

Umweltentlastungen durch Nanotechnologie – Faktor 10 oder eher inkrementelle Effizienzsteigerungen mit hohen Risiken?

Tagung: NTA4 – Vierte Konferenz des Netzwerkes TA
„Der Systemblick auf Innovation – Technikfolgenabschätzung in der
Technikgestaltung“

Dipl.-Ing. Michael Steinfeldt
Berlin, 25. November 2010

Nanotechnologie und Umwelt

- „Radical green vision“ – Nanotechnologien ermöglichen eine umfassende umweltentlastende Strategie; erhoffte Effizienzgewinne in vielfältigen Technologiebereichen
- Verändertes Produktionsparadigma, neben „top-down“ → „bottom-up“
 - Top down Nanotechnologie: Miniaturisierung (Dematerialisierung), Funktionalisierung von Materialien und deren Oberflächen, Katalyse
 - Bottom up Nanotechnologie (‘Wachsen lassen’): Selbstorganisierte Moleküle und Materialien (Fullerene, CNTs, Mizellen), Biomimetische Materialien (synthetische Knochen, Perlmutter)
- Realität:
 - ca. 25-30 Publikationen: “LCA” von Nano-Anwendungen
 - ca. 10 Publikationen: “LCA” zur Herstellung von Nanopartikeln etc.

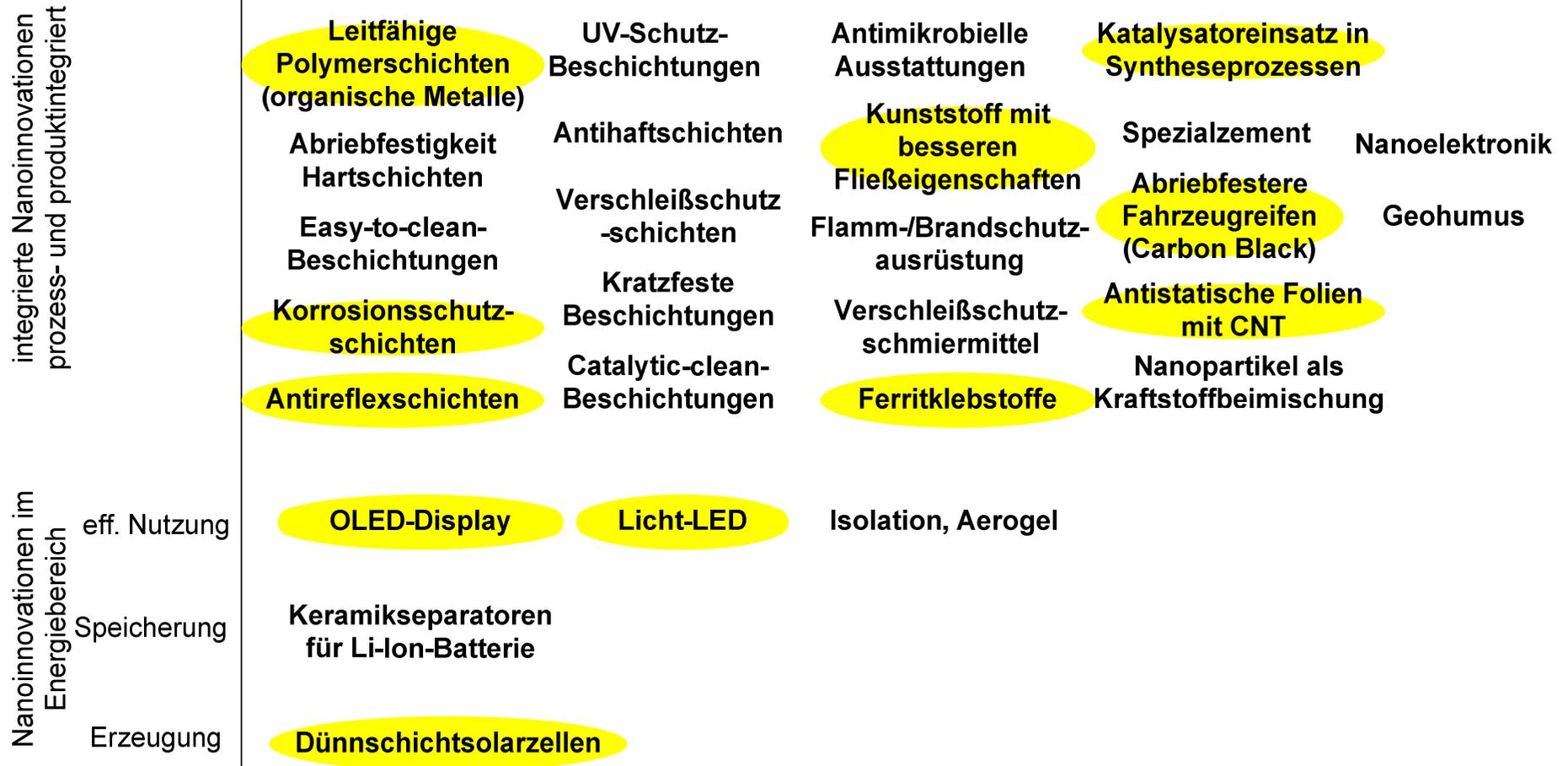
Green Nanotechnologies – Typisierung von Nano-Umweltinnovationen

- End-of-pipe-Nanoinnovationen
 - Luftreinhaltung
 - Entsorgung und Recycling
 - Abfall- und Abwasserbehandlung
 - Bodensanierung
- Nanoinnovationen in der Mess- und Regeltechnik
- Integrierte Nanoinnovationen (produkt-/ prozessorientiert)
 - Substitution von Gefahrstoffen
 - Materialien: Effizienz und neue Nutzungen
 - Energieerzeugung /-speicherung, Energieeffizienz
- Zeitliche Perspektive: Nanotechnologie-Generationen (Nanomaterialien, Nanosysteme,...)

