

Arbeitsgruppe " Entsorgung von Nanoabfällen"

Entwurf Konzeptpapier

**Umweltverträgliche und sichere Entsorgung von
Abfällen**

**aus Herstellung sowie
industrieller und gewerblicher Verarbeitung**

von synthetischen Nanomaterialien

**Version für den Praxistest
September 2010**

Auftraggeber: BAFU

Auftragnehmer: Terra Consult Bern

Verfasser: Dr. Mathias Tellenbach-Sommer

Arbeitsgruppe "Entsorgung von Nanoabfällen"

Entwurf Konzeptpapier

Umweltverträgliche und sichere Entsorgung von
Abfällen

aus Herstellung sowie
industrieller und gewerblicher Verarbeitung

von synthetischen Nanomaterialien

Auftraggeber: Dr. Andreas Weber und Dr. André Hauser, BAFU

Auftragnehmer: Terra Consult Bern

Verfasser: Dr. Mathias Tellenbach-Sommer

Kontaktadressen:

BAFU
Dr. André Hauser
Abteilung Abfall, Stoffe, Biotechnologie
CH-3003 Bern
Tel. +41 31 323 13 35
andre.hauser@bafu.admin.ch

Terra Consult Bern
Dr. Mathias Tellenbach
Büro: Hombergstrasse 26 F
CH-3612 Steffisburg
Tel. +41 33 437 31 53 Mobile +41 79 270 46 50
mtellenbach@bluewin.ch

Inhalt

1. Einleitung	5
2. Allgemeines zu Nanomaterialien	6
2.1. Physikalische und chemische Eigenschaften	6
2.2. Mögliche Risiken beim Umgang mit Nanomaterialien ¹⁾	8
2.3. Der Vorsorgeraster für synthetische Nanomaterialien	9
3. Entsorgung von Nanoabfällen	10
3.1. Nanoabfälle	10
3.2. Nano-Sonderabfälle	10
3.3. Allgemeine Grundsätze zur Entsorgung von Nanoabfällen.....	13
3.4. Schutzmassnahmen nach dem TOP-Prinzip im Umgang mit Nanoabfällen.....	14
3.5. Massnahmen im Hinblick auf die Entsorgung	15
4. Entsorgungsverfahren	15
4.1. Allfällige Konditionierung der Nanoabfälle	16
4.2. Entsorgungsmethoden	16
4.3. Wissenslücken und Forschungsbedarf.....	17
4.4. Anforderungen an Entsorgungsbetriebe für Nano-Sonderabfälle.....	18
4.5. Spezifische Fragestellung an die Teilnehmer des Praxistest für die Vorversion	19
5. Anhänge.....	20
5.1. Glossar.....	20
5.2. Publikationen.....	21
5.3. Links	22
5.4. Fallbeispiele	23

Mitglieder der begleitenden Arbeitsgruppe

Bundesamt für Umwelt BAFU:	Andreas Weber
	André Hauser
	Ernst Furrer
Bundesamt für Gesundheit BAG:	Christoph Studer
KVU, Konferenz der Vorsteher der Umweltschutzämter der Schweiz, vertreten durch:	
- Amt für Umwelt und Energie Basel-Stadt:	Gertrud Engelhardt
- Canton de Vaud, Service des eaux, sols et assainissement:	Jean-Michel Zellweger
ECO-SWISS, die Umweltschutzorganisation der Schweizer Wirtschaft :	Daniel Christen
Staatssekretariat für Wirtschaft SECO - Chemikalien und Arbeit:	Livia Bergamin
SGCI Chemie Pharma Schweiz:	Richard Gamma
SUVA Schweizerische Unfallversicherungsanstalt:	Christoph Bosshard
SVI Schweizerisches Verpackungsinstitut:	Wolfgang Durrer
SWICO - Der Wirtschaftsverband für die digitale Schweiz:	Paul Brändli
swissmedic - Schweizerisches Heilmittelinstitut - Fachgruppe Nanotechnologie:	Beat Schmid
Swissmem, Schweizer Maschinen-, Elektro- und Metallindustrie:	Christine Roth
	Sonja Studer
TVS Textilverband Schweiz:	Manfred Bickel
VBSA Verband der Betreiber Schweizerischer Abfallverwertungsanlagen:	Pierre Ammann
VSLF / USVP / Verband der Schweizerischen Lack- und Farbenindustrie:	Matthias Baumberger
VSMR Verband Stahl-, Metall- und Papierrecycling Schweiz:	Markus Fehr
ZPK Schweizerische Zellstoff-, Papier- und Kartonindustrie:	Martin Häberli
	Arthur Burkhalter

1. Einleitung

1.1 Aktionsplan "Synthetische Nanomaterialien"

Der schweizerische Bundesrat verabschiedete am 9. April 2008 seinen Aktionsplan „Synthetische Nanomaterialien“¹. Der Plan zeigt auf, wie in den nächsten Jahren eine verantwortungsbewusste Entwicklung im Bereich synthetischer Nanomaterialien sichergestellt werden kann, welche sowohl den verschiedenen Wirtschaftsinteressen wie auch dem Schutz der Konsumentinnen und Konsumenten, der Arbeiternehmerinnen und Arbeitnehmer sowie dem Umweltschutz Rechnung trägt. Der Aktionsplan sieht neben einer Stärkung der Risikoforschung, der Kommunikation sowie der Forschungsförderung besonders für diejenigen Anwendungen der Nanotechnologie, die zur Ressourcenschonung und zum Gesundheitsschutz beitragen, auch rechtliche Massnahmen in verschiedenen Bereichen vor. In einer ersten Phase soll die Verpflichtung zur Selbstkontrolle der Hersteller und Importeure für Nanomaterialien und deren Anwendungen konkretisiert werden. In diesem Massnahmenpaket sind auch Vorschriften über die Entsorgung von Produkten mit synthetischen Nanomaterialien vorgesehen, mit folgender Begründung: "Bei der Entsorgung von Produkten, die synthetische Nanomaterialien enthalten, können gefährliche Nanopartikel in die Umwelt gelangen oder das Recycling von Kompositmaterialien und Kunststoffen beeinträchtigen. Es muss geprüft werden, wie eine sachgerechte Entsorgung von synthetischen Nanomaterialien sichergestellt werden kann." (Aktionsplan, Seite 11).

1.2 Entwurf Konzeptpapier

Ende 2008 setzte das BAFU die Arbeitsgruppe „Entsorgung von Nanoabfällen“ ein. Darin vertreten sind Kantone (KVU durch die Umweltschutzfachstellen der Kantone BS und VD), Bundesstellen (BAFU, seco, SUVA, swissmedic) sowie Verbände der Industrie (Chemie, Textil, Metall/Maschinen, Elektronik, Papier, Verpackungen, Lacke/Farben) und der Abfallwirtschaft (Kehrichtverbrennung, Schrotterwertung, Sonderabfallentsorgung). In einer ersten Phase erstellte die Arbeitsgruppe den vorliegenden Entwurf, der als Grundlage für eine Vollzugshilfe zur umweltverträglichen und sicheren Entsorgung von Abfällen aus Herstellung sowie industrieller und gewerblicher Verarbeitung synthetischer Nanomaterialien gedacht ist.

