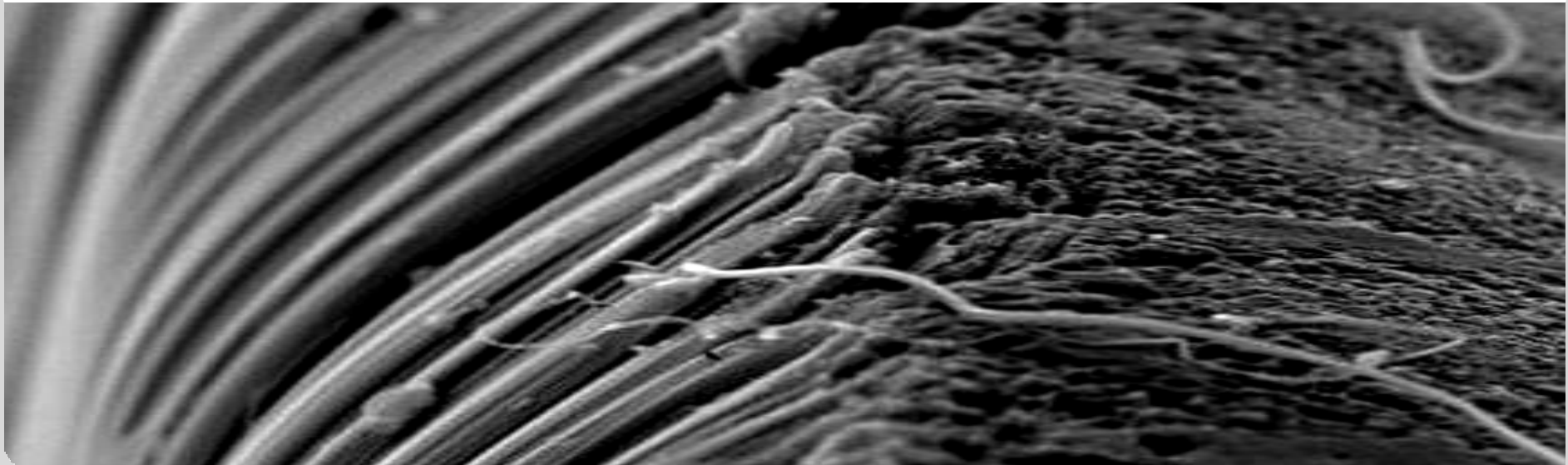
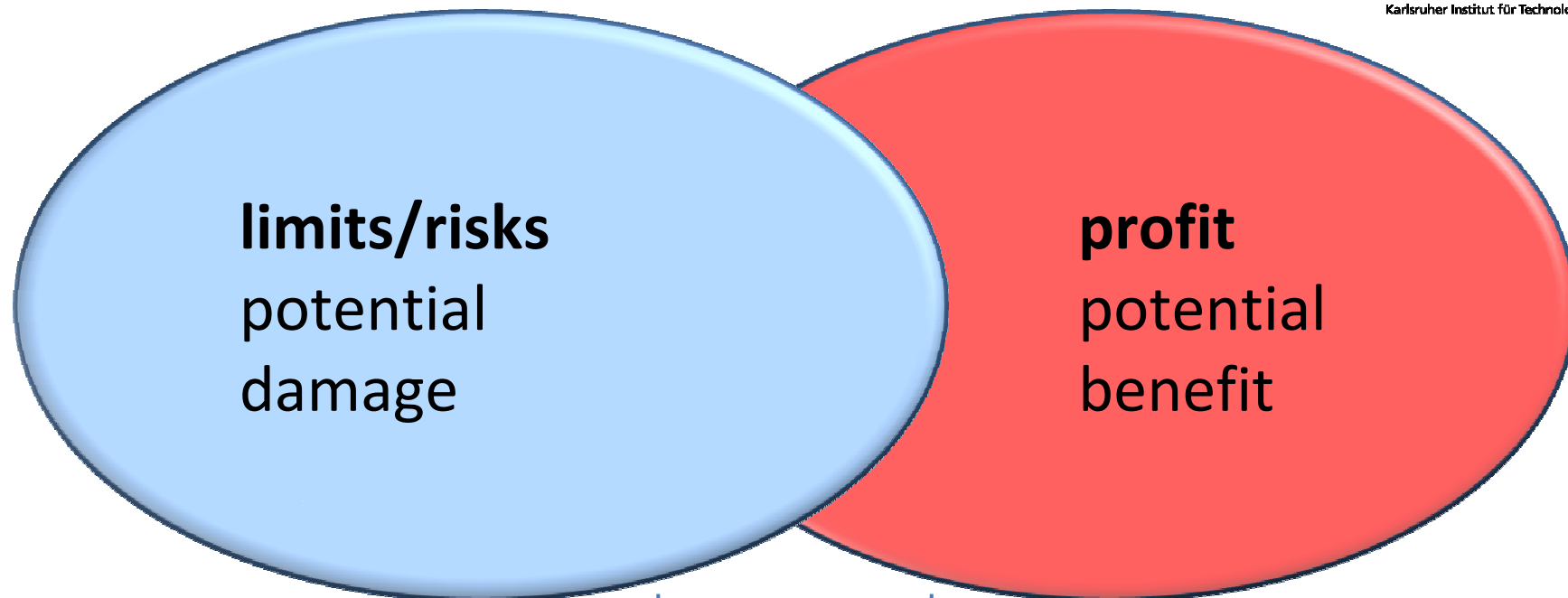


# Systemanalyse in der frühen Phase der Technologie- Entwicklung – Verantwortungsvolle Entwicklung und Herstellung von Kohlenstoff Nanotube Papieren

**Marcel Weil \***, Sascha Crizeli, Stefan Forero

INSTITUT FÜR TECHNIKFOLGENABSCHÄTZUNG  
UND SYSTEMANALYSE





**“Environmentalists”**  
More worried, than happy

Innovationen nur, wenn  
keine (irreversible)  
Schäden zu erwarten sind

responsible  
technology  
development

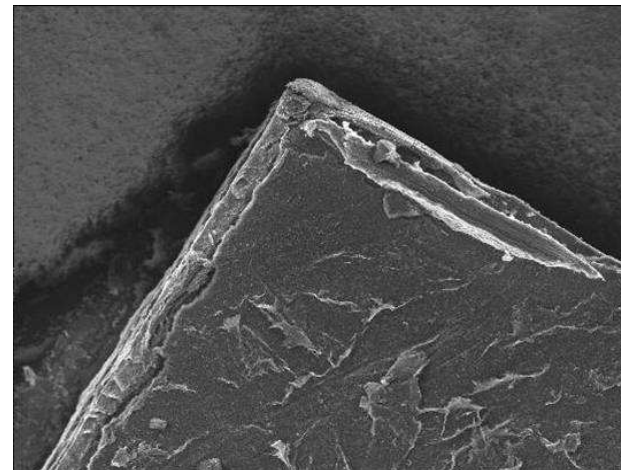
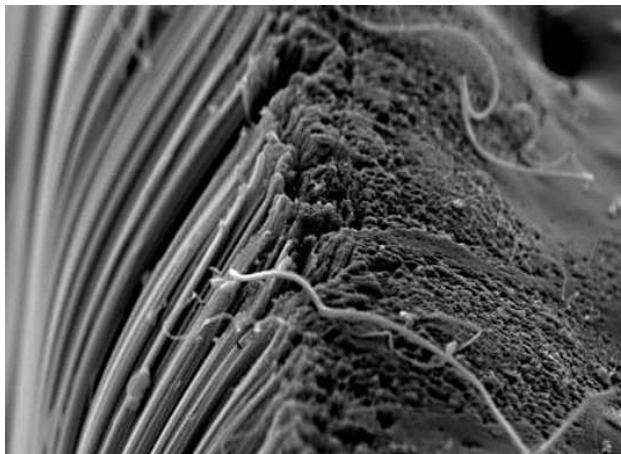
Potentielle Vorteile  
und Limitierungen/ Risiken  
werden betrachtet

**“Technology enthusiast”**  
Don't worry, be happy

Innovationen sollten  
vorangetrieben werden,  
mögliche Schäden  
werden gemanaged



## CNT Papier Produktion



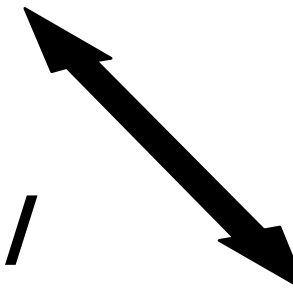
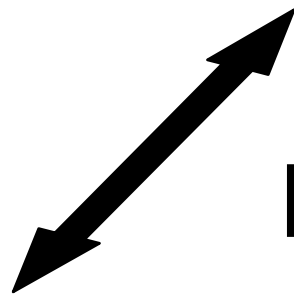
# Anwendungsgebiete von Kohlenstoff Nanotube Papieren (Bucky Paper)

- Künstliche Muskeln
- Leichtbau Heizsystem
- Leichtbau Kühlsystem
- Licht absorbierendes Medium
- Nano- Filtration
- Elektrische-/elektromagnetische Abschirmung
- Elektrodenmaterial für Batterien und Superkondensatoren
- .....



