

Version April 2013

Factsheet

Gesundheitliche Gefährdung durch Schweißen

Dr. med. Dr. sc. nat. Michael Koller

Dr. med. Marcel Jost

PD Dr. med. David Miedinger, PhD

Dr. med. Klaus Stadtmüller

dipl. chem. FH Markus Blättler

In der Schweiz arbeiten über 25'000 Schweißer und eine grosse Anzahl Beschäftigte, welche sporadisch schweisstechnische Arbeiten ausführen. Sie sind verschiedenen gesundheitlichen Gefährdungen ausgesetzt. Hierzu gehören Rauche, Stäube, Dämpfe und Gase, Lärm, Strahlung, elektromagnetische Felder, Vibrationen, hohe Temperaturen oder Zwangshaltungen. In der Publikation "Schweißen und Schneiden" der Suva [Bestellnummer 44053] werden die verschiedenen Schweiß- und Schneidverfahren und die entsprechenden Schutzmassnahmen aus Sicht der Technik und Arbeitshygiene vorgestellt. In diesem Factsheet werden die entsprechenden gesundheitlichen Störungen besprochen.

1. Übersicht über die wichtigsten Schweiß- und Schneidverfahren

Unter Schweißen und verwandten Prozessen versteht man das Zusammenfügen, Trennen oder das Beschichten metallischer Werkstoffe unter Anwendung von Wärme oder Druck mit oder ohne Zusatzwerkstoffe (Draht- oder Stabelektrode, Lot, Schweißpulver). Die Wärme stammt beispielsweise von einer Brenngas-Sauerstoffflamme oder von elektrischem Strom, wobei bei letzterem zwischen dem Metallstück und der Elektrode ein Lichtbogen entsteht. Insgesamt existieren etwa 140 genormte Schweißprozesse.

Die Grundwerkstoffe werden in Eisen- und Nichteisenwerkstoffe eingeteilt. Die Eisenwerkstoffe (oder Stähle¹) können unlegiert, niedriglegiert oder hochlegiert sein. Die hochlegierten

¹ Stahl ist gemäss DIN EN 10020 ein Werkstoff, dessen Massenanteil an Eisen grösser ist als der jedes anderen Elements, dessen Kohlenstoffgehalt im allgemeinen kleiner als 2 Gew.-% C ist. Ist der Kohlenstoffanteil höher, spricht man von Gusseisen. Ist der Reinheitsgrad eines Stahls besonders hoch, spricht man von Edelstahl. Im Alltag werden oft auch rostfreie Stähle als Edelstahl bezeichnet.

Stähle enthalten in der Summe mehr als 5% Legierungselemente, in erster Linie sind dies Chrom, Nickel und Mangan, seltener Silizium, Kupfer, Wolfram, Molybdän oder Titan.

Pressschweissen

Beim Pressschweissen werden die metallischen Werkstoffe unter Druck und allenfalls örtlich begrenzter Wärme zusammen gefügt. Es werden meistens keine Schweisszusätze gebraucht. Hierzu gehört zum Beispiel Widerstandspunktschweissen und Reibschweissen.

Schmelzschweissen

Beim Schmelzschweissen werden die Berührungsstellen der zu vereinenden Metallteile bis in den Schmelzbereich erwärmt und miteinander verbunden, meistens unter Zuhilfenahme eines artgleichen Zusatzwerkstoffs. Die bekanntesten Verfahren sind das Lichtbogenhandschweissen mit Stabelektroden (LBH), Metall-Aktivgasschweissen (MAG), Metall-Inertgasschweissen (MIG/TIG), Wolfram-Inertgasschweissen (WIG), Unterpulverschweissen, Laserschweissen, Autogenschweissen (Gas- und Flammgeschweissen) und das Plasmaschweissen.

Löten

Beim Löten werden metallische Werkstücke mit Hilfe eines geschmolzenen Zusatzmetalles verbunden. Die Grundwerkstoffe werden vor dem Fügen benetzt, ohne selbst geschmolzen zu werden. Ausserdem können Flussmittel und/oder Lötenschutzgase verwendet werden. Man unterscheidet das Weichlöten und das Hartlöten. Beim Weichlöten bestehen die Lote aus Legierungen Zinn, Zink, Cadmium und Antimon, früher auch Blei. Beim Hartlöten sind die Lote Kupfer- und Silberlegierungen. Die Rauche beim Löten sind von den eingesetzten Flussmitteln und den Loten abhängig.

Schneiden

Bei diesem thermischen Trennverfahren wird der Werkstoff durch gebündelte Gasstrahlen geschmolzen und getrennt. Es gibt zwei Verfahrenstechniken, nämlich die Autogentechnik wie beispielsweise das Brennschneiden und die Lichtbogenschneidetechnik wie zum Beispiel das Laserschneiden oder das Plasmaschneiden. Beim thermischen Schneiden besteht der Rauch grundsätzlich aus dem Grundwerkstoff. Die Einzelpartikel sind grösser als beim Schweissen und nur teilweise alveolengängig.

2. Die wichtigsten gesundheitsgefährdenden Stoffe beim Schweissen

Beim Schweissen entstehen abhängig vom Schweissverfahren verschiedene Rauche, Stäube, Dämpfe und Gase mit unterschiedlichen Inhaltsstoffen. Insgesamt befinden sich über 40

chemische Stoffe in den Rauchen und Gasen. Die Schadstoffe stammen vom verarbeiteten Material selbst, welches in Form von metallischen Partikeln oder Derivaten der Metalle (beispielsweise Oxide) in die Luft gelangt, den Zusatzwerkstoffen (Elektroden, Schweisstäbe, Lot, Schweisspulver etc.) oder sie rühren von der Beschichtung wie Lacken oder metallischen Überzügen oder dem Reinigungsmittel her. Zu beachten sind auch die Hilfsstoffe (Brenn- und Schutzgase, Flussmittel etc.).

Rauch

Die wichtigste Quelle des Schweisstrauchs sind die Zusatzwerkstoffe. Der Rauch entsteht einerseits durch Kondensation und Oxidation der Metalle in der Dampfphase, andererseits durch unvollständiges Verbrennen organischer Materialien wie dem Schweisszusatz oder der Beschichtung.

Gase und Dämpfe

Gasförmige Schadstoffe haben ihren Ursprung in den Brenngasen, der Luft, den Beschichtungsmaterialien oder Verunreinigungen. Beispiele von gasförmigen Schadstoffen sind Ozon, Kohlenmonoxid, Stickoxide, Chlorwasserstoff oder Aldehyde. Bei Gasen muss auch die Brand- und Explosionsgefahr sowie die Erstickungsgefahr wegen Kohlendioxid, Stickstoff oder Argon in die Beurteilung miteinbezogen werden.

Stäube

Die Einzelpartikel beim Schweißen, Schneiden und Löten haben einen Durchmesser von 0,01 bis 1 µm und sind damit alveolengängig (**a-Staubfraktion**). Schweißer sind solchen Partikeln, insbesondere solchen mit einem Durchmesser < 0,1 µm (ultrafeine Partikel), stärker ausgesetzt als andere Berufsgruppen. Die Partikel sind in der Regel beim Schweißen kleiner als beim Schneiden. Eine Ausnahme stellt das Laserschneidverfahren dar, wo vor allem Ultrafeinpartikel entstehen.

Ein kleiner Teil der Schweisstrauche gehören - in agglomerierter Form - zur einatembaren Staubfraktion (**e-Staub**). Solch grosse Partikel mit bis zu 100µm Teilchengrösse können zum Beispiel beim thermischen Schneiden oder thermischen Spritzen entstehen.

Beim Schweißen sind die Staubbelastungen von verfahrens- und werkstoffspezifischen Faktoren abhängig: Das LBH-Schweißen weist die höchste Emissionsrate aller Schweissverfahren auf, das WIG- und das Plasmaschweißen zeigt die niedrigste Raumentwicklung. Durch geeignete arbeitshygienische Massnahmen wie Absaugvorrichtungen können die Staubbelastungen stark reduziert werden [Pesch: WELDOX-Studie].