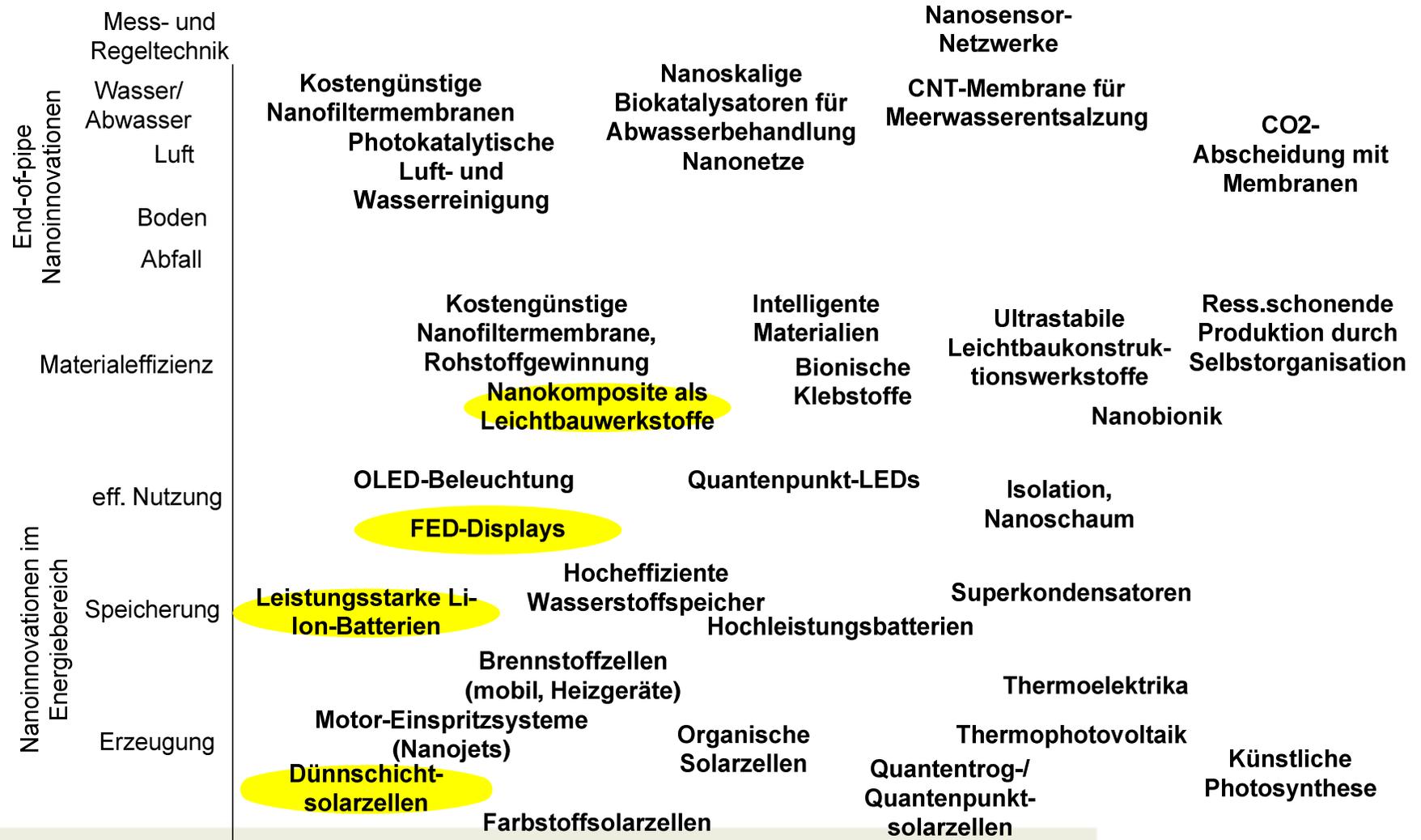
Nanotechnologiebasierte Produkte / Anwendungen am Markt

End-of-pipe Nanoinnovationen	Mess- und Regeltechnik	Nanosensoren			
	End-of-pipe, Luftreinhaltung	Katalysatoren, z.B. Abgaskatalysatoren	nanostrukturierte Filtersysteme	nanoporöse Membrane	Photokatalysatoren
	Abwasserbehandlung	nanostrukturierte Filtersysteme	nanoporöse Membrane	nanobeschichtete keramische Filter	Nanofasern
	Entsorgung und Recycling				
	Bodensanierung	katalytisch aktive nanostrukturierte Partikel	katalytisch aktive nanostrukturierte Metalloxide	magnetische Nanopartikel für Arsensanierung	

