

**Universität für Bodenkultur Wien**

Department für Wasser – Atmosphäre - Umwelt  
**Institut für Abfallwirtschaft**

Muthgasse 107/III, A-1190 Wien



# **Entsorgungsszenarien für ausgewählte Haushaltsprodukte mit synthetischen Nanomaterialien in Österreich**

*Masterarbeit  
Zur Erlangung des akademischen Grades  
Diplom-Ingenieurin*

eingereicht von  
**Kerstin Hänel**  
Stud Kennz.:/ Matr. Nr.: 431 / 0440332



## **Eidesstattliche Erklärung**

**Ich versichere, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe. Außerdem versichere ich, dass ich diese Masterarbeit weder im Inland noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.**

*Kerstin Hänel*

**Wien, am 29.01.2016**

## Vorwort und Danksagung

Eine erste Bearbeitung des Themas „synthetische Nanomaterialien im Haushalt“ erfolgte im Rahmen des Seminars Abfallwirtschaft im Sommersemester 2012 am Institut für Abfallwirtschaft der BOKU. In der vorliegenden Masterarbeit wurde das Thema spezifiziert, vor allem aber um die quantitative Erstellung von Entsorgungsszenarien erweitert.

Erstaunliches Ergebnis der ersten Recherche war, in wie vielen Produkten des täglichen Lebens synthetisch hergestellte Nanomaterialien bereits zu finden sind. Synthetisch hergestellte chemische Zusatzstoffe befinden sich in Lebensmitteln, Kosmetika oder Reinigungsmitteln und sind meistens in der Bestandteilliste an der Verpackung des Produkts aufgeführt. Chemische Zusatzstoffe, ob im Nanobereich oder nicht, können für den kritischen Konsumenten oft zwei generelle Fragen aufwerfen: Was steckt hinter den komplizierten chemischen Namen in dieser Liste? Und: Können in der Liste aufgeführte Bestandteile vielleicht für den Konsumenten schädlich sein? Der Griff zu reinen Naturprodukten oder Produkten, die beispielsweise mit den Attributen „biologisch“, „sensitiv“ oder „gentechnikfrei“ gekennzeichnet sind, können diese Angst in hohem Maße eindämmen, auch ohne vor dem Kauf genauestens die Bestandteillisten des Produkts studiert zu haben. Doch nicht nur die Angst selbst Schaden zu nehmen, sondern auch der Umwelt durch Gebrauch oder Entsorgung dieser Produkte Schaden zuzufügen, spielt für immer mehr Konsumenten beim Kauf von Produkten für das tägliche Leben eine Rolle, da auch wiederum die Gefahr besteht, dass Stoffe ihren Weg über die Umwelt zurück zum Menschen finden bzw. in die Nahrungskette gelangen können.

Die vorliegende Arbeit gibt einen ersten allgemeinverständlichen Überblick rund um das breite Thema „synthetisch hergestellte Nanomaterialien in Nanokonsumprodukten“, gibt Anreize für abfallwirtschaftliche bzw. abfallrechtliche Fragestellungen und geht der grundlegenden Frage nach: „Was sind nanomaterialhaltige Produkte und was passiert mit diesen am Ende ihres Produktlebenszyklus?“.

Die vorliegende Masterarbeit wurde im Rahmen des Forschungsprojekts „NanoMia“ in Zusammenarbeit des Instituts für Abfallwirtschaft an der BOKU und dem Institut für Technikfolgenabschätzung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften erstellt. Ich danke allen NanoMia-Beteiligten für die gute Zusammenarbeit, vor allem Prof. Marion Huber-Humer und DI Florian Part für die laufende Betreuung meiner Masterarbeit.

Von ganzem Herzen gebührt meine Anerkennung zuletzt meinen Eltern Erika und Mathias, meinem Lebensgefährten Markus sowie unserem gemeinsamen Sohn Jonas, welche mich mein Studium hindurch begleitet, unterstützt und stets bei guter Laune gehalten haben.

# Inhaltsverzeichnis

<b>VORWORT UND DANKSAGUNG</b> .....	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>V</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>VI</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ABKÜRZUNGEN</b> .....	<b>X</b>
<b>KURZFASSUNG</b> .....	<b>XI</b>
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
1.1 HINTERGRUND UND MOTIVATION.....	1
1.2 FORSCHUNGSFRAGEN UND ZIELSETZUNG.....	2
1.3 AUFBAU UND METHODE DER MASTERARBEIT.....	2
<b>2 ALLGEMEINE GRUNDLAGEN ZU NANOTECHNOLOGIE UND SYNTHETISCHEN NANOMATERIALIEN</b> .....	<b>3</b>
2.1 DEFINITION VON NANOMATERIALIEN, RISIKEN UND NANO-REGULIERUNG.....	4
2.1.1 Definition und Einteilung von Nanomaterialien.....	4
2.1.2 Zusammenfassung von ENM-Anwendungen in Produkten.....	9
2.1.3 Nanoregulierung von ENM und Nanokonsumprodukten.....	11
2.2 NANO-ABFALL UND ENM-HALTIGE ABFÄLLE.....	13
2.2.1 Ziele und Defizite im Abfallwirtschaftsrecht.....	13
2.2.2 Definition und Einteilung von Nanoabfall und nanomaterialhaltigen Abfällen.....	14
2.2.3 Abfallwirtschaftlicher Umgang mit ENM-haltigen Abfällen.....	16
2.2.4 Aufkommen von Nano-Produkten und -Abfällen.....	17
2.3 VERBLEIB VON ENM IN DER END-OF-LIFE PHASE.....	18
2.3.1 Allgemeines zu ENM-haltigen Abfallströmen.....	19
2.3.2 Abwasserbeseitigung.....	20
2.3.3 Thermische Abfallbehandlung.....	22
2.3.4 Recycling.....	24
2.3.5 Ablagerung von Abfällen.....	25
<b>3 PRODUKTGRUPPENANALYSE</b> .....	<b>26</b>
3.1 DATENBANKERSTELLUNG.....	26
3.1.1 Untersuchungsrahmen und Begriffserklärung.....	26
3.1.2 Datenlage.....	27
3.1.3 Konsolidierung der Datenbank.....	32
3.1.4 Datenstruktur.....	35
3.2 ERGEBNISSE DER PRODUKTGRUPPENANALYSE.....	38
3.2.1 Häufigkeit von Produkten.....	38
3.2.2 Häufigkeit von ENM.....	40
3.2.3 Detailuntersuchungsrahmen.....	42
3.2.4 Beschreibung der Produktbeispiele.....	42
3.2.5 Auswahl der Nanokonsumprodukte für Stoffflussanalyse.....	56
<b>4 ENTSORGUNGS- UND EMISSIONSSZENERIEN (STOFFFLUSSANALYSE)</b> .....	<b>57</b>

4.1	ENTSORGUNG VON NANO-KONSUMPRODUKTEN IN ÖSTERREICH.....	57
4.1.1	Entsorgung von Nanokonsumprodukten im Restmüll .....	58
4.1.2	Entsorgung von Nanokonsumprodukten in der getrennten Sammlung .....	59
4.2	DATENLAGE FÜR DIE AUSGEWÄHLTEN NANOKONSUMPRODUKTE.....	60
4.2.1	Untersuchungsrahmen .....	60
4.2.2	Datenstruktur für Stoffflussanalyse.....	61
4.3	ENTSORGUNGS- UND EMISSIONSSZENARIEN FÜR AUSGEWÄHLTE NANOKONSUMPRODUKTE.....	63
4.3.1	Szenario 1: „Nano-TiO <sub>2</sub> in Sonnencremen“ .....	63
4.3.2	Szenario 2 : „Nano-Ag in Putztüchern“ .....	67
<b>5</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>72</b>
5.1	ZUSAMMENFASSUNG .....	72
5.2	SCHLUSSFOLGERUNGEN .....	74
5.3	AUSBLICK UND OFFENE FRAGEN.....	75
<b>6</b>	<b>LITERATUR .....</b>	<b>76</b>
<b>7</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>90</b>
7.1	PRODUKTGRUPPENANALYSE.....	90
7.2	ENTSORGUNGSSZENARIEN .....	91
7.2.1	Massenbilanz für Szenario 1: nano-TiO <sub>2</sub> in Sonnencremen.....	92
7.2.2	Massenbilanz für Szenario 2: nano-Ag in Putztüchern .....	95

## Abstract

In the last decade ENM (engineered nanomaterials) are increasingly used in a wide range of consumer products – so called “nano-enabled” consumer products. Within this master thesis 10 online product databases were summarized to give an current overview over the products and ENM mainly listed in the categories “automotive”, “construction materials”, “coating agents”, “small electrical devices”, “electronic devices” “health and medicine”, “home appliances”, “home textiles”, “textiles“, „children“, “cosmetics”, “garden”, “kitchen”, “cleaning agents” and “sports and outdoor”. The collected product data base was evaluated and frequently listed products and contained ENM were identified. For 39 % of the products, the contained ENM could be ascertained, which ENM was contained, for 61% of the products information was not available or insufficient. Nano-Ag , nano-TiO<sub>2</sub> and nano-SiO<sub>2</sub> are currently the most commonly used ENM in consumer products with relative frequencies of 15%, 7% and 3%, respectively. The most frequently listed products were coating agents, cosmetics and textiles. Contained ENM can be emitted during a product’s use or at the end of its lifecycle, thereby entering waste streams.

Beside potential diffuse emission into the environment throughout the product life cycle, recent studies conclude that ENM are mainly removed from the water phase and contained in the biosolids during wastewater treatment, whereas ENM entering municipal waste mostly end up in waste incineration and accumulate in the residues from incineration. After waste or wastewater treatment, ENM can therefore also be released into the environment through the use of biosolids on agricultural land or uncontrolled landfill emission. Based on two examples, the main task of this master thesis was to describe and determine the behaviour of contained ENM in consumer products throughout the usage phase and waste management processes to evaluate potential emissions and release paths. A yearly bottom-up based consumption rate of ENM for the chosen examples, nano-Ag cleaning cloths and nano-TiO<sub>2</sub> sunscreens, was assumed. Based on transfer coefficients from literature, the further fate of ENM in Austrian wastewater and waste management systems was calculated by using quantitative mass flow analysis.

Results of bottom-up scenarios for nano-TiO<sub>2</sub> sunscreen and nano-Ag cleaning cloths indicate that nano-TiO<sub>2</sub> and nano-Ag, after diverse pre-treatment steps, are mainly disposed of in landfills (probability of 48-59%), accumulate in recycled materials like compost or building materials (11-15%), are applied as fertilizers on agricultural land (1-13%) or are emitted into waterbodies (1-33%).

The calculated examples also show that liquid-based or surface-bound ENM are emitted in natural environments or wastewater to a greater extent than matrix-bound ENM.

Beside the compiled product database, review of the fate of ENM during wastewater or waste treatment and bottom-up scenarios calculated by mass flow analysis, this study also presents the current status of nano-specific regulation in Europe.

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Schaffung von komplexen Nanostrukturen in unterschiedlichen Fachgebieten; Quelle: DNBT-BOKU (N.N.) .....	3
Abb. 2: Größenverhältnisse im Nanometermaßstab (übersetzt und abgeändert von NIH, 2011).....	4
Abb. 3: Der Unterschied von unabsichtlich und synthetisch hergestellten Nanopartikeln (adaptiert nach Lohse (2013)). .....	5
Abb. 4: Klassifikation von nanostrukturierten Material hinsichtlich nanostrukturierter Dimension, Morphologie, Zusammensetzung und Form nach Buzea et al. 2007	7
Abb. 5: Definition zu Nanomaterialien des Technischen Komitees der Internationalen Standardisierungs-Organisation (ISO, 2011) .....	8
Abb. 6: Rahmen zur Kategorisierung von Nanomaterialien nach dem Ort der Nanostruktur im Material (übersetzt und modifiziert nach Hansen et al. (2007))..	9
Abb. 7: Entstehung von Nano-Abfall (grau hinterlegt) im Produktlebenskreislauf auf direkten und indirekten Pfad; (adaptiert nach Boldrin et al. (2014), rot=Differenzierung zu „nanomaterialhaltigen Abfälle“ gemäß Reihlen und Jepsen, 2015) .....	15
Abb. 8: ENM-Produktionsmengen (in Tonnen/Jahr; Medianwerte) (adaptiert nach Piccinno et al. (2012)) .....	17
Abb. 9: Behandlung von Siedlungsabfällen in EU27 bezogen auf das Jahr 2010; Quelle: CEWEP (2010) .....	19
Abb. 10: Methoden zur Klärschlamm Entsorgung in EU-27 europäischer; rot=Österreich (Quelle: Kelessidis und Stasinakis, 2012) .....	20
Abb. 11: Konsolidierung der Produktdaten .....	32
Abb. 12: Einzelnennung und Überschneidungen durch Mehrfachnennungen in der konsolidierten Datenbank; erstellt mittels Online-Eingabe in <a href="http://www.circos.ca">www.circos.ca</a> .....	33
Abb. 13: Prozentuale Anteile von Produkten mit oder ohne Angabe des enthaltenen ENM in den einzelnen Datenquellen (Stand: März 2014).....	34
Abb. 14: Anzahl der Nanokonsumprodukte je Kategorie in konsolidierter .....	38
Abb. 15: Anteil der Nanokonsumprodukte je Kategorie und "keine Angaben" .....	39
Abb. 16: Anzahl der Produkte, mit und ohne Angaben zum enthaltenen ENM, pro Nutzenkategorie mit Anteilen .....	40
Abb. 17: Elemente der in der konsolidierten Datenbank vertretenen ENM anhand eines Periodensystems; „hervorgehobene und intransparent“= am Markt erhältliche ENM, „hervorgehoben und farbintensiv“= ENM in Nanokonsumprodukten (adaptiert nach Part et al. 2015c) .....	41
Abb. 18: Verteilung der ENM-Nennungen in der konsolidierten Datenbank Ergeb- nisse der Detailanalyse .....	42

Abb. 19:Methodik zur Auswahl der Nanokonsumprodukte für Entsorgungs- /Emissionsszenarien .....	56
Abb. 20:Entsorgungswege für kommunales Abwasser und Abfälle aus Haushalten oder haushaltsähnlichen Einrichtungen in Österreich (Abkürzungen: SB=Sonstige Behandlung, V=Verwertung, EAG= Elektroaltgeräte, Stv=stoffliche Verwertung; (adaptiert nach Stoffflussdiagramm aus BAWP, 2011. S. 45).....	57
Abb. 21:Stoffflussdiagramm für nano-TiO <sub>2</sub> in Sonnencreme („MAX-Szenario S1“) .....	66
Abb. 22:Stoffflussdiagramm für Putztücher mit faserintegriertem Nano-Ag („MAX- Szenario-S2A“).....	70
Abb. 23:Stoffflussdiagramm für Putztücher mit an der Oberfläche haftenden nano-Ag („MAX-Szenario S2B“).....	71

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Herkunft und Beispiele unterschiedlicher Nanomaterialien (Eigene Darstellung; adaptiert nach Cameotra und Dhanjal 2011, Raab et al. 2008, Nowack und Bucheli 2007) .....	6
Tab. 2:	In der Literatur beschriebene Nanokonsumprodukte innerhalb unterschiedlicher Produktgruppen .....	11
Tab. 3:	gemessene Titan-Konzentrationen in der Literatur von nano-Titan im Kläranlagen-Zulauf/Ablauf .....	21
Tab. 4:	Modellierter Abfallstrom für direkt thermische verwertete ENM in t/Jahr aus Produktion, Herstellung und Konsum bzw. via Abwasserreinigungsanlagen (Quelle: Holder et al. 2013) .....	22
Tab. 5:	Herangezogene Datenquellen für die Produktdaten der konsolidierten Datenbank .....	28
Tab. 6:	ENM-Materialklassen der konsolidierten Datenbank und Beispiele zugehöriger Elemente .....	35
Tab. 7:	Kategorien der konsolidierten Produktdatenbank mit Produktbeispielen (adaptiert nach Greßler et al. 2009).....	37
Tab. 8:	ausgewählte Produktbeispiele für die Kategorie "Autozubehör" .....	43
Tab. 9:	ausgewählte Produktbeispiele für die Kategorie "Baumaterialien".....	44
Tab. 10:	Auswahl von Produktbeispielen der Kategorie „Beschichtungen“ .....	45
Tab. 11:	Auswahl von Produktbeispielen der Kategorie "Elektrokleingeräte" .....	46
Tab. 12:	Auswahl von Produktbeispielen der Kategorie "Elektronik“ .....	47
Tab. 13:	Auswahl von Produktbeispielen der Kategorie "Gesundheit und Medizin" .....	48
Tab. 14:	Auswahl von Produktbeispielen der Kategorie "Haushaltsgeräte" .....	48
Tab. 15:	Auswahl von Produktbeispielen der Kategorie "Heimtextilien" .....	49
Tab. 16:	Auswahl von Produktbeispielen der Kategorie "Kinder" .....	50
Tab. 17:	Auswahl von Produktbeispielen der Kategorie "Kosmetik" .....	51
Tab. 18:	Auswahl von Produktbeispielen der Kategorie „Garten“ .....	52
Tab. 19:	Auswahl von Produktbeispielen der Kategorie "Küche".....	53
Tab. 20:	Auswahl von Produktbeispielen der Kategorie "Reinigungsmittel" .....	53
Tab. 21:	Auswahl von Produktbeispielen der Kategorie "Sport und Outdoor" .....	54
Tab. 22:	Auswahl von Produktbeispielen der Kategorie "Textilien" .....	55
Tab. 23:	Zuordnung von Nanokonsumprodukt-Bespielen, die potentiell als Teil einzelner Restmüllfraktion anfallen können.....	59
Tab. 24:	Zuordnung von Nanokonsumprodukt-Bespielen, die potentiell als Teil einzelner Fraktionen der getrennten Sammlung anfallen können .....	60
Tab. 25:	Zusammenfassung der systeminternen und externen Flüsse bzw. des Verbleibs von nano-TiO <sub>2</sub> in Sonnencremen in Österreich .....	65

Tab. 26: Zusammenfassung der Senken für Szenario 2A-Max-Min .....	68
Tab. 27: Zusammenfassung der Senken für Szenario 2A-Max-Min: .....	69
Tab. 28: ENM-Nennungen in der konsolidierten Datenbank, eigene Darstellung .....	91
Tab. 29: Massenbilanz für Szenario 1-Max: nano-TiO <sub>2</sub> in Sonnencremen .....	92
Tab. 30: Massenbilanz für Szenario 1-Min: nano-TiO <sub>2</sub> in Sonnencremen .....	93
Tab. 31: Annahmen/Transferkoeffizienten zum Verbleib von nano-TiO <sub>2</sub> -haltigen Sonnencremen im österreichischen Abfallwirtschaftssystem .....	94
Tab. 32: Massenbilanz für Szenario 2-B-Max: faserintegriertes nano-Ag in Putztüchern .....	95
Tab. 33: Massenbilanz für Szenario 2-A-MAX: Putztücher mit nano-Ag (an Oberfläche der Faser haftend).....	96
Tab. 34: Massenbilanz für Szenario 2-A-Min: oberflächenbeschichtete nano-Ag Putztücher .....	97
Tab. 35: Massenbilanz für Szenario 1-B-Min: faserintegrierte nano-Ag Putztücher .....	98
Tab. 36: Annahmen/Transferkoeffizienten zum Verbleib von nano-Ag-haltigen Putztüchern im österreichischen Abfallwirtschaftssystem .....	99

## Abkürzungen

AT	Österreich
BTB	Biotechnische Behandlung
C60	sphärische Kugel aus 60 Kohlenstoffatomen (Fullerene)
CLP	Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen (engl.: Classification, Labelling and Packaging)
CNT	Kohlenstoffnanoröhre
DE	Deutschland
DK	Dänemark
DNA	Desoxyribonukleinsäure
E	Export
EAG	Elektroaltgeräte
ENM	synthetisches Nanomaterial (engl.: engineered nanomaterial)
EU	Europäische Union
F	Fluss
I	Import
ISO	International Organization for Standardization
LED	Leuchtdiode (engl.: light-emitting diode)
NGO	Nicht-Regierungs Organisation (engl. Non-Governmental Organization)
O	Output
OLED	Organische Leuchtdiode (engl.: organic light emitting diode)
PPE	Polyphenylenether
PSA	Persönliche Schutzausrüstung im Arbeitsschutz
Q10	Ubichinon 10
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals
RL	Richtlinie
RoHS	Beschränkung gefährlicher Stoffe (engl.: Restriction of Hazardous Substances)
S	Senke
SB	Sonstige Behandlung
SDB	Sicherheitsdatenblatt
StV	Stoffliche Verwertung
TB	Thermische Behandlung
TS	Trockenschlamm
TV	Television
USA	United States of Amerika
UV	Ultraviolett
VO	Verordnung
VP	Verpackungen

## Kurzfassung

In den letzten Jahren werden ENM (Abkürzung für die englische Bezeichnung engineered nanomaterials für synthetisch hergestellte Nanomaterialien) immer mehr in Haushaltsprodukten, sogenannten „Nanokonsumprodukten“ eingesetzt. Kritische Verbraucher können sich beispielsweise über das Angebot von Nanokonsumprodukten, darin enthaltene ENM sowie über mögliche Risiken in öffentlich zugänglichen Online-Produktdatenbanken informieren. Um den aktuellen Wissenstand dieser Onlinequellen zusammenzufassen, wurde im Rahmen dieser Masterarbeit eine konsolidierte Produktdatenbank für die Bereiche „Autozubehör“, „Baumaterialien“, „Beschichtungen“, „Elektrokleingeräte“, „Elektronik“, „Gesundheit und Medizin“, „Haushaltsgeräte“, „Heimtextilien“, „Textilien“, „Kinder“, „Kosmetik“, „Garten“, „Küche“, „Reinigungsmittel“, „Sport und Outdoor“ erstellt, welche über 3500 Produkte aus 10 öffentlich online zugänglichen Internetdatenquellen beinhaltet. Die erhobenen Produkte wurden bewertet, zusammengefasst und häufig vertretene Produkte sowie darin enthaltene ENM identifiziert. Für 39% der Produkte konnte erhoben werden welches ENM enthalten war, für 61% der Produkte waren die Angaben nicht vorhanden oder zu unklar. Am häufigsten genannt wird nano-Ag (15%), nano-TiO<sub>2</sub> (7%) oder nano-SiO<sub>2</sub> (3%), welche in Nanokonsumprodukten eingesetzt werden. Die am häufigsten gelisteten Produkte sind vor allem Beschichtungsmittel, Kosmetika sowie Textilien. Darin enthaltene ENM können während der Nutzung oder am Ende des Produktlebenszyklus freigesetzt werden und in Abfallströme gelangen.

Neben der möglichen diffusen Freisetzung von ENM in die Umwelt entlang des Produktlebenszyklus zeigen allgemeine Erkenntnisse der letzten Jahre, dass ins Abwasser gelangende ENM im Klärschlamm größtenteils zurückgehalten werden oder in der Abfallverbrennung landen und sich in den Reststoffen der Verbrennung aufkonzentrieren können. Nach der Abwasser- oder Abfallbehandlung können somit auch durch die Aufbringung von Klärschlamm in der Landwirtschaft sowie durch unkontrollierte Emissionen von Deponien ENM möglicherweise in die Umwelt gelangen. Eine Kernaufgabe der Masterarbeit bestand in der Beschreibung und Ermittlung des Verhaltens von ENM in Nanokonsumprodukten anhand von zwei Fallbeispielen während der Produktnutzungsphase und in verschiedenen abfallwirtschaftlichen Prozessen, um potentielle Emissionen und Freisetzungspfade abschätzen zu können. Für die gewählten Produktbeispiele, nano-Ag haltige Putztücher und nano-TiO<sub>2</sub> haltige Sonnencremen wurde nach dem „Bottum-up Prinzip“ ein Jahresverbrauch für Österreich angenommen. Der weitere Verbleib von nano-Ag und nano-TiO<sub>2</sub> im österreichischen Abwasser- und Abfallwirtschaftssystem wurde mittels quantitativer Stoffflussanalyse unter Verwendung von Transferkoeffizienten aus der Literatur durchgerechnet und diskutiert.

Die Ergebnisse der Bottum-up Szenarien für nano-TiO<sub>2</sub> Sonnencremen und nano-Ag Putztücher zeigen, dass nano-TiO<sub>2</sub> und nano-Ag nach unterschiedlichen Vorbehandlungsschritten hauptsächlich in Deponien landen (Wahrscheinlichkeit von 48-59%), in recycelten Materialien wie Kompost oder Baustoffen akkumulieren (11-15%), als Düngemittel auf landwirtschaftlichen Flächen aufgebracht werden (1-13%) oder in Gewässer emittiert werden (1-33%).

Die Ergebnisse zeigen außerdem, dass in Flüssigkeiten suspendierte oder oberflächenhaftende ENM in höherem Maße in die Umwelt oder Abwasser freigesetzt werden können als matrix-gebundene ENM.

Neben der erstellten Produktdatenbank, dem Review über den Verbleib von ENM während Abwasser- und Abfallbehandlung und den mittels Stoffflussanalyse berechneten Bottom-up Szenarien, beinhaltet die vorliegende Masterarbeit auch den aktuellen Stand der nanospezifischen Regulierungen in Europa.

# 1 Einleitung

## 1.1 Hintergrund und Motivation

Am globalen Markt ist eine Vielzahl von industriellen und verbrauchernahen Produkten erhältlich, die Nanomaterialien enthalten. Laut Möller et al. (2013) sind im Labormaßstab bereits ca. 250 verschiedene synthetische Nanomaterialien (englisch: engineered nanomaterials, Kurzwort: ENM, welches als Abkürzung in der gegenständlichen Arbeit verwendet wird) mit einigen tausend ENM-Modifikationen herstellbar. Wie die Vorsilbe „Nano“ verrät, liegen ENM im Nanometerbereich vor, typischerweise zwischen 1-100 nm. Industriell und ökonomisch relevant sind etwa 20-30 ENM und nach Schätzungen wird von einem Weltmarktvolumen von 2-15 Milliarden US Dollar ausgegangen (Möller et al. 2013). Die stetig ansteigende Anzahl an verbrauchernahen ENM-haltigen Produkte am Markt, auch oft bezeichnet als „Nanoprodukte“ oder „Nano-Konsumprodukten“ (näheres zur Definition siehe auch Greßler et al., 2009), sprechen für einen längerfristig steigenden Trend. Alleine der Markt für ENM-haltige Oberflächenbeschichtungen, sogenannte „intelligente Beschichtungen“, wird nach Ansicht von Experten von einem Volumen von ca. 610 Millionen US Dollar im Jahr 2015 auf ein Volumen von 5,8 Milliarden US Dollar bis zum Jahr 2020 ansteigen (Nanomarkets, 2015). Trotz der zahlreich am Markt erhältlichen ENM-haltigen Produkte bestehen noch offene Fragen zum Risiko von ENM und deren Verbleib in der Umwelt (BfR, 2014). Durch Zeitungsartikel und Informationskampagnen von Verbraucherschutzorganisationen wird vor Gefahren, ausgehend von Nanosilber (nano-Ag) oder nanoskaligen Metalloxiden (nano-ZnO, nano-CeO) gewarnt, um eine öffentliche Risikodebatte in Gang zu bringen (Lindinger, 2012, BUND, 2009). Im Laufe solcher Debatten, haben sich Kennzeichnungspflichten wie für Kosmetika und Lebensmittel in Europa durchgesetzt (VO (EG) Nr. 1223/2009, VO (EU) Nr. 1169/2011). In welchen Produkten des täglichen Lebens ENM enthalten sein können, kann auf online zugänglichen Produktdatenbanken recherchiert werden, welche teilweise auch über mögliche Gefahren aufklären (wie z.B. unter: [www.bund.net/nanodatenbank/](http://www.bund.net/nanodatenbank/)).

Da Produktions- wie Abfallmengen steigen und Produkte zunehmend kurzlebiger werden, stehen neben der direkten Gefährdung des Menschen und seiner Umwelt – durch oder während des Konsums von Nanokonsumprodukten – auch Expositionen und Emissionen am Produktlebenszyklusanfang bzw.- ende im Fokus der Wissenschaft. Nach Boldrin et al. (2014) finden Expositionen und Emissionen auf indirekten Pfaden statt, welche in erster Linie (1) die Freisetzung von ENM während der Produktion, (2) die Freisetzung von ENM aus entsorgten Nanokonsumprodukten entlang des Abwasser- oder Abfallpfads und/oder (3) die diffuse Freisetzung von ENM in die Umwelt betreffen. In den letzten Jahren sind mehrere Studien entstanden, die sich mit dem Verbleib in der Umwelt von industriell relevanten, vor allem metallischen bzw. metalloxidische ENM wie nano-TiO<sub>2</sub>, nano-Ag, nano-SiO<sub>2</sub>, nano-CeO<sub>2</sub> etc., im Abwassersystemen oder in abfallwirtschaftlichen Systemen beschäftigen. So können z.B. einzelne ins Abwasser freigesetzte ENM in der Abwasserbehandlung an organische Matrix gebunden werden (Kaegi et al. 2013). Zusammen mit der organischen Matrix fallen ENM somit in der Abwasserbehandlung als Klärschlämme an und müssen nach dem Abfallrecht entsorgt und behandelt werden (BMLFUW, 2011a). Durch die thermische Verwertung von ENM-haltigen

Klärschlamm oder von ENM-haltigen Siedlungsabfällen, können sich enthaltene Nanomaterialien in den Verbrennungsrückständen wiederfinden (Vejerano et al. 2014, Walser et al. 2012). Durch die Beseitigung dieser Reststoffe in Deponien besteht langfristig die Möglichkeit, dass ENM potentiell wieder ausgewaschen werden (Lozano und Berge, 2012; Hennebert et al. 2013). Laut Greßler et al. (2014) sowie Part et al. (2015a, 2015b) müssen noch offene Forschungsfragen zum Verbleib von ENM in der Entsorgungsphase geklärt werden, um mögliche Umwelt- oder Gesundheitsrisiken abschätzen zu können.

## **1.2 Forschungsfragen und Zielsetzung**

Für den österreichischen Verbraucher ist es zum jetzigen Zeitpunkt aufgrund der noch fehlenden Kennzeichnungspflicht – mit Ausnahme des Kosmetik-, Biozid- und Lebensmittelbereichs – schwer, sich ein klares Bild darüber zu machen, welche Haushaltsprodukte tatsächlich synthetische Nanomaterialien (ENM) enthalten. Die Abfallwirtschaft steht vor der Frage, wie viel ENM als Nano-Abfall jetzt und in Zukunft in österreichischen Haushalten als Teil des häuslichen Abfalls anfallen. Eine generelle Aufkommensabschätzung von Nano-Abfall ist aufgrund fehlender Daten derzeit noch sehr schwierig.

Die vorliegende Masterarbeit gibt einen ersten Überblick darüber, welche Haushaltsprodukte ENM enthalten und wie diese im österreichischen Abfallsystem derzeit entsorgt bzw. behandelt werden. Die Arbeit hatte auch zum Ziel, die aktuellen Entwicklungen in der europäischen und österreichischen Gesetzeslage aus abfallwirtschaftlicher Perspektive zusammenzustellen. Weiters wurden basierend auf einer Datenbank zwei geeignete Fallbeispiele gewählt, um potentielle „Freisetzung-Hotspots“ bzw. abfallwirtschaftliche Senken zur weiteren Diskussion identifizieren zu können. Anhand der gewählten Fallbeispiele wurde ein erster Ansatz unternommen, basierend auf verfügbaren Literaturangaben, eine Stoffflussanalyse von ENM in bestimmten Konsumprodukten durchzuführen.

Ziel war es, vereinfachte Emissions- und Entsorgungsszenarien zu erstellen und zu diskutieren. Die Ergebnisse der Szenarien sollen über die relevanten Abfallströme Aufschluss geben und potentielle Senken aufzeigen, um Emissionen in die Umwelt zukünftig abschätzen zu können.

## **1.3 Aufbau und Methode der Masterarbeit**

Die vorliegende Arbeit versteht sich primär als Literaturanalyse. Für die Zusammenfassung der allgemeinen Grundlagen wurden vor allem einschlägige wissenschaftliche Journale, behördliche Texte sowie Internetquellen von Forschungseinrichtungen herangezogen. Im Methodikteil wird die Vorgehensweise zur Produktgruppenanalyse und zur Erstellung der Entsorgungs- und Emissionsszenarien dargestellt. Dabei stützt sich die Produktgruppenanalyse hauptsächlich auf online und öffentlich zugängliche Konsumenteninformationsseiten oder, wenn vorhanden, auch auf Produktendatenblätter der einzelnen Hersteller. Ziel dieser Analyse ist die Erstellung einer Datenbank und die Auswahl von Produkten, die für eine Stoffflussanalyse geeignet sind. Anhand von zwei ausgewählten Produktbeispielen werden sogenannte Stoffflussdiagramme dargestellt. Die Aufteilung der Stoffströme im Entsorgungsszenario basieren vorwiegend auf abfallwirtschaftlichen Daten sowie auf Literaturergebnissen. Hinsichtlich des

Verhaltens und Verbleibs von ENM während der Entsorgungsphase wurden sogenannte nano-spezifische Transferkoeffizienten in der Berechnung mitberücksichtigt. Da sich alle in das System einfließenden Massen in den Senken und dem Output (Emissionen) widerspiegeln müssen, konnten zuletzt Emissionsszenarien abgeleitet und diskutiert werden. Im Schlussteil werden die Ergebnisse zusammengefasst, kritisch hinterfragt sowie auf noch offene Fragen und zukünftigen Forschungsbedarf hingewiesen.

## 2 Allgemeine Grundlagen zu Nanotechnologie und synthetischen Nanomaterialien

Die Nanotechnologie wird als die Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts gesehen. Die Bezeichnung Nanotechnologie geht auf das griechische Wort „nanos“ für Zwerg zurück. So ist ein Nanometer ein Milliardstel eines Meters ( $10^{-9}$  m) und Materialien im Nanometerbereich können auch chemisch-physikalische Eigenschaften aufweisen, die Substanzen der gleichen Zusammensetzung nicht haben (z.B. Lotus- oder Quanteneffekte, welche auf den nano-spezifischen Eigenschaften beruhen). Das große Potential der Nanotechnologie beruht auf der engen Verknüpfung von Teilbereichen der Naturwissenschaft, wie Physik, Biologie, Chemie, Material- und Ingenieurwissenschaft (siehe Abb. 1). Mithilfe der Nanotechnologie können komplexe Nanostrukturen auf beinahe atomarer Ebene geschaffen werden, die wiederum Teil von Systemen und Bauteilen im Nano-/Mikro- oder Makrobereich sind.

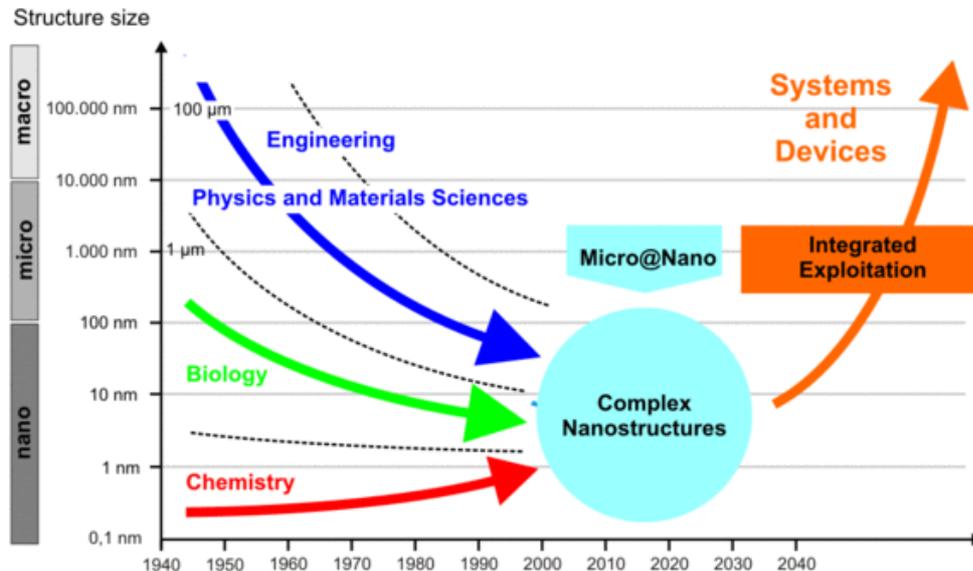


Abb. 1: Schaffung von komplexen Nanostrukturen in unterschiedlichen Fachgebieten; Quelle: DNBT-BOKU (N.N.)

Durch neue spezifische und funktionale Eigenschaften, verspricht die Nanotechnologie Nutzungsmöglichkeiten in verschiedensten Industriezweigen wie Energieversorgung, Landwirtschaft, Umwelttechnik, Medizin, Informations- und Sicherheitstechnik, in Lack- und Farb-/Oberflächenbeschichtungsindustrie, speziell

auch für alltägliche Produkte wie Kosmetika, Textilien und Lebensmittel (Eickhoff, 2011).

Die alleinige Erforschung von Molekülen, Atomen und Objekten im Bereich des Nanometermaßstabs wird als Nanowissenschaft bezeichnet. Der Nanometermaßstab ist laut Empfehlung der Europäischen Kommission (EC, 2011) sowie nach internationaler Norm (ISO, 2008) der Größenbereich von 1 nm bis 100 nm. Teilchen, die sich in diesem Größenbereich befinden, werden als nanoskalig bezeichnet. Unter dem Nanometer- liegt der Pikometermaßstab. Die untenstehende Abbildung 2 zeigt anhand von einfachen Beispielen Größenverhältnisse. So sind ENM im Größenvergleich beispielsweise 100 Millionen Mal kleiner als ein Tennisball.

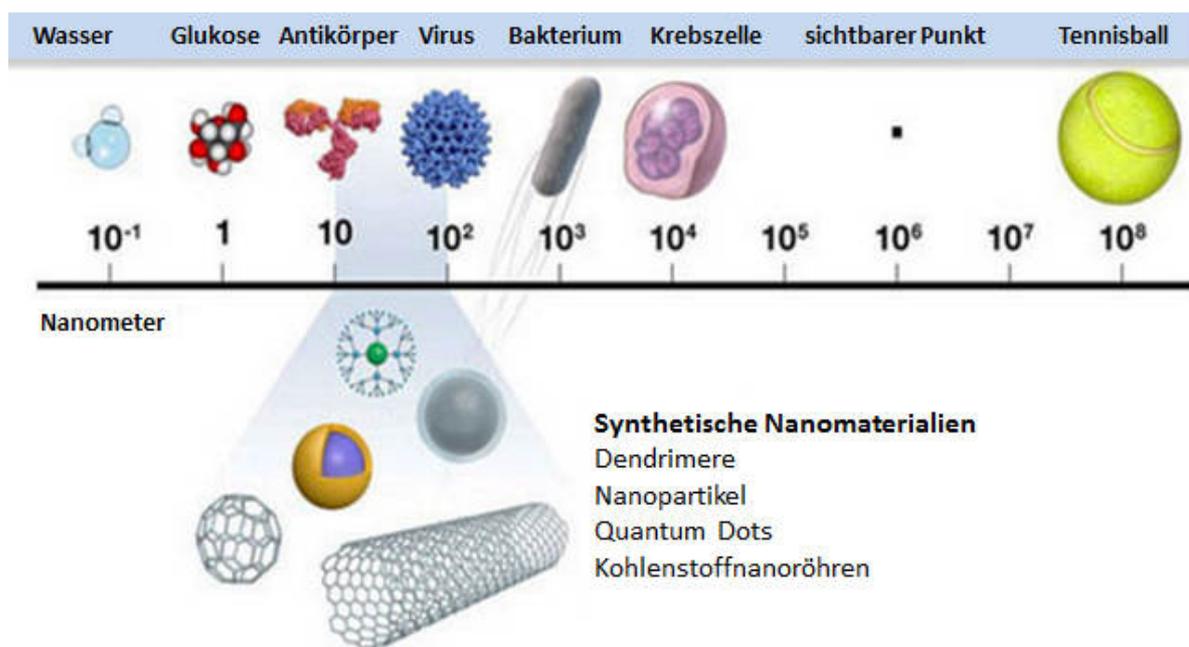


Abb. 2: Größenverhältnisse im Nanometermaßstab (übersetzt und abgeändert von NIH, 2011)

## 2.1 Definition von Nanomaterialien, Risiken und Nano-Regulierung

### 2.1.1 Definition und Einteilung von Nanomaterialien

Die EU Kommission hat einige Begriffe, die im Zusammenhang mit Nanotechnologie und dem Nanometermaßstab oft genannt werden, 2011 definiert. Bei Nanomaterialien handelt es sich demnach um ein „natürliches, zufällig entstandenes oder bewusst hergestelltes Material, das Partikel in ungebundenem Zustand, als Aggregat oder als Agglomerat enthält, und bei dem mindestens 50 % der Partikel in der Anzahlgrößenverteilung ein oder mehrere Außenmaße im Bereich von 1 nm bis 100 nm haben“ (EC, 2011). Da laut dieser Definition nicht alle Außenmaße im Nanometerbereich liegen müssen, können dünne, allerdings sehr großflächige Nanofilme oder Kohlenstoffnanoröhren im Makrometerbereich auch zu den Nanomaterialien gezählt werden. Um nicht nur der Größe, sondern auch möglichen

Gefahren Gewichtung beizumessen, wird hinzugefügt dass „in bestimmten Fällen, in denen Risiken rund um Umwelt, Gesundheit, Sicherheit oder Wettbewerbsfähigkeit besteht, die Schwelle der Anzahlgrößenverteilung von 50% durch einen Grenzwert zwischen 1 und 50% ersetzt werden“ kann.

Strukturen im Nanometermaßstab finden sich überall in der Natur, seien es DNA, Viren, Luftstäube, Säuren, um nur einzelne davon zu nennen (siehe Tab. 1). Neben den natürlichen Nanopartikeln, gibt es anthropogene Nanopartikel, die entweder zufällig bzw. absichtlich entstanden sind (wie z.B. Dieselmotorenabgase oder bei der Metallverarbeitung entstehende Stäube) und synthetische Nanopartikel, welche gezielt in chemischen Labors vom Menschen erzeugt und in Produkten eingesetzt werden. Oft können unabsichtlich und synthetisch bzw. beabsichtigt hergestellte Nanopartikel aufgrund ihrer Form und Zusammensetzung unterschieden werden (siehe Abb. 3 Lohse, 2013).

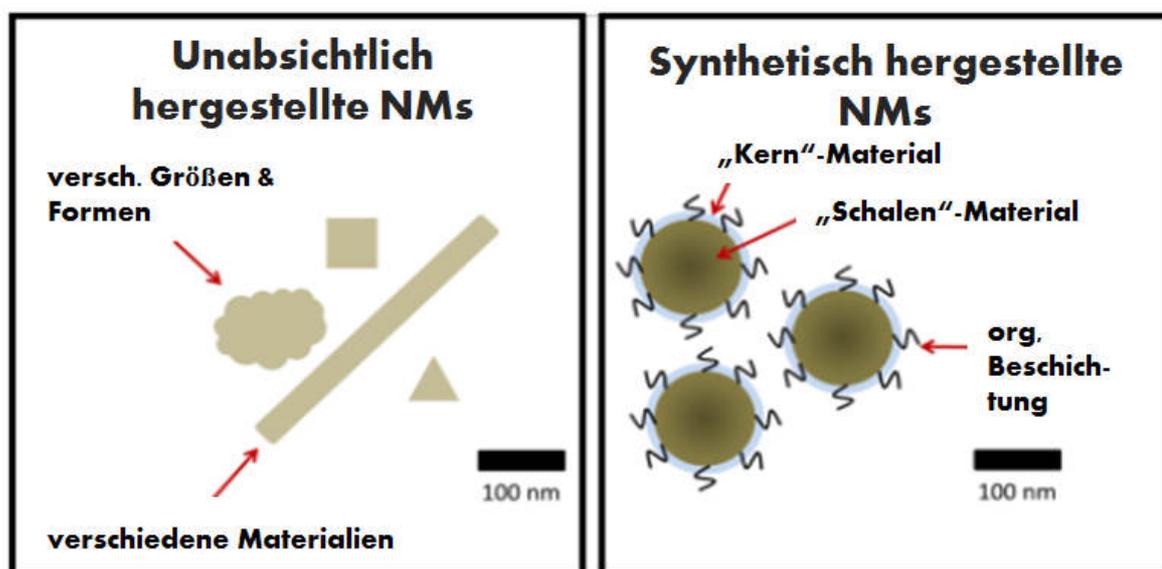


Abb. 3: Der Unterschied von unabsichtlich und synthetisch hergestellten Nanopartikeln (adaptiert nach Lohse (2013)).

Zufällig erzeugte Nanopartikel desselben Ursprungs können in unterschiedlichen Größen und Formen vorliegen, wohingegen Größe und Form von synthetischen Nanopartikeln sehr klar definiert sind und eine Kern-Schale-Aufbau vorliegen kann (Lohse, 2013; Cameotra und Dhanjal, 2010). Zum Zweck einer besseren Verarbeitbarkeit oder gezielten Anwendung sind ENM häufig an ihrer Oberfläche modifiziert, wie durch organische oder anorganische Beschichtungen. Um photokatalytische Effekte zu mindern und Verklumpungen (Aggregation/Agglomeration) im Produkt zu vermeiden, werden beispielsweise nano-TiO<sub>2</sub>-Partikel mit Aluminiumoxiden oder Silikat beschichtet (Li et al. 2012). Wie bereits erwähnt wurde, kann des Weiteren zwischen natürlich vorkommenden und synthetischen Nanomaterialien unterschieden werden. Folgende Tabelle (Tab. 1) zeigt unterschiedliche Nanomaterialien anhand ihrer Herkunft. Nach Nowack und Bucheli (2007) lassen sich natürliche Nanomaterialien nach geogener, pyrogener, atmosphärischer oder biogener Herkunft klassifizieren. Je nach Stoff wird zwischen kohlenstoffhaltigen, biogenen oder anorganischen Nanomaterialien unterschieden. Die vier großen Klassen von Nanomaterialien definieren Raab et al. (2008) als

„Kohlenstoffhaltige“, Metalle, Metalloxide und Halbleiter. Unabsichtlich entstehen Nanomaterialien mit anthropogenem Ursprung in der Industrie, wie z.B. Verbrennungsprodukte in Müllverbrennungsanlagen oder im Verkehr.

<b>Herkunft und Beispiele unterschiedlicher Nanomaterialien</b>		
<b>anthropogen</b>		
<b>zufällig</b>		
<b>Natürlich</b>	<b>unabsichtlich</b>	<b>synthetisch</b>
<u>Geogen/pyrogen</u> vulkanische Asche, Fullerene (Ruß), Meteoritenstaub, mineralische Komposite, Eisenoxide, Luftstaub aufgrund Verwitterung und Erosion, Waldbrandrauch  <u>Atmosphärisch</u> Meeresgisch, Meersalzaerosole, Wolken, Aerosole (organische Säuren)  <u>Biogen</u> Lipoprotein, biogenes Magnetit, Magnetosome in magneto-taktischen Bakterien, Humin- Fulvosäuren, Viren, DNA Ferritin (12,5 nm),	<u>Industrie</u> Verbrennungsprodukte (Müllverbrennung, Motoren etc.), Stäube beim Sandstrahlen, Bergbau, Metallbearbeitung (Schweißen)  <u>Alltag/Haushalt</u> Dampf bei Frittieren oder Kochen, Ultrafeine Stäube aus Verkehr (Dieselmotorenabgase, Abrieb aus Bremsen, Kupplung)	<u>kohlenstoffhaltig</u> Kohlenstoffnanoröhren (CNT), Fullerene, Carbon Black  <u>Metalle</u> Gold (Au), Nanosilber (Ag), Eisen (Fe), Cobalt (Co)  <u>Metalloxide</u> Siliziumdioxid (SiO <sub>2</sub> ), Titandioxid (TiO <sub>2</sub> ), Aluminiumdioxid (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) Eisenoxid (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) bzw. (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ), Zinkoxid (ZnO)  <u>Halbleiter</u> Quantum Dots (CdSe), Cadmium-Tellurit (CdTe), Silizium (Si), Indium(gallium)phosphid (InP bzw. InGaP)

Tab. 1: Herkunft und Beispiele unterschiedlicher Nanomaterialien (Eigene Darstellung; adaptiert nach Cameotra und Dhanjal 2011, Raab et al. 2008, Nowack und Bucheli 2007)

Nanopartikel können sphärisch, kubisch oder unregelmäßig ausgebildet sein und in verschmolzener, aggregierter / agglomerierter oder in ihrer dispergierter Form vorliegen (Nowack und Bucheli 2007).

„Nanostrukturierte Nanomaterialien“ kann als Überbegriff verwendet werden und eine detailliertere Klassifikation kann aus folgender Abbildung 4 entnommen werden. Demzufolge kann ein nanostrukturiertes Material in Hinblick auf Dimensionalität, Morphologie, Zusammensetzung, Einheitlichkeit und Agglomerationszustand unterschieden werden.

