

# Prospective technology assessment for sustainable innovation: the case of nanotextiles

C. Som

M. Halbeisen, A. Köhler, B. Siegfried,  
B. Nowack, P. Wick, H. Krug



# Nachhaltige Produkte

- keine schädliche Wirkung für Mensch und Umwelt
- hohe Produkte-Qualität
- Minimierung der Fehlinvestitionen

Nachhaltige Innovation bedeutet  
maximaler Nutzen und minimale Risiken

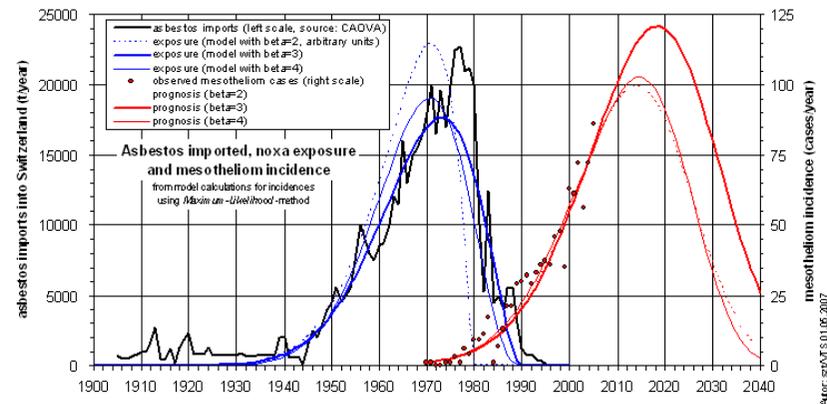
# “Treiber” für nachhaltige Innovation

## 1. Knappe Ressourcen (z.B. seltene Metalle)

WEF, World Resources Forum, Davos 2009, [www.worldresourcesforum.org](http://www.worldresourcesforum.org)

## 2. Kosten durch verzögerte Risiken (z.B. Asbest)

SUVA, 2009



Source: Marcel Jost, SUVA

# “Collingridge” - Dilemma

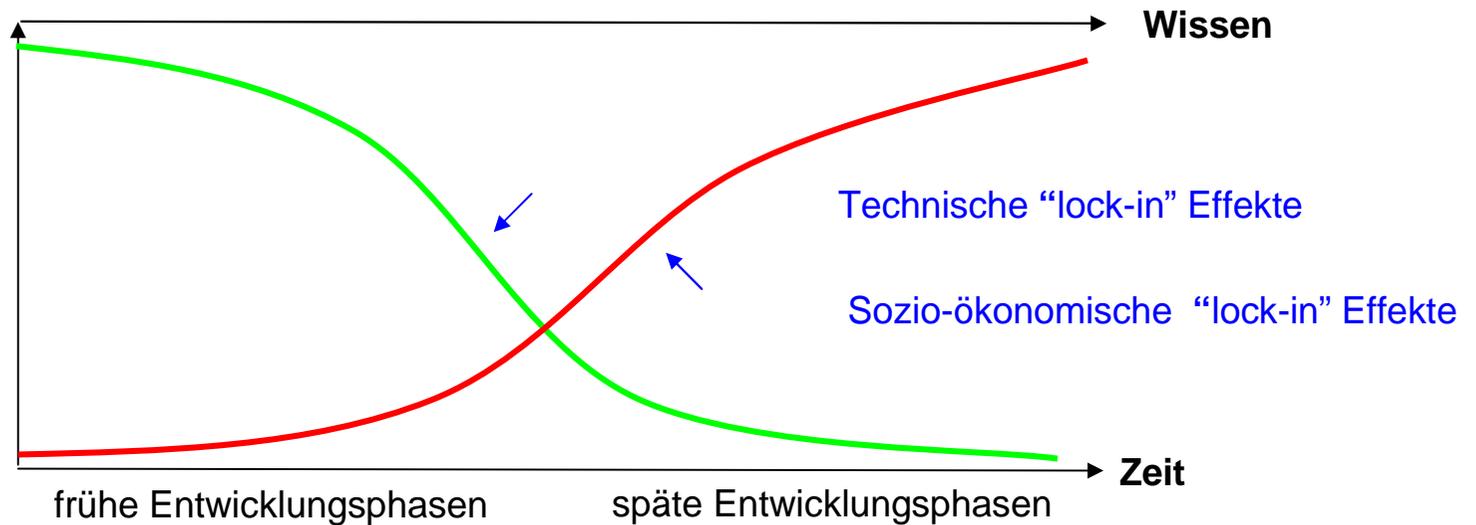
Entscheidungen fällen in der Ungewissheit

