

Ausgabe Februar 2020 ^{*)}

GMBI 2020 S. 236-276 [Nr. 12-13] (v. 30.03.2020)

Technische Regeln für Gefahrstoffe	Schweißtechnische Arbeiten	TRGS 528
---	-----------------------------------	-----------------

Die Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) geben den Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene sowie sonstige gesicherte wissenschaftliche Erkenntnisse für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen, einschließlich deren Einstufung und Kennzeichnung, wieder. Sie werden vom

Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS)

unter Beteiligung des Ausschusses für Arbeitsmedizin (AfAMed) aufgestellt und vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) im Gemeinsamen Ministerialblatt (GMBI) bekannt gegeben.

Diese TRGS konkretisiert im Rahmen ihres Anwendungsbereiches Anforderungen der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) und der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV). Bei Einhaltung der Technischen Regeln kann der Arbeitgeber insoweit davon ausgehen, dass die entsprechenden Anforderungen der Verordnung erfüllt sind. Wählt der Arbeitgeber eine andere Lösung, muss er damit mindestens die gleiche Sicherheit und den gleichen Gesundheitsschutz für die Beschäftigten erreichen.

Inhalt

- 1 Anwendungsbereich
- 2 Begriffsbestimmungen
- 3 Informationsermittlung und Gefährdungsbeurteilung
- 4 Schutzmaßnahmen
- 5 Wirksamkeitsüberprüfung
- 6 Arbeitsmedizinische Vorsorge
- 7 Betriebsanweisung und Unterweisung

Anhang 1: Glossar

Anhang 2: Entscheidungshilfen für die Auswahl von Schutzmaßnahmen

Anhang 3: Spezifische Informationen für ausgewählte Sparten

Anhang 4: Hinweise für Messungen

Anhang 5: Beispiele für Betriebsanweisungen

Anhang 6: Informationen gemäß Rauchdatenblatt nach DIN EN ISO 15011-4

^{*)} Hinweis: Die TRGS 528 wurde vollständig überarbeitet, u.a.

- Aktualisierung an den aktuellen Stand des Vorschriften- und Regelwerks,
- Berücksichtigung von Erfahrungen und Anregungen aus der Praxis, des Standes der Technik, Erkenntnissen aus der Fachwelt und Präventionsforschung,
- Einbeziehung der für schweißtechnische Arbeiten relevanten Luftgrenzwerte, z.B. für Chrom(VI)-Verbindungen, Nickel, Cobalt, Mangan oder Stickoxide in die Gefährdungsbeurteilung,
- Berücksichtigung der Gefährdung von anderen Beschäftigten im Gefahrenbereich,
- Neuer Anhang 2 „Entscheidungshilfen für die Auswahl von Schutzmaßnahmen“ und neuer Anhang 3 „Spezifische Informationen für ausgewählte Sparten“ als Hilfestellung für die Praxis.

Literaturhinweise

Inhaltsverzeichnis

1	Anwendungsbereich.....	4
2	Begriffsbestimmungen.....	4
3	Informationsermittlung und Gefährdungsbeurteilung	6
3.1	Informationsermittlung	6
3.1.1	Allgemeine Hinweise zur Gefahrstofffreisetzung	6
3.1.2	Gefahrstoffe beim Schweißen	7
3.1.3	Gefahrstoffe beim thermischen Schneiden und Ausfugen	8
3.1.4	Gefahrstoffe beim thermischen Spritzen.....	9
3.1.5	Gefahrstoffe beim Löten.....	9
3.1.6	Gefahrstoffe beim Flammrichten	10
3.1.7	Gefahrstoffe bei additiven Fertigungsverfahren mit Metallpulvern	10
3.2	Gefährdungsbeurteilung.....	10
3.2.1	Allgemeine Hinweise zur Gefährdungsbeurteilung	10
3.2.2	Werkstoffspezifische Faktoren der Gefährdungsbeurteilung.....	12
3.2.3	Verfahrensspezifische Faktoren der Gefährdungsbeurteilung	14
3.2.4	Arbeitsplatz- und tätigkeitsspezifische Faktoren der Gefährdungsbeurteilung .	16
3.2.5	Gesamtbeurteilung der Gefährdung	16
4	Schutzmaßnahmen	17
4.1	Grundsätzliche Anforderungen.....	17
4.2	Substitution: Auswahl von gefahrstoffarmen Verfahren und Werkstoffen/Zusatzwerkstoffen	18
4.3	Lüftungstechnische und bauliche Maßnahmen.....	19
4.4	Absaugung im Entstehungsbereich	20
4.4.1	Luftvolumenströme.....	20
4.4.2	Absaugung bei Schweißen von Hand.....	20
4.4.3	Absaugung bei vollmechanisierten und automatisierten Schweißen.....	21
4.5	Luftrückführung	21
4.6	Organisatorische Maßnahmen	22
4.7	Persönliche Schutzmaßnahmen (Atenschutz)	23
5	Wirksamkeitsüberprüfung.....	25
5.1	Allgemeines zur Wirksamkeitsüberprüfung.....	25
5.2	Zusätzliche Bestimmungen und Hinweise zur Wirksamkeitsüberprüfung durch Arbeitsplatzmessungen	26
5.3	Dokumentation	27
5.4	Folgen der Wirksamkeitsüberprüfung	28
5.5	Befundsicherung	28

6	Arbeitsmedizinische Vorsorge	28
7	Betriebsanweisung und Unterweisung	29
	Anhang 1: Glossar.....	31
	Anhang 2: Entscheidungshilfen für die Auswahl von Schutzmaßnahmen.....	38
	Anhang 3: Spezifische Informationen für ausgewählte Sparten	41
	Anhang 4: Hinweise für Messungen	53
	Anhang 5: Beispiele für Betriebsanweisungen.....	61
	Anhang 6: Informationen gemäß Rauchdatenblatt nach DIN EN ISO 15011-4	63
	Literaturhinweise	64

1 Anwendungsbereich

(1) Diese TRGS gilt für schweißtechnische Arbeiten an metallischen Werkstoffen, bei denen gas- und partikelförmige Gefahrstoffe entstehen können. Diese werden insbesondere folgenden Verfahren zugeordnet:

Schweißen,

1. thermisches Schneiden und Ausfugen,
2. thermisches Spritzen,
3. Löten,
4. Flammrichten,
5. additive Fertigungsverfahren mit Metallpulvern.

(2) Zu den Verfahrensbezeichnungen im Einzelnen siehe Anhang 1.

(3) Für die Handhabung der Prozessgase gelten neben dieser TRGS die TRGS 407 „Tätigkeiten mit Gasen – Gefährdungsbeurteilung“ und die TRBS 3145/TRGS 745 „Ortsbewegliche Druckgasbehälter - Füllen, Bereithalten, innerbetriebliche Beförderung, Entleeren“. Für die Lagerung der Prozessgase gelten die Anforderungen der TRGS 510 „Lagerung von Gefahrstoffen in ortsbeweglichen Behältern“.

2 Begriffsbestimmungen

Im Sinne dieser TRGS werden folgende Begriffe bestimmt:

(1) Schweißtechnische Arbeiten sind Arbeiten, bei denen die in Anhang 1 beschriebenen Verfahren und verwandte Verfahren zur Anwendung kommen. Nebenarbeiten, z.B. Schleifen, die im direkten Zusammenhang mit der Anwendung dieser Verfahren stehen, gehören ebenfalls zu den schweißtechnischen Arbeiten.

(2) Schweißer sind nach dieser TRGS alle Personen, die schweißtechnische Arbeiten ausführen. Zu den Schweißern zählen auch Bedienpersonen von Schweißanlagen.

(3) Grundwerkstoff ist der im Rahmen von schweißtechnischen Arbeiten zu bearbeitende Werkstoff.

(4) Zusatzwerkstoff ist der im Rahmen von schweißtechnischen Arbeiten zugeführte und abschmelzende Werkstoff z.B. Schweißzusatz, der mit dem Grundwerkstoff eine stoff- oder

formschlüssige Verbindung eingeht. Zusatzwerkstoffe können stab-, draht-, band- oder pulverförmig ausgeführt sein.

(5) Schweißrauche sind nach dieser TRGS die bei schweißtechnischen Arbeiten entstehenden partikelförmigen Stoffe.

(6) Gasförmige Gefahrstoffe sind die bei schweißtechnischen Arbeiten entstehenden oder eingesetzten Gase z.B. Stickoxide, Ozon, Kohlenstoffmonoxid, Aldehyde oder Kohlenstoffdioxid, Wasserstoff.

(7) Grenzwerte sind nach dieser TRGS Arbeitsplatzgrenzwerte nach TRGS 900 und risikobasierte Beurteilungsmaßstäbe nach TRGS 910.

(8) Absaugung ist das Erfassen von Gefahrstoffen an ihren Entstehungs- oder Austrittsstellen, wodurch eine Ausbreitung in den Atembereich des Schweißers minimiert werden soll.

(9) Lüftung: Als Technische Lüftung (maschinelle Raumlüftung) wird der Austausch von Raumluft gegen Außenluft durch Strömungsmaschinen, z.B. Ventilatoren, Gebläse bezeichnet. Natürliche Lüftung ist der Austausch von Raumluft gegen Außenluft durch Druckunterschiede infolge Wind oder Temperaturdifferenzen; der Luftaustausch erfolgt dabei üblicherweise über geöffnete Fenster und Türen.

(10) Luftrückführung ist die Rückführung der durch Absaugung erfassten und in Abscheidern gereinigten Luft in Arbeitsräume. Je nach Wirksamkeit der Abscheideanlage wird dabei auch ein gewisser Anteil an Gefahrstoffen in den Arbeitsraum zurückgeführt.

(11) Enge Räume sind allseits oder überwiegend von festen Wandungen umgebene sowie luftaustauscharme (d.h. auch mit technischer Lüftung nur schlecht belüftbare) Bereiche, in denen auf Grund ihrer räumlichen Enge und der entstehenden Gefahrstoffe besondere Gefährdungen bestehen oder entstehen können, die über das üblicherweise an Arbeitsplätzen herrschende Gefahrenpotenzial deutlich hinausgehen. Enge Räume sind z.B. fensterlose Räume, Stollen, Rohrgräben, Rohre, Schächte, Tanks, Kessel, Behälter, chemische Apparate, Kofferdämme und Doppelbodenzellen in Schiffen, in der Regel mit Abmessungen (Länge, Breite, Höhe oder Durchmesser) unter 2 m oder Rauminhalt unter 100 m³.

(12) Ortsgebundenes Verfahren: Die Anwendung eines Verfahrens gilt als ortsgebunden (stationär), wenn es wiederholt am gleichen, dafür eingerichteten Arbeitsplatz durchgeführt wird, z.B. Schweißkabine, Schweißtisch.

(13) Hochlegierter Stahl enthält mindestens 5 Gew.-% eines Legierungselementes wie Chrom, Nickel, Mangan.

(14) Unlegierter bzw. niedriglegierter Stahl enthält in der Summe weniger als 5 Gew.-% aller Legierungselemente wie Chrom, Nickel, Mangan.

(15) Räumliche Trennung ist die vollständige Trennung von Räumen voneinander, d.h. nicht nur über Seitenwände, sondern voll umschließend und mit technisch dichten Wänden, Böden und Decken.

(16) Räumliche Abtrennung eines Arbeitsbereichs vom übrigen Raum kann z.B. realisiert werden über eingezogene Einzelwände, Stellwände, Vorhangssysteme. Es bleiben einzelne

Bereiche des Raumes noch verbunden. In der Regel werden diese Abtrennungen in Kombination mit absaugtechnischen und/oder Lüftungstechnischen Maßnahmen angewandt.

(17) Räumliche Abgrenzung eines Arbeitsbereiches erfolgt z.B. über eine Kennzeichnung der Arbeitsbereiche und Einhaltung von entsprechenden Abständen.

(18) Zwangshaltung liegt dann vor, wenn bei schweißtechnischen Arbeiten Schweißrauche unmittelbar in den Atembereich des Schweißers gelangen (Schweißer muss sich in die Rauchfahne beugen). Ergonomische Aspekte sind im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung nach § 5 Arbeitsschutzgesetz zu berücksichtigen.

3 Informationsermittlung und Gefährdungsbeurteilung

3.1 Informationsermittlung

3.1.1 Allgemeine Hinweise zur Gefahrstofffreisetzung

(1) Durch schweißtechnische Arbeiten werden Gefahrstoffe freigesetzt, die aus partikelförmigen (Schweißrauche, Lötrauche) oder gasförmigen Gefahrstoffen bestehen.

(2) Die partikelförmigen Gefahrstoffe sind Stoffgemische, deren chemische Zusammensetzungen und Konzentrationen von den eingesetzten Werkstoffen und den angewendeten Verfahren abhängig sind. Die freigesetzten Partikel können sowohl der alveolengängigen Staubfraktion (A-Staub) als auch der einatembaren Staubfraktion (E-Staub) angehören, siehe Abbildung 1 und Abschnitte 3.1.2 bis 3.1.7. Des Weiteren können die Rauche auch ultrafeine Partikel enthalten, deren Durchmesser unterhalb von 100 nm liegen.

Einatembare Staubfraktion (E-Staub)					
Alveolengängige Staubfraktion (A-Staub)					
	Schweißrauche				
	Lötrauche				
	Thermisches Schneiden und Ausfugen				
			Thermisches Spritzen		
0	0,01 µm	0,1 µm	1 µm	10 µm	100 µm (0,1 mm)

Abbildung 1: Größe der partikelförmigen Gefahrstoffe aus schweißtechnischen Prozessen in Relation zu den Staubfraktionen nach DIN EN 481

(3) Die bei schweißtechnischen Arbeiten entstehenden Rauche und Gase bestehen aus Gefahrstoffen mit teilweise unterschiedlichen gesundheitsschädlichen Wirkungen. Entsprechend ihrer Wirkungen werden diese eingeteilt in:

1. atemweg- und lungenbelastende Stoffe z.B. Eisenoxide, Aluminiumoxid,

- | | |
|--|--|
| 2. toxische oder toxisch-irritative Stoffe | z.B. Fluoride, Manganoxide, Zinkoxid, Kupferoxid, Aldehyde (beim Lötten mit kolophonihaltigen Flussmitteln), |
| 3. krebserzeugende Stoffe | z.B. Chrom(VI)-Verbindungen, Nickeloxid. |

Siehe hierzu auch Abschnitt 3.2.2.

(4) Informationen zum verwendeten Zusatzwerkstoff können dem Sicherheitsdatenblatt oder dem Rauchdatenblatt nach DIN EN ISO 15011-4 entnommen werden (siehe Anhang 6).

(5) Zu berücksichtigen sind gegebenenfalls auch freigesetzte Gefahrstoffe aus Oberflächenverunreinigungen oder Beschichtungen, wie Pyrolyseprodukte z.B. Isocyanate, Aldehyde, Epoxide, PAHs aus organischen Beschichtungen oder freigesetzte Gefahrstoffe aus anorganischen Beschichtungen z.B. Mennige, Zinkchromat, asbesthaltige Anstriche.

3.1.2 Gefahrstoffe beim Schweißen

(1) Beim Schweißen werden insbesondere folgende Verfahren verwendet (Hauptgruppen nach DIN EN ISO 4063):

1. Gasschmelzschweißen,
2. Lichtbogenschweißen (LBH/MAG/MIG/WIG/Plasma/UP-Schweißen),
3. Widerstandsschweißen,
4. Strahlschweißen (Elektronenstrahl/Laserstrahl),
5. Pressschweißen z.B. Rührreibschweißen, Magnetimpulsschweißen, Diffusionsschweißen.

Hinweise zu diesen Hauptgruppen siehe auch Anhang 1.

(2) Beim Schweißen entstehen in der Regel über 95 % der Schweißrauche aus dem Zusatzwerkstoff und nur etwa 5 % aus dem Grundwerkstoff. Die Einzelpartikel sind vorwiegend kleiner als 1 µm und daher alveolengängig. Es bilden sich auch Agglomerate und Aggregate größeren Durchmessers.

(3) Als entstehende gasförmige Gefahrstoffe sind insbesondere zu berücksichtigen:

1. Ozon beim MIG-Schweißen von Aluminiumwerkstoffen, beim WIG-Schweißen von Aluminiumwerkstoffen und hochlegierten Stählen,
2. Kohlenstoffmonoxid beim MAGC-Schweißen von un- und niedriglegiertem Stahl,
3. nitrose Gase (NO, NO₂) bei autogenen Verfahren und bei Plasmaverfahren,
4. Pyrolyseprodukte aus Klebstoffen beim Punktschweißkleben und beim Überschweißen organischer Beschichtungen.

(4) Chrom(VI)-Verbindungen (Alkalichromate und Alkalidichromate, z.B. Na₂CrO₄, K₂CrO₄, K₂Cr₂O₇) im Schweißrauch treten vorwiegend beim Lichtbogenhandschweißen von Chrom-Nickel-Stahl mit umhüllten Stabelektroden sowie beim Metall-Schutzgas-Schweißen von Chrom-Nickel-Stahl mit hochlegierten Fülldrähten auf. Beim MAG-Schweißen von Chrom-Nickel-Stahl mit hochlegierten Drähten treten überwiegend Chrom(III)-Verbindungen (Cr₂O₃, Spinelle des Typs Ni(Cr,Fe)₂O₄) auf, siehe Tabelle 5. Chromtrioxid (CrO₃) tritt in Schweißrauchen in der Regel nicht auf.

(5) Nickeloxid (NiO) im Schweißrauch tritt vorwiegend beim MIG-Schweißen, aber auch beim Lichtbogenhandschweißen, WIG-Schweißen und Laserstrahl-Auftragschweißen von Ni-

ckel und Nickelbasislegierungen auf. Nickelspinelle z.B. Fe_2NiO_4 im Schweißrauch treten vorwiegend beim MAG-Schweißen sowie Fülldrahtschweißen ohne Schutzgas von hochlegierten Chrom-Nickel-Stählen auf (siehe Tabelle 5). Bei Nickelspinellen ist wie bei Nickeloxiden von einer krebserzeugenden Wirkung auszugehen (Fußnote 24 TRGS 900, IFA-Arbeitsmappe Kennzahl 0537).

(6) Beim Schweißen von verzinkten Materialien bzw. zinkhaltigen Legierungen, z.B. Messing, ist die Freisetzung von Zinkoxidrauch zu berücksichtigen. Wenn kupferhaltige Zusatzwerkstoffe z.B. Legierung „CuSi3“ verwendet werden, ist neben Zinkoxidrauch auch Kupferoxidrauch zu berücksichtigen.

(7) Werden an Schweißarbeitsplätzen auch Nebenarbeiten wie Schleifen, Trennen, Putzen, Polieren etc. durchgeführt, entstehen aus den zu bearbeitenden Werkstücken sowie den eingesetzten Schleifmitteln durch mechanischen Abtrag zusätzliche Partikelemissionen.

(8) Beim Anschleifen von nicht abschmelzenden Elektroden z.B. WIG-Elektroden ist mit der Freisetzung von gesundheitsschädlichen Stäuben zu rechnen, so dass eine geeignete Absaugung erforderlich ist. Dies gilt insbesondere für das Schleifen thoriumdioxidhaltiger Elektroden, hier ist eine Absaugung mit Entstaubern der Staubklasse H erforderlich, siehe auch Abschnitt 4.2 Absatz 7.

3.1.3 Gefahrstoffe beim thermischen Schneiden und Ausfugen

(1) Beim thermischen Schneiden und Ausfugen werden insbesondere folgende Verfahren verwendet (Hauptgruppen nach DIN EN ISO 4063):

1. Autogenes Brennschneiden und Brennfugen,
2. Lichtbogenschneiden und Lichtbogenausfugen,
3. Plasmaschneiden und Plasmaausfugen,
4. Laserstrahlschneiden.