**Neue Materialien/  
Technologien  
Optimierung**





# Nano Materialien/ Technologien Optimierung



# Unbekannte Auswirkungen / Unsichere Daten / Widersprüchliche Ergebnisse

Nano particle (CNT) effect  
on human health

Nano particle (CNT)  
effect on environment



# Unbekannte Auswirkungen / Unsichere Daten / Widersprüchliche Ergebnisse

## Precautionary Principle

**“... the release of nanoparticles to the environment [should be] minimized until these uncertainties are reduced.”**

*The British Royal Society and the Royal Academy of Engineering 2004*





# Unbekannte Auswirkungen / Unsichere Daten / Widersprüchliche Ergebnisse

Nano particle (CNT) effect on human health

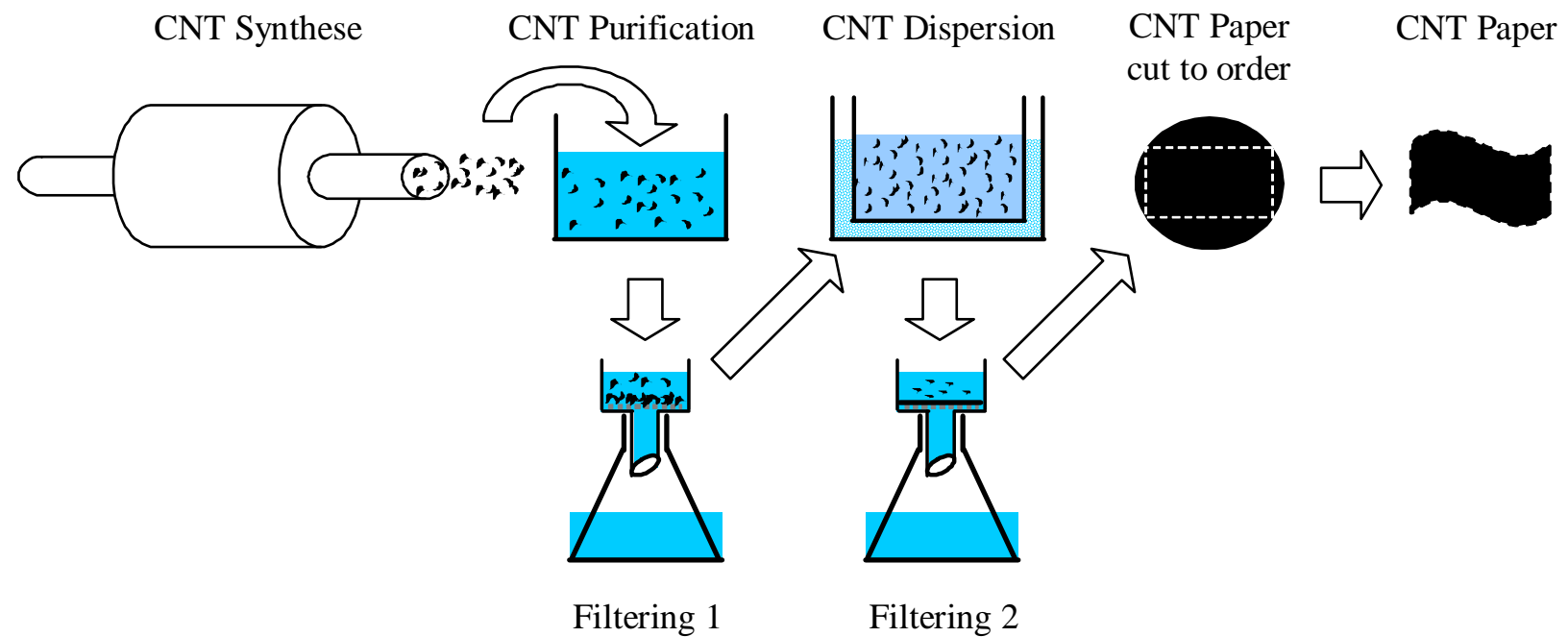
Nano particle (CNT) effect on environment



