



nano textiles

Grundlagen und Leitprinzipien zur effizienten
Entwicklung nachhaltiger Nanotextilien

Vorwort

Den Nanomaterialien wird eine viel versprechende Zukunft vorausgesagt. Dabei eröffnen sich auch für die Textilindustrie grosse Chancen für innovative Produkte und neue Märkte in zahlreichen und auch neuen Anwendungsfeldern. Dem gegenüber stehen die Unsicherheit und die Fragen bezüglich den realistischen Chancen für innovative Produkte und den Risiken dieser Materialien für Gesundheit, Umwelt und Nachhaltigkeit.

Das Übertragen der Eigenschaften von nanoskaligen Materialien auf Produkte und die Stabilität der Funktionen sind bis heute aufgrund der Komplexität und hohen Reaktivität dieser Nanomaterialien eine Herausforderung.

Dies bedingt, dass Unternehmen fundiert über die Nanomaterialien informiert sein müssen und klare Vorstellungen über die Vorteile der Nanomaterialien in ihren Produkten haben. Eine hohe Produktqualität und Funktionalität gehen jedenfalls Hand in Hand mit Sicherheit und Nachhaltigkeit.

Mit dem vorliegenden Leitfaden möchten der TVS Textilverband Schweiz und die Empa den Unternehmen der Textil- und Bekleidungsindustrie ein Hilfsmittel in die Hand geben, das Klarheit schafft, welche Informationen notwendig – aber auch schon verfügbar – sind, um erfolgreiche Nanotextilien zu entwickeln. Er soll helfen, nachhaltige Innovations- und Herstellungspfade für sichere Nanotextilien frühzeitig zu erkennen, Fehlinvestitionen zu vermeiden und somit die Innovationskraft der Unternehmen zu fördern. Dabei orientieren sich die Verfasser an den Anforderungen der Industrie und den Bedürfnissen der Gesellschaft.

Der Leitfaden ist so aufgebaut, dass der gesamte Produktlebenszyklus Berücksichtigung findet. Er gibt Antwort auf

die wichtigsten Fragen, die sich ein Unternehmen im Zusammenhang mit der Anwendung von Nanotechnologie – sprich Umsetzung in Nanotextilien – stellen muss. Die Reihenfolge dieser Fragen entspricht der des Vorgehens.

Die Basis dieses Leitfadens bilden die Ergebnisse der von der Empa¹ im Auftrag vom TVS Textilverband Schweiz durchgeführten Forschungsarbeiten zur Abklärung der Chancen und Risiken von Nanomaterialien in Textilien. Die Berichte² zu diesen Arbeiten bilden auch die vertiefte Grundlage für Details und Fragen, die dieser Leitfaden nicht abdecken kann. Unternehmen, die sich vertieft mit einer Nanoanwendung auseinander setzen, raten wir, auch diese Dokumente heranzuziehen.

TVS Textilverband Schweiz
Manfred Bickel

Empa, Abt. Technologie und Gesellschaft
Claudia Som

¹ involviert waren die Abteilungen «Advanced Fibers», «Materials- Biology Interaction» und «Technologie und Gesellschaft» der Empa

² Berichte siehe www.empa.ch/nanosafetextiles

Inhalt

	Seite
<u>Welche Materialien sind überhaupt Nanomaterialien?</u>	4
<u>Wie lassen sich Nanomaterialien sinnvoll nutzen?</u>	5
<u>Wie werden Nanomaterialien in Textilien integriert?</u>	6
<u>Welche Funktionalitäten sind für Textilien möglich?</u>	8
<u>Wie erreiche ich langlebige und optimale Funktionalität?</u>	9
<u>Wann ist prinzipiell Vorsicht geboten?</u>	10
<u>Wie erreiche ich nachhaltige Wertschöpfung?</u>	12
<u>Wie lassen sich mögliche Risiken frühzeitig erkennen?</u>	14
<u>Wie ist die Produktqualität zu testen?</u>	15
<u>Wohin kann ich mich für vertiefte Informationen wenden?</u>	16
<u>Wie gehe ich bei der Entwicklung von Nanotextilien effizient vor?</u>	17
<u>Was bedeuten bestimmte Fachbegriffe?</u>	18
<u>Welche konkreten Beispiele gibt es?</u>	19

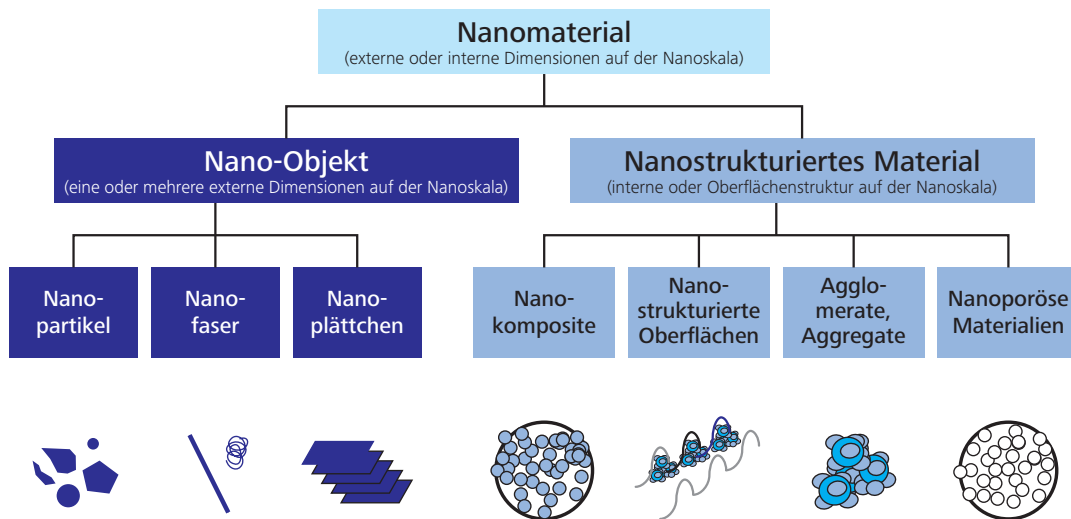
Welche Materialien sind überhaupt Nanomaterialien?

4

«Nano» ist griechisch und bedeutet «Zwerg». Wie andere Vorsilben³ steht es für einen bestimmten Grössenbereich. Der Begriff «Nanotechnologien» beschreibt analog dazu konsequent die Verkleinerung bestehender Technologien in den Nanometerbereich.

Nanotechnologien umfassen Nanomaterialien, aber auch Technologien, die es erlauben, nanoskalige Strukturen zu analysieren und zu manipulieren.

Die ISO⁴ definiert in der Norm ISO TS 27687 die unterschiedlichen Nanomaterialien wie folgt:



Die im eigentlichen Sinne partikulär vorliegenden Nanomaterialien werden heute mit dem Überbegriff «Nano-Objekte» zusammengefasst und gemäss ihren Formen in Nanopartikel, Nanofasern und Nanoplättchen unterteilt.