(2) Beim thermischen Schneiden und Ausfugen entstehen die Rauche aus dem Grundwerkstoff. Die Rauchzusammensetzung ist abhängig von der chemischen Zusammensetzung des Grundwerkstoffs und aus gegebenenfalls vorhandenen Beschichtungen oder Verunreinigungen. Die im Rauch enthaltenen Partikel haben Durchmesser zwischen 0,03 und – in agglomerierter Form – etwa 10 µm. Sie sind vorwiegend alveolengängig. Zu berücksichtigen sind auch Gefahrstoffe aus Altanstrichen, z.B. bleihaltige Beschichtungen (Mennige), Zinkchromat, asbesthaltige Beschichtungen.

(3) Als entstehende gasförmige Gefahrstoffe sind insbesondere zu berücksichtigen:

1. Nitrose Gase beim autogenen Brennschneiden/Brennfugen, Plasmaschneiden/Plasmaausfugen und Laserstrahlschneiden jeweils mit Druckluft oder Stickstoff,
2. Ozon beim Plasmaschneiden/Plasmaausfugen und Laserstrahlschneiden (bei Einsatz UV-Licht emittierender Laser) von Aluminiumwerkstoffen,
3. Aldehyde beim Brennschneiden/Brennfugen durch Pyrolyseprodukte von Anstrichen,
4. Dioxine beim Brennschneiden/Brennfugen von Werkstoffen mit Beschichtungen, die organische Chlorverbindungen enthalten, siehe hierzu auch TRGS 557.

3.1.4 Gefahrstoffe beim thermischen Spritzen

(1) Beim thermischen Spritzen werden insbesondere folgende Verfahren verwendet (Hauptverfahren nach DIN EN ISO 14917):

1. Flamspritzen,
2. Kaltgasspritzen,
3. Lichtbogenspritzen,
4. Plasmaspritzen,
5. Laserstrahlspritzen,
6. Plasma-Oberflächenbehandlung mit übertragendem Lichtbogen (PTA).

(2) Die beim thermischen Spritzen entstehenden Rauche und gasförmigen Gefahrstoffe bilden sich aus dem Spritzzusatzwerkstoff und den verwendeten Brenn- und Trägergasen. Die chemischen Zusammensetzungen dieser Rauche sind abhängig von der Zusammensetzung des eingesetzten Spritzzusatzwerkstoffes. Der Grundwerkstoff wird nicht angeschmolzen und nur wenig thermisch belastet.

(3) Spritzzusatzwerkstoffe sind draht- oder pulverförmig und bestehen aus Metallen/Metalllegierungen z.B. Zink, Zinn, Nickel, Kupfer, Nickel/Chrom, Nickel/Kupfer, oxidkeramischen Werkstoffen z.B. Aluminiumoxid, Zirkondioxid, Chrom(III)oxid, Titandioxid oder carbidischen Werkstoffen z.B. Wolframcarbid mit Anteilen an Cobalt und/oder Nickel und ggf. Chrom. Beim thermischen Spritzen bilden sich Partikel in der Regel im einatembaren Bereich. In Spezialfällen können jedoch auch alveolengängige Partikel auftreten.

(4) Als entstehende gasförmige Gefahrstoffe sind beim Flamspritzen und Plasmaspritzen insbesondere nitrose Gase zu berücksichtigen.

3.1.5 Gefahrstoffe beim Löten

(1) Beim Löten werden insbesondere folgende Verfahren verwendet (Hauptverfahren nach DIN ISO 857-2):

1. Weichlöten (Arbeitstemperatur $T \leq 450$ °C),
2. Hartlöten (Arbeitstemperatur $T > 450$ °C), u.a. Flammhartlöten, Lichtbogenhartlöten, Laserstrahlhartlöten).

(2) Beim Weich- und Hartlöten werden lediglich die Lote, nicht jedoch der Grundwerkstoff aufgeschmolzen. Die chemischen Zusammensetzungen der Rauche beim Weich- und Hartlöten sind deshalb von den eingesetzten Loten und Flussmitteln abhängig. Die dabei entstehenden Partikel haben überwiegend Durchmesser zwischen 0,01 und 0,15 µm. Sie sind alveolengängig.

(3) Beim Weichlöten werden im Wesentlichen Lote auf Zinnbasis z.B. Legierungen „Sn99Cu1“, „Sn95Ag4Cu1“ verwendet, bleihaltige Lote enthalten neben Zinn zusätzlich Blei z.B. Legierung „Sn60Pb40“. Beim Weichlöten treten entsprechend als Rauchkomponenten des Lotes im Wesentlichen Zinn und Zinnoxid, bei Verwendung von bleihaltigen Loten entsprechend Zinn, Blei und deren Oxide auf. Darüber hinaus können je nach Zusammensetzung bei bleifreien Loten Kupfer, Silber und deren Oxide nicht ausgeschlossen werden. Als Flussmittel kommen im Wesentlichen natürliche Harze z.B. Kolophonium, organische Säuren z.B. Adipinsäure sowie Chloride z.B. Zinkchlorid, Ammoniumchlorid zum Einsatz. Als gasförmige Gefahrstoffe sind hier insbesondere Aldehyde (aus Kolophonium) und Chlorwasserstoff z.B.

aus Ammoniumchlorid zu berücksichtigen. Des Weiteren treten verdampfende Lösemittel z.B. Isopropanol aus Flussmitteln auf. Weichlote (außer Stangenlötzinn) enthalten bereits ca. 2 bis 3 % Flussmittel. Bei verschiedenen Anwendungen werden allerdings zusätzlich Flussmittelstifte, Lötwasser und Lötöl verwendet.

(4) Beim Flammhartlöten (Arbeitstemperatur > 450 °C) z.B. von Kupfer-Messing, Kupfer-Stahl werden im Wesentlichen Messing-Lote aus Kupfer-Zink-Legierungen verwendet, die noch Zusätze an Silber („Silberhartlote“) enthalten. Die Flussmittel zum Hartlöten enthalten Borverbindungen, Chloride und Fluoride. Entsprechend der eingesetzten Lote und Flussmittel können beim Hartlöten Lötrauche, bestehend aus Kupferoxid, Zinkoxid, Silberoxid, Chloride und Fluoride entstehen. Als gasförmige Gefahrstoffe sind hier Chlorwasserstoff und Fluorwasserstoff zu berücksichtigen. Beim Flammhartlöten zur Herstellung von Kupfer-Kupfer-Verbindungen werden Kupfer-Phosphorhartlote, ggf. auch mit Silberanteil, verwendet, wobei hier kein Flussmittel benötigt wird. Beim Hartlöten von Aluminium kommen entsprechende Aluminiumhartlote (Aluminium-Siliziumlegierungen) bei Arbeitstemperaturen bis 600 °C zum Einsatz.

(5) Beim Lichtbogenhartlöten (MIG-, MAG-, WIG-, Plasmagashartlöten) und Laserstrahlhartlöten, Arbeitstemperatur 900-1100 °C, werden als Zusatzwerkstoff überwiegend drahtförmige Kupferbasis-Legierungen eingesetzt, z.B. Legierung „CuSi3“, „CuAl8“ oder „CuSn6“, wobei im Lötrauch im Wesentlichen Kupferoxid auftritt. Bei verzinkten Blechen kann zusätzlich Zinkoxid auftreten.

3.1.6 Gefahrstoffe beim Flammrichten

Beim Flammrichten sind insbesondere nitrose Gase zu berücksichtigen.

3.1.7 Gefahrstoffe bei additiven Fertigungsverfahren mit Metallpulvern

(1) Bei einigen additiven Fertigungsverfahren werden Metallpulver eingesetzt. Die Pulver bestehen je nach Zusammensetzung z. B. aus Eisen, Chrom, Nickel, Cobalt, Titan, Aluminium. Die Metallpulver weisen überwiegend Korngrößen im Bereich von 20 bis 60 µm auf, können jedoch auch Anteile mit deutlich niedrigeren Durchmessern enthalten. Der Umgang mit den Metallpulvern, insbesondere während der Prozessschritte vor und nach dem Bauprozess (siehe auch Anhang 3) kann zu einer Exposition gegenüber Metallstäuben (A- bzw. E-Staubfraktion) führen.

(2) Da die Metallpulver in der Regel aus nicht oxidiertem Metall bestehen, können von diesen auch Brand- und Explosionsgefahren ausgehen.

3.2 Gefährdungsbeurteilung

3.2.1 Allgemeine Hinweise zur Gefährdungsbeurteilung

(1) Der Arbeitgeber hat nach § 5 Arbeitsschutzgesetz und § 6 Gefahrstoffverordnung vor Aufnahme der Tätigkeit eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen, in der die für die Beschäftigten mit ihrer Arbeit verbundenen Gefährdungen ermittelt und Maßnahmen zum Schutz der Gesundheit festgelegt werden. Auch die mögliche Gefährdung anderer Beschäftigter, die den Schweißrauchen und -gasen ausgesetzt sein können, ist zu beachten.

(2) Hinweise zur Durchführung der Gefährdungsbeurteilung sind in der TRGS 400, für krebserzeugende Stoffe ergänzend in der TRGS 910 ausgeführt. Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung sind grundsätzlich alle Expositionswege (oral, dermal, inhalativ) zu berücksichtigen. Bei schweißtechnischen Arbeiten ist dabei hauptsächlich die inhalative Exposition unter Beachtung weiterer relevanter Randbedingungen, sowie die Art der Tätigkeiten, wie z.B. schwere körperliche Arbeiten oder das Tragen belastender PSA zu bewerten. Hilfestellungen

zur Gefährdungsbeurteilung beim Weichlöten geben außerdem die „Empfehlungen zur Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (EGU) nach der Gefahrstoffverordnung Manuelles Kolbenlöten mit bleihaltigen Lotlegierungen in der Elektro- und Elektronikindustrie“ (DGUV Information 213-714) und die „Empfehlungen Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (EGU) nach der Gefahrstoffverordnung Manuelles Kolbenlöten mit bleifreien Lotlegierungen in der Elektro- und Elektronikindustrie“ (DGUV Information 213-725).

(3) Hinweise zur Durchführung der messtechnischen Ermittlungen sind in Abschnitt 5.2 sowie in Anhang 4 dieser TRGS beschrieben.

(4) Die Bewertung der inhalativen Belastung erfolgt nach TRGS 402, dabei sind die in der TRGS 900 veröffentlichten Arbeitsplatzgrenzwerte zu berücksichtigen. Bei schweißtechnischen Arbeiten, bei denen krebserzeugende Stoffe mit risikobasierten Beurteilungsmaßstäben z.B. Chrom(VI)-Verbindungen, Nickeloxide freigesetzt werden, insbesondere beim Schweißen hochlegierter Werkstoffe und Nickelbasislegierungen, sind für die Bewertung der inhalativen Belastung die risikobasierten Beurteilungsmaßstäbe der TRGS 910 zu berücksichtigen.

(5) Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung sind darüber hinaus die werkstoff-, verfahrens- und arbeitsplatzspezifischen Faktoren, durch die die Exposition am Arbeitsplatz wesentlich bestimmt wird, zu berücksichtigen.

(6) Die Ergebnisse der Gefährdungsbeurteilung sowie der Wirksamkeitsüberprüfung sind zu dokumentieren. Die Ergebnisse von Arbeitsplatzmessungen sind aufzubewahren und den Beschäftigten zugänglich zu machen. In der Dokumentation muss dargelegt werden, welche Maßnahmen ergriffen werden, um die durch Gefahrstoffe bedingten Gefährdungen zu beseitigen oder auf ein Minimum zu verringern.

(7) Wird bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen ein Beurteilungsmaßstab nach TRGS 910 überschritten, muss ein Maßnahmenplan aufgestellt werden, siehe hierzu TRGS 910.

(8) Über Beschäftigte, die Tätigkeiten mit krebserzeugenden oder keimzellmutagenen Gefahrstoffen der Kategorien 1A oder 1B durchführen und bei denen eine Gefährdung der Gesundheit oder Sicherheit besteht, hat der Arbeitgeber nach § 14 Absatz 3 GefStoffV ein Verzeichnis zu führen und dieses 40 Jahre lang nach Ende der Exposition aufzubewahren. Das Verzeichnis ist regelmäßig zu aktualisieren. Näheres regelt die TRGS 410. Dies trifft insbesondere für Beschäftigte zu, die schweißtechnische Arbeiten durchführen und Schweißbrauchen mit krebserzeugenden Stoffen der Kategorien 1A oder 1B ausgesetzt sind.

(9) Ferner hat der Arbeitgeber bei der Gefährdungsbeurteilung die aus der arbeitsmedizinischen Vorsorge gewonnenen Erkenntnisse, insbesondere aus dem Biomonitoring, soweit diese vorliegen, sowie allgemein zugängliche, veröffentlichte Informationen zu berücksichtigen. Das Recht auf die Einsicht in individuelle Untersuchungsergebnisse kann der Arbeitgeber aus dieser Vorgabe jedoch nicht ableiten.

(10) Der Arbeitgeber hat die Erforderlichkeit der Beteiligung des Betriebsarztes an der Gefährdungsbeurteilung zu prüfen. Bei Verfahren, die eine Freisetzung krebserzeugender Stoffe erwarten lassen, soll der Betriebsarzt an der Gefährdungsbeurteilung beteiligt werden. Dies gilt auch für die Beurteilung von Maßnahmen zur Gefahrenabwehr, wenn für den Schweißarbeitsplatz typische Arbeitsunfälle oder Berufskrankheiten aufgetreten sind. Die Beteiligung des Arztes kann je nach den Gegebenheiten unterschiedlich ausgeprägt sein und reicht von kurzen schriftlichen oder mündlichen Stellungnahmen bis zum Erstellen der Gefährdungsbeurteilung

im Auftrag des Arbeitgebers (siehe AMR 3.2). Im Vordergrund der Beteiligung des Betriebsarztes an der Gefährdungsbeurteilung steht das Einbringen arbeitsmedizinischen Sachverständnisses. Der Arzt berät den Arbeitgeber insbesondere

1. zu Eigenschaften und Bedeutung von alveolengängigem und einatembarem Staub,
2. zu krebserzeugenden Eigenschaften von Partikeln und Gasen zum Beispiel Chrom(VI)-Verbindungen, Nickeloxide, Cadmiumoxid, Cobaltmetall,
3. zu toxischen oder toxisch-irritativen Eigenschaften von Partikeln und Gasen z.B. Fluoride, Kupferoxid, Aluminiumoxid, Eisenoxide, Manganoxide, Isocyanate, Epoxide, Dioxine, Aldehyde, Chlorwasserstoff, Kohlenstoffmonoxid, nitrose Gase, Ozon,
4. zu radioaktiven Eigenschaften von Partikeln z.B. Thoriumdioxid,
5. zu akuten und chronischen Folgen der Exposition z.B. Verursachung von Lungenödem, Metalldampffieber, Krebserkrankungen, Lungenfibrose und chronisch obstruktiver Bronchitis,
6. zur arbeitsmedizinischen Vorsorge nach Abschnitt 6 einschließlich Biomonitoring (siehe AMR 6.2) und Impfangebot (siehe AMR 6.7),
7. hinsichtlich möglicher Abschneidekriterien für die arbeitsmedizinische Vorsorge bei Exposition gegenüber krebserzeugenden Partikeln und Gasen (siehe AMR 3.2),
8. zu speziellen Fragestellungen bei besonderen Personengruppen wie z.B. Jugendliche, schwangere oder stillende Frauen.

3.2.2 Werkstoffspezifische Faktoren der Gefährdungsbeurteilung

Die bei schweißtechnischen Arbeiten entstehenden Schweißrauche und Gase bestehen aus Gefahrstoffen mit teilweise unterschiedlichen gesundheitsschädlichen Wirkungen. Entsprechend ihrer Wirkungen werden diese gemäß Tabelle 1 eingeteilt:

Tabelle 1: Einteilung der bei schweißtechnischen Arbeiten entstehenden Gefahrstoffe nach ihrer gesundheitsschädlichen Wirkung

Entstehender Gefahrstoff	Wirkungen			
Gasförmig/ <u>Partikelförmig</u>	Atemweg- und Lungenbelas- tend ¹⁾	Toxisch ²⁾	Krebser- zeugend	Reproduktions- toxisch
Stickstoffmonoxid		X		
Stickstoffdioxid		X		
Ozon		X	X ⁴⁾	
Kohlenstoffmonoxid		X		X ⁵⁾
Phosgen		X		
Cyanwasserstoff		X		
Formaldehyd		X	X ³⁾	
<u>Aluminiumoxid</u>	X			
<u>Eisenoxide (z.B. Fe₃O₄)</u>	X			
<u>Magnesiumoxid</u>	X			
<u>Barium-Verbindungen (z.B. BaCO₃)</u>		X		
<u>Blei(II)oxid</u>		X		X ⁵⁾
<u>Fluoride (z.B. NaF, KF, CaF₂, BaF₂)</u>		X		
<u>Kupferoxid</u>		X		
<u>Manganoxide (z.B. MnO, Mn₃O₄)</u>		X		
<u>Molybdän(VI)oxid</u>		X	X ⁴⁾	
<u>Vanadiumpentoxid</u>		X		
<u>Chrom(III)-Verbindungen</u>		X		
<u>Zinkoxid</u>		X		
<u>Titandioxid</u>	X			
<u>Chrom(VI)-Verbindungen (z.B. Na₂CrO₄)</u>		X	X ³⁾	
<u>Nickeloxide (z.B. NiO)</u>		X	X ³⁾	
<u>Cobaltmetall</u>			X ⁶⁾	
<u>Cobaltoxide (z.B. CoO, Co₂O₃)</u>		X	X ⁷⁾	
<u>Cadmiumoxid</u>		X	X ³⁾	
<u>Berylliumoxid</u>		X	X ³⁾	

1) Atemweg- und lungenbelastend bedeutet hier, dass Wirkungen im Sinne einer chronischen Entzündung (chronische Bronchitis) durch Überladung mit Partikeln im Vordergrund stehen. Als Folge hiervon kann eine obstruktive Atemwegserkrankung, meist in Form einer chronisch-obstruktiven Lungenerkrankung (COPD) resultieren. Für diese Stoffe gilt der allgemeine Staubgrenzwert.

2) Toxisch bedeutet hier in der Literatur beschriebene akut oder chronisch toxische Wirkungen, in der Regel auch eine entsprechende Einstufung nach der CLP-Verordnung (Verordnung (EG) Nr. 1272/2008). Die Einhaltung des allgemeinen Staubgrenzwertes (A-Fraktion) ist deshalb, im

Unterschied zu den als atemwegs- und lungenbelastend ausgewiesenen Gefahrstoffen, nicht ausreichend.

- 3) Eingestuft nach der CLP-Verordnung (Verordnung (EG) Nr. 1272/2008) in die Gefahrenklasse Karzinogenität, Kategorien 1A oder 1B.
- 4) Eingestuft nach der CLP-Verordnung (Verordnung (EG) Nr. 1272/2008) in die Gefahrenklasse Karzinogenität, Kategorie 2.
- 5) Eingestuft nach der CLP-Verordnung (Verordnung (EG) Nr. 1272/2008) in die Gefahrenklasse Reproduktionstoxizität, Kategorie 1A.
- 6) Eingestuft nach TRGS 905 als krebserzeugend, Kategorie 1B.
- 7) Eingestuft nach TRGS 905 als krebserzeugend, Kategorie 2.

Siehe hierzu auch Abschnitt 3.1.1 Absatz 3.

3.2.3 Verfahrensspezifische Faktoren der Gefährdungsbeurteilung

(1) In Abhängigkeit vom verwendeten Verfahren werden Schweißbrauche in unterschiedlichem Maße freigesetzt. Ein Maß für die Freisetzung ist die jeweilige Emissionsrate (emittierte Partikelmasse eines Verfahrens pro Zeit in mg/s bzw. g/h). Typische Emissionsraten von schweißtechnischen Verfahren sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

(2) Die Verfahren werden entsprechend ihrer Emissionsraten partikelförmiger Stoffe in folgende 4 Emissionsgruppen eingeteilt:

1. niedrig ($< 1 \text{ mg/s}$),
2. mittel (1 bis 2 mg/s),
3. hoch (2 bis 25 mg/s) und
4. sehr hoch ($> 25 \text{ mg/s}$).

