

Factsheet Gesundheitliche Gefährdung durch Schweißen¹

Michael Koller

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, Gase, Lärm, Strahlung, elektromagnetische Felder, Vibrationen, hohe Temperaturen oder Zwangshaltungen. In diesem Factsheet werden die entsprechenden gesundheitlichen Störungen besprochen.

1. Übersicht über die wichtigsten Schweiß- und Schneidverfahren

Unter Schweißen (franz. Soudage, engl. Welding) und verwandten Prozessen versteht man das Zusammenfügen, Trennen oder Beschichten metallischer oder thermoplastischer Grundwerkstoffe unter Anwendung von Wärme oder Druck mit oder ohne Zusatzwerkstoffe (Draht- oder Stabelektrode, Lot, Schweisszusatz zur Füllung der Schweissnaht, etc.). Die Wärme stammt entweder von einer Brenngas-Sauerstoffflamme oder von elektrischem Strom (Lichtbogen).

Die Grundwerkstoffe werden in Eisen- und Nichteisenwerkstoffe eingeteilt. Reines Eisen wird kaum als Grundwerkstoff verwendet, da es zu weich ist. Eisen ist nur dann hart und damit für die Verwendung als Werkstoff geeignet, wenn es mit einem Nichteisen-Element wie zum Beispiel Kohlenstoff legiert ist². Eine Legierung von Eisen und Kohlenstoff heisst Stahl³. Stähle können weitere Legierungsbestandteile enthalten, man spricht von niedrig legierten (<5% Legierungsbestandteile) und hoch legierten Stählen (>5% Legierungsanteile). Häufige Legierungsbestandteile sind:

¹ Dieses Factsheet basiert auf der Suva-Broschüre „Schweißen“ von Meier J. und Hofer L. (AM Suva), 1998.

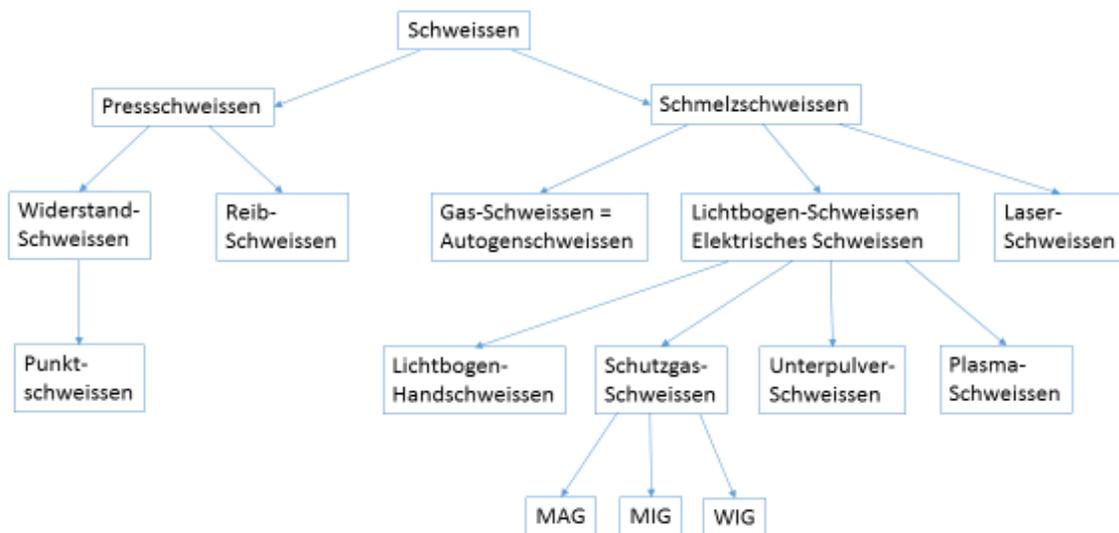
² Unter Legierung versteht man ein Gemenge mit metallischem Charakter aus mindestens zwei chemischen Elementen, von denen mindestens eines ein Metall ist (www.chemie.de/lexikon).

³ Stahl ist gemäss DIN EN 10020 ein Werkstoff, dessen Massenanteil an Eisen grösser ist als der jedes anderen Elements und 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).

- *Chrom und Nickel*: erhöhen Korrosionsbeständigkeit, Festigkeit, Härte. Rostfreier Stahl enthält >12% Chrom, säurebeständiger Stahl weist 12-18% Chrom und 8-12% Nickel auf.
- *Mangan*: erhöht Zugfestigkeit ohne grosse Härtezunahme, vermindert Verschleiss bei mechanischer Beanspruchung
- *Cobalt*: erhöht Härte und Warmfestigkeit
- *Silicium*: erhöht Härte, Härbarkeit, Festigkeit, Elastizität (Federstahl)

Insgesamt existieren etwa 140 genormte Schweisssprozesse. 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 detailliert vorgestellt – in diesem Factsheet wird nur eine kurze Übersicht der Schweissprozesse gegeben.

Übersicht über die verschiedenen Schweissarten



1.1. Pressschweissen

Beim Pressschweissen werden die metallischen Werkstoffe unter Druck und allenfalls örtlich begrenzter Wärme zusammengefügt. Beim Zusammenpressen wird die oberflächliche Metalloxid-Schicht aufgebrochen, sodass die beiden Metallteile direkt miteinander in Kontakt treten und Metallbindungen eingehen können. Die Wärme stammt entweder von Strom, welcher durch die Schweissstelle fliesst (Widerstands-Pressschweissen), oder von mechanischer

Reibung (Reibschweissen). Es werden meistens keine Schweisszusätze gebraucht. Beim Pressschweissen entstehen nur wenige Emissionen, sodass es höchst selten zu Berufskrankheiten kommt. Die bekannteste Form des Widerstandpressschweissens ist das Punktschweissen.

1.2. Schmelzschweissen

Beim Schmelzschweissen werden die Berührungsstellen der zu vereinenden Grundwerkstoffe bis in den Schmelzbereich erwärmt und so die oberflächliche Metalloxid-Schicht aufgebrochen. Nun können die beiden Werkstoffteile Metallbindungen eingehen. Meistens wird zusätzlich ein artgleicher Zusatzwerkstoff (Schweisszusatz) verwendet, welche aufgeschmolzen wird und mithilft, die Schweissfuge zu füllen. Im Zusatzwerkstoff hat es oft auch Hilfsstoffe wie Flussmittel, Schlackenbildner und Lichtbogen-Stabilisatoren. Flussmittel beseitigen die oberflächliche Metalloxid-Schicht mittels einer chemischen Reaktion.

Je nach Wärmequelle unterscheidet man zwischen folgenden drei Schmelzschweissarten:

1.2.1. Gasschweissen = Autogenschweissen

Die Wärmequelle ist hier eine Flamme, die mit einem Sauerstoff-Brenngasgemisch gespiesen wird. Als Gas dient zumeist Acetylen, aber auch Erdgas, Propan, Wasserstoff etc. Es werden Temperaturen um 3000°C erreicht. Gasschweissen eines der ältesten Schweissverfahren, es ist aber gefährlich und weist hohe Betriebskosten auf, weswegen es durch moderne Verfahren ersetzt wird.

1.2.2. Lichtbogenschweissen

Bei dieser Art des Schweissens wird eine elektrische Gasentladung zwischen einem als Elektrode dienenden Zusatzwerkstoff und dem Werkstück als Wärmequelle gebraucht. Die Temperaturen betragen bis gegen 5000°C. Bei diesem Vorgang wird die Elektrode verbraucht und Schweisszusätze verbrannt, wodurch es zu potenziell schädlichen Emissionen kommt. Hauptbestandteile dieser Emissionen sind Oxide aus Fe, K, Si, Ca, Cr(VI), Mg, Ba, Ti und Fl. Lichtbogenschweissen ist diejenige Schweissart mit den höchsten Emissionsraten. Es gibt verschiedene Arten des Lichtbogenschweissens:

Lichtbogen-Handscheissen (LBH)

LBH ist ein rein manuelles Schweissverfahren mit Stabelektroden als Zusatzwerkstoff. Die Stabelektroden sind zumeist sogenannte Mantelelektroden, welche in der Hülle diverse Zusätze und Hilfsstoffe enthalten. Beim Brennen des Lichtbogens tropft die Elektrode an der Spitze ab und füllt die Schweissfuge auf. Ein Teil der Stoffe gerät als Rauch in die Luft, weshalb LBH mit einer hohen Rauchemissionsrate verbunden ist.

