



Tätigkeiten mit Nanomaterialien

Arbeitshilfe für Betriebsärztinnen und Betriebsärzte

1

Was sind Nanomaterialien und welche sind für den Arbeitsschutz besonders relevant?

Nanomaterialien sind beabsichtigt hergestellte Materialien, die in ein, zwei oder drei Dimensionen nanoskalig (ca. 1 – 100 nm) sind (Nanoobjekte) oder deren innerer bzw. äußerer Aufbau nanoskalige Strukturen aufweist (nanostrukturierte Materialien). Für den Arbeitsschutz besonders relevant sind Stäube, die granuläre Nanopartikel oder faserförmige Nanoobjekte (Nanofasern oder –röhrchen) enthalten. Nanopartikel können sich durch stärkere bzw. schwächere Bindungskräfte zu Aggregaten bzw. Agglomeraten zusammenlagern.

2

Wie grenzt man Nanostäube von Fein- und Ultrafeinstäuben ab?

Ultrafeine Stäube enthalten ebenfalls Partikel im Größenbereich von 1 bis 100 nm. Sie entstehen jedoch im Gegensatz zu Nanostäuben unabsichtlich, beispielsweise bei thermischen Prozessen (Motorabgase, Schweißprozesse, Hausfeuerung, Kerzenlicht) oder bei der mechanischen Bearbeitung von Werkstoffen.

Für den Begriff „**Feinstaub**“ gibt es unterschiedliche Definitionen. Im Arbeitsschutz wurde er durch den Terminus „alveolengängige Staubfraktion“ („A-Staub“) ersetzt und steht für den Massenanteil der inhalierbaren Partikel, der bis in die Alveolen vordringt. Zur messtechnischen Überwachung hat man sich auf eine fest umschriebene mathematische Abscheidedefunktion (Konvention) geeinigt (z. B. Penetration bei einem aerodynamischen Partikeldurchmesser von 4 µm: 50%, 7 µm: 9%, 16 µm: 0%). Feinstäube in der Luft am Arbeitsplatz enthalten in der Regel auch ultrafeine Stäube, etwa aus der urbanen Hintergrundbelastung durch Verbrennungsmotoren und Hausbrand. Wenn die Feinstäube in der Luft am Arbeitsplatz Nanoobjekte oder deren Aggregate oder Agglomerate enthalten, werden diese von den entsprechenden Staubsammelgeräten ebenfalls mit erfasst.

3

Wo sind Nanostäube im betrieblichen Umfeld zu erwarten?

Ultrafeine Stäube kommen in unserer Umwelt überall in mehr oder weniger hoher Partikelanzahlkonzentration (Größenordnung: 10.000 Partikel/cm³) vor. Mit dem Auftreten von Nanostäuben ist zu rechnen, wenn entsprechende Nanomaterialien im betrieblichen Umfeld zum Einsatz kommen. Bestimmte betriebliche Tätigkeiten (z. B. thermisches Behandeln von Kunststoffen, Schweißen, Schneiden, Verbrennungsvorgänge, Betrieb von Verbrennungsmotoren etc.) können zum deutlichen Anstieg der Luftkonzentration ultrafeiner Stäube am Arbeitsplatz führen.

Nanostäube entstehen meist dann, wenn die Nanomaterialien in Pulverform verwendet werden. Das gilt besonders für stärker staubende Tätigkeiten wie Umfüllen, Absacken oder offenen Transport. Besonders kritisch zu sehen sind aktive Verstaubungsvorgänge (z. B. Einsatz von

Sprays). Nanoobjekte neigen dazu, sich zusammenzulagern; die entstehenden Aggregate oder Agglomerate können als Bestandteil des A-Staubes ebenfalls lungengängig sein.

Die Sekundärfreisetzung von Nanopartikeln z. B. aus Lacken, Beschichtungsmaterialien oder Baumaterialien wird derzeit intensiv untersucht. Neuere Erkenntnisse zeigen, dass bei Oberflächenbeschichtungen diesem Expositionsweg am Arbeitsplatz eine geringere Bedeutung zukommt.

4

Wie hoch ist die Exposition gegenüber Ultrafeinstäuben in Relation zu hergestellten Nanostäuben?

Die Hintergrundbelastung an Ultrafeinstäuben (UFP) liegt in Büroräumen bei rund 10.000 Partikeln/cm³; an stark frequentierten Straßenkreuzungen kann sie einen Wert von 50.000 Partikeln/cm³ überschreiten. Besonders hohe UFP-Konzentrationen entstehen beim Schweißen, wo regelmäßig mehrere Millionen ultrafeiner Partikel/cm³ in der Rauchfahne gemessen werden.