Grundsätzlich gilt: Je höher die Emissionsgruppe, desto höher sind die Anforderungen an die Maßnahmen zur Expositionsminderung am Arbeitsplatz.

(3) Die Emissionsraten beschreiben die Freisetzung von Schweißrauchen bei schweißtechnischen Verfahren und liefern damit Anhaltspunkte über die mögliche Exposition der Beschäftigten am Arbeitsplatz.

(4) Informationen zu Emissionsraten können auch den Rauchdatenblättern nach DIN EN ISO 15011-4 entnommen werden (siehe Anhang 6).

Tabelle 2: Beurteilung der Verfahren anhand von Emissionsraten. Zuordnung zu Emissionsgruppen.

Verfahren (beispielhafte Aufzählung)	Emissionsrate ¹⁾ (mg/s)	Emissionsgruppe
UP-Schweißen	< 1	niedrig
Gasschweißen (Autogenverfahren)	< 1	niedrig
WIG	< 1	niedrig
Laserstrahlschweißen ohne Zusatzwerkstoff	1 bis 2	mittel
MIG/MAG (energiearmes Schutzgasschweißen)	1 bis 4	mittel bis hoch
Laserstrahlschweißen mit Zu- satzwerkstoff	2 bis 5	hoch
MIG (Massivdraht, Nickel, Ni- ckelbasislegierungen)	2 bis 6	hoch
MIG (Aluminiumwerkstoffe)	0,8 bis 29	niedrig bis sehr hoch
MAG (Massivdraht)	2 bis 12	hoch
LBH	2 bis 22	hoch
MAG (Fülldraht-Schweißen mit Schutzgas)	6 bis > 25	hoch bis sehr hoch
MAG (Fülldraht-Schweißen ohne Schutzgas)	> 25	sehr hoch
Weichlöten	< 1	niedrig
Hartlöten	1 bis 4	mittel bis hoch
MIG-Löten	1 bis 9	mittel bis hoch
Laserstrahlschneiden	9 bis 25	hoch bis sehr hoch
Autogenes Brennschneiden	> 25	sehr hoch
Plasmaschneiden	> 25	sehr hoch
Lichtbogenspritzen	> 25	sehr hoch
Flammspritzen	> 25	sehr hoch

1) Erfahrungswerte, die im Einzelfall durch Optimierung der Prozessparameter noch reduziert werden können.

(5) Bei folgenden schweißtechnischen Verfahren werden verfahrensspezifisch neben Schweißrauch (Partikel) auch gasförmige Gefahrstoffe freigesetzt, die in der Gefährdungsbeurteilung mit zu berücksichtigen sind:

1. MIG-Schweißen von Aluminiumwerkstoffen: Ozon; es entsteht aus dem Luftsauerstoff durch das Einwirken von UV-Strahlung aus dem Lichtbogen,
2. MAGC-Schweißen von un- und niedriglegiertem Stahl: Kohlenstoffmonoxid,
3. Autogenverfahren, Lichtbogen-, Plasma- und Laserstrahlverfahren: Nitrose Gase (NO, NO₂),
4. Weichlöten: Aldehyde,
5. Hartlöten: Chlorwasserstoff,
6. Punktschweißkleben: Pyrolyseprodukte beim Klebstoffabbbrand.

Siehe hierzu auch Abschnitte 3.1.2 bis 3.1.6.

3.2.4 Arbeitsplatz- und tätigkeitsspezifische Faktoren der Gefährdungsbeurteilung

(1) Arbeitsplatz- und tätigkeitsspezifische Faktoren, wie räumliche Verhältnisse, Lüftungssituation und insbesondere die Lichtbogenbrennzeit pro Schicht beeinflussen zusätzlich die Gefahrstoffkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz und damit auch die Höhe der Exposition. Die Exposition wird darüber hinaus aber auch durch die Kopf- und Körperposition des Schweißers bestimmt.

(2) Bei schweißtechnischen Arbeiten in engen Räumen oder in Bereichen mit geringem Luftaustausch ist mit einer sehr hohen Exposition zu rechnen.

(3) Werden Schweißarbeiten in einer Zwangshaltung ausgeführt, ist ebenfalls von einer hohen bis sehr hohen Exposition auszugehen.

(4) Eine geringe Exposition kann vorliegen, wenn schweißtechnische Arbeiten nur kurzzeitig (nicht länger als eine halbe Stunde pro Schicht) ausgeführt werden. Typische Beispiele sind:

1. Reparaturschweißarbeiten im Fahrzeugbau, auf Bauhöfen, in mechanischen Werkstätten,
2. Heftarbeiten sowie Ausführung kurzer unterbrochener Schweißnähte,
3. Hartlötarbeiten im Heizungsbau.

(5) Eine geringe Exposition kann nicht bei schweißtechnischen Arbeiten in engen Räumen vorliegen.

(6) In Abhängigkeit von der Art und dem Umfang der Nebenarbeiten z.B. Schleifen ist zu prüfen, ob zusätzliche Schutzmaßnahmen erforderlich werden bzw. ob die an den Schweißarbeitsplätzen bereits getroffenen Schutzmaßnahmen auch für diese Emissionen geeignet sind (Hinweis: Schweißrauchabsauganlagen sind in der Regel nicht zum Absaugen brennbarer Stäube, z.B. Aluminiumstaub, geeignet). Sind zusätzliche Maßnahmen erforderlich, sind diese im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung festzulegen. Zum Anschleifen der Elektroden siehe auch Abschnitte 3.1.2 Absatz 8 und 4.2 Absatz 7.

(7) Ungewollt aus Druckgasflaschen oder defekten Zuleitungen ausströmende Gase können den Luftsauerstoff in Arbeitsbereichen verdrängen, so dass Erstickungsgefahr besteht. Dies gilt insbesondere für Arbeiten in engen Räumen und unter Erdgleiche. Treten Brenngase oder Schutzgase/Formiergase mit hohem Wasserstoffanteil unkontrolliert aus, können sich explosionsfähige Gasgemische bilden.

(8) Entweicht Sauerstoff in die Umgebung, besteht eine erhöhte Brandgefahr. Auch normalerweise schwer entflammbare Materialien können bei erhöhtem Sauerstoffgehalt in der Atmosphäre in Brand geraten.

3.2.5 Gesamtbeurteilung der Gefährdung

Der Arbeitgeber hat die werkstoffspezifischen, verfahrensspezifischen sowie arbeitsplatz- und tätigkeitsspezifische Faktoren zu ermitteln, zu bewerten und zu einer Gesamtbeurteilung zusammenzuführen und die erforderlichen Schutzmaßnahmen nach Abschnitt 4 dieser TRGS

festzulegen. In der Gesamtbeurteilung ist die Gefährdung von anderen Beschäftigten mit zu berücksichtigen.

4 Schutzmaßnahmen

4.1 Grundsätzliche Anforderungen

(1) Als Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung hat der Arbeitgeber die erforderlichen Schutzmaßnahmen nach Abschnitt 4 sowie den Anhängen 2 und 3 dieser TRGS festzulegen. Die angegebenen Schutzmaßnahmen sind in der Regel auch geeignet, die Exposition gegenüber ultrafeinen Partikeln zu minimieren.

(2) Kann bei schweißtechnischen Arbeiten eine Exposition von Beschäftigten gegenüber Gefahrstoffen nicht vermieden werden, sind zur Beseitigung oder zur Minimierung der dadurch bedingten Gefährdung geeignete Schutzmaßnahmen erforderlich. Entsprechend der Gefahrstoffverordnung sind auf Grundlage der Gefährdungsbeurteilung folgende Maßnahmen in der aufgeführten Rangfolge zu berücksichtigen:

1. Substitutionsprüfung: Auswahl von gefahrstoffarmen Verfahren und Werkstoffen/Zusatzwerkstoffen (Abschnitt 4.2),
2. Lüftungstechnische und bauliche Maßnahmen (Abschnitte 4.3 bis 4.5),
3. Organisatorische und hygienische Maßnahmen (Abschnitt 4.6) und
4. Persönliche Schutzmaßnahmen (Abschnitt 4.7).

(3) Die Maßnahmen sind so auszulegen, dass mindestens die Grenzwerte eingehalten werden. Darüber hinaus ist zu prüfen, ob die Expositionen im Sinne des Minimierungsgebotes nach dem Stand der Technik weiter abgesenkt werden können. Ist die Wirksamkeit einer Schutzmaßnahme nicht ausreichend, ist eine Kombination von Maßnahmen zu ergreifen. Wenn mit einer Absaugung an der Entstehungsstelle die Einhaltung der Grenzwerte nicht sichergestellt werden kann, muss der Schweißer geeigneten Atemschutz tragen. Zum Schutz der anderen Beschäftigten im Gefahrenbereich ist bei Überschreitung der Grenzwerte zu prüfen, ob bauliche und organisatorische Maßnahmen umgesetzt werden können. Wenn diese Maßnahmen nicht geeignet sind, müssen raumluftechnische Maßnahmen ergriffen werden. Sind diese Maßnahmen nicht wirksam, müssen auch die anderen Beschäftigten im Gefahrenbereich geeigneten Atemschutz tragen. Siehe hierzu auch Anhang 2.

(4) Grundsätzlich sind die in der TRGS 500 angegebenen Maßnahmen zu veranlassen. Insbesondere wird auf die besonderen Regelungen zur Schichtarbeit, Pausenregelung und Nacharbeit nach TRGS 500 hingewiesen.

(5) Wenn Tätigkeiten mit Gefahrstoffen von einem Beschäftigten alleine (d.h. außerhalb von Ruf- und Sichtweite zu anderen Personen) ausgeführt werden, hat der Arbeitgeber zusätzliche Schutzmaßnahmen festzulegen oder eine angemessene Aufsicht zu gewährleisten, siehe auch TRGS 500.

(6) Bei schweißtechnischen Arbeiten, bei denen krebserzeugende Stoffe mit risikobasierten Beurteilungsmaßstäben z.B. Chrom(VI)-Verbindungen, Nickeloxide freigesetzt werden können, insbesondere beim Schweißen hochlegierter Werkstoffe und Nickelbasislegierungen, ist das gestufte Maßnahmenkonzept der TRGS 910 zu berücksichtigen. Zur Erstellung eines Maßnahmenplans siehe auch Abschnitt 3.2.1 Absatz 7.

(7) Bei Verfahren mit den Emissionsgruppen „niedrig“ bzw. „mittel“ ist in der Regel mindestens eine wirksame Absaugung im Entstehungsbereich erforderlich. Bei Verfahren mit den Emissionsgruppen „hoch“ und „sehr hoch“ sind in der Regel zusätzliche Schutzmaßnahmen

für Schweißer und andere Beschäftigte im Gefahrenbereich erforderlich. Bei schweißtechnischen Arbeiten nach Abschnitt 3.2.4 Absatz 2 und 3 ist unabhängig vom Schweißverfahren in der Regel für Schweißer das Tragen von geeignetem Atemschutz erforderlich.

(8) Im Einzelfall kann sich aufgrund der Gefährdungsbeurteilung (insbesondere bei Verfahren mit der Emissionsgruppe „niedrig“ wie UP-Schweißen, WIG-Schweißen ohne Zusatzwerkstoff oder bei Arbeiten mit geringer Exposition nach Abschnitt 3.2.4 Absatz 4) ergeben, dass die natürliche Raumlüftung ausreichend ist.

(9) Thermische Spritzarbeiten sind nach Möglichkeit in geeigneten geschlossenen Kabinen durchzuführen, siehe hierzu CEN/TR 15339-6.

(10) Können thermische Spritzarbeiten nicht in geschlossenen Spritzkabinen durchgeführt werden, sind möglichst geeignete halboffene Kabinen einzusetzen. Dabei ist sicherzustellen, dass sich der Arbeitsplatz im Einströmbereich der Umgebungsluft befindet.

(11) Die erforderlichen Schutzmaßnahmen beim additiven Lasersintern/Laserschmelzen mit Metallpulvern sind in der Anhang 3 Abschnitt 7 beschrieben.

(12) Die erforderlichen Schutzmaßnahmen beim manuellen Kolbenlöten sind in den beiden VSK DGUV Informationen 213-714 und 213-725 enthalten.

4.2 Substitution: Auswahl von gefahrstoffarmen Verfahren und Werkstoffen/Zusatzwerkstoffen

(1) Der Arbeitgeber hat unter Beachtung des Standes der Technik zu prüfen, ob Verfahren eingesetzt werden können, bei denen Gefahrstoffe nicht oder nur in geringem Umfang freigesetzt werden. Dazu gehören mechanische Fügeverfahren z.B. Durchsetzfügen, Nieten, Schrauben oder schweißtechnische Arbeiten in geschlossenen Systemen z.B. automatisiertes Schweißen in Schweißkabinen, automatisiertes Spritzen in Spritzkabinen, additive Fertigung in geschlossenen Fertigungsautomaten.

(2) Wenn diese Verfahren nicht eingesetzt werden können, sind soweit technisch möglich und für die Aufgabenstellung geeignet, solche schweißtechnische Verfahren anzuwenden und Werkstoffe/Zusatzwerkstoffe einzusetzen, bei denen die Freisetzung von Gefahrstoffen möglichst gering ist, siehe hierzu auch Abschnitt 3.2.3. Verfahren mit einer niedrigen Emissionsgruppe sind bevorzugt einzusetzen.

(3) Verfahren, bei denen die Freisetzung von Gefahrstoffen gering ist, sind z.B.:

1. Unterpulverschweißen (UP-Schweißen),
2. Wolfram-Inertgasschweißen (WIG-Schweißen) mit thoriumdioxidfreien Wolframelektroden,
3. Plasmaschneiden mit Wasserbadabdeckung,
4. Schweißverfahren ohne Zusatzwerkstoff, z.B. Rührreibschweißen, Magnetimpulsschweißen.

(4) Die Zusammensetzung und die Menge der Gefahrstoffemissionen werden u.a. von den gewählten Schweißparametern beeinflusst z.B. Schweißstrom, Schweißspannung, Schutzgasart und Schutzgaszusammensetzung. Zur Minimierung der Gefahrstoffemissionen sind die von den Herstellern der Elektroden bzw. Gase empfohlenen Schweißparameter einzuhalten. Beim MIG-/MAG-Schweißen kann eine Reduzierung der Schweißrauchemissionen durch eine

Wellenformsteuerung des Schweißstroms und einer entsprechenden Wahl der Prozessregelvarianten erreicht werden (z.B. geregelter Kurzlichtbogen).

(5) Beim Schutzgasschweißen mit hochlegiertem Schweißdraht ist die Freisetzung von krebserzeugenden Chrom(VI)-Verbindungen im Rauch wesentlich geringer als beim Lichtbogenhandschweißen mit umhüllten hochlegierten Stabelektroden oder mit hochlegierten Fülldrähten.

(6) Werden hingegen Nickelbasiswerkstoffe oder Reinnickel als Schweißzusatz verwendet, ist die Freisetzung von krebserzeugendem Nickeloxid im Schweißrauch beim Lichtbogenhandschweißen geringer als beim MIG/MAG-Schweißen.

(7) In der Regel sind Wolframelektroden ohne Thoriumzusatz zu verwenden, wie Elektroden ohne Oxidzusatz oder Elektroden mit Cer(IV)-oxid (CeO_2), Lanthanoxid (La_2O_3) oder Zirkonium(IV)-oxid (ZrO_2). Die technologische Notwendigkeit des Einsatzes thoriumdioxidhaltiger Wolframelektroden beim WIG-Schweißen ist in der Gefährdungsbeurteilung zu begründen und zu dokumentieren. Auf die erforderlichen Maßnahmen nach Strahlenschutzrecht wird hingewiesen, siehe hierzu auch DGUV Information 209-049. Ist die Verwendung thoriumdioxidhaltiger Elektroden unvermeidbar, muss für das Anschleifen dieser Elektroden eine Absaugung mit Entstaubern der Staubklasse H verwendet werden.

(8) Beim Widerstandsschweißen sollen nur berylliumfreie Elektroden z.B. Legierungen aus WCu, CuNi₂Si, CuCrZr verwendet werden.

(9) Beim Schweißen sind möglichst bariumfreie Schweißzusätze zu verwenden.

(10) Lichtbogenhartlöten ist häufig emissionsärmer und in Hinblick auf die Rauchzusammensetzung weniger problematisch als Lichtbogenschweißen und sollte in diesen Fällen eingesetzt werden.

(11) Die Aufzählungen der Absätze 1 bis 10 sind nicht abschließend. Im Einzelfall können weitere gefahrstoffarme Verfahren angewendet werden.

(12) Zur Durchführung und Dokumentation der Substitutionsprüfung gelten im Übrigen die Anforderungen der TRGS 600.

4.3 Lüftungstechnische und bauliche Maßnahmen

(1) Grundsätzlich sind bei schweißtechnischen Arbeiten lüftungstechnische Maßnahmen nach dem Stand der Technik zu treffen, siehe hierzu auch Abschnitt 4.1 Absatz 7.

(2) Lüftungstechnische Maßnahmen sind so auszuwählen, dass der Schutz des Schweißers und der sonstigen Beschäftigten gewährleistet ist und eine Ausbreitung der Schweißrauche und -gase aus dem Arbeitsbereich vermieden wird, soweit dies nach dem Stand der Technik möglich ist.

(3) Die Absaugung der Gefahrstoffe hat vorrangig im Entstehungsbereich zu erfolgen. Je näher an der Entstehungsstelle abgesaugt wird, desto effizienter ist die Erfassung der Gefahrstoffe. Hinweise hierzu enthält die DGUV Regel 109-002.

(4) Die Ausbreitung der Schweißrauche und -gase über den Arbeitsbereich hinaus ist außerdem vorrangig durch geeignete baulich-technische Maßnahmen zu verhindern. Das Spektrum geeigneter baulicher Maßnahmen umfasst in Abhängigkeit von den Randbedingungen (werkstoff-, verfahrens-, arbeitsplatz- und tätigkeitsspezifische Faktoren) das Schweißen in separaten Räumen (räumliche Trennung) über Abtrennungen mit Zwischenwänden (räumliche Abtrennung) bis hin zu Maßnahmen zur lüftungstechnischen Trennung des Schweißbereichs

von anderen (Fertigungs-)Bereichen. Bei schweißtechnischen Arbeiten mit geringer Exposition reicht in der Regel eine räumliche Abgrenzung aus.

(5) Als zusätzliche Lüftungstechnische Maßnahme kann in Abhängigkeit von den Randbedingungen eine technische Raumlüftung erforderlich sein, um die Einhaltung der Grenzwerte auch für die Beschäftigten sicherzustellen, die keine Schweißarbeiten durchführen, aber den Schweißrauchen und -gasen ausgesetzt sind.

(6) In Räumen bzw. in Teilbereichen von Räumen, in denen schweißtechnische Arbeiten ausgeführt werden, soll die Zu- und Abluft von Anlagen zur Raumlüftung so geführt werden, dass sie die beim Schweißen entstehende Thermik unterstützt und nicht erfasste Gefahrstoffe aus dem Atembereich der Beschäftigten verdrängt werden. Hierfür hat sich die Quellaufströmung mit der damit verbundenen Schichtenströmung als besonders geeignet erwiesen. Hinweise zur Auslegung von Anlagen zur Raumlüftung siehe VDI 2262 Blatt 3 und VDI 3802.

(7) Bezüglich der Wirksamkeitsüberprüfung der getroffenen Maßnahmen gelten die Anforderungen der Abschnitt 5 dieser TRGS.

4.4 Absaugung im Entstehungsbereich

4.4.1 Luftvolumenströme

Die für eine wirksame Absaugung notwendigen Luftvolumenströme müssen bei der Planung der Absauganlagen ermittelt und für die Dauer der gefährdenden Tätigkeiten sichergestellt werden.

