

Vorkommen ultrafeiner Aerosole an Arbeitsplätzen

C. Möhlmann

1 Einführung

Bereits Mitte der 1990er Jahre gab es Erkenntnisse, dass ultrafeine Aerosole eine stärkere biologische Wirksamkeit aufweisen als eine gleiche Masse größerer Partikeln. Dies nahm die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) mit ihrer Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe (so genannte MAK-Kommission) zum Anlass, Ermittlungen hinsichtlich einer möglichen Gesundheitsgefährdung zu initiieren. Einen aktuellen Überblick zur Toxizität bietet [1] oder die Sammlung der Veröffentlichungen des International Council on Nanotechnology [2]. Die Berufsgenossenschaften nahmen diese Diskussion 1998 auf, indem sie ein Sondermessprogramm auflegten. Ziel war die Erhebung der aktuellen Expositionssituation gegenüber ultrafeinen Partikeln in der Luft an Arbeitsplätzen, bei denen diese Aerosole überwiegend als unerwünschte Nebenprodukte entstehen. Die Anzahl derartiger Arbeitsplätze ist weit höher als die in der Nanomaterialherstellung und -verarbeitung. Dieses Sondermessprogramm wird vom Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitsschutz – BGIA und dem Institut für Gefahrstoffforschung (IGF) der Bergbau-Berufsgenossenschaft in Zusammenarbeit mit den gewerblichen Berufsgenossenschaften durchgeführt. Mittlerweile wurden Ergebnisse in ca. 50 Betrieben mit mehr als 160 Arbeitsplätzen und Referenzstellen zusammengetragen. Erste Ergebnisse dieser Arbeiten beinhaltet [5]. Weitere Erfahrungen mit ultrafeinen Partikeln an Arbeitsplätzen sowie deren biologische Wirksamkeit wurden in verschiedenen Tagungen diskutiert. Eine Übersicht gibt [4].

2 Messmethoden

Um eine Vergleichbarkeit von Ergebnissen zu gewährleisten, werden Messkonventionen benötigt. Hierzu haben sich bereits 1998 zehn europäische Arbeitsschutzinstitute verständigt und eine Konvention zum Messen ultrafeiner Aerosole erstellt [5]. Als ultrafeines Aerosolteilchen wird ein Teilchen bezeichnet, dessen Mobilitäts-Äquivalentdurchmesser bei $< 0,1 \mu\text{m}$ liegt. Dabei möchte man nicht nur solche Teilchen bestimmen, die kleiner als $0,1 \mu\text{m} = 100 \text{ nm}$ sind, also im Wesentlichen Primärpartikeln, sondern auch deren Agglomerate und Aggregate, die ebenso luftgetragen sind. Der zu messende Partikelgrößenbereich sollte von ca. 10 nm bis ca. 500 nm reichen. Die Anzahlkonzentrationen, die an Arbeitsplätzen zu finden sind, bewegen sich zwischen wenigen tausend Partikeln pro cm^3 bis zu etwa 10^8 pro cm^3 . Die Teilchengröße wird bei Messungen nach dem Mobilitäts-Äquivalentdurchmesser bestimmt. Geeignete Messgeräte sind die so genannten Differential Mobility Analyser (DMA), die in der Ausführung als scannende oder sequentielle Analytoren erhältlich sind.

Dipl.-Phys. Carsten Möhlmann,

Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA,
Sankt Augustin.

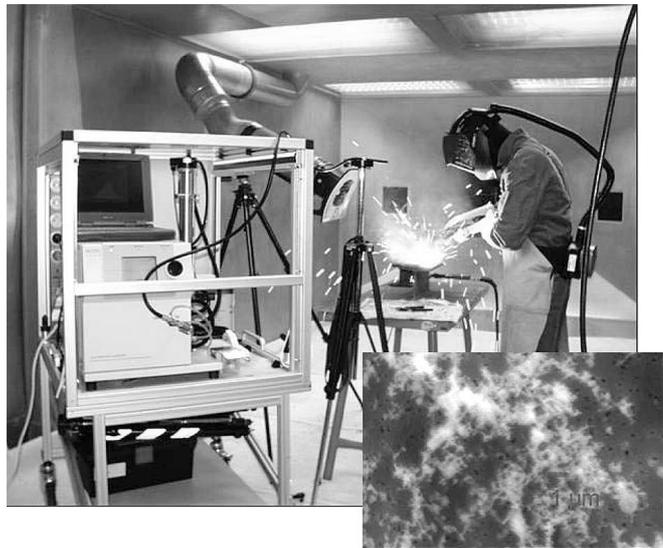


Bild 1. Messungen ultrafeiner Partikeln am Arbeitsplatz und Schweißrauch-aerosole.