Schutzgas-Schweissen

Bei dieser Art des Schweissens verhindert ein Schutzgas um den Lichtbogen, dass Sauerstoff an die Schweissstelle gelangt. Dadurch kann auf eine Ummantelung teilweise verzichtet werden, weswegen deutlich geringere Schweissrauche entstehen. Beispiele sind:

- Metall-Aktivgasschweissen (MAG) mit einem reaktionsfähigem Schutzgas (z.B. CO₂ → CO),
- Metall-Inertgasschweissen (MIG) mit einem Inertgas (Argon, Helium) als Schutzgas,
- Wolfram-Inertgasschweissen (WIG; engl. TIG) mit einer Wolfram-Elektrode und einem Inertgas als Schutzhülle – die Wolfram-Elektrode schmilzt übrigens nicht ab.

Unterpulverschweissen

Plasmaschweissen

1.2.3. Laser(strahl)schweissen

Beim Laserschweissen ist die Energiequelle ein Laserstrahl. Der Strahl wird über eine Optik auf den Brennfleck an der Schweissnaht fokussiert, wo das Metall zu schmelzen beginnt. Der Durchmesser der Brennflecks beträgt nur wenige Zehntelsmillimeter, die Temperatur steigt innert kürzester Zeit über die Schmelztemperatur der Legierung an. Als Oxidationsschutz dient Argon.

1.3. Löten

Beim Löten werden metallische Werkstücke mit Hilfe eine Metalllegierung (Lot oder Lötzinn) verbunden. Als Lot dienen beim Weichlöten Zinn, Zink, Antimon, Blei (seit 2006 in der EU in Loten verboten), beim Hartlöten Silber oder Kupfer (Cadmium ist gemäss ChemRRV weitgehend verboten). Zusätzlich können Flussmittel (z.B. Kolophonium, Zinkchlorid) und/oder Löt-schutzgase verwendet werden. Da die Schmelztemperatur des Lots unterhalb derjenigen des Grundwerkstoffs liegt, werden die Grundwerkstoffe selbst nicht geschmolzen, sondern lediglich „benetzt“. Die Rauche beim Löten sind von den eingesetzten Flussmitteln und den Loten abhängig.

1.4. Schneiden

Bei diesem thermischen Trennverfahren wird der Werkstoff durch gebündelte Gasstrahlen geschmolzen und getrennt. Es gibt zwei Verfahrenstechniken: die Autogentechnik (beispielsweise Brennschneiden) und die Lichtbogenschneidetechnik (zum Beispiel Laserschneiden oder Plasmaschneiden). Beim thermischen Schneiden stammt der Rauch grundsätzlich aus dem

Grundwerkstoff. Die Einzelpartikel sind grösser als beim Schweißen und nur teilweise alveolengängig. Die Gas-, Rauch- und Dampfentwicklung ist erheblich.

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

Verfahren	Allgemeines	Grundwerkstoff	Leitkomponenten
LBH	Höchste Emissionsrate aller Schweissarten 95% des Rauchs stammt aus Zusatzwerkstoff Rauch besteht aus Oxiden (Fe, Mn, Na, K, Si, Ca, Cr, Ni, Mg, Ti) und Fluoriden	Un-/niedriglegiert	a-Staub
		Cr-Ni-Stahl	a-Staub Ni(unlös.)-Verb. Cr(VI)-Verb.
		Gusseisen	a-Staub Ni(unlös.)-Verb.
MAG	Rauch besteht v.a. aus Fe-Oxiden (evt. Ni, Mn, Cr) Gase: CO und evt. Ozon	Un-/niedriglegiert	a-Staub Mangan Evt. CO
		Cr-Ni-Stahl	a-Staub Ni(unlös.)-Verb. Cr(VI)-Verb.
MIG	Cave Cr und Ni bei hochlegierten Zusätzen	Un-/niedriglegiert	a-Staub evt. Cu
		Cr-Ni-Stahl, Ni-Legierungen	a-Staub Ni(unlös.)-Verb. Ozon
		Aluminiumwerkstoffe	Ozon a-Staub
WIG (TIG)	Niedrigste Rauchemission aller Schweissarten	Un-/niedriglegiert, Aluminiumwerkstoffe	Ozon (bei Al) a-Staub
		Cr-Ni-Stahl, Ni-Legierungen	Ozon Ni(unlös.)-Verb.
Plasma	Wenig Rauch beim Plasmaschweissen (ähnlich WIG) Viele Partikel beim Schneiden Evt. Bildung von Chromaten und NO _x	Un-/niedriglegiert	a-Staub evt. NO ₂
		Cr-Ni-Stahl, Ni-Legierungen	a-Staub Ni(unlös.)-Verb. NO ₂
		Aluminiumwerkstoffe	Ozon a-Staub
Laser	Rauch wie bei MAG beim Schweissen Viel Staub beim Schneiden Co-Oxide bei Co-Legierungen Cu- u. Al-Oxide bei Bronze-Al-Stoffen Cave Strahlung!	Un-/niedriglegiert, Verzinkter Stahl	a-Staub Zink
		Cr-Ni-Stahl, Ni-Legierungen	a-Staub Ni(unlös.)-Verb-
Widerstand	Viel Rauch bei gefetteten oder beschichteten Blechen (org. Stoffe)	diverse	a-Staub evt. Cu
Gasschweissen Flammwärmen	Wenig Staub (<1 mg/s) Cave Cu-Werkstoffe, verzinkte und cadmierte Teile, farb- und kunststoffbeschichtete Teile	Eisen und Stahl	NO ₂
Brennschneiden	Erhebliche Rauch- und Staubentwicklung	Eisen und Stahl	a-Staub NO ₂
Löten		Abhängig von Lotart und Flussmittel	a-Staub NO ₂ (Flammlöten) andere

Schweisstechniken und die dabei entstehenden Rauche und Gase

2. Die wichtigsten gesundheitsgefährdenden Stoffe mit den durch sie ausgelösten Beschwerden

Beim Schweißen entstehen abhängig vom Schweißverfahren verschiedene Rauche, Stäube, Dämpfe und Gase von unterschiedlichen Inhaltsstoffen. Insgesamt befinden sich über 40 chemische Stoffe in den Rauchen und Gasen.

Gase⁴ und Dämpfe⁵ haben ihren Ursprung in den Brenn- und Schutzgasen, der Luft, den Beschichtungsmaterialien oder Verunreinigungen. Beispiele von gasförmigen Schadstoffen sind:

- *Acetylen (C₂H₂)*: wird vor allem beim Gasschweißen verwendet.
- *Ozon (O₃)*: bildet sich aus Luftsauerstoff O₂ bei Einstrahlung von UV-Licht, welches von der Schweißflamme ausgeht, und kommt bei raucharmen Verfahren (WIG) vor
- *Kohlenmonoxid (CO)*: entsteht durch Reduktion des als Schutzgas gebrauchten CO₂ beim MAG-Schweißen.
- *Stickoxide (=nitrose Gase, NO_x)*: bilden sich durch Oxidation von Luftstickstoff bei offener Flamme.
- *Phosgen (COCl₂)*: stammt aus chlorierten Kohlenwasserstoffen bei Einstrahlung von UV-Licht aus der Schweißflamme. Chlorierte Kohlenwasserstoffe sind Lösungsmittel, welche zur Entfettung der Werkstücke gebraucht worden sind.
- *Aldehyde*

Bei Gasen muss neben den möglichen direkten gesundheitlichen Schäden auch die Brand- und Explosionsgefahr miteinbezogen werden.

