

Nanopartikel im Abfall – ein unterschätztes Risiko?



Abwasserreinigungsanlagen können durch chemische Umwandlung oder durch Ausfällung einen grossen Teil der Nanopartikel-fracht aus dem Abwasser entfernen. Eine Restmenge der Nanopartikel gelangt jedoch in die Vorfluter.

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?

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 Nanomaterialien auch in die Abfallströme. Was bedeutet das für die Entsorgungssysteme wie z.B. Kläranlage (ARA) oder Kehrlichtverbrennungsanlage (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-Darmtrakt oder die Lunge können Nanopartikel in den Körper gelangen. Nach der Auf-

nahme 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 Mitleidschaft 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, wie pH-Wert des Bodens und Gewässer, vorhandene Reaktionspartner oder UV-Licht, zum anderen die genaue Partikelbeschaffenheit, etwa chemische Eigenschaften, Oberfläche und Funktionalisierung entscheidend. Nanopartikel können nach einem Eintrag in der Umwelt chemische

und physikalische Veränderungen durchmachen. Partikel können verklumpen und sich ablagern, im Wasser gelöst 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 von Nanopartikeln in Abfallströmen aus?

Zur Ermittlung des Risikos, das von Nanopartikeln ausgeht, 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.

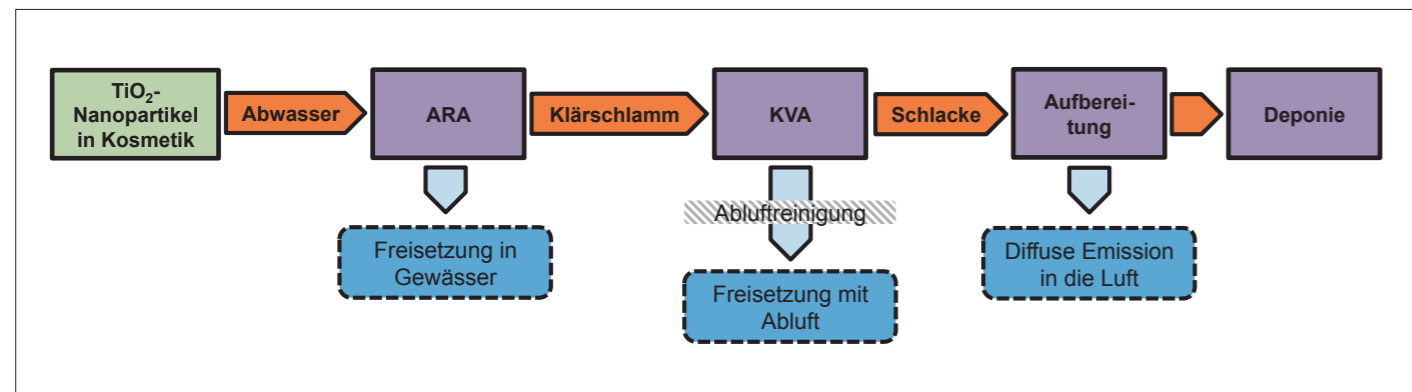
Schadwirkungen von Nanopartikeln auf menschliche bzw. tierische Zellen wurden schon in zahlreichen Studien nachgewiesen. Das Problem liegt darin, dass in diesen Versuchen sehr hohe Partikelkonzentrationen eingesetzt werden, um innert nützlicher Frist einen messbares Effekt zu erhalten. Eine Übertragung dieser Beobachtungen auf den Menschen und seine Umwelt, wo in der Regel deutlich tiefere Partikelkonzentrationen vorliegen, ist nicht möglich. 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 Feinst-Feinstaub angesehen werden, der Wirkmechanismus des oxidativen Stress, 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.