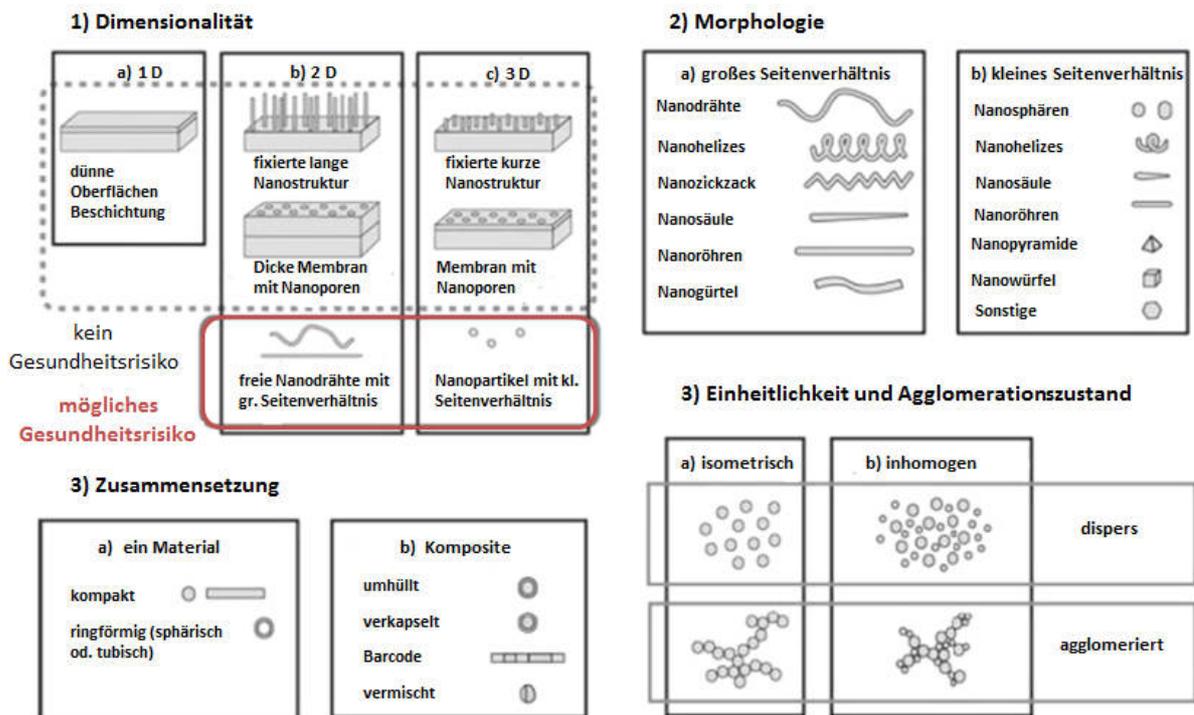


Abb. 4: Klassifikation von nanostrukturierten Material hinsichtlich nanostrukturierter Dimension, Morphologie, Zusammensetzung und Form nach Buzea et al. 2007

Laut internationaler Norm (ISO, 2011) (siehe Abb. 5) soll in der Terminologie von Nanomaterialien zwischen „Nanoobjekten“ und „nanostrukturiertem Material“ unterschieden werden. Dies kommt auch dem Vorschlag von Buzea et al. (2007) nach, zwischen nanostrukturiertem Material bzw. anderen fixierten nanoskaligen Objekten und freien Nanopartikeln zu unterscheiden. Vor allem freie, nicht fixierte Nanopartikel oder freie Nanofasern/-drähte bergen ein erhöhtes Gesundheitsrisiko, so Buzea et al. (2007). Der ISO-Definition zufolge, werden solche freien kugelförmigen oder länglichen Gebilde, mit mindestens einer Dimension im nanoskaligen Bereich, als Nanoobjekte bezeichnet. Das Gegenstück bildet nanostrukturiertes Material, welches eine Struktur aufweist, die intern oder an der Oberfläche im nanoskaligen Bereich liegt.

In der vorliegenden Arbeit wird hauptsächlich der allgemeine abgekürzte Terminus ENM (engl.: engineered nanomaterial) für synthetische Nanomaterialien verwendet, welcher laut ISO-Definition synthetisch hergestellte Nanofasern, Nanopartikel sowie nanostrukturiertes Material wie Nanokomposite und dgl. (siehe Abb. 5) miteinschließt.

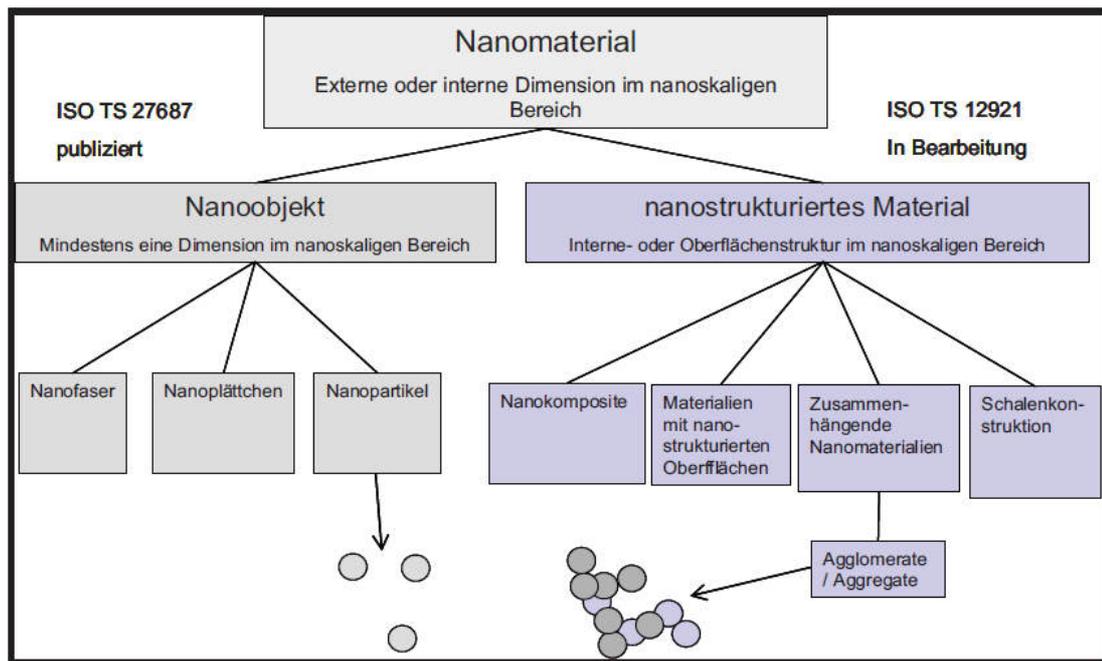


Abb. 5: Definition zu Nanomaterialien des Technischen Komitees der Internationalen Standardisierungs-Organisation (ISO, 2011)

Neben Buzea et al. (2007), findet sich auch bei Hansen et al. (2007) (siehe Abb. 6) eine Einteilung, die ENM vom toxikologischen Standpunkt aus getan wurde. Ziel war, ein Bewertungsschema zu entwerfen, um gefährliche von nicht-gefährlichen Nanomaterialien zu unterscheiden.

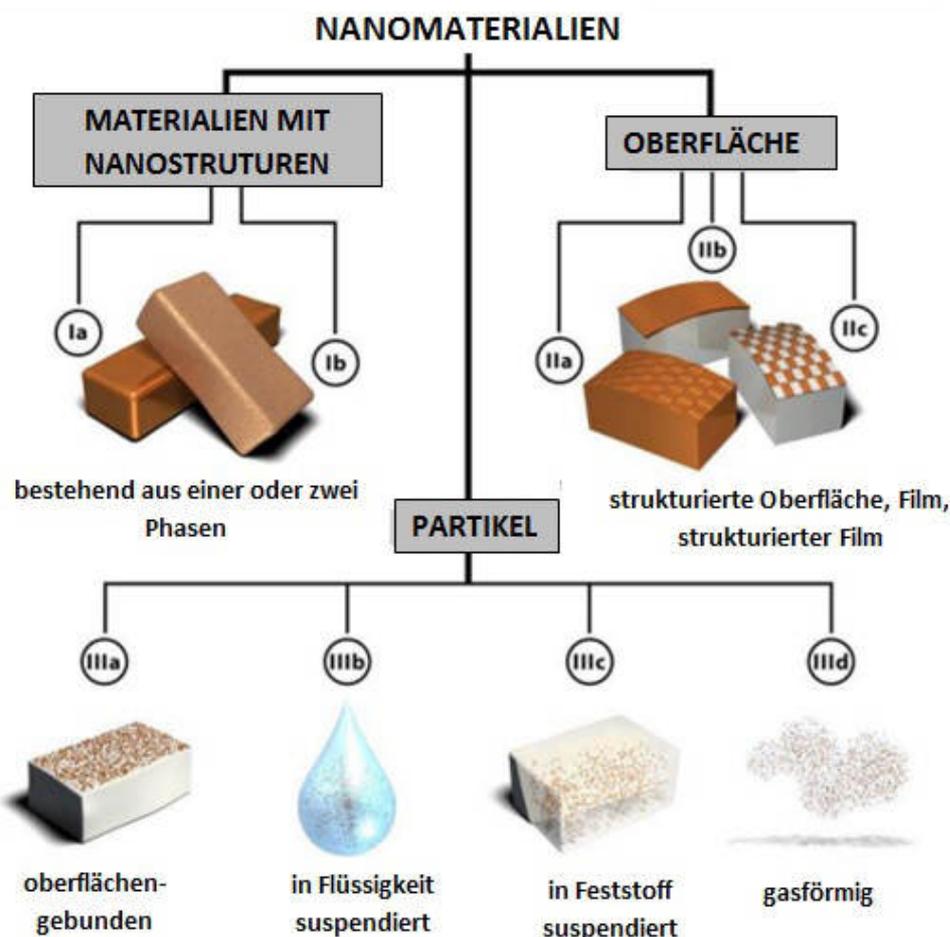


Abb. 6: Rahmen zur Kategorisierung von Nanomaterialien nach dem Ort der Nanostruktur im Material (übersetzt und modifiziert nach Hansen et al. (2007))

Hansen et al. (2007) unterscheiden Nanomaterialien nach Materialien mit Nanostrukturen (I), Nanopartikeln (III) und nanostrukturierte Oberflächen (II).. Die Materialien mit Nanostrukturen liegen entweder vollkommen rein („einphasig“) bzw. gemischt („mehrphasig“) vor, wohingegen auch Nanomaterialien selbst die strukturierte Oberfläche bzw. Beschichtung eines Materials bilden können. Zusätzlich wird zwischen Partikeln unterschieden, welche oberflächengebunden, flüssig, fest oder luftgetragen vorliegen können.

### 2.1.2 Zusammenfassung von ENM-Anwendungen in Produkten

Neben den online, für Konsumenten leicht zugänglichen Produktdatenbanken, ist eine Fülle von Informationen zum aktuellen und zukünftigen Einsatz von ENM in Konsumprodukten (sogenannte „Nanoprodukte“) in der Fachliteratur zu finden (siehe Tab. 2). Neben den Studien, die in allgemeiner Form den Einsatz von Nanokonsumprodukten beschreiben (Gleiche et al., 2006, Greßler et al. 2009, Kessler et al. 2011, Wijnhoven et al. 2011), werden in folgender Tabelle unterschiedliche Publikationen der letzten Jahre zu relevanten Produktgruppen aufgeführt.

Produktgruppen	Einschlägige Fachliteratur (Reviews/ Produktanalysen) über Produktgruppen, die ENM enthalten	Auswahl beschriebener Produkte, welche ENM enthalten können
<b>Alle Produktegruppen</b>	Greßler et al. (2009), Wijnhoven et al. (2010), Kessler et al. (2011)	Nanokonsumprodukte im Allgemeinen
<b>Baumaterialien</b>	Lee et al. (2010) (inkl. Beschichtungen), Van Broekhuizen et al. (2011), Hanus und Harris (2013), UBA (2014) Greßler und Gázsó (2010)	Beton, Keramik, Zement, Stahl, Dämmmaterial, Solarzellen, Fenster, Farben, Beschichtungen (gegen Korrosion, Flammbildung), Lack
<b>Beschichtungen (Haushalt/ Automobile)</b>	UBA (2014) Greßler et al. (2010)	Beschichtungen und Lacke mit Farbeffekten, selbstheilende/ selbstreinigende/ kratzfesten/ UV-resistenten /Anti-Graffiti Eigenschaften
<b>Elektrokleingeräte</b>	Allsopp et al. (2007), Khin et al. (2012)	Staubsauger, Waschmaschine, Kühlschrank, Mobiltelefon, Wasserfilter
<b>Elektronik</b>	Allsopp et al. (2007)	Computerchips, Leuchtmittel, Displays, Batterien, Photovoltaikzellen, antibakterielle Beschichtungen
<b>Garten/ Landwirtschaft</b>	Khot et al. (2012) Gogos et al. (2012)	Pflanzenschutzmittel und Düngemittel für industrielle Landwirtschaft
<b>Gesundheit/ Medizin</b>	EU-OSHA (2013)	Anwendungen im Bereich Vorbeugung, Diagnose und Behandlung von Krankheiten, Wundverbände
<b>Kosmetik</b>	Mihiranyhan et al. (2012) Greßler et al. (2009b)	Aufhellungsmittel, Sonnenschutzmittel, Make-up, Haarpflege/-färbe/-stylingmittel, Hautpflegemittel
<b>Lebensmittel</b>	Chaudhry et al. (2008) Möller et al. (2009) Greßler et al. (2009b)	Gewürze, Getränke, Nahrungsergänzungsmittel, fettreduzierte Lebensmittel
<b>Lebensmittel- und -verpackungen</b>	Duncan (2011) Chaudrey et al. (2008)	Lebensmittelverpackungen mit besonderen Eigenschaften in Hinblick auf Festigkeit, Luftdurchlässigkeit, antibakterielle Wirkung, biologische Abbaubarkeit, Haltbarkeitsanzeige
<b>Sport und Outdoor</b>	Verma (2013)	Tennis-/Badminton-/Golfschläger und -bälle, Hockey-/ Baseball-/ Tischtennisschläger , Ski, Bowlingkugel, Fahrräder

Textilien	Behringer (2007) UBA (2013)	Textilien mit besonderen Eigenschaften in Hinblick auf Superhydrophobie, UV-Schutz, Schadstoffzersetzung, Geruchsminderung, Antibakterielle oder Antiadhäsive Wirkung, Leitfähigkeit, Farbvariation, Abriebfestigkeit, Strahlungsschutz, Feuerfestigkeit
-----------	--------------------------------	--

Tab. 2: In der Literatur beschriebene Nanokonsumprodukte innerhalb unterschiedlicher Produktgruppen

Diese Literaturdaten werden mit den in der Produktgruppenanalyse (siehe Detailanalyse Kap. 3.2.4 ) erhobenen Produkten und darin enthaltenen ENM grob verglichen.

Für den Bereich „Tiere“ wurde keine Fachliteratur gefunden. Für die Bereiche „Garten und Landwirtschaft“ und „Gesundheit und Medizin“ (mit Ausnahme der Nahrungsergänzungsmittel), werden in den aufgeführten Literaturquellen Produkte gelistet, welche nicht für die Anwendung in Haushalten sondern für industrielle Anwendungsbereiche (Medizintechnik, industrielle Landwirtschaft/ Pflanzenschutz) bestimmt sind.

### 2.1.3 Nanoregulierung von ENM und Nanokonsumprodukten

Der Einsatz von ENM in Nanokonsumprodukten hat in Gewerbebranchen verschiedenster Art Einzug erhalten. Branchen unterliegen grundsätzlich verschiedensten Vorschriften, weshalb ein allumfassendes „Nano-Gesetz“ nur schwer umsetzbar ist (Innovationsgesellschaft mbH und EHB, N.N). Zum aktuellen Zeitpunkt werden ENM in der Chemikalienverordnung REACH bisher nicht gesondert von anderen chemischen Stoffen betrachtet. Die REACH- Verordnung (VO, 1907/2006/EG) regelt die Herstellung, das Inverkehrbringen und die Verwendung von Stoffen, Stoffen in Zubereitungen und Erzeugnissen (Eisenberger et al., 2010). Aufgrund der veränderten Größe, Form und Oberflächeneigenschaften von ENM im Vergleich zu deren zugehörigen Bulkmaterialien ergeben sich veränderte Charakterisierungsparameter, sodass unterschiedliche Informationsanforderungen, separate Stoffsicherheitsbewertungen und Risikomanagementmaßnahmen gegeben sind (BAUA/ BFR UBA, 2013). In Bezug auf die Registrierung von ENM bzw. der Einstufung deren Gefährlichkeit wurden deshalb von mehreren europäischen Institutionen und Verbänden (ECHA, 2014, BAUA/BFR/UBA, 2013, BUND, 2012, KEMI 2013, ANSES 2014) Vorschläge ausgearbeitet. Diese stehen zur Diskussion, wurden aber bis dato noch nicht umgesetzt. Die Forderungen betreffen vor allem nanospezifische Anpassungen in Hinblick auf die CLP-Verordnung (vom engl. Classification, Labelling, Packaging) und das Sicherheitsdatenblatt (SDB), welche der speziellen Kennzeichnung und Gefahreninformation entlang der Produktions- bzw. Handelskette von ENM-haltigen Chemikalien und Produkten dienen könnten. Das Sicherheitsdatenblatt enthält u.a. Informationen zu möglichen Gefahren, Angaben zu Toxikologie oder Hinweise zur Entsorgung. Ob im Sicherheitsdatenblatt eine ENM-haltige Chemikalie betreffend der Nanoskaligkeit ausgewiesen ist, obliegt bisher dem Hersteller (SRU, 2011). Mithilfe von einem von EVD (2010) vorgeschlagenen Leitfadens können sich Hersteller informieren, wie sie auf freiwilliger

Basis nanospezifische Informationen zur hergestellten Chemikalie im SDB mitaufführen können. Bis spätestens Juni 2018 muss allerdings verbindlich eine Registrierungs- und Bewertungspflicht für alle chemischen Stoffe vorliegen, von denen mehr als eine Tonne pro Jahr (1 t/Jahr) in der EU hergestellt oder in die EU importiert wird. Zusätzlich sind Hersteller oder Importeure verpflichtet, ein Dossier über die physikalisch-chemischen Daten und die toxischen Eigenschaften der betreffenden Substanzen auszuarbeiten und bei der ECHA, der europäischen Agentur für Chemikalien vorzulegen (EC, 2015).

Sowohl der oben genannte SDB-Leitfaden, als auch andere Leitfäden zum sicheren Umgang mit Nanomaterialien beruhen grundsätzlich auf dem „Vorsorgeprinzip“. Dieses wird auf europäischer Gesetzesebene für eine noch nicht klar definierbare Gefahr aufgrund mangelnder wissenschaftlicher Erkenntnisse, wie dies für ENM zutrifft, herangezogen (Calliess, 2009). Basierend auf diesem Prinzip können bestimmte Verhaltenskodizes im Umgang mit ENM und Nanoprodukten entwickelt und Handlungsbedarf eingefordert werden. Dieses in der EU und in einigen anderen Ländern eingesetzte Rechtsprinzip ist bisher vor allem im Umwelt-, Gesundheitsschutz-, Verbraucherschutzrecht anerkannt (SRU, 2011).

Verbindliche nanospezifische Rechtsvorschriften sind derzeit nur in folgenden EU-Verordnungen umgesetzt worden:

- Biozidprodukte-Verordnung (VO 528/2012/EU)
- Kosmetik-Verordnung (VO 1223/2009/EG),
- Verordnung über Lebensmittelzusatzstoffe (VO 1333/200/EG),
- Verordnung über Materialien und Gegenstände aus Kunststoff, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmittel in Berührung zu kommen (VO 10/2011/EU)

Die in obigen Verordnungen enthaltenen nanospezifischen Regelungen umfassen (Huber-Humer et al. 2014)

- Eigene, branchenspezifische Definitionen für Nanomaterialien (z.B. Kosmetik-VO, Biozidprodukte-VO, Lebensmittelinformations-Verordnung)
- erweiterte Informationsanforderungen (Kosmetik-VO)
- Kennzeichnungspflichten (Kosmetik-VO, Biozidprodukte-VO, Lebensmittelinformations-Verordnung)
- Registrierungs-, Genehmigungs- bzw. Zulassungspflichten für Nanomaterialien (Biozidprodukte-, Kosmetik-, Lebensmittelzusatzstoffe-Verordnung, Verordnung über Materialien, die mit Lebensmittel in Berührung kommen)

Durch einheitliche Definitionen ,Kennzeichnungs-, Genehmigungs- bzw. Zulassungspflichten für ENM-haltige Produkte könnte eine Datenspeicherung auf institutioneller Ebene begünstigt werden. Für abfallwirtschaftliche Zwecke könnte auf derartige Daten zugegriffen werden, um z.B. Aufkommenstatistiken abzuleiten, geeignete Entsorgungsmöglichkeiten für einzelne Produkte zuzuordnen oder Informationen für das Recycling von Altstoffen bereitzustellen

## 2.2 Nano-Abfall und ENM-haltige Abfälle

Inwieweit der gegenwärtige, zukünftige und möglicherweise steigende Konsum von Nanokonsumprodukten kurz- und langfristig zu ENM Emissionen in die Umwelt führen kann, ist nicht einfach zu beantworten. Die Abfallwirtschaft stellt sich derzeit die Frage, inwieweit die verfügbaren Techniken ausreichend sind, um mit neuen Stoffen wie ENM umzugehen und Gefahren langfristig zu minimieren. Bereits im Jahre 2008 wurden im österreichischen Aktionsplan Nanotechnologie durch Vernetzung von Themen, Stakeholdern und Institutionen Ziele definiert, um einen möglichen Struktur- und Orientierungsrahmen bezüglich abfallwirtschaftlicher Aspekte und zukünftiger Regulierungen im Umgang mit ENM-haltigen Abfällen zu schaffen (BMLFUW, 2009). Da im österreichischen Abfallwirtschaftsgesetz (AWG, 2002) keine Vorgaben für ENM verankert sind, greift für entsorgte ENM bzw. entsorgte Nanokonsumprodukte ebenso die chemikalienrechtliche REACH-Verordnung (vgl. vorheriges Kapitel 2.1.3; VO, 1907/2006/EG). Im folgenden Kapitel soll die abfallwirtschaftliche Praxis und abfallwirtschaftliche Defizite in Bezug auf ENM bzw. Nanokonsumprodukte aufgezählt und Vorschläge für Definitionen im Zusammenhang mit deren Lebenszyklusende erörtert werden. Die abfallwirtschaftliche Relevanz soll zuletzt anhand von Zahlen zum Aufkommen von ENM veranschaulicht werden.

### 2.2.1 Ziele und Defizite im Abfallwirtschaftsrecht

Wie in Österreich, gibt es auch in der Schweiz einen Aktionsplan zu synthetischen Nanomaterialien (BAG et al. 2008), der die Entsorgung von Nanoabfällen diskutiert und kurz-/mittel bzw. langfristige Empfehlungen auflistet. Für die weiterverarbeitende Industrie wird darauf hingewiesen, dass im Schweizer Sicherheitsdatenblatt SDB Informationen zum sicheren Umgang mit Nanomaterialien enthalten sein sollen. Für die gesetzliche Regelung zur Entsorgung von synthetischen Nanomaterialien werden aufgrund mangelnder Erkenntnisse weitere Prüfungen empfohlen. Diese sollen langfristig durch Meldepflichten, Regelung zum Inverkehrbringen von synthetischen Nanomaterialien und der Festlegung nanomaterial-/störfallspezifischer Emissionsgrenzwerte bzw. Mengenschwellen für die Umwelt umgesetzt werden (BAG et al. 2008).

Neben den in der Schweiz formulierten Empfehlungen für ENM wurden auch in Österreich im Rahmen des Forschungsprojekts „NanoMia“ (Huber-Humer et al. 2014) folgende nanospezifische Defizite im Abfallrecht identifiziert und zusammengefasst:

- Unsicherheiten bezüglich der Klassifikation von bestimmten ENM als gefährliche Abfälle (in Verbindung mit der CLP-VO) (Führ et al., 2006, Ganzleben et al., 2011)
- Defizite aufgrund der limitierten Anwendbarkeit von Schwellen- und Grenzwerten für ENM (dies betrifft z.B. die europäische Klärschlamm-RL, die Deponie-RL oder die RoHS-RL) (Ganzleben et al., 2011)
- Fehlende Definition von Nanoabfällen (Meili et al., 2007, Ganzleben et al., 2011)
- Fehlende nanospezifische Abfallcodes für einzelne Abfallströme (Führ et al., 2006)
- Fehlende nanospezifische Kriterien bzw. Tests bei der Annahme von Abfällen auf der Deponie (Führ et al., 2006)

- Fehlende nanospezifische Emissionsgrenzwerte für Abfallverbrennungsanlagen (Führ et al., 2006)
- Durch den Wissensmangel über Expositionswege in der Abfallwirtschaft ist es schwierig spezifische Gesetzeslücken zu identifizieren (Ganzleben et al., 2011).

### **2.2.2 Definition und Einteilung von Nanoabfall und nanomaterialhaltigen Abfällen**

Wie in der Einleitung beschrieben, fallen Nanokonsumprodukte am Ende Ihres Lebenszyklus als Abfall an. In Österreich unterliegen Abfälle erst dann dem Abfallrecht, wenn eine Entledigungsabsicht und das öffentliche Interesse an der Erfassung und Behandlung gegeben sind (BMLFUW, 2011b). ENM aus Nanokonsumprodukten, die auf direktem Pfad in die Umwelt emittiert werden, können nicht als Nano-Abfall gelten, sondern werden nach Boldrin et al. (2014) als „Nano-Kontaminationen“ bezeichnet (vgl. Greßler et al. 2014a). Für eine solche „Nano-Kontamination“ gilt, dass sie im Gegensatz zu Nanoabfall nicht sammelbar ist. (vgl. Abb. 7). Als „Nanoabfälle“ werden nach Boldrin et al. (2014), feste Abfälle bezeichnet, die absichtlich oder unabsichtlich mit ENM in Kontakt kommen und gesammelt werden, worunter auch ENM-haltige Nebenprodukte aus der Industrie und End-of-Life Nanoprodukte fallen. Wenn ENM beispielsweise durch den Konsum von flüssigen Nanoprodukten oder Auswaschung von beschichteten Materialien (z.B. Sonnencreme oder Textilbeschichtung) auf direktem Pfad ins Abwasser gelangen, gelten ENM erst dann als Nanoabfall, wenn diese in der Kläranlage im Klärschlamm anfallen und dieser nach Abfallwirtschaftsgesetz (BGBl, I, Nr. 102/2002) weiterbehandelt werden muss. Laut Studie zur Bestandsaufnahme „Nanotechnologie und Abfall“ im Auftrag der Bundesregierung Deutschland (Reihlen und Jepsen, 2015), wird der Begriff „Nano-Abfall“ nur für Abfälle verwendet, die lediglich bei der Herstellung und Verarbeitung von Nanomaterialien anfallen. Abfälle bestehend aus Produkten, in denen Nanomaterialien enthalten sind, werden als „nanomaterialhaltige Abfälle“ bezeichnet. Auch nanomaterialhaltige Rückstände bei der Abfallbehandlung, zum Beispiel Klärschlämme oder Filterrückstände aus thermischen Verwertungsanlagen, werden ebenfalls als nanomaterialhaltige Abfälle bezeichnet. Da die vorliegende Arbeit auf den Produktlebenskreislauf von ENM-haltigen Nanokonsumprodukten fokussiert ist, wird der Begriff „ENM-haltige Abfälle“ für entsorgte Nanokonsumprodukte gewählt. Verglichen mit den Definitionen von Boldrin et al. (2014) fallen darunter „nicht-kontaminierter Abfall“, welche unabsichtlich (E)NMs enthält sowie „End-of-Life Nanoprodukte“, welche absichtlich (E)NMs enthalten.

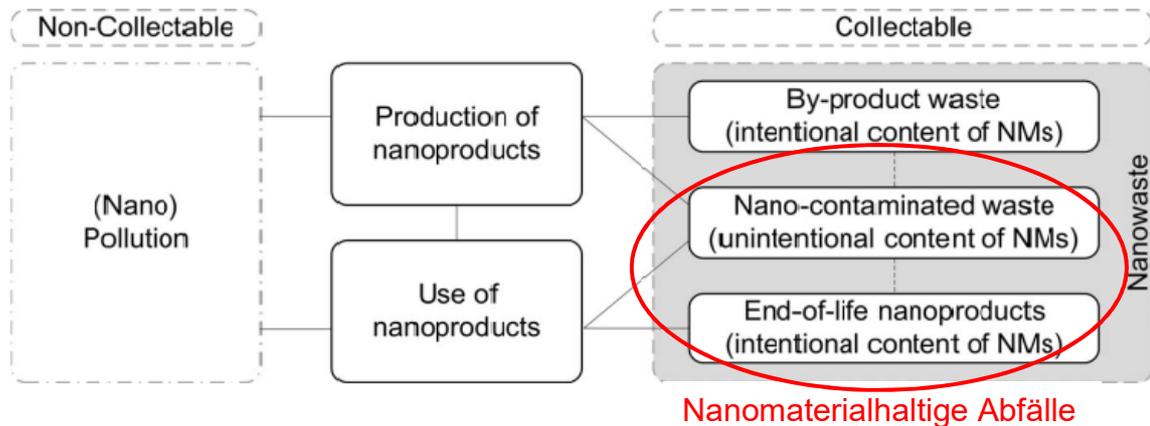


Abb. 7: Entstehung von Nano-Abfall (grau hinterlegt) im Produktlebenszyklus auf direkten und indirekten Pfad; (adaptiert nach Boldrin et al. (2014), rot=Differenzierung zu „nanomaterialhaltigen Abfälle“ gemäß Reihlen und Jepsen, 2015)

Im Leitfaden der British Standard Institution (BSI, 2007) werden die für Nanoabfall relevanten ENM (Fullerene, CNTs Nanodrähte, Quantenpunkten und sonstige Nanopartikel) aufgeführt und Handlungsmaßnahmen definiert. Im Umgang mit nanomaterialhaltigen Abfallströmen richtet sich der vom BSI angestrebte Plan nach den Vorgaben des US Departenents für Energie (DOE, 2007) und dem Leitfaden der UK Umwelt Agentur für die Beseitigung von gefährlichen Abfällen (EA, 2005). Zu Nanoabfällen zählen demnach:

- Rein vorliegende Nanomaterialien
- Stoffe und Materialien, welche mit Nanomaterialien kontaminiert sind, wie Container, Wischtücher und Einweg-PPE
- Flüssige Suspensionen, die Nanomaterialien enthalten
- Feststoffe und Nanomaterialien, die brüchig sind und eine Nanostruktur aufweisen, welche frei oder an der Oberfläche gebunden ist, sodass diese im Verdacht steht sich abzulösen bzw. sich im Kontakt mit Luft und Wasser auszuwaschen oder, wenn vermutet wird, dass eine starke mechanische Beanspruchung stattgefunden hat

Zu beachten ist, dass der Leitfaden sich vor allem an Industriebetriebe und chemische Labore richtet, also Bereiche die Maßnahmen zum Schutz von ArbeitnehmerInnen zu treffen haben. Ob im Sinne des Leitfadens eine Anwendung auf den abfallwirtschaftlichen Umgang mit ENM-haltigen Haushaltsabfällen möglich ist, muss noch näher untersucht werden. Angewendet auf den Haushaltsbereich würden unter c) ENM-haltige Beschichtungsmittel (für Textil-/Auto-/Haushaltsbereich), unter d) alle Materialien an denen Beschichtungsmittel angebracht werden (d.h. Textilien, Autos, Fensterglas, Möbel und dgl.) oder b) auch nicht-ENM-haltiger Abfall bzw. Behältnisse fallen, welche mit ENM in Berührung kommen.

### 2.2.3 Abfallwirtschaftlicher Umgang mit ENM-haltigen Abfällen

Bisher gibt es keine abfallwirtschaftlichen Regelungen für ENM-haltige Abfälle. Während einerseits einige ENM-haltige Produkte (Nanokonsumprodukte), wie Lithium-Batterien (Venugopal et al. 2010) oder OLED-Leuchtmittel (UBA, 2013) im österreichischen Abfallstrom getrennt gesammelt und recycelt werden, gelangen viele andere Nanokonsumprodukte mit dem Hausmüll ungetrennt in den Abfallstrom. Welchen Einfluss ENM auf das Recycling haben oder ob sich durch das Vorhandensein von ENM in Recyclingstoffen Nachteile hinsichtlich der Wiederverwertbarkeit des Materials ergeben ist noch weitgehend unklar (GR, 2011; Struwe und Schindler, 2012). Vor allem im ArbeitnehmerInnenschutz zeigt sich wachsende Besorgnis, da in vielen Ländern Leitfäden erstellt wurden, um risikoverringende Strategien und Maßnahmen zum Umgang mit ENM an Arbeitsplätzen zu etablieren. Angelehnt an den Leitfaden der British Standard Institution (BSI, 2007) enthält der österreichische „Leitfaden für das Risikomanagement von Nanomaterialien am Arbeitsplatz“ (BMASK, 2010) wichtige Informationen zum abfallwirtschaftlichen Umgang. Dieser geht speziell auf die Abfallsammlung von Nanomaterialien in Laboren ein. Folgende Vorkehrungen werden demnach empfohlen:

- Sammlung in dicht schließenden Abfallbehältern
- Angebrachtes Behälter-Etikett mit Verweis auf den nanoskaligen Charakter des enthaltenen Stoff und beigefügten Informationen über dessen bekannte und vermutete Eigenschaften
- Sammlung von Metallpulvern in Metallbehältern und Oxide in Kunststoffbehältern
- Lagerung in einem Abzug oder an einem ähnlich geeigneten Ort
- Sammlung von Papieren, Reinigungstüchern, Persönliche Schutzausrüstung im Arbeitsschutz (PSA), und andere Gegenstände mit loser Nano-Kontamination in einem (antistatischen) Plastiksack. Lagerung des gefüllten Sacks in zweiten Plastiksack oder anderem dichtem Behältnis mit und anschließendem Verschließen, Etikettierung und geeigneter Lagerung (Abzug oder dgl.)

Aufgrund des vermuteten toxischem Verhalten von ENM, wird von der British Standard Institution (BSI, 2007) sowie vom österreichischen Arbeitsinspektorat (BMASK, 2010) zufolge geraten, dass Nanoabfälle, welche z.B. in Laboren anfallen, nicht in den regulären Abfallstrom gelangen sollen. Im Zweifelsfall sollen derartige Nanoabfälle als gefährliche Abfälle behandelt werden. Als gefährlich ist ein Stoff dann einzustufen, wenn im Fall einer Inhalation, Verdauung oder Eindringen in die Haut, ein bedingtes Gesundheitsrisiko zu erwarten ist (BGBl. II Nr. 227/1997). In Österreich werden gefährliche Abfälle meist thermisch vorbehandelt, ausgestuft oder exportiert und danach ober- bzw. untertägig deponiert (BMFLUF, 2011a).

Eine Anwendung der oben genannten Punkte auf die abfallwirtschaftliche Praxis bei der Entsorgung von ENM-haltigen Haushalts- bzw. Gewerbeabfall, welche ebenso Maßnahmen zum Schutz von ArbeitnehmerInnen erfordert, ist zu diskutieren.

Ziel der niederländischen Bestandsaufnahme „Nanomaterialien im Abfall“ des Health Council of The Netherlands/ Gezondheidsraad (GR, 2011) ist generelles Bewusstsein für ENM in Abfällen zu schaffen und bestehende Abfallmanagementsysteme zu hinterfragen. Im Fokus stehen unlösliche und nicht-abbaubare Nanomaterialien, Vom abfallwirtschaftlichen Standpunkt wird zwischen

„gebundenen“ bzw. „ungebunden“ Nanomaterialien in Produkten unterschieden. Es wird schlussgefolgert, dass Wissensdefizite zum Verbleib von ENM im Abfall, dessen Abfallmanagement sowie zur möglichen ENM-Freisetzung von ENM-haltigen Abfall in die Umwelt bestehen. Als mögliche Maßnahmen werden seitens der Produkthersteller „Cradle-to-Cradle“-Philosophie (zu deutsch: „von der Wiege zur Wiege“) bzw. Ökodesign genannt, seitens Abfallwirtschaft die Adaptierung bestehender Behandlungstechniken wie die Abfallvergasung als Alternative zur konventionellen Abfallverbrennung (GR, 2011).

#### 2.2.4 Aufkommen von Nano-Produkten und -Abfällen

In der Abfallwirtschaft wird grundsätzlich zwischen Produktions-, Gewerbeabfällen und kommunalen Abfälle unterschieden (BMFLUF, 2011a). Fällt ENM-haltiger Abfall im Haushalt an, wird dieser z.B. über den Restmüll entsorgt (vgl. Kap. 4.1.1, Tab. 23 ). Wie viele ENM-haltige Produkte als häuslicher Abfall entsorgt werden, ist nach derzeitigem Stand noch nicht zu beantworten, da in der Literatur nur vereinzelte Studien existieren, die sich mit dem Aufkommen oder ähnlichen Themen rund um Mengen von ENM in Produktion oder Konsumprodukten beschäftigen. Nach Schätzungen aus dem Jahre 2006 wurden 2004 2000 Tonnen synthetische Nanomaterialien hergestellt, für 2011 wurden schon 58000 Tonnen prognostiziert (Maynard, 2006). Piccinno et al. (2012) fasst folgende weltweiten Jahresproduktionsmengen für die häufigsten ENM zusammen:

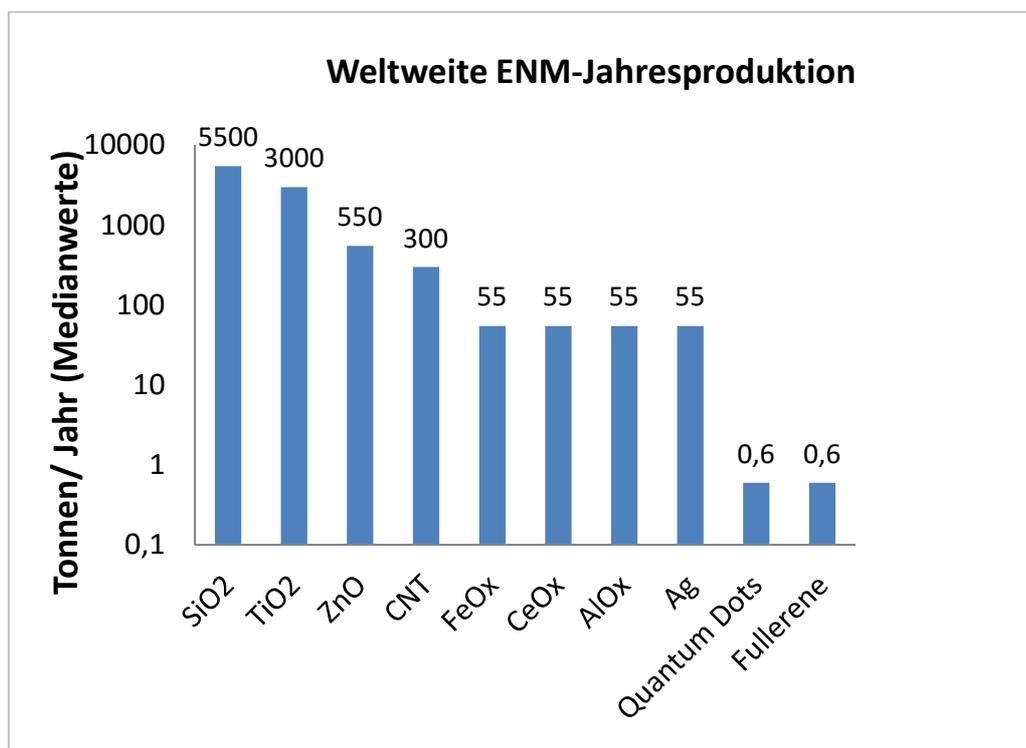


Abb. 8: ENM-Produktionsmengen (in Tonnen/Jahr; Medianwerte) (adaptiert nach Piccinno et al. (2012))

Aus Abbildung 8 kann entnommen werden, dass nano-SiO<sub>2</sub> und nano-TiO<sub>2</sub> die zwei häufigsten produzierten ENM sind. Des Weiteren werden ebenso nano-ZnO und Kohlenstoffnanoröhren sowie in geringerem Maße nano-FeO<sub>x</sub>-, CeO<sub>x</sub>-, AlO<sub>x</sub>, Ag,

Quantenpunkte und Fullerene genannt. Piccinno et al. (2012) konnten diese Ergebnisse mittels Unternehmensbefragung erheben. Nach Rejeski und Lekas (2008) sind Ag und Kohlenstoffnanoröhren, die am häufigsten eingesetzten ENM. Eine Studie zur industriellen Produktion in der Schweiz nennt nano-Ag, -Al-, Fe-, Si-, Ti, Zn-Oxide als am häufigsten eingesetzte ENM (Schmid and Riediker, 2008). Die durchgeführte Unternehmenserhebung in der Schweiz ergab, dass 1 % der befragten Unternehmen angaben, ENM in Ihren Unternehmen zu verarbeiten.

Um das ENM-Aufkommen in Zukunft besser abschätzen zu können, sollten ENM herstellende oder verarbeitende Unternehmen Informationen zur Produktionsmenge und Verarbeitung preisgeben (Musee, 2011). So könnten diese Informationen für einzelne ENM-haltige Produkte oder industrielle Anwendungen herangezogen werden, um Mengenabschätzungen entlang des Produktlebenszyklus zu erleichtern (Musee, 2011).

Ein wichtiger Aspekt für das globale Abfallmanagement von ENM ist die Verbringung von Abfall in andere Länder. Eine große Menge von Elektronikartikel, Automobile oder Kleidung passiert mit Hilfe des internationalen Gebrauchsgüterhandels die Grenzen der EU nach Afrika oder Asien. Oft werden aus diesen Handelswaren noch gewinnbringende Ressourcen geschöpft, allerdings werden meist die unverwertbaren Reste mit giftigen Substanzen hauptsächlich auf ungesicherten Deponien ohne Basisabdichtung abgelagert. Da nicht ausgeschlossen werden kann, dass ENM-haltige Abfälle in Entwicklungsländern unsachgemäß entsorgt werden und ENM dort in höherem Maße in die Umwelt gelangen, als dies in der EU zu erwarten wären, fordern NGOs hier Maßnahmen von Seiten der EU ein (Hontelez, 2009).

### **2.3 Verbleib von ENM in der End-of-Life Phase**

Ziel dieses Kapitels ist, den bisherigen Kenntnisstand zum Verbleib von ENM in der Siedlungswasser- und Abfallwirtschaft, in Bezug auf die wichtigsten Abwasser- und Abfallbehandlungsarten der EU darzustellen. Neben allgemeinen Erkenntnissen aus der Forschung, wird vor allem fallbezogen (nano-TiO<sub>2</sub>, -Ag, -SiO<sub>2</sub>, -ZnO, CNT vgl. Picciono et al. (2012)) auf abwasser- sowie abfallwirtschaftliche Aspekte eingegangen, um in weiterer Folge die im Rahmen der Stoffflussanalyse identifizierten Senken diskutieren zu können. Die Ergebnisse der Stoffflussanalyse (siehe Kap. 4.3 Szenario 1 „nano-TiO<sub>2</sub> in Sonnencremen“ und Szenario 2 „nano-Ag in Putztüchern“) zeigen, dass Klärschlämme wichtige temporale Senken und Deponien wichtige Senken für in Nanokonsumprodukten eingesetzte ENM sein können. Neben den ermittelten Stoffflüssen für die ausgewählten Produktbeispiele, können in Nanokonsumprodukten eingesetzte ENM auf unterschiedlichste Weise in Abfallströme gelangen. Anhand von statistischen, EU-weiten Abfall- und Klärschlammstatistiken soll auf große Unterschiede in der Behandlung und Verwertung von Klärschlamm und Abfall hingewiesen werden, sodass sich folglich für idente Nanokonsumprodukte unterschiedliche ENM-Senken in unterschiedlichen Ländern ergeben können.

### 2.3.1 Allgemeines zu ENM-haltigen Abfallströmen

In der EU27 wurden im Jahre 2010 (siehe Abb. 10) 36 % der Siedlungsabfälle deponiert, zu 22% verbrannt und 40% recycelt und kompostiert (CEWEP, 2010). Feststellbar ist ein klarer Unterschied zwischen alten und neuen Mitgliedsstaaten: Während in den neuen Mitgliedsstaaten, aufgrund des EU-weiten Deponierungsverbots von unbehandelten Siedlungsabfällen, der Anteil von deponiertem Abfall stark abnimmt, werden in vielen Mitgliedstaaten immer noch mindestens mehr als die Hälfte aller Abfälle in Deponien beseitigt. In Österreich werden Siedlungsabfälle mit dem europaweit höchsten Anteil von über 70% recycelt und kompostiert sowie zu 30% verbrannt.

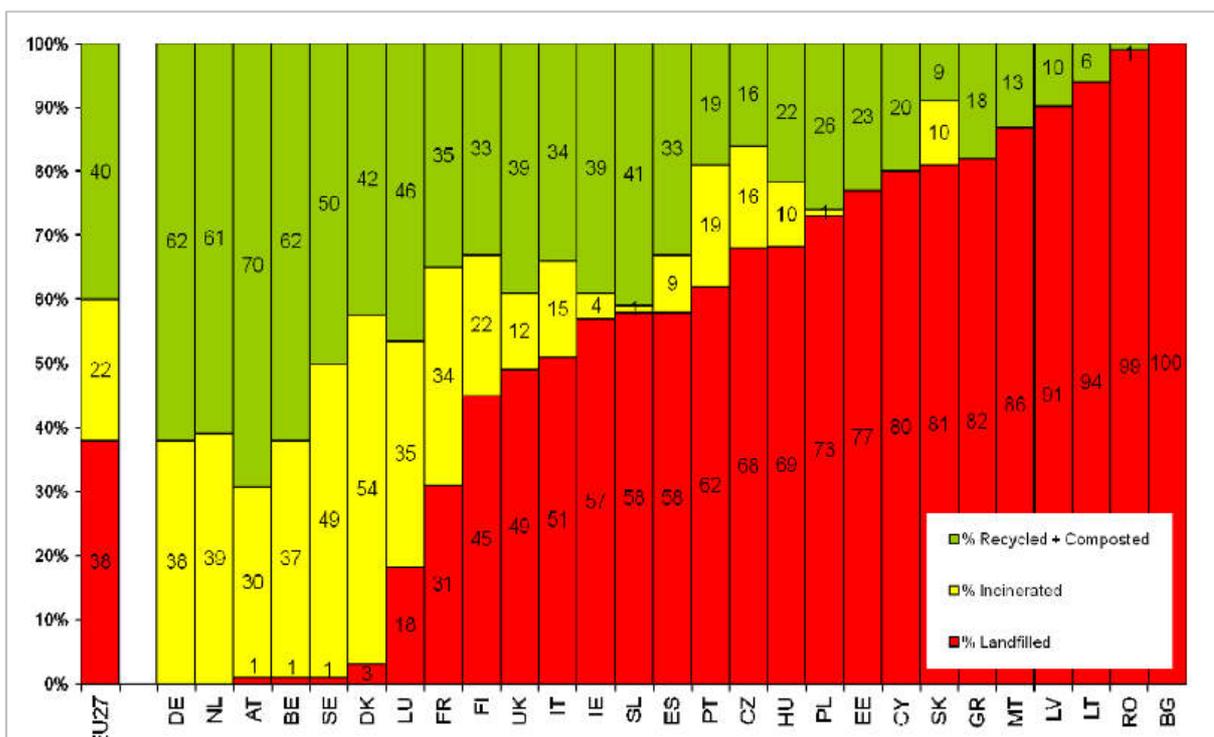


Abb. 9: Behandlung von Siedlungsabfällen in EU27 bezogen auf das Jahr 2010; Quelle: CEWEP (2010)

Neben festen Siedlungsabfällen können mit dem Abwasser transportierte ENM in Form von Klärschlamm anfallen. Nach Kelessidis und Stasinakis (2012) wird kommunaler Klärschlamm in EU-27 zu 41% landwirtschaftlich verwertet, zu 19% verbrannt, zu 17% deponiert, zu 12% kompostiert und zu 12 % sonstiger Behandlung unterzogen. Die Unterschiede sind sehr länderspezifischen (vgl. Abb. 10:): Während beispielsweise in Belgien, den Niederlanden und Griechenland der Anteil von verbrannten Klärschlamm überwiegt, wird in Ländern wie Portugal, Irland und Spanien Klärschlamm vorwiegend in der Landwirtschaft verarbeitet. Laut Egle et al. (2014) liegt der Anteil verbrannter Klärschlämme in Österreich bei über 49%, 36% der Klärschlämme werden biologisch behandelt sowie 15% landwirtschaftlich verwertet.

