

# 06.17

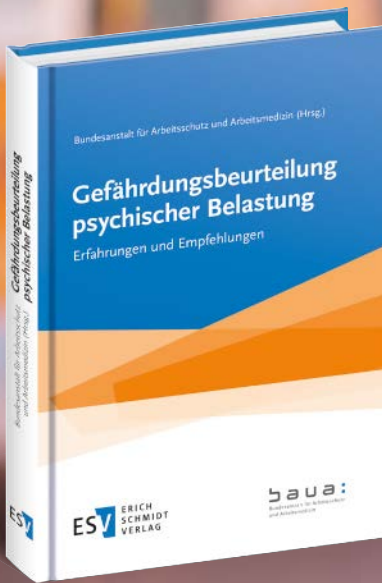
Lizenziert für DGUV.  
Die Inhalte sind urheberrechtlich geschützt.  
In Kooperation mit:



68. Jahrgang  
Juni 2017  
ISSN 2199-7330  
1424

# sicher ist sicher

[www.SISdigital.de](http://www.SISdigital.de)



## Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastung Erfahrungen und Empfehlungen

Herausgegeben von der Bundesanstalt für  
Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)

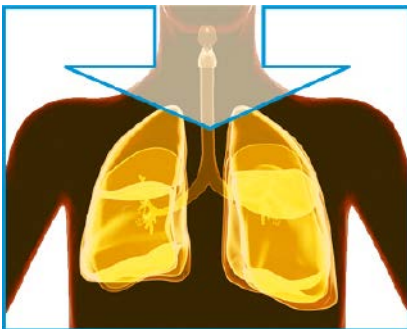
[www.ESV.info/15439](http://www.ESV.info/15439)



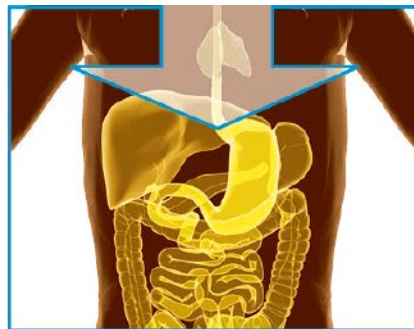
Beleuchtung in  
Arbeitsstätten 263

Betriebliche Gesundheitsförderung 268  
Tätigkeiten mit mehrlagigen  
Kohlenstoffnanoröhren 283

**ESV** ERICH  
SCHMIDT  
VERLAG



via Atemwege



durch Verschlucken



über die Haut

CHRISTIAN SCHUMACHER<sup>1</sup> · CARSTEN MÖHLMANN<sup>1</sup> · CHRISTIAN MONTE<sup>2</sup> · BIANCA OEFFLING<sup>1</sup> · SABINE PLITZKO<sup>3</sup>

# Expositionsbewertung einer Tätigkeit mit mehrlagigen Kohlenstoffnanoröhren

Die Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit Nanomaterial stellt für viele Betriebe eine Herausforderung dar. Für die Expositionsbewertung von Nanofasern bedarf es neben einer allgemeinen Expertise über Nanomaterialien am Arbeitsplatz oftmals Arbeitsplatzmessungen mit speziellen sammelnden Verfahren mit anschließender bildgebender Analytik, die sich noch im Entwicklungsstadium befinden. Nachfolgend wird beschrieben, wie eine Beurteilung der Gefährdung unter diesen Umständen dennoch gelingen kann.

## Einleitung

Die Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit Nanomaterial stellt für viele Betriebe eine Herausforderung dar. Oft werden spezielle direktanzeigende Messgeräte eingesetzt, um die Teilchenzahlkonzentration von Nanopartikeln und ultrafeinen Partikeln und deren Größenverteilung in der Luft zu messen. Dabei bedarf es einerseits einer besonderen Expertise, um diese Geräte zu bedienen und die Messergebnisse auszuwerten; andererseits liefern sie bisher keine Informationen über die chemische Natur oder Form der gemessenen Nanoobjekte. Für die Beurteilung von Nanofasern bedarf es daher sammeln-

der Verfahren mit anschließender bildgebender Analytik, die sich noch im Entwicklungsstadium befinden. In Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), der Physikalisch-Technischen Bundesan-

