



## Gesundheitsschutz beim Schweißen

### Aktuelle Herausforderungen

Martin Lehnert, Wolfgang Zschiesche, Anne Lotz, Thomas Behrens, Thomas Brüning

Je nach Schweißverfahren und verarbeitetem Material stellt die Einhaltung aktueller Arbeitsplatzgrenzwerte, insbesondere festgelegt für Mangan, in der Praxis eine Herausforderung dar. Deshalb sind konkrete Empfehlungen notwendig, wie durch geeignete Präventionsmaßnahmen Expositionen gegenüber luftgetragenen Gefahrstoffen minimiert werden können. Innovative Varianten des Schweißprozesses und eine Optimierung in der Absaugtechnik können dabei einen wichtigen Beitrag leisten.

#### Neubewertung der Kanzerogenität von Schweißrauch

Im Jahr 2018 bewertete die Internationale Krebsagentur (IARC) Schweißrauche als krebserregend für Menschen (Gruppe 1). Damit änderte sie die bisherige Einstufung als möglicherweise krebserregend (Gruppe 2B) (IARC, 2018). Diese Höherbewertung macht es erforderlich, die Exposition von weltweit etwa elf Millionen Schweißern und weiteren 110 Millionen Beschäftigten zu minimieren, die gelegentlich schweißen oder als „Bystander“ ebenfalls Schweißrauchen ausgesetzt sind. „Bystander“ sind Beschäftigte, die nicht direkt in den Arbeitsvorgang involviert sind, aber im gleichen Raum arbeiten und damit auch gegenüber dem entsprechenden Gefahrstoff exponiert sein können. Da die IARC nicht weiter nach Werkstoffen und Schweißtechniken differenziert, gilt diese Einstufung sowohl für die Verarbeitung von niedriglegiertem Baustahl als auch von so genannten Edelstählen mit größeren Legierungsanteilen von Chrom und Nickel. Beide Metalle gelten in bestimmten Oxidationsstufen oder chemischen Verbindungen als krebserregend. Die Einstufung betrifft darüber hinaus auch alle anderen Werkstoffe, wie zum Beispiel Aluminiumlegierungen und Nickelbasis-Werkstoffe. Auch im Hinblick auf die eingesetzten schweißtechnischen

Verfahren nimmt die IARC keine Spezifizierung oder Eingrenzung vor, so dass neben dem Lichtbogenschweißen auch andere Verfahren als humankanzerogen eingestuft sind wie das Gasschweißen (Autogenvverfahren).

#### Einhaltung von Grenzwerten in der Praxis

Da es sich bei Schweißrauchen um komplexe Stoffgemische handelt, sind bei der Bewertung der Exposition verschiedene Arbeitsplatzgrenzwerte zu berücksichtigen (siehe Info-Kasten).

Beim Stahlschweißen bereitet die Einhaltung der Grenzwerte für Mangan in der Praxis oft große Schwierigkeiten. Mangan ist bei den meisten Stahlsorten ein notwendiger Legierungsbestandteil, der bereits bei geringeren Temperaturen als andere im Stahl enthaltene Metalle verdampft.

Der Empfehlung der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe – kurz MAK-Kommission – folgend, wurde der Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) für Mangan im Jahr 2011 auf eine Konzentration von 0,02 mg/m<sup>3</sup> (20 µg/m<sup>3</sup>) für die A-Staub-Fraktion festgelegt, also den Anteil, der Alveolen (Lungenbläschen) und Bronchien errei-