Eine Zusammenstellung der wichtigsten Schadstoffe, die bei den einzelnen Verfahren entstehen, findet sich in Tabelle 1:

Verfahren	Grundwerkstoff	Leitkomponenten	
LBH (Lichtbogenhand- schweissen)	<ul style="list-style-type: none"> - Höchste Emissionsrate aller Schweißverfahren - 95% des Schweißrauchs stammt aus dem Zusatzwerkstoff - Besteht aus Oxiden (Fe, Mn, Na, K, Si, Ca, Cr, Ni, Mg, Ti) und Fluoriden 		
	un-/niedriglegiert	a-Staub	
	Chrom-Nickel-Stahl	a-Staub Ni (unlöslich)-Verbindungen Cr(VI)-Verbindungen	
	Gusseisen	a-Staub Ni (unlöslich)-Verbindungen	
MAG			
(Metall- Aktivgasschweissen)	<ul style="list-style-type: none"> - Weniger Rauch als bei LBH - Besteht v.a. aus Fe-Oxiden, ausserdem Ni- und Mn-Oxiden und Cr(III) bei hochlegierten Stählen - Gase: Kohlenmonoxid und evt. Ozon 		
	un-/niedriglegiert	a-Staub Mangan evt. CO	
	Chrom-Nickel-Stahl	a-Staub Ni (unlöslich)-Verbindungen Cr(VI)-Verbindungen	
MIG			
(Metallschweissen mit inerten Gasen)	<ul style="list-style-type: none"> - Weniger Rauch als bei LBH - Ozon bei gewissen Aluminiumwerkstoffen - Cave Cr und Ni bei hochlegierten Zusätzen 		
	un-/niedriglegiert	a-Staub evt. Cu	
	Chrom-Nickel-Stahl, Nickel(legierungen)	a-Staub Ni (unlöslich)-Verbindungen Ozon	
	Aluminiumwerkstoffe	Ozon a-Staub	
WIG/TIG			
(Wolfram-	<ul style="list-style-type: none"> - Niedrigste Rauchemission aller Schweißverfahren - Bildung von Ozon bei Al-Si-Legierungen 		

Inertgasschweissen)			
	un-/niedriglegiert, Aluminiumwerkstoffe	Ozon a-Staub	
	Chrom-Nickel-Stahl, Nickel(legierungen)	Ozon Ni (unlöslich)-Verbindungen	
Plasmaschweissen und -schneiden			
	<ul style="list-style-type: none"> - Geringe Rauchentwicklung beim Schweißen (ähnlich WIG), hohe Partikelemission beim Schneiden - Evt. Bildung von Chromaten und Stickstoffoxiden 		
	un-/niedriglegiert	a-Staub evt. Stickstoffdioxide	
	Chrom-Nickel-Stahl, Nickel(legierungen)	a-Staub Ni (unlöslich)-Verbindungen Stickstoffdioxid	
	Aluminiumwerkstoffe	Ozon a-Staub	
Laserschweissen und -schneiden			
	<ul style="list-style-type: none"> - Rauchentwicklung beim Schweißen ähnlich MAG, beim Schneiden ebenfalls grosse Staubmengen möglich - Bildung von Zn-Partikeln bei verzinktem Stahl - Oxide von Co bei Cobaltlegierungen, Oxide von Cu und Al bei Bronze-Aluminium-Stoffen - Cave Strahlung 		
	un-/niedriglegiert, verzinkter Stahl	a-Staub Zink	
	Chrom-Nickel-Stahl, Nickel(legierungen)	a-Staub Ni (unlöslich)-Verbindungen	
Widerstandspunkt-schweissen			
	Bei gefetteten oder beschichteten Blechen grössere Rauchmengen möglich (organische Stoffe)		
	diverse	a-Staub evt. Cu	
Gasschweissen Flammwärmen (Autogenverfahren)			
	<ul style="list-style-type: none"> - Meistens geringe Staubentwicklung (<1 mg/s) - Cave Kupferwerkstoffe, verzinkte und cadmierte Teil, farb- und kunststoffbeschichtete Teile 		
	Eisen und Stahl	Stickstoffdioxid	

Brennschneiden (Autogenverfahren)	- Erhebliche Rauch- und Staubentwicklung		
	Eisen und Stahl	a-Staub Stickstoffdioxid	
Löten			
	abhängig von Lotart und Flussmittel	a-Staub Stickstoffdioxid (Flammlöten) (Pb, Cd, Cu, Ni, Sn, Zn, Aldehyde, Colophonium, Chloride, Fluoride etc.)	

Tabelle 1 Schweisstechniken und die dabei entstehenden Rauche und Gase

Tabelle 2 gibt eine Zusammenfassung der Grenzwerte der wichtigsten beim Schweißen entstehenden Stoffe:

Stoff	Formel	MAK		Kurzzeit- grenzwert
		ml/m ³ (ppm)	mg/m ³	
Allgemeiner Staubgrenzwert (inerte Stäube)			3 a	nein
Aluminiumoxid – Rauch	Al ₂ O ₃		3 a	ja
Bariumverbindungen, löslich	Ba		0,5 e	ja
Blei und seine Verbindungen	Pb		0,1 e	ja
Cadmiumoxid	CdO		0,002 a	nein
Calciumoxid	CaO		2 e	ja
Chrom (Metall und Chrom-III-Verbindungen)	Cr		0,5 e	nein
Chrom-(VI)-Verbindungen	Cr (VI)		0,05 e	nein
Cobalt und Cobaltverbindungen	Co		0,1 e	nein
Eisenoxide	Fe ₂ O ₃		3 a	nein
Formaldehyd	CH ₂ O	0,3	0,37	ja
Kohlendioxid	CO ₂	5000	9000	nein
Kohlenmonoxid	CO	30	35	ja
Kupfer und seine anorg. Verbindungen	Cu		0,1 e	ja
Mangan und seine anorg. Verbindungen	Mn		0,5 e	nein
Nickel (Metall, Legierungen)	Ni		0,5 e	nein
Nickelverbindungen, unlöslich	NiO u.a.		0,05 e	nein
Ozon	O ₃	0,1	0,2	ja
Phosgen	COCl ₂	0,01	0,41	ja
Stickstoffdioxid	NO ₂	3	6	ja
Stickstoffmonoxid	NO	25	30	nein
Zinkoxid (Rauch)	ZnO		3 a	ja
Zinnverbindungen, anorganisch	Sn		2 e	ja

a: a-Staub
e: e-Staub (Definition: siehe S. 17)

Tabelle 2 Zusammenstellung der wichtigsten MAK-Werte gemäss der Grenzwertliste der Suva (Stand 2013) [Bestellnummer 1903]. a-Staub (alveolengängiger Staub, früher Feinstaub)

= Gesamtheit der Partikel in der Atemluft, welche bis in die Lungenalveolen gelangen können;
 e-Staub (einatembare Staub, früher Gesamtstaub) = Gesamtheit der Partikel in der Atemluft, welche durch Mund und Nase eingeatmet werden können

3. Erkrankungen in Abhängigkeit des Gefahrstoffs

Eine Zusammenfassung der wichtigsten beim Schweißen auftretenden Gefahrstoffe mit den durch sie hervorgerufenen möglichen gesundheitlichen Folgen findet sich in Tabelle 3. Die gesundheitlichen Störungen können durch die Substanz selbst oder eine Verbindung hiervon (zum Beispiel Oxide) ausgelöst werden - die Tabelle differenziert dies nicht.

Stoff	Wichtigste gesundheitliche Störungen
Aluminium	Aluminose
Blei	Toxizität bezüglich Blut, Nervensystem, Nieren, Verdauungstrakt und Reproduktion
Cadmium	Lungenschädigung, toxische Pneumonitis (Lungenkrebs?)
Chrom(III)	Schleimhautreizung
Chrom(VI)	Nasentumore, Lungenkrebs, Sensibilisierung (Dermatitis)
Cobalt	Sensibilisierung (Asthma), Pneumonie, Alveolitis
Isocyanate	Asthma
Kupfer	Metallrauchfieber, Reizungen der Atemwege
Fluoride	Fluorose, Nierenschädigung
Eisen	Siderose (Schweisserlunge), Siderofibrose
Kohlenmonoxid	ZNS-Symptome, Ersticken bei hoher Konzentration, kardiovaskuläre Symptome
Magnesium	Metallrauchfieber
Mangan	ZNS-Symptome, Parkinsonismus (Manganismus), Entzündungen des Atemtraktes
Molybdän	Atemwegsreizung
Nickel	Sensibilisierung, Krebs der Atemwege
Ozon	Reizung der Atemwege
Phosgen	Reizung der Atemwege, Lungenödem
Stickstoffdioxide (Nitrose-gase)	Reizung der Atemwege, Bronchiolitis, Lungenödem

Vanadium	Reizung der Atemwege
Zink	Metallrauchfieber, Neurotoxizität
Zinn	Stannose, Neurotoxizität

Tabelle 3 Die wichtigsten Gefahrstoffe und die durch sie bzw. deren Verbindungen bei Schweißern hervorgerufenen gesundheitlichen Störungen

Eisen

Eisenrauch kann die Atemwege reizen. Nach langer und intensiver Einwirkung kann es zu einer Siderose oder Siderofibrose der Lunge kommen. Die **Siderose** der Lunge wird auch Schweißlunge genannt. Dabei werden Eisenoxidpartikel nach Inhalation vorwiegend reaktionslos im interstitiellen Bindegewebe und in den Makrophagen abgelagert ("Eisentätowierung"). Man findet die Eisenablagerungen vorwiegend um die Bronchien, die Lungengefässe und in den bronchopulmonalen Lymphknoten. Im Röntgenbild treten diese Ablagerungen als disseminiert verteilte, netzförmige Verdichtungen und punkt- bis knötchenförmigen Verschattungen in Erscheinung. Die Veränderungen im CT gleichen jenen, wie man sie bei Rauchern sehen kann. Diese Veränderung scheint mit einer hohen Exposition gegenüber Schweißrauchen vergesellschaftet zu sein und wird frühestens nach etwa fünf Jahren Exposition sichtbar, wobei die Häufigkeit v.a. bei längerer Tätigkeit mit den Jahren zunimmt [McMillan].