Das Dokument in der vorliegenden Version will auf Grund des heutigen Kenntnisstandes Unternehmen, die Nanomaterialien herstellen, weiterverarbeiten oder entsorgen, im Sinne einer Hilfestellung aufzeigen, wie sie mit betrieblichen Abfällen umgehen sollen, die freie oder freisetzbare Nanopartikel und -stäbchen enthalten ("Nanoabfälle"). Es geht dabei z.B. um Fehlchargen, Produktionsabfälle oder Rückstände aus Forschung und Entwicklung, wo Art, Mengen und Konzentration von Nanopartikeln und -stäbchen spezifische Massnahmen nötig machen. Der Entwurf befasst sich nicht mit der Entsorgung von Konsumgütern, die Nanomaterialien enthalten, weil es zurzeit aufgrund der Wissenslücken über Art und Mengen derartiger Produkte und über das Verhalten von Nanomaterialien in der Kehrichtverbrennung oder in anderen Entsorgungsanlagen nicht möglich ist, hier allfällige spezifische Entsorgungsmassnahmen zu begründen.

¹ Download: <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00574/index.html?lang=de>
(www.umwelt-schweiz.ch/div-4002-d)

Die Arbeitsgruppe erkannte erhebliche Wissenslücken über Art und Mengen von Nanoabfällen und über das Verhalten von Nanomaterialien in den Abfallbehandlungsanlagen. Bevor eine Vollzugshilfe, die sich an die zuständigen Behörden richtet, verfasst werden kann, müssen die Wissenslücken so weit möglich gefüllt werden. Die Arbeitsgruppe schlägt deshalb vor, mit dem vorliegenden **Konzeptpapier** einen Praxistest durchzuführen, an dem sich einerseits Hersteller sowie industrielle und gewerblichen Verarbeiter von Nanomaterialien, andererseits Unternehmen der Entsorgungsbranche (Sonderabfallentsorger, Kehrlichtverbrennungsanlagen, Sonderabfallverbrennungsanlagen etc.) beteiligen sollen.

Das BAFU und die externe Projektleitung danken den Mitgliedern der Arbeitsgruppe, welche die Ausarbeitung dieses Dokumentes begleitet und unterstützt haben, an dieser Stelle für die wertvolle Unterstützung und kritische Beurteilung der Arbeiten ganz herzlich.

2. Allgemeines zu Nanomaterialien

2.1. Physikalische und chemische Eigenschaften

Nach der Definition der ISO ² werden unter **Nanomaterialien** entweder **nanostrukturierte Materialien** oder **Nanoobjekte** verstanden.

Nanoobjekte sind Materialien, die in ein, zwei oder drei äusseren Dimensionen nanoskalig (näherungsweise **1 – 100 nm**) sind. Typische Vertreter sind **Nanoplättchen**, **Nanostäbchen oder-fasern** und **Nanopartikel**.

- **Nanopartikel** (nanoparticles) sind in **drei äusseren Raumdimensionen** nanoskalig (z.B. die aus Kohlenstoff bestehenden Fullerene und Carbon Black, die so genannten „Quantum dots“ aus Halbleitermaterial oder nanoskaliges metallisches Silber)
- **Nanostäbchen** (nanorods) oder **Nanofasern** (nanofibers) sind in **zwei Dimensionen** nanoskalig (z.B. Carbon Nanotubes CNT, d.h. röhrenförmige Anordnungen von Kohlenstoff-Atomen, oder Nanowires, mit einigen 10 nm Durchmesser, hergestellt aus Metallen wie Kobalt, Gold oder Kupfer, oder aus Silizium).
- **Nanoplättchen** oder **Nanoschichten** (nanolayers) sind nur in **einer Dimension** nanoskalig (z.B. Graphit-Plättchen).

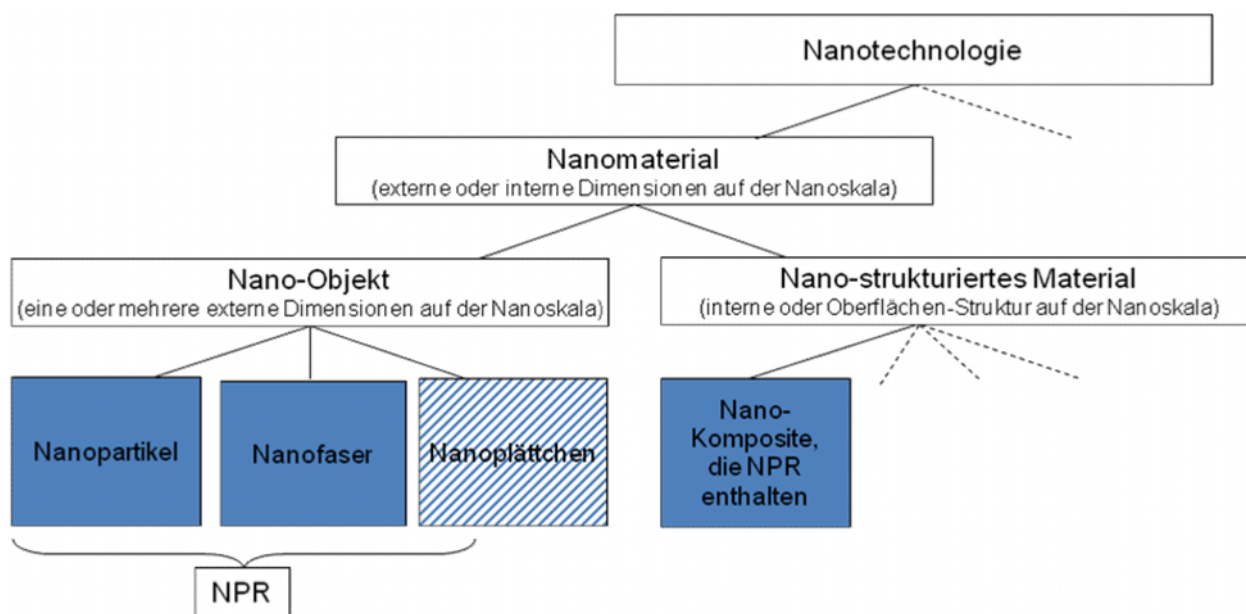
Nanostrukturierte Materialien haben eine **innere nanoskalige Struktur**. Typische Vertreter sind Aggregate und Agglomerate von Nanoobjekten oder Komposite, die Nanoobjekte enthalten.

Im Zusammenhang mit den nanorelevanten Risiken beim Umgang (einschliesslich Entsorgung) mit Nanomaterialien sind in erster Linie die **Nanopartikel und Nanostäbchen** (Nanoparticles and –rods, abgekürzt **NPR**) von Bedeutung. Die Abkürzung NPR wird im nachfolgenden Text durchgehend verwendet, in Angleichung an den von BAG und BAFU herausge-

² ISO/TC 229: ISO/TS27687, Nanotechnologies – terminology and definitions for nanoparticles, Geneva 2007

gebenen "Vorsorgeraster für synthetische Nanomaterialien"³, der als Hilfsmittel für die Einschätzung des nanospezifischen Vorsorgebedarfs beim Umgang mit Nanoabfällen verwendet werden kann (s. Kapitel 2.4.).

Die nachstehende Figur 1 ist der Wegleitung zum Vorsorgeraster entnommen.