4.4.2 Absaugung bei Schweißen von Hand

(1) Beim Schweißen von Hand ist grundsätzlich eine geeignete Erfassung der Gefahrstoffe im Entstehungsbereich erforderlich, sofern im Einzelfall die Gefährdungsbeurteilung zu keinem anderen Ergebnis gelangt.

(2) In Abhängigkeit vom Schweißverfahren, der Art des Arbeitsplatzes (mobil/ortsveränderlich oder stationär/ortsgebunden) und der Größe der zu bearbeitenden Werkstücke sind nachfolgend aufgeführte Lüftungstechnische Maßnahmen zur Erfassung von Gefahrstoffen im Entstehungsbereich, erforderlichenfalls in Kombination, geeignet:

1. Absaugung brennerintegriert oder direkt am Brenner angebaut,
2. Stationäre oder mobile Absauganlagen mit festen oder nachführbaren Erfassungselementen.

(3) Der für die Absaugung erforderliche Volumenstrombereich ist beim Hersteller zu erfragen und während der schweißtechnischen Arbeiten einzuhalten. Hinweise zur Dimensionierung von Erfassungselementen enthalten die DIN EN ISO 15012 Teil 2 und die VDI 2262 Blatt 4. Für Niedrigvakuum-Punktabsaugungen mit einem Nenndurchmesser von 160 mm hat sich ein Volumenstrom im Bereich von 800 bis 1000 m³/h bewährt.

(4) Beim Einsatz brennerintegrierter Absaugungen müssen der Mindest- und der Maximal-Absaugvolumenstrom sowie der zur Erzeugung des Volumenstromes notwendige Unterdruck beim Hersteller des Brenners abgefragt und während des Schweißprozesses eingehalten werden. Ein zu geringer Absaugvolumenstrom hat eine höhere Exposition des Schweißers zur Folge, ein zu hoher Absaugvolumenstrom saugt das Schutzgas in nicht akzeptablem Umfang mit ab und beeinträchtigt so die Nahtqualität.

(5) Voraussetzung für eine wirksame Absaugung bei nachzuführenden Erfassungselementen ist, dass der Schweißer die Erfassungselemente stets in möglichst geringem Abstand zur Entstehungsstelle positioniert. Da die Wirksamkeit der Schutzmaßnahme maßgeblich durch die Kenntnisse und das Verhalten der Beschäftigten beeinflusst wird, sind diese regelmäßig

zu schulen und zu unterweisen, siehe hierzu auch Abschnitt 7. Es ist darauf zu achten, dass eine leichte und präzise Positionierung der Erfassungselemente möglich ist. Je näher an der Entstehungsstelle abgesaugt wird, desto effizienter ist die Erfassung der Gefahrstoffe. Eine Niedrigvakuum-Punktabsaugung erfasst die Schweißrauche noch gut bis zu einem Abstand von 30 bis 40 cm, eine Hochvakuum-Punktabsaugung bis zu einem Abstand von 15 cm.

(6) Lüftungsverfahren ohne Erfassungselemente in der Nähe der Schweißstelle sind als alleinige Schutzmaßnahme für die Schweißer nicht zulässig. Diese Verfahren tragen nur zur Reinigung der Luft im Umgebungsbereich bei, sind also nur eine ergänzende Maßnahme zur Raumlüftung.

4.4.3 Absaugung bei vollmechanisierten und automatisierten Schweißen

(1) Bei vollmechanisierten und automatisierten Schweißverfahren befindet sich die Bedienungsperson in der Regel nicht in der unmittelbaren Nähe der Schweißstelle. Zur Absaugung der Emissionen sind daher möglichst geschlossene oder zumindest halboffene Erfassungssysteme einzusetzen. Diese schließen den gesamten Bereich ein und verhindern damit das Freisetzen von Schweißrauchen und –gasen. Solche Erfassungssysteme zeichnen sich bei Ausnutzung der Thermik durch einen geringeren Luftvolumenstrom bei wesentlich besserem Erfassungsgrad aus als die beim Handschweißen eingesetzten, offenen Erfassungssysteme. Weiterführende Informationen zu Erfassungssystemen enthalten die DGUV Regel 109-002 und die VDI 2262 Blatt 4.

(2) Sind die geschlossenen oder halboffenen Erfassungssysteme so groß, dass sie begehrbar sind, ist im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung festzulegen, unter welchen Bedingungen ein Betreten der Anlage gefahrlos möglich ist. Zu berücksichtigende Parameter sind hierbei die Häufigkeit des Zuganges, die Lüftung sowie Expositionsspitzen.

4.5 Luftrückführung

(1) Abgesaugte Luft darf nur in den Arbeitsbereich zurückgeführt werden, wenn sie ausreichend gereinigt ist. Eine ausreichende Reinigung bei Schweißrauchen ohne krebserzeugende, keimzellmutagene oder reproduktionstoxische Stoffe liegt z.B. vor, wenn lufttechnische Anlagen zum Abscheiden von Schweißrauchen eingesetzt werden, die der Norm DIN EN ISO 15012 Teil 4 entsprechen.

Für Anlagen, die zum Abscheiden von Rauchen mit krebserzeugenden, keimzellmutagenen oder reproduktionstoxischen Stoffen eingesetzt werden, gilt darüber hinaus Abschnitt 4.5 Absatz 4.

(2) Der Erfassungsgrad offener Erfassungselemente ist in der Regel kleiner als 100%. Die nicht erfassten Rauche und Gase können sich, genau wie die vom Filter durchgelassenen Rest-Rauche im Arbeitsbereich anreichern. Daher ist der Erfassungsgrad der Absaugung zu optimieren und für eine ausreichende Außenluftzufuhr bei der Luftrückführung zu sorgen. Die Ermittlung der erforderlichen Außenluftvolumenströme hat nach den Regeln der Technik zu erfolgen, u.a. DGUV Regel 109-002 und VDI/DVS 6005.

(3) Beim Schweißen entstehende oder freigesetzte Gase werden von Filtern, die üblicherweise zur Schweißrauchabscheidung eingesetzt werden, nicht abgeschieden. Diese Gase können sich in der gesamten Halle anreichern, z.B. bei Luftrückführung oder auch bei Arbeiten ohne Absaugung. Zur Einhaltung der Grenzwerte von gasförmigen Gefahrstoffen muss bei schweißtechnischen Arbeiten (z.B. MAGC-Schweißen: Kohlenstoffmonoxid, Kohlenstoffdioxid) in der Regel ein Außenluftvolumenstrom von 200 m³/h pro Schweißer vorhanden sein. Bei Autogenverfahren (Gasschweißen, Brennschneiden, Flammwärmen und Flammrichten) ist wegen der Emissionen insbesondere von Stickstoffmonoxid, aber auch von Stickstoffdioxid

ein höherer Außenluftvolumenstrom erforderlich, der im Rahmen der individuellen Gefährdungsbeurteilung festzulegen ist. Gleiches gilt bei MIG-Schweißen von Aluminiumwerkstoffen (Auftreten von Ozon).

(4) An Arbeitsplätzen, an denen Schweißarbeiten mit Emission von krebserzeugenden, keimzellmutagenen oder reproduktionstoxischen Stoffen der Kategorie 1A oder 1B durchgeführt werden (insbesondere bei Verwendung von chrom- und nickelhaltigen Werkstoffen) darf dort abgesaugte Luft grundsätzlich nicht zurückgeführt werden. Nach Möglichkeit ist die abgesaugte Luft in diesen Fällen im Abluftbetrieb zu führen, z.B. bei stationären Arbeitsplätzen. Wenn Schweißrauchabsauggeräte im Umluftbetrieb geführt werden müssen, z.B. bei mobilen Arbeitsplätzen, dürfen nur behördlich oder von den Trägern der gesetzlichen Unfallversicherung anerkannte Geräte der Schweißrauchabscheideklasse W3 nach DIN EN ISO 15012 Teil 1 verwendet werden. Diese Schweißrauchabsauggeräte müssen auch bei radioaktiven Stoffen im Schweißrauch (Thoriumdioxid) verwendet werden. Filtertürme sind zur Erfassung dieser Gefahrstoffe generell ungeeignet, siehe hierzu auch Abschnitt 4.4.2 Absatz 6.

(5) Wird eine Anlage zur Raumlüftung zusätzlich zu einer Absaugung an der Entstehungsstelle nach dem Stand der Technik eingesetzt, darf die Anlage zur Raumlüftung auch mit Luftrückführung betrieben werden. Dabei muss sichergestellt sein, dass bei Schweißrauchen mit krebserzeugenden, keimzellmutagenen oder reproduktionstoxischen Stoffen der Kategorie 1A oder 1B die Gefahrstoffkonzentration in der rückgeführten Luft 1/10 der Akzeptanzkonzentration, des Beurteilungsmaßstabes oder des Arbeitsplatzgrenzwertes nicht übersteigt. Der Nachweis hierfür kann auch über geeignete Bilanzierungen z.B. Rechnungen auf der Grundlage der Raumlufkonzentration und des Abscheidevermögens des Filters erfolgen.

(6) Ist eine Anlage zur Raumlüftung als einzige lufttechnische Maßnahme eingesetzt, weil eine Absaugung an der Entstehungsstelle technisch nicht möglich ist, darf diese bei Schweißrauchen mit krebserzeugenden, keimzellmutagenen oder reproduktionstoxischen Stoffen der Kategorie 1A oder 1B nicht mit Luftrückführung betrieben werden.

4.6 Organisatorische Maßnahmen

(1) Vor Beginn der Schweißarbeiten ist darauf zu achten, dass Rückstände auf Werkstückoberflächen, z.B. von Kaltreinigern, entfernt werden.

(2) Der Arbeitgeber hat Arbeitsgeräte, Maschinen und Lüftungstechnische Einrichtungen in einem technisch einwandfreien Zustand zu halten. Die Beschäftigten haben diese bestimmungsgemäß zu verwenden.

(3) Bei Arbeitsunterbrechungen und vor Arbeitsende sind die Ventile an Druckgasflaschen und Gasentnahmestellen zu schließen (nicht nur Ventile der Druckminderer schließen!).

(4) Der Arbeitgeber hat sicherzustellen, dass nur wirksame Einrichtungen zum Erfassen und Abscheiden von Gefahrstoffen eingesetzt werden. Bei der erstmaligen Inbetriebnahme dieser Einrichtungen sowie bei den wiederkehrenden Prüfungen nach Abschnitt 5 ist der Nachweis einer ausreichenden Wirksamkeit (Einhaltung der Grenzwerte) zu erbringen.

(5) Die Einrichtungen nach Absatz 4 sind mindestens jährlich durch eine zur Prüfung befähigte Person auf ihre Funktionsfähigkeit zu prüfen. Die Prüfungen sind zu dokumentieren. Siehe TRBS 1203 und DGUV Regel 109-002.

(6) Die Anzahl der Beschäftigten, die Schweißrauchen und -gasen ausgesetzt sind, sowie die Expositionsdauer sind so weit wie möglich zu minimieren. Die Anwesenheit von Beschäftigten im Gefahrenbereich, die nicht selbst schweißtechnische Arbeiten durchführen, ist mög-

lichst zu vermeiden oder zumindest auf die zwingend notwendige Anzahl und auf den notwendigen zeitlichen Umfang zu reduzieren. Belastete Arbeitsbereiche sind räumlich abzugrenzen und dürfen nur Beschäftigten zugänglich sein, die dort Arbeiten ausführen.

(7) Schweißtechnische Arbeiten mit hoher Exposition sind möglichst am Ende des Arbeitstages durchzuführen.

(8) Die Expositionen der Schweißer können durch eine zeitliche Begrenzung der jeweiligen schweißtechnischen Arbeiten vermindert werden. Entsprechende individuelle Regelungen zur maximalen Expositionszeit können eine unterstützende Maßnahme sein, die Grenzwerte einzuhalten.

(9) Die Arbeitspositionen der Beschäftigten sind möglichst so zu gestalten, dass durch Ausnutzung der Thermik die Gefahrstoffeinwirkung minimiert wird, z.B. durch ergonomisch günstige Positionierung der Werkstücke durch dreh- und schwenkbare Arbeitstische.

(10) Ist eine ungünstige Arbeitsposition nicht vermeidbar, sollte besonders auf eine gesichtsnahe Platzierung des Schweißerschuttschildes geachtet werden.

(11) Beschäftigte, die in ihrem Arbeitsbereich Gefahrstoffen ausgesetzt sind, dürfen dort keine Nahrungs- oder Genussmittel zu sich nehmen (Ess-, Trink- und Rauchverbot am Arbeitsplatz). Ebenfalls dürfen dort keine Nahrungs- und Genussmittel aufbewahrt werden. Hierzu sind entsprechende Pausenräume einzurichten, die von den Beschäftigten aufzusuchen sind.

(12) Belastete Bereiche sind regelmäßig zu reinigen. Die Reinigungsintervalle sind auf der Grundlage der Gefährdungsbeurteilung festzulegen. Die Reinigungsarbeiten sind so durchzuführen, dass die Freisetzung und Aufwirbelung von Staub vermieden wird, z.B. mit Feucht- oder Nassverfahren oder saugend durch Verwendung geeigneter und geprüfter Industriestaubsauger oder Kehrstaugmaschinen, die dem Stand der Technik entsprechen.

(13) Bei Metallstäuben, die keine krebserzeugenden Gefahrstoffe beinhalten, sind Industriestaubsauger der Staubklasse M zu verwenden, bei Metallstäuben mit krebserzeugenden Gefahrstoffen Industriestaubsauger der Staubklasse H. Eine Positivliste geprüfter Industriestaubsauger wird im IFA-Handbuch, Kennzahl 510210/1 bekannt gemacht.

(14) Trockenere Kehren oder Abblasen von Staubablagerungen mit Druckluft sind generell nicht zulässig. Das Verbot zum Einsatz von Druckluft bezieht sich auch auf die Reinigung von Arbeitskleidung.

(15) Der Arbeitgeber hat getrennte Aufbewahrungsmöglichkeiten für die Arbeits- und Schutzkleidung einerseits und für die Straßenkleidung andererseits zur Verfügung zu stellen z.B. Doppelspind. Der Arbeitgeber stellt sicher, dass Beschäftigte kontaminierte Arbeitskleidung nicht in andere Bereiche z.B. Pausen- und Bereitschaftsräume verschleppen. Kontaminierte Arbeitskleidung verbleibt im Betrieb und wird durch den Arbeitgeber sachgerecht gereinigt.

4.7 Persönliche Schutzmaßnahmen (Atemschutz)

(1) Soweit die in den Abschnitten 4.1 bis 4.6 aufgeführten Schutzmaßnahmen nicht ausreichend sind oder deren Umsetzung technisch nicht möglich ist, müssen vom Arbeitgeber zum Schutz der Beschäftigten geeignete Atemschutzgeräte bereitgestellt werden. Diese sind von den Beschäftigten zu benutzen.

(2) Für die Auswahl von geeignetem Atemschutz sind die Regelungen der DGUV Regel 112-190 zu beachten. Zum Schutz vor Schweißrauch können folgende Atemschutzgeräte eingesetzt werden:

1. Belüftete Helme/Hauben mit Gebläse und Partikelfilter TH2P oder TH3P,

2. Masken mit Gebläse und Partikelfilter TM1P, TM2P, TM3P,
3. Vollmasken oder Mundstückgarnituren mit P2- oder P3-Filtern,
4. Halb-/Viertelmasken mit P2- oder P3-Filtern, partikelfiltrierende Halbmasken FFP2 oder FFP3 oder
5. Isoliergeräte z.B. belüftete Helme/Hauben mit externer Druckluftversorgung.

Bei krebserzeugenden Stoffen ist grundsätzlich Atemschutz der höchsten Filterklasse, also mit P3-Filtern, bereitzustellen und zu verwenden.

(3) Entstehen beim Schweißen auch gasförmige Gefahrstoffe in gesundheitsgefährdenden Konzentrationen, sind bei der Verwendung von filtrierendem Atemschutz geeignete Kombinationsfilter zu verwenden.

(4) Die Verwendung von belastendem Atemschutz (Gerätegewicht > 3 kg oder Atemwiderstand) darf keine Dauermaßnahme (In einem Zeitraum von 3 Monaten länger als 120 Stunden) sein. Eine Ausnahme ist nur mit einer Genehmigung durch die zuständige Behörde unter Wahrung der Mitwirkung der Beschäftigten und der betrieblichen Interessenvertretung möglich. Sie ist für jeden Beschäftigten auf das unbedingt erforderliche Minimum zu beschränken. Bei der Auswahl ist deshalb nicht belastender Atemschutz bevorzugt auszuwählen und einzusetzen. Bei Verwendung von nicht belastendem Atemschutz (Gerätegewicht < 3 kg und kein Atemwiderstand, z.B. belüftete Schweißerhelme/-hauben mit Gebläse nach Abschnitt 4.7 Absatz 2 Nummer 1) entfallen die Anforderungen zur arbeitsmedizinischen Vorsorge nach Anhang Teil 4 Absatz 1 Nummer 1 ArbMedVV bzw. Anhang Teil 4 Absatz 2 Nummer 2 ArbMedVV sowie die in der DGUV Regel 112-190 festgelegten Tragezeitbegrenzungen. Bei zusätzlichen Beanspruchungen des Geräteträgers durch Arbeitsschwere z.B. auch belastende Schutzkleidung und Umgebungsklima ist bei der Berechnung der Tragedauer von 220 Minuten als Basiswert auszugehen. Die Tragedauer ist dann im Einzelfall unter Hinzuziehung des Betriebsarztes festzulegen. Nähere Regelungen sind in der DGUV Regel 112-190 enthalten.

(5) Werden durch die schweißtechnischen Arbeiten krebserzeugende Gefahrstoffe freigesetzt, insbesondere beim Schweißen von hochlegierten Stählen und Nickelbasislegierungen, ist außer für Verfahren der Emissionsgruppe „niedrig“ wie UP- und WIG-Schweißverfahren für die Schweißer geeigneter Atemschutz nach Abschnitt 4.7 Absatz 2 bereitzustellen. Der Atemschutz muss zwingend bei Überschreitung der jeweiligen Toleranzkonzentration getragen werden, ansonsten bei Expositionsspitzen. Im Übrigen wird das Tragen von Atemschutz bei Überschreitung der Akzeptanzkonzentration empfohlen, insbesondere bei Expositionsspitzen. Bei krebserzeugenden Chrom(VI)-Verbindungen ist bei Überschreitung des Beurteilungsmaßstabes geeigneter Atemschutz zu tragen.

(6) Werden Filtergeräte mit Gebläse bei Arbeiten mit offener Flamme oder bei Tätigkeiten eingesetzt, bei denen es zu Schweißspritzerbildung bzw. Funkenflug kommen kann, besteht die Gefahr, dass die Atemschutzfilter – in der Regel zunächst unbemerkt – in Brand geraten. Im Filter können dann tödlich wirkende Rauchgase (insbesondere Kohlenstoffmonoxid und Kohlenstoffdioxid) entstehen. Für derartige Arbeiten sind daher nur Filtergeräte zu verwenden, bei denen durch konstruktive Maßnahmen z.B. engmaschige Metallsiebe vor den Ansaugöffnungen oder „Funkenfallen“ ein Eindringen von Schweißspritzern und Funken in den Filter verhindert wird; alternativ können Isoliergeräte eingesetzt werden.