In diesem Leitfaden wird der Begriff Nano-Objekt konsequent verwendet und als «Nano» abgekürzt.

³ z.B. «milli» oder «mikro»

⁴ International Organisation for Standardization

Wie lassen sich Nanomaterialien sinnvoll nutzen?

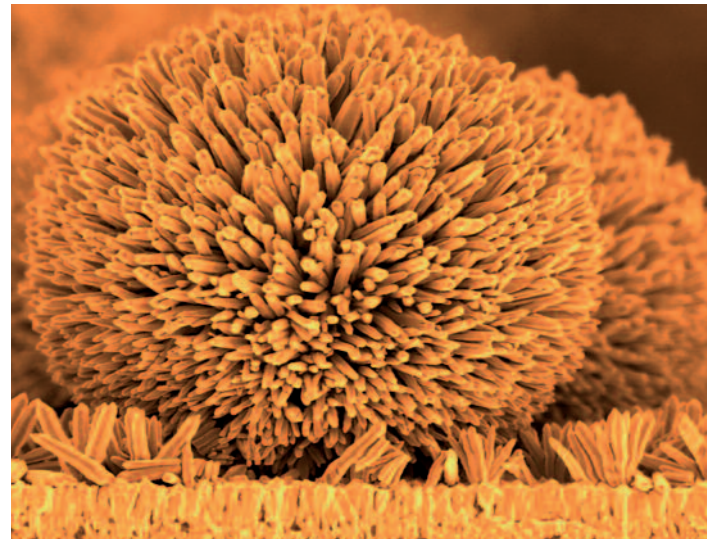
Nanoskalige Materialien haben spezifische Eigenschaften, die sie von gleichen Materialien grösserer Form – den sogenannten «Bulk»-Materialien – unterscheidet:

- Grosse Oberflächenaktivität bzw. Reaktivität aufgrund grosser Oberfläche im Verhältnis zum Volumen
- Verstärkte oder komplett neue Eigenschaften durch Quanteneffekte
- Strukturelle Besonderheiten, wie etwa die reine Grösse, unterschiedliche Formen, Strukturen im Nanometerbereich oder die Dicke von Schichten

«NanO» sind sehr heterogene Materialgruppen. Sie können in sehr unterschiedlichen Grössen und Formen hergestellt werden: rundlich, spiral- oder röhrenförmig. Diese verschiedenen Formen unterscheiden sich stark in ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften, obwohl sie aus dem gleichen Material sind. Zusätzlich können «NanO» funktionalisiert werden, indem sie z.B. mit anderen Materialien beschichtet oder funktionelle chemische Gruppen an ihrer Oberfläche aufgebracht werden. Nanomaterialien lassen sich auf vielfältige Art und Weise in Textilien integrieren, wie auf der *nächsten Seite* zu sehen ist.

Nanomaterialien lassen sich also in Textilien immer dann sinnvoll nutzen, wenn neue Eigenschaften in ein Textil integriert werden sollen, ohne die bestehenden Eigenschaften wie z.B. die Optik oder Haptik zu beeinträchtigen, oder um mehrere Eigenschaften ⁵ nebeneinander zu erzeugen: ein klarer Vorteil der winzigen Abmessungen und der Vielfalt an physikalisch-chemischen und strukturellen Einflussmöglichkeiten.

Beispiele für mögliche Funktionalitäten, die sich durch Nanomaterialien realisieren lassen, sind auf *Seite 8* dieses Leitfadens aufgeführt.



Zn-Oxid-Partikel, Empa

Über die neuen Textileigenschaften hinaus lassen sich durch den sinnvollen Einsatz von Nanomaterialien auch andere Fortschritte wie z.B. Kosteneinsparungen, Ressourcenschonung oder umweltfreundliche Anwendungen erzielen. Um dies zu erreichen, ist es empfehlenswert, jeden Einsatz von Nanomaterialien von Fall zu Fall und im Zusammenhang mit dem gesamten Produktlebenszyklus zu prüfen. Näheres zu diesem Thema findet sich auf den *Seiten 12 und 13* dieses Leitfadens.

Wie werden Nanomaterialien in Textilien integriert?

6

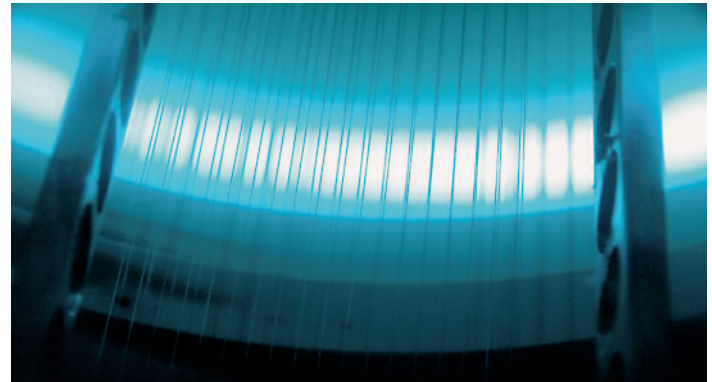
Nanofunktionalitäten lassen sich grundsätzlich auf zwei unterschiedliche Arten in Textilien einbringen:

- Beim Herstellungsprozess direkt in das Fasermaterial
- Während eines Veredelungsschrittes auf die Faser oder das Textil

Ebenso zu beachten ist, dass das Erzeugen der Funktionalität auf zwei Arten erfolgen kann, durch

- Einbetten von «NanO»
- Erzeugen von Nanostrukturen ohne «NanO»

Je nach Anwendung oder gewünschter Funktionalität ist die eine oder andere Möglichkeit vorteilhaft.



Plasmabeschichtung von Fasern, Empa, Advanced Fibers

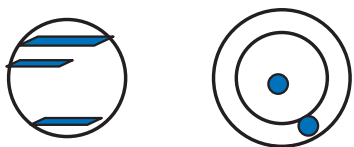
Produktionsschritt	Faserherstellung: Einbringen von «NanO» in Fasermaterial *	Faser- oder Textilveredelung
mit «NanO»	«NanO» werden durch «Compoundierung» ins Polymer eingebracht (Masterbatch). Die so hergestellten Nano-Komposite werden z.B. mittels Schmelzspinnen oder Lösungsspinnen zu Fasern oder mittels Elektrospinning zu nanoskaligen Fasern weiterverarbeitet	Anlagerung auf oder kovalente Anbindung von einzelnen «NanO» an die Faser- oder Textiloberfläche Aufbringen von nanoskaligen oder mikroskaligen Beschichtungen (mit «NanO») auf Faser- oder Textiloberfläche
Nanostrukturierung ohne «NanO»	Erzeugung nanoporöser Polymer-Fasern oder von Fasern mit nanostrukturierter Oberfläche (Prägung)	Aufbringen von nanoporöser Beschichtung auf die Faseroberfläche

* Die «NanO» können bei der Herstellung der Textilien entweder

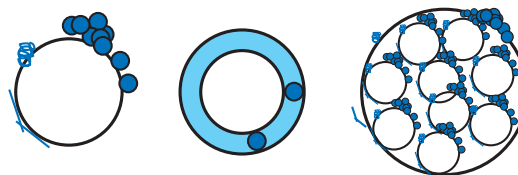
- als freies Pulver oder als Dispersion/Suspension in Polymere eingemischt werden (z.B. zu Masterbatches in Granulatform)
- als Dispersionen/Suspension/Sol-Gel in den Herstellungsprozess gelangen (z.B. Sol-Gel-, Tauch-, Spray-Prozesse)
- «in situ», d.h. während des Prozesses generiert werden (z.B. Plasmabeschichtung)
- nur bei der Herstellung als Ausgangsstoffe vorhanden sein, aber nicht mehr im textilen Endprodukt (z.B. in manchen Sol-Gel-Prozessen).

