

593

BGI 593



BG-Information

Schadstoffe beim Schweißen und bei verwandten Verfahren

Herausgeber

Berufsgenossenschaft Holz und Metall
Wilhelm-Theodor-Römheld Straße 15
55130 Mainz

Telefon: 0800 9990080-0
Fax: 06131 802-20800
E-Mail: servicehotline@bghm.de
Internet: www.bghm.de
Servicehotline bei Fragen
zum Arbeitsschutz: 0800 9990080-2
Medien Online: bestellung@bghm.de

Sachgebiet/Fachbereich: Oberflächentechnik und
Schweißen/Holz und Metall

Autor: Dr.-Ing. Vilia Elena Spiegel-Ciobanu
Ausgabe: November 2012

Dr.-Ing. Vilia Elena Spiegel-Ciobanu

Schadstoffe beim Schweißen und bei verwandten Verfahren

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 8. Auflage.....	8
1 Allgemeines über Schadstoffe	10
1.1 Definition	10
1.2 Einteilung	10
1.2.1 Vorkommen	10
1.2.2 Wirkungsweise	12
1.3 Entstehung	13
1.3.1 Gasförmige Schadstoffe	14
1.3.2 Partikelförmige Schadstoffe	14
1.3.3 Schadstoffe aus Beschichtungsstoffen auf organischer Basis	15
1.4 Einflussfaktoren	18
1.5 Neue Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)	19
1.6 Verbindliche Grenzwerte (nach TRGS ...)	20
1.6.1 Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) nach TRGS 900	20
1.6.2 Biologischer Grenzwert (BGW) nach TRGS 903	20
1.6.3 Exposition-Risiko-Beziehungen (ERB)	20
1.6.3.1 Risikoabschätzung für Stoffe ohne Exposition-Risiko-Beziehungen (ERB)	21
1.7 Grenzwerte der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG)	21
1.7.1 Maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK)	21
1.7.2 Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte (BAT)	22
1.7.3 Biologische Leitwerte (BLW)	22
1.7.4 Biologische Arbeitsstoff-Referenzwerte (BAR)	23
1.7.5 Expositionsäquivalente für krebserzeugende Arbeitsstoffe (EKA)	23
1.8 EU-Werte	24
1.9 Grenzwerte nach Strahlenschutzverordnung (StrlSchV)	24
1.10 Untersuchungsmethoden	30
2 Wirkung spezifischer Schadstoffe	32
2.1 Toxische gasförmige Schadstoffe	32
2.1.1 Kohlenmonoxid (CO)	32
2.1.2 Stickstoffoxide ($\text{NO}_x = \text{NO}, \text{NO}_2$)	32
2.1.3 Ozon (O_3)	32
2.1.4 Phosgen (COCl_2)	32
2.1.5 Gase aus Beschichtungsstoffen	32
2.2 Partikelförmige Schadstoffe	33
2.2.1 Lungenbelastende Stoffe	33
2.2.2 Toxische Stoffe	33
2.2.3 Krebserzeugende Stoffe	34
2.2.4 Thoriumdioxid (ThO_2)	34

3	Zuordnung der Schadstoffe zu den Verfahren und Werkstoffen der Schweißtechnik	36
3.1	Schweißen	36
3.1.1	Gasschweißen	36
3.1.2	Lichtbogenhandschweißen mit umhüllten Stabelektroden	36
3.1.3	Schutzgasschweißen	38
3.1.3.1	Metall-Schutzgasschweißen (MAG/MIG)	38
3.1.3.2	MAG-Hochleistungsschweißen (MAG-HL)	39
3.1.3.3	Wolfram-Inertgasschweißen (WIG)	39
3.1.4	Widerstandsschweißen	40
3.1.5	Laserstrahlschweißen mit CO ₂ -Laser	40
3.1.5.1	Laserstrahlschweißen ohne Zusatzwerkstoff	41
3.1.5.2	Laserstrahlaufragschweißen	41
3.1.6	Laserstrahlschweißen mit Nd:YAG-Laser	41
3.1.7	Hybridschweißen	42
3.2	Thermisches Schneiden	43
3.2.1	Autogenes Brennschneiden (unlegierter und niedriglegierter Stahl)	43
3.2.2	Plasmaschmelzschnitten	43
3.2.3	Laserstrahlschnitten	43
3.2.3.1	Laserstrahlschnitten mit CO ₂ -Laser	43
3.2.3.2	Laserstrahlschnitten mit Nd:YAG-Laser	44
3.3	Thermisches Spritzen	46
3.3.1	Flammspritzen	46
3.3.2	Lichtbogenspritzen	46
3.3.3	Plasmaspritzen	46
3.4	Löten	48
3.4.1	Weichlöten (T < 450 °C)	48
3.4.2	Hartlöten (T > 450 °C)	48
3.4.3	MIG-Löten, Laserstrahl-Löten, Plasma-Löten (T > 900 °C)	51
4	Ultrafeine Partikel (UFP)	52
4.1	Erkenntnisse aus Studien zur Toxizität der UFP	52
4.2	Erkenntnisse aus der Forschung zur Charakterisierung der UFP	52
4.3	Ergebnisse der Untersuchungen bei schweißtechnischen Verfahren	52
4.4	Erkenntnisse aus der Forschung zur Ermittlung der Partikelkenngrößen beim Schweißen von verzinkten Blechen.....	58
5	Gefährdungsbeurteilung beim Schweißen	59
5.1	Software der BGHM	60
6	Messverfahren	61
6.1	Messverfahren für gasförmige Stoffe	61
6.2	Messverfahren für partikelförmige Stoffe	62

7	Beurteilung partikelförmiger Stoffe beim Schweißen und bei verwandten Verfahren	65
8	Ermittlung und Beurteilung der Schadstoffkonzentration	66
9	Schadstoffsituationen am Arbeitsplatz	67
9.1	Exposition gegenüber Schweißrauchen	67
9.2	Exposition gegenüber Chrom(VI)-Verbindungen und Nickeloxid	68
10	Schadstoffabwehrmaßnahmen	69
10.1	Technische Schutzmaßnahmen	69
10.1.1	Auswahl schadstoffarmer Verfahren	69
10.1.2	Auswahl schadstoffarmer Werkstoffe	70
10.1.3	Optimierung der Arbeitsbedingungen	72
10.1.3.1	Wahl günstiger Schweißparameter	72
10.1.3.2	Verwendung thoriumoxidfreier Wolframelektroden beim WIG-Schweißen	72
10.1.3.3	Wahl günstiger Parameter beim Laserstrahlaufragschweißen	72
10.1.3.4	Wahl günstiger Parameter beim Laserstrahlschneiden	72
10.1.3.5	Oberflächenzustand des Werkstückes	72
10.1.3.6	Körperhaltung des Schweißers	72
10.1.4	Technische Schutzeinrichtungen	73
10.1.4.1	Brenner-Ablegeeinrichtung mit Gasabspernung	73
10.1.4.2	Wasserschutzvorrichtungen beim Plasmaschmelzschnitten	73
10.1.4.3	Wasserabdeckung beim Plasmaschmelzschnitten	73
10.1.4.4	Brennschneiden und Plasmaschmelzschnitten auf der Wasseroberfläche	73
10.1.4.5	Wasserabdeckung beim Brennschneiden	73
10.1.4.6	Arbeiten in geschlossenen Kabinen	73
10.1.5	Lüftung	74
10.1.5.1	Absaugung	74
10.1.5.2	Zuluftanlagen/Raumlüftung	78
10.1.5.3	Zuordnung von Lüftungstechnischen Maßnahmen zu Verfahren und Werkstoffen der Schweißtechnik	78
10.2	Persönliche Schutzausrüstungen (PSA).....	79
10.2.1	Schweißerschutzschilde und -schirme	79
10.2.2	Atemschutzgeräte	80
11	Arbeitsmedizinische Vorsorge	82
11.1	Allgemeines	82
11.2	Grundsätze und Handlungsanleitungen für die arbeitsmedizinische Vorsorge	82
11.3	Schweißrauche (allgemein)	83
11.4	Chrom(VI)-Verbindungen	83
11.5	Nickel und Nickelverbindungen	84

12	Quellen- und Literaturverzeichnis	85
12.1	Quellen	85
12.2	Vorschriften und Regeln	86
12.2.1	Verordnungen und Technische Regeln	86
12.2.2	Unfallverhütungsvorschriften	86
12.2.3	BG-Regeln, BG-Informationen und BG-Grundsätze	86
12.3	DIN-Normen	87
12.4	Sonstige Regeln der Technik.....	87
13	Abbildungsverzeichnis	88
14	Anhang	89

Vorwort zur 8. Auflage

Die ständige Weiterentwicklung und Verfeinerung der Arbeitsverfahren in der Schweißtechnik sowie die Verwendung neuer Werkstoffe machen es erforderlich, die Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten vor Unfällen und Gesundheitsschäden bei der Arbeit ständig zu optimieren und dadurch insgesamt nach einer Verbesserung der Arbeitsplatzsituation zu streben.

Moderner Arbeitsschutz erschöpft sich nicht in der Erfüllung von Vorschriften. Vielmehr hat der Unternehmer nach dem Arbeitsschutzgesetz die für die Beschäftigten mit ihrer Arbeit verbundene Gefährdung zu ermitteln, zu beurteilen und dementsprechend Arbeitsschutzmaßnahmen zu treffen. Das Vorschriften- und Regelwerk kann dabei selbstverständlich eine Hilfe sein.

In den letzten vier Jahren sind auf dem Gebiet des Arbeits- und Gesundheitsschutzes, sowohl national als auch auf europäischer Ebene, weitere Änderungen in der Gesetzgebung vorgenommen worden. Das europäische Chemikalienrecht hat grundlegende Veränderungen erfahren, die vorwiegend auf zwei neue EG-Verordnungen zurückzuführen sind:

- die REACH-Verordnung (Ausgabe Dez. 2006), die die Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe
- die CLP-Verordnung (Ausgabe Jan. 2009), die die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen betrifft.

Als Folge dieser europäischen Entwicklung wurde im Hinblick auf den Umgang mit Gefahrstoffen die Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung -GefStoffV) angepasst und als Ausgabe Nov. 2010 herausgebracht.

Neben den allgemein gültigen Grundpflichten sind weitere Schutzmaßnahmen dem Ausmaß der Gefährdung entsprechend erforderlich.

Mit Hilfe von Informationen, die in Sicherheitsdatenblättern/Produktinformationsblättern enthalten und für die Gefährdungsbeurteilung von primärer Bedeutung sind (Informationsermittlung nach GefStoffV), können Anwender in Betrieben die Anforderungen der GefStoffV diesbezüglich umsetzen.

Die Auswahl und Festlegung der notwendigen Schutzmaßnahmen kann mit Hilfe der TRGS 528 „Schweißtechnische Arbeiten“ und der zur Verfügung stehenden BG-Informationsschriften zum Thema „Schadstoffe beim Schweißen und bei verwandten Verfahren“ durchgeführt werden.

Bei der Festlegung der Maßnahmen ist von bestimmten Grundsätzen auszugehen:

1. Die Arbeit ist so zu gestalten, dass eine Gefährdung für Leben und Gesundheit möglichst vermieden und die verbleibende Gefährdung möglichst gering gehalten werden.
2. Gefahren sind an der Quelle zu bekämpfen.
3. Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Hygiene sowie sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse sind zu berücksichtigen.
4. Technik, Arbeitsorganisation, sonstige Arbeitsbedingungen, soziale Beziehungen und Einflüsse der Umwelt sind als Einheit zu sehen und sachgerecht zu verknüpfen.

5. Individuelle Schutzmaßnahmen sind nachrangig; zwangsläufig wirkende kollektive Schutzmaßnahmen haben Vorrang.
6. Besonders schutzbedürftige Beschäftigte, z. B. Jugendliche, sind zu berücksichtigen.
7. Den Beschäftigten sind Anweisungen zu geben, die sie zum gewünschten sicherheits- und gesundheitsgerechten Verhalten motivieren.

Beim Schweißen und Schneiden sowie bei verwandten Arbeitsverfahren entstehen gas- und partikelförmige Stoffe (Gase, Rauche, Stäube), die je nach Zusammensetzung, Konzentration und Expositionsdauer die Gesundheit der Beschäftigten gefährden (Schadstoffe).

Die Ermittlung der Konzentration und Wirkungsstärke dominierender Schadstoffe (= Leitkomponenten) ist Voraussetzung für die Beurteilung der jeweiligen Arbeitsbedingungen, für die Festlegung und Durchführung der erforderlichen Maßnahmen und damit für eine erfolgreiche Gesundheitsvorsorge insgesamt.

Ziel dieser Druckschrift soll es sein,

- Kenntnisse über Entstehung und Wirkung der beim Schweißen und bei verwandten Verfahren (thermisches Schneiden, thermisches Spritzen, Löten usw.) auftretenden Schadstoffe zu vermitteln,
- Hinweise zur Ermittlung der Schadstoffe zu geben,
- die Abschätzung der Gefährdung durch Schadstoffe zu erleichtern und
- Möglichkeiten zur Vermeidung oder Verringerung der Gefährdung durch Schadstoffe aufzuzeigen.

1 Allgemeines über Schadstoffe

1.1 Definition

Schadstoffe in der Schweißtechnik sind die beim Schweißen und bei verwandten Verfahren entstehenden atembaren Stoffe, die durch den menschlichen Körper aufgenommen werden (Bild 1-1). In unzuträglicher Konzentration können diese Stoffe zu einer Gesundheitsgefährdung führen.

Diese Stoffe weisen mindestens eine der in § 3a Abs. 1 des Chemikaliengesetzes unter den Nummern 6 bis 14 genannten Eigenschaften auf. Sie zählen somit zu den Gefahrstoffen im Sinne der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV).

Siehe auch TRGS „Schweißtechnische Arbeiten“ (TRGS 528).

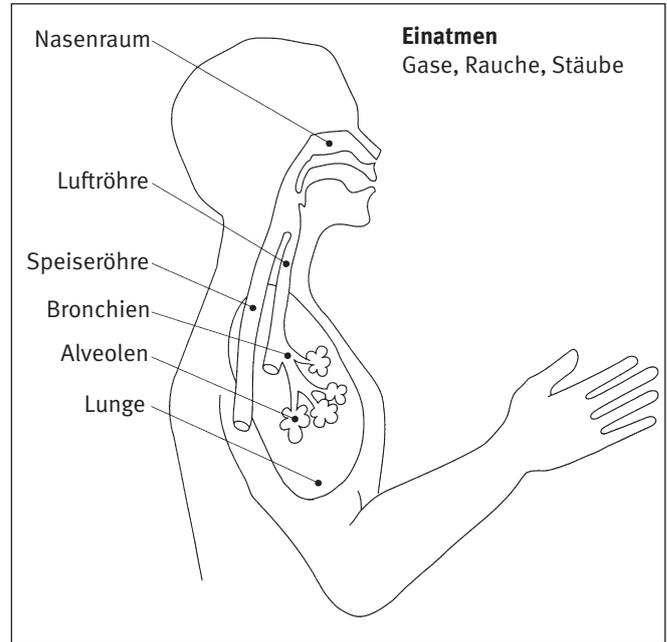


Bild 1-1: Aufnahme der Schadstoffe in den menschlichen Körper durch Einatmen
[Quelle: ZH1/223, 1995 Spiegel-Ciobanu, nach Ruwac-Industrie-Sauger GmbH, 1993]

1.2 Einteilung

Die Schadstoffe, die bei der Anwendung schweißtechnischer Verfahren entstehen, lassen sich nach Vorkommen und Wirkungsweise einteilen (Bild 1-2 und Bild 1-5 auf Seite 12).

1.2.1 Vorkommen

Bei schweißtechnischen Verfahren entstehen Schadstoffe als Gase und/oder als Partikel (Bild 1-5 auf Seite 12). Die partikelförmigen Stoffe sind eine disperse Verteilung kleinster fester Teilchen in der Luft. Bei allen in der Luft vorhandenen Partikeln

werden je nach Partikelgröße folgende Anteile unterschieden (nach DIN EN 481):

Einatembare Fraktion – der Anteil der Partikel, der durch den Mund und die Nase in den Körper eingeatmet wird; er umfasst Partikelgrößen bis zu über 100 µm. Dieser Anteil wurde in der Vergangenheit mit dem Begriff „Gesamtstaub“ bezeichnet.

Alveolengängige Fraktion – der Anteil der Partikel, der beim Einatmen bis zu den Alveolen (Lungenbläschen) vordringen kann; er umfasst Partikelgrößen bis zu 10 µm. Dieser Anteil wurde in der Vergangenheit mit dem Begriff „Feinstaub“ bezeichnet.

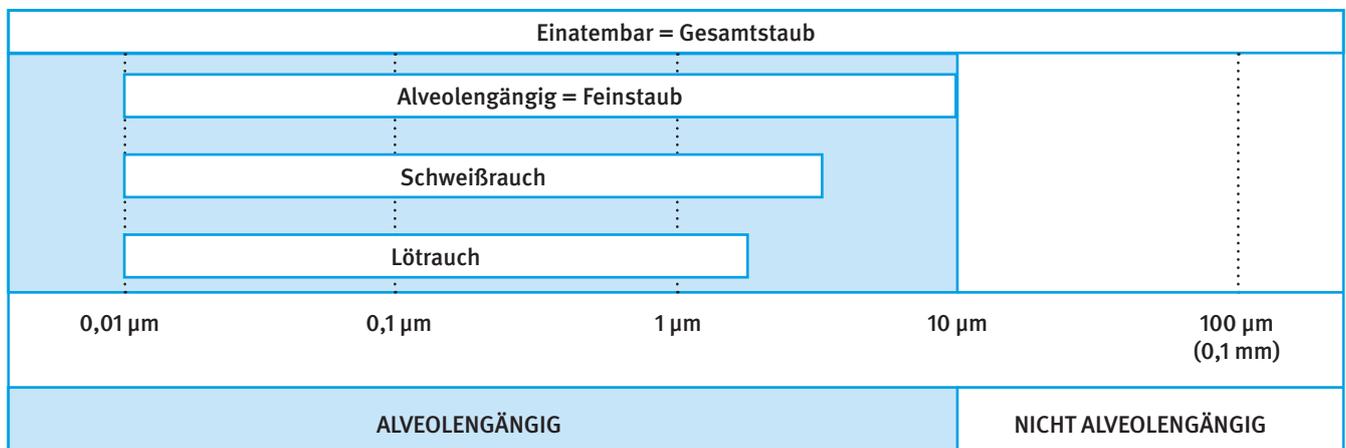


Bild 1-2: Einteilung partikelförmiger Schadstoffe in der Schweißtechnik nach Partikelgröße (Vorkommen)
[Quelle: Spiegel-Ciobanu, BGI 593, 2008]

Die beim Schweißen entstehenden partikelförmigen Stoffe sind sehr fein. Sie besitzen in der Regel einen Durchmesser kleiner als 1 µm (vorwiegend kleiner als 0,1 µm), sind daher alveolengängig und werden als „Schweißrauche“ bezeichnet. Partikel, die im Größenbereich < 0,1 µm liegen, werden als ultrafeine Partikel bezeichnet.

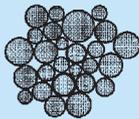
Beim thermischen Schneiden und bei einigen verwandten Verfahren entstehen partikelförmige Stoffe, die nur teilweise alveolengängig sind.

Partikelgröße und Morphologie (Gestalt)

Die Menge der Partikel hängt von der Kombination der eingesetzten Verfahren und Werkstoffe ab. Je nach Verfahrensgruppe bilden sich unterschiedliche Partikelgrößen mit verschiedener Partikelmorphologie aus (Bild 1-3).

Morphologische Untersuchungen deuten darauf hin, dass die einzelnen Schweißrauchpartikel keine homogene Zusammensetzung aufweisen.

Neben Primärpartikeln (Einzelpartikeln) bilden sich durch Ausflocken auch Ketten und Agglomerate (Bilder 1-4 a und b).

Verfahren	Werkstoff	Partikel			
		Form einzelner Partikel	Größe von		
			Einzelpartikeln (Durchmesser)	Ketten (Länge)	Agglomeraten (Durchmesser)
Lichtbogenhandschweißen mit umhüllten Stabelektroden (LBH)	Cr-Ni-Stahl	kugelförmig	bis 50 nm	mehrere µm	bis 500 nm
			bis 400 nm	mehrere µm	
Schutzgasschweißen (MAG/MIG)	Cr-Ni-Stahl	kugelförmig	bis 10 nm	bis 100 nm	bis 100 nm
	Aluminium-Legierungen	kugelförmig	10 bis 50 nm	k. A.	k. A.
			bis 400 nm	k. A.	
					

k. A. = keine Angaben
µm = Mikrometer (1 µm ≙ 10⁻³ mm ≙ 10⁻⁶ m)
nm = Nanometer (1 nm ≙ 10⁻⁶ mm ≙ 10⁻⁹ m)

Bild 1-3: Partikelgröße, -form und -gestalt (Morphologie) der Schweißrauche (Beispiele) [Quelle: Spiegel-Ciobanu, BGI 593 2008]

Bilder 1-4 a und b: Elektronenmikroskopaufnahmen von Schweißrauchen

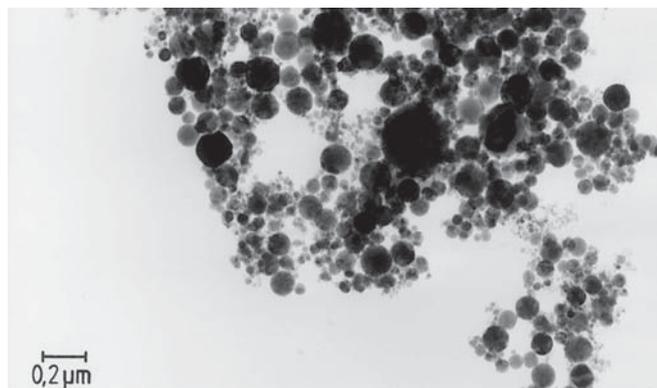


Bild 1-4 a: Partikel der beim Metall- Aktivgasschweißen unter Kohlendioxid entstehenden Rauche [1]

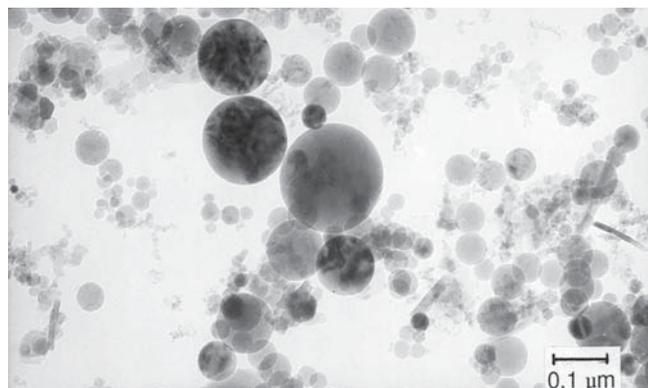


Bild 1-4 b: Partikel der beim Metall- Inertgasschweißen von Aluminiumlegierungen entstehenden Rauche [3]

1.2.2 Wirkungsweise

Hinsichtlich der Wirkung auf die verschiedenen Organe des menschlichen Körpers lassen sich die gas- und partikelförmigen Stoffe, die beim Schweißen, Schneiden und verwandten Verfahren entstehen, folgendermaßen einteilen (Bild 1-5):

Atemwegs- und lungenbelastende Stoffe – langzeitige Aufnahme hoher Konzentrationen kann zu einer Belastung der Atem-

wege und der Lunge führen. So kann z. B. langzeitige Aufnahme hoher Konzentrationen zu Atemwegserkrankungen (in Form von Bronchitis bis zu obstruktiver Bronchitis) führen.

Zusätzlich können Staubablagerungen in der Lunge in Form von Siderose (bei Eisenoxiden) auftreten. Darüber hinaus können bei hohen Konzentrationen fibrogene Reaktionen (Bindegewebsvermehrung) der Lunge auftreten (z. B. in seltenen Einzelfällen Siderofibrose, Aluminose beim Aluminiumoxid).

Vorkommen		Wirkungsweise		
Gasförmig	Partikelförmig einatembar I alveolengängig	Lungenbelastend	Toxisch	Krebserzeugend
Stickstoffmonoxid			X	
Stickstoffdioxid			X	X ¹⁾
Ozon			X	
Kohlenmonoxid			X	
Phosgen			X	
Cyanwasserstoff			X	
Formaldehyd				X ¹⁾
	Aluminiumoxid	X		
	Eisenoxide	X		
	Magnesiumoxid	X		
	Barium-Verbindungen	X		
	Bleioxid			X
	Fluoride		X	
	Kupferoxid		X	
	Manganoxide		X	
	Molybdänoxid		X	
	Vanadiumpentoxid	X		X
	Chrom(III)-Verbindungen		X	
	Zinkoxid		X	
	Titandioxid		X	X ¹⁾
	Chrom(VI)-Verbindungen			X
	Nickeloxide			X
	Cobaltoxid			X
	Cadmiumoxid			X
	Berylliumoxid			X

¹⁾ Verdacht auf krebserzeugende Wirkung

Bild 1-5: Einteilung der Schadstoffe nach Vorkommen und Wirkungsweise [Quelle: Spiegel-Ciobanu, BGI 593, 2008]

Toxische (giftige) Stoffe – erzeugen im menschlichen Körper eine Giftwirkung, wenn eine bestimmte Dosis (= Menge pro Gewichtseinheit des Körpers) überschritten wird. Es gibt hier eine Dosis-Wirkungs-Beziehung. Schwache Vergiftungen führen zu leichten Gesundheitsstörungen; hohe Konzentrationen dieser Stoffe in der Atemluft können zu lebensgefährlichen Vergiftungen oder zum Tod führen.

Als toxische Stoffe sind z. B. die Gase Kohlenmonoxid, Stickstoffoxide (Stickstoffmonoxid und -dioxid), Ozon wie auch die Oxide der Metalle Kupfer, Blei, Zink in Form von Rauchen und Stäuben zu nennen.

Krebserzeugende (kanzerogene) Stoffe – sind Stoffe, die erfahrungsgemäß bösartige Geschwülste verursachen können. Das Krebsrisiko ist generell von mehreren Faktoren abhängig, z. B. genetische Disposition, Umweltbelastungen. Es gibt hier keinen Automatismus der Wirkung, aber eine steigende Dosis erhöht das Krebsrisiko. Die Latenzzeit (der Zeitraum zwischen der ersten Einwirkung und dem Ausbruch der Krankheit) kann Jahre oder Jahrzehnte betragen.

Für diese Stoffe ist kein Schwellenwert bekannt, bei dessen Unterschreitung keine Gefährdung mehr besteht. In vielen Fällen besitzen diese Stoffe zusätzlich eine toxische Wirkung.

Die krebserzeugenden Stoffe sind in der TRGS 905 und nach „Berichtigung der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen“ aufgeführt und in Kategorie 1, 2 oder 3

nach GefStoffV eingestuft. Nach der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), MAK- und BAT-Werte-Liste 2011, sind die krebserzeugenden Stoffe wie folgt eingestuft:

Kategorie 1

Stoffe, die beim Menschen bekanntermaßen krebserzeugend wirken (hinreichende Anhaltspunkte).

Kategorie 2

Stoffe, die als krebserzeugend für den Menschen angesehen werden sollten (begründete Annahme).

Kategorie 3

Stoffe, die wegen erwiesener oder möglicher krebserzeugender Wirkung Anlass zur Besorgnis geben, aber aufgrund unzureichender Informationen nicht endgültig beurteilt werden können. Die Einstufung ist vorläufig.

- A) Stoffe, bei denen die Voraussetzungen erfüllt wären, sie der Kategorie 4 oder 5 zuzuordnen. Für die Stoffe liegen jedoch keine hinreichenden Informationen vor, um einen MAK- oder BAT- Wert abzuleiten.
- B) Aus In-vitro- oder aus Tierversuchen liegen Anhaltspunkte für eine krebserzeugende Wirkung vor, die jedoch zur Einordnung in eine andere Kategorie nicht ausreichen. Sofern durch weitere Untersuchungen festgestellt wird, dass der Stoff oder seine Metaboliten keine gentoxischen Wirkungen aufweisen, kann ein MAK- oder BAT-Wert festgelegt werden [4].

Kategorie 4

Stoffe mit krebserzeugender und gentoxischer Wirkung, bei denen ein nicht-gentoxischer Wirkungsmechanismus im Vordergrund steht und gentoxische Effekte bei Einhaltung des MAK- oder BAT-Wertes keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielen. Unter diesen Bedingungen ist kein nennenswerter Beitrag zum Krebsrisiko für den Menschen zu erwarten [4].

Kategorie 5

Stoffe mit krebserzeugender und gentoxischer Wirkung, bei denen unter Einhaltung des MAK- und BAT-Wertes ein sehr geringer Beitrag zum Krebsrisiko für den Menschen zu erwarten ist [4].

Von den im Bild 1-5 aufgezählten Stoffen sind in der Schweißtechnik insbesondere die Nickeloxide, bestimmte sechswertige Chromverbindungen, Cadmium und seine Verbindungen, Cobalt und seine Verbindungen und Beryllium und seine Verbindungen zu beachten [4].

1.3 Entstehung

Die in der Schweißtechnik entstehenden Schadstoffe bilden sich aus

- Zusatzwerkstoffen,
- Grundwerkstoffen,
- Schutzgasen,
- Beschichtungen,
- Verunreinigungen und
- Umgebungsluft

bei hoher Temperatur (des Lichtbogens oder der Flamme) durch physikalische und/oder chemische Prozesse (Bild 1-6), wie

- Verdampfen,
- Kondensation,
- Oxidation,
- Zersetzung,
- Pyrolyse und
- Verbrennen.

Die Art und die Menge der gebildeten Schadstoffe ist werkstoff- und verfahrensbedingt. Die chemische Zusammensetzung der eingesetzten Werkstoffe hat einen direkten Einfluss auf die chemische Zusammensetzung der partikelförmigen Schadstoffe. Die angewendeten Verfahren beeinflussen die Entstehung gasförmiger Schadstoffe.

Verdampfen	Metalle	} Fe, Cu, Mn, Ni, ...
Kondensation	Metalle	
Oxidation	Metalle + O ₂ = Oxide	FeO, Fe ₂ O ₃ , CuO, ...
	N ₂ + O ₂ → 2 NO	
	NO + 1/2 O ₂ → NO ₂	
Zersetzung	CO ₂ → CO + 1/2 O ₂	
Pyrolyse	Organische Komponente	
	C _x H _y → C _{x1} H _{y1}	
	CO	
	CH ₂ O	
Verbrennen	Organische Komponente + O ₂	
	C _x H _y $\xrightarrow{O_2}$ CO + H ₂ O	
	CO ₂ + H ₂ O	

Bild 1-6: Schadstoffentstehung (Beispiele)
[Quelle: Spiegel-Ciobanu, BGI 593 2008]

1.3.1 Gasförmige Schadstoffe

Kohlenmonoxid (CO) entsteht in kritischen Konzentrationen beim Metall-Aktivgasschweißen mit Kohlendioxid (MAGC) oder beim Metall-Aktivgasschweißen mit Mischgas (mit hohem Anteil an Kohlendioxid) durch die thermische Zersetzung des Kohlendioxids (CO₂).

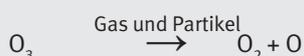
Außerdem entsteht Kohlenmonoxid bei jeder Verbrennung mit unzureichender Sauerstoffzufuhr.

Stickstoffoxide (NO_x = NO, NO₂) bilden sich durch Oxidation des Luftstickstoffes (aus dem Sauerstoff [O₂] und dem Stickstoff [N₂] der Luft) am Rand der Flamme oder des Lichtbogens. Bei Temperaturen über 1000 °C entsteht Stickstoffmonoxid. Das Stickstoffmonoxid oxidiert in der Luft bei Raumtemperatur zu Stickstoffdioxid.



Bei Verfahren der Autogentechnik (Gasschweißen, Flammwärmen, Flammrichten, Brennschneiden, Flamm-spritzen), beim Plasmaschmelzschnitten mit Druckluft oder Stickstoff und beim Laserstrahlschneiden mit Druckluft oder Stickstoff sind Stickstoffoxide (in erster Linie Stickstoffdioxid) meistens der dominierende Schadstoff (die Leitkomponente).

Ozon (O₃) entsteht durch ultraviolette Strahlung aus dem Sauerstoff der Luft, insbesondere beim Schutzgasschweißen von stark strahlungsreflektierenden Werkstoffen, wie Aluminium und Aluminium-Silicium-Legierungen. Die Anwesenheit von anderen Gasen, Rauchen oder Stäuben in der Luft beschleunigt den Zerfall von Ozon zu Sauerstoff.



So ist es erklärlich, dass gerade bei raucharmen Verfahren die Ozonkonzentration erhöht ist.

Phosgen (COCl₂) bildet sich neben Chlorwasserstoff (HCl) beim Erhitzen oder durch UV-Bestrahlung von Entfettungsmitteln, die Chlorkohlenwasserstoffe enthalten.

Gase aus Beschichtungsstoffen entstehen beim Überschweißen von Werkstücken, die mit Shopprimern (Oberflächenbeschichtungen gegen Korrosion) oder mit anderen Beschichtungen (Farben, Lacke) versehen sind. Je nach der chemischen Zusammensetzung dieser Beschichtungen bilden sich neben Metalloxiden, die partikelförmig sind, auch Gase, z. B. Kohlenmonoxid (CO), Formaldehyd (HCHO), Toluylendiisocyanat, Blausäure (HCN), Chlorwasserstoff (HCl).

1.3.2 Partikelförmige Schadstoffe

Eisenoxide (FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄) entstehen aus dem Zusatz- und Grundwerkstoff beim Schweißen und Schneiden von Stahlwerkstoffen.

Aluminiumoxid (Al₂O₃) entsteht aus dem Zusatz- und Grundwerkstoff beim Schweißen und Schneiden von Aluminiumwerkstoffen.

Manganoxide (MnO₂, Mn₂O₃, Mn₃O₄, MnO) entstehen bei allen Lichtbogenverfahren mit manganhaltigen Zusätzen. Der Anteil von Mangan im Schweißzusatz hat einen direkten Einfluss auf den Anteil von Manganoxid im Schweißrauch und führt immer zu einer Anreicherung im Schweißrauch. Untersuchungen beim Hartauftragschweißen mit hoch manganhaltigen Kerndrähten ergaben Emissionswerte an Manganoxiden im Schweißrauch bis 40 %.

Fluoride (CaF₂, KF, NaF, andere) entstehen aus der Umhüllung der Stabelektroden oder aus der Füllung der Fülldrähte bei der Verwendung kalkbasischer Umhüllungen bzw. fluorhaltiger Flussmittel.

So erreicht z. B. beim Lichtbogenhandschweißen mit basisch umhüllten un- und niedriglegierten Stabelektroden der Anteil von Fluoriden im Schweißrauch Werte zwischen 10 % bis 20 %.

Barium-Verbindungen (BaCO₃, BaF₂) entstehen beim Schweißen mit bariumhaltigen Schweißzusätzen aus der Umhüllung bei Stabelektroden oder aus den Füllstoffen bei Fülldrähten, z. B.:

- Stabelektroden zum Schweißen von Gusseisen und Kupferlegierungen,
- hoch- und mittellegierte Fülldraht- oder Stabelektroden.

So ergab beispielsweise das Schweißen mit Stabelektroden von Gusseisen und Kupferlegierungen bis zu 40 % Barium-Gehalt im Schweißrauch.

Kaliumoxid, Natriumoxid und Titandioxid (K_2O , Na_2O , TiO_2) entstehen aus der Umhüllung beim Einsatz umhüllter Stabelektroden. Titandioxid kann im Rauch von rutilsauren Elektroden auftreten.

Chrom(III)-Verbindungen (Cr_2O_3 , $FeCr_2O_4$, $KCrF_4$). Dreiwertige Chromverbindungen entstehen in geringen Konzentrationen beim Lichtbogenhandschweißen mit hochlegierten umhüllten Stabelektroden. In Form von Spinellen/Mischoxiden, wie $(FeMnNi)$, $(FeMnCr)_2O_4$ sowie $C_{12}O_3$, entstehen diese in höheren Konzentrationen (bis zu 90 % des Gesamtchroms im Schweißrauch) beim MAG-Schweißen mit hochlegierten Drähten. Sie sind auch im Schweißrauch von hochlegierten Fülldrähten zu finden (bis zu 40 % des Gesamtchroms im Schweißrauch).

Chrom(VI)-Verbindungen (Chromate = Na_2CrO_4 , K_2CrO_4 , $ZnCrO_4$, usw.) (Chromtrioxid = CrO_3). Sechswertige Chromverbindungen entstehen in kritischen Konzentrationen beim Verwenden von hochlegierten umhüllten Stabelektroden beim Lichtbogenhandschweißen wie auch beim Schweißen mit hochlegierten chromhaltigen Fülldrähten.

Auch beim Überschweißen von früher üblichen zinkchromathaltigen Fertigungsbeschichtungen (Reparatur-Schweißen) können Chrom(VI)-Verbindungen auftreten.

Nickeloxide (NiO , Ni_2O_3 , Ni_3O_4) entstehen vorwiegend beim:

- Schweißen mit Reinnickel und Nickelbasiswerkstoffen (aus dem Schweißzusatz),
- Plasmaschneiden von hochlegierten nickelhaltigen Stählen (aus dem Grundwerkstoff),
- thermischen Spritzen mit Nickelbasis-Spritzzusätzen aus dem Spritzzusatz.

Cadmiumoxid (CdO) entsteht:

- aus dem Lot beim Hartlöten mit cadmiumhaltigem Hartlot,
- beim Schweißen und Schneiden von cadmiumbeschichteten Werkstoffen.

Berylliumoxid entsteht aus dem Grundwerkstoff beim Schneiden von berylliumhaltigen Werkstoffen.

Cobaltoxid (CoO) entsteht aus dem:

- Schweißzusatz beim Auftragschweißen mit cobalthaltigen Legierungen,
- Spritzzusatz beim thermischen Spritzen mit cobalthaltigen Legierungen,
- Grundwerkstoff beim Schneiden von Stählen, die Cobalt als Legierungselement enthalten.

Thoriumdioxid (ThO_2) entsteht aus der thoriumoxidhaltigen Wolframelektrode beim WIG-Schweißen, insbesondere von Aluminiumwerkstoffen.

Andere Metalle in der Oxidform. Bleioxid, Kupferoxid, Zinkoxid, Zinnoxid, Titandioxid, Vanadiumpentoxid entstehen bei der schweißtechnischen Be- und Verarbeitung (z. B. aus den metallischen Beschichtungen, beim Überschweißen, aus dem Spritzzusatz, beim thermischen Spritzen, aus dem Flussmittel/Lot, beim Löten) von Werkstoffen, welche die vorstehend genannten Metalle enthalten.

Rauche aus Beschichtungsstoffen. Eine große Zahl von Schadstoffen aus organischen Komponenten kann sich bilden bei Schweiß- und Schneidverfahren von metallischen Werkstoffen, die Beschichtungen auf organischer Basis (z. B. Farben, Lacke, Primer) haben.

1.3.3 Schadstoffe aus Beschichtungsstoffen auf organischer Basis

Untersuchungen mittels Pyrolyse bei organischen Beschichtungen, die im Schiffbau verwendet wurden und teilweise auch heute noch zur Anwendung kommen, ergeben die in den Bildern 1-7 a und 1-7 b (S. 16 u. 17) enthaltenen Zersetzungsprodukte.

Zersetzungsprodukte (Schadstoffe)	Leitkomponenten ¹⁾ bei verschiedenen Beschichtungsstoffen							
	Voranstrich (Bindemittelbasis)						Deckschicht ²⁾ (Bindemittelbasis)	
	Shoppriemer ³⁾			Primer ⁴⁾			Chlor-Kautschuk	Alkydharz
	Epoxidharz	Ethylsilikat	PVB	Epoxidharz	Chlor-Kautschuk	Alkydharz		
Aliphatische Aldehyde ⁵⁾			L ₂		L ₃	L ₄	L ₃	L ₄
Aliphatische Alkohole (C ₂ - C ₄) ⁶⁾	L ₄	L ₂	L ₃	L ₄				
Aliphatische Carbonsäuren						L ₂		L ₂
Alkylbenzole (C ₇ - C ₈) ⁷⁾	L ₃			L ₃	L ₄		L ₄	
Chlorwasserstoff (HCl)					L ₁		L ₁	
Kohlenmonoxid (CO)	L ₂	L ₁	L ₁	L ₂	L ₂	L ₃	L ₂	L ₃
Phenole (einschl. Bisphenol-A)	L ₁			L ₁				
Phthalsäureanhydrid						L ₁		L ₁
Feinstaub (alv. Fraktion)	L	L	L	L	L	L	L	L

1) L: allgemeine Leitkomponente. L1, L2, L3, L4: erste, zweite, dritte, vierte Leitkomponente.

2) Deckschicht wird auch als „finishing paint“ bezeichnet.

3) Als Shoppriemer wird der Voranstrich bezeichnet, der meist schon vom Hersteller auf Halbzeuge (Bleche, Profile) aufgebracht wird.

4) Als Primer wird der Voranstrich bezeichnet, der vom Verarbeiter auf die fertigen Produkte aufgebracht wird.

5) hier z. B. Butyraldehyd.

6) hier z. B. Butanol.

7) hier z. B. Toluol, Xylol.

Anmerkung! Erfahrungsgemäß verschiebt sich das Spektrum der Zersetzungsprodukte mit steigender Temperatur in Richtung niedermolekularer Stoffe, z. B.:

aliphatische Aldehyde → Acrolein, Formaldehyd

aliphatische Alkohole → Ethanol, Methanol

aliphatische Carbonsäuren → Essigsäure, Ameisensäure

Bild 1-7 a: Empfehlungen für Leitkomponenten für die Zersetzungsprodukte von Beschichtungsstoffen auf organischer Basis bei Pyrolyse (t = 350 °C) [Quelle: Spiegel-Ciobanu, BGI 593 2008, in Anlehnung an die Publikation von Bernt Engström, Finnland [5]]

Beschichtung (Bindemittelbasis) Zersetzungsprodukte (Schadstoffe)	Epoxidteer Amid- Addukt gehärtet	Polyure- thaneer	Epoxidteer Amin gehärtet	Epoxidharz	Urethan- Alkydharz	Epoxidteer	Alkydharz	Vinyl/ Epoxidharz (teerhaltig)
	Nachgewiesene Stoffe			Leitkomponenten				
Acenaphthen	X							
Acetaldehyd								X
Benzaldehyd			X					
Benzol	X	X	X	X	X	X	X	X
Biphenyl	X							
Bisphenol-A	X		X	X		X		
Buten								X
4-tert. Butylphenol			X					
Dibenzofuran	X							
Dihydrobenzopyran oder Isomeres	X							
Diisocyanatoluol		X						
Fluoren	X							
Kresole			X					
Methyl-methacrylat								X
α -Methylstyrol (Isopropenylbenzol)			X	X		X		
Dimeres des α -Methylstyrol			X					
Methylnaphthaline	X							
Naphthalin	X							
4-Kern polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAH)	X	X						
5-Kern polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAH)	X	X						
Phenanthren / Anthracen	X	X						
Phenol	X		X	X				X
Pyren	X	X						
Styrol	X		X	X	X	X	X	X
Toluol	X	X	X	X	X	X	X	X
Xylole	X		X					

Bild 1-7 b: Zersetzungsprodukte von Beschichtungsstoffen auf organischer Basis bei Pyrolyse (t = 800 °C): nachgewiesene Stoffe und Leitkomponenten

[Quelle: Spiegel-Ciobanu, BGI 593 2008, auf der Grundlage von BG-begleiteten Untersuchungen]

1.4 Einflussfaktoren

Menge und Art der Schadstoffe werden – außer durch die eingesetzten Verfahren und Werkstoffe – auch von Oberflächenbeschichtungen und -verunreinigungen sowie von den folgenden weiteren Faktoren beeinflusst:

Strom, Spannung

Höhere Werte für Schweißstrom und Schweißspannung führen – bei gleichen Verfahren und Werkstoffen – zu höheren Schadstoffemissionen.

