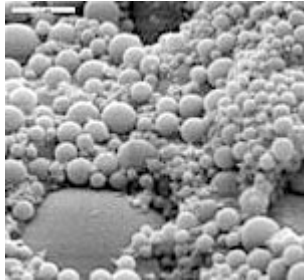


Nanopartikel an Arbeitsplätzen

Printversion von www.suva.ch/nanopartikel



September 2009

Die rasante Entwicklung der Nanotechnologie hat auch Auswirkungen auf den Gesundheitsschutz.

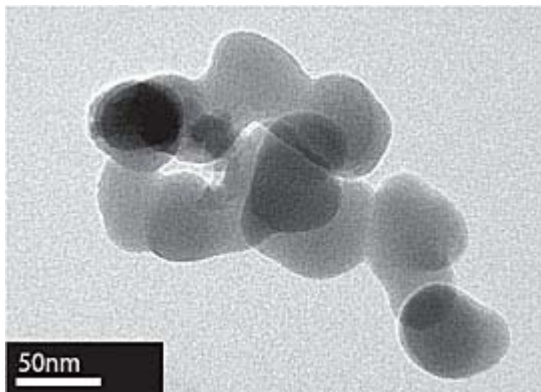
Die Nanotechnologie verspricht einen bedeutenden Nutzen, von ihr können aber auch Gefahren ausgehen. Trotz weltweit intensiver Forschung ist eine abschliessende Bewertung der Gefährdungen zurzeit nicht möglich. Es gibt jedoch Hinweise, dass von Nanomaterialien unter bestimmten Umständen gesundheitliche Schädigungen ausgehen können. Dieser Umstand sollte zu entsprechender Vorsicht und einem verantwortungsvollen Umgang mit dieser Technologie Anlass geben. Produkte der Nanotechnologie dürfen nicht zum Asbest von morgen werden!

Dieser Beitrag informiert nach heutigem Wissensstand über Nanomaterialien an Arbeitsplätzen und zeigt konkrete Massnahmen auf, die zum Schutz der Mitarbeitenden eingesetzt werden können.

1. Ausgangslage

Die Nanotechnologie wird als eine Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts bezeichnet. Bereits heute basieren viele Alltagsprodukte wie Kosmetika, Lacke oder Textilien auf dem Einsatz von Nanotechnologie oder sie beinhalten Nanomaterialien. Fast täglich kommen neue Anwendungen hinzu. Diese Entwicklung hat auch Auswirkungen auf den Gesundheitsschutz.

1.1 Begriffe/Eigenschaften



Agglomerat aus Siliciumdioxid-Nanopartikeln

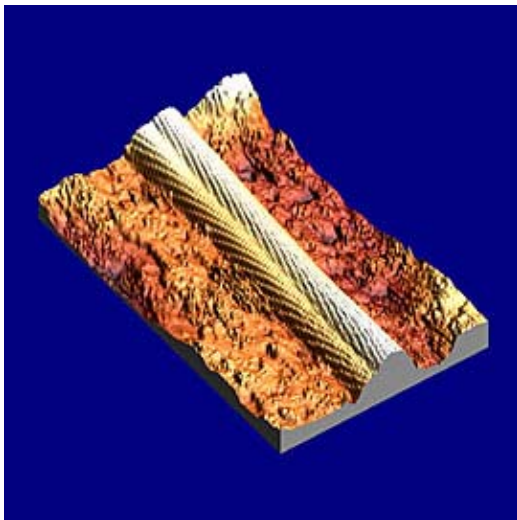
Nanotechnologie beinhaltet die Herstellung, Untersuchung und Anwendung von kleinsten Strukturen und Materialien. Diese Technologie macht sich Effekte zunutze, welche bei stetiger Verringerung der Strukturgrösse auftreten, wie:

- Sprunghafte Zunahme der massen- oder volumenbezogenen Oberfläche dieser Strukturen.
- Mögliche Veränderung von Materialeigenschaften und -verhalten gegenüber dem Ursprungsmaterial

Besonders ausgeprägt treten diese Effekte bei Strukturgrössen unter ungefähr 100 Nanometern auf. Ein Nanometer (nm) entspricht einem Milliardstel Meter und liegt damit in der Nähe des Grössenbereichs von einzelnen Atomen. Nach gängiger Definition umfasst daher der Nanomassstab den Grössenbereich von 1 – 100 Nanometern. Strukturen im Nanomassstab werden üblicherweise nach ihrer Form (z.B. Partikel, Stäbchen) weiter unterschieden. Terminologie und Begriffe dazu sind in der technischen Spezifikation CEN ISO/TS 27687 festgehalten.