Liegt neben der Ablagerung von Eisenoxiden auch eine Fibrosierung vor, spricht man von **Siderofibrose**. Manchmal beobachtet man auch eine Begleitentzündung. Die Siderofibrose teilt man je nach Ausprägung der Ablagerungen, der Fibrosierung und der Entzündung in Grad I bis III nach Müller und Verhoff ein [Müller]. Beim Lichtbogen-Handschiessen treten fibrotische Veränderungen am häufigsten auf, denn dieses Schweißverfahren weist die höchste Emissionsrate auf. Im angloamerikanischen Sprachraum wird in diesem Zusammenhang von einer "Arc Welder's Lung" gesprochen. Die Anwesenheit von Ozon (bei Schweißen von Aluminiumwerkstoffen und Edeltählen) oder Stickstoffoxiden (bei Schweißverfahren mit Gasflamme) verstärkt die fibrotische Wirkung des Schweißrauchs.

Reine Siderosen führen in der Regel zu keinen Lungenfunktionseinschränkungen und haben nur eine geringe oder keine Progredienz. Sie besitzen deshalb keinen Krankheitswert. Eine Siderofibrose wird bei adäquater Arbeitsanamnese und klinischen Befunden bei langjähriger Tätigkeit als Schweißer unter entsprechenden Bedingungen wie eingeschränkten Lüftungsverhältnissen in Kellern, Tunneln, Behältern, Tanks etc. als Berufskrankheit anerkannt.

Mangan

Mangan und seine anorganischen Verbindungen wirken bei inhalativer Aufnahme toxisch auf die Lunge und das zentrale Nervensystem. Zu Beginn einer Manganintoxikation stehen Schlaflosigkeit, emotionale Instabilität, Gedächtnisstörungen, Kopfweh, Muskelkrämpfe oder subklinische neurologische Effekte wie ein beeinträchtigtes Fingertapping (Auf- und Abbewegen

eines Fingers) im Vordergrund. In der Lunge kann es nach Inhalation manganhaltiger Stäube zu einer Entzündungsreaktion mit Bronchitis oder Pneumonitis kommen.

Bei einer chronischen Manganexposition sammelt sich das Übergangsmetall im Hirnstamm und in den Basalganglien an. Dort stört es das dopaminerge Übertragungssystem und führt zu einem Parkinsonismus (**Manganismus**). Die Kriterien eines eigentlichen Parkinsonsyndroms werden aber oft nicht erfüllt [Racette]. Eisen benutzt teilweise die gleichen Transportwege wie Mangan (Transferrin), weswegen eine Schutzwirkung eines genügend hohen Eisenspiegels im Blut diskutiert wird.

Eine im Jahr 2009 erschienene Meta-Analyse untersuchte den Zusammenhang zwischen der Manganstaubkonzentration und der Effektstärke (im konkreten Fall dem Fingertapping), um eine Dosis-Wirkungs-Beziehung zu berechnen [Meyer-Baron]. Eine solche Beziehung könnte zum Beispiel für eine Grenzwertberechnung herangezogen werden. Die in dieser Analyse berechnete Regressionsgerade zeigte aber eine geringe Anpassungsgüte und die Steigung der Geraden war nicht signifikant von 0 verschieden, d.h. dass kein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Staubkonzentration und der Effektstärke gesehen wurde.

Bei einer Belastung mit Mangan, wie dies vor allem beim MAG-Schweissen der Fall ist, ist die Bestimmung der Mangankonzentration im Blut [Plitzko] die wichtigste Untersuchung im Rahmen des biologischen Monitorings. Die Heidelberger Manganstudie [Lischka] zeigte, dass bei Blutspiegeln unterhalb des BAT-Wertes von 20 µg/l keine neurotoxischen Effekte zu erwarten sind.

Nickel

Die häufigste gesundheitliche Störung, welche durch Nickel hervorgerufen wird, ist die Kontaktdermatitis. Es handelt sich um eine Sensibilisierung vom Spättyp (Typ-IV-Reaktion), welche nach längerdauerndem Kontakt mit Nickel auftreten kann. 10-20% der Gesamtbevölkerung sind davon betroffen, wobei Frauen häufiger eine Sensibilisierung aufweisen als Männer. Bei Schweißern steht hingegen nicht der Hautkontakt, sondern die inhalative Aufnahme von Nickel im Vordergrund. Besonders toxisch ist hierbei das Nickelcarbonyl $\text{Ni}(\text{CO})_4$, welches bei der Reaktion von Nickel mit Kohlenmonoxid entsteht. Nach inhalativer Aufnahme von Nickelcarbonyl kann es zu Kopfweg, Übelkeit, Zyanose, Schwäche, Fieber und einer Pneumonie kommen.

Bei Exposition zu Nickelverbindungen wurden erhöhte Raten an Krebs der Nasenhaupt- und -nebenhöhlen und der unteren Atemwege (inkl. Kehlkopf) beobachtet. Der Mechanismus dürfte nicht direkt-genotoxisch sein, was auf eine Schwellenkonzentration in Bezug auf die kanzerogene Wirkung hinweist. Nickelverbindungen sind in der schweizerischen Grenzwertliste in die Kanzerogenitätsklasse 1 eingeteilt, das heisst, dass die krebserregende Wirkung beim Menschen hinreichend mit Studien untermauert ist. Allerdings gilt diese hinreichende Beweiskraft gemäss IARC beim Menschen nur für Nickelsulfat und Nickelsulfide und -oxide. Metall-

ches Nickel ist in die Kanzerogenitätskategorie 3 eingeteilt worden, das heisst, dass aus geeigneten Tierversuchen Anhaltspunkte für eine krebserzeugende Wirkung vorliegen, dass aber ungenügend Informationen für eine Beurteilung vorhanden sind. Auf bösartige Tumoren wird im Abschnitt 4 detailliert eingegangen.

Chrom

Schweissrauch von rostfreiem Edelstahl und anderen chromenthaltenden Legierungen und Zusatzwerkstoffen enthält Chrom(VI) und Chrom(III). Chrom(III) ist toxikologisch weniger bedeutend als Chrom(VI). Dieses ist korrosiv und kann nach Kontakt chronische Ulzerationen der Nasenscheidewand und der Haut verursachen, zudem kann es allergische Hautreaktionen vom Typ IV oder Asthma auslösen. Chrom(VI) ist in der Grenzwertliste in der Kanzerogenitätsklasse 1 eingestuft (Chrom(III) und metallisches Chrom sind nicht kanzerogen). Chrom(VI) erhöht das Risiko von Lungenkrebs und wahrscheinlich von Krebs der Nasenhaupt- und -nebenhöhlen, wie dies insbesondere bei Arbeitnehmenden in der Galvanik und Verchromung sowie bei der Chromat- und Chromatpigmentproduktion beobachtet wurde. Eine Metaanalyse über die Beziehung zwischen Expositionen zu Chrom(VI)-Verbindungen und dem Risiko für Bronchialkarzinome errechnete für die exponierten Arbeitnehmenden eine SMR (Standardized Mortality Ratio) von 1.41 resp. von 1.12 nach Korrektur für das Rauchen [Cole]. Das Vorhandensein einer Schwellenkonzentration wird diskutiert.

Blei

Bleihaltige Anstrichfarben und Lacke wurden früher verwendet, sie sind heute ebenso wie cadmiumhaltige Anstrichfarben und Lacke gemäss ChemRRV verboten. Demgegenüber werden bleihaltige Lote in bestimmten Bereichen immer noch eingesetzt. Blei kann zu Störungen des Nervensystems führen. Ist das zentrale Nervensystem betroffen, so kann es zu Symptomen in Form eines neurasthenischen Syndroms kommen. Es braucht hierzu aber langdauernde hohe Expositionen, wie sie heute kaum mehr vorkommen. Hält die Exposition weiter an, können auch Störungen des peripheren Nervensystems auftreten. Ein bekanntes Beispiel hierfür ist die bleiinduzierte Fallhand. Weitere Krankheitsbilder sind Anämien mit basophiler Tüpfelung der Erythrozyten, Störungen des Porphyrinstoffwechsels mit Anstieg der Delta-Aminolävulinsäure und Koproporphyrin im Urin oder funktionelle Störungen der Nierentubuli mit Mikroproteinurie und des Reproduktionssystems [Suva Publikation Blei].