Stromart

Bei Verwendung von Wechselstrom werden höhere Emissionen beobachtet als bei Gleichstrom.

Elektrorendurchmesser

Mit zunehmendem Elektrorendurchmesser nimmt die Schadstoffemission zu.

Art der Umhüllung

Bei rutilumhüllten Elektroden werden die niedrigsten, bei zelluloseumhüllten Elektroden dagegen die höchsten Schadstoffemissionen festgestellt.

Elektrodenanstellwinkel

Bei flacheren Elektrodenanstellwinkeln werden niedrigere Emissionswerte beobachtet als bei steileren Anstellwinkeln.

Art der Schweißung

Beim Auftragschweißen treten höhere Schadstoffemissionen auf als beim Verbindungsschweißen.

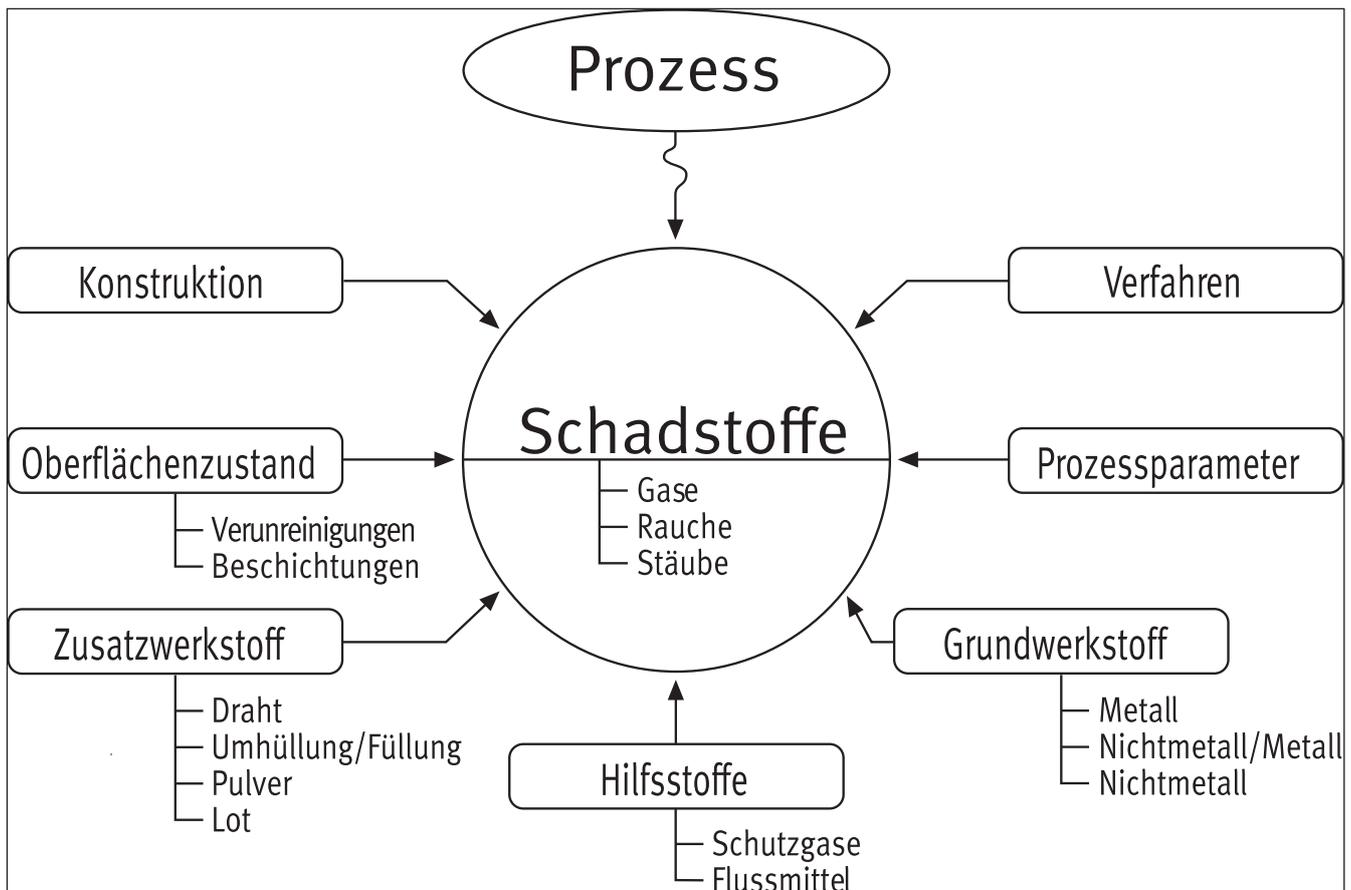


Bild 1-8: Einflussfaktoren
[Quelle: Spiegel-Ciobanu,
BGI 593 2008]

1.5 Neue Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)

Am 01.12.2010 ist die derzeit gültige Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung) in Kraft getreten.

Zu den wichtigsten Änderungen gegenüber der bisherigen Fassung der Gefahrstoffverordnung, die auch für das Schweißen und verwandte Verfahren von Bedeutung sind, gehören:

- Die **Vorschriften zur Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung (§ 4 GefStoffV)** sollten unter Berücksichtigung der Übergangsfristen bis 1. Juni 2015 an die CLP-Verordnung angepasst werden.
- Die **Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung (§ 6 GefStoffV)** muss jetzt das Ergebnis der Substitutionsprüfung sowie die Begründung für einen Verzicht auf Substitution enthalten, sofern Schutzmaßnahmen nach §§ 9 bzw. 10 zu treffen sind.
- Wenn keine Prüfdaten zur akut-toxischen, reizenden, hautsensibilisierenden, erbgutverändernden Wirkung sowie Wirkung bei wiederholter Exposition vorliegen, sind für die betreffenden Gefahrstoffe bei der Gefährdungsbeurteilung die entsprechenden Wirkungen zu unterstellen (**§ 6 GefStoffV**).
- Die **erforderlichen Schutzmaßnahmen ergeben sich nicht mehr aus den bisher bekannten intrinsischen Schutzstufen, sondern anhand der konkreten Gefährdungen**. Das bedeutet, dass abhängig von der Höhe der Gefährdung die verschiedenen Grundpflichten (§ 7 GefStoffV) und Schutzmaßnahmenpakete (§§ 8 bis 15 GefStoffV) anzuwenden sind.
- Das **Substitutionsgebot gilt jetzt als Grundpflicht auch bei geringer Gefährdung (§ 7 GefStoffV)**.
- **Beim Tragen belastender persönlicher Schutzausrüstung (PSA) ist das Minimierungsgebot zu beachten (§ 7 GefStoffV)**.
- Tätigkeiten mit giftigen, sehr giftigen, KMR- und atemwegsensibilisierenden Gefahrstoffen dürfen nur noch von fachkundigen oder besonders unterwiesenen Personen ausgeführt werden (**§ 8 GefStoffV**).
- Bei **Überschreitung der AGW bzw. der BGW oder bei verbleibender Gefährdung bei Gefahrstoffen ohne AGW/BGW sowie bei hautresorptiven/haut- oder augenschädigenden Gefahrstoffen, wenn mit einer Gefährdung durch Haut- oder Augenkontakt zu rechnen ist** (d. h. wenn §§ 7 und 8 nicht ausreichen), sind zusätzliche Schutzmaßnahmen nach **§ 9 GefStoffV** anzuwenden (z. B. Tragen von PSA). Diese Schutzmaßnahmen sind auch erforderlich bei geschlossenen Systemen, wenn eine Substitution technisch nicht möglich ist **und eine erhöhte inhalative Gefährdung besteht**.
- Bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden, erbgutverändernden und fruchtbarkeitsgefährdenden Gefahrstoffen der Kategorien 1 oder 2 sind neben Messungen jetzt auch **andere geeignete Ermittlungsmethoden möglich (§ 10 GefStoffV)**.
- **Im Rahmen der Unterweisung ist jetzt eine arbeitsmedizinisch-toxikologisch Beratung verpflichtend (§ 14 GefStoffV)**.
- **Bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden, erbgutverändernden oder fruchtbarkeitsgefährdenden Gefahrstoffen der Kategorien 1 oder 2 ist das Beschäftigtenverzeichnis 40 Jahre nach Ende der Exposition aufzubewahren (§ 14 GefStoffV)**.

1.6 Verbindliche Grenzwerte (nach TRGS ...)

Die TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“ enthält für zahlreiche Stoffe Grenzwerte (AGW) für die zeitlich gewichtete durchschnittliche Konzentration der Stoffe in der Luft am Arbeitsplatz in Bezug auf einen gegebenen Referenzzeitraum.

Der AGW gibt an, bei welcher Konzentration eines Stoffes akute oder chronische schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit im Allgemeinen nicht zu erwarten sind (§ 3 Abs. 6 GefStoffV). Sie werden vom Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) aufgestellt.

Um die Belastung des Schweißers durch Schadstoffe am Arbeitsplatz zu begrenzen, d. h. um die Auswirkungen dieser Schadstoffe auf den menschlichen Körper zu minimieren, sind stoffspezifische Grenzwerte festgelegt worden. Aufgrund der technischen Gegebenheiten am Arbeitsplatz, der analytischen und arbeitsmedizinischen Erkenntnisse werden diese Grenzwerte regelmäßig überprüft.

1.6.1 Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) nach TRGS 900

Arbeitsplatzgrenzwerte sind vom neuen Verständnis her so konzipiert, dass bei ihrer Einhaltung akute oder chronische schädliche Wirkungen nicht zu erwarten sind.

Die TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“ enthält für zahlreiche Stoffe medizinisch basierende Arbeitsplatzgrenzwerte.

Allgemeiner Staubgrenzwert

Der Allgemeine Staubgrenzwert unterscheidet zwischen:

- Grenzwert für die alveolengängige Fraktion (A-Fr) 3 mg/m³ und
- Grenzwert für die einatembare Fraktion (E-Fr) 10 mg/m³.

Bei Einhaltung des Allgemeinen Staubgrenzwertes ist mit einer Gesundheitsgefährdung dann nicht zu rechnen, wenn nach einschlägiger Überprüfung sichergestellt ist, dass mutagene, krebserzeugende, fibrogene, toxische oder allergisierende Wirkungen des Staubes nicht zu erwarten sind.

Der Allgemeine Staubgrenzwert gilt auch für

- Aluminiumoxid (außer Rauch),
- Eisenoxide,
- Magnesiumoxid (außer Rauch) und
- Titandioxid.

Der Allgemeine Staubgrenzwert wird als Schichtmittelwert festgelegt und ist für schwer lösliche bzw. unlösliche Stäube anzuwenden, die nicht anderweitig reguliert sind. Der Grenzwert gilt als allgemeine Obergrenze, zusätzlich sind aber die stoffspezifischen Luftgrenzwerte einzuhalten.

Der Grenzwert gilt nicht für lösliche Stäube, ultrafeine und grobdisperse Partikelfractionen [10].

Bei Stäuben mit ultrafeinen Partikelanteilen und Schweißarbeiten gilt der Allgemeine Staubgrenzwert als Obergrenze, ultrafeine Partikelfractionen sind nach Vorliegen entsprechender Bewertungskriterien (Grenzwerte) gesondert zu berücksichtigen.

Sofern an Arbeitsplätzen eine Staubkonzentration von 3 mg/m³ (A-Staub) nicht eingehalten werden kann, sind für die Beschäftigten arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen vorzusehen.

Die Beeinträchtigung der Atmungsorgane durch die vorstehend genannten Stäube und Rauche sind Langzeiteffekte und hängen maßgeblich von der Staubdosis ab, welche durch die über einen längeren Zeitraum einwirkende mittlere Feinstaubkonzentration bestimmt wird.

Die Werte sollen die Beeinträchtigung der Funktion der Atmungsorgane infolge einer allgemeinen Staubwirkung verhindern.

1.6.2 Biologischer Grenzwert (BGW) nach TRGS 903

BGW ist der Grenzwert für die toxikologisch-arbeitsmedizinisch abgeleitete Konzentration eines Stoffes, seines Metaboliten (Umwandlungsproduktes im Körper) oder eines Beanspruchungsindikators im entsprechenden biologischen Material, beim dem im Allgemeinen die Gesundheit eines Beschäftigten nicht beeinträchtigt wird [TRGS 903].

Gemäß dieser Definition entsprechen die bisherigen MAK den AGW, die bisherigen BAT-Werte den BGW.

1.6.3 Exposition-Risiko-Beziehungen (ERB)

[Quelle: AGS]

Nach § 10 Abs. 2 der GefStoffV hat der Arbeitgeber sicherzustellen, dass AGW eingehalten werden. Für die überwiegende Zahl der krebserzeugenden Stoffe ist jedoch derzeit kein AGW oder MAK ableitbar. Aus diesem Grund wurde vom AGS ein Gesamtkonzept zur Festlegung risikobasierter Grenzwerte für krebserzeugende Stoffe erarbeitet. In der „Bekanntmachung zu Gefahrstoffen 910 - Richtwerte und Exposition-Risiko-Beziehungen für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen (BekGS 910)“ werden stoffübergreifende Risikogrenzen und stoffspezifische Konzentrationswerte und Exposition-Risiko-Beziehungen, die vom AGS festgelegt wurden, dargestellt. Für 11 Stoffe (z. B. für Benzol oder Benzo(a)pyren, als Leitkomponente in bestimmten PAK-Gemischen) sind Akzeptanz- und Toleranzkonzentrationen

aufgeführt, einschließlich deren Begründung, die eine sozialpolitische Konvention darstellt. Der zweite Teil der BekGS 910 beschreibt die wissenschaftliche Vorgehensweise in den Fachdisziplinen „Toxikologie“ und „Epidemiologie“ zur Ermittlung der Stoffrisiken und Ableitung von Exposition-Risiko-Beziehungen. Mit diesem Konzept soll die Gefährdung durch krebserzeugende Stoffe am Arbeitsplatz auf ein Minimum reduziert werden.

Die 3 durch das Akzeptanz- und das Toleranzrisiko definierten Risikobereiche (niedriges, mittleres, hohes Risiko) wurden Maßnahmenoptionen (gestuftes Maßnahmenkonzept zur Risikominderung) zugeordnet.

1.6.3.1 Risikoabschätzung für Stoffe ohne Exposition-Risiko-Beziehungen (ERB)

[Quelle: Dr. Nies, Dr. Steinhausen, IFA]

Für einige Stoffe wurden bereits Exposition-Risiko-Beziehungen (ERB) durch den Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) erarbeitet und die zugehörigen stoffspezifischen Akzeptanz- und Toleranzkonzentrationen in der Bekanntmachung zu Gefahrstoffen 910 – BekGS 910 veröffentlicht (siehe Stoffliste). Für viele krebserzeugende Stoffe liegen aber noch keine Werte vor. Sofern kein Arbeitsplatzgrenzwert für einen Stoff vorhanden ist, hat der Arbeitgeber andere geeignete Beurteilungsmaßstäbe in eigener Verantwortung heranzuziehen (siehe TRGS 400).

Die in der nachstehenden Tabelle genannten Konzentrations-schätzungen können dabei als Hilfe dienen, um Arbeitsplatzexpositionen einem Risikobereich nach BekGS 910 zuzuordnen. Sie wurden in Anlehnung an das Risikokonzept des AGS (BekGS 910) aus älteren Unit-Risk-Schätzungen ermittelt (IFA-Handbuch, Kennzahl 120120. 42. Lfg. XII/2002).

Stoff	Konzentrations-schätzung Risiko 4 : 1 000 bei 40-jähriger Arbeitsplatzkonzentration (in µg/m ³)	Konzentrations-schätzung Risiko 4 : 10 000 bei 40-jähriger Arbeitsplatzkonzentration (in µg/m ³)
Chrom(VI)	0,5 bis 2	0,05 bis 0,2
Cobalt	3,5 bis 6	0,35 bis 0,6
Nickel (NiO)	90	9

(Auszug aus der Tabelle des IFA, Dr. Nies, Dr. Steinhausen)

1.7 Grenzwerte der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG)

1.7.1 Maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK)

MAK werden von der Senatskommission der Deutschen Forschungsgemeinschaft aufgestellt und jährlich in der MAK-Liste der Senatskommission veröffentlicht.

Viele dieser Werte werden nach Beratungen im Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) in die TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“ aufgenommen.

MAK ist die Konzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz, bei der im Allgemeinen die Gesundheit der Arbeitnehmer nicht beeinträchtigt wird.

Maßgebend sind dabei wissenschaftlich fundierte Kriterien des Gesundheitsschutzes, nicht die technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten der Realisation in der Praxis.

Die MAK gilt in der Regel nur für einzelne Stoffe (reine Stoffe) und ist ein Langzeitwert, nämlich ein Schichtmittelwert bei in der Regel täglich achtstündiger Exposition und bei Einhaltung einer durchschnittlichen Wochenarbeitszeit von 40 Stunden (in Vierschichtbetrieben 42 Stunden je Woche im Durchschnitt von vier aufeinander folgenden Wochen)[4].

Aufgrund der Tatsache, dass die Konzentration verschiedener Stoffe in der Luft am Arbeitsplatz schwanken kann, wurden Kurzzeitwerte aufgestellt, um kurzfristige Überschreitungen des Schichtmittelwertes (Expositionsspitzen) beurteilen zu können. Sie sind nach Höhe, Dauer, Häufigkeit und zeitlichem Abstand begrenzt.

Grenzwerte für Stoffgemische sollen nach TRGS 402 „Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition“ ermittelt werden.

In der Schweißtechnik treten Schadstoffe immer im Gemisch auf. Die Ermittlung der Grenzwerte ist daher sehr aufwendig. Deshalb arbeitet man in der Praxis häufig mit verfahrens- und werkstoffspezifischen Leitkomponenten.

1.7.2 Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte (BAT)

BAT-Wert ist die Konzentration eines Stoffes oder seines Umwandlungsproduktes im Körper oder die dadurch ausgelöste Abweichung eines biologischen Indikators von seiner Norm, bei der im Allgemeinen die Gesundheit der Arbeitnehmer nicht beeinträchtigt wird. Die BAT-Werte sind in der TRGS 903 aufgelistet. Für einige Schadstoffe in der Schweißtechnik sind die BAT-Werte in Bild 1-9 aufgeführt. BAT-Werte sind als Höchstwerte für gesunde Einzelpersonen konzipiert. Maßgebend sind arbeitsmedizinisch-toxikologisch fundierte Kriterien des Gesundheitsschutzes. BAT-Werte gelten in der Regel für eine Belastung mit Einzelstoffen.

BAT-Werte können als Konzentrationen, Bildungs- oder Ausscheidungsraten (Menge/Zeiteinheit) in der Regel im Blut und/oder Urin definiert sein.

Wie bei den MAK wird in der Regel eine Stoffbelastung von maximal 8 Stunden täglich und 40 Stunden wöchentlich zugrunde gelegt.

BAT-Werte dienen insbesondere im Rahmen spezieller ärztlicher Vorsorgeuntersuchungen dem Schutz der Gesundheit am Arbeitsplatz.

Sie geben eine Grundlage für die Beurteilung der Bedenklichkeit oder Unbedenklichkeit der vom Organismus aufgenommenen Stoffmengen.

Die Überwachung kann durch die periodische quantitative Bestimmung eines Stoffes im biologischen Material oder biologischen Parameter erfolgen. Die Messstrategie soll den Expositionsverhältnissen am Arbeitsplatz Rechnung tragen.

Die Einhaltung von BAT-Werten entbindet nicht von einer Überwachung der Schadstoffkonzentration in der Luft.

1.7.3 Biologische Leitwerte (BLW)

Der BLW (**B**iologischer **L**eit-**W**ert) ist die Quantität eines Arbeitsstoffes bzw. Arbeitsstoffmetaboliten oder die dadurch ausgelöste Abweichung eines biologischen Indikators von seiner Norm beim Menschen, die als Anhalt für die zu treffenden Schutzmaßnahmen heranzuziehen ist. Biologische Leitwerte werden nur für solche gefährlichen Stoffe benannt, für die keine arbeitsmedizinisch-toxikologisch begründeten Biologischen Arbeitsstofftoleranzwerte (BAT-Werte) aufgestellt werden können (d. h. für krebserzeugende bzw. krebserdächtige Stoffe der Kategorien 1 bis 3 und für nicht krebser-

Schadstoff	Parameter	BGW/ BAT-/ BAR-Wert	Untersuchungs-material	Probenahmezeitpunkt
1 Gasförmig				
Kohlenmonoxid	CO-Hb	5%	Blut (B)	b
2 Partikelförmig				
Aluminium	Aluminium	60 µg/g Kreatinin	Harn (H)	a
Bariumverbindungen, löslich	Barium	10 µg/l (BAR)	Harn (H)	c, b
Cadmium und seine Verbindungen	Cadmium	1 µg/l (BAR)	Blut (B)	a
		0,8 µg/l (BAR)	Harn (H)	a
Chrom und seine Verbindungen	Gesamt-Chrom	0,6 µg/l (BAR)	Harn (H)	b
Mangan und seine Verbindungen	Mangan	15 µg/l (BAR)	Blut (B)	c, b
Fluoride (anorganische Fluorverbindungen)	Fluorid	7,0 mg/g Kreatinin	Harn (H)	b
		4,0 mg/g Kreatinin	Harn (H)	d
Blei und seine Verbindungen	Blei	400 µg/l (BLW) ¹⁾	Blut (B)	a
		70 µg/l (BAR) ²⁾	Blut (B)	a
a keine Beschränkung c bei Langzeitexposition nach mehreren vorangegangenen Schichten b Expositionsende bzw. Schichtende d vor nachfolgender Schicht ¹⁾ für Frauen > 45 J. und für Männer ²⁾ für Frauen				

Bild 1-9: Biologische Grenzwerte (BGW)/Biologische Arbeitsstoff-Toleranzwerte BAT/Biologische Arbeitsstoff-Referenzwerte (BAR) für einige Schadstoffe in der Schweißtechnik [Spiegel-Ciobanu, nach [4]]

zeugende Stoffe, bei denen keine ausreichenden toxikologische Daten vorliegen).

Für den BLW wird in der Regel eine Arbeitsstoffbelastung von maximal 8 Stunden täglich und 40 Stunden wöchentlich über die Lebensarbeitszeit zugrunde gelegt [4].

Bei Einhaltung des biologischen Leitwertes ist das Risiko einer Beeinträchtigung der Gesundheit nicht auszuschließen.

Durch Verbesserung der technischen Gegebenheiten und der technischen, arbeitshygienischen und arbeitsorganisatorischen Schutzmaßnahmen sind Konzentrationen anzustreben, die möglichst weit unterhalb des biologischen Leitwertes liegen.

Aufgrund der am Arbeitsplatz gegebenen Randbedingungen sind im konkreten Fall aus dem stoffspezifischen biologischen Wert nicht ohne weiteres Rückschlüsse auf die bestehende Stoffkonzentration in der Arbeitsluft und umgekehrt zulässig.

Wesentliche Einflussfaktoren sind schwere körperliche Arbeit, Arbeit in Zwangshaltung und die Temperatur am Arbeitsplatz.

1.7.4 Biologische Arbeitsstoff-Referenzwerte (BAR)

Diese Werte (Referenzwerte) beschreiben die Belastung einer Referenzpopulation zu einem bestimmten Zeitpunkt gegenüber dem in der Umwelt vorkommenden Arbeitsstoff. Die zur Referenzpopulation gehörenden Personen im erwerbsfähigen Alter sind nicht beruflich gegenüber dem Arbeitsstoff exponiert.

Das Ausmaß einer beruflichen Exposition gegenüber einem Arbeitsstoff kann durch den Vergleich zwischen Biomonitoring, gemessen bei beruflich Exponierten, und Biologischem Arbeitsstoff-Referenzwert, gemessen bei der Referenzgruppe, erreicht werden.

1.7.5 Expositionsäquivalente für krebserzeugende Arbeitsstoffe (EKA)

Für manche krebserzeugenden Stoffe, wie Alkalichromate, Cobalt, Nickel und Nickelverbindungen, gibt es Korrelationen zwischen der Schadstoffkonzentration in der Luft und im biologischen Material (Blut oder Harn), die begründet werden können.

Diese Korrelationen werden als Expositionsäquivalente bezeichnet (Bild 1-10).

	Luft CrO ₃ (mg/m ³)	Probenahmezeitpunkt: bei Langzeitexposition nach mehreren vorangegangenen Schichten	
		Erythrozyten ¹⁾ Chrom (µg/l Vollblut)	Harn ²⁾ Chrom (µg/l)
Alkalichromate Cr(VI)	0,03 0,05 0,08 0,10	9 17 25 35	12 20 30 40
Cobalt und seine Verbindungen	Luft Cobalt (mg/m ³)	Probenahmezeitpunkt: keine Beschränkung Harn/Cobalt (µg/l)	
	0,010	6	
	0,025	15	
	0,05	30	
	0,10 0,50	60 300	
Hydrazin	Luft Hydrazin (mg/m ³)	Probenahmezeitpunkt: Expositions- bzw. Schichtende	
		Harn µg Hydrazin/g Kreatinin	Plasma Hydrazin (µg/l)
	0,013	35	27
	0,026	70	55
	0,065	200	160
	0,104 0,130	300 380	270 340
Nickel (Nickelmetall, -oxid, -carbonat, -sulfid, -sulfidische Erze)	Luft Nickel (mg/m ³)	Probenahmezeitpunkt: bei Langzeitexposition nach mehreren vorangegangenen Schichten Harn Nickel (µg/l)	
	0,10	15	
	0,30	30	
	0,50	45	

¹⁾ gilt nicht für Schweißrauch-Exposition

²⁾ gilt auch für Schweißrauch-Exposition

Bild 1-10: Expositionsäquivalente für krebserzeugende Arbeitsstoffe (EKA) für einige Schadstoffe in der Schweißtechnik [Spiegel-Ciobanu nach [4]]

1.8 EU-Werte

EU-Werte sind Grenzwerte der Europäischen Union (verbindliche Grenz- und Richtwerte) für eine berufsbedingte Exposition.

Diese Grenzwerte sind auch wie die AGW, die MAK oder die alten TRK Schichtmittelwerte bei 8-stündiger Exposition.

In den Bildern 1-11 a und 1-11 b sowie 1-12 a und 1-12 b auf den Seiten 24 - 29 sind die Schadstoffe in der Schweißtechnik, deren Grenzwerte und Einstufungen tabellarisch zusammengefasst.

1.9 Grenzwerte nach StrlSchV

Die StrlSchV vom 1. August 2001 gibt Grenzwerte für den Umgang mit radioaktiven Stoffen.

Es gelten die folgenden Dosisgrenzwerte:

- 6 mSv für nicht beruflich strahlenexponierte Personen bei „Arbeiten“,
- 20 mSv für beruflich strahlenexponierte Personen,
- 400 mSv für die gesamte beruflich bedingte Dosis,
- 6 mSv für Personen unter 18 Jahren.

Technische Richtkonzentration (TRK)

Die TRK-Werte wurden entsprechend der neuen GefStoffV aus der TRGS 900 gestrichen. Da für die Praxis die alte Definition der TRK noch eine gewisse Relevanz haben kann, wird diese hier erläutert.

TRK war nach der „alten GefStoffV“ die Konzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz, die nach dem Stand der Technik erreicht werden konnte. TRK waren Schichtmittelwerte bei in der Regel täglich 8-stündiger Exposition und bei einer durchschnittlichen Wochenarbeitszeit von 40 Stunden. Die Begrenzung der Abweichungen vom Mittelwert nach oben war auch in diesem Fall durch Kurzzeitwerte festgelegt. TRK wurden nur für solche Stoffe aufgestellt, für die keine toxikologisch-arbeitsmedizinisch begründeten MAK aufgestellt werden konnten.

Auch für krebserzeugende Stoffe wurden TRK benannt; bei deren Einhaltung am Arbeitsplatz war das Risiko einer Gesundheitsbeeinträchtigung vermindert, jedoch nicht vollständig ausgeschlossen.

1 Gasförmige Schadstoffe											
I		II						III	IV	V	
Schadstoff	Einstufung K	Luftgrenzwert						Wert im biolog. Material	G- Grundsätze	Relev. Regeln/ Literatur	
		mg/m ³	ml/m ³	Art (Herkunft)	Spitz.-Begr./ Kategorie	Kurzzeitwerthöhe	Kurzzeitwertdauer ¹⁾				
1.1 Toxisch											
Kohlenmonoxid (CO)		35	30	MAK (DFG)	2	2 • MAK	15 min, MiW	BAT	7		
Kohlendioxid (CO ₂)		9100	5000	MAK (DFG, EU)	4	4 • MAK	15 min, MiW				
Phosgen (Carbonylchlorid) (COCl ₂)		0,082	0,02	MAK (DFG)	= 1 =						ZH 1/298
Stickstoffmonoxid (NO)		30	25	MAK (EU)							
Stickstoffdioxid (NO ₂)		9,5	5	MAK (DFG)	= 1 =	MAK					
1.2 Krebserzeugend											
Formaldehyd (HCHO)	3	0,62	0,5	TRK (AGS)	= 1 =	TRK					TRGS 513, 607 ZH 1/296
Ozon (O ₃)	3	0,2	0,1	MAK (DFG)	= 1 =	MAK					

¹⁾ Die Dauer der erhöhten Exposition darf in einer Schicht insgesamt 1 Stunde nicht überschreiten

Bild 1-11 a: Schadstoffe in der Schweißtechnik, Grenzwerte, Einstufung, Stand Januar 2003
[Quelle: Spiegel-Ciobanu, in Anlehnung an die Ausgaben 2003 der [4] und [10]]

2 Partikelförmige Schadstoffe

I		II						III	IV	V
Schadstoff	Einstufung K	Luftgrenzwert						Wert im biolog. Material	G- Grundsätze	Relev. Regeln/ Literatur
		mg/m ³	ml/m ³	Art (Herkunft)	Spitz.-Begr./ Kategorie	Kurzzeit- werthöhe	Kurzzeit- wertdauer ¹⁾			
2.1 Lungenbelastend²⁾										
Aluminiumoxid		3 A/6 A ²⁾		MAK (DFG)	4	4 • MAK	15 min, MiW	BAT		
Eisenoxide		3 A/6 A ²⁾		MAK (DFG)	4	4 • MAK	15 min, MiW			
Magnesiumoxid		3 A/6 A ²⁾		MAK (DFG)	4	4 • MAK	15 min, MiW			
Molybdän-Verbindungen, unlösliche (als Mo berechnet)		15 E ²⁾		MAK (DFG)	4	4 • MAK	15 min, MiW			
Titandioxid		3 A/6 A ²⁾		MAK (DFG)	4	4 • MAK	15 min, MiW			
2.2 Toxisch										
Barium-Verbindungen, lösliche		0,5 E		MAK (DFG, EU)	4	4 • MAK	15 min, MiW			
Bleioxid		0,1 E		MAK (DFG)	4	4 • MAK	15 min, MiW	BAT		
Calciumoxid		5 E		MAK (DFG)	= 1 =	MAK	15 min, MiW			
Fluoride (als Fluor berechnet)		2,5 E		MAK (DFG)	4	4 • MAK	15 min, MiW	BAT		ZH 1/161
Kupferoxid		0,1 A		MAK (DFG)	4	4 • MAK	15 min, MiW			
Manganoxide		0,5 E		MAK (DFG)	4	4 • MAK	15 min, MiW			
Molybdän-Verbindungen, unlösliche (als Mo berechnet)		5 E		MAK (DFG)	4	4 • MAK	15 min, MiW			
Silber-Verbindungen		0,01 E		MAK (EU)						
Vanadiumpentoxid		0,05 A		MAK (DFG)	4	4 • MAK	15 min, MiW			
Zinkoxid		5 A		MAK (DFG)	4	4 • MAK	15 min, MiW			
Zinn-Verbindungen, anorganische		2 E		MAK (DFG, EU)	4	4 • MAK	15 min, MiW			

¹⁾ Die Dauer der erhöhten Exposition darf in einer Schicht insgesamt 1 Stunde nicht überschreiten

²⁾ siehe Abschnitt 1.5 Grenzwerte, Allgemeiner Staubgrenzwert, BGI 593

2 Partikelförmige Schadstoffe (Fortsetzung)

Schadstoff	II							III	IV	V
	Einstufung K	Luftgrenzwert						Wert im biolog. Material	G- Grundsätze	Relev. Regeln/ Literatur
		mg/m ³	ml/m ³	Art (Herkunft)	Spitz.-Begr./ Kategorie	Kurzzeit- werthöhe	Kurzzeit- wertdauer ¹⁾			
Berylliumoxid	2	0,002 E		TRK (AGS)	4	4 • TRK	15 min, MiW		40	
Cadmiumoxid	2	0,03 E ²⁾ 0,015 E ³⁾		TRK (AGS)	4	4 • TRK	15 min, MiW		32	ZH 1/136 Bundes- arbeitsblatt (1991), Nr. 9, S. 76
Chrom(VI)-Verbindungen, einschließlich Bleichromat (in Form von Stäuben/Aerosolen, ausgenommen die in Wasser praktisch unlöslichen, z. B. Bariumchromat)	2 ⁴⁾	0,1 E ⁵⁾ Z0,05 E ⁶⁾		TRK (AGS)	4	4 • TRK	15 min, MiW	EKA ⁷⁾	15	TRGS 602, 613, ZH 1/88 BIA- Arbeitsmittel KZ 1010
Cobaltoxid	3 ⁸⁾	0,1 E		TRK (AGS)	4	4 • TRK	15 min, MiW	EKA	40	
Nickeloxid	1	0,5 E		TRK (AGS)	4	4 • TRK	15 min, MiW	EKA	38	

2.3 Krebserzeugend

- ¹⁾ Die Dauer der erhöhten Exposition darf in einer Schicht insgesamt 1 Stunde nicht überschreiten
- ²⁾ für Schweißen cadmiumhaltiger Legierungen
- ³⁾ im Übrigen
- ⁴⁾ Bleichromat: Einstufung = 3
Zinkchromat: Einstufung = 1
Strontiumchromat: Einstufung = 2
Chromtrioxid: Einstufung = 1
Zinkkaliumchromat: Einstufung = 1

- ⁵⁾ für Lichtbogenhandschweißen mit umhüllten Stabelektroden
- ⁶⁾ im Übrigen
- ⁷⁾ für Alkalichromate
- ⁸⁾ Einstufung nach Liste B und Liste C (siehe Erläuterungen zur Spalte „Einstufung“)

Zeichenerklärung

A Erläuterungen zur Spalte „Luftgrenzwert“ (siehe TRGS 900)

- A** Alveolengängige Fraktion (früher Feinstaub)
- E** Einatembare Fraktion (früher Gesamtstaub)
- MAK** Maximale Arbeitsplatzkonzentration
- (AGS)** Ausschuß für Gefahrstoffe
- (DFG)** Senatskommission der Deutschen Forschungsgemeinschaft
- (EU)** Kommission der Europäischen Union
- MiW** Mittelwert

B Erläuterungen zur Spalte „Einstufung“ (siehe TRGS 905)

- K** Einstufung als krebserzeugend (siehe Liste A, B und C) Kategorie 1, 2 oder 3 nach Anhang I GefStoffV.
- Liste A: Hier sind alle Stoffe aufgeführt, die von der Europäischen Union (EU) eingestuft wurden und alle Stoffe, die in den §§ 15a und 35 der GefStoffV angegeben werden.
- Liste B: Die hier aufgeführten Stoffe wurden noch nicht von der EU zwecks Einstufung bearbeitet.
- Liste C: Hier werden alle Stoffe aufgelistet, deren nationale Bewertung durch den AGS von der EU-Einstufung abweicht. Eine Änderung der EU-Legaleinstufung wird für diese Stoffe angestrebt.

C Erläuterung der Zuordnungen in der Spalte „Art (Herkunft)“

Vergleich der Einstufungen krebserzeugender Stoffe DFG - TRGS 900

DFG TRGS 900

- III K Bestimmte besondere Stoffgruppen (Karzinogene), die in der Mitteilung der Senatskommission in Abschnitt III „Krebserzeugende Arbeitsstoffe“ bzw. in der Richtlinie 90/394/EWG „Krebsrichtlinie“ (Artikel 2, Buchstabe C) aufgeführt sind.
- III A1 1 Eindeutig als krebserzeugend ausgewiesene Arbeitsstoffe, die beim Menschen erfahrungsgemäß bösartige Geschwülste zu verursachen vermögen.
- III A2 2 Eindeutig als krebserzeugend ausgewiesene Arbeitsstoffe, die sich nach Meinung der Kommission bislang nur im Tierversuch als krebserzeugend erwiesen haben, und zwar unter Bedingungen, die der möglichen Exponierung des Menschen am Arbeitsplatz vergleichbar sind bzw. aus denen Vergleichbarkeit abgeleitet werden kann.
- III B 3 Stoffe mit begründetem Verdacht auf krebserzeugendes Potenzial.

D Erläuterung zur Spalte „Wert im Biologischen Material“

- BAT Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte
- EKA Expositionsäquivalente für krebserzeugende Arbeitsstoffe

Bild 1-11 b: Schadstoffe in der Schweißtechnik, Grenzwerte, Einstufung, Stand Januar 2003 [Quelle: Spiegel-Ciobanu, in Anlehnung an die Ausgaben 2003 der [4] und [10]]

1 Gasförmige Schadstoffe

I		II						III	IV	V
Schadstoff	Einstufung K	Luftgrenzwert (AGW, MAK)						Wert im biolog. Material	G-Grundsätze	Relev. Regeln/ Literatur
		mg/m ³	ml/m ³	Art (Herkunft)	Spitz-Begr./ Kategorie ²⁾ Überschreitungsfaktor	Kurzzeitwert ³⁾ höhe	Kurzzeitwertdauer ¹⁾			
1.1 Toxisch										
Kohlenmonoxid (CO)		35	30	AGW (DFG)	(I)1	1 • AGW	15 min, MiW	BAT	7	
Kohlendioxid (CO ₂)		9100	5000	AGW (DFG, EU)	(II)2	2 • AGW	15 min, MiW			
Phosgen (Carbonylchlorid) (COCl ₂)		0,41	0,1	AGW (DFG, EU, AGS)	(I)2	2 • AGW	15 min, MiW			BGI 615
Stickstoffmonoxid (NO)		0,63	0,5	MAK (DFG)	(I)2	2 • MAK	15 min, MiW			
1.2 Krebserzeugend										
Formaldehyd (CH ₂ O)	4 (DFG)	0,37	0,3	MAK (DFG)	(I)2	2 • MAK	15 min, MiW			TRGS 513, 607 BGI 614
Ozon (O ₃)	3 B (DFG)	-	-	(DFG)	-	-	-			
Stickstoffdioxid (NO ₂)	3 B (DFG)	0,95	0,5	MAK (DFG)	(I)1	2 • MAK	15 min, MiW			BGI 591

Auszug aus MAK- und BAT-Werte-Liste 2011 der DFG und der TRGS 900:

¹⁾ Die Dauer der erhöhten Exposition darf in einer Schicht insgesamt 1 Stunde nicht überschreiten

²⁾ Kategorie I Stoffe bei denen die lokale Wirkung grenzwertbestimmend ist oder atemwegssensibilisierende Stoffe
Kategorie II Resorptiv wirksame Stoffe

Überschreitungsfaktor: Basiswert für Kategorie I, in der Regel Faktor 1; Basiswert für Kategorie 2, in der Regel Faktor 2;

³⁾ Die Kurzzeitwertkonzentration ergibt sich aus dem Produkt von Arbeitsplatzgrenzwert und Überschreitungsfaktor.

Der Schichtmittelwert ist in jedem Fall einzuhalten. Insgesamt sind vier Kurzzeitwertphasen innerhalb einer Schicht zulässig. [Quelle: TRGS 900]

Bild 1-12 a: Schadstoffe in der Schweißtechnik, Grenzwerte, Einstufung, Stand Mai 2012 – entsprechend der neuen GefStoffV
[Quelle: Spiegel-Ciobanu, in Anlehnung an TRGS 900 Ausg.2012 und MAK- und BAT-Werte-Liste der DFG Ausg. 2011]

2 Partikelförmige Schadstoffe

I		II					III	IV	V
Schadstoff	Einstufung K	Luftgrenzwert (AGW, MAK)					Wert im biol.- Material	G-Grundsätze	Relev. Regeln/ Literatur
		mg/m ³	ml/m ³	Art (Herkunft)	Spitz.-Begr./ Kategorie ²⁾ Überschreitungsfaktor	Kurzzeitwerthöhe ³⁾			

2.1 Lungenbelastend⁴⁾

Aluminiumoxid		3A ⁵⁾ /10 E ⁴⁾		AGW (AGS)	(II)2	2 • AGW	15 min, MiW	BAT	7	
Eisenoxide	3B (DFG) ⁷⁾	3A/10 E ⁴⁾		AGW (AGS)	(II)2	2 • AGW	15 min, MiW			
Magnesiumoxid		3A/10 E ⁴⁾		AGW (AGS)	(II)2	2 • AGW	15 min, MiW			
Titandioxid	3A (DFG) ⁸⁾	3A/10 E ⁴⁾		AGW (AGS)	(II)2	2 • AGW	15 min, MiW			

2.2 Toxisch

Barium-Verbindungen, lösliche		0,5 E		AGW (EU)	(I)1	1 • AGW	15 min, MiW	BAR		
Chrom (III)-Verbindungen		2,0 E		AGW (EU)	(I)1	1 • AGW	15 min, MiW			
Fluoride (als Fluor berechnet)		1,0 E		AGW (DFG)	(II)4	4 • AGW	15 min, MiW	BAT		BGI 576
Kupferoxid		0,1 A		MAK (DFG)	(II)2	2 • MAK	15 min, MiW			
Manganoxide		0,5 E ⁶⁾		AGW (DFG)				BAR		
Silber-Verbindungen, anorganische		0,01 E		AGW (DFG, EU)	(I)2	2 • AGW	15 min, MiW			
Zinkoxid		0,1 A / 2 E		MAK (DFG)	(I)4 / (I)2	4 • MAK / 2 • MAK	15 min, MiW			

Auszug aus MAK- und BAT-Werte-Liste 2011 der DFG und der TRGS 900:

¹⁾ Die Dauer der erhöhten Exposition darf in einer Schicht insgesamt 1 Stunde nicht überschreiten

²⁾ Kategorie I Stoffe bei denen die lokale Wirkung grenzwertbestimmend ist oder atemwegssensibilisierende Stoffe
Kategorie II Resorptiv wirksame Stoffe

Überschreitungsfaktor: Basiswert für Kategorie I, in der Regel Faktor 1; Basiswert für Kategorie 2, in der Regel Faktor 2;

³⁾ Die Kurzzeitwertkonzentration ergibt sich aus dem Produkt von Arbeitsplatzgrenzwert und Überschreitungsfaktor.

