

Nanopartikel im Abfall – ein unterschätztes Risiko?

Nanomaterialien in Abfallströmen stellen eine neuartige Problematik dar. Auf welchen Entsorgungswegen tauchen Nanopartikel auf? Wie verhalten sie sich in der Umwelt? Wo lauern die Gefahren?

Von Mathias Breimesser und Jürg Liechti

Nanomaterialien sind aus dem Alltag nicht mehr wegzudenken: Als Zusatzstoffe in Kosmetika, Bestandteil funktioneller Textilien, in Farben und Lacken oder als Strukturbestandteil von High-Tech-Baumaterialien. Gemäss Schätzungen der UNO von 2010 verwenden in der Schweiz rund 600 Firmen Nanomaterialien, Tendenz steigend. Mengenmässig relevant sind insbesondere Partikel auf der Basis von Siliziumdioxid, Titandioxid (TiO₂), Zinkoxid oder Silber sowie Kohlenstoffmodifikationen (Carbon nano tubes: CNT, und Carbon Black: CB). Mit der verbreiteten Anwendung gelangen Nanomateria-

lien auch in die Abfallströme. Was bedeutet das für die Entsorgungssysteme wie z.B. Kläranlage (ARA) oder Kehrichtverbrennungsanlage (KVA)?

Was macht Nanomaterialien gefährlich?

Freie, ungebundene Nanopartikel sind aufgrund ihrer geringen Grösse hoch mobil. Über verletzte (teilweise auch intakte) Haut, über die Nase, den Magen-Darm-Trakt oder über die Lunge können Nanopartikel in den Körper gelangen. Nach der Aufnahme können Nanopartikel über das Blutgefässsystem in Organe und Zellen eindringen und unter bestimmten Bedingungen die Blut-Hirn-Schranke überwinden.

Neben der Mobilität unterscheiden sich Nanopartikel zudem auf vielfältige Weise von grösseren Partikeln derselben Zusammensetzung. Dies lässt sich sehr oft auf das veränderte Verhältnis von Oberfläche zu Volumen zurückführen. Ein Material in Nanoform weist bezogen auf die Stoffmenge eine sehr grosse Oberfläche auf und wird dadurch reaktiver als dasselbe Material in herkömmlicher Form. Bei Stoffen, die an sich bereits giftig wirken, kann die Umformung zu Nanopartikeln die Giftigkeit verstärken. So wirkt bereits metallisches Silber an sich antimikrobiell. In Nanoform verstärkt sich diese Wirkung deutlich.

Andere Stoffe, die in ihrer üblichen Form kaum giftig sind, wie Titandioxid oder

Siliziumoxid, können durch die vergrösserte Oberfläche und die hohe Mobilität plötzlich schädlich wirken. Ein häufig auftretender Wirkmechanismus ist oxidativer Stress: Der Körper versucht, eingedrungene Partikel abzubauen, es kommt zu lokalen Entzündungserscheinungen, und das Zellgewebe wird in Mitleidenschaft gezogen. Kann der Partikel nicht abgebaut werden, hält die Entzündung an. Eine Sonderrolle hierbei spielen CNT. Diese faserartigen Kohlenstoffverbindungen ähneln in Form und Beständigkeit dem Asbest. Studien haben Hinweise auf eine vergleichbare Wirkung festgestellt, wobei die Schadwirkung stark von der Länge der CNTs und ihrer Oberflächenbehandlung abhängt. Es ist anzunehmen, dass die Inhalation von bestimmten CNTs langfristig krebserregend ist.

Wie verhalten sich Nanopartikel in der Umwelt?