Stäube⁶ und Schweißrauche⁷ stammen zu 95% aus dem Zusatzwerkstoff (Elektroden, Schweißstäbe, Lot, Schweißpulver, Schweißzusatz, Flussmittel etc.) und zu 5% aus dem Grundwerkstoff. Der Metallrauch entsteht einerseits durch Kondensation und Oxidation von Metallen in der Dampfphase, andererseits durch unvollständiges Verbrennen organischer Materialien wie dem Schweißzusatz oder der Beschichtung. Neben Metalloxiden bilden sich auch Metallfluoride und -chloride.

Die Staubbelastungen sind von verfahrens- und werkstoffspezifischen Faktoren abhängig: Das LBH-Schweißen weist die höchste Emissionsrate aller Schweißverfahren auf, das WIG- und das Plasmaschweißen zeigen die niedrigste Rauchentwicklung. Durch geeignete arbeitshygie-

⁴ Unter Gas versteht man einen Aggregatzustand, in welchem sich die Moleküle völlig frei bewegen und einen Raum vollständig und gleichmässig ausfüllen (chemie.de).

⁵ Unter Dampf versteht man ein Gas, das noch im Kontakt mit der flüssigen bzw. festen Phase steht, aus der es durch Verdampfung bzw. Sublimation hervorgegangen ist (chemie.de).

⁶ Stäube sind feinste feste Partikel, welche in der Luft lange Zeit schweben können (chemie.de).

⁷ Rauch ist Schwebestaub, welcher durch Verbrennungsprozesse entstanden sind (chemie.de).

nische Massnahmen wie Absaugvorrichtungen können die Staubbelastungen stark reduziert werden.

Die Einzelpartikel beim Schweißen, Schneiden und Löten haben in der Regel einen Durchmesser von 0.01 bis 1 µm und sind damit alveolengängig (**a-Staub: 50%-Abscheidegrad bei 4 µm** [EN 481]). 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 Schweisssrauche gehört - in agglomerierter Form⁸ - zur einatembaren Staubfraktion (**e-Staub: 50%-Abscheidegrad bei 100 µm** [EN 481]). Die grössten Partikel-Agglomerate entstehen beim thermischen Schneiden oder Spritzen.

Eine Zusammenfassung der wichtigsten beim Schweißen auftretenden Gefahrstoffe mit den durch sie hervorgerufenen möglichen gesundheitlichen Folgen findet sich in Tabelle 2. Die Substanzen werden anschliessend einzeln diskutiert.

Stoff bzw. dessen Oxid	Wichtigste gesundheitliche Störungen
Aluminium	Aluminose
Blei	Toxizität bezüglich Blut, Nervensystem, Nieren, Verdauungstrakt und Reproduktion
Cadmium	Lungen- und Nierenschädigung, toxische Pneumonitis (Lungenkrebs?)
Chrom(III)	Schleimhautreizung
Chrom(VI)	Nasentumore, Lungenkrebs, Sensibilisierung (Dermatitis)
Cobalt	Sensibilisierung (Asthma, Ekzem)
Isocyanate	Asthma
Kupfer	Metallrauchfieber, Reizung der Atemwege
Fluoride	Reizung (Fluorose, Nierenschädigung)
Eisen	Siderose (Schweisserlunge), Siderofibrose
Kohlenmonoxid	ZNS-Symptome, Ersticken, kardiovaskuläre Symptome

⁸ Aggregat = Sekundärpartikel aus fest gebundenen oder verschmolzenen Primärpartikeln, zusammengehalten durch starke Kräfte wie beispielsweise kovalente Kräfte oder solche, welche auf Sintern oder komplexen physikalischen Verhakungen beruhen [nanopartikel.info/glossar].

Agglomerat = Sekundärpartikel bestehend aus schwach gebundenen Primärpartikeln (beispielsweise Aggregate), zusammengehalten durch schwache Kräfte wie beispielsweise van-der-Waals-Kräfte oder einfache physikalische Verhakungen [nanopartikel.info/glossar].

Magnesium	Metallrauchfieber
Mangan	Parkinsonismus (Manganismus), Metallrauchfieber, Bronchitis
Molybdän	Atemwegsreizung
Nickel	Sensibilisierung, Krebs der Atemwege
Ozon	Reizung der Atemwege
Phosgen	Reizung der Atemwege, Lungenödem
Stick(stoff)oxide (= nitrose Gase)	Reizung der Atemwege, Bronchiolitis, Lungenödem
Vanadium	Reizung der Atemwege
Zink	Metallrauchfieber, Neurotoxizität
Zinn	Stannose, Neurotoxizität

Die wichtigsten Gefahrstoffe (bzw. deren Oxide) und die durch sie bzw. deren Verbindungen bei Schweißern hervorgerufenen gesundheitlichen Störungen

2.1. Aluminium

Aluminiumoxide bilden sich beim Umgang mit aluminiumhaltigen Grund- und Zusatzwerkstoffen. Bei monate- bis jahrelanger hochgradiger Exposition gegenüber aluminiumhaltigen Schweißrauchen kann sich eine Aluminose (eine Pneumokoniose) entwickeln, ohne Beteiligung der Hiluslymphknoten und ohne Granulombildung. Von der Aluminose betroffen sind vor allem die Lungenober- und -mittelfelder. Zur Frühdiagnostik der Aluminose bietet sich das HRCT an, denn im konventionellen Röntgenbild werden erst fortgeschrittene Veränderungen gesehen.

Aluminium erwies sich in Tierexperimenten als neurotoxisch und führte zu einer Ansammlung von sogenannten Neurofibrillary Tangles (aggregiertes Protein Tau) in Neuronen - Neurofibrillary Tangles treten auch bei der Alzheimerkrankheit auf. Für eine kausale Rolle von Aluminium bei dieser Demenz gibt es aber keine Evidenz [Klotz]. Hingegen scheint es einen Zusammenhang zwischen zu hohen Aluminium-Werten im Urin und kognitiven Störungen zu geben [Klotz].

Da die Halbwertszeit von Aluminium im Körper Monate bis Jahre beträgt, kann die Belastung des Arbeiters am besten via Bestimmung von Aluminium im Urin im Rahmen eines Biomonitorings abgeschätzt werden.

2.2. Blei

Bleihaltige Anstrichfarben und Lacke wurden früher verwendet, sie sind heute gemäss ChemRRV verboten. Demgegenüber werden bleihaltige Lote teilweise noch eingesetzt.

Das Einatmen bleihaltiger Rauche führt zu Störungen diverser Organsysteme. Ist das zentrale Nervensystem betroffen, so kann es zu Symptomen in Form eines neurasthenischen Syndroms mit Müdigkeit, Erschöpfbarkeit, Konzentrationsproblemen etc. kommen. Es braucht hierzu aber langdauernde hohe Expositionen, wie sie heute kaum mehr vorkommen, insbesondere nicht beim Schweißen. 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]. Es bestehen Hinweise darauf, dass Blei krebserregend sein könnte, die Belastbarkeit der Studien ist aber zu klein, um Blei definitiv als krebserregend einstufen zu können (Klasse C2 gemäss Suva).

Die Bleibelastung bei Schweißern wird heute am besten mittels Bestimmung des Blutbleis abgeschätzt, wobei beachtet werden muss, dass für Frauen im gebärfähigen Alter tiefere Werte anzustreben sind als für Männer und ältere Frauen. Die Bestimmung der Delta-Aminolävulinsäure im Urin wird nur noch bei hochbelasteten Arbeitnehmern wie zum Beispiel im Korrosionsschutz durchgeführt.