Einfluss auf die Innovationswege

hoch

tief

Kosten für die Korrektur



# Nanopartikel (NP) und Chancen

Function	anti-microbial activity	photo-catalytic activity	self-cleaning	water-repellent	dirt-repellent	UV-absorption	abrasion resistance	flame retardant	carrier of active agents	electrical conductivity	anti-static	high chemical resistance
NP												
Ag	x		x							x		
ZnO	x	x	x	x	x	x	x					
SiO <sub>2</sub>			x	x	x							
TiO <sub>2</sub>	x	x	x	x	x	x						
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							x	x				x
„nano clay“							x	x	x			
CNT								x		x	x	
CB										x	x	



antibacterial



anti-static



reissfest



flame retardant



verbesserte Färbarkeit



leitend

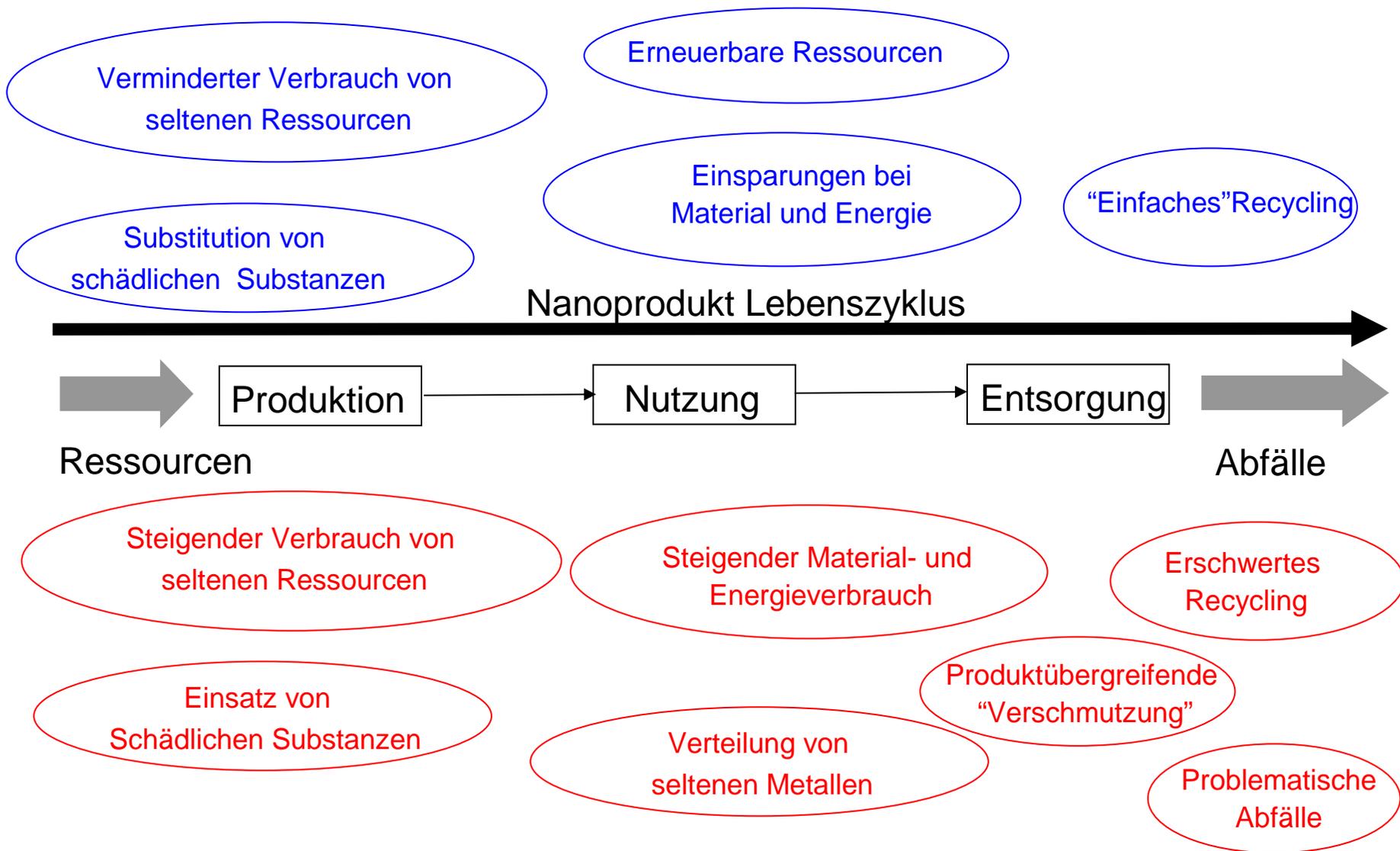


UV-blocking



water-repellent self-cleaning

# Ökologische Nachhaltigkeit



# Risiko für Mensch und Umwelt

Risiko = Exposition x schädliche Wirkung

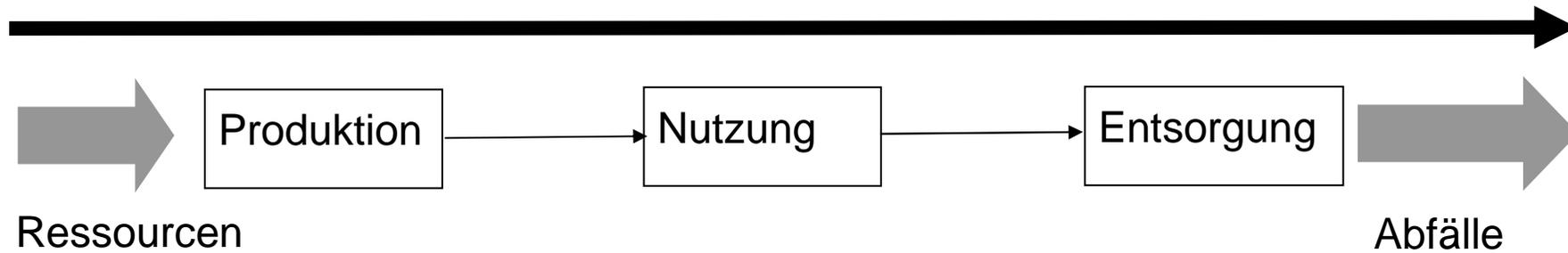
Das Risiko kann minimiert werden, indem die Exposition und/oder die schädliche Wirkung minimiert werden.

# Risiken und Produkt-Lebenszyklus



## Lebenszyklus des Textils

*Exposition*



NP - Freisetzung

"Schicksal" der NP

*Wirkung*

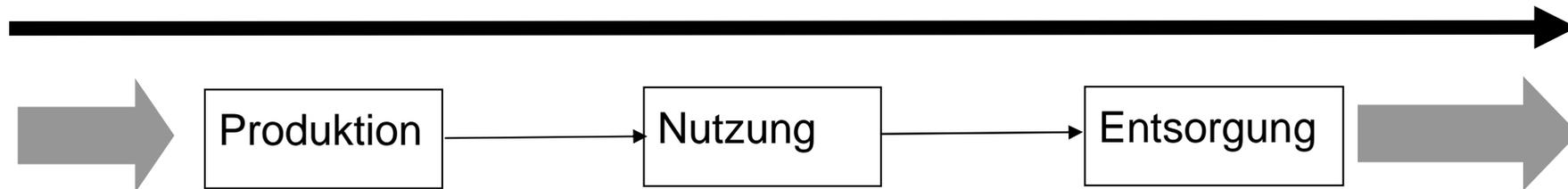
Technosphäre: Kläranlage, Kehrlichtverbrennung, Deponie, Recycling Systeme	
Umwelt-Kompartimente: Wasser, Boden, Luft	
Biota	Mensch