Kupfer

Die häufigsten gesundheitlichen Beeinträchtigungen im Zusammenhang mit Kupfereinwirkungen sind Magen-Darm-Beschwerden und Leberschädigungen nach Verschlucken von Kupfer, zum Beispiel in Getränken, welche in Gefässen aufbewahrt werden, die Kupfer abgeben.

Bei Schweissern wurden Atemwegsreizungen und Metallrauchfieber nach Exposition gegen Kupferrauch beobachtet. Dieses äussert sich mit Fieber, Kopfschmerzen, trockenem Mund und Rachen mit metallischem Geschmack, Übelkeit und Kurzatmigkeit. Das Metallrauchfieber beginnt einige Stunden nach Exposition und hält ein bis zwei Tage an. Es wird im Abschnitt 4 ausführlicher beschrieben.

Zink

Zinkoxid entsteht zum Beispiel beim Schweißen von galvanisiertem Metall. Nach Inhalation von Zinkoxid (und andern Zinkverbindungen) kann es zum Metallrauchfieber kommen. Im Gehirn wirkt ein Überschuss an Zink schädigend gegenüber Neuronen. Nach Zinkingestion kann es zu Magen-Darm-Störungen wie Durchfall oder Schäden in der Bauchspeicheldrüse (Schädigung der Betazellen oder Fibrose) oder im Gehirn zu neurotoxischen Effekten kommen. Zink hemmt ausserdem die Kupferaufnahme im Darm und kann zu Kupfermangel führen.

Zinn

Zinn und seine anorganischen Verbindungen können in Loten vorkommen und sind relativ wenig toxisch. Eine chronische Inhalation kann zur sogenannten Stannose, einer gutartigen Pneumokoniose, führen. Nach Ingestion kann es zu einer akuten Magen-Darm-Entzündung kommen. Einige organische Zinnverbindungen (Triethyl- und Trimethylzinn) sind neurotoxisch und führen in hoher Konzentration zu Enzephalopathien und Hirnödemen. Tributylzinn kann zu Hautirritationen oder -verbrennungen führen.

Cadmium

Cadmium war früher ein Bestandteil gewisser Lote, ist aber heute gemäss ChemRRV verboten. Die Toxizität hängt von der Art der Cadmium-Verbindung ab. So sind Cadmiumchlorid, -oxid und -carbonat toxischer als Cadmiumsulfid. Langandauernde Cadmiumexposition kann zu obstruktiven Lungenschäden und Nierenschäden mit konsekutiver Osteoporose führen. Eine Exposition gegenüber Cadmiumenthaltenden Schweissräuchen kann zu sehr schwer verlaufenden Lungenreizungen führen. Cadmium und seine Verbindungen gehören in die Kanzerogenitätskategorie 2 gemäss schweizerischer Grenzwertliste, was heisst, dass diese Stoffe als krebserregend betrachtet werden sollten. So wird diskutiert, ob Cadmium das Lungenkrebsrisiko erhöht und eine Assoziation mit Nieren- und Pankreaskrebs wird ebenfalls diskutiert.

Aluminium

Bei langjähriger hochgradiger Exposition gegenüber aluminiumhaltigen Schweissrauchen kann sich eine Aluminose als Pneumokoniose entwickeln. Während sich Aluminium in Tierexperi-

menten als neurotoxisch erwies und zu einer Ansammlung von sogenannten Neurofibrillary Tangles in Neuronen führte, ist die neurotoxische Bedeutung im Menschen unklar. Neurofibrillary Tangles treten auch bei der Alzheimerkrankheit auf, für eine kausale Rolle von Aluminium bei dieser Demenz gibt es aber zuwenig Evidenz [Casarett]. Ebenso wird die Rolle von Aluminium bei anderen kognitiven Störungen uneinheitlich diskutiert.

Ozon

Ozon entsteht aus Sauerstoff durch die UV-Strahlung im Lichtbogen, beispielsweise beim MIG-Schweissen, WIG-Schweissen und Plasmalichtbogenschweissen. Ozon kann zu trockenen Schleimhäuten, Kopfschmerzen, einer Entzündung der tiefen Atemwege und somit Ausbildung einer Bronchitis, eines Asthmas, eines Lungenödems oder einer Lungenfibrose führen. Eine krebserzeugende Wirkung wird diskutiert, für eine abschliessende Beurteilung fehlen zur Zeit aber noch Informationen. In der Schweizer Grenzwertliste ist Ozon deshalb in die krebserzeugende Kategorie 3 eingestuft.

Kohlenmonoxid

Kohlenmonoxid entsteht durch die unvollständige Verbrennung von Brenngasen, Flussmitteln und Beschichtungen. Es verursacht Kopfschmerzen, Schwindel und Übelkeit. Da es geruchsfrei ist, kann es in geschlossenen Räumen in hoher Konzentration unbemerkt zum Tod durch Ersticken führen.

Stickstoffoxide (Nitrosegase)

Sie bilden sich durch Oxidation des Luftstickstoffs am Rand der Flamme oder des Lichtbogens. Bei Temperaturen über 1000°C entsteht vorerst Stickstoffmonoxid, welcher dann bei Raumtemperatur zu Stickstoffdioxid oxidiert. Stickstoffdioxid kann wie Ozon zu trockenen Schleimhäuten, Kopfschmerzen, einer Entzündung der tiefen Atemwege, Lungenödem und Lungenfibrose führen.

Andere

Weitere mögliche Schadstoffe sind Fluoride, Phosgen, Vanadium und Aldehyde aus Beschichtungs-, Fettungs- und Entfettungsmitteln, aber auch Isocyanate bei Thermodegeneration von Polyurethanlacken. Bei der Oberflächenbehandlung eines Werkstücks mittels Sandstrahlen können Rost, Verschmutzungen, Farbe und andere Verunreinigungen entfernt werden. Bei diesen Tätigkeiten kann je nach Methode eine Exposition gegenüber Silikaten stattfinden, welche ebenfalls zu einer Entzündung und Fibrose des Lungenparenchyms führen können.

4. Erkrankungen nach Organsystemen und Erkrankungsmustern geordnet

Atemwege

Ein Kausalzusammenhang zwischen Schweißen und einer Atemwegserkrankung kann gemäss einer Untersuchung des Berufsgenossenschaftlichen Forschungsinstituts für Arbeitsmedizin in Bochum nicht generell als gegeben angenommen werden, sondern es muss jeder Fall individuell beurteilt werden [Wieners]. Hierzu sind die Arbeitsanamnese, die klinische Untersuchung, die Arbeitsplatzverhältnisse und andere Faktoren miteinzubeziehen. Bei Exposition gegenüber Schweißrauch kann teilweise ein zeitlich begrenzter Abfall der Lungenfunktionsparameter während der Arbeitstage beobachtet werden. Diese Abfälle scheinen sich aber an expositionsfreien Tagen wieder zu erholen [Antonini, Beckett].

Die Exposition gegenüber Schweißrauch und -gasen (siehe zum Beispiel Ozon) kann zu **Reizungen** der oberen und unteren Atemwege führen. Hier sind vor allem Schweißer betroffen, welche mit galvanisiertem und rostfreiem (also chromhaltigem) Stahl arbeiten sind. Cadmium kann besonders schwere Reizungen auslösen.

Das Risiko, an einer **chronischen Bronchitis**² zu erkranken, ist bei Arbeiten mit galvanisiertem oder rostfreiem Stahl am höchsten. Neuere grosse Studien (ECRHS II- oder RHINE-Studie) zeigten Risikorate zwischen 1,4 und 2,1, abhängig vom Schweißverfahren und der Höhe der Belastung [Lillienberg, Holm]. Ausserdem scheint die Häufigkeit einer chronischen Bronchitis bei Rauchern, die schweissen, grösser zu sein als bei Rauchern, die nicht schweissen [Tarlo].