Nanopartikel Unter den Produkten der Nanotechnologie interessieren aus Sicht des Gesundheitsschutzes in erster Linie solche mit Strukturen im Nanomassstab, welche mobil vorliegen oder unter Arbeitsplatzbedingungen freigesetzt werden können, was Wechselwirkungen mit dem Menschen wahrscheinlicher macht. Im Rahmen dieses Beitrages werden solche mobilen Strukturen im Nanomassstab vereinfachend unter dem Begriff "Nanopartikel" zusammengefasst. Nanopartikel weisen in zwei oder drei Dimensionen einen Grössenbereich von 1 - 100 Nanometern auf. Sie werden gezielt und mit den Methoden der Nanotechnologie nach Mass hergestellt. Nanopartikel zeigen untereinander eine ausgeprägte Tendenz zum Zusammenballen oder lagern sich auch an andere verfügbare Oberflächen an. Solche Vorgänge führen zur einer Verringerung der Partikelanzahl. Durch gezielte Oberflächenbehandlung lässt sich das Agglomerationsverhalten der Partikel beeinflussen. Neben der äusseren Form können Nanopartikel nach Kriterien wie chemischer Zusammensetzung oder Oberflächenfunktionalisierung weiter charakterisiert werden. **"Nanopartikel" steht damit als Oberbegriff für ganz unterschiedlich geartete Partikel.**

1.2 Verbreitung



Rastertunnelmikroskop-Aufnahme zweier Carbon-Nanotubes auf einer Oberfläche. Der Durchmesser des grösseren Röhrchens beträgt 1,3 Nanometer.
Bildquelle: EMPA, nanotech@surfaces Laboratory

Nanopartikel im Sinne der gängigen, grössenbasierten Definition sind nicht grundsätzlich neu. So werden z. B. Industrierusse und bestimmte Kieselsäureformen seit Jahrzehnten in grossen Mengen eingesetzt. Mit der Entwicklung der Nanotechnologie werden jedoch neuerdings vermehrt herkömmliche Stoffe in Nanopartikelgrösse angewendet, deren Oberflächen modifiziert oder von Grund auf neue Strukturen im Nanomassstab synthetisiert. Mengenmässig wichtige bekannt gewordene Anwendungen von Nanopartikeln sind derzeit Sonnenschutzmittel, Lacke oder Textilien.

Neben der gezielten Herstellung entstehen **Partikel im Nanomassstab auch beiläufig** als Nebenprodukte, besonders bei Verbrennungsvorgängen oder thermischen Prozessen wie dem Schweiessen. Sie werden in diesem Fall als **ultrafeine Partikel, Ultrafeinstaub** oder **ultrafeine Aerosole** bezeichnet. Solche ultrafeinen Partikel sind deshalb in industrialisierten Zonen allgegenwärtig. „Saubere“ Luft in städtischen Gebieten enthält einige tausend bis zehntausend solcher Partikel pro Kubikzentimeter.

1.3 Gefährdung durch Nanopartikel

Aufgrund ihrer extrem geringen Grösse weisen Nanopartikel bezogen auf ihre Masse eine sehr grosse Oberfläche und hohe Beweglichkeit auf. Dies befähigt sie, ausgeprägt mit ihrer Umgebung zu reagieren. Potenzielle Risiken ergeben sich in erster Linie durch die Einwirkung von Nanopartikeln auf den menschlichen Körper.

1.3.1 Gesundheitsgefährdung

Untersuchungen bei Arbeitnehmenden mit Exposition gegenüber Nanopartikeln im Rahmen der Nanotechnologie, die spezifische Berufskrankheiten gezeigt hätten, sind bisher in westlichen Industrienationen nicht veröffentlicht worden. Es bestehen jedoch Hinweise, dass sich Erkrankungen durch Nanopartikel zu einem späteren Zeitpunkt zeigen könnten, sofern nicht angemessene Schutzmassnahmen getroffen werden:

- Experimentelle Untersuchungen resp. Tierversuche haben Entzündungsreaktionen im Bereich der Atemwege und der Lungenbläschen durch Nanopartikel dokumentiert. Zudem sind tierexperimentell auch Lungenfibrosen (Bindegewebsvermehrung der Lunge) nach Exposition gegenüber Nanopartikeln gezeigt worden.
- Aus der Umweltmedizin ist eine Assoziation zwischen der Exposition mit feinen und ultrafeinen Partikeln und Entzündungsreaktionen im Bereich der Schleimhäute der Nase, der unteren Atemwege

und der Lungenbläschen bekannt. Ein Asthma kann ungünstig beeinflusst und eine Allergieneigung erhöht werden. Man weiss zudem, dass zwischen der Umweltbelastung mit Partikeln und Herzkreislaufkrankungen eine Assoziation besteht; dies betrifft die Erkrankungshäufigkeit und die Sterblichkeit an Herzkranzgefässerkrankungen und Herzinfarkten. Inwiefern diese Erkenntnisse auf Nanopartikel übertragen werden können, bleibt zu klären.

- 2009 ist im European Respiratory Journal über Lungenfibrosen bei Arbeitnehmenden in einem Betrieb in China berichtet worden. 7 von 8 Arbeitnehmerinnen im Alter von 18 bis 47 Jahren mit einer Exposition im Betrieb während 5 bis 13 Monaten wiesen Lungenentzündungen, Lungenfibrosen und Ergüsse im Brustfell auf. Sie hatten in einem Betrieb unter sehr ungünstigen Arbeitsplatzbedingungen eine Farbe verarbeitet, welche Nanopartikel enthalten haben soll. Art und Konzentration der enthaltenen Nanopartikel konnten nicht eruiert werden. Aufgrund der Ansicht der Autoren gibt das Auftreten von Lungenerkrankungen bei diesen Patientinnen zu Bedenken Anlass, dass lange dauernde Einwirkungen gegenüber gewissen Nanopartikeln mit einer schweren Lungenerkrankung einhergehen könnten. Es ist unklar, ob und inwiefern die Quantität der Nanopartikel oder die Qualität, also die chemische Zusammensetzung, für die Lungenerkrankung eine ursächliche Bedeutung hatten.
- Kohlenstoff-Nanoröhrchen (Carbon Nanotubes, CNT), eine besondere Form der Nanopartikel, haben strukturelle Ähnlichkeiten mit faserförmigen Stäuben wie beispielsweise Asbest. Aufgrund der Fasergeometrie und der Biopersistenz wurden Bedenken geäussert, dass CNT ähnliche Wirkungen wie Asbest nach sich ziehen könnten. Vor kurzer Zeit sind tierexperimentelle Untersuchungen veröffentlicht worden, die Hinweise für eine krebserzeugende Wirkung von CNT geben. In die Bauchhöhle eingebrachte Nanoröhrchen haben entzündliche Veränderungen in ähnlicher Art wie Asbest und in einem Experiment bei Mäusen Mesotheliome - bösartige Tumoren im Bauchfell - verursacht. Ob CNT generell als krebserzeugend einzustufen sind und wenn ja, in welcher Dosis, bei welcher Fasergeometrie und Biopersistenz, ist eine der wichtigen Fragen für die Beurteilung einer Gefährdung von Arbeitnehmenden im Rahmen der Nanotechnologie. Experimentell wurden auch Hinweise für eine Beeinträchtigung des Immunsystems durch Nanopartikel beobachtet.

1.3.2 Andere gefährliche Eigenschaften

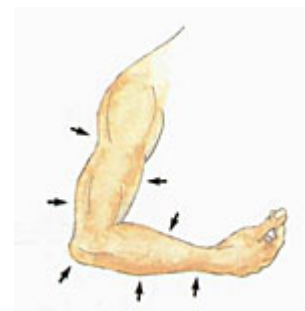
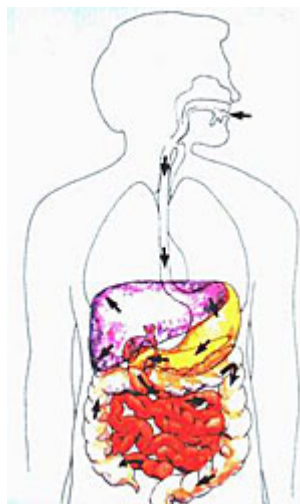
Bei Nanopartikeln bestimmter Materialien (z.B. brennbarer oder katalytisch wirksamer Stoffe) ist ein potenzielles Risiko durch unerwartete chemische Reaktionen, Feuer oder Explosionen denkbar.