Figur 1: Nanomaterialien, die NPR enthalten, sind im Zusammenhang mit der im vorliegenden Konzeptpapier diskutierten Entsorgung relevant. (Quelle: BAG/BAFU: Wegleitung zum Vorsorgeraster für synthetische Nanomaterialien, Version 2.0, 2010)

Chemisch gesehen kann es sich bei Nanomaterialien beispielsweise um reine oder gemischte Oxide, Salze, Metalle und organische Stoffe handeln. Gemäss den Vorschlägen der ISO (TR 2885, "Health and safety practices in occupational settings relevant to nanotechnologies"; siehe Publikationsverzeichnis im Kapitel 5) werden Nanomaterialien primär nach ihrer chemischen Zusammensetzung kategorisiert und sekundär nach der Form:

- a. Kohlenstoffverbindungen (z.B. Fullerene; Carbon Black; Carbon Nanotubes).
- b. Oxide (Metalloxide und Silikate in verschiedenen, z.T. sehr komplexen Formen, z.B. als Stäbchen (Nanorods), in Bürsten- (Nanobrushes), Spiralfeder- (Nanosprings) oder Bänderform (Nanobelts))
- c. Metalle (als Nanopartikel oder Nanodrähte (Nanowires))
- d. Halbleiter (meistens als so genannte Quantum dots)

³ <http://www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00228/00510/05626/index.html> Version 2, 2010

- e. Organische Polymere (gerade oder verzweigte Fasern [so genannte Dendrimere])
- f. "Bio-inspired Nanomaterials", (Nanomaterial mit eingeschlossenen oder adsorbierten biologischen Stoffen; Micellen, Liposomen, Protein-Partikel)

Beispiele von mengenmässig bedeutenden Nanomaterialien sind Kohlenstoff-Verbindungen, Silber, Silikate, Titandioxid, Zinkoxid oder Ceriumoxid. (Quelle: Grundlagenbericht des BAFU/ BAG, s. Publikationsverzeichnis im Anhang. Ausgewertet wurden dort Daten aus dem Jahr 2006).

Der gleiche Bericht führt als Beispiele von Anwendungsgebieten auf:

- Medizin und Pharma
- Lebensmittel und Verpackungen
- Textilien
- Kosmetik
- Elektronik
- Baubedarf, Kompositmaterialien
- Haushaltchemikalien und –geräte
- Landwirtschaftliche Hilfsstoffe

2.2. Mögliche Risiken beim Umgang mit Nanomaterialien⁴⁾

Nach dem Vorsorgeprinzip sollen durch einen verantwortungsvollen Umgang mit Nanoabfällen die möglichen schädlichen Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit minimiert werden (siehe Art. 1 Abs. 2 USG).

Risiken für Gesundheit, Sicherheit und Umwelt können in erster Linie von Nanomaterialien mit freien oder freisetzbaren Nanopartikeln und Nanostäbchen (freien oder freisetzbaren NPR) ausgehen.

Aufgrund der speziellen Eigenschaften von NPR ist hauptsächlich von folgenden potenziellen Risiken auszugehen:

- a) Nanopartikel können biologische Barrieren direkt durchdringen, z.B. aus der Lunge direkt in die Blutbahn gelangen (Translokation).
- b) Die grössere spezifische Oberfläche (Fläche/Masse) von Nanopartikeln kann bei Stoffen mit toxischen Eigenschaften zu erhöhter Wirkung führen.
- c) In Einzelfällen kann die Verkleinerung der Partikel eine grössere Bio-Verfügbarkeit mit sich bringen.
- d) Nanopartikel können andere chemische und physikalische Eigenschaften haben als das gleiche Material in mikro- oder makroskaliger Erscheinung. Gerade bei Materialien, die we-

⁴⁾ Die Zusammenfassung basiert auf den Publikationen des BAFU/BAG: "Grundlagenbericht zum Aktionsplan Synthetische Nanomaterialien", Bern, 2007 und British Standards BSi "Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials London 2007 (s. Publikationsverzeichnis im Anhang)

gen technisch interessanter neuer Materialeigenschaften hergestellt werden, besteht das Risiko neuer unbekannter Auswirkungen.

e) Bestimmte CNT (Carbon Nanotubes) und Nanowires können aufgrund ihrer Dimensionen (Seitenverhältnis) in der Lunge ähnlich wirken wie Asbest-Fasern.

f) Das Risiko von Staubexplosionen muss (wie bei allen Anwendungen von brennbaren staub- bzw. pulverförmigen Stoffen) beachtet werden.

2.3. Der Vorsorgeraster für synthetische Nanomaterialien

Ein Hilfsmittel, um den nanospezifischen Vorsorgebedarf im Umgang mit Nanomaterialien und Nanoabfällen einzuschätzen, stellt der Vorsorgeraster dar, der in einer ersten Version 2008 von BAG und BAFU im Rahmen des Aktionsplans publiziert wurde.⁵⁾ Seit April 2010 ist er in seiner neuen Version 2.0 veröffentlicht. Seither steht auch die elektronische Version, welche das Ausfüllen und Auswerten des Vorsorgerasters erheblich einfacher macht, zur Verfügung.⁶⁾

Ein Zitat aus der Wegleitung zum Vorsorgeraster erklärt das Prinzip:

Der Vorsorgeraster hilft der Wirtschaft, den Bedarf für nanospezifische Massnahmen abzuschätzen. Zudem hilft er bei der Identifizierung möglicher Risikoquellen in Produktion, Gebrauch und Entsorgung synthetischer Nanomaterialien.

Mittels einer Klassierung der Risikopotenziale soll der jeweilige vorsorgliche Handlungsbedarf aufgezeigt werden:

“Klasse A“: *Der nanospezifische Handlungsbedarf für die betrachteten Materialien, Produkte und Anwendungen kann auch ohne Vorliegen weiterer Abklärungen als gering eingestuft werden.*

“Klasse B“: *Ein nanospezifischer Handlungsbedarf ist gegeben. Die Prüfung bestehender Massnahmen, weiterführende Abklärungen oder gegebenenfalls Risikoreduktionsmassnahmen bezüglich Herstellung, Gebrauch und Entsorgung sind im Sinne der Vorsorge erforderlich. (Wegleitung zum Vorsorgeraster Version 2.0, 2010, Seite 5)*

und

In allen Fällen, in denen eine Bewertung gemäss den gemachten Vorgaben im Vorsorgeraster (z. B. niedrig, mittel, hoch) nicht möglich ist, weil die Information nicht verfügbar ist, sollte derjenige der angegebenen Werte eingesetzt werden, der letztendlich den höchsten Vorsorgebedarf zur Folge hat. (Wegleitung Vorsorgeraster 2.0, 2010, Seite 13).

⁵⁾ Download: <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00574/index.html?lang=de>
(www.umwelt-schweiz.ch/div-4002-d)

⁶⁾ <http://www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00228/00510/05626/index.html>

3. Entsorgung von Nanoabfällen

3.1. Nanoabfälle

In diesem Konzeptpapier geht es um Abfälle, die bei der Herstellung sowie bei der industriellen oder gewerblichen Weiterverarbeitung von Nanomaterialien anfallen und die **freie oder freisetzbare Nanopartikel oder –stäbchen NPR** enthalten (s. Figur 1). Diese Abfälle werden als **Nanoabfälle** bezeichnet.

Abgehandelt werden nur Abfälle von **synthetischen Nanomaterialien** (*manufactured nanomaterials, engineered nanomaterials*), **die bei der Herstellung und Verarbeitung anfallen**. Es geht dabei z.B. um Produktionsabfälle, Fehlchargen, Filtrückstände, mit Nanopartikeln verschmutzte Wischtücher oder Lösungsmittel oder Rückstände aus Forschung und Entwicklung, wo Art, Mengen und Konzentration von NPR nanospezifische Massnahmen nötig machen.

Das Konzeptpapier befasst sich nicht mit der Entsorgung von Konsumgütern, die Nanomaterialien enthalten, nach deren Gebrauch, weil es zurzeit aufgrund der Wissenslücken über Art und Mengen derartiger Produkte und über das Verhalten von Nanomaterialien in der Kehrichtverbrennung oder in anderen Entsorgungsanlagen nicht möglich ist, hier allfällige spezifische Entsorgungsmassnahmen zu begründen.