<sup>1</sup> Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Sankt Augustin

<sup>2</sup> Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Berlin

<sup>3</sup> Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Berlin

Besonderen Dank gilt Josef Breuer<sup>2</sup>, Nico Dziurawitz<sup>3</sup>, Elisabeth Eigel<sup>2</sup>, Jörg Hollandt<sup>2</sup>, Evelyn Jäkel (Unfallkasse Bund & Bahn), Ben Jensen (Surrey Nanosystems, UK), John Lehman (National Institute of Standards and Technology Boulder, USA), Steve Northam (Surrey Nanosystems, UK), Johannes Pelzer<sup>3</sup> sowie Heike Schilling<sup>2</sup>.

stalt (PTB) und der Unfallversicherung Bund und Bahn führte das Institut für Arbeitsschutz (IFA) Untersuchungen an einem Arbeitsplatz durch, an dem mit mehrlagigen Kohlenstoffnanoröhren (MWCNT) gearbeitet werden sollte. Gemeinsames Ziel war es, die Gefährdung entsprechend der Technischen Regel für Gefahrstoffe 400 (TRGS 400) [1] vor Aufnahme der Tätigkeiten und unter Zuhilfenahme der Bekanntmachung Gefahrstoffe 527 (BekGS 527) [2] zu beurteilen. Dies gelang, indem die Beteiligten sich Schritt für Schritt ein Urteil über die verwendeten Gefahrstoffe und Expositionsmöglichkeiten bildeten. Die einzelnen Schritte der durchgeführten Untersuchung sollen nachfolgend dargestellt werden. Die gewonnen Erkenntnisse werden in dem vom BMBF geförderten Projekt nanoGRA-VUR weiter ausgearbeitet [3].

### Methode

Zunächst führte die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin zusammen mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt eine Informationsermittlung zu den Gefahrstoffen durch. Dabei wurden auch Produktinformationen und Sicherheitsdatenblätter angefragt. Eine Bewertung der Sicherheitsdatenblätter wurde durch das IFA vorgenommen.

Danach erfolgte eine Aufstellung der geplanten Tätigkeiten und eine Bewertung durch das IFA bezüglich der Möglichkeit einer Exposition. Hierbei wurden alle potentiellen Aufnahmerouten berücksichtigt.

Anschließend wurde in einer Versuchskammer im IFA in nachstellenden Versuchen untersucht, ob bei den geplanten Tätigkeiten eine Freisetzung der MWCNT erfolgen kann.

Anhand der nachstellenden Untersuchungen wurden erste Schutzmaßnahmen vorgeschlagen und eine Messstrategie entwickelt, um die Freisetzung und die Exposition am Arbeitsplatz messen zu können. Zunächst fanden orientierende Messungen bei der PTB statt, ohne dass Aktivitäten bzw. Tätigkeiten mit dem MWCNT durchge-

führt wurden. Anschließend wurde die Quellstärke der Freisetzung während der Durchführung der geplanten Tätigkeiten mit den MWCNT ermittelt. Hierfür wurde der Arbeitsbereich im Bezug zur Gefahrstoffquelle in ein Nahfeld, ein Fernfeld und einem Hintergrund eingeteilt, wobei das Nahfeld auch den Arbeitsplatz eines unmittelbar betroffenen Beschäftigten umfasste [5,6,7]. So wurde das jeweilige Nahfeld in einem Arbeitsbereich bestimmt und in einem Raum ergänzend zu einer personengetragenen Messung auch stationär über einen längeren Zeitraum bemessen. Zudem wurde in beiden – mit den Nahfeldern in Verbindungen stehenden – Fernfeldern jeweils eine stationäre Messung durchgeführt. Des Weiteren wurde eine Messung der Hintergrundkonzentration außerhalb der Arbeitsbereiche vorgenommen.

Die Partikelanzahlkonzentration wurde mit einem Testo DISCmini gemessen mit dem Konzentrationen von 1.000 bis 1.000.000 Partikel pro  $\text{cm}^3$  in einem Größenbereich von 10 bis 700 nm bestimmt werden können. Der Volumenstrom betrug 1 Liter/Minute.