- Reaktive Metalle im Nanomassstab können pyrophore Eigenschaften (spontane Entzündung bei Luftkontakt) zeigen.
- Brennbare Nanomaterialien können zudem, wie andere feinverteilte brennbare Materialien, in grösseren Mengen und unter bestimmten Rahmenbedingungen eine zusätzliche Gefährdung durch Staubexplosionen bewirken. Die Mindestzündenergie brennbarer Nanomaterialien ist dabei verglichen mit der makroskaligen Form üblicherweise reduziert.

1.4 Aufnahmewege

Nanopartikel können über folgende Wege in den menschlichen Körper gelangen:

- via Atemwege
- durch Verschlucken
- über die Haut



In der Regel werden feine partikelförmige Stoffe hauptsächlich über die Atemwege aufgenommen. Ein wichtiger Aspekt der Nanopartikel ist die Translokation, das heisst die Fähigkeit Gewebe zu durchdringen. Es konnte gezeigt werden, dass nach dem Einatmen Nanopartikel über die Lungenbläschen ins Blut gelangen; auch die Aufnahme von Nanopartikeln über die Haut sowie über den Riechnerv in das zentrale Nervensystem konnte experimentell bestätigt werden. Auf der grossen Oberfläche der Nanopartikel können problematische Stoffe adsorbiert, durch Nanopartikel als trojanisches Pferd in die Zellen transportiert werden und dort ihre toxische Wirkung entfalten.

1.5 Nanopartikel an Arbeitsplätzen

An Arbeitsplätzen ergeben sich nach heutigem Kenntnisstand Expositionen gegenüber Partikeln im Nanomassstab in erster Linie durch

- Umgang mit gezielt hergestellten Nanopartikeln oder Anwendung von nanopartikelhaltigen Produkten
- Arbeitsverfahren, welche Partikel im Nanomassstab als Nebenprodukte erzeugen.

Die industrielle Verwendung von Nanopartikeln in der Schweiz wurde im Rahmen der Studie "Nanoinventar" des Institut universitaire romand de Santé au Travail (IST) erstmals untersucht. Gemäss dieser auch von der Suva unterstützten Studie arbeiteten im Untersuchungsjahr (2007) im Produktionssektor 1309 Arbeitnehmende (0.08 %) direkt mit Nanopartikelanwendungen. Von den Firmen des Industriesektors liess sich basierend auf der repräsentativen Befragung für 0.6 % eine Nanopartikelanwendung errechnen. Branchen für die ein Umgang mit Nanopartikeln durch die Studie identifiziert werden konnte, sind z.B. Chemie, Elektrotechnik oder Automobilindustriezulieferer.

Beim Umgang mit gezielt hergestellten Nanopartikeln wird die Wahrscheinlichkeit einer Aufnahme entscheidend von der Arbeitstechnik beeinflusst (vgl. auch konkrete Schutzmassnahmen).

Nanopartikel als Nebenprodukte (**ultrafeine Partikel**) sind zurzeit weitaus verbreiteter. Typische **Quellen von solchen ultrafeinen Partikeln** sind Schweiß- und thermische Schneidverfahren, Einsatz von dieselbetriebenen Fahrzeugen oder das Metallgiessen. Auch das Rauchen ist eine bedeutende Quelle von Nanopartikeln. Dabei fallen die Teilchen üblicherweise fein verteilt im Abgas bzw. der Umgebungsluft als sogenanntes Aerosol an, so dass sie leicht eingeatmet werden können.

1.6 Messung/Bewertung

In der Arbeitshygiene wurden Partikelbelastungen bisher auf der Basis der **Massekonzentration** bewertet (ausser bei Fasern). Praktisch alle geltenden Arbeitsplatzgrenzwerte stützen sich auf diesen Ansatz. Nanopartikel weisen aufgrund ihres kleinen Durchmessers eine grosse Oberfläche bei nur geringer Masse auf. Massebasierte Messungen von Nanopartikeln sind damit wenig aussagekräftig. Für die Beurteilung der Gefährdung stellt sich die Frage, ob die Partikelzahl, die Partikeloberfläche, deren chemischen Zusammensetzung oder andere Parameter, wie die Bildung von ROS (reaktive Sauerstoffspezies), heranzuziehen sind.

Für die Messung von ultrafeinen Partikeln an Arbeitsplätzen sind Empfehlungen des Berufsgenossenschaftlichen Instituts für Arbeitsschutz (BGIA) in Deutschland verfügbar, an deren Erstellung die Suva mitbeteiligt war. Diese Empfehlungen wurden in die einschlägige internationale Norm (ISO/TR 27628:2007), welche auch Nanopartikelexpositionen abdeckt, aufgenommen.