2.3. Cadmium

Cadmium war früher ein Bestandteil gewisser Lote, Farben und Lacke; heute kann es beim Schweißen und Schneiden von cadmiumbeschichteten Werkstoffen zu Cadmiumexpositionen kommen.

Die Toxizität hängt von der Art der Cadmium-Verbindung ab. So sind Cadmiumchlorid, -oxid und -carbonat toxischer als Cadmiumsulfid. Eine Exposition gegenüber cadmiumhaltigen Schweissräuchen kann zu Metallrauchfieber und sehr schwer verlaufenden Lungenreizungen mit Lungenödem führen. Bei langandauernder Cadmiumexposition können sich atrophische Rhinitis und obstruktive Lungenschäden entwickeln. Cadmium kann ausserdem die tubuläre Funktion beeinträchtigen, führt aber nicht zu einer chronischen Niereninsuffizienz (chronic kidney disease CKD) [Byber].

Cadmium und seine Verbindungen gehören in die Kanzerogenitätskategorie C1_B[#] gemäss schweizerischer Grenzwertliste, denn Cadmiumverbindungen haben sich im Tierversuch als krebserregend erwiesen. Es wird diskutiert, ob Cadmium im Mensch das Lungenkrebsrisiko erhöht und eine Assoziation mit Nieren- und Pankreaskrebs wird ebenfalls in Betracht gezo-

gen. Die #-Notation bedeutet, dass die kanzerogene Wirkung einen Schwellenwert aufweist, welcher über dem MAK-Wert liegt.

Da Cadmium hautgängig ist, sollte ein biologisches Monitoring mit Bestimmung des Cadmiums im Urin erwogen werden.

2.4. Chrom

Vom arbeitsmedizinischen Standpunkt aus sind die drei- und sechswertigen Chromverbindungen Cr(III) und Cr(VI) von Belang; das metallische Chrom ist schwerlöslich und verhält sich biologisch inaktiv.

Im Schweißrauch kommen **Cr(III)-Verbindungen** vor allem beim MAG-Schweißen mit hochlegierten Drähten vor. Chrom(III)-Verbindungen sind korrosiv und können chronische Ulzerationen der Nasenscheidewand und der Haut verursachen, zudem können sie allergische Hautreaktionen vom Typ IV oder Asthma auslösen (ausser Cr(III)-Oxid und schwerlösliche Chrom(III)-Verbindungen).

Die wichtigsten **Cr(VI)-Verbindungen** beim Schweißen sind Chromtrioxid CrO_3 und Chromate CrO_4^{2-} . Chromate entwickeln sich vor allem beim Lichtbogen-Handschweißen mit umhüllten Stabelektroden von hochlegiertem Chrom-Nickel-Stahl und beim Schutzgas-Schweißen mit hochlegierten Fülldrähten [DGUV]. Beim Plasmaschmelzschneiden mit Druckluft, Laserstrahlschneiden von hochlegiertem Chrom-Nickel-Stahl und beim thermischen Spritzen mit stark chromhaltigen Spritzzusätzen entsteht vor allem Chromtrioxid.

Cr(VI)-Verbindungen sind sensibilisierend und hautpenetrierend (mit Ausnahme von Barium- und Bleichromat). Wegen der Möglichkeit der Aufnahme von Cr(VI)-Verbindungen über die Haut und den Verdauungstrakt empfiehlt sich zusätzlich zu Konzentrationsmessungen in der Luft ein Biomonitoring.

Cr(VI)-Verbindungen sind in der Schweizer Grenzwertliste als Kanzerogen der Klasse C1A eingestuft. Sie erhöhen das Risiko von Lungenkrebs und wahrscheinlich von Krebs der Nasenhaupt- und -nebenhöhlen. Betroffen waren insbesondere Arbeitnehmer in der Galvanik und Verchromung sowie in der Chromat- und Chromatpigmentproduktion. Zwar weisen auch Schweißer ein erhöhtes Lungenkrebsrisiko auf – inwiefern diese Erhöhung aber auf Cr(VI)-Verbindungen zurückzuführen ist, bleibt unklar [Brüning]. Bei der Frage nach Anerkennung von Lungenkrebs als Berufskrankheit bei Schweißern empfehlen Brüning et al. eine kumulative Mindestdosis von etwa $500 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{Jahre}$.

2.5. Cobalt

Cobalt wird als Bindemittel in der Matrix von Hartmetallen⁹ benutzt. Bei der Herstellung und Bearbeitung von Hartmetallen kann es zu Lungenödemen, fibrosierende Alveolitiden und Lungenfibrosen kommen, nicht aber beim Schweißen. Cobalt und seine Verbindungen wirken sensibilisierend und können zu allergischen Kontaktekzemen, Urtikaria und Asthma führen. Cobalt verursacht in Nagern Krebs, weshalb es in der Schweizer Grenzwertliste als wahrscheinliches Humankanzerogen (C1_B) eingestuft ist, allerdings ist bis heute beim Menschen keine kanzerogene Wirkung nachgewiesen. Cobalt ist ausserdem ein wahrscheinlich fruchtbarkeitsschädigender Stoff (R1_{BF}). Da lösliche Cobaltverbindungen und wahrscheinlich auch metallisches Cobalt die Haut penetrieren können, empfiehlt sich neben dem Air-Monitoring ein Biomonitoring.

2.6. Eisen

Eisenrauch entstammt dem Zusatz- und Grundwerkstoff [BGI 593]. Er 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 Schweisserlunge genannt. Dabei werden Eisenoxidpartikel nach Inhalation vorwiegend reaktionslos im interstitiellen Bindegewebe der Lunge und in den Makrophagen abgelagert. 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 ("Eisentätowierung"). 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

⁹ Sinter-Hartmetalle bestehen aus gesinterten Carbiden (C_xM_y mit C = Kohlenstoff und M = Wolfram, Titan, Tantal, Niob, Molybdän, Chrom oder Vanadium). Als Matrix dient Cobalt, seltener Nickel und Eisen. Neben Sinter-Hartmetallen gibt es andere Hartmetallarten wie Aufschweislegierungen aus Wolframcarbid, Aufspritzpulver, Gusscarbid.

von Aluminiumwerkstoffen und Edelstählen) oder Stickstoffoxiden (bei Schweisverfahren mit Gasflamme) verstärkt die fibrotische Wirkung des Schweisrauchs.

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.

2.7. Fluor

Fluoride sind vor allem im Schweisrauch von kalkbasischen Elektroden enthalten. Sie können Reizungen der Augen und Atemwege bewirken. Fluorosen treten nur bei jahrelangen, deutlich über dem Grenzwert liegenden Expositionen auf, ebenso Lungenödeme; solch hohe Konzentrationen sind beim Schweissen nicht zu erwarten. Fluoride sind hautdurchgängig und es existiert ein biologisches Monitoring für anorganische Fluorverbindungen.

2.8. 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 kupferhaltigen Gefässen aufbewahrt werden.

Bei Schweisern 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 3 ausführlicher beschrieben.

2.9. Mangan

Manganoxide werden beim Lichtbogenschweissen mit manganhaltigen Schweisszusätzen gebildet.

Mangan und seine anorganischen Verbindungen wirken bei inhalativer Aufnahme toxisch auf die Lunge und das zentrale Nervensystem.

Akute Effekte in der Lunge sind Entzündungsreaktion mit Bronchitis, Pneumonitis, selten auch Metallrauchfieber. Zentralnervöse (sub)akute Effekte sind Schlaflosigkeit, emotionale Instabilität, Gedächtnisstörungen, Kopfweh oder Muskelkrämpfe.

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]. Die Ausprägung eines Parkinsonismus wird in Studien zum Beispiel mittels des Fingertapping-Tests untersucht: Bei diesem Test soll der Proband mit dem Zeigefinger so schnell wie möglich auf den Daumen tippen. Eisen benutzt teilweise die gleichen Transportwege wie Mangan (Transferrin), weswegen eine Schutzwirkung eines genügend hohen Eisenspiegels im Blut diskutiert wird.