Möglichkeiten der Einbettung von «NanO»

In der Kern- oder Mantelfaser



Auf der Faser oder in der Beschichtung

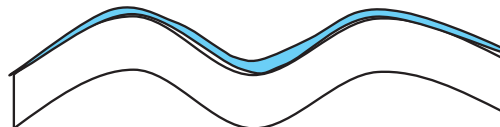


Nanostrukturierte Materialien ohne «NanO»

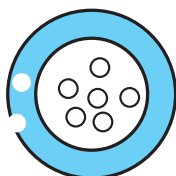
Nanofasern oder -poren in der Faser oder in der Beschichtung



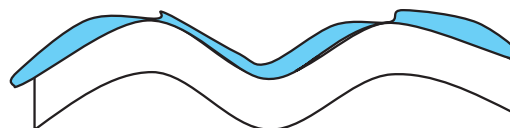
Nanoschichten auf der Faser



Nanofasern (nanoskaliger Durchmesser)



stabile gleichmässige Nanobeschichtung



Nanoporen (in Faser oder Beschichtung)

weniger stabile unregelmässige Nanobeschichtung

Es sind auch Kombinationen aller gezeigten Varianten möglich.

Welche Funktionalitäten sind für Textilien möglich?

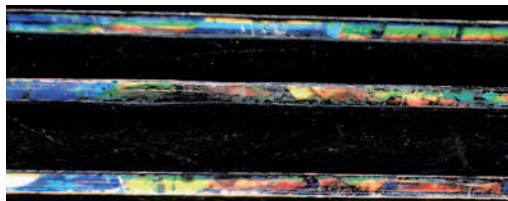
8

Eine grosse Anzahl an Funktionalitäten lassen sich heute schon erzeugen, indem bestimmte Nanomaterialien oder Strukturen gezielt in die Textilien eingebracht werden. Die zur Verfügung stehende Auswahl an Nanomaterialien und die bisher erforschten Funktionalitäten sind in folgender Matrix als Überblick zusammengefasst.

Die dargestellte Beziehung zwischen Material und Eigenschaften gibt einen ersten Anhaltspunkt, welche Funktionalität gegebenenfalls mit den entsprechenden Materialien erzeugt werden kann.

	Ag	ZnO	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	nano clay	CNT ¹	CB ²
antimikrobiell	x	x		x				
Photokatalyse		x		x				
Selbstreinigung	x	x	x	x				
Wasserabweisung		x	x	x				
Schmutzabweisung		x	x	x				
UV-Absorption		x		x				
Abriebbeständigkeit		x	x		x	x	x	
Flammhemmung			x	x	x	x	x	
Wirkstoffträger			x			x		
Elektr. Leitfähigkeit	x						x	x
Antistatik	x						x	x
Chem. Beständigkeit			x		x			
Reissfestigkeit							x *	

Eine Garantie dafür, dass diese Funktionalität im fertigen Textil erscheint, gibt es jedoch nicht. Hierfür müssen die Eigenschaften des ausgewählten Nanomaterials und das Verhalten im Produkt bekannt sein. Vor allem müssen die erzeugten Funktionen und deren Stabilität im fertigen Textil unter gebrauchsnahen Bedingungen getestet werden. Auch müssen die notwendigen Prozessschritte für das Einbringen und Stabilisieren der «Nano» ins Textil in Betracht gezogen werden.



Optische Effekte auf Fasern, Empa, Advanced Fibers

Die laufende Forschung eröffnet neue Einsatzfelder, die mittel- bis langfristig einige weitere Anwendungen bringen werden, z.B. ZnO-beschichtete Fasern zur Stromerzeugung, superhydrophobe Textilien durch Silikon-Nanofilamente, nanostrukturierte textile Emulsionsfilter, Nano-Meltblown-Fasern für Filtermedien, Nanofasern aus biokompatiblen Materialien und den gezielten Aufbau schaltbarer Nanoschichten.

¹ Carbon Nano Tube

² Carbon Black

* umstritten

Wie erreiche ich langlebige und optimale Funktionalität?

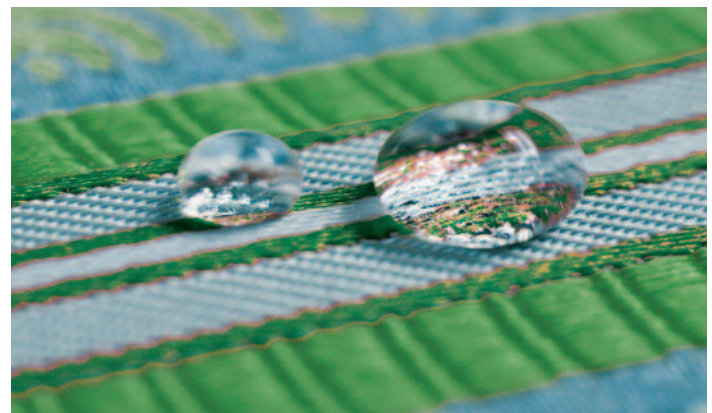
Qualität und Sicherheit von Nanotextilien sind direkt abhängig von der stabilen Einbindung der Nanomaterialien. Die Stabilität und damit die Langlebigkeit der Funktionalitäten werden beeinflusst durch die Art und Weise, wie «NanO» in die Textilien integriert werden:

Stabilitätsfaktoren	Stabilität der Integration der «NanO»	
	tendenziell höher	tendenziell tiefer
Ort der «NanO»	in der Faser	an der Faseroberfläche
	vollständig in Faser eingebettet	nur teilweise in Faser eingebettet
	im Kern einer Kern-Mantel-Faser	im Mantel einer Kern-Mantel-Faser
	in der Faser	in der Beschichtung
	in beschichteter Faser	in unbeschichteter Faser
Bindung zwischen «NanO» und Textil	kovalent	nicht kovalent
	nicht photokatalytisch	photokatalytisch
	gut in Produktmatrix dispergiert	schlecht dispergiert
Eigenschaft der «NanO»	Benetzbarkeit hoch	Benetzbarkeit gering
	resistent gegenüber Reibung	wenig reibungsresistent
	«NanO» in flexibler Beschichtung	«NanO» in spröder Beschichtung

Hohe Produktequalität und Funktionalität gehen Hand in Hand mit Sicherheit und Nachhaltigkeit. Denn eine stabile Einbettung der Nanomaterialien in das Textil vermindert die unerwünschte Freisetzung von «NanO» und somit auch die Risiken für die Umwelt und die Gesundheit. Die Langlebigkeit des Produkts leistet auch einen wichtigen Beitrag zur Nachhaltigkeit.