Der Schichtmittelwert ist in jedem Fall einzuhalten. Insgesamt sind vier Kurzzeitwertphasen innerhalb einer Schicht zulässig. [Quelle: TRGS 900]

⁴⁾ siehe Abschnitt 1.5 Grenzwerte, Allgemeiner Staubgrenzwert, BGI 593

⁵⁾ Die MAK- und BAT-Werte-Liste 2011 der DFG führt als MAK-Wert für die A-Fr. des Staubes einen Wert von 0,3 mg/m³ für Stäube mit einer Dichte von 1 g/cm³.

⁶⁾ Die MAK- und BAT-Werte Liste 2011 der DFG führt als MAK-Werte: 0,02 mg/m³ für A-Fr. und 0,2 mg/m³ für E-Fr. des Staubes. Ausgenommen sind ultrafeine Partikel.

⁷⁾ Ausgenommen sind nicht bioverfügbare Eisenoxide.

⁸⁾ Einatembare Fraktion; ausgenommen sind ultrafeine Partikel.

Bild 1-12 b: Schadstoffe in der Schweißtechnik, Grenzwerte, Einstufung, Stand Mai 2012 – entsprechend der neuen GefStoffV [Quelle: Spiegel-Ciobanu, in Anlehnung an TRGS 900 Ausg.2012 und MAK- und BAT-Werte-Liste der DFG Ausg. 2011]

2 Partikelförmige Schadstoffe (Fortsetzung)

I		II						III	IV	V
Schadstoff	Einstufung K	Luftgrenzwert (AGW, MAK)						Wert im biolog. Material	G-Grundsätze	Relev. Regeln/ Literatur
		mg/m ³	ml/m ³	Art (Herkunft)	Spitz-Begr./ Kategorie ²⁾ Überschreitungsfaktor	Kurzzeit- werthöhe ³⁾	Kurzzeit- wertdauer ¹⁾			

2.3 Krebserzeugend

Berylliumoxid	1 ²⁾			(DFG)				EKA BAR		
Bleioxid	2			(DFG)				BLW	Bleioxid	
Cadmiumoxid	1 ³⁾			(DFG)				BLW BAR	32	
Chrom(VI)-Verbindungen	1 1A ⁴⁾ 1B ⁵⁾			(DFG) (EU) (EU)				EKA ⁶⁾	15	TRGS 602, 613
Cobaltoxid	2 ³⁾			(DFG)				EKA	40	
Nickeloxid	1			(DFG)				EKA	38	

¹⁾ Die Dauer der erhöhten Exposition darf in einer Schicht insgesamt 1 Stunde nicht überschreiten

²⁾ Gefahr der Sensibilisierung der Atemwege und der Haut

³⁾ Gefahr der Hautresorption

⁴⁾ Für Zinkchromat, Zinkkaliumchromat, Chromtrioxid nach der Berichtigung vom 20.01.2011 der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 der EU. Sie entspricht der früheren Einstufung nach der EG-Richtlinie RL 67/548/EWG als krebserzeugend Kategorie 1.

⁵⁾ Natrium-/Kaliumchromat und Natrium-/Kaliumdichromat: nach der Berichtigung vom 20.01.2011 der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 der EU. Sie entspricht der früheren Einstufung nach der EGRichtlinie RL 67/548/EWG als krebserzeugend Kategorie 2.

⁶⁾ Für Alkalichromate

Zeichenerklärung

A Erläuterungen zur Spalte „Luftgrenzwert“ (siehe TRGS 900)

- A** Alveolengängige Fraktion (früher Feinstaub)
E Einatembare Fraktion (früher Gesamtstaub)
MAK Maximale Arbeitsplatzkonzentration
(AGS) Ausschluß für Gefahrstoffe
(DFG) Senatskommission der Deutschen Forschungsgemeinschaft
(EU) Kommission der Europäischen Union
MiW Mittelwert

B Erläuterungen zur Spalte „Einstufung“ (siehe TRGS 905)

- K** Einstufung als krebserzeugend (siehe Liste A, B und C) Kategorie 1, 2 oder 3 nach Anhang I GefStoffV.
 Liste A: Hier sind alle Stoffe aufgeführt, die von der Europäischen Union (EU) eingestuft wurden und alle Stoffe, die in den §§ 15a und 35 der GefStoffV angegeben werden.
 Liste B: Die hier aufgeführten Stoffe wurden noch nicht von der EU zwecks Einstufung bearbeitet.
 Liste C: Hier werden alle Stoffe aufgelistet, deren nationale Bewertung durch den AGS von der EU-Einstufung abweicht. Eine Änderung der EU-Legaleinstufung wird für diese Stoffe angestrebt.

C Erläuterung der Zuordnungen in der Spalte „Art (Herkunft)“

Siehe Abschnitt 1.2.2 dieser BGI

D Erläuterung zur Spalte „Wert im Biologischen Material“

Siehe Abschnitt 1.7 dieser BGI

1.10 Untersuchungsmethoden

Um gesicherte Aussagen über die Gefährdung der Schweißer durch Schadstoffe am Arbeitsplatz machen zu können, werden verschiedene Untersuchungsmethoden angewandt, so vor allem

- Emissionsmessungen im Labor,
- Immissionsmessungen am Arbeitsplatz – Konzentrationsmessungen,
- Untersuchungen im biologischen Material sowie
- epidemiologische Studien.

Emissionsmessungen im Labor bestimmen die Menge pro Zeiteinheit (= Emissionsrate [mg/s]) und die chemische Zusammensetzung der emittierten Schadstoffe bei einzelnen Verfahren und Werkstoffen unter Verwendung der Fumebox-Methode. Beispiele siehe Bild 1-13.

Man gewinnt dadurch Grunddaten zum Vergleich unterschiedlicher Verfahren und Werkstoffe sowie für eine Beurteilung der Gefährdung der Schweißer (siehe Abschnitt 5). Die Emissionsmessungen geben auch eine Grundlage für die Berechnung von Lüftungssystemen und für weitere erforderliche Schutzmaßnahmen.

Beispiel 1: Emissionen bei unterschiedlichen Schweißverfahren von hochlegiertem Chrom-Nickel-Stahl

Schweißverfahren	Emissionsrate (mg/s)				
	Schweißrauch	Gesamt-Chrom	Chrom(VI)-Verbindungen	Nickeloxid	Manganoxid
LBH ¹⁾	2-16	0,04 -1,3	0,01-1,2	0,03-0,5	0,04-1,1
MAG ²⁾	1,5-8	0,1-1,3	0-0,05	0,05-0,6	0,1-1,2
Laserstrahlschweißen	1,3-2,0	0,16-0,26	0,003-0,007	0,05-0,08	0,09-0,16

¹⁾ LBH = Lichtbogenhandschweißen mit umhüllten Stabelektroden ²⁾ MAG = Metall-Aktivgasschweißen

Beispiel 2: Emissionen bei unterschiedlichen Schweißverfahren von unlegiertem und niedriglegiertem Stahl

Schweißverfahren	Emissionsrate (mg/s)	
Lichtbogenhandschweißen mit umhüllten Stabelektroden (LBH)	4 – 18	
Metall-Aktivgasschweißen (MAG)	mit Massivdraht	2 – 12
	mit Fülldraht unter Schutzgas	6,7 – 54
	mit selbstschützendem Fülldraht	bis zu 97

Beispiel 3: Emissionen beim MIG-Schweißen mit unterschiedlichen hoch nickelhaltigen Zusatzwerkstoffen und Schutzgasen

Schweißzusatz-Werkstoff	Schutzgase	Emissionsrate (mg/s)					
		Schweißrauch	Nickel	Gesamt-Chrom	Molybdän	Kupfer	Titan
SG-NiTi4	Vierstoffgas ¹⁾	2,82	1,94	—	—	—	0,03
SG-NiCr23Mo16	Vierstoffgas ¹⁾	2,23	0,98	0,26	0,19	—	—
SG-CuNi30Fe	Vierstoffgas ¹⁾	3,58	0,67	—	—	2,2	—
SG-NiMo28Cr	Vierstoffgas ¹⁾	1,97	0,99	—	0,1	—	—
	Argon	1,05	0,53	—	0,05	—	—
	Zweistoffgas ²⁾	1,57	0,88	—	0,18	—	—
	Dreistoffgas ³⁾	1,02	0,53	—	0,11	—	—

¹⁾ Vierstoffgas: 0,05 % CO₂; 30 % He; 2 % H₂; Rest Ar

²⁾ Zweistoffgas: 50 % He; 50 % Ar

³⁾ Dreistoffgas: 0,05 % CO₂; 50 % He; Rest Ar

Bild 1-13: Ergebnisse von Emissionsmessungen (Beispiele)

[Quelle: Spiegel-Ciobanu, Auswertung von Forschungsergebnissen, nach [1],[2],[3],[6],[7],[8],[9],[11].]

Als zusätzliches Beispiel für Ergebnisse von Emissionsmessungen siehe auch Bild 3-1 auf Seite 37 „Analyse der beim Lichtbogenhandschweißen mit umhüllten Stabelektroden nach DIN 1913 entstehenden Schweißrauche“.

Immissionsmessungen am Arbeitsplatz sollen die reale externe Belastung des Schweißers zeigen. Die Probenahme erfolgt im Atembereich des Schweißers. Einzelheiten über die quantitative und qualitative Auswertung der Probe sind in Abschnitt 6.1 (Messverfahren für gasförmige Stoffe) und Abschnitt 6.2 (Messverfahren für partikelförmige Stoffe) beschrieben. Die gemessenen Konzentrationen (mg/m^3) werden mit den jeweiligen Grenzwerten verglichen und sind maßgebend für die anzuwendenden Schutzmaßnahmen.

Die Korrektheit der Messung hängt vor allem davon ab, ob die Probenahme tatsächlich im Atembereich erfolgt. Hierzu gibt es derzeit verschiedene Modellansätze mit entsprechenden Vorgaben für die Messtechnik (Probenahme).

Untersuchungen im biologischen Material, also in den vom Schweißer abgenommenen Körperflüssigkeiten (Harn, Blut), zeigen die dort enthaltenen Konzentrationen kritischer Stoffe.

Diese Werte geben Informationen über die Höhe der internen Belastung des Schweißers durch die Exposition am Arbeitsplatz und werden mit Normalwerten bzw. BAT-Werten verglichen.

Epidemiologische Untersuchungen werden zur Abklärung von Krankheits- oder Todeshäufigkeiten in unterschiedlichen Personengruppen durchgeführt, z. B. zur Klärung des Lungenkrebsrisikos von Schweißern. Den epidemiologischen Studien liegen Vergleiche zugrunde zwischen „Probanden“ (z. B. Schweißern) und einer Kontrollgruppe (Arbeitnehmer, die nichts mit Schweißen zu tun haben und insoweit als unbelastet gelten).

Etliche epidemiologische Studien wurden im Hinblick auf die gesundheitliche Gefährdung von Chrom-Nickel-exponierten Lichtbogenschweißern durchgeführt.

Sie haben eine leicht erhöhte Krebsrisikorate für Lichtbogenhandschweißer gezeigt, die Edelstahl schweißen.

Neuere epidemiologische Studien weisen allerdings auf ein leicht erhöhtes Lungenkrebsrisiko bei Lichtbogenschweißern allgemein hin.

2 Wirkung spezifischer Schadstoffe

2.1 Toxische gasförmige Schadstoffe

2.1.1 Kohlenmonoxid (CO)

Sehr giftiges, geruchloses Gas. Bei höheren Konzentrationen wird der Sauerstofftransport im Blut durch die große Affinität des Kohlenmonoxids zu Hämoglobin (Hämoglobin ist für den Sauerstofftransport im Körper erforderlich) blockiert. Es kommt zum Sauerstoffmangel in den Geweben.

Kohlenmonoxid ist bezüglich Schwangerschaft der Gruppe B zugeordnet, d. h. dass mit einer fruchtschädigenden Wirkung nach den vorliegenden Informationen auch bei Einhaltung des MAK- und BAT-Wertes gerechnet werden muss.

Bei 150 ml/m³ CO im Atembereich kommt es zu Schwindel, Mattigkeit, Kopfschmerzen. Bei 700 ml/m³ CO kommt es zu Ohnmacht, Puls- und Atemsteigerung, schließlich zu Bewusstlosigkeit, Atemlähmung, Herzstillstand und Tod.
MAK = 33 mg/m³; 30 ml/m³.

2.1.2 Stickstoffoxide (NO_x = NO, NO₂)

Werden auch Stickoxide oder nitrose Gase genannt. Stickstoffmonoxid (NO) ist ein farbloses, giftiges Gas. Stickstoffdioxid (NO₂) ist ein braunrotes, giftiges, oxidierend wirkendes Gas. Stickstoffdioxid ist erheblich toxischer als Stickstoffmonoxid und wirkt bereits in relativ geringen Konzentrationen als ein heimtückisches Reizgas. Anfänglich Reizung der Luftwege und Atemnot, dann mehrstündiger (in der Regel 4 bis 12 Stunden) beschwerdefreier Zustand und anschließend in schweren Fällen tödliches Lungenödem (Lungenwassersucht).

MAK für NO₂ = 0,95 mg/m³; 0,5 ml/m³

MAK für NO = 0,63 mg/m³; 0,5 ml/m³

NO₂ wurde von der DFG als Kategorie 3 B krebserzeugend eingestuft (siehe Seite 27).

2.1.3 Ozon (O₃)

Ist in hoher Konzentration ein tiefblaues Gas mit durchdringendem Geruch und stark giftig. Wirkt als Reizgas auf Atmungsorgane und Augen. Erzeugt Hustenreiz, Atemnot und möglicherweise Lungenödem.

MAK = aufgehoben

Neuere Studien schließen die Möglichkeit nicht aus, dass Ozon ein krebserzeugendes Potenzial besitzt. Deshalb wurde Ozon in die Kategorie 3 B (Stoffe mit Verdacht auf krebserzeugendes Potenzial) eingestuft.

2.1.4 Phosgen (COCl₂)

(Carbonylchlorid oder Kohlenoxidchlorid) – ist ein farbloses, äußerst giftiges Gas mit muffigem Geruch. Anfänglich (3 bis 8 Stunden) nur geringe Krankheitserscheinungen, dann können schwere Reizungen der Atemwege folgen, bis hin zum Lungenödem (Lungenwassersucht).

MAK (DFG) = 0,41 mg/m³; 0,1 ml/m³

Phosgen wird bezüglich Schwangerschaft der Gruppe C zugeordnet, d.h., dass ein Risiko der Fruchtschädigung bei Einhaltung des MAK- und BAT-Wertes nicht zu befürchten ist.

2.1.5 Gase aus Beschichtungsstoffen

Blausäure (HCN) (Cyanwasserstoff) – riecht nach Bittermandel und ist eine sehr schwache, wenig stabile Säure, die zu den stärksten und am schnellsten wirkenden Giften zählt. Ähnlich wie beim Kohlenmonoxid, jedoch in viel stärkerem Maß, wird der Sauerstofftransport im Blut blockiert.

MAK = 2,1 g/m³; 1,9 ml/m³

Auch hier wird bezüglich Schwangerschaft der Gruppe C zugeordnet, d.h., dass ein Risiko der Fruchtschädigung bei Einhaltung des MAK- und BAT-Wertes nicht zu befürchten ist.

Formaldehyd (CH₂O) – ein stechend riechendes farbloses Gas, das stark reizend auf die Schleimhäute wirkt. Erzeugt Entzündungen der Atemwege; steht unter dem Verdacht, mutagen und karzinogen zu wirken.

MAK = 0,37 mg/m³; 0,3 ml/m³

Toluylendiisocyanat (TDI) – übt eine starke Reizwirkung auf die Atemwege aus; kann asthmaähnliche Attacken auslösen und durch Sensibilisierung zu „Asthma bronchiale“ führen.

Von der DFG als krebserzeugend Kategorie 3 A eingestuft (siehe Abschnitt 1.2.2 Wirkungsweise).

Eine tabellarische Zusammenfassung der Wirkungen wichtiger, gasförmiger Schadstoffe auf den menschlichen Körper zeigt Bild 2-1 auf Seite 33.

Schadstoff	Wirkung
1.1 Toxisch	
Blausäure (HCN)	toxisch – behindert den Sauerstofftransport im Blut Vergiftungen Atemlähmung
Kohlenmonoxid (CO)	toxisch – behindert den Sauerstofftransport im Blut Kopfschmerzen Vergiftungen Atemlähmung eventuell Bewusstlosigkeit
1.2 Krebserzeugend	
Formaldehyd (CH ₂ O)	Verdacht auf krebserzeugende Wirkung – starke Schleimhautreizung
Ozon (O ₃)	Verdacht auf krebserzeugende Wirkung – toxisch – Schleimhautreizung akute Reizgasvergiftung Lungenödem
Phosgen (Carbonylchlorid) (COCl ₂)	Verdacht auf krebserzeugende Wirkung – toxisch – Schleimhautreizung Reizgasvergiftung verzögertes Lungenödem (Lebensgefahr)
Stickstoffdioxid (NO ₂)	
Toluylendiisocyanat (TDI)	Verdacht auf krebserzeugende Wirkung – Reizung der Atemwege (Asthma bronchiale)

Bild 2-1: Wirkung spezifischer gasförmiger Schadstoffe in der Schweißtechnik
[Quelle: Spiegel-Ciobanu nach Abschnitt 12.1]

2.2 Partikelförmige Schadstoffe

2.2.1 Lungenbelastende Stoffe

Eisenoxide (FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄) – gelten als Stoffe ohne toxische oder krebserzeugende Wirkung. Langzeitige Aufnahme hoher Konzentrationen kann zu einer Staubablagerung in der Lunge führen. Diese Ablagerung ist als Eisenstaublunge oder Lungensiderose bekannt. Sie wird auch als „Tätowierung der Lunge“ bezeichnet.

Nach Beendigung der Exposition bilden sich die Eisenablagerungen im Allgemeinen zurück. Bei sehr hohen extremen Konzentrationen und unter sehr schlechten engen Lüftungsverhältnissen kann in seltenen Einzelfällen nach langjähriger Exposition eine Fibrosierung der Lunge auftreten (Siderofibrose).
AGW = 3 mg/m³ A/10 mg/m³ E

Aluminiumoxid (Al₂O₃) – kann zu einer Staubablagerung in der Lunge führen. Unter bestimmten Umständen kann eine Aluminose (Pneumokoniose) auftreten, die nicht reversibel wie die Siderose ist. Dabei ist weniger die Dauer als die Intensität der Einwirkung des Aluminiumoxids von Bedeutung. Reizerscheinungen der Atemwege können ebenfalls auftreten.
AGW = 3 mg/m³ A/10 mg/m³ E

Kaliumoxid, Natriumoxid und Titandioxid (K₂O, Na₂O, TiO₂) – sind als lungenbelastend einzustufen, weil sie zu Staubablagerungen in der Lunge führen können.
AGW = 3 mg/m³ A/10 mg/m³ E

2.2.2 Toxische Stoffe

Manganoxide (MnO₂, Mn₂O₃, Mn₃O₄, MnO) – beim Auftreten in hohen Konzentrationen können Manganoxide eine reizende Wirkung auf die Atemwege ausüben und zu Lungenentzündungen führen. Bei chronischer Einwirkung können Schäden des Nervensystems wie auch Schüttellähmung auftreten (bei Schweißern bisher nicht bekannt).
AGW = 0,5 mg/m³ E für Mn-Verbindungen

Fluoride (CaF₂, KF, NaF und andere) – hohe Konzentrationen führen zu Reizungen der Schleimhäute des Magens und der Atemwege. In Extremfällen, bei chronischer Aufnahme großer Mengen, werden chronische Allgemein- und Knochenschäden beobachtet (bei Schweißern bisher nicht bekannt).
AGW = 1 mg/m³ E

Barium-Verbindungen (BaCO₃, BaF₂) – sind überwiegend in wasserlöslicher Form im Schweißrauch vorhanden und wirken nach Aufnahme in den menschlichen Körper toxisch. Bei

Überschreitung der MAK für lösliches Barium ist eine geringe Barium-Kumulation nicht auszuschließen. In manchen Fällen kann es zu einem Kaliummangel (Hypokaliämie) im Organismus kommen. Eine deutliche Korrelation zwischen externer und interner Barium-Belastung wurde festgestellt.

MAK (DFG) = 0,5 mg/m³ E

Chrom(III)-Verbindungen (Cr₂O₃, FeCr₂O₄, KCrF₆) – gelten nach allgemeinen beruflichen Erfahrungen als sehr gering toxisch. Es liegen keine Angaben über beim Menschen ausgelöste lokale Reizungen oder Intoxikationen vor. Auch die verfügbaren Tierversuche geben keine Hinweise auf deutliche akute Effekte. AGW = 2 mg/m³ E

Weitere Metalle in Oxidform – mit toxischer Wirkung:

Kupferoxid, Zinkoxid – können zu Metallrauchfieber führen.

2.2.3 Krebserzeugende Stoffe

Chrom(VI)-Verbindungen – in der Form von Chromaten (und zwar besonders die schwer löslichen) und Chromtrioxid können auf den menschlichen Körper, insbesondere auf die Atmungsorgane, eine krebserzeugende Wirkung haben. Sie sind unterschiedlich in Kategorie 1, 2 oder 3 als krebserzeugende Stoffe eingestuft (siehe Bild 1-12 b auf Seite 28/29 „Grenzwerte, Einstufung“).

Vor allem ist Chromtrioxid als krebserzeugender Stoff Kategorie 1 eingestuft. Das bedeutet, dass seine Exposition beim Menschen erfahrungsgemäß bösartige Geschwülste verursachen kann.

Zudem wirken die Chrom(VI)-Verbindungen auch schleimhautreizend und ätzend.

Nickeloxide (NiO, NiO₂, Ni₂O₃) – können eine krebserzeugende Wirkung auf die Atemwege haben und sind als krebserzeugende Stoffe Kategorie 1 eingestuft.

Cadmiumoxid (CdO) – wird als krebserzeugender Stoff Kategorie 1 (DFG) eingestuft. Es wirkt als starkes Reizmittel und führt, ähnlich wie die nitrosen Gase, häufig nach geringen Erscheinungen und einem mehrstündigen (20 bis 30 Stunden) symptomlosen Stadium zu einer unter Umständen schweren Lungenwasser-

sucht. Bei Aufnahme größerer Mengen von Cadmiumoxid können meist nach etwa zwei Jahren Veränderungen im Bereich der oberen Atemwege, eine Lungenüberblähung und rheumaähnliche Beschwerdezustände auftreten.

Bleioxid – von der DFG als krebserzeugend Kategorie 2 eingestuft, kann zu Blut- und Nervenvergiftungen führen.

Berylliumoxid (BeO) – ist als krebserzeugender Stoff Kategorie 1 (DFG) eingestuft. Beryllium hat eine allgemeine starke Giftwirkung. Die Inhalation von berylliumhaltigen Rauchen und Stäuben verursacht starke Reizerscheinungen der oberen Luftwege und ein akutes Metallrauchfieber. In schweren Fällen können chronische entzündliche Erscheinungen des Atemtraktes (chronische Pneumonie) auftreten.

Cobaltoxid (CoO) – ist als krebserzeugender Stoff Kategorie 2 (DFG) eingestuft. Schädigungen der Atmungsorgane sind bei höheren Expositionen nicht auszuschließen.

Vanadumpentoxid – Von der DFG als krebserzeugend Kategorie 2 eingestuft (siehe Pkt. 1.2.2 Seite 12 dieser BGI). Für diesen Stoff wurden EKA-Werte (Korrelationen zwischen den Stoffkonzentrationen in der Luft am Arbeitsplatz und im biologischen Material) von der DFG aufgestellt. Ist toxisch, hat eine reizende Wirkung auf Augen und Atemwege. Bei höheren Konzentrationen über die MAK können Lungenschädigungen auftreten.

2.2.4 Thoriumdioxid (ThO₂)

Thoriumdioxid (ThO₂) – ist ein radioaktiver Stoff. Die Inhalation von Rauchen und Stäuben, die Thoriumdioxid beinhalten, führt zu einer inneren Strahlenbelastung.

Schäden können durch die Ablagerung des Thoriums in den Knochen, Bestrahlung der Bronchien und der Lunge auftreten.

Für nicht beruflich strahlenexponierte Personen bei „Arbeiten“ (also beim WIG-Schweißen) gilt der Grenzwert für die effektive Dosis in Höhe von 6 mSv pro Jahr. Eine tabellarische Zusammenfassung der Wirkungen der wichtigsten partikelförmigen Schadstoffe auf den menschlichen Körper erfolgt in Bild 2-2 auf Seite 35.

Schadstoff	Wirkung
2.1 Lungenbelastend	
Aluminiumoxid	Staubablagerungen in der Lunge, Aluminose
Eisenoxide	Staubablagerungen in der Lunge, Siderose
Kaliumoxid	
Natriumoxid	Staubablagerungen in der Lunge
Titandioxid	
2.2 Toxisch	
Barium-Verbindungen, lösliche	toxisch – Übelkeit eventuell Kaliummangel
Fluoride	toxisch – Schleimhautreizung Knochenschäden
Kupferoxid	toxisch – Metallrauchfieber (Kupferrauchfieber)
Manganoxide	toxisch – Schleimhautreizung Nervenschäden
Zinkoxid	toxisch – Metallrauchfieber (Zinkrauchfieber)
2.3 Krebserzeugend	
Berylliumoxid	krebserzeugend – Metallrauchfieber chronische Pneumonie
Bleioxid	krebserzeugend toxisch – Übelkeit Magen- und Darmstörungen Nerven- und Nierenschäden
Cadmiumoxid	krebserzeugend – Schleimhautreizung Lungenüberblähung
Chrom(VI)-Verbindungen	krebserzeugend (Atmungsorgane) – Schleimhautreizung
Cobaltoxid	krebserzeugend – Schädigung der Atmungsorgane
Nickeloxide	krebserzeugend (Atmungsorgane)
Titandioxid	Verdacht auf krebserzeugende Wirkung (als einatembare Fraktion); ausgenommen sind ultrafeine Partikel
Vanadiumpentoxid	krebserzeugend – Reizung der Augen und der Atmungsorgane Lungenschäden
2.4 Radioaktiv	
Thoriumdioxid	radioaktiv – Bestrahlung der Bronchien und der Lunge kann krebserzeugende Wirkung haben

Bild 2-2: Wirkung spezifischer partikelförmiger Schadstoffe in der Schweißtechnik
[Quelle: Spiegel-Ciobanu nach Abschnitt 12.1]

3 Zuordnung der Schadstoffe zu den Verfahren und Werkstoffen der Schweißtechnik

Untersuchungen, wie sie im Abschnitt 1.10 erläutert worden sind, haben zu folgenden wichtigen Erkenntnissen geführt:

- Die chemische Zusammensetzung der gas- und partikelförmigen Schadstoffe ist verfahrens- und werkstoffabhängig.
- Die Schadstoffe treten nie als einzelne Komponenten, sondern immer als Gemisch mehrerer Komponenten auf.
- Eine, zwei oder sogar drei Schadstoffkomponenten (Gase und Partikel) können – verfahrens- und werkstoffabhängig – hinsichtlich Konzentration und Wirkungsstärke dominieren (d. h., die entsprechenden Grenzwerte werden als erste überschritten).

Der jeweils dominierende Schadstoff wird als **Leitkomponente** (für eine bestimmte Verfahrens-/Werkstoff-Kombination) bezeichnet (siehe auch Abschnitt 8 dieser BG-Information). **Hauptkomponente** im Schweißrauch ist eine Komponente mit arbeitsmedizinischer Bedeutung, deren Anteil im Schweißrauch nicht dominant ist, d. h. diese Komponente ist keine Leitkomponente im Schweißrauch. Hauptkomponenten sind nicht mit Leitkomponenten gleichzustellen.

In den weiteren Ausführungen werden die Verfahren in vier Hauptgruppen eingeteilt:

- Schweißen,
- thermisches Schneiden,
- thermisches Spritzen und
- Löten.

3.1 Schweißen

Beim Schweißen bilden sich immer gas- und partikelförmige Schadstoffe. Die partikelförmigen Stoffe haben hier eine Partikelgröße (aerodynamischer Durchmesser) kleiner als $1\ \mu\text{m}$, sind alveolengängig und werden in der Praxis als „Schweißrauche“ bezeichnet. Aus arbeitsmedizinischer Sicht ist die alveolengängige Fraktion (A-Fraktion) von besonderer Bedeutung. Diese Fraktion, die in der Vergangenheit als Feinstaub bezeichnet wurde, wurde bei den personenbezogenen Messungen beim Schweißen vorwiegend mit dem Probenahmekopf für die einatembare Fraktion (früher Gesamtstaub) gemessen. Dies lag in der Schwierigkeit, den Probenahmekopf für die A-Fraktion hinter dem Schweißerschutzschirm zu positionieren (Platzmangel).

Da beim Schweißen ohnehin nur sehr feine Partikel entstehen, die alle zur „alveolengängigen Fraktion“ gehören, liegen die Messergebnisse von „E-Staub“ anstelle von „A-Staub“ immer auf der sicheren Seite. Die Menge der entstehenden Schadstoffe bei den verschiedenen Schweißverfahren ist unterschiedlich. Heute wird häufig mit PGP-EA gemessen. (A- und E-Fraktion werden gleichzeitig erfasst (siehe Abschnitt 6.2).

Die Rauchemission (mg/s) beim Schweißen ist meist kleiner als die Rauch- und Staubemission beim Schneiden oder Spritzen.

Untersuchungen zur Schadstoffemission beim Schweißen haben gezeigt, dass etwa 95 % des Schweißrauches aus den Schweißzusätzen stammen und nur weniger als 5 % aus dem Grundwerkstoff.

3.1.1 Gasschweißen

Beim Gasschweißen von un- und niedriglegiertem Stahl entstehen vor allem nitrose Gase (Stickstoffoxide). Stickstoffdioxid ist hier ebenso die Leitkomponente wie bei anderen Autogenverfahren, z. B. Flammwärmern und Flammrichten, wo eine noch stärkere Bildung von Stickstoffoxiden nachgewiesen ist.

Die Stickstoffdioxid-Konzentration in der Luft am Arbeitsplatz steigt mit der Flammenlänge und daher mit der Brennergröße und mit dem Abstand Düse – Blech.

Kritisch wird die Stickstoffdioxid-Konzentration beim Arbeiten in engen Räumen ohne entsprechende Lüftungstechnische Maßnahmen. Sie kann bei frei brennender Flamme im Vergleich zu einer Flamme von 15 mm Länge den 10-fachen Wert erreichen.

Ergebnisse von Emissionsmessungen beim Gasschweißen und Wärmern ergaben für nitrose Gase in etwa folgende Werte:

Verfahren	NOx Emissionsraten (mg/s)
Gasschweißen	0,8 – 40
Wärmern	bis 75

Probleme hinsichtlich der entstehenden partikelförmigen Stoffe können nur bei der Bearbeitung von Nichteisenmetallen (z. B. Blei, Kupfer) oder von daraus bestehenden Überzügen auftreten.

3.1.2 Lichtbogenhandschweißen mit umhüllten Stabelektroden

Unlegierter, niedriglegierter Stahl

(Legierungsbestandteile $< 5\%$)

Bei diesen Verfahren treten im Vergleich zum Gasschweißen hohe Mengen an partikelförmigen Stoffen auf. Eine Gefährdung durch nitrose Gase ist hier nicht zu erwarten.

Beim Lichtbogenhandschweißen mit unlegierten oder niedriglegierten Stabelektroden ist der Schweißrauch (insgesamt) zu berücksichtigen.

Die chemische Zusammensetzung des Schweißrauches spiegelt die chemische Zusammensetzung des Kerndrahtes und der Umhüllung wider. Die Hauptbestandteile der Schweißrauche sind in diesem Fall: Eisenoxid (Fe_2O_3), Siliciumdioxid (SiO_2), Kaliumoxid (K_2O), Manganoxid (MnO), Natriumoxid (Na_2O), Titandioxid (TiO_2), Aluminiumoxid (Al_2O_3).

Schadstoffe	Umhüllungstyp			
	sauer %	rutil %	basisch %	zellulose %
Na ₂ O	2 – 4	2 – 4	2 – 4	2 – 4
Al ₂ O ₃	1 – 2	1 – 2	1 – 2	1 – 2
SiO ₂	30 – 40	30 – 40	≈ 10	≈ 10
K ₂ O	10 – 20	10 – 20	20 – 30	–
CaO	1 – 2	1 – 2	15 – 20	–
TiO ₂	< 1	≈ 5	≈ 1	≈ 1,5
MnO	≈ 10	≈ 7	≈ 6	≈ 5
Fe ₂ O ₃	≈ 40	20 – 30	20 – 30	70 – 80
F ⁻	–	–	12 – 16	–

Bild 3-1: Analyse der beim Lichtbogenhandschweißen mit unlegierten/niedriglegierten Stabelektroden (nach DIN 1913) entstehenden Schweißrauche [1]

Diese Komponenten treten in unterschiedlichen Anteilen auf, abhängig von der Umhüllungsart (sauer-, rutil-, basisch-, zelluloseumhüllt). Die Rauche der basischumhüllten Stabelektroden beinhalten zusätzlich Calciumoxid (CaO) und Fluoride (F⁻). Hier sind Fluoride als weitere Hauptkomponente zu berücksichtigen (Bild 3-1).

Rauche sauerumhüllter Stabelektroden enthalten bis zu 10 % **Manganoxid**. Somit kann hier Manganoxid eine zusätzliche Hauptkomponente im Schweißrauch werden.

Aus zahlreichen Messungen ergaben sich beim Lichtbogenhandschweißen mit unlegierten/niedriglegierten Elektroden in etwa folgende Emissionswerte für Schweißrauch:

Verfahren	Schweißrauch Emissionsraten (mg/s)
Lichtbogenhandschweißen	4 - 18

Bei Sonderelektroden mit Kupferbestandteilen kann das Kupferoxid (CuO) eine zusätzliche Hauptkomponente sein.

Chrom-Nickel-Stahl (≤ 20 % Cr und ≤ 30 % Ni)

Die hochlegierten umhüllten Stabelektroden enthalten neben Eisen und Umhüllungsstoffen (wie oben) Chrom bis zu 20 % und Nickel bis zu 30 % im Kerndraht.

Beim Lichtbogenhandschweißen mit hochlegierten Stabelektroden entsteht Schweißrauch, dessen chemische Zusammensetzung bis zu 16 % Chromverbindungen enthalten kann. Diese Chromverbindungen liegen bis zu 90 % als Chrom(VI)-Verbindungen (hier Chromate) vor, die größtenteils als krebserzeugend eingestuft sind. Das Nickeloxid ist hier mit 1 % bis selten 3 % deutlich unterrepräsentiert.

Bei diesem Verfahren mit den vorgenannten Werkstoffen ist die Leitkomponente im Schweißrauch „Chromate“. Rauche basischumhüllter Stabelektroden enthalten deutlich höhere Chrom(VI)-Anteile als die rutilumhüllten.

Untersuchungen im biologischen Material und epidemiologische Studien deuten darauf hin, dass die stärkste Gesundheitsgefährdung für den Schweißer beim Lichtbogenhandschweißen mit hochlegierten Stabelektroden liegt. Hier müssen am Arbeitsplatz gezielte Schutzmaßnahmen, z. B. durch Absaugung der Schweißrauche an der Entstehungsstelle, vorgesehen werden. Darüber hinaus sind arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen durchzuführen.

Emissionsmessungen ergaben beim Lichtbogenhandschweißen mit hochlegierten Stabelektroden etwa folgende Emissionswerte für Schweißrauch:

Verfahren	Schweißrauch Emissionsraten (mg/s)
Verbindungsschweißen	2 - 16
Auftragschweißen	3 - 22

Nickel, Nickellegierungen (> 30 % Ni)

Beim Lichtbogenhandschweißen mit Reinnickel oder Nickelbasiswerkstoffen ist Nickeloxid die Leitkomponente, obwohl im Schweißrauch maximal 5 % Nickeloxid vorhanden ist. Nickeloxide sind als krebserzeugende Stoffe Kategorie 1 eingestuft. Deshalb müssen am Arbeitsplatz gezielte Schutzmaßnahmen vorgesehen werden.

Neben Nickeloxid im Schweißrauch entsteht – abhängig von der Legierungsart (mit Kupferanteilen) – evtl. Kupferoxid als weite-

re Hauptkomponente. Bei Elektroden zum Auftragschweißen, deren chemische Zusammensetzung Cobalt beinhaltet, muss das Cobaltoxid (CoO) beachtet werden.

Emissionsmessungen ergaben beim Lichtbogenhandschweißen mit Reinnickel oder Nickelbasiswerkstoffen etwa folgende Schweißrauchemissionen:

Verfahren	Schweißrauch Emissionsraten (mg/s)
Lichtbogenhandschweißen	etwa 7

3.1.3 Schutzgasschweißen

Bei den Verfahren mit Aktivgas (MAGC, MAGM) ist in erster Linie mit einer starken Entwicklung von partikelförmigen Schadstoffen (Schweißrauchen) zu rechnen. Die Menge dieser Schadstoffe hat dieselbe Größenordnung wie beim Lichtbogenhandschweißen mit umhüllten Stabelektroden.

Im Gegensatz dazu ist bei den Verfahren mit Inertgas (MIG, WIG) eine zum Teil deutlich niedrigere Rauchentwicklung festzustellen.

Abhängig von den eingesetzten Schweißzusatzwerkstoffen und Schutzgasen entstehen Gase und Schweißrauche, aus denen die Leitkomponenten ausgewählt werden. Bild 3-2 a auf Seite 40 gibt einige Beispiele.

3.1.3.1 Metall-Schutzgasschweißen (MAG/MIG)

- Einfluss des verwendeten Schutzgases auf die Rauchentwicklung

Metall-Aktivgasschweißen mit Kohlendioxid (MAGC)

Beim Metall-Aktivgasschweißen mit Kohlendioxid (MAGC) von un- und niedriglegiertem Stahl ist neben Schweißrauch Kohlenmonoxid eine Leitkomponente. Durch die thermische Zersetzung des Kohlendioxides, das als Schutzgas verwendet wird, entsteht Kohlenmonoxid.

Der Schweißrauch besteht hier vorwiegend aus Eisenoxiden.

Emissionsmessungen ergaben beim MAGC-Schweißen von unlegiertem/niedriglegiertem Stahl in etwa folgende Emissionswerte für Schweißrauch und Kohlenmonoxid:

Schadstoff	Emissionsraten (mg/s)
Schweißrauch	2 - 12
Kohlenmonoxid (CO)	2 - 12,5

Metall-Aktivgasschweißen mit Mischgas (MAGM)

Beim Metall-Aktivgasschweißen mit Mischgas (MAGM) von un- und niedriglegiertem Stahl wird als Schutzgas ein Mischgas verwendet. Wenn das Mischgas Kohlendioxid enthält, ist eine gewisse CO-Bildung zu erwarten. Der Schweißrauch besteht hier aus Eisenoxiden.

Beim MAGM-Schweißen von Chrom-Nickel-Stahl ist das Nickeloxid als mögliche Leitkomponente zu berücksichtigen. Der Schweißrauch enthält zwar bis zu 17 % Chrom-Verbindungen und bis zu 5 % Nickeloxid, aber die Chrom-Verbindungen bestehen hier fast ausschließlich aus der dreiwertigen Form, die als nicht krebserzeugend gilt.

Metall-Inertgasschweißen (MIG)

Beim Metall-Inertgasschweißen (MIG) von Aluminium-Werkstoffen muss zusätzlich zum Schweißrauch (in der Form von Aluminiumoxid) die Ozon-Bildung (durch die UV-Strahlung und die stark reflektierenden Werkstoffe) berücksichtigt werden. Die Rauchentwicklung ist dagegen in den meisten Fällen kleiner als beim MAG-Schweißen.

Bei Aluminium-Silicium-Legierungen sind die Ozon-Konzentrationen höher als bei Reinaluminium und wesentlich höher als bei Aluminium-Magnesium-Werkstoffen.

Beim MIG-Schweißen von Nickel und Nickelbasislegierungen ist das Nickeloxid die entscheidende Leitkomponente im Schweißrauch.

Aufgrund der hohen Nickel-Anteile in den Schweißzusätzen kann der Nickeloxidgehalt im Schweißrauch Werte zwischen 30 bis 87 % annehmen.

Emissionsmessungen beim MIG-Schweißen von Nickel und Nickelbasislegierungen ergaben in etwa folgende Emissionswerte für Schweißrauch und Nickeloxid:

Schadstoff	Emissionsraten (mg/s)
Schweißrauch	2 - 6
Nickeloxid	bis 5

Generell sind bei Nickelbasislegierungen, die auch Kupfer enthalten (z. B. Nicorros), höhere Schweißrauch-Emissionsraten zu erwarten als bei Nickelbasislegierungen mit anderen Legierungselementen, z. B. Cr, Co, Mo. Hier ist Kupferoxid anstelle von Nickeloxid die Leitkomponente.

Es sind Schutzmaßnahmen wie bei allen anderen krebserzeugenden Stoffen vorzusehen. Kontrollen der Ozonkonzentration können hier ebenfalls erforderlich sein.

- Einfluss der Elektrodenart auf die Rauchentwicklung

Beim MAG/MIG-Schweißen mit Fülldrahtelektroden entwickeln sich größere Schweißrauchmengen als mit Massivdrahtelektroden.

Die Verwendung von selbstschützenden Fülldrahtelektroden führt zu erheblich höheren Schweißrauchemissionen als die von Fülldrahtelektroden unter Schutzgas.

Beispielsweise ergaben sich für das Metall-Aktivgasschweißen von un- und niedriglegiertem Stahl folgende Emissionswerte:

Schweißzusatz	Schweißrauch Emissionsraten (mg/s)
Massivdraht	2 - 12
Fülldraht unter Schutzgas	6 - 54
selbstschützender Fülldraht	Bis zu 97

Prinzipiell enthält die Pulverfüllung der Fülldrähte ähnliche Komponenten wie die Umhüllung entsprechender Stabelektroden.