Im Zusammenhang mit **Asthma** bei Schweißern liefern die Studien unterschiedliche Resultate. Dies ist nicht erstaunlich, da verschiedene Mechanismen und Auslöser für das Asthma bekannt sind. Mehrere Studien scheinen einen Zusammenhang herstellen zu können [Bakerly, Banga, El-Zein] und eine kürzlich erschienene Review attestiert dem Schweißrauch die höchste Evidenzstufe als ursächlichen Faktor eines Asthmas oder auch einer COPD [Baur]. Der ECRHS II hingegen kam zum Schluss, dass Schweißen nicht mit einer erhöhten Prävalenz an Asthmasymptomen verbunden ist (in dieser bevölkerungsbasierten Studie waren allerdings nicht nur Schweißer, sondern auch Arbeitnehmende, welche nicht hauptberuflich schweissen, eingeschlossen) [Lillienberg]. Ein Asthma kann sich auf jeden Fall bei einer spezifischen Sensibilisierung gegenüber einer Substanz (zum Beispiel Cr(VI) oder Ni) im Schweißrauch bei kurzzeitiger sehr hoher Exposition im Sinne eines "reactive airways dysfunction syndrome" und vielleicht auch bei wiederholten, jedoch nur mittelhohen Expositionen in Form eines irritativen Asthmas zeigen. Handelt es sich beim zu betrachtenden Fall um ein Asthma,

² Die chronische Bronchitis ist eine klinische Diagnose und erfordert das Vorhandensein eines produktiven Hustens während vier oder mehr Tagen einer Woche während drei oder mehr Monaten pro Jahr während mindestens zwei aufeinanderfolgenden Jahren. Der häufigste Auslöser einer chronischen Bronchitis ist das Zigarettenrauchen.

so muss also ein besonderes Augenmerk auf eine mögliche Sensibilisierung gegen Nickel oder Chrom geworfen werden. Allenfalls ist ein spezifischer Bronchoprovokationstest oder die serielle Bestimmung von Peakflows in Erwägung zu ziehen.

Es ist bekannt, dass gewisse Metalle wie Cadmium obstruktive Lungenschäden verursachen können. Eine kausale Beziehung zwischen der Exposition gegenüber Schweißrauch und der Entstehung einer **COPD** konnte dennoch nicht schlüssig bewiesen werden, trotz der Plausibilität der beschränkt vorhandenen Evidenz aus mehreren Studien. Eine neue Übersichtsarbeit und Meta-Analyse von longitudinalen Studien bei Schweißern hat ergeben, dass Schweißer gegenüber Arbeitern ohne Schweißrauchexposition zwar einen grösseren jährlichen Verlust der Lungenfunktion aufweisen, dass dieser Effekt aber statistisch nicht signifikant ist und vor allem bei einem gleichzeitig vorhandenen Zigarettenkonsum höher ausfällt [Szram]. Bei einer im gleichen Jahr publizierten Kohortenstudie in Frankreich wurde eine Schweißrauchexposition bei manuell tätigen Arbeitnehmenden mittels Expositionsmatrize abgeschätzt. Die Ausgangslungenfunktion derjenigen Arbeitnehmenden mit beruflicher Schweißrauchexposition lag tiefer als bei Arbeitern ohne diese Exposition. Die Geschwindigkeit des Lungenfunktionsverlustes war bei Arbeitnehmenden mit Schweißrauchexposition zwar grösser, aber wiederum nicht signifikant. Es zeigte sich in dieser Studie aber bei Nichtrauchern eine Expositions-Wirkungsbeziehung in Bezug auf den Abfall des FEV1-Wertes [Thaon]. Rauchen ist der bedeutendste Risikofaktor für die Entstehung einer COPD. Deshalb ist es bei Rauchern im Einzelfall schwierig oder gar unmöglich, den Anteil der beruflichen Exposition gegenüber Schweißrauch von dem des Zigarettenrauches an der Entstehung der COPD zu bestimmen. Meist ist der Schweregrad einer COPD bei lebenslangen Nichtrauchern nur leicht ausgeprägt.

Nach langandauernder und intensiver Einwirkung von eisenhaltigem Schweißrauch und -gasen kann eine sogenannte **Schweisserlunge** oder eine Staublunge (Pneumokoniose) entstehen (siehe Abschnitt "Eisen"). Bei der Schweisserlunge handelt es sich um eine *Siderose*, das heisst um eine reaktionslose Ablagerung von Eisenoxidpartikeln im interstitiellen Gewebe und in den Makrophagen ("Eisentätowierung"). Bei Ablagerung von Zinn spricht man von **Stannose**, eine Aluminiumpneumokoniose wird **Aluminose** genannt.

Weitere lungenschädigende Stoffe sind Stickstoff- und Cadmiumoxid, welche bei intensiver Einwirkung zu einer **toxischen Pneumonitis und Lungenödem** führen können [zum Beispiel Erkinjuntti oder Wieners], oder Nickelcarbonyl, bei welchem **Pneumonien** beschrieben worden sind.

Die Inhalation von Schweißrauch scheint einen Einfluss auf das Immunsystem zu haben. Eine Exposition scheint den Schweregrad und den zeitlichen Verlauf von **Infektionen** der oberen und unteren Luftwege in einem negativen Sinne zu beeinflussen [Zeidler]. Es bestehen Hinweise aus Fall-Kontroll-Studien in England, dass Schweißer ein erhöhtes Risiko haben, an schweren Lungenentzündungen zu erkranken und zu sterben [Palmer]. Eine Exposition gegenüber Schweißräuchen in den letzten 12 Monaten zeigte ein OR von 2.3 (95% CI: 1.2-4.3)

[Palmer] . Das Risiko scheint aber nur bei Arbeitnehmenden, welche aktuell schweissen, erhöht zu sein und nimmt nach Beendigung der Tätigkeit als Schweisser wiederum ab.

Auf das Thema **Lungenkrebs** wird im untenstehenden Abschnitt "Maligne Neoplasien" eingegangen.

Nervensystem

Eine langdauernde Exposition gegenüber Metallen wie Mangan [Lischka, Plitzko, Meyer-Baron] oder Blei [Pletscher] kann zu neurologischen und neuropsychologischen Defiziten führen. Auch Zinkoxid und einige organische Zinnverbindungen sind nervenzellschädigend. Die Rolle der Neurotoxizität von Aluminium beim Menschen ist hingegen nicht definitiv geklärt.

Besonders ausführlich untersucht wurde der sogenannte Manganismus, wie er zu früheren Zeiten bei Schweissern beobachtet werden konnte. Zu Beginn einer Manganintoxikation stehen Symptome wie Schlaflosigkeit, emotionale Instabilität, Gedächtnisstörungen, Kopfweh oder Muskelkrämpfe im Vordergrund. Später können aufgrund einer Beeinträchtigung des dopaminergen Neurotransmittersystems Parkinsonismus-Symptome dazu kommen. Ein eigentliches Parkinson-Syndrom liegt aber in der Regel nicht vor. Bei neuropsychologischen Untersuchungen wurden beispielsweise Beeinträchtigungen des verbalen Lernens, des Arbeitsgedächtnisses und der kognitiven Flexibilität beschrieben [Bowler].

Auch wenn im Schweissrauch die hier erwähnten Metalle vorkommen können, so liess sich in einer kürzlich erschienenen Studie aufgrund der Expositions-Wirkungs-Korrelationen keine klinische Neurotoxizität des Schweissens nachweisen [Ross]. In dieser Studie sind 352 Schweisser und 361 Taucher, welche schweissen, untersucht worden.

Metallrauchfieber (Schweisserfieber)

Gewisse Metalle wie Zink oder Kupfer und deren Verbindungen können das sogenannte Metallrauch- oder Schweisserfieber auslösen [zum Beispiel 20]. Hierbei handelt es sich um eine systemische Entzündungsreaktion des Körpers mit Erhöhung verschiedener Entzündungsparameter (Leukozyten, CRP) bei gleichzeitiger Erniedrigung des Fibrinogens [Kim]. Ältere Untersuchungen haben gezeigt, dass bis zu einem Drittel der Schweisser während Ihrer Berufstätigkeit diese Symptome hatten [McMillan].

Initiale Beschwerden sind eine Reizung des Mund-/Rachenraums, gefolgt von grippeartigen Kopf- und Muskelschmerzen, Fieber, Übelkeit oder Reizhusten. Klassischerweise sind in der Röntgenaufnahme der Lunge keine Veränderungen sichtbar. Die Symptome verschwinden nach einem bis zwei Tagen wieder. Nicht selten führt eine Exposition gegenüber den Schweissräuchen zu einer leichten Toleranz, welche nach wenigen Tagen ohne Schweissrauchexposition wiederum verschwindet. Die Symptome können sich also zu Beginn der Arbeitswoche stärker manifestieren und über die Folgetage abnehmen, warum das Metallrauch-

fieber in den angelsächsischen Ländern manchmal auch als Monday morning Fever bezeichnet wurde. In der Regel treten keine Langzeitfolgen auf

Maligne Neoplasien

Gewisse Substanzen im Schweisssrauch sind krebserzeugend, so zum Beispiel Chrom(VI) oder gewisse Nickelsalze, insbesondere Nickeloxide und -sulfide. Diese sind in der Schweizer Grenzwertliste in die Kategorie C1 der bekanntermassen krebserregenden Stoffe eingeteilt. Sie können das Risiko für Krebs der Nasenhaupt- und -nebenhöhlen, des Kehlkopfs oder der unteren Atemwege erhöhen [Balindt, Grimsrud, IIW, Moulin]. Die Rolle des manchmal ebenfalls im Schweisssrauch vorkommenden Cadmiums als Kanzerogen ist nicht restlos geklärt, weshalb es in der Schweizer Grenzwertliste in die Kanzerogenitätsklasse 2 eingeordnet wurde. Ebenfalls wird das Vorhandensein einer chronischen Entzündung des Lungenparenchyms und die Produktion von Sauerstoffradikalen (oxidizing species) als Mechanismus der Schädigung bei Exposition gegenüber Schweisssrauch diskutiert [Tarlo].