(7) Für schweißtechnische Arbeiten in engen Räumen, z.B. im Schiffbau, in Kastenträgern oder in Doppelböden, gilt folgende Vorgehensweise für die Auswahl von Atemschutzgeräten:

1. Wenn möglich sind Lüftungstechnische Maßnahmen nach Abschnitt 4.3 einzurichten.

2. Ist dies aus räumlichen Gründen nicht möglich oder nicht ausreichend, sind vorzugsweise belüftete Hauben oder Helme zu tragen.
 3. Wenn aus räumlichen Gründen belüftete Hauben und Helme nicht anwendbar sind, sind beim Schweißen FFP3-Masken zu tragen.
 4. Ist mit dem Auftreten nitroser Gase zu rechnen, z.B. beim Flammrichten, ist geeigneter Atemschutz (Halb-/Viertelmasken mit Kombinationsfilter der Filterklasse NO-P3) einzusetzen, siehe DGUV Regel 112-190.
 5. Besteht die Gefahr von Sauerstoffmangel, ist umgebungsluftunabhängiger Atemschutz einzusetzen (Isoliergeräte).
- (8) Beim thermischen Spritzen mit mechanisierten oder automatisierten Spritzprozessen muss beim Betreten der Spritzkabine geeigneter Atemschutz getragen werden, wenn die Spritzkabinenluft z.B. durch zu kurze Nachlaufzeiten der Absaugung nicht ausreichend gereinigt ist. Atemschutz muss grundsätzlich getragen werden, wenn manuell gespritzt wird. Atemschutz ist ebenfalls zu tragen, wenn die Pulverbehälter beschickt oder gereinigt werden.

In der Regel ist ein Filter der Klasse P3 erforderlich. Beim Flamm-spritzen und Plasmaspritzen kann ein Kombinationsfilter der Filterklasse NO-P3 erforderlich sein.

5 Wirksamkeitsüberprüfung

5.1 Allgemeines zur Wirksamkeitsüberprüfung

- (1) Die Wirksamkeit der getroffenen Schutzmaßnahmen ist durch Arbeitsplatzmessungen oder durch andere geeignete Ermittlungsmethoden vor Inbetriebnahme des Arbeitsplatzes und dann regelmäßig innerhalb von festgelegten Fristen zu überprüfen. Die Schutzmaßnahmen sind ausreichend, wenn die relevanten Grenzwerte eingehalten sind und darüber hinaus ein entsprechender Befund nach TRGS 402 getroffen werden kann.
- (2) Die Methoden, der Zeitpunkt und die Häufigkeit der Wirksamkeitsüberprüfung sind im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung vom Arbeitgeber eigenverantwortlich festzulegen, siehe hierzu Abschnitt 7 TRGS 400. Eine Wirksamkeitsüberprüfung ist erforderlich bei Änderung relevanter Randbedingungen, z.B. bei Verfahrensänderung. Ansonsten ist eine Wirksamkeitsüberprüfung in regelmäßigen Abständen zu wiederholen. Eine Wirksamkeitsüberprüfung durch Kontrollmessungen erfolgt nach den Vorgaben der TRGS 402.
- (3) Wirksamkeitsüberprüfungen können nach TRGS 402 auch durch Messung technischer Parameter durchgeführt werden. Werden als Schutzmaßnahme Absaugungen bzw. Anlagen zur Raumlüftung eingesetzt, so wird bei der Inbetriebnahme des Arbeitsplatzes empfohlen,

parallel zu Arbeitsplatzmessungen nach TRGS 402 auch die korrespondierenden Luftvolumenströme der Absaugung bzw. Raumlüftung zu ermitteln. Spätere Wirksamkeitsüberprüfungen können dann anhand von Luftvolumenstrommessungen vorgenommen werden.

(4) Technische Schutzmaßnahmen, z.B. Lüftungs- und Absaugeinrichtungen, müssen nach Abschnitt 4.6 Absatz 4 und 5 regelmäßig, für Schweißrauche mindestens jährlich, auf ihre ausreichende Funktion und Wirksamkeit überprüft werden.

(5) Liegen ein verfahrens- und stoffspezifisches Kriterium (VSK), eine stoff- bzw. verfahrensspezifische TRGS oder eine branchenspezifische Hilfestellung vor, sind die dort getroffenen Vorgaben zur Wirksamkeitskontrolle zu beachten. Beispiele hierfür sind die DGUV Information 213-714, DGUV Information 213-725 und die TRGS 505.

5.2 Zusätzliche Bestimmungen und Hinweise zur Wirksamkeitsüberprüfung durch Arbeitsplatzmessungen

(1) Bei schweißtechnischen Arbeiten können zur messtechnischen Ermittlung der inhalativen Exposition bzw. für die Wirksamkeitsüberprüfung der getroffenen Schutzmaßnahmen durch Expositionsmessungen repräsentative Messgrößen nach den Tabellen 5 bis 8 herangezogen werden, siehe hierzu Anhang 4 Absatz 6.

(2) Die für schweißtechnische Arbeiten relevanten und verbindlichen Grenzwerte aus der TRGS 900 und TRGS 910 zu den repräsentativen Messgrößen nach Absatz 1 sind in Tabelle 3 aufgeführt. Für Ozon, Zink und seine anorganischen Verbindungen sowie Kupfer und seine anorganischen Verbindungen sind derzeit keine verbindlichen Grenzwerte nach TRGS 900 oder TRGS 910 vorhanden. Für diese Stoffe enthält die Tabelle 3 entsprechend Abschnitt 5.4.2 der TRGS 402 MAK-Werte der DFG-Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe bzw. ausländische Grenzwerte, die zur Beurteilung der Exposition und der Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen herangezogen werden sollen (Beurteilungsmaßstäbe nach Abschnitt 5.4 TRGS 402).

Tabelle 3: Grenzwerte aus TRGS 900 und TRGS 910, MAK-Werte bzw. internationale Grenzwerte zu repräsentativen Messgrößen bei schweißtechnischen Arbeiten

Stoff	Grenzwert/Beurteilungsmaßstab nach Abschnitt 5.4 TRGS 402	Überschreitungsfaktor	Quelle
Allgemeiner Staubgrenzwert	AGW 1,25 mg/m ³ (A) Dichte 2,5 g/cm ³ AGW 10 mg/m ³ (E)	8 2	TRGS 900
Aluminiumoxid (Al ₂ O ₃)	Allgemeiner Staubgrenzwert		TRGS 900
Ozon	0,1 mg/m ³	2	LIGGESTIS
Chrom(VI)-Verbindungen (z.B. Natriumchromat Na ₂ CrO ₄ , Kaliumchromat K ₂ CrO ₄)	BM 1,0 µg/m ³ (E)	8	TRGS 910
Cobalt und Cobaltverbindungen, als Carc 1A, Carc. 1B eingestuft (z.B. Cobaltmetall (Co))	TK 5,0 µg/m ³ (A) AK 0,5 µg/m ³ (A)	8	TRGS 910
Nickelverbindungen, als Carc. 1A, Carc. 1B eingestuft (z.B. Nickel(II)-oxid NiO, Nickel-spinelle)	TK 6,0 µg/m ³ (A) AK 6,0 µg/m ³ (A)	8	TRGS 910

Stoff	Grenzwert/Beurteilungsmaßstab nach Abschnitt 5.4 TRGS 402	Überschreitungsfaktor	Quelle
Nickel und Nickelverbindungen	AGW 30 µg/m³ (E)	8	TRGS 900
Mangan und seine anorganischen Verbindungen (z.B. MnO, Mn ₃ O ₄)	AGW 0,2 mg/m³ (E) AGW 0,02 mg/m³ (A)	8	TRGS 900
Stickstoff(II)-oxid (NO)	AGW 2,5 mg/m³	2	TRGS 900
Stickstoff(IV)-oxid (NO ₂)	AGW 0,95 mg/m³	2	TRGS 900
Fluoride (Natriumfluorid (NaF), Calciumfluorid (CaF ₂), Bariumfluorid (BaF ₂), Natriumcalciumfluorid (NaCaF ₃))	AGW 1 mg/m³ (E)	4	TRGS 900
Zink und seine anorganischen Verbindungen (ZnO)	MAK 0,1 mg/m³ (A), MAK 2 mg/m³ (E)	4 2	MAK-Liste
Bariumverbindungen, löslich (BaO)	MAK 0,5 mg/m³ (E)	8	MAK-Liste
Kupfer und seine anorganischen Verbindungen (CuO)	MAK 0,01 mg/m³ (A)	2	MAK-Liste
Kohlenstoffmonoxid	AGW 35 mg/m³	2	TRGS 900

Erläuterungen:

TK: Toleranzkonzentration

AK: Akzeptanzkonzentration

AGW: Arbeitsplatzgrenzwert

MAK: Maximale Arbeitsplatzkonzentration

BM: Beurteilungsmaßstab, risikobasiert

LIG GESTIS: Liste Internationaler Grenzwerte für chemische Substanzen in der GESTIS-Stoffdatenbank

(A): Alveolengängige Fraktion

(E): Einatembare Fraktion

(3) Auf Kontrollmessungen nach TRGS 402 kann verzichtet werden, wenn die Wirksamkeit der getroffenen Schutzmaßnahmen durch andere Prüfparameter z.B. Überprüfung der lufttechnischen Parameter nachgewiesen werden kann. Weitere Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung von Expositionen siehe Anhang 4.

(4) Erkenntnisse des Biomonitorings, die im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorge unter Berücksichtigung der AMR 6.2 gewonnen wurden, können für die Wirksamkeitskontrolle herangezogen werden (siehe auch Abschnitt 3.2.1 Absatz 9).

5.3 Dokumentation

Die Ergebnisse der Wirksamkeitsüberprüfung sind aufzuzeichnen, aufzubewahren und den Beschäftigten und ihren Vertretern zugänglich zu machen. Die Ermittlungsergebnisse aus der Wirksamkeitsüberprüfung sind in der Gefährdungsbeurteilung zu dokumentieren. Messprotokolle können Bestandteil der Gefährdungsbeurteilung sein.

5.4 Folgen der Wirksamkeitsüberprüfung

(1) Ergibt die Wirksamkeitsüberprüfung, dass Grenzwerte nicht eingehalten und damit die getroffenen Schutzmaßnahmen nicht ausreichend sind, sind unverzüglich weitere expositions-mindernde Maßnahmen zu veranlassen und danach die Gefährdungsbeurteilung erneut durchzuführen (siehe auch TRGS 402). Zum Bereitstellen und Tragen von Atemschutz siehe Abschnitt 4.7 Absatz 1.

(2) Werden risikobasierte Beurteilungsmaßstäbe nach TRGS 910 nicht eingehalten, muss ein Maßnahmenplan erstellt werden, in dem konkret beschrieben wird, aufgrund welcher Maßnahmen, in welchen Zeiträumen und in welchem Ausmaß eine weitere Expositions-minderung erreicht werden soll. Nähere Angaben sind in der TRGS 910 enthalten. Zum Bereitstellen und Tragen von Atemschutz siehe Abschnitt 4.7 Absatz 1.

5.5 Befundsicherung

In regelmäßigen Abständen oder aus gegebenem Anlass, wie z.B. Änderung relevanter Randbedingungen, Änderung von Grenzwerten, ist gemäß Abschnitt 6 der TRGS 402 zu überprüfen, ob der abgeleitete Befund unverändert gültig ist. Die Abstände für die Überprüfung sind abhängig von den betrieblichen Bedingungen im Befund festzulegen. Es wird ein Jahresabstand empfohlen.

6 Arbeitsmedizinische Vorsorge

(1) Die allgemeinen Vorgaben in Abschnitt 4 der AMR 3.2 sind zu berücksichtigen. Der folgende Absatz enthält hierzu spezielle Ausführungen. Unberührt bleiben Vorgaben in anderen Arbeitsmedizinischen Regeln, insbesondere der AMR 11.1.

(2) Vorsorgeanlässe für die in dieser Technischen Regel angesprochenen Tätigkeiten und Gefährdungen sind insbesondere

1. Pflichtvorsorge

- a) bei Tätigkeiten mit einem Gefahrstoff des Anhangs Teil 1 Absatz 1 Nummer 1 Arb-MedVV (zum Beispiel Fluoride oder Kohlenstoffmonoxid), wenn der Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) nicht eingehalten wird (Anhang Teil 1 Absatz 1 Nummer 1 Buchstabe a ArbMedVV);
- b) bei Tätigkeiten mit einem Gefahrstoff des Anhangs Teil 1 Absatz 1 Nummer 1 Arb-MedVV, der als krebserzeugend oder keimzellmutagen der Kategorie 1A oder 1B im Sinne der Gefahrstoffverordnung eingestuft ist zum Beispiel Chrom(VI)-Verbindungen oder Nickeloxide oder die als krebserzeugende Tätigkeiten oder Verfahren der Kategorie 1A oder 1B im Sinne der Gefahrstoffverordnung bezeichnet werden, wenn eine wiederholte Exposition nicht ausgeschlossen werden kann (Anhang Teil 1 Absatz 1 Nummer 1 Buchstabe b ArbMedVV);
- c) bei Tätigkeiten mit einer Exposition gegenüber Schweißrauchen (Schweißen und Trennen von Metallen), wenn eine Luftkonzentration von 3 mg/m³ (A-Staubfraktion) überschritten wird (Anhang Teil 1 Absatz 1 Nummer 2 Buchstabe b ArbMedVV);
- d) bei Tätigkeiten, die das Tragen von Atemschutzgeräten der Gruppen 2 und 3 erfordern (Anhang Teil 4 Absatz 1 Nummer 1 ArbMedVV; AMR 14.2).

2. Angebotsvorsorge

- a) bei Tätigkeiten mit einem Gefahrstoff des Anhangs Teil 1 Absatz 1 Nummer 1 Arb-MedVV z.B. Fluoride oder Kohlenstoffmonoxid, wenn der Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) eingehalten wird;

- b) bei Tätigkeiten mit einem Gefahrstoff, der nicht in Anhang 1 Teil 1 Absatz 1 Nummer 1 ArbMedVV genannt ist, aber als krebserzeugend oder keimzellmutagen der Kategorie 1A oder 1B im Sinne der Gefahrstoffverordnung eingestuft ist z.B. Cobaltmetall oder die als krebserzeugende Tätigkeiten oder Verfahren der Kategorie 1A oder 1B im Sinne der Gefahrstoffverordnung bezeichnet werden, wenn eine wiederholte Exposition nicht ausgeschlossen werden kann (Anhang Teil 1 Absatz 2 Nummer 2 Buchstabe d ArbMedVV);
- c) bei Tätigkeiten mit einer Exposition gegenüber Schweißrauchen (Schweißen und Trennen von Metallen), wenn eine Luftkonzentration von 3 mg/m³ (A-Staubfraktion) eingehalten wird (Anhang Teil 1 Absatz 2 Nummer 2 Buchstabe f ArbMedVV);
- d) bei Tätigkeiten, die das Tragen von Atemschutzgeräten der Gruppe 1 erfordern (Anhang Teil 4 Absatz 2 Nummer 2 ArbMedVV; AMR 14.2).

3. Nachgehende Vorsorge

Nach Beendigung der Exposition gegenüber krebserzeugenden oder keimzellmutagenen Gefahrstoffen der Kategorie 1A oder 1B z.B. Chrom(VI)-Verbindungen, Nickeloxide, Cobaltmetall oder Tätigkeiten mit Gefahrstoffen, die als krebserzeugende Tätigkeiten oder Verfahren der Kategorie 1A oder 1B im Sinne der Gefahrstoffverordnung bezeichnet werden (Anhang Teil 1 Absatz 3 Nummer 1 ArbMedVV).

7 Betriebsanweisung und Unterweisung

- (1) Der Arbeitgeber hat eine Betriebsanweisung für schweißtechnische Arbeiten nach der Gefahrstoffverordnung zu erstellen. Die Betriebsanweisung ist den Beschäftigten in verständlicher Form und Sprache bekannt zu machen.
- (2) Bei der Erstellung von Betriebsanweisungen sind nach § 14 der Gefahrstoffverordnung arbeitsbereichs- und stoffbezogene Gefährdungen zu berücksichtigen.
- (3) Hinweise für die Erstellung siehe TRGS 555. Beispiele einer Betriebsanweisung für „Lichtbogenhandschweißen mit umhüllten, chrom-/nickelhaltigen Stabelektroden im Behälter“ sowie für „Flammwärmen und –richten in einem Schiffstank“ sind in Anhang 5 aufgeführt.
- (4) Der Arbeitgeber hat die Beschäftigten über eine sichere Arbeitsweise beim Schweißen zu unterweisen. Diese Unterweisung muss folgende Aspekte umfassen:
 - 1. Die bei dem verwendeten Schweißverfahren freigesetzten Gefahrstoffe und die dabei auftretenden Gefährdungen, bei krebserzeugenden Bestandteilen im Schweißrauch auch Expositionshöhe und zugeordneter Risikobereich,
 - 2. die Auswirkungen von schweißtechnischen Parametern,
 - 3. die Schweißposition,
 - 4. die Arbeitsposition (Körperhaltung),
 - 5. die richtige Anwendung der Lüftungstechnischen Einrichtungen (u.a. Nachführung der Erfassungselemente),
 - 6. die einzusetzende persönliche Schutzausrüstung einschließlich möglicher Tragezeitbegrenzungen,
 - 7. die allgemeine arbeitsmedizinisch-toxikologische Beratung einschließlich der Erläuterung der arbeitsmedizinischen Vorsorge (siehe hierzu Absatz 5),
 - 8. Hygienemaßnahmen,

9. Verhalten bei Betriebsstörungen und
10. Erste Hilfe.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Schweißer in der Regel seinen Arbeitsplatz und die auftretenden Belastungen auf Grund der Blendwirkung nicht sehen kann.

(5) Bei schweißtechnischen Arbeiten hat der Arbeitgeber sicherzustellen, dass die Beschäftigten im Rahmen der Unterweisung eine allgemeine arbeitsmedizinisch-toxikologische Beratung erhalten. Ob die Beteiligung des mit der arbeitsmedizinischen Vorsorge beauftragten Arztes an der Beratung erforderlich ist, ist im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung zu entscheiden. Die Beteiligung des mit der arbeitsmedizinischen Vorsorge beauftragten Arztes ist in der Regel erforderlich, wenn nach der Gefährdungsbeurteilung Pflichtvorsorge zu veranlassen oder Angebotsvorsorge anzubieten ist. Unter „Beteiligung des mit der arbeitsmedizinischen Vorsorge beauftragten Arztes“ ist nicht zwingend zu verstehen, dass er die Beratung durchgängig persönlich vornimmt. Das Beteiligungsgebot kann beispielsweise erfüllt werden durch ärztliche Schulung der Personen, die die Unterweisung durchführen, oder durch Mitwirkung bei der Erstellung geeigneter Unterweisungsmaterialien (siehe hierzu AMR 3.2). In der Beratung sind den Beschäftigten in einer für den Laien verständlichen Beschreibung die möglichen gesundheitlichen Folgen der Gefährdung und deren Vermeidung, einschließlich Sofortmaßnahmen und besonderer Maßnahmen der Ersten Hilfe, zu erläutern und sie sind über ihre Ansprüche auf arbeitsmedizinische Vorsorge zu informieren.

Für die in dieser Technischen Regel angesprochenen Gefährdungen beinhaltet die Beratung daher insbesondere Ausführungen über

1. den inhalativen Aufnahmeweg von Schweißrauch und Gasen,
2. die vermehrte Aufnahme bei erhöhter Arbeitsschwere,
3. Leit- und Hauptkomponenten der Schweißrauche und Gase und ggf. weiteren Komponenten z.B. aus Beschichtungen sowie deren Wirkungen,
4. den Einfluss des Tabakrauchens auf die Gesundheit der Schweißer,
5. medizinische Faktoren, die zu einer Erhöhung der Gefährdung führen können, z.B. bestimmte Vorerkrankungen insbesondere der Atemwege oder Dispositionen wie Überempfindlichkeit der Bronchien,
6. Krankheitsbilder z.B. Lungenödem, Metaldampffieber, chronische Bronchitis, Asthma, Lungenkrebs und Symptome z.B. Husten,
7. zeitliche Zusammenhänge der Beschwerden mit der entsprechenden Tätigkeit z.B. Metaldampffieber,
8. Inhalt und Ziel der arbeitsmedizinischen Vorsorge (siehe Abschnitt 6) einschließlich Wunschvorsorge,
9. weitere präventive Maßnahmen wie z.B. Impfung gegen Pneumokokken (siehe AMR 6.7).

