



**VdL-Leitfaden
für den Umgang mit Nanoobjekten
am Arbeitsplatz**

Juni 2010

Einleitung

Die deutsche Lack- und Druckfarbenindustrie ist der Initiative Responsible Care (Verantwortliches Handeln) und den Prinzipien des Nanodialogs der Bundesregierung verpflichtet und setzt deren Grundsätze um. Zur Implementierung des verantwortlichen Handelns hat die Branche bereits Mitte der neunziger Jahre Leitlinien für Sicherheit, Gesundheits- und Umweltschutz in der Lackindustrie entwickelt und in den Mitgliedsunternehmen eingeführt. Zentrale Aufgaben im Rahmen dieser Initiative betreffen die Arbeits- und Produktsicherheit von Lacken und Druckfarben.

Die deutsche Lack- und Druckfarbenindustrie stellt technisch sichere Produkte her, die bei sachgemäßem Umgang keine Gefährdung der menschlichen Gesundheit oder der Umwelt verursachen.

Der sichere Umgang mit den Produkten umfasst deren Herstellung von der Anlieferung und Lagerung der Rohstoffe über die Fertigung bis zur Lagerung und dem Vertrieb von Lacken und Druckfarben und schließlich auch die Anwendung dieser Produkte durch den Verarbeiter inklusive der Entsorgung von nicht vermeidbaren Abfällen. Die Anforderung an einen sicheren Umgang wird uneingeschränkt auch für die neuartigen Produkte auf der Basis der Nanotechnologie beachtet.

Nanotechnologie

Die Nanotechnologie ist eine Schlüsseltechnologie der Zukunft. Sie basiert auf der Nutzung der physikalischen, chemischen oder biologischen Effekte von Teilchen oder stofflichen Strukturen in einer Größenordnung unterhalb von 100 Nanometern.

Teilchen in dieser Größenordnung existieren nicht erst seit der Industrialisierung oder gar erst seit jüngster Zeit. Die Natur produziert gigantische Mengen an Nanopartikeln bei der Verwitterung von Gestein, bei Waldbränden oder als Salzaerosole am Meeresufer. Neu ist hingegen die gezielte technische Herstellung von Nanopartikeln und Nanostrukturen zur Erzielung neuartiger Eigenschaften.

Begriffsdefinitionen

In der internationalen Norm ISO/TS 27687: 2008 „Nanotechnologies – Terminology and Definition of Nano-Objects – Nanoparticle, Nanofiber and Nanoplate“ sind erstmals die Begriffe definiert worden. Danach gelten als Nanoobjekte Materialien, die in wenigstens einer geometrischen Dimension kleiner als 100 Nanometer sind. Nanoobjekte gliedern sich auf in

- Nanoplättchen mit einer Dimension im Nanomaßstab.
- Nanofasern mit zwei Dimensionen im Nanomaßstab
- Nanopartikel mit drei Dimensionen im Nanomaßstab

Nanoobjekte haben eine starke Tendenz, sich zu größeren Gebilden zusammenzulagern, also zu agglomerieren oder zu aggregieren. Solche „nanostrukturierten“ Gebilde zählen ebenfalls zu den Nanomaterialien.

Definitionen nach der Technical Specification 27687 „Nanotechnologies — Terminologie und Begriffe für Nanopartikel“ der International Standardisation Organisation (ISO) ISO/TS 27687:2008

Nanomaßstab: "nanoskalig" = Größenbereich von etwa 1 nm bis 100 nm.

"Nanoobjekt" = Material mit einem, zwei oder drei Außenmaß(en) im Nanomaßstab

"Nanopartikel" = Nanoobjekt mit allen drei Außenmaßen im Nanomaßstab

"Nanoplättchen" = Nanoobjekt mit einem Außenmaß im Nanomaßstab und zwei wesentlich größeren Außenmaßen

"Nanostäbchen" = Nanoobjekt mit zwei ähnlichen Außenmaßen im Nanomaßstab und einem dritten Außenmaß, das wesentlich größer als die beiden anderen Außenmaße ist.

"Nanoröhrchen" = hohles Nanostäbchen.

"Nanodraht" = (elektrisch) leitendes oder halbleitendes Nanostäbchen.

"Nanofaser" = biegsames Nanostäbchen.