Nanotechnologiebasierte Produkte / Anwendungen am Markt



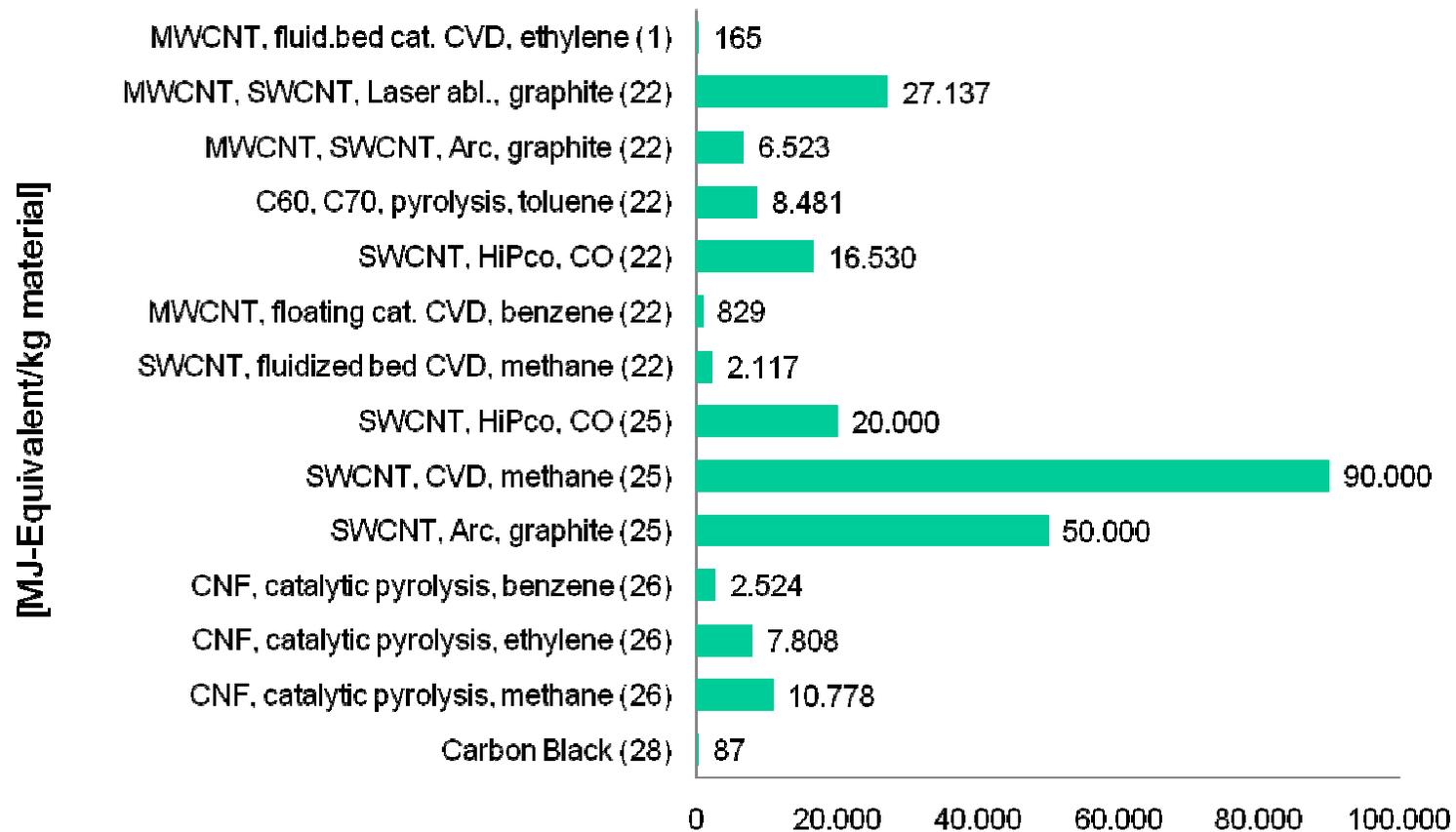
Erwartbare Produkte / Anwendungen



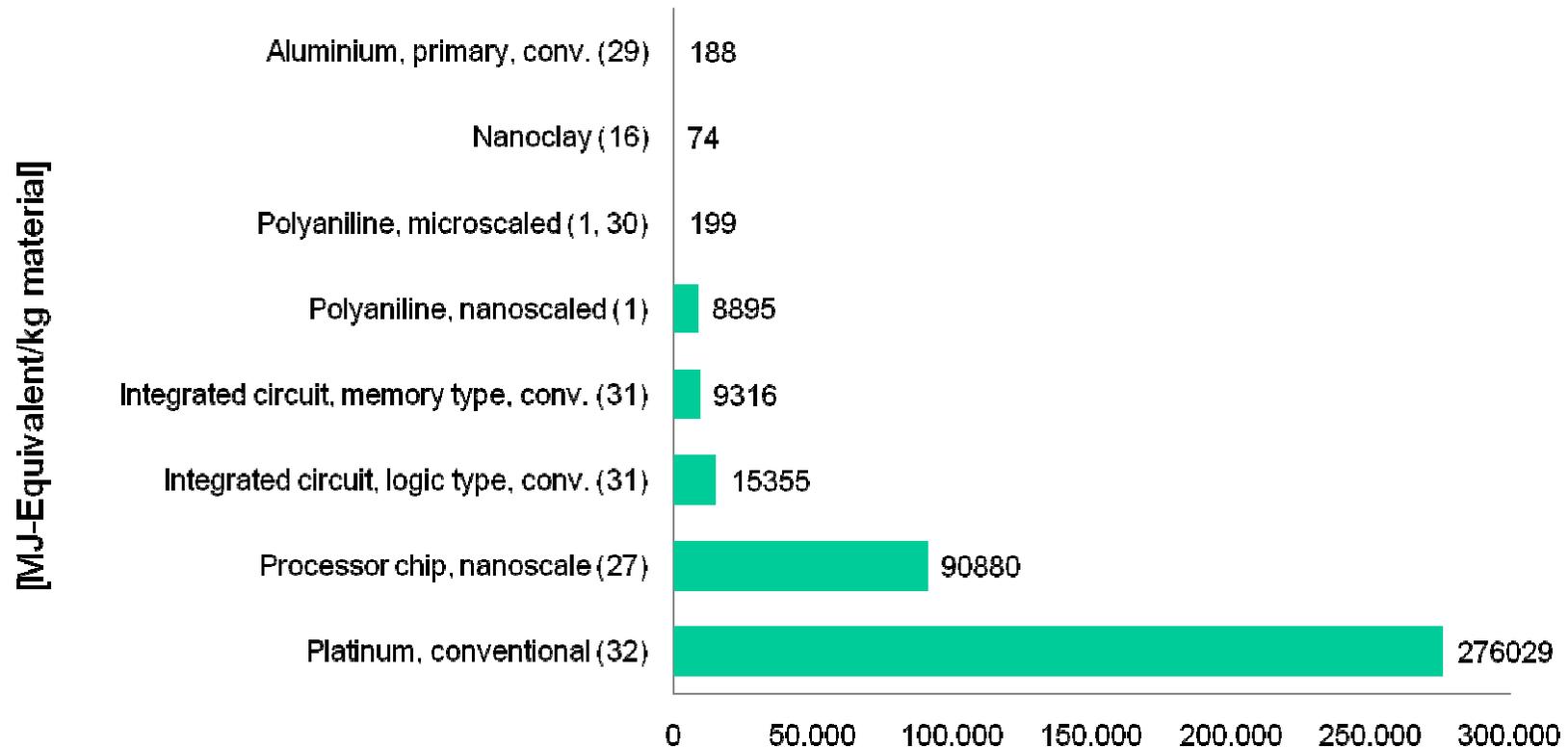
Nanomaterialien des OECD–Testprogramms

- Carbon black
- Siliziumdioxid
- Titandioxid
- Silbernanopartikel
- Multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs)
- Zinkoxid
- Eisennanopartikel
- Ceroxid
- Aluminiumoxid
- Fullerene (C60)
- Single-walled carbon nanotubes (SWCNTs)
- Polystyren
- Nanoclays
- Dendrimere

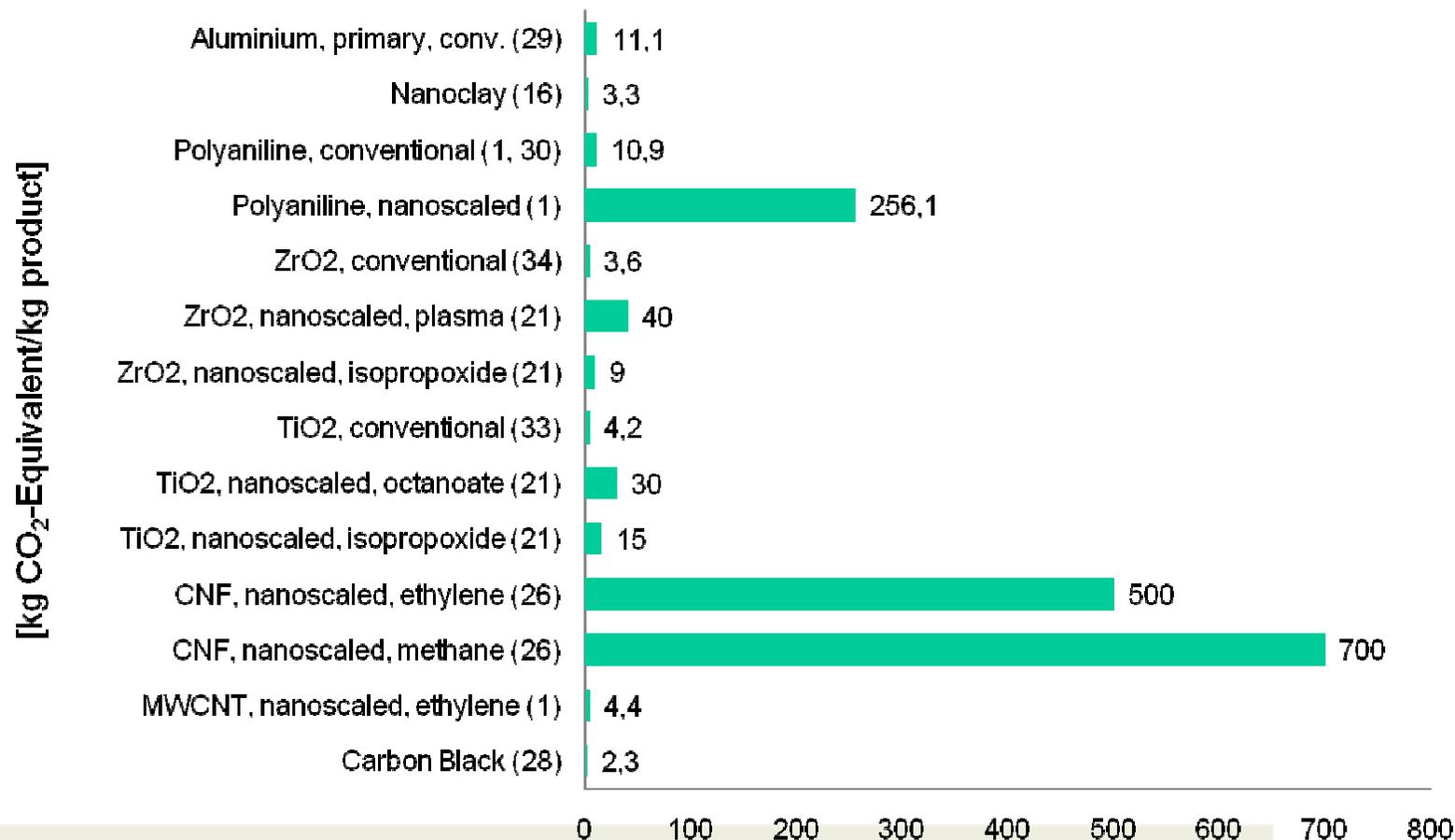
Comparison of the cumulative energy requirements for various carbon nanoparticle manufacturing processes