Gemäss diesen Empfehlungen sollen alle an einem Expositionsort in grösserer Anzahl vorhandenen Partikel in ihrer **Anzahlkonzentration** und nach Möglichkeit deren **Grössenverteilung** erfasst werden. Entsprechende, etablierte Messinstrumente sind verfügbar, jedoch gross, schwer sowie vielfach vergleichsweise langsam, was ihren Anwendungsbereich für Arbeitsplatzmessungen einschränkt. Mit einem neuen Typ Messgerät, dessen Entwicklung die Suva unterstützte, sind erstmals derartige **personenge tragene** Messungen möglich geworden.

Diese Messgeräte sowie auch die einfacheren Kondensationspartikelzähler können nicht zwischen ultrafeinen Aerosolen und Nanopartikeln oder gar einzelnen Arten von Nanopartikeln unterscheiden. Ihre erfolgreiche Anwendung erfordert daher bestimmte Rahmenbedingungen (z.B. an die Partikelbelastung der Umgebungsluft) und die Interpretation der Messresultate entsprechendes Fachwissen. Zudem lassen sich Resultate von einzelnen Nanopartikelmessungen nur sehr bedingt miteinander verglichen. Messungen können aber sinnvoll eingesetzt werden, um Emissionsquellen zu identifizieren, grob zu quantifizieren oder die Wirksamkeit von Schutzmassnahmen zu beurteilen.

Die für die Gesundheitsgefährdung vermuteten **Einflussfaktoren** wie Partikeloberfläche, Oberflächenstruktur und -zusammensetzung sind messtechnisch im Nanobereich bisher nur über sehr aufwändige Verfahren zugänglich. Eine einheitliche Regelung zur Charakterisierung von Nanopartikeln fehlt zudem.

Aus arbeitsmedizinisch-toxikologischer Sicht lässt sich noch kein **Grenzwert** begründen (vgl. auch Grenzwerte am Arbeitsplatz, Kap. 1.1.10.2 ultrafeine Partikel, deren Agglomerate und Aggregate). Voraussetzungen für das Festlegen von Grenzwerten sind bekannte Dosis-Wirkungs-Beziehungen, möglichst auf der Basis epidemiologischer und experimenteller Untersuchungen. Allenfalls müssen Analogieschlüsse herangezogen werden. Aufgrund der bisherigen Untersuchungen liegen noch keine klaren Dosis-Wirkungs-Beziehungen für Nanopartikel vor. Zudem stellt sich die Frage, welche Messgrößen für den Grenzwert von Nanopartikeln heranzuziehen wären, wie das Massengewicht, die Partikelzahl, die Partikeloberfläche, Eigenschaften der Oberfläche oder die Bildung von reaktiven Sauerstoffspezies. Ziel ist es, in der nächsten Grenzwertliste 2011 Richtwerte für Nanopartikel und Carbon Nanotubes herausgeben zu können.

1.7 Verantwortlichkeiten/gesetzliche Regelungen

Das Inverkehrbringen von Stoffen und Zubereitungen, also auch von Nanopartikeln oder nanopartikelhaltigen Produkten, unterliegt gesetzlichen Regelungen (Bundesgesetz über den Schutz vor gefährlichen Stoffen und Zubereitungen Chemikaliengesetz). Danach sind Stoffe bezüglich ihrer Eigenschaften zu beurteilen und die Abnehmer gefährlicher Stoffe müssen über erforderliche Vorsichts- und Schutzmassnahmen z.B. mit dem Sicherheitsdatenblatt informiert werden. Eine eigentliche Deklarationspflicht für Nanopartikel gibt es allerdings derzeit noch nicht.

Am Arbeitsplatz ist der Arbeitgeber verpflichtet, zur Verhütung von Berufsunfällen und Berufskrankheiten alle Massnahmen zu treffen, die nach der Erfahrung notwendig, nach dem Stand der Technik anwendbar und den gegebenen Verhältnissen angemessen sind (Art. 82, Bundesgesetz über die Unfallversicherung UVG). Werden gesundheitsgefährdende Stoffe hergestellt, verarbeitet, verwendet, konserviert, gehandhabt oder gelagert oder können Arbeitnehmer sonst Stoffen in gesundheitsgefährdenden Konzentrationen ausgesetzt sein, so müssen die Schutzmassnahmen getroffen werden, die aufgrund der Eigenschaften dieser Stoffe notwendig sind (Art. 44, Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten VUV).

