

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

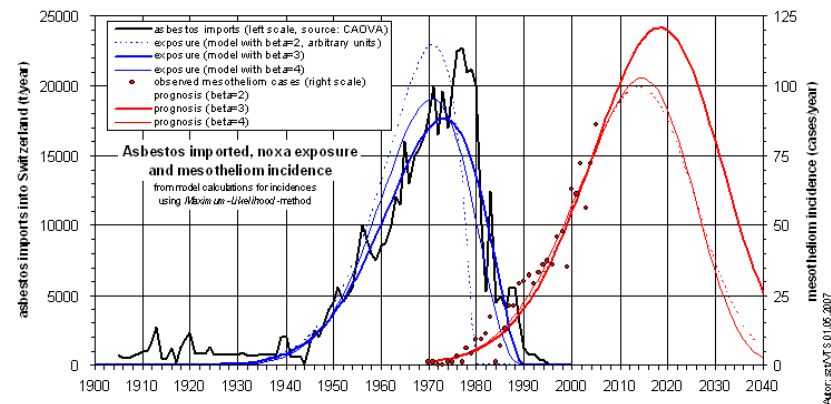
“Treiber” für nachhaltige Innovation

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

WEF, World Resources Forum, Davos 2009, www.worldresourcesforum.org

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

SUVA, 2009



Source: Marcel Jost, SUVA

“Collingridge” - Dilemma

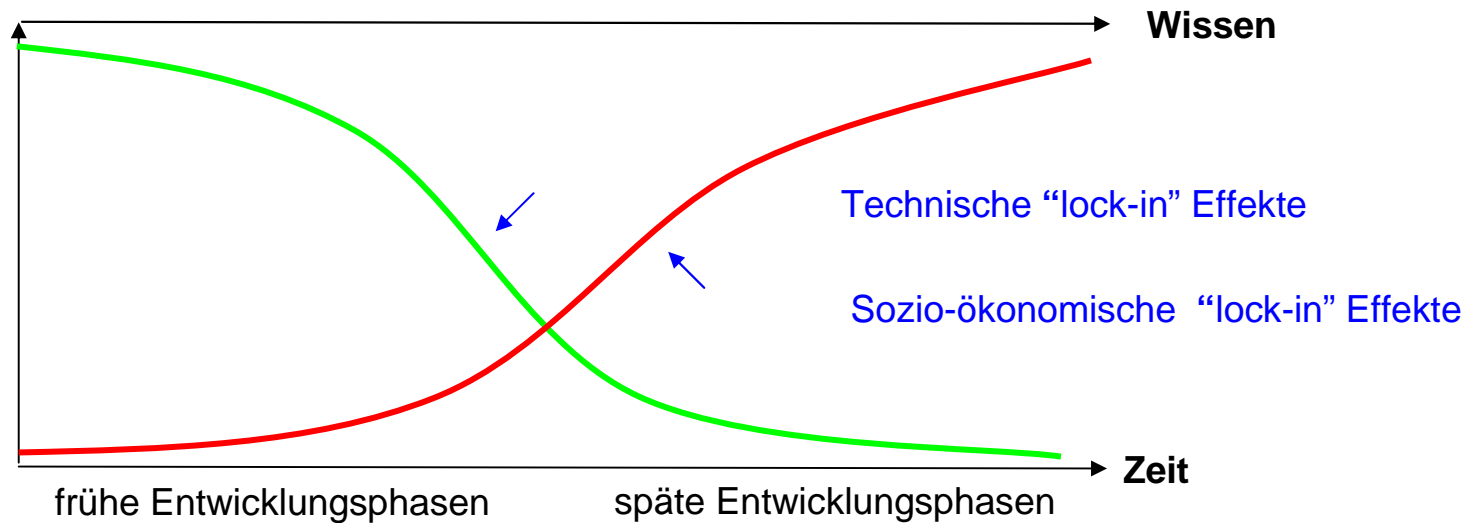
Entscheidungen fällen in der Ungewissheit