# Risiken und Produkt-Lebenszyklus



## Lebenszyklus des Textils

*Exposition*



Ressourcen

Abfälle

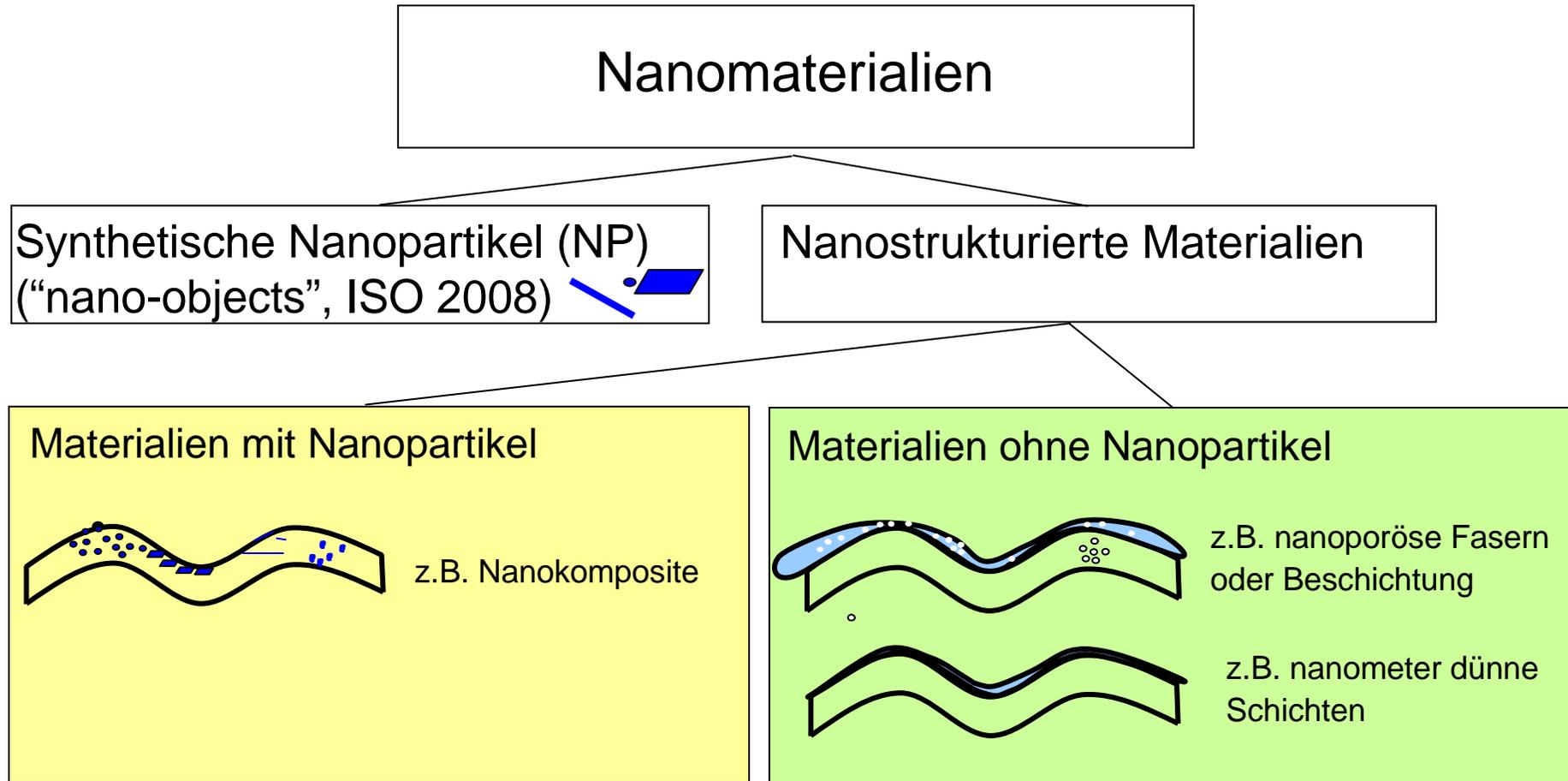
NP - Freisetzung

"Schicksal" der NP

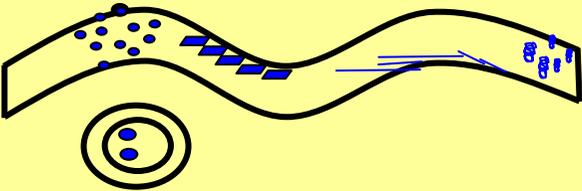
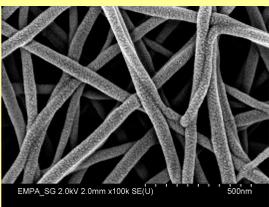
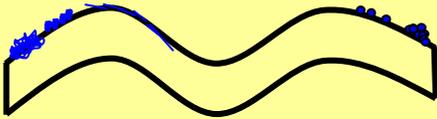
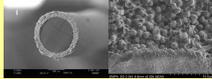
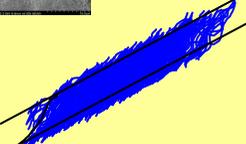
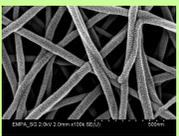
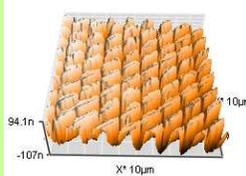
*Wirkung*



# Nanomaterialien (NM)



# Design der Nanotextilien

<h2 style="text-align: center;">Nanotextilien</h2> <p style="text-align: center;">ihre Funktion basiert auf Nanomaterialien</p>		
Faserherstellung mit NP	Veredelung mit NP	Nanotextilien ohne NP
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Nanokomposit-Fasern mit NP</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Nanofasern mit NP</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ NP an der Faseroberfläche</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>■ NP in einer Beschichtung auf der Faseroberfläche</li> </ul>   <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Fasern aus CNT</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Nanometer dünne Beschichtungen</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Nanoporöse Fasern oder Beschichtungen</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Nanofasern</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Nanostrukturierte Oberflächen</li> </ul> 