Bei Verdacht auf Mangan-Belastung ist die Bestimmung der Mangankonzentration im Blut [Pnitzko] 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.

2.10. Nickel

Nickeloxide bilden sich vor allem beim Schweißen unter Verwendung von nickelhaltigen Schweißzusätzen.

Die häufigste gesundheitliche Störung, welche durch Nickel hervorgerufen wird, ist die Kontaktdermatitis. Es handelt sich um eine Sensibilisierung vom Spättyp (Typ-IV-Allergie), 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. Es kann sich ein exogenes Asthma bronchiale entwickeln. Besonders toxisch bei der Inhalation ist das Nickelcarbonyl $\text{Ni}(\text{CO})_4$, welches bei der Reaktion von Nickel mit Kohlenmonoxid entsteht. Nach inhalativer Aufnahme von Nickelcarbonyl kann es zu Reizungen, Kopfweh, Übelkeit, Zyanose, Schwäche, Fieber und Pneumonitis kommen.

Bei Exposition zu Nickelverbindungen wurden erhöhte Raten an Krebs der Nasenhaupt- und -nebenhöhlen und der Atemwege (inkl. Kehlkopf) beobachtet. Nickelverbindungen sind in der schweizerischen Grenzwertliste in die Kanzerogenitätsklasse C1_A 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. Das Vorhandensein einer Schwellenkonzentration wird diskutiert. Metallisches Nickel ist in die Kanzerogenitätskategorie C2 eingeteilt worden, das heisst, dass zwar Anhaltspunkte für eine krebserzeugende Wirkung vorliegen, diese aber nicht für eine Einteilung als Kanzerogen reichen.

Die Nickelbelastung wird vorzugsweise über Biomonitoring (Nickel im Urin) abgeschätzt.

2.11. Zink

Zinkoxid entsteht zum Beispiel beim Schweißen von galvanisiertem Metall oder beim Löten. Zinkoxide sind die häufigste Ursache des Metallrauchfiebers („Zinkrauchfieber“), welches ausführlich weiter unten erläutert wird. An der Haut kann es akneiforme Hautveränderungen hervorrufen. 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) kommen. Zink hemmt ausserdem die Kupferaufnahme im Darm und kann zu Kupfermangel führen.

2.12. Zinn

Zinn und seine anorganischen Verbindungen können in Loten oder in der Galvanik vorkommen und sind relativ wenig toxisch. Eine chronische Inhalation kann zur sogenannten Stannose, einer gutartigen Pneumokoniose, führen.

Einige organische Zinnverbindungen (Triethyl- und Trimethylzinn) sind neurotoxisch und führen in hoher Konzentration zu Enzephalopathien und Hirnödem. Tributylzinn kann zu Hautirritationen oder -verbrennungen führen.

2.13. Gase

Kohlenmonoxid

Kohlenmonoxid entsteht beim MAG-Schweißen mit CO₂ als Aktivgas und durch die unvollständige Verbrennung von Brenngasen, Flussmitteln und Beschichtungen.

Kohlenmonoxid verursacht Kopfschmerzen, Schwindel und Myokardschädigungen. Da es geruchsfrei ist, kann es in geschlossenen Räumen in hoher Konzentration unbemerkt zum Tod durch Erstickung führen. Die Konzentration von CO-Hb (Carboxyhämoglobin) im Blut sollte nicht mehr als 5% des Gesamt-Hämoglobins ausmachen.

Ozon

Ozon O₃ entsteht aus Sauerstoff O₂ durch die UV-Strahlung im Lichtbogen, vor allem beim raucharmen WIG-Schweißen (Ozon zerfällt im Rauch wieder zu Sauerstoff), MIG-Schweißen und Plasmalichtbogenschweißen von reflektierenden aluminium-, chrom- oder nickelhaltigen Stählen.

Ozon führt zu trockenen Schleimhäuten, Kopfschmerzen, einer Entzündung der tiefen Atemwege mit Ausbildung einer bronchialen Hyperreagibilität, Asthma, Lungenödem oder vielleicht auch Lungenfibrose führen. Eine krebserzeugende Wirkung wird diskutiert, für eine abschliessende Beurteilung ist die Datenlage zu wenig belastbar (Kategorie C2).

Phosgen

Phosgen (COCl_2 , Carbonylchlorid) entsteht unter Hitze- und UV-Einwirkung aus chlorierten Kohlenwasserstoffen, welche als Lösungsmittel zum Reinigen und Entfetten von Metallen gebraucht werden. Zu diesen Lösungsmitteln gehört zum Beispiel Tetrachlorethen. Aufgrund seiner Lipophilie gelangt es in den unteren Atemtrakt und wirkt dort stark toxisch; es kann mit einer Latenzzeit von einigen Stunden bis drei Tagen zu einem Lungenödem führen. Auf die oberen Atemwege übt es in geringen Konzentrationen höchstens eine leichte Reizwirkung aus.

Stick(stoff)oxide (nitrose Gase NO_x)

Stickoxide bilden sich durch Oxidation des Luftstickstoffs an den Kontaktflächen der Gasflamme und des Lichtbogens. Bei Temperaturen über 1000°C entsteht vorerst Stickstoffmonoxid NO , welcher dann bei Raumtemperatur zum toxischeren Stickstoffdioxid NO_2 oxidiert.

NO bewirkt in hohen Konzentrationen innerhalb Minuten Schwindel, Benommenheit bis Bewusstlosigkeit, Atemnot, Zyanose, Übelkeit, Erbrechen.

In der Praxis ist für das Vergiftungsbild in der Regel das NO_2 entscheidend, welches seine toxische Wirkung in den unteren Atemwegen und Alveolen entfaltet. Stickstoffdioxid kann wie Ozon zu trockenen Schleimhäuten, Kopfschmerzen, Lungenödem und Lungenfibrose führen.

Die Schädigung durch nitrose Gase nimmt unter den inhalativ erworbenen Berufskrankheiten bei Schweißern eine bedeutende Stellung ein. Gefährdet sind vor allem jene Schweißer, welche in schlecht belüfteten Räumen mit Brenngasen arbeiten (Brennschneiden in Kellern, Flammwärm- und Schweissarbeiten in Tanks).

2.14. Andere

Weitere mögliche Schadstoffe sind Barium, 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.

3. Erkrankungen nach Organsystemen und Erkrankungsmustern geordnet

3.1. Augen

Der Lichtbogen und die Schweissflamme 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 sind hierbei nicht nur der Schweißer, sondern auch sich in der Nähe befindliche Personen. Auch beim Punktschweissen, einer Art des Widerstandsschweissens, entsteht ein Lichtbogen, welcher das Auge schädigen kann. 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 Datenlage bezüglich vermehrtem Auftreten von Aderhautmelanomen bei Schweißern ist zu heterogen, als dass diese Krebserkrankung in Deutschland als Berufskrankheit anerkannt werden könnte [Hiller].

Die Infrarotstrahlung beim Schweißen kann zu Katarakt („**Glasbläserstar**“) und wärmebedingten Veränderungen führen. Gute PSAs können Katarakte erfolgreich verhindern [Michaelson Slagor].

Weitere Schädigungen des Auges können durch Gase, Rauche, Partikel, Funkenwurf etc. auftreten, welche direkt auf das ungeschützte Auge auftreffen und dort zu **Reizungen und Verbrennungen** führen können.

Der Augenschutz (Schweisshelm, Schweisschild) muss sowohl vor UV-Strahlen als auch vor Strahlen im sichtbaren und Infrarot-Bereich schützen.

3.2. 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].