Auch nanoskalige Materialien, die bei technischen Prozessen als „Nebenprodukt“ und ungewollt anfallen (Ultrafeinstaub, Russ etc.) werden hier nicht abgehandelt, weil sie nicht als separate Abfallfraktion anfallen und somit auch nicht spezifisch entsorgt werden.

Nanoabfälle umfassen im Wesentlichen folgende Kategorien:

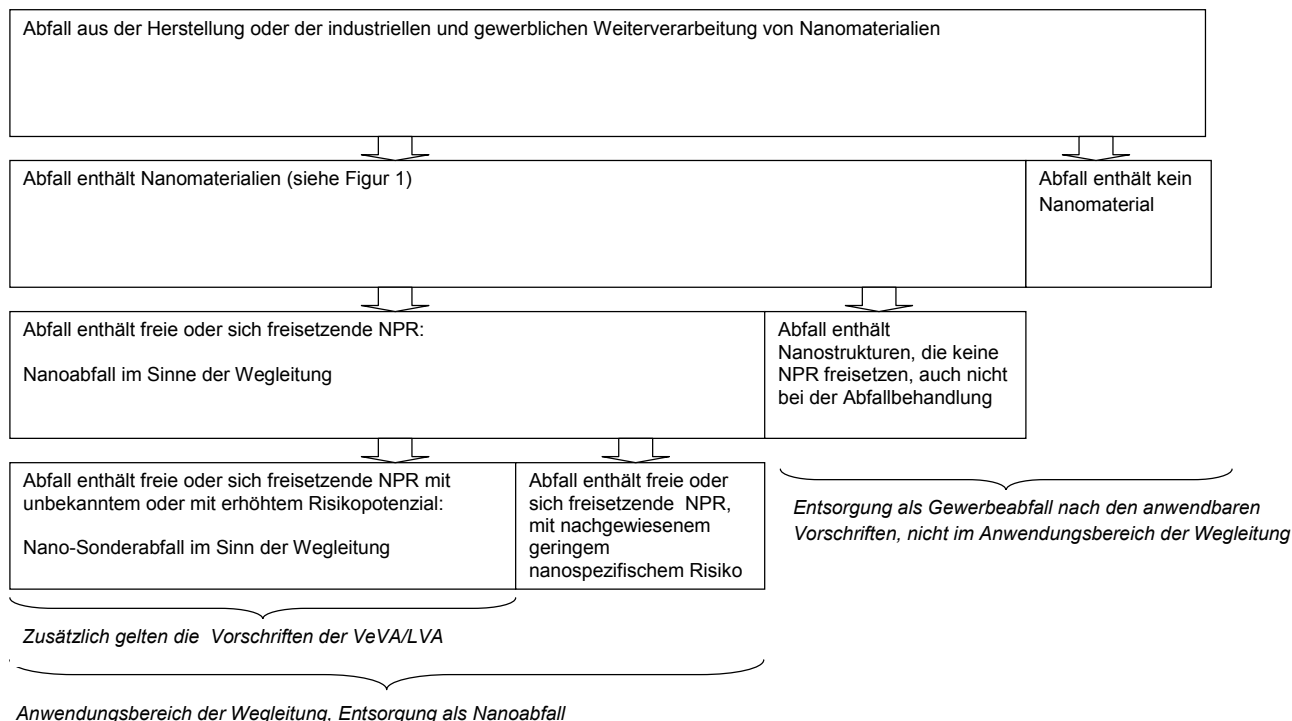
- a. Abfälle von reinen Nanopartikeln oder -stäbchen NPR.
- b. Gegenstände, die mit NPR verunreinigt sind und entsorgt werden, wie Behälter, Wischtücher oder Wegwerf-Schutzausrüstung.
- c. Flüssige Suspensionen von NPR, die als Abfall entsorgt werden.
- d. Abfälle von festen Materialien mit abreibbaren und damit freisetzbaren NPR oder mit Nanostrukturen, die so lose an der Oberfläche aufgebracht sind, dass bei vorhersehbarem Umgang (inklusive Entsorgung) NPR freigesetzt oder abgewaschen werden.

3.2. Nano-Sonderabfälle

Die Vorschriften des Bundes über den Verkehr mit Abfällen (VeVA) ⁷ definieren als Sonderabfälle: „Abfälle, deren umweltverträgliche Entsorgung auf Grund ihrer Zusammensetzung, ihrer chemisch-physikalischen oder ihrer biologischen Eigenschaften auch im Inlandverkehr umfassende besondere technische und organisatorische Massnahmen erfordert“.

⁷ Verordnung vom 22. Juni 2005 über den Verkehr mit Abfällen (VeVA, SR 814.610) und Verordnung des UVEK vom 18. Oktober 2005 über Listen zum Verkehr mit Abfällen (LVA, SR 814.610.1)
http://www.admin.ch/ch/d/sr/c814_610.html
http://www.admin.ch/ch/d/sr/c814_610_1.html

Nanoabfälle, welche diesen Kriterien entsprechen (siehe Kapitel 3.2.) werden in diesem Konzeptpapier als Nano-Sonderabfälle bezeichnet. Figur 2 enthält eine Übersicht zur Klassierung der Nanoabfälle.



Figur 2: Anwendungsbereich des Konzeptpapiers und die Klassierung der Nanoabfälle

Sonderabfälle dürfen nach den schweizerischen Vorschriften⁸ nur an Unternehmungen übergeben werden, die über eine Bewilligung zur Entgegennahme dieser Abfälle verfügen (Art. 4 VeVA). Zudem dürfen sie nicht mit andern Abfällen vermischet werden (Art. 5 VeVA). Sie dürfen deshalb nicht ohne die entsprechenden Kontrollverfahren mit dem Siedlungsabfall oder über die Entsorgungswege für Gewerbeabfälle entsorgt werden. Abfälle werden als Sonderabfälle eingestuft, wenn sie z.B. aufgrund ihrer Menge, Stoffeigenschaften oder Beschaffenheit dabei Arbeitssicherheit, Umwelt oder Gesundheit gefährden oder den sicheren Betrieb von Abfallanlagen beeinträchtigen können. Bekannte Beispiele sind schwermetallhaltige Schlämme aus der Galvanikindustrie, Lösemittel und Destillationsrückstände aus der chemischen Industrie, Farb- und Lackabfälle, Altöl, Filterstäube aus der Abfallverbrennung.

Auch für Nanoabfälle, die als Sonderabfälle eingestuft werden, gelten die Vorschriften der bundesrätlichen **Verordnung über den Verkehr mit Sonderabfällen VeVA** und der zuge-

⁸ Verordnung vom 22. Juni 2005 über den Verkehr mit Abfällen (VeVA, SR 814.610) und Verordnung des UVEK vom 18. Oktober 2005 über Listen zum Verkehr mit Abfällen (LVA, SR 814.610.1)
http://www.admin.ch/ch/d/sr/c814_610.html
http://www.admin.ch/ch/d/sr/c814_610_1.html

hörigen UVEK-Verordnung über die Listen zum Verkehr mit Abfällen LVA entsorgt werden⁹.

Nanoabfälle aus der Herstellung sowie aus der industriellen oder gewerblichen Weiterverarbeitung von Nanomaterialien sind nicht a priori Sonderabfälle gemäss VeVA/LVA. Falls aber eines der beiden nachstehenden Kriterien erfüllt ist, gelten solche Abfälle als Sonderabfall. Dementsprechend gelten Nanoabfälle mit ungebundenen oder sich freisetzenden Nanopartikeln oder -stäbchen als Sonderabfall, wenn sie

- entweder aufgrund ihrer Zusammensetzung und chemischen Eigenschaften als toxisch, gefährlich oder umweltgefährdend einzustufen sind oder
- wenn aufgrund ihrer nanospezifischen Eigenschaften Auswirkungen auf Gesundheit, Sicherheit oder Umwelt nicht auszuschliessen sind oder wenn die Auswirkungen unbekannt sind.