# Design für minimale Exposition

“Stabilitätsfaktoren”	Stabilität der Integration der NP	
	tendenziell höher	tendenziell tiefer
❶ Ort der NP	in der Faser	an der Faseroberfläche
	vollständig in der Faser eingebettet	nur teilweise in der Faser eingebettet
	im Kern einer Kernmantelfaser	im Mantel einer Kernmantelfaser
	in der Faser	in der Beschichtung
	in beschichteter Faser	in unbeschichteter Faser
❷ Bindung zwischen NP und Textil	kovalent	nicht kovalent
❸ Eigenschaft der NP	nicht photokatalytisch	photokatalytisch
	Benetzbarkeit hoch	Benetzbarkeit tief
❹ Eigenschaft des Textils	resistent gegenüber Reibung	wenig resistent gegenüber Reibung
	NP in flexibler Beschichtung	NP in spröder Beschichtung

# Zwischenbilanz zur Exposition

- Unabsichtliche Exposition beeinflussbar durch das “Design” der Textilien und der Berücksichtigung des Produkt- Lebenszyklus
- Je weniger NP unabsichtlich freigesetzt werden, desto höher ist die Produktequalität

Minimale Exposition = hohe Produktequalität

# Nanopartikel: Umwelt- und Gesundheits-Wirkung

Wirkungen der NP auf die Gesundheit und Umwelt unklar, weil:

- grosse Vielfalt von NP und deren Funktionalisierung
- Untersuchungen der Langzeit-Wirkungen anspruchsvoll und aufwändig

Die Grösse der NP (ca. 1 – 500 nm) kann dazu führen, dass:

- biologische Barrieren (z.B. Zellwände oder die Blut-Hirn-Schranke) überwunden werden
- NP mit biologischen Strukturen ähnlicher Grösse (z.B. DNA, Eiweisse) unerwünscht interagieren
- NP eine hohe Reaktivität aufweisen, wegen der im Vergleich zum Volumen grossen Oberfläche