Abhängig von der Art des Schweißzusatzes können folgende Leitkomponenten im Schweißrauch auftreten:

Schweißzusatz	Leitkomponente
a) un-/niedriglegierter basischer Fülldraht (unter Schutzgas)	Manganoxid
b) hochlegierter Fülldraht	Chrom(VI)-Verbindungen oder Manganoxid ¹⁾
c) un-/niedriglegierter selbstschützender Fülldraht	Manganoxid oder Barium-Verbindungen (je nach Fülldraht)

¹⁾ siehe auch Bild 3-2 a

3.1.3.2 MAG-Hochleistungsschweißen (MAG-HL)

Bei diesem Verfahren liegt die Drahtvorschubgeschwindigkeit über 15 m/min. Gleichzeitig liegt die Abschmelzleistung über 8 kg/h.

Je höher die Abschmelzleistung oder die Drahtvorschubgeschwindigkeit ist, desto höhere Schadstoffemissionen entstehen.

Je höher die eingebrachte Wärme (Energie) im Prozess ist, desto höher sind die Schadstoffemissionen. Da beim MAG-HL-Schweißen mit Massivdraht niedrigere Energien als beim MAG-HL-Schweißen mit Band eingebracht werden, liegen auch hier die Schadstoffemissionsraten bei den letztgenannten Verfahren höher (siehe unten stehende Grafik).

Mit steigender Spannung sowie mit steigender Drahtvorschubgeschwindigkeit steigen die Schadstoffemissionsraten.

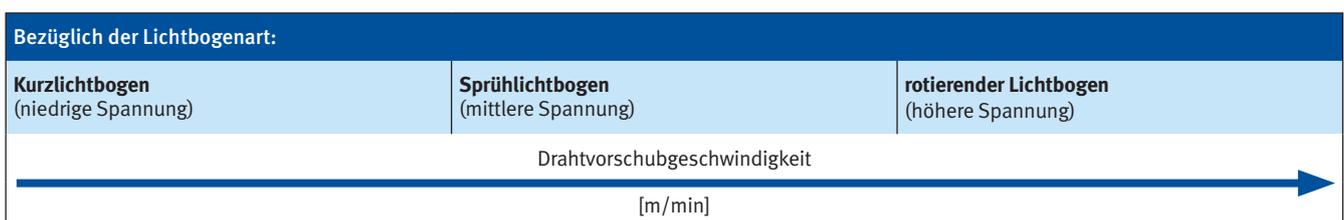
Somit sind die höchsten Emissionsraten bei den rotierenden Lichtbögen zu erwarten, die kleinsten dagegen beim Kurzlichtbogen.

Die Leitkomponenten sind auch hier – von den eingesetzten Werkstoffen abhängig – die gleichen wie beim MAG-Schweißen.

3.1.3.3 Wolfram-Inertgasschweißen (WIG)

Beim Wolfram-Inertgasschweißen (WIG-Schweißen) wird durch die niedrigere Rauchentwicklung die Ozon-Bildung unterstützt. Besonders hoch (trotzdem niedriger als beim MIG) sind die Ozonwerte bei Reinaluminium- und – mehr noch – bei Aluminium-Silicium-Legierungen. Nickeloxid kann die Leitkomponente bei der Verwendung von Reinnickel und Nickellegierungen darstellen.

Bei Anwendung thoriumoxidhaltiger Wolframelektroden beim WIG-Schweißen, insbesondere bei Aluminiumwerkstoffen, ist mit einer Strahlenbelastung durch die Inhalation von Rauchen, die Thoriumdioxid beinhalten, zu rechnen. Hier sind die Grenzwerte für nicht beruflich strahlenexponierte Personen bei „Arbeiten“ in der Regel überschritten. Deshalb müssen am Arbeitsplatz gezielte Schutzmaßnahmen vorgesehen werden (z. B. Verwendung thoriumoxidfreier Wolframelektroden).



Verfahren	Schweißzusatzwerkstoff	Schweißrauch / Leitkomponente(n)
Gasschweißen	unlegierter, niedriglegierter Stahl (Legierungsbestandteile < 5 %)	Stickstoffdioxid
Lichtbogenhandschweißen	unlegierter, niedriglegierter Stahl (Legierungsbestandteile < 5 %)	Schweißrauch ¹⁾ Manganoxid ⁴⁾
	Chrom-Nickel-Stahl (≤ 20 % Cr und ≤ 30 % Ni)	Chrom(VI)-Verbindungen oder Manganoxid ⁴⁾
	Nickel, Nickellegierungen (> 30 % Ni)	Nickeloxid oder Kupferoxid ²⁾
Metall-Aktivgasschweißen mit Kohlendioxid (MAGC)	unlegierter, niedriglegierter Stahl (Legierungsbestandteile < 5 %)	Schweißrauch ¹⁾ Kohlenmonoxid
Metall-Aktivgasschweißen mit Mischgas (MAGM)	unlegierter, niedriglegierter Stahl (Legierungsbestandteile < 5 %)	Schweißrauch ¹⁾
	Chrom-Nickel-Stahl Massivdraht (≤ 20 % Cr und ≤ 30 % Ni)	Nickeloxid oder Manganoxid ⁴⁾
	Chrom-Nickel-Stahl Fülldraht (≤ 20 % Cr und ≤ 30 % Ni)	Chrom(VI)-Verbindungen oder Manganoxid ⁴⁾
Metall-Inertgasschweißen (MIG)	Nickel, Nickellegierungen (> 30 % Ni)	Nickeloxid oder Kupferoxid ²⁾ Ozon
	Rein-Aluminium, Aluminium-Silicium-Legierungen	Ozon Schweißrauch ¹⁾
	andere Aluminium-Legierungen ³⁾	Schweißrauch Ozon
Wolfram-Inertgasschweißen (WIG)	unlegierter, niedriglegierter Stahl (Legierungsbestandteile < 5 %)	Schweißrauch ¹⁾ Ozon
	Chrom-Nickel-Stahl (≤ 20 % Cr und ≤ 30 % Ni)	Schweißrauch ¹⁾ Ozon
	Nickel, Nickellegierungen (> 30 % Ni)	Ozon Schweißrauch ¹⁾
	Rein-Aluminium, Aluminium-Silicium-Legierungen	Ozon Schweißrauch ¹⁾
	andere Aluminium-Legierungen ³⁾	Schweißrauch ¹⁾ Ozon

¹⁾ Grenzwert für die A-Fraktion des Staubes.

²⁾ Je nach Legierungsart, mit/ohne Kupfer, Grenzwert für Kupfer-Rauch.

³⁾ Aluminium-Werkstoffe (Rein-Aluminium, Aluminium-Legierungen) Grenzwert für Aluminiumoxidrauch.

⁴⁾ Wenn der Anteil von Mangan in der Legierung oder in der Summe der Anteile (Legierung und Umhüllung/Füllung) ≥ 5 % ist.

Bild 3-2 a: Zuordnung der Leitkomponenten zu den Verfahren und Werkstoffen beim Schweißen
[Quelle: Spiegel-Ciobanu, BGI 593 Ausg. 2008]

3.1.4 Widerstandsschweißen

Beim Widerstandsschweißen mit unterschiedlichen Werkstoffen entstehen Schweißrauchkonzentrationen (Metalloxide aus dem Verspritzen oder Verdampfen des Werkstoffes), die unter praxisüblichen Bedingungen und bei normaler Lüftungssituation unter den MAK- oder alten TRK-Werten für die jeweiligen Schadstoffe liegen (Bild 1-11 b auf den Seiten 25 u. 26).

Das Schweißen verölter oder gefetteter Bleche ist in der Praxis – wenn möglich – zu vermeiden. Stärkere Öl- oder Fettschichten führen zu höheren Rauchkonzentrationen mit Anteilen organischer Stoffe.

Beim spritzerfreien Schweißen entstehen bei gefetteten Blechen etwa 30 % mehr Rauche als bei ungefetteten Blechen.

Beim Abbrennstumpfschweißen entstehen im Vergleich zu anderen Widerstandsschweißverfahren (z. B. Punktschweißen) größere Rauchmengen, die im Regelfall eine Absaugung an der Maschine erfordern.

3.1.5 Laserstrahlschweißen mit CO₂-Laser

Die Anwendung von Lasern in der Schweißtechnik ist ein relativ neues und komplexes Verfahren. Besondere Informationen, insbesondere zur Lüftungs- und Filtertechnik, bietet das Laser-Zentrum Hannover (LZH), Hollerithallee 8, 30419 Hannover.

3.1.5.1 Laserstrahlschweißen ohne Zusatzwerkstoff

Durch die hohe Energie der Laserquelle finden Verdampfungen aus dem Grundwerkstoff (Schmelze) statt.

Diese führen zu Schadstoffemissionen (Schweißrauche), deren chemische Zusammensetzung etwa der Zusammensetzung des Grundwerkstoffes entspricht.

Die Schadstoffmengen beim Laserschweißen ohne Zusatzwerkstoff sind in der Größenordnung vergleichbar mit denen beim Metall-Aktivgasschweißen. So betragen z. B. beim Laserschweißen von Chrom-Nickel-Stahl die Schadstoffemissionen für Gesamtstaub 1,2 bis 2 mg/s.

Emissionsmessungen beim Laserstrahlschweißen von unterschiedlichen metallischen Werkstoffen ergaben bei einheitlichen Schweißparametern:

- Materialdicke = 1 mm
- Laserleistung = 2900 W
- Brennweite = 200 mm
- Vorschub = 50 mm/s
- Bearbeitungsgas = Ar

folgende Emissionen:

Werkstoff	partikelförmige Schadstoffemission (mg/s) (oberhalb der Bearbeitungsseite)
unlegierter Stahl	1,5
X 5 CrNi 18 9	1,2
verzinkter Stahl	7
Titan	0,9

Die höchsten Schadstoffemissionen werden beim verzinkten Stahl beobachtet, wobei die Schweißrauchbildung im Wesentlichen durch die Zinkbeschichtung verursacht wird.

Werkstoff	gasförmige Schadstoffemissionen (µg/s)		
	NO _x	CO	O ₃
unlegierter Stahl	200	56	53
X 5 CrNi 18 9	350	28	19
verzinkter Stahl	800	56	< n. G.

Die Ergebnisse zeigen niedrigere Emissionsraten für gasförmige Schadstoffe.

3.1.5.2 Laserstrahlaufragschweißen

Beim Laserstrahlaufragschweißen kann der Zusatzwerkstoff in Draht- oder Pulverform zugeführt werden. Es entstehen überwiegend partikelförmige Schadstoffe (Rauche). Wird der Zusatzwerkstoff in Pulverform zugeführt, entstehen neben Rauchen zum Teil partikelförmige einatembare, jedoch nicht alveolengängige Stoffe. Insgesamt liegen beim Laserstrahlaufragschweißen die Emissionen von partikelförmigen Stoffen unter 5 mg/s.

Die gasförmigen Schadstoffe stellen hier kein Problem dar. Die chemische Zusammensetzung des Schweißrauches entspricht in etwa der chemischen Zusammensetzung des Zusatzwerkstoffes, wobei Elemente mit niedriger Siedetemperatur in den Rauchen überrepräsentiert sind.

Neben der Leitkomponente (sie entspricht dem Basislegierungselement) können zusätzlich Oxide der anderen Legierungselemente (die mehr als 10 % haben) nach unterschiedlichen Bearbeitungszeiten kritische Werte annehmen. Diese sind Hauptkomponenten.

Beim Laserstrahlaufragschweißen mit Cobaltbasis-Legierungen bilden sich Schweißrauche und -stäube, für die als Leitkomponente Cobaltoxid infrage kommt.

Bei Nickelbasis-Legierungen, die zugleich über 10 % Cobalt enthalten, kann – abhängig vom jeweiligen Anteil im Schweißrauch – Nickeloxid oder Cobaltoxid als Leitkomponente im Schweißrauch gelten. Der Schweißrauch enthält zusätzlich auch Aluminiumoxid.

Beim Laserstrahlaufragschweißen von hoch chromhaltigen Eisenbasis-Legierungen ist Schweißrauch (Eisenoxid) zu berücksichtigen. Das im Schweißrauch auftretende Gesamtchrom liegt vorwiegend in der metallischen Form oder dreiwertigen Oxidform vor. Die gemessenen Chrom(VI)-Verbindungen sind sehr gering (≤ 5 % des Gesamtchroms).

Bei Aluminiummehrstoff-Bronze ist aufgrund des hohen Anteils an Kupfer (etwa 75 % Cu) Kupferoxid als Leitkomponente zu berücksichtigen. Darüber hinaus ist Aluminiumoxid eine Hauptkomponente.

3.1.6 Laserstrahlschweißen mit Nd:YAG-Laser

Die Schadstoffemissionen (Emissionsraten[mg/s]) liegen bei optimierten (Schweiß-)Parametern insgesamt niedriger bei der Anwendung von Festkörperlasern (Nd:YAG-Laser) als bei der Anwendung von CO₂-Lasern, wobei die zurzeit erreichbaren Schweißgeschwindigkeiten beim Nd:YAG-Laser niedriger sind als beim CO₂-Laser.

Für die Menge der partikelförmigen Stoffe ist die absorbierte Intensität (Leistungsdichte) in der Wechselwirkungszone maßgebend.

Mit steigender Intensität steigt die Schmelztemperatur und somit die Verdampfungsrate.

Werkstoff	Schweißrauch Emissionsraten (mg/s)
Chrom-Nickel-Stahl (s = 3 mm, v _s = 600 mm/min)	≈ 1,5
verzinkter Stahl (s = 1 mm, v _s = 400 mm/min)	≈ 2,7

Emissionsmessungen beim Schweißen von Chrom-Nickel-Stahl und verzinktem Stahl in Abhängigkeit von der absorbierten Strahlintensität ergaben folgende Schweißrauchemissionen:

Die Strahlintensität liegt zwischen $3,18 \times 10^5$ und $6,67 \times 10^5 \text{ W/cm}^2$.

3.1.7 Hybridschweißen

Hybridschweißen (= zwei Einzelverfahren kombiniert) gewinnt bei der schweißtechnischen Fertigung zunehmend an Bedeutung. Die bekanntesten Verfahren sind dabei:

- Laserstrahl-MIG-,
- Laserstrahl-WIG-,

- Plasma-MIG-,
- Plasma-WIG-Schweißen und
- Laserstrahl-Plasmaschweißen.

Da bei diesen Verfahren, verglichen mit den einzelnen Verfahren, die Abschmelzleistung und die Vorschubgeschwindigkeit viel höher sind, ist damit zu rechnen, dass auch die dabei entstehenden Schadstoffemissionen (mg/s) etwas höher liegen als beim einfachen MIG- oder WIG- Schweißen.

Bei allen Hybridschweißverfahren wird eine integrierte Absaugung im Entstehungsbereich der Schadstoffe dringend empfohlen.

Für die korrekte Dimensionierung der Lüftungsanlage sind Untersuchungen zur Bestimmung der verfahrens-/werkstoffspezifischen Emissionsraten zweckmäßig.

Laserstrahl – Plasmaschweißen von Aluminiumwerkstoffen

Diese Verfahrenskombination erlaubt eine deutliche Erhöhung der Schweißgeschwindigkeit und wird bei Aluminiumwerkstoffen sowohl mit CO₂ als auch mit Nd:YAG-Laser eingesetzt. Auch hier sind im Vergleich zum einfachen Laserstrahlschweißen höhere Schadstoff-Emissionsraten zu erwarten. Für die Auswahl der Leitkomponenten sind auch die eingesetzten Werkstoffe maßgebend. Hier sind die Leitkomponenten Ozon und aluminiumoxidhaltiger Schweißrauch – die gleichzeitig auftreten – zu berücksichtigen. Eine wirksame Absaugung sollte unmittelbar im Entstehungsbereich der vorgenannten Schadstoffe eingesetzt werden.

Verfahren	Grundwerkstoff	Schweißrauch / Leitkomponente(n)
Laserstrahlschweißen ¹⁾	unlegierter, niedriglegierter Stahl (Legierungsbestandteile < 5 %)	Schweißrauch ²⁾
	Chrom-Nickel-Stahl (≤ 20 % Cr und ≤ 30 % Ni)	Nickeloxid
	verzinkter Stahl	Zinkoxid
Verfahren	Schweißzusatzwerkstoff	Leitkomponente(n)
Laserstrahlaufragschweißen	Cobaltbasis-Legierungen (> 60 % Co, > 20 % Cr)	Cobaltoxid
	Nickelbasis-Legierungen (> 60 % Ni)	Nickeloxid
	Eisenbasis-Legierungen (< 40 % Cr, > 60 % Fe)	Schweißrauch ²⁾
	Aluminiummehrstoff-Bronzen (= 75 % Cu)	Kupferoxid ³⁾

¹⁾ Hier ohne Schweißzusatzwerkstoff.
²⁾ Grenzwert für die A-Fraktion des Staubes heranziehen.
³⁾ Grenzwert für Kupfer-Rauch.

Bild 3-2 b: Zuordnung der Leitkomponenten zu den Verfahren und Werkstoffen beim Laserstrahlschweißen [Quelle: Spiegel-Ciobanu, BGI 593 Ausg. 2008]

3.2 Thermisches Schneiden

Zu dieser Verfahrensgruppe gehören Brennschneiden, Plasmaschmelzschnitten und Laserschneiden. Die Zusammensetzung des Grundwerkstoffes ist maßgebend für die chemische Zusammensetzung der partikelförmigen Stoffe (Rauche), die im Übrigen hier einen größeren Partikeldurchmesser haben als beim Schweißen, aber dennoch alveolengängig sind.

3.2.1 Autogenes Brennschneiden (unlegierter und niedriglegierter Stahl)

Bei diesem Verfahren entstehen hohe Rauchemissionen, abhängig von verschiedenen Parametern:

- Blechdicke,
- Brenngas,
- Schneidgasdruck und
- Schneidgeschwindigkeit.

Zusätzlich zum Schweißrauch – der bei diesem Verfahren von Bedeutung ist – muss die Entstehung von nitrosen Gasen berücksichtigt werden, also muss Stickstoffdioxid als Leitkomponente neben Schweißrauch berücksichtigt werden.

Die Schweißrauchemissionsrate ist hier etwa mit 10 bis 50 mg/s anzusetzen.

3.2.2 Plasmaschmelzschnitten

Dieses Verfahren ist grundsätzlich begleitet von einer hohen Emission partikelförmiger Stoffe.

Die emittierten Schadstoffe sind in erster Linie abhängig vom geschnittenen Grundwerkstoff (d. h. seiner chemischen Zusammensetzung), von den gewählten Schneidparametern und von der Art der eingesetzten Plasmagase.

Eine Erhöhung der Schneidgeschwindigkeit (mm/min) führt zu einer Verringerung der Schadstoffemission (g/min).

Bei der Bearbeitung von un- und niedrig-legiertem Stahl ist Schweißrauch (vorwiegend Eisenoxide) von Bedeutung. Dagegen entsteht beim Plasmaschmelzschnitten von Chrom-Nickel-Stahl Nickeloxid als Leitkomponente. Zusätzlich entstehen Chrom(VI)-Verbindungen als Hauptkomponente.

Nickel und Nickelbasislegierungen, die mit Hilfe des Plasmaschmelzschnitens bearbeitet werden, führen zu hohen Werten von Nickeloxid im Schweißrauch.

Bei Aluminium-Werkstoffen kann bei stark reflektierenden Grundwerkstoffen (z. B. Aluminium-Silicium-Legierungen) – neben dem Schweißrauch – Ozon eine Leitkomponente bilden.

Sind keine technischen Schutzmaßnahmen, wie Untertischabsaugung, getroffen, so ist davon auszugehen, dass an Arbeitsplätzen an der Maschine unabhängig von der chemischen Zusammensetzung der Werkstoffe der Grenzwert für die A-Fraktion des Staubes (3 mg/m³) überschritten ist. Enthalten die Werkstoffe über 5 % Chrom und Nickel (hochlegierte Werkstoffe), gilt dies ebenso für die früheren Grenzwerte für Chrom(VI)-Verbindungen und Nickeloxid, wobei Nickeloxid die Leitkomponente ist.

Beim Einsatz von Druckluft oder Stickstoff als Plasmagas ist auch das Stickstoffdioxid als weitere Leitkomponente zu berücksichtigen.

3.2.3 Laserstrahlschnitten

Aufgrund der Komplexität der Verfahren und Geräte wird die Entstehung der Schadstoffe beim Laserstrahlschneiden durch viele Einflussgrößen bestimmt.

Neben dem Werkstoff und den durch den Bearbeitungsprozess bedingten Parametern spielt die Laserquelle eine wichtige Rolle bei der Schadstoffentstehung und -zusammensetzung.

3.2.3.1 Laserstrahlschnitten mit CO₂-Laser

Die Parameter, die wesentlichen Einfluss auf die Menge der emittierten Schadstoffe haben, sind Werkstückdicke, Linsenbrennweite, Schneidgasdruck, Laserstrahlleistung und Schneidgeschwindigkeit.

Mit zunehmender Werkstückdicke und/oder mit zunehmender Linsenbrennweite und/oder mit zunehmendem Schneidgasdruck und/oder mit zunehmender Laserstrahlleistung nimmt die Staubemission (mg/m) zu.

Mit zunehmender Schneidgeschwindigkeit nimmt die Staubemission pro Zeiteinheit (mg/s) zu und pro Schnittlänge (mg/m) ab.

Insgesamt entstehen beim Laserstrahlschneiden relativ große Staubmengen, die dennoch geringer ausfallen als beim Brenn- und Plasmaschmelzschnitten.

Die höchsten Schadstoffemissionen treten beim Laserstrahlschneiden von Chrom-Nickel-Stahl auf.

Das Schneiden von verzinktem Stahl bewirkt höhere Emissionswerte als das Schneiden von unlegiertem Stahl.

Beim Schneiden mit einem CO₂-Laser (Leistung = 1 kW) ergaben sich für die gleiche Werkstoffdicke folgende Schweißrauchemissionen:

Werkstoff	Schweißrauch Emissionsraten (mg/s)
unlegierter Stahl	16 - 24
Chrom-Nickel-Stahl	14 - 35

Bezogen auf die Schadstoffproblematik kann zwischen

- Laserstrahlhochdruckschneiden (mit Stickstoff) und
- Laserstrahlbrennschneiden (mit Sauerstoff)

differenziert werden.

Durch die Verwendung von Stickstoff als Schneidgas werden beim Chrom-Nickel-Stahl und bei verzinktem Stahl die Schadstoffemissionen gegenüber dem Schneiden mit Sauerstoff etwa um die Hälfte reduziert.

Schweißrauchemissionen beim Laserstrahlhochdruckschneiden und Laserstrahlbrennschneiden (Beispiel):

- Leistung = 1 kW
- Linsenbrennweite = 63,5 mm
- Werkstoffdicke = 1 mm

Werkstoff	Schweißrauch Emissionsraten (mg/s)	
	Laserstrahlhochdruckschneiden	Laserstrahlbrennschneiden
niedriglegierter Stahl	–	17
Chrom-Nickel-Stahl	8	20
verzinkter Stahl	4,5	9

Ohne eine entsprechende Absaugung werden beim Laserschneiden, unabhängig vom Grundwerkstoff, die jeweiligen MAK und alten TRK (siehe Bild 1-11 b Abschnit 1.8) für die entsprechenden Leitkomponenten überschritten.

3.2.3.2 Laserstrahlschneiden mit Nd:YAG-Laser

Auch hier liegen (wie unter Abschnitt 3.1.6) die Schadstoffemissionen bei der Anwendung von Festkörperlaser (Nd:YAG-Laser) insgesamt niedriger als bei der Anwendung von CO₂-Lasern (Bild 3-2 c), wobei die zurzeit erreichbaren Schneidgeschwindigkeiten beim Nd:YAG-Laser niedriger sind als beim CO₂-Laser.

Beim Schneiden mit einem Nd:YAG-Laser ergaben sich für 1 mm Werkstoffdicke folgende Schweißrauchemissionen:

Werkstoff	Schweißrauch – Emissionsraten (mg/s)	
	Bearbeitungsgas	
	N ₂	O ₂
Chrom-Nickel-Stahl (l = 2,98 x 10 ⁶ W/cm ²)	(v _s = 850 mm/min) ≈ 2,0	(v _s = 400 mm/min) = 2,7
Al Mg 3 (l = 1,89 x 10 ⁶ W/cm ²)	(v _s = 200 mm/min) = 0,3	–

Mit zunehmender Werkstückdicke nimmt auch hier die Schweißrauchemission (mg/m) zu. Die Anwendung von Stickstoff als Bearbeitungsgas (Schneidgas) führt auch hier zu einer erheblichen Schweißrauchreduzierung (mg/s).

Die Parameter, die wesentlichen Einfluss auf die Menge der emittierten Schadstoffe haben, sind: absorbierte Intensität (Leistungsdichte), Schneidgasdruck, Schneidgeschwindigkeit, Bearbeitungswirkungsgrad, Werkstückdicke.

Die maximalen gasförmigen Schadstoffemissionen entstehen beim Schneiden von 1 mm Chrom-Nickel-Stahl mit einer Schneidgeschwindigkeit von 400 mm/min und Sauerstoff als Bearbeitungsgas, und zwar: 0,17 ppm/s Ozon, 0,00155 ppm/s Stickstoffmonoxid, 0,041 ppm/s Kohlenmonoxid.

Mit dem Einsatz anderer Nd:YAG-Laseranlagen mit höheren Ausgangsleistungen (z. B. 1000 W) werden die Emissionen (Emissionsraten [mg/s]) bei optimierten Parametern über denen des CO₂-Lasers liegen.

Die bei der Anwendung von Nd:YAG-Lasern entstehenden Mengen partikelförmiger Schadstoffe sind in der Größenordnung vergleichbar mit denen beim Metall-Inertgasschweißen (MIG). Lüftungstechnische Maßnahmen, insbesondere eine wirksame Absaugung, sind auch hier notwendig, um Überschreitungen der Grenzwerte für die jeweiligen Leitkomponenten zu vermeiden.

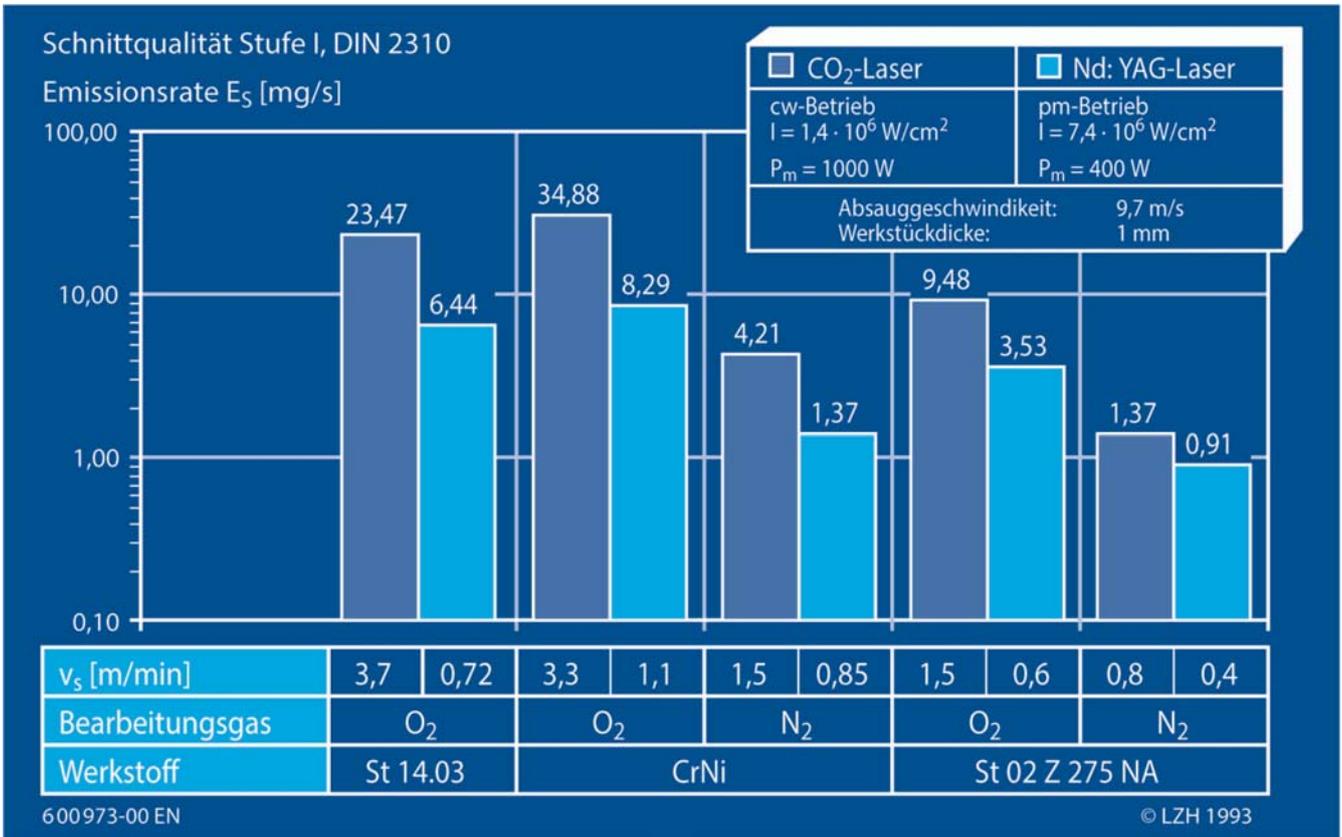


Bild 3-2 c: Vergleich der Emissionen beim Laserstrahlschneiden mit CO₂- und Nd:YAG-Lasern
 [Quelle: Engel, Seite 92, Bild 44]

Verfahren	Grundwerkstoff	Schweißrauch / Leitkomponente(n)
Brennschneiden	unlegierter, niedriglegierter Stahl (Legierungsbestandteile < 5 %)	Schweißrauch ²⁾ ; Stickstoffdioxid
Plasmaschmelzschnitten ¹⁾ Laserstrahlschnitten	unlegierter, niedriglegierter Stahl (Legierungsbestandteile < 5 %)	Schweißrauch ²⁾
	Chrom-Nickel-Stahl (≤ 20 % Cr und ≤ 30 % Ni)	Nickeloxid
	Nickel, Nickellegierungen (> 30 % Ni)	Nickeloxid
	Aluminium-Werkstoffe ³⁾	Schweißrauch ²⁾ ; Ozon

¹⁾ Beim Einsatz von Druckluft oder Stickstoff als Plasmagas ist auch Stickstoffdioxid als Leitkomponente zu berücksichtigen!

²⁾ Grenzwert für die A-Fraktion des Staubes

³⁾ Aluminium-Werkstoffe (Rein-Aluminium, Aluminium-Legierungen) Grenzwert für Aluminiumoxidauch

Bild 3-2 d: Zuordnung der Leitkomponenten zu den Verfahren und Werkstoffen beim thermischen Schneiden
 [Quelle: Spiegel-Ciobanu, BGI 593 Ausg. 2008]

3.3 Thermisches Spritzen

Beim thermischen Spritzen werden verfahrensabhängig hohe Mengen an partikelförmigen Schadstoffen gebildet. So sind die Schadstoffemissionen beim Flammsspritzen deutlich niedriger als beim Lichtbogenspritzen.

Plasmaspritzen verursacht im Vergleich zum Flamm- und Lichtbogenspritzen die höchsten Schadstoffemissionen.

Die entstehenden Schadstoffe sind darüber hinaus werkstoffabhängig und bilden sich ausschließlich aus dem jeweils verwendeten Spritzzusatz (Bild 3-2 e).

Der Grundwerkstoff hat keinen Einfluss auf Menge und Zusammensetzung der entstehenden Schadstoffe.

Bei allen thermischen Spritzverfahren liegen die Schweißrauch- und Staubkonzentrationen im Atembereich über dem Allgemeinen Staubgrenzwert sowohl für die A- als auch für die E-Fraktion des Staubes, wenn keine oder eine nur unzureichende Schadstoffeffassung und -abscheidung vorhanden ist. Insgesamt sollten die Spritzverfahren (besonders Plasmaspritzen) in geschlossenen Kabinen durchgeführt werden, um die Belastungen des Schweißers und weiterer Personen durch Rauche und Stäube sowie Lärm zu minimieren.

3.3.1 Flammsspritzen

Beim Flammsspritzen mit Spritzzusätzen in Draht- oder Pulverform entstehen gas- und partikelförmige Stoffe. Die chemische Zusammensetzung der partikelförmigen Stoffe im Rauch/Staub entspricht der Zusammensetzung des Spritzzusatzes.

Wie bei anderen Autogenverfahren ist beim Flammsspritzen die Bildung von nitrosen Gasen zu berücksichtigen.

Beim Flammsspritzen mit hochlegiertem Spritzzusatz (z. B. Chrom < 27 %, Ni < 22 %) enthalten die hohen Staubemissionen auch hohe Werte für Nickeloxid.

Hier sind die Nickeloxid-Konzentrationen erheblich über $0,5 \text{ mg/m}^3$ (alter TRK für Nickeloxid, siehe Bild 1-11 b auf Seite 26).

Darüber hinaus können sich Chrom(VI)-Verbindungen bilden. Es wird angenommen, dass ein vielfältiges Gemisch verschiedener Chromoxide entsteht.

Dieses Gemisch ist schwer löslich, enthält auch Chrom(VI)-Verbindungen und gilt als krebserzeugend.

Bei Nickel und Nickellegierungen ist Nickeloxid die Leitkomponente. Auch hier sind vielfach Überschreitungen der $0,5 \text{ mg/m}^3$ (alter TRK für Nickeloxid, siehe Bild 1-11 b auf Seite 26) zu erwarten.

Bei gleicher Auftragsrate entstehen bei Chrom-Nickel-Legierungen höhere Emissionen als bei Zink- oder Aluminium-Legierungen.

3.3.2 Lichtbogenspritzen

Beim Lichtbogenspritzen entstehen hohe Emissionen von partikelförmigen Stoffen. Bei vergleichbaren Spritzparametern und etwa gleicher Auftragsrate liegt die Schadstoffemission beim Aluminiumdraht höher als bei Zink-, Chrom-Nickel- und Aluminiumbronzedrähten, wo die Schadstoffemissionen vergleichbar hoch sind. Beim Lichtbogenspritzen mit Chrom-Nickel oder mit Nickelbasis-Spritzzusätzen muss Nickeloxid als Leitkomponente beachtet werden. Hier sind Überschreitungen der alten TRK-Werte (siehe Bild 1-11 b auf Seite 26) nachgewiesen worden.

Beim Lichtbogenspritzen sind die Partikeldurchmesser insgesamt kleiner als beim Flammsspritzen, wodurch eine größere alveolengängige Fraktion entsteht.

3.3.3 Plasmaspritzen

Beim Plasmaspritzen entsteht durch die viel höhere Spritzgeschwindigkeit eine noch höhere Schadstoffemission als beim Flamm- oder Lichtbogenspritzen mit gleichen Spritzzusätzen.

Die meisten Plasmaspritzverfahren werden deshalb in geschlossenen Anlagen (gekapselte Anlagen) durchgeführt. Trotzdem bleibt für die wenigen handgeführten Plasmaspritzverfahren eine Gesundheitsgefährdung des Schweißers möglich, solange die hohen Schadstoffkonzentrationen nicht an der Entstehungsquelle abgesaugt und abgeführt werden.

Die Praxis zeigt, dass beim Plasmaspritzen mit höheren Anteilen kritischer Werkstoffe (Chrom, Nickel, Cobalt u. a.) ohne Anwendung einer wirksamen Absaugung die alten TRK (siehe Bild 1-11 b auf Seite 26) und MAK erheblich überschritten werden können.

Verfahren	Spritzzusatzwerkstoff	Schweißrauch / Leitkomponente(n)
Flammspritzen	unlegierter, niedriglegierter Stahl (Legierungsbestandteile < 5 %)	A-, E-Staub ¹⁾ Stickstoffdioxid
	Chrom-Nickel-Stahl (≤ 27 % Cr und ≤ 22 % Ni)	Nickeloxid Stickstoffdioxid
	Nickel und Nickellegierungen (> 60 % Ni)	Nickeloxid Stickstoffdioxid
	Aluminium-Werkstoffe ³⁾	A-, E-Staub ¹⁾ Stickstoffdioxid
	Bleilegierungen	Bleioxid Stickstoffdioxid
	Kupfer und Kupferlegierungen	Kupferoxid ²⁾ Stickstoffdioxid
	andere Nichteisenmetalle und Legierungen	A-, E-Staub ¹⁾ Stickstoffdioxid
Lichtbogenspritzen	unlegierter, niedriglegierter Stahl (Legierungsbestandteile < 5 %)	A-, E-Staub ¹⁾
	Chrom-Nickel-Stahl (≤ 27 % Cr und ≤ 22 % Ni)	Nickeloxid
	Nickel und Nickellegierungen (> 60 % Ni)	Nickeloxid
	Aluminium-Werkstoffe ³⁾	A-, E-Staub ¹⁾
	Kupfer und Kupferlegierungen	Kupferoxid ²⁾
	andere Nichteisenmetalle und Legierungen	A-, E-Staub ¹⁾
Plasmaspritzen	Kupfer-Aluminium- und Kupfer-Zinn-Legierungen	Kupferoxid ²⁾
	Chrom-Nickel-Stahl (≤ 27 % Cr und ≤ 22 % Ni)	Nickeloxid Ozon
	Nickel und Nickellegierungen (> 60 % Ni)	Nickeloxid
	Cobaltbasislegierungen (> 50 % Co)	Cobaltoxid

¹⁾ Grenzwert für A-Staub/Schweißrauch und E-Staub

²⁾ Grenzwert für Kupfer-Rauch

³⁾ Aluminium-Werkstoffe (Rein-Aluminium, Aluminium-Legierungen) Grenzwert für Aluminiumoxidrauch

Bild 3-2 e: Zuordnung der Leitkomponenten zu den Verfahren und Werkstoffen beim thermischen Spritzen [Quelle: Spiegel-Ciobanu, BGI 593 Ausg. 2008]

3.4 Löten

Die Schadstoffemission ist auch hier verfahrens- und werkstoffbedingt. Die Menge und die chemische Zusammensetzung der entstehenden Schadstoffe (Lötrauche) sind von den verwendeten Werkstoffen (Lote, Flussmittel, Bindemittel – Bild 3-6 auf Seite 49) und von den Verfahrensparametern (Löttemperatur [Bild 3-3], Löt- und Haltezeit) abhängig.

Grundsätzlich kann man das Löten einteilen in Weichlöten und Hartlöten.

3.4.1 Weichlöten (T < 450 °C)

Hier besteht vor allem eine deutliche Abhängigkeit der Schadstoffentstehung von der Löttemperatur.

Als Beispiel hierfür dienen Messergebnisse beim Handlöten mit kolophoniumhaltigem Röhrenlot (1,5 DIN 8516-L-Sn 60 PbCu 2 zh) und Flussmittel F-SW 32 3,5.

Beim Weichlöten bilden sich als Schadstoffe im Wesentlichen Kolophonium und seine Zersetzungsprodukte, da viele Flussmittel Kolophonium als Basis enthalten.

Zusätzlich, je nach dem eingesetzten Lot- und Flussmittel, können Hydrazin, Blei, Chlor- und Bromwasserstoff oder Zinn-Verbindungen auftreten.

Dies ist vor allem bei Lötarbeiten im Anlagenbau zu finden.

Löttemperatur (°C)	Emission			
	Gesamtrauch (mg/g Flussmittel)	Kolophonium (mg/g Lot)	Aldehyd (mg/g Lot)	Zinn (µg/g Lot)
250	40	1	2×10^{-3}	8
450	102	4,2	$12,5 \times 10^{-3}$	30

Bild 3-3: Schadstoffemission beim Weichlöten in Abhängigkeit von der Löttemperatur [Quelle: Spiegel-Ciobanu, BGI 593 Ausg. 2008, nach [8]]



3.4.2 Hartlöten (T > 450 °C)

Beim Hartlöten werden im Wesentlichen Lote aus Kupfer-Zink-Legierungen, die noch Zusätze an Nickel, Zinn, Silber und Cadmium enthalten können, verwendet.

Die Flussmittel zum Hartlöten enthalten Gemische aus Bor-säuren, einfachen oder komplexen Fluoriden, Fluoroxiden und Borax.

Entsprechend der eingesetzten Lote und Flussmittel entstehen beim Hartlöten folgende Schadstoffe: Cadmiumoxid, Kupferoxid, Zinkoxid, Silberoxid, Fluoride, Boroxid usw.

Aus arbeitsmedizinischer Sicht sind im Rauch beim Hartlöten insbesondere Cadmiumverbindungen und Fluoride von Bedeutung.

Beim **Hartlöten mit cadmiumhaltigen Loten** ist eine Absaugung der Rauche zwingend erforderlich.

Bei **Kupfer-Basis-Loten** wird, aufgrund der schwankenden messtechnischen Ergebnisse am Arbeitsplatz (Kupferrauchkonzentrationen über/unter dem Grenzwert), eine Absaugung im Entstehungsbereich empfohlen.

Nach DIN 29454-1 werden Flussmittel für Weichlöten in drei Gruppen eingeteilt (siehe Bild 3-5 auf Seite 49).

Aufgrund der eingesetzten Lote sowie der Flussmittel können eine Vielzahl von Schadstoffen beim Löten entstehen. Folgende Schadstoffe wurden in Lötrauchen nachgewiesen, u. a.:

Aldehyde (insbesondere Formaldehyd, Acetaldehyd, Acrylaldehyd), Antimonoxid, anorganische und organische Zinnverbindungen, Bleioxid, Boroxid, Bortrifluorid, Cadmiumoxid, Chloride/Chlorwasserstoff, Fluoride, Fluorwasserstoff, Hydrazin, Kupferoxid, Kolophonium, Phosphorpentoxid, Silberoxid, Zinkoxid.

In den Tabellen der Bilder 3-6 und 3-7 auf den Seiten 49 u. 50 sind die Schadstoffe beim Löten zusammengestellt, die im Rahmen der Gefährdungsermittlung und -beurteilung zu berücksichtigen sind.

Siehe auch:
BG/BGIA-Empfehlung „Weichlöten mit dem LötKolben an elektrischen und elektronischen Baugruppen oder deren Einzelkomponenten (Kolbenlöten)“ (BGI 790-014).