Es gilt der Grundsatz:

Je stabiler die Einbettung der «NanO» im Textil, desto langlebiger die Funktion, desto sicherer sind die Nanotextilien!



Wasserabweisende Textilien; Empa

Wann ist prinzipiell Vorsicht geboten?

10

Bei den Nanomaterialien besteht heute teilweise noch Unsicherheit über mögliche Risiken. Die Forschung hat hier bedeutende Fortschritte gemacht, es zeichnen sich gewisse Grundregeln ab. Dabei sind zwei Fälle zu unterscheiden:

■ Risiken für Gesundheit und Umwelt

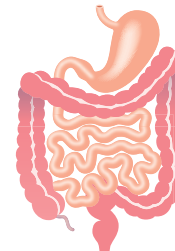
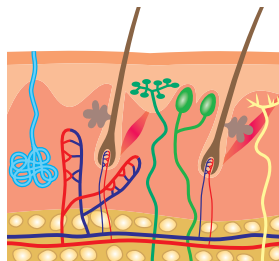
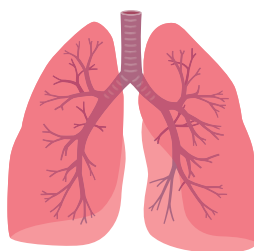
Die Experten sind sich heute einig, dass eine mögliche Gefährdung durch Nanomaterialien vor allem dann gegeben ist, wenn «NanO» in freier Form vorliegen oder aus einer gegebenen Anwendung freigesetzt werden können. Bezüglich der Gesundheit wird eine mögliche Aufnahme der «NanO» via Lunge als der kritischste Aufnahmepfad gesehen.

Daher sollte der Umgang mit pulverförmigen «NanO» und auch Sprayprozesse mit Substanzen, die «NanO» enthalten, möglichst gänzlich vermieden werden. Wenn die gewünschte Funktion mit grösseren Partikeln auch erreicht werden kann, sind diese den kleineren «NanO» vorzuziehen.

Als weitere kritische Aufnahmepfade gelten der Mund und die Haut. Sie sind bei der Risikobetrachtung eines Nanoproduktes über seinen Lebenszyklus ebenfalls einzubeziehen.

Es gilt tendenziell:

Je kleiner die «NanO», desto reaktiver sind sie und desto eher ist mit einer Schädigung zu rechnen.



Es ist in jedem Einzelfall zu eruieren, wie reaktiv sich die Materialien verhalten, ob sie sich lösen und in welchen Mengen sie überhaupt vorhanden sind.

■ Prozesssicherheit und Reproduzierbarkeit

Ungenügendes Verständnis der wissenschaftlichen Grundlagen sowie der Auswirkung unterschiedlicher Prozessführungen sind bei der Anwendung von «NanO» häufig der Grund für ungenügende Prozesssicherheit und Reproduzierbarkeit der Materialeigenschaften. Hier müssen von Fall zu Fall diese Details geprüft und bewertet werden.

Die folgenden Tabellen versuchen, die möglichen Wirkungen der «NanO» auf die Umwelt und die Gesundheit grob abzuschätzen. Für beide Tabellen gilt: Wie schon vorher im Leitfaden aufgeführt, sind «NanO» heterogene Gruppen von Materialien mit sehr unterschiedlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften. Weitergehende Forschung zum besseren Verständnis dieser unterschiedlichen Eigenschaften ist nötig. Deshalb sind beide Tabellen noch nicht vollständig. Es gilt ebenfalls zu beachten, dass die Langzeitwirkungen sämtlicher «NanO» noch sehr schlecht untersucht sind. Diese Abschätzungen gelten nicht für unbeabsichtigt produzierte nanoskalige Partikel (z.B. PKW-Russpartikel). Sie repräsentieren nur den momentanen Wissensstand ⁶ und müssen laufend den aktuellen Forschungsergebnissen angepasst werden.

⁶ siehe Berichte der Empa zu Nanomaterialien in Textilien: Umwelt-, Gesundheits- und Sicherheits-Aspekte (2010 - Som C., Krug, H., Wick, P., Nowack B.) www.empa/nanosafe-textiles und Som C., Krug, H., Wick, P., Nowack Environment International 37 (2011) 1131–1142 weitere Informationen auch unter www.nanopartikel.info/cms

Umwelt	Ag	ZnO	TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Montmorillonite	CNT ¹	CB ²
Hinweis auf Schädigung bei realistischen Konzentrationen	+	+	+	--	--	--	--	--
Lösung in Wasser erhöht die toxischen Effekte ++, reduziert die toxischen Effekte --	++	++	--	--	++	--	--	--
Tendenz zu Agglomeration und Sedimentation --, keine Sedimentation ++	-	-	--	±	--	+	--	-
Tiefe Eliminierungsrate während der Abwasserreinigung ++, effiziente Eliminierungsrate --	-	n. a.	-	±	-	n.a.	±	n.a.
Stabil während der Verbrennung in der KVA ++, verbrennt in der KVA --	+	+	++	++	++	++	--	--
Gesundheit	Ag	ZnO	TiO ₂	SiO ₂ amorphous	Al ₂ O ₃ #	Montmorillonite	CNT	Carbon Black (CB)
Akute Toxizität	--	+	--	--	-	--	±*	+
Chronische Toxizität (Langzeiteffekte erwartet)	+	+	±	-	n.a.	--	±*	++
Schädigung der DNA	-	+	-	-	n.a.	n.a.	-	+
Überschreiten und Schädigung der Gewebebarrieren	n.a.	n.a.	+	+	-#	n.a.	-	+
Schädigung des Zentralen Nervensystems	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Haut	--	--	--	--	n.a.	n.a.	-	-
Verdauungstrakt	-	±	-	-	n.a.	-	-	-
Lunge	-	+	-	-	-	n.a.	+	+

Legende:
 + es resultiert daraus eine gesteigerte Exposition oder ein stärkerer Effekt,
 ± keine schlüssigen Daten vorhanden,
 - es resultiert daraus eine sinkende Exposition oder schwächere Schädigung,
 n.a. keine Daten verfügbar.