Zur Bestimmung der Partikelkonzentration sowie der Partikelmorphologie wurde ein Probenahmesystem für die Messung von Fasern, das PGP-FAP eingesetzt. Die Partikel wurden auf einem mit Gold beschichteten Kernporenfilter (Nuclepore, 400 nm bzw. 200nm Porendurchmesser) gesammelt und im Rasterelektronenmikroskop (REM) analysiert. Der Volumenstrom betrug ca. 5 bzw. 4 l/min.

Die Analyse der Partikel wurde beim IFA an einem REM Zeiss Supra 40 VP vorgenommen. Die Bilder zur Auswertung wurden erzeugt mit einer Beschleunigungsspannung von 3 kV bei einem Arbeitsabstand von etwa 3 mm. Es wurden von jeder Probe je 100 zufällig generierte ausgewählte Felder bei 20.000-facher Vergrößerung analysiert. An der BAuA wurden die Proben an einem Hitachi SU8230 mit einer vergleichbaren Vergrößerung und Beschleunigungsspannung bei einem Arbeitsabstand von 6 mm untersucht. Eine Elementanalyse wurde nicht vorgenommen, da die gefundenen Partikel zum einen vom Kohlenstoffhintergrund des Filtermaterials nicht unterscheidbar wären und in den meisten Fällen zu wenig Signalintensität aufwiesen.

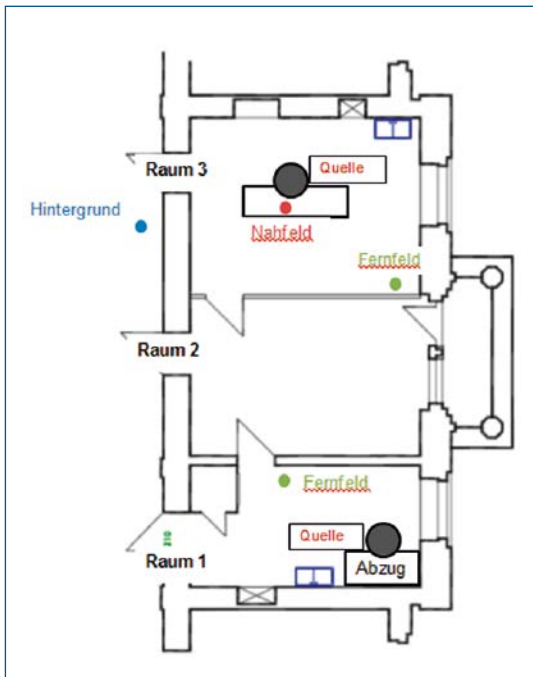
Insbesondere für die Analyse der Messproben wurden weitergehende Erkenntnisse aus einem Projekt der BAuA, SUVA und dem IFA angewandt [9].

Zum Schluss wurden die Ergebnisse der Arbeitsplatzmessungen gemeinsam mit den betroffenen Beschäftigten und den verantwortlichen Arbeitsschützern und Führungskräften der PTB besprochen und Schutzmaßnahmen festgelegt.



**Abb. 1:** Mögliche Aufnahmewege für Nanomaterial in den menschlichen Körper (Abb.: DGUV Information 213-021 vormals BGI/GUV-I 5149)[4]. Im Falle der untersuchten Tätigkeiten wurde die Aufnahme über die Atemwege durch Inhalation als wichtigste Expositionsrouten ausgemacht. Somit musste eine Bewertung der Gefahrstoffkonzentration in der Luft erfolgen.





**Abb. 2:** In unmittelbarem Bezug zur Gefahrstoffquelle (schwarzer Kreis) befinden sich im ersten und im dritten Raum die Nahfelder. Das Nahfeld im dritten Raum wurde dabei auch stationär gemessen (roter Punkt). Der Bereich, der in Verbindung zum Nahfeld steht, aber bei dem eine deutliche Abnahme der Gefahrstoffkonzentration zu erwarten ist, wurde als Fernfeld definiert. Hier wurde im ersten und im dritten Raum jeweils eine stationäre Messung durchgeführt. Der Bereich, der nicht mehr in Verbindung zur Gefahrstoffquelle steht wurde als Hintergrund definiert. Hier wurde eine weitere stationäre Messung durchgeführt.