Bei der Herstellung und Verarbeitung von Nanomaterialien kann man durch geeignete technische Schutzmaßnahmen die Freisetzung von Nanostäuben so begrenzen, dass der maximale Anstieg der Partikelanzahlkonzentration in der Größenordnung der oben für UFP in nichtindustriellen Bereichen (Büro, Straßenverkehr) quantifizierten Luftkonzentrationen liegt. Dies haben Messungen gezeigt.

5

Wie können Nanopartikel in den menschlichen Organismus aufgenommen werden?

Feine partikelförmige Stoffe werden hauptsächlich über die Atemwege aufgenommen. Inhalierter Nanopartikel besitzen die Fähigkeit, Gewebe zu durchdringen (Translokation). So können sie über die Alveolen direkt in den Blutkreislauf und von dort in sekundäre Zielorgane gelangen. Im Tierversuch wurde auch gezeigt, dass über das Epithel der Riechschleimhaut aufgenommene Nanopartikel durch neuronalen Transport bis in das Gehirn (Bulbus olfactorius) vordringen können.

Die gesunde Haut scheint hingegen eine wirksame Barriere gegen das Eindringen von Nanopartikeln zu sein. Allerdings ist eine Aufnahme von Nanopartikeln durch die vorgeschädigte Haut ebenso nachgewiesen wie die Resorption durch den Darm.

Die Lunge ist das kritischste Organ bei der Aufnahme von Nanopartikeln in den Körper.

6

Was geschieht mit den aufgenommenen Nanopartikeln im Organismus?

Sie werden zunächst von den Phagozyten des Immunsystems (z. B. in der Lunge) attackiert und über das Lymphsystem abtransportiert. Im Blut zirkulierende Nanopartikel können mit Proteinen Verbindungen eingehen und so deren Funktion beeinträchtigen. Gelangen Teilchen in Kontakt mit oder direkt in Körperzellen (z.B. durch Phagozytose), so können sie den Metabolismus der Zelle beeinflussen. In der Folge kommt es zu oxidativem Stress und Aktivierungen zellulärer Signalwege, die zu Entzündungsreaktionen führen.

Diese Erkenntnisse über zelluläre Reaktionen beruhen ausschließlich auf Studien, bei denen die Auswirkungen sehr hoher Konzentrationen über kurze Zeiträume betrachtet wurden. Studien zu chronischen Belastungen bei moderaten Expositionen stehen noch aus.

**7**

Gibt es akute oder chronische Gesundheitsgefahren durch Nanomaterialien?

Die dem Grundmaterial zuzuordnenden gesundheitsschädlichen oder toxischen Wirkungen sind immer zu berücksichtigen. Gesundheitliche Effekte durch Nanomaterialien ohne spezifische Toxizität sind bislang nicht bekannt. Aus den bislang vorliegenden wissenschaftlichen Erkenntnissen, die sich zum großen Teil auf Tierexperimente beziehen, werden mögliche akute oder chronische Effekte am ehesten auf die Lunge und das kardiovaskuläre System, ferner auch auf das Immunsystem und das ZNS vermutet.

Als eine potenziell wesentliche Wirkung werden akute inflammatorische Effekte in der Lunge gesehen. Im Tierversuch können biopersistente Nanoröhrchen bestimmter Dimensionen zu chronischen Entzündungsprozessen führen, die zu ähnlichen pathologischen Veränderungen führen, wie sie von Asbestfasern bekannt sind (Granulome).

**8**

Welche epidemiologischen Erkenntnisse zu gesundheitlichen Effekten durch Nanomaterialien gibt es?

Bislang liegen keine epidemiologischen Studien vor, die gesundheitliche Effekte von synthetischen Nanomaterialien belegen. In den nächsten Jahren ist auch nicht damit zu rechnen, dass es epidemiologische Studien mit aussagekräftigen Daten zu potenziellen Effekten geben wird, die aus chronischer langfristiger Belastung resultieren.

Studien, in denen im Arbeits- bzw. Umweltbereich auch Nano- oder ultrafeine Partikel untersucht wurden – zum einen Schweißrauche, ultrafeine Kohlenstoff- bzw. Titandioxidpartikel, zum anderen Luftverschmutzung –, geben Hinweise auf gesundheitliche Effekte im Bereich der Lunge bzw. im Herz-Kreislaufsystem.