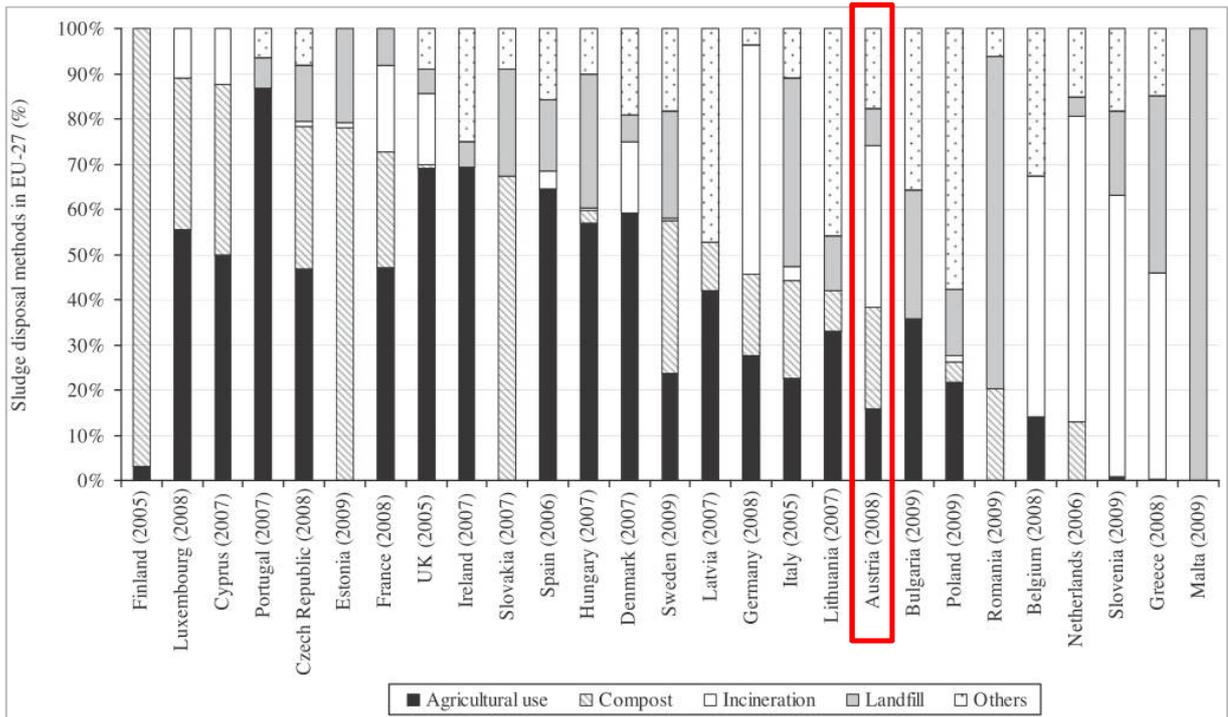


Abb. 10: Methoden zur Klärschlamm Entsorgung in EU-27 europäischer; rot=Österreich (Quelle: Kelessidis und Stasinakis, 2012)

### 2.3.2 Abwasserbeseitigung

Vor allem durch die tägliche Verwendung von ENM-haltiger Kosmetika, Textilien, Beschichtungs- und Reinigungsmittel können ENM in Abwasseraufbereitungsanlagen gelangen und durchlaufen die konventionellen Reinigungsstufen der mechanischen, physikalischen, biologischen und chemischen Reinigung. Laut Brar et al. (2010) aggregieren ENM in erster Linie mit dem im Abwasser enthaltenen groben Schmutz an lagern sich durch Sedimentation somit im Klärschlamm ab.

Die Anlagerung von ENM kann durch Zugabe von Koagulations- und Flockungsmitteln zusätzlich technisch begünstigt werden. Für nicht angelagerte, freie Partikel ist der Sedimentationsweg nicht ausreichend, sodass diese weiter in die biologische Behandlung gelangen können (Brar et al. 2010). In der biologischen Behandlung angelangt, interagieren Nanopartikel mit den dort vorhandenen Mikroorganismen, welche unterschiedlichen Oberflächenladungen und Bindungsverhalten aufweisen. Nach Eduok et al. (2013) lässt sich das Zusammenspiel von ENM und Mikroorganismen im Abwasser anhand der Faktoren Löslichkeit, Bioverfügbarkeit und Bioreaktivität beschreiben. Außerdem ist laut den Autoren eine Bewertung von Fall zu Fall notwendig, da die physikalischen Eigenschaften der ENM sehr unterschiedlich sein können und deren Verhalten in Kläranlagen demnach auch sehr unterschiedlich sein kann. Aus diesem Grund wird im Folgenden auch nur fallbezogen auf das Verhalten von ENM während der Abwasseraufbereitung eingegangen:

Vor allem zum Verhalten von Nano-TiO<sub>2</sub> in Abwasserreinigungsanlagen liegen bisher einige Ergebnisse vor, die für einen Rückhalt von mindestens 70% bis maximal 96% (vgl. Tab. 3) im Belebtschlamm sprechen (Kiser et al. 2009, Westerhoff et al. 2011, Johnson et al. 2011,). Dabei lagen in den genannten Studien die Rohschlamm-

Konzentrationen bezogen auf den Titan-Gesamtgehalt im Bereich von 30-3000 µg/l TS. In der Studie von Johnson et al. (2011) wurde zusätzlich eine Konzentration im Klärschlamm in Höhe von 350 mg/kg TS hochgerechnet, welche sich an die von Gottschalk et al. (2009) modellierte Titan Konzentration von 100-433 mg/kg TS annähert. Für die Region Europa wird im Modell von Gottschalk et al. (2009) ein mittlerer Wert von 3 µg/l nano-TiO<sub>2</sub> (bezogen auf 3,2 µg/l Ti<0,45 µm) im Kläranlagenablauf angenommen. In einer aktuelleren Studie (Park et al. 2013), konnte eine Eliminierungsrate von 95% nachgewiesen werden, bezogen auf eine Zulaufkonzentration von 10000 µg/l und einer Konzentration von 58 µg/l im Kläranlagenablauf. Die untersuchten nano-TiO<sub>2</sub>-Partikel wurden anhand Elektronenmikroskopmessungen und dynamischer Lichtstreuung als 17 bzw. 202 nm große Partikel charakterisiert.

Konz. im Zulauf [µg/l]	Konz. im Ablauf [µg/l]	Korngrößenbezug [µm]	Eliminierungsrate [%]	Referenz
2000-3000	5-15	Ti<0,7	70-85	Kiser et al. 2009
181-1233	<25	Ti<0,4	>96%	Westerhoff et al. 2011
30	3,2	Ti<0,45	89%	Johnson et al. 2011

Tab. 3: gemessene Titan-Konzentrationen in der Literatur von nano-Titan im Kläranlagen-Zulauf/Ablauf

Neben nano-TiO<sub>2</sub> konnte auch ein Rückhalt im Belebtschlamm für andere kommerziell relevante Nanopartikel, wie nano-Ag (Kaegi et al. 2011, Park et al. 2013, Lingxiangyu et al. 2013), LFU 2013) und nano-SiO<sub>2</sub> (Jarvie et al. 2009) festgestellt werden. Dabei scheint auch die Oberflächenbeschichtung der Partikel eine entscheidende Rolle zu spielen. So floccen oberflächenbeschichtete nano-SiO<sub>2</sub>-Partikel, wie sie in vielen Beschichtungsmitteln zu Anwendung kommen, weitaus schneller aus, als nicht-oberflächenbeschichtete nano-SiO<sub>2</sub>-Partikel (Jarvie et al. 2009). Im Gegensatz zeigt die Studie von Limbach et al. (2008), dass die Zugabe von Tensiden die kolloidale Stabilität von Nanoceriumoxid verbessert und damit weitaus weniger Partikel im Schlamm gebunden werden. Generell sind Transformationen zu erwarten, wie dies durch Oxidation und Sulfidisierung bei nano-Ag (Kaegi et al. 2011) und nano-Zn (Liu et al. 2011) beschrieben wurde.

Für Kohlenstoffnanoröhren liegen nicht vergleichbare Daten vor, wie dies für die bereits genannten ENM der Fall ist (Petersen et al. 2011). Zum einen können die Erkenntnisse von Hyung et al. (2007) und Kennedy et al. (2008) für das Verständnis von Kohlenstoffnanoröhren in der Abwasserreinigung herangezogen werden, welche die Kohlenstoffnanoröhren-Stabilisierung durch Beisein von natürlichem organischen Material beschreiben. Zum anderen liefern Holbrook et al. (2010) wichtige Erkenntnisse, welche das Agglomerationsverhalten durch Zugabe von Koagulationsmitteln untersucht haben.

Es ist anzumerken, dass die Mehrzahl der Studien mit hohen Konzentrationen durchgeführt werden, die nur durch extensiven Konsum ENM-haltiger Produkte realistisch wären. In der Studie von Weir et al. (2012) wird beispielsweise als durchschnittliche Tagesfacht von 0,1 mg/Pers./Tag errechnet, welche auf den Konsum vom Lebensmittel und Kosmetika bezogen ist. Derartig hochgerechnete

Tagesfrachten oder Messungen der direkten Zulaufkonzentration wären wünschenswert.

### 2.3.3 Thermische Abfallbehandlung

Sofern Klärschlamm nicht landwirtschaftlich oder sonstig verwertet werden kann, gelangt er als Abfall meist in die Abfallverbrennungsanlage. Bezogen auf das Gesamtvolumen stellt der thermisch verwertete Anteil von festem ENM-haltigen Siedlungsabfall einen weiteren Input dar (vgl. Tab. 4). Wie Holder et al. (2013) zusammenfassend berichten, fallen ENM vor allem durch die Verbrennung von Polymeren (z.B. in Form von Verpackungsabfall, Farben oder Altreifen), sowie durch ENM-haltigen Klärschlamm (Emissionen verursacht durch ENM-haltige Kosmetika oder Textilien) an. Die Studie von Köster et al. (2007), beschreibt das Vorhandensein von kolloidalen Schwermetallen (Cu, Pb, Zn, Cr) in der Rostasche von Abfallverbrennungsanlagen. Aufgrund fehlender Messmethoden konnte nicht zwischen primären, bereits im Abfall enthaltenen ENM und Nanopartikeln, die sekundär bzw. als Nebenprodukt während des Verbrennungsprozess entstehen, differenziert werden. Modelle, welche Daten über die thermische Verwertung von ENM-haltigem Abfall im Abfallstrom liefern (vgl. Tab. 4), basieren oft auf Hochrechnung von Produktionsmengen (Mueller und Nowack, 2008; Gottschalk et al. 2009).

Region (Referenz)	MVA-Input	Ag	TiO <sub>2</sub>	CNT	ZnO
<b>Schweiz</b> (Mueller und Nowack, 2008)	Direkt	0,63	30,2	1,75	---
	Via ARA	2,65	201,87	---	---
	Gesamt	3,28	232,07	1,75	
<b>USA</b> (Gottschalk et al., 2009)	Direkt	1,2	212,9	12,5	5,2
	Via ARA	2,7	229,3	0,14	33,2
	Gesamt	3,9	442,2	12,64	38,4

Tab. 4: Modellierter Abfallstrom für direkt thermische verwertete ENM in t/Jahr aus Produktion, Herstellung und Konsum bzw. via Abwasserreinigungsanlagen (Quelle: Holder et al. 2013)

Eine andere Möglichkeit zur Ermittlung des Aufkommens ENM-haltiger Abfälle besteht in der produktspezifischen Hochrechnung: Bezogen auf den bekannten ENM-Mengenangaben schließen z.B. Roes et al. (2012) auf einen 7%-igen Anteil von nanokomposithaltigen Kunststoffabfall am Gesamtkunststoffabfall (12% vom Gesamtinputmaterial), welcher durchschnittlich in Verbrennungsanlagen anfällt. Da sich nahezu alle Typen von ENM in Polymere einbauen lassen (Holder et al. 2013), finden sich in Nanokompositen eine Vielzahl unterschiedlicher nanoskaliger Stoffe, wie AlO<sub>x</sub>, Si, ZnO<sub>x</sub>, Au, Ag und Carbon Black, Fullerene und CNTs (Roes et al. 2012). Der Verbleib von im Abfall enthaltenen ENM wird durch physikalische und chemische Bedingungen im Verbrennungsprozess bestimmt. Grundsätzlich werden umweltschädliche Substanzen in oxidativer Umgebung bei Temperaturen von 850-1200 Grad vollständig verbrannt (Holder et al. 2013). Die häufigste Art der Abfallverbrennung in Europa stellt derzeit die Rostfeuerung dar (Roes et al., 2011).

Hier durchläuft der Abfall mitsamt den enthaltenen ENM die teils oxidierenden, teils reduzierenden Phasen von Trocknung, Entgasung, Entzündung, Vergasung, Verbrennung/Veraschung (Lemann, 1997).

Für die von Roes et al. (2011) untersuchten ENM (nano- $\text{Al}_2\text{O}_3$ , - $\text{SiO}_2$ , - $\text{ZnO}$ , - $\text{Au}$ , - $\text{Ag}$  und Carbon Black, Fullerene und CNTs) lässt sich auf theoretischer Ebene bzw. aufgrund der physikalischen und chemischen Partikeleigenschaften auf ein Risikopotential nach der Verbrennung schließen. Risiko besteht dann, wenn das Partikel entweder zu klein ist, um durch moderne Filtertechnologien entfernt zu werden oder das Partikel sich im festen Verbrennungsrückstand ablagert, sodass Risiko durch spätere Auslaugung von festen Rückständen besteht. Ein erhöhtes Risiko kann auch dann für bestimmte Nanopartikel (z.B. nano- $\text{SiO}_2$ ) zutreffen, wenn sich an deren Oberfläche andere Schadstoffe aus dem Verbrennungsprozess anlagern und diese in die Umwelt gelangen. Einen ersten praktischen Ansatz über das Verhalten von ENM im Verbrennungsprozess liefern die Walser et al. (2012), welche durch Zugabe von 10 kg Nanoceroxid zwei mögliche Verbrennungsszenarien simulierten. Dies geschah durch direktes Besprühen des Abfalls vor der Verbrennung oder unmittelbares Einsprühen in den Verbrennungsraum, wobei annähernd 100% des beigefügten Nanoceriumoxids in der Verbrennungsanlage zurückgehalten werden konnte. Messungen der Zusammensetzung von Flugasche ergaben, dass nur im Durchschnitt 0,00079 Gewichtsprozent in Form von Nanopartikel (<100nm) vorliegt und diese bezogen auf die Gesamtpartikelanzahl einen Anteil von 10% ausmachen (Mueller et al, 2012). Weitere Modellberechnungen der Autoren ergeben, dass die nano- $\text{Ag}$ , nano- $\text{TiO}_2$  und nano- $\text{ZnO}$  hauptsächlich in der Rostasche bzw. Verbrennungsschlacke wiederzufinden sind und deponiert werden. Auch in der Studie von Vejerano et al (2014) wird über die Ablagerung von ENM in der Rostasche berichtet, teilweise ohne Veränderung von Morphologie und Größe. Es wurde beobachtet, dass nano- $\text{TiO}_2$ , - $\text{CeO}_2$ , und - $\text{FeO}_2$  zwar zu größeren Gebilden aggregierten, die Partikel aber gekapselt vorlagen. Eine Aggregatbildung konnte für nano- $\text{Ag}$ , CdSe-Quantum Dots und nano- $\text{NiO}$  nicht nachgewiesen werden. In einer Studie von Vejerano et al (2013) wurde auch beschrieben, dass ENM nachweislich bei der Verbrennung von ENM-haltigen Papier- und Kunststoffabfall zu einer erhöhten Entstehung von polyzyklischen Kohlenwasserstoffen und polychlorierte Dibenzodioxinen/furanen (PAHs und PCDD/Fs) beitragen können. Die vermehrte Entstehung solcher toxischer Substanzen könne darauf zurückgeführt werden, dass ENM durch die hohe spezifische Oberfläche katalytische Eigenschaften haben können.

Im Fall von CNTs schlussfolgern Petersen et al. 2011, dass CNTs, welche in Polymermatrix eingebunden wurden möglicherweise nicht gänzlich verbrennen und somit auch in der Rostasche enthalten sein könnten. Ebenso nach Chiva-Joly et al. (2012), ist bei der Verbrennung von Kohlenstoffnanoröhren entscheidend, in welche Matrix sie eingebunden sind und in welchem Massenverhältnis. Massari et al. (2014) schlussfolgern u.a. zum Verbleib von Nano- $\text{TiO}_2$ , dass der Verbleib von ENM im Verbrennungsprozess sehr abhängig ist von der untersuchten Abfallfraktion bzw. Art des Produkts (unterschiedliche Produkte mit unterschiedlichen Farbbestandteilen) ist. In Zukunft sollten mehr Untersuchungen im Großversuch stattfinden sollten, so die Autoren. Einen weiteren interessanten Aspekt hinsichtlich dem Life-Cycle von ENM zeigen Impellitteri et al. (2013) indem sie Klärschlamm mit nano- $\text{Ag}$  versetzen, sodass nano- $\text{Ag}$  zu  $\text{Ag-S}$  Komplexen sulfidiert. Das im Klärschlamm in dieser Form enthaltene Silber kann sich im Verbrennungsprozess zurück elementares nano- $\text{Ag}$

verwandeln. Laut elektronenmikroskopischer Messung konnten allerdings freie Partikel sondern ausschließlich Aggregate von nano-Ag nachgewiesen werden. Um der Gefahr einer Freisetzung von ENM aus deponierten Verbrennungsrückständen oder Sekundärrohstoffen entgegen zu wirken, sprechen sich Walser et al. (2012) für eine Entwicklung hin zu abbaubaren Nanopartikeln aus.

Ebenso wie die Analyse von ENM in Verbrennungsprozessen sind gegenwärtige oder zukünftige Mengenabschätzungen wichtig, um Gefahren zu bewerten. Auf Basis der Modellberechnungen von Mueller und Nowack (2008) berechnen Vejerano et al. (2014) eine Emissionsrate für mit Elektrofilter ausgestatteten Verbrennungsanlagen. Bei einem Input von 100 Tonnen und 13% ENM-haltigen Abfall (Mueller und Nowack, 2008) mit angenommenen 0,1% ENM-Gewichtsprozent, sind Vejerano et al. (2014) zufolge jährliche Emissionen in Höhe von 0,13 -1,5 kg zu erwarten. Nur ein kleiner Anteil von 0,021%-0,25% geht als direkte Emission in die Atmosphäre über.

### 2.3.4 Recycling

Wie sich ENM in der stofflichen Verwertung von Abfällen bzw. des Recyclings verhalten, ist noch weitestgehend unklar (Part et al. 2015). Eine Freisetzung von ENM während dem Recycling in Luft und Wasser ist laut Struwe und Schindler (2012), als staubförmiger Abrieb z.B. durch Zerkleinerung oder Vermahlen, durch Auswaschung ins Prozesswasser (Reinigungs-/Abwasser), bei der Verbrennung und Anreicherung im Rauchgas bzw. Verdampfen in leicht löslichen oder stark erhitzten Medien denkbar. Derzeit liegen für Recyclingprozesse keine Untersuchungen mit geeigneten Messmethoden vor (Part et al. 2015b). In welcher Menge ENM in Recyclingstoffströme gelangen und ob sich Probleme für den Arbeitnehmerschutz in Verbindung mit auftretenden ENM-haltigen Stäuben ergeben, ist laut Struwe und Schindler (2012) noch völlig unklar und erfordert eingehende Untersuchungen. Die Autoren Köhler et al. (2008) diskutieren beispielsweise das ENM-Freisetzungsverhalten anhand CNT-haltiger Textilien und Batterien entlang des Produktlebenszyklus. Im Fall der Batterien könnte eine Exposition in die Umgebung während dem Vermahlen bzw. Zerkleinern im Zuge des Recyclingprozesses auftreten, wenn die Hülle der Batterie beschädigt wird. Im Fall der Textilien, welche häufig recycelt werden, ist Köhler et al. (2008) zufolge eine „Kreuzkontamination“ von CNT-haltigen Textilien denkbar. In der „fibre-to-fibre“-Technologie (zu Deutsch: Garn-zu-Garn-Technologie) könnten demnach CNT-haltige Textilien durch Shreddern, Reinigung oder Sortierung, Webvorgang in Recyclingtextilien miteingearbeitet werden. Auch die fehlende Nachverfolgbarkeit beim „Down-cycling“ zu Ersatzbaustoffen (z.B. Dämmmaterial) sieht Köhler et al. (2008) als problematisch. Die Auswirkung des Einsatzes von Nanokompositen (Nano-Tonminerale,  $\text{CaCa}_3$ , Ag, ZnO) auf die Recyclierbarkeit bzw. die Strapazierfähigkeit von Kunststofffolien (PE, PP, PET) wurde von Sánchez et al. (2014) untersucht. Im Vergleich zu konventionellen Kunststofffolien erwiesen sich ENM-haltigen Kunststofffolien ebenso mechanisch stabil und strapazierfähig, mit Ausnahme von Nano-Ag-haltigen PET-Folien, welche bei steigendem nano-Ag Anteil Zersetzungerscheinung im Kunststoff aufwiesen. Zusätzlich wird durch den Einsatz von ENM in den Kunststofffolien die Transparenz der Folien vermindert, welche vor allem im Lebensmittelverpackungsbereich erforderlich ist.

Für den Bereich Elektroaltgeräte liefern Lui et al. (2012) erste Erkenntnisse, welche das Auslaugverhalten von in der Produktmatrix fest eingebetteten CdSe/ZnS Quantum Dots durch saurehaltige Lösungsmittel untersuchen. Derartige Quantum Dots werden

vor allem im Beleuchtungssystemen (LEDs oder TVs) oder Solarmodulen eingesetzt und sind dort fest in die Produktmatrix eingebettet, sodass nur von einem geringen Risiko während der Produktnutzung ausgegangen werden kann (Part et al. 2015b). Rückgewinnungsversuche durch Auslaugung und Anreicherung von ENM aus Galvanikschlamm wurden bisher nur von den Autoren Zhuang et al. (2012) beschrieben. Anhand von nano-SnO<sub>2</sub> – als Beispiel für amorphe metallische oder hydroxydische ENM in Galvanikschlamm – konnten Zhuang et al. (2012) aus 2,3 kg Schlamm 90g bzw. 12 % des primär enthaltenen nano-SnO<sub>2</sub> in Form von Nanodrähten rückgewinnen. Die Autoren sehen Möglichkeiten höherer Rückgewinnungsraten, welche aber nur durch längere Prozessdauer und höhere Energiekosten umsetzbar wären. Bestätigung findet dies in der Studie von Huang et al. (2013), welche Rückgewinnungsraten für Ni, Fe, Cu von bis zu 95% erzielen konnten. Ob das Ausgangsprodukt nanopartikulär vorlag oder nicht, wurde hier allerdings nicht beschrieben.

Neben der beschriebenen Rückgewinnung von ENM aus der metallverarbeitenden Industrie, ist auch eine Gewinnung von ENM aus nicht-ENM haltigen Produkten bekannt. Wirtschaftliches Potential birgt in diesem Zusammenhang die Herstellung von Graphen- Quantum Dots aus biogenen Abfällen oder Kunststofftragetaschen (Suryawanshi et al. 2014, Altalhi et al. 2013), welche in Zukunft zur Herstellung von kostengünstigen organischen Solarzellen zum Einsatz kommen können (Gupta et al. 2014).

### **2.3.5 Ablagerung von Abfällen**

Es wird erwartet, dass weltweit bis zu 86 % aller produzierten ENM in Deponien enden (Keller und Lazereva, 2013). Durch das Deponierungsverbot von unbehandeltem Restmüll in der EU und der damit verbundenen Vorbehandlung (mechanisch-biologisch/thermisch) von Abfall sind unterschiedliche Transformationen der ENM im Verbrennungsprozess, so wie sie von Impellitteri et al. (2012) anhand von Nano-Ag beschrieben wurden, zu erwarten. Grund zur Sorge hinsichtlich der Freisetzung von ENM in die Umwelt geben die sehr unterschiedlichen Deponierungsraten von alten und neuen EU-Mitgliedsstaaten. In Industrienationen wie beispielsweise den USA wird mehr als die Hälfte der Abfälle direkt, ohne Vorbehandlung, deponiert (UBA, 2011). Anhand des Entsorgungssystems der Schweiz konnte gezeigt werden, dass ca. 100kg CNT, 5 t ZnO- und Ag- sowie 150 t TiO<sub>2</sub> ENM jährlich in Deponien enden (Mueller et al., 2013). Kenntnisse zum Verhalten von ENM in Deponien sind deshalb unabdingbar, um mehr die potentielle Freisetzung von ENM aus Deponien verstehen zu können (Reinhart et al., 2010). Fragestellungen zum Verhalten von ENM in Deponien sind nur durch eine aufwendige Laboruntersuchungen zu beantworten, wobei die Autoren darauf hinweisen, dass sich die Simulation von Deponiebedingungen im Labor als sehr schwierig erweist. Dies zeigt sich an den Studien wie jener von Hennebert et al. (2013), welche in den Sickerwässern von Siedlungsabfall Kolloide und Nanopartikel (As, Ba, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, V) in einer Konzentration von >100 µg/l nachweisen konnten. Ob, und in welchem Maß nanopartikulären Emissionen von ENM-haltigen Abfall ausgehen, war messtechnisch nicht feststellbar, da es nicht möglich ist zwischen nanopartikulären Emissionen von ENM-haltigen und nicht-ENM-haltigen Abfällen zu differenzieren. Studien von Saleh et al. (2010) und Hyung et al. (2008) zeigen auf, dass unterschiedliche Deponiebedingungen das Verhalten und die Stabilität von Kohlenstoffnanoröhren beeinflussen. So sind vor allem Art und

Zusammensetzung des vorhandenen organischen Materials entscheidende Faktoren, ob Kohlenstoffnanoröhren in der Deponiematrix mobil sind oder nicht. Lozano und Berge (2012) untersuchten in diesem Zusammenhang die Stabilisierung von Kohlenstoffnanoröhren bei unterschiedlichen Ionenstärken und Humingehalten. Ideale Stabilisierungsergebnisse werden demnach bei Bedingungen, wie hohe Ionenstärke (>100mM NaCl) und hohe Humingehalte (>200 mg/l) erzielt, welche für reife/gealterte Deponiesickerwässer charakteristisch sind. Nach Lozano und Berge (2012) sind für die Mobilität von Kohlenstoffnanoröhren vor allem zeitliche Faktoren ausschlaggebend.

Bisher konnten Hemmungserscheinungen an biologischen Abbauprozessen nur bei sehr hohen ENM-Konzentrationen nachgewiesen werden. Bolyard et al. (2013) untersuchten die Auswirkung von ENM (nano-ZnO, -TiO<sub>2</sub>, -Ag) in realen Sickerwässern. Bei hohen ENM-Konzentrationen (0,1-100 mg/l) konnten keine signifikanten Veränderungen der Deponieparameter, wie biologischen Sauerstoffbedarf nach 5 Tagen (BSB<sub>5</sub>) oder Biogasproduktion (BMP von engl. biochemical methane potential) festgestellt werden. Yang et al. (2012) konnten bei 1 mg/kg Deponiegut eine minimale Auswirkungen auf den anaeroben Abbau in Deponien feststellen, allerdings würden methanogene Hemmungserscheinungen nur bei ENM-Konzentrationen von über >10 mg/kg auf, so die Autoren.

Allgemeine Aussagen über das Verhalten von ENM auf die Ablagerung von Abfällen lassen sich teilweise auch aus Erkenntnissen der Bodenforschung ableiten. An dieser Stelle wird auf den Review von Dinesh et al. (2012) verwiesen, welcher wissenschaftliche Erkenntnisse über die Auswirkung von metallischen, kohlenstoffhaltigen Nanopartikeln und Quantum Dots, in Bezug auf Bakterien, Bodenorganismen und Bindungseigenschaften mit organischer Bodensubstanz zusammenfasste. Neben den bekannten negativen Auswirkungen von metallischen Nanopartikeln auf Bodenorganismen werden vor allem die Komplexität der Vorgänge zum Mobilitätsverhalten von Nanopartikel im Boden, dem Nachweis von ENM in komplexen Bodenproben sowie die Wichtigkeit von Bodenuntersuchungen mit ENM an tropischen oder stark degenerierten Böden aufgezeigt. Wegen der Komplexität der Vorgänge in fester und flüssiger Matrix gewinnen Tracerversuche zunehmend an Bedeutung (Part et al., 2015b).

## **3 Produktgruppenanalyse**

### **3.1 Datenbankerstellung**

#### **3.1.1 Untersuchungsrahmen und Begriffserklärung**

Untersuchungsgegenstand sind ENM-haltige Produkte für den Haushaltsbereich (Nanokonsumprodukte). Es soll erhoben werden, welche Nanokonsumprodukte am internationalen Markt erhältlich sind, um die derzeitige und zukünftige Marktsituation für Österreich abschätzen und vergleichen zu können (siehe dazu Greßler et al. 2009, Greßler und Gzásó 2014). Als Datengrundlage dienen 10 online frei verfügbare Datenquellen. Durch Konsolidierung der Datenquellen werden die Produktdaten aussortiert und abgeglichen, um Doppelnennungen zu vermeiden. Eine klare nationale Abgrenzung ist vor allem aufgrund der offenen Marktsituation, einschließlich Internethandel, und der Möglichkeit aus vielen verschiedenen Ländern Waren zu beziehen, nicht gegeben. In einer Detailanalyse werden vor allem Produkte

untersucht, die mind. in 2-3 Datenquellen, bestenfalls in europäischen Datenquellen gelistet sind (Detailuntersuchungsrahmen). Die Zusammensetzung der Produktgruppen wird in kurzer Form veranschaulicht, erklärt und mit Literaturquellen (vgl. Kap 2.1.2 Tab. 2) verglichen.

### **3.1.2 Datenlage**

Der Großteil der Datenquellen geht auf Produktdatenbanken zurück, deren Zweck es ist, den Verbraucher über mögliche Nanoinhaltsstoffe zu informieren. Es werden hauptsächlich Produkte aufgeführt, die im Handel mit „Nano“ beworben werden und deren Eigenschaften einen direkten positiven Nutzen für den Verbraucher versprechen. In der vorliegenden Masterarbeit werden diese, sofern sie dem Untersuchungsrahmen entsprechen, als Nanokonsumprodukte definiert. Produktinformationen zu den erhobenen Nanokonsumprodukten stammen hauptsächlich aus dem Internet wie Webseiten der Hersteller, Produktbroschüren oder Angaben von Onlineshops oder basieren in wenigen Fällen auf wissenschaftlichen Studien. Die bereitgestellten Datenquellen beinhalten unterschiedliche Informationen: Die meisten Datenquellen enthalten Informationen zu Artikelbezeichnung, Produktkategorie, Herstellername, im Produkt enthaltenes ENM bzw. fehlende ENM-Angabe.

In folgender Tabelle (Tab. 5) sind alle verwendeten Datenquellen im Überblick inklusive genauer Bezeichnung, Internetadresse, Zugriffsdatum und Anzahl jener Produkte, die gemäß Untersuchungsgegenstand jeweils in die konsolidierte Datenbank eingegangen sind.

Bezeichnung der Datenquelle und Länderbezug	Internetseite, Stand bzw. Datenimportdatum	Produkte in Ausgangsdatenquelle *1)	erhobene Produkte *2)
PEN The Project of Emerging Nanotechnology (USA)	<a href="http://www.nanotechproject.org/cpi/">http://www.nanotechproject.org/cpi/</a> Datenimport am 25.03.2014	1818	1676
BUND-Nanoprodukt Datenbank des Bundes für Umwelt und Naturschutz (DE)	<a href="http://www.bund.net/nanodatenbank/">http://www.bund.net/nanodatenbank/</a> Datenimport am 25.03.2014	970	970
The Nanodatabase (DK)	<a href="http://nanodb.dk/en">http://nanodb.dk/en</a> Datenimport am 10.02.2014	1275	1109
A) ANEC/BEUC Inventory of products claiming to contain nanomaterials available on the EU market, B) ANEC/BEUC Inventory of products claiming to contain nano-silver particles available on the EU Market (EU)	a) <a href="http://www.anec.eu/attachments/anec-pt-2009-nano-015.xls">www.anec.eu/attachments/anec-pt-2009-nano-015.xls</a> Stand: Oktober 2009 b) <a href="http://www.beuc.org/publications/2013-00103-01-e.pdf">www.beuc.org/publications/2013-00103-01-e.pdf</a> Stand: Februar 2013	a) 475 b) 109	Insg. 493
Wijnhoven et al. 2010; Development of an inventory for consumer products containing nanomaterials (DK)	<a href="http://ec.europa.eu/environment/chemicals/nanotech/pdf/study_inventory.pdf">http://ec.europa.eu/environment/chemicals/nanotech/pdf/study_inventory.pdf</a> Stand: 2010	200	171
Die Datenbank der Nanotechnologie in der Grossregion (Lothringen, Luxemburg, Rheinland-Pfalz, Saarland, Wallonien; DE)	<a href="http://www.nanodaten.de">www.nanodaten.de</a> Datenimport am 25.03.2014	951	340
Nanowerk Nanotechnology Products and Application (USA)	<a href="http://www.nanowerk.com">www.nanowerk.com</a> Datenimport am 25.03.2014	150	34
Datenbank und Homepage nicht mehr verfügbar, bzw. Domain im Neuaufbau (DE)	<a href="http://www.nanoproducts.de">www.nanoproducts.de</a> Datenimport am 25.03.2014	586	136
ICTA International Center for Technology Assessment Inventory of consumer products containing nanosilver	<a href="http://www.beyondpesticides.org/antibacterial/nano-silver_product_inventory.pdf">http://www.beyondpesticides.org/antibacterial/nano-silver_product_inventory.pdf</a> Stand: 2008	260	209 Produkte
Amazon-Suche (Angabe der Lieferadresse in Österreich)	<a href="http://www.amazon.com">www.amazon.com</a> Datenimport am 10.08.2013	104	104 Produkte
*1) Produktanzahl laut aktuellem Stand (17.08.2014) oder Publikationsjahr *2) Anzahl der Produkte, welche dem Untersuchungsrahmen entsprachen (mit Stand/Datum des Datenimports )			

Tab. 5: Herangezogene Datenquellen für die Produktdaten der konsolidierten Datenbank

Im Folgenden werden, die für die Produktgruppenanalyse herangezogen Datenquellen mit derzeitigem Datenstand in Bezug auf ihre bereitgestellten Informationen zum Datenimportdatum einzeln vorgestellt:

**Datenbank von nanotechproject.com (16.11.2015: 1827 Produkte):**

Die Datenbank von nanotechproject.com, welche im Rahmen des Projekts „The Project of Emerging Nanotechnology“ des Woodrow Wilson International Centers entwickelt wurde, war die erste (seit 2006) online verfügbare Nanoproduktedatenbank. Zum Datenimportdatum am 25.03.2014 enthält diese Datenbank 1818 Nanokonsumprodukte, welche in verschiedene Kategorien und Unterkategorien unterteilt werden. Neben der Nennung des enthaltenen ENM für jedes Produkt und vielen anderen Suchfunktion spricht die Verifizierung der produktspezifischen „Behauptungen“ (engl.: „nano-claims“) mittels Einteilung in Kategorien und die Liste für archivierte Produkte für den Informationsgehalt dieser Datenbank. Sie ist daher die in wissenschaftlichen Arbeiten meist zitierte Nanoproduktedatenbank. Verzeichnet sind hauptsächlich US-amerikanische Produkte, gefolgt von Produkten aus Europa und Asien.

Die Datenbank bietet einen ersten guten Einblick, wie Nanotechnologie kommerzialisiert wird und verfolgt einen qualitativen Ansatz, da zur Vermeidung von Redundanzen nur einzelne Produktbeispiele aus den von Unternehmen angebotenen Produktlinien entnommen wurden.

**Datenbank von bund.net/nanodatenbank (16.11.2015: 1050 Produkte):**

Die BUND Datenbank wurde vom Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland entwickelt und beinhaltet zum Datenimportdatum am 03.08.2014 970 Nanokonsumprodukte. Die bereitgestellten Produktinformationen stammen hauptsächlich aus dem Internet. In einem der Produktdatenbank angefügtem Forum ist es möglich im direkten Dialog mit den Autoren der Datenbank Fragen zu den Produkten zu stellen, neue Produkte zu melden oder Hinweise zu Produkten zu veröffentlichen. Die Datenbank enthält eine Rubrik „Nano-Aussteiger“ zur Meldung von Firmen, welche auf einen Einsatz von Nanopartikel in ihren Produkten verzichten.

**Datenbank von nanodb.dk (17.11.2015: 2231 Produkte)**

Die über den Link nanodb.dk online zugängliche Datenbank wurde vom dänischen Rat für Verbraucher, dem dänischen Rat für Ökologie und dem Departement für Umwelttechnik der technischen Universität von Dänemark (DTU) entwickelt und im Rahmen der Verbraucherschutzhomepage „Tænk - Forbrugerrådet“ öffentlich zugänglich gemacht. Das DTU Departement für Umwelttechnik ist für die laufende Erweiterung und Überarbeitung zuständig. Die Datenbank beinhaltet zum Datenimportdatum am 17.08.2014 1275 Nanokonsumprodukte.

Die Datenbank enthält viele US-amerikanische und europäische Produkte, letztere mit Schwerpunkt auf dänische und deutsche Produkte.

Eine Besonderheit der Datenbank ist die farbliche Kennzeichnung aller gelisteten Produkte nach Expositionsrisiko (für Fachleute, Konsumenten, Umwelt) und potentiellen Auswirkungen (auf menschliche Gesundheit und Umwelt). Das

bestehende Risiko wird mithilfe den Gefahrenstufen „hoch“ (rot), „mittel“ (gelb), „gering“ (grün) oder „unbekannt aufgrund fehlender Daten“ (grau) beschrieben. Jedes Produkt wird somit also insgesamt durch 3+2 Gefahrenpunkte beschrieben. Die Farbencodes gehen auf die Richtlinie NanoRiskCat zurück, deren Methodik von (Hansen et al. 2007) beschrieben wurde.

### **Datenbank von ANEC BEUC**

Die erste europaweite Nanoprodukt Datenbank entstand 2009 in Zusammenarbeit der Europäischen Verbrauchergruppe für Standardisierung (ANEC; engl.: European association for the co-ordination of consumer representation in standardisation) und mit dem Europäischen Verbraucherverband (BEUC; französisch: „Bureau Européen des Unions de Consommateurs“). Diese Datenbank enthielt 2010 475 Nanokonsumprodukte, wurde aber in den Jahren 2011-2012 nur mehr für nano-Ag-haltige Nanokonsumprodukte weitergeführt, da hier der größte Zuwachs von Produkten zu beobachten war. Nach der letzten Aktualisierung wurden weitere 109 nano-Ag-haltige Produkte erhoben. Viele Produkte fanden sich in beiden Erhebungen, sodass die beiden Datensätze, im Rahmen der konsolidierten Datenbank zu einem gemeinsamen Datensatz zusammengeführt wurden.

### **Datenbank von Wijnhoven et al. 2010**

Ziel der Studie von (Wijnhoven et al. 2010) lag in der methodischen und praktischen Erstellung eines Datengerüsts für eine Nanoprodukt Datenbank mit konsumentenfreundlicher Suchfunktion. Beispielhaft enthält diese Datenbank 200 am europäischen Markt erhältliche Nanokonsumprodukte. Von großer Wichtigkeit war die Entwicklung einer Methodik zur Produktvalidierung, d.h. die Darstellung der Unsicherheiten bezüglich der Informationsqualität des beworbenen Nanoprodukts und des darin enthaltenen ENM. Für die Datenbank wurden Produkte hauptsächlich über Internetrecherche oder Recherche in einschlägigen wissenschaftlichen Studien erhoben aber auch über Produktetiketten, Kataloge (online/analog) sowie sonstigen Datenbanken.

Da es sich bei dieser Studie um keine praktisch umgesetzte, online-verfügbare Datenbank handelt, sondern um eine im Rahmen der Studie veröffentlichten Liste, sind als Zusatzinformationen zu den Produkten und Suchfunktionen nur die Hauptkategorien, Hersteller, Produktbeschreibung, Produktbezeichnung beziehbar.

### **Datenbank von nanodaten.de (17.11.2015: 951 Produkte)**

Die Homepage nanodaten.de wurde von einer internationalen Arbeitsgruppe unter Führung von Prof. Uwe Hartmann vom Institut für Experimentalphysik der Universität des Saarlandes entwickelt. Beteiligt an dem Projekt sind universitäre Partner aus den Ländern Belgien, Deutschland, Luxemburg und Frankreich mit dem Ziel, Informationen aus und für die Großregion rund um das Thema Nanotechnologie bereitzustellen sowie Akteure miteinander zu vernetzen. Neben der Rubrik „Produkte“, deren gelistete Nanokonsumprodukte als Datenquelle in die konsolidierte Datenbank eingegangen sind, finden sich auch andere Nanotechnologie-spezifische Informationen in den verschiedenen Rubriken der Homepage. Zum Datenimportdatum am 17.08.2014, umfasst die Produktdatenbank 745 Artikel in

deutscher, 201 Produkte in englischer sowie 5 Artikel in französischer Sprache. Eingeloggte Mitglieder können Ihre Produkte mit den gewünschten Produktinformationen eigenständig melden. Von den genauen Kontaktdaten abgesehen, sind die bereitgestellten Produktinformationen von Hersteller zu Hersteller sehr unterschiedlich.

### **Datenbank von nanowerk.com**

Die Homepage nanowerk.com mit Sitz in den USA und Nebensitz Deutschland stellt ebenso wie die letztgenannte Homepage, eine Informations-/Netzwerkplattform für das weite Feld der Nanotechnologie dar und beinhaltet eine große Nanodatenbank für ENM, Unternehmen und Laboratorien, Bildungsprogrammen, Veranstaltungen, Nanotechnologischen Produkten und Links zu einschlägigen Publikationen. Zusätzlich bietet die Homepage Internetauftritte auf Facebook und Twitter an und besitzt einen eigenen YouTube-Kanal. Die Datenbank für Nanotechnologische Produkte mit einer Anzahl von 150 Produkten zum Datenimportdatum am 25.03.2014 ist nur teilweise als Datenquelle für die konsolidierte Datenbank eingegangen, da viele Produkte nicht dem Untersuchungsrahmen entsprachen (insgesamt listet die Datenbank ca. 2500 Produkte). Die Homepagebetreiber weisen ausdrücklich darauf hin, dass es sich bei vielen der gelisteten Produkten nicht direkt um Gebrauchsgegenstände, sondern um in Gebrauchsgegenständen zum Einsatz kommende Industrieprodukte handelt.

### **Datenbank von nanoproducts.de**

Der Zugriff auf die Homepage nanoproducts.de - „Nanodatenbank und Informationsportal für Nanotechnologie ist seit 2014 eingestellt bzw. befindet sich die Seite im Neuaufbau. Die Nanotechnologie Produktdatenbank präsentierte ENM, Geräte, Technologien und Produkte verschiedener Firmen im Bereich Nanotechnologie. Auch hier fand nur ein Teil (ca. 25%) der Produkte Eingang in die Produktgruppenanalyse, da nicht alle Datensätze dem Untersuchungsrahmen entsprachen.

### **Datenbank von ICTA**

Das Internationale Zentrum für Technikfolgenabschätzung ICTA (engl. für International Center of Technology Assessment) hat der US- amerikanischen Umweltschutzbehörde EPA (Environmental Protection Agency) 2008 eine Petition zur strengeren Regulierung von Nano-Ag vorgelegt (ICTA, 2008). Im Rahmen der Petition konnten 260 Konsumprodukte erhoben werden, welche mit nano-Ag beworben werden. Die Produkte wurden im Anhang der Petition als Liste veröffentlicht.

### Produktsuche auf amazon.com

Bis zum jetzigen Zeitpunkt gibt es keine österreichische öffentlich zugängliche Produktdatenbank. Um den österreichischen Markt ebenfalls in seinen Ansätzen zu repräsentieren wurde eine Online-Erhebung mittels Schlagwortsuche und Bestellung von Nanokonsumprodukten auf amazon.com mit Lieferadresse in Österreich durchgeführt. Die Suche wurde in allen relevanten Haushaltsbereichen mit dem Schlagwort „Nano“ am 09.09.2013 durchgeführt und nochmal am 23.02.2014 auf Aktualität überprüft.

### Produktdatenbank von Greßler und Gázsó, 2014

Parallel zur Erhebung im Rahmen dieser Masterarbeit fand eine Aktualisierung der zwischen 2007-2009 erstellten ÖAW-Datenbank „Nano-Konsumprodukte in Österreich“ statt (Greßler et al. 2009, Greßler und Gázsó, 2014).

Durch Gegenüberstellung der Einträge von 2010 und 2014, konnte eine Änderung von 494 auf 492 gelisteten Produkten festgestellt werden, welche im November 2014 endgültig publiziert wurden. Da der Erhebungszeitraum für die im Rahmen dieser Masterarbeit erstellte Datenbank schon im Februar 2014 abgeschlossen war, konnte die Datensätze von Greßler und Gázsó (2014) nicht verwendet werden. Eine Zusammenarbeit erfolgte sodann im Rahmen des Forschungsprojekts „NanoMia“.

#### **3.1.3 Konsolidierung der Datenbank**

Wie zu Beginn beschrieben, mussten die einzelnen Datensätze der Datenquellen abgeglichen und nach dem Untersuchungsgegenstand gefiltert und aussortiert werden (vgl. Kap 3.1.1). Auf diese Weise reduzierte sich der Datensatz um 33 % (vgl. Abb. 11). Der restliche Datensatz von 3.405 Produkten besteht nur mehr aus Einzelnennungen und Überschneidungen (durch Mehrfachnennungen) der Datenquellen untereinander.

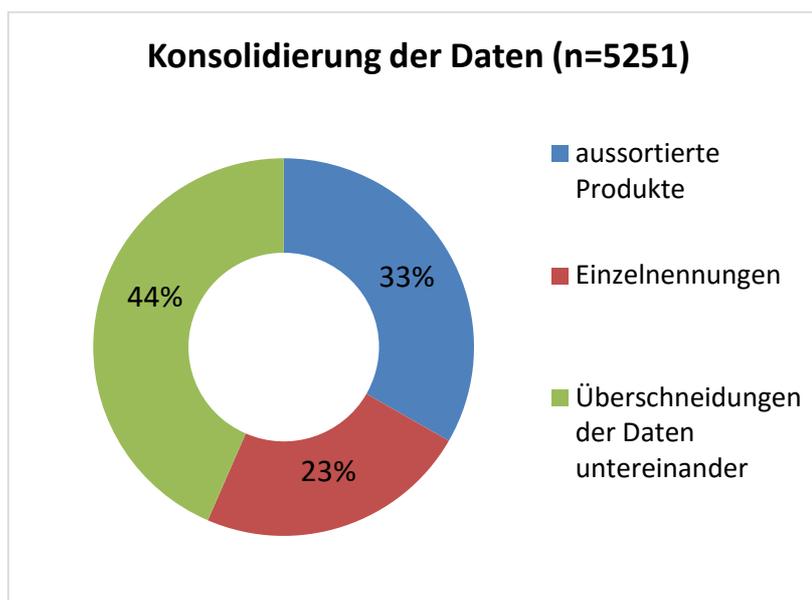


Abb. 11: Konsolidierung der Produktdaten

Diese Einzelnennungen und Überschneidungen der Datenquellen untereinander werden in Abb. 12 nächste Seite detailliert dargestellt.

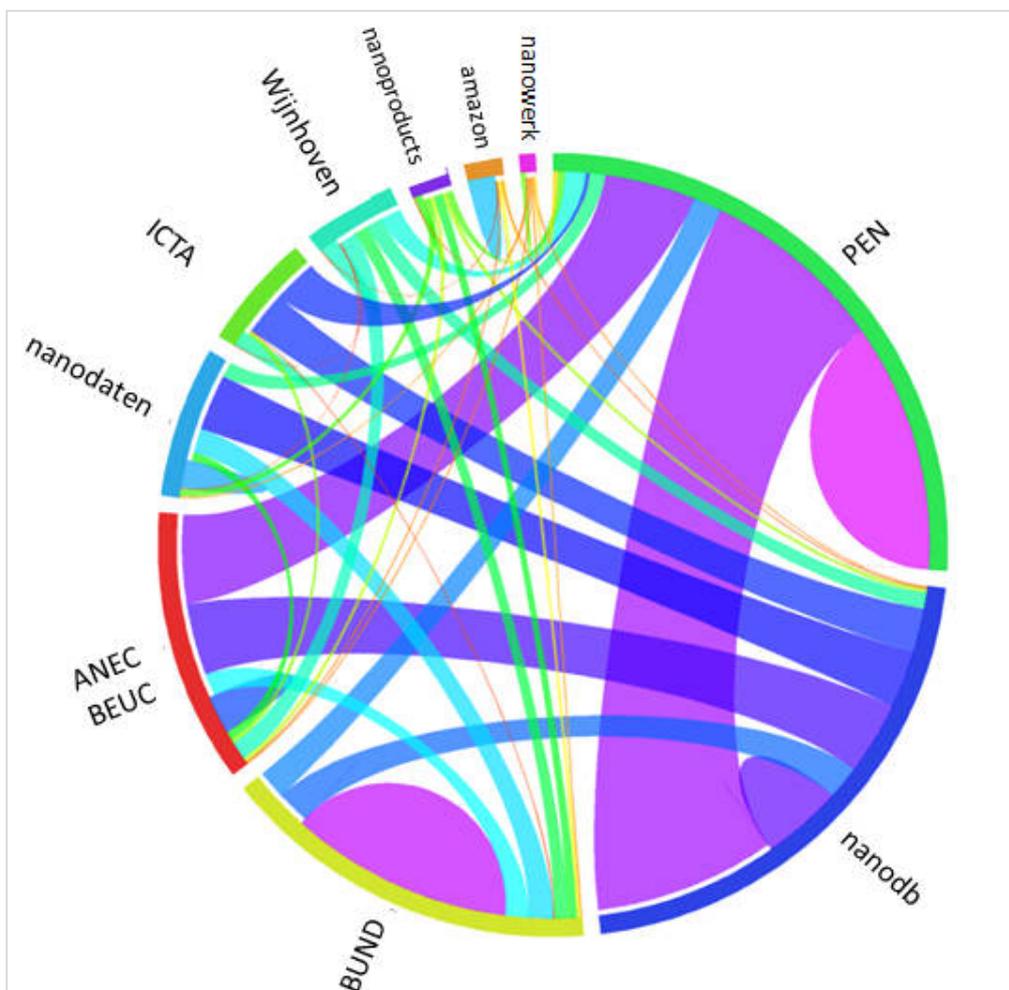


Abb. 12: Einzelnennung und Überschneidungen durch Mehrfachnennungen in der konsolidierten Datenbank; erstellt mittels Online-Eingabe in [www.circos.ca](http://www.circos.ca)

Die Grafik zeigt, dass beispielsweise die „PEN“-Datenbank des Woodrow Wilson Centers sich in den Datensätzen anderer Datenbanken widerspiegelt, wobei keine Aussage getroffen werden kann, ob die Datenbankbetreiber sich untereinander als Quelle heranziehen. Um Aussagen über die europäische Marktsituation bzw. österreichische Marktsituation zu treffen, liefert die Gegenüberstellung der amerikanischen und europäischen Datensätze erste Ansätze. Die Gegenüberstellung der Datensätze von „nanodb“ und „BUND“ im Vergleich zu „PEN“ zeigt, dass die Datensätze von „nanodb“ sich weit mehr in PEN widerspiegeln als jene von BUND. BUND besitzt daneben einen vergleichsweise höheren Anteil von Einzelnennungen. Für die Ableitung von Aussagen über den österreichischen Markt könnte der Datensatz von „BUND“ (Herkunftsland Deutschland) dem von „nanodb“ vorgezogen werden, da als Erklärung für viele Einzelnennungen mehr deutsche Produkte als US-amerikanische Produkte beinhaltet sind. Dennoch ist festzuhalten, dass die jeweiligen Merkmale/Suchfunktionen der einzelnen Datenquellen wie Herkunftsland, Produktbezeichnung (Sprache) die wertvollsten Informationen zur regionalen Marktsituation liefern. Zusätzlich ist anzumerken, dass die Marktsituation ohne

eindeutige Abgrenzung hinsichtlich der geographischen Unterscheidung mit einer gewissen Unschärfe verbunden ist.