Reizungen

Die Exposition gegenüber Schweisssrauch und -gasen (siehe zum Beispiel Ozon, Stickoxide, Phosgen, Alkali- und Erdalkalioxide, Cadmium, Kupfer, Vanadiumpentoxid, Acetaldehyd, Akrolein, Cyanwasserstoff, Epoxidharze, Formaldehyd, Isocyanate, Phthalsäureanhydrid) kann zu Reizungen der oberen und unteren Atemwege bis hin zu Lungenödem führen.

Im Bereich der oberen Atemwege manifestiert sich die irritative Wirkung an der Nasenschleimhaut in Form eines brennenden Gefühls, mit dünnflüssiger Sekretbildung, Schwellung und Rötung der Schleimhäute sowie allenfalls Hyposmie. Bei Exposition gegenüber Cadmium bezeichnet man eine auftretende Rhinitis als „Cadmiumschnupfen“, bei Exposition gegenüber Vanadiumpentoxid kann man neben Rhinitis und Hyposmie eine grün-schwärzliche Verfärbung der Zunge beobachten, bei Exposition gegenüber Quecksilber und Blei können Stomatitis und Gingivitis auftreten.

Lungenödem

Lungenödem sind selten geworden, da hohe Konzentrationen (grosse Flamme) nötig sind. Charakteristisch für den Verlauf chemisch-toxischer Ödeme ist ein Intervall von 2 bis 72 Stunden mit nur wenig Symptomen (Reizerscheinungen, Husten, Mattigkeit, Fieber [DD: Metallrauchfieber], leichte Dyspnoe). Nach dieser ersten Phase tritt eine dramatische Verschlechterung des Zustandes ein mit schneller Füllung der Alveolen mit Transsudat. Nach Besserung des Lungenödems kann sich manchmal eine Bronchiolitis obliterans oder Fibrosierung des Lungengewebes entwickeln, in der Regel bleiben aber keine Residuen zurück. Von einem Lungenödem gefährdet sind oder waren vor allem Schweißer, welche mit galvanisiertem und rostfreiem (also chromhaltigem) Stahl, Cadmium, Cobalt, Osmiumtetroxid, Phosphin oder lipophilen Gasen wie Stickstoffdioxid oder Phosgen arbeiteten. Cadmium kann besonders schwere Reizungen auslösen. Ozon, Akrolein und Vanadiumpentoxid verursachen sowohl bei oberen wie unteren Atemwegen toxischen Veränderungen.

Chronische Bronchitis und COPD

Das Risiko, an einer **chronischen Bronchitis**¹⁰ und einem hyperreagiblen Bronchialsystem zu erkranken, ist bei Arbeiten mit galvanisiertem oder rostfreiem Stahl am höchsten. Grosse Studien (ECRHS II- oder RHINE-Studie) zeigten relative Risiken zwischen 1,4 und 2,1, abhängig vom Schweisssverfahren 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].

¹⁰ 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.

Es ist bekannt, dass gewisse Metalle wie Cadmium obstruktive Lungenschäden verursachen können. Eine kausale Beziehung zwischen der Exposition gegenüber Schweissrauch im Allgemeinen und der Entstehung einer **COPD** konnte dennoch nicht schlüssig bewiesen werden. 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 Arbeitnehmern mittels Expositionsmatrize abgeschätzt. Die Ausgangslungenfunktion derjenigen Arbeitnehmer mit beruflicher Schweissrauchexposition lag tiefer als bei Arbeitern ohne diese Exposition. Die Geschwindigkeit des Lungenfunktionsverlustes war bei Arbeitnehmern 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]. In Einzelfällen kommt ein Kausalzusammenhang der COPD mit der Tätigkeit als Schweisser dann in Frage, wenn langjährig unter Lüftungstechnisch ungünstigen Bedingungen mit umhüllten Stabelektroden (v.a. basischen und fluoridhaltigen) gearbeitet wurde, oder wenn langjährig ausschliesslich Schutzgasschweissen an reflektierenden Grundwerkstoffen (z.B. Aluminium, Edelstahl) mit erhöhter Ozonemission ausgeführt wurde. Zu beachten ist, dass Rauchen der weitaus bedeutendste Risikofaktor für die Entstehung einer COPD ist – das relative Risiko beträgt im Durchschnitt bei männlichen Rauchern 2,9 gemäss der Meta-Analyse von Forey [Forey]. 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.

Asthma

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 Arbeitnehmer, welche nicht hauptberuflich schweissen, eingeschlossen) [Lillienberg]. Ein Asthma kann sich auf jeden Fall bei einer spezifischen Sensibilisierung gegenüber einer Substanz (zum Beispiel Cr(VI), Nickel, Isocyanate) 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, 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.

Staublungen

Nach langandauernder und intensiver Einwirkung von Schweißrauch können sich Staublungen (Pneumokoniosen) entwickeln. Die am häufigsten auftretende Staublung ist die Schweisserlunge (**Siderose**) entstehen (siehe ausführliche Beschreibung im Abschnitt "Eisen"). Bei der Schweisserlunge handelt es sich um eine reaktionslose Ablagerung von Eisenoxidpartikeln im interstitiellen Gewebe und in den Makrophagen ("Eisentätowierung") mit keinen oder diskreten Veränderungen der Lungenfunktion; erst bei den seltenen schwergradigeren Siderofibrosen sieht man Entzündungszeichen und Abnahmen der Lungenfunktion. Bei Ablagerung von Zinn spricht man von **Stannose**, eine Aluminiumpneumokoniose wird **Aluminose** genannt, ebenso gibt es Lungenfibrosen bei Exposition gegenüber Barium und Antimon.

Entzündungen und Infektionen

Weitere lungenschädigende Stoffe sind Stickstoff- und Cadmiumoxid, Mangan, Nickelcarbonyl, welche bei intensiver Einwirkung zu einer **Pneumonitis**¹¹ und Lungenödem führen können [zum Beispiel Erkinjuntti oder Wieners].

Die Inhalation von Schweißrauch scheint einen Einfluss auf das Immunsystem zu haben und den Schweregrad und den zeitlichen Verlauf von **Infektionen** der oberen und unteren Luftwege in einem negativen Sinne zu beeinflussen [Zeidler]. Schweisser suchen häufiger einen Arzt wegen respiratorischen Infekten auf [Marongiou]. Es bestehen ausserdem Hinweise aus Fall-Kontroll-Studien in England, dass Schweisser ein erhöhtes Risiko haben, an schweren Lungenentzündungen zu erkranken [Palmer, Wong]. Das Risiko scheint aber nur bei Arbeitnehmer, welche aktuell schweissen, erhöht zu sein und nimmt nach Beendigung der Tätigkeit als Schweisser wiederum ab.

Lungenkrebs

Das Lungenkrebsrisiko ist bei Schweissern insgesamt leicht erhöht und erreicht in neueren Studien relative Werte zwischen 1,2 und 1,4 [Ambroise, Kendzia, MacLeod]. Ursache für das erhöhte Krebsrisiko könnte eine chronische Entzündung des Lungenparenchyms und die Pro-

¹¹ Pneumonitis = chemisch oder physikalisch induzierte Lungenentzündung
Pneumonie = mikrobiell induzierte Lungenentzündung

duktion von Sauerstoffradikalen sein [Tarlo], ein Teil der Lungenkrebse könnte aber auch auf Rauchen und allenfalls auf eine Co-Exposition gegenüber Asbest zurückzuführen sein [MacLeod]. Insgesamt wurde Schweißen von der IARC trotz der verschiedenen Studien mit erhöhten Krebsrisiken nur als „möglicherweise krebserregend für den Menschen“ eingestuft (IARC-Klasse 2B = Suva-Klasse 2).