Bild 3-4: Löt Arbeitsplatz mit Absaugung [Quelle: Böckler, BGETEM]

Gruppe	Flussmittel
1	natürliche Harze (Kolophonium) oder modifizierte natürliche Harze mit und ohne Zusatz von organischen oder halogenhaltigen Aktivatoren
2	organische Säuren (z. B. Zitronen-, Öl-, Stearin-, Benzoesäure), Amine, Diamine, Harnstoff und organische Halogenverbindungen
3	Zink- und andere Metallchloride, Ammoniumchlorid (in wässriger Lösung oder in organischen Zubereitungen)

Bild 3-5: Einteilung der Flussmittel in Gruppen
 [Quelle: BGI 593 Ausg. 2008, nach Böckler, BGETEM]

Weichlöten (Temperatur < 450 °C)			
Lote		Flussmittel (Flussmittelbasis)	Leitkomponenten
Anwendungsgebiet	Lotart		
Schwermetalle	antimonhaltige, antimonarme und antimonfreie Blei-Zinn- und Zinn-Blei-Weichlote	Gruppe 1	A-Staub Aldehyde ¹⁾ Bleioxid
		Gruppe 2	A-Staub Bleioxid ¹⁾
		Gruppe 3	A-Staub Bleioxid ¹⁾
	Zinn-Blei-Weichlote mit Kupfer-, Silber- oder Phosphorzusatz	Gruppe 1	A-Staub Aldehyde ¹⁾ Bleioxid
		Gruppe 2	A-Staub Bleioxid ¹⁾
		Gruppe 3	A-Staub Bleioxid ¹⁾
	Zinn-Weichlote mit Anteilen von Silber, Kupfer, Wismut, Indium, Antimon und Zink	Gruppe 1	A-Staub Aldehyde ¹⁾
		Gruppe 2	A-Staub
		Gruppe 3	A-Staub
	Cadmium-Weichlote mit Anteilen von Zink, Zinn, Silber und Blei	Gruppe 1	A-Staub Aldehyde Cadmiumoxid
		Gruppe 2	A-Staub Cadmiumoxid
		Gruppe 3	A-Staub Cadmiumoxid
Leichtmetalle	Weichlote auf der Basis von: – Zinn-Zink – Zink-Cadmium – Zink-Aluminium – Blei-Zinn-Silber	organische Verbindungen, z. B. Amine, organische Halogenverbindungen	A-Staub Cadmiumoxid
		Chloride, Fluoride, z. B. Zinkchlorid	A-Staub Cadmiumoxid Chloride Fluoride

¹⁾ Ausgenommen an Arbeitsplätzen, an denen elektrische und elektronische Baugruppen bzw. deren Einzelkomponenten verlötet werden bzw. an den Reparaturlötplätzen in diesen Bereichen.

Bild 3-6: Leitkomponenten beim Weichlöten
 [Quelle: BGI 593 Ausg. 2008, nach Böckler, BGETEM]

Hartlöten (Temperatur ≥ 450 °C)			
Lote		Flussmittel (Flussmittelbasis)	Leitkomponenten
Anwendungsgebiet	Lotart		
Schwermetalle	silberhaltige Hartlote, cadmiumfrei	Borverbindungen, einfache und komplexe Fluoride, Chloride, Phosphate sowie Silicate	A-Staub Chloride Fluoride Silberoxid
	silberhaltige Hartlote, cadmiumhaltig		A-Staub Chloride Fluoride Silberoxid Cadmiumoxid
	phosphorhaltige Hartlote		A-Staub Chloride Fluoride
	zink- und zinkhaltige Hartlote		A-Staub Chloride Fluoride Zinkoxid
	Kupfer- und Kupferbasishartlote ¹⁾		A-Staub Chloride Fluoride Kupferoxid
	Nickelbasishartlote ¹⁾		A-Staub Nickeloxid
	palladiumhaltige Hartlote ¹⁾		A-Staub
	goldhaltige Hartlote ¹⁾		A-Staub
Leichtmetalle	Aluminiumbasishartlote	Chloride und Fluoride	A-Staub Chloride Fluoride

¹⁾ In der Regel werden diese Lote flussmittelfrei in Schutzgasöfen bzw. in Vakuumöfen eingesetzt.

Bild 3-7: Leitkomponenten beim Hartlöten
[Quelle: BGI 593 Ausg. 2008, nach Böckler, BGETEM]

3.4.3 MIG-Löten, Laserstrahl-Löten, Plasma-Löten (T > 900 °C)

Bei diesen Verfahren wird als Zusatzwerkstoff überwiegend drahtförmige Kupferbasis-Legierung eingesetzt, deren Schmelzbereich niedriger ist als der Grundwerkstoff, z. B. CuSi 3 (Si 3 %, Mn 1 %, Cu Rest), AlBz 8 (Al 8,2 %, Cu Rest).

Die emittierten partikelförmigen Schadstoffe entstehen aus dem Zusatzwerkstoff. Der Grundwerkstoff wird nicht aufgeschmolzen.

Verzinkter Stahl

Bei der Bearbeitung verzinkter Stähle enthalten die Rauche hohe Anteile von Zinkoxid, die aus der Beschichtung durch Verdampfen und Oxidation entstehen.

Darüber hinaus entstehen aus dem Zusatzwerkstoff hohe Mengen an Kupferoxid.

Die höchsten Emissionsraten sind beim MIG-Löten zu erwarten. Die kleinsten Emissionsraten sind demgegenüber beim Plasmalöten zu erwarten.

Dementsprechend entstehen beim MIG-Löten mit CuSi 3 (1 mm Drahtdurchmesser) und bei einer 45 µm Zinkschicht etwa 4,7 mg/s.

Hochlegierter Stahl

Hier ist die Leitkomponente im Schweißrauch vom Zusatzwerkstoff bestimmt, und zwar Kupferoxid. Der Grundwerkstoff ist für die Schadstoffentstehung nicht relevant.

Beim MIG-Löten mit 1 mm Drahtdurchmesser liegt die Rauchentwicklung etwa bei 2,4 mg/s.

Beim Plasma- und Laserstrahlöten mit gleichem Zusatzwerkstoff liegt die Schweißrauchemission viel niedriger als beim MIG-Löten.

Verfahren	Grundwerkstoff	Zusatzwerkstoff	Hauptkomponente	Leitkomponente
MIG-Löten	verzinkter Stahl	CuSi 3	Zinkoxid	Kupferoxid
	Chrom-Nickel-Stahl	AlBz 8		Kupferoxid
Laserstrahl-Löten	verzinkter Stahl	CuSi 3	Zinkoxid	Kupferoxid
	Chrom-Nickel-Stahl	AlBz 8		Kupferoxid
Plasma-Löten	verzinkter Stahl	CuSi 3	Zinkoxid	Kupferoxid
	Chrom-Nickel-Stahl	AlBz 8		Kupferoxid

Chrom-Nickel-Stahl: ≤ 20 % Cr und ≤ 30 % Ni | AlBz 8: Al 8,2 %, Cu Rest | CuSi 3: Si 3 %, Mn 1 %, Cu Rest

Bild 3-8: Zuordnung der Haupt- und Leitkomponenten zu den Verfahren und Werkstoffen beim Löten [Quelle: Spiegel-Ciobanu, BGI 593 Ausg. 2008, in Anlehnung an [13]]

4 Ultrafeine Partikel (UFP)

4.1 Erkenntnisse aus Studien zur Toxizität der UFP

Epidemiologische und tierexperimentelle Untersuchungen mit ultrafeinen Partikeln stammen vorwiegend aus Inhalationsversuchen mit Ratten oder anderen Nagetieren mit Dieselruß, technischem Ruß und mit Titandioxid. Sie zeigen, dass abhängig von der mit der Lunge im Kontakt stehenden Partikeloberfläche entzündliche, fibrotische (Verhärtung des Lungengewebes) oder kanzerogene (krebserzeugende) Effekte auftreten können.

Die Untersuchungen zeigen, dass die Partikelgröße, die Struktur und Form der im Schweißrauch enthaltenen ultrafeinen Partikel die möglichen Wirkungen auf den menschlichen Organismus beeinflussen können. Zusätzlich hat auch die chemische Zusammensetzung der Partikel eine große Bedeutung.

Die Partikelanzahlkonzentration (Partikel/cm³), die spezifische Partikeloberfläche sowie die chemische Zusammensetzung beeinflussen die Wahrscheinlichkeit der Ablagerung in der Lunge, das Reinigungsverhalten der Lunge sowie die sich daraus ergebenden Verweilzeiten und bestimmen somit die Schädigung der Lunge.

Partikeln mit Durchmesser zwischen 20 und 50 nm wird das größte Schädigungspotential zugemessen. [Quelle: Spiegel-Ciobanu, Publikation [14]]

4.2 Erkenntnisse aus der Forschung zur Charakterisierung der UFP

Chemisch-physikalische Prozesse, wie Verdampfen, Kondensieren, Oxidieren, Pyrolyse, die auf die hohen Temperaturen bei schweißtechnischen Verfahren zurückzuführen sind, führen zur Bildung von ultrafeinen Partikeln.

Die eingesetzten Prozesse und deren Parameter (Strom, Spannung, Elektroden Durchmesser, Art der Schweißung), die verwendeten Zusatz- und Grundwerkstoffe mit ihrer jeweiligen chemischen Zusammensetzung, die Schutzgasart oder die Flussmittel sowie der Oberflächenzustand der Werkstoffe spielen dabei eine wichtige Rolle. Art und Menge der entstehenden Partikel sind maßgebend beeinflusst. Zusätzlich sind auch arbeitsplatzspezifische Faktoren zu nennen: Lüftung, Kopf-/Körperposition, Schweißdauer, Form/Konstruktion des Werkstückes, die die Schweißrauchkonzentration im Atembereich des Schweißersonals bestimmen [19].

4.3 Ergebnisse der Untersuchungen bei schweißtechnischen Verfahren

Schweiß-, Schneid- und Lötverfahren mit unlegierten, niedriglegierten und hochlegierten Werkstoffen, sowie mit Aluminium- und Kupferbasislegierungen wurden vom ISF der RWTH Aachen im Verbundprojekt mit ITEM Hannover bezüglich ihrer Emissionsraten, der chemischen Zusammensetzung, der Diffusionsäquivalentdurchmesser der Agglomerate und der geometrischen Durchmesser der Primärpartikel sowie bezüglich der „biologisch aktiven Oberfläche“ der Partikel untersucht. Die Ergebnisse sind in Bild 4-1 bis Bild 4-7 [15] zusammengefasst und wie folgt dargestellt.

Mit steigender Zeit bilden sich immer größere Partikel und Agglomerate (Zusammenballungen), sodass bei Messungen der Schweißrauchkonzentrationen am Arbeitsplatz mit einem „Alterungsprozess“ der Schweißrauche zu rechnen ist.

Massen- und Anzahlgrößenverteilung, Agglomeratanzahl-emissionsraten (Anzahl der Agglomerate pro Sekunde), mittlere Primärpartikelanzahl pro Agglomerat unterliegen einer Änderung durch Alterung.

Lichtbogen-Handschweißen

Pr.	Grundwerkstoff	Elektrode	Gas	Massenemissionsrate [m g/s]	MMAD [μm]	GSD (Mittelwert)	Anzahlmedian der Mobilitätsverteilung [nm]	GSD (Mittelwert)	Agglomerat - Emissionsrate (1/sec)	Mittlere Primärpartikelanzahl pro Agglomerat	berechnete Primärpartikelemissionsrate [1/s ec]	Medianwert der Primärpartikelgrößenverteilung [nm]	GSD (Mittelwert)
3	1.0038	rutilbasisch, niedrigleg.	kein Gas	5,8	0,37	3,0	129	1,8	4,2E+11	91	3,8,E+13	7	2,1
4	1.0038	rutilbasisch, niedrigleg.	kein Gas	3,9	0,35	1,9	126	1,7	4,44E+11	89	4,0,E+13	9	2,3
5	1.0038	basisch, niedrigleg.	kein Gas	7,6	0,45	1,5	135	1,6	5,2E+11	24	1,2,E+13	15	2,2
6	1.0038	Zellulose	kein Gas	4,4	0,34	4,2	117	1,7	7,76E+11	76	5,9,E+13	6	1,9
7	1,4301	basisch, hochleg.	kein Gas	5,5	0,44	1,6	142	1,7	3,57E+11	37	1,3,E+13	13	2,2

Metall-Aktivgasschweißen / Auftragsschweißen

Pr.	Grundwerkstoff	Elektrode	Gas	Massenemissionsrate [m g/s]	MMAD [μm]	GSD (Mittelwert)	Anzahlmedian der Mobilitätsverteilung [nm]	GSD (Mittelwert)	Agglomerat - Emissionsrate (1/sec)	Mittlere Primärpartikelanzahl pro Agglomerat	berechnete Primärpartikelemissionsrate [1/s ec]	Medianwert der Primärpartikelgrößenverteilung [nm]	GSD (Mittelwert)
8	1.0038	Massivdraht, niedrigleg.	100% CO ₂	9,6	0,37	1,7	156	1,6	8,59E+11	343	3,0E+14	15	2,1
9	1.0038	rutil Fülldraht, niedrigleg	100% CO ₂	12,9	0,40	1,5	142	1,6	6,88E+11	159	1,1E+14	13	2,1
10	1.0038	Massivdraht, niedrigleg.	82% Ar, 18% CO ₂	2,5	0,39	1,9	129	1,6	4,83E+11				
56	geprimertes Blech	Massivdraht, niedrigleg.	82% Ar, 18% CO ₂	2,9	0,21	2,3	152	1,8	3,25E+11	138	4,5E+13	11	1,6
11	1.0038	Metallpulverfülldraht, niedrigleg.	82% Ar, 18% CO ₂	12,7	0,30	1,6	152	1,6	1,18E+12	330	3,9E+14	13	2,0
12	1.0038	rutil Fülldraht, niedrigleg	82% Ar, 18% CO ₂	16,3	0,37	1,4	149	1,5	1,3E+12	37	4,8E+13	33	1,6
13	1.4541	Massivdraht, hochleg.	90% Ar, 10% CO ₂	3,7	0,19	1,8	149	1,7	5,09E+11	93	4,7E+13	8	1,9
14	1.4541	Massivdraht, hochleg.	97,5% Ar, 2,5%CO ₂	2,9	0,13	1,5	129	1,6	7,05E+11	353	2,5E+14	11	1,7
15	1.4301	Massivdraht, hochleg.	90% Ar, 10% CO ₂	2,5	0,45	3,3	120	1,6	1,24E+12				
16	1.4301	Massivdraht, hochleg.	97,5% Ar, 2,5%CO ₂	3,2	0,20	2,1	138	1,6	1,1E+12	334	3,7E+14	13	1,6
17	1.4541	Fülldraht, hochleg.	90% Ar, 10% CO ₂	3,1	0,27	1,9	129	1,6	6,47E+11				
18	1.4541	Fülldraht, hochleg.	97,5% Ar, 2,5%CO ₂	4	0,27	2,0	126	1,6	5,51E+11	69	3,8E+13	23	1,7
19	1.0038	Metallpulverfülldraht, hochleg.	kein Gas	30,4	0,35	1,6	144	1,9	1,69E+12				
20	1.0038	Fülldraht, niedrigleg.	82% Ar, 18% CO ₂	24,8	0,39	3,0	152	1,6	1,13E+12	185	2,1E+14	22	1,7

Bild 4-1: Charakteristiken der UFP beim Lichtbogenhandschweißen und beim Metall-Aktivgasschweißen [Quelle: Pohlmann, G. [15]]

Metall-Inertgasschweißen													
Pr.	Grundwerkstoff	Draht	Gas	Massenemissionsrate[m g/s]	MMAD [µm]	GSD (Mittelwert)	Anzahlmedian der Mobilitätsverteilung [nm]	GSD (Mittelwert)	Agglomerat - Emissionsrate (1/sec)	Mittlere Primärpartikelanzahl pro Agglomerat	berechnete Primärpartikelemissionsrate [1/s ec]	Medianwert der Primärpartikelgrößenverteilung [nm]	GSD (Mittelwert)
35	Al 99,5	S-Al 99,5	100% Ar	5,27	0,32	2,5	181	1,7	3,44E+11	264	9,1E+13	9	1,7
36	Al 99,6	S-Al 99,5	50% Ar, 50% He	6,9	0,36	2,0	194	1,7	2,85E+11	809	2,3E+14	7	1,6
37	AlSi1Mg	AlSi 5	100% Ar	9,28	0,37	1,9	190	1,7	3,67E+11	1535	5,6E+14	16	1,7
38	AlSi1Mg	AlSi 5	50% Ar, 50% He	7,54	0,42	1,8	164	1,7	2,74E+11	86	2,4E+13	9	1,9
39	AlSi1Mg	AlSi 12	100% Ar	3,16	0,33	1,9	154	1,7	3,35E+11	480	1,6E+14	14	1,6
40	AlSi1Mg	AlSi 12	50% Ar, 50% He	3,03	0,38	1,6	92	1,8	2,24E+11	295	6,6E+13	9	1,7
41	AlMg3	Al Mg 3	100% Ar	23,82	0,38	1,8	208	1,6	5,24E+11	1393	7,3E+14	14	1,7
42	AlMg3	Al Mg 3	50% Ar, 50% He	31,96	0,40	1,7	199	1,7	4,17E+11	189	7,9E+13	13	1,8
43	AlMg3	Al Mg 5	100% Ar	11,42	0,34	2,1	178	1,6	2,6E+11	1850	4,8E+14	16	1,7
44	AlMg3	Al Mg 5	50% Ar, 50% He	6,62	0,33	2,0	160	1,7	2,44E+11	973	2,4E+14	15	1,8
45	Nickel	Alloy 617	100% Ar	1,45			60	1,7	3,93E+11	116	4,5E+13	12	1,5
Metall-Inertgas-Löten													
Pr.	Grundwerkstoff	Draht	Gas	Massenemissionsrate[m g/s]	MMAD [µm]	GSD (Mittelwert)	Anzahlmedian der Mobilitätsverteilung [nm]	GSD (Mittelwert)	Agglomerat - Emissionsrate (1/sec)	Mittlere Primärpartikelanzahl pro Agglomerat	berechnete Primärpartikelemissionsrate [1/s ec]	Medianwert der Primärpartikelgrößenverteilung [nm]	GSD (Mittelwert)
47	DX53	AlBz5Ni2	97,5% Ar, 2,5%CO ₂	2,6	0,32	2,0	149	1,7	3,17E+11	571	1,8E+14	19	1,5
48	DX53	AlBz5Ni2	99,5% Ar, 0,5%O ₂	2,6	0,22	2,9	138	1,7	4,31E+11	499	2,2E+14	9	1,5
49	DX53	CuSi3	97,5% Ar, 2,5%CO ₂	2,3	0,17	2,0	129	1,7	2,91E+11	180	5,2E+13	11	1,6
50	DX53	CuSi3	99,5% Ar, 0,5%O ₂	1,9	0,16	1,9	135	1,7	3,84E+11	308	1,2E+14	13	1,5
51	DX53	CuAl8	97,5% Ar, 2,5%CO ₂	3,9	0,33	1,6	164	1,7	3,29E+11	735	2,4E+14	10	1,6
52	DX53	CuAl8	99,5% Ar, 0,5%O ₂	4,9	0,29	1,8	152	1,6	3,67E+11	149	5,5E+13	8	1,6

Bild 4-2 : Charakteristiken der UFP beim Metall-Inertgasschweißen und beim Metall-Inertgaslöten [Quelle: Pohlmann, S., [15]]

Wolfram-Inertgasschweißen													
Pr.	Grundwerkstoff	Draht	Gas	Massenemissionsrate[m g/s]	MMAD [μm]	GSD (Mittelwert)	Anzahlmedian der Mobilitätsverteilung [nm]	GSD (Mittelwert)	Agglomerat - Emissionsrate (1/sec)	Mittlere Primärpartikelanzahl pro Agglomerat	berechnete Primärpartikelemissionsrate [1/s ec]	Medianwert der Primärpartikelgrößenverteilung [nm]	GSD (Mittelwert)
64	1.4541	hochleg. Stab	100% Ar	0,0144			23	1,7	3,69E+11	17	6,2E+12	22	1,4
65	2.0090	Kupfer Stab	100% Ar	0,0142			24	1,6	6,14E+11				
66	AlMg3Mn	AlMg-Leg.	70% Ar, 30% He	0,0276			32	1,6	4,04E+11	31	1,2E+13	15	2,0
67	AlSi1MgMn	AlSi-Leg.	70% Ar, 30% He	0,0377			63	1,9	4,14E+11	120	5,0E+13	10	1,5
Laserstrahlschweißen ohne Zusatzwerkstoff													
Pr.	Grundwerkstoff	Draht	Gas	Massenemissionsrate[m g/s]	MMAD [μm]	GSD (Mittelwert)	Anzahlmedian der Mobilitätsverteilung [nm]	GSD (Mittelwert)	Agglomerat - Emissionsrate (1/sec)	Mittlere Primärpartikelanzahl pro Agglomerat	berechnete Primärpartikelemissionsrate [1/s ec]	Medianwert der Primärpartikelgrößenverteilung [nm]	GSD (Mittelwert)
74	DX53	kein Draht	100% He	7,8	0,1	2,75	152	1,6	7,23E+11	477	3,5E+14	12	1,48
75	DX53	kein Draht	100% He	8	0,15	3,9	181	1,6	5,94E+11	2603	1,5E+15	13	1,5
76	AlSi1MgMn	kein Draht	100% He	2,6	0,25	5,8			2,14E+12	1375			
77	AlMg3Mn	kein Draht	100% He	6,5	0,15	2,6						18	1,5
Laser-MIG-Hybridschweißen													
Pr.	Grundwerkstoff	Draht	Gas	Massenemissionsrate[m g/s]	MMAD [μm]	GSD (Mittelwert)	Anzahlmedian der Mobilitätsverteilung [nm]	GSD (Mittelwert)	Agglomerat - Emissionsrate (1/sec)	Mittlere Primärpartikelanzahl pro Agglomerat	berechnete Primärpartikelemissionsrate [1/s ec]	Medianwert der Primärpartikelgrößenverteilung [nm]	GSD (Mittelwert)
78	AlMg3Mn	AlMg5	50% Ar, 50% He	4,3	0,40	1,8	157	1,7	6,81E+11	366	2,5E+14	12	1,7
79	AlSi1MgMn	AlSi12	50% Ar, 50% He	1,2	0,40	2,7	97	1,7	9,96E+11	510	5,1E+14	13	1,6
80	DX53	Massivdraht, niedrigleg.	100% He	18,5	0,36	2,2	184	1,7	8E+11	202	1,6E+14	18	1,6
81	1.0038	Massivdraht, niedrigleg.	100% He	10,4			160	1,6	1,06E+12	2606	2,8E+15	20	1,4

Bild 4-3: Charakteristiken der UFP beim Wolfram-Inertgasschweißen, Laserstrahlschweißen und beim Laser-MIG-Hybridschweißen
[Quelle: Pohlmann, S., [15]]

Elektronenstrahlschweißen an Atmosphäre

Pr.	Grundwerkstoff	Draht	Gas	Massenemissionsrate[m g/s]	MMAD [µm]	GSD (Mittelwert)	Anzahlmedian der Mobilitätsverteilung [nm]	GSD (Mittelwert)	Agglomerat - Emissionsrate (1/sec)	Mittlere Primärpartikelanzahl pro Agglomerat	berechnete Primärpartikelemissionsrate [1/s ec]	Medianwert der Primärpartikelgrößenverteilung [nm]	GSD (Mittelwert)
53	AlMg3Mn	kein Draht	He, zusätzlich Luft	6,1	0,28	1,8	237	1,4	2,65E+12	138	3,7E+14	11	1,6
54	Mg-Al 3	kein Draht	He, zusätzlich Luft	31,7	0,27	-	201	1,5	2,75E+12	704	1,9E+15	25	1,6
55	AlSi1MgMn	kein Draht	He, zusätzlich Luft	22,2	0,17	1,9	124	1,5	3,65E+12	43	1,6E+14	19	1,7

Bild 4-4: Charakteristiken der UFP beim Elektronenstrahlschweißen an Atmosphäre [Quelle: Pohlmann, S., [15]]

Widerstandspunktschweißen und Widerstandspunktschweißkleben

Pr.	Grundwerkstoff	Draht	Gas	Massenemissionsrate[m g/s]	MMAD [µm]	GSD (Mittelwert)	Anzahlmedian der Mobilitätsverteilung [nm]	GSD (Mittelwert)	Agglomerat - Emissionsrate (1/sec)	Mittlere Primärpartikelanzahl pro Agglomerat	berechnete Primärpartikelemissionsrate [1/s ec]	Medianwert der Primärpartikelgrößenverteilung [nm]	GSD (Mittelwert)
90	DX51 D+Z	kein Draht	kein Gas	23,2			47	2	8,20E+09	20	1,7E+11	14	1,6
91	DC01	kein Draht	kein Gas	37,7			54	2	4,55E+09	569	2,6E+12	12	1,4
92	organisch beschichtet	kein Draht	kein Gas	49,7	0,39	5,0			1,53E+11	201	3,1E+13	9	1,5
93	organisch beschichtet	kein Draht	kein Gas	50,1					2,11E+11	184	3,9E+13	10	1,5
94	DX51 D+Z	kein Draht	kein Gas	22,6						78		12	1,6
95	DC01	kein Draht	kein Gas	37,8					1,47E+10	123	1,8E+12	24	1,7

Bild 4-5: Charakteristiken der UFP beim Widerstandspunktschweißen und -kleben [Quelle: Pohlmann, S., [15]]

Weichlöten und Hartlöten													
Pr.	Grundwerkstoff	Draht (Lot)	Gas	Massenemissionsrate[m g/s]	MMAD [µm]	GSD (Mittelwert)	Anzahlmedian der Mobilitätsverteilung [nm]	GSD (Mittelwert)	Agglomerat- Emissionsrate (1/sec)	Mittlere Primärpartikelanzahl pro Agglomerat	berechnete Primärpartikelemissionsrate [1/s ec]	Medianwert der Primärpartikelgrößenverteilung [nm]	GSD (Mittelwert)
82	2.0090	Sn99Cu1	kein Gas	1	0,45	2,6	58	1,5	3,25E+12				
83	2.0090	Sn95.5Ag3.8Cu0.7	kein Gas	0,8	0,56	4,3	65	1,5	4,35E+12				
84	1.8814	Ag55ZnCuSn	kein Gas	0,4	0,40	1,8	39	1,8	8,54E+11	12	1,0E+13	32	1,8
85	1.8814	Ag40CuZnSn	kein Gas	0,5	0,34	1,7	44	1,7	9,15E+11	9	8,4E+12	32	1,7

Bild 4-6: Charakteristiken der UFP beim Weich- und Hartlöten [Quelle: Pohlmann, S., [15]]

Plasmaschneiden, Brennschneiden, Laserstrahlschneiden													
Pr.	Grundwerkstoff	Draht (Lot)	Gas	Massenemissionsrate[m g/s]	MMAD [µm]	GSD (Mittelwert)	Anzahlmedian der Mobilitätsverteilung [nm]	GSD (Mittelwert)	Agglomerat - Emissionsrate (1/sec)	Mittlere Primärpartikelanzahl pro Agglomerat	berechnete Primärpartikelemissionsrate [1/s ec]	Medianwert der Primärpartikelgrößenverteilung [nm]	GSD (Mittelwert)
86	1.4301	kein Draht	O ₂	0,66	0,12	2,1	172	1,6	1,1E+12	162	1,8E+14	9	1,5
87	1.0038	kein Draht	O ₂	0,21	0,35	11,9			4,75E+11	186	8,9E+13	8	1,5
88	1.4301	kein Draht	kein Gas	0,43	0,39	2,6			9,11E+10	202	1,8E+13	9	1,5
89	1.0038	kein Draht	kein Gas	0,21	0,12	3,0			2,58E+11	115	3,0E+13	7	1,4

Bild 4-7: Charakteristiken der UFP beim Plasma-, Brenn- und Laserstrahlschneiden auf der Wasseroberfläche oder mit Absaugung [Quelle: Pohlmann, S., [15]]

4.4 Erkenntnisse aus der Forschung zur Ermittlung der Partikelkenngößen beim Schweißen von verzinkten Blechen

Mit Hilfe der Fumebox- Methode (siehe auch Abschnitt 1.10 dieser BGI), auf der Grundlage der DIN EN 15011 wurden im ISF Abschnitt der RWTH Aachen [16] feuer- und elektrolytisch verzinkte Blechen gelötet und geschweißt mit den Verfahren MIG-Löten, Widerstandspunktschweißen (WPS) und CO₂-Laserschweißen, um auch hier die ultrafeinen Partikel und deren Partikelkenngößen zu ermitteln.

Im Hinblick auf die

- Emissionsraten
- Anteil-Partikel-Fraktion D < 100 nm
- Partikelanzahlkonzentration
- Partikeloberflächenkonzentration

sind hier die Ergebnisse wie folgt dargestellt:

Ergebnisse MIG-Löten von verzinkten Blechen [16]

Abhängig von den gewählten Werkstoffen und Parametern:

- Die Emissionsraten liegen zwischen 1,3 – 9,0 mg/s
- Der Zinkanteil liegt zwischen 30% und 60%.
- Die Partikelfraktion mit einem Mobilitätsdurchmesser kleiner 100 nm liegt zwischen 28% und 55%.
- Die mittlere Partikelanzahlkonzentration liegt in der Größenordnung von 10⁶ - 10⁷ [Partikel/cm³].
- Die mittlere Partikeloberflächenkonzentration liegt in der Größenordnung von 10¹² -10¹³ [nm²/cm³].

Ergebnisse beim Widerstandspunktschweißen von verzinkten Blechen [16]

Abhängig von den gewählten Werkstoffen und Parametern:

- Die Emissionsraten liegen zwischen 0,07 – 0,43 mg/s.
- Der Anteil der Partikel mit Mobilitätsdurchmesser kleiner als 100 nm liegt in etwa bei 99%.
- Die mittlere Partikelanzahlkonzentration liegt in der Größenordnung von 10⁵-10⁶ [Partikel/cm³].
- Die mittlere Partikeloberflächenkonzentration liegt in der Größenordnung von 10¹⁰ -10¹¹ [nm²/cm³].

Ergebnisse beim CO₂-Laserschweißen von verzinkten Blechen [16]

Abhängig von den gewählten Werkstoffen und Parametern:

- Die Emissionsraten liegen zwischen 2,56 – 4,97 mg/s.
- Der Anteil der Partikel mit Mobilitätsdurchmesser kleiner als 100 nm befindet sich zwischen 40% und 60%.
- Die mittlere Partikelanzahlkonzentration liegt in der Größenordnung von 10⁷ [Partikel/cm³].
- Die mittlere Partikeloberflächenkonzentration liegt in der Größenordnung von 10¹²-10¹³ [nm²/cm³].

Eine Minderung der Emissionsraten – bei Verfahren mit Emissionsraten über 1 mg/s – durch gezielte Schutzmaßnahmen bedeutet gleichzeitig auch eine Reduzierung der Primärpartikel-emissionsrate und der Agglomeratemitmissionsrate.

Die gezielte Anwendung von wirksamen Absaugsystemen, deren Erfassungselemente im Schweißrauchentstehungsbereich positioniert werden, führen zur Unterschreitung der festgelegten Arbeitsplatzgrenzwerte und somit zur Minderung der ursprünglich hohen Gefährdung durch Schweißrauche bei Verfahren mit mittleren, hohen und sehr hohen Emissionsraten.

	MIG-Löten verzinkter Bleche	Widerstandspunktschweißen verzinkter Bleche	CO ₂ -Laserschweißen verzinkter Bleche
Mittelwert der Massenemissionsraten	1,3 - 9,1 [mg/s]	0,07 – 0,18 [mg/s] 16,2 – 83,7 [µg/Punkt]	2,56 - 4,97 [mg/s]
Mittelwert der Anteile der Partikel-Fraktion D < 20 nm	8,2 – 12,8 %	39,05 – 78,65 %	9,00 – 12,11 %
D < 50 nm	10,65 – 16,78 %	81,56 – 95,88 %	12,99 – 14,98 %
D < 100 nm	26,49 – 55,14 %	96,66 – 99,55 %	40,38 – 55,16 %
Mittelwert der mittleren Partikelanzahlkonzentration	5,03E+06 – 2,56E+07 [Partikel/cm ³]	5,70E+05 – 1,75E+06 [Partikel/cm ³]	1,21E+07 – 2,22E+07 [Partikel/cm ³]
Mittelwert der mittleren Partikeloberflächenkonzentration	2,85E+12 – 2,61E+13 [nm ² /cm ³]	1,92E+10 – 1,12E+11 [nm ² /cm ³]	9,09E+12 – 1,50E+13 [nm ² /cm ³]
Mittelwert der aus Absaugvolumenstrom und Partikelanzahlkonzentration ermittelten Agglomeratanzahl-Emissionsraten	1,91E+11 – 9,73E+11 [Partikel/s]	1,51E+11 – 5,28E+11 [Partikel/Punkt] 6,88E+11 – 1,89E+12 [Partikel/s Schweißstromzeit]	4,59E+11 – 8,44E+11 [Partikel/s]

Bild 4-8: Überblick über die gemessenen Partikelkenngößen [Quelle: Lenz, K., [16]]

5 Gefährdungsbeurteilung beim Schweißen

Für die Festlegung von Maßnahmen zum Schutz der Gesundheit ist entsprechend § 5 Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) eine Beurteilung der für die Beschäftigten mit ihrer Arbeit verbundenen Gefährdung durchzuführen.

Voraussetzung für die Beurteilung der Gefährdung (siehe auch TRGS 400) sowie für die Auswahl der geeigneten Schutzmaßnahmen (siehe auch TRGS 500) bei jeder Verfahrens-/Werkstoffkombination sind die Kenntnisse über die „Emissionsrate“ und „chemische Zusammensetzung“ des Schweißrauches.

Folgende Faktoren werden in die Gefährdungsbeurteilung einbezogen:

Verfahrensspezifische Faktoren

- Die Schweißverfahren können hinsichtlich der Partikel nach Emissionsraten (mg/s) in vier Klassen (Emissionsklassen 1 bis 4) eingeteilt werden.

Wirkungsspezifische Faktoren

- Die Schweißrauche können hinsichtlich der spezifischen Wirkung ihrer Inhaltsstoffe auf den Körper in drei Klassen (Wirkungsklassen A, B, C) eingeteilt werden.

Die Höhe der Gesundheitsgefährdung (niedrige bis sehr hohe) ist von verfahrens- und wirkungsspezifischen Faktoren abhängig (Bild 5-1).

Eine Zuordnung zu den Schweißrauchklassen anhand von Emissionsraten und Wirkung (A 1 bis C 4) enthält Bild 5-2 auf Seite 60.

Arbeitsplatzspezifische Faktoren

- Dazu gehören insbesondere: räumliche Verhältnisse, Lüftungssituation, Kopf- und Körperposition beim Schweißen.

Bei **mittleren, hohen und sehr hohen Emissionsraten (Emissionsklassen 2 bis 4)** treten im Atembereich des Schweißers – ohne Lüftungstechnische Maßnahmen – **Schadstoffkonzentrationen auf, die mehrfach die Grenzwerte überschreiten.**

Bei **niedrigen Emissionsraten (Emissionsklasse 1)** liegen die Schadstoffkonzentrationen im Atembereich des Schweißers erfahrungsgemäß im Grenzwertbereich oder knapp darunter.

Ohne Lüftungstechnische Maßnahmen und bedingt durch zusätzliche Gegebenheiten am Arbeitsplatz wird in einigen Fällen die Gesundheitsgefährdung erhöht, z. B. in engen Räumen.

Deshalb sind hier neben Überlegungen zur:

1. Auswahl schadstoffarmer Verfahren
 2. Auswahl schadstoffarmer Werkstoffe
- soweit technisch möglich – auch optimale Lösungen für die Lüftungstechnik zu finden und anzuwenden.

Es kann davon ausgegangen werden, dass „keine Gesundheitsgefährdung“ vorliegt, sofern die stoffspezifischen Grenzwerte der im Schweißrauch enthaltenen lungenbelastenden und toxischen Stoffe eingehalten sind. Für krebserzeugende Stoffe steht zunächst das Minimierungsgebot im Vordergrund. Die alten TRK- Werte sind durch Maßnahmen deutlich zu unterschreiten. Auf die Wirksamkeitskontrolle von Schutzmaßnahmen entsprechend Nr. 7 TRGS 400 wird hingewiesen.

Durch die Auswahl wirksamer Lüftungstechnischer Maßnahmen wird die Gesundheitsgefährdung reduziert oder sogar ausgeschlossen.

Die Zuordnung der Gefährdung in der Tabelle im Bild 5-2 erfolgt nach verfahrens- und werkstoffspezifischen Faktoren. Sie dient als Grundlage für die weitere Beurteilung am Arbeitsplatz und Auswahl der jeweiligen Schutzmaßnahmen.

Gefährdung	Schweißrauchklasse
I niedrige Gesundheitsgefährdung	A1
II mittlere Gesundheitsgefährdung	A 2, B 1, C 1
III hohe Gesundheitsgefährdung	A 3, B 2, B 3, C 2, C 3
IV sehr hohe Gesundheitsgefährdung	A 4, B 4, C 4

Bild 5-1: Zuordnung der **Gefährdungen** zu den Schweißrauchklassen [Quelle: Spiegel-Ciobanu, BGI 593 Ausg. 2008 nach [17]]

	Schweißbrauche: Emissionsklassen/ Emissionsraten [mg/s]	Beispiele von Verfahren	Schweißbrauche: Wirkung		
			Wirkungsklasse A	Wirkungsklasse B	Wirkungsklasse C
			Atemwegs- und lungenbelastende Stoffe ¹⁾ z. B.: Fe ₂ O ₃	Toxische oder toxisch- irritative Stoffe ²⁾ z. B.: F, MnO, CuO	Krebserzeugende Stoffe ²⁾ z. B.: Cr(VI), NiO
			Gefährdung	Gefährdung	Gefährdung
1	< 1	z. B. UP ³⁾	I (A 1)	I (B 1)	I (C 1)
	< 1	z. B. WIG ⁴⁾	II (A 1)	II (B 1)	II (C 1)
2	1 bis 2	z. B. Laserstrahlschweißen	III (A 2)	III (B 2)	III (C 2)
3	2 bis 25	z. B. LBH, MAG (Massivdraht)	III (A 3)	III (B 3)	III (C 3)
4	> 25	z. B. MAG (Fülldraht)	IV (A 4)	IV (B 4)	IV (C 4)

I = niedrige Gesundheitsgefährdung II = mittlere Gesundheitsgefährdung
 III = hohe Gesundheitsgefährdung IV = sehr hohe Gesundheitsgefährdung

A 1 bis C 4: Schweißbrauchklassen

¹⁾ Wenn Legierungs- und Umhüllungs-/Füllungskomponenten jeweils < 5 % sind.

²⁾ Wenn Legierungs- und Umhüllungs-/Füllungskomponenten jeweils > 5 % sind.

³⁾ automatisiert

⁴⁾ Siehe BG-Information „Schweißtechnische Arbeiten mit chrom- und nickellegierten Zusatz- und Grundwerkstoffen“ (BGI 855) sowie „BG/BGIA- Empfehlungen für die Gefährdungsbeurteilung nach der Gefahrstoffverordnung: Wolfram-Inertgas-Schweißen (WIG-Schweißen)“ (BGI 790-012)

Bild 5-2: Gefährdungsbeurteilung anhand von Emissionsraten und Wirkung; Zuordnung zu den Schweißbrauchklassen (Spiegel-Ciobanu, BGI 593 Ausg. 2008 nach [17])

5.1 Software der BGHM

Schweißbrauchexposition bewerten

Eine Software zur Bewertung der Schweißbrauchexposition mit Hilfe einer Gefährdungszahl bietet die Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM) jetzt auf ihrer Website an.

Dem Programm liegt das im Fachmagazin „Schweißen und Schneiden“ Ausgabe 09/11 unter dem Titel „Arbeitsschutzregelungen beim Schweißen“ vorgestellte Modell zugrunde. Im Vordergrund steht dabei der technische Vergleich zwischen Verfahren, Werkstoffen und arbeitsplatzspezifischen Faktoren und nicht die arbeitsmedizinisch-toxikologische Bewertung. Gleichzeitig wird deutlich, warum bei manchen schweißtechnischen Arbeiten ein gesundheitliches Restrisiko bestehen bleibt, was das Tragen von Atemschutzgeräten als notwendige ergänzende Schutzmaßnahme unterstreicht.

Die Software führt den Nutzer Schritt für Schritt in die Beschreibung der betreffenden Arbeitsplatzsituation. Dies geschieht

anhand von Gefährdungsgruppen und speziellen Faktoren, die auf der Auswertung zahlreicher Messergebnisse aus Labor und Praxis beruhen und in eine Gefährdungszahl münden. Deren Höhe entscheidet schließlich darüber, welches Schutzmaßnahmen-Paket der beschriebenen Arbeitsplatzsituation zuzuordnen ist. Hier offeriert die Software dem Anwender also maßgeschneiderte Verbesserungsvorschläge. Über wiederholte Berechnungen mit den Faktoren der einzelnen Vorschläge kann der Anwender nun ausloten, welche der angebotenen Verbesserungen ihm den größten Nutzen bringen. Die Bewertung der Schweißbrauchexposition mit Hilfe dieser Software konkretisiert die Anforderungen der GefStoffV und der TRGS 528 sowie die in den BGIen 593 und 616 beschriebenen Vorgehensweisen.

Das Programm steht im Internet unter <http://www.bghm.de> Webcode 802

6 Messverfahren

Die Messung von Schadstoffen am Arbeitsplatz hat das Ziel, ein Bild über die aktuelle Schadstoffsituation zu erhalten, um daraus gegebenenfalls Entscheidungen für Schutzmaßnahmen treffen zu können.

Aus diesem Grund ist es erforderlich, dass die jeweilige Messung so sorgfältig geplant, vorbereitet und durchgeführt wird, dass das Ergebnis diese Situation tatsächlich repräsentiert.

Hierzu wurden im Laufe der Zeit verschiedene Messstrategien entwickelt, die je nach Anforderung an die Aussagekraft des Ergebnisses unterschiedlich aufwendig sind.

Messverfahren für Schadstoffe am Arbeitsplatz bestehen in der Regel aus mehreren Einzelschritten, und zwar:

- Vorbereitung der Probenahme,
- Probenahme,
- Transport und Lagerung der Probe,
- Probenaufbereitung,
- analytische Bestimmung und
- Berechnung des Ergebnisses.

Die Probenahme erfolgt dadurch, dass die Schadstoffe auf einem Probenträger gesammelt werden und dass sie auf dem Probenträger zu einer Veränderung einer vorhandenen Substanz führen.

Die Probenträger können grob eingeteilt werden in:

- Probenträger für Gase (Ozon, Stickstoffoxide, Kohlenmonoxid) und
- Probenträger für partikelförmige Stoffe (Rauche, Stäube).

Die Höhe der Schadstoffkonzentrationen (mg/m^3) am Arbeitsplatz und die entsprechende Belastung des Schweißers werden durch verschiedene Messverfahren ermittelt.

Analog zu den Probenträgern unterscheidet man zwischen:

- Messverfahren für gasförmige Stoffe (Gase) und
- Messverfahren für partikelförmige Stoffe (Rauche, Stäube).

Grundsätzlich werden diese Messungen so vorgenommen, dass eine Beurteilung der Schadstoffkonzentration im Atembereich des Schweißers möglich ist.

6.1 Messverfahren für gasförmige Stoffe

Die personenbezogene Exposition wird im Allgemeinen ermittelt durch (Bild 6-1):

- kontinuierliche Messverfahren mit direktanzeigenden Messgeräten (elektrische Direktanzeigergeräte, Prüfröhrchen [Bild 6-2 auf Seite 60]),
- diskontinuierliche Messverfahren.