# Einschätzung der Wirkung der NP auf die Umwelt

UMWELT	Ag <sup>o)</sup>	ZnO <sup>o)</sup>	TiO <sub>2</sub> <sup>b)</sup>	SiO <sub>2</sub> <sup>a)</sup>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>a)</sup>	Montmorillonit <sup>a)</sup>	CNT <sup>a)</sup>	CB <sup>a)</sup>
Hinweise auf Schädwirkungen (bei realistischen Konzentrationen)	+	+	+	--	--	--	--	--
Löslichkeit in wässrigen Medien erhöht toxische Wirkung (++) , reduziert toxische Wirkung (--)	++	++	0	--	++	0	0	0
Tendenz zu Agglomeration (--) und damit Sedimentation oder nicht (++)	-	-	--	-/+	--	+	--	-
Gelangt durch ARA in Gewässer (++) , wird in ARA eliminiert (--)	-	n.u.	-	-	-	n.u.	n.u.	n.u.
Ist stabil während der Verbrennung in der KVA (++) , verbrennt (--)	+	+	++	++	++	++	--	--

# Einschätzung der Wirkung der NP auf die Gesundheit

GESUNDHEIT	Ag <sup>a)</sup>	ZnO <sup>o)</sup>	TiO <sub>2</sub> <sup>a)</sup>	SiO <sub>2</sub> <sup>a)</sup> amorph	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup># b)</sup>	Mont- moril- lonit <sup>b)</sup>	CNT <sup>b)</sup>	CB <sup>o)</sup>
Chronische Toxizität (Langzeiteffekte zu erwarten, PNEC/PEC), Schwellenkonzentration bekannt?	+	+	±	-	n.u.	—	+*	++
Akute Toxizität	-	+	—	—	-	—	±*	+
DNA-Schädigung	-	+	-	-	n.u.	n.u.	-	+
Hirnschäden: Schädigung des zentralen Nervensystems	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.
Gewebebarrieren: Überschreiten und Schädigung von Gewebebarrieren (z.B. Blut-Hirn-Schranke, Luft-Blut-Schranke, Plazenta-Schranke)	n.u.	n.u.	+	+	-#	n.u.	-	+
Haut	—	—	—	—	n.u.	n.u.	-	-
Verdauung	-	±	-	-	n.u.	-	-	-
Lunge	-	+	-	-	-	n.u.	+	+

# Zwischenbilanz zur Wirkung der NP

- Wirkung der NP auf Gesundheit, Umwelt und technische Systeme noch unklar,
- Jedoch erste Anhaltspunkte, besonders interessant: unterschiedliche Wirkungen auf Gesundheit oder Umwelt
- Laufend neue Erkenntnisse über die Wirkungen der NP
- Laufend neue Entwicklungen im Bereich der “Regulierung” (Labelling, Code of conducts, etc.)

sichere Nanotextilien: viel aktuelles “Know how” notwendig

# Prospektive TA für Innovation

Chancen  
Funktionell  
Nachhaltigkeit

Design  
Ebene

Toxikologie  
Ebene  
(Umwelt und  
Gesundheit)

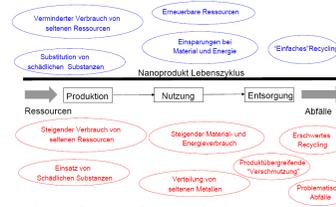
Lebens-  
zyklus

## Funktionell

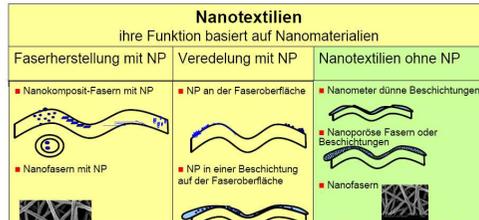
Function NP	anti-microbial activity	photo-catalytic activity	self-cleaning	water-repellent	dirt-repellent	UV-absorption	abrasion resistance	flame retardant	carrier of active agents	electrical conductivity	anti-static	high chemical resistance
Ag	x		x							x		
ZnO	x	x	x	x	x	x	x					
SiO <sub>2</sub>			x	x	x							x
TiO <sub>2</sub>	x	x	x	x	x	x						
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							x	x	x			
„nano clay“							x	x	x	x	x	
CNT										x	x	
CB										x	x	



