd. 60 %) die wesentlichen. Mit Abstand folgen *Emissionen in Oberflächengewässer* (17 %) und *Energieressourcen* (10 %).

Eco-Indicator 99 (H)

Sämtliche Wirkungskategorien zeigen für beide Alternativen ähnliche, wenn nicht gleich große Auswirkungen an. Eine graphische Darstellung der Prozessketten findet sich im nächsten Kapitel.

Tabelle 12 Vergleich: Umweltauswirkungen einer unbeschichteten und einer beschichteten Duschwand (3 m², 5 Jahre) bewertet mit der Methode Eco-Indicator 99 (ÖÖI 2009)

Wirkungskategorie	Einheit ³²	Duschwand, unbeschichtet	Duschwand, beschichtet
Krebserregende Stoffe	DALY	1,85E-07	1,87E-07
Atemwegserkrankungen (organ.)	DALY	1,83E-08	1,85E-08
Atemwegserkrankungen (anorgan.)	DALY	3,19E-06	3,20E-06
Klimawandel	DALY	1,14E-06	1,16E-06
Ionisierende Strahlung	DALY	1,03E-08	1,02E-08
Ozonabbau	DALY	2,71E-10	2,77E-10
Ökotoxizität	PDF*m2yr	9,34E-02	9,57E-02
Versauerung & Eutrophierung	PDF*m2yr	7,89E-02	7,93E-02
Landnutzung	PDF*m2yr	1,91E+00	1,87E+00
Mineralienverbrauch	MJ surplus	1,90E-01	1,91E-01
Fossile Brennstoffe	MJ surplus	2,18E+01	2,21E+01

Die Kategorien *Atemwegserkrankungen infolge anorganischer Stoffe* (je 3,2E-6 DALY), *Ökotoxizität* (9,3E-2 PDF*m2yr bzw. 9,6E-2 PDF*m2yr) und *Fossile Brennstoffe* (21,8 MJsurplus bzw. 22,1 MJsurplus) weisen die jeweils höchsten Werte in ihren Klassen (zugeordnet zu Schutzziele)

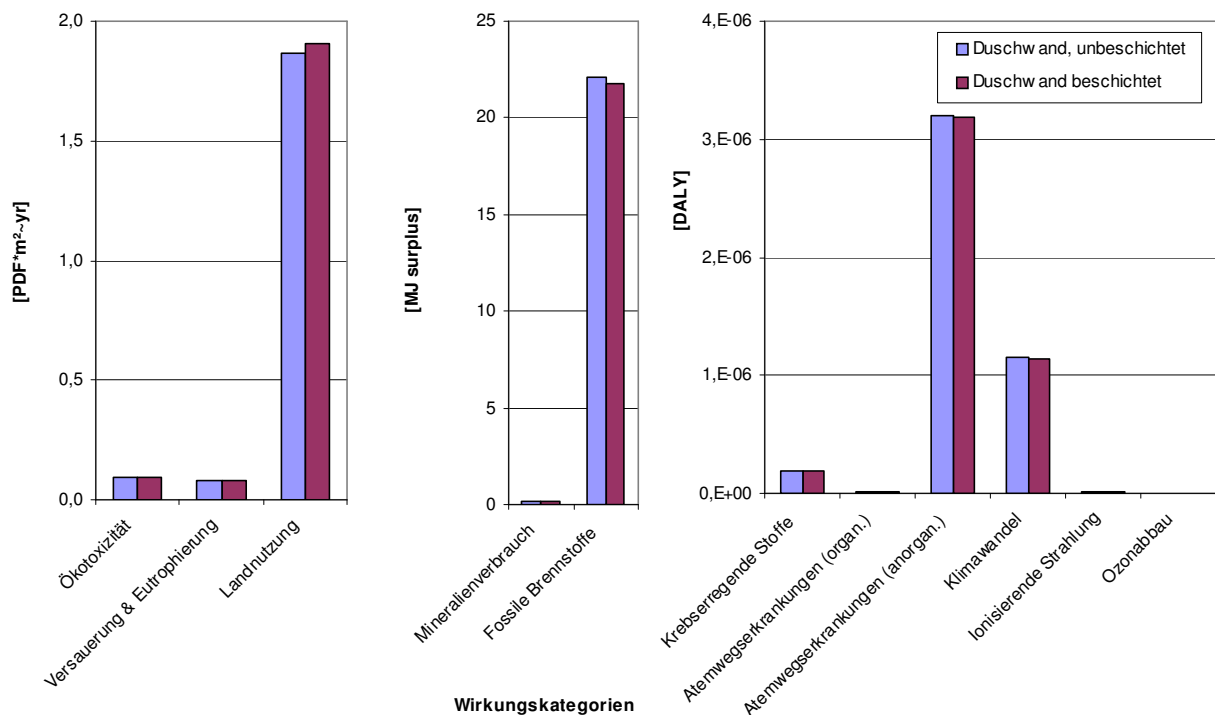
31 Aggregierte Bewertungen gehen über die Anforderungen der ISO 14040 hinaus, stellen aber zur Entscheidungsfindung eine gute Diskussionsgrundlage dar.

32 DALY (disability-adjusted life years) drückt die Beeinträchtigung bzw. des Verlustes von menschlicher Gesundheit in Lebensjahren. PDF*m²*yr (Potentially Disappeared Fraction of plant species) kalkuliert die Ökosystemqualität über den Anteil an verschwundenen Species durch die Umweltbelastung.

MJ surplus drückt für Kategorien des Bereichs Ressourcen den zusätzlich notwendigen Energieaufwand durch das künftige Schürfen von Mineralien aus (surplus energy requirement to compensate lower future ore grade MJ).

auf³³. Wesentlicher Beitraggeber für alle Kategorien ist der Ethyloxylierte Alkohol als Bestandteil der Reinigungsmittel.

Abbildung 25 Vergleich: Umweltauswirkungen einer unbeschichteten und einer beschichteten Duschwand (3 m², 5 Jahre, Pflege und Aufbringung Beschichtung) bewertet mit der Methode Eco-Indicator 99

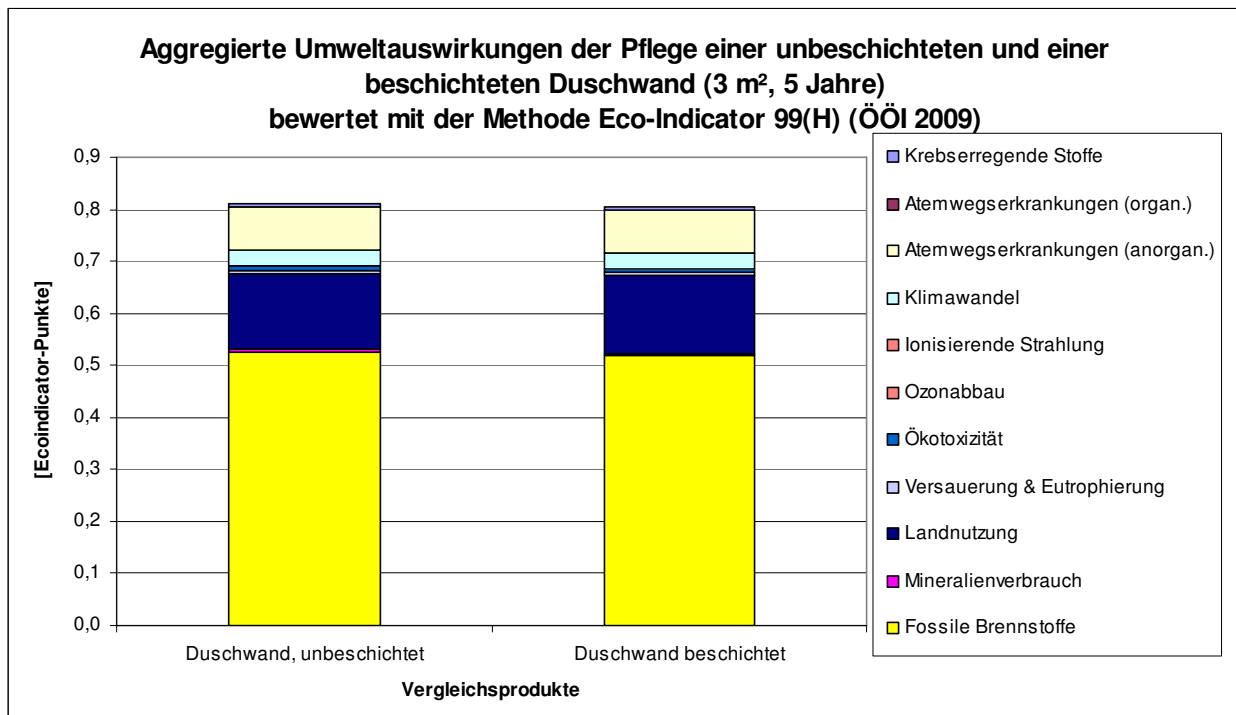


Über die Bewertungsperspektive Hierarchist werden die Werte der verschiedenen Wirkungskategorien in Eco-Indicatorpunkte transformiert. **Abbildung 26** stellt die oben diskutierten Wirkungskategorien aggregiert als Summenparameter dar³⁴. Demnach werden der Pflege einer unbeschichteten Duschwand 0,81 Punkte zugeordnet und der Pflege einer beschichteten (inkl. Aufbringung der Beschichtung) 0,80 Punkte, was ein praktisch identes Ergebnis darstellt

33 Die Wirkungskategorien werden in weiterer Folge unter Berücksichtigung Ihrer Einheiten den drei Schutzziele zugeordnet (siehe auch Kapitel 3.7)

34 Aggregierte Bewertungen gehen über die Anforderungen der ISO 14040 hinaus, stellen als Diskussionsgrundlage zur Entscheidungsfindung für die Auftraggeber eine wesentliche Erleichterung dar.

Abbildung 26 Vergleich: Aggregierte Umweltauswirkungen einer unbeschichteten und einer beschichteten Duschwand (3 m², 5 Jahre, Pflege und Aufbringung Beschichtung) bewertet mit der Methode Eco-Indicator 99(H) – Beiträge von Wirkungskategorien

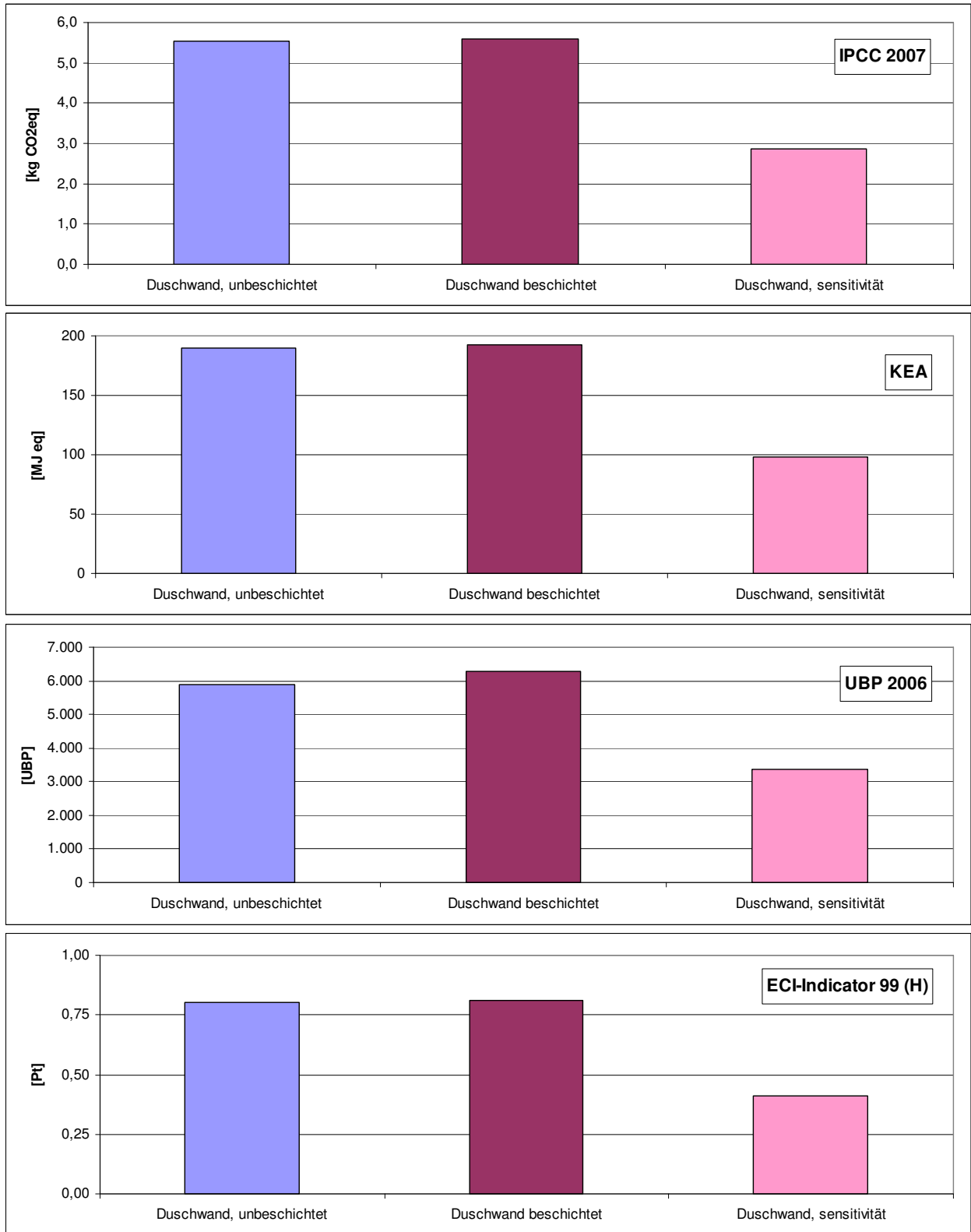


Sensitivitätsanalyse

Wie bereits in der Prozesskettenbeschreibung erwähnt erlauben es die Vorschriften im Hotelbetrieb nicht, auf Reinigungsmittel zu verzichten. Nachdem die Beschichtung jedoch auch im privaten Bereich eingesetzt werden kann, wird im Folgenden beleuchtet, welche Veränderungen der Umweltlast sich ergeben, wenn bei jeder zweiten Reinigung ausschließlich mechanisch mit Wasser gereinigt wird.

Dass der Einsatz des „Reinigungsmittels Glas“ den höchsten Impact hervorruft, zeigt sich dadurch, dass die Reduktion der Reinigungsmittelmenge um 50% eine Reduktion der Umweltbelastung um 49 % zur Folge hat, und zwar unabhängig von der eingesetzten Methodik.

Abbildung 27 Sensitivitätsbetrachtung hinsichtlich einer Veränderung im Einsatz von Reinigungsmittel Glas bei der Reinigung der beschichteten Duschwand



6.3.1.8 Detailergebnisse zu den Prozessbeiträgen

Im Folgenden werden für die einzelnen Bewertungsmethoden die Beiträge von einzelnen Prozessen dargestellt. Nachdem insgesamt eine unübersichtliche Vielzahl von Teilprozessen bilanziert wird, wird ein Grenzwert der Darstellung definiert. Der Grenzwert selbst wird in der Beschreibung zur Abbildung angegeben. Alle anderen Teilprozesse weisen einen Beitrag aus, der geringer ist als der Grenzwert und bilden gemeinsam einen Summenbalken am rechten Rand.

IPCC 2007

Abbildung 28 Beiträge von Teilprozessen zum Klimawandel nach IPCC 2007, Produkt: Pflege einer unbeschichteten Duschwand (3 m², 5 Jahre); Grenzwert der Darstellung: 0,57 %

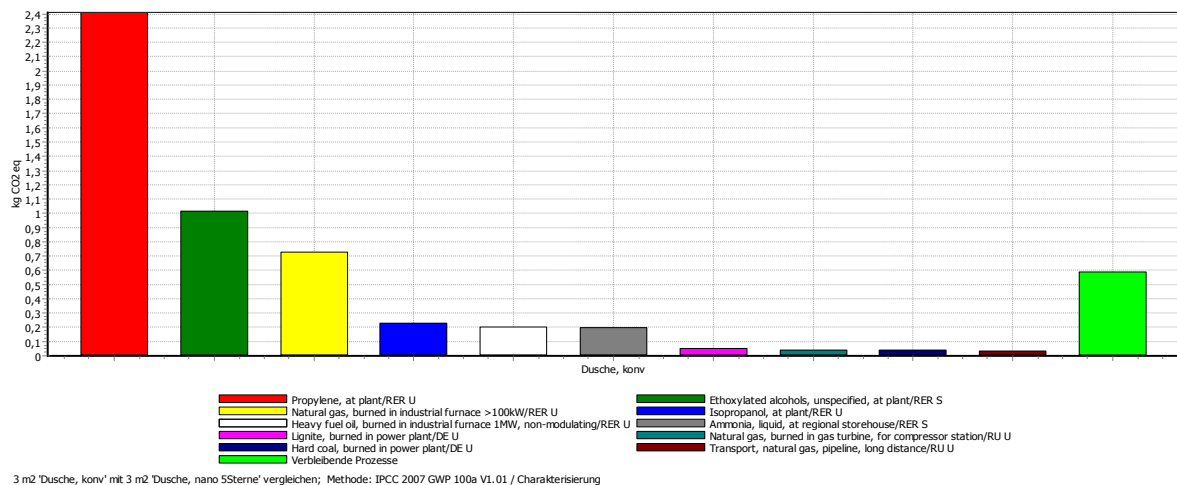
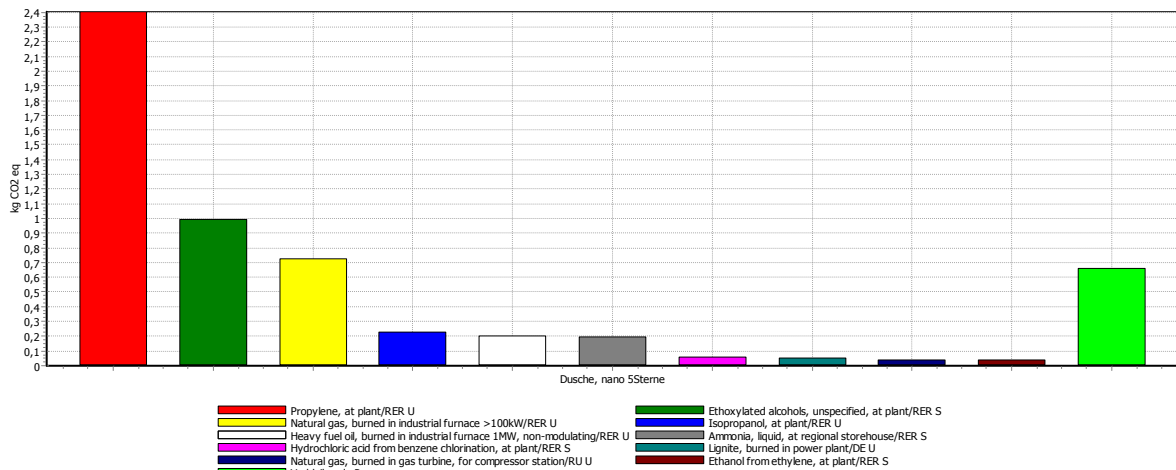


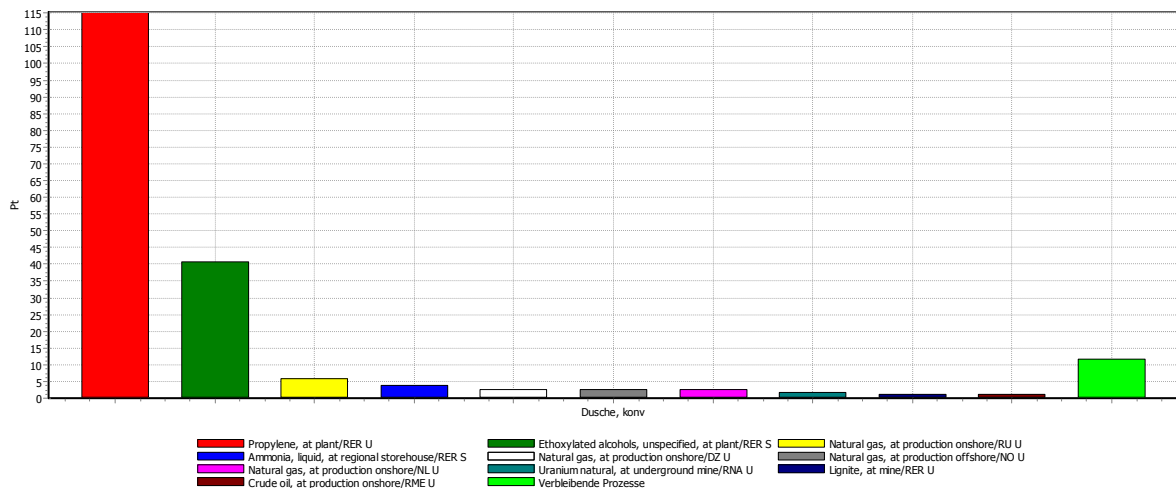
Abbildung 29 Beiträge von Teilprozessen zum Klimawandel nach IPCC 2007, Produkt: Pflege einer beschichteten Duschwand (3 m², 5 Jahre); Grenzwert der Darstellung: 0,65 %



3 m² 'Dusche, konv' mit 3 m² 'Dusche, nano 5Sterne' vergleichen; Methode: IPCC 2007 GWP 100a V1.01 / Charakterisierung

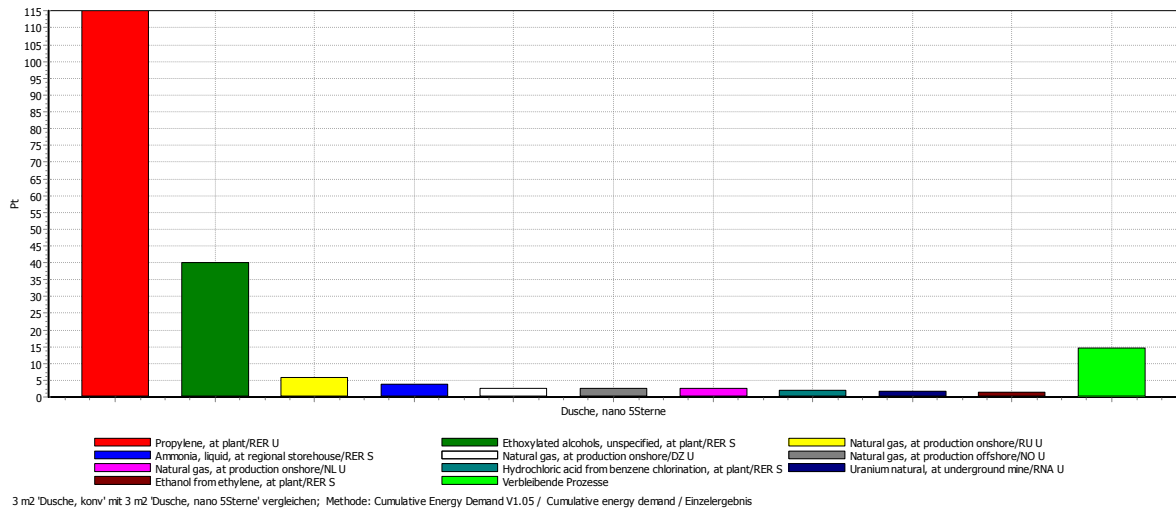
KEA

Abbildung 30 Beiträge von Teilprozessen zum KEA, Produkt: Pflege einer unbeschichteten Duschwand (3 m², 5 Jahre); Grenzwert der Darstellung: 0,64 %



3 m² 'Dusche, konv' mit 3 m² 'Dusche, nano 5Sterne' vergleichen; Methode: Cumulative Energy Demand V1.05 / Cumulative energy demand / Einzelergebnis

Abbildung 31 Beiträge von Teilprozessen zum KEA, Produkt: Pflege einer beschichteten Duschwand (3 m², 5 Jahre); Grenzwert der Darstellung: 0,69 %



UBP 2006

Abbildung 32 Beiträge von Teilprozessen nach Ecological Scarcity, Produkt: Pflege einer unbeschichteten Duschwand (3 m², 5 Jahre); Grenzwert der Darstellung: 0,86 %

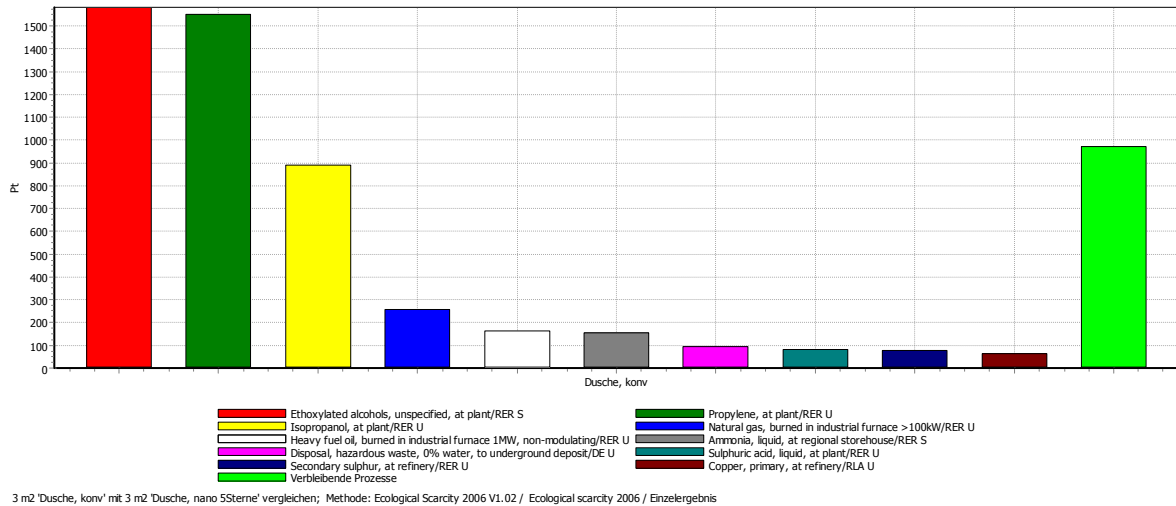
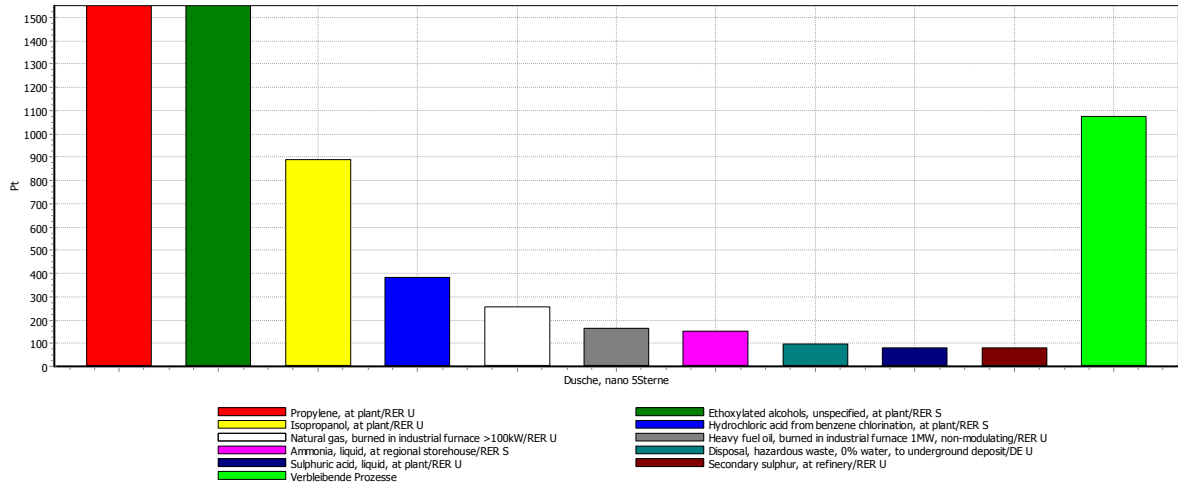