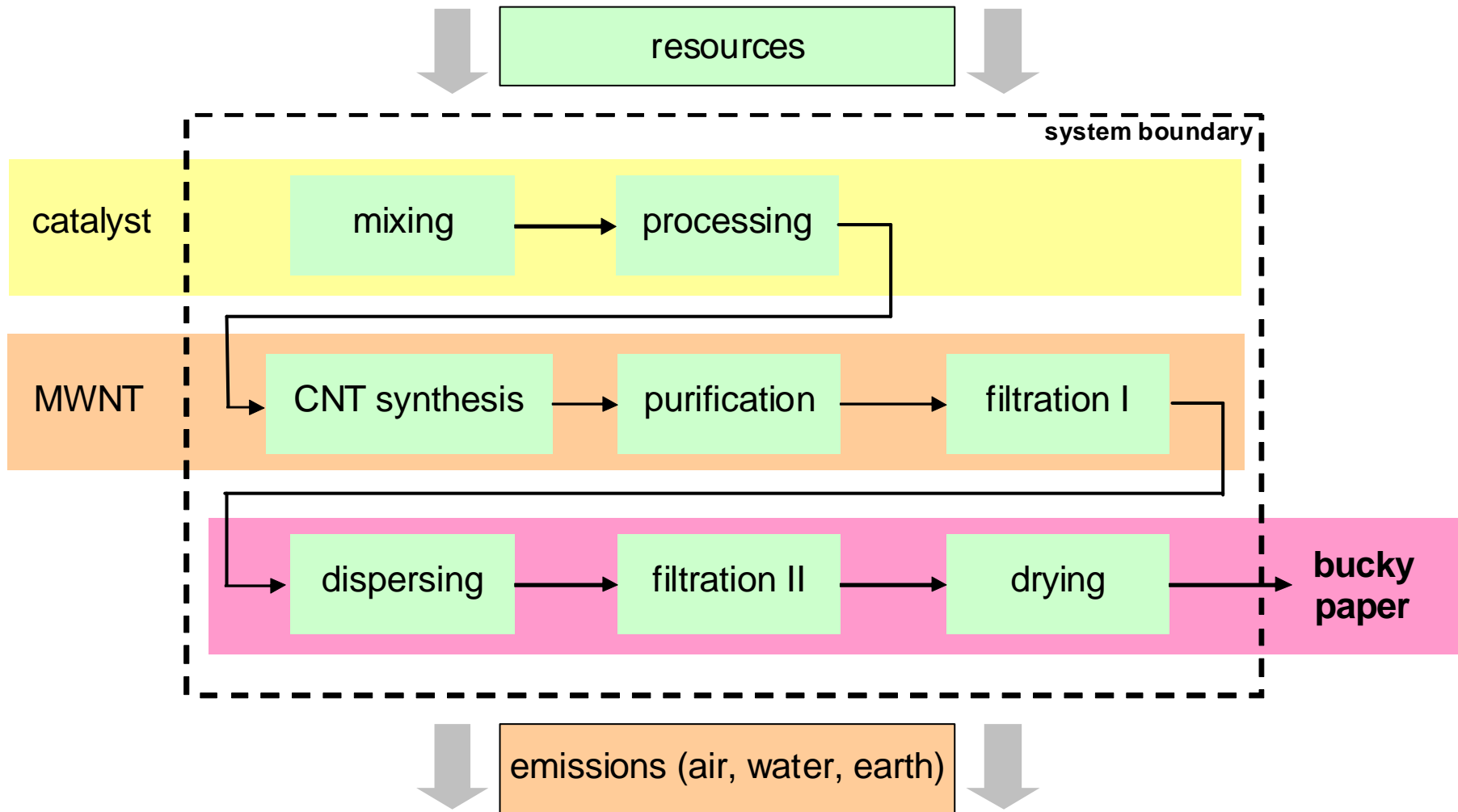
 **Prevent/Reduce emissions**



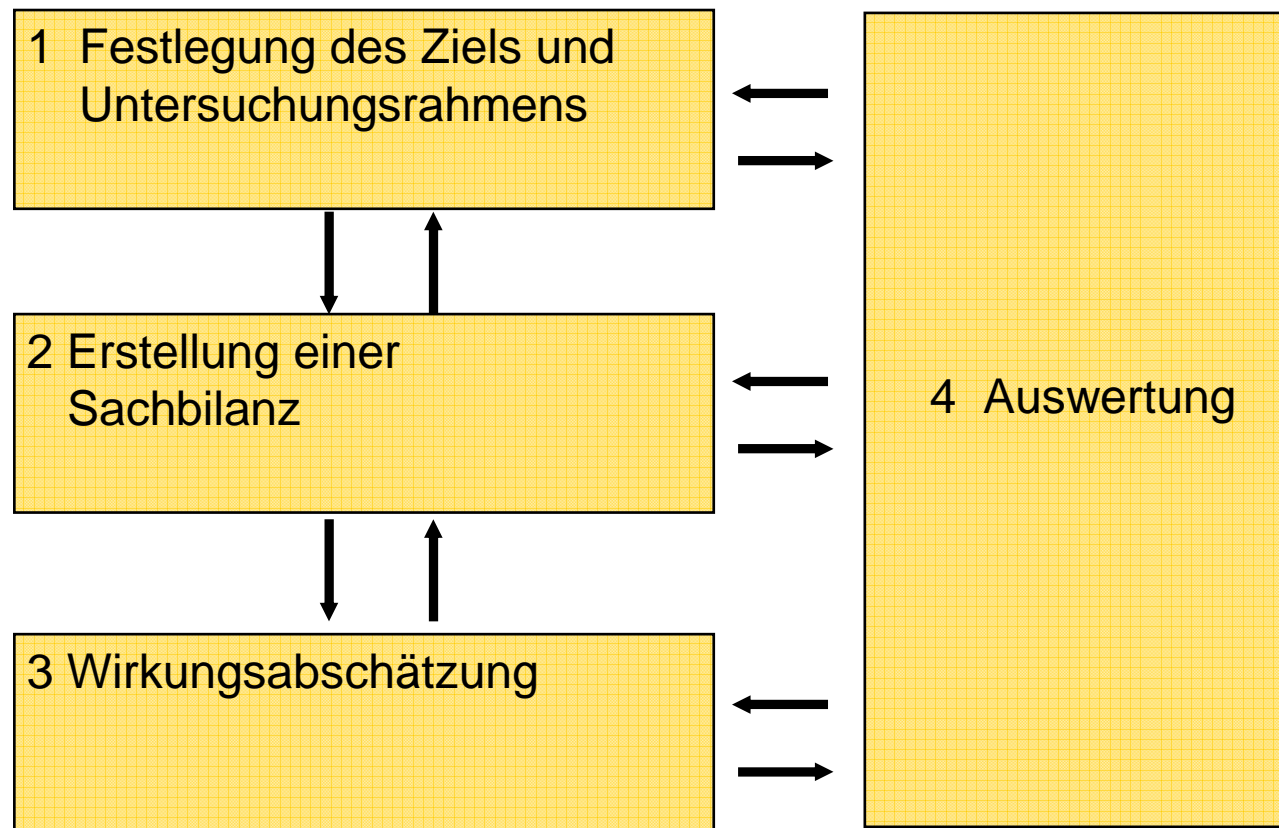
# CNT Paper Produktion



# Systemgrenzen für die ökonomische und ökologische Analysen



# Ökobilanz / Life Cycle Assessment



# Ökobilanz / Life Cycle Assessment

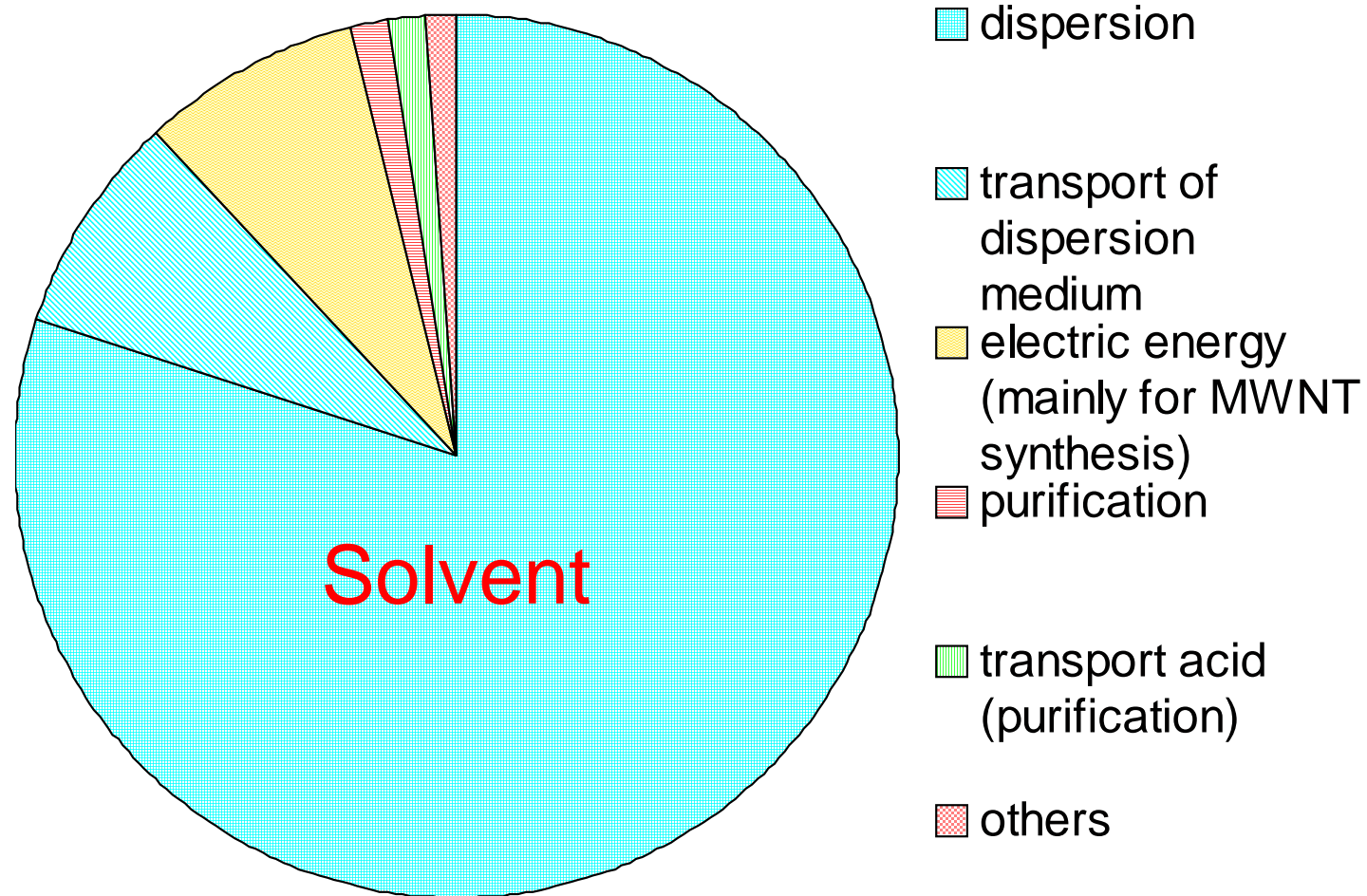
- Systemgrenzen: cradle to gate
- Ziel: Identifizierung von ökologischen hot spots innerhalb der Herstellungskette der Bucky Papers
- Wirkungabschätzungsmethode: CML  
nicht berücksichtigt:
  - human toxicity (of nano particle)
  - eco toxicity (of nano particle)