Die meist zitierte Datenbank in einschlägiger Fachliteratur ist die „PEN“ Datenbank. Zum Zeit der Datenauswertung (Stand: März 2014) besitzt diese Datenbank in Bezug auf alle in dieser Datenbank gelisteten Produkte einen Produktanteil von 48 % ohne Angabe des enthaltenen ENM. Aktuell (18.11.2015) werden in der PEN Datenbank 53% der Produkte ohne Angaben zum enthaltenen ENM aufgeführt. Im Fall der „PEN“ Datenbank zeigt sich, dass durch die Konsolidierung einzelnen Produkten bestimmte ENM-Bezeichnungen zugeordnet werden konnten. Im Vergleich liegt der Anteil aller Produkte ohne Angaben zum enthaltenen ENM in der konsolidierten Datenbank allerdings bei 61 % (siehe Abb. 13).

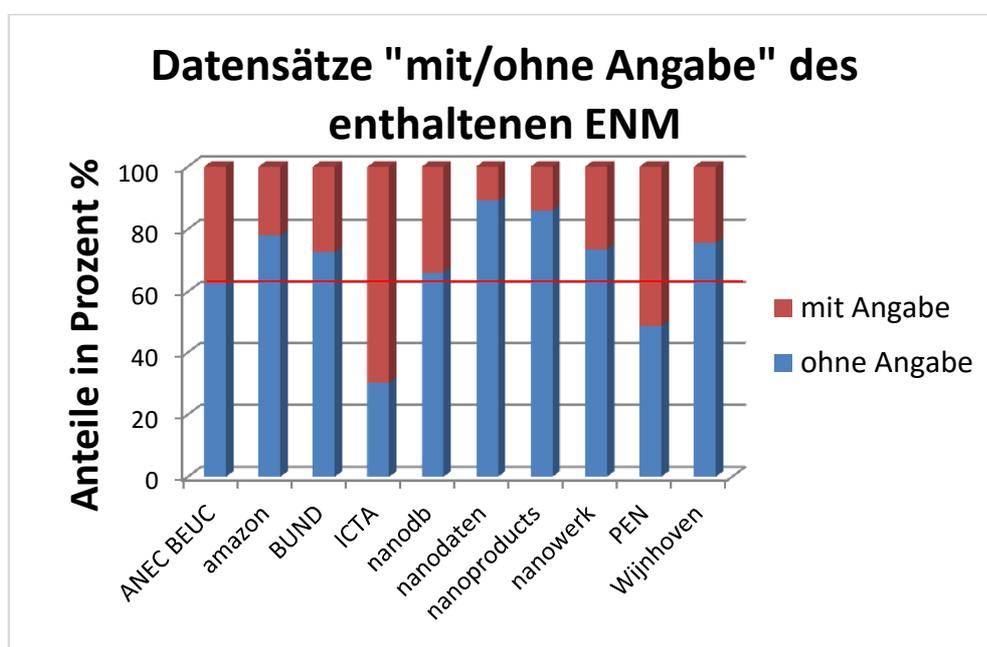


Abb. 13: Prozentuale Anteile von Produkten mit oder ohne Angabe des enthaltenen ENM in den einzelnen Datenquellen (Stand: März 2014)

Es ist zu betonen, dass die konsolidierte Datenbank nur mehr die Angaben der abgeglichenen Datensätze enthält. Im Fall des Datensatzes von ICTA (2010), die laut Beschreibung 100% Nano-Ag-Produkte enthält, konnte laut Methodik zur Konsolidierung und Validierung nur für 70% der Produkte mit Nano-Ag als enthaltenes ENM identifiziert werden. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass im Rahmen der ICTA-Erhebung auch Produkte aufgenommen wurden, die zwar im Namen des Produkts das Wort „Nano-Ag“ enthalten, nicht aber in der Produktbeschreibung Informationen zum ENM mitaufführen.

### 3.1.4 Datenstruktur

#### ENM-Einteilung

Insgesamt konnten 58 verschiedene ENM (siehe Anhang Tab. 27) identifiziert werden, und nach Gruppen des Periodensystems (Nichtmetall, Erdalkalimetall, Alkalimetall, Metall (Halbmetall, Übergangsmetall) verschiedenen Materialklassen (metallische, erdalkalihaltige, karbonhaltige, metalloxidische ENM sowie Nanokomposite/Nanomineralien) zugeordnet werden. Vereinheitlicht wurde ebenso die genaue Bezeichnung der ENM, so wie sie in den Datenquellen zu finden waren. Der Vollständigkeit halber wurden spezielle Bezeichnungen als solche belassen, auch wenn es sich um sehr ähnliche Stoffe handelt, wie im Fall von „Aktivkohle“, „Kohlenstoff“, „Industrieruß“ oder bei speziellen Formen der Polymere. Bei Produkten ohne Angabe zum enthaltenen ENM wurde mittels Internetrecherche eruiert, ob sich spezielle Informationen über das enthaltene ENM finden lassen. In wenigen Fällen war die Suche erfolgreich, sodass das jeweilige Produkt einem bestimmten ENM zugeordnet werden konnte. Eine universale chemische Formel, sofern sie für das jeweilige ENM bekannt ist, wurde ebenfalls ergänzt (siehe Anhang Tab. 27). Neben den elementar vorliegenden ENM wurden ENM, die als chemische Verbindungen vorliegen, einer Materialklasse zugeordnet.

Die hier verwendeten Materialklassen in Tabelle 6 sind etwas detaillierter als die Einteilung nach Nowack und Bucheli (2007) (siehe Kap. 2.1.1 Tab. 1), welche die ENM grob nach ihrem organischen oder anorganischen Charakter klassifizieren.

ENM Materialklassen	Beispiele von enthaltene Elementen
erdalkalische ENM	Ca, Mg
metallische ENM	Li, Ti, Fe, Ag, Zn, Au, Si
karbonhaltige ENM	C
metalloxidische ENM	Ti, Fe, Ag, Zn und Au in Verbindung mit O
Nanokomposite/ Nanomineralien	Si

Tab. 6: ENM-Materialklassen der konsolidierten Datenbank und Beispiele zugehöriger Elemente

Neben den in Tab. 6 aufgeführten Materialklassen, gibt es nach der genannten Einteilungsmethodik strenggenommen noch eine Klasse der „phosphathaltigen“ ENM. Diese Materialklasse ist allerdings nur auf eine Produktserie (Batterien) zurückzuführen, welche in der Produktdatenbank „nanodb.dk“ verzeichnet ist. Bei Produkten ohne Angaben zum enthaltenen ENM konnte dementsprechend keine Materialklasse zugeordnet werden.

## Kategorien und Produktbezeichnungen

Tab. 7 listet die verschiedenen Kategorien und eine Auswahl von Produktbezeichnungen, wie sie in der konsolidierten Datenbank vorkommen.

Kategorie	Auswahl der enthaltenen Produkte
Autozubehör	Autoreifen, Batterie, Beschichtungsmittel, Eiskratzer, Katalysator, Kraftstofffilter, Lack, Luftfilter, Motoröl, Reinigungsmittel, Schmiermittel, Wischtuch
Baumaterialien	Beton, Bodensteinplatten, Dachziegel, Farbe, Fassadenputz, Fensterglas, Flammschutz, Fliesen, Glas, Holzlasur, Klebstoff, Lack, Mörtel, Zement
Beschichtungen	für verschiedene Materialien und Oberflächen (Fußboden, Elektronik, Glas, Haushalt, Holz, Keramik, Kunststoff, Lack, Metall, mineralischer Untergrund, Papier, Sanitär, Stein, Textil)
Einrichtung i.w.S.	Armatur, Kücheneinrichtung, Möbel, Sanitäreinrichtung, Schuhregal, Türschloss
Elektrokleingeräte	Bügeleisen, Elektrorasierer, Epiliergerät, Fußmassagegerät, Glätteisen, Haarglätteisen, Haartrockner, Kaffeemaschine, Klimaanlage, Lockenstab, Lockenwickler, Luftbefeuchter, Smartphone, Staubsauger, Sterilisiergerät, Taschenlampe, Telefon
Elektronik	Autoradio, Bildschirm, Computerfestplatte, Computertastatur, Display, Druckertinte, Headset, Kamera, Lautsprecher, LED-Beleuchtung, MP3-Player, Notebook, OLED, Smartphone, Videokamera
Fahrzeugzubehör	Beschichtungsmittel für Schiffe, Campingwagen, Fahrrad
Garten	Bodenstabilisator, Fungizid, Insektizid, Pestizid, Pflanzenstärkungsmittel, Schwimmbadfolie, Wasserspeicher
Gesundheit / Medizin	Augenlinsenbehälter, Desinfektionsmittel (Haut), Hörgerät, Katheter, Knieprothese, Nahrungsergänzungsmittel, Ohrstöpsel, Pflaster, Schwangerschaftstest, Wärmepflaster, Wundverband, Zahnmatrix
Haushaltsgeräte	Bügeleisen, Gasherd, Klimaanlage, Kühlschrank, Luftbefeuchter, Luftfilter, Staubsauger, Sterilisiergerät, Waschmaschine, Waschmaschine (Zubehör), Wasserfilter
Heimtextilien	Bettwäsche, Decke, Handtuch, Kissen, Matratze, Reinigungsschwamm, Reinigungstuch, Sitzkissen
Kinder	Beißring, Body, Decke, Handschuhe, Lätzchen, Sauger, Schlafanzug, Schnuller, Sonnenschutzmittel, Spielzeug, Trinkbecher, Trinkflasche, Zahnpflegemittel

Kosmetik	Deodorant, Gesichtspflegemittel, Haarbürste, Haarglätteisen, Haarpflegemittel, Körperpflegemittel, Lippenpflege, Lockenwickler, Makeup, Nagellack, Sonnenschutzmittel, Zahnbürste, Zahnpflegemittel
Küche	Aluminiumfolie, Backform, Besteck, Bratpfanne, Frischhaltedose, Kochtopf, Küchenutensilien, Lebensmittelverpackung, Reinigungshandschuhe, Schneidbrett, Teekanne, Trinkbecher, Wasserflasche
Lebensmittel	Fertiggericht, Getränk, Kartoffelbrei, Käse, Kaugummi, Kokoscreme, Mayonnaise, Milchprodukt, Popcorn, Speiseöl, Süßigkeiten, Tee, Trinkwasser
Reinigungsmittel	Reinigungsmittel für verschiedene Oberflächen (Anti-Graffiti, Boden, Elektronik, Fliesen, Geschirr, Glas, Holz, Keramik, Küche, Kunststoff, Lebensmittel, Luft, Metall, Sanitär, Stein, Textil), Reinigungstuch, Weichspüler
Sonstige	Armbanduhr, Bodenmatte, Brille, Diamant, Fotopapier, Füllfeder, Fußpumpe, Heizbeschichtung, Papier, Photovoltaikfolie, Regenschirm, Schlüsselanhänger, Schmuck, Solarglas, Sonnenbrille, Textilheizung
Sport und Outdoor	Angel, Badmintonschläger, Baseballschläger, Eispickel, Fahrrad, Fernglas, Gitarrensaite, Golfschläger, Gymnastikmatte, Kletterseil, Koffer, Ski, Snowboard, Steigeisen, Tennisschläger, Trinkflasche, Wasserjet
Textilien	Bekleidung (Kinder und Erwachsene), Berufskleidung, Sport- und Freizeitkleidung, , Textilfasern
Tiere	Anti-Pilz und Anti-Milben Produkte für Hunde und Pferde, Haustiershampoo, Hundekorb und -decke, Pferddecke

Tab. 7: Kategorien der konsolidierten Produktdatenbank mit Produktbeispielen (adaptiert nach Greßler et al. 2009)

## 3.2 Ergebnisse der Produktgruppenanalyse

### 3.2.1 Häufigkeit von Produkten

Die erhobenen Produkte der konsolidierten Datenbank wurden den in der Methodik beschriebenen Kategorien zugeordnet. Im Folgenden finden sich einige Datenbankauswertungen zu Häufigkeiten, die dabei helfen sollen, einzelne Aspekte in der Detailanalyse zu beleuchten und zu klären:

#### Produktgruppen-Kategorien

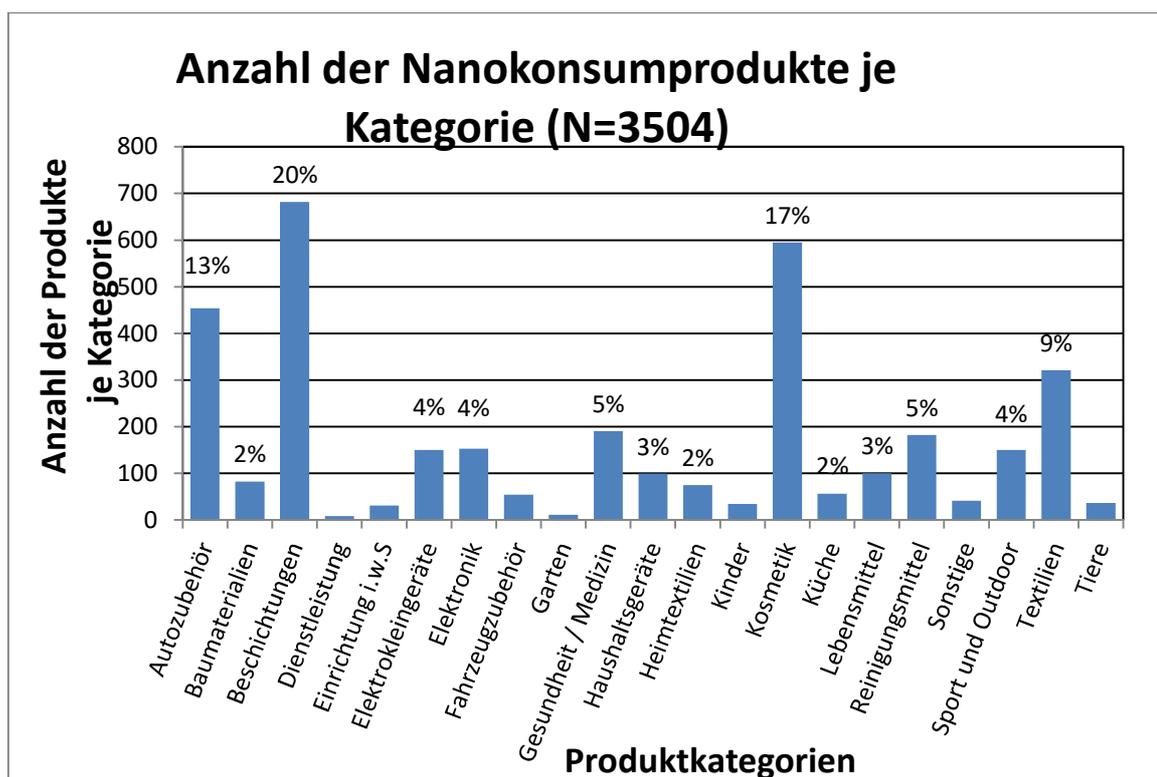


Abb. 14: Anzahl der Nanokonsumprodukte je Kategorie in konsolidierter

Wie sich aus Abb. 14 schließen lässt, finden sich ca. 60% der 3504 Produkte in den Kategorien „Beschichtung“, „Kosmetik“, „Autozubehör“ und „Textilien“ mit Anteilen von 20, 17, 13, 9% wieder. In den restlichen 40% (n<200) der Produkte sind am häufigsten Produkte der Kategorien „Gesundheit/ Medizin“, „Reinigungsmittel“, „Sport und Outdoor“, „Elektrokleingeräte“, „Elektronik“ vertreten.

**Produkte ohne ENM-Angaben**

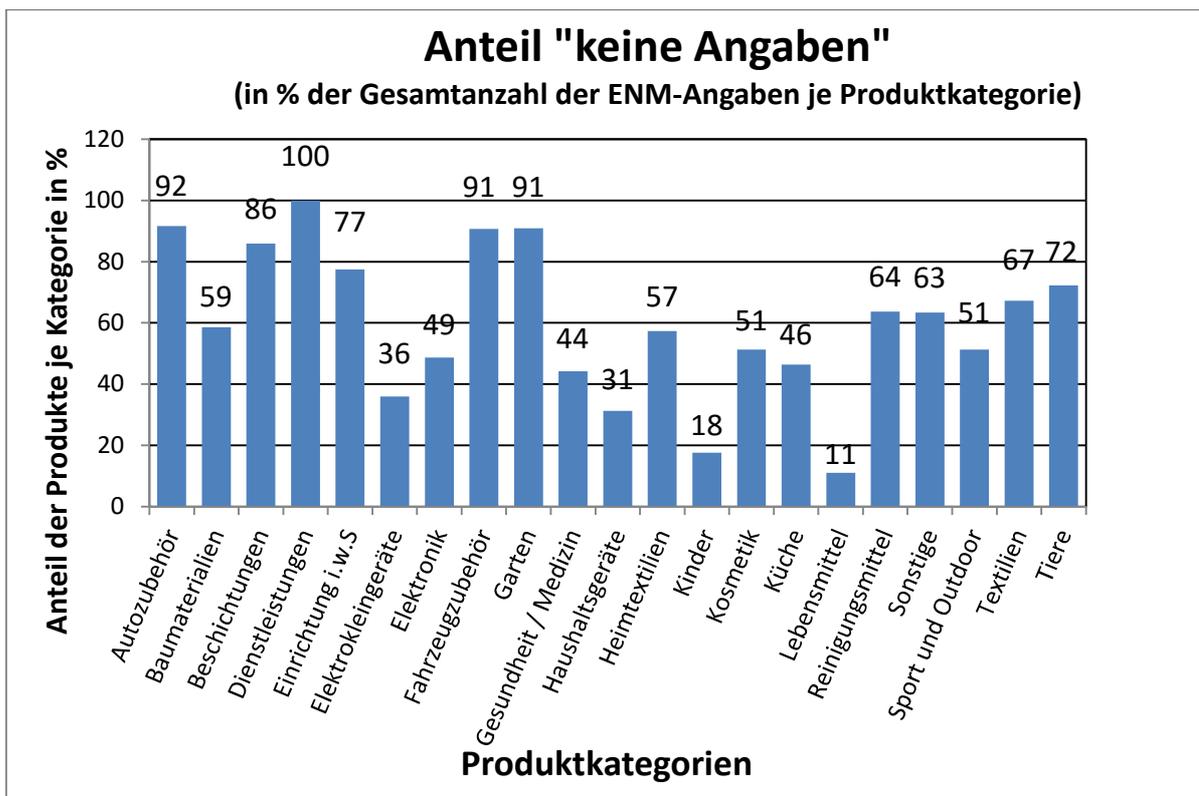


Abb. 15: Anteil der Nanokonsumprodukte je Kategorie und "keine Angaben"

Abb. 15 zeigt, dass die Anteile (>80%) von Produkten ohne Angabe eines enthaltenen ENM besonders hoch sind in den Kategorien „Dienstleistungen“, „Autozubehör“, „Fahrzeugzubehör“, „Garten“ „Beschichtungen“. Bei den „Dienstleistungen“ und „Fahrzeugzubehör“ mit einer absoluten Anzahl von 8 bzw. 54 Produkten fällt dies nicht ins Gewicht, anders aber bei den Produkten der Kategorie „Beschichtungen“ und „Kosmetik“ mit 682 bzw. 582 Produkten, die schon zusammen 38% der Produkte ausmachen.

## Nutzenkategorien

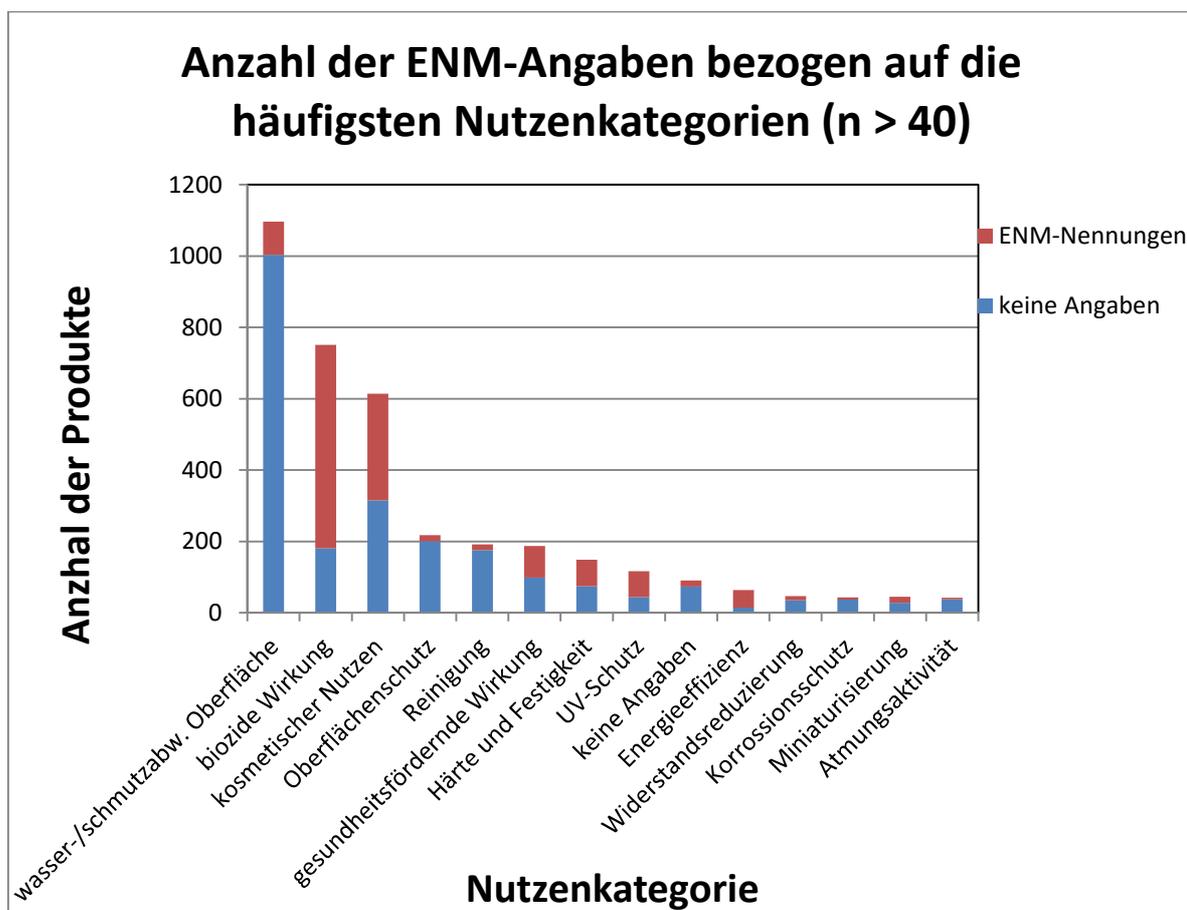


Abb. 16: Anzahl der Produkte, mit und ohne Angaben zum enthaltenen ENM, pro Nutzenkategorie mit Anteilen

Durch Vergleich von Literaturangaben (siehe Tab. 2 ) zu einzelnen Produkten bzw. Produktgruppen geben Nutzenkategorien Aufschluss darüber, welche ENM sich hinter Produkten mit unbekanntem Nanoinhaltsstoff (vgl. Abb. 16) verbergen könnten ((z.B: OLED oder Textilien (UBA, 2013a, 2013b)), Lebensmittel (Chaudhry et al. 2008, Möller et al. 2009, Greßler et al. 2008), Kosmetika (Mihrayan et al. 2012, Greßler et al. 2009b), Beschichtungen (UBA 2014, Greßler et al. 2010), Baumaterialien (Lee et al. 2010, Van Broekhuizen et al. (2011), Hanus und Harris (2013), UBA 2014, Greßler und Gzásó, 2012).

Wie in der Abbildung 16 ersichtlich ist, ist der Anteil von Nanokonsumprodukten, welche zur Erzeugung von wasser-/schmutzabweisenden Oberflächen eingesetzt werden, besonders hoch.

### 3.2.2 Häufigkeit von ENM

Wie schon in Kap. 3.1.4 wurden, konnten insgesamt 58 verschiedene ENM (siehe Anhang 6.1 Tab. 28) identifiziert, in Untergruppen eingeteilt und in Summe 25 Elementen im Periodensystem zugeordnet werden. In untenstehender Grafik (Abb. 17) wurden die relevanten Element farblich hervorgehoben. Chemische Summenformeln für die identifizierten ENM wurden in der Tabelle 28 im Anhang wurde ergänzt (siehe Anhang 6.1 Tab. 28).

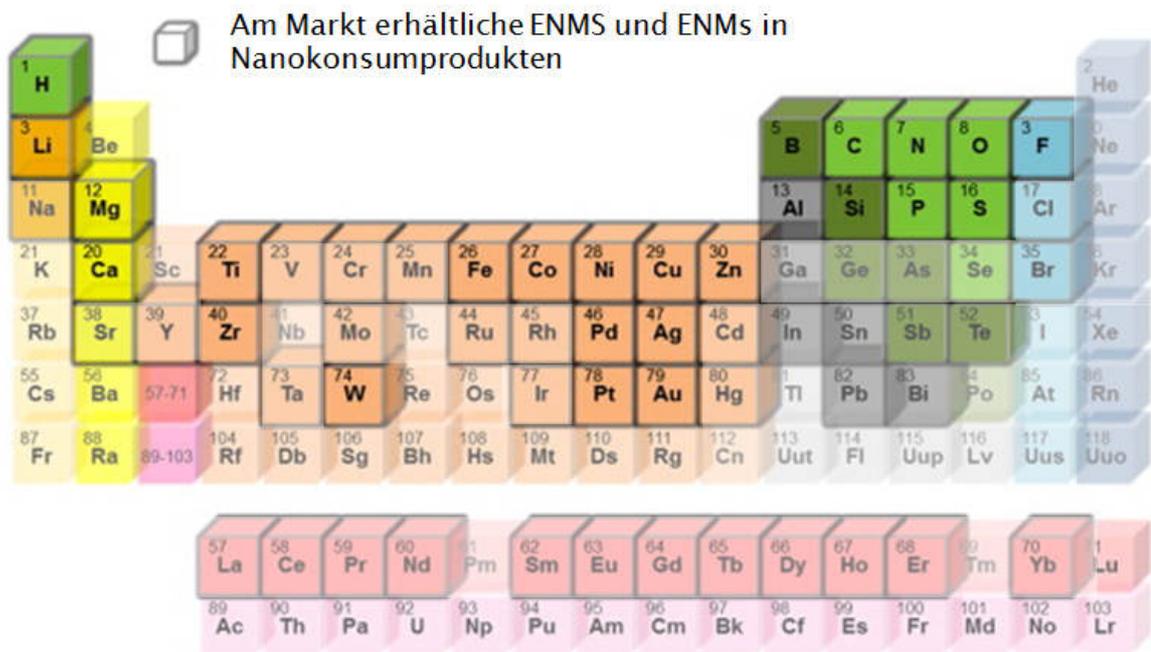


Abb. 17: Elemente der in der konsolidierten Datenbank vertretenen ENM anhand eines Periodensystems; „hervorgehobene und intransparent“= am Markt erhältliche ENM, „hervorgehoben und farbintensiv“= ENM in Nanokonsumprodukten (adaptiert nach Part et al. 2015c)

Die Verteilung der ENM-Nennungen (Abb. 17) zeigt  $Ag > TiO_2 > SiO_2 > CNT$  in absteigender Häufigkeit. Nicht berücksichtigt in der Zählung wurden ENM-Nennungen mit einer Häufigkeit von  $n < 50$ .

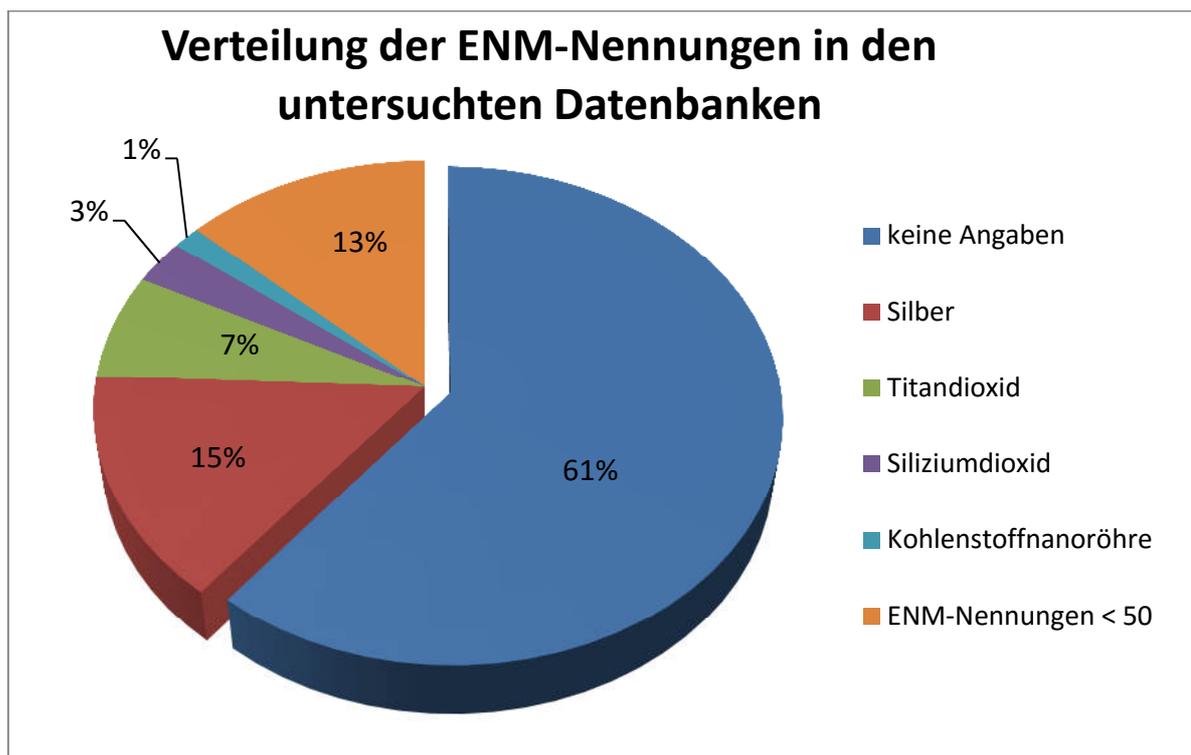


Abb. 18: Verteilung der ENM-Nennungen in der konsolidierten Datenbank Ergebnisseder Detailanalyse

### 3.2.3 Detailuntersuchungsrahmen

Die Detailanalyse bezieht sich auf Produkte, die den Kategorien der konsolidierten Datenbank entnommen wurden und mehreren Datenquellen möglichst mit einer Häufigkeit von  $n \geq 3$  zuordenbar sind. Sofern es für die Datensätze der einzelnen Kategorien möglich war, wurden jeweils drei repräsentative Produkte ausgewählt, die den Kriterien A und B „A; die zweit häufigsten enthaltenen ENM“ und „B; keine Angabe zu dem enthaltenen ENM“ entsprachen. Wenn im Datensatz der einzelnen Kategorien keine Produkte mit einer Häufigkeit von  $n \geq 3$  verzeichnet waren, wurden Produkte mit der Häufigkeit  $n=2$  und dem Kriterium „C-A/C-B:  $n=2$  für Produkte, die sich nur europäischen Datenquellen zuordenbar lassen mit (-A) bzw. ohne Angabe (-B) des enthalten ENM“. In der Detailanalyse scheidet die Kategorien „Dienstleistung“, „Fahrzeugzubehör“, „Lebensmittel“, „Sonstige“ entsprechend dieser Methodik aus.

### 3.2.4 Beschreibung der Produktbeispiele

Im Folgenden finden sich die ausgewählten Produktbeispiele zu den entsprechenden Kategorien nach oben beschriebenen Auswahlkriterien. Die Referenz in der letzten Spalte der Tabelle verweist auf die Datenquellen, in denen die jeweiligen Produkte zu finden waren (1=ANEC BEUC 2010-2012, 2= BUND, 3=nanodb.dk, 4=Wijnhoven et al. 2010, 5=nanodaten.de, 6=nanoproducts.de, 8= nanowerk.com, 9=ICTA, 10= PEN). Jeweils in der untersten Zeile jeder Tabelle werden stichpunktartig die Daten der Produktgruppe zusammengefasst.

In Bezug auf die Auswahl der Nanokonsumprodukte für die Entsorgungsszenarien in den nächsten Kapitel (Kap. 3.3.3 und Kap. 4) sollen hier in allgemeiner Form für alle Kategorien die wichtigsten verfügbaren Informationen zusammengestellt werden. Neben der:

ad a) Beschreibung der ausgewählten Produkte der jeweiligen Kategorien

werden zur weiteren Beschreibung auch

ad b) ergänzende Aspekte aus der Fachliteratur (vgl. Kap 2.1.2 Tab. 2) genannt.

Neben den Entsorgungswegen für die ausgewählten Produktbeispiele (nano-Ag-haltiges Putztuch, nano-TiO<sub>2</sub>-haltige Sonnencreme siehe Kap. 4.3.1) werden

ad c) mögliche Entsorgungswege für Produkte der einzelnen Kategorien

in kurzer und allgemeiner Form dargestellt.

**Kategorie „Autozubehör“**

PRODUKTBEISPIELE „AUTOZUBEHÖR“ N=458						
Kr.	Produkt-name	Hersteller	Produkt-bezeichnung	erwarteter Nutzen	ENM	Daten-quelle
A	<u>Textil PROT Nano Silver</u>	TENZI	Beschichtungsmittel (Auto)	biozide Wirkung	Ag	1, 2, 3, 4
A	<u>NANO-Fluid Autoglas Spezial</u>	NADICO Technologie GmbH	Beschichtungsmittel (Auto)	wasser-/ schmutz-abweisende Oberfläche	TiO <sub>2</sub>	6, 3, 10
B	<u>Nanotol Car Combo Set</u>	CeNano	Beschichtungsmittel (Auto)	wasser-/schmutz-abweisende Oberfläche	keine Angaben	5, 1, 2, 3, 4, 9
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Relative Häufigkeiten von Einzel und Doppelnennungen (n&lt;3): 80%</li> <li>➤ Verzeichnete ENM: Au, Ag, B, Carnaubawachs, Keramik, Pd, Polymer, Silikon, Siloxane, SiO<sub>2</sub>, Ti, TiO<sub>2</sub>, Tungsten disulfide (WS<sub>2</sub>)</li> <li>➤ % Nutzenkategorie:, wasser/-schmutzabweisende Oberfläche=71%, Oberflächenschutz= 18%, biozide Wirkung=3 %</li> </ul>						

Tab. 8: Auswahl von Produktbeispielen für die Kategorie "Autozubehör"

a) Die Kategorie „**Autozubehör**“ enthält hauptsächlich Beschichtungsmittel für Automobile (87%). Hauptsächlich werden diese zu dem Zweck eingesetzt, Oberflächen vor Wasser, Feuchtigkeit bzw. Frost zu schützen, verbesserte Sichtverhältnisse zu schaffen, Hochglanz und begünstigte Reinigung herbeizuführen, Kratzer zu entfernen, Gerüche und Bakterien/Pilz/Algenwachstum zu vermeiden. Da beim Großteil dieser Produkte in den Bestandteillisten keine Angaben des enthaltenen ENM mitaufgeführt werden, kann nur über den erwarteten Nutzen auf das enthaltene ENM geschlossen werden.

- b) Laut UBA 2014 können „easy-to-clean“ Auto-Beschichtungen, welche wasser- und schmutzabweisende Oberflächen erzeugen oder vor Pilz- und Algenwachstum schützen organisch-anorganische Hybridpolymere (auf keramischer Basis), nano-SiO<sub>2</sub>/ kolloidales SiO<sub>2</sub> oder Silane (auf Silikonbasis z.B. in Verbindung mit Fluor) enthalten.
- c) Produkte der Kategorie „Autozubehör“, werden abgesehen von privaten Haushalten, auch an gewerblichen Standorten wie Werkstätten oder Tankstellen aufgebracht und entsorgt. Sie entsprechen daher nicht zur Gänze dem Untersuchungsgegenstand. Generell werden Applikationshilfen und restentleerte Verpackungen im Restmüll entsorgt. Verpackungen mit Restinhalt müssen der Problemstoffsammlung zugeführt werden.

### Kategorie „Baumaterialien“

PRODUKTBEISPIELE „BAUMATERIALIEN“ N=81						
Kr .	Produktname	Hersteller	Produkt-bezeichnung	erwarteter Nutzen	ENM	Daten-quelle
A	<u>CETOSIL Acrylat-Nanokomposit-Lacke</u>	CETELON	Lack	Härte und Festigkeit	SiO <sub>2</sub>	2, 7, 8
A	<u>Nano-Ag paint anti-fungi</u>	Wolfgruben Werke	Farbe	biozide Wirkung	Ag	1, 2, 9
B	<u>EMACO NanoCrete R3 Reparaturmörtel</u>	BASF	Mörtel	Härte und Festigkeit	keine Angaben	1, 2, 8, 9
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Relative Häufigkeiten von Einzel und Doppelnennungen (n&lt;3): 93%</li> <li>➤ Verzeichnete ENM: Ag, Cu, SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>,</li> <li>➤ % Nutzenkategorie: biozide Wirkung=20%, Härte und Festigkeit=17%</li> </ul>						

Tab. 9: Auswahl von Produktbeispielen für die Kategorie "Baumaterialien"

- a) Die Kategorie „**Baumaterialien**“ wird im Haushaltsbereich vor allem durch Außen- und Innenwandfarben oder Lacke für verschiedene Materialien (z.B. Holz, Metall) vertreten. Auch finden sich Mörtel, Bodensteinplatten oder Fensterglas. Der Zweck von Produkten der Kategorie „Baumaterialien“ gilt dem Oberflächenschutz verschiedenster Materialien gegen Wasser, Schmutz bzw. Gerüche und Bakterien/Pilze/ Algenwachstum. Daneben sind vor allem Produkte zur Erhöhung von Härte und Festigkeit zu nennen. Die in Summe beworbenen Eigenschaften und allgemeinen ENM-Angaben, welche in der konsolidierten Produktdatenbank zu finden sind, sprechen neben dem oberflächenwirksamen nano-SiO<sub>2</sub> und nano-Ag als Biozid auch besonders für das photokatalytisch wirksame nano-TiO<sub>2</sub>. Es ist anzunehmen, dass nano-Ag generell massenmäßig eine kleinere Rolle spielt. Im Vergleich zu den Farben und Lacken ohne Angabe zum enthaltenen ENM (74%), ist der Anteil der restlichen Produkte ohne Angabe des enthaltenen ENM besonders groß (100%).
- b) Die Auswertung zu den Beschichtungen steht auch in Übereinstimmung mit Literaturangaben für Lacke/Farben bzw. Beschichtungen im Baubereich (UBA 2014). Beispiele für den Einsatz von ENM in Baumaterialien finden sich in Lee et

- al. (2010). Neben nano-SiO<sub>2</sub> und -TiO<sub>2</sub> werden Kohlenstoffnanoröhren sowie Nano-FeO<sub>x</sub>, -Cu und -Ag angewendet.
- c) Entsorgt werden Produkte der Kategorie „Baumaterialien“ zum einen Teil im Restmüll oder Problemstoffsammlung (z.B. als Altfarben), zum anderen Teil gelangen diese durch Abbrucharbeiten in die Sammlung von Baurestmassen, Baustellenabfällen oder im Sperrmüll.

### Kategorie „Beschichtungen“

PRODUKTBEISPIELE „BESCHICHTUNGEN“ N=670						
Kr.	Produkt-name	Hersteller	Produkt-bezeichnung	erwarteter Nutzen	ENM	Daten-quelle
A	<u>Nanotol the universal nano sealant</u>	CeNano	Beschichtungs-mittel	biozide Wirkung	Ag	1, 6, 2, 3, 4, 10
A	<u>WoodProtecto</u> r	Holmenkol	Beschichtungs-mittel (Holz)	UV-Schutz, wasser-/schmutz-abweisende Oberfläche	TiO <sub>2</sub>	1, 6, 3, 9
B	<u>Nano Glass &amp; Ceramics Coating (Set)</u>	Percenta AG	Beschichtungs mittel (Glas)	biozide Wirkung, wasser-/schmutzabweis endend Oberfläche	keine Angaben	1, 2, 3, 4, 9
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Relative Häufigkeiten von Einzel und Doppelnennungen (n&lt;3): 90%</li> <li>➤ Verzeichnete ENM: Ag, Au, Keramik, Kohlenstoff, Polymer, Si, SiO<sub>2</sub>, Ti, TiO<sub>2</sub>, Tonmineral, ZnO</li> <li>➤ %Nutzenkategorie: wasser-/schmutzabweisende Oberfläche=70%, biozide Wirkung=8%, UV-Schutz=3%</li> </ul>						

Tab. 10: Auswahl von Produktbeispielen der Kategorie „Beschichtungen“

- a) Die Kategorie „**Beschichtungen**“ ist aufgrund der Anbringungsorte an unterschiedlichen Materialien (z.B. Textilien, Holz, Glas, Kunststoff) auch als „Kategorie übergreifend“ zu betrachten. Auch hier ist entsprechend der hauptsächlich beworbenen Eigenschaften der Produkte (Oberflächenschutz verschiedenster Materialien gegen Wasser, Schmutz bzw. Gerüche und Bakterien/Pilze/ Algenwachstum) laut konsolidierter Produktdatenbank von einem hohen Anteil von nano-SiO<sub>2</sub>, -TiO<sub>2</sub>, -Ag haltigen Produkten auszugehen.
- b) Analog zur Kategorie „Baumaterialien“ ist der Studie von UBA (2014) zufolge sind für „easy-to-clean“-Anwendungen neben Siliziumverbindungen auch organisch-anorganische Hybridpolymere oder Silane relevant.
- c) Verpackungen und Applikationsmittel von Beschichtungen werden zum Teil im Restmüll entsorgt, durch das Aufbringen auf verschiedensten Materialien können Beschichtungsreste bei Abbrucharbeiten oder sonstiger Entsorgung in Baurestmassen oder Sperrmüll anfallen.

**Kategorie „Elektrokleingeräte“:**

PRODUKTBEISPIELE „ELEKTROKLEINGERÄTE“ N=149						
Kr.	Produktname	Hersteller	Produkt- bezeichnung	erwarteter Nutzen	ENM	Daten- quelle
A	<u>200°C Nano-silver Straightener HP4642</u>	Philips	Haar- glätteisen	biozide Wirkung, kosmetischer Nutzen	Ag	1, 3, 4, 9
A	<u>Sexy Waves &amp; Curls</u>	Mark Hill	Lockenstab	kosmetischer Nutzen	Keramik	3, 4, 10
B	<u>WAHL Academy Compact Dryer 2300w</u>	Wahl	Haartrockner	Kosmetischer Nutzen	Keine Angaben	1, 3, 10
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Relative Häufigkeiten von Einzel und Doppelnennungen (n&lt;3): 80%</li> <li>➤ Verzeichnete ENM: Ag, Au, Fe, Ionen, Keramik, Li, Pt Ti</li> <li>➤ %Nutzenkategorie: biozide Wirkung=52%, kosmetischer Nutzen=82%</li> </ul>						

Tab. 11: Auswahl von Produktbeispielen der Kategorie "Elektrokleingeräte"

- a) In der Kategorie der „**Elektrokleingeräte**“ sind hauptsächlich nano-Ag/-keramikhaltige Produkte wie Haarglätteisen, Lockenstäbe, Haartrockner, elektrische Rasierer, Staubsauger, Bügeleisen vertreten. Als erwarteter Nutzen kann hauptsächlich eine biozide Wirkung bzw. kosmetischer Nutzen angegeben werden.
- b) Für den Bereich ENM-haltige Elektroprodukte wurden keine Reviews gefunden, die über enthaltenen ENM Aufschluss geben. Alleine anhand von Produktinformationen selbst, wie z.B. im Fall des Haarglätteisens kann das enthaltene ENM abgeleitet werden. So sind die metallenen Heizstäbe von „Nano-Haarglätteisen“ mit „Keramik-Tourmalin“, einem Stoffgemisch aus Keramik und Turmalinpartikel, beschichtet (Russo, 2007). Turmalin ist ein Ringsilikat mit komplexer chemischer Zusammensetzung (u.a. Bor, Ca, Na, Cr)).
- c) Entsorgt werden Elektrokleingeräte hauptsächlich über die Elektroaltgerätesammlung. Auch können teilweise nicht mehr brauchbare Geräte im Fachhandel abgegeben werden

### Kategorie „Elektronik“

PRODUKTBEISPIELE „ELEKTRONIK“ N=154						
Kr.	Produktname	Hersteller	Produktbezeichnung	erwarteter Nutzen	ENM	Datenquelle
A	<u>Keyboard "Tasto" waterproof</u>	VCM Morgenthaler GmbH	Computertastatur	biozide Wirkung	Ag	1, 3, 9
A	<u>IOGEAR Germ Free Wireless Laser Mouse</u>	IOGEAR Inc.	Computermaus	biozide Wirkung	Ag	3,9,10
B	<u>CELAN XT CENTER - 2 way center speaker</u>	HECO	Lautsprecher	Klangbrillanz	keine Angaben	1, 3, 9
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Relative Häufigkeiten von Einzel und Doppelnennungen (n&lt;3): 95%</li> <li>➤ Verzeichnete ENM: Ag, Ag-Ionen, CNT, Co, Keramik, Polymer, Phosphat, Ti, Tungsten disulfide (WS<sub>2</sub>), SiO<sub>2</sub>, ZnO</li> <li>➤ % Nutzenkategorie: biozide Wirkung=10%, Miniaturisierung=24%, Energieeffizienz=31%, Klangbrillanz=6%</li> </ul>						

Tab. 12: Auswahl von Produktbeispielen der Kategorie "Elektronik"

- a) In der Kategorie „**Elektronik**“ finden sich antimikrobielle Computertastaturen/mäuse und Lautsprecher, MP3-Player, Computerprozessoren/-speicherkarten, Smartphones, Batterien oder OLED/LEDs. Neben den nano-Ag-haltigen Elektronikartikeln mit biozider Wirkung ist der erwartete Nutzen der restlichen Produkte hauptsächlich „Miniaturisierung“, „Klangbrillanz“, „Energieeffizienz“.
- b) Informationen zum Einsatz unterschiedlicher ENM (z.B. Nanolithium, CNTs, CdSe, ZnO, BaTiO<sub>3</sub>) in Batterien, Displays oder Computerchips finden sich bei Allsopp et al. (2007).
- c) Entsorgt werden Elektronikgeräte hauptsächlich über die Elektroaltgerätesammlung. Auch können teilweise nicht mehr brauchbare Geräte im Fachhandel abgegeben werden.