Abbildung 33 Beiträge von Teilprozessen nach Ecological Scarcity, Produkt: Pflege einer beschichteten Duschwand (3 m², 5 Jahre); Grenzwert der Darstellung: 1,1 %



Eco-Indica6tor 99 (H)

Abbildung 34 Beiträge von Teilprozessen nach Eco-Indicator 99 (H), Produkt: Pflege einer unbeschichteten Duschwand (3 m², 5 Jahre); Grenzwert der Darstellung: 0,61 %

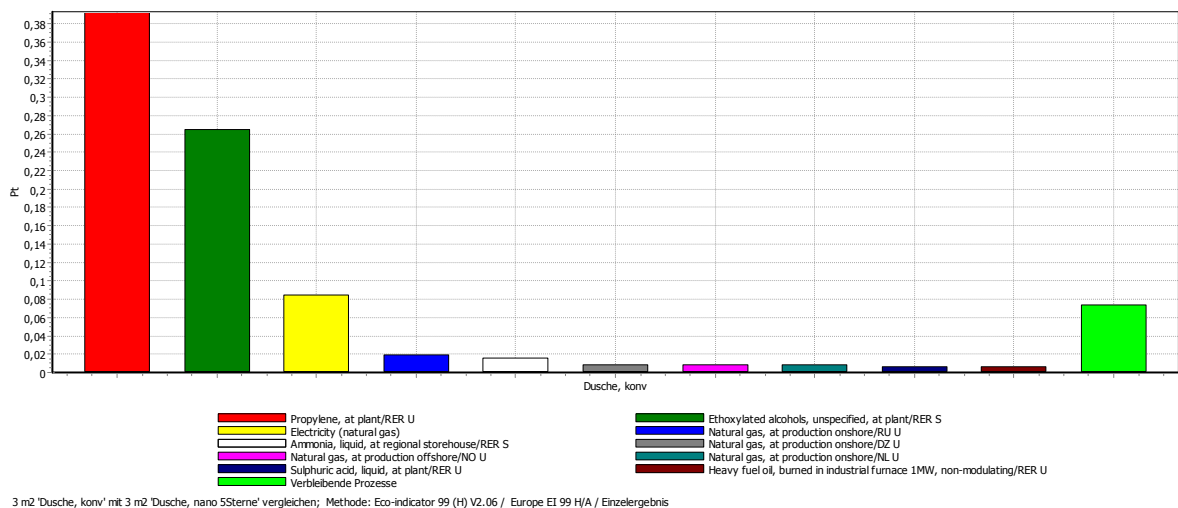
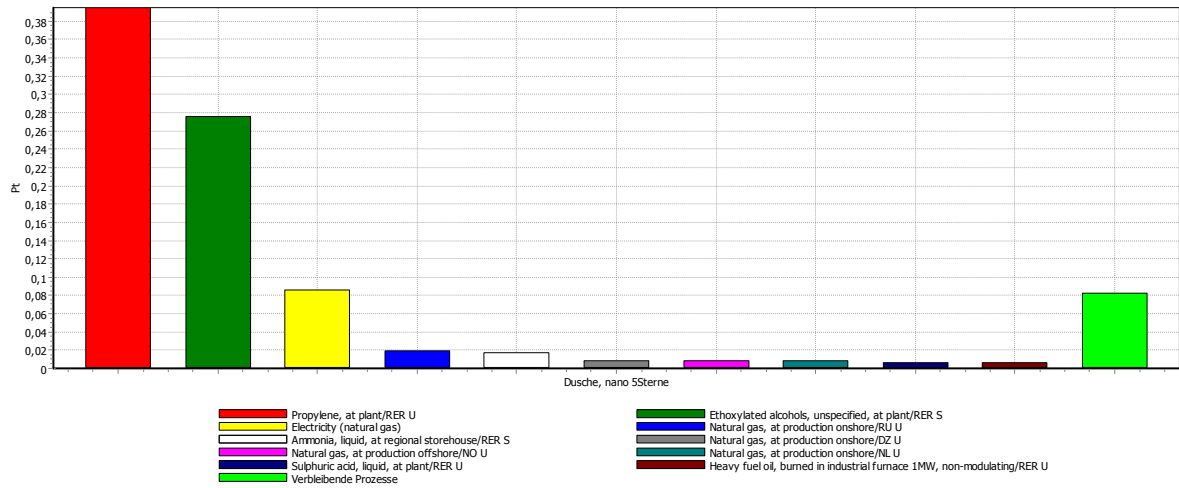


Abbildung 35 Beiträge von Teilprozessen nach Eco-Indicator 99 (H), Produkt: Pflege einer beschichteten Duschwand (3 m², 5 Jahre); Grenzwert der Darstellung: 0,60 %



6.3.2 Risikomatrix Nanoprotect

6.3.2.1 Einschätzung der Nanorelevanz

Im Folgenden wird für die Zusammensetzung, die Verarbeitung, die Nutzung und die Entsorgung des Beschichtungsmittel *Nanoprotect* eine Risikoabschätzung hinsichtlich der Nanorelevanz erstellt. Dabei werden den Angaben der Praxispartner eigene Einschätzungen gegenübergestellt und diese begründet

Tabelle 13 Nanoprotect Bestandteile

Komponente	Bestandteile	Menge je l	Nanorelevanz (Hersteller)	Nanorelevanz (Einschätzung Nanorate)	Begründung
Aktivator	A: Organisch	<100 ml (10%)	0	0	Die Herstellerangaben erscheinen plausibel, obwohl die Komponenten A, B und C vom Hersteller nicht bekanntgegeben wurden.
	B: Organisch	<100 ml (10%)	0	0	
	C: Organisch	<100 ml (10%)	0	0	
Alkoholkomponente	Ethanol	900 ml	0	0	Bekannte, nicht-nanoskalige Chemikalien
	Salzsäure	<100 ml (10%)	0	0	

Tabelle 14 Nanoprotect Beschichtung: Herstellung und Applikation

Prozess	Nanorelevanz (Hersteller)	Nanorelevanz (Einschätzung Nanorate)	Begründung
Herstellen der Mischung und Aufbringung von Nanoprotect	0	?	Der Prozess, der die Beschichtung ausbildet ist nicht bekannt, ein völliger Ausschluss der Entstehung von Nanopartikel erscheint nicht zulässig

Tabelle 15 Nanoprotect Beschichtung: Nutzung und Entsorgung

Prozess	Nanorelevanz (Hersteller)	Nanorelevanz (Einschätzung Nanorate)	Begründung
Nutzung und Entsorgung	0	0	Das Entstehen von Primärpartikeln aus der festen Matrix etwa durch Abrieb wird als vernachlässigbar eingeschätzt.

6.3.3 Ökonomische Untersuchung

Die Wagenhofer Coating Services ist seit 2004 eine Vertriebsfirma in Österreich, die in den letzten fünf Jahren auf Verbreitung und Entwicklung von nanotechnologischen Beschichtungsprodukten spezialisiert ist. Bei der Produktentwicklung kooperiert Wagenhofer CS mit einem deutschen Unternehmen, das seit 2001 Nanochemikalien herstellt. Laut Beschreibung der Firma Wagenhofer erfüllt die nanotechnologische Beschichtung mit *easy to clean*- Effekt die Funktion eines Technologievorantreibers. Vor 2001 gab es am Markt keine nanotechnologische Beschichtung mit „easy to clean“- Effekt, aber mit „Abperleffekt“, welcher eine extrem wasser-, öl- und schmutzabweisende, abperlende Beschichtung für alle glatten, nicht saugenden mineralischen Oberflächen und emaillierten Metalle bedeutet. Somit gab es auch keine konventionelle Alternative für die genannte nanotechnologische Beschichtung mit *easy to clean*-Effekt.

Die Nanobeschichtung der Firma Wagenhofer wird entweder im Werk vorweg auf die 3X6 Meter breiten Matrix-Fassaden und (Vor-)Dächer aus Glas, Fliesen, Glasfliesen, Sanitäreinrichtung aus Glas, sandgestrahltes und geätztes Glas aufgetragen oder vor Ort im Nachhinein. Durch die Funktionalisierung mit *Nanoprotect* erhält Glas eine *easy-to-clean*-Oberfläche, die die Anhaftung von Wasser, Öl und Schmutz verringert und dadurch den Reinigungsaufwand deutlich reduziert. Die Beschichtung nutzt den Lotus-Effekt und das Produkt ist bereits am Markt erhältlich. Positive Eigenschaften des Produktes sind unter anderen die Ressourcen- und Chemikaliensparnis bei der Herstellung, die durch dem *easy to clean* -Effekt erzielten reduzierten Reinigungskosten und eine bedeutende Zeitersparnis bei der Reinigung, außerdem behält das Glas langfristig seine Transparenz, Klarheit und Brillanz und damit seinen Nutzwert.

Die Beschichtungen mit *easy to clean* - Effekt stellen somit für Flachglas und Autoglasindustrie eine enorme technologische Erneuerung dar. Der Marktanteil der Nanobeschichtungen mit *easy to clean*-Effekt lässt sich momentan noch nicht abschätzen, erstens weil die Verwendungsmöglichkeiten in verschiedenen Segmenten der Glasindustrie noch längst nicht ausgeschöpft ist, zweitens weil neben Beschichtungen mit *easy to clean* Nanobeschichtungen mit weiteren funktionsbetimmenden Element am Markt verfügbar sind, so z.B die Hydrophilierung von Oberflächen (selbstreinigendes Glas von Kraftfahrzeugscheiben) oder Elektrophotokrom (Nanobeschichtung in Zwischenräume) .

Das Produkt ist das gegenwärtige Ergebnis von langjährigen Innovationsschritten, als Vorläuferprodukte können die klassischen wasserabweisenden Produkte ohne Nanochemie, wie z.B ClearShield vom Firma Glas Protect oder vom Firma Ratec genannt werden.

Im Markt der nanotechnologischen Produkte steht an Firmen der Herausforderungen der Vermarktung, Produktverbreitung und immer wachsenden Konkurrenz gegenüber. Die Beschichtung mit *easy to clean*- Effekt ist zwar seit 2001 einzigartig, wird aber von verschiedenen Akteuren (Nanogate AG, NANO-X) und unter verschiedenen Namen auf den Markt gebracht. Der Wettbewerb am Markt wird nur durch den Preis und auf gar keinen Fall durch die technologische Erneuerung getrieben, weder die Kunden noch die Produktverbreiter können die genauen technologischen Unterschiede zwischen

den verschiedenen nanotechnologischen Beschichtungen erkennen. Das durch Firma Wagenhofer vertriebene Beschichtungsprodukt ist im Vergleich zum Vorgängerprodukt preiswerter.

6.3.3.1 Sektor Herstellung und Bearbeitung von Glas

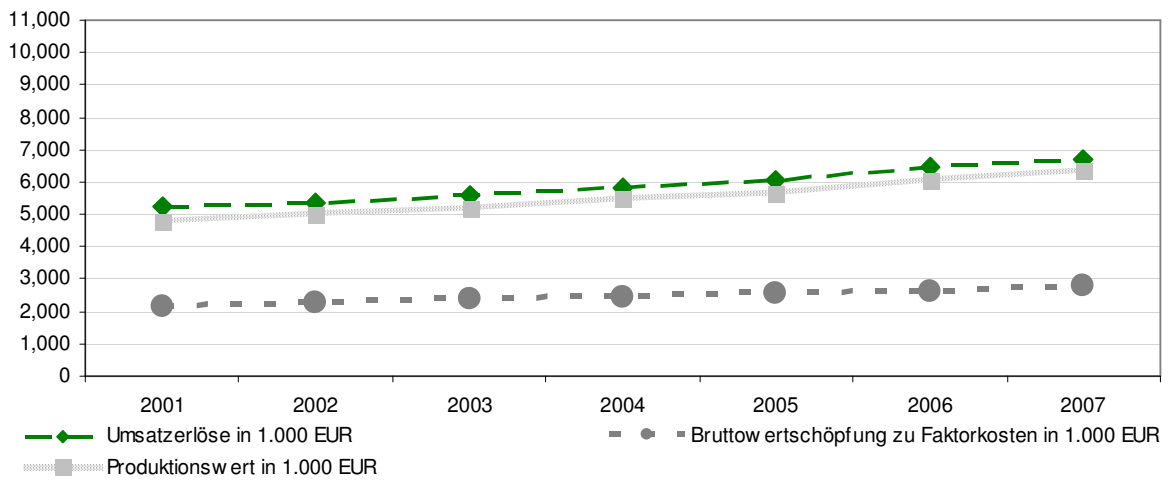
Derzeit gibt es schon die verschiedensten Beschichtungsvariationen auf der Basis von Nanopartikeln. Die behandelte Nanobeschichtung ist für die Herstellung von Holz sowie von Glas von relevanter Bedeutung. Die bekanntesten Beschichtungen sind wohl die selbstreinigenden Oberflächen, die aufgrund ihrer unsichtbaren Materialienstruktur Wasser und Schmutz abperlen lassen. Die Industrie kann solche Beschichtungen nutzen um Verbraucherprodukte aus der Glas- oder Keramik- Industrie wirksam gegen Verschmutzung zu schützen.

Die ausgewählte Beschichtung mit *easy to clean*-Effekt auf Verwendungsebene gehört zu der österreichische Produktgruppe „Veredlungsleistungen an Flachglas“ (ÖCPA 6-Steller, 26.1290), wenn das Produkt auf Glasflächen aufgetragen wird, oder zur Produktklasse „Industrielle Dienstleistungen bei der Herstellung von keramischen Wand-, Bodenfliesen und- platten“ (ÖCPA 6-Steller, 26.3099), wenn das Produkt bei Keramik bzw. Sanitäranlagen verwendet wird. Zur weiteren Analyse wird die ÖCPA-Güterklasse mit den statistisch erfassten Wirtschaftsaktivitäten im Bereich „Herstellung und Bearbeitung von Glas“ (ÖNACE 26) verknüpft (siehe Abbildung 4). Bei der Herstellung von Glas wird insbesondere auf den Gebieten konzentriert, die die Herstellung von Glas (ÖNACE 26.1) sowie mit der Herstellung von keramischen Wand- und Bodenfliesen(ÖNACE 26.3) umfassen

Der Sektor „Herstellung und Bearbeitung von Glas“ umfasste 2007 insgesamt 1.478 Unternehmen, davon sind rund 200 Glashersteller, rund 239 Keramikhersteller. Die wichtigsten Sparten im Bereich Glasindustrie sind, gemessen an der Produktion, jedoch die Beton- und Zementerzeuger, die Glaserzeuger, gefolgt von den Keramikerzeugern.

Die 1.478 Unternehmen in der Glasindustrie erzielten 2007 4,3 % der Umsatzerlöse der gesamten österreichischen Sachgütererzeugung (EUR 6,6 Mrd.). Dies bedeutet eine wertmäßige Steigerung um 3,4 % gegenüber dem Vorjahr. Der Produktionswert beläuft auf EUR 6,3 Mrd., was wiederum 4,3 % dem Produktionswert der Sachgütererzeugung entspricht. Der Produktionswert der Branche konnte in den vergangenen sieben Jahren um einiges- um 32 %- erhöht werden.

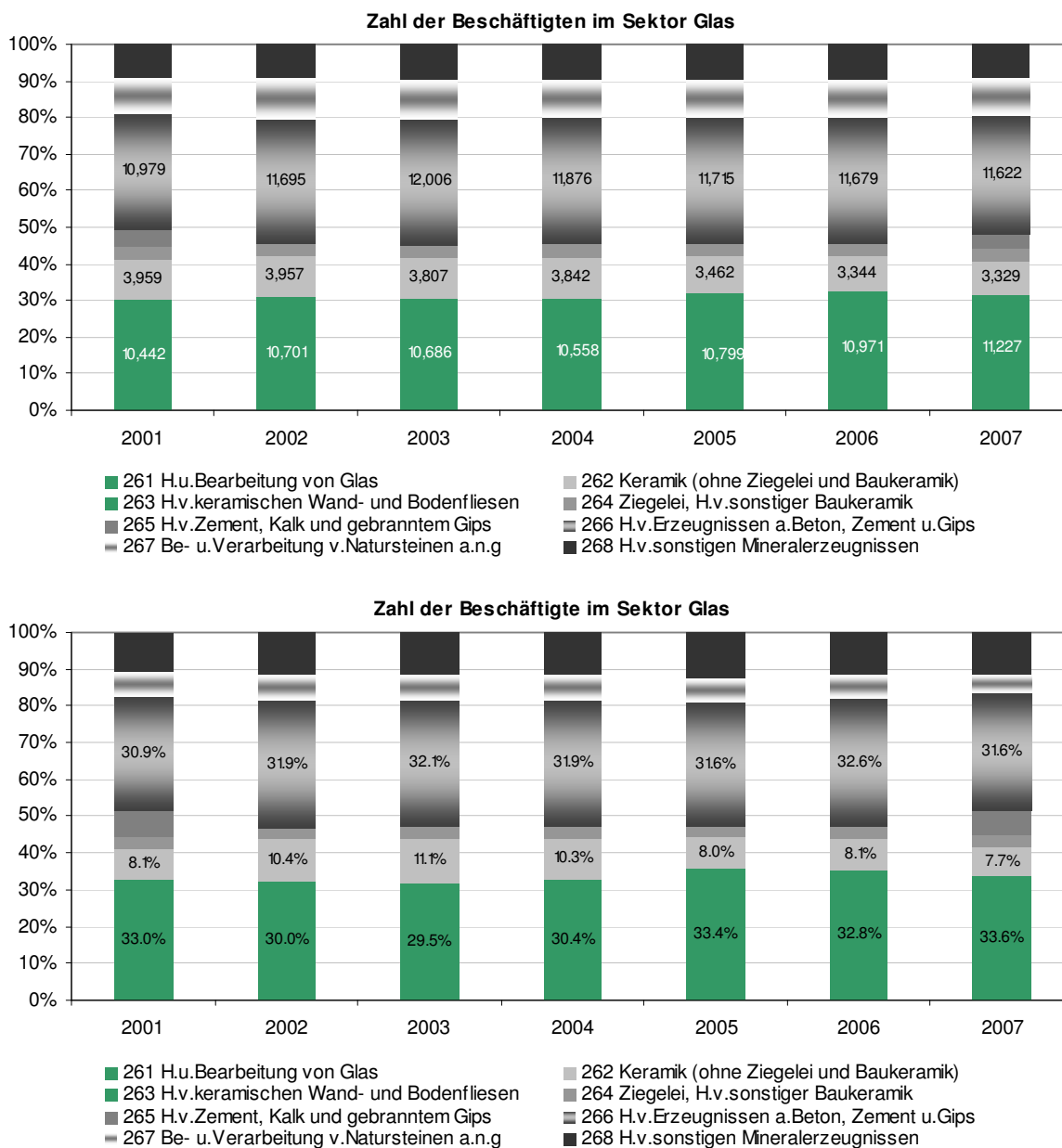
Abbildung 36: Produktivität, Umsatz und Bruttowertschöpfung in der Glasindustrie 2001-2007



Quelle: Statistik Austria, Konjunkturindikatoren im Produzierenden Bereich 2008

Mit 35.705 Beschäftigten im Jahr 2007 (2006: 35.389) nahm die Beschäftigtenzahl in der Glasindustrie leicht zu. Die Glasindustrie beschäftigt lediglich 5,6 % der Beschäftigten in der österreichischen Sachgütererzeugung. Der Sektor erzeugt in 2007 mit 64 forschenden Unternehmen 1,9 % der innenbetrieblichen F&E- Aufwendungen in der Sachgütererzeugung. Knapp 1 % der gesamten Umsatzerlöse wird im Sektor für Forschungstätigkeiten ausgegeben

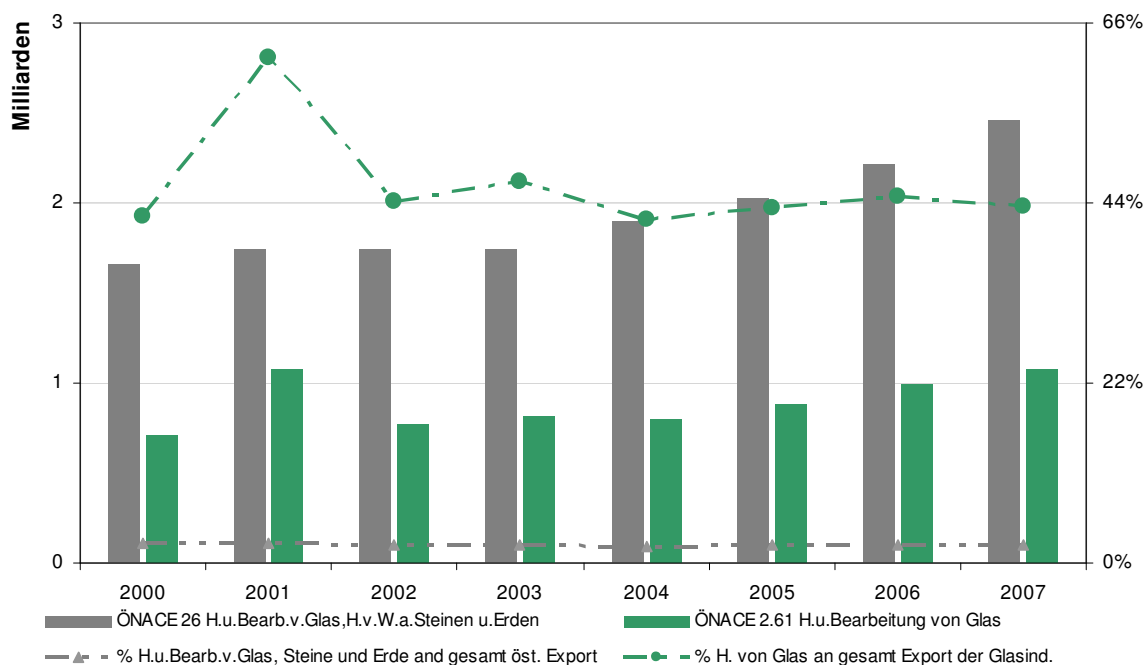
Abbildung 37 Sektor „Herstellung und Bearbeitung von Glas“



Quelle: STATISTIK AUSTRIA 2009, Österreichische Leistungs- und Strukturstatistik

Gemessen an der jährlichen Bruttowertschöpfung aber auch der jährlichen Beschäftigungszahl wird die Glasindustrie von den Glasherstellern und von den Zementherstellern dominiert. Der Keramikindustrie wird eine eher geringere Bedeutung zugewiesen. Wie in Abbildung 4. dargestellt wird, erwirtschaften die zwei Bereiche (Glas und Zement) etwa 64 % der gesamten Wertschöpfung und beschäftigen 90 % der Gesamtbeschäftigten in der gesamten Glasindustrie.

Abbildung 38 Exporttätigkeiten in der Holzindustrie 2000-2007



Quelle: STATISTIK AUSTRIA 2009, Österreichische Außenhandelstatistik

Die Exporttätigkeiten der Glasindustrie in Österreich ist zum Vergleich der Chemieindustrie oder der Holzverarbeitenden Gewerbe sehr gering. Insgesamt 2,2 % der österreichischen Exportvolumen stammt 2007 von der Glasindustrie und dieser Wert scheint seit 2000 konstant zu sein. Die Exporttätigkeiten des Segment „Herstellung und Bearbeitung von Glas“ ist knapp für die Hälfte der Exporttätigkeiten der Glasindustrie verantwortlich. Abbildung beinhaltet das Segment Keramik (ohne Ziegelei und Baukeramik) nicht, da die Exportvolumen dieses Bereichs ledig

6.3.3.2 Bedeutung der Nanotechnologie für die Glasindustrie

Im Bereich der Glasindustrie wird der Einfluss der Nanotechnologie auf den künftigen wirtschaftlichen Erfolg als sehr hoch beurteilt (Interview Firma Wagenhofer). Besonders trifft das auf die Entwicklung neuer Eigenschaften für kommerzielle Produkte und Fertigungsprozesse zu. Vorteile entstehen durch neue und verbesserte Eigenschaften, wie beispielsweise wasser- und schmutzabweisende oder kratz-feste Oberfläche. Dies ermöglicht zum Vorteil des Anwenders eine sehr nachhaltige und langlebige Nutzung von Produkten. Weitgehend befinden sich Applikationen noch im Entwicklungsstadium. Unternehmen aus der Glasindustrie bietet die nanotechnologische Beschichtung breite Möglichkeiten, die Gebrauchswerteigenschaften von Produkten entscheidend zu verbessern, um sich so wichtige Marktvorteile zu sichern.

6.4 Produktfallstudie *haptiX* für eine Holzbodenbeschichtung

6.4.1 Vergleichende Ökobilanz

6.4.1.1 Produktbeschreibung

Das oberösterreichische Unternehmen PROFACTOR für angewandte Produktionsforschung beschäftigt sich unter anderem mit der Entwicklung nanoskaliger Beschichtungen. Dabei wurden Lösungen gesucht um bei der Oberflächenbeschichtung von (Massiv)-Holzfußböden die Vorteile von Öl/Wachsbeschichtungen – eine günstige Haptik – mit denen von Lacksystemen – gute mechanische Eigenschaften sowie Schmutz- und Wasserresistenz – zu verbinden. Die Entwicklung von Sol-Gel-Beschichtungen auf Massivholz zur Erlangung funktioneller Oberflächeneigenschaften war eines von mehreren Zielen von HOLIWOOD, ein im 6. Rahmenprogramm gefördertes EU-Projekt. *haptiX* ist ein Produkt aus diesem Entwicklungsvorhaben und wird in der vorliegenden Fallstudie mit einem konventionellen Beschichtungsmittel auf Naturölbasis verglichen.

Die Vorteile von *haptiX* sind eine geringere Applikationsmenge und Trockenzeit, eine günstige – d.h. natürliche Haptik der Holzoberfläche sowie eine gute Fleckenbeständigkeit bei geringem Pflegeaufwand. Die nanoskaligen Strukturen der Oberflächenbeschichtung entstehen in einem Sol-Gel Prozess. Mit der Sol-Gel Technologie werden der Oberfläche traditioneller Materialien neue Eigenschaften verliehen und ermöglichen eine signifikante Aufwertung durch maßgeschneiderte Funktionalitäten. Die erzielbaren Oberflächenmodifikationen sind etwa Hydrophilie, Antiadhäsivität oder Hydrophobie. Chemische Verbindungen werden hierbei zu sogenannten Solen umgesetzt - je nach gewählter Ausgangsverbindung und Weiterbearbeitung können die Oberflächeneigenschaften des Endproduktes gezielt gesteuert werden.

Im Falle von *haptiX* wird durch Aufbringung von *haptiX* auf eine Holzoberfläche eine anorganisch-organische Hybridschicht (nano-skaliges Hybridmaterial) erhalten. Beim Sol-Gel Prozess können auch Nanopartikel verarbeitet bzw. zugesetzt werden, bei *haptiX* ist dies nicht der Fall. Dies wurde jedenfalls vom Produktentwickler schriftlich bestätigt.

Im Rahmen von HOLIWOOD wurden vom Produktentwickler Untersuchungen zur ökologischen Relevanz von *haptiX* bei der EMPA (Schweiz) beauftragt bzw. durchgeführt. Mit freundlicher Genehmigung des Produktentwicklers wurde dem Projektteam von *NanoRate* die von der EMPA verwendeten Sachbilanzdaten für *haptiX* zum Zweck des Vergleichs mit einer konventionellen Holzbodenbeschichtung zur Verfügung gestellt.