Legende:
 + trifft zu;
 ± schwache Evidenz;
 - trifft nicht zu;
 n.a. keine Daten verfügbar;
 * Wirkung hängt oft von der Verunreinigung der «Nano» ab,
 # AlOOH wurde in der Lunge untersucht. Bei den CNT hängt die chronische Toxizität (asbestähnliche Wirkung) stark von der Länge und Festigkeit der CNT ab

Das Wissen aus der Forschung bezüglich Verhalten der «Nano» in der Umwelt und den möglichen Wirkungen auf die Gesundheit lässt sich auch nutzen, um das Verhalten der

«Nano» und deren Wechselwirkung mit dem Produktmaterial besser abzuschätzen und verstehen zu können.

¹ Carbon Nano Tube

² Carbon Black

Wie erreiche ich nachhaltige Wertschöpfung?

12

Nachhaltige Wertschöpfung bedeutet, dass das Textil den KonsumentInnen und der Gesellschaft einen Mehrnutzen bringt, erfolgreich auf dem Markt bestehen kann und gleichzeitig weder Umwelt noch Gesundheit schädigt.

Es gilt der Grundsatz:

Um eine nachhaltige Wertschöpfung zu ermöglichen, müssen die Nanomaterialien zu einer langlebigen Funktion im Textil führen und dort möglichst stabil eingebunden sein.

Nanomaterialien können zur Ressourcenschonung und Ressourceneffizienz⁷ durch optimierte Herstellungsprozesse⁸ oder durch eine neue Funktion im Nanoprodukt beitragen, die in der Nutzungsphase einen verminderten Verbrauch an Energie und Materialien haben.

■ Effizientere Herstellungsprozesse

Tatsächlich scheint es möglich, durch den gezielten Einsatz von Nanomaterialien Herstellungsprozesse bezüglich Materialverbrauch zu optimieren. Zum Beispiel können leichter einfärbbare Fasern zu einem geringeren Verbrauch an Farbpigmenten oder zu kürzeren Prozesszeiten führen und damit zu Zeit- und Energieeinsparungen.

■ Nutzungsphase

Ein weites Anwendungsfeld der Nanomaterialien sind auch schmutzabweisende oder antibakterielle Textilien, die weniger gewaschen werden müssen. Gerade das Waschen von Textilien belastet die Umwelt durch den hohen Energie- und Wasserverbrauch.

Aus den wenigen bisher existierenden öffentlichen Ökobilanz-Studien ergibt sich jedoch tendenziell, dass die heutigen Herstellungs- und Reinigungsprozesse von «NanO» relativ viel Energie und Material verbrauchen und dabei relativ viele Abfälle anfallen. Daher müssen alle Einflüsse auf die ökologische Nachhaltigkeit entlang dem Produktlebenszyklus kritisch geprüft werden. Hierbei müssen nicht nur die Materialströme und der Energieverbrauch, Abfälle und Emissionen berücksichtigt werden, sondern auch das Verhalten der KundInnen.

Werden z.B. schmutzabweisende oder antibakteriell ausgerüstete Nanotextilien gleich häufig gewaschen wie konventionelle Textilien, ist der positive Beitrag zur ökologischen Nachhaltigkeit wegen der hohen Herstellungskosten der «NanO» (Energieaufwand, Abfälle) wahrscheinlich nicht gegeben.

■ Entsorgung

Bisher ist das Verhalten in und die Wirkung der «NanO» auf technische Systeme wie Kläranlagen, Kehrrichtverbrennungsanlagen und die bestehenden Recycling-Systeme noch sehr spärlich untersucht. Der Stand des Wissens ist der Tabelle Umwelt [auf Seite 11](#) zu entnehmen.

Um Fehlinvestitionen zu vermeiden, ist es schon in einer frühen Phase der Produktentwicklung wichtig, genügend Informationen darüber zu haben, was überhaupt mit dem Einsatz von «NanO» erreicht werden kann und wie sich die Risiken für Umwelt und Gesundheit reduzieren lassen.

⁷kleiner Material- und Energieverbrauch, weniger Abfälle

⁸eröffnet auch die Möglichkeit, Kosten einzusparen

Das Risiko wird definiert durch die Exposition eines Organismus gegenüber einem Material und der möglichen Wirkung des Materials auf die Gesundheit und die Umwelt (siehe Grafik).

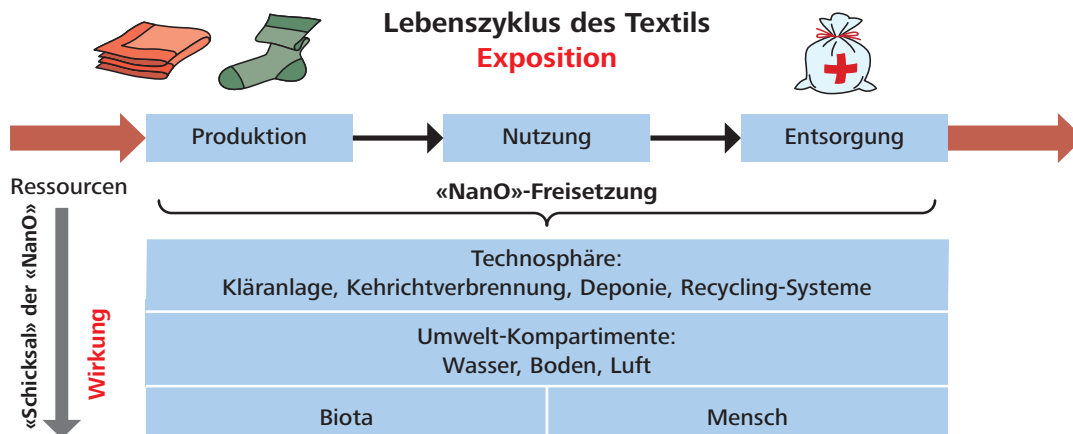
Die Risiken für Gesundheit und Umwelt können minimiert werden, indem

- die Materialien möglichst nicht unbeabsichtigt freigesetzt werden, *siehe Seite 10*. Die stabile Einbettung der «NanO» in das Produktmaterial (Konsumentensicherheit) geht Hand in Hand mit der Langlebigkeit der Funktionalität (hohe Produktqualität).
- möglichst unschädliche Materialien verwendet werden. Das Kapitel «Wann ist Vorsicht geboten» enthält Hinweise, die sich mit dem Wissen über den Produktzyklus kombinieren lassen, um Risiken zu minimieren. Kommt ein Textil zum Beispiel in ökologisch sensiblen Gewässern zum Einsatz, sollte es nicht «NanO» enthalten, deren Toxizität durch Lösen im Wasser steigt, oder ein textiles Taschentuch sollte keine «NanO» enthalten,

die als kritisch für die Aufnahme über die Lunge eingeschätzt werden. «NanO» in Socken hingegen kommen am wahrscheinlichsten mit der Haut in Kontakt, dieser Kontakt könnte durch Reibung und Druck intensiv sein.