Kontinuierliche Messverfahren

Elektrische Direktanzeigergeräte

Durch den Einsatz mobiler IR-Analysatoren zur Bestimmung der CO-Konzentration bzw. direktanzeigender Geräte zur Messung von Stickstoffoxiden und Ozon, die nach dem Chemilumineszenz-Verfahren arbeiten, kann die Höhe und der zeitliche Verlauf eventueller Schadstoffexpositionen direkt vor Ort angezeigt werden. Diese Geräte sind nützlich für Übersichtsmessungen: der zeitlichen Konzentrationsveränderung, des Schichtmittelwertes sowie für Grenzwert-Vergleichsmessungen und periodische Messungen. Für Einsatz und Wartung bedarf es qualifizierter Personen. Auf Querempfindlichkeiten ist zu achten.

Messverfahren	Gase und Dämpfe				
	Ozon (O_3)	Kohlenstoffmonoxid (CO)	Kohlenstoffdioxid (CO_2)	Stickstoffmonoxid (NO) + Stickstoffdioxid (NO_2)	Organische Dämpfe
	0,01 ppm bis 3 ppm	3 ppm bis 500 ppm	500 ppm bis 10%	0,3 ppm bis 250 ppm	—
Elektrische Direktanzeigergeräte	Allgemein verwendungsfähig	Allgemein verwendungsfähig	Allgemein verwendungsfähig	Allgemein verwendungsfähig	Einsetzbar, Nützlichkeit aber begrenzt durch geringe spezifische Wirksamkeit
Prüfröhrchen	Einsetzbar aber nicht empfohlen	Allgemein verwendungsfähig	Allgemein verwendungsfähig	Allgemein verwendungsfähig	Einsetzbar, Nützlichkeit aber begrenzt durch geringe spezifische Wirksamkeit
Indirekte Verfahren mit Laboranalyse	Nicht allgemein anwendbar	Nicht allgemein anwendbar	Nicht allgemein anwendbar	Einsetzbar aber nicht allgemein verwendungsfähig	Allgemein verwendungsfähig

^{*)} DIN EN ISO 10882: Probenahme von partikelförmigen Stoffen und Gasen im Atembereich des Schweißers (Teil 2: Probenahme von Gasen)

Bild 6-1: Messung einzelner Gase und organischer Dämpfe (Auszug aus der DIN EN ISO 10882 *); Anhang B)

Prüfröhrchen

Ein definiertes Luftvolumen wird mittels einer geeigneten Handpumpe bzw. batteriegetriebenen Pumpe durch das geöffnete Röhrchen angesaugt.

Anhand der Verfärbung des Füllpräparates, das spezifisch für einen Schadstoff oder eine Schadstoffgruppe ist, kann die Konzentration abgelesen werden. Es gibt Kurzzeit- und Langzeitröhrchen.

Prüfröhrchen sind sehr nützlich für Übersichtsmessungen des Schichtmittelwertes und weniger für Grenzwert-Vergleichsmessungen oder periodische Messungen.

Diskontinuierliche Messverfahren

Die Probeluft wird mittels elektrisch betriebener Probenahmepumpen durch geeignete Sorptionsröhrchen hindurchgesaugt, so z. B. Aktivkohle- oder Silikagelröhrchen. Die Aufnahmekapazität des Absorbers muss ausreichend groß sein. Probenahmen können sowohl stationär wie personengetragen erfolgen.



Bild 6-2: Direktanzeigende Prüfröhrchen; Einhandgasspürpumpe und Pumpautomat accuro 2000 mit Prüfröhrchen für die Messung von gasförmigen Schadstoffen
[Spiegel-Ciobanu BGI 593 Ausg 2008 nach Dräger]

Die Anwendung von Passivsammlern ist ebenfalls möglich. Eine Auswertung ist ausschließlich im Labor möglich. Diese Verfahren haben getrennte Probenahme- und Analysestufen.

6.2 Messverfahren für partikelförmige Stoffe

Bei Messungen der Konzentration partikelförmiger Schadstoffe unterscheidet man:

- Probenahmesysteme für Messungen an der Person (PAS) mit personenbezogenem Staubsammelgerät und
- Probenahmesysteme für ortsfeste Messung mit stationärem Staubsammelgerät (Bild 6-11 auf Seite 64).

Probenahme an der Person

Die Probenahme mit dem personenbezogenen Staubsammelgerät (Personal Air Sampler = PAS) erfolgt im Atembereich des Schweißers (Bilder 6-3 und 6-4 auf Seite 63) mit einem „Probenahmekopf“ für die einatembare Fraktion, der die partikelförmigen Stoffe auf einem Filter ansammelt.

Mit Hilfe einer Pumpe, die am Schweißer mit einem Gürtel befestigt ist, wird ein bestimmtes Luftvolumen angesaugt. Die Probenahme direkt an der Person (beim Schweißen hinter dem Schweißerschutzschild/-schirm) ist die zweckmäßigere Methode für die korrekte Beurteilung der Belastung des Schweißers am Arbeitsplatz.

Die Ermittlung der Schweißrauchkonzentration erfolgt entsprechend der Norm – meistens mit einem Probenahmekopf, mit dem die einatembare Fraktion (E-Staub siehe Abschnitt 3.1 dieser BG-Information) erfasst wird, z. B. IFA-GSP-System.

Nach der Probenahme und dem Transport des Filters zum Labor erfolgt die quantitative (mg/m^3) und die qualitative (chemische Zusammensetzung) Auswertung der Probe im Labor. Durch Auswiegen und chemische Analyse wird die analytische Bestimmung in der Regel auf die jeweiligen Leitkomponenten beschränkt.

Die europäische/internationale Norm Din EN ISO 10882-1 „Probenahme von partikelförmigen Stoffen und Gasen im Atembereich des Schweißers“ Teil 1 legt die Verfahren zur personenbezogenen Probenahme von partikelförmigen Stoffen beim Schweißen und bei verwandten Verfahren fest.

Laut Norm muss die Probenahmeeinrichtung hinter dem Schweißergesichtsschutz positioniert werden. Sie kann dabei verschiedene Stellungen nehmen: links oder rechts vom Gesicht oder unter dem Kinn. Gemessen wird hier mit dem Probenahmekopf für die E-Fraktion des Staubes.



Bild 6-3: Messung von partikelförmigen Schadstoffen mit Hilfe eines personenbezogenen Staubsammelgerätes (PAS) sowie Prüfung auf gasförmige Schadstoffe mit Hilfe von Prüfröhrchen
[Quelle: Spiegel-Ciobanu, BGI 593 Ausg. 2008, Messtechnik NMBG]



Bild 6-4: Personenbezogene Messung mit PAS für die Ermittlung partikelförmiger Schadstoffe
[Quelle: Spiegel-Ciobanu, BGI 593 Ausg. 2008, Messtechnik NMBG]

Bilder 6-5 bis 6-7: Anordnungsbeispiele für das Anbringen der Probenahmeeinrichtung hinter einem Schweißer-Gesichts-

schutzschirm; Anhang A (informativ) aus der DIN EN ISO 10882-1, siehe Abschnitt 12.3.

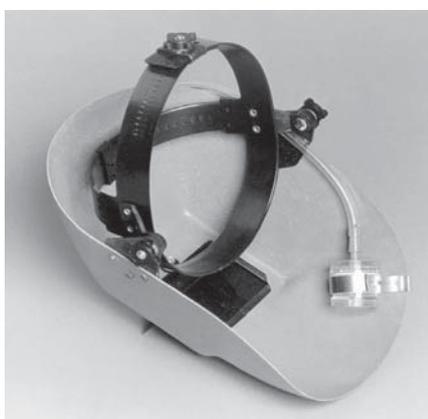


Bild 6-5: Schweißer-Gesichtsschutzschirm mit einer mit abnehmbarer Haltevorrichtung befestigten Probenahmeeinrichtung
[Quelle: Spiegel-Ciobanu, BGI 593 Ausg. 2008, nach DIN EN ISO 10882-1]



Bild 6-6: Schweißer, der eine am Sportler-Stirnband befestigte Probenahmeeinrichtung trägt
[Quelle: Spiegel-Ciobanu, BGI 593 Ausg. 2008, nach DIN EN ISO 10882-1]



Bild 6-7: Schweißer, der eine am Sportler-Stirnband befestigte Probenahmeeinrichtung und einen Schweißer-Gesichtsschutzschirm trägt
[Quelle: Spiegel-Ciobanu, BGI 593 Ausg. 2008, nach DIN EN ISO 10882-1]



Bild 6-8: Probenahmekopf PGP-EA
[Quelle: IFA]



Bild 6-9: Zerlegter Probenahmekopf PGP-EA
[Quelle: IFA]

Probenahmekopf PGP-EA

Der Probenahmekopf PGP-EA ergänzt das vorher genannte Probenahmesystem (PGP) und ermöglicht eine simultane Probenahme der einatembaren und der alveolengängigen Staubfraktion. Das PGP-EA ist für die Bestimmung der Massenkonzentrationen von A- und E-Staub sowie der Elementkonzentrationen im A-Staub beim Schweißen und verwandten Verfahren als Standardverfahren im berufsgenossenschaftlichen Messsystem für Gefahrstoffe (BGMG) einsetzbar.

Wie bei dem Probenahmekopf GSP 3,5 oder GSP 10 wird mit einem Volumenstrom von 3,5 l/min oder 10 l/min die einatembare Staubfraktion (E-Staub) eines Aerosols durch einen Ansaugkegel erfasst. Im Inneren des Probenahmekopfes PGP-EA (mit 3,5 l/min oder mit 10 l/min) wird das Aerosol in zwei Stufen aufgeteilt. Hierzu wird ein offenporiger Polyurethanschaum als gröbenselektives und sammelndes Element zusammen mit einem nachgeschalteten Planfilter eingesetzt. Der Polyurethanschaum ist in seiner Porosität und Geometrie so ausgewählt, dass alveolengängige Staubpartikel entsprechend der Definition der EN 481 durchgelassen werden.

Der Schaum wird in einen ringförmigen Halter eingesetzt, der Planfilter mit 37 mm Durchmesser in die übliche Kapsel in Verbindung mit der Universalaufnahme des PGP-Systems (siehe

Bilder 6-8 und 6-9). Beide Filterelemente sind zusammen in einer Dose zu transportieren, vor Ort in den Probenahmekopf einzusetzen und mit dem speziellen Ansaugkegel an der Filteraufnahme des PGP-Systems zu befestigen.

Die E-Staubkonzentration wird durch Wiegen beider Filterelemente (Schaum und Planfilter), die A-Staubfraktion durch Wiegen nur des Planfilters ermittelt. Die Elementanalytik des Staubes auf dem Planfilter (A-Staub) ist nach den Standardmethoden möglich [22].



Bild 6-10: Schweißerschutzhelm mit integrierten Probenahmeköpfen PGP-EA und GSP für die gleichzeitige Probenahme
[Quelle: Messtechnik BGHM/Fiegehenn]

Stationäre Probenahme

Die Probenahme mit dem stationären Staubsammelgerät (Bild 6-11) erfolgt ortsfest in der Umgebung (Arbeitsbereich) des Schweißers. Die Probenahmeposition im Raum wird so ausgewählt, dass sie zur Bestimmung der allgemeinen Konzentration von Schweißrauch in der Arbeitsplatzatmosphäre geeignet ist und wird auch zusätzlich zur Beurteilung der Lüftungssituation im Raum verwendet.



Bild 6-11: Stationäres Staubsammelgerät (VC 25) für die ortsfeste Probenahme (Messung) partikelförmiger Schadstoffe
[Quelle: Spiegel-Cioabanu, BGI 593 Ausg 2008, Messtechnik NMBG]

7 Beurteilung partikelförmiger Stoffe beim Schweißen und bei verwandten Verfahren

- Bei allen Verfahren mit **unlegierten/niedriglegierten Werkstoffen** (Grund- und Zusatzwerkstoffe), deren Anteile an **Chrom, Nickel, Cobalt, Mangan, Kupfer, Barium, Fluoride** **einzeln niedriger als 5 Gew.%** sind, bei denen keine mutagenen, krebserzeugenden, fibrogenen, toxischen oder allergisierenden Stoffe im Schweißrauch enthalten sind, ist es bei der Beurteilung der Exposition des Schweißers am Arbeitsplatz in den meisten Fällen ausreichend, die Konzentration der Schweißrauche/alveolengängigen Fraktion des Staubes zu ermitteln und mit dem gültigen Grenzwert zu vergleichen.

Der Grenzwert für die A-Fraktion von 3 mg/m³ ist hier die Obergrenze und maßgebend.

Beim thermischen Spritzen sowie bei Mischarbeitsplätzen (Schweißen und Schleifen) kann die einatembare Fraktion (E-Staub) zusätzlich zur alveolengängigen von Bedeutung sein. Hier wird auch die Ermittlung der einatembaren Staubkonzentration empfohlen.

- Bei allen Verfahren mit **hochlegierten Werkstoffen** (Grund- und Zusatzwerkstoffe), deren Anteile an **Chrom, Nickel, Cobalt, Mangan, Kupfer, Barium, Fluoride** **einzeln mindestens 5 Gew.%** betragen, bei denen mutagene, krebserzeugende, fibrogene, toxische oder allergisierende Stoffe im Schweißrauch enthalten sind, sind die Grenzwerte der jeweiligen Leitkomponente im Schweißrauch einzuhalten. Bezüglich der festgelegten Leitkomponenten siehe auch die Bilder 3-2 a bis 3-2 e und Bilder 3-6 bis 3-8 auf den Seiten 40 - 51 dieser BG-Information.

Die Konzentration der Schweißrauche ergibt sich aus der Einhaltung des Grenzwertes der Leitkomponente und ist entsprechend abhängig von

- Verfahren und Werkstoffen,
- der chemischen Zusammensetzung der Schweißrauche und
- der Konzentration der Leitkomponente im Schweißrauch sowie ihrem Grenzwert.

In diesem Fall liegt die Schweißrauchkonzentration unterhalb von 3 mg/m³ A.

Der Grenzwert für die A-Fraktion ist hier nicht ausreichend, sondern der Grenzwert der jeweiligen Leitkomponente steht hier im Vordergrund (siehe Beispiele in Bild 7-1).

- Bei allen Verfahren, bei denen in bestimmten Bereichen, wie engen Räumen (z. B. Kessel, Behälter, Schiffs-Doppelbodenzellen) sowie anderen Bereichen mit geringem/ungenügendem Luftaustausch, eine Einhaltung des aktuellen Luftgrenzwertes für Schweißrauche bzw. alveolengängige Fraktion des Staubes – trotz lüftungstechnischer Maßnahmen – nicht möglich ist, sind zusätzliche Schutzmaßnahmen (z. B. organisatorische Maßnahmen und Einsatz persönlicher Schutzausrüstungen) notwendig [18].

Die Einhaltung des Grenzwertes für die Leitkomponente – dementsprechend die Einhaltung der berechneten Schweißrauchkonzentration nach „Health and Safety Executive“ mit der Formel:

$$SRK = \frac{100 \cdot GW}{C}$$

wobei

- GW = stoffspezifischer Grenzwert, mg/m³
- C = Anteil (%) der Leitkomponenten im Schweißrauch
- SRK = Schweißrauchkonzentration, mg/m³

– bedeutet zugleich auch die Grenzwert-Unterschreitung aller im Schweißrauch enthaltenen Stoffe. Siehe auch BGI 616, [18].

Für krebserzeugende Stoffe, die zurzeit keinen AGW haben, gilt entsprechend der GefStoffV das Minimierungsgebot. Als Obergrenzen für die gemessenen Konzentrationen können die alten TRK, die den Stand der Technik für 2005 beschreiben, herangezogen werden.

Soweit neue Richtwerte, die den Stand der Technik z. B. nach TRGS 528, beschreiben, festgelegt und publiziert sind (z. B. für Chrom(VI)- Verbindungen/Nickeloxid), sind diese als Obergrenze für die jeweiligen Konzentrationen heranzuziehen (siehe Beispiel).

Verfahren	Erste Leitkomponente	GW der Leitkomponente oder Wert nach dem Stand der Technik	Schweißrauchkonzentration bei Einhaltung des Grenzwerts der Leitkomponente
Lichtbogenhandschweißen mit hochlegierten (18% Cr und 8% Ni) umhüllten Stabelektroden (hier: mit 6% Cr(VI) im SR)	Cr(VI)-Verb.	0,03 mg/m³	0,5 mg/m³
Metall-Inertgasschweißen mit Nickelbasis (66% Ni) (hier: mit 50% Ni im SR)	NiO	0,5 mg/m³	1,0 mg/m³
Metall-Schutzgasschweißen mit niedriglegierten selbstschützenden Fülldrahtelektroden (hier: mit 20 % Mn im SR)	Manganoxide	0,5 mg/m³	2,5 mg/m³

Bild 7-1: Beispiele [Quelle: Spiegel-Ciobanu, BGI 616, Ausg. 2005 [18]]

8 Ermittlung und Beurteilung der Schadstoffkonzentration

Bei der Ermittlung der Exposition des Schweißers gegenüber Schweißrauch und Vergleich mit dem Luftgrenzwert für Schweißrauche (zurzeit Luftgrenzwert für die A-Fraktion des Staubes) muss die Probenahme hinter dem Schweißerschutzschild bzw. -schirm durchgeführt werden. Dies gilt auch für enge Bereiche, wie Behälter, Kessel oder Schiffs-Doppelbodenzellen (siehe auch Abschnitt 5 Messverfahren).

Wenn – in Ausnahmefällen – die Probenahme von Schweißrauch nur außerhalb des Schweißerschutzschirms (vor oder neben dem Schutzschild bzw. -schirm) möglich ist, dann gibt die dabei gemessene Schadstoffkonzentration, trotz Vergleichs mit dem jeweiligen Grenzwert, keine Auskunft über die Exposition des Schweißers. In diesem Fall kann nur eine Aussage zur unmittelbaren Lüftungssituation gemacht werden.

Zur Ermittlung und Beurteilung der Schadstoffkonzentration am Arbeitsplatz wird die TRGS 402 herangezogen.

Darin wird die Vorgehensweise zur Ermittlung der inhalativen Exposition, die Expositionsbeurteilung sowie die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen beschrieben.

Die Ermittlung der Exposition kann sowohl durch Arbeitsplatzmessungen als auch durch gleichwertige Ermittlungsmethoden erfolgen. Die Beurteilung der Exposition erfolgt bei Stoffen mit AGW durch Vergleich mit den Grenzwerten; bei Stoffen ohne AGW sind andere Kriterien genannt, z. B. VSK-, BG-/IFA-Empfehlungen; so z. B. BG-/IFA-Empfehlung bei bestimmten Weichlötarbeiten mit elektrisch beheizten LötKolben an elektrischen und elektronischen Baugruppen oder deren Einzelkomponenten (Kolbenlötten).

Bezüglich der „Bewertung von Stoffgemischen in der Luft am Arbeitsplatz“ beim Schweißen und bei verwandten Verfahren, wird auf das „Vereinfachte Bewertungsverfahren anhand von Leitkomponenten“ verwiesen (siehe auch Abschnitt 3 dieser BG-Information).

Wird (werden) der/die für die Leitkomponente(n) geltende(n) Grenzwert(e) oder die Werte nach dem Stand der Technik (z. B. Cr(VI), Ni) im Atembereich des Schweißers eingehalten, liegen die Konzentrationen aller anderen Schadstoffe im Schadstoffgemisch unterhalb ihrer jeweiligen Grenzwerte.

Der Befund der Beurteilung bezieht sich auf „Schutzmaßnahmen ausreichend/nicht ausreichend“. Die Wirksamkeitskontrolle der Schutzmaßnahmen wird zur Befundsicherung herangezogen.

9 Schadstoffsituationen am Arbeitsplatz

9.1 Exposition gegenüber Schweißrauch

Eine Auswertung der von den Metall-Berufsgenossenschaften vorgenommenen Messungen über Schweißrauchexpositionen an Arbeitsplätzen bezüglich der Einhaltung

- des damaligen Grenzwertes für den alveolengängigen Anteil des Staubes von 6 mg/m^3 und

- des Schweißrauch-Richtwertes für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen von 3 mg/m^3

ist in Bild 9-1 dargestellt.

Verfahren	Probenahme: an der Person (PAS)						Probenahme: stationär					
	mit Erfassung			ohne Erfassung			mit Erfassung			ohne Erfassung		
	Anzahl der Messdaten	Überschreitungshäufigkeit bei		Anzahl der Messdaten	Überschreitungshäufigkeit bei		Anzahl der Messdaten	Überschreitungshäufigkeit bei		Anzahl der Messdaten	Überschreitungshäufigkeit bei	
		6 mg/m^3 ³⁾	3 mg/m^3 ⁴⁾		6 mg/m^3 ³⁾	3 mg/m^3 ⁴⁾		6 mg/m^3 ³⁾	3 mg/m^3 ⁴⁾		6 mg/m^3 ³⁾	3 mg/m^3 ⁴⁾
	%	%		%	%		%	%		%	%	
Lichtbogenhandschweißen ²⁾	386	19	38	186	49	73	45	4	8	41	4	19
MAG- Schweißen	741	31	58	544	69	83	187	5	16	110	14	29
MIG- Schweißen	250	22	43	176	43	68	58	2	23	52	7	24
WIG- Schweißen	149	5	10	182	5	15	39	0	1	35	4	9
Th. Schneiden (Brenn-, Plasma-, Laserstrahlschneiden)	66	14	23	18	52	69	33	0	11	13	18	26
Th. Spritzen (Flamm-, Lichtbogen-, Plasmaspritzen)	40	14	29	1	0	0	28	15	19	0	—	—

¹⁾ Schweißrauch = Feinstaub = Gesamtstaub (siehe auch Abschnitt 3.1)

²⁾ mit umhüllten Stabelektroden

³⁾ 6 mg/m^3 = Grenzwert für den alveolengängigen Anteil des Staubes im Zeitraum 1986–1996

⁴⁾ 3 mg/m^3 = Richtwert für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen nach BGI 504-39 „Schweißrauche“

Bild 9-1: Exposition gegenüber Schweißrauch ¹⁾, Datenzeitraum 1986 bis 1996
 [Quelle: Spiegel-Ciobanu, BGI 593 Ausg 2008, in Anlehnung an MEGA-Auswertung, BGIA]

9.2 Exposition gegenüber Chrom(VI)-Verbindungen und Nickeloxid

Ergebnisse aus Forschungsvorhaben und Arbeitsplatzmessungen bei der Be- und Verarbeitung von Chrom-Nickel-Stählen und von Nickel und Nickelbasislegierungen ohne lüftungstechni-

sche Maßnahmen oder bei nicht ausreichender Wirksamkeit von lüftungstechnischen Maßnahmen zeigen die in Bild 9-2 dargestellte Situation.

Verfahren	Exposition gegenüber Chrom(VI)-Verbindungen bei Chrom- und Chrom-Nickel-Stählen		Exposition gegenüber Nickeloxid bei			
			Chrom-Nickel-Stählen		Nickel und Nickellegierungen	
	Überschreitung von 0,1/0,05 ¹⁾	Unterschreitung von 0,1/0,05 ¹⁾	Überschreitung von 0,5 ²⁾	Unterschreitung von 0,5 ²⁾	Überschreitung von 0,5 ²⁾	Unterschreitung von 0,5 ²⁾
Lichtbogenhandschweißen mit umhüllten Stabelektroden	immer	–	–	fast immer	–	fast immer
MAG-Schweißen mit Massivdraht	–	häufig	–	häufig	fast immer	–
MAG-Schweißen mit Fülldraht	häufig	–	–	fast immer	–	–
MIG-Schweißen	–	–	–	–	fast immer	–
WIG-Schweißen	–	immer	–	immer	–	fast immer
Plasmaschmelzschnitten	häufig	–	immer	–	immer	–
Laserstrahlschnitten	häufig	–	immer	–	immer	–
Thermisches Spritzen	häufig	–	immer	–	immer	–

¹⁾ Orientierungswert für Chrom(VI)-Verbindungen nach dem Stand der Technik Dezember 2004 (0,1 mg/m³ bei Lichtbogenhandschweißen; 0,05 mg/m³ bei allen anderen Verfahren).

²⁾ Orientierungswert für Nickeloxid nach dem Stand der Technik Dezember 2004.

Bild 9-2: Exposition gegenüber Chrom(VI)-Verbindungen und Nickeloxid
[Quelle: Spiegel-Ciobanu, BGI 593 Ausg. 2008]

10 Schadstoffabwehrmaßnahmen

Um die Gesundheitsgefährdung des Schweißers durch Schadstoffe am Arbeitsplatz zu minimieren, sind entsprechend der GefStoffV, konkretisiert auch durch die TRGS 500, technische, organisatorische und in bestimmten Situationen auch persönliche Schutzmaßnahmen zu treffen. Die Effektivität der umgesetzten Schutzmaßnahmen ist lt. GefStoffV, TRGS 528 und TRGS 500 durch die Wirksamkeitskontrolle zu überprüfen.

Da die Höhe der Emissionsraten von einer Reihe von Faktoren beeinflusst (siehe Abschnitt 1.4) und darüber hinaus die Schadstoffkonzentration am Arbeitsplatz von arbeitsplatzspezifischen Faktoren (siehe Abschnitt 4) bestimmt wird, wird empfohlen, die Schutzmaßnahmen entsprechend dem Stand der Technik nach Bild 10-1 umzusetzen.

Zur Einhaltung der Grenzwerte und zur Absenkung der Expositionen an den Arbeitsplätzen ist ein Präventionskonzept entwickelt worden. Das Präventionskonzept hat folgende Schwerpunkte zum Inhalt (siehe auch Anhang):

10.1 Technische Schutzmaßnahmen

Die nachfolgend aufgeführten technischen Schutzmaßnahmen sind einzeln oder in Kombination zu wählen.

10.1.1 Auswahl schadstoffarmer Verfahren

- Beim Lichtbogenhandschweißen von Chrom-Nickel-Stahl werden hochlegierte umhüllte Stabelektroden verwendet. Bei diesem Verfahren entstehen hohe Rauchmengen, die sechswertige – krebserzeugende – Chromverbindungen (hier: Chromate) in kritischen Konzentrationen enthalten. Es bietet sich die Möglichkeit an, auf Metall-Aktivgas-schweißen (MAG) umzustellen. Beim MAG-Schweißen mit Massivdraht bilden sich zwar insgesamt mehr Chromverbindungen, jedoch weit überwiegend in der dreiwertigen Form (nicht krebserzeugend), kaum in der sechswertigen Form (krebserzeugend).

Verfahren	Schweißzusatzwerkstoff bzw. Werkstoff	Schweißrauch in mg/m ³	Chrom (VI)-Verb. in mg/m ³	Nickel u. s. Verb. in mg/m ³	Ozon in mg/m ³	Stickoxide in mg/m ³
Gasschweißen (Autogenschweißen)	unlegierte, niedrig leg. Stähle	partikelförmige Emissionen nicht relevant			Nicht angebar ¹⁾	Nicht angebar ¹⁾
LBH	unlegierte, niedrig leg. Stähle	≤ 3 (A) ≤ 10 (E)	Nicht relevant		Nicht angebar ¹⁾	Nicht angebar ¹⁾
	hoch legierte Stähle	≤ 3 (A) ≤ 10 (E)	≤ 0,03 (E)	≤ 0,05 (E)		
MAG / MIG	unlegierte, niedrig leg. Stähle	≤ 3 (A) ≤ 10 (E)	Nicht relevant		≤ 0,2	Nicht angebar ¹⁾
	hoch legierte Stähle	≤ 3 (A) ≤ 10 (E)	≤ 0,02 (E)	≤ 0,1 (E)		
UP-Schweißen		≤ 1 (A)	Nicht relevant		Nicht relevant	
WIG-Schweißen ²⁾		≤ 1 (A) ≤ 2 (E)	≤ 0,01 (E)	≤ 0,01 (E)	≤ 0,1	Nicht angebar ¹⁾
Widerstandsschweißen		≤ 2 (A) ≤ 4 (E)	Nicht relevant		Nicht relevant	
Thermisches Spritzen (Flamm-, Lichtbogen-, Plasmaspritzen)		≤ 2 (A) ≤ 10 (E)	≤ 0,01 (E)	≤ 0,05 (E)	Nicht angebar ¹⁾	Nicht angebar ¹⁾
Brennschneiden		≤ 3 (A) ≤ 10 (E)	Nicht relevant		Nicht angebar ¹⁾	NO: ≤ 2,5 NO ₂ : ≤ 2

¹⁾ Stand der Technik nicht angebar, da Daten zur Festlegung eines Wertes nicht in ausreichender Menge vorliegen. Es gilt Nummer 5.1 Abs. 9.

²⁾ Siehe auch BGI 790-012

³⁾ Branchen- und arbeitsplatzspezifische Abweichungen sind möglich.

⁴⁾ Für die Angaben in Tabelle 2 gilt folgende Voraussetzung: Es finden weniger als 5% expositionsrelevante Nebenarbeiten wie Schleifen, Trennen, Putzen, Polieren statt.

Bild 10-1: Stand der Technik aus Expositionsdaten bei schweißtechnischen Arbeiten^{3,4}

Die Angaben beziehen sich auf Arbeitsplätze mit Schweißrauchabsaugung. [Quelle: Tabelle 2 TRGS 528]



Bild 10-2: WIG-Schweißen, ein schweißraucharmes Verfahren
[Quelle: Spiegel-Ciobanu, BGI 593 Ausg.2008]



Bild 10-3: Unterpulverschweißen, ein schadstoffarmes Verfahren
[Quelle: Spiegel-Ciobanu, BGI 593 Ausg.2008]

- Im Vergleich zum Lichtbogenhandschweißen, Metall-Aktivgasschweißen (MAG) und Metall-Inertgasschweißen (MIG) entwickelt sich beim Wolfram-Inertgasschweißen (WIG) wesentlich weniger Rauch (Bild 10-2). Das WIG-Verfahren kann daher als schadstoffarmes Verfahren bezeichnet werden. Es empfiehlt sich gerade bei der Bearbeitung von Werkstoffen, die viel Chrom und Nickel enthalten.
- Beim Unterpulverschweißen wird der Schweißprozess unter einer Pulverschicht durchgeführt (Bild 10-3). Dadurch entstehen nur geringe Schadstoffmengen. Außerdem ist der Bediener verfahrensbedingt in der Regel nicht so nahe an der Schweißstelle. Aus diesen Gründen empfiehlt sich anstelle von anderen Lichtbogenschweißverfahren – wo technisch machbar – das Unterpulverschweißen.
- Impulsbetrieb beim Schutzgasschweißen (Impulsschweißen) führt zur Senkung der Schweißrauchemission von 50 % bis zu 90 %.

- Die Anwendung der energiereduzierten Kurzlichtbogen-Verfahren wie in den Grafiken (Bilder 10-4 und 10-5 auf Seite 71) gezeigt wird, führen zu einer deutlichen Reduzierung der Emissionswerte.

Die Messwerte beziehen sich auf eine einheitliche Abschmelzleistung von 4 m/min G3Si1 Ø 1,2 mm. Die verwendeten Schutzgase sind in ihrer chemischen Zusammensetzung und nach der Nomenklatur der DIN EN ISO 14175 (Schweißzusätze – Gase und Mischgase für das Lichtbogenschweißen und verwandte Prozesse) angegeben.

- Der ColdArc® -Prozess entwickelt bei gleicher Abschmelzleistung deutlich weniger Emissionen als der Kurzlichtbogenprozess. Die Reduzierung der Schweißrauchemission beträgt bis zu 75 %.
- Laserstrahlbrennschneiden von unlegiertem und niedriglegiertem Stahl führt zu niedrigeren Schadstoffemissionen als autogenes Brennschneiden.
- Laserstrahlhochdruckschneiden (mit N₂) anstelle von Laserstrahlbrennschneiden (mit O₂). Beim Laserstrahlhochdruckschneiden können die Schadstoffemissionen bei gleichem Werkstoff und gleicher Blechdicke um den Faktor 2 bis 15 geringer sein als beim Laserstrahlbrennschneiden.
- Flamspritzen sollte, soweit möglich, dem Lichtbogenspritzen wegen der geringeren partikelförmigen Schadstoffemission vorgezogen werden. Demgegenüber steht hier die Gefahr durch nitrose Gase, die nicht zu vernachlässigen ist.

10.1.2 Auswahl schadstoffarmer Werkstoffe

- Die beim Lötten entstehenden Rauche und die damit zusammenhängende Belastung können durch eine sorgfältige Auswahl von Werkstoffen (z. B. niedrigschmelzende hoch silberhaltige Lote) verringert werden. Besondere Aufmerksamkeit ist beim Hartlöten mit Nickelbasisloten und cadmiumhaltigen Loten (aufgrund der krebserzeugenden Wirkung von Cadmium- oder Nickeloxid) geboten. Insbesondere ist zu prüfen, ob im Einzelfall Nickelbasislote und cadmiumhaltige Lote nicht durch weniger gefährliche Lote ersetzt werden können.
- Schadstoffarme Werkstoffe, z. B. die Anwendung hochlegierter Stabelektroden beim Lichtbogenhandschweißen oder von Fülldrähten beim Schutzgasschweißen, die geringere Anteile an Chrom(VI)-Verbindungen im Schweißrauch emittieren.

Die Auswahl von Zusatzwerkstoffen, die geringe Anteile an Kalium-, Calcium-, oder Natrium-Wassergläser als Bindemittel enthalten und stattdessen z. B. Lithium-Wassergläser verwenden, reduziert den Anteil an Chrom(VI)-Verbindungen im Schweißrauch um etwa 30-50%.

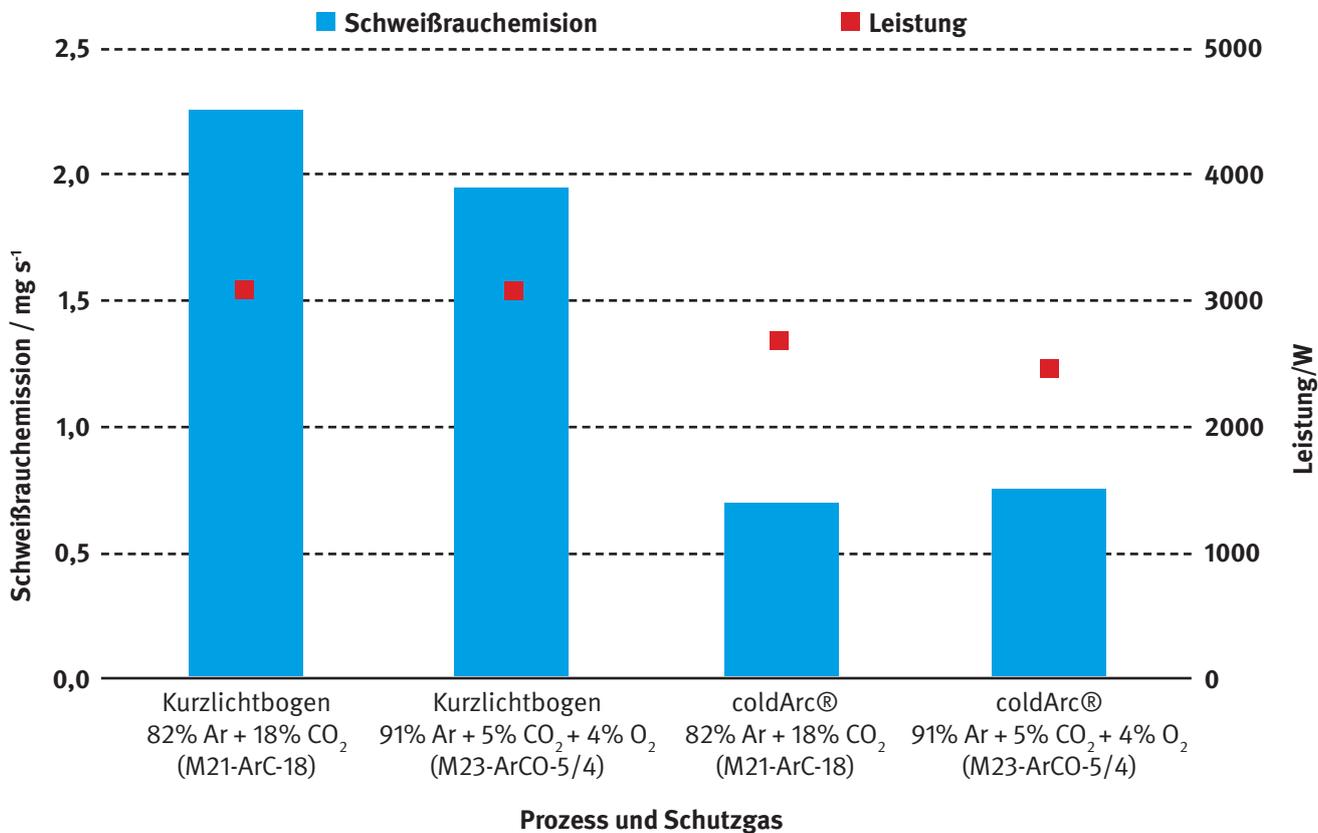


Bild 10-4: Vergleich ColdArc® -Kurzlichtbogen (4 m/min)
[Quelle: Rose, S., [26]]

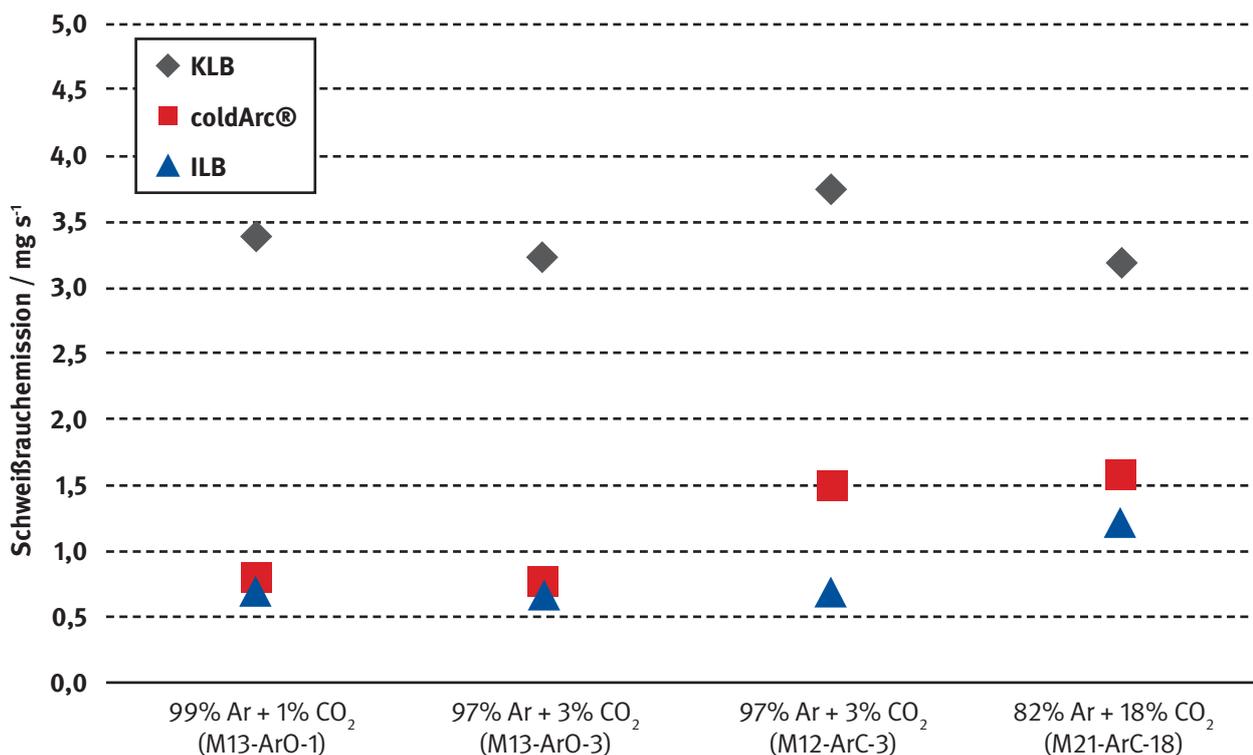


Bild 10-5: Vergleich ColdArc® -Kurzlichtbogen-Impulslichtbogen; Einfluss des Schutzgases auf die Schweißrauchemission
[Quelle: Rose, S., [26]]

10.1.3 Optimierung der Arbeitsbedingungen

Die Entstehung der Schadstoffe und ihr Eindringen in den Atembereich können durch die Wahl günstiger Schweißparameter (Bild 10-6) und durch die Verbesserung der übrigen Arbeitsbedingungen verringert werden.

10.1.3.1 Wahl günstiger Schweißparameter

Die Wahl günstiger Schweißparameter kann wesentlich zur Schadstoff-Minimierung beitragen. Erhöhte Werte der Schweißspannung, der Schweißstromstärke und der Schutzgasmenge sind zu vermeiden.

10.1.3.2 Verwendung thoriumoxidfreier Wolframelektroden beim WIG-Schweißen

Thoriumoxidfreie Wolframelektroden für das WIG-Schweißen mit andersartigen Oxidzusätzen (z. B. cer- oder lanthanhaltige) sind bereits in DIN EN 26848 genormt und verfügbar.

10.1.3.3 Wahl günstiger Parameter beim Laserstrahlaufragschweißen

Beim Laserstrahlaufragschweißen kann eine Minimierung der Schadstoffe erfolgen durch

- möglichst niedrige Energie pro eingebrachtem Pulver unter Berücksichtigung des Prozessergebnisses und
- optimale Auswahl der Pulver hinsichtlich der Korngrößenverteilung.

10.1.3.4 Wahl günstiger Parameter beim Laserstrahlschneiden

Beim Laserstrahlschneiden kann eine Minimierung der Schadstoffe im Rahmen der optimalen Parameter erfolgen durch

- niedrigere Laserstrahlleistung,
- kurze Linsenbrennweite bei Dünnblechen und
- geringen Schneiddruck.

10.1.3.5 Oberflächenzustand des Werkstückes

Bei Schweiß- oder Schneidarbeiten an oberflächenbeschichteten Werkstücken entstehen aus der Beschichtung weitere Schadstoffe, die durch folgende Maßnahmen vermieden werden können:

- Beschichtungsdicken auf 15 bis 20 µm begrenzen,
- Beschichtungen im Schweißbereich entfernen und
- Verunreinigungen auf der Werkstückoberfläche (z. B. Öle, Fette, Lacke, Lösemittelreste) mit Reinigungsmittel entfernen.

10.1.3.6 Körperhaltung des Schweißers

Der Arbeitsplatz des Schweißers und die Positionierung des Werkstückes sollen so sein, dass

- der waagerechte Abstand zwischen der Schweißstelle und dem Kopf des Schweißers möglichst groß ist und
- der senkrechte Abstand möglichst klein ist.

Damit werden die mit der Thermik aufsteigenden Schadstoffe aus dem Atembereich des Schweißers weitgehend ferngehalten.