**9**

Kann man wissenschaftliche Erkenntnisse zur gesundheitlichen Wirkung von Feinstaub auf Nanopartikel übertragen?

Grundsätzlich ja. Es ist davon auszugehen, dass gesundheitliche Wirkungen von Nanopartikel qualitativ den Wirkungen von Feinstaub vergleichbar sind. Ob und inwiefern Nanopartikel aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften darüber hinaus gesundheitliche Wirkungen haben, ist gegenwärtig Gegenstand intensiver Forschung.

**10**

Besitzen Nanopartikel, neben möglichen gesundheitlichen Wirkungen, weitere gefährliche Eigenschaften?

Ja. Die gefährlichen Eigenschaften von Stäuben wie z.B. ihre mögliche Brennbarkeit oder Explosionsgefährlichkeit gelten auch für Nanopartikel aus denselben Materialien. Dabei können die jeweiligen Nanomaterialien aber gefährlicher sein, indem z.B. Mindestzündenergien gegenüber dem größeren Material abgesenkt sind. Besonders Metallpulver sind hier zu berücksichtigen. Dies ist Gegenstand derzeitiger vertiefter Untersuchungen. Zudem sind viele oxidierbare Materialien (auch hier wieder besonders die Metallpulver) zur Selbstentzündung fähig. Die feine Verteilung kann zusätzlich auch ungewünschte (z.B. durchgehende) chemische Reaktionen katalysieren.

**11**

Sind alle Nanopartikel gleich gesundheitsgefährlich?

Nein. Das Wirkpotenzial der Nanopartikel ist bestimmt durch eine Vielzahl physikalischer und chemischer Parameter sowie durch ihre Biobeständigkeit. Nanopartikel ist somit nicht gleich Nanopartikel. Kritische Wachsamkeit gilt vor allem den Fällen, bei denen Nanomaterialien unter Arbeitsplatzbedingungen Nanopartikel freisetzen oder als freie Partikel vorliegen. Diese besitzen eine hohe biologische Aktivität, die es Ihnen ermöglicht, nach Eindringen in den Körper in den Metabolismus einzugreifen. Freie Nanopartikel neigen dazu, sich zu größeren Gebilden zusammenzulagern (Agglomerate, Aggregate), wodurch sich ihre größenabhängigen toxikologischen Eigenschaften ändern.

Bei der überwiegenden Mehrzahl der hergestellten Nanomaterialien handelt es sich von vornherein um Produkte, bei denen nanoskalige Elemente in eine feste Matrix oder in Flüssigkeiten oder Pasten eingebunden sind, von denen keine besonderen gesundheitlichen Gefährdungen ausgehen.

**12**

Was sind Carbon Nanotubes und welche besonderen Gefährdungen gehen von ihnen aus?

Kohlenstoffnanoröhrchen (carbon nanotubes, CNT) sind röhrenförmige Gebilde, deren Wände aus wabenartigen Kohlenstoffgittern bestehen. Neben besonderen elektrischen Eigenschaften zeichnen sie sich durch eine außergewöhnlich hohe mechanische Stabilität aus. Man unterscheidet zwischen ein-, doppel- und mehrwandigen Formen, wobei die jeweiligen Röhrchen bis zu mehreren Millimetern lang sein können.

Nanotubes können je nach räumlicher Dimension über die Atemluft in die Lunge gelangen und sich dort festsetzen. Dabei kann angenommen werden, dass von ihnen Wirkungen ausgehen, die denjenigen inhalierter Fasern ähneln. Die Pathogenität eingeatmeter Fasern ist grundsätzlich abhängig von Dosis, Biopersistenz und Fasergröße. Kritische Fasern sind nach Definition der WHO bei einem Längen/Durchmesser-Verhältnis von $> 3:1$ so dünn, dass sie in die Alveolen gelangen können ($< 3 \mu\text{m}$), besitzen zugleich aber eine Länge, die es den Phagozyten nicht mehr erlaubt, sie aufzunehmen ($> 5 \mu\text{m}$) und abzutransportieren. Durch die abgelagerten Fasern kommt es zu einer ständigen Reizung des Lungengewebes, in deren Folge Fibrosen bis hin zu Krebserkrankungen von Lunge, Pleura und Bauchfell entstehen können. Diese Betrachtungen sind auch bei inhalierten Nanotubes heranzuziehen, sofern diese kritische Dimensionen aufweisen und biobeständig sind.