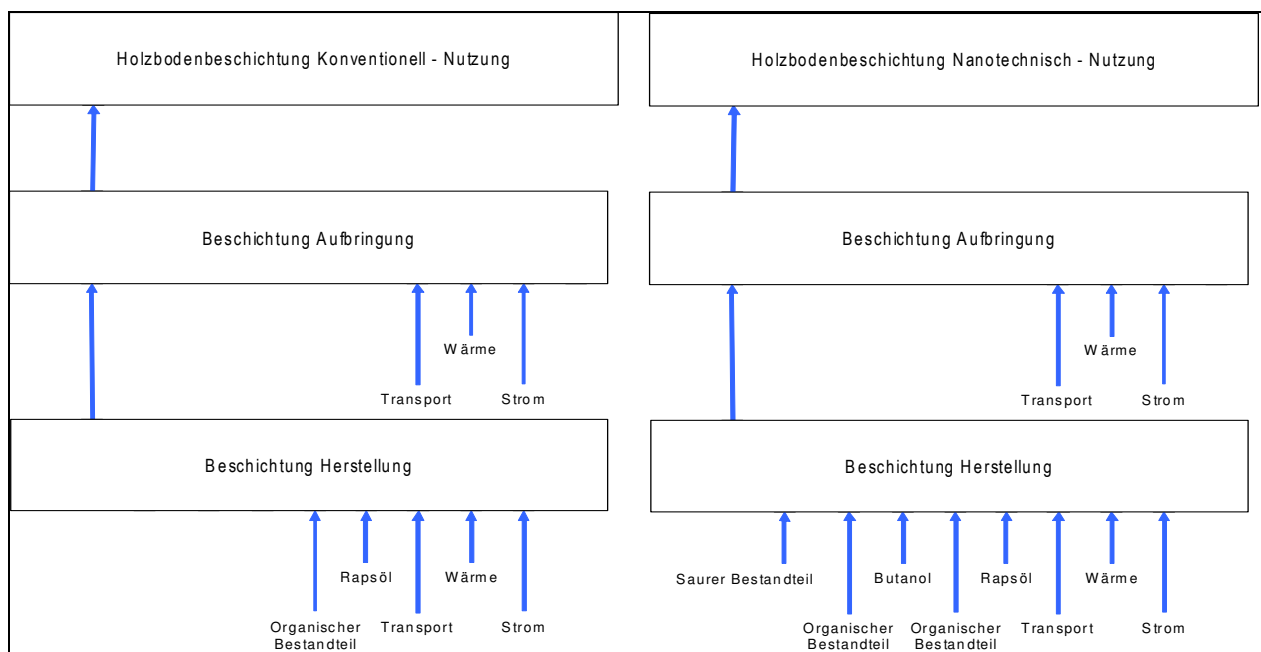
Für die Auswahl des Vergleichsproduktes wurde vom Produktentwickler eine Liste von in Frage kommenden Produkten zur Verfügung gestellt. Daraus wurde vom Projektteam ein Produkt auf Naturölbasis ausgewählt, das laut Angaben des Produktentwicklers nach Applikation ähnliche Eigenschaften wie *haptiX* aufweist. Um die für die Sachbilanz benötigten Daten zu erhalten, wurde die Herstellerfirma angefragt. Von dieser wurde eine Volldeklaration des Produktes bereitgestellt, allerdings keine Anga-

ben über die Anteile der einzelnen Komponenten. Es handelt sich dabei um ein auf pflanzlichen Ölen basierendes Hartöl, das wie *haptiX* die Oberflächeneigenschaften von Holz erhält

6.4.1.2 Sachbilanz

Untersucht werden die Aufwendungen für die Beschichtung eines Quadratmeters Holzbodens, der Vergleich erfolgt zwischen einer konventionellen Holzbodenbeschichtung (*Hartöl*) und einer nanoskaligen bzw. nanotechnologischen Beschichtung (*haptiX*). Einen Überblick über die dabei berücksichtigten Stoffe und Prozesse gibt die folgende Abbildung.

Abbildung 39 Für die Wirkabschätzung relevante Prozesse



6.4.1.3 Sachbilanzdaten *haptiX*

In der Datenrecherche wurde versucht, möglichst viele produktbezogene Daten zu gewinnen. War dies nicht möglich oder zu aufwendig, wurden Defaultdatensätze aus EcolInvent verwendet. Die vom Praxispartner PROFACTOR/EMPA freigegebenen Daten finden sich im vorliegenden Kapitel. Aus Gründen der Vertraulichkeit können bestimmte Angaben hinsichtlich Menge und chemischer Zusammensetzung an dieser Stelle nicht ausgewiesen werden. Das Produkt *haptiX* besteht aus einer Ölkomponente (vergleichbar mit Rapsöl), einer – vom Produktentwickler nicht deklarierten – anorganisch-organischen Komponente, organischen Lösemitteln sowie Salzsäure. Einbezogen werden bei der Herstellung von *haptiX* anfallende Prozessdaten wie Transport und Energie (Für das *Hartöl* werden beim Transport gleiche Entfernungen zwischen Hersteller und Anwender angenommen). Emissionen verursacht durch ein Lösemittel während einer für 2 Jahre angenommenen Nutzungsphase werden berücksichtigt.

Die vom Praxispartner PROFACTOR/EMPA zur Verfügung gestellten bzw. die entsprechenden - aus der Datenbank EcoInvent – übernommen Daten hinsichtlich verwendeter Rohstoffe und Prozesse bei Herstellung, Applikation, Nutzung und Entsorgung von haptiX sind in Tabelle **Tabelle 16** bis **Tabelle 19** zusammengefasst:

Tabelle 16 Rohstoffe und Emissionen zur Herstellung von haptiX

Input	Output	Datensatz SimaPro	g/ 1 g Produkt
Organischer Bestandteil (Identität nicht bekannt)	-	Chemicals, organic at plant	0,523
Ölkomponente	-	Rape oil, at regional storage	0,347
Lösemittel 1	-	Lösemittel 1, at plant	0,243
Lösemittel 2	-	Lösemittel 2, at plant	0,042
Salzsäure (30%ig)	-	Hydrochloric acid, 30% in H ₂ O, at plant	0,107
-	Abfall	Disposal paint, 0% water	0,262

Tabelle 17 Prozessdaten zur Herstellung von haptiX

Input	Output	Datensatz SimaPro	Je 1 g Produkt
Elektrische Mischenergie	-	Electricity, low voltage, at plant	0,0003 kWh
Transport Hersteller –Handel	-	Transport lorry 20-28 t,	0.00025 tkm
-	Abfall	Benefit from disposal, electricity	-0,00021 MJ
		Benefit from disposal, heat	-0,00046 MJ

Tabelle 18 Prozessdaten zur Applikation von haptiX (bezogen auf 1 m² Holzboden bzw. 33 g Produkt)

Input	Output	Datensatz SimaPro	Je 1 m ²
Transport	-	Transport mit LKW	0,00673 tkm
haptiX (Coating, at plan)	-		33,66 g
	Abfall	Disposal paint, 0% water	0,66 g
		Benefit from disposal, electricity	-0,00053 MJ
		Benefit from disposal, heat	-0,00116 MJ

Tabelle 19 Emissionsdaten bei Nutzung von haptiX (Nutzungsdauer: 2 Jahre, bezogen auf 1 m² Holzboden bzw. 33 g aufgebracht Produkt)

Input	Output	Datensatz SimaPro	Je 1 m ²
-	Lösemittel	Emissions to air: solvent	8,18 g

6.4.1.4 Sachbilanzdaten *Hartöl*

Die konventionelle Holzbodenbeschichtung *Hartöl* besteht aus pflanzlichen Ölen und einem Trocknungsbeschleuniger. Einbezogen in die Bilanzierung werden Transportprozesse (es wird von der gleichen Entfernung in km zw. Hersteller und Anwender ausgegangen wie beim nanotechnologischen Produkt) sowie elektrische Energie für die Herstellung (es wurde der gleiche Energieaufwand für die Herstellung pro kg Beschichtungsmaterial angenommen wie bei der nanotechnologischen Beschichtung).

Tabelle 20 Rohstoffe - Herstellung von *Hartöl* (bezogen auf 1 g hergestelltes Produkt; Datenquelle: Produktdatenblatt Hersteller)

Input	Output	Datensatz SimaPro	g/ 1 g
Sonnenblumenöl	-	99 % Rapsöl (SimaPro stellt nur zu Rapsöl Datensätze zur Verfügung. Da außerdem keine genauen Mengenangaben der Öle verfügbar sind, werden alle Öle als Rapsöl bilanziert)	99 % bzw. 1.249 g Rapsöl / 1g Natur-Hartöl
Rapsöl	-		
Leinölfirnis	-		
Nussöl	-		
Mohnöl	-		
Calciumoktanoat	-	organic at plant	1% bzw. 0,013 g/ 1g aufgebrachte Substanz (geschätzt)
Cobaltoctanoat	-		

*...aus der Zusammensetzung ähnlicher Produkte

**...Calcium- und Cobaltoctanoat dienen als Trocknungsbeschleuniger. Der Anteil wird aus der Zusammensetzung ähnlicher Produkte geschätzt.

Tabelle 21 Prozessdaten zur Herstellung von Hartöl bezogen auf 1 g hergestelltes Produkt; Daten analog zur Sachbilanz haptiX

Input	Output	Datensatz SimaPro	Je 1 g
Elektrische Mischenergie	-	Electricity, low voltage, at plant	0,00033 kWh
Transport Hersteller -Handel	-	Transport lorry 20-28 t,	0.00025 tkm
-	Abfall	Benefit from disposal, electricity	-0,00021 MJ
		Benefit from disposal, heat	-0,00046 MJ

Tabelle 22 Prozessdaten zur Applikation von Hartöl bezogen auf 100 g je m² aufgebracht Produkt; Daten analog zur Sachbilanz haptiX bzw. Technisches Datenblatt Vergleichsprodukt

Input	Output	Datensatz SimaPro	Je 1 m ²
Transport	-	Transport mit LKW	0,00673 tkm
Hartöl	-	-	100 g*
	Abfall	Disposal paint, 0% water	2 g (= 2% des aufgetragenen Materials)
		Benefit from disposal, electricity	?
		Benefit from disposal, heat	?

*...konservative Annahme: Angabe in technischem Datenblatt: 100 – 120 g m²

Emissionen während der Nutzungsphase werden nicht berücksichtigt.

6.4.1.5 Systemgrenzen, funktionelle Einheit und Annahmen

Folgende Stufen des Lebenszyklus befinden sich innerhalb des Untersuchungsrahmens der Ökobilanz (berücksichtigte Input- Outputströme: siehe Sachbilanz): Rohstoffgewinnung, Gewinnung der Komponenten des Beschichtungsmaterials, Herstellung des Beschichtungsmaterials, Applikation (Beschichtung des Holzbodens) sowie Nutzungsphase (2 Jahre) mit möglichen Emissionen. Die Entsorgung der Abfälle bei der Aufbringung wird ebenfalls berücksichtigt (Annahme: Entsorgung über Müllverbrennungsanlage) wie die nötigen Transporte. Die untersuchten Produkte und Prozesse sowie die Systemgrenzen zeigt folgende Abbildung:

Abbildung 40 Prozesse und Systemgrenzen haptiX

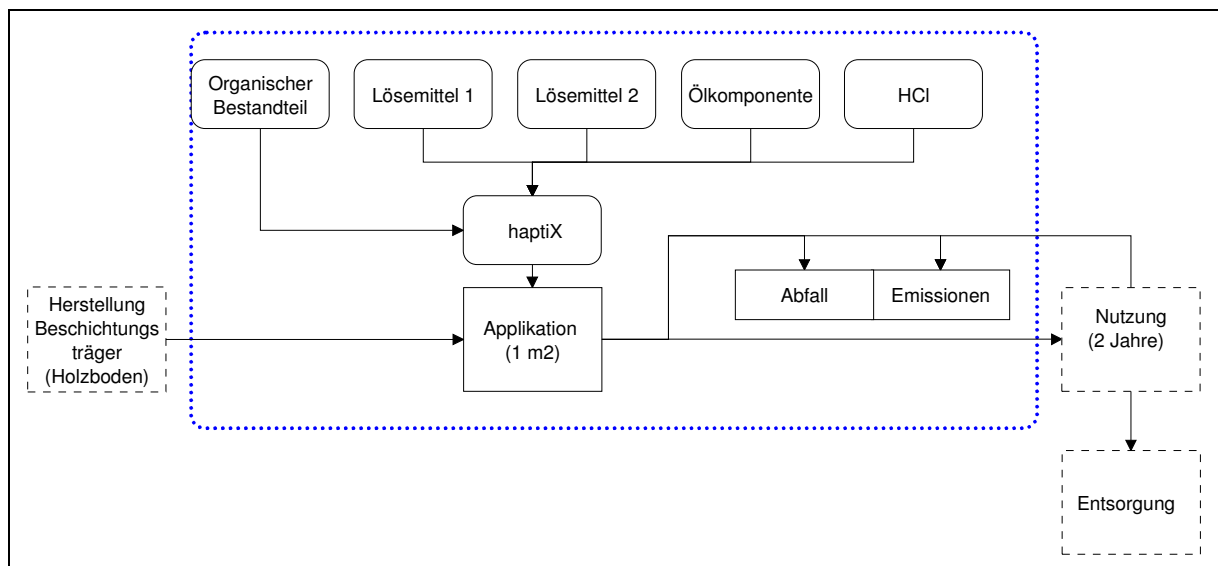
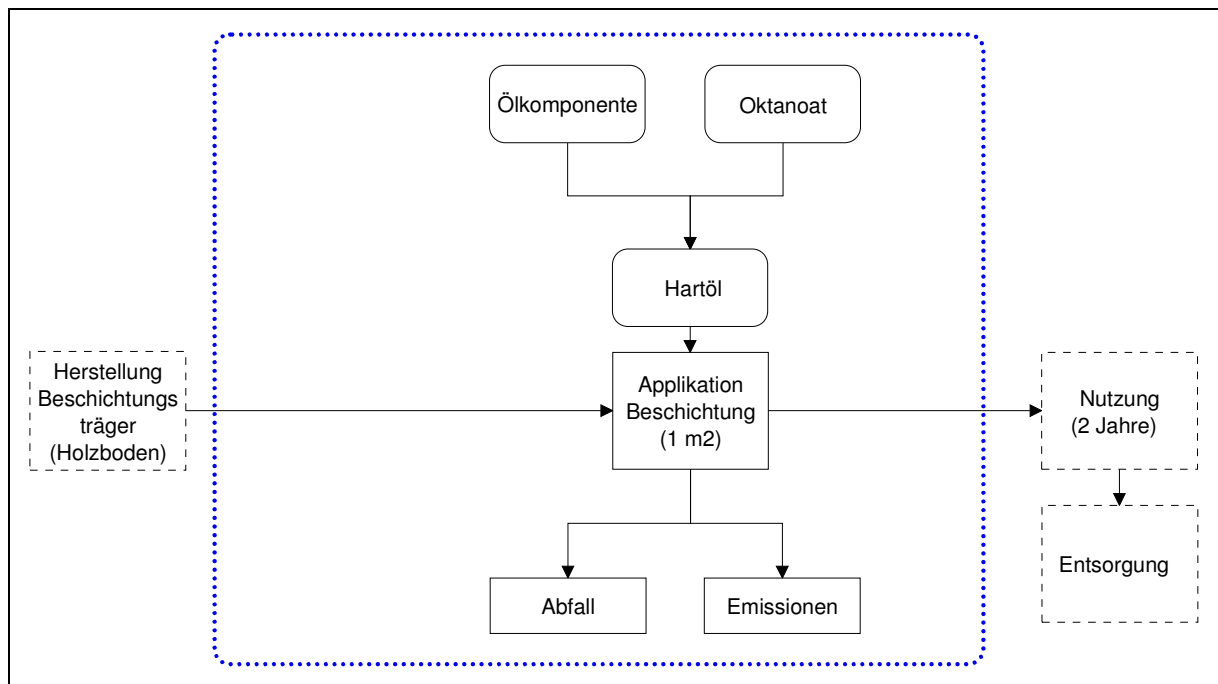


Abbildung 41 Prozesse und Systemgrenzen Hartöl



Die AutorInnen weisen darauf hin, dass die Bilanzierung unter Einbeziehung einer Reihe von Annahmen erfolgt. Obwohl diese Annahmen mit größtmöglicher Sorgfalt getroffen wurden, erhöhen sich durch die Verwendung von Standarddatensätzen aus der Datenbank Ecoinvent die Unsicherheiten insbesondere für die Wirkungsabschätzung und sind bei allfälligen Schlussfolgerungen zu berücksichtigen. Folgende Annahmen wurden getroffen:

- **Funktionelle Einheit:** Funktionelle Einheit ist die Aufbringung einer Oberflächenbeschichtung Beschichtung auf einen Quadratmeter Holzfußboden (1 m²).
- **Vergleich:** Verglichen wird eine nanoskalige Fußbodenbeschichtung (*haptiX*) mit einer konventionellen Fußbodenbeschichtung (*Hartöl*).
- **Beschichtungsträger:** Die Herstellung des Beschichtungsträgers (Holz) wird für beide Beschichtungssysteme nicht berücksichtigt, für die Beseitigung wird eine Entsorgung in einer Abfallverbrennungsanlage angenommen.
- **Lebensdauer der Beschichtung:** Auf Basis der Angaben von PROFACTOR werden 2 Jahre angenommen.
- **Pflege:** Ein Aufwand für Pflege und Reinigung während der Nutzungsphase wird nicht berücksichtigt da empirische Daten aus Praxisversuchen nicht zur Verfügung stehen. Mit Ölen behandelte Hölzer sind allerdings regelmäßig nachzupflegen.

- **Nutzungsphase:** Diese wird in Hinblick auf Emissionen von Lösungsmittel (*haptiX*) berücksichtigt.
- **Umweltbelastungen aus Infrastrukturen:** Solche – etwa die Produktionsanlage des Beschichtungssystems – werden nicht oder implizit über die Rohstoffe berücksichtigt.
- **Umweltbelastungen aus Transporten:** Umweltbelastungen aus Transporten wurden sowohl für die Rohstoffe der Reinigungsmittel als auch für den Transport des Beschichtungsmaterials berücksichtigt.
- **Umweltbelastungen aus der Entsorgung:** Die Entsorgung des Beschichtungsträgers Holz nach der Nutzung wird nicht berücksichtigt. Berücksichtigt werden die Entsorgung von Abfällen während der Herstellung und Applikation.

6.4.1.6 Ergebnisse der Wirkungsbilanz

Bei der Bilanzierung der Holzbodenbeschichtung werden keine Aufwendungen für die Produktion des Holzes oder die Entsorgung des Holzfußbodens berücksichtigt, die funktionelle Einheit bezieht sich auf das Beschichtungsmittel und dessen Aufbringung auf das Holz. Abgeschätzt bzw. verglichen wird Aufwand für die Beschichtung eines Quadratmeters Holzfußboden. Die Nutzungsphase wird mit 2 Jahren angenommen, während der Nutzungsphase werden Emissionen, aber keine Aufwendungen aus der Pflege berücksichtigt.

Ergebnisse

- Die Wirkabschätzung nach IPCC 2007 ergibt als Beitrag zum Klimawandel für die nanoskalige Beschichtung 0,0725 kg CO₂eq, für die konventionelle Beschichtung 0,016 kg CO₂eq.
- Der kumulierte Energieaufwand (KEA) ergibt für die nanoskalige Beschichtung 2,9 MJeq, für die konventionelle Beschichtung 8,3 MJeq.
- Mit der Methode UBP 2006 berechnen sich für die nanoskalige Beschichtung 190, für die die konventionelle Beschichtung 1115 UBP.
- Mit der Methode Eco-Indicator 99 berechnen sich für die nanoskalige Beschichtung 0,031 für die die konventionelle Beschichtung 0,177 Punkte.

Die detaillierten Ergebnisse finden sich in 6.4.1.8

6.4.1.7 Schlussfolgerungen und Interpretationen

In der Wirkungsabschätzung nach IPCC 2007 schneidet die *Hartöl* Beschichtung aufgrund seines höheren Rapsölanteils – Raps bindet während seines Wachstums CO₂ – besser ab als die *haptiX* Beschichtung (*haptiX*: 0,0725 kg CO₂eq; *Hartöl*: 0,016 kg CO₂eq).

Die Berechnungsmethode Kumulierter Energieaufwand (KEA) liefert für die *Hartöl* Beschichtung einen höheren Energieaufwand. Grund ist der erhöhte Bedarf an Erneuerbarer Energie (Biomasse) durch vermehrten Einsatz von Rapsöl (*haptiX*: 2,9 MJeq; *Hartöl*: 8,3 MJeq).

Die Methode UBP 2006 weist für die *Hartöl* Beschichtung auf Grund der mit dem landwirtschaftlichen Anbau von Raps verbundenen Emissionen gegenüber der *haptiX* Beschichtung eine höhere Umweltbelastung aus (*haptiX*: 190 UBP; *Hartöl*: 1115 UBP).

Bei Eco-Indicator 99 weist die *Hartöl* Beschichtung wegen seines hohen Ölanteils und der damit verbundenen Landnutzung eine schlechtere Bilanz (höheren Score) auf als die *haptiX* Beschichtung ab (*haptiX*: 0,031 : *Hartöl* 0,177).

Für die untersuchten Produkte zur Fußbodenbeschichtung – *haptiX* sowie *Hartöl* – lässt sich auf Basis der verfügbaren Daten, der getroffenen Annahmen und der darauf aufbauenden Wirkungsabschätzungen mit den Methoden Eco-Indicator 99, UBP 2006, IPCC 2007 und KEA folgende Schlussfolgerung in Bezug auf die Umweltbelastung ziehen:

Bei der konventionellen Beschichtung mit *Hartöl* ist für dieselbe funktionelle Einheit (1 m² Fußboden) die dreifache Menge an Beschichtungsmaterial erforderlich (33 g gegenüber mindestens 100 g). Damit verbunden ist ein im Vergleich mit der *haptiX* Beschichtung relativ und absolut höherer Anteil der Ölkomponente. Insbesondere dieser führt bei Methoden, die Landnutzung, Schadstoffeinträge und sonstige – über das Treibhauspotenzial hinausgehende – Umwelteffekte berücksichtigen, zu einem schlechteren Abschneiden des Beschichtungsmittels auf Naturölbasis.

Nur was den Beitrag zum Treibhauseffekt betrifft schneidet das *Hartöl* besser ab, weil es zum weit überwiegenden Teil aus nachwachsenden und damit weitgehend klimaneutralen Rohstoffen besteht.

Mit Naturölen behandelte Hölzer sind regelmäßig zu pflegen. Dieser Aspekt während der Nutzungsphase wurde in der Ökobilanz nicht berücksichtigt und könnte die Bilanz – da für *haptiX* ein geringerer Pflegeaufwand angenommen wird – zu Gunsten von *haptiX* verändern.

Berücksichtigt man, dass die Methoden Eco-Indicator 99 und UBP 2006 bereits das Treibhauspotenzial und somit die Wirkkategorie der Methode IPCC 2007 berücksichtigen, so zeigt die Fußbodenbeschichtung auf Basis von *haptiX* im Vergleich mit einer herkömmlichen Fußbodenbeschichtung aus Naturöl ein besseres Ergebnis in Hinblick auf die Umweltauswirkungen.

6.4.1.8 Detailergebnisse der Wirkungsbilanz

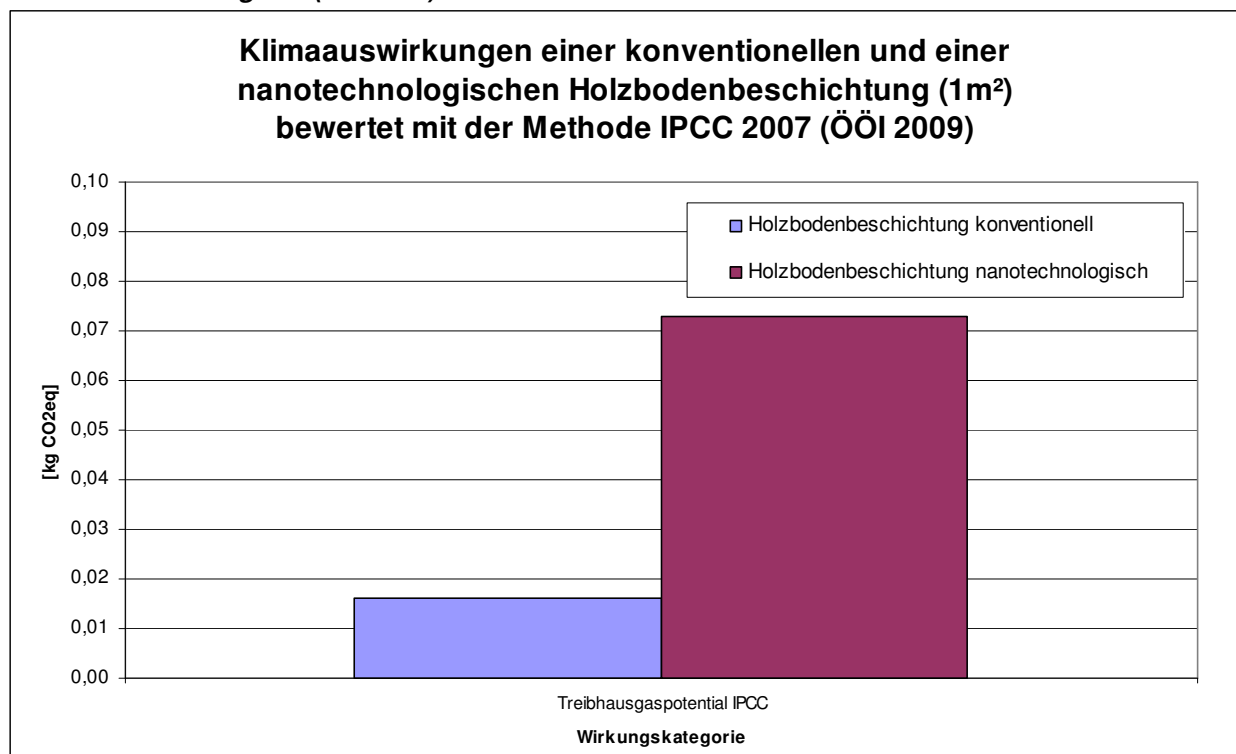
Über die Anforderungen der ISO-Norm DIN 14040 hinaus werden die Bilanzergebnisse auch einer aggregierten Bewertung unterzogen. Die Bewertungsmethoden werden in Kapitel 7.1. erläutert.

IPCC 2007

Der Beitrag zum Klimawandel liegt für 1 m² Holzbodenbeschichtung bei einem konventionellen Produkt bei 0,016 kg CO₂eq und bei einem nanotechnologischen Produkt bei 0,0725 kg CO₂eq.

Die bestimmenden Beiträge stammen für beide Alternativen aus der Entsorgung von Produktionsresten bei der Herstellung der Beschichtungen bzw. von den Resten beim Verarbeiten (0,06 kg CO₂eq beim konventionellen bzw. 0,07 kg CO₂eq beim nanotechnologischen Produkt) – angenommen wurde die Entsorgung über eine Müllverbrennungsanlage. Gleichzeitig erfolgt durch den Einsatz von Rapsöl eine Gutschrift wegen der Bindung von CO₂ während des Wachstums von Raps (-0,08 kg CO₂eq beim konventionellen bzw. -0,0018 kg CO₂eq beim nanotechnologischen Produkt). Beim nanotechnologischen Produkt kommt zusätzlich ein wesentlicher Beitrag aus dem Einsatz von organischen Verbindungen (0,03 kg CO₂eq) dazu.