# Ökobilanz

## Ausgewählte Wirkungsindikatoren

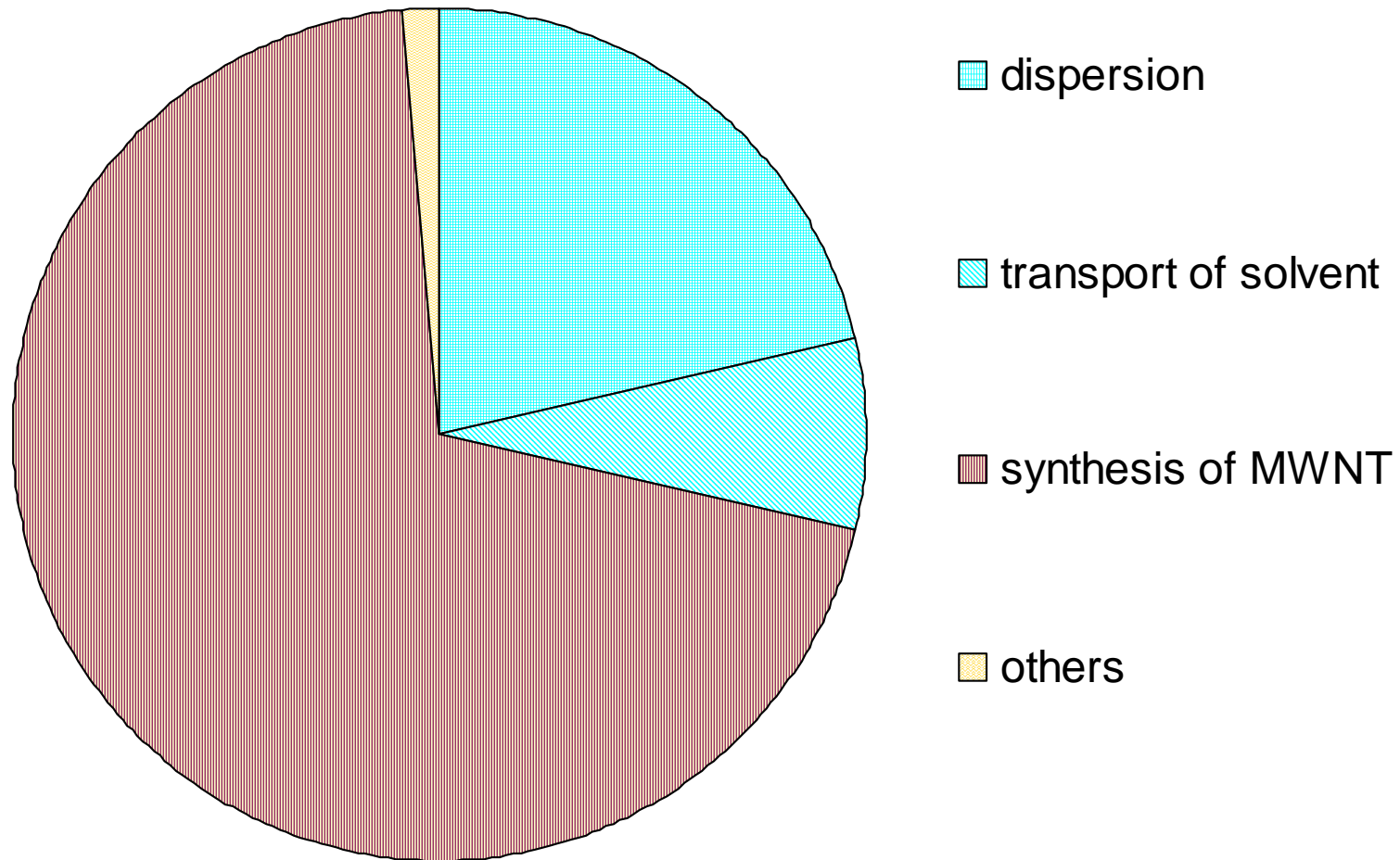
- Global Warming Potential (GWP) [kg CO<sub>2</sub>-equivalents ] (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, ....)
- Photochemical oxidation [kg Ethylen-equivalents] “summer smog”

## Global Warming Potential



# Umweltauswirkung

## Photochemical Oxidation





# Ökonomische Analysen

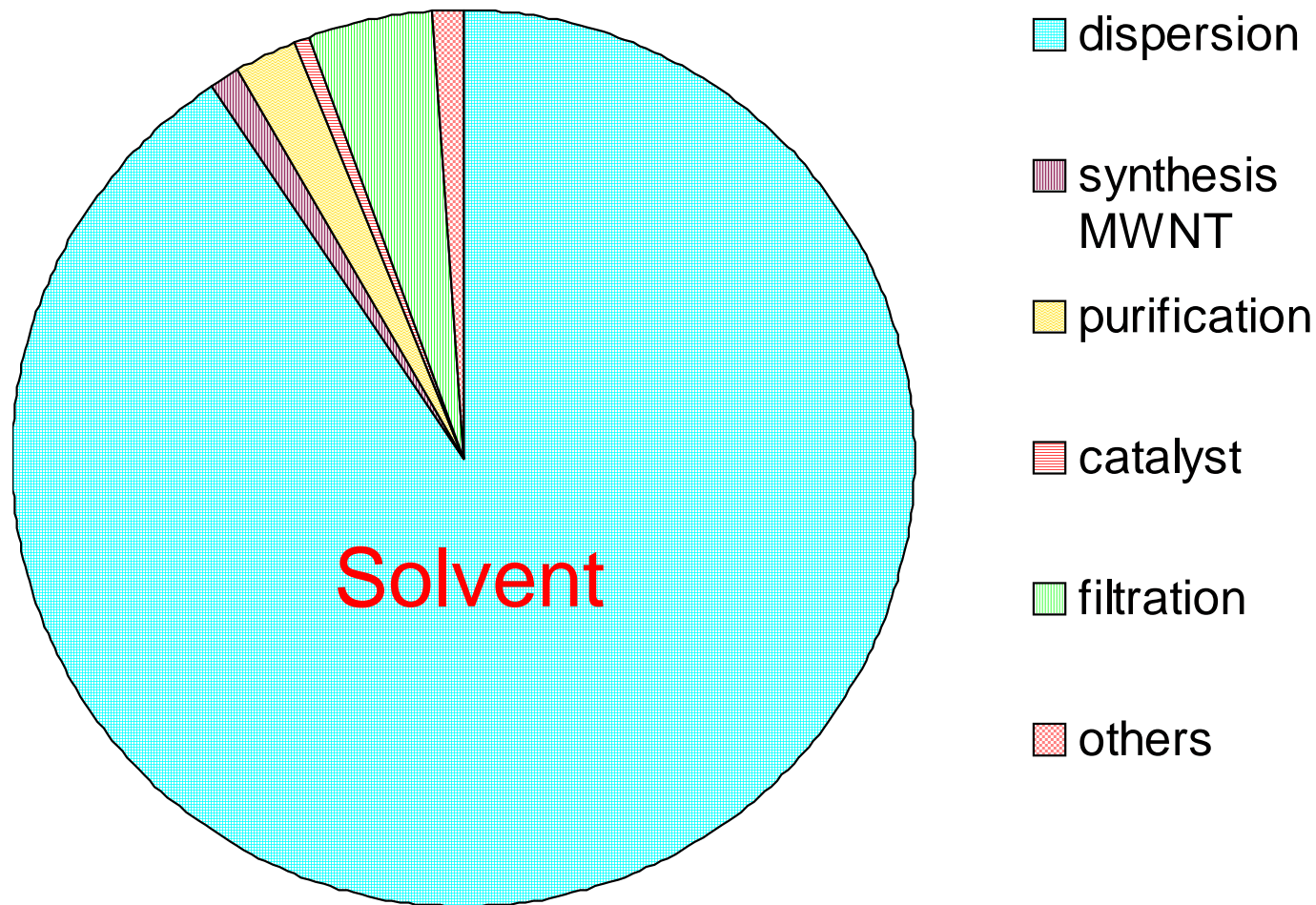
Betrachtetes System :  
Herstellungskosten