Das BGIA nutzte einen Scanning Mobility Particle Sizer (abgekürzt SMPS) der Fa. TSI (3081 mit CPC 3025). Ein Messdurchgang zur Aufnahme eines vollen Partikelspektrums im Bereich von 14 bis 673 nm dauert ca. 3 min. Die Probenahme mit dem SMPS wurde in den meisten Fällen mit einem Probenahmeschlauch vorgenommen. Ein 2-Liter-Puffergefäß wurde, um temporäre Spitzen ausreichend zu mitteln, teilweise vorgeschaltet, wenn zeitlich variierende Konzentrationen vorlagen. Parallel wurden ein elfstufiger Niederdruck-Kaskadenimpaktor (AERAS LPI 25/0.018/2.0, Typ Berner, Fa. Hauke in Gmunden, Österreich) zur Erfassung der größenabhängigen Massenkonzentrationen sowie Probenahmegeräte zur Erfassung der einatembaren und alveolengängigen Staubfraktion eingesetzt. In Bild 1 ist das SMPS-System an einem Schweißereiarbeitsplatz zu sehen, im kleinen Teilbild Schweißrauch-aerosole beim CO_2 -Schutzgas-schweißen, die aus kettenförmigen Aggregaten von Primärpartikeln zusammengesetzt sind.

Ultrafeine Partikeln sind in der Regel Kondensationsprodukte aus chemischen oder thermischen Reaktionen. So sind sie überall anzutreffen, wo Rauche entstehen, also z. B. bei Verbrennungsvorgängen, beim Löten und Schweißen, bei Materialbearbeitungen mit Laserstrahlen, in Abgasen und in Metallrauchen. Bei solchen Prozessen entstehen zunächst Primärpartikeln in der Größe von einigen nm, aus denen sehr schnell, im Wesentlichen bereits in der Entstehungsphase, Aggregate durch Versintern und, auch zu späteren Zeitpunkten, Agglomerate durch Zusammenlagern entstehen können.

3 Ergebnisse

Aus der Vielzahl von untersuchten Arbeitsplätzen seien zwei näher dargestellt: das Schweißen und das Beladen von Flugzeugen. Die Partikelgrößenverteilungen beim Elektrodenhandschweißen von hoch legiertem Stahl sind in Bild 2 dar-

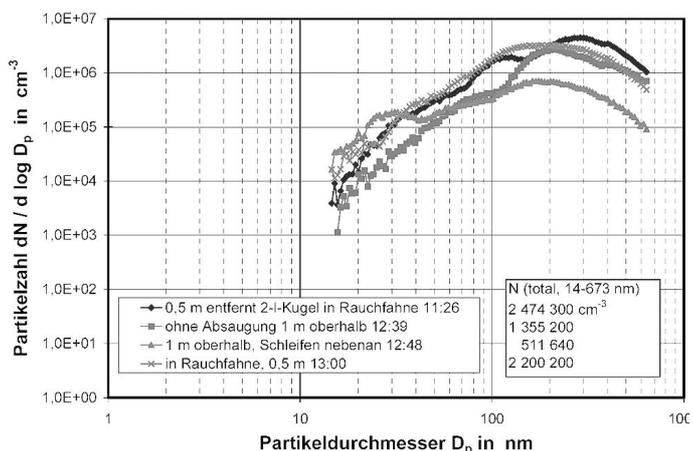


Bild 2. Partikelgrößenverteilung beim Elektrodenschweißen von hoch legiertem Stahl (Inconel 617), alle Messungen mit 2-Liter-Puffergefäß.