"Quantenpunkt" = kristallines, halbleitendes Nanopartikel, das auf Grund von Quanten-Confinement-Effekten auf die elektronischen Zustände größenabhängige Eigenschaften zeigt

Agglomerat: Ansammlung lose gebundener Partikel oder Aggregate bzw. Gemische der beiden, in der die resultierende Oberfläche ähnlich der Summe der Oberflächen der einzelnen Bestandteile ist.

Aggregat: Partikel aus festgebundenen oder verschmolzenen Partikeln, bei dem die resultierende Oberfläche wesentlich kleiner als die Summe der berechneten Oberflächen der einzelnen Bestandteile sein kann.

Neben der ISO-Norm existieren weitere Vorschläge, Nanoobjekte zu definieren. Hierüber ist in Fachkreisen noch keine Einigkeit erzielt worden. Weitgehend akzeptiert ist jedoch eine Arbeitsdefinition der OECD Working Party on Manufactured Nanomaterials, die die zielgerichtet hergestellten Nanomaterialien und deren spezielle Eigenschaften betrachtet. Diese Definition wird hier zu Grunde gelegt.

Bei der Betrachtung möglicher Gefährdungen von Gesundheit und Umwelt durch „Nanomaterialien“ muss eine klare Unterscheidung getroffen werden zwischen

Materialien, die diskrete (als isolierte Teilchen vorliegende) Nanoobjekte gemäß der oben genannten Definition enthalten, und Beschichtungsmaterialien, die im Film oder an der Oberfläche nanoskalige Strukturen ohne diskrete Nanoobjekte besitzen.

Durch die Nanoskaligkeit ausgelöste Risiken für Gesundheit und Umwelt sind nur relevant, wenn unter den konkreten Verwendungsbedingungen eine Exposition gegenüber isolierten Nanoteilchen auftreten kann.

Die Bedeutung der Nanotechnologie für die Lack- und Druckfarbenindustrie

Die Verwendung von Stoffen mit Partikeln im Nanomaßstab in der Lack- und Druckfarbenindustrie ist nicht neu. Bereits vor 2000 Jahren hat der römische Architekt Marcus Vitruvius Pollio synthetisch hergestellten Ruß für Anstrichfarben verwendet. Heute wissen wir, dass der Ruß in Form von Nanopartikeln vorlag.

Auch pyrogene Kieselsäuren mit Partikelgrößen zwischen 4 und 20 Nanometern werden seit fast 100 Jahren verwendet, um die Fließfähigkeit von Lacken positiv zu beeinflussen.

Erst in jüngster Zeit ist es allerdings möglich geworden, Strukturen und Teilchen in der Größenordnung von weniger als 100 Nanometer „sichtbar“ zu machen. Durch moderne Mikroskoptechnologie (Rasterelektronenmikroskop und Rasterkraftmikroskop) können nun Teilchen und Strukturen auf der Nanoebene gemessen und wissenschaftlich beschrieben werden.

Dies macht deutlich, dass die Nanotechnologie umfassender charakterisiert ist als nur durch die Verwendung von Nanoteilchen. Die Nanotechnologie leistet hier einen Beitrag zur Erforschung des inneren Aufbaus von Lackfilmen und der Ausbildung von Strukturen auf der Nanoebene innerhalb eines homogenen Lackfilms. Solche internen Differenzierungen innerhalb einer Lackschicht sind lange bekannt, und sie werden für die Lacktechnologie gezielt genutzt.

Längst hat die Nanotechnologie darüber hinaus große Bedeutung bei der Neuentwicklung von Lacken und Farben gewonnen. Die Verbesserung von herkömmlichen Lacken und die Erschließung neuer Funktionen von Lacken werden in den nächsten 30 Jahren rasant zunehmen. Es ist davon auszugehen, dass in den nächsten 10 Jahren in Deutschland etwa 20 Prozent des Branchenumsatzes auf der Nutzung von Nanotechnologie in Form von sogenannten „Smart Coatings“ beruhen werden.

Wichtige Neuerungen und Fortschritte wurden zum Beispiel bei folgenden Produkten („Nanolacken“) erzielt:

- Selbstreinigende Farben
- Effektlacke
- Antibakterielle Farben
- Hochkratzfeste Lacke
- Photokatalytische Farben
- Lacke zum UV-Schutz
- Wandfarben zur Abschirmung gegen hochfrequente elektromagnetische Strahlung

Darüber hinaus ist die Lackindustrie mit Forschung auf den Feldern

- Schaltbare Lacke
- Elektrisch leitende Lacke
- Selbstheilende Beschichtungen
- Nano-Primer für Korrosionsschutz-Beschichtungen
- Wärmeisolierende Beschichtungen

befasst, die alle auf der Nutzung der Nanotechnologie beruhen.