Comparison of the cumulative energy requirements for the production of various conventional and nanoscaled materials and components



Comparison of the global warming potential for the production of various conventional and nanoscaled materials (in parts own calculation)



Vergleichende Ökopprofile von Nanoinnovationen

- Basieren auf der Methode der Ökobilanz (Life Cycle Assessment)
- Nur Ökopprofile (keine Ökobilanzen) wegen Datenproblemen
- Fokus: Potenziale zur Umweltentlastung durch Nanotechnische Produkte und Prozesse
- Untersuchung von Risikoaspekten, speziell auch im Umgang mit Nanomaterialien, mit Hilfe eines Preliminary Assessment (Besorgnis-/Entlastungskriterien)

Case study: Surface Finishing of Circuit Boards

(prepared for soldering)

Variants (vertical/horizontal):
 conventional

HASL: Hot Air Solder Leveling

**ENIG: Electroless Nickel/
Immersion Gold**

Im Ag: Immersion Silver

Im Sn: Immersion Tin

**OSP: Organic Solderability
Preservative**

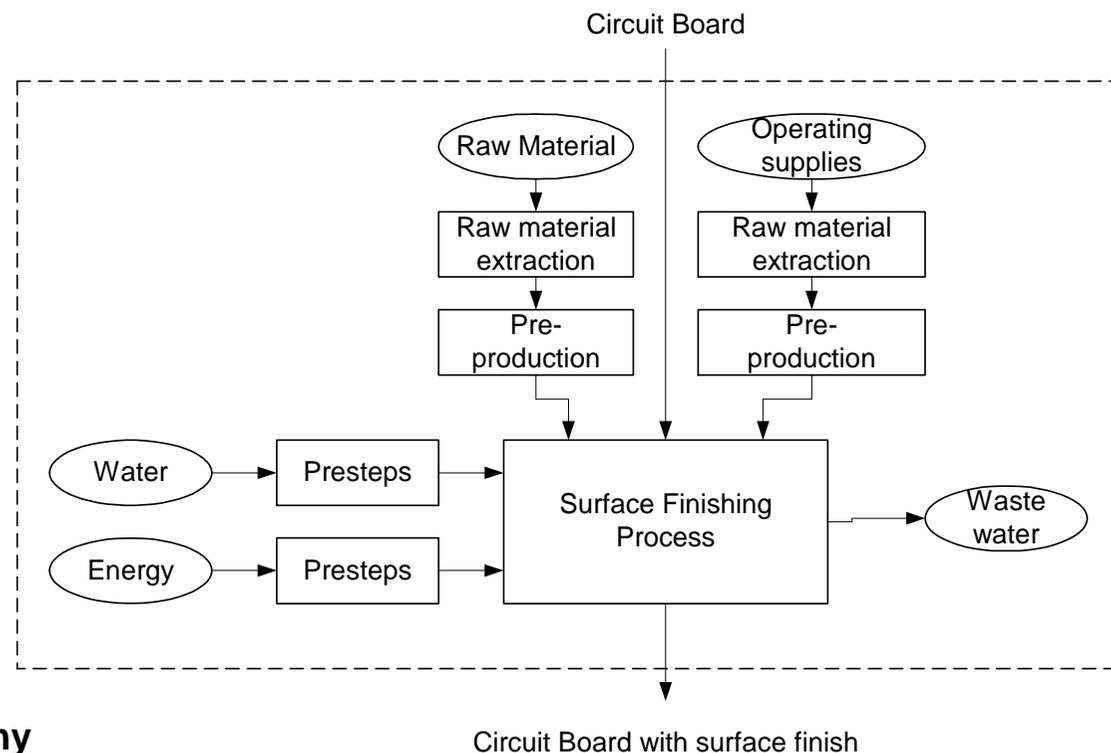
nanotechnology-based

**OM Nanofinish: Organic Metal
(nanoscale polyanilin)
plus silver**

Functional unit: 1000 m² CB

Basic data from a EPA study and
 data from Ormecon GmbH, Germany

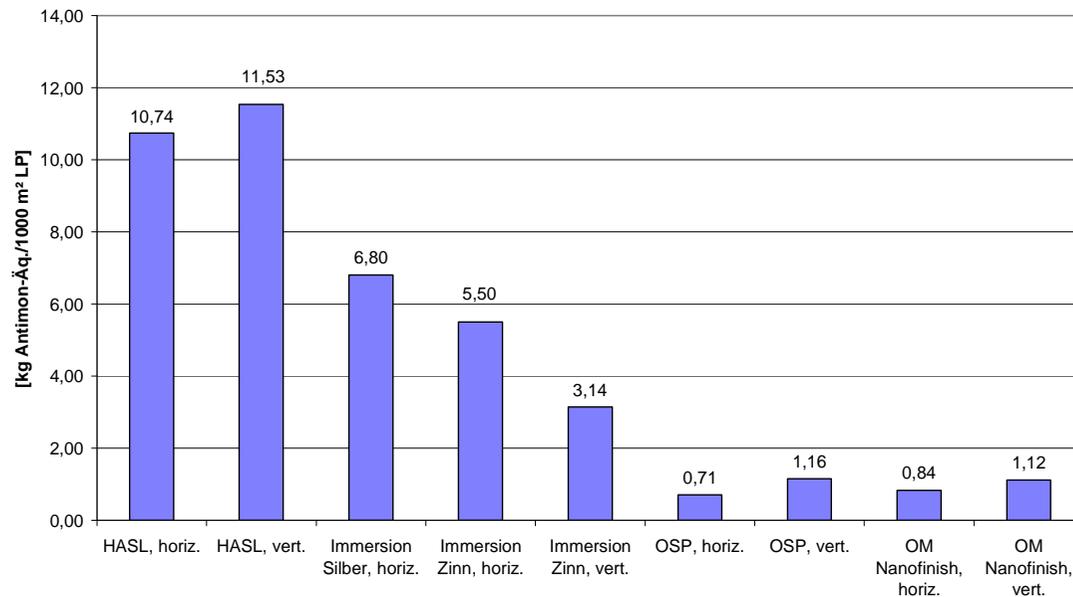
System limits for the comparative life cycle assessment



Selected results:

Abiotic resource consumption (ENIG: 411,91 kg Antimon-Eq./1000 m² CB!!!)

OSP and OM Nanofinish have significantly lowest abiotic resource consumption

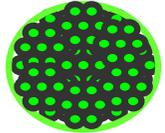
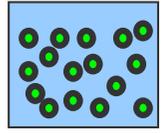
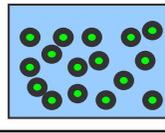


The fields of application of OSP are not in high-grade production, rather in the mass markets (**quality differences**)

- A reduction of > 90% in the metal demand compared to metallic surface finishes
- A reduction of 50 – 95% in the energy demand
- A reduction of around 70% in the water demand
- A reduction of > 80% in the greenhouse potential compared to metallic surface finishes ...