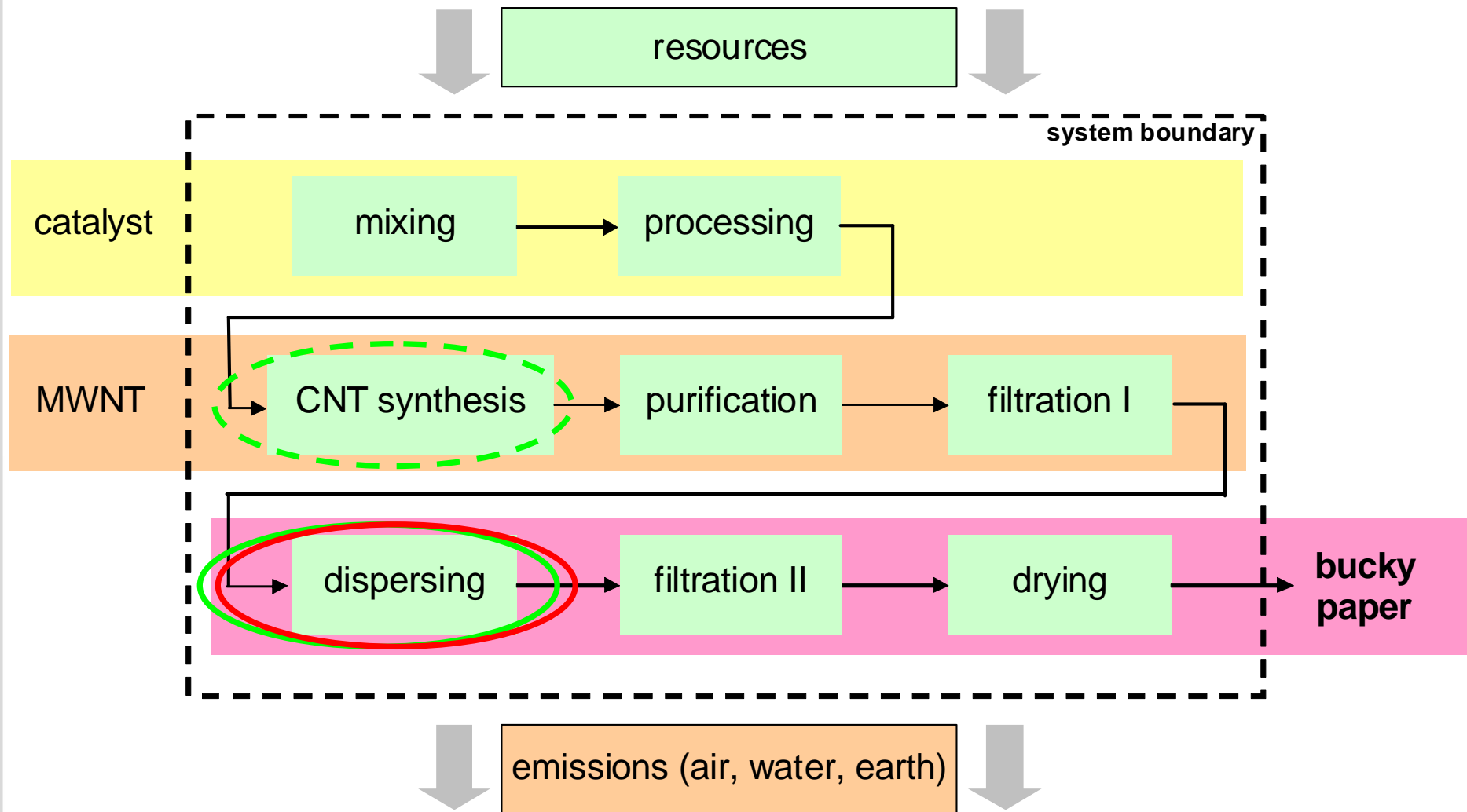
-> ohne Arbeitskosten und  
Abschreibung der  
Arbeitsmittel



# Ökonomische Analysen

## Produktionskosten



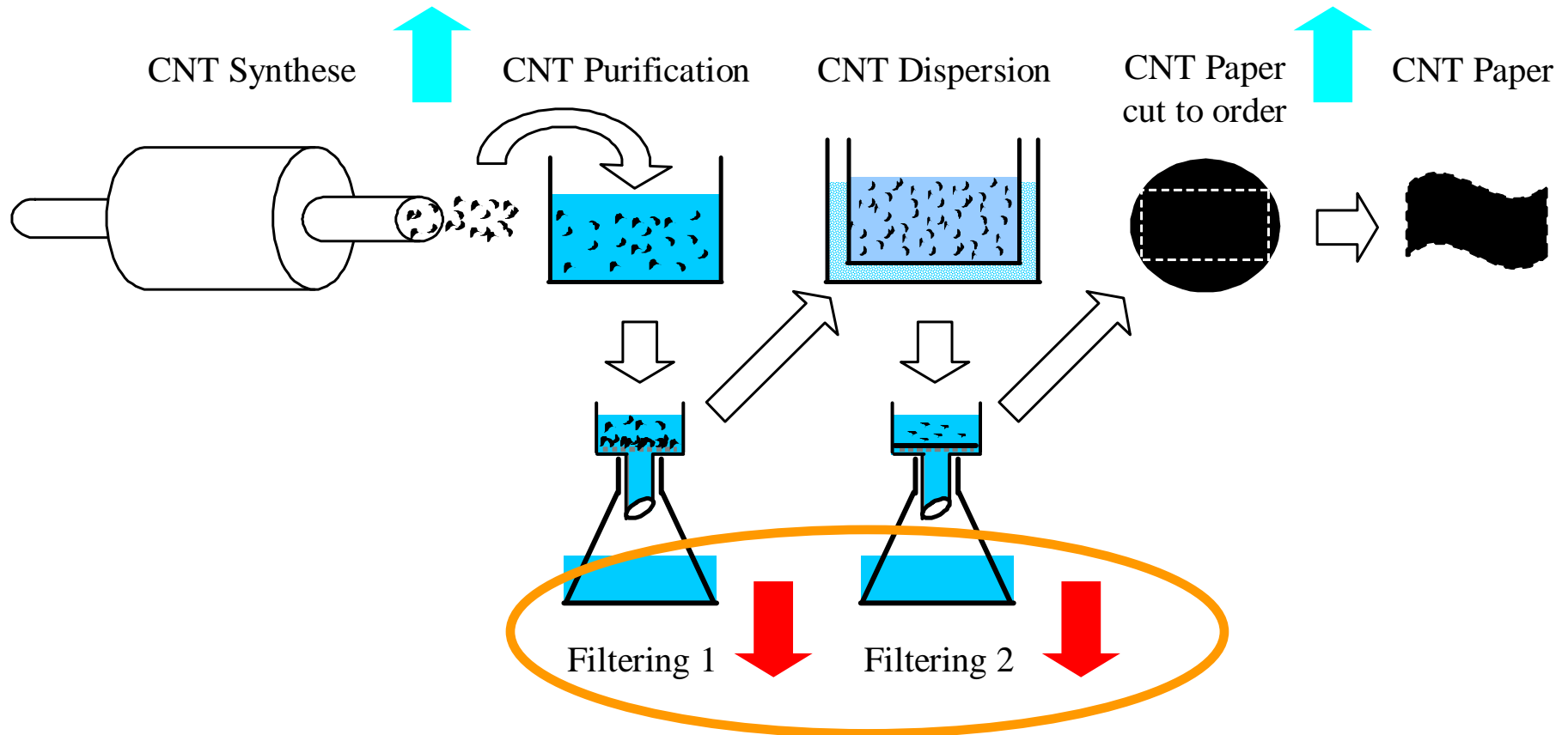




# Optimierungsstrategien

- **Qualität der Bucky Paper**
- **Produktionskosten**
- **Ökologisches Profil (LCA)**

# Nano Partikel Emissions-Quellen





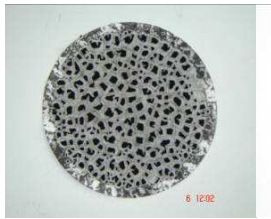






# Optimierungsstrategien

- **Qualität der Bucky Paper**
- **Produktionskosten**
- **Ökologisches Profil (LCA)**
- **Emissionen von Nano Partikeln  
(Wasserpfad)**