Die deutsche Lack- und Druckfarbenindustrie ist bestrebt, eine offene und aktive Kommunikation zur Nanotechnologie mit allen Interessenvertretern durch Gespräche, Vorträge und Workshops zu gewährleisten.

Nanoobjekte in der Lack- und Druckfarbenindustrie

Bei Anwendung der OECD-Arbeitsdefinition ist die Anzahl der Typen von Nanoobjekten, die in der Lackindustrie eingesetzt werden, gering. Zwar besitzen herkömmliche Pigmente aufgrund der Korngrößenverteilung auch geringe Mengenanteile im Bereich der Nanodimension, jedoch werden Pigmente nicht als Nanoobjekte hergestellt, sondern sie sollen im Gegenteil viel größer dimensioniert sein, um Licht zu absorbieren oder zu streuen und somit den Produkten Farbigkeit zu verleihen.

Die beabsichtigt als Nanoobjekte hergestellten Lackrohstoffe basieren auf den Stoffen:

- Titandioxid
- Siliziumdioxid
- Ruß (carbon black)
- Eisenoxid
- Zinkoxid
- Silber.

Titandioxid besitzt photokatalytische Eigenschaften; es wird in nanoskaliger Form in Wand- und Fassadenfarben eingesetzt, um organische Schadstoffe in der Umgebungsluft zu beseitigen. Nanostrukturiertes Siliziumdioxid dient vor allem als rheologisches Hilfsmittel. Es wird darüber hinaus auch in selbstreinigenden Fassadenfarben eingesetzt. Eisenoxid wird ebenso wie nanoskaliges Zinkoxid vor allem zum UV-Schutz in transparenten Beschichtungen verwendet. Nanoruß dient zur Abschirmung elektromagnetischer Strahlung. Silber in Nanoform wird in Wandfarben für Krankenhäuser und lebensmittelverarbeitende Betriebe eingesetzt, um den Befall durch Bakterien und andere Mikroorganismen zu verhindern.

Arbeitsschutz

Wenn überhaupt eine Gefährdung der menschlichen Gesundheit durch Nanoobjekte – im Wesentlichen Nanopartikel – besteht, dann durch Inhalation dieser Stoffe.

Dem gegenüber ist die Aufnahme von Nanomaterialien über die Haut offensichtlich nicht von praktischer Bedeutung, da toxikologische Untersuchungen gezeigt haben, dass Nanopartikel die gesunde Haut des Menschen nicht penetrieren und somit nicht vom Körper aufgenommen werden. Eine Gefährdung durch Verschlucken ist bei sachgemäßer Anwendung zu vernachlässigen; die einschlägigen Arbeitsschutzvorschriften verbieten das Essen und Trinken in Labors, Technika oder Produktionsanlagen.

Für die Mitgliedsunternehmen der Lack- und Druckfarbenindustrie steht der mit den eingesetzten Rohstoffen zu erzielende Nutzen für das jeweilige Produkt und das zu beschichtende Substrat unter Berücksichtigung der Minimierung möglicher

Auswirkungen auf die Beschäftigten und die Umwelt im Vordergrund. Soweit der Produktnutzen durch die Partikelgröße im Nanomaßstab beeinflusst werden kann, kommen auch Nanoobjekte gezielt zum Einsatz. Dabei wird parallel zu den technologischen Merkmalen auch das erforderliche Wissen über die toxikologischen und ökotoxikologischen Eigenschaften eingeholt. Wesentliche Quelle für die Beschaffung aller verfügbaren Informationen ist das erweiterte Sicherheitsdatenblatt des Rohstoffherstellers gemäß REACH. Der Rohstoffhersteller hat hierin auch Expositionsszenarien zu beschreiben und Schutzmaßnahmen zu empfehlen.

Die Lack- und Druckfarbenindustrie stellt selbst keine Nanoobjekte her. Somit beginnt der Arbeitsschutz in diesem Industriezweig mit der **Auswahl der einzusetzenden Nanoobjekte** auf der Grundlage der verfügbaren Informationen.

Auf der Basis der Informationen erfolgt eine **Gefährdungsbeurteilung** beim Umgang mit den Einsatzstoffen, unabhängig davon, ob es sich hierbei um Gefahrstoffe, Nanomaterialien oder sonstige Rohstoffe handelt. Einzelheiten zur Gefährdungsbeurteilung regeln das Arbeitsschutzgesetz, die Gefahrstoffverordnung und die zugehörigen Technischen Regeln.