Besorgnisanalyse



Produktlebenswegstufe			Charakterisierung
Herstellung 1. Synthese des Anilins (Pulver)		- Polymerisation - Fällung - Waschung; Polyanilin in Pulverform	Polyanilin-Pulver, Agglomerate im μm -Bereich; gekennzeichnet durch hohe Oberflächenenergie
Herstellung 2. Dispersion (Trennung der Agglomerate extrem schwer zu erreichen)		- Dispersion in mehreren Schritten - Separation der Primärpartikel (ca. 10 nm)	Wässrige Polyanilin-Dispersion mit separierten ca. 10 nm-Primärpartikeln;
Verarbeitung in der OM Nanofinish-Anlage		- Dispersion im Abscheidebad, Anteil an Polyanilin < 1%	Wässrige Polyanilin-Dispersion mit separierten ca. 10 nm-Primärpartikeln;
Applikation / Produkt		- Getrocknete Endoberfläche auf der Leiterplatte	Polyanilin-Film (ca. 55 nm-dicker Film mit Silber); Wechselwirkungen der Nanopartikel untereinander und mit dem Substrat, Nanopartikel in Polyanilin-Filmmatrix, nicht mobil
Löten der Leiterplatte		Der Polyanilin-Film wird beim Lötvorgang ins Lot integriert.	Der Polyanilin-Film ist so stabil, dass mehrmaliges Löten unter Hitzebildung (bis 260°C) möglich ist. Beim Polyanilin-Film handelt es sich nicht um einen kohärenten Film, sondern um ca. 60 Nanopartikel auf 1 μm^2 . Diese werden beim Lötvorgang in die mehr als 100fache Menge an Lot integriert, sie sind bisher dort (aufgrund ihrer Nanoskaligkeit) nicht wiedergefunden worden.
Produktende		- LP-Recycling / Verbrennung / Entsorgung	Bei Verbrennung geht die Substanz sowie die Struktur verloren.

Besorgnisanalyse

II

Besorgniskriterien	Bewertung
Hinweise auf erwartbar hohe Exposition:	
Produktionsmenge	Die erwartbare Produktionsmenge bei Ormecon ist für den Anwendungsfall Endoberfläche als eher gering anzusehen. Bei einem Weltmarktanteil von 10% (d.h. 25 Mio m ² Leiterplatten würden von OM Nanofinish-Anlagen bearbeitet werden) benötigte man 950 kg Polyanilin pro Jahr.
Mobilität	???, nicht bekannt
Gezielte Freisetzung	nein
Persistenz der Nanoeigenschaft	nicht gegeben
Bioakkumulation	Kann nicht akkumulieren, da Polyanilin selbst aus wässrigen Dispersionen nicht bioverfügbar ist, nicht resorbiert werden kann
Hinweise auf eventuell problematische Wirkungen:	
Hohe Reaktivität	keine hohe Reaktivität
Problematische Morphologie	eher nicht, da nur in Schicht enthalten; Primärpartikel eher „rund“
Problematische Wechselwirkungen	???, nicht bekannt
Problematische Transformationen	???, nicht bekannt
Nanospezifische (Öko)Toxizität	???, nicht bekannt
Hinweise auf Probleme im Risikomanagement:	
Schlechte Nachweisbarkeit und	eher nicht

Case study: Eco-efficient Nanocoatings

Coating of aluminium

Variants:

conventional

- 1 component clear coat (1 KKC)
- 2 components clear coat (2 KKC)
- Water based clear coat (Water CC)
- Powder clear coat (Powder CC)

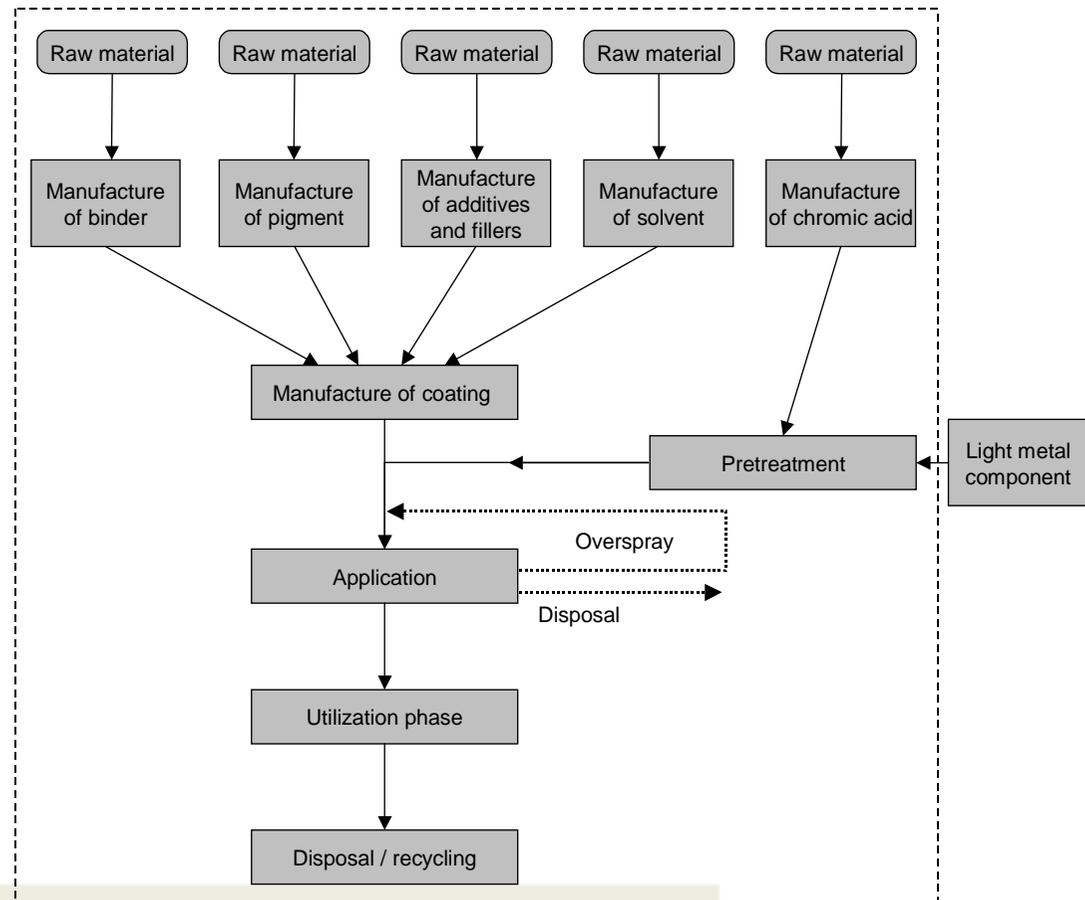
nanotechnology-based

- Nano clear coat (Nano-coat)
(Nano Tech Coatings, sol-gel technology)

=> ‚chromate‘ in pre-treatment
not necessary for ‚nano clear coat‘

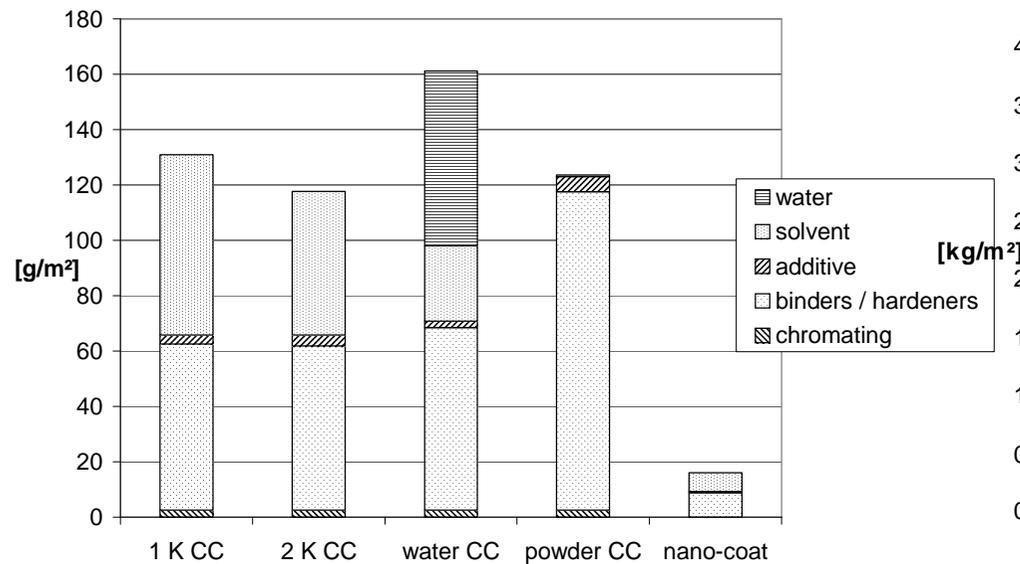
Functional unit: 1 m² coated
aluminum automobile surface area