- der Schutz von Arbeitnehmenden in der Produktion von Nanomaterialien durch Vermeiden einer Exposition mit «NanO» sicher gestellt wird. Hilfestellung zum Prüfen einer möglichen Exposition und zum Auffinden geeigneter Massnahmen bietet die Suva⁹.
- verfügbare Informationen zu Eigenschaften, möglichen Risiken und deren Vermeidung in geeigneter Form entlang dem gesamten Lebenszyklus der Nanotextilien weitergegeben und kommuniziert werden, sowohl an Arbeitnehmende als auch an KonsumentInnen.

Für Informationen zur Entsorgung industrieller und gewerblicher Nanoabfälle wird von der Arbeitsgruppe «Umweltverträgliche und sichere Entsorgung von Nanomaterialabfällen» des BAFU gegenwärtig eine Wegleitung¹⁰ vorbereitet.



⁹ siehe http://www.suva.ch/nanopartikel_an_arbeitsplaetzen.pdf

¹⁰ Kontakt: BAFU, Sektion Industriechemikalien, Dr. Ernst Furrer → ernst.furrer@bafu.admin.ch

Wie lassen sich mögliche Risiken frühzeitig erkennen?

14

Die vorsorgliche Abschätzung der möglichen Risiken bei der Anwendung von «NanO» in textilen Materialien stellt eine besondere Herausforderung dar. Sie ist aber unumgänglich und sehr wichtig.

Im Rahmen des Schweizer «Aktionsplans synthetische Nanomaterialien» wurde ein sogenannter Vorsorgeraster entwickelt, der auf der Grundlage des bestehenden Wissens eine erste Abschätzung erlaubt,

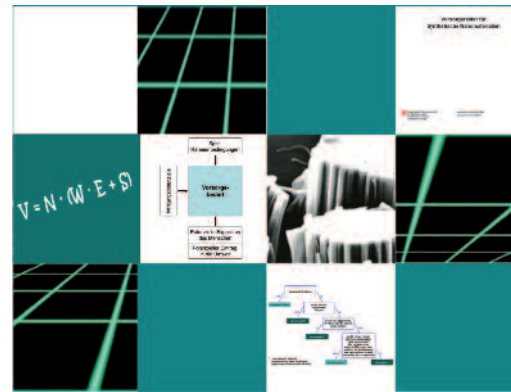
- ob ein gegebenes Material mit Bezug auf die Sicherheit überhaupt ein relevantes Nanomaterial ist,
- wo entscheidende Wissenslücken bestehen,
- welcher Handlungsbedarf für eine gegebene Anwendung besteht.

Damit soll verhindert werden, dass einerseits die Anwendung von «NanO» mangels Kenntnis der Risiken stark eingeschränkt würde bzw. alle verfügbaren Schutzmassnahmen für Arbeitnehmende, VerbraucherInnen und die Umwelt pauschal angewendet werden müssten. Dies wäre weder wirtschaftlich noch zielführend.

Dieser Vorsorgeraster stützt sich auf eine begrenzte Anzahl von Bewertungsparametern, wie

- Grösse der Teilchen
→ je kleiner die Teilchen, desto kritischer sind sie zu bewerten
- deren Reaktivität und Beständigkeit
- deren Freisetzungspotenzial
→ fest in eine Matrix gebundene Teilchen sind weniger kritisch
- die Wahrscheinlichkeit für eine Aufnahme der Teilchen

Auf Basis dieser Parameter wird für jeden definierten Schritt im Lebenszyklus eines Produkts der Vorsorgebedarf für Arbeitnehmende, VerbraucherInnen oder die Umwelt abgeschätzt, je nachdem welche Aussage benötigt wird.



EMPFEHLUNG: Im Rahmen der Produktsicherheitsgesetzgebung¹¹ haften die Hersteller grundsätzlich über den gesamten Lebenszyklus für die Sicherheit ihrer Produkte. Deshalb sei in jedem Fall empfohlen, den Vorsorgeraster für die Evaluation von Nanoprodukten heranzuziehen. Im Rahmen der Arbeitnehmersicherheit ist die Anwendung des Vorsorgerasters ebenfalls zu empfehlen. Zusätzlich bieten die SpezialistInnen der Suva Hilfestellung bei der Prüfung der Sicherheit der Arbeitnehmenden¹².

Der Vorsorgeraster ist freiwillig, frei verfügbar¹³, kostenlos, elektronisch anwendbar, die Auswertung erfolgt automatisch. Unterstützung bietet gerne Dr. Christoph Studer, BAG
→ christoph.studer@bag.admin.ch.

¹¹ SR 930.11 – PrsG (Produktsicherheitsgesetz)

¹² s. z.B. http://www.suva.ch/nanopartikel_an_arbeitsplaetzen.pdf

¹³ www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00228/00510/05626/index.html?lang=de

Wie ist die Produktqualität zu testen?

Wie bereits erwähnt, ist die Stabilität der funktionsgebenden «NanO» sowie die Dauerhaftigkeit der Funktionalität in den Textilien die massgebliche Einflussgrösse für eine nachhaltige Produktion und hohe Qualität von Textilien.

Diese Stabilität kann aber nicht für alle Anwendungen und Prozesse vorhergesagt werden. Es ist deshalb unumgänglich, geeignete Tests zur Qualitätssicherung in den jeweiligen Produkten und Prozessen durchzuführen bzw. die entsprechenden Daten vom Lieferanten einzufordern.

Was kann und was sollte getestet werden?

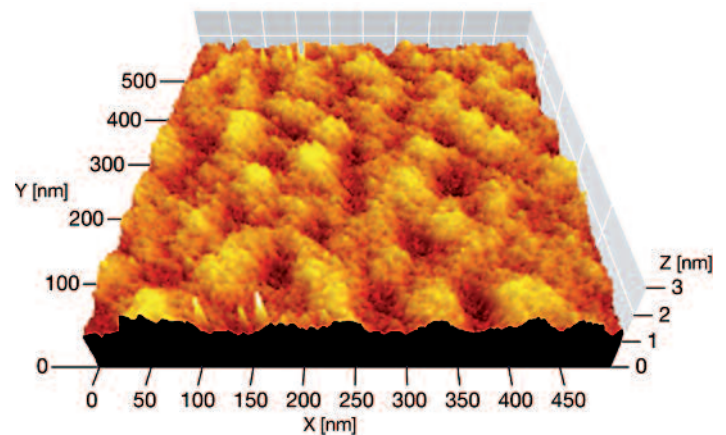
- Reproduzierbarkeit der Prozesse
- Qualität der erreichten Funktionalität
→ im Hinblick auf Anforderungen der KundInnen
- Dauerhaftigkeit der Funktionalität (z.B. Waschbeständigkeit)
- Bestimmung, in welchem Ausmass und welcher Form «NanO» freigesetzt werden können
- Wird das Textil häufig gewaschen
→ z.B. Verhalten der «NanO» in der ARA
- Entsorgung der Nanotextilien
→ z.B. Verhalten der «NanO» in der KVA

Welche Infos sind nötig, was sollte bei Lieferanten angefragt werden?