## Ökologische Nachhaltigkeit



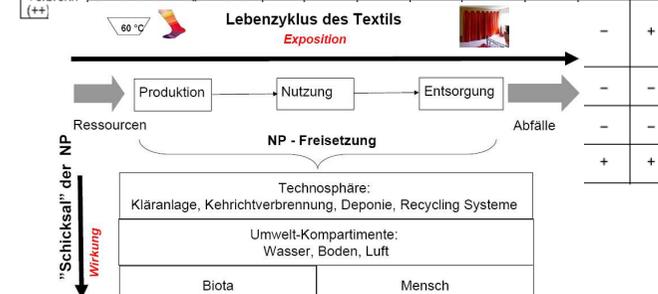
## „Safer“-Design



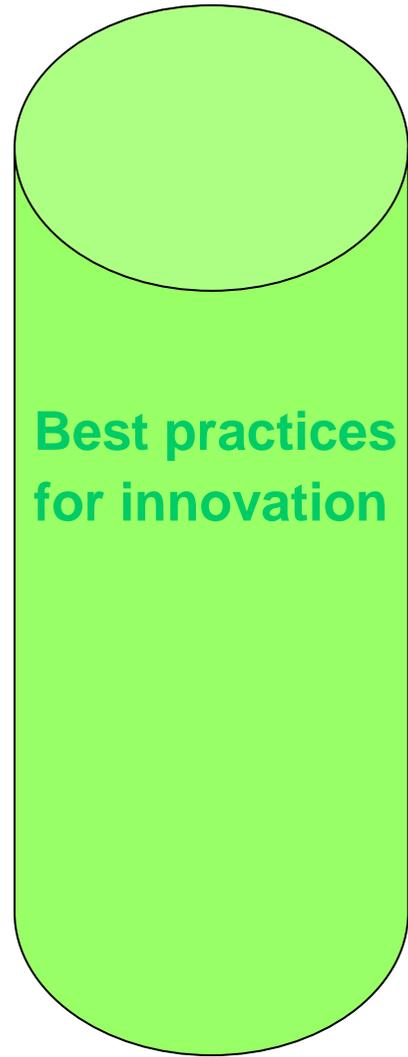
„Stabilitätsfaktoren“	Stabilität der Integration der NP	
	tendenziell höher	tendenziell tiefer
● Ort der NP	in der Faser	an der Faseroberfläche
	vollständig in der Faser eingebettet	nur teilweise in der Faser eingebettet
	im Kern einer Kernmantelfaser	im Mantel einer Kernmantelfaser
	in der Faser	in der Beschichtung
	in beschichteter Faser	in unbeschichteter Faser
● Bindung zwischen NP und Textil	kovalent	nicht kovalent
● Eigenschaft der NP	nicht photokatalytisch	photokatalytisch
	Brenzbarkeit hoch	Brenzbarkeit tief
Eigenschaft des Textils	resistent gegenüber Reibung	wenig resistent gegenüber Reibung
	NP in flexibler Beschichtung	NP in spröder Beschichtung

UMWELT	Ag <sup>91</sup>	ZnO <sup>91</sup>	TiO <sub>2</sub> <sup>91</sup>	SiO <sub>2</sub> <sup>91</sup>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>91</sup>	Montmorillonit <sup>91</sup>	CNT <sup>91</sup>	CB <sup>91</sup>
Hinweise auf Schädigungen (bei realistischen Szenarien)	+	+	+	-	-	-	-	-