Parameter \ Verfahren	Autogentechnik	Lichtbogenhandschweißen	MAG-/MIG- Schweißen
Brennergröße	klein		
Sauerstoffverbrauch	begrenzt		
Flammenlänge	klein		
Schneidgeschwindigkeit (mm/s)	niedrig		
Schweißspannung		niedrig ^{*)}	niedrig ^{*)}
Schweißstromstärke		niedrig ^{*)}	niedrig ^{*)}
Lichtbogenlänge		klein	
Schutzgaszusammensetzung			höhere Anteile von Edelgas (z. B. Ar)
Schutzgasdurchfluss			niedrig ^{*)}

^{*)} unter Berücksichtigung von Herstellerangaben

Bild 10-6: Wahl günstiger Parameter bei verschiedenen Verfahren [Quelle: Spiegel-Ciobanu, BGI 593 Ausg. 2008]

10.1.4 Technische Schutzeinrichtungen

Zur Verminderung der Schadstoffemission und -immission können spezielle technische Schutzeinrichtungen verwendet werden.

10.1.4.1 Brenner-Ablegeeinrichtung mit Gasabspernung

An ortsfesten Arbeitsplätzen der Autogentechnik besteht die Möglichkeit, Brenner-Ablageeinrichtungen zu verwenden, die mit selbsttätig wirkenden Gasabspernungen ausgerüstet sind. Dadurch wird während der Arbeitspausen die Bildung größerer Mengen von nitrosen Gasen vermieden.

10.1.4.2 Wasserschutzvorrichtungen beim Plasmaschmelzschnitten (mit Wasservorhang/Luft-Wasser-Dusche oder Wasserschutzglocke)

Das Plasmaschmelzschnitten mit Wasservorhang kommt in der Praxis meistens in Verbindung mit einem Wasser-Schneidtablett und einem Wasserinjektionsschneidbrenner zur Anwendung. Die Schadstoffemission wird dadurch zwar reduziert, jedoch nicht vermieden.

10.1.4.3 Wasserabdeckung beim Plasmaschmelzschnitten

Das Plasmaschmelzschnitten unter Wasserabdeckung wird heute mit zahlreichen kleineren und größeren Anlagen durchgeführt. Durch dieses Verfahren reduzieren sich Schadstoffemission und Schallemission ganz wesentlich.

Je nach Anwendungsfall (Blechdicke, Werkstoffart) können die partikelförmigen Schadstoffemissionen bei vergleichbaren Schneidaufgaben bis zum 500-fachen reduziert werden. Die Emission von Gasen, besonders nitrosen Gasen (beim Plasmaschneiden mit Argon/Stickstoff/Wasserstoff als Plasmagas) ist etwa um die Hälfte verringert.

10.1.4.4 Brennschnitten und Plasmaschmelzschnitten auf der Wasseroberfläche

Das Blech wird auf der Wasseroberfläche eines Schneidbeckens platziert. Um den Brenner kann eine konzentrische Absaugung installiert werden, wodurch sich die Schadstoffemissionen verringern.

Ein Vergleich zwischen Plasmaschneiden in der Atmosphäre, Plasmaschneiden über Wasserbad und Plasmaschneiden unter Wasser zeigt folgende Emissionsverminderung:

für Staub = 100:10:1
für NO_x = 4 : 2 : 1

10.1.4.5 Wasserabdeckung beim Brennschnitten

Untersuchungen zum Brennschnitten mit Wasserabdeckung haben eine drastische Verringerung der Schadstoffemissionen im Vergleich zum Brennschnitten an Atmosphäre gezeigt:

- die partikelförmigen Emissionen werden um mehrere Größenordnungen verringert,
- auch die Emission gasförmiger Schadstoffe verringert sich ganz erheblich.

10.1.4.6 Arbeiten in geschlossenen Kabinen

Thermisches Spritzen wird in geschlossenen Kabinen empfohlen, möglichst automatisiert (Bedienpersonal außerhalb).

Plasmaspritzen in geschlossenen Kabinen ist heute Stand der Technik (Bild 10-7).

Auch bei der Lasermaterialbearbeitung wird eine Einhausung des Bearbeitungsbereiches empfohlen. Nach dem Stand der Technik sind Anlagen zum Laserstrahlschweißen und -schneiden eingehaust und schützen somit vor der Laserstrahlung und vor Schadstoffen.



Bild 10-7: Geschlossene Kabine zum Plasmaspritzen
[Quelle: Spiegel-Ciobanu, BGI 593 Ausg.2008]

10.1.5 Lüftung

Die praxisbezogenen Erfahrungen zeigen, dass die Lüftung häufig die einzige Möglichkeit zur Schadstoffminimierung ist.

a) Freie Lüftung (natürliche Lüftung)

Hier erfolgt der Luftaustausch zwischen Raumluft und Außenluft durch den Druckunterschied infolge Wind oder Temperaturdifferenzen zwischen außen und innen.

Der Luftaustausch erfolgt über Fenster, Türen, Dachreiter usw. Freie Lüftung kann nur bei geringem Gefährdungsgrad (bestimmt durch Menge, Konzentration, Schadstoffart) als Lösung dienen.

Als Beispiel dient WIG-Schweißen mit thoriumoxidfreien Wolframelektroden kurzfristig.

b) Technische (maschinelle) Lüftung

Als technische (maschinelle) Lüftung wird der Luftaustausch zwischen Raumluft und Außenluft durch Strömungsmaschinen (z. B. Ventilatoren oder Gebläse) bezeichnet.

Um eine wirksame technische Lüftung in Räumen oder Hallen zu erreichen, muss z. B. beim Schweißen – Thermik der Schadstoffe von unten nach oben – die Luftführung so ausgewählt werden, dass im oberen Raumbereich Abluft abgeführt wird, während die Zuluft unten einströmt.

10.1.5.1 Absaugung

Bei Verfahren der Schweißtechnik, bei denen mit hohen Schadstoffkonzentrationen und/oder mit kritischen Stoffen in der Luft am Arbeitsplatz gerechnet werden muss, ist der Einsatz von Absaugeinrichtungen (Bild 10-8) zum direkten örtlichen Erfassen der entstehenden Schadstoffe die wirksamste Schutzmaßnahme. Hier sind alle Verfahrens-/Werkstoff-Kombinationen zu erwähnen, von denen erfahrungsgemäß eine mittlere, hohe und sehr hohe Gefährdung (siehe Abschnitt 5 dieser BG-Information) ausgeht.

Ziel ist die möglichst weitgehende Erfassung und sichere Ableitung der Schadstoffe sowie ein hoher Wirkungsgrad des Filtersystems.



Bild 10-8: Beispiel einer stationären Absaugung
[Quelle: Spiegel-Ciobanu, BGI 593 Ausg.2008, Bild Fa. KEMPER]

Das Erfassungselement ist für die Effektivität der Absaugung entscheidend (Bild 10-9 auf Seite 75).

Die Auswahl der Form, die korrekte Dimensionierung und Anordnung der Erfassungselemente muss der thermisch bedingten Bewegung der Schweißrauch und deren Menge entsprechen und ist von der jeweiligen Arbeitssituation abhängig (siehe Richtlinie DVS/VDI 6005).

Das Erfassungselement muss immer in der Nähe des Entstehungsbereiches der Schadstoffe angebracht werden, so dicht wie möglich.

Bei flexiblen Erfassungselementen spielt die Bereitschaft des Schweißers zur richtigen Positionierung eine große Rolle.

Erfassungselemente mit Flansch sind effektiver als die bisherigen konventionellen Formen ohne Flansch (Bild 10-10 auf Seite 76).

Untersuchungen auf dem Prüfstand zeigen, dass bereits das Nachrüsten von Trichterhauben mit einem 50 mm breiten Flansch eine um etwa 10 % erhöhte Saugreichweite in alle Richtungen bzw.



Bild 10-9: Metall-Schutzgasschweißen (MIG/MAG) mit Absaugung
[Quelle: Fa. KEMPER]

einen um etwa 20 % reduzierten Luftmengenbedarf ermöglichen kann ¹⁾.

Bei der Abscheidung von Schadstoffen spielen die eingesetzten Filtersysteme eine entscheidende Rolle.

Die Auswahl dieser Filtersysteme ist neben anderen Faktoren auch von der chemischen Zusammensetzung der Schadstoffe abhängig.

Für die Filtration von metallischen Stäuben können selbstabreinerbare (mit Druckluft gereinigte) Oberflächenfilter empfohlen werden.

Die Abscheidung von Gasen und insbesondere von organischen Komponenten ist äußerst schwierig und muss dem Einzelfall (Prozess, Werkstoff) angepasst werden. Die Absaugeinrichtungen erfordern eine wirksame Ausfilterung der Schadstoffe für den Umluftbetrieb und für die Umwelt. Verschiedene Filtersysteme – mechanische, elektrostatische – stehen zur Verfügung.

Die zur Auswahl stehenden **Absaugeinrichtungen** lassen sich unterscheiden in

- stationäre Absauganlagen und
- mobile Absauggeräte.

Die **stationären Absauganlagen** eignen sich für wiederkehrende schweißtechnische Arbeiten an ortsfesten Stellen (z. B. Serienproduktion). Durch Rohrleitungen wird die erfasste Luft

nach außen geleitet (z. B. in einem größeren zentralen System). Die Erfassungselemente sind je nach Aufgabe starr angeordnet oder mit flexiblen Schläuchen nachführbar.

Es gibt unterschiedliche Bauformen für diese Anlagen. Schneidische werden in der Regel mit unterer Absaugung ausgeführt. Hier wirkt die Untertischabsaugung der Thermik den Schadstoffen entgegen. Zusätzlich kann eine Absaugung nach hinten oben angebracht werden. Absaugtische an Brenn- oder Plasmaschneidanlagen sollen sektionsweise wirken und sich dann auf den jeweiligen Schweißrauchentstehungsbereich konzentrieren.

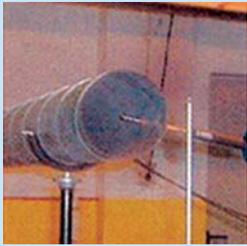
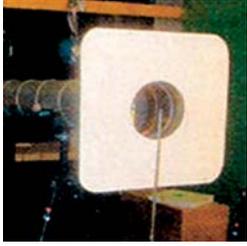
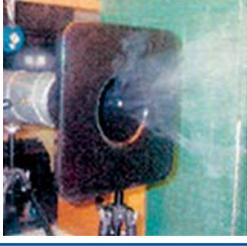
Beispiel:

Beim Laserstrahlschweißen mit Untertischabsaugung und optimalem Raumlufwechsel wird der AGW für die alveolengängige Fraktion des Staubes (Feinstaub) um das 10-fache unterschritten. Dadurch kann eine dauerhaft sichere Einhaltung dieses Grenzwertes erreicht werden.

Kabinen mit Absaugung zum Schweißen und thermischen Spritzen:

Kabinen mit integrierter Absaugung haben sich in der Praxis gut bewährt. Der Arbeitsbereich wird von den Kabinenwänden möglichst eng umschlossen. Die durch die Kabinenöffnung einströmende Raumluft wird auf der gegenüberliegenden Kabinenwand abgesaugt. Innerhalb dieser Kabinen sollten die Schadstoffe durch spezielle Erfassungseinrichtungen unmittelbar an der Entstehungsquelle erfasst und abgeführt werden.

¹⁾ Siehe auch: „Gesund und Sicher“ 9/2002, „Absaugtechnik – Teil 2“

Beschreibung	Abbildung	Saugreichweite bei 1200 m ³ /h ($w_x = 0,3 \text{ m/s}$) ¹⁾	Saugreichweite bei 1200 m ³ /h ($w_x = 0,5 \text{ m/s}$) ²⁾	Erforderlicher Volumenstrom für $w_x = 0,4 \text{ m/s}$ $x = 300 \text{ mm}$
Saugrohr → 150 mm ohne Flansch		290 mm	217 mm	1705 m ³ /h
Saugrohr → 150 mm mit Flansch 400 x 400 mm		337 mm	255 mm	1270 m ³ /h
Trichter → 300 mm ohne Flansch		302 mm	240 mm	1580 m ³ /h
Trichter → 150 mm mit Flansch 400 x 400 mm		335 mm	254 mm	1290 m ³ /h
Asymmetrische Einströmdüse mit Flansch 360 x 290 mm (Kemper)		343 mm	248 mm	1220 m ³ /h
Düsenplatte 400 x 400 mm $r * 40 \text{ mm}$ (Kessler + Luch)		344 mm	258 mm	1220 m ³ /h

¹⁾ Mittelwerte aus 30 Messpunkten in 2 um 90° versetzten Achsen

²⁾ Mittelwerte aus 26 Messpunkten in 2 um 90° versetzten Achsen

– Ergebnistabelle mit den gemessenen Saugreichweiten bei 1200 m³/h. Zur vereinfachten Lesbarkeit wird die mittlere Saugreichweite angegeben.

Bild 10-10: Untersuchungen auf dem Prüfstand; Ergebnistabelle der gemessenen Saugreichweiten bei 1200 m³/h
(GS 9/2002 „Absaugtechnik – Teil 2“)

Bei Laserstrahlmaterialbearbeitung bieten Kabinen ebenfalls guten Schutz gegen Schadstoffe und optische Strahlung.

Der Abscheider kann entweder an das zentrale Absaugsystem angeschlossen sein oder die Kabine kann ihren eigenen Abscheider haben.

Mobile Schweißrauch-Absauggeräte eignen sich an wechselnden Arbeitsplätzen und sind in vielen Bereichen einsetzbar. Diese Geräte arbeiten mit Umluftbetrieb, d. h., dass die erfasste und gefilterte Luft in den Arbeitsraum zurückgeführt wird. Mobile Absauggeräte können mit unterschiedlichen Erfassungseinrichtungen kombiniert und betrieben werden:

- Schutzgasschweißbrenner mit integrierter Absaugung,
- Schutzschild mit integrierter Absaugung,
- nachführbare Erfassungseinrichtungen (Absaugrüssel).

Früher erfolgte die Absaugung und deren Regulierung durch eine Ringdüse; die neue Variante, mit drehbar am Brenner befestigter Absaugeinrichtung, kann den örtlichen Gegebenheiten und der Schweißsituation besser angepasst werden. Es wird ein größerer Erfassungsgrad ohne nennenswerte Beeinträchtigung des Schutzgasmantels erreicht.

Auch vorhandene Brenner können damit nachgerüstet werden.

Bei Luftrückführung ist eine ausreichende Frischluftzufuhr sicherzustellen. Der Anteil der rückgeführten Luft darf maximal 50 % des Zuluftanteils betragen.

Lufttechnische Anlagen mit Rückführung dürfen eingesetzt werden, wenn sie bauartgeprüft sind oder wenn durch Einzelmessungen die erforderliche Wirksamkeit überprüft wurde (siehe auch TRGS 560).

Bei Erfassung von weniger als 85 % ist der Anteil der nicht erfassten Gefahrstoffmenge bestimmend (siehe TRGS 560). Bei der Absaugung von Schweißrauch mit krebserzeugenden, erbgutverändernden oder fruchtbarkeitsgefährdenden Anteilen der Kategorie 1 oder 2 darf die Luftrückführung nur mit bauartgeprüfte Schweißrauchabsauggeräte der Schweißrauchab-

scheideklasse W2 oder W3 erfolgen. Die Anforderungen der TRGS 560 sind hier zu berücksichtigen. Mobile Schweißrauch-Absauggeräte erfüllen die Anforderungen, wenn sie vom Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) geprüft und im IFA-Handbuch unter Sachgruppe „510215 – Mobile Schweißrauchabsauggeräte – Positivliste“ veröffentlicht sind.

Heute werden beim Schweißen mobile Filterabsauggeräte, die dem Stand der Technik entsprechen, mit Erfolg eingesetzt.

Brennerintegrierte Absaugungen sind für MIG/MAG-Verfahren geeignet. Diese ermöglichen die zwangsläufige Erfassung der Schadstoffe direkt im Entstehungsbereich. Sie können sowohl in stationären als auch in mobilen Anlagen verwendet werden (Bild 10-12).



Bild 10-12: Brenner mit integrierter Absaugung
[Quelle Spiegel-Ciobanu, BGI 593 Ausg. 2008, DINSE GmbH]

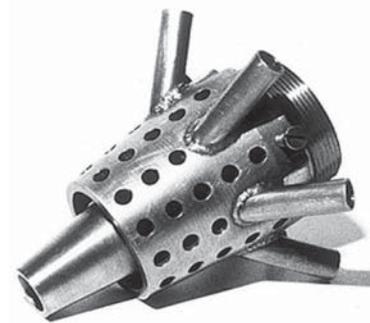


Bild 10-13: Arbeitskopfin-
tegrierte Absaugung für
Nd:YAG-Laser
[Quelle: Heinz-Piest-Institut,
PHI-Absaugdüse MK 5]



Bild 10-11: Erfassungselement am Brenner befestigt
[Quelle Spiegel-Ciobanu, BGI 593 Ausg. 2008, DINSE GmbH]



Bild 10-14: Brenner zum Metall-Schutzgasschweißen (MIG/MAG) mit integrierter Absaugung für automatisierte Anlagen
[Quelle Spiegel-Ciobanu, BGI 593 Ausg. 2008, DINSE GmbH]

Auch für Nd:YAG-Laser wurden arbeitskopfigintegrierte Absaugdüsen entwickelt (siehe Bild 10-13 auf Seite 77).

Durch Auslegung für Hochvakuum kommt man mit kleinen Durchmessern der Erfassungselemente und Rohr-/Schlauchleitungen aus, da die für die Lüftung benötigten Luftvolumen klein sind.

10.1.5.2 Zuluftanlagen/Raumlüftung

Im Allgemeinen ist es bei schweißtechnischen Verfahren in Hallen zur Beseitigung der Schadstoffe erforderlich, Zu- und Abluftanlagen einzusetzen. Die mit Schadstoffen belastete Luft muss in geeigneter Weise durch unbelastete Luft ersetzt werden.

Für Verfahrens-/Werkstoff-Kombinationen, bei denen von einer niedrigen Gefährdung auszugehen ist (z. B. UP-Schweißen, siehe

he Abschnitt 5 dieser BG-Information), kann in der Regel bei länger dauernden Schweißarbeiten eine technische Raumlüftung ausreichend sein.

10.1.5.3 Zuordnung von Lüftungstechnischen Maßnahmen zu Verfahren und Werkstoffen der Schweißtechnik

In der ehemaligen BG-Regel „Schweißbrauche“ (BGR 220) wurde für die Regelfälle wichtiger Verfahren der Schweißtechnik unterschieden zwischen Lüftung in Räumen bei Anwendung von Verfahren, bei denen der Schadstoffgehalt vorwiegend vom eingesetzten

- Zusatzwerkstoff oder
- Grundwerkstoff

abhängig ist (Bilder 10-15 bis 10-18 auf den Seiten 78 - 79).

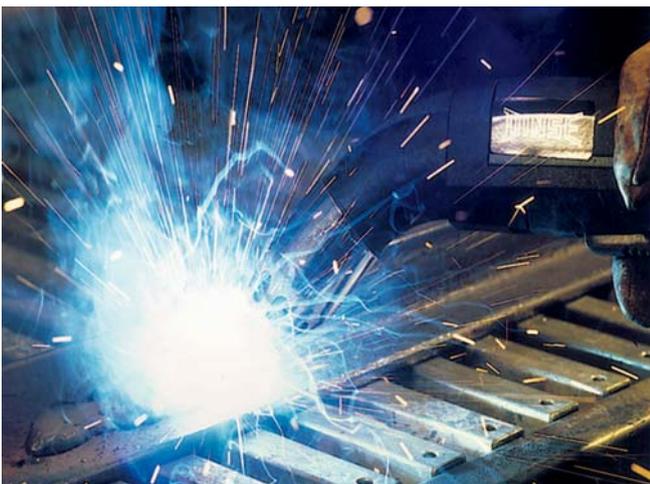


Bild 10-15 a: Brennerintegrierte Absaugung nicht in Betrieb
[Quelle Spiegel-Ciobanu , BGI 593 Ausg 2008, DINSE GmbH]



Bild 10-15 b: Brennerintegrierte Absaugung in Betrieb
[Quelle Spiegel-Ciobanu , BGI 593 Ausg 2008, DINSE GmbH]

Verfahren	Zusatzwerkstoff		Schweißen an beschichtetem Stahl
	Unlegierter und niedriglegierter Stahl, Aluminium-Werkstoffe	Hochlegierter Stahl, NE-Werkstoffe (außer Aluminium-Werkstoffe)	
Gasschweißen	T	A	A
Lichtbogenhandschweißen	A	A	A
MIG-, MAG-Schweißen	A	A	A
WIG-Schweißen			
– mit thoriumoxidfreien Wolframelektroden	T	A/T	T
– mit thoriumoxidhaltigen Wolframelektroden	A	A	A
Unterpulverschweißen	T	T	T
Laserstrahlaufragschweißen	A	A	–
Thermisches Spritzen	A	A	–

A = Absaugung im Entstehungsbereich der Schadstoffe T = technische (maschinelle) Raumlüftung

Bild 10-16: in Anlehnung an die ehemalige BG-Regel „Schweißbrauche“ (BGR 220, Tabelle 8): Lüftung in Räumen bei Verfahren mit Zusatzwerkstoff

Verfahren	Grundwerkstoff		Schweißen an beschichtetem Stahl
	Unlegierter und niedriglegierter Stahl, Aluminium-Werkstoffe	Hochlegierter Stahl, NE-Werkstoffe (außer Aluminium-Werkstoffe)	
Flammwärmen, Flammrichten	T ¹⁾	T ¹⁾	T ¹⁾
Flammhärten	T ¹⁾	–	–
Flammstrahlen	T ¹⁾	–	A
Brennschneiden	T ¹⁾	–	T ¹⁾
Brennfugen	A	–	T ¹⁾
Flämmen	–	A	–
WIG-Schweißen – mit thoriumoxidfreien Wolframelektroden – mit thoriumoxidhaltigen Wolframelektroden	T A	T A	T A
Laserstrahlschweißen	A	A	A
Laserstrahlschneiden	A	A	A
Plasmaschneiden (ohne Wasserabdeckung)	A	A	A
Lichtbogen-Sauerstoffschneiden, Lichtbogen-Druckluftfugen	A	A	A
Abbrennstumpfschweißen	A	A	A
Andere Widerstandsschweißverfahren	F	T	T

¹⁾ Abweichend gilt bei automatisierten Brennschneidanlagen A

¹⁾ Bei diesen Arbeiten steht die Entwicklung von nitrosen Gasen im Vordergrund der Gefährdung. Bei Arbeiten länger als 1/2 Stunde sowie in Räumen mit weniger als 100 m³ Raumvolumen pro Brenner ist A erforderlich, sofern nicht die Konzentration der nitrosen Gase (MAK-Wert = 0,5 ppm jeweils für NO und NO₂) zumindest stichprobenartig kontrolliert wird und bei Überschreitung des Luftgrenzwerts unverzüglich Schutzmaßnahmen (zeitweise Einstellung der Arbeit, Verwenden von Atemschutz) ergriffen werden.

A = Absaugung im Entstehungsbereich der Schadstoffe

F = freie (natürliche) Lüftung

T = technische (maschinelle) Raumlüftung

Bild 10-17: In Anlehnung an die ehemalige BG-Regel „Schweißrauche“ (BGR 220, Tabelle 9): Lüftung in Räumen bei Verfahren ohne Zusatzwerkstoff

intensivere Lüftung erforderlich bei	geringere Lüftung ausreichend bei
<ul style="list-style-type: none"> • besonders großen Gasdurchsätzen, • besonders hohen Schweißstromstärken, • Verunreinigungen von Werkstücken, • ungünstigen Raumverhältnissen (z. B. enge Räume, ungünstige Strömungsverhältnisse). 	<ul style="list-style-type: none"> • besonders kleinen Gasdurchsätzen, • besonders niedrigen Schweißstromstärken, • günstigen Raumverhältnissen (z. B. hohe Hallen, günstige Strömungsverhältnisse), • günstigen Strömungsverhältnissen (z. B. bei Dachöffnungen und Luftzufuhr im Bodenbereich), • Beschichtungen, für die durch ein neutrales Gutachten nachgewiesen ist, dass gesundheitsgefährliche Stoffe nur in geringem Maße entstehen.

Bild 10-18: Abweichend von den Angaben in den Tabellen der Bilder 10-16 und 10-17 kann intensivere Lüftung erforderlich oder – bei messtechnischem Nachweis – geringere Lüftung ausreichend sein (ehemalige BGR 220, Tabelle 10)

10.2 Persönliche Schutzausrüstungen (PSA)

Persönliche Schutzausrüstungen dienen dem direkten Schutz des Schweißers und sind in vielen Fällen eine notwendige Ergänzung zu den technischen Schutzmaßnahmen:

10.2.1 Schweißerschutzschilde und -schirme

Beim Lichtbogenverfahren müssen Schweißerschutzschilde und -schirme mit Schutzfilter entsprechender Schutzstufe verwendet werden. Sie dienen dem Schutz gegen optische Strahl-

lung, Hitze, Funken und bedingt auch gegen Schadstoffe. Eine richtige Positionierung muss durch den Schweißer erfolgen.

10.2.2 Atemschutzgeräte

Wenn die eingesetzten Lüftungstechnischen Maßnahmen, insbesondere die Absaugung im Entstehungsbereich der Schadstoffe, nicht zu einer Einhaltung der Grenzwerte führen, oder die Konzentrationen krebserzeugender Stoffe nicht ausreichend minimiert wurden, sind Atemschutzgeräte auszuwählen und als ergänzende Maßnahme zu verwenden.

Darüber hinaus darf der Einsatz von Atemschutzgeräten nur dann erfolgen, wenn alle organisatorischen und technischen Schutzmaßnahmen erschöpft sind. Generell heißt das, nur kurzfristig und nur in engen Räumen (z. B. Kesseln, Behältern, Schiffs-Doppelbodenzellen) oder anderen Bereichen mit geringem/ungenügendem Luftaustausch.

Bei bestimmten Verfahrens-/Werkstoff-Kombinationen, wie MIG-Schweißen von Aluminium-Werkstoffen, ist erfahrungsgemäß eine Minimierung der Schadstoffkonzentration – durch Lüftungstechnische Maßnahmen – nicht ausreichend, um eine Unterschreitung der jeweiligen Grenzwerte für Ozon und Schweißrauch gleichzeitig zu erreichen. Hier sind in Ergänzung zur Lüftung gebläseunterstützte Atemschutzgeräte, z. B. fremdbelüftete Schweißerschutzhelme, zu empfehlen, da bei diesen Geräten eine G 26-Untersuchung entfallen kann und keine Tragezeitbegrenzung zu beachten ist.

Auch bei schadstoffreichen Verfahren, bei denen die Schweißrauche krebserzeugende Stoffe enthalten, wie Cr(VI) oder NiO, ist das verbleibende Restrisiko im Atembereich des Schweißers durch das Tragen von Atemschutzgeräten zu reduzieren.

Auswahl von Atemschutzgeräten bei schweißtechnischen Arbeiten

Bis 30-fache Grenzwertüberschreitung für die alveolengängige Fraktion empfiehlt sich der Einsatz von **Halb-/Viertelmasken mit P3-Filter bzw. partikelfilternden Halbmasken FFP3**.

Es muss jedoch beachtet werden, dass bei bestimmten Schneid- und Schweißarbeiten weitere Gase, Ozon und CO sowie weitere gas- bzw. dampfförmige Schadstoffe auftreten können. Ferner kann bei nicht ausreichender Lüftung des Arbeitsplatzes der Luftsauerstoff durch die o. g. Gase verdrängt werden und somit die Konzentration auf unter 17 Vol% fallen. Aus diesem Grund wird Folgendes empfohlen:

- a) **Bei ausreichender Sauerstoffversorgung ein Kombinationsfilter**, welcher organische und anorganische Gase und Dämpfe zurückhält. Darüber hinaus sollte der **Filter für Gase für CO** (hier untere Grenze von 19 Vol.-% Sauerstoff) **und nitrose Gase** geeignet sein. Ein Kombinationsfilter empfiehlt sich, da die aufgeführten Schadstoffe zwar in unterschiedlichen Konzentrationen aber auch gemeinsam auftreten.

Das auftretende **Ozon** wird durch einen **Filter mit Aktivkohle** zurückgehalten. Wegen des hohen Gewichts eines solchen Filters kommt als Atemanschluss nur eine Vollmaske in Betracht. Als **bessere Alternative** wird die **Auswahl eines Gebläsefiltergerätes** mit Maske oder Helm/Haube genannt. Wenn mit CO und nitrosen Gasen gerechnet werden muss, sollte ein A1B B2 E2 K1 CO NO HG P3- Filter eingesetzt werden. Ist nicht mit CO und nitrosen Gasen zu rechnen, dann reicht ein ABEK2 P3-Filter aus.

- c) **Bei nicht ausreichendem oder ungewissem Sauerstoffgehalt** der Umgebungsluft muss ein **umluftunabhängiges Atemschutzgerät** eingesetzt werden.

Hier sollte einem Druckluftschlauchgerät mit Haube der Vorzug gegeben werden.

Bei Arbeiten mit offener Flamme oder solchen Tätigkeiten, bei denen es zu Schweißperlenflug kommen kann, ist bei Verwendung von Atemschutzfiltergeräten, insbesondere mit nicht unmittelbar am Atemanschluss angebrachten Gas- oder Kombinationsfiltern, auf die mögliche Gefährdung durch Entzündung der Filter zu achten (u. a. Entstehung hoher Konzentrationen an Kohlenmonoxid und Kohlendioxid).

Die Untersuchungen an Glasfaserfiltern verschiedener Filterklassen (P1, P2, P3) zeigen, dass für alle drei Leistungsstufen die jeweiligen Anforderungen europäischer Normen an den Durchlassgrad sicher eingehalten werden. Somit bestätigt sich auch für Atemschutzgeräte, was bereits für Schwebstofffilter aus der Filtertechnik bekannt ist. Ungeregelte Bewegung (Diffusion) der ultrafeinen Partikel sorgt für deren Abscheidung in der Tiefe des Filterbetts.

Bei Auswahl der geeigneten Filterklasse lassen sich weit über 99 % der feinen und ultrafeinen Partikel abscheiden. Dagegen ist der leckagefreie Sitz einer Atemschutzmaske das eigentliche Problem bei der Verwendung von Atemschutz.

Beim Einsatz von Atemschutzgeräten wird auf die BG-Regel „Benutzung von Atemschutzgeräten“ (BGR 190), auf die BG-Information „Zertifizierte Atemschutzgeräte“ (BGI 693) und auf die TRGS 528 verwiesen.



Bild 10-19:
Speedglass 9100 FX
Air mit Adflo Gebläse-
atemschutz bei Arbei-
ten in Zwangslage
[Quelle: Fa. 3M]

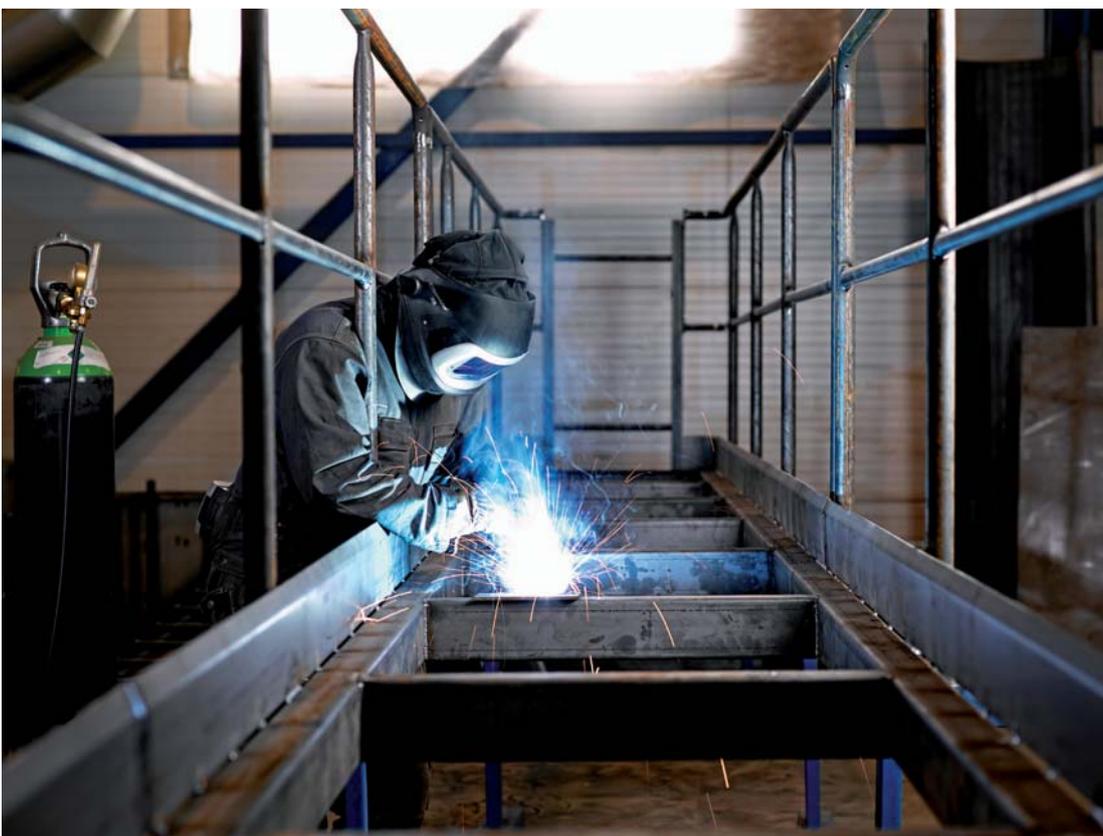


Bild 10-20:
Speedglass 9100 Air
mit Adflo Gebläse-
atemschutz
[Quelle: Fa. 3M]

11 Arbeitsmedizinische Vorsorge

11.1 Allgemeines

Eine vollkommene Sicherheit gegen die Einwirkung gesundheitsschädlicher Stoffe kann unter den heutigen Betriebsbedingungen trotz erheblicher technischer und organisatorischer Anstrengungen nicht erreicht werden. Daher ist es bei bestimmten Arbeiten erforderlich und unstrittig, neben der notwendigen technischen Prävention auch eine arbeitsmedizinische Vorsorge zu betreiben. Ziele sind hierbei die Verhinderung bzw. Früherkennung insbesondere chronischer Erkrankungen.

Gefährdete Arbeitnehmer müssen daher vor Aufnahme der Arbeit und dann in bestimmten Zeitabständen durch einen dazu berechtigten Arzt (Arbeitsmediziner oder zusätzlich Betriebsmediziner) arbeitsmedizinisch untersucht werden (siehe Verordnung zur Arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV). Diese Forderungen gelten u. a. auch für Arbeitnehmer, die einer stärkeren Einwirkung krebserzeugender Stoffe, wie Chrom(VI)-Verbindungen (Chromate, Chromtrioxid) oder Nickeloxid, ausgesetzt sind. Betroffen sind also auch zahlreiche Schweißer.

„Biomonitoring ist Bestandteil der arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen, soweit dafür arbeitsmedizinisch anerkannte Analyseverfahren und geeignete Werte zur Beurteilung zur Verfügung stehen“ (ArbMedVV). Diesbezüglich siehe auch Abschnitt 1.7 dieser BGI.

Arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen sind beim Schweißen und Trennen von Metallen zu veranlassen, wenn die Schweißrauchkonzentration $3 \text{ mg/m}^3 \text{ A}$ überschreitet; jedoch sind sie auch anzubieten, wenn diese Konzentration eingehalten wird.

Bei Expositionen gegenüber krebserzeugenden Stoffen, wie Chrom(VI)-Verbindungen und Nickeloxid, sind in Abhängigkeit von der Expositionshöhe arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen nach Anhang Teil 1 der ArbMedVV zu veranlassen und anzubieten bzw. ist das regelmäßige Angebot zu organisieren (G 15 „Chrom(VI)-Verbindungen“, G 38 „Nickel oder seine Verbindungen“). Diesbezüglich siehe auch Punkt 6 der TRGS 528.

Auch beim Tragen von Atemschutzgeräten sind gemäß Teil 4 des Anhangs zur ArbMedVV Pflichtuntersuchungen bei Atemschutzgeräten der Gruppen 2 und 3 und Angebotsuntersuchungen beim Tragen von Atemschutzgeräten der Gruppe 1 erforderlich. Diese sind entsprechend G26 „Atemschutzgeräte“ (bei Atemschutzgeräten schwerer als 3 Kg und mit Atemwiderstand) durchzuführen.

11.2 Grundsätze und Handlungsanleitungen für die arbeitsmedizinische Vorsorge

Die „Berufsgenossenschaftlichen Grundsätze für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen“ (G...) geben dem berechtigten Arzt wesentliche Hinweise für das Vorgehen in der Praxis (Bild 11-1).

Hinsichtlich der in der Schweißtechnik entstehenden Schadstoffe sind insbesondere die Grundsätze G 15, G 38 und G 39 von Bedeutung.

Welche Personenkreise für eine spezielle arbeitsmedizinische Untersuchung infrage kommen, nennen die BG-Informationen „Handlungsanleitungen für die arbeitsmedizinische Vorsorge nach den Berufsgenossenschaftlichen Grundsätzen für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen“ (BGI 504 und BGI 504-...).

BG-Grundsatz	Titel	Auswahlkriterien
G 2	Blei oder seine Verbindungen	BGI 504-2
G 7	Kohlenmonoxid	BGI 504-7
G 15	Chrom(VI)-Verbindungen	BGI 504-15
G 27	Isocyanate	BGI 504-27
G 32	Cadmium oder seine Verbindungen	BGI 504-32
G 34	Fluor oder seine anorganischen Verbindungen	BGI 504-34
G 38	Nickel oder seine Verbindungen	BGI 504-38
G 39	Schweißrauche	BGI 504-39
G 40	Krebserzeugende Gefahrstoffe – allgemein	BGI 504-40 c (Be) BGI 504-40 f (Co)

Bild 11-1: „Berufsgenossenschaftliche Grundsätze für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen“ (G ...) und die zugeordneten „Handlungsanleitungen für die arbeitsmedizinische Vorsorge“

11.3 Schweißbrauche (allgemein)

Der Grundsatz G 39 gilt für Schweißbrauche allgemein. Bei Versicherten, die bei ihrer Tätigkeit einer Schweißrauchkonzentration von mehr als 3 mg/m^3 A-Staubanteil (alveolengängige Fraktion) als Schichtmittelwert im Atembereich ausgesetzt sind, müssen arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen nach G 39 „Schweißbrauche“ durchgeführt werden.

Eine Überschreitung des Richtwertes 3 mg/m^3 A ist nach neuesten Erkenntnissen bei folgenden Verfahren der Schweißtechnik in der Regel anzunehmen:

- Lichtbogenhand-, MIG-, MAG-Schweißen ohne ausreichende Lüftung,
- Plasmaschneiden ohne Absaugung oder ohne Wasserabdeckung,
- Flamm-, Lichtbogen-, Plasmaspritzen in nicht gekapselter Betriebsart,
- Brennfugen,
- Lichtbogen-Druckluftfugen,
- Abbrennstumpfschweißen,
- maschinelles Brennschneiden ohne Absaugung oder ohne Wasserabdeckung,
- Schweißen mit Fülldraht (MAG-, MIG-, MOG-Schweißen) ohne Absaugung,
- Laserstrahl-Schweißen (mit/ohne Zusatzwerkstoff) und -Schneiden ohne Absaugung.

Vorsorgeuntersuchungen nach Grundsatz G 39 sind wegen Unterschreitung des Richtwertes in der Regel nicht erforderlich (können aber angeboten werden) bei folgenden Verfahren der Schweißtechnik:

- Gasschweißen,
- Flammwärmern,
- Wolfram-Inertgasschweißen,
- Mikro-Plasmaschweißen,
- Plasmaschneiden mit Wasserabdeckung,
- Unterpulverschweißen,
- Widerstandsschweißen (ausgenommen Abbrennstumpfschweißen),
- Reibschweißen,
- thermisches Spritzen in gekapselten Anlagen,
- Bolzenschweißen,
- Gießschmelzschweißen (Thermitschweißen),
- Elektroschlackeschweißen.

Bei anderen Verfahren oder Situationen müssen Arbeitsplatzmessungen zur Entscheidung herangezogen werden.

Nach G 39 müssen arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen vor Arbeitsaufnahme durchgeführt werden; die Nachuntersuchungen erfolgen dann im Abstand von 36 Monaten.

11.4 Chrom(VI)-Verbindungen

Der Grundsatz G 15 erläutert die Einzelheiten zu arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen für Arbeitnehmer in Zusammenhang mit einer Exposition gegenüber Chrom(VI)-Verbindungen. Zugeordnet zu G 15 sind die Handlungsanleitungen in der BG-Information „Chrom(VI)-Verbindungen“ (BGI 504-15).

Mit einer gesundheitsrelevanten und nennenswerten Exposition (früher Überschreitung der Auslöseschwelle) ist nach neuesten Erkenntnissen bei folgenden Verfahren der Schweißtechnik zu rechnen:

- Lichtbogenhandschweißen mit hochlegierten umhüllten Stabelektroden (mit einem Massengehalt von 5 % oder mehr Chrom),
- Metall-Aktivgasschweißen mit hochlegiertem Fülldraht (mit einem Massengehalt von 5 % oder mehr Chrom in der Legierung oder Schlackenbildnern),
- Plasmaschmelz- und Laserstrahlschneiden von Chrom-Nickel-Werkstoffen (mit einem Massengehalt von 5 % oder mehr Chrom),
- Flamm-, Lichtbogen-, Plasmaspritzen mit hochlegierten Spritz-Zusatzwerkstoffen (mit einem Massengehalt von 5 % oder mehr Chrom),
- Schweißen, Schneiden sowie Trockenschleifen von Werkstücken mit Chrom(VI)-haltigen Anstrichstoffen.

Vorsorgeuntersuchungen nach Grundsatz G 15 sind wegen nicht nennenswerter Gesundheitsgefährdung (früher Unterschreitung der Auslöseschwelle) in der Regel nicht erforderlich bei folgenden Verfahren der Schweißtechnik:

- Wolfram-Inertgasschweißen,
- Mikro-Plasmaschweißen,
- Plasmaschmelzschneiden mit Wasserabdeckung.

Bei anderen Verfahren oder in besonderen Situationen müssen Arbeitsplatzmessungen zur Entscheidung herangezogen werden.

Die arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen müssen vor Arbeitsaufnahme (Erstuntersuchung) durchgeführt werden. Die erste Nachuntersuchung hat nach 6 bis 9 Monaten, weitere Nachuntersuchungen haben nach 12 bis 24 Monaten zu erfolgen.

Darüber hinaus sind hier wegen der Einstufung des Chrom(VI) als krebserzeugend noch nachgehende Untersuchungen erforderlich, d. h., auch nach Beendigung der gefährdenden Tätigkeit erfolgt eine arbeitsmedizinische Überwachung. In diesen Fällen ist auch eine besondere Meldung an die Berufsgenossenschaft bei Aufnahme der Tätigkeit mit besonderen Gefährdungen erforderlich (ODIN).

11.5 Nickel und Nickelverbindungen

Der Grundsatz „Nickel oder seine Verbindungen“ (G 38) erläutert die Einzelheiten zu arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen für Arbeitnehmer mit Expositionen gegenüber Nickel und seinen Verbindungen.