Wenn es zum Schutz der Gesundheit der Arbeitnehmer und für ihre Sicherheit erforderlich ist, muss der Arbeitgeber Arbeitsärzte oder andere Spezialisten der Arbeitssicherheit beiziehen (Art. 11a, Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten VUV).

2. Prävention im Betrieb

Die folgenden Empfehlungen basieren auf dem heutigen Wissensstand und werden jeweils aufgrund neuer Erkenntnisse angepasst. Sie sollen aufzeigen, wie nach aktueller Beurteilung die gesetzlich verlangten Schutzmassnahmen in der Praxis umgesetzt werden können.

2.1 Vorsorgeprinzip

Beim heutigen Kenntnisstand lässt sich eine Gesundheitsgefährdung durch bestimmte Nanomaterialien nicht ausschliessen. Liegen zu einem spezifischen Nanomaterial keine wissenschaftlich gesicherten Erkenntnisse zu dessen Gefährdungspotential vor, sollte dieses Material daher wie ein gesundheitsgefährdender Stoff betrachtet werden. Dieser Ansatz hat sich in der Praxis bei Substanzen mit unbekanntem Gefährdungspotential bewährt, setzt aber für eine erfolgreiche Umsetzung ein strukturiertes und systematisches Vorgehen voraus.

2.2 Gefahrenermittlung/Risikoanalyse

Gefahren können nur bewältigt werden, wenn sie erkannt werden. Das systematische Ermitteln der im Betrieb auftretenden Gefahren steht daher am Anfang jeder gezielten Sicherheitsarbeit. Erfahrungsgemäss kann das Erkennen möglicher betrieblicher Nanopartikelquellen Schwierigkeiten bereiten (z.B. bei der Anwendung von Produkten, welche unter Verwendung von Nanotechnologie hergestellt wurden). Ein Verweis auf "Nanotechnologie" in den Produkteunterlagen oder eine Bezeichnung "Nano" können nicht als sicherer Indikator für ein Vorhandensein von **Nanopartikeln** gewertet werden. Ebenso kann ein Fehlen

solcher Angaben ein Vorliegen von Nanopartikeln im Produkt nicht sicher ausschliessen.

Im vom Lieferanten zur Verfügung zu stellenden Sicherheitsdatenblatt finden sich Hinweise zu den Gesundheitsgefährdungen, die vom Produkt ausgehen, und zu den notwendigen Schutzmassnahmen am Arbeitsplatz. Dabei sind grundsätzlich auch Gesundheitsgefährdungen durch Nanopartikel zu berücksichtigen. Erfahrungsgemäss sind Sicherheitsdatenblätter zu Nanopartikeln oder nanopartikelhaltigen Produkten aber gegenwärtig teilweise lückenhaft. Sich ausschliesslich auf das Sicherheitsdatenblatt abzustützen kann daher zu unvollständigen Schutzmassnahmen führen. In Zweifelsfällen wird empfohlen sich direkt mit dem Lieferanten in Verbindung zu setzen.

Identifizierte Nanopartikelexpositionen sind gemäss den Präventionsgrundsätzen und unter Anwendung der konkreten Schutzmassnahmen zu reduzieren. Das Gefährdungspotential solcher Nanopartikelquellen ist entscheidend von der Einwirkungsintensität und somit von den konkreten Anwendungsbedingungen abhängig. Bei komplexen Situationen ist eine systematische Erfassung und Abschätzung der Expositionen entlang des Arbeitsprozesses im Rahmen einer Risikoanalyse angebracht. Zur Identifikation von Quellen und zur Expositionsabschätzung können, je nach Arbeitsumfeld, einfache Arbeitsplatzmessungen hilfreich sein. Falls erforderlich, sind dazu Spezialisten der Arbeitssicherheit beizuziehen (vgl. EKAS-Richtlinie 6508 "Richtlinie über den Beizug von Arbeitsärzten und anderen Spezialisten der Arbeitssicherheit" und "Verordnung über die Eignung der Spezialistinnen und Spezialisten der Arbeitssicherheit").

Im Rahmen des Aktionsplans Nanomaterialien des Bundes wurde mit dem "Vorsorgeraster für synthetische Nanomaterialien" ein Instrument geschaffen, welches erlaubt, nanospezifische Risikopotentiale aufgrund einer begrenzten Zahl von Eingabegrössen abzuschätzen. Er kann beim Erkennen möglicherweise risikobehafteter Anwendungen und dem Treffen schon Schutzmassnahmen hilfreich sein. Bei Verwendung des Vorsorgeraster sind der Anwendungsbereich und die in der Wegleitung aufgeführten Hinweise zu berücksichtigen.