### Kategorie „Gesundheit und Medizin“

PRODUKTBEISPIELE „GESUNDHEIT UND MEDIZIN“ N=190						
Kr.	Produktname	Hersteller	Produktbezeichnung	erwarteter Nutzen	ENM	Datenquelle
A	<u>Colloidal silver</u>	Fairvital	Nahrungsergänzungsmittel	gesundheitsfördernde Wirkung	Ag	1, 2, 3,6, 10
A	<u>MesoZinc</u>	Purest Colloids, Inc.	Nahrungsergänzungsmittel	gesundheitsfördernde Wirkung	SiO <sub>2</sub>	1, 3, 10
B	<u>naNOX9 Hardcore</u>	MuscleTech	Nahrungsergänzungsmittel	gesundheitsfördernde Wirkung	keine Angaben	1, 3, 2, 9
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Relative Häufigkeiten von Einzel und Doppelnennungen (n&lt;3): 90%</li> <li>➤ Verzeichnete ENM: Ag, Au, Ca, Co, Cu, Cellulose, Coenzym Q10, Fe, Liposomen, Mg,</li> </ul>						

- Mizellen, Polymer, Pt, Si, SiO<sub>2</sub>, ZnO, Zeolite (AlO<sub>2</sub> / SiO<sub>2</sub>)  
➤ %Nutzenkategorie: gesundheitsfördernde Wirkung=73%, biozide Wirkung=19%

Tab. 13: Auswahl von Produktbeispielen der Kategorie "Gesundheit und Medizin"

- a) Die Kategorie „**Gesundheit und Medizin**“ enthält hauptsächlich Nahrungsergänzungsmittel (73%), welche eine gesundheitsfördernde Wirkung versprechen. Neben der großen Gruppe der Nahrungsergänzungsmittel finden sich in dieser Kategorie Wunderbände und Pflaster, Zahnersatzstoff (Füllungen) oder Desinfektionsmittel. Die in diesen Produkten enthaltenen ENM sind sehr unterschiedlich, und auch die Bandbreite von ENM in Nahrungsergänzungsmittel ist sehr groß. Hauptsächlich wurde nano-SiO<sub>2</sub> und -Ag als Inhaltsstoff genannt. Der Prozentsatz von Produkten ohne Angaben zum enthaltenen ENM ist vergleichsweise gering (44 %), da anzunehmen ist, dass auf die Auflistung der Inhaltsstoffe in Gesundheits- und Arzneimittel, generell mehr Wert gelegt wird.
- b) Im Zusammenhang mit ENM-haltigen Lebensmittel berichtet Chaudrey et al. (2008) über eine Reihe von Nahrungsergänzungsmittel mit Nano-Ag, Nanomizellen, Vitamin A, Coenzym Q10.
- c) Entsorgt werden Nahrungsergänzungsmittel mit Restinhalt vor allem im Restmüll, bzw. Kunststoff-Verpackungssammlung. Der Großteil wird allerdings während der Konsumphase oral aufgenommen.

### Kategorie „Haushaltsgeräte“

PRODUKTBEISPIELE „HAUSHALTSGERÄTE“ N=100						
Kr.	Produktname	Hersteller	Produktbezeichnung	erwarteter Nutzen	ENM	Datenquelle
A	<u>Breville TECHnique VIN213 Digital 2400 W Steam Iron</u>	Breville	Bügeleisen	Härte und Festigkeit	Ag	1, 3, 9
A	<u>Active Carbon Silver Nano Filter</u>	Biomat Global	Wasserfilter	biozide Wirkung	Ag	1, 3, 9
B	<u>Refrigerator refinement</u>	Die NANO EXPERTEN GmbH	Kühlschrank	biozide Wirkung	keine Angaben	3, 6, 7
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Relative Häufigkeiten von Einzel und Doppelnennungen (n&lt;3): 90%</li> <li>➤ Verzeichnete ENM: Ag, Au, C, Cu, TiO<sub>2</sub>, Zn</li> <li>➤ %Nutzenkategorie: biozide Wirkung=73%, Härte und Festigkeit=2%, Filterfunktion=15%</li> </ul>						

Tab. 14: Auswahl von Produktbeispielen der Kategorie "Haushaltsgeräte"

- a) Die Kategorie der „**Haushaltsgeräte**“, welche sich mit der Kategorie „Elektrogeräte“ überschneidet, enthält zum Großteil nano-Ag-haltiger Elektroklein- bzw. -großgeräte wie Wasserfilter, Luftfilter, Kühlschränke, Staubsauger oder Bügeleisen. Daneben sind ebenso eine kleine Anzahl von nano-TiO<sub>2</sub>-haltigen

Luftfiltern oder Kühlschränken zu finden. Mehr als die Hälfte der Produkte verspricht eine biozide Wirkung. Die Spanne von verzeichneten ENM ist eher gering, und Produkte mit Angabe des enthaltenen ENM sind mit einem Anteil von 69% deutlich in der Überzahl.

- b) Es wurden keine Reviews gefunden, die den Bereich ENM-haltige Haushaltsgeräte zusammenfassen. Einige wenige Produkte stimmen mit den von Allsopp et al. (2007) aufgeführten antibakteriellen Haushaltsgeräten überein. Dem Review von Khin et al. (2012) zufolge sind im Bereich Filtertechnologie vor allem CNTs und nano-TiO<sub>2</sub> zukunftsweisend.
- c) Entsorgt werden Haushaltsgeräte hauptsächlich über die Elektroaltgerätesammlung. Auch können teilweise nicht mehr brauchbare Geräte im Fachhandel abgegeben werden.

### Kategorie „Heimtextilien“

PRODUKTBEISPIELE „HEIMTEXTILIEN“ N=75						
Kr.	Produktname	Hersteller	Produktbezeichnung	erwarteter Nutzen	ENM	Datenquelle
A	<u>Antibacterial Sheet and Pillowcase Sets</u>	AgActive	Bettwäsche	biozide Wirkung	Ag	1, 3, 10
A	<u>NADICO-Reinigungstuch</u>	Nadico Technologie GmbH	Reinigungstuch	Reinigung, wasser-/schmutz-abweisende Wirkung	TiO <sub>2</sub>	3, 6, 10
B	<u>Antibacterial Hand and Bath Towels</u>	AgActive	Handtuch	Biozide Wirkung	Keine Angabe	1, 3, 10
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Relative Häufigkeiten von Einzel und Doppelnennungen (n&lt;3): 90%</li> <li>➤ Verzeichnete ENM: Ag, Au, Keramik, Polymer, TiO<sub>2</sub>, Ti</li> <li>➤ %Nutzenkategorie: biozide Wirkung=47%, wasser-/Schmutzabweisend Wirkung=10%, Reinigung=31%</li> </ul>						

Tab. 15: Auswahl von Produktbeispielen der Kategorie "Heimtextilien"

- a) In der Kategorie „Heimtextilien“ finden sich vor allem nano-Ag-haltige Bettwäsche, Bettdecken und -kissen, Handtücher und Reinigungshilfen (Tücher, Schwämme) sowie Reinigungshilfen ohne Angaben zum enthaltenen ENM. Der Anteil von Reinigungshilfen liegt bei 36% und der Anteil von Produkten ohne Angaben zum enthaltenen ENM bei 46%. Hauptsächlich versprechen die Produkte dieser Kategorie biozide Wirkung sowie Reinigung und wasser- bzw. schmutzabweisende Wirkung.
- b) Der Einsatz von ENM in Textilien wurde vom UBA (2013b) zusammengefasst. Für Textilien mit biozider Wirkung wird hauptsächlich nano-Ag angewendet, für selbstreinigende bzw. schmutz-abweisende Textilien werden CNTs, Nano-Fluoracrylat, -SiO<sub>2</sub>, -TiO<sub>2</sub>, -ZnO eingesetzt.
- c) Entsorgt werden Heimtextilien hauptsächlich über die Alttextiliensammlung oder den Restmüll. Durch den häufigen Kontakt mit Wasser gelangt möglicherweise ein Teil der in Produkten enthalten ENM ins Abwasser.

## Kategorie „Kinder“

PRODUKTBEISPIELE „KINDER“ N=34						
Kr.	Produktname	Hersteller	Produkt- bezeichnung	erwarteter Nutzen	ENM	Daten- quelle
A	<u>Precious Protektor Sleepsuit or Babygro</u>	Baby Pink or Blue	Babyschlaf- anzug	biozide Wirkung	Ag	1, 3, 10
A	<u>Silver-nano Noble NS nursing bottle</u>	Baby Dream	Babyflasche	biozide Wirkung	Ag	1, 3, 10
B	<u>Silver-Nano pacifier</u>	Baby Dream	Babyschnuller	biozide Wirkung	keine Angaben	1, 3, 10
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Relative Häufigkeiten von Einzel und Doppelnennungen (n&lt;3): 60%</li> <li>➤ Verzeichnete ENM: Ag, TiO<sub>2</sub></li> <li>➤ %Nutzenkategorie: biozide Wirkung=57%, UV-Schutz=21%</li> </ul>						

Tab. 16: Auswahl von Produktbeispielen der Kategorie "Kinder"

- a) In der Kategorie „**Kinder**“ ist nur eine kleine Anzahl von Produkten vertreten. Hauptsächlich finden sich hier Babytextilien, -flaschen, -schnuller oder nano-TiO<sub>2</sub>-haltige Sonnenschutzmittel (Die allerdings auch der Kategorie „Kosmetik“ zugerechnet werden können). Für 82% der Produkte ist das enthaltene ENM bekannt. Auffallend ist in dieser Kategorie der relativ hohe Anteil (40%) von Dreifachnennung, was auf eine gute Homogenität der Datenbanken untereinander und auf wenig Hersteller im Bereich Nanokonsumprodukte für Kinder schließen lässt.
- b) Aufgrund der geringen Herstelleranzahl gibt es kaum zusammenfassende Literatur für diese Produktgruppe. In der Studie von Quadros et al. (2013), welche nano-Ag haltige Kinderprodukte untersuchten, wurde angenommen, dass eine Freisetzung von Ag in ionischer Form (weniger in partikulärer Form) z.B. durch Körperflüssigkeiten (Urin, Schweiß, Speichel) oder einfaches Abreiben möglich ist.
- c) Entsorgt werden die Artikel hauptsächlich über den Restmüll. Durch den häufigen Kontakt mit Wasser werden die in diesen Produkten enthaltene ENM in das Abwasser gelangen oder vom Baby oral aufgenommen.

**Kategorie „Kosmetik“**

PRODUKTBEISPIELE „KOSMETIK“ N=595						
Kr.	Produktname	Hersteller	Produkt-bezeichnung	erwarteter Nutzen	ENM	Daten-quelle
A	<u>SunSense SPF 30+ Sunscreen</u>	NuCelle Inc.	Sonnenschutz-mittel	UV-Schutz	ZnO	1, 3, 10
A	<u>VENUS Nano-Silver Thermal Brush (53mm)</u>	Venus professional hair products	Haarbürste	biozide Wirkung, kosmetischer Nutzen	Ag	1, 3, 10
B	<u>Dior skin Forever compact</u>	Dior	Makeup	kosmetischer Nutzen	keine Angaben	1, 2, 3, 4
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Relative Häufigkeiten von Einzel und Doppelnennungen (n&lt;3): 90%</li> <li>➤ Verzeichnete ENM: Ag, Au, Calcium, Coenzym Q10, Cu, Fullerene, Hyaluronsäure, Keramik, Liposomen, Nanosome, Si, SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Tonmineral, Vitamin A, Zn, ZnO,</li> <li>➤ %Nutzenkategorie: UV-Schutz=11%, biozide Wirkung=21%, kosmetischer Nutzen=81%</li> </ul>						

Tab. 17: Auswahl von Produktbeispielen der Kategorie "Kosmetik"

- a) Die Kategorie „**Kosmetik**“ ist neben den „Beschichtungsmitteln“ die Kategorie mit den meisten verzeichneten Produkten. Trotz der Größe sind die Datensätze der Datenquellen sehr inhomogen, da der Anteil von Einzel- bzw. Doppelnennungen bei 90% liegt. Etwa 90% der Produkte liegen in flüssiger Form vor, darunter vor allem nano-Ag/-TiO<sub>2</sub>-ZnO -/ Gesichts- und Körperpflegemittel oder nano-Zn/- bzw.-TiO<sub>2</sub>-haltige Sonnenschutzmittel. In fester Form finden sich hauptsächlich Kosmetikutensilien wie Zahn- und oder Haarbürsten, welche meist Nano-Ag enthalten oder keine Angaben zum enthaltenen ENM machen. Neben dem kosmetischen Nutzen sind vor allem Produkte mit biozider Wirkung sowie für UV-Schutz beworben.
- b) Mhryanyan et al. (2012) liefern eine detaillierte Zusammenfassung der in flüssigen Kosmetika eingesetzten ENM, in der sich auch die in der konsolidierten Datenbank recherchierten ENM widerspiegeln. Für Sonnencreme werden demnach nanoskaliges ZnO oder TiO<sub>2</sub> gleichermaßen verwendet. Neben den Einsatz von Nano-Ag als bioziden Inhaltsstoff in Hautcremes udgl. können auch photokatalytisch aktive Substanzen wie Nano-ZnO oder -TiO<sub>2</sub> eingesetzt werden.
- c) Kosmetika und Kosmetikartikel werden hauptsächlich über den Restmüll oder der Problemstoffsammelstelle und in weiterer Folge über Kunststoffrecycling und Müllverbrennungsanlage entsorgt. Die Ausnahme sind elektronische Kosmetikartikel, sie können als Elektroaltgeräte gesammelt und behandelt werden. Durch den täglichen Gebrauch landet der Großteil der flüssig-emulgierten Kosmetikartikel im häuslichen Abwasser und damit in der Kläranlage bzw. auch deren Verpackung mit oder ohne Inhalt im Restmüll.

### Kategorie „Garten“

PRODUKTBEISPIELE „GARTEN“ N=11						
Kr.	Produktname	Hersteller	Produkt-bezeichnung	erwarteter Nutzen	ENM	Daten-quelle
C-A	<u>Nano-Argentum 10</u>	NanoSys GmbH	Pflanzenstärkungsmittel	biozide Wirkung	Ag	3, 7
C-B	<u>Kriebelmücke &amp; Gnitze Stopp: Stoppt den Anflug und schützt</u>	Nanotrends.eu	Insektizid	Insektizide Wirkung	keine Angaben	3, 6
C-B	<u>Alphasoil-06 Bodenstabilisation</u>	Alphasoil technical solutions GmbH	Bodenstabilisator	bodenverbessern de Wirkung	keine Angaben	2, 3
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Relative Häufigkeiten von Einzel und Doppelnennungen (n&lt;3): 100%</li> <li>➤ Verzeichnete ENM: Ag</li> <li>➤ %Nutzenkategorie: wachstumsfördernde Wirkung=27%, fungi-/pesti-/biozide Wirkung=27%, wasser-/schmutzabweisende Oberfläche=18%</li> </ul>						

Tab. 18: Auswahl von Produktbeispielen der Kategorie „Garten“

- a) Die Kategorie „**Garten**“ umfasst nur wenige Produkte, wie flüssige nano-Ag-haltige Pflanzenstärkungsmittel bzw. Fungi-, Insekti-, Pestizide sowie Bodenstabilisatoren ohne Angaben zum enthaltenen ENM. Daneben gibt es auch feste Produkte ohne Angaben zum enthaltenen ENM mit wasser- und schmutzabweisende Oberfläche. Es fanden sich keine Produkte, die in mehr als zwei Datenquellen zu finden waren.
- b) Aufgrund der kleinen Zahl von ENM haltigen Gartenprodukte gibt es bisher keine zusammenfassende Studien zu diesem Bereich. Khot et al. (2012) und Gogos et al. (2012) berichten über den Einsatz von nano-Ti-/ -SiO<sub>2</sub>/ -ZnO, -Ag und CNTs in der industriellen Landwirtschaft oder im Pflanzenschutz. Ob für die private Nutzung ähnliche Anwendungen verfügbar sind ist unklar.
- c) Restinhalte von Pflanzenschutzmitteln müssen über Problemstoffsammelstellen entsorgt werden. Auf den Boden/Pflanzen aufgebrauchte ENM werden entweder ins Abwasser freigesetzt oder kompostiert.

### Kategorie „Küche“

PRODUKTBEISPIELE „KÜCHE“ N=56						
Kr.	Produktname	Hersteller	Produkt-bezeichnung	erwarteter Nutzen	ENM	Daten-quelle
A	<u>GastroNorm-Matte</u>	Wunderlich	Küchenbrett	Biozide Wirkung	Ag	1, 2, 10
C-	<u>Aluminium Foil from Toppits</u>	Melitta	Aluminiumfolie	Anti-Haft Wirkung	Kohlens toff	6, 10

A						
C- B	<u>Toppits Fix - Produkte</u>	Nano-X GmbH	Lebensmittelver- packung	Keine Angaben	Keine Angabe n	3, 6
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Relative Häufigkeiten von Einzel und Doppelnennungen (n&lt;3): 98%</li> <li>➤ Verzeichnete ENM: Ag, Keramik, Kohlenstoff, Polyetherketon, Polytetrafluorethylen, TiO<sub>2</sub>, Tonmineral, Zn</li> <li>➤ %Nutzenkategorie: biozide Wirkung=63%, Anti-Haft Wirkung=20%,</li> </ul>						

Tab. 19: Auswahl von Produktbeispielen der Kategorie "Küche"

- a) Zur Kategorie „**Küche**“ zählen vor allem nano-Ag-haltige Küchenutensilien wie Küchenbretter, Frischhaltedosen oder Bratpfannen. Daneben gibt es auch Bratpfanne die mit Anti-Haft-wirkenden Nano-Polyetherketon oder - Polytetrafluorethylen ausgestattet sind. Bis auf ein Produktbeispiel, welches in drei Datenquellen zu finden ist, wurden alle anderen Produkte nur in einer bzw. zwei mit einer Datenbank(en) gelistet.
- b) Aufgrund der relativ kleinen Anzahl von ENM-haltigen Küchenprodukten, gibt es hierzu derzeit keine zusammenfassende Literatur. Beschichtungsmittel für den Küchenbereich sind der Kategorie „Beschichtungsmittel“ zugeordnet. Der Einsatz von ENM in Lebensmittelverpackungen wurden von Duncon et al. (2011) beschrieben. Zum Einsatz kommen z.B. Nanotone als Füllstoffe für Polymere, Nano-Ag oder -TiO<sub>2</sub> für antibakterielle Anwendungen, oder Nano-Au oder -TiO<sub>2</sub> für Biosensoren, welche die Haltbarkeit von Lebensmitteln anzeigen können.
- c) Entsorgt werden Produkte der Kategorie Küche vor allem im Restmüll oder in der getrennten Sammlung für Altmetall oder Altkunststoff. Durch den häufigen Kontakt mit Wasser können in den Produkten enthaltenen ENM schon möglicherweise während des Konsums im Abwasser anfallen.

### Kategorie „Reinigungsmittel“

PRODUKTBEISPIELE „REINIGUNGSMITTEL“ N=182						
Kr.	Produktname	Hersteller	Produkt- bezeichnung	erwarteter Nutzen	ENM	Daten- quelle
A	<u>Gran Shine Nano Ag</u>	TENZI	Reinigungsmittel (Geschirr)	biozide Wirkung	Ag	1,3, 4
A	<u>Neutralreiniger zur NANO- Behandlung</u>	NADICO Technologie GmbH	Reinigungsmittel	Reinigung, wasser- /schmutzabweisende Wirkung	TiO <sub>2</sub>	6, 3, 10
B	<u>Sidolin streifenfrei Cristal</u>	Henkel	Reinigungsmittel (Glas)	Reinigung	Keine Angaben	1, 6, 10
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Relative Häufigkeiten von Einzel und Doppelnennungen (n&lt;3): 87%</li> <li>➤ Verzeichnete ENM: Ag, Mizellen, Ti, TiO<sub>2</sub></li> <li>➤ % Nutzenkategorie: Reinigung=58% biozide Wirkung=37%, wasser-/schmutzabweisende Wirkung=8%</li> </ul>						

Tab. 20: Auswahl von Produktbeispielen der Kategorie "Reinigungsmittel"

- a) In der Kategorie „**Reinigungsmittel**“ finden sich vor allem nano-Ag oder -TiO<sub>2</sub>-haltige Reinigungsmittel für allgemeine Bereiche wie Küche oder Sanitär oder spezielle Mittel für Geschirr, Glas, Kunststoff, Böden oder Luft. Neben dem Reinigungseffekt können mit derartigen Reinigungsmittel teilweise auch wasser-/schmutzabweisende, antibakterielle Oberflächen geschaffen werden.
- b) Bisher gibt es zur Kategorie „Reinigungsmittel“ keine zusammenfassende Literatur. Es wird vermutet, dass in ENM-haltigem Reinigungsmittel ähnliche Stoffe wie in ENM-haltigen Beschichtungsmittel enthalten sind.
- c) Restentleerte Reinigungsverpackungen fallen im Restmüll oder in der getrennten Sammlung von Altkunststoff an. Durch häufigen Wasserkontakt können in den Mittel enthaltenen ENM ins Abwasser gelangen.

### Kategorie „Sport und Outdoor“

PRODUKTBEISPIELE „SPORT UND OUTDOOR“ N=153						
Kr.	Produktname	Hersteller	Produktbezeichnung	erwarteter Nutzen	ENM	Datenquelle
A	<a href="#">ArcSaber Series racquet</a>	Yonex	Badminton-schläger	Härte und Festigkeit	Kohlenstoff-nanoröhre	1, 3, 10
A	<a href="#">Atomic Snow Izor Skis</a>	Atomic Snow	Ski	Widerstandsreduzierung	Silikon	2, 3, 10
B	<a href="#">Rocket Ron bicycle tyres</a>	Schwalbe	Fahrradreifen	Widerstandsreduzierung	keine Angaben	1, 2, 3, 9
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Relative Häufigkeiten von Einzel und Doppelnennungen (n&lt;3): 85%</li> <li>➤ Verzeichnete ENM: Ag, CNT, Fullerene, Graphit, Keramik, Kohlenstoff, Ni, Si, SiO<sub>2</sub>, Silikon, Ti, TiO<sub>2</sub></li> <li>➤ %Nutzenkategorie: Härte und Festigkeit=70%, Widerstandsreduzierung=18%,</li> </ul>						

Tab. 21: Auswahl von Produktbeispielen der Kategorie "Sport und Outdoor"

- a) Produkte der Kategorie „**Sport und Outdoor**“ umfassen vor allem Badminton-/Tennisschläger, Ski, Fahrradreifen, -ersatzteile und -helme. Mehr als die Hälfte der Produkte besitzen keine Angaben zum enthaltenen ENM. Der erwartete Nutzen ist häufig „Härte und Festigkeit“ sowie „Widerstandsreduzierung“. Der Großteil der Produkte mit bekannten ENM enthalten Kohlenstoffnanoröhren oder andere kohlenstoffhaltigen ENM. Auch nano-SiO<sub>2</sub> und -Ti, TiO<sub>2</sub> werden teilweise als Inhaltsstoff genannt. Sporttextilien wurden der Kategorie „Textilien“ zugeordnet.
- b) Produktanwendungen im Sportbereich wurden von Verma (2013) zusammengefasst. Diese decken sich mit den erhobenen Nanoproduktaten.
- c) Entsorgt werden Produkte der Kategorie „Sport und Outdoor“ im Restmüll oder Sperrmüll bzw. gelangen noch gebrauchsfähige Produkte auf den Second-Hand-Markt.

## Kategorie „Textilien“

PRODUKTBEISPIELE „TEXTILIEN“ N=321						
Kr.	Produktname	Hersteller	Produkt- bezeichnung	erwarteter Nutzen	ENM	Daten- quelle
A	<u>SoleTech Nano- Silver Socks</u>	JR Nanotech	Socken	biozide Wirkung	Ag	1, 10, 3, 4, 9
A	<u>Nano line polyesteranzug - polyester suit</u>	Erima	Sportdress	biozide Wirkung	Ag	5, 1, 9
B	<u>Cotton Rain Jacket</u>	Pro-Idee GmbH & Co. KG	Jacke	wasser- /schmutzabweis- ende Oberfläche	keine Angaben	1, 3, 4, 9
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Relative Häufigkeiten von Einzel und Doppelnennungen (n&lt;3): 95%</li> <li>➤ Verzeichnete ENM: Ag, Aktivkohle, CNT, Kohlenstoff, Polymer, Polytetrafluorethylen, Si, SiO<sub>2</sub>, Ti, TiO<sub>2</sub>, Tonmineral</li> <li>➤ %Nutzenkategorie: biozide Wirkung=37%, wasser-/schmutzabweisende Oberfläche=50%</li> </ul>						

Tab. 22: Auswahl von Produktbeispielen der Kategorie "Textilien"

- a) Im Gegensatz zur Kategorie „Heimtextilien“ umfasst die Kategorie „Textilien“ alleine Ober- und Unterbekleidung für Alltag, Sport und Beruf sowie Schuhe und Taschen. Neben den nano-Ag-haltigen Textilien welche einen Anteil von 24% ausmachen, und geruchshemmende Wirkung gegen Schweißbakterien versprechen, liegt der Anteil von wasser-/schmutzabweisenden Textilien ohne Angabe zum enthaltenen ENM bei 96%. Für 67 % der Produkte ist das enthaltene ENM unbekannt.
- b) In ausführlicher Form wird der Einsatz von ENM in Textilien in einer Studie vom UBA (2013) zusammengefasst. Nano-SiO<sub>2</sub>/-TiO<sub>2</sub> wird demnach zur Imprägnierung von wasser- und schmutzabweisenden Textilien verwendet (UBA, 2013b).
- c) Sofern Textilien nicht mehr gebrauchsfähig sind, werden diese im Restmüll oder über die Alttextilsammlung entsorgt, andernfalls werden diese auf dem Second-Hand-Markt wiederverkauft und wiederverwendet.

### 3.2.5 Auswahl der Nanokonsumprodukte für Stoffflussanalyse

In dieser Arbeit werden Entsorgungs- und Emissionsszenarien anhand von zwei Nanokonsumprodukten mittels Stoffflussanalyse dargestellt werden, um deren Verteilung im abfallwirtschaftlichen System in Österreich veranschaulichen zu können. Zur Auswahl geeigneter Nanokonsumprodukte sind die Ergebnisse der Produktgruppenanalyse und des Literaturreviews entscheidend (siehe Abb. 19):

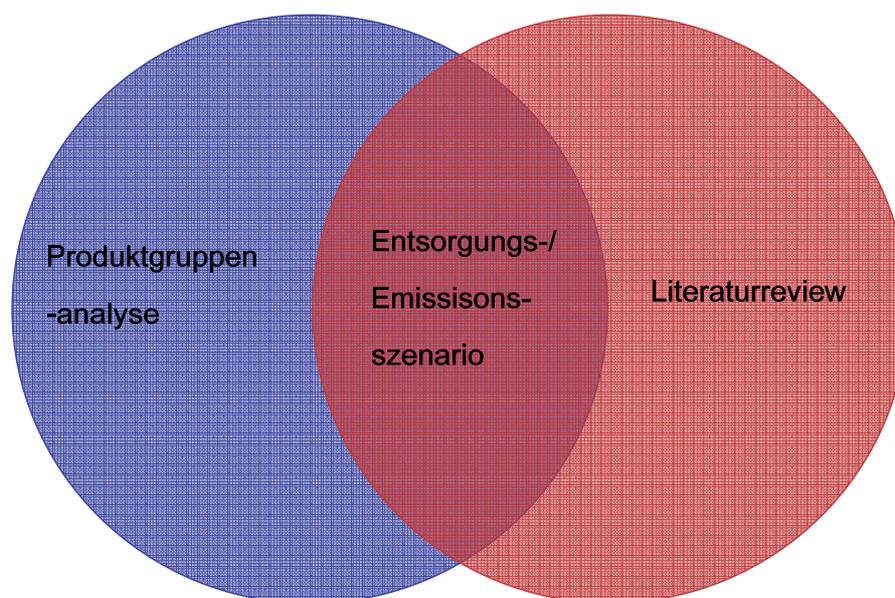


Abb. 19: Methodik zur Auswahl der Nanokonsumprodukte für Entsorgungs-/Emissionsszenarien

In Bezug auf die Produktgruppenanalyse sind Nanokonsumprodukte geeignet, deren enthaltene ENM bekannt sind und welche eine große Häufigkeit in der konsolidierten Datenbank aufweisen (vgl. Kap 3.2.2 Abb. 18) und in der Detailanalyse der Produktgruppen aufgeführt werden (vgl. Kap. 3.2.3). Ein Vergleich zeigt, dass die Häufigkeiten der ENM Produktionsmengen von Piccino et al. (2012) (vgl. Kap.2.2.4. Abb. 8:  $\text{SiO}_2 > \text{TiO}_2 > \text{ZnO} > \text{CNT} > \dots > \text{Ag}$ ) mit der Verteilung der ENM-Nennungen ( $\text{Ag} > \text{TiO}_2 > \text{SiO}_2 > \text{CNT}$ ) in der konsolidierten Datenbank (vgl. Kap 3.2.2 Abb.18) nicht übereinstimmen.

Ein weiteres Kriterium ist der Kenntnisstand über das enthaltene ENM im Konsumprodukt und dessen verarbeitete Mengen einschließlich des Verhaltens in Konsum- und Entsorgungsphase (vgl. Kap 2.3).

Aufgrund all dieser Kriterien fiel die Entscheidung auf „Nano-TiO<sub>2</sub>-haltige Sonnencreme“ und „Nano-Ag-haltiges Putztuch“, da neben der guten Datenbasis in Bezug auf die Entsorgungsphase, eingesetzte Mengen relativ leicht abgeschätzt werden können bzw. bekannt sind (vgl. Kap. 4.3.1 und 4.3.2 bzw. Anhang 7.2.1, 7.2.2 siehe Tab. 31 und Tab. 36)

## 4 Entsorgungs- und Emissionsszenarien (Stoffflussanalyse)

### 4.1 Entsorgung von Nano-Konsumprodukten in Österreich

In der Detailanalyse wurde bereits kurz beschrieben wie Nanokonsumprodukte, während ihres Konsums oder am Ende ihres Lebenszyklus als Abfall oder Abwasser in österreichischen Haushalten anfallen. In weiterer Folge soll ein Überblick über das österreichische Entsorgungssystem geschaffen werden, welche die Basis für die Stoffflussanalyse bildet.

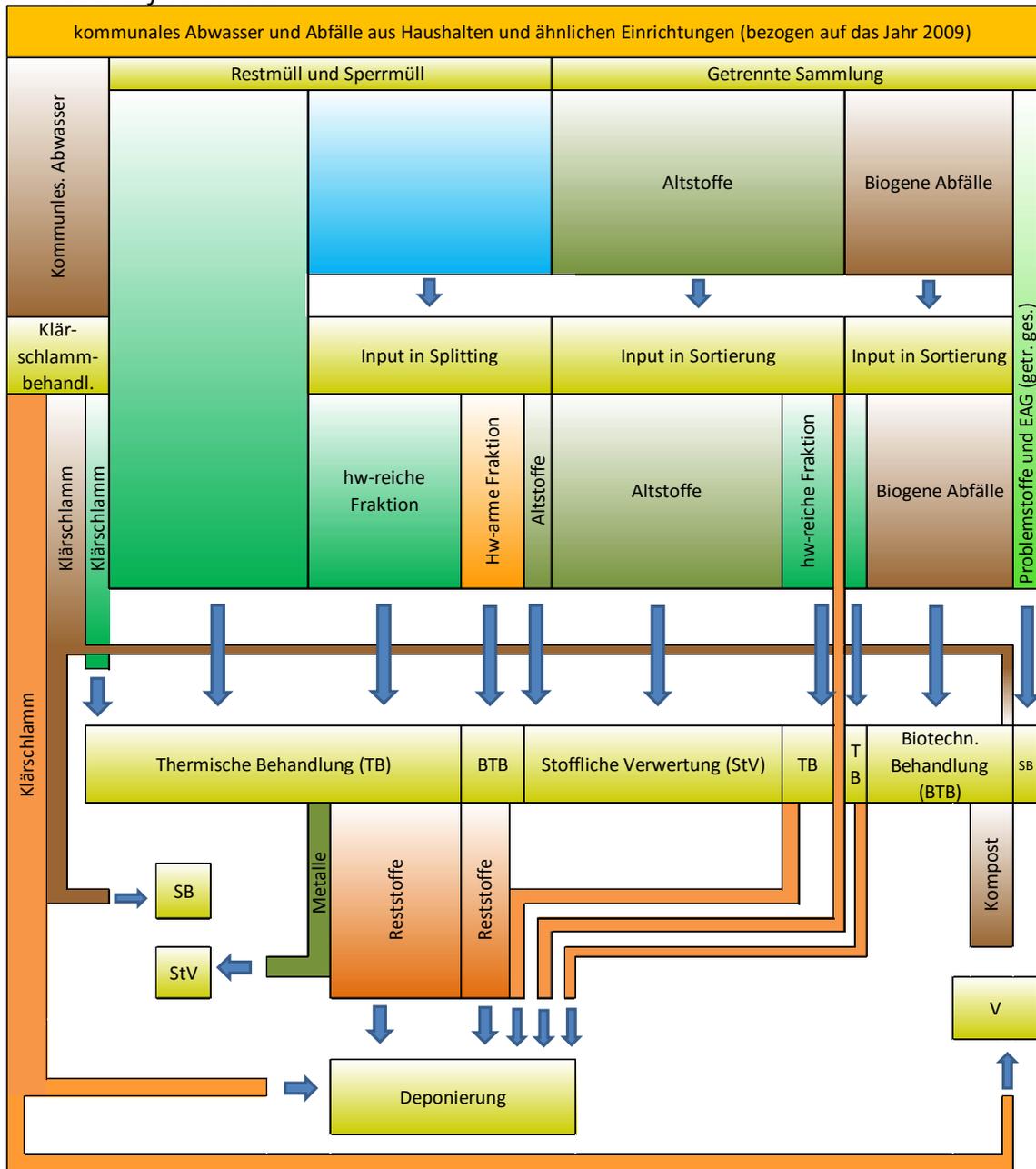


Abb. 20: Entsorgungswege für kommunales Abwasser und Abfälle aus Haushalten oder haushaltsähnlichen Einrichtungen in Österreich (Abkürzungen: SB=Sonstige Behandlung, V=Verwertung, EAG= Elektroaltgeräte,

Stv=stoffliche Verwertung; (adaptiert nach Stoffflussdiagramm aus BAWP, 2011. S. 45)

Die Grafik (Abb. 20), zeigt Abfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen für das Jahr 2009 sowie kommunale Klärschlämme auf Basis der Angaben im Bundesabfallwirtschaftsplan (2011) („für das österreichweite Aufkommen von 639 kommunalen Kläranlagen mit einer Kapazität ab 2.000 EW<sub>60</sub> und Behandlung nach Bundesländern). Unterschieden wird in Österreich generell zwischen Abfällen aus Restmüll und Sperrmüll sowie Abfällen aus getrennter Sammlung. Abhängig von einzelnen abfallwirtschaftlichen Bestimmungen in den Bundesländern, lokalem Abfallsystem und vom Fehlwurfverhalten der Konsumenten setzen sich diese Anteile von Abfällen unterschiedlich zusammen.

#### 4.1.1 Entsorgung von Nanokonsumprodukten im Restmüll

Restmüll setzt sich laut Bundesabfallwirtschaftsplan 2011 aus den Fraktionen „Biogene Abfälle“, „Papier, Pappe und Kartonagen“, „Leichtfraktion“, „Glas“, „Holz-VP und sperriges Holz“, „Metall-VP und sperrige Metalle“, „Inerte Materialien“, „Hygieneartikel“, „Textilien“, „Elektro- und Elektronikaltgeräte“, „Problemstoffe“, „Matratzen und Teppiche“, „Sonstige Altstoffe“ und einer „Restfraktion“ zusammen. Ausgehend von diesen Fraktionen und der Zuordnung von Entsorgungswegen in der konsolidierten Datenbank kann auf Nanokonsumprodukte geschlossen werden, die potentiell als Teil dieser einzelnen Restmüllfraktionen anfallen (siehe Tab. 23). Neben der direkten Entsorgung des Produkts können auch auf „indirektem“ Weg Nanokonsumprodukte (im Speziellen Beschichtungsmittel) auf vielfältigste Weise in den Abfallstrom gelangen, z.B. wenn an Holz/Möbeln noch Reste von Beschichtungsmittel anhaften und dieses zusammen mit dem Holzsperrmüll entsorgt und behandelt wird.

Relevante Restmüllfraktionen	Beispiele von Nanokonsumprodukten im Restmüll
Biogene Abfälle	Speise und Getränke der „Kategorie Lebensmittel“; <u>indirekt:</u> Pflanzenstärkungsmittel über Gartenabfälle
Papier, Pappe und Kartonagen	spezielles Druckerpapier; <u>indirekt:</u> Mit Flammschutzmittel behandeltes Papier und Kartonagen
Leichtfraktion	Verpackungen mit oder ohne Restinhalten von Beschichtungen, Reinigungsmitteln; Lebensmittelverpackungen; Verpackungen von Kosmetik/Körperpflegeprodukten mit und ohne Restinhalt
Glas	<u>indirekt:</u> Mit Beschichtungen behandelte Glasoberflächen

Holz-VP sperriges Holz	und	<u>indirekt:</u> Mit Beschichtungen/ Lacken behandelte Holzoberflächen
Metall-VP sperrige Metalle	und	Kochutensilien (Bratpfannen, Töpfe u dgl.) Sanitärarmaturen <u>indirekt:</u> Mit Beschichtung/ Lack behandelte Metalloberflächen
Inerte Materialien		Beton, Bodensteinplatten, Dachziegel
Hygieneartikel		Anteil vernachlässigbar gering;
Textilien		Bekleidung (Kinder und Erwachsene), Berufskleidung, Sport- und Freizeitkleidung, Schuhe <u>indirekt:</u> Mit Beschichtung behandelte Textilien
Elektro- Elektronikaltgeräte	und	Geräte und Gerätbestandteile aus den Kategorien „Haushaltsgeräte“; „Elektrokleingeräte“ und „Elektronik“; z.B. Bügeleisen, Epiliergeräte und Smartphone
Problemstoffe		Reste von Farben und Lacke, Reste von Beschichtungen, Reinigungsmittel, Pflanzenstärkungsmittel
Matratzen Teppiche	und	<u>indirekt:</u> Mit Beschichtung behandelte Textilien

Tab. 23: Zuordnung von Nanokonsumprodukt-Bespielen, die potentiell als Teil einzelner Restmüllfraktion anfallen können

#### 4.1.2 Entsorgung von Nanokonsumprodukten in der getrennten Sammlung

Wie schon bereits in der Detailanalyse zu den Entsorgungsmöglichkeiten im vorigen Kapitel erwähnt wurde, ist der Anteil von den in getrennter Sammlung erfassten bzw. in Re-Use-Aannahmestellen erfassten Nanokonsumprodukten (dies betrifft v.a. Sammlung von Alttextilien, Elektro-/Elektrokleingerätesammlung) vor allem auf den Verschmutzungsgrad bzw. den Grad der Wiederverwertbarkeit des Produkts zurückzuführen. Wie folgt, können sich folgende Beispiele von Nanokonsumprodukten in den einzelnen Fraktionen der getrennten Sammlung befinden.

Fraktionen der getrennten Sammlung	Beispiele von Nanokonsumprodukten in getrennter Sammlung
Biogene Abfälle	Speise und Getränke der „Kategorie Lebensmittel“ <u>indirekt:</u> Pflanzenstärkungsmittel über Gartenabfälle
Altglas	Fensterglas (aussortiert von „Restmüll und Sperrmüll“)
Alttextilien	Bekleidung (Kinder und Erwachsene), Berufskleidung, Sport- und Freizeitkleidung, Schuhe <u>indirekt:</u> Mit Beschichtung behandelte Textilien
Altmetalle	Kochutensilien (Bratpfannen, Töpfe u dgl.) Sanitärarmaturen <u>indirekt:</u> Mit Beschichtung/ Lack behandelte Metalloberflächen
EAG	Geräte und Gerätbestandteile aus den Kategorien „Haushaltsgeräte“; „Elektrokleingeräte“ und „Elektronik“; z.B. Bügeleisen, Epiliergeräte und Smartphones

Tab. 24: Zuordnung von Nanokonsumprodukt-Bespielen, die potentiell als Teil einzelner Fraktionen der getrennten Sammlung anfallen können

## 4.2 Datenlage für die ausgewählten Nanokonsumprodukte

Generell steht die Forschung rund um den Verbleib von ENM in der End-of-Life Phase von Nanokonsumprodukten noch am Anfang. Wie dem Grundlagenteil (vgl. Kap. 2.3) entnommen werden kann, gibt es v.a. im Bereich Abwasserbeseitigung und thermischer Abfallbehandlung einige publizierte Studien, die experimentell den Verbleib von nano-Ag bzw. nano-TiO<sub>2</sub> ermittelt haben. Um eine Massenbilanz mittels Stoffflussanalyse erstellen zu können sind Daten dieser Art von großer Bedeutung.

### 4.2.1 Untersuchungsrahmen

Der Untersuchungsrahmen für die mittels Stoffflussanalyse erstellten Szenarien gewählten Fallbeispiele „Nano-TiO<sub>2</sub>-Sonnencreme“ sowie „Nano-Ag-Putztuch“ schließt die Produktnutzung, das Freisetzungsverhalten von ENM aus dem Produkt in die Umwelt und alle möglichen Flüsse im österreichischen Abfallwirtschaftssystem mit ein. Ziel dieser Stoffflussanalyse ist es, die aus den Produkten freigesetzten Mengen von nano-TiO<sub>2</sub> und -Ag zu bilanzieren um das mögliche Risiko anhand von den ermittelten Emissionswegen abzuleiten. Wie schon im Grundlagenteil beschrieben wurde, können einerseits schon während der Nutzungsphase beachtliche Mengen von ENM in die Umwelt und ins Abwasser freigesetzt werden,

andererseits geht ein Teil der in Produkten enthaltenen ENM in Form von gebrauchsunfähigen Sonnencremen und Putztüchern als kommunaler Abfall in das österreichische Abfallwirtschaftssystem über. Darüber hinaus sind Stoffströme aus Umwelt in das Abfallwirtschaftssystem sowie vom Abfallwirtschaftssystem in die Umwelt zu erwarten und mitzubedenken.

#### 4.2.2 Datenstruktur für Stoffflussanalyse

##### Systemaufbau

Für die Erstellung der Massenbilanz mittels Excel, wurden drei Subsysteme mit den Bezeichnungen „F1 Subsystem Nutzungsphase“, „F2 Subsystem Abwasser“ und „F3 Subsystem Abfallwirtschaft“ gewählt. Diese Subsysteme gliedern sich in weiterer Folge in untergeordnete Flüsse wie z.B. „F.1.2.1 Wasserseitige Emissionen“, „F 2.3 Behandlung von Klärschlamm“ oder „F 3.1.1.1 Deponierung von Schlacke“. Alle einzelnen Bezeichnungen sind den Tabellen im Anhang (siehe Kap 7.2 ) angefügten Massenbilanzen bzw. Annahmen zu entnehmen. Bleibt ein Fluss innerhalb der österreichischen Abfallwirtschaft, z.B. in Form von deponierten ENM, wird dieser als systeminterner Fluss bezeichnet. Geht ein systeminterner Fluss in die Umwelt über ohne zurückgeführt werden zu können z.B. in Form von Bodeneintrag, wird dieser als systemexterner Fluss bezeichnet.

##### Systeminput

Als ersten Berechnungsschritt wurde ein minimaler und maximaler Systeminput (Jahresaufkommen) in Gramm pro Jahr auf Basis bekannter ENM-Konzentrationen im Produkt und österreichischen Konsumverhalten errechnet, welches ein reales Szenario darstellt. Wichtig ist hervorzuheben, dass dieses Szenario zwar hinsichtlich Jahresaufkommen eine aktuelle Situation darstellt, allerdings keinen zusätzlichen Input aus vorhergehenden Jahren (Lager) berücksichtigt (statische vs. dynamische Stoffflussmodellierungen).

##### Freisetzungsraten und Transferkoeffizienten

Für die berechneten Fallbeispiele „Nano-TiO<sub>2</sub>-Sonnencreme“ und „Nano-Ag-Putztuch“ wurden primär Freisetzungsraten in Hinblick auf Konsum und Entsorgung, basierend auf Annahmen und Literaturwerten festgelegt, welche die Flüsse vom Systeminput in die einzelnen Subsystem darstellen. In weiterer Folge wurde zwischen „stochastische Transferkoeffizienten“ und „nano-spezifische Transferkoeffizienten“ unterschieden und diese in die Bilanz eingerechnet. Die „stochastischen Transferkoeffizienten“ spiegeln österreichweite abfallwirtschaftliche statistische Daten (auf Basis von Sortieranalysen) hinsichtlich Entsorgung, Behandlung, Verwertung und Beseitigung von Restmüll (Abfall aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen) und Abwasser und Klärschlamm wieder, ohne Spezifizierung für ENM. So gelangt z.B. laut Bundesabfallwirtschaftsplan (BMFLUF, 2011) ein hochgerechneter Restmüllanteil *„mit einer Wahrscheinlichkeit von 49,7% in die Mechanisch-biologische Behandlungsanlage und wird mit weiteren Wahrscheinlichkeiten von 40,8% , 48,9%, 10,3% als heizwertreiche, heizwertarme oder als Altstoff aussortiert und entsprechend weiterbehandelt werden“* (vgl. Tabellen 29-36 im Anhang Kap. 7). Sofern die Entsorgungswege dem Hauptabfallstrom (z.B.

Rest- und Sperrmüll) zuordenbar waren und keine produktspezifischen Annahmen getroffen werden mussten, blieben diese ident. Durch produkt- und nanospezifische Faktoren (z.B. Auswaschung von ENM in das Prozesswasser während Kunststoffrecycling, Verschlackung von ENM im Verbrennungsprozess) wurden in die Bilanz zusätzlich „nanospezifische Transferkoeffizienten“ einberechnet, welche sich auf Expertenmeinungen aus Wirtschaft und Forschung oder einschlägiger Fachliteratur stützen.

Alle Annahmen, welche den genannten Freisetzungsraten und Transferkoeffizienten zugrunde liegen, wurden in den erstellten Szenarien (Stoffflussdiagrammen sowie Massenbilanzen) wie folgt klassifiziert und farblich markiert (vgl. Kap. 4.1 21-23 bzw. Anhang Kap. 7.2. Tab. 29-36)

- ROT= Produktspezifische Annahmen zum Verbleib von Nanokonsumprodukten in abfallwirtschaftlichen Prozessen (persönliche Kommunikation innerhalb NanoMia-Projektteam; Huber-Humer et al. 2015)
- GELB= Expertenmeinungen (persönlich Kommunikation)
- BLAU=Annahmen basierend auf abfallwirtschaftlichen Daten ohne Spezifizierung für ENM (stochastische Annahmen)
- GRÜN=Annahmen basierend auf publizierten Studien (experimentelle Untersuchung, Annahmen der Autoren)

#### Definition und Ermittlung der Senken sowie Emissionen

Der Lebenszyklus eines Stoffes (im Fall der gewählten Szenarien TiO<sub>2</sub> oder Ag) in der Anthroposphäre beginnt bei einer Quelle (z. B. Abbau im Bergwerk von Ti oder Ag) und endet bei einer Senke. Eine letzte Senke wird als ein Ort in der Hydro-, Pedo-, Litho- oder Atmosphäre definiert, in der ein Stoff eine Verweildauer von 10.000 Jahre einnehmen kann. Der Abfallwirtschaft kommt hier eine große Bedeutung zu, da sie als einziger Wirtschaftszweig in der Lage ist, Stoffe über Deponien oder in sogenannten letzten Senken umweltverträglich zu sammeln (ÖWAV, 2003). Somit ist die Abfallwirtschaft imstande, die ausgehende Gefahr technisch zu kontrollieren. Senken für die in diesem Kapitel berechneten Szenarien, bilden aufgrund der Aufkonzentrierung in Reststoffen der Verbrennung (Schlacken/Flugaschen) folglich Deponien, können aber auch landwirtschaftliche Böden oder Recyclingstoffe darstellen. Entsorgte Klärschlämme mit enthaltenen ENM-Mengen stellen sogenannte temporäre Senken dar. Es ist anzumerken, dass klassische Hausmülldeponien oder sonstige obertätige Deponien häufig nicht als letzten Senken bezeichnet werden können, da davon auszugehen ist, dass deren technische Barrieren keine 10.000 Jahre funktionstüchtig sind und es dann zu unkontrollierten Emissionen kommen kann. Für die generelle Bewertung letzter Senken für ENM fehlen noch Kurz- und Langzeitergebnisse über Transformationsprozesse von ENM in Deponien, Böden, Atmosphäre usw.

Wie auch den Regelblätter vom ÖWAV (2003) zu entnehmen ist, entstehen bei jedem Prozess, unabhängig davon, ob es sich um einen Behandlungs- oder einen

Verwertungsprozess handelt, Emissionen und Rückstände, die der Umwelt zu übergeben sind. Auch diese sind in geeignete letzte Senken oder Zielprozesse zu überführen (ÖWAV, 2003). In den berechneten Szenarien entsprechen den Emissionen alle diffusen, systemexternen Flüsse. Sie können auch als Systemoutput der Bilanz bezeichnet werden. Zusammen mit den systeminternen Flüssen bzw. Senken bilden sie 100%. Diese können in natürliche oder künstliche Gewässer, Böden und Luft übergehen, sodass laut ÖWAV (2003) keine weitere anthropogene Einflussnahme besteht. Es ist hervorzuheben, dass letzten Endes auch die Kapazität von Luft und Wasser für die Verdünnung von Schadstoffen begrenzt ist (Brunner et al., 2008). Sofern (Schad-)Stoffe einmal großräumig verteilt sind, müsste eine unendlich große Energie eingesetzt werden, diese Stoffe wieder zu konzentrieren (ÖWAV, 2003).