Anhang 1: Glossar

Verfahrensbezeichnung	Erläuterung
UP-Schweißen	Beim Unterpulverschweißen werden ein Metalledraht oder mehrere als Elektrode im Lichtbogen, der sich zwischen dem Drahtende und dem Werkstück bildet, unter Pulverabdeckung abgeschmolzen. Das Verfahren lässt sich nur mechanisiert in Wannenposition (PA), Horizontalposition (PB) oder in Querposition (PC) ausführen. Durch die Pulverabdeckung des Lichtbogens kommt es nur zu geringen Gefahrstoffemissionen. Nach Durchführung der Schweißung wird das Pulver abgesaugt.
Gasschweißen (Autogenverfahren)	Als Energieträger wird beim Gas-Schmelzschweißen in der Regel Acetylen als Brenngas mit Sauerstoff eingesetzt. Der Schweißzusatzwerkstoff - blanker Draht - wird separat zugeführt und in der Schweißflamme bei einer Temperatur von ca. 3100 °C abgeschmolzen.
WIG-Schweißen mit und ohne Zusatzwerkstoff	Das Wolfram-Inertgasschweißen (WIG) ist ein Schutzgasschweißverfahren, bei dem der Lichtbogen zwischen dem Werkstück und einer Wolframelektrode in einem inerten Gas brennt. Aufgrund des hohen Schmelzpunktes von Wolfram schmilzt die Elektrode nicht ab. Als Schutzgase werden Argon, Helium oder deren Gemische eingesetzt. Das WIG-Schweißverfahren kann mit oder ohne Schweißzusatzwerkstoff eingesetzt werden. Die Zufuhr des Zusatzwerkstoffes geschieht in der Regel von Hand. Mit diesem Schweißverfahren lassen sich viele Nahtarten in allen Positionen herstellen. Zur Anwendung kommt Gleich- oder Wechselstrom. Die schweißbaren Werkstückdicken reichen bei Stahl bis ca. 4 mm und bei Aluminium bis ca. 5 mm.
MAG-Schweißen (Massivdraht) mit Schutzgas	Das Metall-Aktivgasschweißen (MAG) ist ein Schutzgasschweißverfahren, bei dem der Lichtbogen zwischen einer abschmelzenden Drahtelektrode und dem Werkstück in einer Schutzgasatmosphäre brennt. Die Drahtelektrode wird als Schweißzusatzwerkstoff mit einem Drahtvorschubgerät adäquat zur Abschmelzgeschwindigkeit kontinuierlich nachgeführt. Als Schutzgase werden üblicherweise Argon-Kohlenstoffdioxid-Gemische verwendet. Das MAG-Verfahren eignet sich insbesondere zum Schweißen von un- und niedriglegierten sowie hochlegierten Stählen.
MAG-Schweißen (Fülldraht) mit/ohne Schutzgas	Beim MAG-Schweißen kommen zunehmend auch Fülldrähte zur Anwendung. Fülldrähte sind „rohrförmige“ Schweißdrähte, die mit Pulver gefüllt sind, die entweder die Eigenschaften der Umhüllung von Stabelektroden aufweisen oder andere Merkmale der Schweißung verbessern. Das Verfahren kann sowohl mit als auch ohne Zugabe von Schweißschutzgasen (selbstschützende Fülldrähte - Metalllichtbogenschweißen) angewendet werden. Bei den letzteren schmilzt das Pulver und bildet eine gasförmige Schutzglocke über dem Schmelzbad. Die entstehende Schlacke muss entfernt werden.
MAGC-Schweißen	MAGC-Schweißen ist ein Metallschutzgasschweißverfahren mit abschmelzender Drahtelektrode und nicht inertem (aktivem) Schutzgas. Das aktive Schutzgas besteht beim MAGC-Verfahren aus Kohlenstoffdioxid (CO ₂). Das MAGC-Verfahren wird für das Schweißen un- und niedriglegierter Stähle eingesetzt, da es durch die Zersetzung von Kohlenstoffdioxid zu Kohlenstoffmonoxid und Sauerstoff bei den herrschenden hohen Temperaturen zu einem unerwünschten

Verfahrensbezeichnung	Erläuterung
	hohen Abbrand an Legierungselementen im Schweißbad kommt, der bei hochlegierten Stählen nicht mehr über den zugeführten normalen Schweißzusatz (Massivdrahtelektrode) ausgeglichen werden kann.
MIG-/MAG-Schweißen (Prozessregelvarianten)	Elektronisch geregelte MIG-/MAG-Prozessregelvarianten lassen sich in ihren wesentlichen Eigenschaften den bekannten Lichtbogentypen Kurzlichtbogen, Mischlichtbogen, Sprühlichtbogen und Impulslichtbogen zuordnen. Im Unterschied zum klassischen MIG-/MAG-Schweißen werden durch MIG-/MAG-Prozessregelvarianten die Eigenschaften aber spezifisch verändert, um bestimmte Vorteile zu erschließen. Diese betreffen zum einen quantitative Aspekte, wie die Erweiterung des für den spezifischen Lichtbogentyp möglichen Prozessfensters, zum anderen qualitative Aspekte, wie Prozessstabilität und Fehlervermeidung. Folgende Möglichkeiten werden bezüglich des Werkstoffübergangs überwiegend genutzt: – Veränderung von Zeitdauer und Häufigkeit des Werkstoffübergangs im Kurzschluss – Einschränkung von Ursachen für die Bildung von Spritzern bei kurzschlussbehaftetem Werkstoffübergang – Beeinflussung von Beginn und Ende des Werkstoffübergangs – Veränderung der Bewegungsrichtung der abschmelzenden Elektrode – Verkürzung der überwiegend kurzschlussfrei beherrschbaren Lichtbogenlänge im Sprühlichtbogen – zeitliche Kombination von verschiedenen Arten des Werkstoffübergangs – Beeinflussung von Einbrand- und Nahtgeometrie mittels des Werkstoffübergangs Folgende Lichtbogenarten werden genutzt: – Geregelter Kurzlichtbogen (KLB) – Spritzerarmer KLB – Energiereduzierter KLB – Leistungsgesteigerter KLB – Modifizierter Sprühlichtbogen – Impulslichtbogen – Modifizierter Impulslichtbogen – Wechselstromprozess – Kombinierte Prozessvariante – Zyklische Drahtbewegung
MIG-Schweißen	Das Metall-Inertgasschweißen (MIG) ist mit dem MAG-Schweißen eng verwandt; als Schutzgase werden jedoch inerte Gase wie z.B. Argon, Helium oder

Verfahrensbezeichnung	Erläuterung
	deren Gemische eingesetzt. Der Prozess wird insbesondere zum Schweißen von NE-Metallen genutzt.
LBH-Schweißen	Beim Lichtbogen-Handschweißen (LBH) werden rutil-, basisch-, sauer- oder celluloseumhüllte Stabelektroden im Lichtbogen abgeschmolzen. Die Umhüllung hat sowohl metallurgische (Zulegierung von Legierungselementen) wie auch verfahrenstechnische Aufgaben (Ausbildung einer Schutzatmosphäre über der Schmelze, Stabilisierung und Ausrichtung des Lichtbogens). Das Abschmelzen von rutil-, basisch- oder sauerumhüllten Elektroden führt zur Bildung von Schlacke, die nach dem Schweißvorgang und nach Abkühlen der Naht von der Schweißnaht zu entfernen ist.
Widerstandsschweißen	Das Widerstandsschweißen ist ein mechanisiertes elektrisches Schweißverfahren insbesondere zum Verbinden von dünnwandigen Werkstücken wie Feinblechen. Die Werkstücke werden zunächst mit einer Schweißzange oder Rollen zusammengepresst. Durch Anlegen eines Stromimpulses an den Elektroden der Schweißzange werden die Werkstücke punktuell im Bereich der Elektroden erwärmt und verschmelzen unter dem von der Schweißzange ausgeübten Druck miteinander.
Pressschweißen	Beim Pressschweißen werden die Bauteile an der Verbindungsstelle im teigigen Zustand durch Zusammenpressen verbunden. Es werden keine Hilfsstoffe (z.B. Schweißdraht) benötigt. Die Bauteile werden mit Hilfe einer weiteren mechanischen, chemischen oder elektrischen Energie erwärmt, da die meisten Werkstoffe mit steigender Temperatur an Festigkeit verlieren. Das Pressschweißen stellt eine nicht lösbare Verbindung der Werkstoffe dar. Es können mit der großen Anzahl an Pressschweißverfahren fast alle Materialien verschweißt werden. Ein Verschweißen unterschiedlicher Werkstoffe ist mit einigen Verfahren möglich, z.B. mit dem Rührreibschweißen oder dem Reibschweißen.
Laserstrahlschweißen mit und ohne Zusatzwerkstoff	Laserstrahlschweißen ist ein Schweißverfahren, bei dem die erforderliche Wärme mit einem Laserstrahl erzeugt wird. Der Laserstrahl dringt in die Werkstoffoberfläche ein, wobei die Energie des Lasers im Werkstoff absorbiert, in Wärme umgewandelt und für den Schweiß- oder Schneidprozess verwendet wird. Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Laserstrahlquellen und -verfahren, die sich zunehmend auf bestimmte Anwendungen spezialisieren. Im Einsatz sind Gaslaser, wie z.B. schnell geströmte oder diffusionsgekühlte CO ₂ -Laser, oder Festkörperlaser, wie z.B. Nd:YAG-, Scheiben-, Faser- oder Dioden-Laser. Man unterscheidet je nach eingebrachter Laserstrahlintensität/Leistungsdichte zwischen dem Wärmeleitungsschweißen und dem Tiefschweißen. In Kombination mit anderen Schweißprozessen kann auch z.B. das Laserstrahl-Lichtbogen-Hybridschweißverfahren eingesetzt werden, um die Vorteile beider Verfahren zu nutzen.
Löten	Fügeverfahren vorrangig zum Verbinden verschiedener metallischer Werkstoffe mithilfe eines geschmolzenen Zusatzmetalls (Lot), dessen Schmelztemperatur unterhalb derjenigen der Grundwerkstoffe liegt; die Grundwerkstoffe werden benetzt, ohne geschmolzen zu werden. Teilweise wird unter Zusatz von pasten- oder pulverförmigen Flussmitteln gearbeitet, die die Werkstückoberfläche reini-

Verfahrensbezeichnung	Erläuterung
	gen, die Benetzbarkeit verbessern und die Bildung von Oberflächenfilmen verhindern sollen. Beim Weichlöten schmilzt das Lot bei Arbeitstemperaturen unterhalb 450°C, beim Hartlöten über 450°C, z.B. Flammhartlöten ca. 700 °C. Beim WIG-, MIG-, MAG-, Laserstrahlhart- und Plasmalöten beträgt die Arbeitstemperatur 900° bis 1100 °C. Nach Art der Lötstelle unterscheidet man Verbindungs-löten oder Auftragslöten.
Autogenes Brennschneiden	Als Wärmequelle beim autogenen Brennschneiden dient eine Sauerstoff-Brenngas-Flamme. Als Brenngase werden Acetylen, Propan oder Erdgas eingesetzt. Eine Heizflamme erwärmt den Werkstoff auf Entzündungstemperatur und reinigt die Oberfläche von Rost, Zunder und anderen Verunreinigungen. Entlang des zugeschalteten Schneidsauerstoffstrahls verbrennt der Werkstoff zu Schlacke. Die dabei entstehende Verbrennungswärme ermöglicht eine fortlaufende Verbrennung in die Tiefe und in Vorschubrichtung. Die dünnflüssige Schlacke wird aus der Schnittfuge geblasen. Voraussetzung für das autogene Brennschneiden ist, dass die Zündtemperatur des zu schneidenden Werkstoffs und die Schmelztemperatur seiner Schlacke niedriger sind als die Schmelztemperatur des Werkstoffs. Die bei der Verbrennung entstehende Schlacke muss dünnflüssig sein, und der Werkstoff sollte eine geringe Wärmeleitfähigkeit besitzen. Dies ist z.B. bei Baustählen, niedriglegierten Stählen, Stahlguss und Titan der Fall. Vorteile – geringe Investitions- und Betriebskosten – flexibel einsetzbar, z.B. auf Baustellen – größter Anwendungsbereich in Bezug auf die Werkstückdicke – gute Eignung zum Fasenschneiden Nachteile – Werkstoffauswahl stark eingeschränkt – hohe thermische Belastung des Werkstoffs
Plasmaschneiden	Mit Hilfe des Plasmaschneidens können Schweißnahtvorbereitungen und Formschnitte an Werkstoffen durchgeführt werden, die keine Brennschneideignung besitzen. Dies sind beispielsweise legierter Stahl, Aluminium, Kupfer und Grauguss. Das Plasmagas – es kommen Stickstoff, Stickstoff-Wasserstoff-Gemische, Argon-Wasserstoff-Gemische und Druckluft zur Anwendung – strömt durch die wassergekühlte Schneiddüse. Der zwischen Elektrode und Werkstück brennende Lichtbogen erhitzt das Plasmagas zum etwa 45.000°C heißen Plasmastrahl. Entlang des Plasmastrahls schmilzt der Werkstoff auf und wird aus der Fuge geblasen. Einfluss auf das Schneidergebnis haben die Parameter Schneidstrom, Schneidgeschwindigkeit, Abstand des Plasmabrenners zum Werkstück, Gasdruck und -menge.

Verfahrensbezeichnung	Erläuterung
	Wegen hoher Lärmbelästigung und Gefahrstoffemissionen erfolgt das Plasmaschneiden industriell häufig unter Wasserabdeckung des Werkstücks. Dies verringert auch die thermische Beeinträchtigung der Schneidteile, besonders bei dünnen Blechen. Vorteile einziges thermisches Verfahren zum Schneiden von hochlegierten Stählen und Aluminiumwerkstoffen im mittleren und größeren Dickenbereich hervorragend für Baustahl im dünnen Blechbereich Schneiden hochfester Baustähle mit geringer Wärmeeinbringung höhere Schneidgeschwindigkeiten gegenüber dem autogenen Brennschneiden Nachteile breitere Schnittfuge im Vergleich zum autogenen Brennschneiden nicht parallele Schnittkanten beim Trockenschneiden sehr hohe Lärmbelästigung beim Trockenschneiden hohe Schadstoffemission
Laserstrahlschneiden	Das Laserstrahlschneiden ist zum Trennen unterschiedlicher Werkstoffe, z.B. Stähle, Nichteisenmetalle, Kunststoffe, Keramik oder Holz geeignet. Bei Eisenwerkstoffen wird es meist für Werkstückdicken bis 25 mm eingesetzt. Es werden sowohl CO₂-Gaslaser als auch Festkörperlaser in Form eines Scheiben- oder Faserlasers angewendet. Ein hoher elektrischer/optischer Wirkungsgrad lässt sich heute mit dem diodengepumpten Festkörperlaser erzielen. Zur Materialbearbeitung, z.B. zum Trennen transparenter Materialien, wie Displays, dem Bohren von Düsen oder dem Abtragen von Kanälen, werden heute zudem Ultrakurzpulslaser (UKP) eingesetzt bzw. dann, wenn andere Technologien nicht mehr geeignet sind. Nach der Art der Umwandlung des Werkstoffs in der Schnittfuge werden drei Verfahrensvarianten unterschieden: Beim Laserstrahl-Brennschneiden wird der zu trennende Werkstoff durch den fokussierten Laserstrahl auf Entzündungstemperatur erwärmt. Der Schneidsauerstoff verbrennt den Werkstoff an der Schneidstelle und bildet eine dünnflüssige Schlacke, die durch die kinetische Energie des Sauerstoffstrahls aus der Schnittfuge geblasen wird. Der Schneidvorgang entspricht dem Verbrennungsablauf beim Brennschneiden. Die häufigste Anwendung ist daher das Schneiden unlegierter und niedriglegierter Stähle. Beim Laserstrahl-Schmelzschnitten wird der Werkstoff durch den Laserstrahl über die gesamte Werkstückdicke aufgeschmolzen. Anstelle des Schneidsauerstoffs kommt hier ein reaktionsträges Gas, in der Regel Stickstoff, zum Einsatz und bläst die Schmelze aus der Schnittfuge. Das Laserstrahl-Schmelzschnitten wird bevorzugt zum Trennen hochlegierter Stähle und für Nichteisenmetalle eingesetzt. Der besondere Vorteil beim Schneiden hochlegierter Stähle mit Stickstoff sind die dabei entstehenden metallisch blanken Schnittkanten.

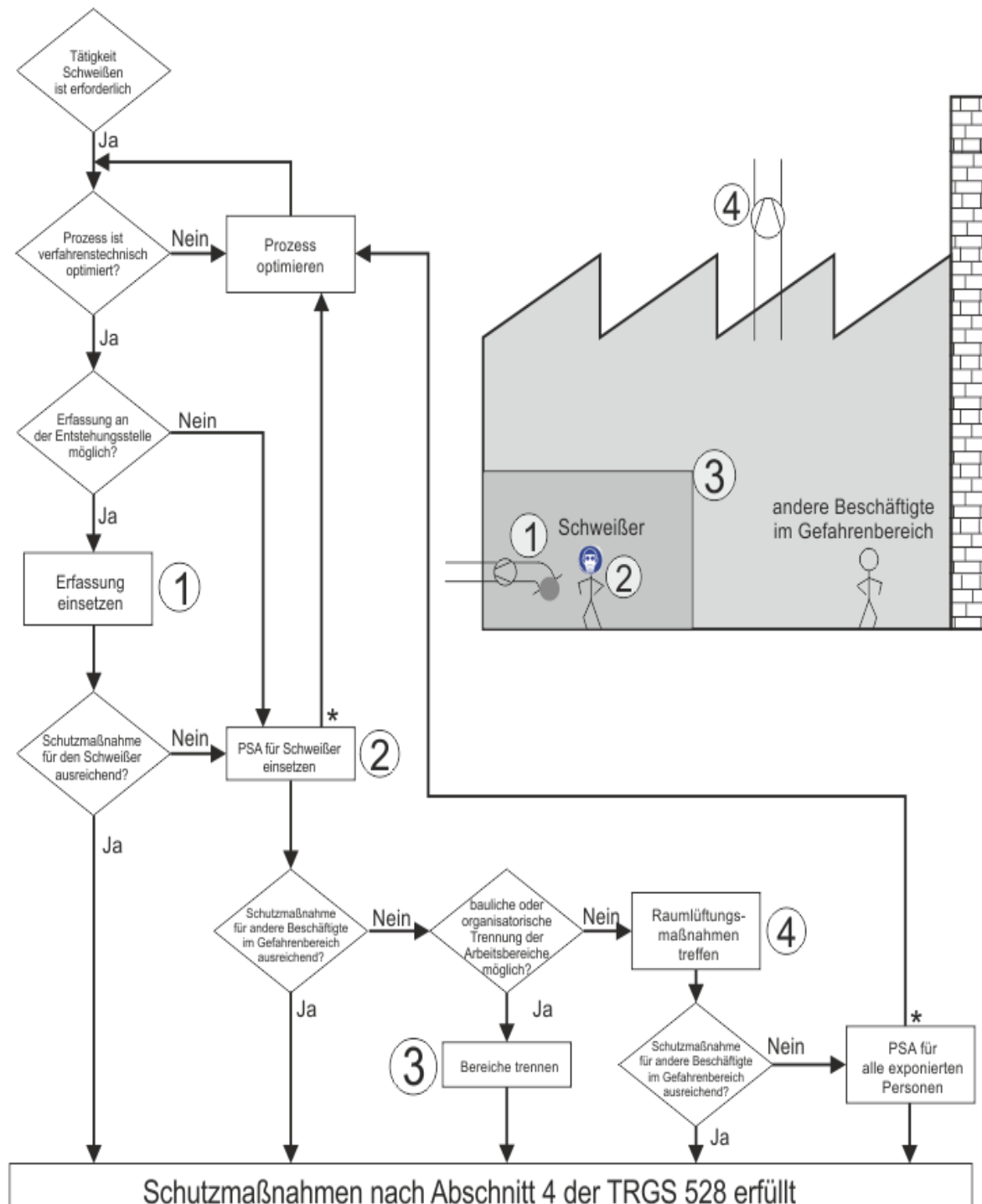
Verfahrensbezeichnung	Erläuterung
	Beim Laserstrahl-Sublimierschneiden wird der zu schneidende Werkstoff durch die hohe Energiedichte des Laserstrahls verdampft (sublimiert). Der verdampfte Werkstoff wird durch den Dampfdruck und durch ein reaktionsträges Schneidgas aus der Schnittfuge geblasen. Das Laserstrahl-Sublimierschneiden wird zum Trennen von Holz, Leder, Textilien und Kunststoffen verwendet. Vorteile – hohe Schneidgeschwindigkeit – verfahrensabhängig nacharbeitungsfreie, metallisch blanke Schnittkanten – präzise Schnittkonturen mit nahezu parallelen Schnittfugen – anlagenabhängig ist eine hohe Werkstoffvielfalt, z.B. sind auch Buntmetalle schneidbar – geringe Wärmeeinflusszonen Nachteile – Im Vergleich zu anderen thermischen Trennverfahren hohe Investitionskosten – begrenzter Blechdickenbereich (bis 50 mm hochlegierten Stahl, bis etwa 25 mm unlegierten Stahl)
Thermisches Spritzen	Der Spritz-Zusatzwerkstoff wird in Form von Pulvern, Drähten oder Stäben einer Düse zugeführt. In der Düse wird er in der Flamme eines Brenngas / Luft- bzw. Brenngas / Sauerstoffgemisches, in einem Lichtbogen oder in einem Plasma an- oder aufgeschmolzen und in einem Trägergasstrom unter hoher Geschwindigkeit auf die Oberfläche des zu beschichtenden Werkstückes beschleunigt. Zu den am häufigsten angewendeten Verfahren zählen: – das Flammsspritzen – das Hochgeschwindigkeits-Flammsspritzen – das Lichtbogenspritzen – das Plasmaspritzen – das Kaltgasspritzen Thermisch gespritzte Schichten dienen zum Verbessern der Werkstück- und Bauteileigenschaften zum Beispiel in Bezug auf Verschleiß, Korrosion, tribologisches Verhalten, Wärmeübergang bzw. -dämmung, elektrische Leitfähigkeit bzw. Isolation, Aussehen und/oder zum Wiederherstellen der Betriebsfähigkeit bei Neufertigung und Reparatur. Darüber hinaus schaffen sie für bestimmte Anwendungsfälle die Voraussetzungen für eine Lötbarkeit.
Flammrichten	Flammrichten ist ein Fertigungsverfahren der Autogentechnik. Als Wärmequelle dient in der Regel eine Sauerstoff-Acetylen-Flamme. Durch das Schweißen an Stahl- und Metallkonstruktionen entstehen Eigenspannungen im mehrachsigen Spannungszustand. Man unterscheidet grundsätzlich in vier Schrumpfsarten (Längs-, Quer-, Winkel- und Dickenschrumpfung). Der letzteren wird aber