2.3 Schutzmassnahmen

2.3.1 Grundsätze

2.3.1.1 Minimierung der Exposition

Im Sinne der Prävention und unter Anwendung des Vorsorgeprinzips ist die Exposition gegenüber Nanopartikeln zu minimieren. Dies kann sowohl durch Reduktion von Einwirkungsdauer und/oder Anzahl exponierter Mitarbeitender als auch durch Verringerung der einwirkenden Nanopartikelkonzentration erfolgen.

Unter dem Aspekt der Verhältnismässigkeit stellt sich die Frage, welche Nanopartikelkonzentration im Rahmen der Minimierung am einzelnen Arbeitsplatz noch vertretbar ist. Aufgrund der fehlenden Beurteilungsgrundlagen und der Vielfalt von Nanopartikeln kann diese Frage derzeit nicht abschliessend beantwortet werden (vgl. auch 1.6). Einzelne, auf dem Stand der Technik von Minimierungsmassnahmen basierende, pragmatische Ansätze dazu wurden bereits publiziert. So beispielsweise vom Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, BGIA.

2.3.1.2 Schutzmassnahmen hierarchisch strukturieren

Die Präventionsmassnahmen sind in der "Verfügung des Eidgenössischen Departementes des Innern über die technischen Massnahmen zur Verhütung von Berufskrankheiten, die durch chemische Stoffe verursacht werden" geregelt und umfassen die folgenden vier Ebenen:

1. **Substitution:** Gesundheitsgefährdende Stoffe sind durch harmlosere zu ersetzen
2. **Kollektivschutz:** Technische Massnahmen zum Erfassen, Begrenzen und Abführen gefährlicher Gase, Dämpfe und Stäube
3. **Individualschutz:** Verwendung persönlicher Schutzausrüstung zusätzlich zu den technischen Massnahmen
4. **Hygiene:** Geeignete Waschgelegenheiten, geschützte Aufbewahrung der nicht beruflich eingesetzten Kleider ("Ausgangskleider")

Dieser Ansatz ist grundsätzlich auch für Nanopartikel zu befolgen.

2.3.2 Konkrete Schutzmassnahmen

Für den Umgang mit partikelförmigen Stoffen haben sich Verfahren zur Expositionsbeschränkung etabliert (vgl. Suva-Checkliste 67077 "Gesundheitsgefährdende Stäube"). Die aufgeführten Schutzmassnahmen basieren auf diesen Verfahren. Sie beziehen sich ausschliesslich auf den Umgang mit **gezielt hergestellten Nanopartikeln**.

Substitution

- Pulverförmige Nanopartikelzubereitungen ersetzen durch solche, die Nanopartikel gebunden enthalten und damit eine Freisetzung erschweren (Dispersionen, Pasten, Granulate, Compounds usw).
- Sprühanwendungen durch aerosolarmer Verfahren (Streichen, Tauchen) ersetzen

Technische Schutzmassnahmen

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

Beim Umgang mit **brennbaren Nanopartikeln**:

Zusätzlich Explosionsschutzmassnahmen berücksichtigen bei staubförmiger Verteilung und gefahrbringender Staubmenge. Minimale Zündenergien können bei brennbaren Materialien im Nanomassstab verringert sein! Die arbeitshygienische Anforderungen dürften üblicherweise eine Staubexplosionsgefährdung auf das Innere geschlossener Apparaturen beschränken.

Beim Umgang mit **reaktiven oder katalytisch wirksamen Nanopartikeln**:

Zusätzlich Kontakt mit unverträglichen Substanzen ausschliessen.

Organisatorische Schutzmassnahmen

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

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

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

2.3.3 Wirksamkeit von Schutzmassnahmen

Die bisher vorliegenden Untersuchungen und Erfahrungen weisen darauf hin, dass die gegen Staubexpositionen getroffenen Massnahmen grundsätzlich auch gegen Nanopartikeleinwirkungen wirksam sind. Insbesondere gilt dies für die Abscheidung von Nanopartikelaerosolen an Filtern. Die prinzipielle Wirksamkeit gängiger personenbezogener Schutzmassnahmen gegenüber bestimmten Nanopartikeln wurde im Rahmen des Projektes Nanosafe 2 nachgewiesen.