## Kurz gefasst

chen kann. In der einatembaren Staubfraktion, auch E-Staub genannt, darf ein Schichtmittelwert von  $0,2 \text{ mg/m}^3$  Mangan ( $200 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ ) nicht überschritten werden. Zuvor galt hier ein AGW von  $0,5 \text{ mg/m}^3$  ( $500 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ ) für alle Fraktionen. Mangan hat in hohen Konzentrationen neurotoxische Effekte auf das Zentralnervensystem. So wurden nach einer mehrjährigen inhalativen Aufnahme von Mangan in der Vergangenheit insbesondere im Bereich der Mangangewinnung und -verarbeitung neuromotorische Störungen – vermutlich durch die Schädigung von dopaminergen Nerven der Basalganglien – beobachtet, die einer Parkinsonerkrankung ähneln (Aschner et al. 2009). Diese Erkrankung wurde bereits 1964 als BK-Nr. 1105 „Erkrankungen durch Mangan oder seine Verbindungen“ in die Liste der Berufskrankheiten aufgenommen. Die Zahl der Verdachtsanzeigen stagniert seit Jahren auf einem niedrigen Niveau. Neue Berufskrankheiten als Folge einer Mangan-Exposition wurden in Deutschland in den letzten Jahren weder bei Schweißern noch bei anderen Berufsgruppen anerkannt (BMAS 2018).

Ob die begrenzte Studienlage bezüglich gesundheitlicher Gefährdungen durch geringe Expositionen einen derart niedrigen Arbeitsplatzgrenzwert rechtfertigt, wurde von uns bereits an anderer Stelle diskutiert (Behrens et al. 2018). Dabei haben wir auf deutliche methodische Schwächen der Studie hingewiesen, mit der die Grenzwertabsenkung hauptsächlich begründet wurde (Bast-Pettersen et al. 2004). Außerdem wurde von uns der Vorschlag zur Diskussion gestellt, den Grenzwert für Mangan in alveolengängigem Schweißrauch auf  $100 \text{ }\mu\text{g/m}^3$  anzuheben.

Dieser Vorschlag steht auch in Einklang mit den Forschungsergebnissen des IPA. In der WELDOX II-Studie wurden Tests zur neuromotorischen Leistungsfähigkeit sowie einer Magnetresonanztomographie zur Identifizierung intrazerebraler

- Je nach Schweißverfahren stellen aktuelle Arbeitsplatzgrenzwerte eine große Herausforderung in der Praxis dar.
- In einer Pilotuntersuchung wurde geprüft, ob unter Einsatz aktueller Technik zur Schweißrauchabsaugung Grenzwerte sicher eingehalten werden können.
- Die Einhaltung geltender AGW, insbesondere für Mangan, war beim Einsatz stark Partikel-emittierender Schweißverfahren nur unzureichend möglich.
- Um die Exposition zu minimieren, sind die Entwicklung und der Einsatz innovativer Schweißverfahren, Prozessvarianten und Absaugtechniken sowie die Optimierung von Produktionsabläufen und verstärkte Schulungen der Schweißer erforderlich.

Veränderungen durchgeführt. Insgesamt wurden 161 Männern im Alter zwischen 44 und 75 Jahren – darunter auch 50 aktive – Schweißer untersucht. In der Gruppe der aktiven Schweißer waren die Manganspiegel im Blut im Mittel etwas höher als bei nicht schweißenden Gesunden und ehemaligen Schweißern (Pesch et al. 2017). Der per Magnetresonanztomographie ermittelte Gehalt von Mangan oder Eisen in zentralen Hirnstrukturen unterschied sich in beiden Gruppen nicht. Veränderte Konzentrationen von Botenstoffen im Gehirn, die bei den Symptomen der Parkinsonschen Erkrankung eine wesentliche Rolle spielen, konnten ebenfalls nicht nachgewiesen werden (Casjens et al. 2017). Hinweise auf neurologische oder motorische Defizite bei Schweißern fanden sich nicht (van Thriel et al. 2017). Geringe Unterschiede der neuromotorischen Leistungsfähigkeit in einzelnen Teilaufgaben konnten nicht mit der Exposition in Verbindung gebracht werden.