Abbildung 42: Klimaauswirkungen einer konventionellen und einer nanotechnologischen Holzbodenbeschichtung (1 m²) bewertet mit der Methode IPCC 2007



KEA

Beim KEA ergibt sich ein konträres Bild. Aufgrund des massiven Einsatzes von pflanzlichem Öl als Bestandteil des konventionellen Produktes weist die Bilanzierung diesem 8,3 MJeq zu, dem nanotechnologisch beschichteten Boden hingegen nur 2,9 MJeq. Der absolute Beitrag aus Fossilen Energieträgern liegt bei 1,7 MJeq bzw. 2,1 MJeq. Der Beitrag aus Erneuerbarer Biomasse liegt bei 6,1 MJeq bzw. 0,6 MJeq.

Abbildung 43 Kumulierter Energieaufwand einer konventionellen und einer nanotechnologischen Holzbodenbeschichtung bewertet mit KEA

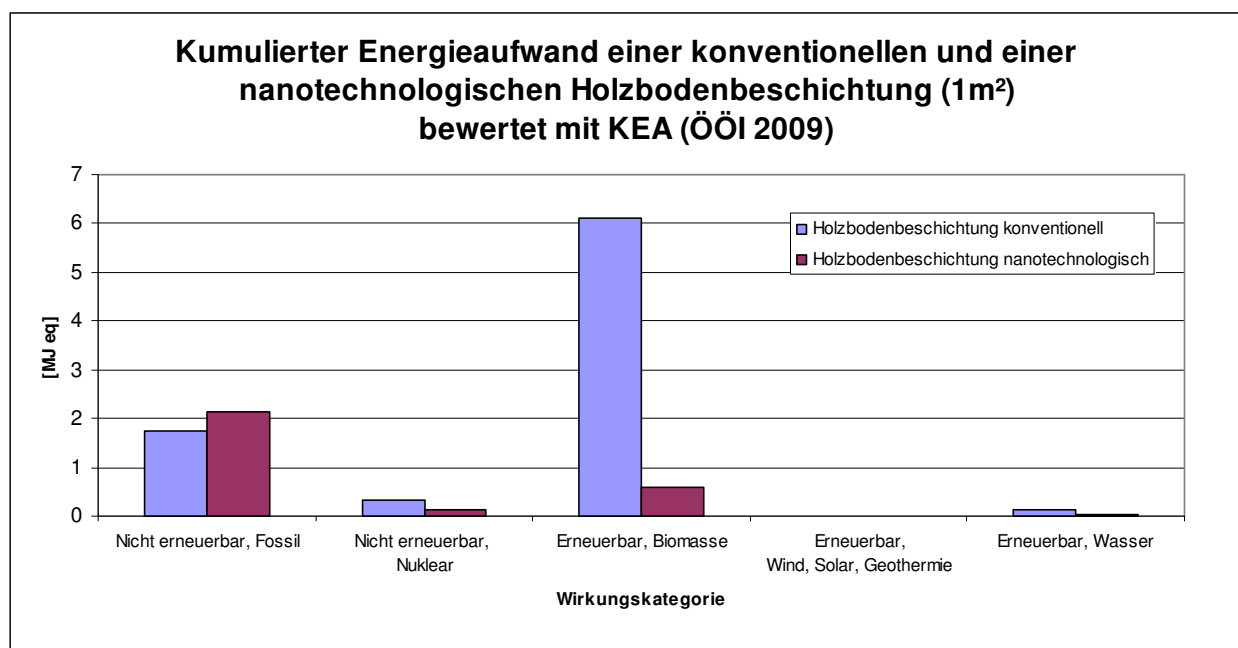
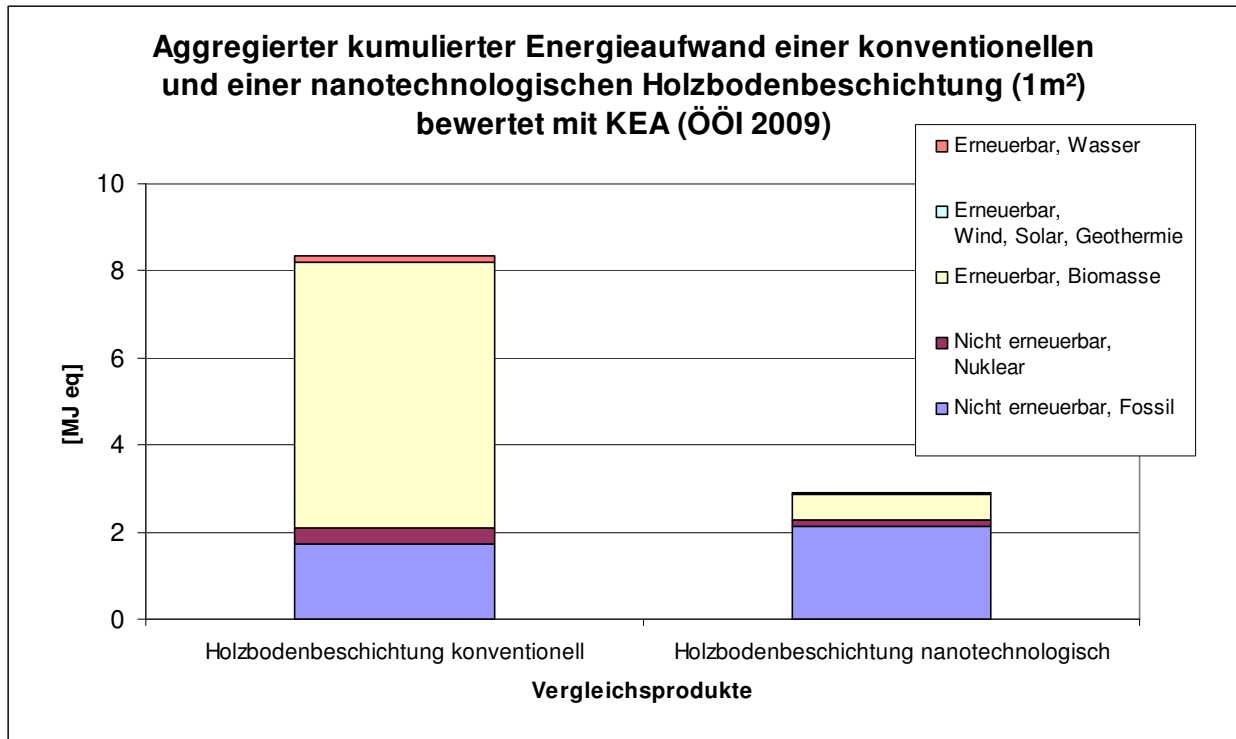


Tabelle 23 Kumulierter Energieaufwand einer konventionellen und einer nanotechnologischen Holzbodenbeschichtung bewertet mit KEA [MJeq]

Wirkungskategorie	Holzbodenbeschichtung konventionell	Holzbodenbeschichtung nanotechnologisch	Verhältnissfaktor
Nicht erneuerbar, Fossil	1,7	2,1	1 : 1,2
Nicht erneuerbar, Nuklear	0,3	0,1	1 : 0,4
Erneuerbar, Biomasse	6,1	0,6	1 : 0,1
Erneuerbar, Wind, Solar, Geothermie	0,0	0,0	1 : 0,5
Erneuerbar, Wasser	0,1	0,0	1 : 0,3
Summe	8,3	2,9	1 : 0,3

Abbildung 44 zeigt den KEA als aggregierte Darstellung. Die Beschichtung und Nutzung von 1 m² Holzboden mittels eines konventionellen Beschichtungsmittels zeichnet demnach für einen KEA von 8,3 MJeq verantwortlich, jene einer nanotechnologischen Variante für 2,9 MJeq.

Abbildung 44 Aggregierter kumulierter Energieaufwand einer konventionellen und einer nanotechnologischen Holzbodenbeschichtung bewertet mit KEA



Umweltbelastungspunkte USP 2006

Sämtliche Wirkungskategorien zeigen für die nanotechnologische Beschichtung geringere Auswirkungen an als für die konventionelle Beschichtung³⁵). Während für den konventionell beschichteten Holzboden insgesamt rd 1.100 Umweltbelastungspunkte (UBP) berechnet werden, weist der nanotechnologisch beschichtete Boden rd. 190 UBPAus.

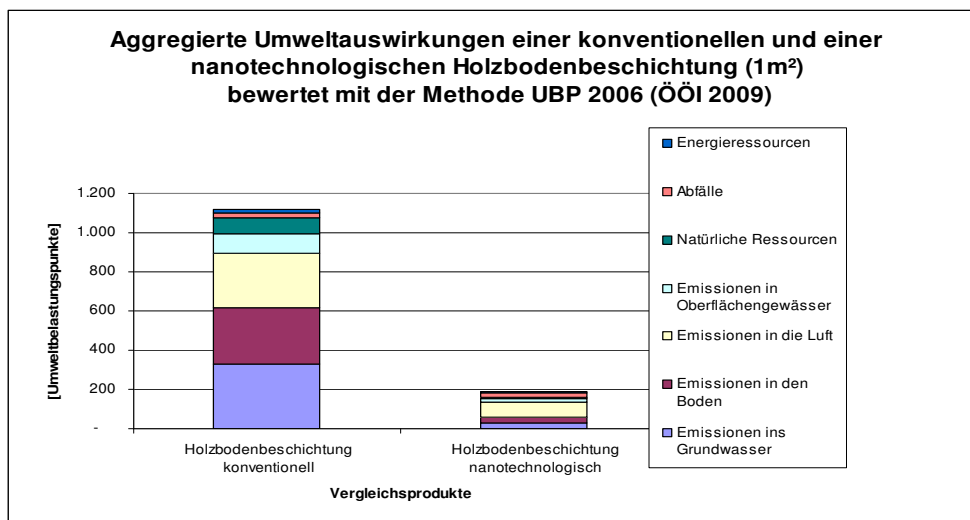
Beide Alternativen belasten die Kategorien *Emissionen ins Grundwasser, in den Boden und in die Luft*, zu ähnlichen Teilen. Gemeinsam tragen diese knapp 80 % bzw. 70 % der gesamten UBPA bei. Während beim konventionellen Holzboden das Grundwasser die Hauptlast trägt (29 %), so ist im Fall der alternativen Beschichtung die Luft der Hauptbeeinträchtigte (42 %). Eine graphische Darstellung der Prozessketten findet sich im Kapitel 6.4.1.9.

35 Aggregierte Bewertungen gehen über die Anforderungen der ISO 14040 hinaus, stellen aber zur Entscheidungsfindung für die Auftraggeber eine gute Diskussionsgrundlage dar

Tabelle 24 Umweltauswirkungen einer konventionellen und einer nanotechnologischen Holzbodenbeschichtung bewertet mit der Methode UBP 2006

Wirkungskategorie	Holzbodenbeschichtung konventionell	Holzbodenbeschichtung nanotechnologisch	Verhältnissfaktor
Emissionen ins Grundwasser	327	31	1 : 0,1
Emissionen in den Boden	288	27	1 : 0,1
Emissionen in die Luft	281	80	1 : 0,3
Emissionen in Oberflächengewässer	100	15	1 : 0,1
Natürliche Ressourcen	79	8	1 : 0,1
Abfälle	26	22	1 : 0,8
Energieressourcen	14	8	1 : 0,6
Summe	1.115	190	1 : 0,2

Abbildung 45: Aggregierte Umweltauswirkungen einer konventionellen und einer nanotechnologischen Holzbodenbeschichtung bewertet mit der Methode UBP 2006 – Beiträge von Wirkungskategorien



Eco-Indicator 99 (H)

Sämtliche Wirkungskategorien (mit Ausnahme von Fossilen Brennstoffen) zeigen für den konventionell beschichteten Boden höhere Auswirkungen an als für den nanotechnologisch beschichteten Holzboden. Eine graphische Darstellung der Prozessketten findet sich im Kapitel 6.4.1.9

Tabelle 25 Umweltauswirkungen einer konventionellen und einer nanotechnologischen Holzbodenbeschichtung bewertet mit der Methode Eco-Indicator 99

Wirkungskategorie	Einheit ³⁶	Holzbodenbeschichtung konventionell	Holzbodenbeschichtung nanotechnologisch
Krebserregende Stoffe	DALY	-2,02E-07	-1,58E-08
Atemwegserkrankungen (organ.)	DALY	1,60E-10	1,36E-10
Atemwegserkrankungen (anorgan.)	DALY	2,51E-07	4,94E-08
Klimawandel	DALY	8,13E-08	2,23E-08
Ionisierende Strahlung	DALY	7,06E-10	2,07E-10
Ozonabbau	DALY	1,59E-11	1,11E-11
Ökotoxizität	PDF*m2yr	5,62E-03	1,89E-03
Versauerung & Eutrophierung	PDF*m2yr	2,55E-02	3,17E-03
Landnutzung	PDF*m2yr	9,58E-01	8,98E-02
Mineralienverbrauch	MJ surplus	7,58E-03	2,48E-03
Fossile Brennstoffe	MJ surplus	2,09E-01	2,71E-01

Die Kategorien *Versauerung & Eutrophierung* (2,55E-2 PDF*m2yr bzw. 3,17E-3 PDF*m2yr)³⁷, *Fossile Brennstoffe* (0,21 MJsurplus bzw. 0,27 MJsurplus) und *Atemwegserkrankungen infolge anorganischer Stoffe* (2,5E-7 DALY bzw. 4,9E-8 DALY) weisen die jeweils höchsten Werte in ihren Klassen (zugeordnet zu Schutzzielen) auf³⁸. Die bestimmenden Beiträge liefert für alle Kategorien das Rapsöl. Extrem zeigen sich die Unterschiede in der Kategorie Landnutzung (0,95 zu 0,089 PDF*m2yr).

In der Kategorie *Krebserregende Stoffe* kommt es aufgrund der Bilanzierungsgrenze zu einer Gutschrift aufgrund der Bindung von Schadstoffen (insbesondere Cadmium) im Zuge des Wachstums der Rapspflanzen. Die massiven Unterschiede in den Kategorien *Landnutzung* und *Atemwegserkrankun-*

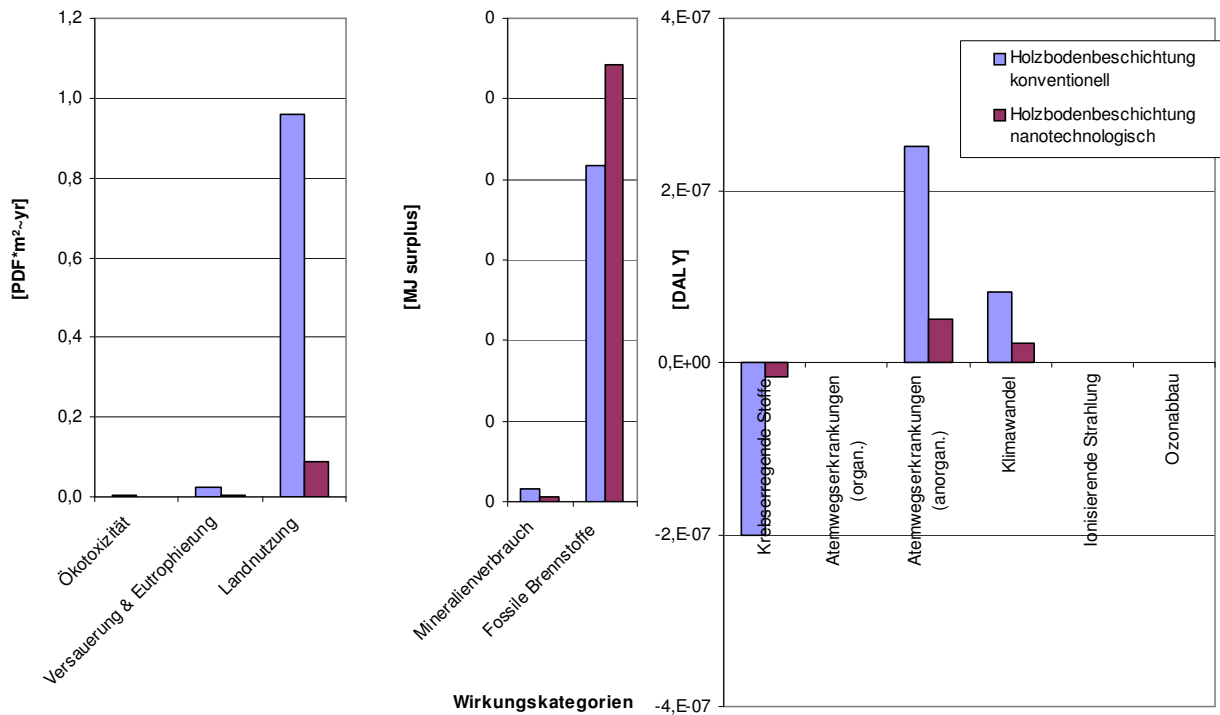
³⁶ DALY (disability-adjusted life years) drückt die Beeinträchtigung bzw. des Verlustes von menschlicher Gesundheit in Lebensjahren PDF*m²*yr (Potentially Disappeared Fraction of plant species) kalkuliert die Ökosystemqualität über den Anteil an verschwundenen Species durch die Umweltbelastung. MJ surplus drückt für Kategorien des Bereichs Ressourcen den zusätzlich notwendigen Energieaufwand durch das künftige Schürfen von Mineralien aus (surplus energy requirement to compensate lower future ore grade MJ).

³⁷ Die erste Angabe bezieht sich jeweils auf den konventionell beschichteten Holzboden, die zweite auf den mit einem nanotechnologischen Mittel beschichteten.

³⁸ Die Wirkungskategorien werden in weiterer Folge unter Berücksichtigung Ihrer Einheiten den drei Schutzzielen zugeordnet (siehe auch Kapitel 6.1)

gen infolge anorganischer Stoffe basieren auf dem unterschiedlichen Gehalt an Rapsöl, genauer gesagt der Herstellung des Rapsamens.

Abbildung 46 Umweltauswirkungen einer konventionellen und einer nanotechnologischen Holzbodenbeschichtung bewertet mit der Methode Eco-Indicator 99



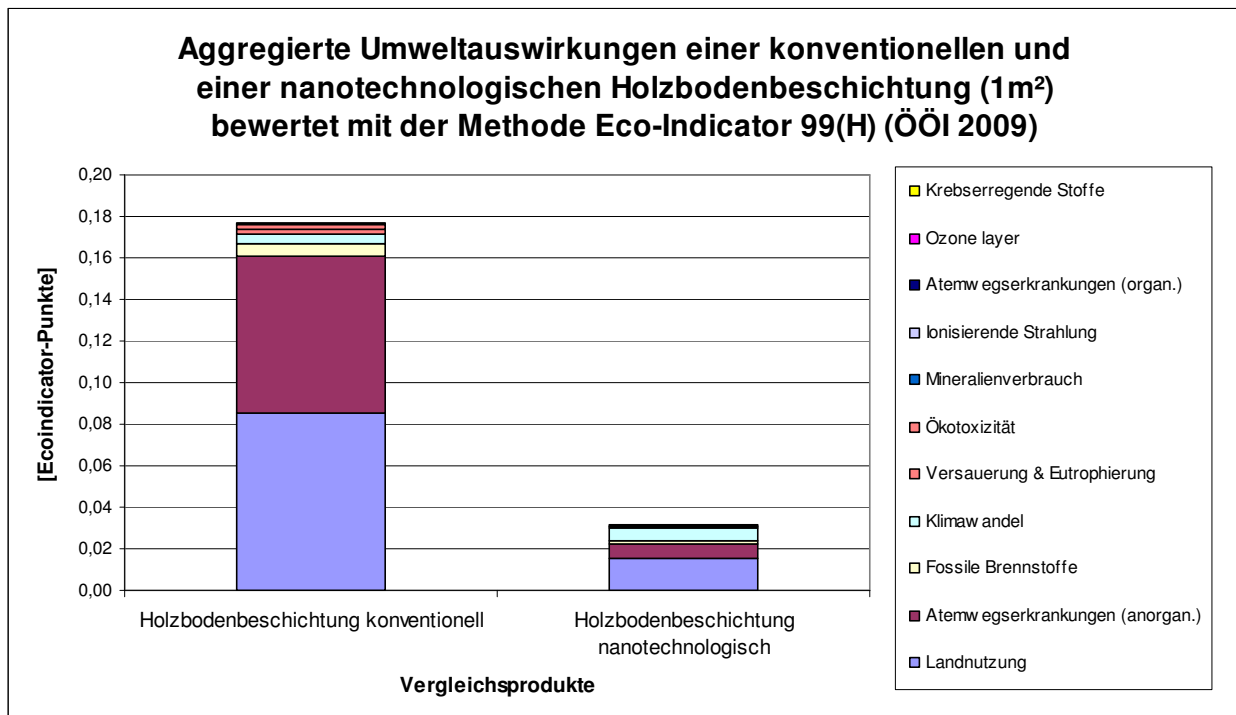
Über die Bewertungsperspektive Hierarchist werden die Werte der verschiedenen Wirkungskategorien in Eco-Indicatorpunkte transformiert³⁹. **Abbildung 47** stellt die oben diskutierten Wirkungskategorien aggregiert als Summenparameter dar⁴⁰. Demnach werden einem konventionell beschichteten Holzboden 0,086 Punkte zugeordnet und einem nanotechnologisch beschichteten 0,015 Punkte.

So betrachtet zeigen die Kategorien *Landnutzung* (0,075 Pt bzw. 0,007 Pt) und mit Abstand *Atemwegserkrankungen infolge anorganischer Stoffe* (0,0065 Pt bzw. 0,012 Pt) und *Fossile Brennstoffe* (0,005 Pt bzw. 0,006 Pt) und die höchsten Werte an Eco-Indicatorpunkten auf. Zusammen beschreiben sie mehr als 100% der Gesamtauswirkung beim konventionell beschichteten Boden und mehr als 90 % beim nanotechnologisch beschichteten Boden. Die Ergebnisse nach den beiden anderen Bewertungsperspektiven Egalitär und Individualistisch zeigen, dass die wesentlichen Aussagen vom Typus stabil sind.

39 Die Bewertung nach Eco-Indicator weist der Kategorie Landnutzung ein hohes Gewicht zu.

40 Aggregierte Bewertungen gehen über die Anforderungen der ISO 14040 hinaus, stellen als Diskussionsgrundlage zur Entscheidungsfindung für die Auftraggeber eine wesentliche Erleichterung dar.

Abbildung 47 Aggregierte Umweltauswirkungen einer konventionellen und einer nanotechnologischen Holzbodenbeschichtung bewertet mit der Methode Eco-Indicator 99(H) – Beiträge von Wirkungskategorien



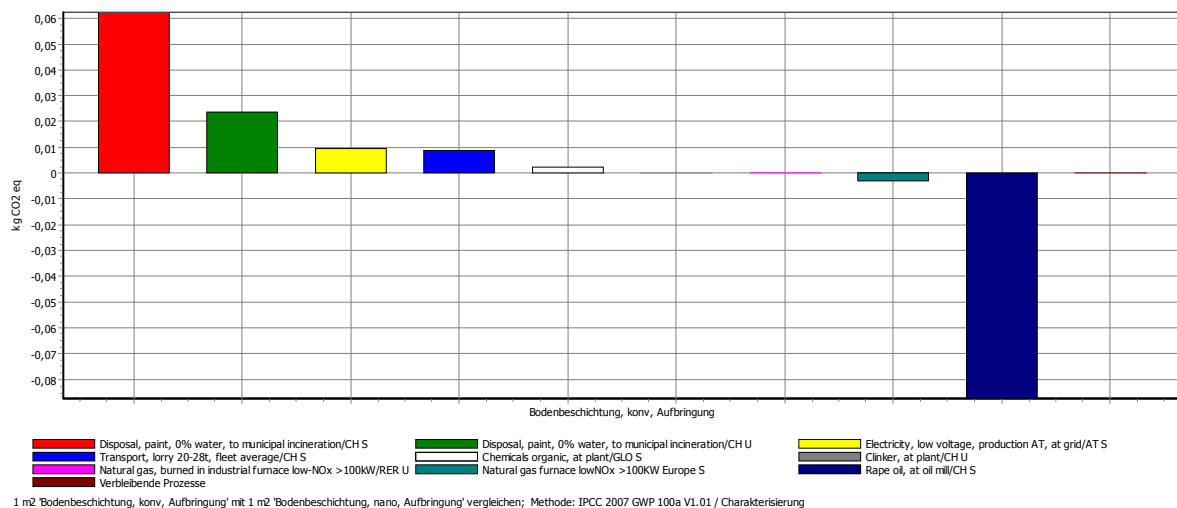
6.4.1.9 Detailergebnisse zu den Prozessbeiträgen

Im Folgenden werden für die einzelnen Bewertungsmethoden die Beiträge von einzelnen Prozessen dargestellt. Nachdem insgesamt eine unübersichtliche Vielzahl von Teilprozessen bilanziert wird, wird ein Grenzwert der Darstellung definiert. Der Grenzwert selbst wird in der Beschreibung zur Abbildung angegeben. Alle anderen Teilprozesse weisen einen Beitrag aus, der geringer ist als der Grenzwert und bilden gemeinsam einen Summenbalken am rechten Rand.

Hartöl-Beschichtung = Konventionelle Holzbodenbeschichtung; *haptiX* - Beschichtung = nanotechnologische Holzbodenbeschichtung.