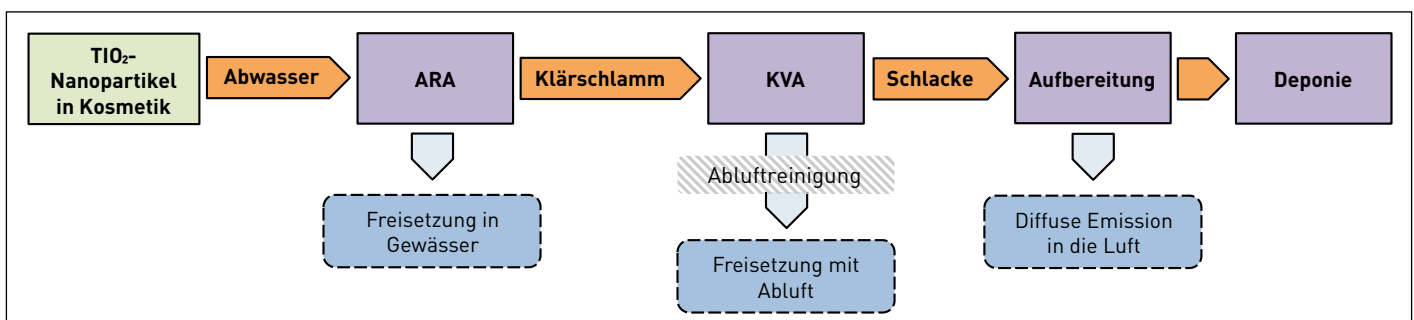
Nach der Freisetzung von Nanomaterialien in den Umweltmedien sind für deren Verbleib, Ausbreitung und Auswirkung zum einen die Umgebungsbedingungen (pH-Wert des Bodens und Gewässer, vorhandene Reaktionspartner, UV-Licht etc.), zum anderen die genaue Partikelbeschaffenheit (chemische Eigenschaften, Oberfläche, Funktionalisierung etc.) entscheidend. Nanopartikel können nach einem Eintrag in der Umwelt chemische und physikalische Veränderungen durchmachen. Partikel können verklumpen und

MATHIAS BREIMESSER

Dr.-Ing., Chemiker, Gefahrgutbeauftragter Neosys AG, Gerlafingen.

JÜRIG LIECHTI

Dr. sc. nat., Physiker, CEO, Neosys AG, Gerlafingen.



Beispielhafter Entsorgungsweg von TiO₂-Nanopartikeln als Bestandteil von Kosmetik. Da die Partikel unbrennbar und kaum löslich sind, können sie mehrere Entsorgungssysteme durchlaufen und auf verschiedenen Pfaden freigesetzt werden. Auch eine erneute Freisetzung aus der Deponie ist möglich.



Bei der offenen Verarbeitung von KVA-Schlacken, z.B. zur Metall-Rückgewinnung, können Nanopartikel als diffuse Emission in die Umwelt austreten.

Foto: Neosys

sich ablagern, abgebaut werden oder bestehen bleiben. Gelangen Nanopartikel in die Luft, setzen sie sich gar nicht oder nur sehr langsam ab. So können Nanopartikel über weite Distanzen transportiert werden.

Welches Risiko geht konkret von Nanopartikeln in Abfallströmen aus?

Zur Ermittlung des Risikos für Mensch und Umwelt auf verschiedenen Pfaden werden einerseits Schätzungen zu den emittierten Stoffmengen benötigt. Andererseits sind Mengenschwellen zu finden, ab welchen mit schädlichen Effekten durch Nanopartikel zu rechnen ist. Belastbare Daten hierzu sind nur begrenzt verfügbar. Für Aussagen zur Schädigung von Menschen wären epidemiologische Daten notwendig. Aus Mangel an entsprechenden Studien muss man auf andere, bekannte Zahlen zurückgreifen. Zur Gefährdung durch Nanopartikel in der Luft können zum Beispiel Abschätzungen zur Wirkung von Feinstaub genutzt werden. Nanomaterialien können grob vereinfacht als Feinstfeinstaub angesehen werden, der Wirkmechanismus des oxidativen Stresses, und der Aufnahmeweg über die Luft sind für die häufig verwendeten Nanomaterialien vergleichbar. Besondere Gefahren wie die asbestähnlichen CNTs müssen separat betrachtet werden. Mit einem entsprechenden Sicherheitsfaktor, welcher einer erhöhten Gefahr durch Nanopartikel Rechnung trägt, lässt sich anhand der Gesamtfeinstaubmenge und den daraus erwarteten Erkrankungsfällen abschätzen, ob Nanomaterial-Emissionen in die Luft ein signifikantes Risiko darstellen.