Das Lungenkrebsrisiko ist bei Schweissern gemäss der aktuellsten Metaanalyse gegenüber der Normalbevölkerung um den Faktor 1,26 erhöht [Ambroise]. Die Erhöhung des Risikos könnte in erster Linie auf die im Schweisssrauch vorhandenen Chrom(VI)-Verbindungen und Nickelsalze zurückzuführen sein, auch wenn dies in der Studie selbst nicht direkt gezeigt werden konnte. Das Risiko, welches ausschliesslich von den Chrom(VI)-Verbindungen ausgeht, beträgt - ausgedrückt als SMR (Standardized Mortality Rate) - 1,41 bzw. 1,12 nach Korrektur für das Rauchen [Cole]. Für Nickelsalze, welche ebenfalls das Lungenkrebsrisiko erhöhen, ist keine Risk Ratio bekannt.

Da Nickel und Chrom(VI)-Verbindungen Listenstoffe gemäss UVG Art. 9.1 sind, muss der ursächliche Anteil an Lungenkrebs durch einen der beiden Stoffe mindestens 50% betragen. Dies entspricht einem relativen Risiko von 2, welches gemäss dem bisherigen Stand des Wissens nicht erreicht wird. Deshalb ist bei Auftreten von Lungenkrebs nach Exposition gegenüber Nickel oder Chrom(VI)-Verbindungen die Anerkennung einer Berufskrankheit in der Regel nicht gegeben. Jeder Fall muss aber individuell unter Berücksichtigung der Arbeitsanamnese (Verbrauch von Schweisserdrähten, Arcing Time/Trigger Time), klinischer Untersuchungen, den am Arbeitsplatz angetroffenen Bedingungen (beispielsweise Personal Sampling oder Raumluftmessungen) und anderer Faktoren (zum Beispiel Synkarzinogenese im Zusammenhang mit Asbest) beurteilt werden. Zu beachten ist ausserdem, dass für solide Tumoren der Lunge in der Regel eine Latenzzeit von mindestens 10 bis maximal 50 Jahren besteht [HSL].

Augen

Der Lichtbogen und die Schweisssflamme verursachen optische Strahlen im Infrarot- bis UV-Bereich. Die Intensität hängt unter anderem vom Verfahren, dem Schutzgas und dem zu bearbeitenden Werkstoff ab. Dadurch kann es bei fehlenden Schutzmassnahmen oder durch

Reflexionen zu Schädigungen der Hornhaut kommen. Gefährdet ist hierbei nicht nur der Schweisser, sondern auch sich in der Nähe befindliche Personen. Die UV-Strahlung kann zu einer Entzündung der Augenbindehäute und der Hornhaut führen (Keratokonjunktivitis photoelectrica). Diese "Schweisserblende" tritt einige Stunden nach dem Schweissen auf und verschwindet bei Expositions-karenz ohne bleibende Schäden nach ein bis zwei Tagen wieder. Die Infrarotstrahlung beim Schweissen kann zu wärmebedingten Veränderungen führen. Weitere Schädigungen des Auges können durch Gase, Rauche, Funkenwurf etc. auftreten, welche direkt auf das ungeschützte Auge auftreffen.

Haut

UV-Licht, welches beim Lichtbogenschweissen und in der Schweissflamme entsteht, kann eine UV-Dermatitis ("Sonnenbrand") an ungeschützten Hautpartien wie Hals oder Vorderarme verursachen. Auch chronische Hautveränderungen bei langjährigem Schweissen wurden beschrieben. Weitere Informationen zu UV-Schäden der Haut können der Suva-Publikation "Berufliche Hautkrankheiten" entnommen werden [Rast].

Funken, Schlacken, glühende Metallteile oder auch Explosionen und Brände können zu Verbrennungen führen, insbesondere an Händen und Gesicht.

Bei der Entwicklung von Allergien gegenüber den am Arbeitsplatz verwendeten Substanzen (zum Beispiel Kontakt zu Kühlschmierstoffen) und durch das häufige Reinigen der Hände können Hautekzeme auftreten.

Vibrationen

Häufig werden von Arbeitnehmenden, welche Schweissarbeiten ausführen, auch vibrierende Geräte zum Reinigen oder Schleifen der Teile verwendet [Parizek]. Es können bei längerer Verwendung dieser Geräte Gefühls- und Durchblutungsstörungen der Finger im Rahmen einer sogenannten Weissfingerkrankheit (Raynaud-Syndrom) auftreten.

Gehör

Je nach Schweissverfahren, Werkstück oder elektrischen Kenngrössen ist die Lärmbelastung erheblich und kann den in der Schweizer Grenzwertliste angegebenen Lärmexpositionspegel L_{EX} von 85 dB (A) übersteigen [Ladou]. Dies ist insbesondere beim Plasmaschneiden, maschinellen Brennschneiden, Flammwärmern der Fall, oder wenn gleichzeitig andere Lärmquellen an benachbarten Arbeitsplätzen existieren. Weitere Informationen zur Einschätzung der Lärmbelastung an Arbeitsplätzen finden sich auf den Lärmtabellen der Suva und unter extra.suva.ch, Stichwort "Lärm".

Elektromagnetische Felder

Beim elektrischen Schweißen treten elektrische und magnetische Felder (EMF) auf. Im Hinblick auf gesundheitliche Gefährdungen sind wegen der relativ geringen Stromspannungen die elektrischen Felder vernachlässigbar. Hingegen können die magnetischen Felder aufgrund der hohen Stromstärken bedeutend sein. Hohe Ströme bis 750A verwenden vor allem die Lichtbogenschweisverfahren MIG, MAG und WIG sowie das Punktschweißen. Die Magnetfelder erzeugen im Körper selbst Ströme, weil sie elektrisch geladene Moleküle beeinflussen. Wissenschaftlich gesicherte unerwünschte direkte Wirkungen starker Magnetfelder sind Reizphänomene von Muskel- und Nervenzellen oder auch die sogenannten Retinaphosphene. Das sind subjektiv wahrgenommen Lichtphänomene, die durch die elektrische Reizung von Retinazellen entstehen. Für die arbeitsmedizinische Praxis bedeutsam ist hingegen die Möglichkeit der Beeinflussung von Herzschrittmachern, internen Defibrillatoren, Neurostimulatoren und weiteren aktiven Implantaten.

Zur sicheren Verhinderung der direkten Reizerscheinungen hat die Suva Arbeitsplatzgrenzwerte für magnetische Felder definiert [Gube]. Sie orientiert sich dabei an den "reference levels", die die ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) definiert und regelmässig überprüft. Jedoch ist eine Störung der Funktion von aktiven medizinischen Implantaten auch bei Einhaltung der Arbeitsplatzgrenzwerte möglich. Da die Wirkeinstellungen (vor allem die elektrische Ansprechschwelle) von aktiven medizinischen Implantaten an die Bedürfnisse der individuellen Patienten angepasst werden, ist ein Grenzwertkonzept zum Schutz der Implantateträger nicht sinnvoll, sondern in Zweifelsfällen ist eine individuelle Arbeitsplatzbeurteilung im Rahmen der Gefährdungsanalyse notwendig. Da die Exposition mit elektromagnetischen Feldern gemäss Tabelle 1 der EKAS Richtlinie 6508 als "besondere Gefahr" definiert ist, hat der Arbeitgeber dazu Arbeitsärzte und sonstige Spezialisten der Arbeitssicherheit beizuziehen. In der Norm SN EN 50527-1:2010 ist das Verfahren definiert, nach dem ein Assessment der möglichen Exposition mit Magnetfeldern für Personen mit aktiven Implantaten durchgeführt werden sollte. SN-EN 50527-2.1 ist die Unternorm zur Beurteilung bei Herzschrittmacherträgern. EN 50505 ist eine spezifische internationale Norm zur Beurteilung der Exposition von Personen durch EMF an Schweißerarbeitsplätzen.