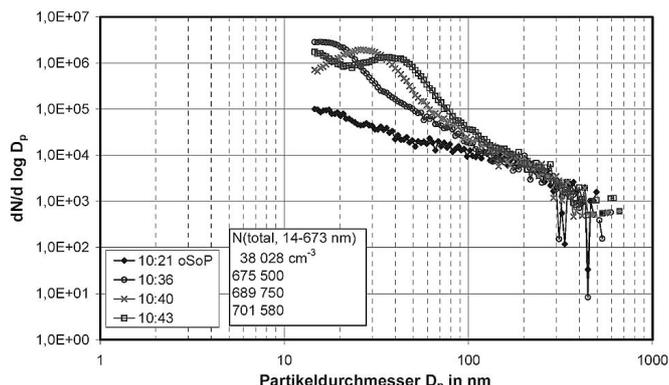


Bild 3. Ultrafeine Aerosole beim Beladen von Flugzeugen auf dem Standplatz, Flugzeugheck Boeing 737-500, APU-Betrieb Pos. A4; oS: ohne Probenahme-schlauch, oP: ohne Puffergefäß.

gestellt. Die häufigste Partikelgröße fand sich im Bereich zwischen 150 und 300 nm. Die Gesamtzahl der Partikeln im Messbereich von 14 bis 673 nm lag zwischen 512 000 und 2 500 000 Partikeln pro cm^3 . Die Massenkonzentration der einatembaren Staubfraktion betrug $1,06 \text{ mg/m}^3$.

In Tabelle 1 sind weitere Schweiß- und Lötverfahren aufgeführt und für das Vorkommen der ultrafeinen Aerosole die entsprechenden Anzahlkonzentrationsbereiche sowie die häufigsten Partikelgrößen (umfassen Median- und Modalwerte) angegeben.

Das zweite Beispiel, das Beladen von Flugzeugen auf dem Vorfeldstandplatz, ergab in ca. 10 m Entfernung vom Heck einer Boeing 737-500 überwiegend sehr kleine Partikeln. Die Emissionen stammen von der Heckturbine, die die Spannungsversorgung im Flugzeug gewährleistet. Die gemessenen Verteilungen in Bild 3 erfassen teilweise nicht mehr die Spitze der Verteilung, die in einigen Fällen bei Partikelgrößen unterhalb von 15 nm zu liegen scheint. Im Verlauf der Arbeiten veränderte sich das Maximum der Verteilung innerhalb des Bereichs unterhalb von 40 nm.

Die Gesamtanzahlkonzentrationen lagen zwischen ca. 38 000 und 700 000 Partikeln pro cm^3 . Die Massenkonzentrationen der alveolengängigen und einatembaren Staubfraktionen lagen bei $0,07 \text{ mg/m}^3$ und weniger.

Weitere Arbeitsplätze, an denen prozessbedingt als Nebenprodukt ultrafeine Partikeln entstehen, sind durch unterschiedlich hohe Anzahlkonzentrationen und verschieden große Partikeln charakterisiert. Tabelle 2 enthält eine Auswahl der untersuchten Arbeitsplätze. In unbelasteten Bereichen finden sich Konzentrationen bis zu ca. 10 000 Partikeln pro cm^3 mit unspezifischer Größenhäufung. Häufiger sind Gesamtkonzentrationen im Bereich einiger 100 000 Par-

Tabelle 2. Vorkommen ultrafeiner Aerosole an verschiedenen Arbeitsplätzen.

Verfahren	Gesamtkonzentration im Messbereich von 14 bis 673 nm	Maximum der Anzahlverteilung
	Partikel/ cm^3	
Außenluft, Büro	bis ca. 10 000	--
Siliciumschmelze	100 000	280 bis 520
Metallschleifen	bis 130 000	17 bis 170
Weichlöten	bis 400 000	36 bis 64
Plasmabrennschneiden	bis 500 000	120 bis 180
Bäckerei	bis 640 000	32 bis 109
Flughafenvorfeld	bis 700 000	< 45
Hartlöten	54 000 bis 3 500 000	33 bis 126
Schweißen	100 000 bis 40 000 000	40 bis 600

tikeln pro cm^3 anzufinden. Das höchste Vorkommen mit $4 \cdot 10^8$ Partikeln pro cm^3 wurde im Bereich einer Schweißrauchfahne ermittelt.