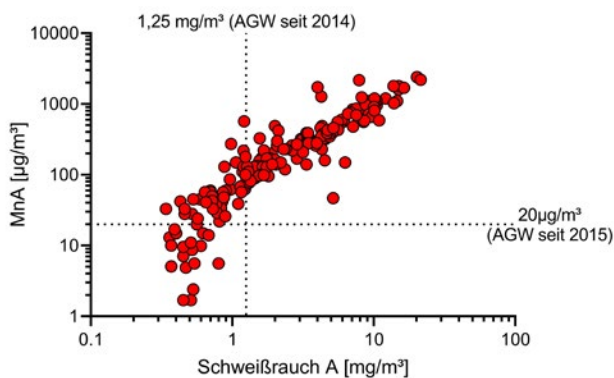
In der WELDOX I-Studie wurden oxidative und gentoxische Effekte durch Schweißrauch bei 243 Schweißern untersucht. Die Konzentration an alveolengängigem Mangan von  $20 \text{ }\mu\text{g/m}^3$  – dem heute geltenden Arbeitsplatzgrenzwert – wurde damals bei 65 Prozent der untersuchten Schweißer überschritten.

Bei dem am häufigsten verwendeten MAG-Schweißverfahren wurde der Wert selbst bei vorhandener Absaugung in über 80 Prozent der Messungen überschritten. An zwei von drei MAG-Arbeitsplätzen wurde auch in der WELDOX I-Studie der aktuell gültige allgemeine Staubgrenzwert für die alveolengängige Fraktion von  $1,25 \text{ mg/m}^3$  überschritten. Im Atembereich der Schweißer zeigte sich dabei eine enge Korrelation zwischen der Mangankonzentration und der Partikelmasse (Abb. 1) (Lehnert et al. 2012).

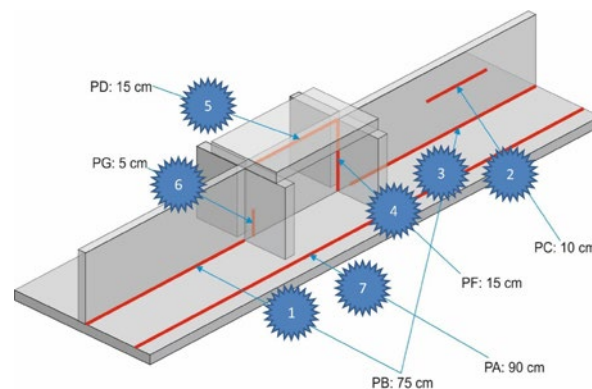
### Relevante Grenzwerte für Expositionen an Schweißplätzen

- Einatembarer (E-) Staub (E) =  $10 \text{ mg/m}^3$  (AGW)
- Alveolengängiger (A-)Staub (A) =  $1,25 \text{ mg/m}^3$  (AGW)
- Mn(E):  $0,2 \text{ mg/m}^3 = 200 \text{ }\mu\text{g/m}^3$  (AGW)
- Mn(A):  $0,02 \text{ mg/m}^3 = 20 \text{ }\mu\text{g/m}^3$  (AGW)
- Cr-Metall/(II)/(III)(E):  $2 \text{ mg/m}^3 = 2000 \text{ }\mu\text{g/m}^3$  (AGW)
- Cr(VI)(E):  $0,001 \text{ mg/m}^3 = 1 \text{ }\mu\text{g/m}^3$  (Beurteilungsmaßstab)
- Ni(E):  $0,03 \text{ mg/m}^3 = 30 \text{ }\mu\text{g/m}^3$  (AGW)
- Ni-Metall(A):  $0,006 \text{ mg/m}^3 = 6 \text{ }\mu\text{g/m}^3$  (AGW)
- Ni-kanzerogene Verbindungen (A):  $0,006 \text{ mg/m}^3 = 6 \text{ }\mu\text{g/m}^3$  (Akzeptanzkonzentration; gleichzeitig AGW-analoger Wert und Toleranzkonzentration)

INFO



**Abb. 1:** Messwerte aus personengetragenen Messungen von alveolengängigem Schweißrauch (A) und Mangan im Schweißrauch (MnA). Angegeben sind die derzeit geltenden Arbeitsplatzgrenzwerte für Schweißrauch (A) ( $1,25 \text{ mg/m}^3$ ) und MnA ( $20 \mu\text{g/m}^3$ )



**Abb. 2:** Musterbauteil (Länge: 165 cm; Höhe: je nach Blechstärke 15,5–17 cm). In einer fest vorgegebenen Reihenfolge wurden Kehlnähte zur Verbindung der Einzelbleche horizontal und vertikal (steigend/fallend) sowie Auftragsschweißungen angefertigt.