## 4.3 Entsorgungs- und Emissionsszenarien für ausgewählte Nanokonsumprodukte

### 4.3.1 Szenario 1: „Nano-TiO<sub>2</sub> in Sonnencremen“

#### Systemflüsse

Basierend auf den Daten von Lorenz et al. (2011) kann angenommen werden, dass 40% aller Einwohner Österreichs (bezogen auf das Jahr 2014 8507786 EW; Statistik Austria, 2014) durchschnittlich insgesamt 8g Sonnencreme an 20 Tagen im Jahr auftragen. Bei einem Marktanteil von 50% nano-TiO<sub>2</sub>-haltiger Sonnencremen (Lorenz et al. 2011) und 2-15% Gehalt von nano-TiO<sub>2</sub>-Gehalt in der Sonnencreme (Davis et al. 2010) ergibt sich ein minimales und maximales Jahresaufkommen (40,8 bzw. 5,4 t/ Jahr), welches als Systeminput in die Modellierung eingeht.

Für die Subsysteme *F 3 Abfallwirtschaft* und *F1 Nutzungsphase* wurde angenommen, dass 15 % der Sonnencremeinhalte in der Abfallwirtschaft anfallen bzw. schon 85% während der Nutzungsphase verbraucht werden. Ausgehend von der Annahme der Autoren Danovaro et al. (2008) kann für den *Fluss F 1.2.2* angenommen werden, dass beim Baden in Schwimmbädern oder Abreiben der Haut mit dem Handtuch 75% der aufgetragenen Sonnencreme über das Schmutzwasser in das Abwassersystem gelangen. Dem österreichischen Kanalanschlussgrad (ÖWAW, 2010) zufolge gilt für die *Flüsse F 2.1, 2.2*, dass 90% des gesammelten nano-TiO<sub>2</sub> haltigen Abwassers behandelt werden, jedoch 10 % als diffuse Emission direkt in den Vorfluter gelangen. Während der Abwasserbehandlung wird nano-TiO<sub>2</sub> wiederum zu einem Anteil von 90% im Klärschlamm zurückgehalten (siehe *Fluss F 2.2.2*) sodass nur mehr 10% als diffuse Emission in den Vorfluter abfließen (siehe *Fluss F 2.2.1* , vgl. Johnson et al. 2010). Sonnencremen werden hauptsächlich in Kunststoffverpackungen ((Hight-Density) Polyetylen Kunststoff vgl. alibaba.com) abgefüllt. Deren Entsorgung kann in Form von restentleerten Verpackungen entweder in der getrennten Sammlung von Altkunststoffen oder in Form von nicht-restentleerten Verpackungen im Restmüll (als Fehlwurf) bzw. bestenfalls in der Problemstoffsammelstelle (wien.gv.at) erfolgen. Im Altkunststoff getrennt gesammelte Sonnencremeverpackungen werden im Kunststoffrecycling, zerkleinert, getrennt, gewaschen und sortenrein verschmolzen (ecoplast.com). Dabei entstehende Prozessabwässer können je nach Recyclingwerk innerbetrieblich gereinigt und behandelt und/oder außerbetrieblich in kommunale Abwasserentsorgungsanlagen eingeleitet werden (ecoplast.com, Sky Plastic, 2006).

Letztere Entsorgungsmöglichkeit wurde für den Fluss *F 3.2.1.1.1* angenommen und damit dem Subsystem *F2 Abwasser* zugeführt. Für im Restmüll und Sperrmüll gesammelte Sonnencremeverpackungen mit oder ohne Restinhalte wird angenommen, dass große/feste Bestandteile ( $d > 50\text{mm}$ ) in der heizwertreichen Fraktion (siehe *F 3.1.2.1*) oder als Altstoff (siehe *F 3.1.2.3*) durch das Grobsieb aussortiert werden sowie auch als kleine/flüssige Bestandteile in der heizwertarmen Fraktion ( $d < 50\text{mm}$ , siehe *F 3.1.2.2*) anfallen. Die enthaltenen Restinhalte werden entweder mit dem heizwertreichen Kunststoff verbrannt (siehe *F 3.1.1*), biotechnisch behandelt und deponiert (siehe *F 3.2.2.2*) sowie als Kompost oder Sekundärrohstoff stofflich verwertet (siehe *F 3.2.2.3* und *F 3.1.2.3*).

Bisher wurde der Verbleib von nano-TiO<sub>2</sub> in Verbrennungsprozessen noch nicht messtechnisch erfasst. Aus diesem Grund werden die Transferkoeffizienten zum Verbleib von nano-CeO<sub>2</sub> in Schweizer Kehrichtverbrennungsofen basierend auf der Studie von Walser et al. (2012) angenommen. Es wird folglich angenommen, dass sich nano-TiO<sub>2</sub> mit einer Wahrscheinlichkeit von 19% bzw. 81% in der Flugasche bzw. Schlacke anreichert und deponiert wird (vgl. *F 3.1.1.1* und *F 3.1.1.2*).

Für diese Bilanz wurde angenommen, dass durch Konsum und Entsorgung nano-TiO<sub>2</sub>-haltiger Sonnencremen keine Anteile in Problemstoffen (siehe *F 3.2.3*), Baurestmassen (siehe *F 3.3*) anfallen.

Die Eingabe und Berechnung des Systeminputs, der Annahmen (Transferkoeffizienten) und Flüsse erfolgte in Excel (siehe Anhang Tab. 29, Tab. 30). Die Ergebnisse für den Systeminput und jeder einzelne Systemfluss wurden zusätzliche in der Software „STAN“ graphisch dargestellt (siehe Abb. 21 unten).

#### Ableitung des Emissionsszenarios

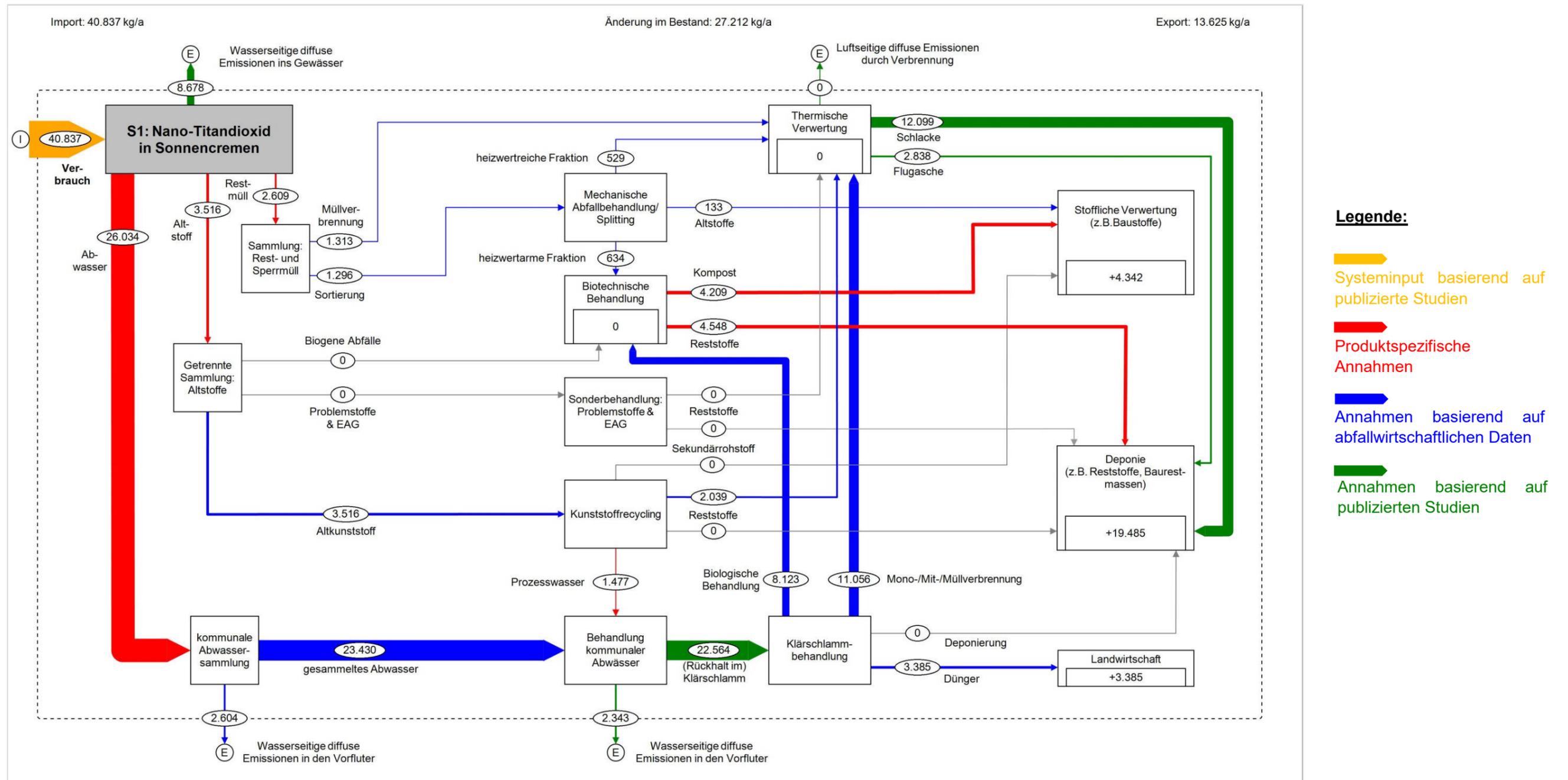
Wie in der Methodik (vgl. Kap. 4.2.2) beschrieben, müssen die internen sowie externen Flüsse den Systeminput zu 100% widerspiegeln und dienen zur Kontrolle der Massenbilanz. Durch das Maximum-Minimum-Szenario, welches durch den minimalen bzw. maximalen Gehalt von nano-TiO<sub>2</sub> in Sonnencremen definiert wird, ergibt sich für die einzelnen Flüsse und Senken jeweils eine Ober- und Untergrenze in Gramm pro Jahr sowie ein anteilmäßiger Prozentsatz.

Systeminterne/ externe Flüsse	Obergrenze [g/a]	Untergrenze [g/a]	[%]
<b>Summe S1 Deponie</b>	19.485.104	2.598.046	47,7%
<b>Summe S2 Recycling</b>	4.343.058	579.082	10,6%
<b>Summe S3 Aufbringung in der Landwirtschaft</b>	3.384.593	451.285	8,3%
<b>O1 luftseitige, diffuse Emissionen</b>	0	0	0,0%
<b>O2 wasserseitige, diffuse Emissionen</b>	13.624.244	1.816.588	33,4%
<b>Transformation durch biologischen Abbau</b>	0	0	0,0%
<b>Transformation während Rauchgasreinigung</b>	0	0	0,0%
<b>Gesamt</b>	<b>40.837.000</b>	<b>5.445.000</b>	<b>100%</b>

Tab. 25: Zusammenfassung der systeminternen und externen Flüsse bzw. des Verbleibs von nano-TiO<sub>2</sub> in Sonnencremen in Österreich

Wie Tab. 25 und analog den Tabellen 29-31 im Anhang zu entnehmen ist, bilden Deponien (Deponierung von MVA-Schlacken/-Aschen und Reststoffen aus biotechnischer Behandlung siehe F 3.1.1.1, F 3.1.1.2, F 3.2.2.2 bzw. S1 und S3) zu 64,3% die Senken für in Sonnencremen eingesetzte nano-TiO<sub>2</sub>-Mengen. Unklar ist, ob und über welchen Zeitraum ENM aus Deponien emittiert werden können (vgl. Kap. 2.3.5). Auch die Senke S2 Recycling mit einem Anteil von 10,6 % (welcher sich zu 97%\* aus der Kompostierung von kommunalen Klärschlämmen incl. Klärschlämmen aus der Prozesswasserbehandlung im Kunststoffrecycling siehe F 3.1.2.3, F 3.2.1.1.1 zusammensetzt) birgt kurzfristig oder langfristig zusätzliches Emissionspotential. Den Systemoutput (O2) stellen zu 33,4 % natürliche Gewässer (Emissionen in den Vorfluter/ Gewässer siehe F 1.2.1, F 2.1, F 2.2.1) dar. Risiko kann bestehen durch Aufbringung von Klärschlamm (=temporäre ENM-Senke) in der Landwirtschaft (siehe S3 bzw. F 2.3.1), welche wasserseitige Emissionen von nano-TiO<sub>2</sub> auf lange Sicht zusätzlich begünstigen könnten.

*\*Anm.: Es wurde, laut Bundesabfallwirtschaftsplan (BAWP ,2011) angenommen, dass die zu 3% im Splitting aussortierte Leichtfraktion bzw. Altstoff und daran haftende TiO<sub>2</sub> – Mengen siehe F.3.2.2.3 stofflich verwertet (=S2 Recycling) werden. Aus dem BAWP (2011) geht nicht hervor, dass dieser Anteil wiederum der thermischen Verwertung zugeführt wird, so wie dies jedoch beispielsweise aus den BOKU-ABF-Vorlesungsunterlagen bzgl. Stoffströme von MBA-Material (Lechner & Huber-Humer, 2011) hervorgeht. Alle Berechnungen zur Behandlung von Restmüll basieren durchgängig auf den Daten zum Aufkommen von „Abfällen aus Haushalten und haushaltsähnlichen Einrichtungen“ (BAWP ,2011).*



- Legende:**
- Systeminput basierend auf publizierte Studien
  - Produktspezifische Annahmen
  - Annahmen basierend auf abfallwirtschaftlichen Daten
  - Annahmen basierend auf publizierten Studien

Abb. 21: Stoffflussdiagramm für nano-TiO<sub>2</sub> in Sonnencreme („MAX-Szenario S1“)

#### 4.3.2 Szenario 2 : „Nano-Ag in Putztüchern“

Für die Berechnung des Systeminputs wurden Produktinformationen eines führenden Herstellers von nano-Ag-haltigen Putztüchern (vileda-professional.com), Anzahl der Haushalte in Österreich in 2014 (Statistik Austria, 2014b) sowie eigene Annahmen zur Putztuch-Nutzung inklusive fiktiven Marktanteilen nano-Ag-haltiger Putztücher zu konventionellen Putztüchern verwendet. Da die Information des nano-Ag-Gehalts in der Produktinformation nicht direkt aufschien, wurden Herstellerangaben zum nano-Ag-Gehalt in Polyamid-Masterbatch (Reinste Nano Ventures Pvt. Ltd., 2015), welcher Bestandteil für die Herstellung von Nano-Kunststoff-Putztüchern sein kann, mitberücksichtigt. Aufgrund der genannten Literaturanhaben und Annahmen konnten folgende Produktdaten festgehalten werden: Putztuch mit 20 g Gewicht, bestehend aus 70% Polyester-, 30% Polyamid- inklusive 6% nano-Ag haltigem Polyamid-Masterbatch. Für den nano-Ag-PA-Masterbatch errechnet sich ein Gesamtgehalt von 0,288 g nano-Ag pro Putztuch, bzw. eine Konzentration von 6500 mg nano-Ag / kg PA-Masterbatch. Ausgehend von einem Durchschnittsverbrauch von 10 Putztüchern pro Jahr mit einem Marktanteil für nano-Ag-haltige Putztücher von 1% bzw. 3% aufgrund eigener Annahme konnte anhand der Anzahl österreichischer Haushalte im Jahr 2014 (n=3769000) eine minimale bzw. maximale Jahresaufkommen von 14 bzw. 42 g nano-Ag / Jahr in Putztüchern berechnet werden. Dieses ging als Systeminput in die Modellierung ein.

Es wurden insgesamt zwei Min-Max Szenarien-Varianten (Szenario A, Szenario B) gewählt. Die Unterscheidung dieser Variante in „S2A“ und „S2B“ liegen den Erkenntnissen der Autoren Mitrano et al. (2014) zugrunde, welche das Auswaschverhalten von nano-Ag in Textilien hinsichtlich „direkt in die Faser integriertem nano-Ag“ ( $\triangleq$  Szenario A) bzw. „an der Faseroberfläche haftenden nano-Ag“ ( $\triangleq$  Szenario B) beschreiben. Angelehnt an die Ergebnisse von Mitrano et al. (2014) wird angenommen, dass 10% des „faserintegriertem nano-Ag im Putztuch“ in der Nutzungsphase (*Subsystem F1 siehe F*) durch Putzen oder Waschen freigesetzt wird. Für das „an der Faseroberfläche haftende nano-Ag im Putztuch“ wird eine nano-Ag-Freisetzung zu 100% in der Nutzungsphase angenommen. Für beide Varianten, so die Annahmen, erfolgt die Freisetzung zu 100% wasserseitig (siehe *F 1.2*) in die Kanalisation (siehe *F 1.2.2*). Dem österreichischen Kanalanschlussgrad (ÖWAW, 2010) zufolge gilt, dass 90% des gesammelten nano-TiO<sub>2</sub>-haltigen Abwassers behandelt werden (siehe *F 2.2*), jedoch 10% als diffuse Emission direkt in den Oberflächengewässer gelangen (siehe *F 2.1*). In der Abwasserbehandlung wird nano-Ag wiederum zu einem Anteil von 90% im Klärschlamm zurückgehalten (siehe Fluss *F 2.2.2*) sodass nur mehr 10% als diffuse Emission in den Vorfluter abfließen (siehe Fluss *F 2.2.1*, vgl. Kaegi et al. 2013). Putztücher werden vornehmlich als Restmüll entsorgt. Die Entsorgungsraten für das Subsystem Abfallwirtschaft *F 3* ergeben sich als Rückschluss zu den Annahmen im Subsystem Nutzungsphase *F 1*: Im Fall des Putztuchs mit faserintegrierten nano-Ag ergibt sich ein Entsorgungsanteil von 90% (vgl. *F 3 Szenario A*) wohingegen beim Putztuch mit an der Oberfläche haftenden nano-Ag dieser Anteil bei 0% liegt (vgl. *F 3 Szenario B*).

Da Putztücher während der mechanischen Behandlung zerrissen werden können und sich deren Querschnitt ändern kann, werden die weiteren Wahrscheinlichkeiten für die Behandlung im MBA-Splitting (heizwertreiche/-arme Fraktion, Altstoffe aus Splitting siehe *F 3.1.2 ff.*) gemäß Bundesabfallwirtschaftsplan 2009 (BMFLUF, 2011a) für Szenario A übernommen („stochastischer Ansatz“). Bei Szenario B ergibt

sich ein Entsorgungsinpult alleine durch die Verwertung/Behandlung von Klärschlamm mittels Müllverbrennungsanlage oder biotechnischer Behandlung (siehe F 3.1.1, F 3.2.2). Bisher wurde der Verbleib von nano-Ag in Verbrennungsprozessen noch nicht messtechnisch erfasst. Aus diesem Grund werden die Transferkoeffizienten zum Verbleib von nano-CeO<sub>2</sub> in Schweizer Kehrlichtverbrennungsöfen der Autoren Walser et al. (2012) angenommen und zusätzlich den Transferkoeffizienten der Autoren Müller et al. (2013) für das Verhalten von nano-Ag in der Rauchgasreinigung herangezogen. Nach Mueller et al. (2013) werden 2,5% des nano-Ag in der Rauchgasreinigung eliminiert (siehe F 3.1.1.4). Es wurde angenommen, dass die restlichen 97,5% des Nano-Ag (auf Basis von Walser et al., 2012) in der Flugasche sowie Schlacke akkumuliert werden (siehe F 3.1.1.1 und F 3.1.1.2).

Für diese Bilanz wurde angenommen, dass durch die Nutzung und Entsorgung nano-Ag-haltiger Putztücher keine Anteile in Problemstoffen (siehe F 3.2.3) oder Baurestmassen anfallen (siehe F 3.3).

Die Eingabe und Berechnung des Systeminputs, der Annahmen (Transferkoeffizienten) und Flüsse für Variante A und B erfolgte in Excel (siehe Tab. 32 bis Tab. 35). Die Ergebnisse für den Systeminput und jeder einzelne Systemfluss wurden zusätzliche in der Software „STAN“ graphisch dargestellt ( Variante A und B siehe Abb. 22 und 23)

#### Ableitung des Emissionsszenarios

Wie in der Methodik (vgl. Kap. 4.2.2) beschrieben, müssen die internen sowie externen Flüsse den Systeminput zu 100% widerspiegeln und dienen zur Kontrolle der Massenbilanz. Das Maximum-Minimum-Szenario errechnet sich durch minimalen bzw. maximalen Marktanteil von nano-Ag-haltigen Putztüchern mit definiertem Ag-Gehalt im Vergleich zu konventionellen Putztüchern. Für alle Flüsse und Senken ergibt sich jeweils eine Ober- und Untergrenze in Gramm pro Jahr sowie ein anteilmäßiger Prozentsatz.

a) Szenario 2A: Putztuch mit an der Oberfläche haftendem nano-Ag:

<b>Systeminterne/ externe Flüsse (Variante B)</b>	<b>Obergrenze [g/a]</b>	<b>Untergrenze [g/a]</b>	<b>[%]</b>
<b>Summe S1 Deponie</b>	25,07	8,36	59,23%
<b>Summe S2 Recycling (Baustoffe etc.)</b>	6,53	2,18	15,42%
<b>Summe S3 Aufbringung in der Landwirtschaft</b>	5,66	1,89	13,37%
<b>O1 luftseitige, diffuse Emissionen</b>	0,00	0,00	0,00%
<b>O2 wasserseitige, diffuse Emissionen</b>	4,61	1,54	10,90%
<b>Transformation durch biologischen Abbau</b>	0,00	0,00	0,00%
<b>Transformation während Rauchgasreinigung</b>	0,46	0,15	1,09%
<b>Gesamt</b>	<b>42,33</b>	<b>14,11</b>	<b>100,00%</b>

Tab. 26: Zusammenfassung der Senken für Szenario 2A-Max-Min

b) Szenario 2B: Putztücher mit faserintegriertem nano-Ag

<b>Systeminterne/ externe Flüsse (Variante A)</b>	<b>Obergrenze [g/a]</b>	<b>Untergrenze [g/a]</b>	<b>[%]</b>
<b>Summe S1 Deponie</b>	33,53	11,18	79,21%
<b>Summe S2 Recycling (Baustoffe etc.)</b>	7,05	2,35	16,66%
<b>Summe S3 Aufbringung in der Landwirtschaft</b>	0,57	0,19	1,34%
<b>O1 luftseitige, diffuse Emissionen</b>	0,00	0,00	0,00%
<b>O2 wasserseitige, diffuse Emissionen</b>	0,46	0,15	1,09%
<b>Transformation durch biologischen Abbau</b>	0,00	0,00	0,00%
<b>Transformation während Rauchgasreinigung</b>	0,72	0,24	1,70%
<b>Gesamt</b>	<b>42,33</b>	<b>14,11</b>	<b>100%</b>

Tab. 27: Zusammenfassung der Senken für Szenario 2A-Max-Min:

Gemäß Zusammenfassung der systeminternen und externen Flüsse der Varianten A und B, stellen Deponien (Deponierung von MVA-Schlacken/-Aschen und Reststoffen aus biotechnischer Behandlung siehe (F 3.1.1.1, F 3.1.1.2, F 3.2.2.2), neben dem Recycling (Kompostierung von Reststoffen aus der biotechnischen Behandlung siehe F 3.2.2.3) die größte abfallwirtschaftliche Senke für nano-Ag dar, welches ursprünglich in Putztüchern enthalten war. Unterschiede zwischen den Varianten ergeben sich durch den höheren Anteil wasserseitiger Emissionen bei oberflächenbeschichteten Putztüchern ( siehe F 1.2) und den damit verbunden höheren Anteil diffuser wasserseitiger Emissionen ( siehe F 2.1) bzw. der erhöhten Aufbringung von nano-Ag-haltigen Klärschlamm aus der kommunalen Abwasserreinigung (siehe F 2.3).

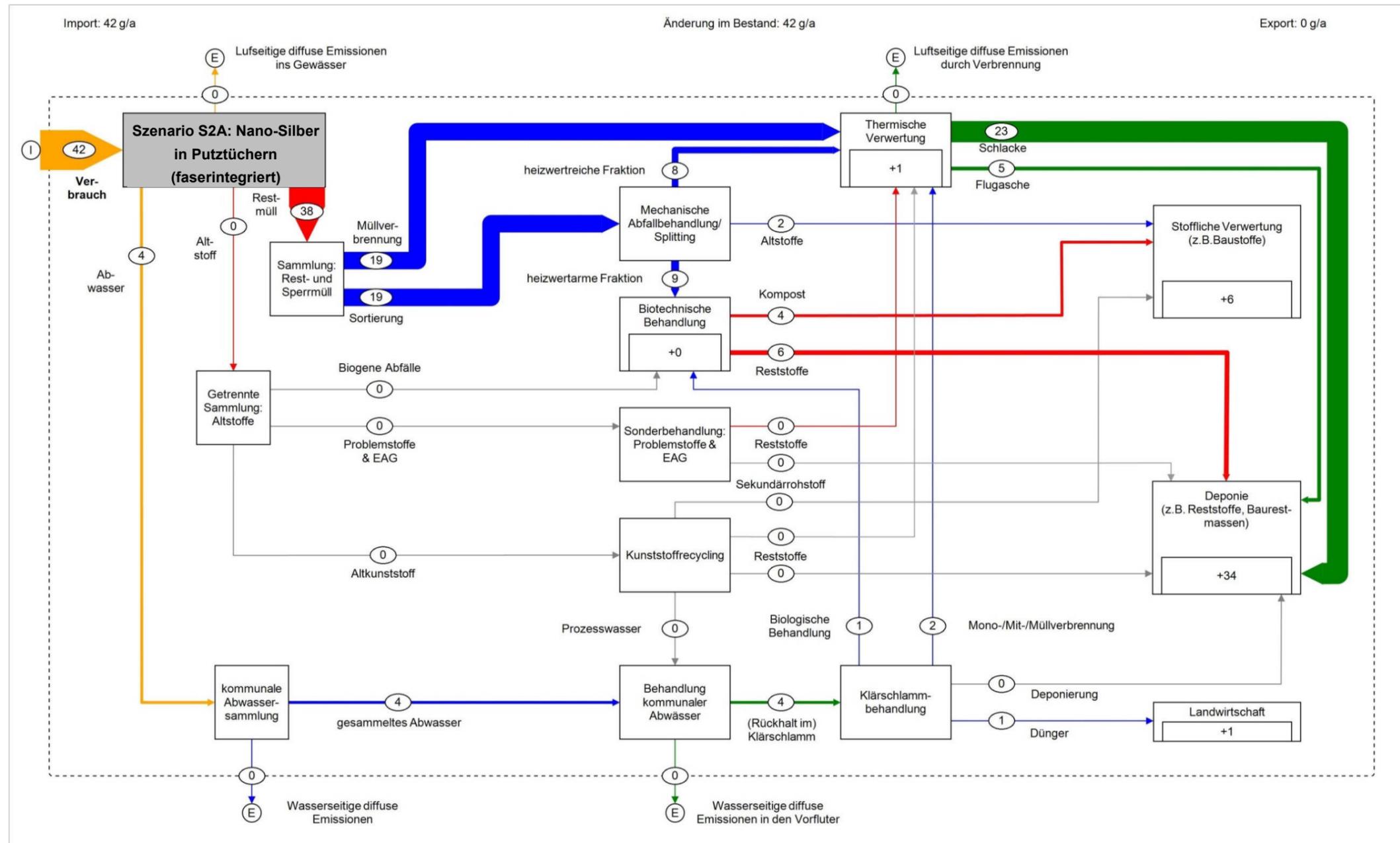
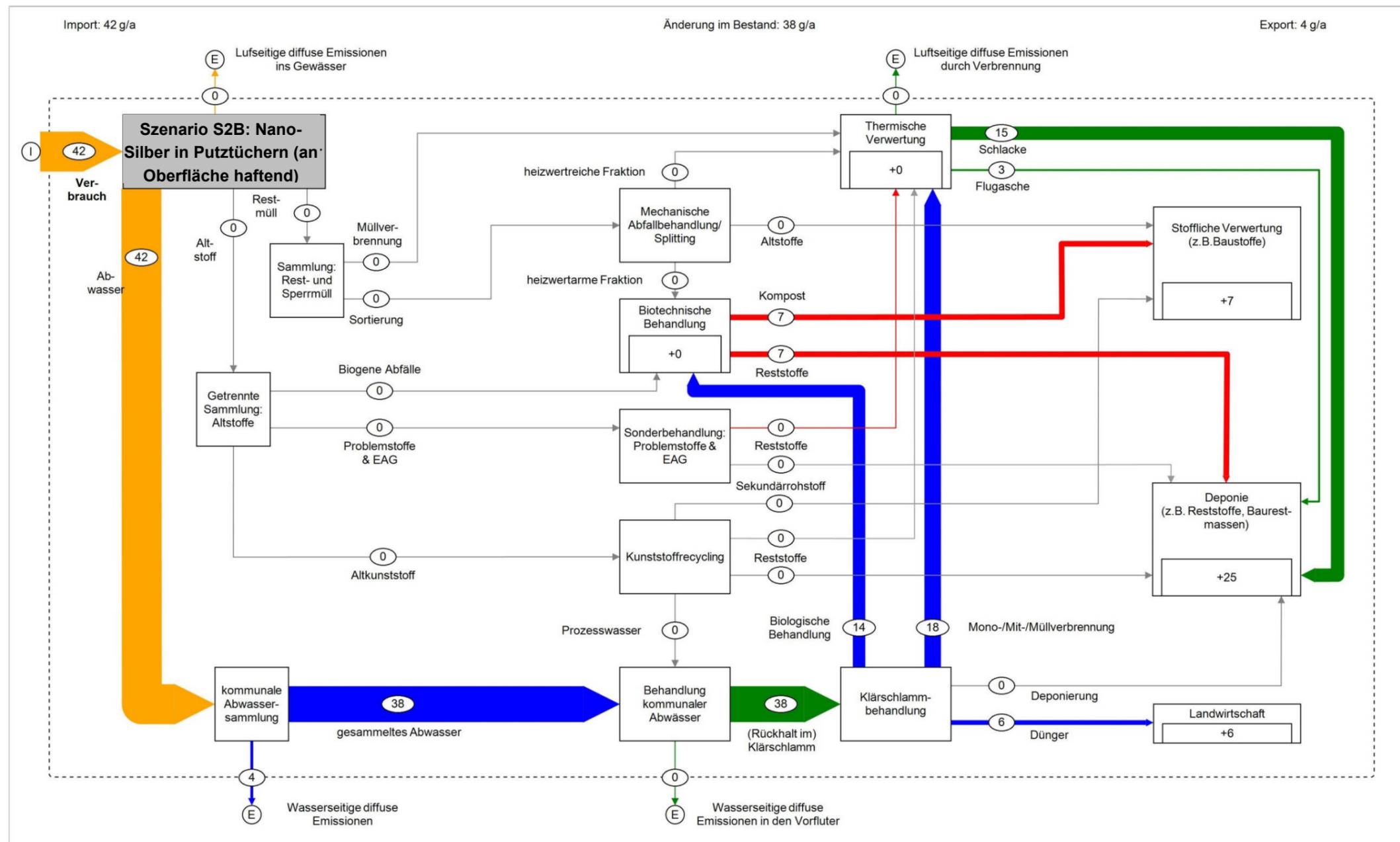


Abb. 22: Stoffflussdiagramm für Putztücher mit faserintegriertem Nano-Ag („MAX-Szenario-S2A“)



**Legende:**

- ▬ Systeminput basierend auf publizierte Studien
- ▬ Produktspezifische Annahmen
- ▬ Annahmen basierend auf abfallwirtschaftlichen Daten
- ▬ Annahmen basierend auf publizierten Studien

Abb. 23: Stoffflussdiagramm für Putztücher mit an der Oberfläche haftenden nano-Ag („MAX-Szenario S2B“)

## 5 Zusammenfassung

### 5.1 Zusammenfassung

Durch den steigenden Konsum von ENM-haltigen Haushaltsprodukten, sogenannten „Nanokonsumprodukten“ steht die Abfallwirtschaft vor der Frage, welcher Menge von ENM jetzt und in Zukunft in österreichischen Haushalten als Teil des häuslichen Abfalls anfallen. Dieser Kernfrage wurde in der vorliegenden Arbeit anhand von zwei Fallbeispielen mithilfe einer quantitativen Stoffflussanalyse nachgegangen.

Im Grundlagenteil wurden einleitend die einschlägige Fachliteratur zum Einsatz von ENM in Nanokonsumprodukten in unterschiedlichen Haushaltsbereichen tabellarisch dargestellt, eine Zusammenfassung erster Regulierungsversuche und -erfolge für Nanokonsumprodukte in Europa erstellt, sowie auch abfallrechtliche Aspekte zum derzeitigen Umgang von ENM in der Abfallwirtschaft erörtert und Defizite identifiziert. Als erste Erfolge können bereits durchgesetzte Kennzeichnungspflichten für einzelne Produktbereiche wie Kosmetika oder Biozide oder konkrete Vorschläge zur Ausweisung von ENM in Sicherheitsblättern genannt werden. Abfallwirtschaftliche Defizite sind vor allem auf den noch mangelnden Kenntnistand betreffend der Toxikologie von ENM unter realistischen Konzentrationen zurückzuführen und zeigen sich beispielsweise an der limitierten Anwendbarkeit von gängigen Schwellen- und Grenzwerten in abfallrelevanten Richtlinien, wie der Klärschlamm-, Deponie oder RoSH-Richtlinie. Die abfallwirtschaftliche Relevanz zum Aufkommen einzelner Stoffe, wurde anhand von Produktionszahlen wirtschaftlich relevanter ENM gezeigt. Besonderes Augenmerk wird hier auf die mengenmäßig am häufigsten eingesetzten ENM, insbesondere nano-SiO<sub>2</sub> und nano-TiO<sub>2</sub>, sowie das in vielen ökotoxikologischen Studien behandelte nano-Ag gelegt. Als Literaturgrundlage für die Stoffflussanalyse diente letztlich ein Review über den Verbleib von ENM in der End-of-Life Phase, also dem Verbleib von ENM in den Bereichen Abwasserbeseitigung, thermische Abfallbehandlung, Recycling und der Ablagerung von Abfällen. Neben der möglichen diffusen Freisetzung von ENM in die Umwelt während der Nutzungsphase zeigen allgemeine Erkenntnisse der letzten Jahre, dass ENM im Klärschlamm größtenteils zurückgehalten werden, während der Müllverbrennung agglomerieren und sich in den Reststoffen der Verbrennung aufkonzentrieren können. ENM können somit durch die Aufbringung von Klärschlamm in der Landwirtschaft sowie durch unkontrollierte Emissionen von Deponien möglicherweise in die Umwelt gelangen.

Um Konsumenten über das Angebot von Nanokonsumprodukten oder möglicherweise schädigende Wirkungen von enthaltenen ENM aufzuklären, sind in den letzten Jahren einige online öffentlich zugängliche Produktdatenbanken entstanden. Da immer mehr Autoren aus dem wissenschaftlichen Bereich Informationen aus derartigen Datenquellen zitieren und diese auch wertvolle Informationen zum Abfallmanagement von Nanokonsumprodukten enthalten, wurde dieser Wissenstand anhand einer eigens erstellten Produktdatenbank zusammengefasst. Für das Abfallmanagement und die nachfolgend erstellte Stoffflussanalyse sind diese Produktdaten aus folgendem Grund von Belang, da sie neben Informationen zum enthaltenen ENM auch über die Einarbeitungsart ins Produkt und die Marktdurchdringung Aufschluss geben. Insgesamt wurden über 5200 Produktdaten aus 10 online zugänglichen Internetdatenquellen erhoben. Die

Daten konnten zu einem Datenbestand konsolidiert werden, der insgesamt über 3400 Produkte enthält und deren ausgewiesenen „Inhaltsstoffe in Nanogröße“ bzw. ENM insgesamt 25 Elementen des Periodensystems zugeordnet werden konnten. Die Produkte wurden den Haushaltsbereichen/Kategorien „Autozubehör“, „Baumaterialien“, „Beschichtungen“, „Elektrokleingeräte“, „Elektronik“, „Gesundheit und Medizin“, „Haushaltsgeräte“, „Heimtextilien“, „Textilien“, „Kinder“, „Kosmetik“, „Garten“, „Küche“, „Reinigungsmittel“, „Sport und Outdoor“ untergeordnet. So konnte für 39% der Produkte erhoben werden, welches ENM enthalten war, für 61% der Produkte waren keine Angaben vorhanden oder die Angaben zum enthaltenen ENM zu unklar. Am häufigsten genannt wird nano-Ag, nano-TiO<sub>2</sub> oder nano-SiO<sub>2</sub>, zu 15, 7 und 3 % der Nanokonsumprodukten eingesetzt werden. Gelistete Produkte sind vor allem Beschichtungsmittel, Kosmetika sowie Textilien. Anhand der ermittelten Häufigkeiten bezüglich „Kategorie“ und „ENM-Nennung“ und „Datenbanknennung“ wurden der gesamte Datensatz in der Detailanalyse auf einen repräsentativen Datensatz verkleinert, welcher als Vorlage zur genauen Beschreibung der einzelnen Kategorien diente. In dieser Detailanalyse wurden die einzelnen Kategorien mit den im Grundlagenteil genannten einschlägigen Fachreviews verglichen und die Aussagefähigkeit der Datensätze für die einzelnen Kategorien bewertet und erste Hinweise zu möglichen Entsorgungswegen (Entsorgung im Restmüll, Problemstoffsammlung usw.) gegeben.

Aufgrund des guten Literaturstands hinsichtlich Häufigkeit in der Datenbank und Kenntnissen zum Verbleib von TiO<sub>2</sub> und Ag in der End-of-Life Phase, wurden als Fallbeispiele eine nano-TiO<sub>2</sub>-haltige Sonnencreme für die Kategorie „Kosmetika“ sowie Nano-Ag-haltiges Putztuch für den Bereich „Textilien“ gewählt. Bei erstem handelt es sich um ein flüssig vorliegendes Produkt (Dispersion), bei zweitem um ein festes Produkt, welche beide in Verbindung mit Wasser genutzt werden. Anhand eines „Bottom-up“ Stoffflussmodells konnten Daten zum Aufkommen, zur österreichweiten Nutzung, Annahmen zur Entsorgung, stochastische abfallwirtschaftliche Daten sowie Transferkoeffizienten aus der Literatur aus Abwasser- und Abfallbehandlung berücksichtigt werden. Für die in Sonnencremen und Putztüchern eingesetztes nano-TiO<sub>2</sub>-/ -Ag Mengen, welche pro Jahr in das österreichische Abfallwirtschaftssystem gelangen, lagen die Ergebnisse im Größenordnungsbereich von Tonnen nano-TiO<sub>2</sub>, und für Nano-Ag im Grammbereich. Zur Abschätzung möglicher Emissionen wurden Wahrscheinlichkeiten für den Verbleib in einzelnen Senken ermittelt. Anhand der modellierten Fallbeispiele konnte gezeigt werden, dass sich nano-TiO<sub>2</sub> und Nano-Ag mit einer Wahrscheinlichkeit von 48-59% in Deponien bzw. sich zu 11-15% in Recyclingstoffen (z.B. Kompost, Baustoffe) anreichern, zu 1-13% auf landwirtschaftlichen Böden aufgebracht werden und mit einer Wahrscheinlichkeit von 1-33% wasserseitig-diffus in die Umwelt gelangen. Die Ergebnisse gelten für Österreich, wo ein Großteil der Siedlungsabfälle thermisch oder stofflich verwertet wird – in vielen ost- bzw. südeuropäischen Ländern werden diese hingegen derzeit vorwiegend direkt deponiert.

## 5.2 Schlussfolgerungen

- In Hinblick auf die Regulierung ENM-haltiger Abfallströme fehlen derzeit Lösungen zu deren Sammlung, Behandlung sowie spezielle Vorgaben im Arbeitnehmerschutz.
- Durch einheitliche Definitionen, Kennzeichnungs-, Genehmigungs- bzw. Zulassungspflichten für ENM-haltige Produkte könnte eine Datenspeicherung auf institutioneller Ebene begünstigt werden. Für abfallwirtschaftliche Zwecke könnte auf derartige Daten zugegriffen werden, um z.B. Aufkommenstatistiken abzuleiten, geeignete Entsorgungsmöglichkeiten für einzelne Produkte zuzuordnen oder Informationen für das Recycling von Altstoffen bereitzustellen
- Nanoproduktkennzeichnungen oder sonstige erweiterte Konsumenteninformationen helfen gesellschaftliches Bewusstsein für ENM in Haushaltsprodukten zu schaffen und potentielle ENM-Quellen zu ermitteln, auch können relevante Auswirkungen und mögliche Gefahrenpotentiale nur dann realistisch abgeschätzt werden, wenn bekannt ist, wie und in welcher Menge ENM in Produkten eingesetzt werden und welchen Marktanteil Nanokonsumprodukte branchenspezifisch haben.
- Durch Analyse der Produktdaten und Vergleich mit Literaturangaben konnte festgestellt werden, dass öffentlich zugängliche Produktdatenbanken ein großes Spektrum von ENM-haltigen Nanokonsumprodukten widerspiegeln, allerdings ENM in Produkten einzelner Branchen wie z.B. im Elektronikbereich in hohem Maße unterrepräsentiert sind (vgl. Allsopp et al. 2007). Daneben sind auch ENM-Einsatzmöglichkeiten in Bereichen mit einer großen Auswahl von Produkten (Kosmetika, Beschichtungsmittel), im Vergleich zu Angaben laut Fachliteratur dennoch untervertreten (Mihiranyhan et al., 2012, UBA, 2014). Durch Vergleich mit Literaturangaben, insbesondere zu Beschichtungsmitteln (UBA, 2014) könnte auch in Hinblick auf weltweite Produktionsmengen (vgl. Piccinno et al. 2012) beispielsweise nano-SiO<sub>2</sub> mehr Bedeutung zukommen, als dies in der konsolidierten Datenbank dargestellt wurde.
- Die Stoffflussanalyse ist ein hilfreiches Instrument Erkenntnislücken, wie dem Mangel an Freisetzungsraten und empirisch ermittelte Transferkoeffizienten, für einzelne Produkte entlang ihres Lebenswegs aufzuzeigen und den bisherigen Kenntnisstand zusammenzufassen.
- Eine mögliche toxische Wirkung von ENM auf Organismen und Zellen wurde in der Literatur zwar mehrfach beschrieben, jedoch fehlen zur belastbaren Risikobewertung noch Aussagen über realistische Konzentration bzw. Emissionen (Kumar et al., 2014). Diese sind wiederum abhängig von der Entwicklung geeigneter Analysemethoden in komplexen Medien (Von der Kammer et al., 2012).
- Wünschenswert wären Informationen über die Oberflächenmodifikation von ENM in Konsumprodukten, welche derzeit in nur wenigen Fällen über die öffentlich zugänglichen Produktdatenquellen erhoben werden können. Die Kenntnis über Oberflächenmodifikation des ENM ist sehr wichtig, um den tatsächlichen Verbleib sowie das Risiko von ENM in der Umwelt ermitteln und bewerten zu können (Wagner et al. 2014).

- In welchem Umfang ENM in die Umwelt emittiert werden und ob bestehende abfallwirtschaftliche Systeme fähig sind, diffuse ENM-Emissionen aus ENM-haltigen Abfällen zu verhindern oder zu minimieren, ist noch weitgehend unklar.
- Fehlen Stand-der-Technik-Technologien in der Abwasser bzw. Abfallbehandlung (wie z.B. in östlichen und südöstlichen EU-Staaten), könnte folglich mit entsprechend höheren luftseitig sowie wasserseitig diffusen Emissionen zu rechnen sein (Vejerano et al. 2013).

### 5.3 Ausblick und offene Fragen

Aufgrund mangelnden Wissens hinsichtlich produktbasierter Messungen zum ENM-Freisetzungsvermögen ist es bisher noch kaum möglich, langfristige und kurzfristige Gefahren bezüglich der Nutzung von Nanokonsumprodukten abzuschätzen. Die Kenntnis über allgemeine Produktionsmengen von ENM gibt erste Hinweise zum zukünftigen Aufkommen in der kommunalen Abfallwirtschaft, dennoch geht aus den Produktionsmengen nicht hervor, inwieweit diese Mengen in Produkten für den häuslichen Bereich eingearbeitet sind. Für die Etablierung von ENM-Grenzwerten in Nanokonsumprodukten fehlen außerdem Untersuchungsergebnisse zu toxischen Wirkungen auf menschliche Zellen unter realistischen Bedingungen.

Der Kenntnisstand zum Rückhalt von ENM in Kläranlagen ist schon relativ weit fortgeschritten, dennoch wurden bisher noch keine Untersuchungen von realen ENM-belasteten Haushaltsabwässern durchgeführt. Daneben muss dem speziellen Verhalten gecoateter ENM im Abwassergeschehen noch mehr Beachtung zukommen. Der Kenntnisstand zu Transformationen, Degradation und Eliminierung von ENM in Verbrennungsanlagen, Deponien, mechanisch-biologischer Behandlung bzw. Recycling ist noch als mangelhaft einzustufen. Eine mögliche Gefahrenquelle, welcher noch zu wenige Bedeutung zukommt, liegt auch in der Entstehung toxischer Substanzen bei der Verbrennung von ENM. Vor allem zum Schutz von Arbeitern in der abfallwirtschaftlichen Praxis wären reale Messungen an verschiedenen abfallwirtschaftlichen Anlagen und Kompartimenten wichtig, um mögliche sicherheitstechnische Maßnahmen frühzeitig treffen zu können. Gängige Mess- und Analysemethoden müssen hier überdacht werden, ob sie für das Monitoring von ENM adäquat sind (Sotiriou et al., 2015). Solange mögliche Gefahren ausgehend von ENM-haltigen Abfallströmen durch die österreichische Abfallwirtschaft abgewandt werden können, ist eine getrennte Sammlung von Nanokonsumprodukten grundsätzlich nicht notwendig. Dennoch ist es ratsam, z.B. mithilfe von Instrumenten wie Ökodesign, bereits während der Entwicklung neuer ENM-haltiger Produkte abfallwirtschaftliche Aspekte zu berücksichtigen. Untersuchungen zur Mobilität von ENM in Deponien sollten mehr in den Fokus der Forschung rücken. So können Säulenversuche mit ENM-haltiger Deponiematrix im Labormaßstab und Langzeit-Lysimeterversuche unter realen Umweltbedingungen Aufschluss darüber geben, ob die Deponierung von ENM-haltigen Abfällen oder MVA-Rückständen eine geeignete Maßnahme ist, um Emissionen von ENM langfristig unterbinden zu können. Ob der Konsum von ENM-haltigen Produkten zu befürworten ist, kann möglicherweise beantwortet werden, wenn klar ist, inwieweit diese Produkte zur Ressourcen- oder Energieeinsparung und prinzipiell zur Reduzierung bzw. Substitution von Schadstoffen beitragen.

## 6 Literatur

- ALLSOPP, M., WALTERS, A., SANTILLO, D., 2007. Nanotechnologies and nanomaterials in electrical and electronic goods: A review of uses and health concern. Greenpeace Research Laboratories.
- ALTALHI, T., KUMERIA, T., SANTOS, A., LOSIC, D., 2013. Synthesis of well-organised carbon nanotube membranes from non-degradable plastic bags with tuneable molecular transport: Towards nanotechnological recycling. Carbon 63, 423-433.
- BAG, SECO, BAFU, 2008. Aktionsplan für Synthetische Nanomaterialien, Aut.: Bundesamt für Gesundheit (BAG), Staatssekretariat für Wirtschaft (SECO), Bundesmat für Umwert (BAFU), Hrsg.
- BAUA/BFR/UBA, 2013. Nanomaterialien und REACH – Hintergrundpapier zur Position der deutschen Bundesbehörden. Bundesinstitut für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAUA), Bundesinstitut für Risikobewertung (BFR), Umweltbundesamt (UBA).
- BEHRINGER, J., 2007: Nanotechnologie in der Textilindustrie – aktuelle und zukünftige Entwicklungen, Nanotechnik - Moleküle, Materialien, Mikrosysteme, August 2007 / No. 4, AT-Fachverlag GmbH, Bönningheim.
- BfR, 2014. Gesundheitliche Bewertung von Nanomaterialien. Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin.
- BGBI. I 102/2002. Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft, Abfallwirtschaftsgesetz 2002.
- BMASK, 2010. Leitfaden für das Risikomanagement beim Umgang mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz - Gesund und Sicher Arbeiten - es zahlt sich aus. Bundesministerium für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz, Zentral-Arbeitsinspektorat (BMASK), Wien.
- BMLFUW, 2009. Österreichischer Aktionsplan Nanotechnologie, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- BMLFUW, 2011a. Bundes-Abfallwirtschaftsplan Band 1. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW), Wien.
- BMLFUW, 2011b. Bundes-Abfallwirtschaftsplan Band 2. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW), Wien.
- BOLDRIN, A., HANSEN, S., BAUN, A., HARTMANN, N., ASTRUP, T., 2014. Environmental exposure assessment framework for nanoparticles in solid waste. Journal of Nanoparticle Research 16, 1-19.
- BOLYARD, S.C., REINHART, D.R., SANTRA, S., 2013. Behavior of Engineered Nanoparticles in Landfill Leachate. Environmental Science & Technology 47, 8114-8122.
- BRAR, S.K., VERMA, M., TYAGI, R.D., SURAMPALLI, R.Y., 2010. Engineered nanoparticles in wastewater and wastewater sludge – Evidence and impacts. Waste Management 30, 504-520.