### Einstufung und Grenzwerte

Zurzeit besteht keine einheitliche Einstufung von mehrwandigen Kohlenstoffnanoröhren, sie sind unter der EC Nummer 936-414-1 aber in REACH angemeldet [10]. In der DGUV Information 213-853 „Nanomaterialien im Labor“ wird bei Tätigkeiten mit biobeständigen, starren, faserförmigen Nanomaterialien, die den WHO-Kriterien (Länge > 5 µm, Durchmesser < 3 µm und Länge-Durchmesser-Verhältnis > 3:1) entsprechen, zu besonderer Vorsicht geraten [11]. Auch die BekGS 527 beschreibt die Gefährdungsbeurteilung für biobeständige, faserförmige Nanomaterialien und empfiehlt aus Vorsorgegründen von einer asbestartigen Gefährdung auszugehen. In Absprache mit den PTB wurde beschlossen, der Empfehlung der BekGS zu folgen und eine Faserkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz unter dem IFA Referenzwert von 10 000 Fasern/m<sup>3</sup> anzustrebend [12].

Zudem soll neben dem Allgemeinen Staubgrenzwerten für die einatembare (E) und alveolengängige Fraktion (A) auch ein Beurteilungsmaßstab für nanoskalige granuläre biobeständige Stäube von 0,5 µg/m<sup>3</sup> berücksichtigt werden [13].

### Ergebnisse

Die Informationsermittlung ergab, dass es sich um sogenannte vertikal ausgerichtete mehrlagige Kohlenstoffnanoröhren (MWCNT) handelte, die auf Silizium, Aluminium oder Lithiumtantalatträgermaterial aufgewachsen sind [14,15]. Zudem, dass diese MWCNT als unlöslich und rigide gelten und den WHO-Kriterien (Länge > 5 µm, Durchmesser < 3 µm und Länge-Durchmesser-Verhältnis > 3:1) für gesundheitsschädliche Fasern entsprechen könnten [16, 17]. Die Bewertung der Sicherheitsdatenblätter ergab, dass diese keine adäquaten Grenzwerte auswiesen.

Bei folgenden Tätigkeiten zog das IFA eine Exposition der Beschäftigten in Betracht:

- ▶ Entnahme des Trägermaterials aus der Verpackung unter dem Abzug,
- ▶ Montage des Trägermaterials auf einen Halter der Versuchsapparatur unter dem Abzug,
- ▶ Transport des Trägerhalters zum Versuchsstand und Einbau in die Versuchsapparatur,
- ▶ Ausbau des Trägerhalters aus der Versuchsapparatur und Transport zum Abzug,
- ▶ Demontage des Trägermaterials vom Halter unter dem Abzug,
- ▶ Verpacken des Trägermaterials unter dem Abzug.

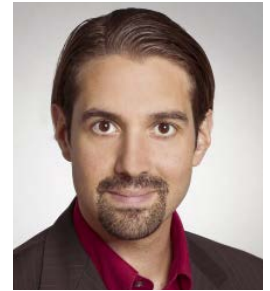
Die nachstellenden Untersuchungen zeigten, dass bei der Handhabung von mit MWCNT beschichteten Platten eine mechanische Beschädigung der Schicht und als Folge dessen eine Freisetzung von MWCNT möglich ist. Die Anzahl möglich emittierter MWCNT lag zwischen 40 und 4 400 Fasern/m<sup>3</sup>; ~ 200 Fasern davon entsprechen den WHO-Faserkriterien. Die Beschädigung erfolgt nach Krafteinwirkung beim Befestigen der beschichteten Platten. Bei leichter Beanspruchung der MWCNT-Schichten, z.B. Rütteln und Überströmen mit Luft, war keine Freisetzung festzustellen.

Bei den orientierenden Messungen bei der PTB vor Ort konnten weder eine erhöhte Staub- noch Faserbelastung festgestellt werden. Daher wurden nachfolgend nur die Bewertung einer möglichen Faserfreisetzung und -exposition berücksichtigt.