Herstellungsbedingt können Kohlenstoffnanoröhrchen metallischen Verunreinigungen enthalten (beispielsweise Kobalt, Nickel, Molybdän und Eisen), deren mögliche Beteiligung an den bisher beobachteten Effekten nicht ausreichend erforscht ist.

**13**

Können Nanotubes Krebs erzeugen?

Bestimmte biobeständige Kohlenstoffnanoröhrchen, deren Dimensionen kritischen Asbestfasern gleichen, haben in Tierversuchen bei hoher Dosierung zu asbestähnlichen Wirkungen geführt (entzündliche Veränderungen der Lunge, Granulombildung). Obwohl chronische Inhalationsstudien bisher fehlen, besteht hier Anlass zu erhöhter Vorsicht. Carbon Nanotubes mit anderen Fasergeometrien verhalten sich dagegen nicht wie Asbest.

14

Gibt es spezifische medizinische Untersuchungsmethoden, mit denen gesundheitliche Effekte von Nanomaterialien erfasst werden können?

Nein. Das liegt daran, dass bisher keine nanospezifischen Erkrankungen bekannt sind (siehe auch Frage 16). Einige der im Zusammenhang mit Nanomaterialien diskutierten Auswirkungen auf den Körper sind unspezifisch und können auch auf außerberuflichen Einflüssen beruhen.

15

Sind Röntgenthoraxaufnahmen in regelmäßigen Abständen indiziert?

Nein, regelmäßige Röntgenaufnahmen sind nach heutigem Kenntnisstand bei arbeitsmedizinischen Untersuchungen aufgrund von Tätigkeiten mit Nanomaterialien nicht indiziert.

16

Warum gibt es keinen Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz für die arbeitsmedizinische Vorsorge zum Thema Nanotechnologie?

Derzeit kann man die diskutierten akuten und chronischen Wirkungen durch die Nanomaterialien und deren Zielorgane noch nicht in gesicherter validierter Form beschreiben. Es fehlen Ergebnisse großer epidemiologischer Studien. All diese Faktoren erklären, warum es zurzeit keinen Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz zu Nanomaterialien und somit auch keine Handlungsanleitung für die arbeitsmedizinische Vorsorge gibt.

In der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) gibt es keinen beschriebenen Anlass für Pflicht- oder Angebotsvorsorge bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien. Dies bedeutet aber nicht, dass die ArbMedVV keine arbeitsmedizinische Vorsorge bei Tätigkeiten vorsieht, bei denen auch eine Exposition gegenüber Nanomaterialien vorkommt. Denkbar sind Vorsorgen, wenn Hand- oder Atemschutz bei der Tätigkeit getragen werden müssen, oder der Stoff, mit dem gearbeitet wird, im Anhang der Verordnung gelistet ist oder er als krebserzeugend oder erbgutverändernd entsprechend der Kategorie 1 oder 2 im Sinne der Gefahrstoffverordnung eingestuft ist.

17

Was kann der Betriebsarzt tun?

Er kann Tätigkeiten mit Exposition gegenüber Nanomaterialien identifizieren (Gefahrstoffkataster einsehen, Arbeitsprozesse auf Entstehung von Nanoobjekten überprüfen) und mögliche Gefährdungen ermitteln.

Der Betriebsarzt sollte die Sicherheitsdatenblätter sichten und bewerten sowie ggfls. weitere Herstellerinformationen einholen. Mit ausreichenden Informationen versehen, berät der Betriebsarzt den Unternehmer bei der Erstellung der Gefährdungsbeurteilung. Vorrangiges Ziel ist es, die Exposition gegenüber Nanomaterialien zu minimieren.

Weitergehende Maßnahmen folgen dem bekannten STOP-Modell:

- Substitution
- Technische Maßnahmen (beispielsweise geschlossene Anlagen, Absaugung, PSA)
- Organisatorische Maßnahmen (Minimierung der Expositionszeiten, der Exponierten und Beschränkung des Zuganges, Betriebsanweisungen)
- Persönliche Schutzmaßnahmen (Schutzmasken, -kleidung, Unterweisung in Hygienemaßnahmen)

Beschäftigte sollten beraten und zur Vorsicht gemahnt werden.

Es wäre wünschenswert, im Rahmen der betriebsärztlichen Betreuung bereits heute Daten zu Expositionen und möglichen gesundheitlichen Auswirkungen zu sammeln, die dann bei Vorliegen künftiger Erkenntnisse herangezogen werden könnten.

18

Gibt es arbeitsplatzbezogene Grenzwerte für Nanomaterialien?