- BRUNNER, P., FIALA, E., KROMP-KOLB, H., SMOLAK, A., 2008: Ressourcen, Schriftenreihe für Ökologie und Ethologie 33, Verein für Ökologie und Umweltforschung vertreten durch A. Gratzner (Hrsg.), Wien.
- BSI, 2007. PD 6699-2:2007. Nanotechnologies - Part 2: Guide to safe handling and of manufactured nanomaterials. British Standards Institutions (BSI), London.
- BUND, 2009. Nanosilber - Der Glanz täuscht; Immer mehr Konsumprodukte trotz Risiken für Umwelt und Gesundheit. Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND), Berlin.
- BUND, 2012. Höchste Zeit, Nanomaterialien zu regulieren -Ein Vorschlag zur Schließung der Lücken für Nanomaterialien in der EU-Gesetzgebung.
- BUZEA, C., PACHECO, II, ROBBIE, K., 2007. Nanomaterials and nanoparticles: sources and toxicity. *Biointerphases* 2, 17-71.
- CALLIESS, C., 2008. Das Vorsorgeprinzip und seine Auswirkung auf die Nanotechnologie, in: Reiff (Hrsg.), *Nanotechnologie als Herausforderung für die Rechtsordnung*, 2009, S. 23, (30)
- CAMEOTRA, S., DHANJAL, S., 2010. Environmental Nanotechnology: Nanoparticles for Bioremediation of Toxic Pollutants, in: Fulekar, M.H. (Ed.), *Bioremediation Technology*. Springer Netherlands, 348-374.
- CEWEP, 2010. Recycling and Waste-to-Energy in combination for sustainable waste management. Confederation of European Waste-to-Energy Plants (CEWEP), Brüssel.
- CHAUDHRY, Q., SCOTTER, M., BLACKBURN, J., ROSS, B., BOXALL, A., CASTLE, L., AITKEN, R., WATKINS, R., 2008. Applications and implications of nanotechnologies for the food sector. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess* 25, 241-258.
- CHIVAS-JOLY, C., MOTZKUS, C., GUILLAUME, E., DUCOURTIEUX, S., SARAGOZA, L., LESENECHAL, D., LOPEZ-CUESTA, J.M., LONGUET, C., SONNIER, R., MINISINI, B., 2014. Influence of carbon nanotubes on fire behaviour and aerosol emitted during combustion of thermoplastics. *Fire and Materials* 38, 46-62.
- DANOVARO, R., BONGIORNI, L., CORINALDESI, C., GIOVANNELLI, D., DAMIANI, E., ASTOLFI, P., GRECI, L., PUSCEDDU, A., 2008. Sunscreens Cause Coral Bleaching by Promoting Viral Infections. *Environmental Health Perspectives* 116, 441-447.
- DAVIS, J.M., LONG, T.C., SHATKIN, J., WANG, A., 2011. EPA/600/R-09/057F Nanomaterial Case Studies: Nanoscale Titanium Dioxide in Water Treatment and in Topical Sunscreen. United States Environmental Protection Agency (EPA), New York, USA.
- DINESH, R., ANANDARAJ, M., SRINIVASAN, V., HAMZA, S., 2012. Engineered nanoparticles in the soil and their potential implications to microbial activity. *Geoderma* 173-174, 19-27.
- DOE, 2007. Nanoscale Science Research Centers: Approach to Nanomaterial ES&H, Revision 2, Department of Energy, Washington, DC.

- DUNCAN, T.V., 2011. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of Colloid and Interface Science* 363, 1-24.
- EA, 2005. What is a Hazardous Waste? A guide to the Hazardous Waste Regulations and the List of Waste Regulations in England and Wales (HWR01). Environmental Agency (EA), Bristol.
- EC, 2011. Empfehlungen der Kommission vom 18. Oktober 2011 zur Definition von Nanomaterialien (2011/696/EU). Europäische Kommission, Brüssel.
- ECHA, 2014. Human health and environmental exposure assessment and risk characterisation of nanomaterials - Best practice for REACH registrants, GAARN Meeting, 30. September 2013. European Chemical Agency (ECHA), Helsinki.
- EDUOK, S., MARTIN, B., VILLA, R., NOCKER, A., JEFFERSON, B., COULON, F., 2013. Evaluation of engineered nanoparticle toxic effect on wastewater microorganisms: Current status and challenges. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 95, 1-9.
- EGLE L., RECHBERGER H., ZESSNER M., 2014. Endbericht Phosphorbilanz Österreich. Grundlage für ein nachhaltiges Phosphormanagement – gegenwärtige Situation und zukünftige Entwicklungen. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Sektion VII Wasser, Wien.
- EICKHOFF, U., 2011. Nanotechnologie - Was hat das mit mir zu tun? GLOBAL 2000, Wien.
- EISENBERGER, I., NENTWICH, M., FIEDELER, U., GAZSÓ, A., SIMKÓ, M., 2010. Nano-Regulierung in der Europäischen Union, ITA Nanotrust Dossiers. Österreichische Akademie der Wissenschaften (ÖAW), Wien.
- EU-OSHA, 2013. Nanomaterials in the healthcare section: occupational risks and prevention. European Agency for Safety and Health and Work.
- EVD, 2010. Sicherheitsdatenblatt (SDB): Leitfaden für synthetische Nanomaterialien. Staatssekretariat für Wirtschaft (SECO) , Arbeitsbedingungen / Chemikalien und Arbeit (ABCH), Zürich.
- FÜHR, M., HERMANN, A., MERENYI, S., MOCH, K., MÖLLER, M., KLEINHAEUER, S., STEFFENSEN, B., 2006. Rechtsgutachten Nano-Technologien - ReNaTe: Bestehender Rechtsrahmen, Regulierungsbedarf sowie Regulierungsmöglichkeiten auf europäischer und nationaler Ebene. Öko-Institut e.V., Sonderforschungssgruppe Institutionenanalyse (sofia), Darmstadt.
- GANZLEBEN, C., PELSY, F., HANSEN, S.F., CORDEN, C., GREBOT, B., SOBEYD, M., 2011. Review of Environmental Legislation for the Regulatory - Control of Nanomaterials; Contract No. 070307/2010/580540/SER/D. Milieu Ltd. & AMEC Environment & Infrastructure UK Ltd.
- GLEICHE, M., HOFFSCHULZ, H., LENHERT, S., 2006. Nanotechnology in Consumer Products. nanoform.org - European Nanotechnology Gateway.

- GOGOS, A., KNAUER, K., BUCHELI, T.D., 2012. Nanomaterials in Plant Protection and Fertilization: Current State, Foreseen Applications, and Research Priorities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60, 9781-9792.
- GOTTSCHALK, F., SONDERER, T., SCHOLZ, R.W., NOWACK, B., 2009. Modeled Environmental Concentrations of Engineered Nanomaterials (TiO<sub>2</sub>, ZnO, Ag, CNT, Fullerenes) for Different Regions. *Environmental Science & Technology* 43, 9216-9222.
- GR, 2011. Nanomaterials in Waste, publication no. 2011/14E, Gezondheidsraad (GR) (Hrsg.), Health Council of the Netherlands Den Haag.
- GREßLER, S., GAZSÓ, A., 2012. Nano im Baugewerbe (NanoTrust-Dossier Nr. 032 – Juni 2012), Institut für Technikfolgenabschätzung (ITA), Österreichische Akademie der Wissenschaften (ÖAW), Wien.
- GREßLER, S., GAZSÓ, A., 2014. Nano-Konsumprodukte in Österreich – Aktualisierung und Adaptierung der NanoTrust-Datenbank (NanoTrust-Dossier Nr. 041 – November 2014). Institut für Technikfolgen-Abschätzung (ITA), Österreichische Akademie der Wissenschaften (ÖAW), Wien.
- GRESSLER, S., GAZSÓ, A., SIMKÓ, M., NENTWICH, M., FIEDELER, U. 2008. Nanopartikel und nanostrukturierte Materialien in der Lebensmittelindustrie (NanoTrust-Dossier Nr. 004 – Mai 2008), Institut für Technikfolgen-Abschätzung (ITA), Österreichische Akademie der Wissenschaften (ÖAW), Wien.
- GRESSLER, S., GAZSÓ, A., SIMKÓ, M., NENTWICH, M., FIEDELER, U. 2009b. Nanotechnologie in Kosmetika (NanoTrust-Dossier Nr. 008 – Jänner 2009), Institut für Technikfolgen-Abschätzung (ITA), Österreichische Akademie der Wissenschaften (ÖAW), Wien.
- GREßLER, S., NENTWICH, M., SIMKÓ, M., GAZSÓ, A., FIEDELER, U., 2009. Nano-Konsumprodukte in Österreich (NanoTrust-Dossier Nr. 009 – April 2009), Institut für Technikfolgen-Abschätzung (ITA), Österreichische Akademie der Wissenschaften (ÖAW), Wien.
- GREßLER, S., NENTWICH, M., SIMKÓ, M., GAZSÓ, A., FIEDELER, U., 2010. Selbstreinigende, schmutz- und wasserabweisende Beschichtungen auf Basis von Nanotechnologie (NanoTrust-Dossier Nr. 020 – Juli 2010), Institut für Technikfolgenabschätzung (ITA), Österreichische Akademie der Wissenschaften (ÖAW), Wien.
- GREßLER, S., PART, F.B2014a. "Nano-Abfall": Produkte mit Nanomaterialien am Ende ihres Lebenszyklus (NanoTrust-Dossier Nr. 040 – August 2014). Institut für Technikfolgen-Abschätzung (ITA), Österreichische Akademie der Wissenschaften (ÖAW), Wien.
- GUPTA, V., UPRETI, T., CHAND, S., 2014. Graphene Quantum Dot-Based Organic Solar Cells, in: Wu, J., Wang, Z.M. (Eds.), *Quantum Dot Solar Cells*. 255-268 Springer Verlag, New York.
- HANSEN, S.F., LARSEN, B.H., OLSEN, S.I., BAUN, A., 2007. Categorization framework to aid hazard identification of nanomaterials. *Nanotoxicology* 1, 243-250.

- HANUS, M.J., HARRIS, A.T., 2013. Nanotechnology innovations for the construction industry. *Progress in Materials Science* 58, 1056-1102.
- HENNEBERT, P., AVELLAN, A., YAN, J., AGUERRE-CHARIOL, O., 2013. Experimental evidence of colloids and nanoparticles presence from 25 waste leachates. *Waste Management* 33, 1870-1881.
- HOLBROOK, R.D., KLINE, C.N., FILLIBEN, J.J., 2010. Impact of Source Water Quality on Multiwall Carbon Nanotube Coagulation. *Environmental Science & Technology* 44, 1386-1391.
- HOLDER, A.L., VEJERANO, E.P., ZHOU, X., MARR, L.C., 2013. Nanomaterial disposal by incineration. *Environmental Science: Processes & Impacts* 15, 1652-1664.
- HONTELEZ, J., 2009. Positions and perspectives of Environmental NGOs of Environmental NGOs on Nanotechnologies and Nanomaterials on Nanotechnologies and Nanomaterials, NanoCap Final Conference, Brüssel.
- HUANG, R., HUANG KL FAU - LIN, Z.-Y., LIN ZY FAU - WANG, J.-W., WANG JW FAU - LIN, C., LIN C FAU - KUO, Y.-M., KUO, Y.M., 2013. Recovery of valuable metals from electroplating sludge with reducing additives via vitrification, *Journal of Environmental Management* 129:586-92.
- HUBER-HUMER, M., GAZSÓ, A., PART, F., GREßLER, S., FUCHS, D., GRUBER, I., HÄNEL, K., 2015. Produktspezifische Annahmen zum Verbleib von Nanokonsumprodukten in abfallwirtschaftlichen Prozessen, persönliche Kommunikation im Rahmen NanoMia Forschungsprojekts, Dezember 2014-März 2015.
- HUBER-HUMER, M., GAZSÓ, A., PART, F., GREßLER, S., FUCHS, D., GRUBER, I., HÄNEL, K., 2014. NanoMia Endbericht - Nanomaterialien in Abfällen; Evaluierung von Regelungen und Verfahren zum Nachweis von Nanomaterialien in Abfallströmen. Institut für Abfallwirtschaft der Universität für Bodenkultur, Institut für Technikfolgenabschätzung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien.
- HYUNG, H., FORTNER, J.D., HUGHES, J.B., KIM, J.H., 2007. Natural organic matter stabilizes carbon nanotubes in the aqueous phase. *Environ Sci Technol* 41, 179-184.
- ICTA, 2008. Petition for rulemaking requesting EPA regulate nano-silver products as pesticides. International Center for Technology Assessment (ICTA), Washington, D.C.
- IMPELLITTERI, C.A., HARMON, S., SILVA, R.G., MILLER, B.W., SCHECKEL, K.G., LUXTON, T.P., SCHUPP, D., PANGULURI, S., 2013. Transformation of silver nanoparticles in fresh, aged, and incinerated biosolids. *Water Research* 47, 3878-3886.
- ISO, 2008. TS 27687:2008 Nanotechnologies -- Terminology and definitions for nano-objects -- Nanoparticle, nanofibre and nanoplate. International Organization for Standardization
- JARVIE, H.P., AL-OBAIDI, H., KING, S.M., BOWES, M.J., LAWRENCE, M.J., DRAKE, A.F., GREEN, M.A., DOBSON, P.J., 2009. Fate of Silica

- Nanoparticles in Simulated Primary Wastewater Treatment. *Environmental Science & Technology* 43, 8622-8628.
- JOHNSON, A.C., BOWES, M.J., CROSSLEY, A., JARVIE, H.P., JURKSCHAT, K., JÜRGENS, M.D., LAWLOR, A.J., PARK, B., ROWLAND, P., SPURGEON, D., SVENDSEN, C., THOMPSON, I.P., BARNES, R.J., WILLIAMS, R.J., XU, N., 2011. An assessment of the fate, behaviour and environmental risk associated with sunscreen TiO<sub>2</sub> nanoparticles in UK field scenarios. *Science of The Total Environment* 409, 2503-2510.
- KAEGI, R., VOEGELIN, A., ORT, C., SINNET, B., THALMANN, B., KRISMER, J., HAGENDORFER, H., ELUMELU, M., MUELLER, E., 2013. Fate and transformation of silver nanoparticles in urban wastewater systems. *Water Research* 47, 3866-3877.
- KAEGI, R., VOEGELIN, A., SINNET, B., ZULEEG, S., HAGENDORFER, H., BURKHARDT, M., SIEGRIST, H., 2011. Behavior of Metallic Silver Nanoparticles in a Pilot Wastewater Treatment Plant. *Environmental Science & Technology* 45, 3902-3908.
- KELESSIDIS, A., STASINAKIS, A.S., 2012. Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. *Waste Management* 32, 1186-1195.
- KELLER, A.A., LAZAREVA, A., 2013. Predicted Releases of Engineered Nanomaterials: From Global to Regional to Local. *Environmental Science & Technology Letters*.
- KEMI, 2013. Draft proposal for regulation on nanomaterials. Kemikalieninspektionen, Swedish Chemicals Agency.
- KENNEDY, A.J., HULL, M.S., STEEVENS, J.A., DONTSOVA, K.M., CHAPPELL, M.A., GUNTER, J.C., WEISS, C.A., 2008. Factors influencing the partitioning and toxicity of nanotubes in the aquatic environment. *Environ Toxicol Chem* 27, 1932-1941.
- KESSLER, R., 2011. Engineered Nanoparticles in Consumer Products: Understanding a New Ingredient. *Environmental Health Perspectives* 119, 120-A125.
- KHIN, M.M., NAIR, A.S., BABU, V.J., MURUGAN, R., RAMAKRISHNA, S., 2012. A review on nanomaterials for environmental remediation. *Energy & Environmental Science* 5, 8075-8109.
- KHOT, L.R., SANKARAN, S., MAJA, J.M., EHSANI, R., SCHUSTER, E.W., 2012. Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: A review. *Crop Protection* 35, 64-70.
- KISER, M.A., WESTERHOFF, P., BENN, T., WANG, Y., PÉREZ-RIVERA, J., HRISTOVSKI, K., 2009. Titanium Nanomaterial Removal and Release from Wastewater Treatment Plants. *Environmental Science & Technology* 43, 6757-6763.
- KÖHLER, A.R., SOM, C., HELLAND, A., GOTTSCHALK, F., 2008b. Studying the potential release of carbon nanotubes throughout the application life cycle. *Journal of Cleaner Production* 16, 927-937.

- KÖSTER, R., WAGNER, T., DELAY, M., FRIMMEL, F., 2007. Release of Contaminants from Bottom Ashes - Colloid Facilitated Transport and Colloid Trace Analysis by Means of Laser-Induced Breakdown Detection (LIBD), in: Frimmel, F., Von Der Kammer, F., Flemming, H.-C. (Eds.), Colloidal Transport in Porous Media, pp. 251-272, Springer Verlag, Berlin Heidelberg,
- KUMAR, A., KUMAR, P., ANANDAN, A., FERNANDES, T.F., AYOKO, G.A., BISKOS, G., 2014. Engineered Nanomaterials: Knowledge Gaps in Fate, Exposure, Toxicity, and Future Directions. Journal of Nanomaterials, 1-16.
- LECHNER, P., HUBER-HUMER, M., 2011. Vorlesungsunterlagen zu Abfallwirtschaft und Abfallentsorgung, Mechanisch-biologische Abfallbehandlung (MBA), thermische Abfallbehandlung (MVA), Studienjahr 2011/12; [http://www.wau.boku.ac.at/fileadmin/data/H03000/H81000/H81300/10\\_813.10\\_0\\_12\\_\\_MBA\\_MVA.pdf](http://www.wau.boku.ac.at/fileadmin/data/H03000/H81000/H81300/10_813.10_0_12__MBA_MVA.pdf)), Institut für Abfallwirtschaft der Universität für Bodenkultur, Wien.
- LEE, J., MAHENDRA, S., ALVAREZ, P.J.J., 2010. Nanomaterials in the Construction Industry: A Review of Their Applications and Environmental Health and Safety Considerations. American Chemical Society (ASC); ASC Nano, 3580-3590.
- LEMANN, M., 1997. Fundamentals of waste technology. ZH C.-Hermann Consulting, Kilchberg.
- LFU, 2013. Umweltrelevante Eigenschaften synthetischer Nanopartikel - Abschlussbericht. Seite 47, Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Augsburg.
- LI, J., LIU, Y., WANG, Y., WANG, W., WANG, D., QI, T., 2012. Hydrous alumina/silica double-layer surface coating of TiO<sub>2</sub> pigment. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 407, 77-84.
- LIMBACH, L.K., BEREITER, R., MÜLLER, E., KREBS, R., GÄLLI, R., STARK, W.J., 2008. Removal of Oxide Nanoparticles in a Model Wastewater Treatment Plant: Influence of Agglomeration and Surfactants on Clearing Efficiency. Environmental Science & Technology 42, 5828-5833.
- LINDINGER, M., 2012. Risikodebatte Nanomaterialien Guter Ackerboden in Gefahr? (Artikel vom 30.08.2012). Frankfurter Allgemeine Zeitung.
- LINGXIANGYU, L., HARTMANN, G., DÖBLINGER, M., SCHUSTER, M., 2013. Quantification of Nanoscale Silver Particles Removal and Release from Municipal Wastewater Treatment Plants in Germany. Environmental Science & Technology 47, 7317-7323.
- LIU, G., WANG, D., WANG, J., MENDOZA, C., 2011. Effect of ZnO particles on activated sludge: role of particle dissolution. Sci Total Environ 409, 2852-2857.
- LIU, J., KATAHARA, J., LI, G., COE-SULLIVAN, S., HURT, R.H., 2012. Degradation Products from Consumer Nanocomposites: A Case Study on Quantum Dot Lighting. Environmental Science & Technology 46, 3220-3227.
- LORENZ, C, GOETZ, N.V., SCHERINGER, M., WORMUTH, M., HUNGERBÜHLER, K., 2011: German consumers to engineered nanoparticles in cosmetics and personal care products. Nanotoxicology 2011;5:12–29.

- LOZANO, P., BERGE, N.D., 2012. Single-walled carbon nanotube behavior in representative mature leachate. *Waste Management* 32, 1699-1711.
- MASSARI, A., BEGGIO, M., HREGLICH, S., MARIN, R., ZUIN, S., 2014. Behavior of TiO<sub>2</sub> nanoparticles during incineration of solid paint waste: A lab-scale test. *Waste Management* 34, 1897-1907.
- MAYNARD, A.D., 2006. *Nanotechnology: A Research Strategy for Addressing Risk. Project on Emerging Nanotechnology*, Woodrow Wilson Center for Scholars, Washington, DC.
- MEILI, C., WIDMER, M., HUSMANN, F., GEHR, P., BLANK, F., RIEDIKER, M., SCHMID, K., STARK, W., LIMBACH, L., 2007. *Synthetische Nanomaterialien Risikobeurteilung und Risikomanagement*, Grundlagenbericht Zum Aktionsplan, Bundesamt Für Umwelt (BAFU), Bundesamt Für Gesundheit (BAG), Bern.
- MIHRANYAN, A., FERRAZ, N., STRØMME, M., 2012. Current status and future prospects of nanotechnology in cosmetics. *Progress in Materials Science* 57, 875-910.
- MITRANO, D.M., RIMMELE, E., WICHSER, A., ERNI, R., HEIGHT, M., NOWACK, B., 2014. Presence of Nanoparticles in Wash Water from Conventional Silver and Nano-silver Textiles. *ACS Nano* 8, 7208-7219.
- MÖLLER, M., EBERLE, U., HERMANN, A., MOCH, K., STRATMANN, B., 2009. *Nanotechnologie im Bereich der Lebensmittel*. Hochschulverlag vdf.
- MÖLLER, M., HERMANN, A., GROSS, R., DIESNER, M.-O., KÜPPERS, P., LUTHER, W., MALANOWSKI, N., HAUS, D., ZWECK, A., 2013. *Nanomaterialien: Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit 60/2013*. vdf Hochschulverlag and der ETH Zürich.
- MUELLER, N., NOWACK, B., WANG, J., ULRICH, A., BUHA, J., 2012. *Nanomaterials in waste incineration and landfills*. Internal Empa-report. Empa-Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology.
- MUELLER, N.C., BUHA, J., WANG, J., ULRICH, A., NOWACK, B., 2013. Modeling the flows of engineered nanomaterials during waste handling. *Environmental Science: Processes & Impacts* 15, 251-259.
- MUELLER, N.C., NOWACK, B., 2008. Exposure Modeling of Engineered Nanoparticles in the Environment. *Environ. Sci. Technol.* 42, 4447.
- MUSEE, N., 2011. Nanowastes and the environment: Potential new waste management paradigm, *Environment International* 37, 112-128.
- NIH, 2011. *Nanotechnology - Innovative medical research at the molecular scale*, Publikationsnr. 08-6443. National Institut of Health (NIH), Bethesda, USA.
- NOWACK, B., BUCHELI, T.D., 2007. Occurrence, behavior and effects of nanoparticles in the environment. *Environmental Pollution* 150, 5-22.
- ÖWAV, 2003. *Regelblätter des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (ÖWAV)*. ÖWAV- Regelblatt 514. Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft, Wien
- ÖWAV, 2010. *Regelblätter des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (ÖWAV)*. ÖWAV-Regelblatt 25.

- Abwasserentsorgung in dünn besiedelten Gebieten. 2., vollständig überarbeitete Auflage, Wien.
- PARK, H.-J., KIM, H.Y., CHA, S., AHN, C.H., ROH, J., PARK, S., KIM, S., CHOI, K., YI, J., KIM, Y., YOON, J., 2013. Removal characteristics of engineered nanoparticles by activated sludge. *Chemosphere* 92, 524-528.
- PART, F., GREßLER, S., HUBER-HUMER, M., GAZSÓ, A., 2015a. Umweltrelevante Aspekte von Nanomaterialien am Ende der Nutzungsphase – Teil I: Abwässer und Klärschlamm (NanoTrust-Dossier Nr. 043 – Februar 2015) (NanoTrust-Dossier Nr. 044). Institut für Technikfolgenabschätzung (ITA), Österreichische Akademie der Wissenschaften (ÖAW), Wien.
- PART, F., GREßLER, S., MARION, H.-H., GAZSÓ, A., 2015b. Umweltrelevante Aspekte von Nanomaterialien am Ende der Nutzungsphase – Teil II: Abfallverwertung und -entsorgung (NanoTrust-Dossier Nr. 044). Institut für Technikfolgenabschätzung (ITA), Österreichische Akademie der Wissenschaften (ÖAW), Wien.
- PART, F., ZECHA, G., CAUSON, T., SINNER, E.-K., HUBER-HUMER, M., 2015c. Current limitations and challenges in nanowaste detection, characterisation and monitoring, 43:407-20
- PETERSEN, E.J., ZHANG, L., MATTISON, N.T., O'CARROLL, D.M., WHELTON, A.J., UDDIN, N., NGUYEN, T., HUANG, Q., HENRY, T.B., HOLBROOK, R.D., CHEN, K.L., 2011. Potential release pathways, environmental fate, and ecological risks of carbon nanotubes. *environmental science & technology* 45, 9837-9856.
- PICCINNO, F., GOTTSCHALK, F., SEEGER, S., NOWACK, B., 2012. Industrial production quantities and uses of ten engineered nanomaterials in Europe and the world. *Journal of Nanoparticle Research* 14, 1-11.
- RAAB, C., SIMKÓ, M., GAZSÓ, A., FIEDELER, U., NENTWICH, M., 2008. Was sind synthetische Nanopartikel?, ITA Nanotrust Dossiers. Österreichische Akademie der Wissenschaften (ÖAW), Wien.
- REIHLEN, A., JEPSEN, D., Nanotechnologien und Abfall. ÖKOPOL GmbH Institut für Ökologie und Politik, Hamburg.
- REINHART, D.R., BERGE, N.D., SANTRA, S., BOLYARD, S.C., 2010. Emerging contaminants: Nanomaterial fate in landfills. *Waste Management* 30, 2020-2021.
- REJESKI, D., LEKAS, D., 2008. Nanotechnology field observations: scouting the new industrial west. *Journal of Cleaner Production* 16, 1014-1017.
- ROES, L., PATEL, M.K., WORRELL, E., LUDWIG, C., 2012. Preliminary evaluation of risks related to waste incineration of polymer nanocomposites. *Science of The Total Environment* 417-418, 76-86.
- SALEH, N.B., PFEFFERLE, L.D., ELIMELECH, M., 2010. Influence of biomacromolecules and humic acid on the aggregation kinetics of single-walled carbon nanotubes. *Environmental Science Technology* 44, 2412-2418.

- SÁNCHEZ, C., HORTAL, M., ALIAGA, C., DEVIS, A., CLOQUELL-BALLESTER, V.A., 2014. Recyclability assessment of nano-reinforced plastic packaging. *Waste Management* 34, 2647-2655.
- SCHMID, K., RIEDIKER, M., 2008. Use of Nanoparticles in Swiss Industry: A Targeted Survey. *Environmental Science & Technology* 42, 2253-2260.
- SKY PLASTIC, 2006. Umwelterklärung nach EMAS II-VO der Firma Sky Plastic Recycling and Commerce GmbH (Kunststoffrecycling), Völkermarkt.
- SRU, 2011. Vorsorgestrategien für Nanomaterialien - Sondergutachten. Sachverständigenrat für Umweltfragen.
- STRUWE, J., SCHINDLER, E., 2012. Bedeutung von Nanomaterialien beim Recycling von Abfällen. Arbeitspapier 270. Hans-Böckler-Stiftung. Mitbestimmungs-, Forschungs- und Studienförderungswerk des DGB, Düsseldorf.
- SURYAWANSHI, A., BISWAL, M., MHAMANE, D., GOKHALE, R., PATIL, S., GUIN, D., OGALE, S., 2014. Large scale synthesis of graphene quantum dots (GQDs) from waste biomass and their use as an efficient and selective photoluminescence on-off-on probe for Ag<sup>+</sup> ions. *Nanoscale* 6, 11664-11670.
- UBA, 2011. Klimarelevanz der Abfallwirtschaft. Umweltbundesamt Deutschland, Dessau-Roßlau.
- UBA, 2013a. Datenblatt Nanoprodukte; Nanobasierte Beleuchtungssysteme : Organische Licht emittierende Diode (OLED). Umweltbundesamt Deutschland, Dessau-Roßlau
- UBA, 2013b. Datenblatt Nanoprodukt; Einsatz von Nanomaterialien in Textilien. Umweltbundesamt Deutschland, Dessau-Roßlau.
- UBA, 2014. Fact Sheet: Use of nanomaterials in coatings. Umweltbundesamt Deutschland, Dessau-Roßlau.
- VAN BROEKHUIZEN, F., CORNELISSEN, R., REIJNDERS, L., 2011. Use of nanomaterials in the European construction industry and some occupational health aspects thereof. *Journal of Nanoparticle Research* 13, 447-462.
- VEJERANO, E.P., HOLDER, A.L., MARR, L.C., 2013. Emissions of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Polychlorinated Dibenzo-p-Dioxins, and Dibenzofurans from Incineration of Nanomaterials. *Environmental Science & Technology* 47, 4866-4874.
- VEJERANO, E.P., LEON, E.C., HOLDER, A.L., MARR, L.C., 2014. Characterization of particle emissions and fate of nanomaterials during incineration. *Environmental Science: Nano* 1, 133-143.
- VENUGOPAL, G., HUNT, A., ALAMGI, F., 2010. Nanomaterials for Energy Storage in Lithium-Ion Battery Applications, *Material Matters*, P. 42.
- VERMA, A., 2013. Technology Update Nanotechnology in Sports Equipment: The Game Changer. Center for Knowledge Management of Nanoscience & Technology (CKMNT), Secunderabad.
- VERORDNUNG (EG) Nr. 1169/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2011 betreffend die Information der Verbraucher über Lebensmittel und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 1924/2006 und

- (EG) Nr. 1925/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Aufhebung der Richtlinie 87/250/EWG der Kommission, der Richtlinie 90/496/EWG des Rates, der Richtlinie 1999/10/EG der Kommission, der Richtlinie 2000/13/EG des Europäischen Parlaments und des Rates, der Richtlinien 2002/67/EG und 2008/5/EG der Kommission und der Verordnung (EG) Nr. 608/2004 der Kommission. Europäische Union.
- VERORDNUNG (EG) Nr. 1223/2009 des Europäischen Parlaments und Rates vom 30. November 2009 über kosmetische Mittel. Europäische Gemeinschaft.
- VERORDNUNG (EG) Nr. 1333/2008 des europäischen Parlamentes und des Rates vom 16. Dezember 2008 über Lebensmittelzusatzstoffe. Europäische Gemeinschaft (EG).
- VERORDNUNG (EG) Nr. 1907/2006 REACH-Verordnung Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe. Europäische Gemeinschaft.
- VERORDNUNG (EU) 10/2011/EU, 2011. Verordnung (EU) Nr. 10/2011 der Kommission vom 14. Januar 2011 über Materialien und Gegenstände aus Kunststoff, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmittel in Berührung zu kommen. Europäische Union.
- VERORDNUNG (EU) Nr. 528/2012 der Europäischen Parlamentes und Rates vom 22. Mai 2012 über die Bereitstellung auf dem Markt und die Verwendung von Biozidprodukten, Europäische Union.
- VERORDNUNG 227/1997, Verordnung über die Festsetzung von gefährlichen Abfällen und Problemstoffen (Festsetzungsverordnung gefährliche Abfälle) BGBl. II Nr. 227/1997 idF BGBl. II Nr. 178/2000.
- VON DER KAMMER, F., FERGUSON, P.L., HOLDEN, P.A., MASON, A., ROGERS, K.R., KLAINE, S.J., KOELMANS, A.A., HORNE, N., UNRINE, J.M., 2012. Analysis of engineered nanomaterials in complex matrices (environment and biota): general considerations and conceptual case studies. *Environ Toxicol Chem* 31, 32-49.
- WAGNER, S., GONDIKAS, A., NEUBAUER, E., HOFMANN, T., VON DER KAMMER, F., 2014. Finde den Unterschied: synthetische und natürliche Nanopartikel in der Umwelt – Freisetzung, Verhalten und Verbleib. *Angewandte Chemie* 126, 12604-12626.
- WALSER, T., LIMBACH, L.K., BROGIOLI, R., ERISMANN, E., FLAMIGNI, L., HATTENDORF, B., JUCHLI, M., KRUMEICH, F., LUDWIG, C., PRIKOPSKY, K., ROSSIER, M., SANER, D., SIGG, A., HELLWEG, S., GUNTHER, D., STARK, W.J., 2012. Persistence of engineered nanoparticles in a municipal solid-waste incineration plant. *Nat Nano* 7, 520-524.
- WEIR, A., WESTERHOFF, P., FABRICIUS, L., HRISTOVSKI, K., VON GOETZ, N., 2012. Titanium Dioxide Nanoparticles in Food and Personal Care Products. *Environmental Science & Technology* 46, 2242-2250.
- WESTERHOFF, P., SONG, G., HRISTOVSKI, K., KISER, M.A., 2011. Occurrence and removal of titanium at full scale wastewater treatment plants: implications for TiO<sub>2</sub> nanomaterials. *Journal of Environmental Monitoring* 13, 1195-1203.

- WIJNHOFEN, S.W.P., OOMEN, A.G., SIPS, A.J.A.M., BOURGEOIS, F.C., DORSTHORST, G.J.P.M., KOOL, M.W., BAKKER, M.I., 2010. Development of an inventory for consumer products containing nanomaterials. Final Report. 070307/2010/580587/SER/D3, [http://ec.europa.eu/environment/chemicals/nanotech/pdf/study\\_inventory.pdf](http://ec.europa.eu/environment/chemicals/nanotech/pdf/study_inventory.pdf) Europäische Kommission, Brüssel.
- YANG, Y., XU, M., WALL, J.D., HU, Z., 2012. Nanosilver impact on methanogenesis and biogas production from municipal solid waste. Waste Management 32, 816-825.
- ZHUANG, Z., XU, X., WANG, Y., HUANG, F., LIN, Z., 2012. Treatment of nanowaste via fast crystal growth: with recycling of nano-SnO<sub>2</sub> from electroplating sludge as a study case. J Hazard Mater 211-212, 414-419.

### **INTERNETQUELLEN:**

- alibaba.com, 2015. Product Showroom - Sunscreen bottles. <http://www.alibaba.com/showroom/sunscreen-bottle.html>, Zugriff am 16.10.2015
- amazon.com, 2014. Online Versandhandel - Nano-Produktsuche. <https://www.amazon.com>, Zugriff am 09.10.2014, Amazon.com, Inc.
- ANEC, BEUC, 2009. Inventory on products claiming to contain nanomaterials. <http://www.anec.eu/attachments/anec-pt-2009-nano-015.xls> The European consumer voice in standardisation (ANEC), , The European Consumer Organization (BEUC), Brüssel.
- ANEC, BEUC, 2013. Inventory of products claiming to contain nano-silver particles available on the EU Market. <http://www.beuc.eu/publications/2013-00141-01-e.xls> The European consumer voice in standardisation (ANEC),The European Consumer Organisation (BEUC), Brüssel.
- ANSES, 2014. Highlighting the toxicity of certain nanomaterials, ANSES is calling for a stronger regulatory framework, Artikel vom 15.05.2014, <https://www.anses.fr/en/content/highlighting-toxicity-certain-nanomaterials-anses-calling-stronger-regulatory-framework>, Zugriff am 09.09.2015, French Agency for Food, Environment and Occupational Health & Safety, Maisson-Alfort.
- BUND, Nanoprodukt Datenbank. <http://www.bund.net/nanodatenbank/> Zugriff am 25.03.2014, Bund für Umwelt und Naturschutz, Berlin.
- DANISH CONSUMER COUNCIL, DANISH ECOLOGICAL COUNCIL, DTU ENVIRONMENT, 2015. The Nanodatabase, <http://nanodb.dk/en/>, Zugriff am 10.02.2014, Kopenhagen.
- DBNT-BOKU (N.N) 2013. [www.nano.boku.ac.at](http://www.nano.boku.ac.at). Zugriff am 13.10.2013, Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Nanobiotechnologie, Wien.
- EC, 2015. Nanomaterials under REACH. [http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/reach/nanomaterials/index\\_e](http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/reach/nanomaterials/index_e)

- n.htm, Europäische Kommission, GD Unternehmen und Industrie, Referat R4 Kommunikation und Information, Stand: 02.02.2015, Brüssel.
- ECOPLAST KUNSTSTOFFRECYCLING, 2015. Recycling - Kreislauf. <http://www.ecoplast.com/index.php/recycling/kreislauf/>, Zugriff am 16.10.2015  
Ecoplast Kunststoffrecycling Ges.m.b.H, Wildon.
- Innovationsgesellschaft mBH und EHB, , N.N., Nano im Recht - Nano-Regulierung. Rubrik Technologie & Gesellschaft, Online im Internet: <http://www.swissnanocube.ch/en/technology-society/nano-im-recht/nano-regulierung/>, Gemeinschaftsprojekt „Swiss Nano-Cube“ von Innovationsgesellschaft mBH und Eidgenössischen Hochschulinstitut für Berufsbildung (EHB), Stand: 06.11.2015, St. Gallen.
- LOHSE, S., 2013. Online-Artikel vom 25.03.2013 Nanoparticles are all around us. <http://sustainable-nano.com/2013/03/25/nanoparticles-are-all-around-us/>  
Center for Sustainable Nanotechnology, Madison, USA.
- N.N. 2014. Die Nanotechnologie Informationsportal und Datenbank „nanoproducts.de“. *Seite nicht mehr verfügbar bzw. im Neuaufbau.*
- NANOMARKETS, 2015. Smart Coatings Markets 2015-2022. [http://nanomarkets.net/market\\_reports/report/smart-coatings-markets-2015-2022](http://nanomarkets.net/market_reports/report/smart-coatings-markets-2015-2022) Zugriff am 14.02.2015, n-tech research, Glen Allen, USA.
- NANOTECH-DATEN.COM , 2010. Die Datenbank der Nanotechnologie in der Großregion (Lothringen, Luxemburg, Rheinland-Pfalz, Saarland, Wallonien), [http://www.nanotech-data.com/site/page\\_de\\_garde.html](http://www.nanotech-data.com/site/page_de_garde.html), Zugriff am 25.03.2014.
- NANOWERK, 2014. Nanotechnology Databases from Nanowerk. <http://www.nanowerk.com/products/products.php>, Nanowerk & Nanowerk LLC, Berlin.
- PEN, 2012. Consumer Products. An inventory of nanotechnology-based consumer products currently on the market (last update on 3/10/11). <http://www.nanotechproject.org/cpi/> Project on Emerging Nanotechnologies. The Project on Emerging Nanotechnologies, Washington, DC, USA.
- REINSTE NANO VENTURES PVT. LTD., 2015. Antibacterial & Antimicrobial Solutions for Various Industries. <http://reinste.com/pdf/PPT.pdf> Zugriff am 04.11.2015, Reinste Nano Ventures Pvt. Ltd., Neu-Dehli, Indien.
- RUSSO, K., 2007. Ceramic and tourmaline hair appliances. <http://www.google.com/patents/US20070029302>, Patentanmeldenummer US20070029302 A1 , Google Patents, Zugriff am 04.11.2015.
- STATISTIK AUSTRIA, 2014a. Bevölkerung zu Quartalsbeginn ab 2002. <http://statcube.at/superwebguest/autoLoad.do?db=debevstand>, Zugriff am 16.10.2015
- STATISTIK AUSTRIA, 2014b. Privathaushalte 1985-2014. [https://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/menschen\\_und\\_gesellschaft/bevoelkerung/haushalte\\_familien\\_lebensformen/haushalte/023298.html](https://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelkerung/haushalte_familien_lebensformen/haushalte/023298.html), Zugriff am 16.10.2015

VILEDÄ, 2015. Produktinformation Nanotech Micro [http://vileda-professional.com/de-DE/products/01-wiping/01-microfibre-cloths/02-nanotech-micro/TDS\\_NanoTech\\_micro.pdf](http://vileda-professional.com/de-DE/products/01-wiping/01-microfibre-cloths/02-nanotech-micro/TDS_NanoTech_micro.pdf), Vileda GmbH, Weinheim

WIENER STADTVERWALTUNG, 2015. Das Trenn-ABC - Müll richtig entsorgen. <https://www.wien.gv.at/umwelt/ma48/beratung/muelltrennung/mistabc.html>. Zugriff am 16.10.2015 , Wiener Stadtverwaltung, Wien.

## 7 Anhang

### 7.1 Produktgruppenanalyse

Nanomaterial	Elemente bzw. Chemische Summenformel	Gruppe im PS	Materialklasse
Aktivkohle	C-Modifikation	Nichtmetall	karbonhaltige ENM
Cellulose	$C_6H_{10}O_5$	k.Z.	karbonhaltige ENM
Coenzym Q10	$C_{59}H_{90}O_4$	Verbindung	karbonhaltige ENM
Fullerene	$C_{60}$	Nichtmetall	karbonhaltige ENM
Graphen	C-Modifikation	Nichtmetall	karbonhaltige ENM
Graphit	C-Modifikation	Nichtmetall	karbonhaltige ENM
Hyaluronsäure	$C_{14}H_{21}O_{11}N$	k.Z.	karbonhaltige ENM
Industrieruß	C-Modifikation	Nichtmetall	karbonhaltige ENM
Karnaubawachs	C-Verbindung	k.Z.	karbonhaltige ENM
Kohle	C-Modifikation	Nichtmetall	karbonhaltige ENM
Kohlenstoff	C-Verbindung	Nichtmetall	karbonhaltige ENM
Kohlenstoffnanoröhre	C-Modifikation	Nichtmetall	karbonhaltige ENM
Leinöl	C-Verbindung	k.Z.	karbonhaltige ENM
Liposomen	C-Verbindung	k.Z.	karbonhaltige ENM
Mizellen	C-Verbindung	k.Z.	karbonhaltige ENM
Nanosome	C-Verbindung	k.Z.	karbonhaltige ENM
Polyetherketon (Polymer)	C-Verbindung	k.Z.	karbonhaltige ENM
Polymer	C-Verbindung	k.Z.	karbonhaltige ENM
Polyplex (PET/Polymer)	C-Verbindung	k.Z.	karbonhaltige ENM
Polymethylmethacrylat (Polymer)	$C_5H_8O_2$	k.Z.	Karbonhaltige ENM
Polytetrafluoroethylene (Polymer)	C/F-Verbindung	k.Z.	karbonhaltige/ halogenhaltige ENM
Retinol/ Vitamin A <sub>1</sub>	C-Verbindung	k.Z.	karbonhaltige ENM
Vitamin A	C-Verbindung	k.Z.	karbonhaltige ENM
Phosphate	P-Verbindung	k.Z.	stickstoffhaltige ENM
Lithium	Li	Alkalimetall	metallische ENM
Calcium	Ca	Erdalkalime tall	erdalkalihaltige ENM
Calciumperoxid	$CaO_2$	Verbindung	erdalkalihaltige ENM
Magnesium	Mg	Erdalkalime tall	erdalkalihaltige ENM
Bor	B	Halbmetall	metallische ENM
Silizium	Si	Halbmetall	metallische ENM
Eisen	Fe	Übergangs metall	metallische ENM
Gold	Au	Übergangs metall	metallische ENM

Kobalt	Co	Übergangsmetall	metallische ENM
Kupfer	Cu	Übergangsmetall	metallische ENM
Nickel	Ni	Übergangsmetall	metallische ENM
Palladium	Pd	Übergangsmetall	metallische ENM
Platin	Pt	Übergangsmetall	metallische ENM
Silber	Ag	Übergangsmetall	metallische ENM
Silber Ionen	Ag	Übergangsmetall	metallische ENM
Titan	Ti	Übergangsmetall	metallische ENM
Tungsten disulfide	WS <sub>2</sub>	Verbindung	metallische ENM
Zink	Zn	Übergangsmetall	metallische ENM
Aluminiumoxid	AlO <sub>2</sub>	k.Z.	metalloxidische ENM
Böhmit	AlO(OH)	k.Z.	metalloxidische ENM
Keramik	Si-Verbindung	k.Z.	metalloxidische ENM
Siliziumdioxid	SiO <sub>2</sub>	k.Z.	metalloxidische ENM
Titanate	H <sub>4</sub> TiO <sub>4</sub>	k.Z.	metalloxidische ENM
Titandioxid	TiO <sub>2</sub>	k.Z.	metalloxidische ENM
Zinkoxid	ZnO	k.Z.	metalloxidische ENM
Zirconium Oxid	ZrO <sub>2</sub>	k.Z.	metalloxidische ENM
Silikon	Si-Verbindung	k.Z.	Nanokomposite
Siloxane (Silikon)	Si-Verbindung	k.Z.	Nanokomposite
Silikate	Si(OH) <sub>4</sub> -Verbindung	k.Z.	Nanokomposite
Tonmineral	Si-Verbindung	k.Z.	Nanokomposite/ Nanomineralien
Zeolite	AlO <sub>2</sub> / SiO <sub>2</sub>	k.Z.	Nanokomposite/ metalloxidische ENM
Acrylglas (Polymer)		k.Z.	Sonstige
Silikate		k.Z.	Sonstige

Tab. 28: ENM-Nennungen in der konsolidierten Datenbank, eigene Darstellung

## 7.2 Entsorgungsszenarien

Folgendes Kapitel beinhaltet die MIN-MAX-Massenbilanzen (siehe Tab. 29, 30, 32, 33, 34, 35), sowie die verbale Beschreibung der Annahmen, welche zur Erstellung der Stoffflussdiagramme herangezogen wurden

7.2.1 Massenbilanz für Szenario 1: nano-TiO<sub>2</sub> in Sonnencremen

Szenario 1: Nano-TiO <sub>2</sub> in Sonnencremen									
Maximum-Szenario									
Flussname	Freisetzungsrate für Nano-materialien [%]	"stochastische" Transfer-koeffizienten* [%]	Nanospezifische Transfer-koeffizienten [%]	Quellen	Berechnete Mengen [g/a]	Berechnete Mengen [g/a]	Berechnete Mengen [g/a]	Berechnete Mengen [%]	Systeminterne/ externe Flüsse
<b>Jahresaufkommen</b>				Literaturwerte			40.837.000	100,0%	
<b>F 1 Subsystem Nutzungsphase</b>									
F 1.1 Luftseitige Emissionen durch Abrieb <b>85,0%</b>									
F 1.1.1 Luftseitige Emissionen durch Abrieb			0,0%	eigene Annahme					Output O1 (luftseitig)
F 1.2 Wasserseitige Emissionen			100,0%	eigene Annahme	34.711.450				
F 1.2.1 Diffuse Emissionen ins Gewässer			25,0%	Danovaro et al. 2008		8.677.863	8.677.863		Output O2 (wasserseitig)
F 1.2.2 Abfluss in die Kanalisation			75,0%	Danovaro et al. 2008		26.033.588	26.033.588		nach F 2
<b>F 2 Subsystem Abwasser</b>									
F 2.1 Wasserseitige diffuse Emissionen			10,0%	ÖWAV (2010)		2.603.359	2.603.359	6,4%	Output O2 (wasserseitig)
F 2.2 Abwassersammlung und -behandlung			90,0%	ÖWAV (2010)		23.430.229			nach F2.1
F 2.2.1 Diffuse Emissionen in Vorfluter				Johnson et al. (2011)	10,0%		2.343.023	5,7%	Output O2 (wasserseitig)
F 2.2.2 Rückhalt im Klärschlamm				Johnson et al. (2011)	90,0%		21.087.206	51,6%	nach F2.3
F 2.3 Behandlung von Klärschlamm						22.563.953			
F 2.3.1 Direkte Verwertung in der Landwirtschaft			15,0%	Egle et al. (2014)		3.384.593	3.384.593	8,3%	nach S3 Recycling (Landwirtschaft)
F 2.3.2 Biologische Behandlung			36,0%	Egle et al. (2014)		8.123.023	8.123.023	19,9%	nach F3.2.2
F 2.3.3 Thermische Behandlung			49,0%	Egle et al. (2014)		11.056.337	11.056.337	27,1%	nach F3.1.1
F 2.3.4 Deponierung			0,0%	Egle et al. (2014)		0	0	0,0%	nach S1 Deponie
<b>F 3: Subsystem Abfallwirtschaft</b>									
F 3.1 Sammlung von Restmüll- und Sperrmüll <b>15%</b>									
F 3.1.1 MVA			50,3%	BMLFUW (2011)					
F 3.1.1.1 Deponierung von Schlacke					81,0%		12.099.267	29,6%	nach S1 Deponie
F 3.1.1.2 Deponierung von Flugasche					19,0%		2.838.100	6,9%	nach S1 Deponie
F 3.1.1.3 Luftseitige diffuse Emission aus MVA					0,0%		0	0,0%	Output O1 (luftseitig)
F 3.1.1.4 Elimination während Rauchgasreinigung					0,0%		0	0,0%	Transformation während Rauchgasreinigung
F 3.1.2 MBA (Splitting)			49,7%	BMLFUW (2011)		1.296.914			
F 3.1.2.1 heizwertreiche Fraktion			40,8%	BMLFUW (2011)			529.141	1,3%	nach F 3.1.1
F 3.1.2.2 heizwertarme Fraktion			48,9%	BMLFUW (2011)			634.191	1,6%	nach F3.2.2
F 3.1.2.3 Altstoffe aus Splitting			10,3%	BMLFUW (2011)			133.582	0,3%	nach S2 Recycling
F 3.2 Getrennte Sammlung von Abfällen aus Haushalten			57,4%	BMLFUW (2011)		3.516.066			
F 3.2.1 Altstoffe			62,0%	eigene Annahme	100,0%	3.516.066			
F 3.2.1.1 Altstoffe (Sekundärrohstoffe)			83,9%				0	0,0%	nach S2 Recycling
F 3.2.1.1.1 Altkunststoffe für Kunststoffrecycling			42,0%	ARA (2013)		1.476.748			
F 3.2.1.1.1.1 Prozesswasser für Kunststoffrecycling					100,0%		1.476.748	3,6%	nach F2.3
F 3.2.1.1.1.2 Thermische Verwertung von Reststoffen			58,0%	ARA (2013)		2.039.318	2.039.318	5,0%	nach F 3.1.1
F 3.2.1.1.1.3 Deponierung von Reststoffen			0,0%	ARA (2013)			0	0,0%	nach S1 Deponie
F 3.2.1.2 Reststoffe für thermische Behandlung			15,0%	BMLFUW (2011)			0		
F 3.2.1.3 Deponierung von Reststoffen			1,1%	BMLFUW (2011)			0		
F 3.2.2 Biogene Abfälle / Biotechnische Behandlung			33,7%	eigene Annahme		8.757.214			
F 3.2.2.1 Massenverlust durch biologischen Abbau			53,4%	eigene Annahme			0	0,0%	Transformation durch biologischen Abbau
F 3.2.2.2 Deponierung von Reststoffen aus biotechn. Beh.			24,2%	eigene Annahme			4.547.738	11,1%	nach S1 Deponie
F 3.2.2.3 Kompost (stoffliche Verwertung)			22,4%	eigene Annahme			4.209.476	10,3%	nach S2 Recycling
F 3.2.3 Problemstoffe und EAG			4,3%	eigene Annahme		0			
F 3.2.3.1 Stoffliche Verwertung				eigene Annahme			0	0,0%	nach S2 Recycling
F 3.2.3.2 Thermische Verwertung von Reststoffen				eigene Annahme	100,0%		0	0,0%	nach F 3.1.1
F 3.2.3.3 Deponierung von Reststoffen				eigene Annahme			0	0,0%	nach S1 Deponie
<b>F 3.3 Getrennte Sammlung von Baurestmassen</b>									
F 3.3.1 Sammlung von mineralischem Bauschutt			91,4%	BMLFUW (2011)		0			
F 3.3.1.1 Recycling von mineralischem Bauschutt			65,6%	BMLFUW (2011)		0			
F 3.3.1.1.1 Deponierung der Reststoffe (Feinfraktion)				Pertl A., (2015)	90,0%		0	0,0%	nach S1 Deponie
F 3.3.1.1.2 Verwendung als Ersatzbaustoff				Pertl A., (2015)	10,0%		0	0,0%	nach S2 Recycling
F 3.3.1.2 Deponierung von mineralischem Bauschutt			34,4%	BMLFUW (2011)		0	0	0,0%	nach S1 Deponie
F 3.3.2 Sammlung von Baustellenabfällen			8,6%	BMLFUW (2011)		0			
F 3.3.2.1 Recycling von Baustellenabfällen			32,0%	BMLFUW (2011)		0			
F 3.3.2.1.1 Deponierung der Reststoffe (Feinfraktion)				Pertl A., (2015)	90,0%		0	0,0%	nach S1 Deponie
F 3.3.2.1.2 Verwendung als Ersatzbaustoff				Pertl A., (2015)	10,0%		0	0,0%	nach S2 Recycling
F 3.3.2.2 Deponierung von Baustellenabfällen			68,0%	BMLFUW (2011)		0	0	0,0%	nach S1 Deponie