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Arbeitsplatzmessung zu drei Proben dargestellt, die als repräsentativ für die Freisetzungproblematik am Arbeitsplatz gelten können. Auf den drei untersuchten Proben wurde insgesamt nur eine Faser gefunden; diese entsprach nicht den WHO Kriterien.

Es wurden keine einzelnen oder agglomerierte/aggregierte Fasern nachgewiesen, die den Faserkriterien der WHO entsprachen. Damit war auch nicht von einer Kontamination der Arbeitsbereiche mit den MWCNT auszugehen. Auch lag die Konzentration aller ausgewerteten

### DIE AUTOREN



**Christian Schumacher**  
ist studierter Arbeitshygieniker und Master of Science in Toxikologie. Seit 2012 arbeitet er im Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) für den Fachbereich Gefahrstoffe: Umgang - Schutzmaßnahmen, wo er seit 2014 das Referat Expositionsbeurteilung leitet.

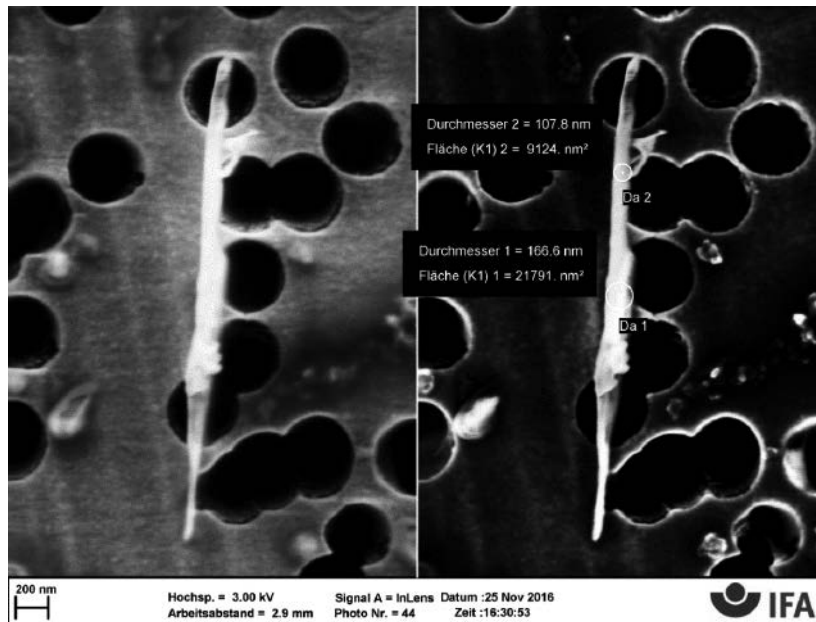


Abb. 3: Nicht-WHO-Faser mit Durchmesserangaben (Flächenangabe nicht relevant)

Schadstoff	Gefundene Objekte	Konzentration C [1/m³]		
		C	*C-u	*C-o
<b>Probe 1 an der Quelle im Raum 3</b>				
Nicht-WHO-Fasern (ohne MWCNT)	1	2700	100	15200
WHO-Fasern (ohne MWCNT)	0	0	0	8200
WHO-Fasern mit MWCNT	0	0	0	8200
Granuläre Partikel mit anhaftenden MWCNT	0	0	0	8200
Agglomerate/Aggregate mit anhaftenden MWCNT	0	0	0	8200
Gewölle von MWCNT	0	0	0	8200
an Partikel/Fasern/Agg. anhaftende MWCNT	0	0	0	8200
Isolierte MWCNT (sicher)	0	0	0	8200
Nanofasern (fraglich, biologisch)	Nicht ausgewertet	-	-	-
Partikel mit Nanofasern	0	0	0	8200
sonst. längliche nanoskalige Partikel	0	0	0	8200
Gewölle von Nanofasern	0	0	0	8200
<b>Probe 2 an der Quelle im Raum 3</b>				
WHO-Fasern (mit MWCNT)	0	0	0	3300
WHO-Faseragglomerate (mit MWCNT)	0	0	0	3300
Nanofasern (fraglich, biologisch, Länge < 5 µm)	8	8800		17300
<b>Probe 1 an der Person</b>				
WHO-Fasern (mit MWCNT)	0	0	0	9800
WHO-Faseragglomerate (mit MWCNT)	0	0	0	9800
Nanofasern (fraglich, biologisch, Länge < 5 µm)	0	0	0	9800