Eine gesundheitsrelevante und nennenswerte Exposition (früher Überschreitung der Auslöseschwelle) wird nach neuesten Erkenntnissen nach den dem Grundsatz G 38 zugeordneten Handlungsanleitungen der BG-Information „Nickel oder seine Verbindungen“ (BGI 504-38) bei folgenden Verfahren in der Regel erwartet:

- Metall-Schutzgasschweißen und Lichtbogenhandschweißen mit hochlegierten Zusatzwerkstoffen (mit einem Massengehalt von 5 % oder mehr Nickel),
- Plasmaschmelz- und Laserstrahlschneiden von Werkstoffen mit einem Massengehalt von 5 % oder mehr Nickel,
- thermisches Spritzen mit Spritzzusätzen mit mehr als 5 % Nickel.

Vorsorgeuntersuchungen nach Grundsatz G 38 sind wegen Unterschreitung der Auslöseschwelle in der Regel nicht erforderlich bei folgenden Verfahren der Schweißtechnik:

- Wolfram-Inertgasschweißen,
- Mikro-Plasmaschweißen,
- Plasmaschneiden mit Wasserabdeckung,
- thermisches Spritzen in gekapselten Anlagen.

Bei anderen Verfahren oder in besonderen Situationen müssen Arbeitsplatzmessungen zur Entscheidung herangezogen werden.

Nach G 38 sind eine Erstuntersuchung vor der Arbeitsaufnahme und Nachuntersuchungen jeweils nach 36 bis 60 Monaten vorgeschrieben. Bei einer Tätigkeit von mehr als 5 Jahren werden zusätzlich nachgehende Untersuchungen in Abständen von 36 bis 60 Monaten durchgeführt. In diesen Fällen ist auch eine besondere Meldung an die Berufsgenossenschaft bei Aufnahme der Tätigkeit mit besonderen Gefährdungen erforderlich (ODIN).

12 Quellen- und Literaturverzeichnis

12.1 Quellen

- [1] Eichhorn, F.; Tröskén, F. und Oldenburg, Th. „Untersuchung der Entstehung gesundheitsgefährdender Schweißrauche beim Lichtbogenhandschweißen und Schutzgasschweißen“ 1981, DVS-Verlag, Düsseldorf
- [2] Eichhorn, F. und Oldenburg, Th. „Untersuchung der Schweißrauchentstehung beim Lichtbogenhandschweißen und beim Schutzgasschweißen mit mittel- und hochlegierten Zusatzwerkstoffen“ DVS-Verlag, Düsseldorf
- [3] Eichhorn, F. und Oldenburg, Th. „Vergleichende Untersuchungen neuerer Schweißverfahren für das Verbindungsschweißen von Aluminium und seinen Legierungen zum Zwecke der Reduzierung der Schadstoffbelastung des Aluminiumschweißers“, 1983, DVS-Verlag, Düsseldorf
- [4] Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe „MAK- und BAT- Werte-Liste 2011“, Mitteilung 47, Wiley-VCH Verlag, Weinheim
- [5] Engström, B., Henriks-Eckerman, M-L. and Ånäs, E. “Exposure to paint degradation products when welding, flame cutting, or straightening painted steel, American Industrial Hygiene Association Journal Vol. 51 Issue 10, 1990
- [6] Dilthey, U. und Holzinger, K. „Untersuchungen zur Schadstoffentstehung beim MIG-Schweißen von Nickel- und Nickelbasislegierungen“, Abschlussbericht, ISF-Aachen, Aachen (1996 und 1998)
- [7] Grothe, I., Hufschlag, F., Kraume, G. und Schreiber, G. „Arbeitsschutz beim Schweißen“, Band 29, DVS-Verlag, Düsseldorf
- [8] Kraume, G. und Zober, A. „Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz in der Schweißtechnik“ Band 105, DVS-Verlag, Düsseldorf (1989)
- [9] Bach, F. W., Haferkamp, H., Vinke, T. und Wittbecker, J. S. „Ermittlung der Schadstoffemissionen beim thermischen Trennen nach dem Laserprinzip“, Schriftenreihe Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Fb 615, Dortmund
- [10] TRGS 900 „Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz – Luftgrenzwerte“
- [11] Zschesche, W. Institut für Arbeits- und Sozialmedizin der Universität Erlangen-Nürnberg „Vergleichende arbeitsmedizinische Bewertung der Emissionen beim Laserschneiden von Stählen“ (Juni 1991)
- [12] Wittbecker, J. G. „Gefahrstoffermittlung bei der CO₂-Laserstrahlbearbeitung“ Reihe 2: Fertigungstechnik Nr. 298, VDI Verlag, Düsseldorf
- [13] Püster, T., Walter, J. „Vergleichsuntersuchungen zur Bestimmung von Emissionsprodukten beim Löten mittels MIG, Plasmaquelle und Laserstrahl“, Abschlussbericht Juni 2000, LZH Hannover
- [14] Spiegel-Ciobanu, V.E. „Die Entstehung von ultrafeinen Partikeln beim Schweißen und bei verwandten Verfahren“, Workshop „Ultrafeine Aerosole am Arbeitsplatz“, BIA Report 07/2003, HVBG, St. Augustin
- [15] Pohlmann, G. und K. Holzinger „Vergleichende Untersuchungen bezüglich der Charakterisierung der ultrafeinen Partikel in Schweißrauchen beim Schweißen und bei verwandten Verfahren“, Abschlussbericht 2008, Auftraggeber: Vereinigung der Metall Berufsgenossenschaften (VMBG)
- [16] Reisgen, U., Olschock, S., Lenz, K. „Ermittlung von Schweißrauchdaten und Partikelkenngrößen bei verzinkten Werkstoffen“ Abschlussbericht, ISF-Aachen, Aachen
- [17] Spiegel-Ciobanu, V. E. „Bewertung der Gefährdung durch Schweißrauche und Schutzmaßnahmen“ Schweißen und Schneiden 54 (2002) Heft 2, DVS-Verlag Düsseldorf
- [18] Spiegel-Ciobanu, V.E. „Beurteilung der Gesundheitsgefährdung durch Schweißrauche – Hilfestellung für die schweißtechnische Praxis“ (BGI 616), VMBG, Carl Heymanns Verlag, Köln
- [19] Spiegel-Ciobanu, V. E. „Beurteilung partikelförmiger Stoffe in der Schweißtechnik“ Schweißen und Schneiden 51 (1999) Heft 4, DVS-Verlag Düsseldorf
- [20] Lauterbach, R. „Umweltbelastungen beim atmosphärischen Plasmaspritzen“ Reihe Werkstofftechnik, Verlag Shaker [13] Steiner, H. „Partikelmesstechnik beim Plasmaschmelzschnitten“, Reihe 2: Fertigungstechnik Nr. 245, VDI Verlag, Düsseldorf
- [21] Kenny, L. C., Aitken, J. J., Görner, P. „Investigation and application of a model for porous foam aerosol penetration“ J. Aerosol Sci. 32 (2001), S. 271-285
- [22] C. Möhlmann, R. J. Aitken, L. C. Kenny, P. Görner, T. VuDuc, G. Zimbelli „Größenselektive personenbezogene Staubprobenahme: Verwendung offenerporiger Schäume, Gefahrstoffe“ – Reinhaltung der Luft 63 (2003) Nr. 10 Oktober, S. 413-416
- [23] Messung von Gefahrstoffen – BGIA-Arbeitsmappe, Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA, Erich Schmidt Verlag, Bielefeld 2010
- [24] Spiegel-Ciobanu, V. E. „Parkinsonkrankheit und Manganexposition beim Schweißen“ Schweißen und Schneiden 57 (2005) Heft 12
- [25] Spiegel-Ciobanu, V.E. „Schadstoffe beim Schweißen und bei verwandten Verfahren“ (BGI 593), 2008, VMBG, Carl Heymanns Verlag, Köln
- [26] Rose, S. „Ansätze zur Entstehung und Reduzierung von Schweißrauchemissionen beim MSG-Schweißen unter Berücksichtigung neuer Verfahrensvarianten“ - Ergebnisse des 1. EWM-Awards „Physics of Welding“, Schweißen und Schneiden 04/2012
- [27] Spiegel-Ciobanu, V.E. „Arbeitsschutzregelungen beim Schweißen - Bewertung der Schweißrauchexposition und deren Wirkung“, Schweißen und Schneiden 09/2011

12.2 Vorschriften und Regeln

Zusammenstellung technischer Regelwerke, die bei Schadstoffen in der Schweißtechnik zu beachten sind.

12.2.1 Verordnungen und Technische Regeln

- „Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen“ (Gefahrstoffverordnung - GefStoffV)
- „Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen“ (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV)
- „Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge“ (ArbMedVV)
- TRGS 400 „Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen“
- TRGS 402 „Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition“
- TRGS 420 „Verfahrens- und stoffspezifische Kriterien (VSK) für die Gefährdungsbeurteilung“
- TRGS 500 „Schutzmaßnahmen“
- TRGS 528 „Schweißtechnische Arbeiten“
- TRGS 560 „Lufrückführung bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden, erbgutverändernden und fruchtbarkeitsgefährdenden Stoffen“
- TRGS 900 „Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz – Luftgrenzwerte“
- TRGS 903 „Biologische Grenzwerte“
- TRGS 905 „Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder und fortpflanzungsgefährdender Stoffe“

12.2.2 Unfallverhütungsvorschriften

- „Grundsätze der Prävention“ (BGV A1)

12.2.3 BG-Regeln, BG-Informationen und BG-Grundsätze

- „Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen“ (BGR 121)
- „Benutzung von Atemschutzgeräten“ (BGR 190)
- „Handlungsanleitungen für die arbeitsmedizinische Vorsorge“ (BGI/GUV-I 504)
- „Blei oder seine Verbindungen (mit Ausnahme der Bleialkyle)“ (BGI 504-2)
- „Kohlenmonoxid“ (BGI 504-7)
- „Chrom(VI)Verbindungen“ (BGI 504-15)
- „Isocyanate“ (BGI 504-27)
- „Cadmium oder seine Verbindungen“ (BGI 504-32)

- „Fluor oder seine anorganischen Verbindungen“ (BGI 504-34)
- „Nickel oder seine Verbindungen“ (BGI 504-38)
- „Schweißrauche“ (BGI 504-39)
- „Beryllium“ (BGI 504-40c)
- „Cobalt und seine Verbindungen“ (BGI 504-40f)
- „Von den Berufsgenossenschaften anerkannte Analyseverfahren zur Feststellung der Konzentrationen krebserzeugender Arbeitsstoffe in der Luft in Arbeitsbereichen“ (BGI 505)
- „Bestimmung von sechswertigem Chrom“ (BGI 505-5)
- „Bestimmung von Nickel und seinen anorganischen Verbindungen“ (BGI 505-10)
- „Bestimmung von Cobalt und seinen Verbindungen“ (BGI 505-15)
- „Lichtbogenschweißer“ (BGI 553)
- „Gasschweißer“ (BGI 554)
- „Beurteilung der Gesundheitsgefährdung durch Schweißrauche – Hilfestellung für die schweißtechnische Praxis“ (BGI 616)
- „Zertifizierte Atemschutzgeräte“ (BGI 693)
- „Nitrose Gase beim Schweißen und bei verwandten Verfahren“ (BGI 743)
- „Umgang mit thoriumoxidhaltigen Wolframelektroden beim Wolframinertgasschweißen (WIG)“ (BGI 746)
- BG/BGIA-Empfehlung für die Gefährdungsbeurteilung nach der Gefahrstoffverordnung: Wolfram-Inertgas-Schweißen (WIG-Schweißen) (BGI 790-012)
- BG/BGIA-Empfehlung für die Gefährdungsbeurteilung nach der Gefahrstoffverordnung: Weichlöten mit dem LötKolben an elektrischen und elektronischen Baugruppen oder deren Einzelkomponenten (Kolbenlöten) (BGI 790-014)
- „Schweißtechnische Arbeiten mit chrom- und nickellegierten Zusatz- und Grundwerkstoffen“ (BGI 858)
- „Berufsgenossenschaftliche Grundsätze für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen“ (BGG 904)
 - G 2 Blei oder seine Verbindungen
 - G 7 Kohlenmonoxid
 - G 15 Chrom(VI)Verbindungen
 - G 27 Isocyanate
 - G 32 Cadmium oder seine Verbindungen
 - G 34 Fluor oder seine anorganischen Verbindungen
 - G 38 Nickel oder seine Verbindungen
 - G 39 Schweißrauche
 - G 40 Krebserzeugende Gefahrstoffe – Allgemein

12.3 DIN-Normen

- DIN EN 481 „Arbeitsplatzatmosphäre; Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel“
- DIN EN ISO 10882-1 „Probenahme von partikelförmigen Stoffen und Gasen im Atembereich des Schweißers - Teil 1: Probenahme von partikelförmigen Stoffen“
- DIN EN ISO 10882-2 „Probenahme von partikelförmigen Stoffen und Gasen im Atembereich des Schweißers - Teil 2: Probenahme von Gasen“
- DIN EN ISO 15011-1 „Arbeits- und Gesundheitsschutz beim Schweißen und bei verwandten Verfahren - Laborverfahren zum Sammeln von Rauch und Gasen - Teil 1: Bestimmung der Rauchemissionsrate beim Lichtbogenschweißen und Sammeln von Rauch zur Analyse“
- DIN EN ISO 15011-2 „Arbeits- und Gesundheitsschutz beim Schweißen und bei verwandten Verfahren - Laborverfahren zum Sammeln von Rauch und Gasen - Teil 2: Bestimmung der Emissionsraten von Kohlenmonoxid (CO), Kohlendioxid (CO₂), Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂) beim Lichtbogenschweißen, Schneiden und Fughobeln“
- DIN EN ISO 15011-3 „Arbeits- und Gesundheitsschutz beim Schweißen und bei verwandten Verfahren - Laborverfahren zum Sammeln von Rauch und Gasen - Teil 3: Bestimmung der Emissionsrate von Ozon beim Lichtbogenschweißen“
- DIN EN ISO 15011-4 „Arbeits- und Gesundheitsschutz beim Schweißen und bei verwandten Verfahren - Laborverfahren zum Sammeln von Rauch und Gasen - Teil 4: Rauchdatenblätter“
- DIN EN 26848 „Wolframelektroden für Wolfram-Schutzgasschweißen und für Plasmaschneiden und -schweißen;

12.4 Sonstige Regeln der Technik

- DVS/VDI-Richtlinie 6005 „Lüftungstechnik beim Schweißen und bei verwandten Verfahren“
- DVS 2307 Blatt 2 „Arbeitsschutz beim Flamspritzen“
- DVS 2307 Blatt 3 „Arbeitsschutz beim Lichtbogenspritzen“
- DVS 2307 Blatt 4 „Arbeitsschutz beim Plasmaspritzen“

13 Abbildungsverzeichnis

Seite	1	Titelbild: Fa. KEMPER	Seite	59	Bild 5-1: BGHM/Spiegel-Ciobanu
Seite	10	Bild 1-1: BGHM/Spiegel-Ciobanu	Seite	60	Bild 5-2: BGHM/Spiegel-Ciobanu
Seite	10	Bild 1-2: BGHM/Spiegel-Ciobanu	Seite	61	Bild 6-1: Auszug aus DIN EN ISO 10882-2
Seite	11	Bild 1-3: BGHM/Spiegel-Ciobanu	Seite	62	Bild 6-2: Messtechnik NMBG/Dräger
Seite	11	Bild 1-4a: Universität Aachen/ISF	Seite	63	Bild 6-3: Messtechnik NMBG
Seite	11	Bild 1-4b: Universität Aachen/ISF	Seite	63	Bild 6-4: Messtechnik NMBG
Seite	12	Bild 1-5: BGHM/Spiegel-Ciobanu	Seite	63	Bild 6-5: Auszug aus DIN EN ISO 10882-1
Seite	13	Bild 1-6: BGHM/Spiegel-Ciobanu	Seite	63	Bild 6-6: Auszug aus DIN EN ISO 10882-1
Seite	16	Bild 1-7a: BGHM/Spiegel-Ciobanu	Seite	63	Bild 6-7: Auszug aus DIN EN ISO 10882-1
Seite	17	Bild 1-7b: BGHM/Spiegel-Ciobanu	Seite	64	Bild 6-8: IFA
Seite	18	Bild 1-8: BGHM/Spiegel-Ciobanu	Seite	64	Bild 6-9: IFA /Möhlmann
Seite	22	Bild 1-9: BGHM/Spiegel-Ciobanu	Seite	64	Bild 6-10: BGHM/Fiegehenn
Seite	23	Bild 1-10: BGHM/Spiegel-Ciobanu	Seite	64	Bild 6-11: Messtechnik NMBG
Seite	24	Bild 1-11a: BGHM/Spiegel-Ciobanu	Seite	65	Bild 7-1: BGHM/Spiegel-Ciobanu
Seite	25/26	Bild 1-11b: BGHM/Spiegel-Ciobanu	Seite	67	Bild 9-1: BGHM/Spiegel-Ciobanu
Seite	27	Bild 1-12a: BGHM/Spiegel-Ciobanu	Seite	68	Bild 9-2: BGHM/Spiegel-Ciobanu
Seite	28/29	Bild 1-12b: BGHM/Spiegel-Ciobanu	Seite	69	Bild 10-1: Auszug aus TRGS 528
Seite	30	Bild 1-13: BGHM/Spiegel-Ciobanu	Seite	70	Bild 10-2: BGHM/Spiegel-Ciobanu
Seite	33	Bild 2-1: BGHM/Spiegel-Ciobanu	Seite	70	Bild 10-3: BGHM/Spiegel-Ciobanu
Seite	35	Bild 2-2: BGHM/Spiegel-Ciobanu	Seite	70	Bild 10-4: TU Dresden/Rose
Seite	37	Bild 3-1: Universität Aachen/ISF	Seite	71	Bild 10-5: TU Dresden/Rose
Seite	40	Bild 3-2a: BGHM/Spiegel-Ciobanu	Seite	72	Bild 10-6: nach Grothe NWES-BG
Seite	42	Bild 3-2b: BGHM/Spiegel-Ciobanu	Seite	73	Bild 10-7: BGHM/Spiegel-Ciobanu
Seite	45	Bild 3-2c: Laser Zentrum Hannover/Engel	Seite	74	Bild 10-8: Fa. KEMPER
Seite	45	Bild 3-2d: BGHM/Spiegel-Ciobanu	Seite	75	Bild 10-9: Fa. KEMPER
Seite	47	Bild 3-2e: BGHM/Spiegel-Ciobanu	Seite	76	Bild 10-10: Auszug aus GS 9/2002 Teil 2
Seite	48	Bild 3-3: BGHM/Spiegel-Ciobanu	Seite	77	Bild 10-11: DINSE GmbH
Seite	48	Bild 3-4: BGETEM/Böckler	Seite	77	Bild 10-12: DINSE GmbH
Seite	49	Bild 3-5: BGETEM/Böckler	Seite	77	Bild 10-13: Heinz-Piest-Institut
Seite	49	Bild 3-6: BGETEM/Böckler	Seite	77	Bild 10-14: DINSE GmbH
Seite	50	Bild 3-7: BGETEM/Böckler	Seite	78	Bild 10-15a: DINSE GmbH
Seite	51	Bild 3-8: BGHM/Spiegel-Ciobanu	Seite	78	Bild 10-15b: DINSE GmbH
Seite	53	Bild 4-1: ITEM/Pohlmann	Seite	78	Bild 10-16: BGHM/Spiegel-Ciobanu
Seite	54	Bild 4-2: ITEM/Pohlmann	Seite	79	Bild 10-17: BGHM/Spiegel-Ciobanu
Seite	55	Bild 4-3: ITEM/Pohlmann	Seite	79	Bild 10-18: BGHM/Spiegel-Ciobanu
Seite	56	Bild 4-4: ITEM/Pohlmann	Seite	81	Bild 10-19: 3M Deutschland GmbH
Seite	56	Bild 4-5: ITEM/Pohlmann	Seite	81	Bild 10-20: 3M Deutschland GmbH
Seite	57	Bild 4-6: ITEM/Pohlmann	Seite	82	Bild 11-1: BGHM/Spiegel-Ciobanu
Seite	57	Bild 4-7: ITEM/Pohlmann			
Seite	58	Bild 4-8: ISF-Aachen/Lenz			

Die Bilder 6-1, 6-5, 6-6 und 6-7 auf den Seiten 61 und 63 sind wiedergegeben mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Maßgebend für das Anwenden der DIN-Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth-Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, erhältlich ist.

14 Anhang

Auszug aus der Gefahrstoffverordnung 2010

§ 7 Grundpflichten

- Substitutionsgebot (auch bei geringer Gefährdung)
- Minimierungsgebot
- Rangfolge der Schutzmaßnahmen: TOP
- AN müssen bereitgestellte PSA tragen
- Belastende PSA keine ständige Maßnahme, Minimierungsgebot
- Funktion und Wirksamkeit der Technischen Schutzmaßnahmen müssen regelmäßig überprüft werden (3 Jahresfrist!), Dokumentation
- Ermittlung der Einhaltung der AGW durch Messungen oder andere geeignete Ermittlungsmethoden
- Fachkundige Durchführung von Messungen durch akkreditierte Messstelle

§ 8 Allgemeine Schutzmaßnahmen

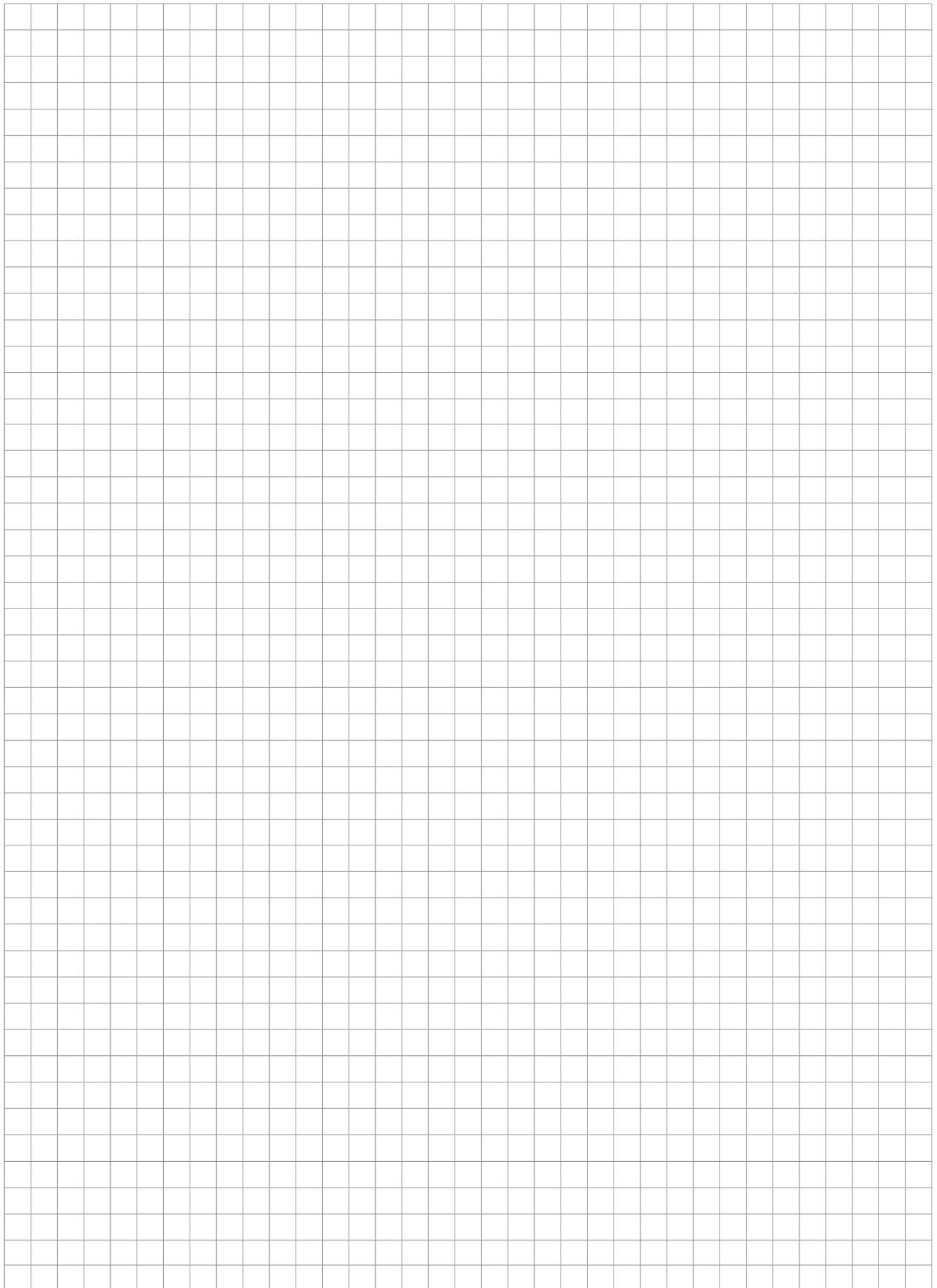
- Geeignete Arbeitsmethoden, Arbeitsmittel, Arbeitsplätze...
- Begrenzung der Exposition, Anzahl der Beschäftigten und Gefahrstoffe am Arbeitsplatz
- Hygienemaßnahmen, z. B. Reinigung der Arbeitsplätze
- Innerbetriebliche Kennzeichnung nach CLP-Verordnung bzw. in Einklang mit Übergangsbestimmungen nach Stoff- oder Zubereitungsrichtlinie
- Aufnahme von Nahrungs- und Genussmitteln in geeigneten Bereichen
- Lagerung nur so, dass Gesundheit und Umwelt nicht gefährdet werden
- Gefahrstoffbehälter dürfen nicht mit Lebensmitteln verwechselt werden und müssen dicht verschließbar sein
- Entsorgung nicht mehr benötigter Gefahrstoffe
- Als sehr giftig, giftig, krebserzeugend, erbgutverändernd und fortpflanzungsgefährdend eingestufte Gefahrstoffe müssen unter Verschluss aufbewahrt werden
- Tätigkeiten mit giftigen, sehr giftigen, KMR- und atemwegsensibilisierenden Gefahrstoffen dürfen nur von fachkundigen oder besonders unterwiesenen Personen ausgeführt werden

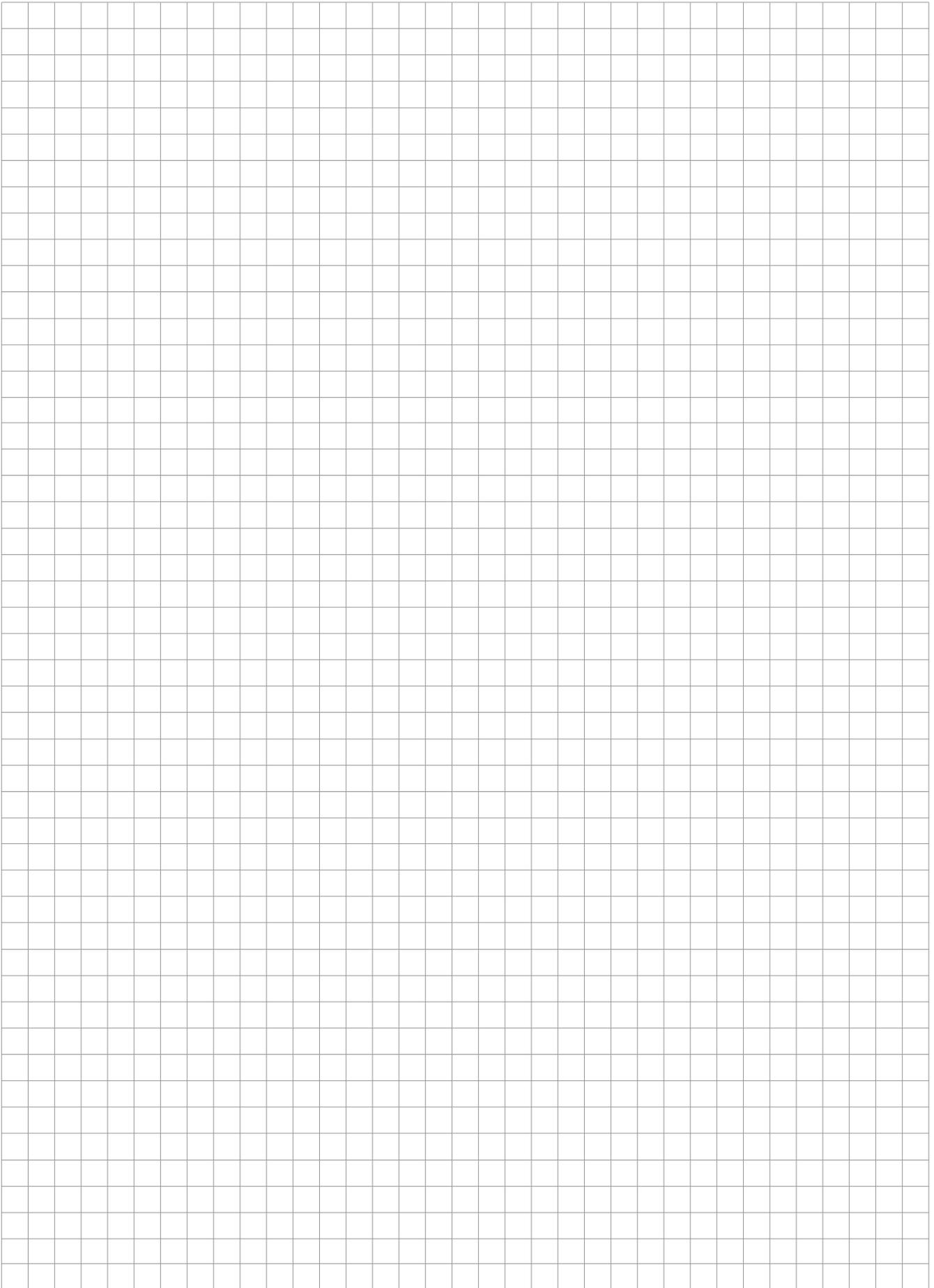
§ 9 Zusätzliche Schutzmaßnahmen

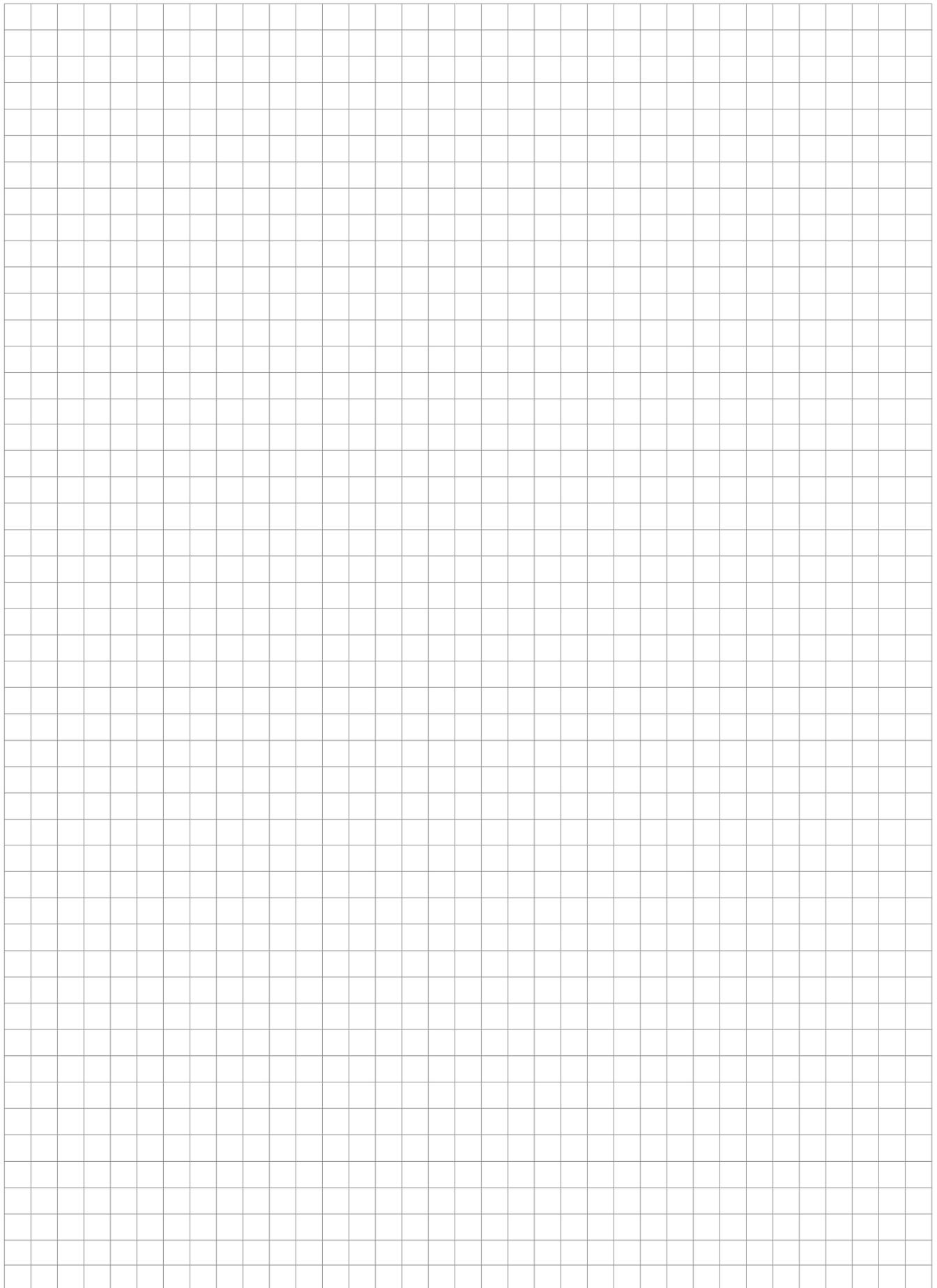
- Wenn §§ 7 und 8 nicht ausreichen, insbesondere bei
 - Überschreitung AGW/BGW
 - verbleibender Gefährdung bei Gefahrstoffen ohne AGW/BGW
 - hautresorptiven/haut- oder augenschädigenden Gefahrstoffen
 eine Gefährdung durch Haut- oder Augenkontakt besteht.
- Geschlossenes System, wenn Substitution technisch nicht möglich und erhöhte inhalative Gefährdung besteht. Wenn geschlossenes System technisch nicht möglich, dann Expositionsverringerung nach dem Stand der Technik.
- Bei Überschreitung AGW („inhalative Gefährdung“) oder bei Gefährdung durch hautresorptive/haut- oder augenschädigende Gefahrstoffe („dermale“ Gefährdung): PSA
- Getrennte Aufbewahrung von Arbeits-/Schutz- und Straßenkleidung.
- Arbeitgeber hat kontaminierte Arbeitskleidung zu reinigen.
- Zugangsbeschränkung
- Zusätzliche Schutzmaßnahmen (Aufsicht) bei Alleinarbeit

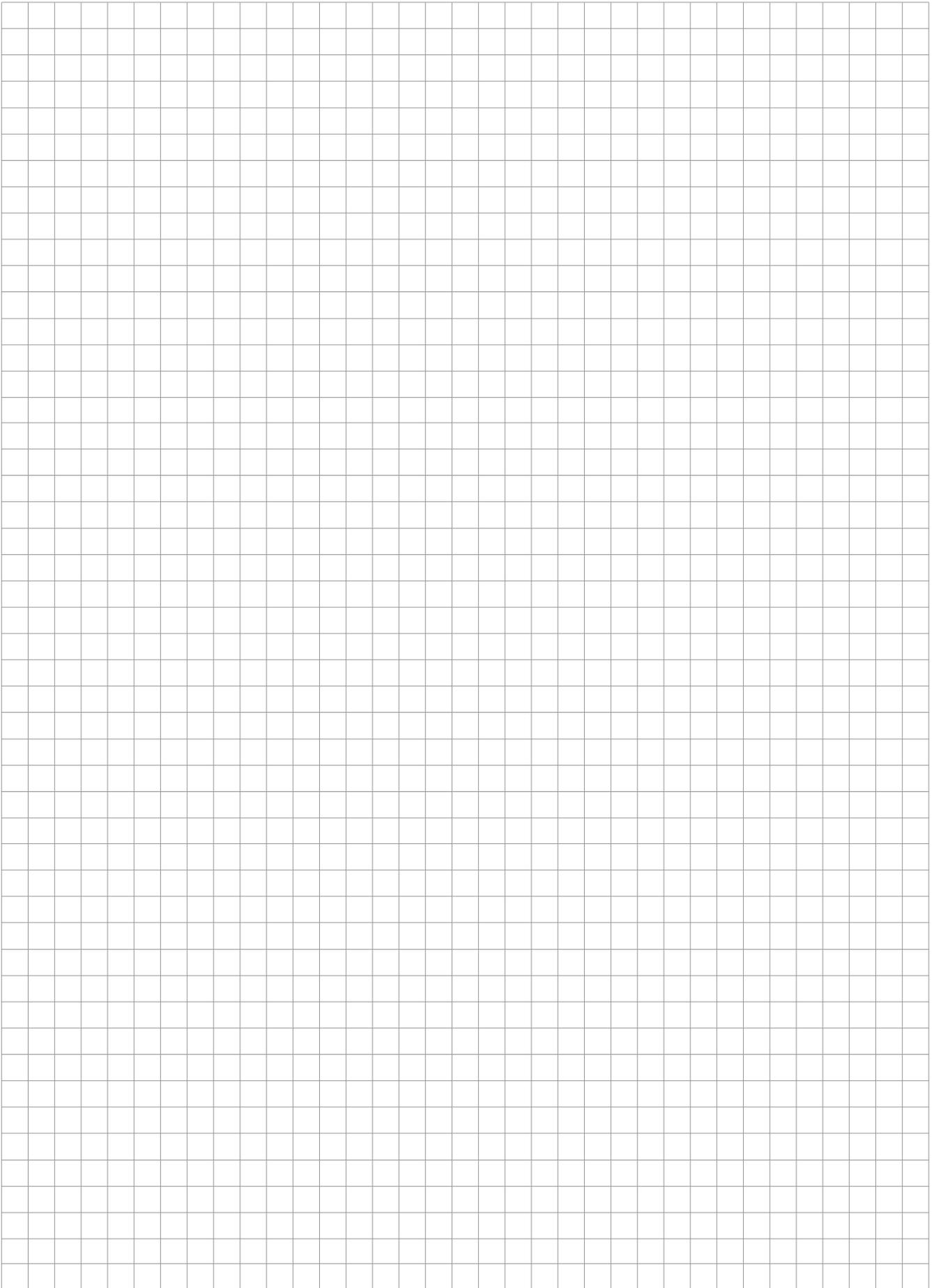
§ 10 Besondere Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden, erbgutverändernden und fruchtbarkeitsgefährdenden Gefahrstoffen

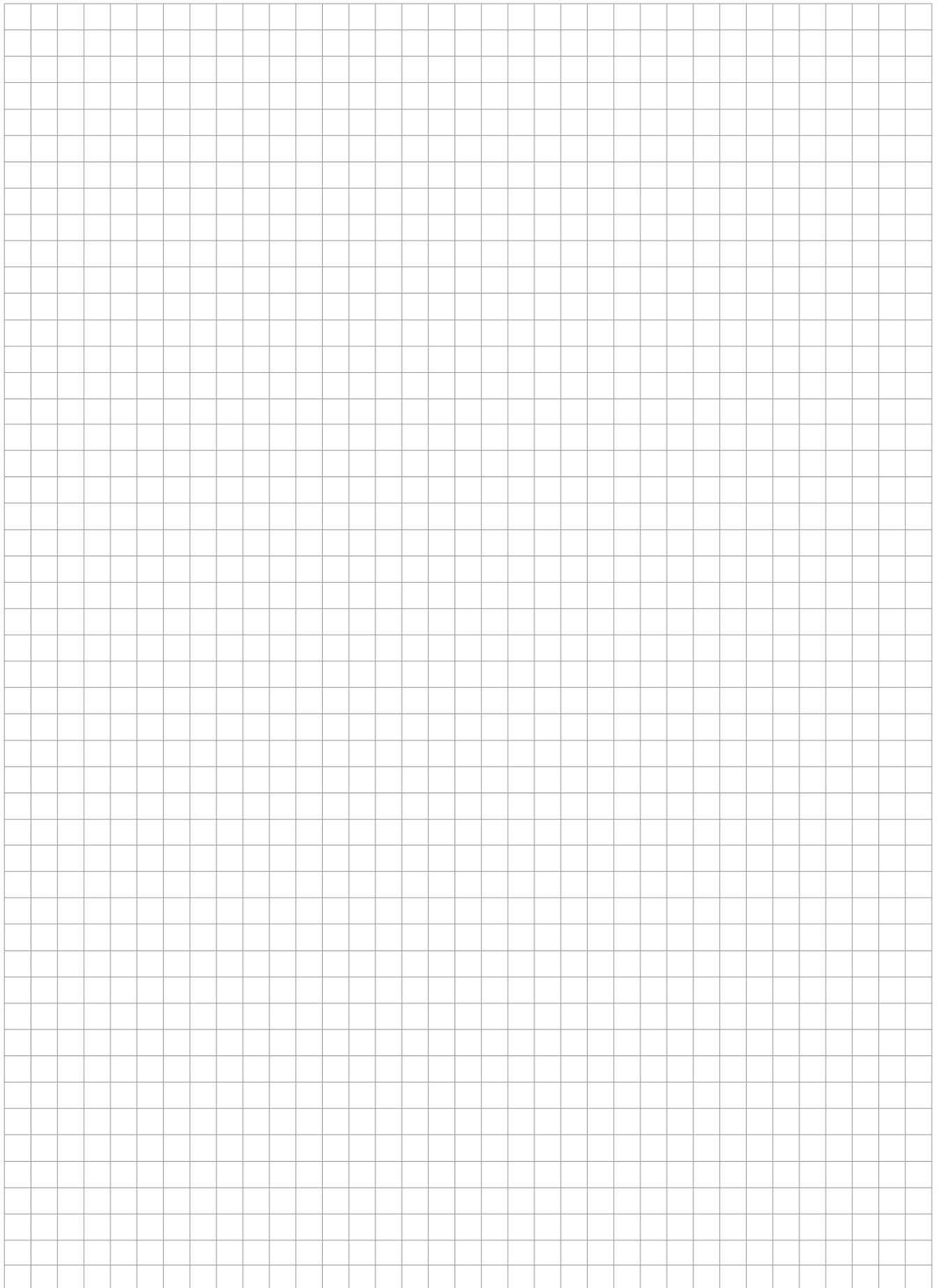
- Messverpflichtung durch Ermittlungsverpflichtung ersetzt.
- Verweis auf Anhang II Nr. 6 (geschlossene Anlagen bei besonders krebserzeugenden Stoffen wie Dimethylsulfat, HMPT etc.)











Standorte der BGHM



**Berufsgenossenschaft
Holz und Metall**

Internet: www.bghm.de
kostenfreie Servicehotline 0800 9990080-0