Nein, zurzeit gibt es im Bereich Arbeitsschutz keine gesetzlichen Regelungen, die sich speziell auf künstlich hergestellte Nano-Partikel beziehen. Arbeitsplatzgrenzwerte, die sich auf chemische Stoffeigenschaften beziehen müssen selbstverständlich beachtet werden.

Einige Firmen haben In-House-Werte aufgestellt, die jedoch nicht den Anspruch erheben, gesundheitsbasiert zu sein.

Regelungen zum Einsatz von Nanomaterialien gibt es im Bereich der Kosmetika. Die Kosmetik-Verordnung der EU fordert, dass Hersteller der EU-Kommission anzeigen, wenn Nanomaterialien in kosmetischen Mitteln verwendet werden. Zusätzlich muss ein Sicherheitsdossier erarbeitet und eingereicht werden.

Nanomaterialien unterliegen wie andere Chemikalien den Anforderungen der REACH-Verordnung.

19

Gibt es wirksame Schutzmaßnahmen beim Umgang mit Nanomaterialien?

Ja, nach unserem derzeitigen Kenntnisstand sind die bekannten konventionellen Staub-Schutzmaßnahmen (technische Lüftung, filtrierender Atemschutz, Schutzanzüge und –handschuhe) auch gegenüber Nanomaterialien wirksam.

20

Wie kann die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen beurteilt werden?

In Deutschland gibt es keine verbindlichen Arbeitsplatzgrenzwerte für Nanomaterialien ohne bekannte spezifische Toxizität. Grundsätzlich wird noch diskutiert, ob die vorliegenden Daten die Ableitung einer gesundheitlichen Wirkschwelle zulassen. Auch über die relevante Bezugsgröße (Teilchenkonzentration, Volumen, Oberfläche...) konnte noch kein abschließender Konsens erzielt werden. Zudem lassen erste Vorschläge Probleme bei der messtechnischen Überwachung erwarten.

Das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) hat ausgehend von seinen messtechnischen Erfahrungen und der Nachweisgrenze der gängigen Messverfahren schichtbezogene Beurteilungswerte sowohl für granuläre als auch für faserförmige Nanomaterialien zur Diskussion gestellt. Diese Beurteilungswerte sind explizit nicht als gesundheitsbasierte Arbeitsplatzgrenzwerte aufzufassen:

<http://www.dguv.de/ifa/de/fac/nanopartikel/beurteilungsmasstaebe/index.jsp>

21

Wo kann ich mich als Arbeitsmediziner/in zum Thema Nanomaterialien informieren?

Die Träger der gesetzlichen Unfallversicherung sind in der Frage eines verantwortungsvollen Umgangs mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz kompetente Ansprechpartner und können im Einzelfall informieren oder Kontakte zu externen Fachleuten herstellen.

Eine Auswahl informativer Links zum Thema enthält die folgende Linkliste.

Linkliste:

BGI/GUV-I 5149 Nanomaterialien am Arbeitsplatz

<http://bibliothek.arbeitssicherheit.de/Search>

BGI/GUV-I 850-0 Sicheres Arbeiten in Laboratorien

www.laborrichtlinien.de

IFA Nanopartikel am Arbeitsplatz

<http://www.dguv.de/ifa/de/fac/nanopartikel/index.jsp>

DGUV Nanotechnologie

http://www.dguv.de/inhalt/praevention/themen_a_z/nano/index.jsp

BAuA Nanotechnologie

www.baua.de/cln_135/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/Nanotechnologie.html

BADEN-WÜRTTEMBERG Nanomaterialien: Arbeitsschutzaspekte

http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/56759/nanomaterialien_arbeitsschutzaspekte.pdf?command=downloadContent&filename=nanomaterialien_arbeitsschutzaspekte.pdf

VdL Leitfaden zum Umgang mit Nanoobjekten am Arbeitsplatz

<http://www.lackindustrie.de/default2.asp?rub=676&tma=728&cmd=shd&docnr=127627&nd=&nd=tv>

DaNa Nanopartikel-Info

<http://www.nanopartikel.info/cms>

NanoCare Final Report

www.nanopartikel.info/fileadmin/user_upload/Publikationen/NanoCareFinalReport.pdf

NIOSH Nanotechnology

www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/

OECD Nanotechnology

<http://www.oecd.org/sti/nano/>

Letzte Änderung: 09/2010

Projektgruppe „Nanomaterialien“ des KOAMED

T. Brock, D. Dahmann, M. Kluckert, J. Milde, E. Nies, D. Pallapies, H. Wellhäußer