Der Vorsorgeraster (Kap. 2.3.) gibt den Betrieben die Möglichkeit, eine erste Einschätzung des nanospezifischen Handlungsbedarfs zu machen, falls keine andere Methodik für die Einstufung als Sonderabfall bekannt ist. Der Vorsorgeraster liefert keine abschliessende Bewertung im Sinne eines Risiko-Assessments. Der Raster soll spezifisch für die Entsorgung ausgefüllt und ausgewertet werden, damit der Handlungsbedarf im Hinblick auf die Abfallentsorgung abgeschätzt werden kann. Wenn ein Nanoabfall gemäss Vorsorgeraster bei der Entsorgung zur Klasse B gehört („Nanospezifischer Handlungsbedarf ist gegeben“), soll er als Sonderabfall deklariert und nach den entsprechenden Vorschriften entsorgt werden, es sei denn, dass aufgrund spezifischer zusätzlicher Abklärungen der Risikoverdacht entkräftet wurde. Dieses Vorgehen zur Einstufung von Nanoabfällen als Sonderabfall ist als Übergangslösung zu betrachten und soll bei Vorliegen einer besseren wissenschaftlichen Basis überprüft werden.

In der Abfallliste der LVA ist kein spezifischer Code für Nanoabfälle enthalten. Die Arbeitsgruppe schlägt deshalb vor, Nanoabfälle aus der Herstellung sowie gewerblichen und industriellen Verarbeitung von synthetischen Nanomaterialien, die als Sonderabfälle einzustufen sind, und für die nicht aufgrund ihrer Materialeigenschaften ein bestimmter Abfallcode aus dem Abfallverzeichnis der VeVA/LVA verwendet werden muss, unter einem der beiden nachstehenden unspezifischen VeVA/LVA-Codes zur Entsorgung weiter zu geben.

16 03 03 S Anorganische Abfälle, die gefährliche Stoffe enthalten

16 03 05 S Organische Abfälle, die gefährliche Stoffe enthalten

Die Weitergabe von Sonderabfällen in Mengen über 50 kg muss unter Verwendung von Begleitscheinen erfolgen (Art. 6 VeVA). Bei jeder Weitergabe von Sonderabfällen (auch wenn es sich um kleine Mengen ohne Begleitschein handelt) muss sichergestellt sein, dass der Empfänger die für eine sichere und umweltverträgliche Entsorgung nötige Information erhält

⁹ Verordnung vom 22. Juni 2005 über den Verkehr mit Abfällen (VeVA, SR 814.610) und Verordnung des UVEK vom 18. Oktober 2005 über Listen zum Verkehr mit Abfällen (LVA, SR 814.610.1)
http://www.admin.ch/ch/d/sr/c814_610.html
http://www.admin.ch/ch/d/sr/c814_610_1.html

(z.B. Sicherheitsdatenblatt, Informationen gemäss Vorsorgeraster etc.), damit er die nötigen Massnahmen für den Umgang mit den Nanoabfällen treffen kann (Art. 6 Abs. 3 VeVA).

Sonderabfälle dürfen vom Inhaber nur an Entsorgungsbetriebe mit einer entsprechenden Bewilligung des Kantons weitergegeben werden (Art. 8 VeVA). In der Bewilligung müssen die Voraussetzungen für die Entgegennahme von Nano-Sonderabfällen aufgeführt sein (vgl. die Kriterien unten, in Kapitel 4.1) (Art. 10 VeVA). Exporte von Sonderabfällen sind nur mit einer Bewilligung des BAFU erlaubt; diese wird jeweils nur erteilt, wenn sichergestellt ist, dass die Entsorgung im Ausland nach denselben Standards erfolgt, wie sie in der Schweiz gelten (Art. 15 VeVA).

3.3. Allgemeine Grundsätze zur Entsorgung von Nanoabfällen

Zielsetzung

Die Entsorgung von Nanoabfällen muss umweltverträglich sein (Art. 30 Abs. 3 USG).

Innerbetriebliche Vorbehandlung der Nanoabfälle

Betriebe, die synthetische Nanomaterialien herstellen oder verarbeiten, sollen Massnahmen ergreifen, die eine Abnahme der Abfallmengen bewirken. Anfallende Nanoabfälle sollen wenn möglich direkt am Entstehungsort mit geeigneten Methoden und Einrichtungen so behandelt werden, dass sie ihren Nano-Charakter verlieren (z.B. Auflösen von metallischen Nanomaterialien in geeigneten Säurebädern, Sinterung bei hohen Temperaturen).

Abfallmanagement

Betriebe, die Nanomaterialien mit freien oder sich freisetzenden Partikeln oder -stäbchen (NPR) herstellen oder verarbeiten, sollen ein Abfallmanagement aufbauen, das sicherstellt, dass die entstehenden Abfälle erfasst, dokumentiert, verpackt und zur Entsorgung weitergeleitet werden, wobei diese Arbeitsschritte mit gleichbleibender Qualität erfolgen sollen. Die abfallspezifischen Arbeitsschritte und die dabei zu treffenden Massnahmen bezüglich Sicherheit, Gesundheit und Umweltschutz innerhalb des Betriebes sind festzuhalten und deren Einhaltung ist sicherzustellen. Innerhalb des Betriebes sollen die möglichen Quellen von Nanoabfällen mit freien oder freisetzbaren NPR identifiziert und die entsprechenden Schutzvorkehrungen in Handbüchern oder anderen Dokumentationen festgelegt werden.

Vermindern der Exposition der Arbeitnehmenden und der Emissionen in die Umwelt

Bei jedem Arbeitsschritt im Umgang mit Nanoabfällen mit erheblichem Risikopotenzial oder mit unbekannter Wirkung sollen die Exposition der Mitarbeitenden, das Freisetzen von Nanomaterialien (als Staub oder Aerosol) und die Emissionen in die Umwelt so gering wie möglich gehalten werden. Die Exposition wird bestimmt durch die Konzentration der NPR in der Luft und die Zeitdauer der Einwirkung. Durch Vermeiden von Staub- oder Aerosolentwicklung und durch kurze Expositionszeiten kann das Risiko vermindert werden.

Nanoabfälle sollen soweit möglich nicht in pulverförmiger Zubereitung, sondern als Dispersionen, Pasten, Granulate, Compounds etc. erfasst und weitergegeben werden. Damit kann in vielen Fällen das Risikopotenzial beim nachfolgenden Umgang (Transport, Beschickung von Anlagen, Entsorgung) vermindert werden).

3.4. Schutzmassnahmen nach dem TOP-Prinzip¹⁰ im Umgang mit Nanoabfällen

Die nachstehenden Schutzmassnahmen beruhen auf den Empfehlungen der SUVA über den Umgang mit Nanopartikeln an Arbeitsplätzen; den Aussagen im Leitfaden von BAUA/VCI für Tätigkeiten mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz sowie verschiedenen Berichten und Empfehlungen aus dem Projekt Nanosafe (siehe Publikations- und Linkliste im Kapitel 5).

Massnahmen am Arbeitsplatz

Beim Umgang mit Nanoabfällen sind die nachstehenden Massnahmen gemäss den vorläufigen Empfehlungen der SUVA für den Umgang mit Nanopartikeln an Arbeitsplätzen anzuwenden.