Die Erhöhung des Risikos könnte unter anderem auf die im Schweißrauch vorhandenen humankanzero-genen **Chrom(VI)-Verbindungen** und **Nickelsalze** zurückzuführen sein - auch wenn dies in den Studien selbst nicht direkt gezeigt werden konnte und auch wenn Schweißarbeiten an unlegierten Stählen ebenfalls zu einer Erhöhung des Lungenkrebsrisikos führen. Cr(VI)- und Nickelverbindungen sind C1_A-Stoffe gemäss Suva und können das Risiko für Krebs der Nasenhaut- und -nebenhöhlen, des Kehlkopfs oder der unteren Atemwege erhöhen [Balindt, Grimsrud, IIW, Moulin]. Die Standardized Mortality Rate (SMR) für Krebs, welches von den Chrom(VI)-Verbindungen ausgeht, beträgt 1.4, bzw. 1.1 nach Korrektur für das Rauchen [Cole]. Für Nickelsalze ist keine Risk Ratio bekannt.

Die Rolle des manchmal ebenfalls im Schweißrauch vorkommenden **Cadmiums** als Kanzerogen ist nicht restlos geklärt. Cadmium ist in der Schweizer Grenzwertliste in die Kanzerogenitätsklasse C1_B[#] eingeordnet (# bedeutet, dass ein Schwellenwert bezüglich der kanzerogenen Wirkung besteht, welcher höher als der MAK-Wert ist).

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% von allen mitbeteiligten Ursachen (cave Rauchen oder Asbest!) betragen (siehe Kapitel „Gesetzliche Grundlagen der Anerkennung von Berufskrankheiten“). Dies entspricht einem relativen Risiko von mindestens 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 sowie Schweißrauch im Allgemeinen die Anerkennung von Lungenkrebs als Berufskrankheit in der Regel nicht gegeben. Jeder Fall muss aber individuell unter Berücksichtigung der Arbeitsanamnese (Verbrauch von Schweißerdrahten, Arcing Time/Trigger Time), klinischer Untersuchungen, den am Arbeitsplatz angetroffenen Bedingungen (beispielsweise Personal Sampling oder Raumlufmessungen) 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].

3.3. 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 Schweisssverfahren hat einen Einfluss auf die Belastung des Bewegungsapparates. So muss beim Schweiessen mit Stabelektroden die Elektrode nach etwa 2 Minuten wieder gewechselt werden, was eine gewisse Unruhe in die Schweisstätigkeit bringt; bei andern Schweisssverfahren (MIG/MAG) kann demgegenüber längere Zeit am Stück gearbeitet werden und damit ist die statische Arbeitsbelastung höher.

3.4. Elektromagnetische Felder

Beim elektrischen Schweiessen 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 Lichtbogenschweisssverfahren MIG, MAG und WIG sowie das Punktschweiessen. 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 die Möglichkeit der Beeinflussung von Herzschrittmachern, internen Defibrillatoren, Neurostimulatoren und weiteren aktiven Implantaten. Interferenzen können insbesondere beim Lichtbogenschweiessen oder Widerstandsschweiessen (z.B. Punktschweiessen oder Hochfrequenzschweiessen dielektrischer Materialien) auftreten [Amport].

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 Schweiessen sind folgende:

- Elektrisch isolierende Handschuhe und Schuhe mit Gummisohle tragen (trockene Handschuhe aus Leder, Gummi oder feuerfestem Material)
- Möglichst niedrigen Schweissstrom wählen (nicht über 400 A)
- Abstand zwischen Arbeitnehmern und Schweisskabel/Schweissstromquelle vergrössern
- Anordnung der Schweisskabel: Hin- und Rückführung möglichst nahe aneinander verlegen und verdrillen. Masseanschlussklemme so nahe bei der Schweissnaht als möglich
- Abschirmmassnahmen
- Tragen von Schweisskabeln am Körper oder über die Schulter möglichst vermeiden, nicht in Kalbeschlaufe stehen
- Keine kurzen oder schnell aufeinander folgende Nähte oder Punkte schweissen. Pause von 10 Sekunden nach jedem Abschnitt
- Bei Zündschwierigkeiten (z.B. schmutziger Oberfläche) nicht mit der Elektrode in schneller Folge auf das Werkstück schlagen, ca. 10 Sekunden Pause vor nächstem Startversuch
- Definition und Markierung räumlicher Gefährdungszonen sowie Zutrittsbeschränkungen für Implantatträger
- Bei mobilen Arbeitsplätzen gründliche Information von Implantatträgern
- Implantatträger sollen bei Auftreten von Symptomen (Schwindel, Schwäche etc.) den Schweissvorgang sofort beenden, das Schweissgerät ablegen, Abstand zum Schweissgenerator aufnehmen, allenfalls Arzt aufsuchen

3.5. 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".

3.6. Haut

Einige am Arbeitsplatz des Schweissers vorkommende Substanzen können Ursache von **allergischen oder toxisch-irritativen Kontaktdermatitiden** sein. Bedeutung kommt dabei sowohl einzelnen Metallen als auch Komponenten von Farb- und Lackbeschichtungen des Schweissgutes zu. Während metallisches Chrom, Chromlegierungen und verchromte Gegenstände nicht sensibilisieren und auch bei Dichromatallergikern nicht zu Ekzemschüben führen, können die wasserlöslichen sechswertigen Dichromate die Haut sensibilisieren, und sie wirken daneben auch toxisch-irritativ. Diese Chromverbindungen sind in Elektroden und Schweisszusätzen, in Farb- und Lackbeschichtungen vorhanden. Früher wurden die Schutzhandschuhe mit sechswertigen Dichromaten gegerbt und konnten Allergien auslösen.

Metallisches Nickel und ein Teil seiner Verbindungen, sowie Cobalt und seine Verbindungen sind ebenfalls Hautsensibilisatoren, die als Ursache allergischer Dermatitis eine Rolle spielen. Insbesondere beim Schweißen hochlegierter Stähle sind sie im Schweißrauch vorhanden und können sich auf der Haut ablagern.

Wenn Shop-Primer (Grundierung), Metallanstriche oder Lacküberzüge von der Schweißflamme erhitzt werden, können hautreizende oder sensibilisierende Substanzen freigesetzt werden. Zu erwähnen sind Formaldehyd, Phthalate, Trimellitinsäureanhydrid, Isocyanate, Epoxide, Acrylate und Phenole. Da Kontaktdermatitiden bei Schweissern öfters durch Stoffablagerungen aus den Schweißrauchen verursacht sind, kann insbesondere das Gesicht mitbetroffen sein.

UV-Licht, welches beim Lichtbogenschweißen und in der Schweißflamme entsteht, kann eine UV-Dermatitis ("**Sonnenbrand**") an ungeschützten Hautpartien wie Hals oder Vorderarmen verursachen. Die chronische UV-Einwirkung kann zu Präkanzerosen und Kanzerosen der Haut führen: In einer Studie aus Dänemark wurden **aktinische Keratosen** und **Basalzell-Karzinome** (BCC) bei Schutzgas-Schweißen mit einer Hazard Ratio von etwa 2,5 beobachtet; demgegenüber traten Plattenepithel-Karzinome (SCC) nicht vermehrt auf und beim malignen Melanom (CMM) sind die Daten ungenügend [Heltoft]. 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.

3.7. Metallrauchfieber (Schweisserfieber)

Gewisse Metalle können das sogenannte Metallrauch- oder Schweisserfieber auslösen. Hierbei handelt es sich um eine systemische Entzündungsreaktion des Körpers mit Erhöhung verschiedener Entzündungsparameter (Leukozyten, CRP) bei gleichzeitiger Erniedrigung des Fibrinogens [Kim]. Ursache sind alveolengängige Metalloxide, vor allem Oxide von Zink („Zink-

rauchfieber“), aber auch Oxide von Kupfer und Magnesium, selten Mangan, Nickel, Eisen, Cadmium Antimon, Selen, Zinn. Bis zu einem Drittel der Schweisser erleidet während ihrer Berufstätigkeit ein Metallrauchfieber [McMillan]. Das Metallrauchfieber kann auch bei andern Arbeitsprozessen, bei denen Metalloxide freigesetzt werden, auftreten, so in Giessereien oder beim Galvanisieren.