IPCC 2007

Abbildung 48 Beiträge von Teilprozessen zum Klimawandel nach IPCC 2007, Produkt: Konventionelle Holzbodenbeschichtung (1 m²); Grenzwert der Darstellung: 0,1 %



KEA

Abbildung 49 Beiträge von Teilprozessen zum KEA, Produkt: Konventionelle Holzbodenbeschichtung (1 m²); Grenzwert der Darstellung: 0,1 %

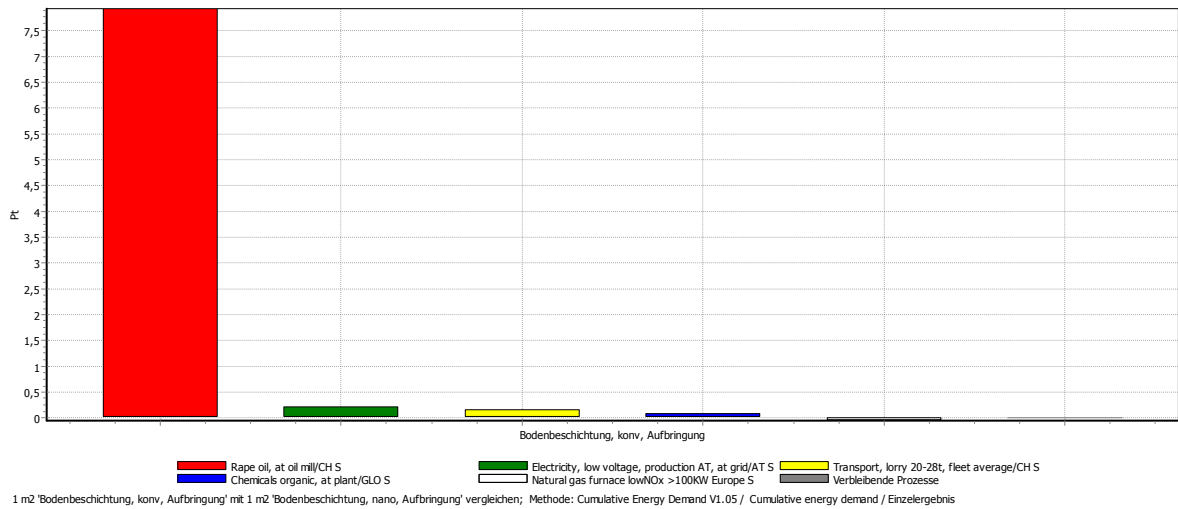
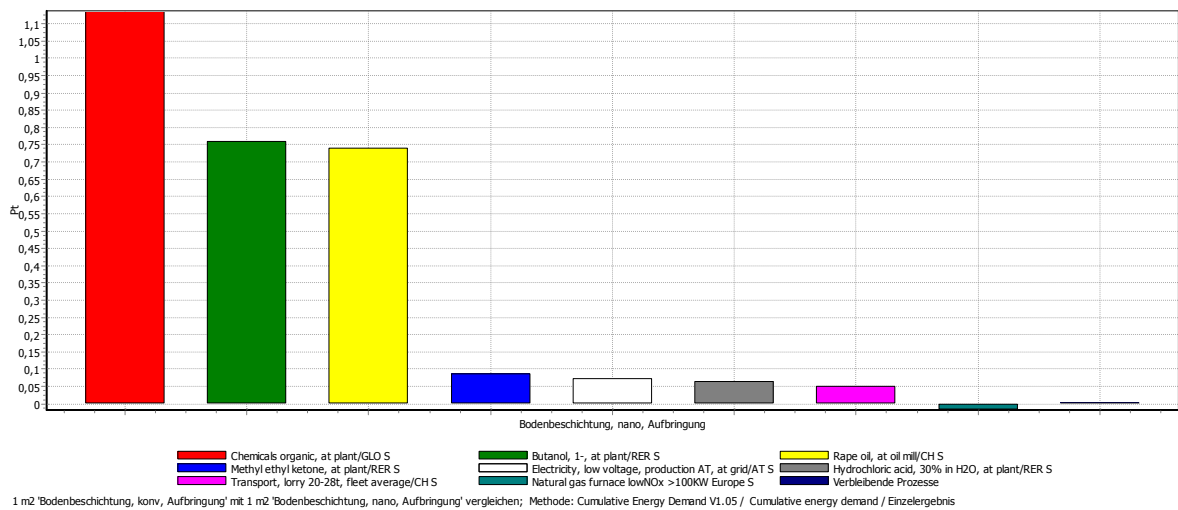


Abbildung 50 Beiträge von Teilprozessen zum KEA, Produkt: Nanotechnologische Holzbodenbeschichtung (1 m²); Grenzwert der Darstellung: 0,1 %



UBP 2006

Abbildung 51 Beiträge von Teilprozessen nach Ecological Scarcity, Produkt: Konventionelle Holzbodenbeschichtung (1 m²); Grenzwert der Darstellung: 0,1 %

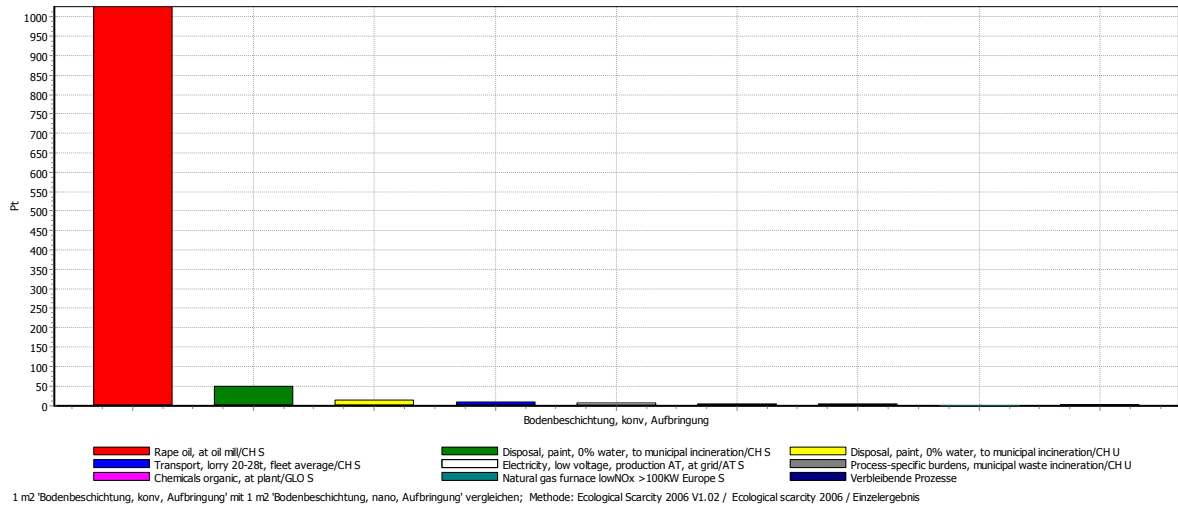
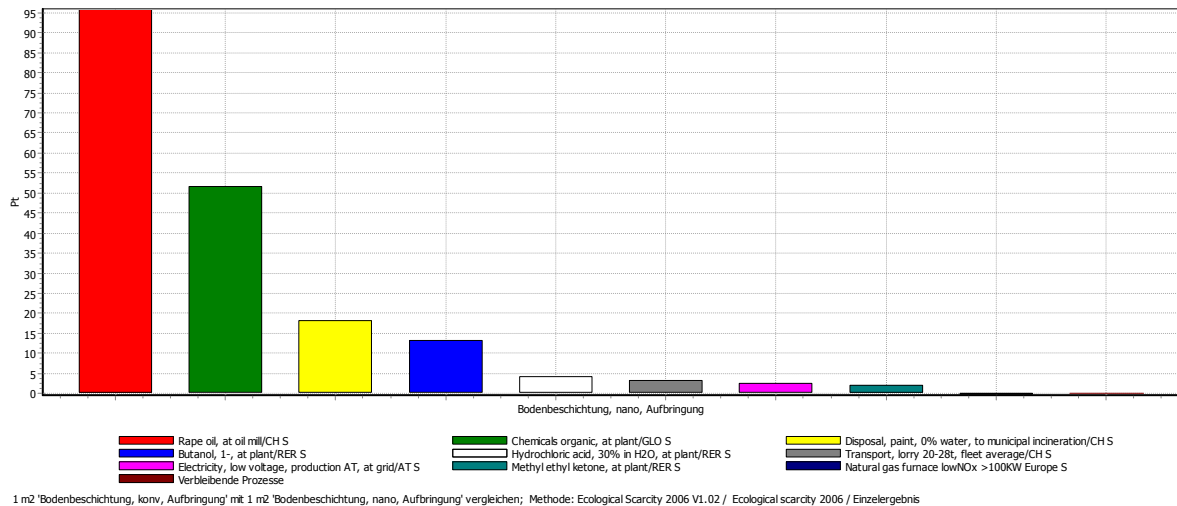


Abbildung 52 Beiträge von Teilprozessen nach Ecological Scarcity, Produkt: Nanotechnologische Holzbodenbeschichtung (1 m²); Grenzwert der Darstellung: 0,1 %



Eco-Indicator 99 (H)

Abbildung 53 Beiträge von Teilprozessen nach Eco-Indicator 99 (H), Produkt: Konventionelle Holzbodenbeschichtung (1 m²); Grenzwert der Darstellung: 0,1 %

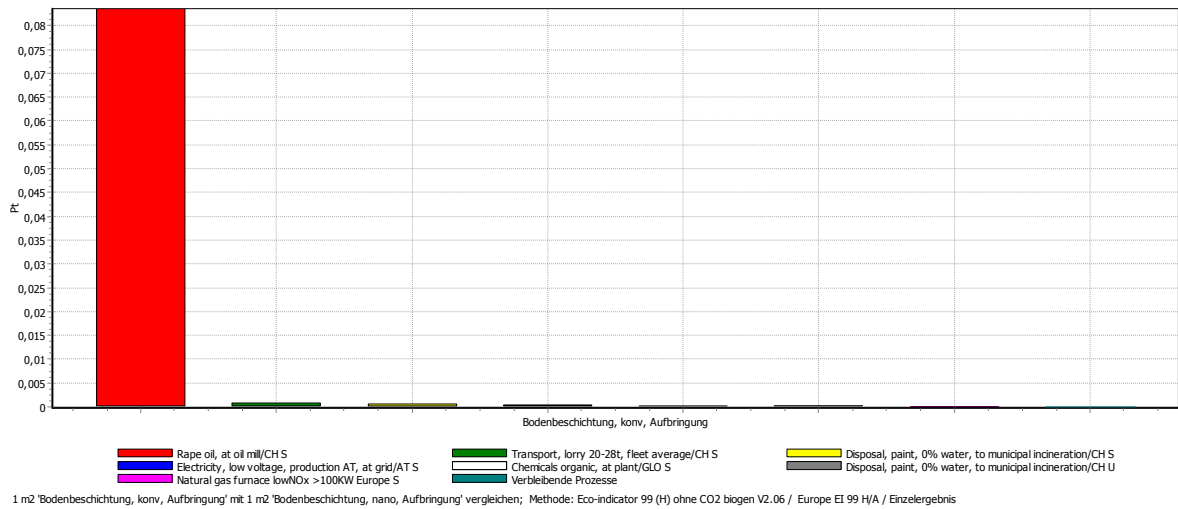
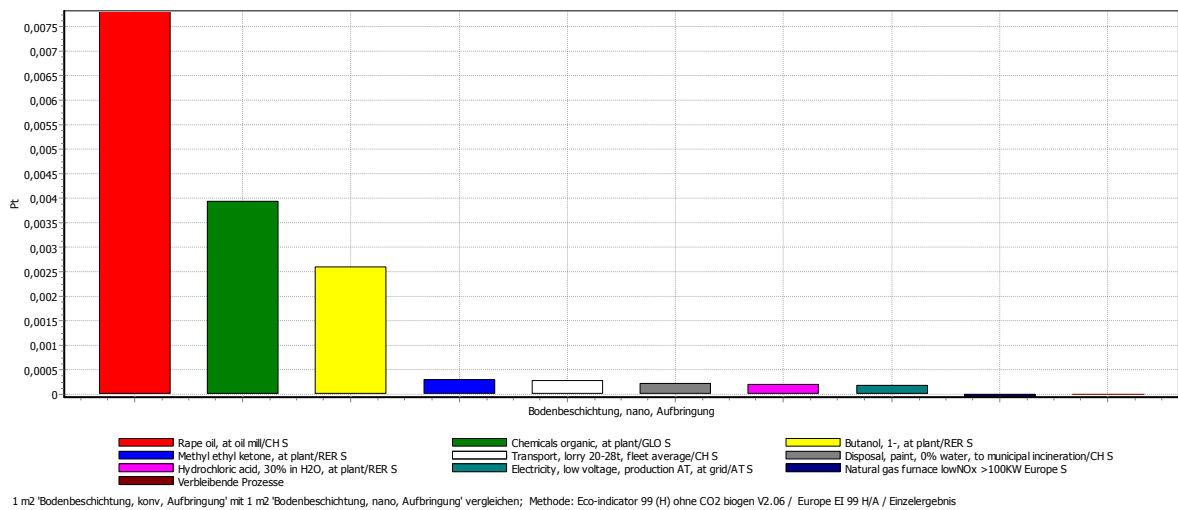


Abbildung 54 Beiträge von Teilprozessen nach Eco-Indicator 99 (H), Produkt: Nanotechnologische Holzbodenbeschichtung (1 m²); Grenzwert der Darstellung: 0,1 %



6.4.2 Risikomatrix *haptiX*

6.4.2.1 Einschätzung der Nanorelevanz

In **Tabelle 26** bis **Tabelle 28** wird für die Zusammensetzung, die Verarbeitung, die Nutzung und die Entsorgung des Beschichtungsmittels *haptiX* eine Risikoabschätzung in Bezug auf Nanorelevanz erstellt. Dabei werden den Angaben der Praxispartner eigenen Einschätzungen gegenübergestellt und letztere begründet

Tabelle 26 *haptiX*: Bestandteile

Komponente	Nanorelevanz (Hersteller)	Nanorelevanz (Einschätzung Nanorate)	Begründung
Organisch	0	0	Die Herstellerangaben erscheinen plausibel, obwohl die Komponente vom Hersteller nicht deklariert wurde. Bekannte, nicht-nanoskalige Chemikalien
Ölkomponente	0	0	
Lösungsmittel 1	0	0	
Lösungsmittel 2	0	0	
Salzsäure	0	0	

Tabelle 27 *haptiX*-Beschichtung: Herstellung und Applikation

Prozess	Nanorelevanz (Hersteller)	Nanorelevanz (Einschätzung Nanorate)	Begründung
Herstellen der Mischung und Aufbringung von <i>haptiX</i>	0	?	Als Prozess, der die Beschichtung ausbildet, wird der Sol-Gel Prozess deklariert. Ein völliger Ausschluss der Entstehung von Nanopartikel erscheint nicht zulässig

Tabelle 28 *haptiX*-Beschichtung: Nutzung und Entsorgung

Prozess	Nanorelevanz (Hersteller)	Nanorelevanz (Einschätzung Nanorate)	Begründung
Nutzung und Entsorgung	0	0	Das Entstehen von Nanopartikel aus der festen Matrix durch Abrieb wird als vernachlässigbar eingeschätzt.

6.4.3 Ökonomische Untersuchungen

Die untersuchte Oberflächenbeschichtung *haptiX* wurde im Rahmen des Projekts HOLIWOOD entwickelt und stellt eine neue Beschichtung für Holzfußböden dar. *haptiX* bietet im Vergleich zu herkömmlichen Öl-Systemen eine verbesserte Fleckbeständigkeit und Abriebfestigkeit. In der Nanotechnologie konzentriert sich die Firma auf die Herstellung, Verarbeitung und Anwendung von Nanopartikeln. Das Oberflächenbeschichtungsprodukt *haptiX* nutzt die Sol-Gel-Technologie und funktionalisiert Oberflächen und deren Eigenschaften.

Das Produkt wurde im Jahre 2009 auf dem Markt eingeführt. Das Produkt stellt dar gegenüber herkömmlichen Alternativen am Markt– Öl- oder Lacksysteme für Holz und Parkettboden eine technologische Neuerung – eine technologische Neuerung dar.

Die Holzindustrie ruht auf langjährigen Traditionen, einerseits weil die meisten Holz- und Sägewerkstätten innerhalb und außerhalb Österreichs in Familienbesitz sind, andererseits weil Produkt- und Prozessänderungen und die Verbreitung von Innovationen im Bereich der Holzindustrie überdurchschnittlich langsam geschieht. Es gibt am Markt wenig Anreize, neue Produkte – vor allem im Bereich nanotechnologischer Oberflächenbeschichtung und Oberflächenveredelung – einzuführen, da die etablierten Öl und Lacksysteme seit Jahrzehnten positive Eigenschaften aufweisen. Einerseits sind die „traditionellen“ Lösungen nicht nur preiswert und einfach zu verwenden. Andererseits verfügen die großen Hersteller im Bereich Holzindustrie über den höchsten technologischen Standard. Für die Verbreitung von technologischen –konkret nanotechnologischen – Erneuerungen sind gute Kooperationsmöglichkeiten und persönliche Vernetzungen vorausgesetzt.

Die Oberflächenbeschichtung für Fußboden und Parkettböden bieten neue Chancen für den Hersteller, aber auch für die Konsumenten. Die unkomplizierte Applikation, eine geringe Auftragsmenge, die reduzierte Trockenzeit für schnellere Stapelbarkeit zählen zu den wichtigsten Erneuerungen. Neue Chancen für die Kunden sind die Bewahrung der natürlichen Haptik der Holzoberfläche, die exzellente Anfeuerung und eine sehr gute Fleckbeständigkeit.

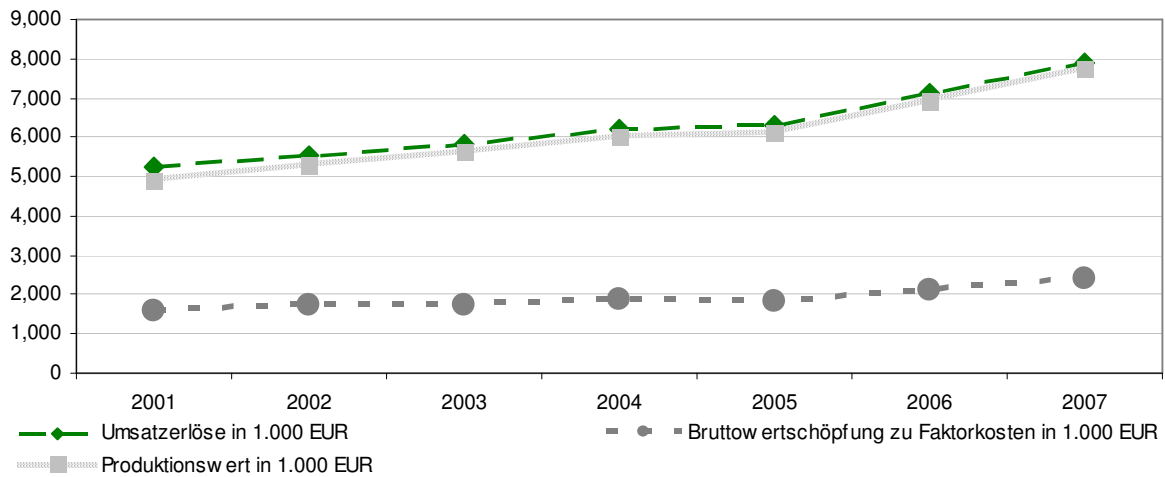
6.4.3.1 Sektor *Be- und Verarbeitung von Holz* (ohne Herstellung von Möbeln)

Für dieses Projekt ausgewählte Verbraucherprodukt „Fußbodenbeschichtung von Thermoholz“ kann nach der österreichischen Produktgruppe den „industriellen Dienstleistungen bei der Herstellung von Parkett- und Schiffböden“ (ÖCPA 20.3099) zugeordnet werden. Zur weiteren Analyse wird die ÖCPA-Güterklasse mit den statistisch erfassten Wirtschaftsaktivitäten im Bereich „Be- u. Verarbeitung von Holz“ (ÖNACE 20) und insbesondere die Herstellung von Konstruktionsteilen, Fertigbauteilen, Ausbauelementen und Fertigteilbauten aus Holz (ÖNACE 20.3) verknüpft. Dieser Bereich umfasst unter anderen auch die Parketherstellung, inklusive Fertigpakete, Parkettplatten, Legen von selbst hergestelltem Parkett und Schiffböden.

Die Holzindustrie zählte 2007 3.669 Betriebe in Österreich, davon sind rund 1.156 Sägewerke, rund 2.007 Werkstätten beschäftigen sich mit der Herstellung von Konstruktionsteilen, unter anderem auch mit Pakettboden. Die Holzindustrie ist ein äußerst vielfältiger Wirtschaftsbereich. Die wichtigsten Sparten sind, gemessen an der Produktion, die Sägeindustrie, der Baubereich, die Möbelindustrie, die Holzwerkstoffindustrie und die Skiindustrie.

Die Umsatzerlöse der österreichischen Holzindustrie betragen im Jahr 2007 gemäß Statistik Austria 5,1 % der Umsatzerlöse der österreichischen Sachgütererzeugung (7,9 Mrd. Euro) Dies bedeutet eine wertmäßige Steigerung um 5,5 % gegenüber dem Jahr 2006. Die Bruttowertschöpfung beträgt 2,3 Mrd. Euro, was 5 % der Bruttowertschöpfung der gesamten österreichischen Sachgütererzeugung ausmacht. Der Produktionswert der Branche befindet sich auf einem Rekordniveau und konnte in den vergangenen sieben Jahren um beachtliche 77 % erhöht werden.

Abbildung 55: Produktivität, Umsatz und Bruttowertschöpfung in der Holzindustrie 2001-2007

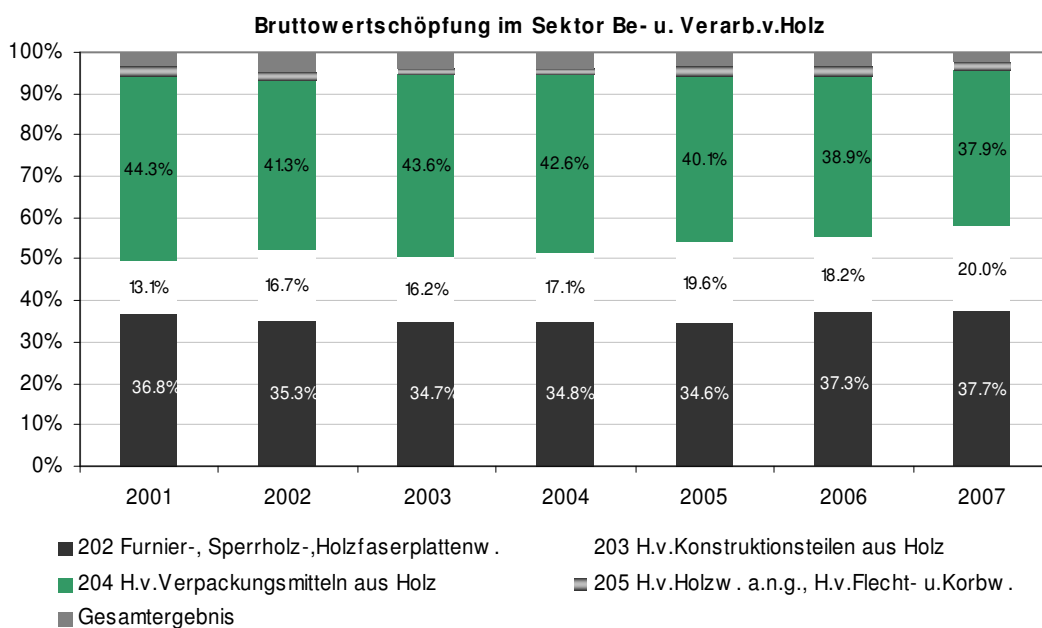
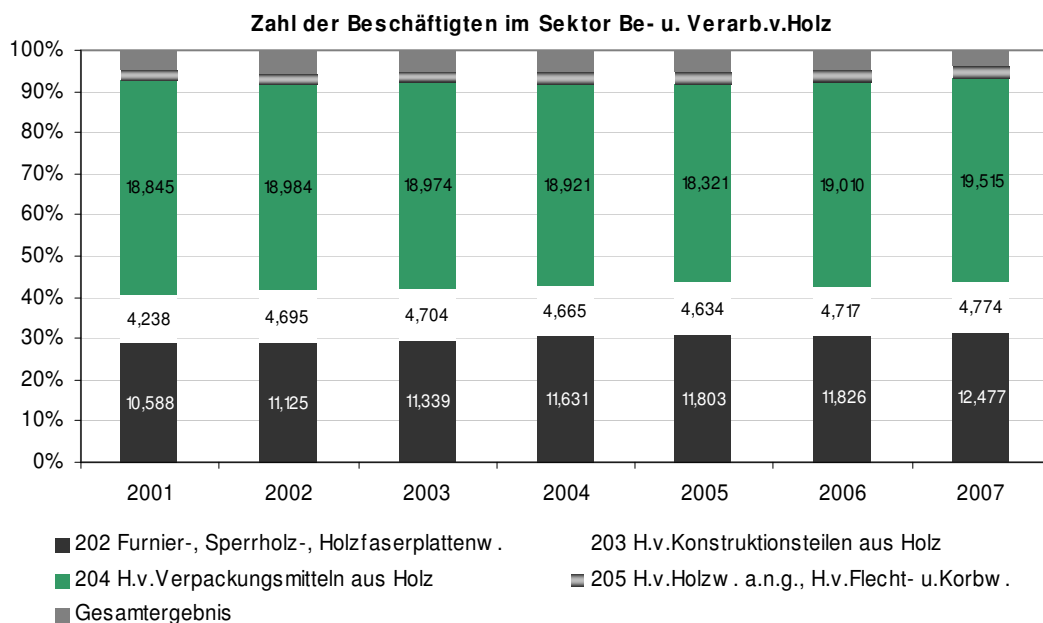


Quelle: Statistik Austria, Konjunkturindikatoren im Produzierenden Bereich 2008

Der Sektor ist weniger F&E-intensiv als die Chemieindustrie, rund 0,3 % des gesamten Umsatzes fließen in Forschungstätigkeiten. Der Sektor umfasste 2007 50 forschende Unternehmen und war für einen geringen Anteil (0,5 %) der von der Privatwirtschaft gestellten Ausgaben für Forschung und Entwicklung (BERD) in der österreichischen Sachgütererzeugung verantwortlich.

Mit 39.537 Beschäftigten im Jahr 2007 (2006: 38.583) nahm die Beschäftigtenzahl in der Holzindustrie leicht zu. Die Holzindustrie ist einer der größten Arbeitgeber aller 22 Industriezweige Österreichs und beschäftigt 6,18 % der Beschäftigten in der österreichischen Sachgütererzeugung.

Abbildung 56 Sektor „Be und Verarbeitung von Holz

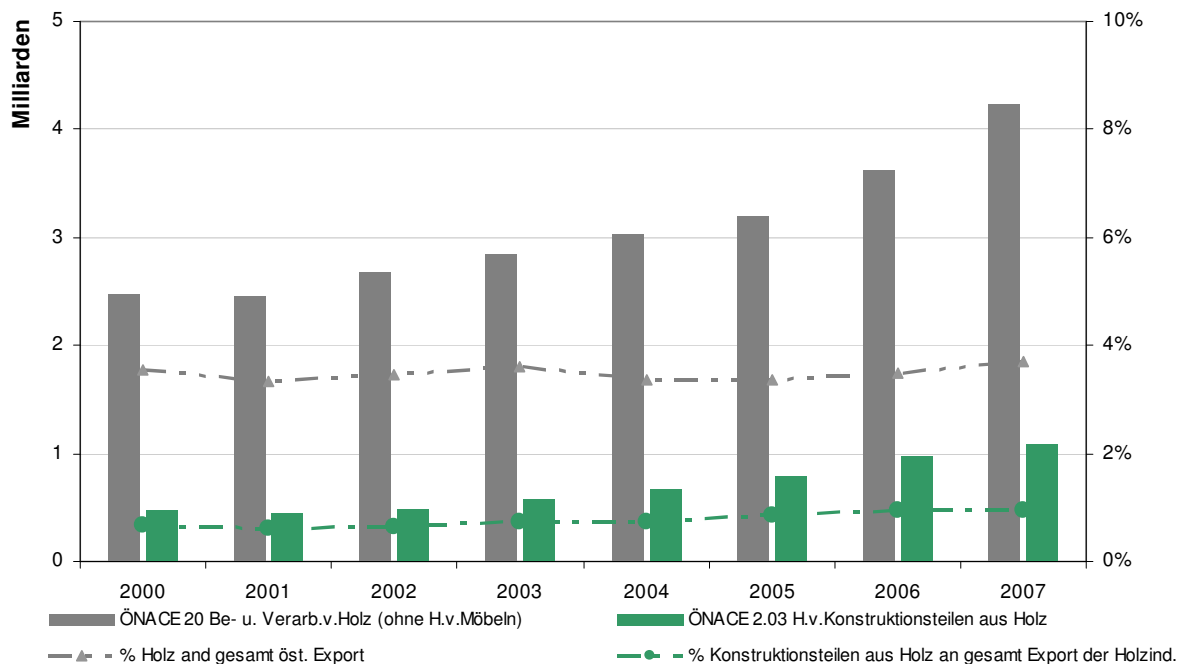


Quelle: STATISTIK AUSTRIA 2009, Österreichische Leistungs- und Strukturstatistik

Gemäß der jährlichen Bruttowertschöpfung, aber auch der jährlichen Beschäftigungszahl wird die Holzindustrie durch Unternehmen aus dem Bereich Säge-, Hobel- und Holzimprägnierwerke, Furnier-, Sperrholz-, Holzfaserverplatten sowie durch Hersteller von Konstruktionsteilen aus Holz dominiert. Wie in Abbildung 4. dargestellt, erwirtschaften diese Bereiche etwa 90 % der gesamten Wertschöpfung und beschäftigen 90 % der Gesamtbeschäftigten in der Holzindustrie.

Der Großteil der Betriebe der Holzindustrie hat eine klein- und mittelbetriebliche Struktur. Bemerkenswert ist, dass sich die Betriebe der Holzindustrie fast ausschließlich in privater Hand befinden.