4 Schlussfolgerungen

Anhand der vorgestellten Beispiele aus der Arbeitswelt zeigt sich, dass nicht nur die Konzentrationen, sondern auch die Teilchengrößenverteilungen im Submikronbereich von Arbeitsverfahren und von den Bedingungen am Arbeitsplatz beeinflusst werden und nicht unerheblichen zeitlichen Schwankungen unterliegen können. Die Gesamtkonzentrationen im Messbereich von 14 bis 673 nm bewegen sich dabei über vier Größenordnungen. Im unbelasteten Bereich

Tabelle 1. Vorkommen ultrafeiner Aerosole bei Schweiß- und Lötverfahren.

Verfahren	Anzahlkonzentration in cm^{-3}	Median-/Modalwert in nm
WIG CrNi (ohne Absaugung)	10^5 bis 10^6	60 bis 100
Leicht verölte Werkstoffoberfläche	$5,5 \cdot 10^6$ bis $8,5 \cdot 10^6$	100 bis 150
MAG (ohne Absaugung)	10^5 bis 10^6	75 bis 100
MAG (mit Absaugung)	$2 \cdot 10^4$ bis 10^5	70 bis 170
Handlöten (mit Absaugung)	25 000 bis 70 000	40 bis 65
Handlöten in Rauchfahne	450 000	50 bis 55

MAG = Metall-Aktivgas-Schweißen, WIG = Wolfram-Inertgas-Schweißen

liegen sie unterhalb von 10 000 Partikeln pro cm^3 , im Bereich von Schweißrauchfahnen können sie mehrere zehn Millionen Partikeln pro cm^3 betragen. Für ultrafeine Aerosole gibt es derzeit keine gesonderten Grenzwerte. Als arbeitshygienische Grenzwerte sind die Schichtwerte und Kurzzeitwerte bekannt. Ob solche Überlegungen auch für den submikronen Bereich anzustellen sind und wie sie aussehen sollen, muss zukünftig untersucht werden. Außerdem werden zur messtechnischen Überwachung von Arbeitsplätzen Hinweise dafür benötigt, wie die partikelgrößenabhängige Wirkungsfunktion anzusetzen ist, um dann nach Möglichkeit kleine, leichte und einfache Messgeräte für Expositionsmessungen entwickeln zu können. Bis dahin werden die Berufsgenossenschaften gemeinsam mit dem BGIA im Rahmen von Schwerpunktprogramm ähnlich der dargelegten Vorgehensweise Messdaten für verschiedene Industriezweige und Arbeitsverfahren ermitteln und der toxikologischen sowie der arbeitsmedizinischen Forschung zur Verfügung stellen. Ergänzend müssen Schutzmaßnahmen gegenüber ultrafeinen Partikeln im Atem- und Hautschutz festgelegt werden, die auch bei zukünftigen Anwendungen von Nanomaterialien eine sichere Arbeit ermöglichen.

Literatur

- [1] Oberdörster, G.; Oberdörster, E.; Oberdörster, J.: Nanotoxicology: An emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environm. Health Perspect.* 113 (2005) Nr. 7, S. 823-839.
- [2] Research summaries. Hrsg.: International Council on Nanotechnology. <http://icon.rice.edu/research.cfm>
- [3] Riediger, G.; Möhlmann, C.: Ultrafeine Aerosole an Arbeitsplätzen – Konventionen und Beispiele aus der Praxis. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 61 (2001) Nr. 10, S. 429-434.
- [4] BIA-Workshop „Ultrafeine Aerosole an Arbeitsplätzen“. BIA-Report 7/2003. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 2003. www.hvbg.de/bgia, Webcode: 665285.
- [5] Riediger, G.: Ultrafeine (Aerosol)-Teilchen und deren Agglomerate und Aggregate (Kennzahl 0412/5). 21. Lfg. X/98. In: BGIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA, Sankt Augustin. Bielefeld: Erich Schmidt 1989 – Losebl.-Ausg. www.bgia-arbeitsmappedigital.de/d/0412/s/5/inhalt.html