System limits for the comparative life cycle assessment

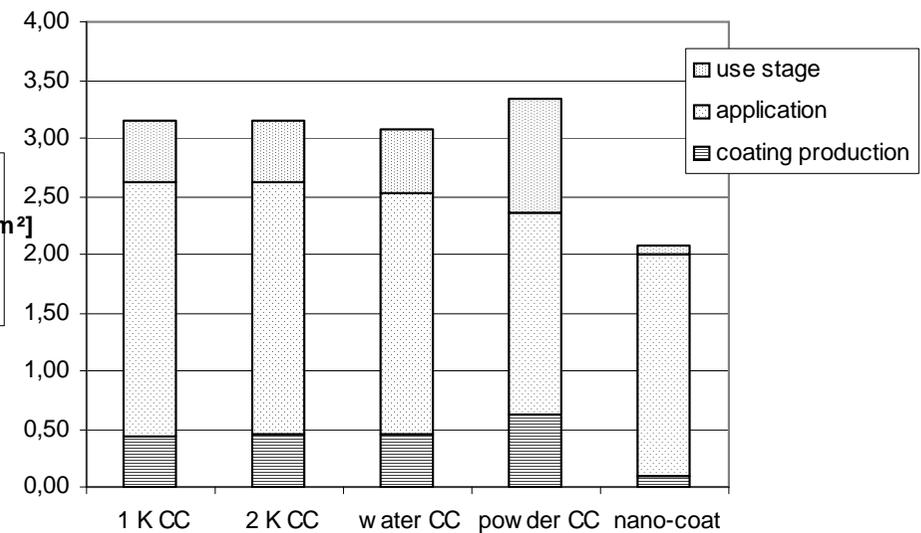


Selected results:

Coating and Chromating Quantities
 (g/m² coated aluminum automobile surface area)



Global Warming Potential
 (kg/m² coated aluminium automobile surface area)

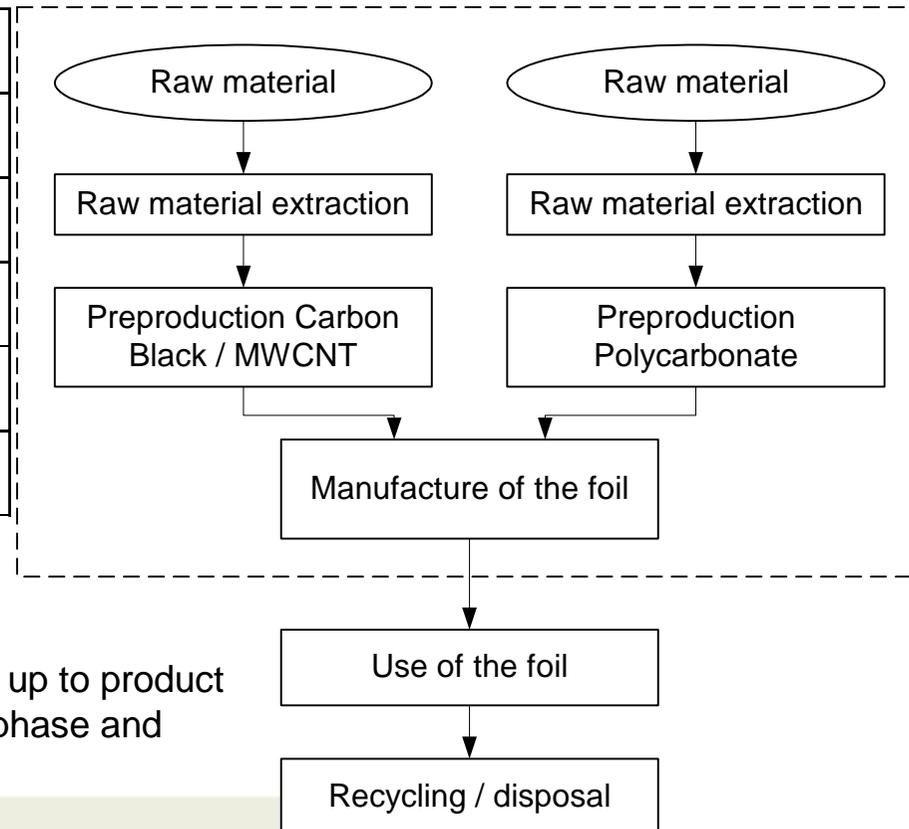


Case study: Conductive Plastic Foil with MWCNT (Baytubes) in semiconductor industry

Variants:

System limits for the comparative life cycle assessment

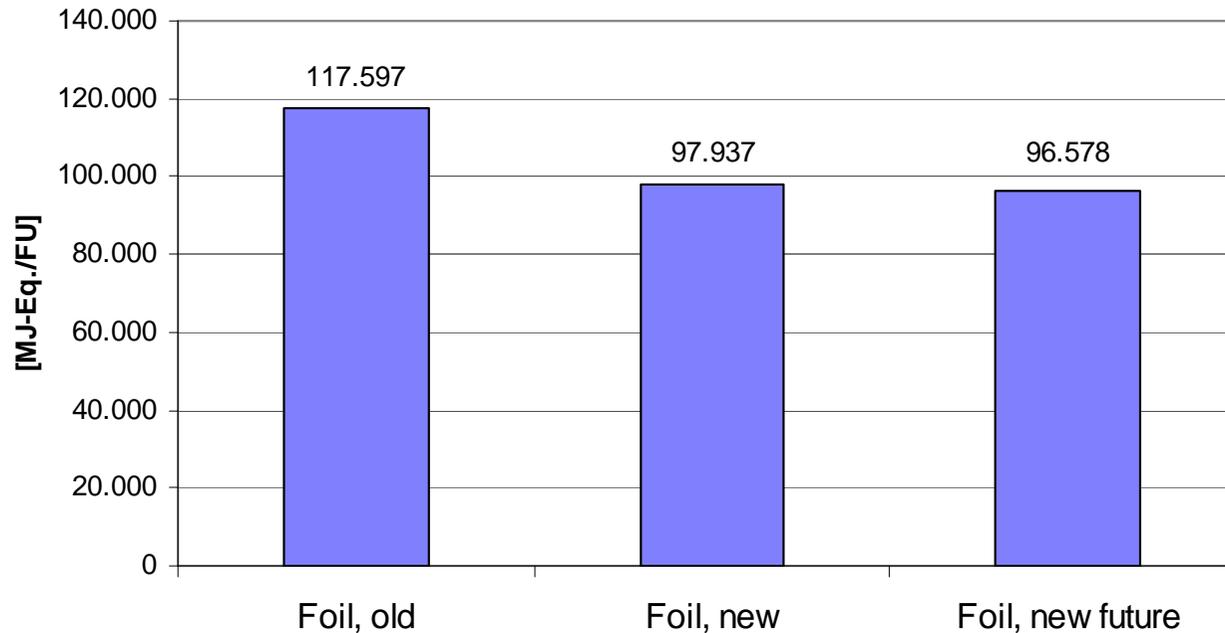
	Foil,old with Carbon Black	Foil, new with MWCNT
Main component	Polycarbonate, 85%	Polycarbonate, 97%
Additive	Carbon Black, 15%	MWCNT, 3%
Necessary foil thickness	100%	Reduced foil thickness, 80%
Manufacture of foil	Deep-drawing	Deep-drawing
Functional equivalence	1000kg	800kg



System boundaries only supply chain up to product (incl. MWCNT production - excl. use phase and incineration)

Select results:

Primary energy consumption old foil vs. new foil: – 17%



Future: Production of
MWCNT in large scale
plant

Global warming potential old foil vs. new foil: – 12,5 – 13%

Eutrophication potential old foil vs. new foil: – 20%

.....