Die Gefährdungsbeurteilung hat die Bereiche

- Anlieferung und Lagerung
- Produktion
- Abfüllung
- Anwendungstechnische Prüfung der Produkte
- Fertigwarenlager
- Distribution

zu umfassen. Dabei sind auch die Probenahmen in den verschiedenen Schritten der Fertigung, die Reinigung der Produktionsanlagen sowie die Wartung der technischen Einrichtungen und Anlagen zu berücksichtigen.

Um der potenziellen Gefährdung der menschlichen Gesundheit durch Nanoobjekte bei Inhalation zu begegnen, ist soweit möglich bei der Auswahl von nanoskaligen Rohstoffen auf eine Anlieferung in dispergierter, also flüssiger oder Pastenform zu achten.

Der Zubereitungshersteller hat daher mit dem Rohstoffhersteller vor Beginn der Lieferungen jeweils zu klären, ob ein Bezug des Rohstoffs in nicht staubender Form möglich ist.

Sofern die Lieferung in staubender Form unumgänglich ist, sind entsprechende Schutzmaßnahmen vorzunehmen. Bei Anlieferung von Sackware ist auf Unversehrtheit der Verpackungen zu achten. Aus der Verpackung ausgetretene staubende Nanoobjekte sind in Flüssigkeit (Wasser) zu binden, aufzunehmen und sachgerecht zu entsorgen. Auf Atemschutz ist zu achten.

Da die meisten Nanopartikel zur Agglomeration und Aggregation neigen, sind auch die Stäube, die ggf. bei der Handhabung solcher Materialien entstehen, in aller Regel aus Teilchen zusammengesetzt, die größer sind als 100 Nanometer. Solche Agglomerationen von Nanopartikeln werden von den in der Lack- und Druckfarbenindustrie üblicherweise verwendeten hochwertigen Atemschutzmasken sicher zurückgehalten.

Auch bei Nanoobjekten mit geringerer Neigung zur Agglomerations- und Aggregationsbildung wirken die handelsüblichen Atemschutzfilter. Soweit keine Daten zum Abscheidegrad im konkreten Fall vorliegen, sind Filter der Stufe FFP3 angeraten. Diese haben ein Rückhaltevermögen von 99,98 % der Staubpartikel. Nanopartikel scheiden sich zusätzlich auf den Staubschichten der Filter ab.

Beim Einsatz von Nanopartikeln in der Produktion sind alle erforderlichen Maßnahmen zur Minimierung einer Exposition der Beschäftigten und der Emissionen in die Umwelt zu ergreifen. Soweit möglich sollte in geschlossenen Anlagen gefertigt werden. In der Lack- und Druckfarbenindustrie ist dies aus technologischen Gründen derzeit in der Regel nicht über die gesamte Prozesskette möglich. Daher sind an allen Stellen, an denen Nanopartikel freigesetzt werden können, sichere Erfassungen von Stäuben und Aerosolen durch Punkt- und Objektabsaugungen zu gewährleisten. Daneben sind wirksame technische Lüftungsanlagen vorzusehen. Bei Um- und Abfüllung sind ebenfalls Absaugungen erforderlich, um bei Staubbildung Expositionen zu vermeiden.

Zur Bestimmung der Konzentration von Nanopartikeln am Arbeitsplatz sind Kontrollmessungen in regelmäßigen Abständen vorzunehmen und zu dokumentieren, wenn nicht ausgeschlossen werden kann, dass die Exposition zu vernachlässigen ist. Dies gilt ungeachtet der Tatsache, dass bei der Produktion und der Spritzanwendung von „Nanolacken“ - aufgrund der Untersuchungsergebnisse des berufsgenossenschaftlichen Instituts für Arbeitsschutz (IFA) und der Industrie - keine Gefährdung der Arbeitnehmer zu erwarten ist.

Sofern persönliche Schutzmaßnahmen erforderlich sind, müssen diese vom Arbeitgeber zur Verfügung gestellt werden. Hierbei sind insbesondere geeignete Atemschutzfilter und Schutzhandschuhe zu nennen.

Weitere Schutzmaßnahmen sind in der Regel nicht nanospezifisch und somit in Übereinstimmung mit den einschlägigen allgemeinen Arbeitsschutzvorschriften festzulegen.

Alle getroffenen Arbeitsschutzmaßnahmen sind zu dokumentieren.