Abbildung 57 Exporttätigkeiten in der Holzindustrie 2000-2007



Quelle: STATISTIK AUSTRIA 2009, Österreichische Außenhandelstatistik

Die Holzindustrie ist herausgegangen aus einer eher traditionellen Branche, orientiert sich zurzeit stark Richtung Außenhandel. Die Exportquote liegt bereits seit mehreren Jahren über 70 %; überproportional tragen dazu Nadelschnittholz, Leimholz, Holzwerkstoffe (Platten) und Ski bei. Das Gesamtvolumen 2007 betrug EUR 4,23 Mrd. Dies entspricht einem deutlichen Zuwachs gegenüber 2007 (EUR 3.62 Mrd.). Mit 75,8 % (EUR 4,50 Mrd.) war die Europäische Union der wichtigste Abnehmer österreichischer Holzprodukte. Insbesondere wurde nach Deutschland und Italien exportiert.

6.4.3.2 Die Bedeutung der Nanotechnologie in der Holzindustrie anhand der ausgewählten Produktfallstudien

Unter marktrelevanten Aspekten gesehen befindet sich die nanotechnologische Oberflächenbeschichtung und Veredelung im Holzbereich bereits in einem relativ fortgeschrittenen Stadium. Nanotechnologische Oberflächenbeschichtung für die Holzindustrie wird seit zwei bis drei Jahren von mehreren großen Herstellern stark beworben (darunter ist die Firma Evonik aus der chemische Industrie zu erwähnen). Durch den Zusatz von Nanopartikeln in konventionellen Lacken ergeben sich neue und verbesserte Eigenschaften und nanobasierte Farbeffekte. Das Anbringen einer Nanobeschichtung auf Holz erwies sich von der technologische Seite als äußerst schwierig, bedingt der rauhe Oberfläche de Holzstruktur.

Trotz der technologischen Chance scheint die größte Herausforderung der nanotechnologischen Oberflächenbeschichtung in der Holzindustrie die Verdrängung der bestehenden und durchaus funktionierenden kommerziellen Produkte zu sein. Diese kommerziellen Produkte haben sich am Markt gut etabliert und weisen positive Eigenschaften auf, wie z.B. das gute Preis-Leistungs-Verhältnis und eine lange Lebensdauer. Die nanotechnologische Oberflächenbeschichtung stellt zwar eine technologische Neuerung dar, führt trotzdem bloß zur Differenzierung des bestehenden Marktes. (Experteninterview Dr. Stefan Köstler)

7 Schlussfolgerungen

7.1 Aus der Sicht der Ökobilanz

Die Ökobilanz ist die Methode der Wahl wenn es darum geht, bei Vergleich von Produkt und Prozessalternative(n) ökologische Vorteile herausarbeiten. NanoRate berechnete bzw. bewertete den Umwelt- und Ressourcennutzen von Nano-Beschichtungen im Vergleich zu herkömmlichen Beschichtungen bzw. unbeschichteten Beschichtungsträger in zwei Produktfallstudien (*Nanoprotect*, *haptiX*), welche auch Methoden der Ökobilanzierung integrieren. Diese werden im Abschnitt 6 ausführlich dargestellt. Der Vergleich erfolgt über den gesamten Lebenszyklus und baut auf den dazu bereitgestellten bzw. verfügbaren Wissens- und Datenbestand auf. Daraus ergibt sich die Frage, ob die Datenlage –also Angaben zur Produktzusammensetzung, zur Applikation und dessen Prozessablauf, zur Nutzung und Entsorgung – für die Durchführung einer Ökobilanzierung ausreichend war.

Datenbasis Herstellung und Zusammensetzung

Vom Produktentwickler bzw. -anbieter wurden die Schlüsselkomponenten der Beschichtungssysteme nicht eindeutig deklariert bzw. deren chemische Zusammensetzung nur vage umschrieben („organischer Bestandteil, organische Komponente“). Damit sind auch die Herstellungsprozesse im Detail nicht bekannt. Für die Sachbilanz wurde deshalb ein Ersatzdatensatz für organische Substanzen (*Chemicals, organic, at plant*) aus einer Ökobilanzierungsdatenbank (Ecoinvent) herangezogen. Dieser Datensatz entspricht einem Durchschnittswert aus der Herstellung von 20 Bulkchemikalien (Kohlenwasserstoffe, Monomere, org. Lösungsmittel). Bekannt ist, dass die organische Komponente (für *Nanoprotect*) von einem Chemiedienstleister hergestellt wird, also keine eigene Infrastruktur für die Synthese benötigt wird. Auch aus diesem Grund erscheint es vertretbar, die Sachbilanz mit einem Ersatzdatensatz durchzuführen.

Datenbasis – Applikation, Nutzung und Entsorgung

Die Applikationen von *Nanoprotect* bzw. *haptiX* stellen vom technischen Aufwand her relativ einfache Prozesse mit einem eher geringen Energie- und Ressourcenaufwand dar. Berücksichtigt werden Aufwendungen für Energie (Trocknung) und Transport. Die Nutzungsphase hat bei Beschichtungen insofern eine erhebliche Bedeutung, als ein Aufwand für Pflege und Reinigung anfällt. Für *Nanoprotect* wurde versucht, diesen in einem mehrwöchigen Praxisversuch abzuschätzen. Dieser lieferte Hinweise für einen verminderten Reinigungsaufwand. Für *haptiX* bzw. dessen Vergleichsprodukt *Hartöl* standen keine Daten für den Pflegeaufwand während der Nutzungsphase zur Verfügung. Ebenso waren keine Daten für die Entsorgung der Beschichtungen verfügbar. Im Vergleich zum Entsorgungsaufwand der Beschichtungsträger Glas bzw. Holz sind diese aber vermutlich eher marginal. Der Beschichtungsträger (Glas bzw. Holz) wurde in seinen Auswirkungen (Herstellung, Entsorgung) nicht berücksichtigt, da sich seine Wirkungen in der vergleichenden Bilanz kürzt.

Wirkungsbilanz *Nanoprotect*

Die in der Wirkungsabschätzung berechneten Umwelteffekte zeigen, dass die Herstellung und Applikation der Beschichtung auf die Glasoberfläche über einen angenommenen Nutzungszeitraum von 5 Jahren und im Vergleich zu einer ebenso lang genutzten unbeschichteten Duschwand nur zu geringfügig höheren Umweltbelastungen führt⁴¹. Die Unterschiede betragen bei den Methoden IPCC 2007, Kumulierter Energieaufwand (KEA) und Eco-Indicator 99 weniger als 2 %, bei der Methode Umweltbelastungspunkte liefert die Beschichtung im Vergleich zur unbeschichteten Oberfläche eine kumulierte Mehrbelastung von ca. 7%.

Demnach ist die durch Aufbringung der nanoskaligen Beschichtung (Material- und Energieinput) verursachte erhöhte Umwelt- und Ressourcenbelastung gering im Verhältnis zum Reinigungsaufwand während der Nutzungsphase. Insgesamt resultiert die Umwelt- und Ressourcenbelastung hauptsächlich aus dem Reinigungsmiteleinsatz in der Nutzungsphase. Der Praxisversuch (Hotel Marriott) bzw. die dabei gemachten Aussagen des Reinigungspersonals lassen einen verminderten Reinigungsaufwand – etwa um die Hälfte – plausibel erscheinen.

Vom Produktanbieter wird als Nutzen angeführt, dass die damit erzeugte nanoskalige Oberflächenstruktur im Zusammenhang mit einem verminderten Reinigungsaufwand die Lebensdauer des Beschichtungsträgers (= Glaswand) verlängert. Begründet wird dies damit, dass die erhöhten Reinigungserfordernisse eine raschere Abnutzung der unbeschichteten Glaswand und damit einen rascheren Austausch als bei einer beschichteten Glaswand bewirken. In der vorliegenden Untersuchung wurde eine Lebensdauer von 5 Jahren für die beschichtete Glaswand als auch für die unbeschichtete Glaswand angenommen. Sollte letztere tatsächlich im Vergleich kürzer sein – wofür dem Projektteam allerdings keine Daten zur Verfügung gestellt wurden – würde sich damit der ökologische Nutzen der Beschichtung im Sinne einer Lebensdauererlängerung erhöhen.

Wirkungsbilanz *haptiX*

In der Wirkungsbilanz wurden nur Herstellung und Applikation berücksichtigt, für die Nutzung und Entsorgung konnten keine Umwelt- und Ressourcenbelastungen erfasst werden.

In der Wirkungsabschätzung nach IPCC 2007 (= Wirkungskategorie Treibhauseffekt) schneidet die *Hartöl* Beschichtung aufgrund seines höheren Rapsölanteils – Raps bindet während seines Wachstums CO₂ – besser ab als die *haptiX* Beschichtung (*haptiX*: 0.0725 kg CO₂eq; *Hartöl*: 0,016 kg CO₂eq).

⁴¹ Zu beachten ist, dass die aggregierenden Methoden Eco-Indicator und Umweltbelastungspunkte neben Umwelt und Ressourceneffekte auch gesundheitliche Effekte integrieren

Die Berechnungsmethode Kumulierter Energieaufwand (KEA) liefert für die *Hartöl* Beschichtung einen höheren Energieaufwand. Grund ist der erhöhte Bedarf an Erneuerbarer Energie (Biomasse) durch vermehrten Einsatz von Rapsöl (*haptiX*: 2,9 MJeQ; *Hartöl*: 8,3 MJeQ).

Die Methode UBP 2006 weist für die *Hartöl* Beschichtung auf Grund der mit dem landwirtschaftlichen Anbau von Raps verbundenen Emissionen gegenüber der *haptiX* Beschichtung eine höhere Umweltbelastung aus (*haptiX*: 190 UBP; *Hartöl*: 1115 UBP).

Bei Eco-Indicator 99 weist die *Hartöl* Beschichtung wegen seines hohen Ölanteils und der damit verbundenen Landnutzung eine schlechtere Bilanz (höheren Score) auf als die *haptiX* Beschichtung (*haptiX*: 0,031 : *Hartöl* 0,177) .

Für die untersuchten Produkte zur Fußbodenbeschichtung – *haptiX* sowie *Hartöl* – lässt sich auf Basis der verfügbaren Daten, der getroffenen Annahmen und der darauf aufbauenden Wirkungsabschätzungen mit den Methoden Eco-Indicator 99, UBP 2006, IPCC 2007 und KEA folgende Schlussfolgerung in Bezug auf die Umwelt- und Ressourcenbelastung ziehen:

Bei der konventionellen Beschichtung mit *Hartöl* ist für dieselbe funktionelle Einheit (1 m² Fußboden) die dreifache Menge an Beschichtungsmaterial erforderlich (33 g gegenüber mindestens 100 g). Damit verbunden ist ein im Vergleich mit der *haptiX* Beschichtung relativ und absolut höherer Anteil der Ölkomponente. Insbesondere dieser führt bei Methoden, die Landnutzung, Schadstoffeinträge und sonstige – über das Treibhauspotenzial hinausgehende – Umwelteffekte berücksichtigen, zu einem schlechteren Abschneiden des Beschichtungsmittels auf Naturölbasis. Was den Beitrag zum Treibhauseffekt betrifft schneidet *Hartöl* jedoch besser ab, weil es zum weit überwiegenden Teil aus nachwachsenden und damit weitgehend klimaneutralen Rohstoffen besteht.

Mit Naturölen behandelte Hölzer sind regelmäßig zu pflegen. Dieser Aspekt während der Nutzungsphase wurde in der Ökobilanz nicht berücksichtigt und könnte die Bilanz – da für *haptiX* ein geringerer Pflegeaufwand angenommen wird – zu Gunsten von *haptiX* verändern.

Fazit

Bei Erstellung der Sachbilanz war man in beiden Produktfallstudien mit dem teilweisen Fehlen von Herstellerangaben konfrontiert, wofür Ersatzdatensätze gefunden bzw. Annahmen getroffen werden mussten. Diese erscheinen insgesamt vertretbar und plausibel, erhöhen aber die Unsicherheit der Ergebnisse. Über die Wirkungsbilanz konnte in beiden Produktfallstudien im Vergleich zu einem herkömmlichen Bodenbeschichtungssystem (Naturöl) bzw. der unbeschichteten Alternative (Glaswand) ein kumulierter Umwelt- bzw. Ressourcennutzen berechnet werden, der einerseits auf eine verminderte Applikationsmenge (*haptiX*), andererseits auf einen verminderten Reinigungsaufwand (Einsparen von Reinigungsmittel) in der Nutzungsphase (*Nanoprotect*) zurückgeführt werden kann.

Beim Treibhauseffekt (GWP) schneidet das auf nachwachsenden Pflanzenölen basierende Alternativprodukt *Hartöl* besser ab als *haptiX*. Grund dafür ist, dass nachwachsende Rohstoffe eine weitgehend

neutrale Klimabilanz aufweisen. Dies gilt jedoch nicht für One point Scores Eco-Indicator 99 und UBP 2006, die etwa auch den Einsatz von Flächen, Düngemittel und PSM berücksichtigen.

7.2 Aus der Sicht der Risikodiskussion

Bei Beurteilung der Nachhaltigkeit neuer Produkte muss neben der objektiven Beurteilung des ökonomischen und des ökologischen Nutzens aus der Lebenszyklusperspektive auch eine Risikobewertung erfolgen. Die LCA erfasst Effekte, welche die Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit betreffen, zurzeit teilweise, soziale Effekte gar nicht. Die Auswirkung von Nanomaterialien auf Mensch und Umwelt sind in einer LCA bisher noch nicht integriert bzw. integrierbar, da das Wissen noch sehr lückenhaft ist. Dazu werden zurzeit einige Projekte vom 7. Rahmenforschungsprogramm der EU finanziert, wie z.B. *NanoHouse* und *NanoSustain*⁴²

Der derzeitige Ansatz in der Risikobetrachtung kann nur von Fall zu Fall erfolgen. Die Untersuchung konkreter Produktbeispiele, wie sie in diesem Projekt erfolgte, liefert wertvolle Beiträge zur Weiterentwicklung der Risikobewertung von Nanoprodukten. Zur Entwicklung einer systematischen Risikobewertung wurden folgende Risikobewertungssysteme analysiert: CENARIOS⁴³ aus der Schweiz, das Nano-Risk-Framework⁴⁴ aus den USA (siehe 1. Zwischenbericht) und das Schweizer Vorsorgeraster für synthetische Nanomaterialien⁴⁵. Das letzte wurde als für KMU das am besten handhabbare Instrument beurteilt. Da zum Einen die Entwicklung eines allgemein gültigen Rasters den Rahmen dieses Projektes bei weitem sprengen würde, und es zum Zweiten sinnvoller ist, auf bestehende Systeme aufzubauen, entschied sich das Projektteam dafür, dieses Raster als Grundlage für die Risikobewertung zu verwenden als auch für ähnliche Vorhaben zu empfehlen. In die Weiterentwicklung des Instrumentes Vorsorgeraster werden auch Inputs aus diesem Projekt fließen.

Es wurde eine Risikobewertungsmatrix entworfen, die die einzelnen Prozessschritte zur Erzeugung, Verwendung und Entsorgung der Fallbeispiele mit möglichen Gesundheitlichen und Umweltauswirkungen darstellt. Eine entscheidende Rolle für die Beurteilung spielte dabei die Frage der Nanorelevanz.

Nanospezifische Risiken treten nur dann auf, wenn Nanomaterialien, die in 3 Dimensionen (Nanopartikel, engl. "nanoparticles") oder in 2 Dimensionen (Nanostäbchen, engl. "nanorods") nanoskalig sind, eingesetzt werden oder entstehen. Als Abkürzung für diese Materialien wird NPR verwendet. Nanostrukturierte Oberflächen, die keine Nanopartikel oder –stäbchen enthalten, zählen zwar zu den Nanomaterialien (und die entsprechenden Produkte zu den Nanoprodukten). Diese Oberflächenmate-

⁴² Vortrag von Georgios Katalagarianakis, EU-Kommission, DG Research bei der Tagung „Risk Governance of Nanotechnologies - Possible Health Effects of Manufactured Nanomaterials“ an der österr. Akademie der Wissenschaften vom 24.9.2009 <http://nanotrust.ac.at/nano09/katalag0909.pdf>

⁴³ http://www.tuev-sued.de/technische_anlagen/risikomanagement/nanotechnologie

⁴⁴ <http://nanoriskframework.com>

⁴⁵ <http://www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00228/00510/05626/>

rialien unterscheiden sich aber aus einer Risikosicht nach dem bisherigen Wissen nicht von Schichten mit höherer (bzw. gröberer) Schichtdicke.

Es wurde ein Formular (= Vorblatt zum Schweizer Vorsorgeraster) zur Erfassung der Nanorelevanz erstellt. Damit wird abgefragt, ob und in welchen der einzelnen Prozessschritte NPR eingesetzt werden oder entstehen. Dieses Formular wurde den Herstellern der Produkte *Nanoprotect* und *haptiX* vorgelegt. In den Herstellerbestätigungen wird der Einsatz von NPR oder ihre Entstehung während des gesamten Lebenszyklus ausgeschlossen.

Im Projektteam ergaben sich Diskussionen über die Nanorelevanz des Sol-Gel-Prozesses an sich (Kapitel 5.1), der zur Herstellung der *haptiX*-Bodenbeschichtung eingesetzt wird. Vermutlich ist er auch der bestimmende Prozess bei der Herstellung der *Nanoprotect*-Beschichtung, dazu liegen aber keine konkreten Angaben vor. Nach allgemeiner Vorstellung entstehen dabei zumindest intermediär Nanopartikel. Dieser Prozess kann auch zur Herstellung von Nanopartikeln eingesetzt werden.

Trifft es zu, dass die intermediär gebildeten Nanopartikel in kürzester Zeit weiterpolymerisieren und nicht freigesetzt werden, kann daraus keine Nanorelevanz abgeleitet werden. Dies kann auch der Grund sein, warum die Hersteller die Erklärung entsprechend ausgefüllt haben.

Nach Meinung des Projektteams ist es bis zur endgültigen Klärung und einer Beurteilung der Nanorelevanz des Sol-Gel-Prozesses (bzw. schichtbildenden) Prozesses mit Ja oder Nein eine genaue Untersuchung des Prozessschrittes der Sol-Gel-Umwandlung nötig bzw. ausständig. Diese genaue Ausdifferenzierung könnte nur in Zusammenarbeit mit den Herstellern erfolgen und war im Rahmen des Projektes nicht möglich. Die beteiligten Firmen müssten dazu einen genaueren Einblick in den Prozessablauf bzw. in die dabei eingesetzten Chemikalien geben.

Sollte nach der genauen Ausdifferenzierung eine Nanorelevanz festgestellt werden, sind die beschriebenen Schritte bzw. eine weitergehende Anwendung des Vorsorgeraster und gegebenenfalls weitere Maßnahmen angezeigt. Zum jetzigen Stand wird mit der „?“ Bewertung der Nanorelevanz des Prozessschrittes in Abschnitt 6.3.2 und 6.4.2 eine Informationslücke angezeigt.

7.3 Aus einer ökonomischen Perspektive

Derzeit gibt es keine eigene Branche *Nanotechnologie*. Auf Grund von fehlenden Indikatoren und Statistiken, kombiniert mit dem noch nicht ausgereiften Charakter der Nanotechnologie, scheinen sozioökonomische Auswirkungen schwer abschätzbar zu sein. Im Allgemeinen stellen Literaturanalysen, Experteninterviews, Warenbestandsaufnahmen und Marktprognosen die wichtigsten Quellen für die Beurteilung sozioökonomischer Auswirkungen dar. Ein anderer Zugang ist die Zuordnung spezifischer Anwendungsbereiche und Kommerzialisierungswege (von denen einige zur Bildung von Wertschöpfungsketten beisteuern) zu wirtschaftlichen Sektoren mit allgemeingebräuchlichen und vergleichbaren ökonomischen Indikatoren.

Die Nanotechnologie ist ein Querschnittsthema, das vielfältige Verknüpfungen zu verschiedenen Sektoren (Chemie, Elektronik, Optik usw.) aufweist. Nano-Produkte finden immer breiteren Eingang in Verbraucherprodukte in den Bereichen Kosmetik, Glas- und Keramikverarbeitung, Haushalt, Autoherstellung und bei der Herstellung von Holzwaren etc.

Informationen über bereits vermarktete Nano-Produkte und die nanotechnologischen Innovationstätigkeiten innerhalb der Unternehmungen sind spärlich. Öffentlich zugänglich und nennenswerte Informationsquellen sind: Die Datenbank des amerikanischen Woodrow Wilson Centers sowie die deutsche *Nanoproducts* Datenbank. Die ersten österreichischen Datenerhebungen zu Nano-Produkte und nanotechnologische Innovationstätigkeiten wurden im Projekt *NanoTrust* der Österreichischen Akademie der Wissenschaften durchgeführt.

Die Potenziale der Nanotechnologie beeinflussen die Wettbewerbsfähigkeit einer Industriebranche. Sie stellen die Industrie vor die Aufgabe, Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung schnell in die Praxis umzusetzen, um die Anschlussfähigkeit im internationalen Wettbewerb zu erhalten. Dabei gilt es unter anderem, die bisherigen Grenzen der Produktionstechnologien zu überwinden, um neuartige, leistungsfähigere Produkte prozesssicher und wirtschaftlich herzustellen. Das bedeutet wiederum auch, dass kommerzielle Produkte aus dem Markt verdrängt werden.

Solche neuen und leistungsfähigen Nano-Produkte (nano-skalige Oberflächenbeschichtungen) wurde im Rahmen des Projekts behandelt. Aus Mangel an Sekundärdaten oder relevanter Literatur ist es schwierig die Bedeutung der ausgewählten Einzelprodukte darzustellen. Betrachtet man aber die Wertschöpfungsstufe von Endprodukten, so ergeben sich erhebliche Marktvolumina für Produkte, deren Funktionalität wesentlich durch Nanoschichten bestimmt bzw. verbessert wird.

Zu unterscheiden ist zwischen direkten Umsätzen mit Nanokomponenten und Umsätzen mit Produkten, in denen Nanotechnologien inkorporiert sind. Das Datenmaterial zur wirtschaftlichen Bedeutung der Nanotechnologie ist allerdings – nicht nur in Österreich – noch sehr lückenhaft, eine allgemein anerkannte breite Datenbasis liegt bisher noch nicht vor.

Die Hebelwirkung der neuen Technologie ist als entscheidender Faktor für das Marktvolumen anzusehen. Internationale Studien besagen, dass nicht der direkte Umsatz mit Nanokomponenten wesentlich ist, sondern die vielfältigen Auswirkungen der Technologie in verschiedenen Anwendungsbereichen. Unternehmen, die sich auf Nanotechnologie konzentrieren, sind gezwungen, den schwierigen Übergang von der wissenschaftlichen Forschung zur Produktverbreitung auf dem Hersteller- und Verbrauchermarkt zu meistern. Als hilfreich werde sich dabei oft die Entwicklung strategischer Partnerschaften erweisen.

Um die Bedeutung für die österreichische Industrie ableiten zu können, wurden die beiden ausgewählten Nanobeschichtungen den konventionellen Alternativen (gewöhnliche Lacke und Oberflächenveredelung) bzw. den Wirtschaftsbranchen zugeordnet. Diese Produktalternativen der nanotechnologischen Produkte (Beschichtungen, Lacke und Pigmente) lassen sich der chemischen Industrie zuzuordnen.

Die chemische Industrie ist gemessen an der Bruttowertschöpfung die drittgrößte Industriebranche in Österreich. Die breite Anwendungspalette der Nanotechnologie in der Chemie betrifft Innovationen in den Bereichen Nanobeschichtungen und Lacke. Die Lackindustrie ist bisher der einzige Bereich, wo nanoskalische Materialien bereits in Produkten verarbeitet werden. Entsprechend einer Aussage des FCIÖ beträgt deren Marktanteil an Lacken und Anstrichmitteln in Österreich derzeit etwa 5 – 10 % der österreichischen Chemieindustrie und wird im Jahr 2015 einen geschätzten Anteil von 30 % erreichen. Laut Schätzungen des FCIÖ wird der Branchenumsatz innerhalb des nächsten Jahrzehnts zu fast einem Drittel mit Nano-Produkten erwirtschaftet werden.

Die Nano-Beschichtungen sind in der Holzindustrie sowie in Glas- und Keramikindustrie einsetzbar. In der Holzindustrie und auch in der Verarbeitung von Glas und keramischen Wand- und Bodenfliesen können mit Hilfe von Nanobeschichtungen völlig neue Produkte mit neuartigen Eigenschaftsprofilen erzeugt werden. Der Einfluss der Nanotechnologie auf den künftigen wirtschaftlichen Erfolg der Glasverarbeitung wird als hoch bewertet, Nanobeschichtungen stellen für die wenig forschungsintensive Glasindustrie eine enorme technologische Innovation dar. Der Marktanteil der Nanobeschichtungen mit *easy to clean*-Effekt lässt sich derzeit nicht abschätzen, weil die Verwendungsmöglichkeiten in den verschiedenen Segmenten der Glasindustrie noch längst nicht ausgeschöpft ist und weil der Markt für Nanobeschichtungen stark differenziert ist und neben dem *easy to clean*-Effekt noch weitere, die Funktion bestimmende Eigenschaften am Markt verfügbar sind.

Die Holzindustrie hat eine lange Tradition und gut etablierte und effektive Beschichtungsprodukte, Produkt- und Prozessänderungen sowie die Verbreitung von Innovationen im Bereich der Holzindustrie geschehen eher langsam. Der Wettbewerb am Markt der Nano-Produkte scheint hauptsächlich durch den Preis und weniger durch die technologische Erneuerung getrieben zu sein. Wichtig wird sein, dass für KonsumentInnen als auch den Handel der Nutzenvorteil zwischen den verschiedenen Beschichtungssystemen erkennbar ist.

7.4 Empfehlungen

Aus der Risikoperspektive

Eine genaue Risikobeurteilung dient der Absicherung von Herstellern, ArbeitnehmerInnen und KonsumentInnen. Die Beurteilung von möglicherweise auftretenden nanospezifischen Risiken über den gesamten Lebenszyklus eines Produktes bedeutet keine Verurteilung von Firmen und drohende Regulierungen, sondern sollte ihrer Sicherheit und Absicherung dienen. Eventuell nötige Maßnahmen können zeitgerecht eingeführt werden, oder die Bewertung, dass die vorhandenen Maßnahmen nach dem derzeitigen Stand des Wissens ausreichend sind, kann so quantifiziert, objektiviert und transparent gemacht werden.

Die Einführung von Kategorisierungen, Rastern und die Ausdifferenzierung über den gesamten Lebenszyklus sind wesentliche Elemente der Risikobewertung von Nanomaterialien und -produkten. Solange keine Risikobewertungen für Gesundheits- und Umweltschutz vorliegen, ist eine Kategorisierung der Gefährdungen, wie sie zum Beispiel im Abschlussbericht der NanoKommission vorgeschlagen werden, ein erster Schritt bei der Beurteilung eines unbekanntes Produktes (siehe dazu auch Abschnitt 5.3). Dabei muss über den gesamten Lebenszyklus differenziert werden. Dies wurde unter Verwendung des im Vorsorgeraster für synthetische Nanomaterialien umgesetzt. Darin werden verschiedene Daten zu den Nanomaterialien sowie die Nanorelevanz an sich abgefragt und bepunktet. Zurzeit wird von der Gruppe, die das Raster publiziert hat, ein Fragebogen entwickelt, der die relevanten Parameter zum Ausfüllen des Rasters, wie Größe der Partikel, Daten zum Agglomerationsverhalten, etc. abfragt. Damit wird es künftig möglich sein, dass anhand unabhängigen Stellen diesen Raster verwenden.