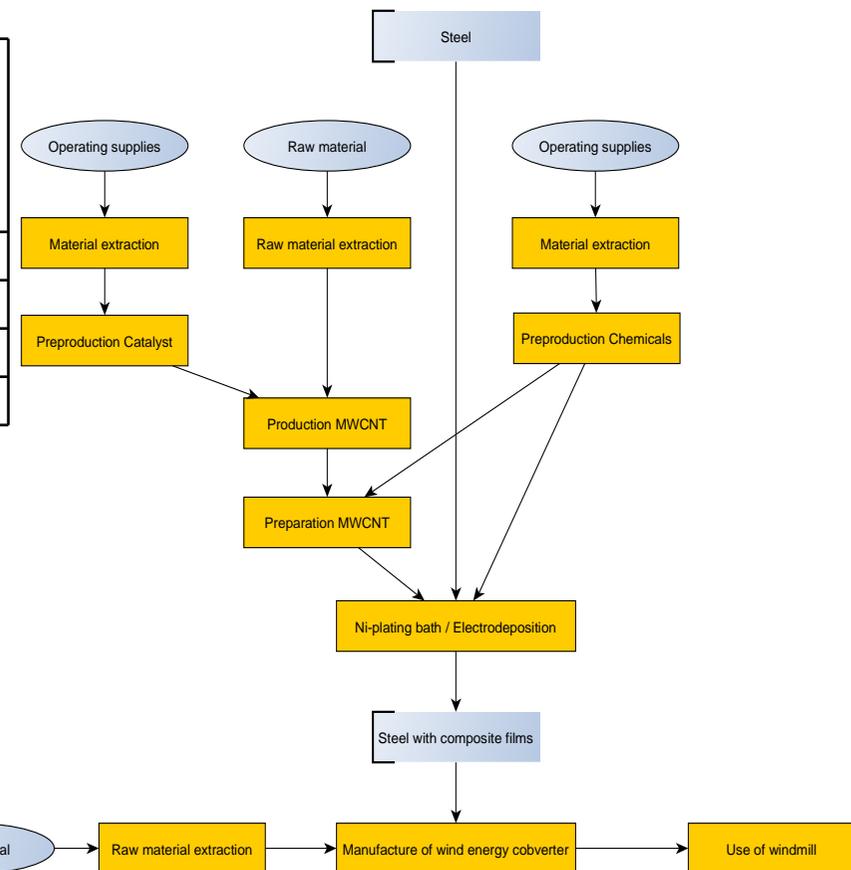
Source: Steinfeldt et al. 2010

Case study: CNT Composite films, for example of wind power applications

Variants

Name	Increase of the energy production efficiency	Energy yield of the wind power plant, 2MW, offshore	Difference as conventional electricity from production mix
Old WPP	-	105.200.000 kWh	263.000 kWh
NewCF WPP 0,05	0,05%	105.252.600 kWh	210.400 kWh
NewCF WPP 0,1 ...	0,1% ...	105.305.200 kWh	157.800 kWh
NewCF WPP 0,25	0,25%	105.463.000 kWh	---

System limits for the comparative life cycle assessment



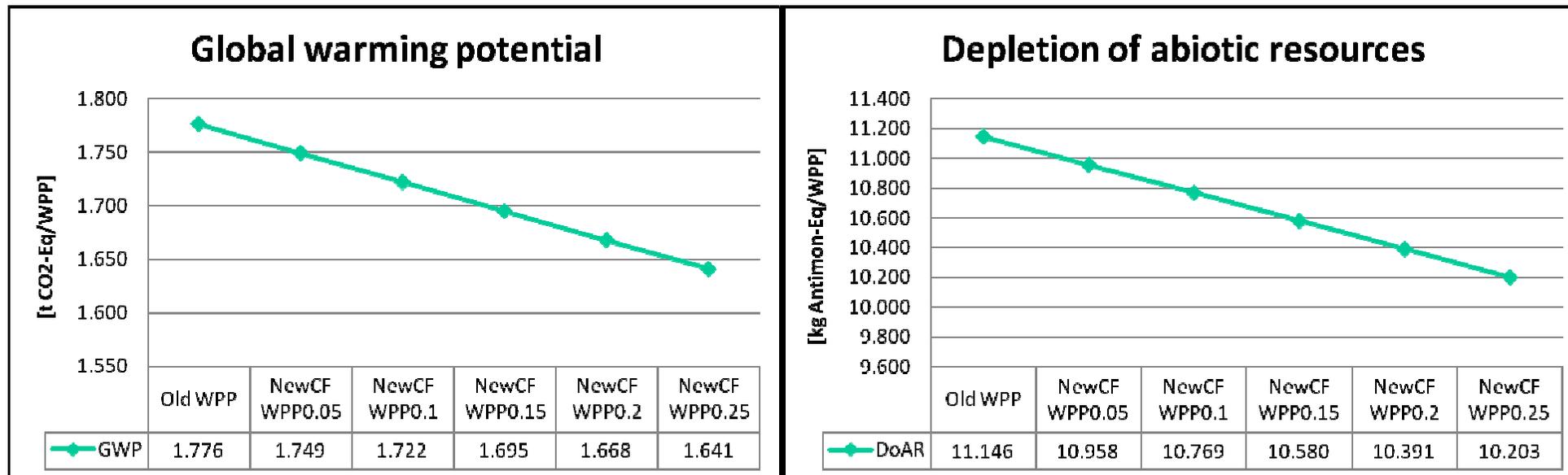
System boundaries incl. VGCF production and electrodeposition, incl. benefit/credit through increased energy efficiency
Functional unit: prognosticated energy yield of a wind-power plant

Important assumptions:
CNT content rate: 3%
Size of composite films area: 10 m²

Case study: CNT Composite films, for example of wind power applications

NewCF 0.25 versus Old: improvement around ca. 7,5%;

NewCF 0.25 versus Old: improvement around ca. 8,5%



Eutrophication potential: improvement around only ca. 4%

Acidification potential: improvement around ca. 8%

Cumulated energy demand: improvement around ca. 11% ...