Andere Aufnahmewege, also via die Haut oder den Magen-Darm-Trakt, sind für Nanopartikel ebenfalls denkbar, zum Beispiel durch Baden in belasteten Gewässern und Verschlucken von Wasser. Eine erhöhte Konzentration von Nanopartikeln ist in direkter Nähe und flussabwärts von ARA-Ausflüssen zu erwarten. Kläranlagen können zwar einen Grossteil der Nanopartikel, die im Abwasser enthalten sind, entfernen. Ein Teil passiert die Anlagen jedoch unbeschadet und gelangt in die Vorfluter. Eine Gefahr für Menschen ist indes nicht zu befürchten. In unmittelbarer Nähe von ARA-Vorflutern sind im Normalfall keine Menschen exponiert, und flussabwärts werden Partikel schnell soweit verdünnt, dass eine Gesundheitsgefährdung unwahrscheinlich ist.

Nanopartikel in Verbrennungsanlagen

Problematischer für den Menschen 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



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.

von Klärschlamm in Verbrennungsanlagen. Neben KVAs und Sonderabfall-Anlagen sind auch Zementwerke zu berücksichtigen, da diese ebenfalls nanopartikelhaltige Abfallarten wie zum Beispiel Reifen als Ersatzbrennstoff einsetzen.

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 der Umgang mit diesen Rückständen sein, zum Beispiel die Verarbeitung von Schlacken zur Metallrückgewinnung. Finden derartige Prozesse nicht in gekapselten Anlagen statt, so können Nanopartikel

aufgewirbelt und ungefiltert in die Luft verfrachtet werden. Zurzeit sind noch keine Studien bekannt, die diese diffusen 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. Durch das Aufbrechen von Komponenten können dabei auch gekapselte und gebundene Nanomaterialien freigesetzt werden. Die Partikel umfassen ein weites Spektrum und können CNTs beinhalten. Eine akute Gefährdung in unmittelbarer Nähe solcher Anlagen kann beim heutigen Wissensstand nicht ausgeschlossen werden. Umso wichtiger sind Schutzmassnahmen. Glücklicherweise schützen dieselben Massnahmen vor einer Exposition, welche auch für den Rückhalt herkömmlicher Stäube eingesetzt werden: Gekapselte Prozesse, Absaugungen oder das Binden von Stäuben durch Anfeuchten können eine Emission verhindern. Wo dies nicht möglich ist oder nicht ausreicht, muss persönliche Schutzausrüstung eingesetzt werden: Dies umfasst Schutzanzüge, dichtschiessende Schutzbrillen, Handschuhe und Staubschutz-

masken. Hier sei auf die Suva-Checkliste zum Umgang mit gesundheitsgefährdenden Stäuben verwiesen.

Die Wirksamkeit herkömmlicher Schutzausrüstung gegenüber Nanopartikeln wurde 2008 im Europäischen Projekt «Nanosafe 2» untersucht. Die Untersuchungen zeigten, dass herkömmliche Schutzmassnahmen gegen Staubexpositionen einen wirkungsvollen Rückhalt auch von Nanopartikeln gewährleisten: Schutzhandschuhe aus Kunststoff zeigten durchwegs gute Effektivität. Bei Schutzanzügen zeigten dichte luftdichte Materialien eine deutlich höhere Schutzwirkung als gewobene Kleidung aus Baumwolle. Die Untersuchungen zeigten weiter, dass gebräuchliche Filtermasken für nanoskalige Materialien sogar eine höhere Filtereffizienz aufweisen, als für grössere Partikel. Dies allerdings nur, wenn sie korrekt verwendet und angepasst werden. Bei schlecht sitzenden Masken können Partikel zwischen Gesicht und Maskenrand passieren, womit die Wirksamkeit der Maske dramatisch abfällt. Sorgfalt ist auch beim Ablegen der Schutzausrüstung geboten, um eine nachträgliche Kontamination und Verschleppung zu vermeiden.

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 den Menschen könnte sich erst noch zeigen. Unkontrollierte Freisetzungen von Nanomaterialien müssen darum nach Möglichkeit verhindert werden. In Entsorgungsbetrieben müssen insbesondere Staubemissionen vermieden werden. An Arbeitsplätzen, bei denen eine Exposition nicht ausgeschlossen werden kann, bietet persönliche Schutzausrüstung einen wirksamen Schutz für die Mitarbeiter. ■



MATHIAS BREIMESSER UND JÜRIG LIECHTI

Neosys