Transparenz und enge Zusammenarbeit von Herstellern mit den Institutionen, die mit der Risikobewertung betraut sind, ist für eine genaue und umfassende Risikobewertung ausschlaggebend. Die Hersteller bestätigten auch schriftlich, dass sie keine Nanopartikel oder Nanostäbchen (NPRs) einsetzen oder dass diese bei der Produktapplikation oder -nutzung entstehen. Trotzdem konnte in den konkreten Fallbeispielen eine möglicherweise gegebene Nanorelevanz (= Auftreten von NPRs) im Sinne des Schweizer Vorsorgerasters nicht restlos geklärt werden, obwohl die Angaben und Daten insgesamt auf ein geringes Gefährdungspotenzial hindeuten: Im Verlaufe des Sol-Gel-Prozesses, der zumindest in einem, möglicherweise bei beiden Produktapplikationen der die Schicht bildende Prozess ist, können zumindest intermediär Nanopartikel auftreten. Zur genauen Abklärung des Sachverhaltes wäre es nötig, dass die Firmen einen genaueren Einblick in die vorhandenen Prozesse und eingesetzten Chemikalien geben.

Das Projektteam empfiehlt aus den gemachten Erfahrungen heraus daher die Ausarbeitung eines Verfahrens, das den Datenfluss zwischen Hersteller und (unabhängige) Bewertungseinrichtungen strukturiert (Checklisten usw.) und erleichtert, indem es die Unternehmensdaten schützt. Letzteres kann etwa durch verbindliche Geheimhaltungsklauseln gewährleistet werden.

8 Diskurs: Zur Auszeichnung von Nanoprodukten mit Umweltzeichen

Zunehmend beschäftigen sich nationale und internationale Umweltzeichen mit dem Thema der Nanomaterialien, da in viele Produktgruppen, die ausgezeichnet werden können, inzwischen auch die Nanotechnologien Einzug genommen haben, wie z.B. Farben und Lacke oder Waschmaschinen.

Im nordischen Schwan⁴⁶ gibt es bereits einige Regelungen zu Nanomaterialien. So wird bei Reinigern die Zugabe von Nanosilber ausgeschlossen (Nordic Ecolabelling of Cleaning Products. Version 4.4 Dezember 2007 – Dezember 2011)., bei den Sanitärprodukten (Swan—labelling of Sanitary Products. Version 5.1.März 2008 – Juni 2012), Kühlschränken (Swan-Labeling of Refrigerators and freezers. Version 5.1.Mai 2008 Dezember 2011):

“Nanomaterials: Nanomaterials/nanoparticles/nanofibres (such as nanometals, nanominerals, pure nanocarbon compounds or nanofluorocompounds) must not be actively added to sanitary products unless adequate documentation exists that they will not cause health or environmental problems and that they are essential to the performance of the sanitary product.

For the purpose of this document nanoparticles are counted as microscopic particles where at least one of the dimension is less than 100 nm. Nanometals include nanosilver, nanogold and nanocopper.”

Bei anderen Produktgruppen wird die Einführung von Kriterien für die nächste Überarbeitung angekündigt. (z.B. Farben und Lacke für den Innenbereich, Autoreifen).

Im Hintergrundpapier zu Nanotechnologien des deutschen Umweltbundesamts von Oktober 2009⁴⁷ steht zu einer etwaigen Auszeichnung mit dem „Blauen Engel“: „Bisher hat sich sowohl das Umweltbundesamt als auch die Jury Umweltzeichen bei Erzeugnissen, die Nanomaterialien enthalten, unter Hinweis auf die ungelösten Bewertungsfragen von Nanomaterialien gegen Neuvorschläge zur Kennzeichnung mit dem Blauen Engel ausgesprochen.“ (S.8) und „So lange nicht die erforderlichen Daten für eine abschließende Bewertung von Produkten vorliegen, steht das Umweltbundesamt der Vergabe des „Blauen Engels“ an Nanomaterialien enthaltende Produkte ablehnend gegenüber.“ (S.20).

Bei Bio-Lebensmitteln hat die britische Soil-Association den weltweit ersten Bann von Nanotechnologien für biologisch zertifizierte Lebensmittel ausgerufen⁴⁸. Ebenso hat Demeter International⁴⁹ folgen-

⁴⁶ <http://www.svanen.nu/Default.aspx?tabName=CriteriaEng&menuItemID=7056>

⁴⁷ H. Becker, W. Dubbert, K. Schwirn, D. Völker: Nanotechnik für Mensch und Umwelt. Chancen fördern und Risiken mindern. <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3765.pdf> DL 20.10.2009

⁴⁸ Soil Association organic standards for producers. Revision 16, Jän. 2009 <http://www.soilassociation.org/LinkClick.aspx?fileticket=z0H2T3JlwPQ%3d&tabid=353> und Soil Association

des formuliert: „Demeter International führt das Vorsorgerprinzip bei der anwendung von Nanotechnologie ein und schließt damit alle Verwendungen im Biodynamischen Landbau und in Demeter zertifizierten Produkten aus. Demeter International wird die Entwicklungen im Bereich der Nanotechnologie beobachten, einschließlich der Positionierung anderer Bio-Zertifizierer und die eigene Strategie angesichts von neuen verfügbaren Informationen überprüfen.“

Im Europäischen Ecolabel gab es bisher noch keine Kriterien für Nanomaterialien. In der letzten Ad-hoc-Working-Group zur Überarbeitung der Kriterien für Allzweckreiniger/Sanitäreiniger und Glasreiniger (Ecolabel 020) und Handgeschirrspülmittel (Ecolabel 019) wurde eine dem Nordischen Swan entnommene Formulierung angenommen und sollte nun Bestandteil der überarbeiteten Kriterien sein. Diese werden voraussichtlich im April 2010 verabschiedet.

Der österreichische Verein für Konsumenteninformation hat als Competent Body für Österreich ange-regt, dass das Thema Nanomaterialien als horizontales Thema für alle Produktgruppe zur Diskussion gebracht wird. Ein Treffen zum Beginn dieser horizontalen Diskussionen, die auch unter anderem Flammenschutzmittel und andere Chemikalien behandeln sollen, wird aller Voraussicht nach im Jänner 2010 stattfinden.

Im Juni 2009 hat das Österreichische Umweltzeichen folgende Position zu Nanomaterialien formuliert:

Das Österreichische Umweltzeichen steht für höhere Lebens- und Umweltqualität, klare und transparente Information, hohe Aussagekraft und Umweltpolitik in Eigenverantwortung der Unternehmen. Eine Auszeichnung von Produkten, die Nanomaterialien enthalten, kann nur unter Beachtung dieser Prinzipien erfolgen.

Im Umgang mit Nanomaterialien sind viele Fragen zu den Risiken, aber auch zu den Vorteilen noch ungeklärt. Und da eine systematische Risikobewertung von Nanomaterialien noch in Entwicklung ist - so soll im Herbst dieses Jahres in der EU-Kommission ein Hearing dazu stattfinden - muss zurzeit von Fall zu Fall, je nach Datenlage und Anwendung bzw. Produkt, entschieden werden.

Folgende Grundsätze sollen dabei gelten:

- Es geht um zugesetzte, synthetische Nanomaterialien
- Anwendung des Vorsorgeprinzips
- Beurteilung der Vorteile: Der erhöhte Nutzen durch die Zugabe der Nanomaterialien muss nachgewiesen werden.
- Risikobeurteilung: Aus den vorhandenen Daten und der Literatur soll die sichere Anwendung in Bezug auf Mensch und Umwelt über den gesamten Lebenszyklus dargelegt werden.

organic standards for producers. Revision 16, Jän. 2009 Soil Association organic standards for processors. Revision 16, Jän. 2009 <http://www.soilassociation.org/LinkClick.aspx?fileticket=nValvMTGIRM%3d&tabid=353>

⁴⁹ Demeter International Verarbeitungsrichtlinien / 1.7.2008, Seite 8, Punkt 5.1.2.5
http://www.demeter.at/Demeterbund/verarbeitungsrichtlinien_2009, DL: 20.11.2009

- **Transparenz:** die enthaltenen Nanomaterialien müssen deklariert werden (Bei Chemikalien zum Beispiel angelehnt an die vorgeschlagene Kosmetik-Verordnung: „Stoffbezeichnung (nano)“)

Bei künftigen Richtlinienüberarbeitungen wird auf die Relevanz eines Einsatzes von Nanomaterialien geprüft und es werden gegebenenfalls Kriterien eingeführt werden. Erstmals wird dies bei der Überarbeitung der Österreichischen Umweltzeichenrichtlinien für Wandfarben und Lacke/Lasuren/Holzversiegelungen mit April 2010 erfolgen.

Die Richtlinien für Allzweckreiniger/Sanitärreiniger/Glasreiniger und Handgeschirrspülmittel sind mit den Kriterien des Europäischen Ecolabels harmonisiert. Bei den derzeit laufenden Überarbeitungen auf EU-Ebene wird auf Betreiben des VKI ein möglicher Gehalt an Nanomaterialien in diesen Reinigungsmitteln nachgefragt, die Einführung von Kriterien wurde gefordert.

9 Das Schweizer Vorsorgeraster für Synthetische Nanomaterialien

Das Vorsorgeraster ist die erste konkrete Maßnahme, die nachfolgend zum Schweizer Aktionsplan verwirklicht wurden [Höck J. et al, Bern 2009]. Es ist als Download erhältlich unter

<http://www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00228/00510/05626/index.html?lang=de>

Es wurde von den Schweizer Bundesämtern für Gesundheit und Umwelt (BAG und BAFU) beauftragt, zahlreiche ExpertInnen sind beteiligt. Das Vorsorgeraster ist ein Einstiegsmodul für KMU und soll eine erste Abschätzung liefern, ob und wo in ihrer Produktion und Anwendung nanospezifische Risiken auftreten können. Mit dem Vorsorgeraster kann ein Screening über die Prozessschritte erfolgen. Beim Auftreten von hohen Punktezahlen soll genau dort recherchiert werden und gegebenenfalls Maßnahmen getroffen werden.

Der Schweizer Vorsorgeraster verwendet dabei die Nomenklatur und Definitionen der ISO⁵⁰, erweitert dabei aber der Bereich der Nanoskaligkeit auf 500 nm. Grund dafür ist, dass unterhalb dieses Größenbereichs Partikel nicht mehr von Makrophagen erkannt werden.

Durch diese Definition wird – zumindest theoretisch – der Risikobereich weiter gefasst als im allgemeinen üblich⁵¹. Die Grenze von 100 nm kann durchaus zu eng gefasst sein kann, wie auch die DIN Norm in einer Anmerkung erläutert [DIN CEN ISO/TS 27687:2008-11]. Da bei die Anwendung des Vorsorgeraster wieder die Unterscheidung von Dimensionen bis 100 nm und 100-500 nm eingeführt wird, ist diese Vorgehensweise gerechtfertigt und kann leicht zurückgeführt werden

Durch diese Definition wird (theoretisch) im Risikoteil dieser Studie eine weiterer Größenbereich abgedeckt als i.a. üblich und definiert und auch als z.B. in der Marktanalyse. Da die Grenze von 100 nm durchaus zu eng gefasst sein kann, wie auch die DIN CEN ISO/TS 27687:2008-11 in einer Anmerkung erläutert, wird damit eine etwaige Nanorelevanz vollständig erfasst. Da bei die Anwendung des Vorsorgeraster wieder die Unterscheidung von Dimensionen bis 100 nm und 100-500 nm eingeführt wird, ist diese Vorgehensweise gerechtfertigt und kann leicht zurückgeführt werden. Zu den Risiken werden jeweils die Maßnahmen ergänzt. Falls Nanopartikel in situ entstehen, muss für den gesamten Prozessschritt eine Nanorelevanz angegeben werden

50 Technical Specification ISO/TS 27687, Nanotechnologies — Terminology and definitions for nanoparticles, Proof, © ISO 2007

51 Üblicherweise reicht der Nanobereich nur bis 100 nm

Das Nano-Risikopotenzial folgendermaßen abgeschätzt:

$$\text{(Nano)Risikopotenzial } R = (W \cdot E + S_2) \cdot S_1$$

Parameter-klassen	Parameter	Bezeichnung	A	V	U	Bewertung	Grundlage, Messmeth.
Nano-Relevanz		S ₁					
Informationsstand zum Lebenszyklus		S ₂					
Wirkungspotenzial		W					
Physikal. Umgebung		E					
Exposition des Menschen							
Eintrag in die Umwelt							

Nano-Relevanz: Mit S₂ wird auch in der Formel deutlich gemacht, wie sehr sich Unklarheiten bezüglich der Herkunft und der genauen Zusammensetzung des Materials auf eine Risikoabschätzung negativ auswirken können:

Größenordnung der in den Materialien enthaltenen Primärpartikel S _{1.1}	1-100 nm : 1	100 – 500 nm : 1	> 500 nm : 0
Deagglomeration unter physiologischen Bedingungen S _{1.1A,V}		Ja: 1	Nein: 0
Deagglomeration in Umwelt : S _{1.2U}		Ja: 1	Nein: 0

S_{2.1} – S_{2.4}: Herkunft, Vorsorgeraster der Ausgangsmaterialien, Lebensweg, Verunreinigungen : genau: 0 / teilweise: 3 / unbekannt: 5

$$\text{Wirkungspotential } W_{A,V} = W_1 \cdot W_{2A,V} \quad W_U = W_1 \cdot W_{2U}$$

Redoxaktivität und/oder katalytische Aktivität W ₁	Niedrig : 1	Mittel: 5	Hoch: 9
Stabilität (Halbwertszeit) unter physiologischen Bedingungen : W _{2A,V}	Stunden : 1	Tage/Wochen: 5	Monate: 9
Stabilität (Halbwertszeit) unter Umweltbedingungen : W _{2U}	Stunden : 1	Tage/Wochen: 5	Monate: 9

Exposition: $E_A = E_{1A,V} * E_{2.1} * E_{2.3}$

$E_V = E_{1A,V} * E_{2.4} * E_{2.5}$

$E_{A,WC} = E_{1A,V} * E_{2.2}$

Physikalische Umgebung	$E_{1A,V}$	E_{1U}
Luft	1	1
Flüssige Medien als Aerosole <3µm	1	1
Flüssige Medien als Aerosole >3µm (E über Mund, Rachen, Magen/Darm)	0,1	1
Flüssige Medien (E über Haut)	0,1	1
Feste Matrix, nicht stabil	0,1	1
Feste Matrix, stabil, NPR mobil	0,01	0,01
Feste Matrix, stabil, NPR nicht mobil	0,0001	0,0001

Masse, pro Arbeiter und Tag : $E_{2.1}$	<25 µg : 1	<250 µg : 5	>250 µg : 9
-“- im worst case-Fall : $E_{2.2}$	<250 µg : 1	<2500 µg : 5	>2500 µg : 9
Häufigkeit : $E_{2.3}$	Monatlich: 1	Wöchentlich 5	Täglich: 9
Masse an NPR, pro Verbraucher und Tag : $E_{2.4}$	<25 µg : 1	<250 µg : 5	>250 µg : 9
Häufigkeit der Nutzung des Produktes : $E_{2.5}$	Monatlich: 1	Wöchentlich 5	Täglich: 9

Masse, an entsorgtem NPR pro Jahr ohne spezifische Entsorgung : $E_{3.1}$	<5 kg : 1	<500 kg : 5	>500 kg : 9
Masse an NPR in Gebrauchsprodukten pro Jahr : $E_{3.2}$	<5 kg : 1	<500 kg : 5	>500 kg : 9

Risikopotenzial für Arbeitnehmer $R_A = (W_{A,V} * E_A + S_2) * S_{1A,V}$

$R_{A,WC} = (W_{A,V} * E_A + S_2) * S_{1A,V}$

Risikopotenzial für Verbraucher $R_V = (W_{A,V} * E_V + S_2) * S_{1A,V}$

Risikopotenzial für die Umwelt $R_{U,P} = (W_U * E_{U,P} + S_2) * S_{1U}$

$$R_{U,G\text{spez}} = (W_U * E_{U,G\text{spez}} + S_2) * S_{1U}$$

$$R_{U,G} = (W_U * E_{U,G} + S_2) * S_{1U}$$

0 – 20 Punkte Klasse A : Die nanospezifischen Risiken können als gering eingestuft werden.

>20 Punkte Klasse B : Mögliche nanospezifische Risiken sind nicht auszuschließen.

Wenn sich die Umgebung des Nanomaterials ändert, muss ein neues Vorsorgeraster ausgefüllt werden, es dient also auch der Differenzierung entlang der Prozesskette. Man muss, wenn man die nanospezifischen Aktivitäten und Redoxaktivitäten nicht weiß, auf jene des Bulk-Material zurückgreifen, was natürlich Unsicherheiten und Falschaussagen birgt – in erster Näherung wird es hier so gemacht, wenn man genauere Angaben hat, dann sind natürlich diese zu verwenden. Es wurde letzten Dezember veröffentlicht und ist zurzeit in einer Pilotphase, ist eigentlich eine β -Version. Es fanden kostenlose Schulungen statt, ca. 45 Unternehmen waren interessierte Teilnehmer dabei. Das Ausfüllen pro Vorsorgeraster benötigt ca. 1 Stunde. Es wurde ein Excel-sheet entwickelt, das derzeit in der Testphase ist – Anfang 2010 soll es veröffentlicht werden. Ebenso sollen bis Ende des Jahres Vergleichssysteme neu eingeführt werden, um einige Kategorien besser zu erfassen und zu beurteilen, z.B: die „niedrige“, „mittlere“ und „hohe“ Redoxaktivität. Möglicherweise werden die Mengenangaben für die Expositionen noch verändert – viele Industrievertretern scheinen die 250 μg als Höchstgrenze zu hoch, fast jede Anwendung fällt darunter, eine Differenzierung wird hier also nicht erreicht.⁵²

⁵² Telefonat (2.7.2009) mit Dr. Jürgen Höck, TEMAS, Leiter dieses Projektes „Schweizer Vorsorgerater“

10 Literatur

- Bachmann, Gerd; Rieke, Volker (2004) Nanotechnologie erobert Märkte – Deutsche Zukunftsoffensive für Nanotechnologie, Herausgegeben durch das Ministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Berlin 2004, Bezug unter www.bmbf.de
- BAUA-BfR-Umweltbundesamt (Dezember 2007) Nanotechnologie: Gesundheits- und Umweltrisiken von Nanomaterialien. Forschungsstrategie Deutschland <http://www.umweltbundesamt.de/technik-verfahren-sicherheit/nanotechnologie/index.htm> Download 21.11.2009
- Bauer, C., J. Buchgeister, R. Hischier, W. R. Poganietz, L. Schebek & J. Warsen (2008) Towards a framework for life cycle thinking in the assessment of nanotechnology. *Journal of Cleaner Production* 16 (8-9); 910-926
- BCC (2003): „Biomedical Applications of nanoscale devices: Commercial Opportunities, Conference proceedings, Nanotech and Biotech convergence, BCC, Stanford
- BCC (2004) Global Nanotechnology Market to Reach \$29 Billion by 2008. Pressemitteilung vom 03.02.2004, Business Communication Company, (<http://www.bccresearch.com/editors/RGB-290.html>)
- BCC (2001) Opportunities in nanostructured materials: Biomedical, pharmaceutical & cosmetic, Business Communication Company, Norwalk, USA
- Beckmann, M. & P. Lenz (2002) Profitieren von Nanotechnologie. *Investment der Zukunft*, München
- BUND (2007) Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (Hrsg.) Kühling, W. & H. Horn. Für einen verantwortungsvollen Umgang mit der Nanotechnologie – Eine erste Diskussionsgrundlage am Beispiel der Nanopartikel. Published online
- Bericht des Bundesrates der Schweiz (2008): Aktionsplan synthetische Nanomaterialien. Published online.
- DIN CEN ISO/TS 27687 2008-11 Nanotechnologien - Terminologie und Begriffe für Nanoobjekte - Nanopartikel, Nanofaser und Nanoplättchen (ISO/TS 27687:2008); Deutsche Fassung CEN ISO/TS 27687:2008
- Compano, R. & A. Hullmann (2002) Forecasting the development of nanotechnology with the help of science and technology indicators, *Nanotechnology* 13

- Ebenau, A. (2002) Wirtschaftliche Perspektiven der Nanotechnologie: Enorme Märkte für kleinste Teilchen, Workshop Nanotechnologie in der Chemie – Experience meets Vision, Mannheim
- European Commission (2008): EU nanotechnology RD in the field of health and environmental impact of anoparticles. Compiled by Pilas Aguar and José Juan Murcia Nicolás, Unit G4 Nano and Converging Sciences and Technologies European Commission, Research DG; 28. January 2008. <ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/final-version.pdf> DL 25.11.2008
- Fecht, H.-J., Ilgner, J., Köhler, T., Mietke, S., & M. Werner (2003) Nanotechnology Market and Company Report – Finding Hidden Pearls, WMtech Center of Excellence Micro and Nanomaterials, Universität Ulm
- Fleischer, T. & A. Grunwald (2008) Making nanotechnology development sustainable. A role for technology assessment. Journal of Cleaner Production 16 (8-9), 889 - 898
- Groneberg, D. & D. Quarcoo (2008) Nanotoxizität – wachsende Bedeutung, Zentralblatt für Arbeitsmedizin 58, 237
- Helpman, E (ed.) (1998) General Purpose Technologies and Economic Growth. MIT Press.
- Höck J., Hofmann H., Krug H., Lorenz C., Limbach L., Nowack B., Riediker M., Schirmer K., Som C., Stark W., Studer C., von Götz N., Wengert S., Wick P. Vorsorgeraster für Synthetische Nanomaterialien. Bundesamt für Gesundheit und Bundesamt für Umwelt. Bern 2008.
- Hullmann, A. (2001) Internationaler Wissenstransfer und technischer Wandel - Bedeutung, Einflussfaktoren und Ausblick auf technologiepolitische Implikationen am Beispiel der Nanotechnologie in Deutschland, Heidelberg
- Hullmann, Angela (2007) Measuring and assessing the development of nanotechnology. Scientometrics, vol. 70, no.3 (see also “The economic development of nanotechnology – An indicators based analysis”, European Commission, DG Research, and “Who is winning the global nanorace?” In Nature, 2006, vol. 1).
- Innovationsgesellschaft Schweiz, Newsletter vom November 2009. <http://www.innovationsgesellschaft.ch>
- ITRS (2003) International Technology Roadmap for semiconductors: <http://public.itrs.net/Files/2003ITRS/Home2003.htm>
- ITRS (1999) International Technology Roadmap for semiconductors: http://public.itrs.net/files/1999_SIA_Roadmap/
- ITRS (2001) International Technology Roadmap for semiconductors: <http://public.itrs.net/Files/2001ITRS/Home.htm>

- ITRS (2002) International Technology Roadmap for semiconductors: Update, <http://public.itrs.net/Files/2002Update/2002Update.pdf>
- Khanna, V., Bakshi, B.R. & L.J. Lee (2007) Life Cycle Energy analysis and Environmental Life Cycle Assessment of Carbon Nanofibers Production. Proceedings of the 2007 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment
- Köhler, A.R., Som, C., Helland, A. & F. Gottschalk (2007) Studying the potential release of carbon nanotubes throughout the application life cycle. *Journal of Cleaner Production*. 16, 927-937
- Krishnan, N., Boyd, S., Somani, A., Raoux, S., Clark, D. & D. Dornfield (2008) A Hybrid Life Cycle Inventory of Nano-Scale Semiconductor Manufacturing. *Environ. Sci. Technol.* 42, 3069-3075
- Lloyd, S., L. Lave (2003) Life Cycle Economics and Environmental Implications of Using Nanocomposites in Automobiles. *Environmental Science & Technology* 37(15), p 3458-3466
- Lloyd, S., L. Lave & H.S. Matthews (2005) Life Cycle Benefits of Using Nanotechnology to stabilize Platinum Group Metal Particles in Automotive Catalysts. *Environmental Science & Technology*, published on-line.
- LUBW (2009) Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Hrsg.) Wurster, U., Ott, G. & G. Wehrle. *Nanomaterialien: Arbeitsschutzaspekte*. Published online.
- LuxResearch (2006) The nanotech report. Lux Research Incorporated.
- Malanowski, N, Heimar, T, Luther, W and Werner, M, (2006) Growth market Nanotechnology – An analysis of technology and innovation. Wiley VCH Verlag.
- Maynard, Andrew D. et al (2006) Safe handling of nanotechnology. *Nature* 444, 267-269
- Meyer, M., Persson, O., Power, Y. (2001) Nanotechnology Expert Group and Eurotech Data: Mapping Excellence in Nanotechnology, preparatory study, (<http://europa.eu.int/comm/research/era/mapping-excellence.html>)
- NanoKommission der deutschen Bundesregierung (Hrsg.) Catenhusen, W. M., Grobe, A., Bendisch, B. (2008) *Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien*. Published online.
- OECD (2008) Nanotechnology innovation – An overview, (secretariat working document, not unclassified).
- OECD (2009) Nanotechnology: an overview based on indicators and statistics, STI Working Paper 2009/7 Statistical Analysis of Science, Technology and Industry
- Olsen, S.I. & M.S. Jørgensen (2006) Environmental Assessment of Micro/Nano Production in a Life Cycle Perspective. *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* Vol 895.