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 ₂			x	x	x							
TiO ₂	x	x	x	x	x	x						
Al ₂ O ₃							x	x				x
„nano clay“							x	x	x			
CNT								x		x	x	
CB										x	x	



antibacterial



anti-static



flame retardant



verbesserte Färbarkeit



UV-blocking



water-repellent self-cleaning

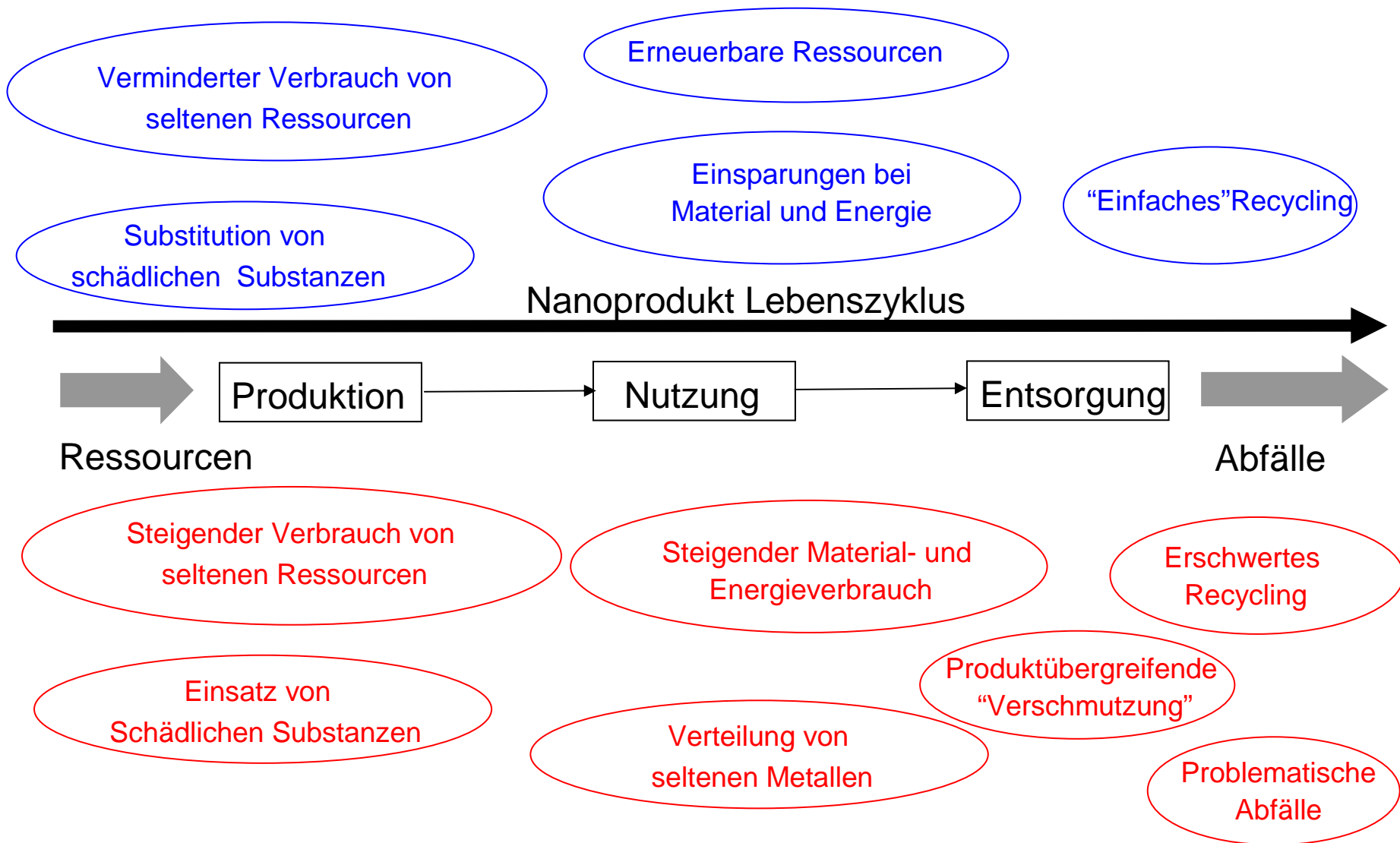


reissfest



leitend

Ökologische Nachhaltigkeit

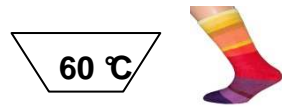


Risiko für Mensch und Umwelt

Risiko = Exposition x schädliche Wirkung

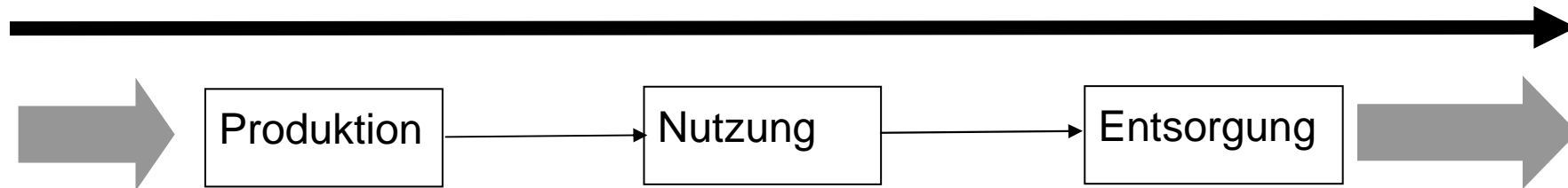
Das Risiko kann minimiert werden, indem die Exposition und/oder die schädliche Wirkung minimiert werden.