Verfahrensbezeichnung	Erläuterung
	wenig an Bedeutung beigemessen. Flammrichten beseitigt die beim Schweißen entstandenen Schrumpfungen und Spannungen.
Additive Fertigung	Unter der additiven Fertigung versteht man Fertigungsverfahren, bei denen ein Bauteil schichtweise durch die Zugabe des Werkstoffs hergestellt wird. Durch den schichtweisen Aufbau können komplexe Strukturen hergestellt werden, die mit der spanenden Bearbeitung oder mit Gießverfahren nicht realisiert werden können. In Bezug auf die Schweißtechnik werden als gängige Werkstoffe Metalle, Kunststoffe oder Keramiken eingesetzt. Die Werkstoffe werden zumeist in Pulverform durch einen Laserstrahl aufgeschmolzen und aneinandergefügt. Zu den additiven Fertigungsverfahren, die im Geltungsbereich dieser TRGS sind, gehören das Laserauftragschweißen, das selektive Laserschmelzen und das selektive Lasersintern mit Metallpulvern.

Anhang 2: Entscheidungshilfen für die Auswahl von Schutzmaßnahmen

In dieser Anlage wird die grundsätzliche Herangehensweise zur Auswahl der erforderlichen Schutzmaßnahmen bei schweißtechnischen Arbeiten beschrieben. Im folgenden Fließdiagramm ist der grundsätzliche Ablauf dargestellt.

1 Schutzmaßnahmen bei schweißtechnischen Arbeiten



* Wegen Einsatz von PSA ist weitere Prozessoptimierung erforderlich

Abbildung 2: Fließdiagramm zur Auswahl von Schutzmaßnahmen bei schweißtechnischen Arbeiten.

2 Auswahl von Erfassungsarten

Kriterien für die Auswahl von Erfassungsarten sind:

1. Schweißverfahren
2. Art des Prozesses
3. Lage der Schweißnähte
4. Stückzahl
5. Größe der Bauteile
6. Länge der Schweißnähte

1. Schweißtechnische Verfahren

MIG/MAG	• brennerintegrierte Erfassung • HV¹-/NV²- Punktförmige Erfassung
WIG, LBH	• HV-/NV- Punktförmige Erfassung
Autogenverfahren	• HV-/NV- Punktförmige Erfassung
Thermisches Schneiden	• Tischabsaugung

2. Art des Prozesses

Automatisierte Verfahren	• möglichst mit geschlossener Erfassung durchführen (Unterdruckhaltung, definierte Durchspülung der Anlage) • Bearbeitung in Vorrichtungen mit festinstallierten, angepassten Erfassungselementen
Manuell ausgeführte Verfahren	• Berücksichtigung der nachfolgenden Kriterien

3. Lage der Schweißnähte

vorwiegend Wannenlage Bauteile können z. B. gedreht werden	• brennerintegrierte Erfassung • HV-/NV-Punktabsaugung
häufig wechselnde Schweißpositionen (siehe auch Größe der Bauteile)	• HV-/NV-Punktabsaugung • brennerintegrierte Erfassung

4. Stückzahl

groß Bearbeitung in Vorrichtungen	• Bearbeitung in Vorrichtungen mit festinstallierten, angepassten Erfassungselementen
mittel Bearbeitung an festen Arbeitsplätzen	• HV-/NV-Punktförmige Erfassung • Brennerintegrierte Erfassung
klein Bearbeitung an wechselnden Arbeitsplätzen	• HV-Punktförmige Erfassung • Brennerintegrierte Erfassung

¹ HV = Hochvakuumabsaugung, arbeitet mit Unterdrücken von mindestens 8000 Pa, typische Durchmesser der Absaugschläuche/ -rohre 60-80 mm.

² NV = Niedrigvakuumabsaugung, arbeitet mit Unterdrücken bis zu 3000 Pa, typische Durchmesser der Absaugschläuche/ -rohre 150-160 mm.

5. Größe der Bauteile

klein	• Tischabsaugung • NV-Punktförmige Erfassung • brennerintegrierte Erfassung
mittel	• HV-/ NV-Punktabsaugung • brennerintegrierte Erfassung
groß	• brennerintegrierte Erfassung

6. Länge der Schweißnähte

$\leq$ ca. 300 mm	• NV-Punktabsaugung • brennerintegrierte Erfassung
$>$ ca. 300 mm	• HV-Punktabsaugung mit angepassten Erfassungselementen • brennerintegrierte Erfassung

3 Auswahl der Schweißrauchabscheider

Kriterien für die Auswahl der Schweißrauchabscheider sind

1. Anzahl der Arbeitsplätze
2. Lage der Arbeitsplätze
3. Größe der Halle/ Arbeitsstätte

1. Anzahl der Arbeitsplätze

≤ 3	• mobile Einzelplatz-Abscheider
> 3	• stationäre Mehrplatz-Abscheider

2. Lage der Arbeitsplätze

viele gleichartige Arbeitsplätze, nebeneinander angeordnet.	• stationäre Mehrplatz-Abscheider
verteilte unterschiedliche Arbeitsplätze	• mobile Einzelplatz-Abscheider • Zentrale HV-Abscheider mit verteilten Anschlussstellen für Punkterfassung und Absaugbrenner

3. Größe der Halle/ Arbeitsstätte

Mit zunehmender Hallengröße steigt der Aufwand für zentrale Absauganlagen. Besonders bei HV-Systemen spielen Leckagen eine zunehmende Rolle.

Lösungsansatz: kleinere Systeme, Inseln bilden.

4 Lüftung

Mit zunehmendem Hallenvolumen steigt der Aufwand für eine Hallenlüftung. Dies ist mit hohen Investitionskosten und noch höheren Betriebskosten verbunden.

Lösungsansatz: Erfassung an der Entstehungsstelle optimieren.

Anhang 3: Spezifische Informationen für ausgewählte Sparten

Die Anforderungen der Abschnitt 4 Schutzmaßnahmen bleiben in den folgenden ausgewählten Sparten unberührt. Die in diesem Anhang aufgeführten Maßnahmen stellen für die jeweilige Sparte eine Ergänzung bzw. Konkretisierung dar.

1 Schiffbau

1.1 Beschreibung der Sparte und der typischen Produkte

In den Werften werden Schiffe aus Stahl oder Aluminium neu gebaut oder instandgehalten.

1.2 Beschreibung der typischen Arbeitsplätze

Die schweißtechnischen Arbeiten werden auf oder in Schiffen sowie an Schiffbauteilen in Hallen, in Docks und auf Hellingen durchgeführt.

1.3 Beschreibung der Tätigkeiten

Von den Beschäftigten werden insbesondere Verbindungsschweißen an Stahl- oder Aluminiumwerkstoffen sowie Schneiden von Stahl- oder Aluminiumwerkstoffen mittels Brenn- oder Plasmaschneiden durchgeführt.

An Schweißverfahren werden insbesondere MIG-/MAG-Schweißen, Lichtbogen-Handschweißen, Unterpulverschweißen und WIG-Schweißen eingesetzt.

Einsatzzeiten (Schweißdauer)

Die an Werften tätigen Schweißer sind in der Regel durchgängig mit schweißtechnischen Arbeiten befasst. Schlosser, Rohrschlosser und Schiffbauer sind dagegen noch mit anderen Tätigkeiten befasst. Deren Anteil an Schweiß- und Brennarbeiten beträgt in der Regel bis zu 20 %.

Grundwerkstoffe

Hauptsächlich werden unlegierte Stähle in Blechdicken zwischen 5 und 30 mm verarbeitet. Bei speziellen Schiffen und z.B. in Schiffsaufbauten und der Ausrüstung werden Aluminiumwerkstoffe im Dickenbereich von 3 bis 20 mm verarbeitet. In Einzelfällen kommen Chrom-Nickel-Stähle und Kupferlegierungen zum Einsatz.

Zusatzwerkstoffe

Die Zusatzwerkstoffe werden entsprechend den Grundwerkstoffen eingesetzt.

1.4 Expositionssituation

Die Expositionssituation im Schiffbau ist geprägt von ständig wechselnden Arbeitsplätzen. Bei Schweißen in engen Räumen und beim Schweißen von komplexen Bauteilgeometrien treten schwierige Raumlufbedingungen auf, weil dort eine Absaugung an der Entstehungsstelle oft nicht möglich ist. In diesen Fällen ist in der Regel das Tragen von geeignetem Atemschutz erforderlich.

1.5 Schutzmaßnahmen

Substitution

Vorrangig sind Schweißverfahren mit geringen Emissionsraten wie UP-Schweißen und WIG-Schweißen einzusetzen, soweit dies nach dem Stand der Technik möglich ist.

Technische/Bauliche Schutzmaßnahmen

Die Schweißrauche sind grundsätzlich an der Entstehungsstelle durch geeignete brennerintegrierte Absaugungen oder nachführbare Absaugelemente über der Schweißstelle abzusaugen.

In Arbeitsräumen z.B. Hallen kann eine zusätzliche technische Raumlüftung zum Schutz der anderen Beschäftigten im Gefahrenbereich erforderlich sein, wenn Grenzwerte mit anderen Maßnahmen (Absaugung an der Entstehungsstelle, bauliche und organisatorische Maßnahmen) nicht eingehalten werden.

Organisatorische Schutzmaßnahmen

Schweiß- und Brennarbeiten sind nach Möglichkeit räumlich oder zeitlich von anderen Tätigkeiten zu trennen.

Die Wirksamkeit der getroffenen Schutzmaßnahmen ist regelmäßig zu überprüfen, siehe hierzu Abschnitt 5. Sämtliche Absaugeinrichtungen (Be- und Entlüftungsanlagen sowie die Absauganlagen) sind regelmäßig nach Herstellerangaben zu warten und auf ihre volle Funktionsfähigkeit mindestens jährlich zu prüfen.

Die arbeitsmedizinische Vorsorge der Beschäftigten ist nach den Regelungen der Abschnitt 6 durchzuführen.

Persönliche Schutzmaßnahmen

Geeigneter Atemschutz ist immer dann zu tragen, wenn die technischen und organisatorischen Maßnahmen nicht ausreichend sind, z.B. wenn die Absaugeinrichtungen wegen schlechter Zugänglichkeit nicht wirksam eingesetzt werden können, siehe hierzu Abschnitt 4.7 Absatz 7.

Im Schiffbau haben sich gebläseunterstützte Schweißhelme, Schweißhelme mit externer Druckluftversorgung (Isoliergeräte) oder filtrierende Atemschutzmasken FFP3 bewährt, siehe hierzu auch Abschnitt 4.7 Absatz 7.

2 Automobilbau – Karosserierohbau

2.1 Beschreibung der Sparte und der typischen Produkte

Je nach Fertigungstiefe verfügen alle Fahrzeughersteller über einen eigenen Karosserierohbau, während andere schweißtechnisch relevante Baugruppen wie Abgasschalldämpfer, Fahrwerksteile usw. häufig als Kaufteile vom Zulieferer gefertigt werden.

Während früher Standardstahlbleche unverzinkt, ab den 80ern vermehrt verzinkt, durch Widerstandspunktschweißen oder MAG-Schweißen verbunden wurden, sind heute Kombinationen aus diversen Werkstoffen (hauptsächlich Aluminium-Stahl-Verbundbauweisen) üblich. Daher wurde das Schweißen zum Teil durch andere Fügeverfahren wie Durchsetzfügen (Clinchen) oder Stanznieten ersetzt.

Zur Steigerung der Crashfestigkeit kommen zusätzlich Karosseriekleber auf Epoxidharzbasis zum Einsatz.

2.2 Beschreibung der typischen Arbeitsplätze

Die Karosseriefertigung erfolgt üblicherweise in einer Halle mit technischer Lüftung und Wärmerückgewinnung, bei dem die Wärme über einen Wärmetauscher von der Abluft auf die Zuluft übertragen wird.

2.3 Beschreibung der Tätigkeiten

Am Arbeitsplatz erfolgt das Einlegen der vorkonfektionierten Bauteile in Vorrichtungen, die beim weiteren Arbeitstakt vom Roboter durch Raupenauftrag des Karosserieklebers und/oder durch Widerstandspunktschweißen oder durch Schutzgasschweißen zusammengefügt werden.

Widerstandspunktschweißen mit der handgeführten Punktschweißzange oder MAG-Schweißen mit dem handgeführten Schweißbrenner kommt üblicherweise noch als „Notstrategie“ bei Anlagenstörung oder als Nacharbeit vor.

Die in einigen Sonderbereichen vorkommenden Laserstrahlschweißverfahren oder das Laserstrahlhartlöten werden auch aus Gründen des Schutzes vor der Laserstrahlung in geschlossenen Anlagen mit Direktabsaugung durchgeführt.

Einsatzzeiten (Schweißdauer)

Die Schweißdauer beim Widerstandspunktschweißen bewegt sich im Sekundenbruchteilbereich.

Die Einschaltdauer des MIG/MAG-Schweißgerätes ist bauartbedingt begrenzt und nur bei den beschriebenen Sonderfällen (Notstrategie und Nacharbeit) relevant.

Grundwerkstoffe

In der Karosseriefertigung kommen folgende Grundwerkstoffe zum Einsatz:

- Karosseriebleche aus verzinktem, unlegiertem Stahl in einer Dicke von 0,6 bis 0,8 mm,
- Karosserieverstärkungsbleche (Quer-/Längsträger) in einer Dicke von üblicherweise 2 mm,
- Außenhautbleche aus diversen Aluminiumlegierungen in einer Dicke von üblicherweise 1,5 mm.

Zusatzwerkstoffe

In der Karosseriefertigung werden üblicherweise folgende Zusatzwerkstoffe (Elektroden) verwendet:

- Für un- und niedriglegierte Stähle MSG-Schweißelektroden mit dem Kurzzeichen G3Si1 nach DIN EN ISO 14341,
- für Aluminiumbauteile WIG-Schweißelektroden mit dem Kurzzeichen S Al 4043 (AlSi5) nach DIN EN ISO 18273,
- für Laserstrahlhartlöten Elektroden mit dem Kurzzeichen S Cu 6560 (CuSi3Mn1) nach DIN EN ISO 24373,
- für Widerstandspunktschweißen Schweißelektroden aus CuCrZr (CuCr1Zr).

2.4 Expositionssituation

Während der Atembereich des Anlagen-/Roboterbedieners sich außerhalb des Entstehungsbereichs der Schweißrauche befindet, ist der Schweißer bei Nacharbeiten oder Notstrategie bei Anlagenstörung direkt exponiert.

2.5 Schutzmaßnahmen

Anlagen- und Roboterbetrieb - Anforderungen an die Lüftungsanlage

Die Gefahrstoffe sind direkt an der Entstehungsstelle oder mit einer Haubenabsaugung zu erfassen. Dabei ist eine gerichtete Luftführung von den Arbeitsbereichen zu den Absaugbereichen sicherzustellen. Leckagen und Überströmungen an Wärmerückgewinnungssystemen von Abluft zur Zuluft sind zu minimieren. Der maximale Abluftanteil in der Zuluft bei Regelbetrieb muss unter 1 % bleiben. Während des Schweißbetriebes ist die Absauganlage dauerhaft im Fortluftmodus zu betreiben. Ein Umluftbetrieb darf nur in schweißfreien Zeiten erfolgen.

Nacharbeit und Notstrategie bei Anlagenstörung – Anforderungen an die Arbeitsplätze

Bei kleineren Bauteilen ist eine Schweißkabine mit Schweißtisch und nachführbarem Absaugelement einzurichten.

Bei Arbeiten an der Karosserie außerhalb einer Schweißkabine ist zusätzlich zur laufenden Hallenabsaugung vom Beschäftigten ein Schweißerschutzhelm mit separater Luftzufuhr zu tragen.

3 Anlagen-, Behälter- und Rohrleitungsbau

3.1 Beschreibung der Sparte und der typischen Produkte

Tätigkeitsschwerpunkte sind die Herstellung von Großbehältern (Silos), Zwischenlagerbehältern und kleineren Apparaten sowie Rohrleitungsbau. Die Behälter sind oft mit Rührwerken z.B. für die Austragung ausgestattet, Förderschnecken in den Rohrleitungen können für den Transport erforderlich sein.

Es werden üblicherweise Bleche und Profile im Dickenbereich 3 bis 30 mm verarbeitet, bei Einzelabmessungen der Profile von bis zu 12 m.

Die Einsatztemperaturen liegen teils im Tieftemperaturbereich bis zu hohen Temperaturen im Kraftwerksbereich, entsprechend groß ist die Materialvielfalt.

3.2 Beschreibung der typischen Arbeitsplätze

Aufgrund der Größe und Form der Bauteile sind die Schweißarbeitsplätze bis auf wenige Ausnahmen (automatische Schweißverfahren) dezentral an wechselnden Plätzen in der Werkstatt, als Montage- und Schweißarbeitsplatz eingerichtet. Die Bauteile sind oft aufgrund ihrer hohen Gewichte ohne Hilfsmittel (Kran) nicht positionierbar, das Schweißen erfolgt dabei überwiegend in Zwangshaltungen.