Aufgrund dieser Studienergebnisse, aber auch aus täglichen Beobachtungen der Präventionsdienste der Unfallversicherungsträger, erhält die Frage zunehmende Bedeutung, ob und wie die Grenzwerte beim Schweißen überhaupt eingehalten werden können, insbesondere dann, wenn dicke Bleche mit hohen Stromstärken bei hieraus resultierenden besonders hohen Emissionen geschweißt werden. Denn selbst bei ordnungsgemäßem Einsatz von Absaugvorrichtungen und günstiger Positionierung des Schweißers zum Lichtbogen ist die Exposition oft nicht ausreichend zu kontrollieren und macht persönliche Atemschutzausrüstung erforderlich (z. B. belüftete Schweißhaube/Schweißhelm). Diese kann den Schweißer schützen, verhindert aber in der Regel nicht die Belastung von Bystandern (Pesch et al. 2012). Die Neufassung der TRGS 528 „Schweißtechnische Arbeiten“ gibt differenzierte Empfehlungen für die Betriebe, die eine Reduzierung der Exposition auf ein Niveau unterhalb des Arbeitsplatzgrenzwerts möglich machen. Besonderes Interesse gilt dabei der Schweißrauchabsaugung direkt am Schweißbrenner – der so genannten brennerintegrierten Absaugung.

### Pilotstudie zur Erfassung von Expositionsbedingungen beim Schweißen

Gemeinsam mit der BG Holz und Metall (BGHM), der BG Energie, Textil, Elektro, Medienerzeugnisse (BG ETEM) und dem Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA) hat das IPA im Rahmen der „InterWeld“-Studie zunächst eine Pilotuntersuchung unter experimentellen Bedingungen durchgeführt. Unter praxisnahen Bedingungen sollten technische Parameter identifiziert und bewertet werden, die besonders geeignet sind, Gefährdungen durch Schweißrauch zu verhindern und die Einhaltung geltender Arbeitsplatzgrenzwerte an realen Arbeitsplätzen in Industrie und Handwerk zu gewährleisten.

Untersucht wurden dabei Varianten der Schweißraucherfassung und der Schweißtechnik sowie Einflüsse des Materials auf Exposition und Emission von Gefahrstoffen beim handgeführten Schweißen von Stahlblechen. Für diese Pilotstudie wurde ein typischer Schweißplatz in der mechanischen Werkstatt des IFA nachgestellt. Experten der BGHM und BG ETEM legten eine Matrix von praxisgerechten Varianten fest, die hinsichtlich Emission und Immission miteinander verglichen werden sollten.

Bei der Messserie stellte ein Lehrschweißer einer schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalt unter weitgehend standardisierten Bedingungen jeweils ein vorgegebenes Musterbauteil in verschiedenen Blechstärken her. An diesen Bauteilen waren unterschiedliche Schweißnähte immer in derselben Reihenfolge anzubringen (s. Abb. 2). Jeder Einzelversuch wurde mit personengetragenen Gefahrstoffmessungen und stationären Messungen der Belastung der Hallenluft begleitet.

Die InterWeld-Pilotstudie bestätigt weitgehend die Beobachtungen der Präventionsdienste und die Ergebnisse der beiden Weldox-Studien in metallverarbeitenden Betrieben, dass eine Einhaltung geltender AGW insbesondere für Mangan auch unter konsequenter Anwendung der bisher vorhandenen technischen Möglichkeiten zur Expositionssenkung („Best Practice“) in Situationen mit hoher Schweißrauchemission nur unzureichend möglich ist. Zur Sicherstellung der Einhaltung von Grenzwerten sind deshalb weitere Anstrengungen erforderlich.