Verwendung von Beschichtungsstoffen mit Nanoobjekten

Bei der Verarbeitung von Nanolacken ist eine Gefährdung der menschlichen Gesundheit durch Nanoobjekte bei Beachtung der in der Gefährdungsbeurteilung definierten Schutzmaßnahmen nach derzeitigem Kenntnisstand ausgeschlossen. Bei der industriellen Applikation sowie der handwerklichen Verarbeitung in Gewerbe und Privathaushalt treten Nanopartikel aus den flüssigen Lacken und Farben nicht aus. Unabhängig vom Einsatz von Nanopartikeln im Lackmaterial wird aber empfohlen, bei allen Spritzapplikationen stets geeignete Atemschutzmasken zu verwenden, soweit gemäß Gefährdungsbeurteilung eine nachteilige Exposition nicht vollständig ausgeschlossen werden kann.

Bei der Bearbeitung von lackierten Oberflächen ist eine Gefährdung ebenfalls nicht zu erwarten. Untersuchungen der Technischen Universität Dresden haben gezeigt, dass selbst beim Schleifen die den untersuchten Lacken gezielt zugesetzten Nanopartikel fest in die Bindemittelmatrix eingebunden sind und als solche nicht freigesetzt werden. Ungeachtet dessen ist zur Vermeidung bzw. zur Verringerung der Freisetzung von Schleifstäuben die Technik des Nassschleifens dringend zu empfehlen, da der Schleifprozess auch bei der „Nanoobjekt“-freien Kontrollgruppe selbst unspezifische Partikel im Nanomaßstab erzeugt.

Entsorgung

Die Entsorgung von nanolackierten Gegenständen auf geeignetem herkömmlichem Wege ist unproblematisch. Auf dem üblichen Entsorgungsweg - selbst beim Shreddern lackierter Gegenstände - bleiben die Nanopartikel fest in die Matrix eingebaut. Eine Gefährdung der menschlichen Gesundheit ist somit nicht gegeben.

Resümee und Ausblick

Die Nanotechnologie ermöglicht die Herstellung von Beschichtungsstoffen mit wesentlich verbesserten oder gänzlich neuen Eigenschaften. Dieser Fortschritt wird nicht zuletzt auch zur Ressourcenschonung und zum Schutz der Umwelt beitragen. Wie bei jeder neuen Technologie, die noch in den Anfängen steckt, sind weder alle Chancen genutzt noch alle potenziellen Risiken bekannt. Daher sind Anstrengungen zu unternehmen, diese Wissenslücken zu schließen.

Basierend auf den Ergebnissen der bisherigen Untersuchungen an Nanolacken ergeben sich keine Anhaltspunkte besonderer Gefährdungen der Gesundheit von Beschäftigten oder Verbrauchern und der Umwelt, soweit die allgemeinen Arbeitsschutzbestimmungen sowie eine gute Arbeitshygiene beachtet werden. Evtl. spezifische Arbeitsschutzmaßnahmen zur Berücksichtigung staubender Einsatzstoffe mit nanoskaligem Anteil sind auf Basis der Gefährdungsbeurteilung festzulegen.

Die deutsche Lack- und Druckfarbenindustrie arbeitet aktiv und intensiv an der Gewinnung neuer Erkenntnisse über eine potenzielle Gefährdung der menschlichen Gesundheit mit. Eine Reihe von Studien wurde und wird durchgeführt, um eine Abschätzung eines möglichen Risikos beim Umgang mit Nanoobjekten vornehmen zu können.

Quellenverzeichnis, Literaturverzeichnis

ISO/TS 27687: 2008 „Nanotechnologies – Terminology and Definition of Nano-Objects – Nanoparticle, Nanofiber and Nanoplate“

OECD-Working Group on Nanomaterials

(Link zur Internetseite der OECD WPNM)

http://www.oecd.org/document/36/0,3343,en_2649_34269_38829732_1_1_1_1,00.html

Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz / ArbSchG)

Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (GefStoffV) "Gefahrstoffverordnung vom 23. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3758, 3759), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 18. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2768) geändert worden ist"

Technische Regeln:

TRGS 200 - Einstufung und Kennzeichnung von Stoffen, Zubereitungen und Erzeugnissen

TRGS 220 - Sicherheitsdatenblatt

TRGS 900 - Arbeitsplatzgrenzwerte

TRGS 901 - Begründungen und Erläuterungen zu Grenzwerten in der Luft am Arbeitsplatz