Technische Schutzmassnahmen

- Verwenden von geschlossenen Apparaturen
- Entstehung von Stäuben oder Aerosolen vermeiden
- Absaugen von Stäuben oder Aerosolen direkt an der Quelle
- Abluftreinigung für abgesaugte Luft vorsehen (HEPA-Filter H14 bei Luftrückführung in den Arbeitsraum)
- Gegebenenfalls Abtrennung des Arbeitsraums und Anpassung der Raumlüftung (leichter Unterdruck)
- Reinigung nur durch Aufsaugen mit geeigneten Geräten oder feucht aufwischen, kein Abblasen

- Beim Umgang mit **brennbaren Nanopartikeln**:
Zusätzlich Explosionsschutzmassnahmen berücksichtigen bei staubförmiger Verteilung und gefahrbringender Staubmenge. Minimale Zündenergien können bei brennbaren Materialien im Nanomassstab verringert sein! Die arbeitshygienischen Anforderungen dürften üblicherweise eine Staubexplosionsgefährdung auf das Innere geschlossener Apparaturen beschränken.
- Beim Umgang mit **reaktiven oder katalytisch wirksamen Nanopartikeln**:
Zusätzlich Kontakt mit unverträglichen Substanzen ausschliessen.

Organisatorische Schutzmassnahmen

- Minimierung der Expositionszeit
- Minimierung der Anzahl exponierter Personen
- Beschränkung des Zugangs
- Unterweisung des Personals über Gefahren und Schutzmassnahmen (Betriebsanweisungen)

Personenbezogene Schutzmassnahmen (falls Aerosolbildung und/oder Hautkontakt durch technische Massnahmen nicht ausgeschlossen werden kann)

¹⁰ Siehe Glossar im Anhang

- Atemschutz mit Partikelfilter P3, Schutzhandschuhe (Bei Einweghandschuhen wird ein Übereinandertragen von 2 Handschuhen empfohlen)
- geschlossene Schutzbrille
- Schutzbekleidung mit Kapuze (non woven)
- Unterweisung Dekontamination

3.5. Massnahmen im Hinblick auf die Entsorgung

Sämtliche Ausrüstungsgegenstände, die mit NPR in Kontakt kommen, müssen dabei beachtet werden. So werden z.B. für Reinigungsoperationen Schwämme oder Tücher verwendet, die als Nanoabfall entsorgt werden müssen. Es werden auch Schaber und Spatel verwendet und ihrerseits wieder mit Reinigungstüchern und Lösungsmitteln gereinigt. (nach NanoSafe, Final Report 6.1.5, s. Literaturverzeichnis)

Nanoabfälle, die als Sonderabfälle gelten, dürfen nur entweder im Rahmen von Warenretouren vom Lieferanten zurückgenommen oder aber zur Entsorgung von Entsorgungsbetrieben entgegengenommen werden, die über eine entsprechende VeVA-Bewilligung des Kantons verfügen (s. Kapitel 3.2).(Art. 4 in Verbindung mit Art. 8 VeVA)

Nanoabfälle sollen separat erfasst, zwischengelagert und dokumentiert werden. Die Vermischung mit anderen Abfällen des Herstellungs- oder Verarbeitungsbetriebs ist nicht zulässig (Art. 5 VeVA).

Nanoabfälle müssen so verpackt werden, dass bei der Handhabung und beim Transport keine NPR freigesetzt werden können. Empfohlen werden doppelte Plastiksäcke in einer festen Box. Plastiksäcke und Box müssen mit den für den Transporteur und Entsorger nötigen Angaben beschriftet sein, insbesondere dem Hinweis, dass es sich um Nanoabfälle mit freien oder freisetzbaren Nanopartikeln und –stäbchen handelt.

Beim Transport von Nanoabfällen sind ADR/SDR¹¹ zu beachten.

4. Entsorgungsverfahren

Bei den Empfehlungen über mögliche Entsorgungsverfahren für Nanoabfälle stützt sich die Arbeitsgruppe auf technische und naturwissenschaftliche Plausibilitätsüberlegungen. Gesicherte und erprobte Entsorgungsmethoden für Nanoabfälle sind heute nicht bekannt.

Nanoabfälle und Nano-Sonderabfälle müssen umweltverträglich entsorgt werden. Die Massnahmen, die bei der Entsorgung zu ergreifen sind, müssen sich unter anderem nach den stofflichen Eigenschaften und nach dem tatsächlichen Risikopotenzial des Abfalls sowie nach dem Stand der Technik ausrichten, sie können nicht im Voraus generell festgelegt werden.

Bei der Weitergabe von Nanoabfällen mit freien oder freisetzbaren NPR ist sicherzustellen, dass der Empfänger die für eine sichere und umweltverträgliche Entsorgung nötige Information erhält. Dies dient als eine der Grundlagen, um die geeigneten Entsorgungsverfahren zu

¹¹ Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (ADR, SR 0.741.621;); Verordnung vom 29. November 2002 über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (SDR, SR 741.621)

bestimmen (z.B. Sicherheitsdatenblatt, Informationen gemäss Vorsorgeraster, Begleitschein im Falle von Nano-Sonderabfällen, Art.6 VeVA).

4.1. Allfällige Konditionierung der Nanoabfälle

Nanoabfälle sollen wenn möglich am Entstehungsort oder wenn nötig im Entsorgungsbetrieb so konditioniert werden, dass sie nicht in pulverförmiger Zubereitung, sondern als Dispersionen, Pasten, Granulate, Compounds etc. vorliegen. Damit kann die Freisetzung von NPR bei der nachfolgenden Abfallbehandlung vermindert werden.

Die Nanoabfälle sind so aufzubereiten, dass bei der Beschickung von Abfallbehandlungsanlagen (Verbrennungsanlagen, Zementofen, chemisch-physikalische Behandlungen) die Freisetzung von NPR vermieden wird.

4.2. Entsorgungsmethoden

Grundsatz

Die Massnahmen für eine umweltverträgliche Entsorgung im Sinne von Art. 30 Abs. 3 USG sollen sich nach den Eigenschaften der Nanomaterialien richten und so erfolgen, dass einerseits die Emissionen in die Umwelt bei der Behandlung so gering wie möglich gehalten werden und andererseits die resultierenden Rückstände keine freien oder freisetzbaren NPR mehr aufweisen. Es müssen alle Vorschriften des Umweltschutzes eingehalten werden. Brennbare Abfälle müssen gemäss Art. 11 TVA verbrannt werden.

Ablagerung auf Deponien

Die Regelungen der TVA¹² zur Ablagerung von Abfällen auf Deponien berücksichtigen keine nanospezifischen Eigenschaften von Abfällen. Explizit verboten ist die Ablagerung von brennbaren Abfällen und damit auch von organischen Nanoabfällen. Ebenfalls verboten ist die Ablagerung von explosiven und infektiösen Abfällen, von tierischen Nebenprodukten und von Abfällen, die nach der Strahlenschutzgesetzgebung behandelt werden müssen (Art. 32 Abs. 2 TVA). Kenntnisse über das Verhalten von Nanoabfällen im Deponiekörper fehlen. Weitere Untersuchungen müssen aufzeigen, dass die NPR durch entsprechende Konditionierung der Abfälle oder durch die Behandlung des Sickerwassers nicht in Gewässer gelangen können. Darüber hinaus muss aus Gründen des Umweltschutzes wie des Arbeitnehmerschutzes sichergestellt werden, dass sich beim Einbau der Abfälle keine NPR freisetzen können. Bis zum Vorliegen gesicherter Resultate wird den Kantonen bei der Bewilligungserteilung (nach TVA für die Deponiebewilligung und nach VeVA für die Empfängerbewilligung für Sonderabfälle) und den Betreibern der Deponien eine eingehende Prüfung möglicher Risiken empfohlen.