### Verbesserter Gesundheitsschutz an Schweißarbeitsplätzen

Vor diesem Hintergrund wurden im Rahmen eines Kolloquiums der BGHM zum Thema „Schweißrauche“ 2019 verschiedene Ansatzpunkte für eine Verbesserung der Expositionssituation an Schweißarbeitsplätzen entwickelt. Industrie und Forschungseinrichtungen stellten weitere technische Innovationen in Aussicht, mit denen Emissionsabsenkungen erreicht werden könnten. Dazu gehören zum Beispiel Varianten des Schweißprozesses, die dynamische Steuerung einer brennerintegrierten Absaugeinrichtung sowie emissionsmindernde Schutzgase und Schweißdrähte. Als erfolgversprechend wurde insbesondere eine längerfristig angelegte Kampagne angesehen, die alle relevanten Einflussfaktoren der Emissionsminderung sowie der Optimierung der Schweißraucherfassung umfassen soll. Dazu gehören auch organisatorische Maßnahmen einschließlich der gezielten Information und Unterweisung sowie eine eingehende Schulung

über technische Maßnahmen und Verhaltensweisen, um die Schweißrauchkonzentration im Arbeits- und Atembereich zu reduzieren. Hierzu sollen die Industrie, das Handwerk ebenso wie die Unfallversicherungsträger und die staatlichen Stellen des Arbeitsschutzes miteinbezogen werden.

Die Autoren:  
**Prof. Dr. Thomas Behrens**  
**Prof. Dr. Thomas Brüning**  
**Dr. Martin Lehnert**  
**Dipl.-Stat. Anne Lotz**  
**PD Dr. Wolfgang Zschiesche**  
 IPA

#### Literatur

Aschner M, Erikson KM, Herrero Hernández E, Tjalkens R. Manganese and its role in Parkinson's disease: from transport to neuropathology. *Neuromolecular Med* 2009; 11: 252–266. DOI: 10.1007/s12017-009-8083-0.

Bast-Pettersen R, Ellingsen DG, Hetland, Siri S, Thomassen Y. Neuropsychological function in manganese alloy plant workers. *Int Arch Occup Environ Health* 2004; 77: 277–287. DOI: 10.1007/s00420-003-0491-0.

Behrens T, Lehnert M, Zschiesche W, Taeger D, Pallapies D, Brüning T. Ableitung der Arbeitsplatzgrenzwertes für Mangan (MnA) bei Schweißarbeiten. *Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed* 2018; 53: 598–601.

Casjens S, Dydak U, Dharmadhikari S, Lotz A, Lehnert M, Quetscher C et al. Association of exposure to manganese and iron with striatal and thalamic GABA and other neurometabolites – Neuroimaging results from the WELDOX II study. *Neurotoxicol* 2017; 64: 60–67 DOI: 10.1016/j.neuro.2017.08.004.

International Agency for Research on Cancer. Welding, Molybdenum Trioxide, and Indium Tin Oxide. IARC Monograph 2018; 118; ISBN 978-92-832-0185-4.

Lehnert M, Pesch B, Lotz A, Pelzer J, Kendzia B, Gawrych K et al. Exposure to inhalable, respirable, and ultrafine particles in welding fume. *Ann Occup Hyg* 2012; 56: 557–567. DOI: 10.1093/ann-hyg/mes025.

Pesch B, Dydak U, Lotz A, Casjens S, Quetscher C, Lehnert M et al. Association of exposure to manganese and iron with relaxation rates R1 and R2\*- magnetic resonance imaging results from the WELDOX II study. *Neurotoxicol* 2017; 64: 68–77 DOI: 10.1016/j.neuro.2017.08.008.

Pesch B, Weiss T, Kendzia B, Henry J, Lehnert M, Lotz A et al. Levels and predictors of airborne and internal exposure to manganese and iron among welders. *J Expo Sci Env Epid* 2012; 22: 291–298. DOI: 10.1038/jes.2012.9.

van Thriel C, Quetscher C, Pesch B, Lotz A, Lehnert M, Casjens S et al. Are multitasking abilities impaired in welders exposed to manganese? Translating cognitive neuroscience to neurotoxicology. *Arch Toxicol* 2017; 91: 2865–2877. DOI: 10.1007/s00204-017-1932-y.