Risiken und Produkt-Lebenszyklus



Lebenszyklus des Textils

Exposition



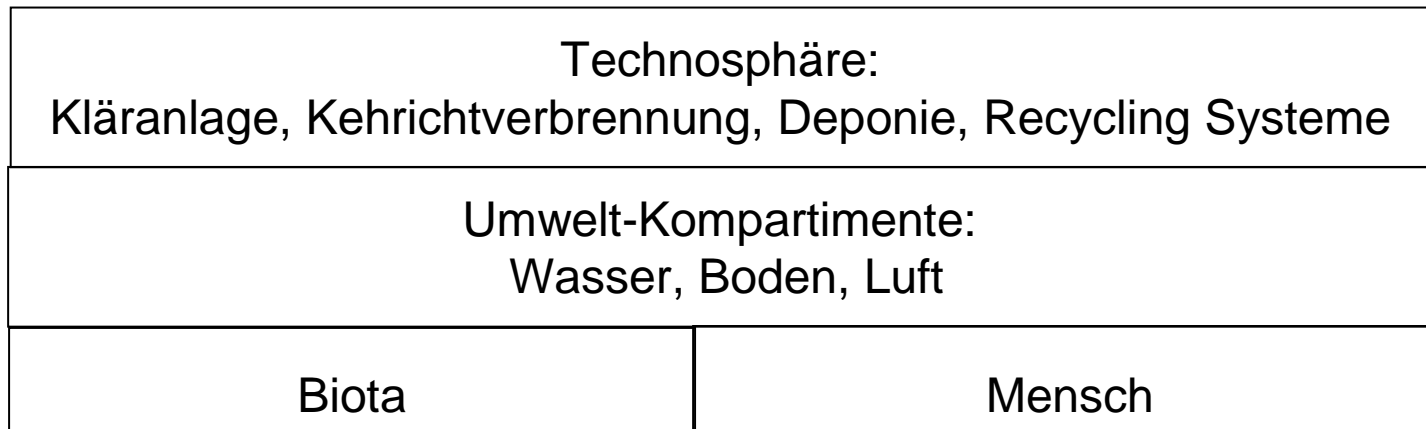
Ressourcen

Abfälle

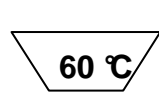
NP - Freisetzung

"Schicksal" der NP

Wirkung

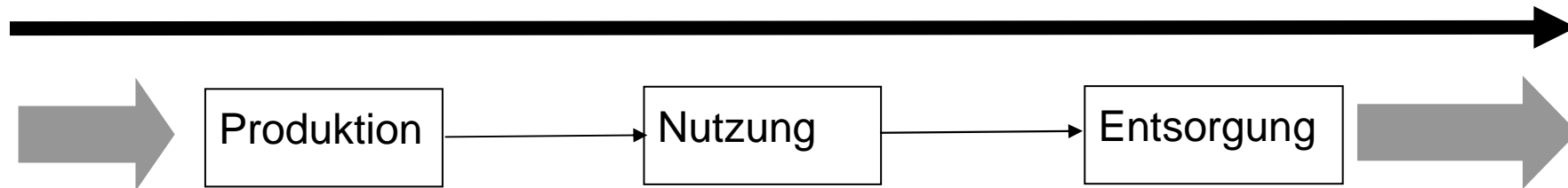