Mögliche praktische Massnahmen zur Reduktion der Exposition mit Magnetfeldern beim Schweißen sind folgende:

- Möglichst niedrigen Schweisstrom wählen
- Abstand zwischen Arbeitnehmenden und Schweisskabel/Schweisstromquelle vergrössern
- Anordnung der Schweisskabel: Hin- und Rückführung möglichst nahe aneinander
- Abschirmmassnahmen
- Tragen von Schweisskabeln am Körper oder über die Schulter möglichst vermeiden

- Definition und Markierung räumlicher Gefährdungszonen sowie Zutrittsbeschränkungen für Implantateträger
- Bei mobilen Arbeitsplätzen gründliche Information von Implantatträgern

Reproduktionsapparat

Es bestehen Hinweise darauf, dass bei Schweißern insbesondere von hochlegierten Stählen eine dosisabhängige Einschränkung der Spermienqualität auftreten kann, welche zu Fertilitätsstörungen führen könnte [OSHA, Rom, IARC].

Bewegungsapparat

Ein grosser Teil der Arbeit eines Schweißers ist statisch. Je nach Ausstattung müssen gleichzeitig der Schweißbrenner und das Schutzschild gehalten werden. Manchmal müssen schwere zu bearbeitende Teile angehoben werden. Ergonomische Probleme sind auch abhängig von der Grösse der zu bearbeitenden Teile: Bei kleinen seriell hergestellten Werkstücken können Arbeitstische verwendet werden; für die Bearbeitung grösserer Teile stehen demgegenüber selten ergonomisch angepasste Arbeitsplätze zur Verfügung. In engen Räumen und bei Arbeiten über Kopf ergeben sich ebenfalls ungünstige Situationen mit Zwangshaltungen. Auch das benutzte Schweißverfahren hat einen Einfluss auf die Belastung des Bewegungsapparates. So muss beim Schweißen mit Stabelektroden die Elektrode nach etwa 2 Minuten wieder gewechselt werden, was eine gewisse Unruhe in die Schweißstätigkeit bringt; bei andern Schweißverfahren (MIG/MAG) kann demgegenüber längere Zeit am Stück gearbeitet werden und damit ist die statische Arbeitsbelastung höher.

5. Arbeitsmedizinische Vorsorge und Biomonitoring

Zum Schutz der Arbeitnehmenden vor gesundheitsgefährdenden Stoffen am Arbeitsplatz sind arbeitshygienische Massnahmen prioritär. Diese können je nach Situation durch die arbeitsmedizinische Vorsorge ergänzt werden [DGUV].

Arbeitshygienische Massnahmen

Die arbeitshygienischen Massnahmen sind nach dem STOP-Prinzip zu planen und umzusetzen: S (Substitution), T (Technische Massnahmen), O (Organisatorische Massnahmen), P (Personenbezogene Massnahmen). Dieses Prinzip wird ausführlich in der Suva-Publikation "Schweißen und Schneiden" erläutert.

Arbeitsmedizinische Vorsorge

Die arbeitsmedizinische Vorsorge gemäss der Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten hat vor allem zum Ziel, Arbeitnehmende mit individuellen Risikofaktoren und damit einem erhöhten Berufskrankheitenrisiko zu erkennen, beginnende Berufskrankheiten frühzeitig zu erfassen sowie unzulässige innere Belastungen und Beanspruchungen mittels Biomonitoring vor dem Ausbruch einer Berufskrankheit zu erkennen.

Arbeitnehmende mit speziellen Risiken werden durch eine Verfügung der Suva der arbeitsmedizinischen Vorsorge unterstellt. Bei Schweißern werden arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen dann durch die Suva veranlasst, wenn aufgrund einer Risikobeurteilung spezielle Risiken, beispielsweise durch Überschreiten der Grenzwerte oder spezielle Expositionen vorliegen. Biologische Parameter werden in Blut oder Urin bestimmt, um allfällige unzulässige innere Belastungen der Schweißer festzustellen (siehe biologisches Monitoring).

Biologisches Monitoring

Unter biologischem Monitoring versteht man die Beurteilung der Exposition von Arbeitnehmenden gegenüber chemischen Arbeitsstoffen durch Bestimmung des Arbeitsstoffes im biologischen Material wie Blut, Urin oder Ausatemluft, durch Bestimmung von Metaboliten oder durch Bestimmung eines körpereigenen Parameters, der durch den Arbeitsstoff beeinflusst wird [Jost, Grenzwertliste]. Die gemessenen Werte werden mit den in der Grenzwertliste aufgeführten Biologische Arbeitsstoff-Toleranz (BAT)-Werten verglichen. So kann die innere Belastung durch einen Arbeitsstoff oder eine Reaktion des Organismus auf den Arbeitsstoff beurteilt werden, wobei man bei der Abschätzung von einer Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen der Konzentration des Arbeitsstoffes in der Luft und der Wirkung am Zielorgan ausgeht. Beim biologischen Monitoring werden alle Aufnahmewege eines Arbeitsstoffes erfasst, also nicht nur die Inhalation, sondern auch die Aufnahme über die Haut oder den Magen-Darm-Trakt.

Die Konzentrationen in den obgenannten biologischen Materialien werden durch verschiedene Faktoren beeinflusst, so dass nicht immer eine zufriedenstellende Korrelation zwischen den Raumluftmessungen und den biologischen Werten gefunden wird. So kann die Aufnahme über Inhalation je nach Atemminutenvolumen und die Resorption über die Haut je nach Qualität der Schutzmassnahmen schwanken, der Metabolismus ändert sich individuell je nach Situation, und bei langer Eliminationshalbwertszeit kann sich eine Substanz im Körper akkumulieren (body burden) und noch über längere Zeit nach einer Exposition aus dem Gewebe abgegeben werden. Ausserdem beeinflussen Interaktionen mit andern Stoffen die Toxikodynamik und -kinetik. Beim biologischen Monitoring müssen die beeinflussenden Faktoren durch eine sorgfältige Anamnese in Erfahrung gebracht und bei der Beurteilung mitberücksichtigt werden.

Bei folgenden Stoffen, welche beim Schweißen zu einer Belastung der Arbeitnehmenden führen können, existieren BAT-Werte:

Arbeitsstoff	Biologischer Parameter	BAT-Wert	Material	Probenahmezeitpunkt
Aluminium	Aluminium	60 ug/g Kreatinin	Urin	a
Blei	Blei	Männer: 400 ug/l Frauen >45y: 400 ug/l Frauen <45y: 100 ug/l	Blut	b
Anorganische Fluorverbindungen	Fluorid	7 mg/g Kreatinin 4 mg/g Kreatinin	Urin Urin	b d
Cadmium	Cadmium	5 ug/g Kreatinin	Urin	a
Cobalt	Cobalt	30 ug/l	Urin	b
Kohlenmonoxid	CO-Hb	5%	Blut	b
Mangan	Mangan	20 ug/l	Plasma/Serum	b
Nickel	Nickel	45 ug/l	Urin	c, b
Nickelverbindungen, unlöslich	Nickel	10 ug/l	Urin	c, b
Nickelsalze, löslich	Nickel	40 ug/l	Urin	c, b

Tabelle 4 BAT-Werte einiger beim Schweißen auftretender Stoffe [Grenzwertliste 2013]; a: keine Beschränkung, b: Expositions- bzw. Schichtende, c: bei Langzeitexposition nach mehreren vorangegangenen Schichten, d: vor nachfolgender Schicht

6. Gesetzliche Grundlagen der Anerkennung von Berufskrankheiten

Die beim beruflichen Umgang mit Schweißen erworbenen Krankheiten werden von der Suva nach den gesetzlichen Bestimmungen im UVG (Unfallversicherungsgesetz) als Berufskrankheit anerkannt, sofern der Kausalzusammenhang mit überwiegender Wahrscheinlichkeit gemäss den Vorgaben nach Art. 9.1 und 9.2 UVG gegeben ist. Figuriert die zur Frage stehende Substanz auf der Liste der schädigenden Stoffe im Anhang 1 der UVV, so wird eine Krankheit dann als Berufskrankheit anerkannt, wenn diese vorwiegend durch die Exposition mit diesem Stoff bei der beruflichen Tätigkeit verursacht worden ist (UVG Art. 9.1). Bei Substanzen, die nicht in der Liste figurieren, muss die gesundheitliche Störung ausschliesslich oder stark überwiegend durch die berufliche Tätigkeit mit diesem Arbeitsstoff verursacht worden sein, damit eine Berufskrankheit anerkannt werden kann (UVG Art. 9.2). Die Leistungen bei der Anerkennung einer Berufskrankheit entsprechen denen bei Unfällen, sind doch die Berufskrankheiten nach dem Gesetze diesen gleichgestellt (UVG Art. 9 Abs. 3).

7. Literatur

Ambroise D. et al.: Update of a meta-analysis on lung cancer and welding; *Scand J Work Environ Health* 2006; 32 (1): 22 - 31.

Antonini J. M. et al.: Pulmonary effects of welding fumes: review of worker and experimental animal studies. *Am J Ind Med* 2003; 43 (4): 350 -360.