Auf Betriebsebene kann unter bestimmten Rahmenbedingungen durch einfache Kontrollmessungen in der Raumluft die Wirksamkeit der getroffenen Massnahmen überprüft werden (vgl. auch 1.6)

3. Aktivitäten der Suva im Bereich Nanopartikel

Die Suva ist entsprechend ihrem gesetzlichen Auftrag für die Prävention von Berufskrankheiten in allen Betrieben zuständig. Vor diesem Hintergrund haben sich Spezialisten verschiedener Fachrichtungen im Rahmen des Erkennens neuer Risiken schon früh mit der Thematik Nanotechnologie auseinandergesetzt. Ziel all dieser Aktivitäten der Suva war und ist, in enger Zusammenarbeit mit Forschung und Industrie wirkungsvolle Massnahmen zum Schutz der Gesundheit von Arbeitnehmenden zu entwickeln, welche Nanopartikeln ausgesetzt sind.

Die Aktivitäten umfassen zurzeit:

- Beobachten der Erkenntnisse bezüglich Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit
- Mitarbeit in nationalen und internationalen Fachgremien
- Beratung von Betrieben
- Weiterentwickeln der Messtechnik
- Expositionsmessungen an verschiedenen Arbeitsplätzen

Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass das Erkennen einer möglichen Gefährdung durch Nanopartikel auf Betriebsebene Schwierigkeiten bereiten kann. Dies birgt die Gefahr, dass keine spezifischen Schutzmassnahmen getroffen werden.

Mit dem Nanoinventar stehen der Suva nun bessere Informationen über Nanopartikel verarbeitenden Branchen zur Verfügung, die ein zielgerichtetes und aktives Vorgehen erleichtern.

Die Suva wird die Mitarbeit in nationalen und internationalen Arbeitsgruppen weiterführen., Unter anderem ist beabsichtigt, Hersteller und Lieferanten von Produkten bezüglich potentieller nanospezifischer Gefährdungen besser zu sensibilisieren und entsprechende Informationen für Anwender leichter verfügbar zu machen.

Zudem wird die Suva die Erkenntnisse aus toxikologischen und epidemiologischen Untersuchungen zur Wirkung von Nanopartikeln weiterhin intensiv verfolgen. Sollten dereinst ausreichende wissenschaftliche Kenntnisse für die Festlegung von Arbeitsplatzgrenz- oder Richtwerten bezüglich Nanopartikeln vorliegen, wird dies die Beurteilung von Arbeitsplätzen wesentlich vereinfachen.

4. Weiterführende Informationen

4.1 Ansprechpartner Suva

- Schutzmassnahmen an Arbeitsplätzen:
Abteilung Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz, Bereich Chemie, Christoph Bosshard, Tel. 041 419 64 29, E-Mail: chemie@suva.ch
- Messmethodik von Nanopartikeln an Arbeitsplätzen:
Abteilung Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz, Bereich Analytik, Dr. Patrick Steinle, Tel. 041 419 53 68, E-Mail: analytik@suva.ch
- Auswirkungen von Nanopartikeln auf die Gesundheit:
Abteilung Arbeitsmedizin, Sekretariat, Tel. 041 419 52 78, E-Mail: arbeitsmedizin@suva.ch

4.2 Ausgewählte Publikationen

- Umgang mit staubförmigen Arbeitsstoffen:
Checkliste "Gesundheitsgefährdende Stäube"
- Regelwerke:
 - Bundesgesetz über den Schutz vor gefährlichen Stoffen und Zubereitungen
 - Bundesgesetz über die Unfallversicherung UVG
 - Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten VUV
 - Verfügung des Eidgenössischen Departementes des Innern über die technischen Massnahmen zur Verhütung von Berufskrankheiten, die durch chemische Stoffe verursacht werden [SR 832.321.11]
 - Verordnung über die Eignung der Spezialistinnen und Spezialisten der Arbeitssicherheit
 - Richtlinie über den Beizug von Arbeitsärzten und anderen Spezialisten der Arbeitssicherheit
 - Grenzwerte am Arbeitsplatz
 - Merkblatt "Explosionsschutz-Grundsätze, Mindestvorschriften, Zonen"

4.3 Weitere Links zu Nanopartikeln an Arbeitsplätzen

- www.dguv.de/bgja/nano
- www.nanosafe.org
- www.bafu.admin.ch/publikationen (Grundlagenbericht Aktionsplan Nanomaterialien)