- Art der verwendeten Nanomaterialien
→ nanospezifische Daten: Grössenverteilung, Funktionalisierung, evtl. auch Toxizität. Ein gangbarer Ansatz¹⁴ zur Weitergabe nanospezifischer Daten wurde vom Seco entwickelt.
- Art der Einbindung der Nanomaterialien
- Dauerhaftigkeit der Funktionalität
→ Effekte von Abrieb, mechanischer Beanspruchung, Auswaschen

Hinweise auf durchführbare Tests können auch im Bereich von Produktlabels, zum Beispiel der Hohenstein Institute und DITF Denkendorf, gefunden werden. Links zu diesen Labels sind auf der *nächsten Seite* aufgeführt.

Die Empa bietet unter Solution Services moderne Analytik, kombiniert mit Erfahrung von Fachleuten, sei es für Qualitätssicherung, für Problemlösungen bei der Produktion oder für Eigenentwicklungen¹⁵.



AFM- Aufnahme einer ca. 100nm dicken nanoporösen funktionalen Plasmapolymerschicht. Sie kann mit chemischen (Farbstoffe, W-Absorber, Fluorkohlenstoffe) oder biologischen Molekülen (Enzyme, Vitamine) beladen werden, Empa, Advance Fibers

¹⁴ <http://www.seco.admin.ch/aktuell/00277/01164/01980/index.html?lang=en&msg-id=36897>

¹⁵ www.empa.ch/plugin/template/empa/1104/*/--/l=1

Wohin kann ich mich für vertiefte Informationen wenden?

16

Ansprechpartner:

TVS Textilverband Schweiz	Manfred Bickel manfred.bickel@tvs.ch	Allgemeine Anfragen zur Verbandstätigkeit
Empa	Claudia Som claudia.som@empa.ch	Lebenszyklus, nachhaltige Innovation, Projekt Nanosafetextiles
	Manfred Heuberger manfred.heuberger@empa.ch	Textilforschung
	Harald Krug harald.krug@empa.ch	Nanotoxikologie
	Peter Wick peter.wick@empa.ch	
	Bernd Nowack bernd.nowack@empa.ch	Nanomaterialien in der Umwelt
BAG Bundesamt für Gesundheit	Christoph Studer christoph.studer@bag.admin.ch	Schweizer Aktionsplan synthetische Nanomaterialien und Vorsorgeraster
TEMAS AG	Jürgen Höck juergen.hoeck@temas.ch	Technologietransfer und Innovationskonzepte
Nano-Cluster Bodensee	Jörg Güttinger joerg.guettinger@ncb.ch	Chancen der Nanotechnologien

Links und Dokumente:

TVS Textilverband Schweiz	www.swisstextiles.ch
Empa, NanoSafe Textiles	www.empa.ch/nanosafetextiles
Empa Solution Services	www.empa.ch/plugin/template/empa/1104/*/--/l=1
BAG, Vorsorgeraster	www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00228/00510/05626/index.html?lang=de
Suva	www.suva.ch/nanopartikel_an_arbeitsplaetzen.pdf
Projekt DaNa	www.nanopartikel.info
SNF, NFP64	www.nfp64.ch/SiteCollectionDocuments/nfp64_programmportraet_d.pdf
DITF Denkendorf	www.risikomanager.org/?p=364
Hohenstein Institute	www.hohenstein.cn/ximages/24084_hohnanotec.pdf

Wie gehe ich bei der Entwicklung von Nanotextilien effizient vor?

Unter Ausnutzung der bisher gegebenen Informationen lässt sich ein prinzipielles Ablaufschema für die effiziente Entwicklung von Nanotextilien skizzieren:

Vorgehen

Schritt 1 Erforderliche Funktionalitäten definieren und Markt genau analysieren.

Schritt 2 Eruieren des für die gewünschte Eigenschaft geeigneten Nanomaterials. Gleichzeitig prüfen und benchmarken von allenfalls geeigneten nicht-nanoskaligen Alternativen.

Schritt 3 Evaluieren, ob die vorgesehenen Materialien in die bestehenden Prozesse integrierbar sind oder nanospezifische Prozesse (z.B. aufgrund Arbeitssicherheit) zu generieren sind.

Schritt 4 Abklärung der bestmöglichen Integration der Materialien bzgl. höchster Stabilität über den Gesamtlebenszyklus des Produktes.

Schritt 5 Einschätzung und Klärung möglicher Risiken für die unterschiedlichen Schritte im Lebenszyklus.

Schritt 6 Machbarkeitsprüfung und Herstellen von Prototypen mit Qualitäts- und Stabilitätsprüfung der Textilien; alternativ: Anfragen der entsprechenden Daten vom Lieferanten. Informationen zu Ökobilanzen einholen.

Schritt 7 Einholen tiefer gehender Informationen für jeden der Schritte, sofern sich ein Bedarf hierfür zeigt.

Korrespondierendes Kapitel dieses Leitfadens

Dies ist zentrale Aufgabe des Unternehmens und Grundvoraussetzung für die Entscheidung des Einsatzes von Nanomaterialien.

Eine Auswahl möglicher Nanomaterialien und ihrer Eigenschaften: [Seite 8](#).

Gleichzeitig Kapitel «Wann ist prinzipiell Vorsicht geboten» auf [Seite 10](#) beachten.

Es empfiehlt sich bereits hier die Anwendung des Vorsorgeasters: [Seite 14](#).

Anzustreben ist: «Nano» möglichst gross und stabil einbetten, Aerosole vermeiden oder Nanostrukturen ohne «Nano».

Es ist hier nach dem Prinzip «Best available Technology» (BAT) vorzugehen, wobei insbesondere Arbeits- und Prozesssicherheit im Fokus stehen. Eine Auflistung der Möglichkeiten, Nanomaterialien in Textilien einzuarbeiten: [Seiten 6 und 7](#).

Hilfestellungen zu diesem Schritt: Kapitel «Wie erreiche ich langlebige und optimale Funktionalität» auf [Seite 9](#) und Kapitel «Wie erreiche ich nachhaltige Wertschöpfung» auf [Seite 12](#).

Als wichtigstes Werkzeug empfiehlt sich der Vorsorgeaster auf [Seite 14](#). Ausserdem Ausführungen auf [Seiten 11 und 15](#) beachten.

Prüfung der Qualität der Nanotextilien: Kapitel «Wie ist die Produktqualität zu testen» auf [Seite 15](#).

Für erste Experteninformationen und -ratschläge: Ansprechpartner [Seite 16](#).

Was bedeuten bestimmte Fachbegriffe?