Bakerly N. D. et al.: Fifteen-year trends in occupational asthma: data from the Shield surveillance scheme; *Occup Med* 2008; 58 (3): 169-174.

Bakerly N. D. et al.: Fifteen-year trends in occupational asthma: data from the Shield surveillance scheme; *Occup Med* 2008; 58 (3): 169-174.

Balindt P.: Lungenkrebsrisiko durch berufliche Exposition gegenüber Nickel und seinen Verbindungen. Inaugural-Dissertation. Hohe Medizinische Fakultät der Ruhr-Universität Bochum (2009).

Banga A. et al.: A study of characteristics of Michigan workers with work-related asthma exposed to welding; *J Occup Environ Med* 2011; 53 (4): 415-419.

BAuA (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin): TRGS (Technische Regel für Gefahrstoffe) Merkblatt Nr. 528: "Schweisstechnische Arbeiten" (2009).

BAuA (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin): TRGS (Technische Regel für Gefahrstoffe) Merkblatt zur Berufskrankheit Nummer 4115 "Lungenfibrose durch extreme und langjährige Einwirkung von Schweissrauchen und Schweissgasen - (Siderofibrose)" (Bek. des BMAS vom 30.12.2009).

Baur X. et al.: Bronchial asthma and COPD due to irritants in the workplace - an evidence-based approach; *J Occup Med Tox* 2012; 7 (19): 1 - 31.

Beckett W. S. et al.: Airway reactivity in welders: a controlled prospective cohort study. *J Occup Environ Med* 1996, 38 (12): 1229 - 1238.

Blättler M. A.: Schweißen und Schneiden. Schutz vor Rauchen, Stäuben, Gasen und Dämpfen. Suva. Bestellnummer 44053 (2012).

Bowler R. M. et al.: Neuropsychological sequelae of exposure to welding fumes in a group of occupationally exposed men; *Int J Hyg Environ Health* 2003; 206: 517-529.

Casarett & Doull's Toxicology, Seventh Edition, Curtis D. Klaassen (2008).

Cole P., Rodu B.: Epidemiologic studies of chrome and cancer mortality: a series of metaanalyses; *Regul Toxicol Pharmacol* 2005; 43: 225-231.

DGUV (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung: Information, Handlungsanleitung für die arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G39 "Schweisstrauche", BGI/GUV-I 504-39 Juni (2009).

EKAS (Eigenössische Koordinationskommission für Arbeitssicherheit): Richtlinie Nr. 6509 "Schweißen, Schneiden und verwandte Verfahren zum Bearbeiten metallischer Werkstoffe" (1999).

El-Zein M. et al.: Prevalence and association of welding related systemic and respiratory symptoms in welders; *Occup Environ Med* 2003; 60 (9): 655-661.

Erkinjuntti-Pekkanen Riitta et al.: Two year follow-up of pulmonary function values among welders in New Zealand; *Occup Environ Med* 1999; 56: 328-333.

Grimsrud T. K. et al.: Exposure to different forms of nickel and risk of lung cancer; *Am J Epidemiol* 2002; 156: 1123-1132.

Gube M. et al.: Experimental exposure of healthy subjects with emissions from a gas metal arc welding process - part II: biomonitoring of chromium and nickel. *Int Arch Occup Environ Health* 2013; 86: 31 - 37.

Hakansson N. et al.: Arc and resistance welding and tumours of the endocrine glands: a Swedish case-control study with focus on extremely low frequency magnetic fields; *Occup Environ Med* 2005; 62: 304-308

Holm M. et al.: Incidence and prevalence of chronic bronchitis. Impact of smoking and welding. The RHINE study; *Int J Tuberc Lung Dis* 2012; 16 (4): 553-557.

HSL (Health and Safety Laboratory): Annex 2 - Draft Statement of Evidence - Health effects arising from inhalation exposure to welding fume. 1 - 10 (2009).

IARC (International Agency for Research on Cancer): IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Chromium, Nickel and Welding. Volume 49. 1990: 447 - 525.

IIW (International Institute of Welding), Commission VIII - Health, Safety and Environment: Lung cancer and arc welding of steels 2001; 55: 12 - 20.

Jost M. und Pletscher, C.: Biologisches Monitoring und biologisches Arbeitstoleranzwerte. *SuvaMedical* 2009; 80:28-38.

Kim J. Y. et al.: Exposure to welding fumes is associated with acute systemic inflammatory response; *Occup Environ Med* 2005; 62: 157-163.

Koller M. et al.: Gesundheitliche Gefährdung durch Schweißen. Factsheet Suva.

Ladou J.: *Current Occupational & Environmental Medicine*. Fourth Edition. McGraw Hill (2007).

Lillienberg L. et al.: A Population-based Study on Welding Exposures at Work and Respiratory Symptoms; *Ann Occup Hyg* 2008; 52 (2): 107-115.

Lischka K. et al.: Heidelberger Mangan-Studie Follow-up. Forschungsprojekt F 1858 der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2007).

McMillan G. in: Hendrick David J. et al.: *Occupational Disorders of the Lung. Recognition, Management, and Prevention*. Elsevier Science 2002: 467 - 482.

Meyer-Baron M. et al: Performance alterations associated with occupational exposure to manganese - a meta-analysis; *Neurotoxicology* 2009; 30: 487 - 496.

Moulin J. J. et al.: A meta-analysis of epidemiologic studies of lung cancer in welders; *Scand J Work Environ Health* 1997; 23: 104 - 113.

Müller K.-M., Verhoff M. A.: Graduierung der Sideropneumokoniosen; *Pneumologie* 2000; 54: 315 - 317.

Nordberg G. F. et al.: *Handbook on the toxicology of metals*, third edition, Academic Press (2007).

OSHA (Occupational and Health Administration): Occupational Safety and Health Guideline for Welding Fumes. <http://www.osha.gov/SLTC/healthguidelines/weldingfumes/recognition.html> (accessed on 17th Jan 2013).

Palmer K. T. et al.: Exposure to metal fume and infectious pneumonia. *Am J Epidemiol* 2003; 157 (3): 227 - 233.

Palmer K. T. et al.: Mortality from infectious pneumonia in metal workers: a comparison with deaths from asthma in occupations exposed to respiratory sensitizers. *Thorax* 2009. 64 (11): 983 - 986.

Parizek M.: *Arbeitsmedizinische Aspekte bei Schädigungen durch Vibrationen*. Suva. Bestellnummer 2869/16 (1998).

Pesch B. et al.: WELDOX - Metallbelastungen beim Schweißen und deren gesundheitliche Auswirkungen. *IPA-Journal* 2011; 2: 12 - 17.

Pletscher C., Liechti B.: *Gesundheitliche Gefährdung am Arbeitsplatz durch Blei*. Suva. Bestellnummer 2869/06 (2007).

Plitzko S. et al.: Qualitative und quantitative Erfassung von Schweißrauchen als Grundlage für die Bewertung der inneren Manganbelastung (Biomonitoring); *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft* 2006; 66: 25.

Racette B.: Exposure to manganese and parkinsonism - epidemiological evidence. Vortrag am International Symposium "Exposure to Manganese and Neurotoxicity in Welders", IPA Bochum, 09.05.2012.

Rast H.: *Berufliche Hautkrankheiten*. Suva. Bestellnummer 2869/11 (2009).

Rom W. M.: *Environmental & Occupational Medicine*. Third Edition. Lippincott-Raven Publishers (1998).

Ross J. A. S. et al.: Cognitive Symptoms and Welding Fume Exposure. *Ann Occup Hyg* 2013; 57(1): 26-33.

Suva: *Grenzwerte am Arbeitsplatz*. Bestellnummer 1903.

Szram J. et al.: Welding, longitudinal lung function decline and chronic respiratory symptoms: a systematic review of cohort studies. *Eur Respir J* 2012; Epub ahead of print.

Tarlo S. M. et al.: *Occupational and environmental lung diseases*. Wiley-Blackwell (2010).

Thaon I. et al.: Increased lung function decline in blue-collar workers exposed to welding fumes. *Chest* 2012; 142 (1): 192 - 199.

Triebig G. et al.: *Arbeitsmedizin*. 3. vollständig neubearbeitete Auflage. Gentner-Verlag (2011).

Wieners D. et al.: Epidemiologische und klinische Untersuchungen akuter und chronischer obstruktiver Atemwegserkrankungen durch Schweissgase und -rauche; Zblatt Arbeitsmed 2000; 50 (2): 46 - 64.

Wieners D. et al.: Inhalative Belastungen durch Schweissverfahren; Zblatt Arbeitsmed 2000; 50: 38 - 44.

Zeidler-Erdely P. C. et al.: Immunotoxicology of arc welding fume: worker and experimental animal studies. J Immunotoxicol 2012; 9 (4): 411 - 425.