Tab. 29: Massenbilanz für Szenario 1-Max: nano-TiO<sub>2</sub> in Sonnencreme

Szenario 1: Nano-TiO <sub>2</sub> in Sonnencremen									
Minimum-Szenario									
Flussname	Freisetzungsrate für Nano-materialien [%]	"stochastische" Transfer-koeffizienten* [%]	Nanospezifische Transfer-koeffizienten [%]	Quellen	Berechnete Mengen [g/a]	Berechnete Mengen [g/a]	Berechnete Mengen [g/a]	Berechnete Mengen [%]	Systeminterne/ externe Flüsse
<b>Jahresaufkommen</b>				Literaturwerte			5.445.000	100,0%	
<b>F 1 Subsystem Nutzungsphase</b>									
F 1.1 Luftseitige Emissionen durch Abrieb <b>85,0%</b>									
F 1.2 Wasserseitige Emissionen <b>0,0%</b>									
F 1.2.1 Diffuse Emissionen ins Gewässer <b>100,0%</b>									
F 1.2.2 Abfluss in die Kanalisation <b>25,0%</b>									
F 1.2.2.1 Diffuse Emissionen in Vorfluter <b>75,0%</b>									
F 1.2.2.2 Rückhalt im Klärschlamm									
F 1.2.2.3 Behandlung von Klärschlamm									
F 1.2.2.3.1 Direkte Verwertung in der Landwirtschaft									
F 1.2.2.3.2 Biologische Behandlung									
F 1.2.2.3.3 Thermische Behandlung									
F 1.2.2.3.4 Deponierung									
<b>F 2 Subsystem Abwasser</b>									
F 2.1 Wasserseitige diffuse Emissionen <b>10,0%</b>									
F 2.2 Abwassersammlung und -behandlung <b>90,0%</b>									
F 2.2.1 Diffuse Emissionen in Vorfluter									
F 2.2.2 Rückhalt im Klärschlamm									
F 2.2.2.1 Diffuse Emissionen in Vorfluter									
F 2.2.2.2 Rückhalt im Klärschlamm									
F 2.2.2.3 Behandlung von Klärschlamm									
F 2.2.2.3.1 Direkte Verwertung in der Landwirtschaft									
F 2.2.2.3.2 Biologische Behandlung									
F 2.2.2.3.3 Thermische Behandlung									
F 2.2.2.3.4 Deponierung									
<b>F 3: Subsystem Abfallwirtschaft</b>									
F 3.1 Sammlung von Restmüll- und Sperrmüll <b>15%</b>									
F 3.1.1 MVA <b>42,6%</b>									
F 3.1.1.1 Deponierung von Schlacke <b>50,3%</b>									
F 3.1.1.2 Deponierung von Flugasche									
F 3.1.1.3 Luftseitige diffuse Emission aus MVA									
F 3.1.1.4 Elimination während Rauchgasreinigung									
F 3.1.2 MBA (Splitting)									
F 3.1.2.1 heizwertreiche Fraktion									
F 3.1.2.2 heizwertarme Fraktion									
F 3.1.2.3 Altstoffe aus Splitting									
F 3.2 Getrennte Sammlung von Abfällen aus Haushalten <b>57,4%</b>									
F 3.2.1 Altstoffe <b>62,0%</b>									
F 3.2.1.1 Altkunststoffe (Sekundärrohstoffe) <b>83,9%</b>									
F 3.2.1.1.1 Altkunststoffe für Kunststoffrecycling <b>42,0%</b>									
F 3.2.1.1.1.1 Prozesswasser für Kunststoffrecycling									
F 3.2.1.1.1.2 Thermische Verwertung von Reststoffen									
F 3.2.1.1.1.3 Deponierung von Reststoffen									
F 3.2.1.1.2 Reststoffe für thermische Behandlung									
F 3.2.1.1.3 Deponierung von Reststoffen									
F 3.2.2 Biogene Abfälle / Biotechnische Behandlung <b>33,7%</b>									
F 3.2.2.1 Massenverlust durch biologischen Abbau <b>53,4%</b>									
F 3.2.2.2 Deponierung von Reststoffen aus biotechn. Beh. <b>24,2%</b>									
F 3.2.2.3 Kompost (stoffliche Verwertung) <b>22,4%</b>									
F 3.2.3 Problemstoffe und EAG <b>4,3%</b>									
F 3.2.3.1 Stoffliche Verwertung									
F 3.2.3.2 Thermische Verwertung von Reststoffen									
F 3.2.3.3 Deponierung von Reststoffen									
F 3.3 Getrennte Sammlung von Baurestmassen <b>0,0%</b>									
F 3.3.1 Sammlung von mineralischem Bauschutt <b>91,4%</b>									
F 3.3.1.1 Recycling von mineralischem Bauschutt <b>65,6%</b>									
F 3.3.1.1.1 Deponierung der Reststoffe (Feinfraktion)									
F 3.3.1.1.2 Verwendung als Ersatzbaustoff									
F 3.3.1.2 Deponierung von mineralischem Bauschutt									
F 3.3.2 Sammlung von Baustellenabfällen <b>8,6%</b>									
F 3.3.2.1 Recycling von Baustellenabfällen <b>32,0%</b>									
F 3.3.2.1.1 Deponierung der Reststoffe (Feinfraktion)									
F 3.3.2.1.2 Verwendung als Ersatzbaustoff									
F 3.3.2.2 Deponierung von Baustellenabfällen <b>68,0%</b>									

Tab. 30: Massenbilanz für Szenario 1-Min: nano-TiO<sub>2</sub> in Sonnencremen

<b>Produktspezifische Annahmen</b>	
F 1 Subsystem Nutzungsphase	85% der Sonnencreme werden während der Nutzung durch Baden oder Duschen etc. abgewaschen
F 1.1 Abrieb (luftseitig)	0% der Emissionen in der Nutzungsphase sind luftseitig
F 1.2.1 Diffuse Emissionen ins Gewässer	75% der während der Nutzung abgewaschenen Sonnencreme gelangt in Kanalisation (basierend auf Danovaro et al. (2008))
F 1.2.2 Abfluss in die Kanalisation	75% der während der Nutzung abgewaschenen Sonnencreme gelangt in Kanalisation (basierend auf Danovaro et al. (2008))
F 3: Subsystem Abfallwirtschaft	15% der Sonnencremen gelangen als Restinhalt in der Verpackung in das Subsystem Abfallwirtschaft
F 3.2.1 Altstoffe	100% der getrennt gesammelten Sonnencremeverpackungen mit Restinhalt werden über die Altstoffsammlung erfasst
F 3.2.1.1.1 Altkunststoff für Kunststoffrecycling	0% der Sonnencremereste haften an dem Altkunststoff, der ins Kunststoffrecycling eingeht
F 3.2.1.1.2 Prozesswasser für Kunststoffrecycling	100% der Sonnencremereste werden mit dem Prozesswasser ausgetragen und gelangen in die Kläranlage
F 3.2.3 Problemstoffe und EAG	0% der Sonnencremereste werden getrennt als Problemstoffe gesammelt
F 3.2.3.2 Reststoffe für thermische Behandlung (z.B. Feinfraktion)	100% der Sonnencremereste in der Problemstoffsammlung werden thermisch verwertet
F 3.2.3.3 Deponierung von Reststoffen	0% der Sonnencremereste in der Problemstoffsammlung werden direkt deponiert
F 3.3 Getrennte Sammlung von Baurestmassen	90% der Farbreste gelangen bei Abbrucharbeiten in die Baurestmassen
<b>Gestützte Annahme basierend auf Expertenmeinung</b>	
F 3.3.1.1.1 Deponierung der Reststoffe (Feinfraktion)	90% der Farbreste, die als mineralischer Bauschutt anfallen, finden sich in der Feinfraktion wieder und werden deponiert
F 3.3.1.1.2 Verwendung als Ersatzbaustoff	10% der Farbreste, die als mineralischer Bauschutt anfallen, werden als Ersatzbaustoffe stofflich verwertet
F 3.3.2.1.1 Deponierung der Reststoffe (Feinfraktion)	90% der Farbreste, die als Baustellenabfälle anfallen, finden sich in der Feinfraktion wieder und werden deponiert
F 3.3.2.1.2 Verwendung als Ersatzbaustoff	10% der Farbreste, welche als Baustellenabfälle anfallen, werden zu Ersatzbaustoffen stofflich verwertet
<b>Nanospezifische Annahmen</b>	
F 2.2.1 Diffuse Emissionen in Vorfluter	10% der nano-TiO <sub>2</sub> Partikel im Abwasser gelangen als diffuse Emissionen in den Vorfluter (Quelle: Johnson et al. 2011)
F 2.2.2 Rückhalt im Klärschlamm	90% der nano-TiO <sub>2</sub> Partikel im Abwasser werden im Klärschlamm zurückgehalten (Quelle: Johnson et al. 2011)
F 3.1.1.1 Deponierung von Schlacke	von 100% von nano-TiO <sub>2</sub> , welches in den Verbrennungsrückständen verbleibt, werden 81% in der Schlacke angereichert und werden deponiert (Quelle: Walsler et al. 2012)
F 3.1.1.2 Deponierung von Flugasche	von 100% von nano-TiO <sub>2</sub> , welches in den Verbrennungsrückständen verbleibt, werden 19% in der Schlacke angereichert und werden deponiert (Quelle: Walsler et al. 2012)
F 3.1.1.3 Luftseitige diffuse Emission aus MVA	bei Stand der Technik MVA's werden keine nano-TiO <sub>2</sub> Partikel über das Rauchgas freigesetzt
F 3.1.1.4 Elimination während Rauchgasreinigung	0% von nano-TiO <sub>2</sub> werden bei der Rauchgasreinigung (durch Lösung während "sauren Wäsche") eliminiert (Müller et al., 2012)
F 3.2.2.1 Transformaiton durch biologischen Abbau	0%, da Nano-TiO <sub>2</sub> Partikel nicht biologisch abgebaut werden (eigene Annahme)
<b>Abfallspezifische Annahmen</b>	
F 2.1 Wasserseitige diffuse Emissionen	10% der nano-TiO <sub>2</sub> Abwasseremissionen werden nicht durch das kommunale Abwassersammelsystem erfasst (basierend auf dem Kanalanschlussgrad) (Quelle: ÖWAV 2010)
F 2.2 Abwassersammlung und -behandlung	90% der nano-TiO <sub>2</sub> Abwasseremissionen werden durch das kommunale Abwassersystem erfasst (basierend auf dem Kanalanschlussgrad) (Quelle: ÖWAV 2010)
F 3.1 Sammlung von Restmüll- und Sperrmüll	42,6% der gesamten gesammelten Abfälle sind Rest- und Sperrmüll (Quelle: BMLFUW 2011)
<b>F 3.1.1 MVA</b>	Anteil aus F 3.1 gelangt mit einer Wahrscheinlichkeit von 50,3% (Quelle: BMLFUW 2011) in die Müllverbrennung
<b>F 3.1.2 MBA (Splitting)</b>	Der Anteil aus F 3.1. gelangt mit einer Wahrscheinlichkeit von 49,7% (Quelle: BMLFUW 2011) in die Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung (MBA)
F 3.1.2.1 heizwertreiche Fraktion	Der Anteil aus F 3.1.2 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 40,8% als heizwertreiche Fraktion aussortiert
F 3.1.2.2 heizwertarme Fraktion	Der Anteil aus F 3.1.2 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 48,9% als heizwertarme Fraktion aussortiert und biotechnisch weiterbehandelt (F 3.2.2) (Quelle: BMLFUW 2011)
F 3.1.2.3 Altstoffe aus Splitting	Der Anteil aus F 3.1.2 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 10,3% zu Altstoffen aussortiert und gelangt ins Recycling (Quelle: BMLFUW 2011)
F 3.2 Getrennte Sammlung von Abfällen aus Haushalten (Altstoffe)	57,4% der gesamten gesammelten Abfälle sind getrennt gesammelte Altstoffe (Quelle: BMLFUW 2011)
F 3.2.1.1 Altstoffe (Sekundärrohstoffe)	Der Anteil aus F 3.2.1 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 83,9% (Quelle: BMLFUW 2011) zu Sekundärrohstoffen stofflich verwertet
F 3.2.1.1.1 Altkunststoff für Kunststoffrecycling	42% der getrennt gesammelten Leichtverpackungen werden stofflich verwertet (Quelle: ARA 2013)
F 3.2.1.1.3 thermische Verwertung von Reststoffen	58% der getrennt gesammelten Leichtverpackungen werden thermisch verwertet (Quelle: ARA 2013)
F 3.2.1.1.4 Deponierung von Reststoffen	0% der getrennt gesammelten Leichtverpackungen werden direkt deponiert (Quelle: ARA 2013)
F 3.2.1.2 Reststoffe für thermische Behandlung	Der Anteil aus F 3.2.1 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 15,0% (Quelle: BMLFUW 2011) als Reststoff aussortiert und gelangt in die Müllverbrennung
F 3.2.1.3 Deponierung von Reststoffen	Der Anteil aus F 3.2.1 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 1,1% als Reststoff aussortiert und gelangt auf die Massenabfalldeponie (??)
<b>F 3.2.2 Biogene Abfälle / Biotechnische Behandlung</b>	Der Anteil aus F 3.2 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 33,7% (Quelle: BMLFUW 2011) als Biogener Abfall behandelt
F 3.2.2.2 Deponierung von Reststoffen aus biotechn. Beh.	die Wahrscheinlichkeit von 24,2% (Quelle: BMLFUW 2011), mit der Reststoffe aus der Biotechnischen Behandlung deponiert werden steigt auf 51,9%, da nano-TiO <sub>2</sub> nicht biologisch abgebaut wird (siehe Annahme F 3.2.2.1)
F 3.2.2.3 Kompost (stoffliche Verwertung)	die Wahrscheinlichkeit von 22,4% (Quelle: BMLFUW 2011), mit der Reststoffe aus der Biotechnischen Behandlung als (MBA-)Kompost stofflich verwertet werden steigt auf 48,1%, da nano-TiO <sub>2</sub> nicht biologisch abgebaut wird (siehe Annahme F 3.2.2.1)
<b>F 3.2.3 Problemstoffe und EAG</b>	der Anteil aus F 3.2 gelangt mit einer Wahrscheinlichkeit von 4,3% in die Problemstoff und EAG-Sammlung
<b>F 3.3.1 Sammlung von mineralischem Bauschutt</b>	der Anteil aus F 3.3 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 91,4% (Quelle: BMLFUW 2011) als mineralischer Bauschutt aussortiert
F 3.3.1.1 Recycling von mineralischem Bauschutt	der Anteil aus F 3.3.1 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 65,6% (Quelle: BMLFUW 2011) recycled
F 3.3.1.2 Deponierung von mineralischem Bauschutt	der Anteil aus F 3.3.1 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 34,4% (Quelle: BMLFUW 2011) deponiert
<b>F 3.3.2 Sammlung von Baustellenabfällen</b>	der Anteil aus F 3.3 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 8,6% (Quelle: BMLFUW 2011) als Baustoffabfälle aussortiert
F 3.3.2.1 Recycling von Baustellenabfällen	der Anteil aus F 3.3.2 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 32,0% (Quelle: BMLFUW 2011) recycled
F 3.3.2.2 Deponierung von Baustellenabfällen	der Anteil aus F 3.3.2 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 68% (Quelle: BMLFUW 2011) deponiert
<b>F 2.3.1 Direkte Verwertung in der Landwirtschaft</b>	der Anteil aus F 2.2.2 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 15,0% (Quelle: Egle et al., 2014) direkt als Dünger in der Landwirtschaft eingebracht
<b>F 2.3.2 Biologische Behandlung</b>	der Anteil aus F 2.2.2 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 36,0% (Quelle: Egle et al., 2014) biologisch behandelt
<b>F 2.3.3 Thermische Behandlung</b>	der Anteil aus F 2.2.2 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 49,0% (Quelle: Egle et al., 2014) thermisch behandelt
<b>F 2.3.4 Deponierung</b>	der Anteil aus F 2.2.2 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 0% deponiert (nach 2004) (Quelle: Egle et al., 2014)

Tab. 31: Annahmen/Transferkoeffizienten zum Verbleib von nano-TiO<sub>2</sub>-haltigen Sonnencremen im österreichischen Abfallwirtschaftssystem

7.2.2 Massenbilanz für Szenario 2: nano-Ag in Putztüchern

Szenario 2B: fasenintegriertes Nano-Ag in Putztüchern									
Maximum-Szenario									
Flussname	Freisetzungsrate für Nano-materialien [%]	"stochastische" Transfer-koeffizienten* [%]	Nanospezifische Transfer-koeffizienten [%]	Quellen	Berechnete Mengen [g/a]	Berechnete Mengen [g/a]	Berechnete Mengen [g/a]	Berechnete Mengen [%]	Systeminterne/ externe Flüsse
<b>Jahresaufkommen</b>				Literaturwerte			42	100,0%	
<b>F 1 Subsystem Nutzungsphase</b>									
F 1.1 Abrieb (luftseitig)	10,0%		0,0%	gestützte Annahme*	4				Output O1 (luftseitig)
F 1.2 Auswaschen (wasserseitig)			100,0%	eigene Annahme	4				
F 1.2.1 Diffuse Emissionen ins Gewässer			0,0%	eigene Annahme					Output O2 (wasserseitig)
F 1.2.2 Abfluss in die Kanalisation			100,0%	eigene Annahme		4	4		nach F 2
<b>F 2 Subsystem Abwasser</b>									
F 2.1 Wasserseitige diffuse Emissionen		10,0%		ÖWAV (2010)		0	0	1,0%	Output O2 (wasserseitig)
F 2.2 Abwassersammlung und -behandlung		90,0%		ÖWAV (2010)		4			nach F2.2.1
F 2.2.1 Diffuse Emissionen in Vorfluter			1,0%	Kaegi et al. (2013)			0	0,1%	Output O2 (wasserseitig)
F 2.2.2 Rückhalt im Klärschlamm			99,0%	Kaegi et al. (2013)			4	8,9%	nach F2.3
F 2.3 Behandlung von Kärtschlamm						4			
F 2.3.1 Direkte Verwertung in der Landwirtschaft		15,0%		Egle et al. (2014)		1	1	1,3%	nach S3 Recycling (Landwirtschaft)
F 2.3.2 Biologische Behandlung		36,0%		Egle et al. (2014)		1	1	3,2%	nach F3.2.2
F 2.3.3 Thermische Behandlung		49,0%		Egle et al. (2014)		2	2	4,4%	nach F3.1.1
F 2.3.4 Deponierung		0,0%		Egle et al. (2014)		0			nach S1 Deponie
<b>F 3: Subsystem Abfallwirtschaft</b>									
F 3.1 Sammlung von Restmüll- und Sperrmüll	90%			gestützte Annahme*	38				
F 3.1.1 MVA		42,6%	100,0%	eigene Annahme		38			
F 3.1.1.1 Deponierung von Schlacke			79,0%	BMLFUW (2011)	19	29			nach S1 Deponie
F 3.1.1.2 Deponierung von Flugasche			18,5%	Walser et al. (2012)			23	53,6%	nach S1 Deponie
F 3.1.1.3 Luftseitige diffuse Emission aus MVA			0,0%	Walser et al. (2012)			5	12,6%	nach S1 Deponie
F 3.1.1.4 Elimination während Rauchgasreinigung			2,5%	Walser et al. (2012)			0	0,0%	Output O1 (luftseitig)
F 3.1.2 MBA (Splitting)		49,7%		Müller et al. (2012)			1	1,7%	Transformation während Rauchgasreinigung
F 3.1.2.1 heizwertreiche Fraktion		40,8%		BMLFUW (2011)		19			
F 3.1.2.2 heizwertarme Fraktion		48,9%		BMLFUW (2011)			8	18,2%	nach F 3.1.1
F 3.1.2.3 Altstoffe aus Splitting		10,3%		BMLFUW (2011)			9	21,9%	nach F3.2.2
F 3.2 Getrennte Sammlung von Abfällen aus Haushalten		57,4%	0,0%	BMLFUW (2011)			2	4,6%	nach S2 Recycling
F 3.2.1 Altstoffe		62,0%	0,0%	eigene Annahme		0			
F 3.2.1.1 Altstoffe (Sekundärrohstoffe)		83,9%		eigene Annahme		0			nach S2 Recycling
F 3.2.1.1.1 Altkunststoffe für Kunststoffrecycling				ARA (2013)		0			
F 3.2.1.1.1 Prozesswasser für Kunststoffrecycling				eigene Annahme			0	0,0%	nach F2.3
F 3.2.1.1.2 Thermische Verwertung von Reststoffen				ARA (2013)		0		0,0%	nach F 3.1.1
F 3.2.1.1.3 Deponierung von Reststoffen				ARA (2013)			0	0,0%	nach S1 Deponie
F 3.2.1.2 Reststoffe für thermische Behandlung		15,0%		BMLFUW (2011)			0		
F 3.2.1.3 Deponierung von Reststoffen		1,1%		BMLFUW (2011)			0		
F 3.2.2 Biogene Abfälle / Biotechnische Behandlung		33,7%	0,0%	eigene Annahme		11			
F 3.2.2.1 Massenverlust durch biologischen Abbau		53,4%	0,0%	eigene Annahme			0	0,0%	Transformation durch biologischen Abbau
F 3.2.2.2 Deponierung von Reststoffen aus biotechn. Beh.		24,2%	51,9%	eigene Annahme			6	13,0%	nach S1 Deponie
F 3.2.2.3 Kompost (stoffliche Verwertung)		22,4%	48,1%	eigene Annahme			5	12,1%	nach S2 Recycling
F 3.2.3 Problemstoffe und EAG		4,3%	100,0%	eigene Annahme		0			
F 3.2.3.1 Stoffliche Verwertung			0,0%	eigene Annahme			0	0,0%	nach S2 Recycling
F 3.2.3.2 Thermische Verwertung von Reststoffen			90,0%	eigene Annahme			0	0,0%	nach F 3.1.1
F 3.2.3.3 Deponierung von Reststoffen			10,0%	eigene Annahme			0	0,0%	nach S1 Deponie
F 3.3 Getrennte Sammlung von Baurestmassen			0,0%	eigene Annahme		0			
F 3.3.1 Sammlung von mineralischem Bauschutt		91,4%		BMLFUW (2011)		0			
F 3.3.1.1 Recycling von mineralischem Bauschutt		65,6%		BMLFUW (2011)		0			
F 3.3.1.1.1 Deponierung der Reststoffe (Feinfraktion)			90,0%	Pertl A., (2015)			0	0,0%	nach S1 Deponie
F 3.3.1.1.2 Verwendung als Ersatzbaustoff			10,0%	Pertl A., (2015)			0	0,0%	nach S2 Recycling
F 3.3.1.2 Deponierung von mineralischem Bauschutt		34,4%		BMLFUW (2011)			0	0,0%	nach S1 Deponie
F 3.3.2 Sammlung von Baustellenabfällen		8,6%		BMLFUW (2011)		0			
F 3.3.2.1 Recycling von Baustellenabfällen		32,0%		BMLFUW (2011)		0			
F 3.3.2.1.1 Deponierung der Reststoffe (Feinfraktion)			90,0%	Pertl A., (2015)			0	0,0%	nach S1 Deponie
F 3.3.2.1.2 Verwendung als Ersatzbaustoff			10,0%	Pertl A., (2015)			0	0,0%	nach S2 Recycling
F 3.3.2.2 Deponierung von Baustellenabfällen		68,0%		BMLFUW (2011)		0		0,0%	nach S1 Deponie

Tab. 32: Massenbilanz für Szenario 2-B-Max: Putztücher mit faserintegriertem nano-Ag

Szenario 2A: oberflächenbeschichtetes Nano-Ag in Putztüchern									
Maximum-Szenario									
Flussname	Freisetzungsrate für Nano-materialien [%]	"stochastische" Transfer-koeffizienten* [%]	Nanospezifische Transfer-koeffizienten [%]	Quellen	Berechnete Mengen [g/a]	Berechnete Mengen [g/a]	Berechnete Mengen [g/a]	Berechnete Mengen [%]	Systeminterne/ externe Flüsse
<b>Jahresaufkommen</b>				Literaturwerte			42	100,0%	
<b>F 1 Subsystem Nutzungsphase</b>									
F 1.1 Abrieb (luftseitig) 100,0%									
F 1.2 Auswaschen (wasserseitig)									
F 1.2.1 Diffuse Emissionen ins Gewässer 0,0%									
F 1.2.2 Abfluss in die Kanalisation 100,0%									
<b>F 2 Subsystem Abwasser</b>									
F 2.1 Wasserseitige diffuse Emissionen 10,0%									
F 2.2 Abwassersammlung und -behandlung 90,0%									
F 2.2.1 Diffuse Emissionen in Vorfluter 1,0%									
F 2.2.2 Rückhalt im Klärschlamm 99,0%									
F 2.3 Behandlung von Klärschlamm									
F 2.3.1 Direkte Verwertung in der Landwirtschaft 15,0%									
F 2.3.2 Biologische Behandlung 36,0%									
F 2.3.3 Thermische Behandlung 49,0%									
F 2.3.4 Deponierung 0,0%									
<b>F 3: Subsystem Abfallwirtschaft</b>									
F 3.1 Sammlung von Restmüll- und Sperrmüll 0%									
F 3.1.1 MVA 50,3%									
F 3.1.1.1 Deponierung von Schlacke 79,0%									
F 3.1.1.2 Deponierung von Flugasche 18,5%									
F 3.1.1.3 Luftseitige diffuse Emission aus MVA 0,0%									
F 3.1.1.4 Elimination während Rauchgasreinigung 2,5%									
F 3.1.2 MBA (Splitting) 49,7%									
F 3.1.2.1 heizwertreiche Fraktion 40,8%									
F 3.1.2.2 heizwertarme Fraktion 48,9%									
F 3.1.2.3 Altstoffe aus Splitting 10,3%									
F 3.2 Getrennte Sammlung von Abfällen aus Haushalten 57,4%									
F 3.2.1 Altstoffe 62,0%									
F 3.2.1.1 Altstoffe (Sekundärrohstoffe) 83,9%									
F 3.2.1.1.1 Altkunststoffe für Kunststoffrecycling									
F 3.2.1.1.1.1 Prozesswasser für Kunststoffrecycling									
F 3.2.1.1.1.2 Thermische Verwertung von Reststoffen									
F 3.2.1.1.3 Deponierung von Reststoffen									
F 3.2.1.2 Reststoffe für thermische Behandlung 15,0%									
F 3.2.1.3 Deponierung von Reststoffen 1,1%									
F 3.2.2 Biogene Abfälle / Biotechnische Behandlung 33,7%									
F 3.2.2.1 Massenverlust durch biologischen Abbau 53,4%									
F 3.2.2.2 Deponierung von Reststoffen aus biotechn. Beh. 24,2%									
F 3.2.2.3 Kompost (stoffliche Verwertung) 22,4%									
F 3.2.3 Problemstoffe und EAG 4,3%									
F 3.2.3.1 Stoffliche Verwertung 0,0%									
F 3.2.3.2 Thermische Verwertung von Reststoffen 90,0%									
F 3.2.3.3 Deponierung von Reststoffen 10,0%									
<b>F 3.3 Getrennte Sammlung von Baurestmassen</b>									
F 3.3.1 Sammlung von mineralischem Bauschutt 91,4%									
F 3.3.1.1 Recycling von mineralischem Bauschutt 65,6%									
F 3.3.1.1.1 Deponierung der Reststoffe (Feinfraktion) 90,0%									
F 3.3.1.1.2 Verwendung als Ersatzbaustoff 10,0%									
F 3.3.1.2 Deponierung von mineralischem Bauschutt 34,4%									
<b>F 3.3.2 Sammlung von Baustellenabfällen</b>									
F 3.3.2.1 Recycling von Baustellenabfällen 8,6%									
F 3.3.2.1.1 Deponierung der Reststoffe (Feinfraktion) 32,0%									
F 3.3.2.1.2 Verwendung als Ersatzbaustoff 90,0%									
F 3.3.2.2 Deponierung von Baustellenabfällen 68,0%									

Tab. 33: Massenbilanz für Szenario 2-A-MAX: Putztücher mit nano-Ag (an Oberfläche der Faser haftend)

Szenario 2B: fasenintegriertes Nano-Ag in Putztüchern									
Minimumszenario									
Flussname	Freisetzungsrate für Nano-materialien [%]	"stochastische" Transfer-koeffizienten* [%]	Nanospezifische Transfer-koeffizienten [%]	Quellen	Berechnete Mengen [g/a]	Berechnete Mengen [g/a]	Berechnete Mengen [g/a]	Berechnete Mengen [%]	Systeminterne/ externe Flüsse
<b>Jahresaufkommen</b>				Literaturwerte			14	100,0%	
<b>F 1 Subsystem Nutzungsphase</b>									
F 1.1 Abrieb (luftseitig)									
F 1.2 Auswaschen (wasserseitig)									
F 1.2.1 Diffuse Emissionen ins Gewässer									
F 1.2.2 Abfluss in die Kanalisation									
<b>F 2 Subsystem Abwasser</b>									
F 2.1 Wasserseitige diffuse Emissionen									
F 2.2 Abwassersammlung und -behandlung									
F 2.2.1 Diffuse Emissionen in Vorfluter									
F 2.2.2 Rückhalt im Klärschlamm									
F 2.3 Behandlung von Klärschlamm									
F 2.3.1 Direkte Verwertung in der Landwirtschaft									
F 2.3.2 Biologische Behandlung									
F 2.3.3 Thermische Behandlung									
F 2.3.4 Deponierung									
<b>F 3: Subsystem Abfallwirtschaft</b>									
F 3.1 Sammlung von Restmüll- und Sperrmüll									
F 3.1.1 MVA									
F 3.1.1.1 Deponierung von Schlacke									
F 3.1.1.2 Deponierung von Flugasche									
F 3.1.1.3 Luftseitige diffuse Emission aus MVA									
F 3.1.1.4 Elimination während Rauchgasreinigung									
F 3.1.2 MBA (Splitting)									
F 3.1.2.1 heizwertreiche Fraktion									
F 3.1.2.2 heizwertarme Fraktion									
F 3.1.2.3 Altstoffe aus Splitting									
F 3.2 Getrennte Sammlung von Abfällen aus Haushalten									
F 3.2.1 Altstoffe									
F 3.2.1.1 Altstoffe (Sekundärrohstoffe)									
F 3.2.1.1.1 Altkunststoffe für Kunststoffrecycling									
F 3.2.1.1.1.1 Prozesswasser für Kunststoffrecycling									
F 3.2.1.1.1.2 Thermische Verwertung von Reststoffen									
F 3.2.1.1.1.3 Deponierung von Reststoffen									
F 3.2.1.2 Reststoffe für thermische Behandlung									
F 3.2.1.3 Deponierung von Reststoffen									
F 3.2.2 Biogene Abfälle / Biotechnische Behandlung									
F 3.2.2.1 Massenverlust durch biologischen Abbau									
F 3.2.2.2 Deponierung von Reststoffen aus biotechn. Beh.									
F 3.2.2.3 Kompost (stoffliche Verwertung)									
F 3.2.3 Problemstoffe und EAG									
F 3.2.3.1 Stoffliche Verwertung									
F 3.2.3.2 Thermische Verwertung von Reststoffen									
F 3.2.3.3 Deponierung von Reststoffen									
F 3.3 Getrennte Sammlung von Baurestmassen									
F 3.3.1 Sammlung von mineralischem Bauschutt									
F 3.3.1.1 Recycling von mineralischem Bauschutt									
F 3.3.1.1.1 Deponierung der Reststoffe (Feinfraktion)									
F 3.3.1.1.2 Verwendung als Ersatzbaustoff									
F 3.3.1.2 Deponierung von mineralischem Bauschutt									
F 3.3.2 Sammlung von Baustellenabfällen									
F 3.3.2.1 Recycling von Baustellenabfällen									
F 3.3.2.1.1 Deponierung der Reststoffe (Feinfraktion)									
F 3.3.2.1.2 Verwendung als Ersatzbaustoff									
F 3.3.2.2 Deponierung von Baustellenabfällen									
* basierend auf Mitrano et al. (2014)									

Tab. 34: Massenbilanz für Szenario 2-A-Min: Putztücher mit nano-Ag (an der Oberfläche haftend)

Szenario 2B: faserintegriertes Nano-Ag in Putztüchern									
Minimumszenario									
Flussname	Freisetzungsrate für Nano-materialien [%]	"stochastische" Transfer-koeffizienten* [%]	Nanospezifische Transfer-koeffizienten [%]	Quellen	Berechnete Mengen [g/a]	Berechnete Mengen [g/a]	Berechnete Mengen [g/a]	Berechnete Mengen [%]	Systeminterne/ externe Flüsse
<b>Jahresaufkommen</b>				Literaturwerte			14	100,0%	
<b>F 1 Subsystem Nutzungsphase</b>									
10,0%									
<b>F 1.1 Abrieb (luftseitig)</b>									
0,0%									
<b>F 1.2 Auswaschen (wasserseitig)</b>									
100,0%									
<b>F 1.2.1 Diffuse Emissionen ins Gewässer</b>									
0,0%									
<b>F 1.2.2 Abfluss in die Kanalisation</b>									
100,0%									
<b>F 2 Subsystem Abwasser</b>									
<b>F 2.1 Wasserseitige diffuse Emissionen</b>									
10,0%									
<b>F 2.2 Abwassersammlung und -behandlung</b>									
90,0%									
<b>F 2.2.1 Diffuse Emissionen in Vorfluter</b>									
1,0%									
<b>F 2.2.2 Rückhalt im Klärschlamm</b>									
99,0%									
<b>F 2.3 Behandlung von Kärschlamm</b>									
1									
<b>F 2.3.1 Direkte Verwertung in der Landwirtschaft</b>									
0									
<b>F 2.3.2 Biologische Behandlung</b>									
0									
<b>F 2.3.3 Thermische Behandlung</b>									
1									
<b>F 2.3.4 Deponierung</b>									
0									
<b>F 3: Subsystem Abfallwirtschaft</b>									
90%									
<b>F 3.1 Sammlung von Restmüll- und Sperrmüll</b>									
42,6%									
<b>F 3.1.1 MVA</b>									
50,3%									
<i>F 3.1.1.1 Deponierung von Schlacke</i>									
79,0%									
<i>F 3.1.1.2 Deponierung von Flugasche</i>									
18,5%									
<i>F 3.1.1.3 Luftseitige diffuse Emission aus MVA</i>									
0,0%									
<i>F 3.1.1.4 Elimination während Rauchgasreinigung</i>									
2,5%									
<b>F 3.1.2 MBA (Splitting)</b>									
49,7%									
<i>F 3.1.2.1 heizwertreiche Fraktion</i>									
40,8%									
<i>F 3.1.2.2 heizwertarme Fraktion</i>									
48,9%									
<i>F 3.1.2.3 Altstoffe aus Splitting</i>									
10,3%									
<b>F 3.2 Getrennte Sammlung von Abfällen aus Haushalten</b>									
57,4%									
<b>F 3.2.1 Altstoffe</b>									
62,0%									
<i>F 3.2.1.1 Altstoffe (Sekundärrohstoffe)</i>									
83,9%									
<i>F 3.2.1.1.1 Altkunststoffe für Kunststoffrecycling</i>									
ARA (2013)									
eigene Annahme									
0									
<i>F 3.2.1.1.2 Prozesswasser für Kunststoffrecycling</i>									
ARA (2013)									
eigene Annahme									
0									
<i>F 3.2.1.1.2 Thermische Verwertung von Reststoffen</i>									
ARA (2013)									
eigene Annahme									
0									
<i>F 3.2.1.1.3 Deponierung von Reststoffen</i>									
ARA (2013)									
eigene Annahme									
0									
<i>F 3.2.1.2 Reststoffe für thermische Behandlung</i>									
15,0%									
<i>F 3.2.1.3 Deponierung von Reststoffen</i>									
1,1%									
<b>F 3.2.2 Biogene Abfälle / Biotechnische Behandlung</b>									
33,7%									
<i>F 3.2.2.1 Massenverlust durch biologischen Abbau</i>									
0,0%									
<i>F 3.2.2.2 Deponierung von Reststoffen aus biotechn. Beh.</i>									
24,2%									
<i>F 3.2.2.3 Kompost (stoffliche Verwertung)</i>									
22,4%									
<b>F 3.2.3 Problemstoffe und EAG</b>									
4,3%									
<i>F 3.2.3.1 Stoffliche Verwertung</i>									
0,0%									
<i>F 3.2.3.2 Thermische Verwertung von Reststoffen</i>									
90,0%									
<i>F 3.2.3.3 Deponierung von Reststoffen</i>									
10,0%									
<b>F 3.3 Getrennte Sammlung von Baurestmassen</b>									
0,0%									
<b>F 3.3.1 Sammlung von mineralischem Bauschutt</b>									
91,4%									
<i>F 3.3.1.1 Recycling von mineralischem Bauschutt</i>									
65,6%									
<i>F 3.3.1.1.1 Deponierung der Reststoffe (Feinfraktion)</i>									
90,0%									
<i>F 3.3.1.1.2 Verwendung als Ersatzbaustoff</i>									
10,0%									
<i>F 3.3.1.2 Deponierung von mineralischem Bauschutt</i>									
34,4%									
<b>F 3.3.2 Sammlung von Baustellenabfällen</b>									
8,6%									
<i>F 3.3.2.1 Recycling von Baustellenabfällen</i>									
32,0%									
<i>F 3.3.2.1.1 Deponierung der Reststoffe (Feinfraktion)</i>									
90,0%									
<i>F 3.3.2.1.2 Verwendung als Ersatzbaustoff</i>									
10,0%									
<i>F 3.3.2.2 Deponierung von Baustellenabfällen</i>									
68,0%									

\* basierend auf Mitrano et al. (2014)

Tab. 35: Massenbilanz für Szenario 1-B-Min: Putztücher mit faserintegriertem nano-Ag

<b>Produktspezifische Annahmen</b>	
F 1 Subsystem Nutzungsphase	Ad SB) 10% des faserintegrierten Nano-Ag im Putztuch wird in der Nutzungsphase durch Putzen und Waschen freigesetzt; gestützt. Annahme basierend auf Mitrano et al. (2014).
F 1.1 Abrieb (luftseitig)	Ad SA) 100% des mit Nano-Ag oberflächenbeschichteten Putztuch wird in Nutzungsphase durch Putzen und Waschen freigesetzt.
F 1.2 Auswaschen (wasserseitig)	0% der Emissionen in der Nutzungsphase sind luftseitig
F 3: Subsystem Abfallwirtschaft	100% der Emissionen in der Nutzungsphase gehen ins Wasser (Auswaschen durch Nutzung)
F 3.1 Sammlung von Restmüll- und Sperrmüll	100% der Putztücher werden über Restmüllstrom erfasst
F 3.2 Getrennte Sammlung von Abfällen aus Haushalten (Altstoffe)	0% der Putztücher werden über diesen Abfallstrom erfasst
<b>Nanospezifische Annahmen</b>	
F 2.2.1 Diffuse Emissionen in Vorfluter	1% der nano-Ag Partikel im Abwasser gelangen als diffuse Emissionen in den Vorfluter (Quelle: Kaegi et al. 2013)
F 2.2.2 Rückhalt im Klärschlamm	99% der nano-Ag Partikel im Abwasser werden im Klärschlamm zurückgehalten (Quelle: Kaegi et al. 2013, Lingxiangyu et al. 2014, Impellitteri et al. 2013)
F 3.1.1.1 Deponierung von Schlacke	von 97,5% von nano-Ag, welches in den Verbrennungsrückständen verbleibt, werden 81% in der Schlacke angereichert und werden deponiert (Quelle: Walser et al. 2012)
F 3.1.1.2 Deponierung von Flugasche	von 97,5% von nano-Ag, welches in den Verbrennungsrückständen verbleibt, werden 19% in der Schlacke angereichert und werden deponiert (Quelle: Walser et al. 2012)
F 3.1.1.3 Luftseitige diffuse Emission aus MVA	bei Stand der Technik MVA's werden keine nano-Ag Partikel über das Rauchgas freigesetzt
F 3.1.1.4 Elimination während Rauchgasreinigung	2,5% von nano-Ag werden bei der Rauchgasreinigung (durch Lösung während "sauren Wäsche") eliminiert (Müller et al., 2012)
F 3.2.2.1 Transformaton durch biologischen Abbau	0%, da Nano-Ag Partikel nicht biologisch abgebaut werden (eigene Annahme)
<b>Abfallspezifische Annahmen</b>	
F 2.1 Wasserseitige diffuse Emissionen	10% der nano-Ag Abwasseremissionen werden nicht durch das kommunale Abwassersammelsystem erfasst (basierend auf dem Kanalanschlussgrad) (Quelle: ÖWAV 2010)
F 2.2 Abwassersammlung und -behandlung	90% der nano-Ag Abwasseremissionen werden durch das kommunale Abwassersystem erfasst (basierend auf dem Kanalanschlussgrad für Österreich) (Quelle: ÖWAV 2010)
<b>F 3.1.1 MVA</b>	Anteil aus F 3.1 gelangt mit einer Wahrscheinlichkeit von 50,3% (Quelle: BMLFUW 2011) in die Müllverbrennung
<b>F 3.1.2 MBA (Splitting)</b>	Der Anteil aus F 3.1. gelangt mit einer Wahrscheinlichkeit von 49,7% (Quelle: BMLFUW 2011) in die Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung (MBA)
F 3.1.2.1 heizwertreiche Fraktion	Der Anteil aus F 3.1.2 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 40,8% als heizwertreiche Fraktion aussortiert
F 3.1.2.2 heizwertarme Fraktion	Der Anteil aus F 3.1.2 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 48,9% als heizwertarme Fraktion aussortiert und biotechnisch weiterbehandelt (F 3.2.2) (Quelle: BMLFUW 2011)
F 3.1.2.3 Altstoffe aus Splitting	Der Anteil aus F 3.1.2 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 10,3% zu Altstoffen aussortiert und gelangt ins Recycling (Quelle: BMLFUW 2011)
<b>F 3.2.1 Altstoffe</b>	Der Anteil aus F 3.2 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 62,0 % (Quelle: BMLFUW 2011) als Altstoff behandelt
F 3.2.1.1 Altstoffe (Sekundärrohstoffe)	Der Anteil aus F 3.2.1 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 83,9% (Quelle: BMLFUW 2011) zu Sekundärrohstoffen stofflich verwertet
F 3.2.1.2 Reststoffe für thermische Behandlung	Der Anteil aus F 3.2.1 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 15,0% (Quelle: BMLFUW 2011) als Reststoff aussortiert und gelangt in die Müllverbrennung
F 3.2.1.3 Deponierung von Reststoffen	Der Anteil aus F 3.2.1 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 1,1% als Reststoff aussortiert und gelangt auf die Massenabfalldéponie (??)
<b>F 3.2.2 Biogene Abfälle / Biotechnische Behandlung</b>	Der Anteil aus F 3.2 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 33,7 % (Quelle: BMLFUW 2011) als Biogener Abfall behandelt
F 3.2.2.2 Deponierung von Reststoffen aus biotechn. Beh.	die Wahrscheinlichkeit von 24,2% (Quelle: BMLFUW 2011), mit der Reststoffe aus der Biotechnischen Behandlung deponiert werden steigt auf 51,9%, da nano-Ag nicht biologisch angebaut wird (siehe Annahme F 3.2.2.1)
F 3.2.2.3 Kompost (stoffliche Verwertung)	die Wahrscheinlichkeit von 22,4% (Quelle: BMLFUW 2011), mit der Reststoffe aus der Biotechnischen Behandlung als (MBA-)Kompost stofflich verwertet werden steigt auf 48,1%, da nano-Ag nicht biologisch angebaut wird (siehe Annahme F 3.2.2.1)
<b>F 3.2.3 Problemstoffe und EAG</b>	der Anteil aus F 3.2 gelangt mit einer Wahrscheinlichkeit von 4,3% in die Problemstoff und EAG-Sammlung
<b>F 3.3.1 Sammlung von mineralischem Bauschutt</b>	der Anteil aus F 3.3 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 91,4% (Quelle: BMLFUW 2011) als mineralischer Bauschutt aussortiert
F 3.3.1.1 Recycling von mineralischem Bauschutt	der Anteil aus F 3.3.1 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 65,6% (Quelle: BMLFUW 2011) recycled
F 3.3.1.2 Deponierung von mineralischem Bauschutt	der Anteil aus F 3.3.1 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 34,4% (Quelle: BMLFUW 2011) deponiert
<b>F 3.3.2 Sammlung von Baustellenabfällen</b>	der Anteil aus F 3.3 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 8,6% (Quelle: BMLFUW 2011) als Baustoffabfälle aussortiert
F 3.3.2.1 Recycling von Baustellenabfällen	der Anteil aus F 3.3.2 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 32,0 % (Quelle: BMLFUW 2011) recycled
F 3.3.2.2 Deponierung von Baustellenabfällen	der Anteil aus F 3.3.2 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 68% (Quelle: BMLFUW 2011) deponiert
<b>F 2.3.1 Stoffliche Verwertung</b>	der Anteil aus F 2.2.2 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 31,6% (Quelle: BMLFUW 2012) stofflich verwertet
<b>F 2.3.2 Deponierung</b>	der Anteil aus F 2.2.2 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 7,9% (Quelle: BMLFUW 2012) deponiert
<b>F 2.3.3 Aufbringung in der Landwirtschaft</b>	der Anteil aus F 2.2.2 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 16,9% (Quelle: BMLFUW 2012) in der Landwirtschaft aufgebracht
<b>F 2.3.4 Klärschlammverbrennung</b>	der Anteil aus F 2.2.2 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 43,6% (Quelle: BMLFUW 2012) thermisch verwertet
F 2.3.4.1 Thermische Behandlung (Mono- und Mitverbrennung)	der Anteil aus F 2.3.4 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 96,0% (Quelle: Egle et al. 2014) durch Mono- und Mitverbrennung thermisch behandelt
F 2.3.4.2 Zementindustrie	der Anteil aus F 2.3.4 wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 4,0% (Quelle: Egle et al. 2014) in der Zementindustrie thermisch verwertet

Tab. 36: Annahmen/Transferkoeffizienten zum Verbleib von nano-Ag-haltigen Putztüchern im österreichischen Abfallwirtschaftssystem