18

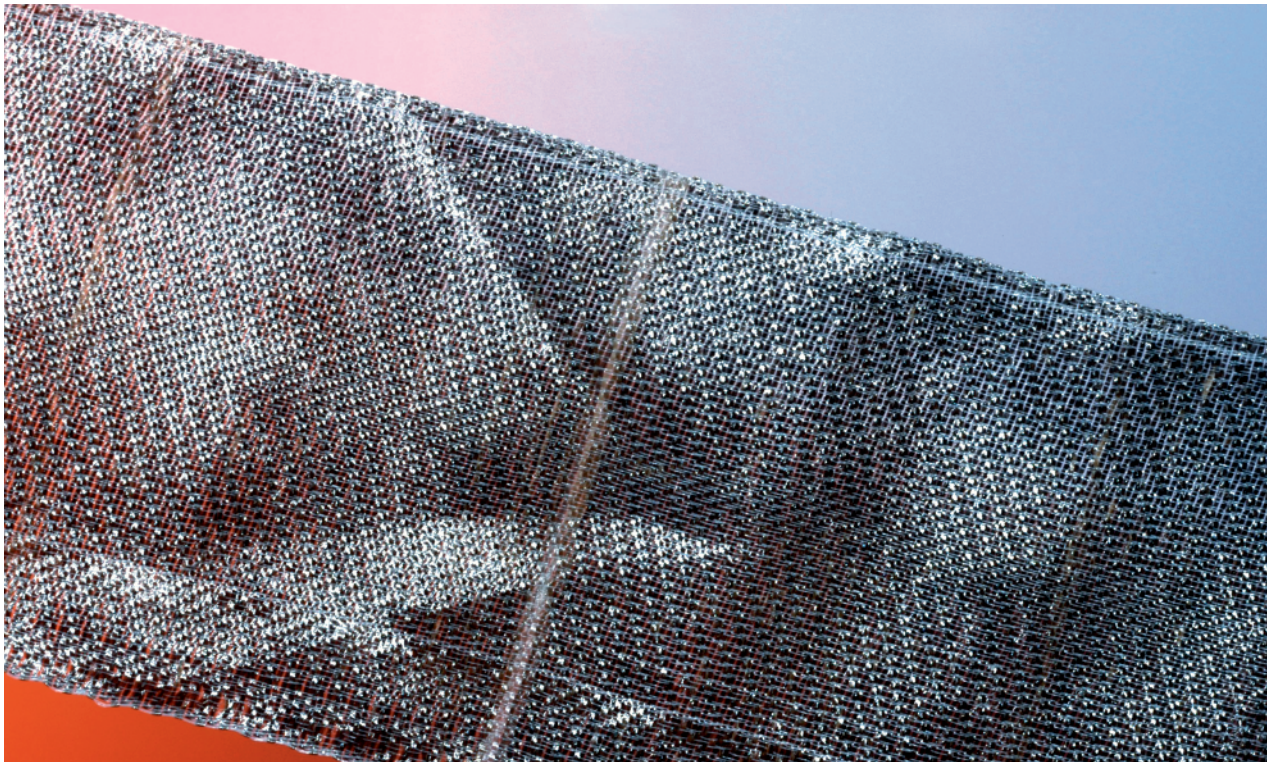
Agglomerat	Ansammlung von schwach miteinander verbundenen Partikeln oder Aggregaten. Die Oberfläche von Agglomeraten entspricht ungefähr der Summe der Oberflächen der einzelnen Partikel oder Aggregate.
Aggregat	Ansammlung von stark aneinander gebundenen Partikeln. Die Oberfläche der Aggregate kann deutlich kleiner sein als die Summe der Oberflächen der einzelnen Partikel.
Funktionalisierung	Die Ausstattung von Materialien oder Produkten mit neuen Eigenschaften durch gezielte chemische Veränderung der Materialeigenschaften oder der Oberflächeneigenschaften, z. B. durch Beschichten, Einbringen von Füllstoffen oder Strukturierung des Materials.
Nanokomposite	Materialien (häufig Kunststoffe), die gut verteilte Nano-Objekte enthalten, bzw. Materialien, die sich aus verschiedenen Nano-Objekten zusammensetzen.
Nano-Objekt	Neuere Bezeichnung der ISO für alle Materialien mit einem, zwei oder drei Aussenmass(en) kleiner als 100 Nanometer (nm) sind. Nano-Objekte werden gemäss ihrer Form unterteilt in Nanopartikel, Nanofasern und Nanoplättchen.
Nanopartikel	Bezeichnung für einen sphärischen (also eher kugelförmigen) Partikel mit drei Aussenmassen auf der Nanoskala. In älteren Publikationen noch als Überbegriff für alle partikulären Nanomaterialien verwendet (heute: Nano-Objekt, s. dort).
Nanotextil	Textil mit neuen oder deutlich verbesserten Eigenschaften durch den Einsatz von Nanotechnologien bzw. von Nanomaterialien (Nanobeschichtung, Nanostrukturierung, Funktionalisierung, Beschichtung mit Nanopartikeln).
Ökobilanz	Systematische Analyse der Umweltwirkungen von Produkten während des gesamten Lebensweges (engl. life cycle analysis). Umfasst alle Umweltwirkungen während Produktion, Nutzungsphase und Entsorgung sowie die damit verbundenen vor- und nachgeschalteten Prozesse (z. B. Herstellung der Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe).
Vorsorgeprinzip	Das Vorsorgeprinzip zielt darauf ab, trotz fehlender Gewissheit bezüglich Art, Ausmass oder Eintrittswahrscheinlichkeit von möglichen Schadensfällen für die Umwelt bzw. die menschliche Gesundheit vorbeugend zu handeln, um diese Schäden von vornherein zu vermeiden. Es dient damit einer Risiko- bzw. Gefahrenvorsorge. Eine einheitliche Definition dieses Begriffes existiert nicht.

Welche konkreten Beispiele gibt es?

19

Praktische Beispiele zur Verdeutlichung und Erklärung des auf *Seite 17* vorgestellten Vorgehens werden in kurzen Abhandlungen beschrieben. Diese sind unter folgender Adresse zu finden:

www.empa.ch/nanosafetextiles



Beschichtetes Gewebe, Empa, Advanced Fibers

Impressum

20

Titel:

nano textiles, Grundlagen und Leitprinzipien zur effizienten Entwicklung nachhaltiger Nanotextilien, Ausgabe September 2011

TVS Textilverband Schweiz

www.swisstextiles.ch

Fürstenlandstrasse 142

Postfach 352

CH-9014 St. Gallen

+41 (0)71 274 90 90

stgallen@swisstextiles.ch

Empa

www.empa.ch

Lerchenfeldstr. 5

CH-9014 St. Gallen

+41 (0)58 765 71 11

www.empa.ch/nanosafetextiles

Disclaimer:

Dieser Leitfaden oder Angaben daraus dürfen nur nach vorgängiger Zustimmung von Empa und TVS Textilverband Schweiz und mit den korrekten Quellenangaben verwendet werden. Die Empa und der TVS Textilverband Schweiz erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit der Informationen und es besteht auch kein Haftungsanspruch.

Satz und Druck: Empa Grafikgruppe und Hausdruckerei

Konzept: TEMAS AG, Arbon

© Empa, TVS Textilverband Schweiz