Initiale Beschwerden treten 4 bis 8 Stunden nach Beendigung der Rauchexposition mit Reizung des Mund-/Rachenraums, metallischer Geschmacksempfindung, Durst, Husten, grippeartige Kopf- und Muskelschmerzen, Übelkeit, Steifigkeit und Schwäche auf. Etwa 8 bis 12 Stunden nach der Exposition tritt ein Fieberschub auf, gefolgt von Schüttelfrost und Schweissausbrüchen. Die Beschwerden verschwinden in der Regel nach 24 bis 36 Stunden, spätestens nach drei Tagen, auch ohne therapeutische Massnahmen.

Klassischerweise sind in der Röntgenaufnahme der Lunge keine Veränderungen sichtbar, ebenso finden sich in der Spirometrie keine Auffälligkeiten.

Nicht selten führt eine andauernde Exposition gegenüber Schweissräuchen zu einer leichten Toleranz gegenüber der entzündlichen Wirkung des Rauchs. Die Toleranz verschwindet nach wenigen Tagen ohne Schweissrauchexposition wieder. Die Symptome können sich also zu Beginn der Arbeitswoche stärker manifestieren und über die Folgetage abnehmen, warum das Metallrauchfieber in den angelsächsischen Ländern manchmal auch als „Monday morning fever“ bezeichnet wird. In der Regel treten keine Langzeitfolgen auf.

3.8. Nervensystem

Eine langdauernde, über dem MAK-Wert liegende Exposition gegenüber Metallen wie Mangan [Lischka, Plitzko, Meyer-Baron], Aluminium [Klotz] oder Blei kann zu neurologischen und neuropsychologischen Defiziten führen. Auch Zinkoxid und einige organische Zinnverbindungen sind nervenzellschädigend.

Besonders ausführlich untersucht wurde der sogenannte Manganismus, wie er in 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 oben 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.

3.9. Niere

In der Fachliteratur finden sich einige Fallbeschreibungen von Glomerulonephritiden und interstitiellen Nephritiden bei Schweissern. Ausserdem wurde auf eine Beeinträchtigung der Nierenfunktion durch lösliche sechswertige Chromverbindungen und Cadmium hingewiesen. Aufgrund bisheriger Erfahrungen erscheint es aber unwahrscheinlich, dass solche Nierenerkrankungen insgesamt vermehrt auftreten.

Einzelne Studien weisen auf ein erhöhtes Risiko gegenüber Harnblasenkrebs (HR = 1,4) und Nierenkrebs (HR = 1,3) hin [MacLeod]. Dieses erhöhte Risiko könnte zum Beispiel auf Cadmium zurückzuführen sein, welches Krebs im urogenitalen System auslösen kann [Feki-Tounsi].

3.10. Reproduktionsapparat

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

3.11. Vibrationen

Häufig werden von Arbeitnehmern, 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.

4. Arbeitsmedizinische Vorsorge und Biomonitoring

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

4.1. 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.

4.2. Arbeitsmedizinische Vorsorge

Die arbeitsmedizinische Vorsorge gemäss der Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten hat vor allem zum Ziel, Arbeitnehmer 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.

Arbeitnehmer 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).

4.3. Biologisches Monitoring

Unter biologischem Monitoring versteht man die Beurteilung der Exposition von Arbeitnehmer 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 Schwitzen zu einer Belastung der Arbeitnehmer 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	a
Anorganische Fluorverb.	Fluorid	4 mg/g Kreatinin	Urin	b
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	Blut	c, b
Nickel	Nickel	45 ug/l	Urin	c, b
Nickelverb., unlöslich	Nickel	10 ug/l	Urin	c, b
Nickelsalze, löslich	Nickel	40 ug/l	Urin	c, b

BAT-Werte einiger beim Schweißen auftretender Stoffe [suva.ch/grenzwerte: accessed 28.2.18]; a: keine Beschränkung, b: Expositions- bzw. Schichtende, c: bei Langzeitexposition nach mehreren vorangegangenen Schichten, d: vor nachfolgender Schicht

5. 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), wenn also der schädigende Stoff am gesamten Ursachenspektrum mehr als 50% ausmacht, was einem relativen Risiko von mehr als 2 entspricht (BGE 293/99 bzw. 119/V200 Erw. 2a). 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); dies ist dann gegeben, wenn der schädigende Stoff im gesamten Ursachenspektrum mehr als 75% ausmacht, was einem relativen Risiko von 4 entspricht. 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).

6. 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 Schweisssrauchen 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.

BGHM: BGI 593. Schadstoffe beim Schweißen und bei verwandten Verfahren. 2012.

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

BMAS: Merkblatt zur Berufskrankheit Nummer 4106 "Erkrankungen der tieferen Atemwege und der Lungen durch Aluminium und seine Verbindungen" (2009).

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.

Brüning T. et al.: Wissenschaftliche Datenlage zur BK-Nr. 1103 im Hinblick auf die kanzerogene Wirkung von Chrom(VI)-Verbindungen (2015) ASU 50:666-76.

Byber K. et al.: Cadmium or cadmium compounds and chronic kidney disease in workers and the general population: a systematic review; Crit Rev Toxicol (2016) 46(3): 191-240.

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.

Colomina M. T. et al.: Aluminium and Alzheimer's Disease. Adv Neurobiol (2017) 18:183-197.

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

DGUV: Chrom(VI)-Verbindungen bzw. Nickeloxide beim Schweißen und bei verwandten Verfahren – Schutzmassnahmen am Arbeitsplatz; Fachausschuss-Informationsblatt Nr. 036; Ausgabe 11/2008.

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.

Feki-Tounsi M. et al.: Cadmium as a possible cause of bladder cancer : a review of accumulated evidence; Environ Sci Pollut Res Int 2014; 21:10561-73.

Forey B.A. et al.: Systematic review with meta-analysis of the epidemiological evidence relating smoking to COPD, chronic bronchitis and emphysema; BMC Pulmonary Medicine 2011; 11(36): 1-61.

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

Heltoft K.N. et al.: Metal arc welding and the risk of skin cancer ; Int Arch Occup Environ Health 2017; 90 (8): 873-81

Hiller J. et al.: Künstliche UV-Strahlung durch Schweißen und Aderhaut-Melanome. Ein wissenschaftliche Bewertung des Zusammenhangs auf Basis des deutschen Berufskrankheitenrechts (2015) ASU 51: 201-210.

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.

Suva: Biologisches Monitoring und biologisches Arbeitsstofftoleranzwerte. Factsheet Suva 2018.

Kendzia B.: Welding and lung cancer in a pooled analysis of case control studies (2013) Am J Epidemiol, 178;19:1513-25.

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

Klotz K. et al.: The health effects of Aluminium Exposure. Dtsch Arztebl Int (2017) 114;39:653-659.

Suva: Gesundheitliche Gefährdung durch Schweißen. Factsheet 2018, 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).

Marongiu A. et al.: Are welders more at risk of respiratory infections? Thorax (2016) 71;7:601-06.

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 Schweisssrauchen 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.

MacLeod J. S. et al.: Cancer Risks among Welders and Occasional Welders in a National Population-Based Cohort Study : Canadian Census Health and Environmental Cohort ; *Saf Health Work* 2017 ; 8(3) : 258-66.

Michaelsen Slagor R. et al.: The risk of cataract in relation to metal arc welding. *Scand J Work Environ Health* (2016) 42;5:447-53.

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.

Suva: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) von aktiven medizinischen Implantaten am Arbeitsplatz. Factsheet Arbeitsmedizin Suva.

Virk S. A. et al.: Occupational Exposure to Aluminium and Alzheimer Disease. A Meta-Analysis (2015) *JOEM*; 57(8):893-6

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).

Wong A. et al.: Welders are at increased risk for invasive pneumococcal disease. *Int J Infect Dis* (2010) e791-9.

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.