Risiken und Produkt-Lebenszyklus



Lebenszyklus des Textils

Exposition



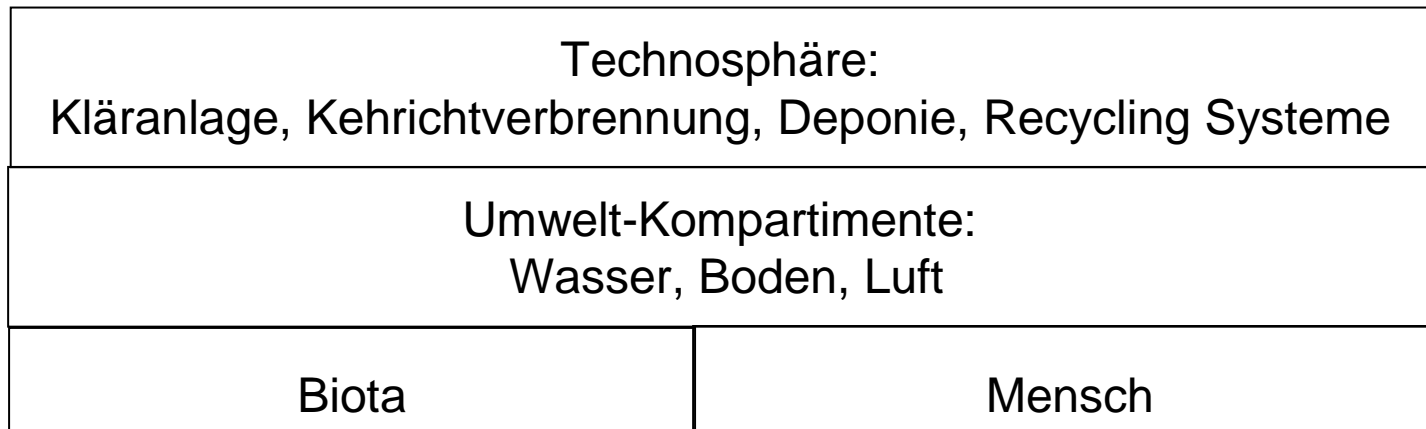
Ressourcen

Abfälle

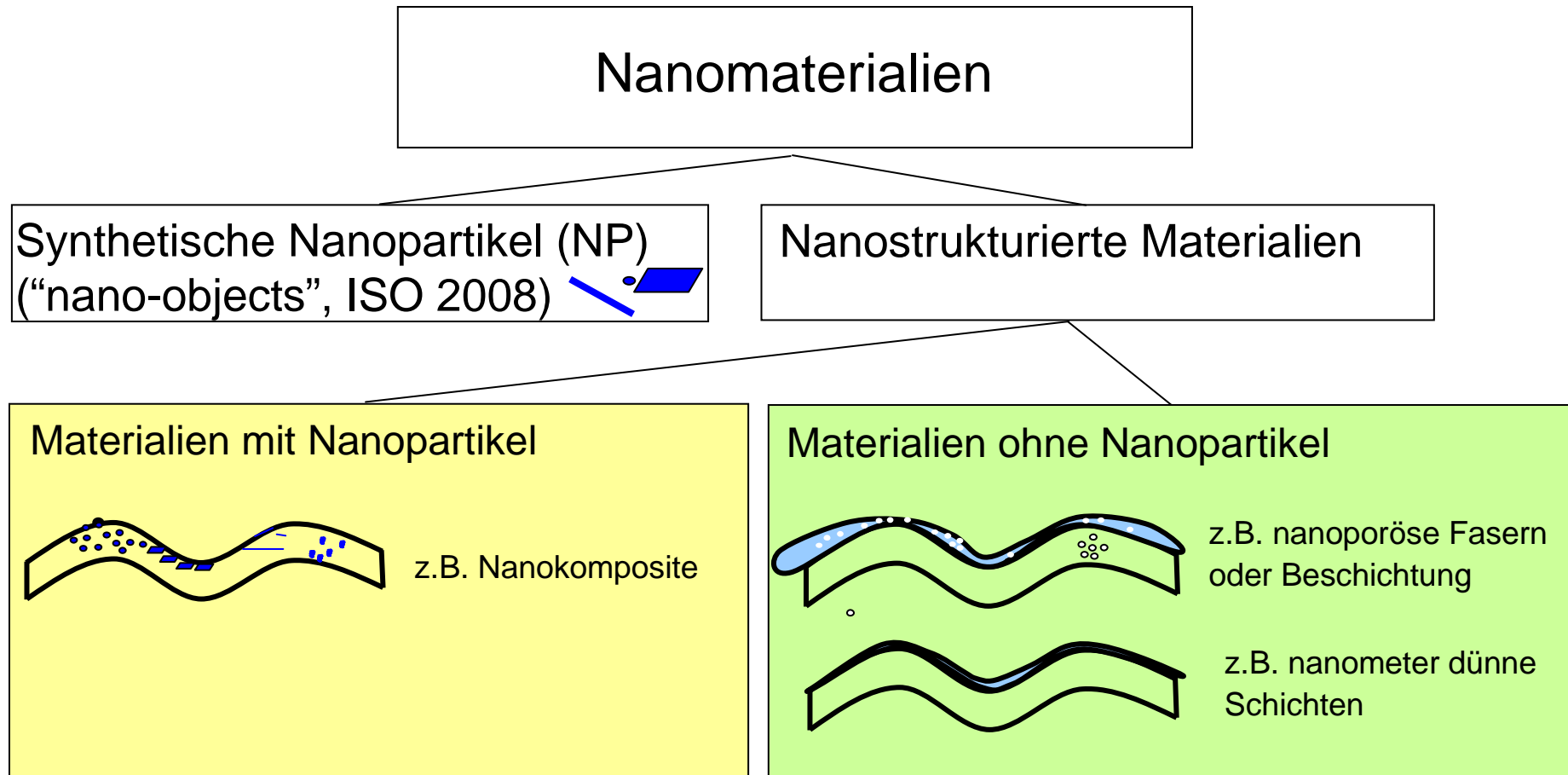
NP - Freisetzung

"Schicksal" der NP

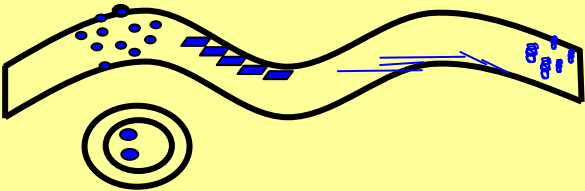
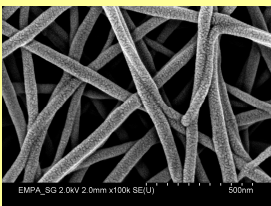
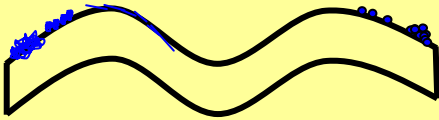
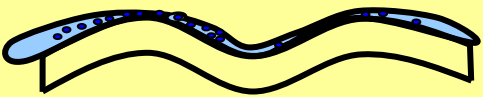
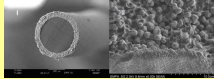


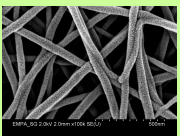
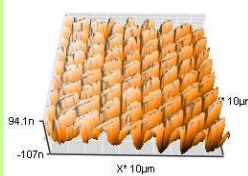
Wirkung