Entsorgung von Nanoabfällen in Kehrichtverbrennungsanlagen KVA

Die Kehrichtverbrennungsanlagen in der Schweiz verfügen über moderne, wirksame Rauchgasreinigungen nach dem Stand der Technik. Es kann in der heutigen Situation davon aus-

¹² Technische Verordnung vom 10. Dezember 1990 über Abfälle (TVA, 814.600)

gegangen werden, dass Nanomaterialien, die in geringen Mengen mit Gebrauchsgütern aus der Siedlungsabfallentsorgung in die KVA gelangen im Ofen entweder verbrennen oder aus dem Rauchgas entfernt und mit dem Filterstaub oder Wäscherschlamm entsorgt werden.

Es ist jedoch nicht zu empfehlen, grosse Mengen an Nanoabfällen oder Nano-Sonderabfällen aus Industrie und Gewerbe in KVA zu entsorgen. Es ist heute noch zu wenig bekannt über das Verhalten von hohen Konzentrationen von NPR im Feuerraum und in der Rauchgasreinigung von KVA. Weitere Untersuchungen müssen aufzeigen, ob NPR, die in hohen Konzentrationen in einer KVA aufgegeben werden, nicht zu Emissionen von NPR in die Umwelt oder zu Risiken bei der Entsorgung von Schlacke oder Filterrückständen führen. Bis zum Vorliegen gesicherter Resultate wird den Kantonen bei der Bewilligungserteilung (nach VeVA) und den Betreibern der KVA eine eingehende Prüfung möglicher Risiken empfohlen.

Andere Entsorgungsmethoden für Nanoabfälle

Es sind zum heutigen Zeitpunkt keine etablierten und sicheren Entsorgungsverfahren für Nanoabfälle bekannt. Aufgrund von technischen und naturwissenschaftlichen Überlegungen kann davon ausgegangen werden, dass für die verschiedenen Klassen von Nanoabfällen die folgenden Entsorgungsmethoden in Frage kommen. Bei den meisten aufgeführten Methoden sind aber noch weitere Abklärungen und Tests nötig:

Kohlenstoffverbindungen (z.B. CNT, Fullerene):

Verbrennen in geeigneten Hochtemperatur-Verbrennungsanlagen, allenfalls für bestimmte Abfälle auch im Zementofen (nach geeigneter Konditionierung, z.B. Dispersion in Altöl und mit direkter Einbringung in die Primär-Flamme). Ein Problem kann die thermische Stabilität bestimmter synthetischer Kohlenstoff-Strukturen darstellen (CNT).

Oxide (Metalloxide und Silikate):

Beim Sintern mit erhöhten Temperaturen können grössere Aggregaten, die nicht mehr Nanocharakter aufweisen, gebildet werden.

Metalle

Thermische Behandlung zwecks Oxidation oder Sinterung.

Chemische Behandlung (Auflösen in geeigneten Säuren, Weiterbehandlung als saure Metalllösung).

Spezielle Stoffe

Bei NPR wie Halbleitern (Quantum dots), Organischen Polymeren und NPR mit eingeschlossenen oder adsorbierten biologischen Stoffen (Micellen, Liposomen, Protein-Partikel mit erhöhtem Risikopotential kann die Verbrennung in einer geeigneten Hochtemperatur-Abfallverbrennungsanlage nötig sein.

Recycling von Nanomaterialien

Unter dem Gesichtspunkt der Ressourcenschonung sind Anstrengungen zum Recycling und Wiedereinsatz von Nanomaterialien zu begrüssen. Bisher sind keine Standard-Methoden und kommerzielle Verfahren bekannt.

4.3. Wissenslücken und Forschungsbedarf

Zurzeit bestehen erhebliche Wissenslücken zu Fragen der Entsorgung von Nanoabfällen, z.B.:

- Art und Menge von Nanomaterialien in bestimmten Produktlinien und Abfallströmen (Materialflussanalyse)
- Geeignete Entsorgungstechniken für bestimmte Nanoabfälle
- Risiko der Freisetzung von NPR aus Kompositen während der Abfallbehandlung (z.B. beim Shreddern)
- Werden Carbon Nanotubes und andere Kohlenstoffstrukturen in der Abfallverbrennung zerstört?
- Wie können bestimmte Nanomaterialien, insbesondere mit freien oder freisetzbaren NPR, technisch, ökonomisch und ökologisch sinnvoll rezykliert werden?

4.4. Anforderungen an Entsorgungsbetriebe für Nano-Sonderabfälle

Entsorgungsbetriebe, die Nano-Sonderabfälle zur Entsorgung entgegennehmen, brauchen dafür eine Bewilligung des Kantons (Art. 8 VeVA). Die Bewilligung soll vom Kanton nur erteilt werden, wenn sichergestellt ist, dass der Betrieb die nachstehenden Anforderungen einhält (Art. 10 VeVA). Es ist beim heutigen Kenntnisstand zu empfehlen, dass sich die Bewilligungsbehörde mit den entsprechenden Stellen der Suva in Verbindung setzt, um die notwendigen Arbeitsplatzverhältnisse sowie allfällige arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen zu gewährleisten. Die nachstehend von der Arbeitsgruppe empfohlenen Anforderungen betreffen Umweltschutz, Sicherheit und Gesundheit.

- Die Nano-Sonderabfälle müssen räumlich getrennt von den anderen Abfällen entgegengenommen und in einer spezifischen Linie für Nanoabfälle im Betrieb registriert, vorbereitet, behandelt und allenfalls weitergeleitet werden.
- Der Betrieb muss über ein Behandlungskonzept und ein entsprechendes Managementsystem für die sichere und umweltverträgliche Entsorgung von Nanomaterialien verfügen, mit entsprechenden Qualitätshandbüchern und betriebsinternen Regelungen sowie Schulungen des Personals.
- Nur dafür bestimmte und entsprechend ausgebildete Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen, in einem möglichst kleinen Team, sollen die Nano-Sonderabfälle entgegennehmen und entsorgen.
- Eine Vermischung der Nano-Sonderabfälle mit anderen Sonderabfällen ist nicht zulässig, ausser wenn im Zusammenhang mit der Abfallbehandlung eine spezifische Aufbereitung unter Verwendung anderer Abfälle vorgenommen wird (z.B. Suspension in Altöl vor der Verbrennung in einer Hochtemperatur-Verbrennungsanlage).
- Die Arbeitsplätze, an welchen mit Nano-Sonderabfällen umgegangen wird, müssen so eingerichtet sein, dass Staubbelastung des Personals und Staubemissionen so weit wie möglich verhindert werden.

- Die persönliche Schutzausrüstung der Mitarbeitenden muss vorhanden sein und verwendet werden. Sie ist regelmässig zu kontrollieren und zu warten bzw. zu ersetzen.
- Regelmässige Messung der Nanopartikel-Konzentration in der Raumluft während der Arbeit und im „Standbybetrieb“.
- Das Verhalten bei Störfällen ist vorzubereiten und zu üben. Die zuständigen Wehrdienste sind über das Vorhandensein von Nanoabfällen zu informieren, damit die geeigneten Löschmethoden angewendet werden (z.B. Sprühschaum statt Vollstrahl).