**Tab. 1:** Für die Probe 1 wurde insgesamt 69,08 h an der Quelle gemessen bei einem Volumenstrom von 5,0 l/min. Es wurden 100 Felder bei einer 20000-fachen Vergrößerung aufgenommen und ausgewertet. Für die Probe 2 wurde insgesamt 47,8 h an der Quelle gemessen bei einem Volumenstrom von 4,0 l/min. Es wurde insgesamt eine Filterfläche von 0,056 mm² mit 1.623 Liter/cm² ausgewertet. Für die Probe 3 wurde insgesamt 5,6 h an der Person gemessen bei einem Volumenstrom von 4,0 l/min. Es wurde insgesamt eine Filterfläche von 0,161 mm² mit 190 l/cm² ausgewertet. \*C-u ist die Untergrenze des 95%-Vertrauensbereich in Abhängigkeit von der Zahl der gefundenen Fasern. \*C-o ist die Obergrenze des 95%-Vertrauensbereich in Abhängigkeit von der Zahl der gefundenen Fasern.

Proben unterhalb des Beurteilungsmaßes von 10000 F/m³. Auf zwei Proben wurden allerdings viele Fasern mit fraglicher, möglicherweise biologischer Herkunft gefunden; diese wurden auf einer Probe quantifiziert, da sie sich in Form und Größe auch deutlich von den MWCNT auf der Referenzprobe unterschieden haben.

## Diskussion

Die Messungen wurden in Anlehnung an die VDI 3492 „Messen von Innenraumlufungsverunreinigungen, Messen anorganischer faserförmiger Partikel – rasterelektronenmikroskopisches Verfahren“ [18] sowie der DGUV Information 213-546 „Verfahren zur getrennten Bestimmung der Konzentrationen von lungengängigen anorganischen Fasern in Arbeitsbereichen – Rasterelektronenmikroskopisches Verfahren“ [19] durchgeführt. Diese sind aber für die Messung und Analyse von nanoskaligen Fasern nur bedingt geeignet. Das Probenahmevolumen und die Probenahmedauer wurde unter Berücksichtigung der Staubkonzentrationen vor Ort so gewählt, dass die analytische Nachweisgrenze nach Möglichkeit unter 10000 F/m³ liegt. Daraus resultieren allerdings sehr lange Probenahmezeiten, die meist nicht mit der Tätigkeit korrespondieren und personengetragen auch nicht durchführbar sind. Daher wurde neben einer Expositionsmessung besonderes Augenmerk auf eine mögliche Konzentration der freigesetzten Partikel an der Quelle gelegt, unter der Annahme, dass die Konzentration zur Person hin im räumlichen (Abstand > 1m) und vor allem zeitlichen Verlauf (3 Tage Messung an der Quelle versus 3 Stunden Tätigkeit der Person im Raum) abnimmt. Diese Idee wird u.a. in dem 2015 begonnenen und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekt nanoGRAVUR<sup>1</sup> weiter verfolgt. Ein weiterer wichtiger Schritt war, dass für die Informationsermittlung der Gefahrstoff zunächst als Nanoobjekt gemäß der Norm ISO/TS 80004-2:2015 „Nanotechnologies – Vocabulary – Part 2: Nano-objects“ betrachtet wurde [20]. Entsprechend wurden alle Informationen zu nanoskaligen Fasern, die eine Größe von 1 bis 100 nm aufweisen und gezielt wegen ihrer besonderen Stoffeigenschaften hergestellt werden, berücksichtigt. Bei der Messung und Analyse wurde allerdings gemäß der Empfehlung der EU-Kommission zur Definition von Nanomaterialien alle nanoskaligen Partikel – also auch die natürlichen bei Prozessen anfallenden Partikel in ungebundenem Zustand, als Aggregat oder Agglomerat, berücksichtigt die in der Anzahlgrößenverteilung mindestens 50% ein oder mehrere Außenmaße im Bereich von 1 nm bis 100 nm haben. Darüber