Zur Abschätzung der Umweltschädigung liegen einige Literaturwerte vor. Sogenannte PNEC-Werte (predicted no effect concentration: vorhergesagte Konzentration ohne Wirkung) geben an, bis zu welcher Konzentration ein Stoff in der Umwelt zu keiner Schädigung führen sollte. Es handelt sich dabei um Schätzwerte, die in der Regel auf Untersuchungen an Wasserorganismen (Daphnien, Algen, Fische) basieren und mit einer Sicherheitsmarge versehen sind. Die Marge ist umso grösser, je weniger experimentelle Daten vorliegen. Für Nanopartikel sind die Margen gross, und PNEC-Werte für verschiedene Partikeltypen unterscheiden sich zum Teil um mehr als das Tausendfache (Siehe Tabelle).

Partikeltyp	PNEC-Wert für Wasserorganismen
Nano-Ag	0,01 µg/L
Nano-ZnO	9,85 µg/L
CNT	60,27 µg/L
Nano-TiO ₂	61,51 µg/L

Tabelle: Beispiele für PNEC-Werte des Umweltkompartiments Wasser für vier verschiedene Typen von Nanomaterialien (F. Gottschalk, 2013).

Beispiel I: Nanopartikel im Abwasser / in der ARA

Nanopartikelhaltige Kosmetika, ausgewaschene Partikel aus funktioneller Kleidung oder aus Oberflächenbeschichtungen, etc.:

sie alle gelangen früher oder später via Kanalisation in eine Abwasserreinigungsanlage. ARAs nehmen daher eine Schlüsselstelle im Verbleib von Nanopartikeln in den Abfallströmen ein. Drei Wege sind dabei relevant:

Abtrennung in den Klärschlamm: Durch Verklumpung und Ausfällung werden bis zu 90% der eingeleiteten Nanopartikel dem Wasserstrom entzogen. Sie gelangen in den Klärschlamm. Der weitere Verbleib der Partikel hängt von der Behandlung des Schlammes ab, ein möglicher Entsorgungsweg ist die Verbrennung.

Zersetzung: Ein Teil der Partikelfracht wird in der ARA zerstört: So werden Silberpartikel zum unbedenklichen Silbersulfid umgewandelt, Zinkoxid-Partikel lösen sich auf. Durch chemische Umwandlung und Verklumpung werden somit bis zu 99% dieser Partikel dem Wasser entzogen.

Austritt aus der ARA: Partikel, die weder zersetzt noch abgetrennt werden, gelangen schliesslich in die Gewässer. Hohe Partikelkonzentrationen sind in direkter Nähe und flussabwärts von ARA-Ausflüssen zu erwarten. Hier besteht eine mögliche Gefährdung der Wasserökologie, insbesondere aufgrund zweier Partikelarten: Titandioxid, aufgrund der grossen Menge, und Nanosilber, welches zwar weitgehend zurückgehalten wird, jedoch einen sehr tiefen PNEC-Wert aufweist. Eine Gefahr für Menschen ist indes kaum zu befürchten. In der unmittelbaren Nähe von ARA-Ausflüssen sind im Normalfall keine Menschen exponiert, und flussabwärts werden Partikel schnell soweit verdünnt, dass eine Gesundheitsgefährdung unwahrscheinlich ist.

Beispiel II: Nanopartikel in Verbrennungsanlagen

Für den Menschen besonders problematisch sind Nanopartikel in der Luft, da die Partikel auf diesem Weg tief in die Lunge eindringen können. Entsprechend relevant ist das Verhalten von Nanopartikeln in Entsorgungsanlagen, die Abluft produzieren, allen voran Verbrennungsanlagen. Nanopartikel gelangen in Form von Haushalts- und Industrieabfällen oder als Bestandteil von Klärschlamm in Verbrennungsanlagen. Neben KVAs und Sonderabfallanlagen sind auch Zementwerke zu berücksichtigen, da diese ebenfalls nanopartikelhaltige Abfallarten, z.B. Reifen, als Ersatzbrennstoff einsetzen.