4.5. Spezifische Fragestellung an die Teilnehmer des Praxistest für die Vorversion

Der Einbezug der Unternehmen und Organisationen, die sich tagtäglich mit den sich rasch entwickelnden Nanotechnologien befassen, ist von grosser Wichtigkeit. Aus diesem Grund wird die vorliegende Vorversion einem Praxistest unterzogen, der unter anderem folgende Fragen beantworten soll:

- Abfallarten und Mengen im Betrieb?
 - Ist eine umfassende Nanoabfall-Erhebung/-Analyse gemacht worden?
 - Heutige Entsorgung von Nanoabfällen und dafür benötigte Ressourcen?
 - Werden im Konzeptpapier die aus Sicht der Betriebe und Organisationen wesentlichen Themen des Abfallmanagement angesprochen?
 - Können im Konzeptpapier angesprochene Wissenslücken aus der Erfahrung der betroffenen Betriebe und Organisationen gefüllt werden?
 - Enthält das Dokument Aussagen, die aus Sicht der angesprochenen Unternehmen oder Organisationen als falsch bezeichnet werden müssen?
 - In welchen Bereichen fehlen den Betrieben und Organisationen zusätzliche Informationen?
 - Bestehen Erfahrungen mit bestimmten Entsorgungsverfahren oder mit Wiederverwendung/Recycling von Nanomaterialien?
-

5. Anhänge

5.1. Glossar

BAFU	Bundesamt für Umwelt 3003 Bern, ein Amt des UVEK; http://www.bafu.admin.ch/?lang=de
BAG	Bundesamt für Gesundheit 3003 Bern, ein Amt des Eidgenössischen Departement des Innern (Innenministerium); www.http://www.bag.admin.ch/
BAUA	Deutsche Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, http://www.baua.de/cln_135/de/Startseite.html
Carbon Black	Russ, amorpher nanoskaliger Kohlenstoff aus unvollständigen Verbrennungsprozessen
Cer, Cerium	Chemisches Element, Metall der Seltenen Erden, Ordnungszahl 58, Abkürzung Ce
CNT	Carbon Nano Tubes, Kohlenstoff-Nano-Röhrchen, künstlich hergestellte Kohlenstoffstrukturen
Compounds	Gemische aus sortenreinen Grundstoffen, denen zusätzliche Füllstoffe, Verstärkungstoffe oder andere Additive beigemischt worden sind, mit dem Ziel, eine Entmischung der Komponenten zu verhindern.
Exposition	Ein Mass dafür, wie stark ein Organismus einem Wirkstoff ausgesetzt ist; unter anderem abhängig von der Konzentration, der Zeitdauer und der Wirksamkeit des Stoffes.
Fullerene	sphärische Moleküle aus Kohlenstoffatomen (z.B. C ₆₀), welche Modifikationen des chemischen Elements Kohlenstoff (neben Diamant und Graphit) darstellen.
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage (Schweiz, entspricht Müllverbrennungsanlage in Deutschland und Österreich)
KVU	Konferenz der Vorsteher der Umweltschutzämter der Schweiz http://www.kvu.ch/

LVA	(Schweiz.) Verordnung über die Listen zum Verkehr mit Abfällen (Abfallverzeichnis)
Nano	Vorsilbe zur Bezeichnung der Grösse 1 Milliardstel (10^{-9})
NanoSafe	Ein von der EU unterstütztes Integriertes Projekt (Wirtschaft und Universitäten) für sichere Herstellung und Anwendung von Nanomaterialien.
NPR	Nano Particles and Rods, Nanopartikel und -stäbchen
Quantum Dots	"Quanten-Punkte"; Nanoskalige Halbleiterstrukturen
Sintern	Thermische Verfestigung pulverförmiger Stoffe unterhalb des Schmelzpunktes
SUVA	Schweizerische Unfallversicherungsanstalt Luzern http://www.suva.ch/
TOP	Prinzip TOP, Grundprinzip der Arbeitssicherheit, mit Massnahmen in der Priorität: Technische, Organisatorische und Persönliche Schutzmassnahmen
TVA	(Schweiz.) Technische Verordnung über Abfälle
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (Schweiz. Umweltministerium)
VCI	Verband der Chemischen Industrie Deutschland
VeVA	(Schweiz.) Verordnung über den Verkehr mit Abfällen

5.2. Publikationen

Schweizerischer Bundesrat: Aktionsplan Synthetische Nanomaterialien, Bern, 2008
<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00574/index.html?lang=de>

Bundesamt für Umwelt BAFU, Bundesamt für Gesundheit BAG: Synthetische Nanomaterialien -Risikobeurteilung und Risikomanagement. Grundlagenbericht zum Aktionsplan, Bern, 2007; www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00228/00510/05626/index.html

BAFU/BAG, Vorsorgeraster für synthetische Nanomaterialien und Wegleitung zum Vorsorgeraster, Bern 2008.
<http://www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00228/00510/05626/index.html>

British Standards BSi : Nanotechnologies – Part 2: Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials, PD6699-2, London 2007; <http://shop.bsigroup.com/en/Browse->

[By-Subject/Nanotechnology/Guidance-for-nanotechnology/](#) (gratis Download, Registrierung nötig)

BAuA/VCI Leitfaden für Tätigkeiten mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz, Frankfurt 2007 ;
http://www.baua.de/nn_43190/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/pdf/Leitfaden-Nanomaterialien.pdf

The Royal Society & The Royal Academy of Engineering : Nanoscience and nanotechnologies, London, July 2004.;
<http://www.nanotec.org.uk/report/Nano%20report%202004%20fin.pdf>

ISO/TC 229: ISO/TS27687, Nanotechnologies – terminology and definitions for nanoparticles, Geneva 2007 (Download nur gegen eine Gebühr von CHF 180.-)
http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_tc_browse.htm?commid=381983&published=on&includesc=true

ISO/TC229: ISO/TR 2885, Health and safety practices in occupational settings relevant to nanotechnologies, Geneva 2008 (Download nur gegen eine Gebühr von CHF 58.-)
http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_tc_browse.htm?commid=381983&published=on&includesc=true

Nanoinventar, Nanopartikel an Schweizer Arbeitsplätzen; Kaspar Schmid, Brigitta Danuser, und Michael Riediker, Institut universitaire romand de Santé au travail IST, Lausanne 2009
http://www.suva.ch/ist_nanoinventory.pdf (in englischer Sprache; deutsche und französische Zusammenfassung auf der Nanotechnologie-Website der SUVA)

5.3. Links

SUVA Pro, Nanopartikel an Arbeitsplätzen
http://www.suva.ch/home/suvapro/branchenfachthemen/nanopartikel_an_arbeitsplaetzen/

SUVA; Nanotechnologie:
<http://www.suva.ch/home/unternehmen/spezialthema/nanotechnologie.htm> (Diese Website der SUVA führt u.a. zur Publikation „Nanoinventar“ in englischer Sprache und zur Zusammenfassung in Deutsch und Französisch)

BAG Website zur Nanotechnologie:
<http://www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00228/00510/index.html?lang=de>

BAFU-Website zur Nanotechnologie:
<http://www.bafu.admin.ch/chemikalien/01389/01393/?lang=de>

Projekt Nanosafe:
<http://www.nanosafe.org/scripts/home/publigen/content/templates/show.asp?L=EN&P=55&vTicker=alleza>

5.4. Fallbeispiele

(Aufgrund von Erfahrungen und Rückmeldungen aus dem Praxistest ist vorgesehen, in die definitive Fassung der geplanten Vollzugshilfe ein oder zwei Beispiele von konkreten Anwendungsfällen aufzunehmen. Die Projektleitung nimmt Vorschläge gerne entgegen:)