<sup>1</sup> <http://www.nanopartikel.info/projekte/laufende-projekte/nanogravur>

hinaus berücksichtigen die beschriebenen Messungen auch Partikel über 100 nm, um ebenfalls Aggregate und Agglomeratenkleinerer Partikel mit zu erfassen. Anhand der langen Messdauer direkt an der Quelle und der Berücksichtigung von Aggregaten und Agglomeraten über 100 nm kann davon ausgegangen werden, dass sich die Beschäftigten bei sachgemäßem und vorsichtigem Umgang keiner Exposition aussetzen.

Da eine mechanische Beschädigung der MWCNT-Schicht bei unsachgemäßer Montage auftreten kann, und um eine daraus resultierende Exposition der Beschäftigten durch freigesetzte Fasern oder Faserbündel zu minimieren, wurden trotzdem Schutzmaßnahmen bei der Handhabung empfohlen. Als erste Maßnahme wurde vorgeschlagen, die Ränder beim Probenträger durch Hersteller/innen versiegeln zu lassen. Zudem wurde vorgeschlagen, dass die Montagearbeiten im Laborabzug und einen umschlossenen und abgesaugten Bearbeitungsbereich stattfinden sollen und eine Kapselung, z. B. durch einen geschlossenen Behälter, für den Transport des Trägermaterials vorzunehmen ist. Auch sollen die Beschäftigten bei den verbleibenden kurzen Tätigkeiten mit dem MWCNT-beschichteten Platten persönliche Schutzausrüstung (wie Atemschutz der Klassen P2/FFP2) tragen und entsprechend geschult werden. Entsprechende Betriebsanweisungen und Unterweisungen müssen erarbeitet werden.

## Fazit

Die BekGS 527 stellt eine praktische Hilfe für Unternehmen dar, die im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung auch Tätigkeiten mit nanoskaligem Material bewerten müssen. Für die Bewertung der Exposition von Fasern müssen allerdings einige Schritte ergänzt werden, vor allem die Analyse betreffend. Ist eine Substitution oder das Verhindern der Exposition gegenüber nanoskaligen Partikeln nicht möglich, können die aus der Begründung ableitbaren Beurteilungsmaßstäbe und die hier angewandte Mess- und Analysestrategie nach entsprechender fachkundiger Bewertung zur Beurteilung der Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen herangezogen werden. ■