Abwasserreinigungsanlagen sind in der Lage, einen grossen Teil der Nanopartikelfracht aus dem Abwasser zu entfernen, entweder durch chemische Umwandlung oder durch Ausfällung. Eine Restmenge der Nanopartikel gelangt jedoch in die Vorfluter. Foto: Neosys

Brennbare Nanopartikel wie CNTs oder Industrieruss aus Reifen werden in Verbrennungsanlagen zu einem grossen Teil zerstört, sodass von ihnen kaum mehr eine Gefahr ausgehen kann. Stabile Partikel wie Metalloxide überstehen den Verbrennungsprozess unbeschadet. Gemäss Messungen an einer Schweizer KVA gewährleisten die Abgasreinigungsverfahren jedoch einen wirksamen Rückhalt von Nanopartikeln bei der Flugascheabscheidung. Man geht von einem Rückhalt von 99,9% aus. Die Mengen an Nanomaterial, welche mit der KVA-Abluft freigesetzt werden, sind damit so gering, dass kein signifikanter Beitrag zur Feinstaubbelastung zu erwarten ist.

Der Hauptteil der Nanopartikel verbleibt in Schlacke und Filterasche und gelangt so in eine Reaktor- oder Reststoffdeponie. Problematisch kann die anschliessende Verarbeitung von Schlacken zur Metallrückgewinnung sein. Findet diese nicht in einer gekapselten Anlage statt, so können Nanopartikel aufgewirbelt und ungefiltert in die Luft verfrachtet werden. Zurzeit sind noch keine Studien bekannt, die diese dif-

fusen Emissionen systematisch untersucht haben.

Handhabung von Abfällen: Eine Gefahr für Mitarbeiter?

Die Gefahr diffuser Emissionen besteht ebenfalls bei Shredderanlagen, welche nanomaterialhaltige Abfälle verarbeiten, z.B. aus der Autoindustrie. Die Partikel, welche in Shredderanlagen freigesetzt werden können, umfassen ein weites Spektrum und können auch CNTs beinhalten. Umso wichtiger sind Schutzmassnahmen. Glücklicherweise schützen dieselben Massnahmen vor einer Exposition, welche auch für den Rückhalt herkömmlicher Stäube eingesetzt werden: gekapselte Prozesse, Absaugungen, und wo dies nicht möglich ist oder nicht ausreicht, die Verwendung von persönlicher Schutzausrüstung. Die Wirksamkeit herkömmlicher Schutzausrüstung gegenüber Nanopartikeln wurde 2008 im Europäischen Projekt «Nanosafe 2» untersucht. Die Untersuchungen zeigten, dass herkömmliche Atemschutzmasken und Schutzhandschuhe einen wirkungsvollen Schutz auch

vor Nanopartikeln bieten. Gebräuchliche Filtermasken weisen für nanoskalige Materialien sogar eine höhere Filtereffizienz auf als für grössere Partikel.

Fazit

Der Mangel an epidemiologischen Daten ist an sich erfreulich: Nanopartikel sind nicht derart giftig, dass ihre Anwesenheit in den Abfallströmen bereits offensichtliche Schäden verursacht hätten. Doch die langfristige Wirkung von Nanopartikeln auf Mensch und Umwelt könnte sich erst noch zeigen. Unkontrollierte Freisetzen von Nanomaterialien müssen darum nach Möglichkeit verhindert werden. In Entsorgungsbetrieben müssen insbesondere Staubemissionen vermieden werden. Beim jetzigen Wissensstand ist eine Gewässerschädigung durch Nanopartikel aus ARAs nicht auszuschliessen. Weiterführende Untersuchungen sind notwendig, um die tatsächlichen Partikelkonzentrationen in den Vorflutern und deren biologische Wirkung zu ermitteln.

Anzeige

«Was für die Umwelt gut ist, ist besser für das Image des Unternehmens.»

Unser Ziel ist es, Umwelt- und Energiemanagement so anzugehen, um den Nutzen für das Unternehmen zu fördern.



www.sqs.ch



Schweizerische Vereinigung
für Qualitäts- und Management-
Systeme (SQS)