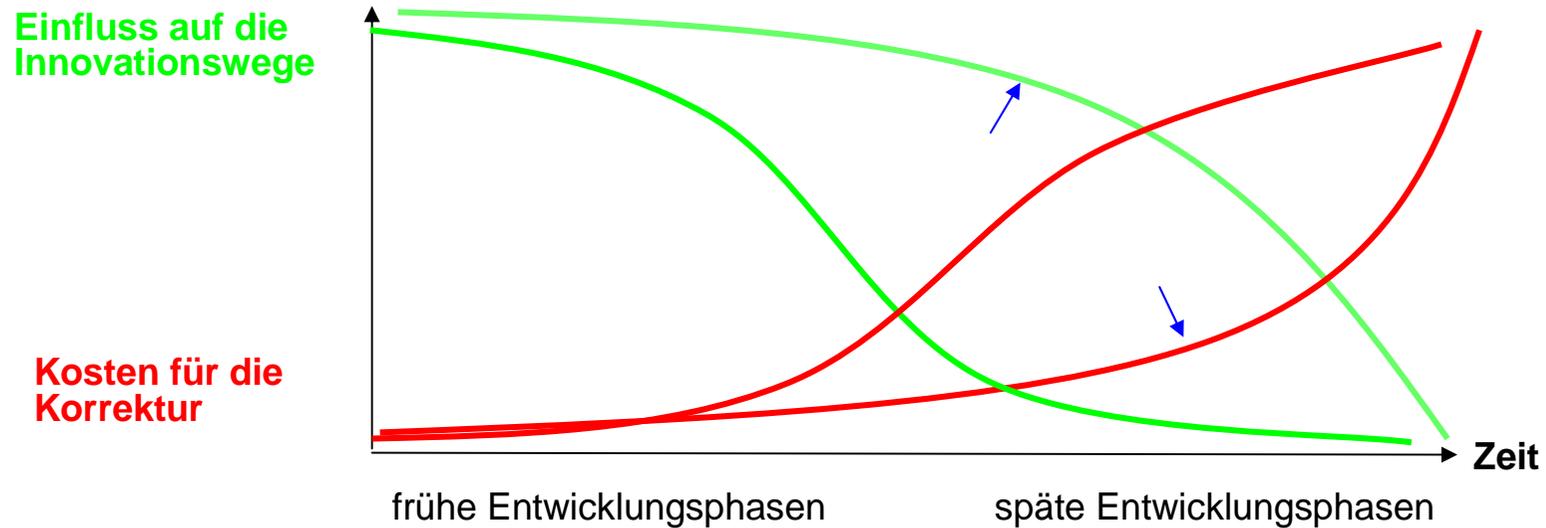
GESUNDHEIT	Ag <sup>91</sup>	ZnO <sup>91</sup>	TiO <sub>2</sub> <sup>91</sup>	SiO <sub>2</sub> <sup>91</sup> amorph	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>91</sup>	Montmorillonit <sup>91</sup>	CNT <sup>91</sup>	CB <sup>91</sup>
Chronische Toxizität (Langzeiteffekte zu erwarten, PNEC/PEC, Schwellenkonzentration bekannt?)	+	+	±	-	n.u.	-	±	++
Akute Toxizität	-	+	-	-	-	-	±	+
Tendenzierung (-) / dimentati (++)								
Gelangt in Gewässer	-	+	-	-	n.u.	n.u.	-	+
DNA-Schädigung	-	+	-	-	n.u.	n.u.	-	+
Hirnschäden: Schädigung des zentralen Nervensystems	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.



sozio-oekonomisch:  
«rebound effects»,  
«life style»,  
...



# Prospektive TA eröffnet Gestaltungsräume



# Schlussfolgerungen

## Die prospektive TA

- minimiert manche Risiken für Gesundheit, Umwelt und Nachhaltigkeit
- ermöglicht eine faktenbasierte Diskussion zur Regulation/Labeling
- eröffnet Gestaltungsräume
- erleichtert den Umgang mit der Unsicherheit

nachhaltige Nanotextilien = erfolgreiche Produkte

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Dieses Projekt wurde finanziert durch:

**SWISS TEXTILES**



Materials Science & Technology

Weitere Informationen: [www.empa.ch/nanosafetextiles](http://www.empa.ch/nanosafetextiles)