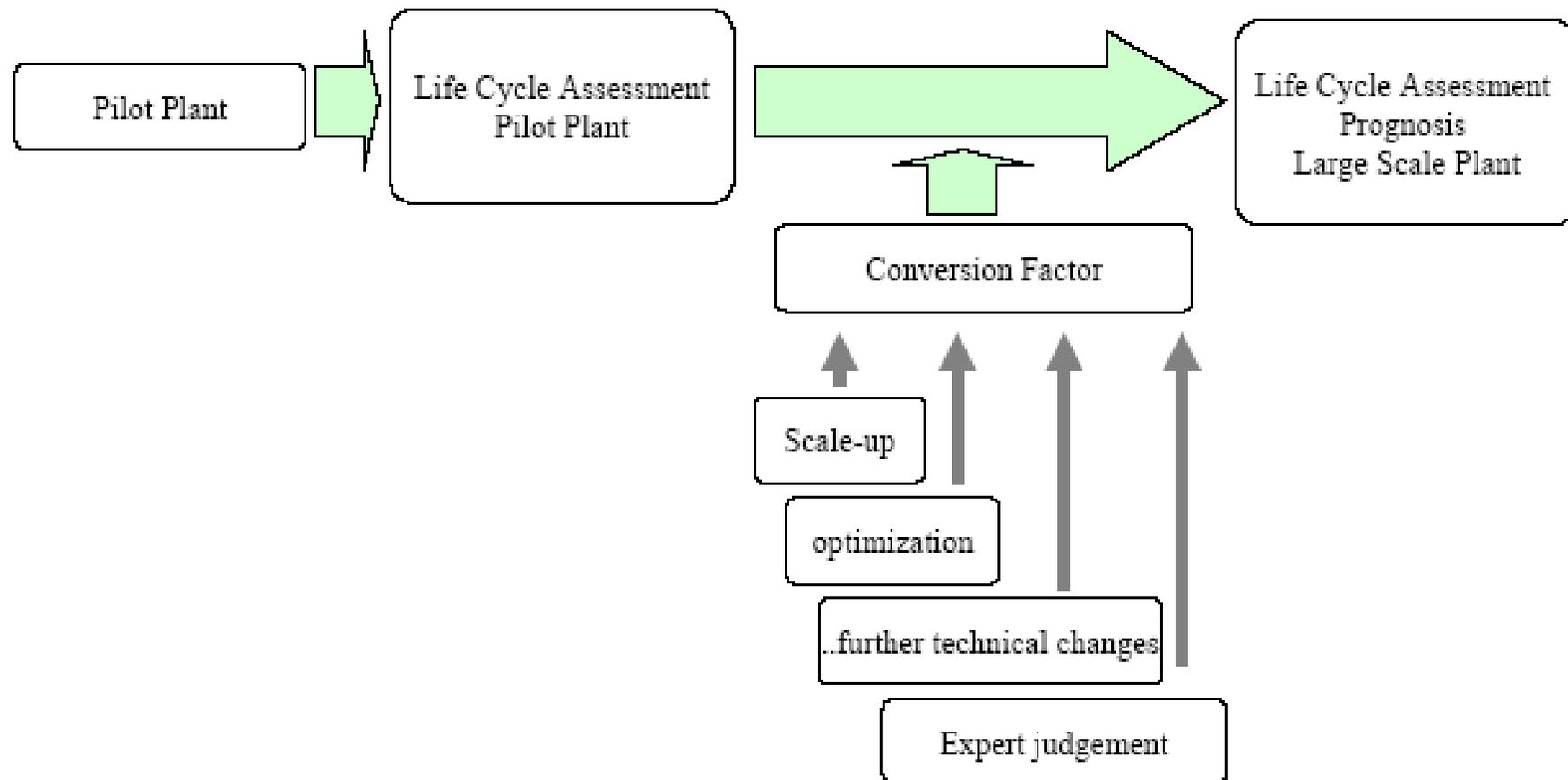
Methodische Probleme bei der prospektiven LCA

- Validität der vorhandenen Datensätze bzw. fehlende Daten
- Methodische Defizite, fehlende Methode zum systematischen Scale Up von LCA-Ergebnissen von Laborprozessen / Pilotanlagen auf Großanlagen

Ansätze zur Problemlösung

- Umfassende Charakterisierung der Verfahren (physikalische Parameter und Anforderungen, Apparateanforderungen...)
- Erfassung von quantifizierten Stoff- und Energiestromdaten der Verfahren (Sachbilanz) auf Laborebene (Modularisierung)
- Bestimmung der wesentlichen Einflußgrößen und deren Zusammenhänge für das Scaling Up des Verfahrens im Hinblick auf ökologisch relevante Wirkungen
- Softwaregestützte Modellierung inklusive Scaling Up-Extrapolationen (soweit möglich, Verifizierung durch Industriedaten)

Arbeitsmethode zur Prognose von erwartbaren LCA-Daten



Fazit

- Nanotechnologische Anwendungen sind nicht per se ökologisch bzw. nachhaltig; wesentliche Pfadgestaltungen geschehen heute
- Potentiale für weit reichende Beiträge zu einem nachhaltigen Wirtschaften durch Nanotechnologien sind vorhanden und sollten aktiv genutzt werden; abhängig vom Typ und Höhe der Innovation (Nanotechnologie Generation, inkremental vs. radikal, end-of-pipe vs. integriert)
- (Prospektive) Quantifizierung von Ökoeffizienzpotenzialen ist möglich und notwendig, auch schon im Forschungs- und Entwicklungsstadium
- Risikopotenziale soweit wie möglich mit Hilfe eines Preliminary Assessment benennen und bewerten
- Ökologische Vorteilhaftigkeit ist nicht zwangsläufig ökonomisch durchsetzbar (Markteintrittshemmnisse)
- Leitbilder wie ‘Green Nanotechnologies’ können eine hilfreiche Rolle bei der Technikentwicklung und -gestaltung spielen

Team: Prof. Dr. Arnim von Gleich, gleich@uni-bremen.de

Dipl.-Ing. Michael Steinfeldt, mstein@uni-bremen.de, M. A. Christian Pade, pade@uni-bremen.de,
Dipl.-Wi.-Ing. Henning Wigger, henning.wigger@uni-bremen.de

Selected projects, publications and links:

- Steinfeldt, M.; Gleich, A. von; Petschow, U.; Pade, C.; Sprenger, R.-U. (2010): **Entlastungseffekte für die Umwelt durch nanotechnische Verfahren und Produkte (Environmental Relief Effects through Nanotechnological Processes and Products)**. UBA-Texte 33/2010, Dessau.
- German NanoCommission: **Responsible Use of Nanotechnologies – Report and Recommendations of the German Federal Government’s NanoKommission for 2008**, Bonn 2009
http://www.bundesumweltministerium.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nanokomm_abschlus_sbericht_2008_en.pdf
- Gleich, A. von; Steinfeldt, M.; Petschow, U. (2008): **A suggested three-tiered approach to assessing the implications of nanotechnology and influencing its development**. In: Journal of Cleaner Production, 16 (8), p.899-909.
- Steinfeldt, M.; Gleich, A.von; Petschow, U.; Haum, R. (2007): **Nanotechnologies, Hazards and Resource Efficiency**. Springer Heidelberg.
- Steinfeldt, M.; Gleich, A. von; Petschow, U.; Haum, R.; Chudoba, T.; Haubold, S. (2004): **Nachhaltigkeitseffekte durch Herstellung und Anwendung nanotechnologischer Produkte (Sustainability effects through production and application of nanotechnological products)**. Schriftenreihe des IÖW 177/04. Berlin.
- Haum, R.; Petschow, U.; Steinfeldt, M.; Gleich, A. von (2004): **Nanotechnology and Regulation within the Framework of the Precautionary Principle**. Schriftenreihe des IÖW 173/04, Berlin