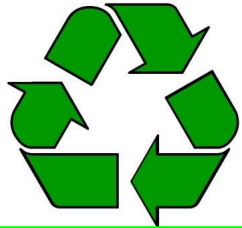
# Optimierungsstrategien

<p>100% Solvent (Reference)</p>	<p>Solvent replacement by 100% alternative solvent</p>	<p>Solvent replacement up to 30% by water</p>	<p>Solvent replacement by 100% water/tensideX1 mixture</p>	<p>Solvent replacement by 100% water/tensideX2 mixture</p>	<p>Solvent replacement by 100% water/tensideX3 mixture</p>	<p>Recycling of reference solvent</p>
						
<p>A</p>	<p>A/B</p>	<p>B/C</p>	<p>B</p>	<p>C</p>	<p>C</p>	<p>A</p>

# Optimierungsstrategien

	100% Solvent (Reference)	Solvent replacement by 100% alternative solvent	Solvent replacement up to 30% by water	Solvent replacement by 100% water/tensideX1 mixture	Solvent replacement by 100% water/tensideX2 mixture	Solvent replacement by 100% water/tensideX3 mixture	Recycling of reference solvent
Quality bucky paper	A	A/B	B/C	B	C	C	A
Economic profile	C	A/B	B	A/B	A/B	C	A/B
Ecological profile	C	C	B	A/B	A/B	A/B	A/B
CNT emissions (to water)	C	C	C	C	C	C	A/B

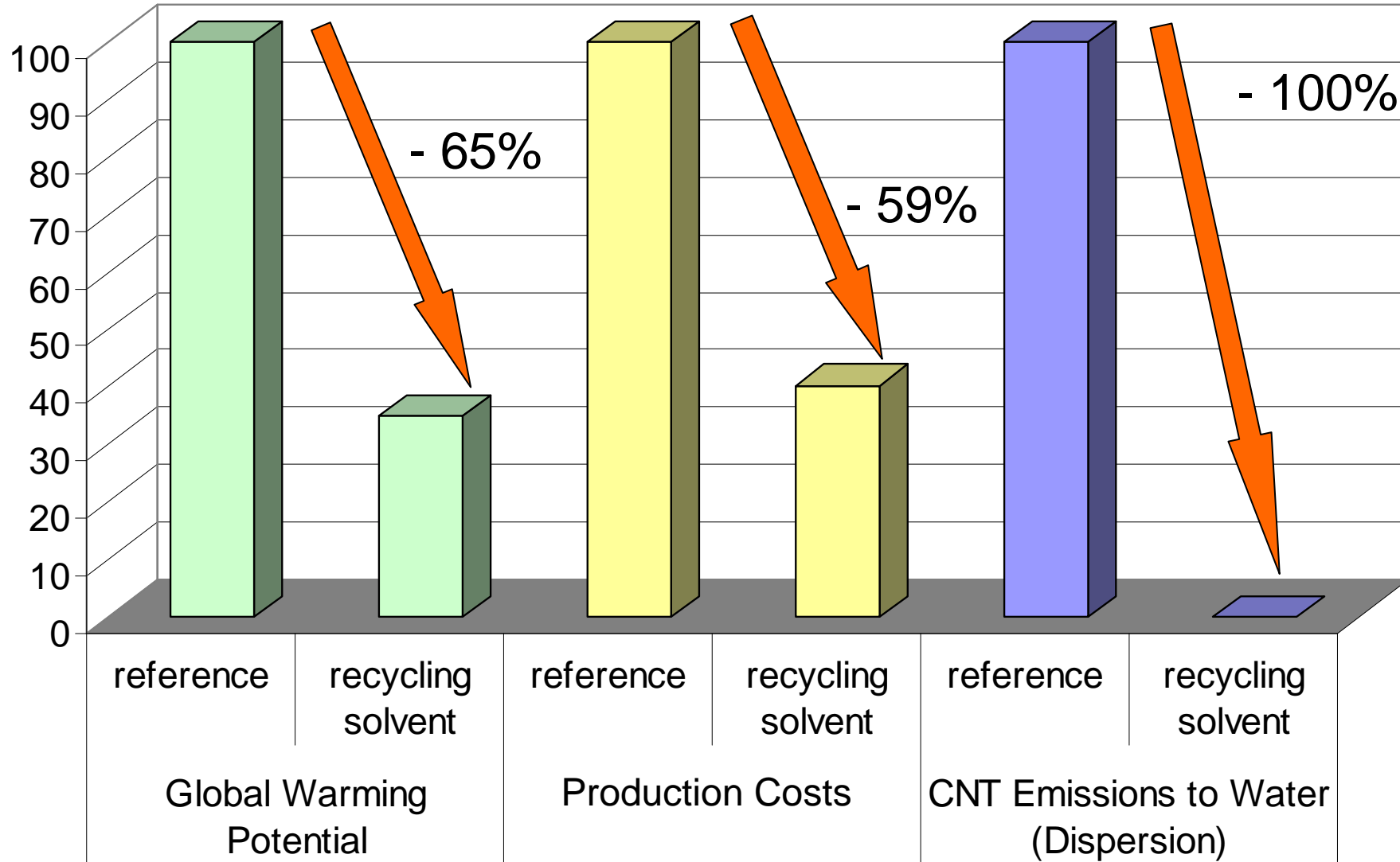




## Vorteile der Option „Recycling Solvent“

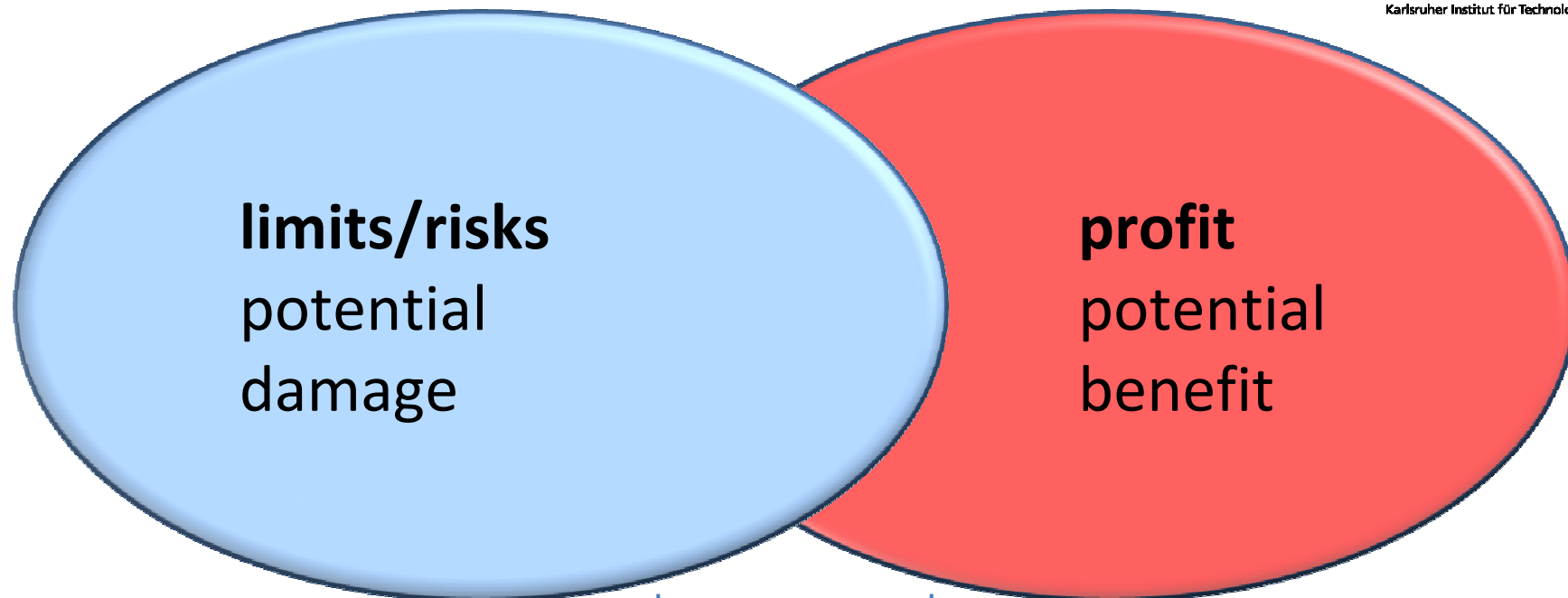
- Bis zu 70 % des Lösungsmittels ist rezyklierbar
  - Geringe Aufwendungen für die Aufbereitung des rezyklierten Lösungsmittels
  - Ökonomische und Ökologische Einsparungen
  - Verhinderung von Nano Partikel Emissionen (Wasserpfad)
- Keine Qualitätsprobleme bei der Herstellung der Bucky Papers (auch bei kontinuierlichem Recycling)
- Geringere Transportaufwendungen und Lagerungskosten