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"> ■ Nanokomposit-Fasern mit NP  <ul style="list-style-type: none"> ■ Nanofasern mit NP 	<ul style="list-style-type: none"> ■ NP an der Faseroberfläche  <ul style="list-style-type: none"> ■ NP in einer Beschichtung auf der Faseroberfläche   <ul style="list-style-type: none"> ■ Fasern aus CNT 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Nanometer dünne Beschichtungen  <ul style="list-style-type: none"> ■ Nanoporöse Fasern oder Beschichtungen  <ul style="list-style-type: none"> ■ Nanofasern  <ul style="list-style-type: none"> ■ Nanostrukturierte Oberflächen 

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 ^{o)}	ZnO ^{o)}	TiO ₂ ^{b)}	SiO ₂ ^{a)}	Al ₂ O ₃ ^{a)}	Montmorillonit ^{a)}	CNT ^{a)}	CB ^{a)}
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 ^{a)}	ZnO ^{o)}	TiO ₂ ^{a)}	SiO ₂ ^{a)} amorph	Al ₂ O ₃ ^{# b)}	Mont- moril- lonit ^{b)}	CNT ^{b)}	CB ^{o)}
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-Hirnschranke, 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)

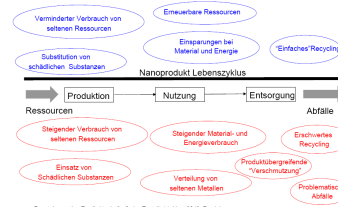
Lebens-
zyklus

Funktionell

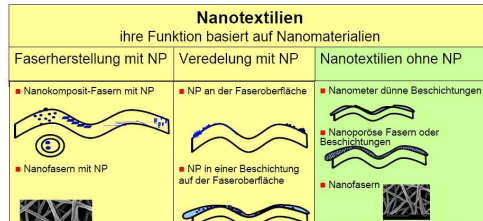
Function NP	anti-microbial activity	photo-catalytic activity	self-cleaning	water-repellent	dirt-repellent	UV-absorption	abrasion resistance	flame retardant	carrier of active agents	electrical conductivity	anti-static	high chemical resistance
Ag	x		x							x		
ZnO	x	x	x	x	x	x	x					
SiO ₂			x	x	x				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