## LITERATUR

- [1] Technische Regel für Gefahrstoffe 400 – Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen (TRGS 400). Ausgabe Dezember 2010, abgerufen am 20.9.2015: <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-400.html>
- [2] Bekanntmachung zu Gefahrstoffen 527 – Hergestellte Nanomaterialien (BekGS 527). Ausgabe Mai 2013, abgerufen am 20.9.2015: [http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/Bekanntmachung-527.html;jsessionid=285911BD4B11A46C3F29B7AE2A51F9A.1\\_cid333](http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/Bekanntmachung-527.html;jsessionid=285911BD4B11A46C3F29B7AE2A51F9A.1_cid333)
- [3] Nanostrukturierte Materialien – Gruppierung hinsichtlich Arbeits-, Verbraucher- und Umweltschutz und Risikominderung – nanoGRAVUR, abgerufen am 20.4.2017: <http://www.nanogravur.info/>
- [4] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) – DGUV Information 213-021 Nanomaterialien am Arbeitsplatz (bisher: BGI/GUV-I 5149). Ausgabe Mai 2010, abgerufen am 20.9.2015: [http://publikationen.dguv.de/dguv/udt\\_dguv\\_main.aspx?FDOCID=24987](http://publikationen.dguv.de/dguv/udt_dguv_main.aspx?FDOCID=24987)
- [5] U. Eickmann (2008) – Methoden der Ermittlung und Bewertung chemischer Expositionen an Arbeitsplätzen. ecomed-Medizin GmbH ISBN 978-3-609-16390-1
- [6] U. Eickmann, G. Halsen, A. Heinemann, W. Wegscheider (2013) – Chemische Gefährdungen im Gesundheitsdienst. ecomed-Medizin GmbH ISBN 978-3-609-10017-3
- [7] F. Pillar (2014) – Ausgewählte Berechnungsmodelle zur Beschreibung von Gefahrstoffexpositionen an Arbeitsplätzen. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft Ausgabe 10, Seite 411–420
- [8] G. Ramachandran, M. Ostraat, D. E. Evans, M. M. Methner, P. O'Shaughnessy, J. D'Arcy, C. L. Geraci, E. Stevenson, A. Maynard, K. Rickabaugh (2011) – A Strategy for Assessing Workplace Exposures to Nanomaterials, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 8: 673–685
- [9] M. Mattenklott, P. Thomas (2012) – Zählkriterien für Carbon Nanotubes und andere nanoskalige Partikel bei rasterelektronenmikroskopischer Auswertung. Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft Ausgabe 11/12, Seite 477–483
- [10] REACH Dossier EC number: 936-414-1 – Multi-Walled Carbon Nanotubes (MWCNT), synthetic graphite in tubular shape – abgerufen am 20.4.2017: <https://echa.europa.eu/registration-dossier/-/registered-dossier/13454>
- [11] DGUV Information 213-853 – Nanomaterialien im Labor Hilfestellungen für den Umgang (DGUV Information 213-853) zu beziehen bei Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger oder unter [www.dguv.de/publikationen](http://www.dguv.de/publikationen)
- [12] Institut für Arbeitsschutz der DGUV, Nanopartikel am Arbeitsplatz, Maßstäbe zur Beurteilung der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen (abgerufen am 20.12.2016) <http://www.dguv.de/ifa/Fachinfos/Nanopartikel-am-Arbeitsplatz/Beurteilungvon-Schutzma%C3%9Fnahmen/index.jsp>
- [13] Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) – Beurteilungsmaßstab für technisch gezielt hergestellte ultrafeine Stäube aus alveolengängigen granulären biobeständigen Stäuben ohne bekannte signifikante spezifische Toxizität (nanoskalige GBS) (A-Staub). Stand Mai 2015, abgerufen am 20.4.2017: [https://www.baua.de/DE/Aufgaben/Geschaeftsfuehrung-von-Ausschuessen/AGS/pdf/A-Staub.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.baua.de/DE/Aufgaben/Geschaeftsfuehrung-von-Ausschuessen/AGS/pdf/A-Staub.pdf?__blob=publicationFile&v=2)
- [14] Theocharious et al. (2014) The partial space qualification of a vertically aligned carbon nanotube coating on aluminium substrates for EO applications. *Optics Express*. DOI: 10.1364/OE.22.007290
- [15] Kingston et al. (2014) Release characteristics of selected carbon nanotube polymer composites. *Carbon*. DOI: 10.1016/j.carbon.2013.11.042
- [16] Poland et al. (2008) Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos-like pathogenicity in a pilot study. *Nature nanotechnology*. DOI: 10.1038/nnano.2008.111
- [17] NIOSH (2013) Current Intelligence Bulletin 65: Occupational Exposure to Carbon Nanotubes and Nanofibers. DHHS (NIOSH) Publication Number 2013-145
- [18] VDI 3492:2013-06 „Messen von Innenraumluftverunreinigungen, Messen anorganischer faserförmiger Partikel – rasterelektronenmikroskopisches Verfahren“ zu beziehen unter <http://www.beuth.de/de/technische-regel/vdi-3492/180189462?webservice=vdin>
- [19] DGUV Information 213-546 „Verfahren zur getrennten Bestimmung der Konzentrationen von lungengängigen anorganischen Fasern in Arbeitsbereichen – Rasterelektronenmikroskopisches Verfahren“ zu beziehen bei Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger oder unter [www.dguv.de/publikationen](http://www.dguv.de/publikationen)
- [20] ISO/TS 80004-2:2015 Nanotechnologies – Vocabulary – Part 2: Nano-objects zu beziehen unter <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:ts:80004-2:ed-1:v1:en>