- Osteralder, N., Capello, C., Hungerbühler, K., Stark, W.J. (2006) Energy consumption during nanoparticle production: How economic is dry synthesis? *Journal of Nanoparticle Research* Vol 8, 1-9.
- Palmberg, C. & T. Nikulainen (2008) Nanotechnology and industrial renewal in Finland. A synthesis of key findings." ETLA, Finland.
- Rittner, M. N. (2002) Market Analysis of Nanostructured Materials", in: American Ceramic Society Bulletin, Vol 81, No 3
- Roco, M. C. (2002) The Vision and Action Plan of the National Nanotechnology Initiative, <http://www.cr.org/publications/MSM>
- Roes, A.L., Marsili, E., Nieuwlaar, E. & M.K. Patel (2007) Environmental and Cost Assessment of Polypropylene Nanocomposite. *J Polym Environ* 15, 212 - 226
- Sakka, S. (2007) Sol-gel Technology as Representative Processing for Nanomaterials: Case Studies on the Starting Solution. *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 46: 241-249.
- Schmidt H.K., Geiter, E., Mennig, M., Krug, H., Becker, C., Winkler R.-P. (1998) The Sol-Gel Process for Nano-Technologies: New Nanocomposites with Interesting Optical and Mechanical Properties. *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 13, 397-404.
- Schmidt, H (2009) Commercial Success with Nanomaterials. *Nano Magazine*. 12, 14-16.
- Sengül, H., T. L. Theis & S. Ghosh (2008) Toward sustainable nanoproducts: An overview of nanomanufacturing methods. *Journal of Industrial Ecology* 12(3), 329 – 360
- Sepeur-Zeit (2003) Nanotechnologie im Automobilbau. Informations-broschüre VW AG,
- Service, R.(2001) Optical Lithographie goes to Extremes – and beyond. *Science*, Vol. 293.
- Som, C., A. R. Köhler, A. Helland, F. Gottschalk (2008) Studying the potential release of carbon nano tubes throughout the application life cycle. *Journal of Cleaner Production* 16 (8-9); p 927-937
- Spectaris (2003): „Branchenbericht 2003“, Köln
- SRI (2002) Nanoscale chemicals and materials: An overview on technology, products and applications, in: SRI-International Report, SpecialityChemicals: Nanotechnology
- STATISTIK AUSTRIA (2008) Österreichische Außenhandel, Vorläufige Ergebnisse für das Jahr 2008.
- STATISTIK AUSTRIA (2009) Leistungs- und Strukturhebung im Produzierenden und Dienstleistungsbereich

- Steinfeld, M., U. Petschow, R. Haum and A. Gleich (2004) Discussion Paper 65/04 of the Institute for Ecological Economy Research. Berlin, Germany
- Steinfeld, M., U. Petschow, R. Haum, T. Chudoba und S. Haubold (2004a) Nachhaltigkeitseffekte durch Herstellung und Anwendung nanotechnologischer Produkte. Schriftenreihe des IÖW 177/04. Download: http://www.bmbf.de/pub/nano_nachhaltigkeit_ioew_endbericht.pdf
- 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
- TAB (2003) TA-Projekt Nanotechnologie Endbericht, Arbeitsbericht Nr. 92, TAB Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (2003)
- VCI (2003) Chemiewirtschaft in Zahlen, Ausgabe 2003, Verband der Chemischen Industrie, Frankfurt am Main
- VDI (2004) Nanotechnologie als wirtschaftlicher Wachstumsmarkt – Innovations- und Technikanalyse, Zukünftige Technologien Nr. 53, Bearbeitung durch Wolfgang Luther, Norbert Malanowski, Gerd Bachmann, Andreas Hoffknecht, Dirk Holtmannspötter, Axel Zweck, Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf
- Vorbau, M., Hillemann L., Stintz, M.: Method for characterization of the abrasion induced nanoparticle release into air from surface coatings. *Aerosol Science* 40(2009): 209-217
- Werner, M., Mietke, S., Ilgner, J., Köhler, T. (2003) Nanotechnologie –Zukunftsperspektiven und Marktpotenziale, in: Laborpraxis Werner, M.: „Markets and Industry-Relevant Research Directions for Nanotechnology
- Woodrow Wilson Center for Scholars and the European Commission (2007): Nanotechnology and life cycle assessment: A systems approach to nanotechnology and the environment. Report of a 2006 workshop. Washington DC: Woodrow Wilson Center for Scholars. http://www.nanotechproject.org/file_download/files/NanoLCA_3.07.pdf

11 Internet Links

- <http://www.nanonet.at/german/>
- <http://www.nanoinitiative.at>
- <http://www.ntc-weiz.at/>
- <http://cordis.europa.eu/nanotechnology/actionplan.htm> •
- http://ec.europa.eu/nanotechnology/links_en.html •
- http://cordis.europa.eu/nanotechnology/src/pe_workshop_reports.htm
- http://cordis.europa.eu/nanotechnology/src/public_debate.htm
- http://ec.europa.eu/european_group_ethics/index_en.htm
- <http://www.nanoproducts.de/>
- <http://www.nanotechproject.org/>
- <http://nanotrust.ac.at/>

12 ExpertInnenworkshop

Am 29.6.2009 fand im Lebensministerium die Veranstaltung *Nano-Beschichtungen: Betrachtung der Risiken und ökologischen Wirkungen unter Berücksichtigung der ökonomischen Relevanz* statt. Präsentiert und diskutiert wurden die vom Projekt NanoRate untersuchten Fallbeispiele von Nano-Beschichtungen bei Glas und Holz im Innenbereich und erste Ergebnisse aus den Arbeitspaketen Risikobewertung, Ökobilanzierung und ökonomische Analyse. Kurzberichte zum Status quo der NanoRate Fallbeispiele waren in ein Rahmenprogramm von Vorträgen eingebettet, in denen Hersteller Inputs zu verschiedenen Aspekten von Nano-Beschichtungen gaben, welche durch Präsentationen der Anwendungs- und Risikoforschung ergänzt wurden. Der vorliegende Workshopbericht fasst die einzelnen Vorträge zusammen, die Präsentationsunterlagen der einzelnen Vortragenden sind abrufbar unter: <http://www.ifz.tugraz.at/index.php/article/articleview/1471/1/78>

Programm

10:00 – 10:15	Begrüßung und Einführung zum Nationalen Aktionsplan, Mag ^a . Renate Paumann, Lebensministerium
10:15 – 10:30	<i>Glasoberflächen mit Easy-to-Clean Beschichtungen</i> , Mag. Patrick Wagenhofer , Wagenhofer Coating Services GmbH
10:30 – 10:45	<i>Maßgeschneiderte Oberflächen für Holz</i> , Dr. Rainer Schöftner , PROFACTOR GmbH
10:45 – 11:00	<i>Nano-Beschichtungen aus der Sicht der Wirtschaft</i> , Dr. Klaus Schaubmayr , WK
11:00 – 11:15	<i>Nano-Beschichtungen auf Holz im Außenbereich</i> , Tina Künniger , Empa
11:15 – 12:15	Diskussion und Projektleitfragen zu wirtschaftlichen Potenzialen von Nano-Beschichtungen
Mittagspause	
13:15 – 13:45	<i>Vergleichende Produktbilanzen von Nano-Beschichtungen auf Holz und Glas</i> , DI Markus Meissner, Mag^a. Andrea Wallner , Österreichisches Ökologieinstitut
13:45 – 14:00	<i>Lebenszyklusansatz – Analyse und strategisches Management der Nachhaltigkeitspotenziale von Nano-Produkten</i> , Martin Möller , Öko-Institut e.V. Freiburg
14:00 – 14:40	Diskussion und Projektleitfragen zur Ökobilanzierung von Nano-Beschichtungen
Kaffeepause	
15:00 – 15:25	<i>Risikobewertung von synthetischen Nanomaterialien und Nano-Beschichtungen</i> , Dr. Susanne Stark , Verein für Konsumenteninformation VKI

15:25 – 15:45	<i>Nanomaterialien und ihr Verhalten in der Umwelt</i> , Dr. Frank von der Kammer , Stellv. Leiter Department für Umweltgeowissenschaften, Universität Wien
15:45 – 16:30	Diskussion und Projektleitfragen zur Risikobetrachtung von Nano-Beschichtungen
16:30 – 17:00	Abschlussdiskussion, Resümee und Ausblick

Beiträge

Easy to clean Glasoberflächen

Mag. Patrick Wagenhofer; Wagenhofer Coating Services GmbH

Das Unternehmen beschichtet Glasoberflächen, die so hergestellten Oberflächen sind Wasser-, Öl- und Schmutz abweisend sowie im Versuch „*lebensmittelecht*“. Der ökologische und ökonomische Vorteil der Beschichtung ist die verminderte Reinigungsanforderung und damit ein verminderter Aufwand an Reinigungsmitteln. Gleichzeitig wird die Lebensdauer des Glases verlängert, da der Kalkangriff minimiert wird. Das Produkt, mit dem diese Beschichtungen hergestellt werden, besteht zu *mehr als 90% aus Alkohol* und enthält keine Nanopartikel, die Dicke der Beschichtung beträgt 10 bis 25 nm und ist deshalb eine nanoskalige Struktur. Der Auftrag auf die Glasoberfläche erfolgt manuell oder automatisiert, entweder mit Roller-Coater oder in der Sprühkabine. Anwendungsbereiche sind Duschen mit Glaswänden, KFZ Verglasungen, Geschirr und Backformen, Sanitäreinrichtungen und geätztes Glas.

Maßgeschneiderte Oberflächen für Holz

Dr. Rainer Schöftner, PROFACTOR

PROFACTOR, das oberösterreichische Unternehmen für angewandte Produktionsforschung, entwickelt innovative Lösungen und Produktsysteme. Eine Sparte beschäftigt sich mit der Entwicklung nanoskaliger Beschichtungen. Dabei wurde nach Lösungen gesucht um bei der Oberflächenbeschichtung von (Massiv-) Holzfußböden die Vorteile von Öl/Wachsbeschichtungen – eine günstige Haptik – mit denen von Lacksystemen – gute mechanische Eigenschaften sowie Schmutz- und Wasserresistenz – zu verbinden. Das Forscherteam aus dem Bereich Funktionelle Oberflächen & Nanostrukturen entwickelte und erprobte dazu verschiedene Lösungsansätze: Ein „reines“ Sol-Gel-System zeigte zwar gute haptische und hydrophobe Eigenschaften, erwies sich aber als staubanziehend und zu teuer. Acryl Hybrid und PU-Hybrid-Systeme konnten dagegen haptisch nicht überzeugen. Ein Öl-Hybrid-System verband gute haptische mit günstigen mechanischen und schmutz- und wasserabweis-

senden Eigenschaften. Produktentwickler sehen die Zeit-, Kosten- und Mengeneinsparungen im Vergleich zu konventionellen Imprägnierölen als wesentlichen Vorteil des Öl-Hybrid-Systems.

Nanobeschichtungen aus der Sicht der Wirtschaft

Dr. Klaus Schaubmayr, Fachverband der chemischen Industrie Österreich -FCIÖ

Die Lack- und Anstrichmittelindustrie in Österreich umfasst 40 Unternehmen mit 3000 Mitarbeitern und einer Produktionsmenge von 150.000 Tonnen. Nanotechnologie bedeutet für die Lackindustrie einen Technologiesprung, vielversprechende Entwicklungen sind etwa elektrisch leitende Beschichtungen, lackierte Oberflächen für Solarstrom oder auch Wärme isolierende Beschichtungen. Produkte befinden sich auch bereits auf dem Markt, etwa selbstreinigende, antibakterielle oder photokatalytische Farben oder Lacke mit hoher Abriebfestigkeit und UV-Schutz. Entsprechend einer Umfrage innerhalb des FCIÖ wird der Marktanteil von Nanoprodukten in Österreich derzeit auf 5 bis 10 % geschätzt, für 2015 wird ein Anteil von 30 % erwartet. Wichtig ist zu klären, ob bzw. welche Risiken von Nanolacken und Nanobeschichtungen im Alltagsgebrauch ausgehen. Eine aktuelle Studie der Technischen Universität Dresden⁵³ beschäftigt sich mit einer möglichen Freisetzung von Nanopartikeln und zeigt, dass Freisetzungen knapp an der Nachweisgrenze sind (3 Teilchen/cm³). Der zweite Teil der Studie steht kurz vor der Fertigstellung und beschäftigt sich mit der Freisetzung von Nanoteilchen bei Schleifprozessen. Erste Trends zeigen keinen Unterschied von Nanobeschichtungen zu konventionellen Beschichtungen. In einer Studie zum Alltagsgebrauch wird keine Belastung von Personen während der Nutzungsphase durch Nanomaterialien festgestellt, die in Form von Nanolacken Einsatz finden⁵⁴. Herr Schaubmayr betont abschließend: Seitens der Industrie wird hinsichtlich der allfälligen Risiken der Nanotechnologie weitergeforscht, eine zusätzliche gesetzliche Normierung wird aber als nicht notwendig bzw sogar kontraproduktiv gesehen. Mit REACH gibt es ein ausreichendes Instrumentarium. Kennzeichnungspflichten von Produkten werden von der Industrie abgelehnt. Wenn überhaupt ein Bedarf an Regulierungen gesehen wird, dann nur durch EU weit geltende Vorschriften.

⁵³ Institut für Verfahrens- und Umwelttechnik im Journal of Aerosol Science (2009)

⁵⁴ Studie zum Alltagsgebrauch: <http://www.jot-oberflaeche.de/index.php;do=show/site=jot/sid=5e7f45fca440514f127df78871ca12d8/alloc=110/id=9083>

Nanobeschichtungen auf Holz – Erfahrungen im Außenbereich

DI Tina Künniger, Empa, Arbeitsgruppe Holz-/Oberflächentechnologie

Die Empa ist eine interdisziplinäre Forschungs- und Dienstleistungsinstitution für Materialwissenschaften und Technologieentwicklung innerhalb der Eidg. Technischen Hochschule. Die Arbeitsgruppe Holz-/Oberflächentechnologie der Abteilung Holz befasst sich mit der Erforschung und Verbesserung der Material-, Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften von Holz und Holzprodukten als Bau- und Werkstoff. Ein Arbeitsschwerpunkt, der hauptsächlich gemeinsam mit Industriepartnern verfolgt wird, ist die Entwicklung neuer Konzepte und funktionalisierter Behandlungen für Holz im Aussenbereich bezüglich eines verbesserten Feuchte-, UV- und Pilzschutzes. In diesem Zusammenhang werden auch 'Nanobeschichtungen' in Form von Hydrosolen oder Organosolen untersucht. Für derartige Holzbeschichtungen werden derzeit folgende Arten von Nanopartikeln angewendet bzw. untersucht: Silber, Eisenoxide (rot, gelb), Siliziumdioxid (SiO₂), Titandioxid (TiO₂) und Zinkoxid (ZnO). Ein UV Schutz wird durch am Markt befindliche transparente nanoskalige Eisenoxid und Titanoxid Pigmente in Kombination mit UV Blockern erreicht. Schutz gegen Flüssigwasser bieten Beschichtungen aus nanoskaligen hydrolysierten Silanen, diese verhindern jedoch nicht die Aufnahme von Wasserdampf und bieten meist keinen ausreichenden UV Schutz, was zur optischen Veränderung des Holzes (Vergrauung) führt. Ihre Anwendung wird derzeit eher als Ergänzung bestehender Beschichtungssysteme empfohlen. Von Oberflächenbeschichtungen mit nanoskaligen Silber erwartet man sich eine Wirkung gegen Algen, Schimmelpilze und Bläue. Im Projekt NAFAS⁵⁵ wurde dieses Wirkpotenzial für Anwendungen im Fassadenbereich untersucht. Bei kunstharzgebundenen Beschichtungen auf mineralischen Fassaden wurden 1-2 mg nanoskaliges Silber /m² aufgebracht, wobei 25-50% des eingesetzten Silbers wieder ausgewaschen wurden. Die Silberpartikel konnten im Eluat (Regenwasser) auch als solche wieder identifiziert werden und zwar in einer Partikelgröße von 10 bis 15 nm. Photokatalytisch aktives TiO₂, welches in Mengen von 2500 mg pro m² Fassade aufgebracht wurde, wurde jeweils < 1% ausgewaschen und fand sich im Eluat aggregiert in Partikelklumpen von 100 bis 500 nm. Ein aktuell gestartetes Projekt 'NanoBiozid' untersucht die Wirksamkeit von Nanosilber als Biozidersatz in transparenten, hydrophoben Holzbeschichtungen mit Hilfe von Bewitterungsversuchen, der Analytik der Fassadenablaufwasser, sowie Wirksamkeitstests der Anstriche gegen Algen und Pilze. Kommerziell ist die Anwendung von Nanosilber im Außenbereich bereits verfügbar, siehe auch:

http://wagner-maler.ch/con/cms/upload/05-Wissenswert/Nanotechnologie_in_Fassadenfarben.pdf

http://www.eawag.ch/medien/publ/eanews/news_67/en67d_behra.pdf

Vergleichende Produktbilanzen von Nano-Beschichtungen auf Holz und Glas

55

http://www.eawag.ch/organisation/abteilungen/sww/schwerpunkte/urbane_einzugsgebiete/regenwasserentsorgung/urbc/schwerpunkte/nafas

DI Markus Meissner, Österreichisches Ökologie-Institut ÖÖI

Das ÖÖI erstellte im Rahmen von NanoRate zwei vergleichenden Produktökobilanzen. Im Vortrag wurde zuerst auf die Methodik der Ökobilanzierung eingegangen um ihre Möglichkeiten und Grenzen aufzuzeigen: Nach der Sachbilanz, in der Stoff- und Energieflüsse über einen vorher festgelegten Teil des Produktlebenszyklus analysiert werden, werden die Umweltauswirkungen in der Wirkungsabschätzung anhand verschiedener Methoden beschrieben, welche die Auswirkungen unterschiedlich gewichten: Eco Indicator 99, Umweltbelastungspunkte, IPCC 2001 und kumulierter Energiebedarf

Um ein Gesamtbild der Umweltauswirkungen zu erhalten, wurde die Bilanzierung der Produkte mit den genannten Methoden durchgeführt. Die Ergebnisse dieser mit Hilfe des Softwaretools Sima-Pro© für die beiden Fallstudien erstellten Bilanzierungen und deren Interpretation war Gegenstand des zweiten Teils der Präsentation: Bei den Fallbeispielen handelt es sich um die *Easy To Clean* Beschichtung „nanoprotect“ von Wagenhofer C.S., zum anderen eine Holzölbeschichtung der Firma PROFACTOR. Die Nano-Produkte wurden dabei jeweils mit herkömmlichen Systemen bzw. Produkten verglichen. Die Ökobilanzierung greift auf Ergebnisse eines Praxisversuches in einem Wiener 5 Sterne Hotel zurück, bei dem Duschwände mit der *Easy To Clean* Beschichtung versehen und Auswirkungen auf den Reinigungsaufwand protokolliert wurden. Daten für die Ökobilanzierung der Holzölbeschichtung wurden unter anderem aus dem von der EU geförderten Projekt HOLIWOOD zur Verfügung gestellt. Auf Basis der vorhandenen Daten lassen erste Bilanzergebnisse Umweltvorteile für beide Nano-Produkte erkennen, wobei weiterhin folgende Fragen offen bleiben bzw. zu klären sind:

- Sind die von den Herstellern zur Verfügung gestellten Informationen zu den Inhaltsstoffen – insbesondere zu solchen, welche für den Nano-Effekt verantwortlich sind – ausreichend für eine solche Aussage?
- Was ist über die Umweltwirkungen der (Nano)-Inhaltsstoffe in den einzelnen Lebensphasen bekannt?
- Wie können fehlende Erfahrung und unterschiedliche Nutzungsdauer genauer in der Bilanzierung berücksichtigt werden?

Lebenszyklusansatz – Analyse und strategisches Management der Nachhaltigkeitspotenziale von Nano-Produkten

Martin Möller, Öko-Institut e.V. Freiburg

Das Öko-Institut e.V. konzipiert Strategien, wie die Vision einer nachhaltigen Entwicklung umgesetzt werden kann, Lebenszyklusbetrachtungen dienen dabei als Hilfsmittel. Ökobilanzen schätzen die Umweltwirkungen ab, die Methode ist aber durch eine Abschätzung des Nutzens im Verhältnis zu den vorhandenen Risiken zu ergänzen. Wichtige Fragen in Zusammenhang mit Nano-Anwendungen sind: Wo steht die Risikoforschung derzeit? Wie stabil ist eine Matrixeinbindung (von Nanopartikel) beim Abriss oder beim Recycling? Wie verhalten sich Nanomaterialien bei der Müllverbrennung und in der

Abwasserreinigung? Für einen Nachhaltigkeitscheck von Nanoprodukten sollte sich die vom Öko-Institut entwickelte Methode PROSA⁵⁶ eignen. Die Methode arbeitet vor allem mit Checklisten zur Identifizierung des Gebrauchsnutzens, des symbolischen und des gesellschaftlichen Nutzens, führt eine (Nano) Stärken/Schwächen/Chancen/Risiken Analyse durch und leitet daraus strategische Optimierungen bei den Anwendungen ab.

Zur Risikobewertung von Nanomaterialien

Dr. Susanne Stark, Verein für Konsumenteninformation VKI

Der Umsatz von Nanoprodukten steigt weltweit seit einigen Jahren stark an, 2010 soll die 100 Ma\$- und 2015 die 1000 Ma.\$-Grenze erreicht werden. Der Umsatz an Nanomaterial soll im Jahr 2011 4,1 Ma.\$ betragen. Über 50% der Anwendungen sind Chemikalien, gefolgt von Halbleitern und elektronischen Bauteilen. Die neuartigen Eigenschaften der Nanomaterialien können aber auch neue Schädwirkungen bedeuten. Die Risikoforschung hinkt hinter der anwendungsorientierten Forschung hinterher. Beim Menschen sind die möglichen Eintragswege die Atemwege oder die Haut. Nanopartikel können die Zellwand durchdringen und oxidativen Stress verursachen, dies kann zu Entzündungsreaktionen oder DNA-Schädigungen führen. Auch die Überwindung der Blut-Hirnschranke wurde für einige Nanomaterialien bereits nachgewiesen. Vieles ist aber noch unbekannt, auch z.B. die Effekte bei der Aufnahme in den Magen-Darm-Trakt. Für die Umwelt ist noch weniger über Eintragswege und Schädwirkungen bekannt. Der zweite Beitrag zum Risiko, die Exposition ist ebenso in vielen Bereichen noch unklar, häufig fehlen Messgeräte und die passende Analytik. Im Vordergrund der Risikodiskussion stehen Produkte und Anwendungen, bei denen mit der Freisetzung von synthetischen Nanopartikeln oder Nanostäbchen zu rechnen ist, als besonders bedenklich gelten unlösliche und schwerlösliche Formen. Zur Erforschung der Risiken gibt es zahlreiche nationale und internationale Strategien, zum Beispiel in Aktionsplänen. Verschiedene Institutionen, wie z.B. in der EU (SCENHIR) und OECD, beschäftigen sich mit dem Thema. Freiwillige Programme zur Registrierung der Materialien wurden in USA und Großbritannien durchgeführt, und auch in der Legislative gibt es erste Ansätze zur Berücksichtigung der Nanomaterialien (Diskussionen in REACH, Kosmetik-VO, Novel-Food-VO, Biozid-Produktgesetz etc.). Als Systeme zur Risikobewertung wurden CENARIOS, ein Risikomanagement- und Monitoringssystem für Nanotechnologie der Schweizer Innovationsgesellschaft gemeinsam mit dem TÜV-Süd aus dem Jahr 2007, das NanoRiskFramework aus der Zusammenarbeit von DuPont und Environmental Defense, ebenso aus 2007, und der Vorsorgeraster für Synthetische Nanomaterialien Schweiz, Dezember 2008 veröffentlicht. Anhand des NanoRisk-Frameworks wurde in Arbeitsblättern gezeigt, wann welche Testergebnisse nach dem Regeln des jetzigen REACH für Nanomaterialien zu erwarten wären. Das Vorsorgeraster aus der Schweiz wurde genauer vorgestellt und diskutiert. In einem Telefonat mit dem Projektleiter wurden die Woche darauf offene Fragen

⁵⁶ <http://www.prosa.org/Analytik>

geklärt. Dieses Vorsorgeraster ist nach allgemeiner Beurteilung ein sehr brauchbares Mittel für Firmen, um eine erste Abschätzung darüber zu machen, ob und in welchem Zusammenhang nanospezifische Risiken in Produktion, Anwendung und Entsorgung entstehen könnten.

Nanomaterialien und ihr Verhalten in der Umwelt

Dr. Frank von der Kammer, Universität Wien

Ausgangspunkt der Überlegungen ist die Chemie und Analytik nanoskaliger kolloidaler Systeme im Boden und Wasser. Es gibt in der Umwelt einen „natürlichen“ Hintergrund an Nanopartikel. Ein zu beachtender Unterschied zu synthetisch hergestellten Nanopartikeln wie Titandioxid oder Silber ist der Umstand, dass synthetische Partikel häufig Oberflächenbehandlungen bzw. -modifikationen erfahren, welche deren Agglomerationsverhalten beeinflussen. So ist etwa nanostrukturiertes Titandioxid je nach gewünschtem Effekt mit bis zu 25 unterschiedlichen Coatings ausgerüstet. Dieses Coating kann Agglomerationen behindern und beitragen, die Nanostruktur der Partikel in der Umwelt zu erhalten. In diesem Fall kann auch die Funktionalität (z.B. photokatalytische Aktivität) erhalten bleiben. Bei Testung einer Aufnahme synthetischer nanoskaliger Partikel durch Mikroorganismen ist deshalb zu beachten, welches Coating die Testsubstanz aufweist bzw. sind Analogieschlüsse aus Testsystemen auf reales Umweltverhalten dahingehen zu relativieren.

Schätzung der ökonomischen Relevanz ausgewählter nanotechnologischer Produkte

Mag. Enikő Veres, Joanneum Research JOANNEUM RESEARCH bearbeitet ein Modul des Gesamtprojektes, welches die ökonomische Relevanz der ausgewählten nanotechnologischen Produkte darstellt. Die Analyse erfolgt durch die Zuordnung der ausgewählten Produkte zur österreichischen Klassifikation der Produktklassen (nach ÖCPA) sowie durch die Zuordnung dieser Produkte zur statistisch erfassten Klassifikation der Wirtschaftsaktivitäten in Österreich (nach ÖNACE). Die Darstellung der ökonomischen Relevanz der Wirtschaftsbranchen ist besonders wichtig, weil sie die wichtigste sekundärstatistische Basis zur Einschätzung der ökonomischen Bedeutung der ausgewählten Einzelprodukte darstellt. Um über die Produkte mehr zu erfahren, wurden Interviews mit den Herstellern und auch mit technologischen Experten durchgeführt: Leitfragen lauteten z.B.: „Handelt es sich um ein komplettes Neuprodukt - für den Markt, für das Unternehmen, oder wurde ein bestehendes Produkt durch Nanopartikel weiterentwickelt?“; „Welche herausragenden chemisch-physikalischen Eigenschaften hat das Produkt?“; „Welche konkurrierenden Produkte existieren bereits am Markt?“ Um über den Markt der nanotechnologischen Produkte in Österreich mehr zu erfahren, wurden folgende Fragen gestellt: „Wie ist die Branchenstruktur in Österreich beschaffen?“; „Wer sind relevante Produzenten in Österreich im Bereich Beschichtung?“; „Handelt es sich eher um eine polypolistische oder oligopolistische Konkurrenz?“

Die zwei im Projekt behandelten nanotechnologischen Produkte sind nanotechnologische Oberflächenbeschichtungen. Beschichtungen, Lacke und Pigmente sind in den Wirtschaftsaktivitäten dem

Bereich der Chemischen Industrie zuzuordnen. Die Chemische Industrie ist gemessen an der Bruttowertschöpfung die drittgrößte Industriebranche in Österreich. Sie zeichnet im Verhältnis zur gesamten Industrie für mehr als 10 % der Beschäftigten und mehr als 10 % des Produktionswertes verantwortlich und ist ebenfalls Spitzenreiter bei den Umweltschutzausgaben. Nicht zuletzt hält sie mit 13,5 % der F&E-Ausgaben eine Spitzenposition. Die zwei betrachteten Beschichtungen werden in der Holzindustrie und in Glas- und Keramikindustrie eingesetzt. Während der Analyse wird auch die vermutete Wertschöpfungskette der betrachteten nanotechnologischen Beschichtung angeschaut. Diese Nanobeschichtungen können in der Holzindustrie und auch in der Verarbeitung von Glas und Keramik völlig neue Produkte mit extremen Eigenschaftsprofilen erzeugt werden. Fraglich ist, wie intensiv Vorleistungen (Produkte, wie z.B. Nanobeschichtungen) aus der Chemischen Industrie zur Herstellung von Glas sowie zur Herstellung von Holzwaren bezogen werden. Bei 8.7 % der Glas -, und 5.3 % der Holzwaren wurden Vorleistungsprodukte von der chemischen Industrie nachgefragt, so haben diese nach den sektoreigenen Rohstoffen in Holz und Glasverarbeitung eine hohe Bedeutung.

13 ExpertInnengespräche

1. Christian Breitwieser, Rembrandtin Lack GmbH Nfg. KG, Ignaz-Köck-Straße 15, 1210 Wien, e-mail: christian.breitwieser@rembrandtin.com
2. Dr. Jürgen Höck, TEMAS AG, CH-9320 Arbon, e-mail: Juergen.Hoeck@temas.ch
3. Dr. Klaus Schaubmayr, Fachverband der Chemischen Industrie Österreichs - FCIO Wiedner Hauptstraße 63, A-1045 Wien, e-mail: schaubmayr@fcio.wko.at
4. DI Dr. Stefan Köstler: Institut für Chemische Prozeßentwicklung und –kontrolle, JOANNEUM RESEARCH, Steyrergasse 17, 8010 Graz, e-mail: stefan.koestler@joanneum.at
5. DI Helmut Wiedenhofer, NanoCenter Weiz, Franz-Pichler-Straße 32, A-8160 Weiz, e-mail: helmut.wiedenhofer@ntz.at
6. DI (FH) Georg Samhaber, Profactor GmbH, Im Stadtgut A2 , A-4407, Steyr-Gleink, e-mail: Georg.samhaber@profactor.at
7. Mag. Patrick Wagenhofer, Wagenhofer Coating Services GmbH, Wiedner Hauptstrasse 59/7, A-1040, Wien, e-mail: office@wagenhofer-cs.com