Ökologische Nachhaltigkeit

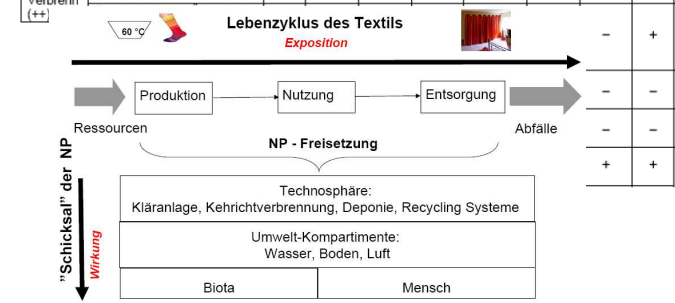


„Safer“-Design

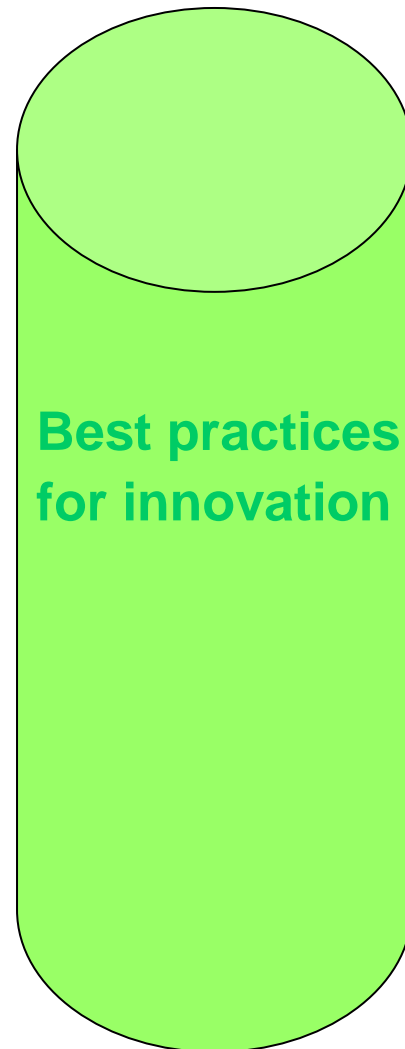


„Stabilitätsfaktoren“	Stabilität der Integration der NP	
	tendenziell höher	tendenziell tiefer
● Ort der NP	in der Faser	an der Faseroberfläche
	vollständig in der Faser eingebettet	nur teilweise in der Faser eingebettet
	im Kern einer Kernmantelfaser	im Mantel einer Kernmantelfaser
	in der Faser	in 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

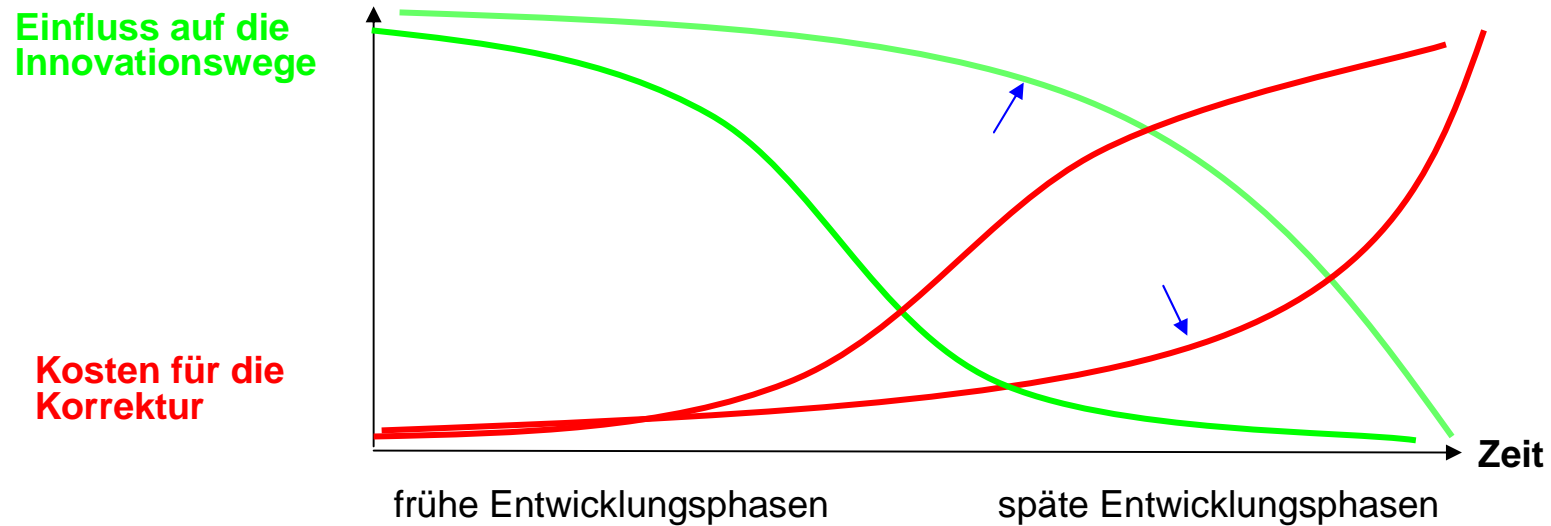
UMWELT	Ag ⁹¹	ZnO ⁹¹	TiO ₂ ⁹¹	SiO ₂ ⁹¹	Al ₂ O ₃ ⁹¹	Montmorillonit ⁹¹	CNT ⁹¹	CB ⁹¹
Hinweise auf Schädigungen (bei realistischen Szenarien)	+	+	+	-	-	-	-	-
GESUNDHEIT								
Löslichkeit								
Medien Wirkung								
toxische Tendenzierung (-) / dimentati (++)								
Akute Toxizität	-	+	-	-	-	-	±	+
DNA-Schädigung	-	+	-	-	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.



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