# Quantitativer Effekt



# Zusammenfassung

- Eine verantwortungsvolle Entwicklung von Nanotechnologien ist durch die Berücksichtigung des Vorsorge Prinzips (Vermeidung potentiell toxischer Emissionen) möglich
- Das Vorsorge Prinzip kann innerhalb eines multikriteriellen Optimierungsprozess Eingang finden
- In der frühen Phase der Technologieentwicklung erscheint die Kombination aus quantitativen und qualitativen Methoden vorteilhaft
- Bei einer höheren Reife der Technologie müssen vergleichende Analysen über den gesamten Lebensweg durchgeführt werden



**“Environmentalists”**  
More worried, than happy

Innovationen nur, wenn  
keine (irreversible)  
Schäden zu erwarten sind

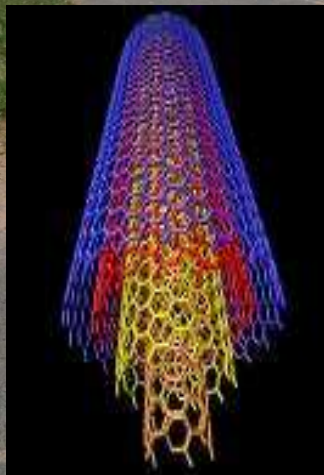
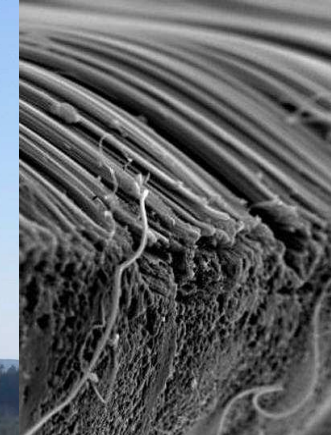
responsible  
technology  
development

Potentielle Vorteile  
und Limitierungen/ Risiken  
werden betrachtet

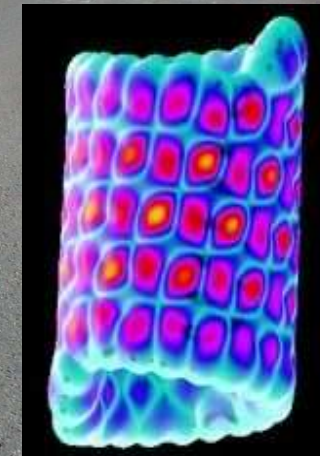
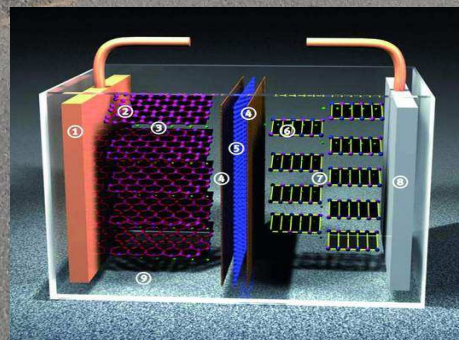
**“Technology enthusiast”**  
Don't worry, be happy

Innovationen sollten  
vorangetrieben werden,  
mögliche Schäden  
werden gemanaged

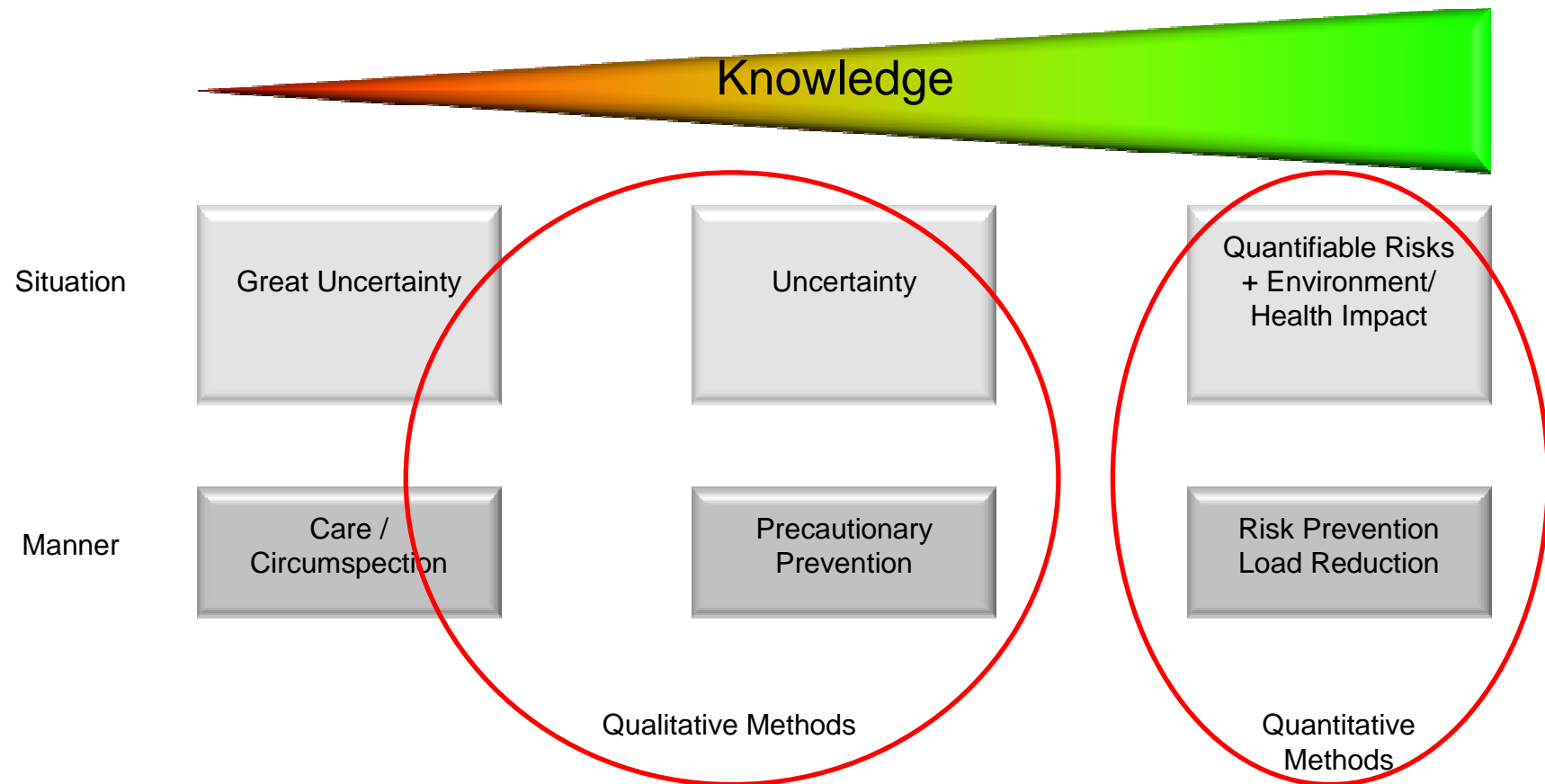
# Entscheidungsunterstützung in der frühen Phase der Technologieentwicklung



Vielen Dank



# Emergente Technologien



# Qualitative Bewertung von Nano Partikeln

Charakteristika	Wichtung	SWNT	MWNT	Nano-Clay	CdS	ZnO	TiO <sub>2</sub>	Dendrimere	Fullerene	Nano-Pharma
Hinweis auf toxische Wirkung	35%	●	●	○	●	○	○	○	●	○
Nano reaktiver als Bulk	15%	●	○	○	○	○	○	○	●	○
Bulkmaterial ist toxisch	5%	○	○	○	●	○	○	○	○	○
Nicht biodegradierbar	10%	●	●	○	●	●	●	●	○	○
Geringe Tendenz zur Agglomeration	5%	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Einfache Reinigbarkeit/ Charakterisierung	10%	●	●	○	○	○	○	○	○	○
Hinweis auf Mobilität/ neg. Wirkung im Körper	10%	●	○	○	●	○	○	●	●	○
Hinweis auf Mobilität/ neg. Wirkung in Umwelt	10%	○	○	○	○	○	○	●	●	○
Potenzielle Gefahren		■	■	■	■	■	■	■	■	■

Nano-Clay: ein Schichtsilikat  
 Bulk: z. B. ein Festkörper

● ja  
 ○ nein  
 ○ evtl.

■ Hoch  
 ■ Mittel  
 ■ Gering

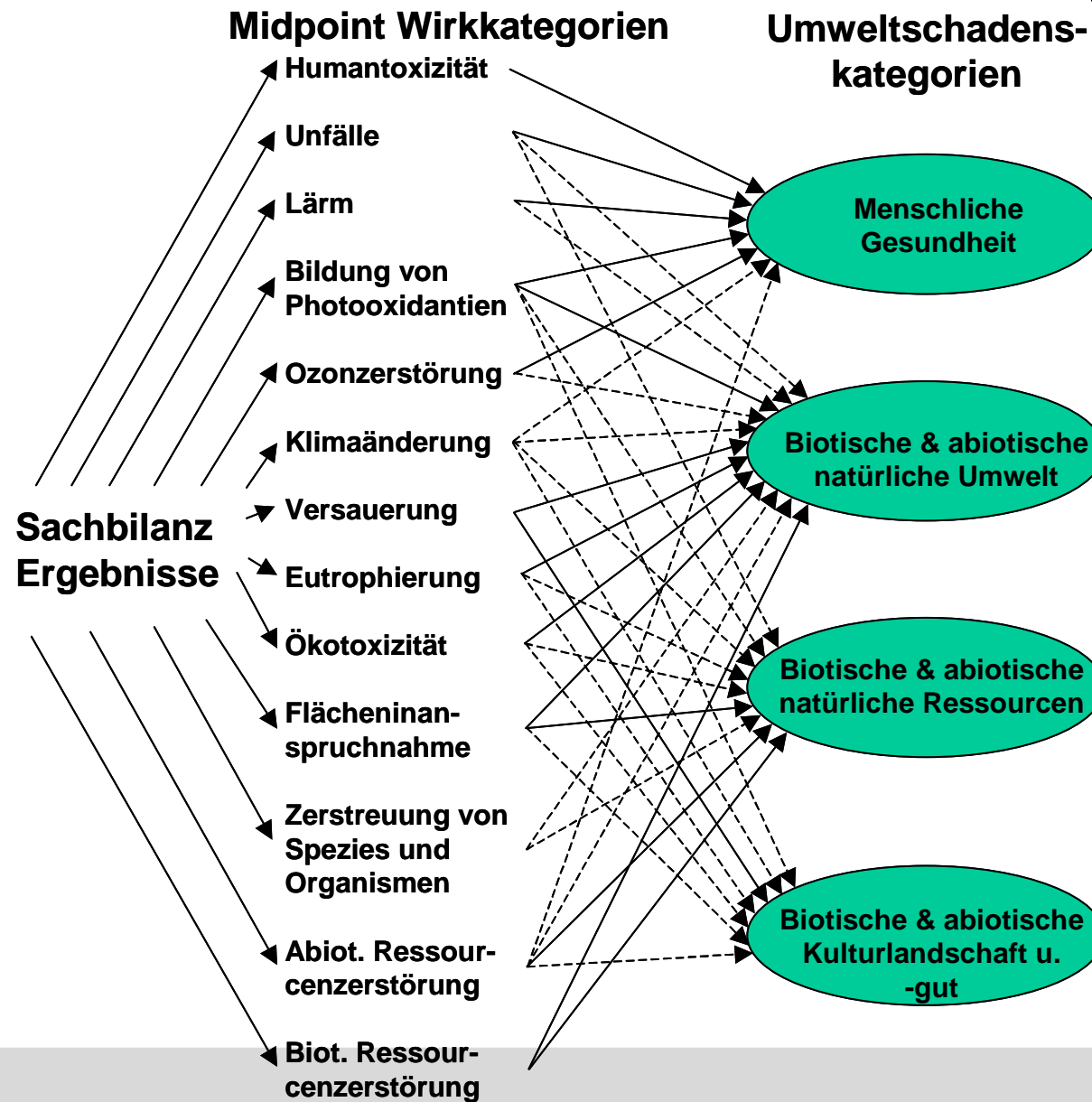
## Potentielle toxische Wirkung abhängig von:

- form (bundels, needles)
- aspect ratio (ratio of length to width)
- functionalisation (...)
- contamination (catalysts, amorphous C, dispersant)
- cleaning methode
- manufacturing method
- ...

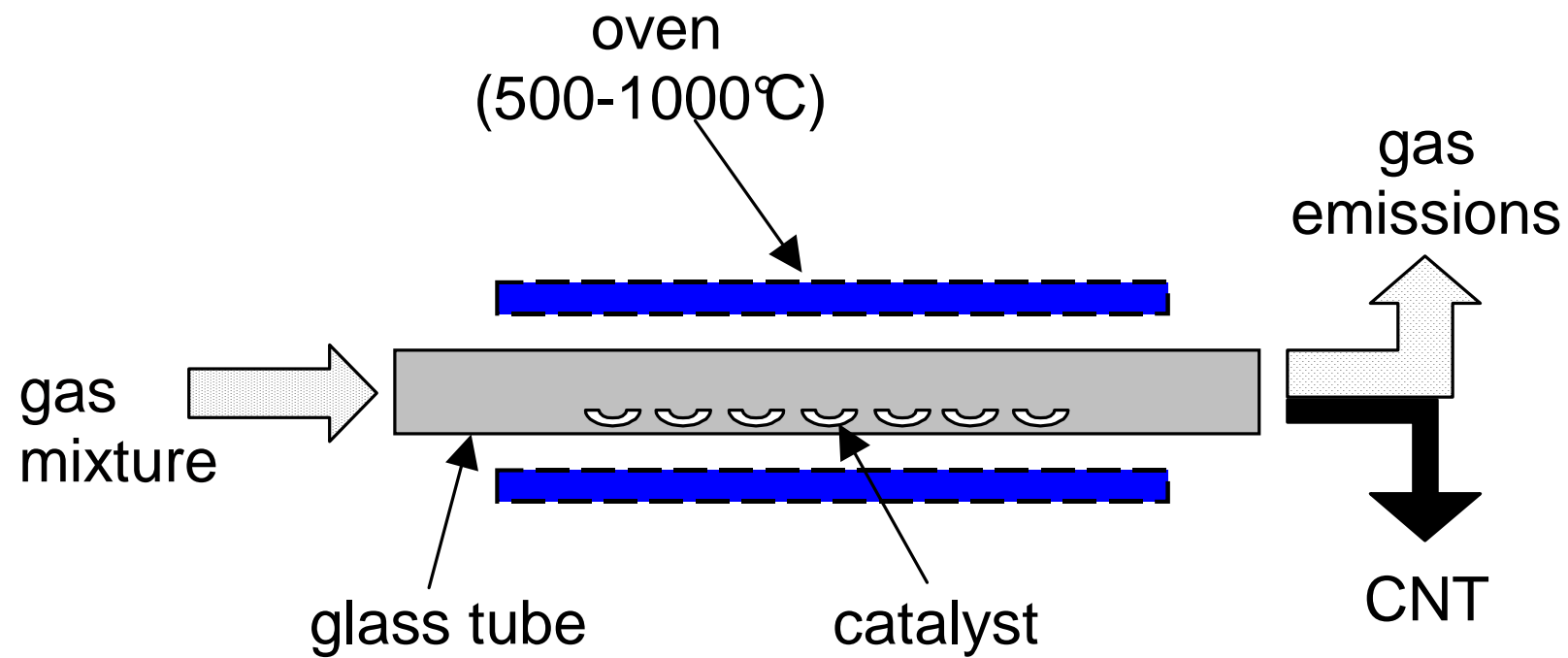


# CNT

- Durchmesser 1- 50nm
- Länge xmm – 20cm
- Dichte 1,3 – 1,4 g/cm<sup>3</sup>
- Zugfestigkeit bis zu 63 GPa (Stahl 2GPa)
- Hohes Elastizitätsmodul
- Hohe thermische und elektrische Leitfähigkeit



# Chemical-Vapour-Deposition (CVD) Nanotube Production



# Optimization in early stages of technology development