3.3 Beschreibung der Tätigkeiten

Neben den zerspanenden Bearbeitungsprozessen werden konventionelle und automatische Schmelzschweißverfahren (UP, MIG/MAG und teilweise WIG) ausgeführt. Schwerpunkt dabei ist das MAG-Schweißen von unlegierten und hochlegierten Stählen. Dabei können die Einsatzzeiten stark differieren. Außerdem werden Schneidprozesse von Stahlwerkstoffen mittels Brenn- und Plasmaschneiden eingesetzt.

Als Grundwerkstoffe werden unlegierte bzw. höherfeste Baustähle, Druckbehälterstähle als auch hochlegierte Stähle für Tief- und Hochtemperaturanwendung eingesetzt. Geschweißt wird mit artgleichen Schweißzusätzen, bei Sonderanwendungen mit Nickelbasiswerkstoffen.

3.4 Expositionssituation

Die Expositionssituation ist, außer beim Kleinapparatebau, geprägt von ständig wechselnden Arbeitsplätzen. Die Raumlufthbedingungen sind bei komplexen Bauteilgeometrien schwierig, weil dort oft nicht an der Entstehungsstelle abgesaugt werden kann. In diesen Fällen ist in der Regel das Tragen von geeignetem Atemschutz erforderlich.

3.5 Schutzmaßnahmen

Substitution

Vorrangig sind Schweißverfahren mit geringen Emissionsraten auch in Hinblick auf die Wahl des Schweißzusatzes mit Abstimmung auf den Grundwerkstoff (geringer Mangengehalt) einzusetzen.

Technische/Bauliche Schutzmaßnahmen

Die Schweißrauche müssen an der Entstehungsstelle abgesaugt werden. Geeignet sind bevorzugt brennerintegrierte Absaugungen mit Abluftfilterung oder nachzuführende mobile Absaugelemente über der Schweißstelle.

In Arbeitsräumen z.B. Hallen kann eine zusätzliche technische Raumlüftung zum Schutz der anderen Beschäftigten im Gefahrenbereich erforderlich sein, wenn Grenzwerte mit anderen Maßnahmen (Absaugung an der Entstehungsstelle, bauliche und organisatorische Maßnahmen) nicht eingehalten werden.

Organisatorische Schutzmaßnahmen

Die Schweiß- und Brennarbeiten sind von anderen Tätigkeiten möglichst räumlich oder zeitlich zu trennen. Ebenso ist möglichst die Verarbeitung von Baustählen und hochlegierten Stählen räumlich zu trennen.

Persönliche Schutzmaßnahmen

Wenn die technischen und organisatorischen Schutzmaßnahmen nicht ausreichend sind, muss geeigneter Atemschutz bereitgestellt und getragen werden.

Geeignete Atemschutzgeräte sind gebläseunterstützte Schweißerhelme oder fremdbelüftete Schweißerhelme. Für kurze Einsatzzeiten sind auch filtrierende Atemschutzmasken mit der Filterklasse FFP2 bzw. bei Schweißrauchen mit krebserzeugenden Inhaltsstoffen mit der Filterklasse FFP3 möglich.

4 Stahlbau

4.1 Beschreibung der Sparte und der typischen Produkte

Im Stahlbau werden große Tragwerke wie z.B. Straßen- oder Eisenbahnbrücken aus Stahl gefertigt.

4.2 Beschreibung der typischen Arbeitsplätze

Die Schweißarbeitsplätze befinden sich üblicherweise in großen Hallen mit Grundflächen über 2.000 m².

4.3 Beschreibung der Tätigkeiten

Für das Verbindungsschweißen an den Stahlwerkstoffen werden hauptsächlich MIG-/MAG- und WIG-Schweißen eingesetzt.

Einsatzzeiten (Schweißdauer)

Die im Stahlbau tätigen Schweißer sind in der Regel durchgängig mit schweißtechnischen Arbeiten befasst.

Grundwerkstoffe

Als Grundwerkstoffe werden hauptsächlich unlegierte Stähle mit den Kurzzeichen S 235 bis S 460, S 690, S 960 und Chrom-Nickel-Stähle in Blechdicken bis 200 mm verwendet.

Zusatzwerkstoffe

Es werden Zusatzwerkstoffe entsprechend den Grundwerkstoffen eingesetzt, d.h. Zusatzwerkstoffe mit einer gegenüber dem Grundwerkstoff leichten Überlegierung.

4.4 Expositionssituation

Die Expositionssituation der Schweißer ist geprägt durch ständig wechselnde Arbeitsplätze. Die Bauteile werden für eine optimale Bearbeitung in entsprechende ergonomisch günstige Positionen gebracht.

4.5 Schutzmaßnahmen

Substitution

Grundsätzlich ist zu prüfen, ob Verfahren mit geringen Emissionsraten z.B. WIG-Schweißen eingesetzt werden können. Diese Verfahren sind dann entsprechend einzusetzen.

Technische/Bauliche Schutzmaßnahmen

Die Schweißrauche sind grundsätzlich an der Entstehungsstelle durch geeignete brennerintegrierte Absaugungen oder nachführbare Absaugelemente über der Schweißstelle abzusaugen.

In Arbeitsräumen z.B. Hallen kann eine zusätzliche technische Raumlüftung zum Schutz der anderen Beschäftigten im Gefahrenbereich erforderlich sein, wenn Grenzwerte mit anderen Maßnahmen (Absaugung an der Entstehungsstelle, bauliche und organisatorische Maßnahmen) nicht eingehalten werden.

Organisatorische Schutzmaßnahmen

Die Werkstoffe bzw. Bauteile sind möglichst so zu positionieren, dass Arbeiten nicht in Zwangshaltungen durchgeführt werden müssen.

Persönliche Schutzmaßnahmen

Wenn die technischen und organisatorischen Schutzmaßnahmen nicht ausreichend sind, muss geeigneter Atemschutz bereitgestellt und getragen werden.

Geeignete Atemschutzgeräte sind gebläseunterstützte Schweißerhelme oder fremdbelüftete Schweißerhelme. Für kurze Einsatzzeiten sind auch filtrierende Atemschutzmasken mit der Filterklasse FFP2 bzw. bei Schweißrauchen mit krebserzeugenden Inhaltsstoffen mit der Filterklasse FFP3 möglich.

5 Metallbau

5.1 Beschreibung der Sparte und der typischen Produkte

Das Schweißen und die verwandten Verfahren werden in der Regel im Bereich des konstruktiven Metallbaus angewandt. Tätigkeitsschwerpunkt ist die Herstellung und Montage von Produkten aus Stahl und/oder Aluminium. Typische Produkte sind Treppen, Geländer, Vordächer, Balkone, Tore, Gitter oder Zäune, die zum Teil auch auf der Baustelle montiert werden. Es werden üblicherweise Bleche und Profile im Dickenbereich 3 bis 25 mm verarbeitet, bei Abmessungen von bis zu 6000 mm. Die Bauteile sind aufgrund ihrer relativ geringen Gewichte in der Regel auch ohne Hilfsmittel (Kran) handelbar und können leicht positioniert werden.

5.2 Beschreibung der typischen Arbeitsplätze

Aufgrund der Größe und Form der Bauteile sind die Schweißarbeitsplätze dezentral an wechselnden Plätzen in der Werkstatt, als Montage- und Schweißarbeitsplatz eingerichtet. Sofern

neben den unlegierten Standard-Werkstoffen auch nichtrostende CrNi- oder Aluminium-Werkstoffe verarbeitet werden, erfolgt in der Regel eine örtliche Trennung der Schweißbereiche.

5.3 Beschreibung der Tätigkeiten

Neben den zerspanenden Bearbeitungsprozessen hat das konventionelle Schmelzschweißen (LBH, MIG/MAG und WIG) die größte Bedeutung. Schwerpunkt dabei ist das MAG-Schweißen von unlegierten Stählen.

Einsatzzeiten (Schweißdauer)

Die einzelnen Prozesse finden im Metallbau gemittelt über die Sparte wie folgt Anwendung:

Tabelle 4: Verwendete Verfahren im Metallbau

Verfahren	Umfang (Anwendungshäufigkeit)	Werkstoff	Lichtbogen- brennzeit (Std./Tag)
MAG (Herstellung)	80 %	Unlegierter Stahl	1,0–1,5
LBH (Montage)	10 %	Unlegierter Stahl Chrom-/Nickel- stahl	0,5
MIG/MAG (Herstellung)	5 %	Aluminium Chrom-/Nickelstahl	0,5
WIG (Herstellung)	5 %	Aluminium Chrom-/Nickelstahl	0,5

Grundwerkstoffe

Typischer Vertreter für die unlegierten Stähle ist der Baustahl mit dem Kurzzeichen S 235 (Werkstoffnummer 1.0038) mit ca. 80 %, für die Chrom-Nickel-Stähle mit dem Kurzzeichen X5CrNi18-10 (Werkstoffnummer 1.4301) und X6CrNiMoTi 17-12-2 (Werkstoffnummer 1.4571) mit ca. 15 % sowie Aluminium und seine Legierungen mit ca. 5 %.

Zusatzwerkstoffe

Die verwendeten Zusatzwerkstoffe orientieren sich an den Grundwerkstoffen und enthalten ähnliche chemische Zusammensetzungen.

5.4 Schutzmaßnahmen

Grundsätzlich ist zu prüfen, ob das Schweißen durch andere Fügeverfahren, wie Kleben, Falzen oder mechanisches Verbinden (Schrauben, Nieten) zu ersetzen ist.

Automatisierte Schweißverfahren mit integrierter Absaugung (ggf. eingehaust) sind konventionellen Schweißverfahren vorzuziehen.

Bei Auswahl eines der konventionellen Schweißverfahren ist dieses dahingehend zu optimieren, dass schadstoffärmere Schweißverfahren z.B. WIG- statt LBH-Schweißen oder MAG-Massivdraht- statt MAG-Fülldraht-Schweißen bevorzugt eingesetzt werden.

Sofern es sich nicht um Schweißarbeiten mit geringer Exposition handelt (siehe Abschnitt 3.2.4 Absatz 4), muss die Erfassung der Schweißrauche möglichst an der Entstehungsstelle punkt-

förmig erfolgen. Hierfür eignen sich die brennerintegrierte Erfassung z.B. bei langen Schweißnähten und großen Bauteilen, die Tischabsaugung bei festem Schweißplatz z.B. Kleinteile oder die separate NV-/HV-Punktabsaugung mit mobilen Einzelplatzabscheidern.

Ist das Absaugen an der Entstehungsstelle für den Schweißer nicht ausreichend, so muss geeignete persönliche Schutzausrüstung z.B. belüfteter Helm sowohl für die Schweißarbeiten als auch für Nebenarbeiten, z.B. Verputzen von Nähten, eingesetzt werden.

Bei kleinen und mittleren Abmessungen der Bauteile sind andere Beschäftigte im Gefahrenbereich durch räumliche Abtrennung von Schweißwerkstatt und sonstiger Fertigung zu schützen. Wenn eine räumliche Abtrennung nicht möglich ist, sind geeignete Raumlüftungsmaßnahmen zum Schutz der anderen Beschäftigten im Gefahrenbereich zu treffen.

6 Handwerklicher Nutzfahrzeugbau mit Instandsetzung

6.1 Beschreibung der Sparte und der typischen Produkte

Tätigkeitsschwerpunkt ist die Herstellung und Instandsetzung von Spezialfahrzeugen bzw. individuelle Aufbauten auf Serienchassis für Nutzfahrzeuge mit in der Regel mehr als 3,8 Tonnen Gesamtgewicht.

6.2 Beschreibung der typischen Arbeitsplätze

Es werden üblicherweise Bleche und Profile im Dickenbereich von 3 bis 30 mm verarbeitet, bei Abmessungen von bis zu 6000 mm. Aufgrund der Größe und Form der Bauteile sind die Schweißarbeitsplätze dezentral an wechselnden Plätzen in der Werkstatt, als Montage- und Schweißarbeitsplatz eingerichtet. Die Bauteile sind oft aufgrund ihrer hohen Gewichte ohne Hilfsmittel (Kran) nicht positionierbar, das Schweißen erfolgt dabei überwiegend in Zwangshaltungen.

6.3 Beschreibung der Tätigkeiten

Neben den zerspanenden Bearbeitungsprozessen hat das konventionelle Schmelzschweißen (MIG-/MAG- und teilweise WIG-Schweißen) die größte Bedeutung. Schwerpunkt dabei ist das MAG-Schweißen von unlegierten Stählen. Dabei können die Einsatzzeiten stark differieren. Außerdem werden Schneidprozesse von Stahlwerkstoffen mittels Brenn- und Plasmaschneiden eingesetzt.

Typische Vertreter für die unlegierten Stähle sind Stähle mit dem Kurzzeichen S 235JR bzw. S 355J2. Geschweißt wird mit artgleichen, leicht höherlegierten Schweißzusätzen.

6.4 Expositionssituation

Die Expositionssituation ist geprägt von ständig wechselnden Arbeitsplätzen. Die Raumlufbedingungen sind bei komplexen Bauteilgeometrien schwierig, weil dort oft nicht an der Entstehungsstelle abgesaugt werden kann. In diesen Fällen ist in der Regel das Tragen von geeignetem Atemschutz erforderlich.

6.5 Schutzmaßnahmen

Substitution

Vorrangig sind Schweißverfahren mit geringen Emissionsraten auch in Hinblick auf die Wahl des Schweißzusatzes mit Abstimmung auf den Grundwerkstoff (geringer Mangangehalt) einzusetzen.

Technische/Bauliche Schutzmaßnahmen

Die Schweißrauche sind grundsätzlich an der Entstehungsstelle vorzugsweise durch geeignete brennerintegrierte Absaugungen oder auch durch nachführbare Absaugelemente über der Schweißstelle abzusaugen.

In Arbeitsräumen z.B. Hallen kann eine zusätzliche technische Raumlüftung zum Schutz der anderen Beschäftigten im Gefahrenbereich erforderlich sein, wenn Grenzwerte mit anderen Maßnahmen (Absaugung an der Entstehungsstelle, bauliche und organisatorische Maßnahmen) nicht eingehalten werden.

Organisatorische Schutzmaßnahmen

Schweiß- und Brennarbeiten sind von anderen Tätigkeiten möglichst räumlich oder zeitlich zu trennen.

Persönliche Schutzmaßnahmen

Wenn die technischen und organisatorischen Schutzmaßnahmen nicht ausreichend sind, muss geeigneter Atemschutz bereitgestellt und getragen werden.

Geeignete Atemschutzgeräte sind gebläseunterstützte Schweißerhelme oder fremdbelüftete Schweißerhelme. Für kurze Einsatzzeiten sind auch filtrierende Atemschutzmasken mit der Filterklasse FFP2 bzw. bei Schweißrauchen mit krebserzeugenden Inhaltsstoffen mit der Filterklasse FFP3 möglich.

7 Additive Fertigung

Additive Fertigungsverfahren (siehe auch Anhang 1) sind relativ neue Technologien, deren Anwendungen zunehmend an Bedeutung gewinnen. Bei den hier beschriebenen Verfahren werden Metallpulver eingesetzt, die mithilfe einer Beschickungseinrichtung schichtweise in einen geschlossenen Raum (Bauraum) eingebracht und mit einem Laserstrahl selektiv geschmolzen werden.

Gefahrstoffexpositionen oder Brand- und Explosionsgefahren können bei folgenden Arbeitsschritten auftreten:

- Qualitätsprüfungen (Wareneingangskontrolle)
- Lagerung der Metallpulver
- Pulvervorbereitung einschließlich Wiederaufbereitung
- Anlagenvorbereitung
- Drucken des Bauteils (Bauprozess)
- Bauteilentnahme und Bauteilreinigung (Pulverentfernung)
- Reinigen des Bauraumes
- Bauteilnachbearbeitung
- Abfallentsorgung
- Filterwechsel

7.1 Qualitätsprüfungen (Wareneingangskontrolle)

Beschreibung der Tätigkeiten

Üblicherweise werden Metallpulver in geschlossenen, transportstabilen Behältern geliefert. Für Qualitätsprüfungen müssen diese geöffnet und Proben entnommen werden. Dabei kann das Metallpulver aufgewirbelt und eingeatmet werden und es kann ein Hautkontakt bestehen.

Durch fein in der Luft dispergierte Metallpulver kann eine explosionsfähige Atmosphäre am Arbeitsplatz entstehen.

Schutzmaßnahmen

Staubarme Arbeitsweise, Chemikalienschutzhandschuhe z.B. Einmal-Nitrilhandschuhe, ca. 0,2 mm Stärke und ca. 300 mm Länge und Schutzbrille tragen. Bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden Metallpulvern sind geeignete Atemschutzgeräte zu tragen. Hinweise zur Auswahl beinhaltet die DGUV Regel 112-190.

Damit an der Kleidung anhaftendes Metallpulver nicht in andere Bereiche verschleppt wird, ist Arbeitskleidung z.B. Kittel zu tragen, die beim Verlassen des Arbeitsbereiches abzulegen ist.

7.2 Lagerung der Metallpulver

Beschreibung der Tätigkeiten

Metallpulver werden üblicherweise in geschlossenen Behältern gelagert. Die Pulver stellen eine Brandlast dar.

Schutzmaßnahmen

Lagermenge auf den Prozess abstimmen. Die Anforderungen der TRGS 510 sind zu berücksichtigen.

7.3 Pulvervorbereitung einschließlich Wiederaufbereitung

Beschreibung der Tätigkeiten

Vor dem Einsatz eines Metallpulvers wird üblicherweise dessen Fließverhalten ermittelt. Ein Pulver, das die Anforderungen nicht erfüllt, kommt entweder nicht zum Einsatz und wird an den Lieferanten zurückgegeben, oder das Fließverhalten des Pulvers wird durch einen Siebvorgang auf die gewünschten Eigenschaften abgestimmt.

Ob einmal in einem Druckprozess eingesetztes Pulver ein zweites Mal zum Einsatz gelangt, ist von den Qualitätsansprüchen abhängig. Oftmals wird das Pulver als Abfall entsorgt. Sofern ein zweiter Einsatz möglich ist, muss das Pulver vor einer erneuten Verwendung gesiebt werden. Der Siebvorgang sollte in geschlossenen Siebeinrichtungen erfolgen. Es können Gefährdungen durch Hautkontakt, Einatmen oder die Bildung explosionsfähiger Atmosphären auftreten.

Schutzmaßnahmen

Absaugen der Siebmaschinen mit Entstaubern (Staubklasse M, bei krebserzeugenden Metallen Staubklasse H), die auch zum Aufsaugen brennbarer Stäube geeignet sind. Diese Geräte werden mit Typ 22 oder mit ExHexagon II 3D gekennzeichnet. Im Übrigen gelten die unter Abschnitt 7.1 genannten Maßnahmen.

7.4 Anlagenvorbereitung

Beschreibung der Tätigkeiten

Vor dem Druckprozess sind die Anlagen mit dem jeweiligen Metallpulver zu befüllen. Das Befüllen kann je nach Anlagentyp mit Schaufel, durch einen offenen Schüttvorgang oder durch Anschließen des Pulverbehälters erfolgen.

Schutzmaßnahmen

Offene Schüttvorgänge sollen vermieden werden. Wenn dies nicht möglich ist, sind die unter Abschnitt 7.1 genannten Schutzmaßnahmen umzusetzen.

7.5 Drucken des Bauteils (Bauprozess)

Beschreibung der Tätigkeit

Laserstrahlschmelzanlagen sind geschlossene Anlagen. Vor und während des Druckprozesses wird der Bauraum mit Schutzgas geflutet. Da die Bauräume nur eine geringe Leckagerate besitzen, dringen aus dem Bauraum nur geringe Schutzgas- bzw. Rauchmengen (Schmauch/Kondensat) aus.

Schutzmaßnahmen

Da der Druckprozess automatisiert abläuft und üblicherweise nur gelegentlich kontrolliert wird, sind Schutzmaßnahmen für die Beschäftigten in der Regel nicht erforderlich.

7.6 Bauteilentnahme und Bauteilreinigung (Pulverentfernung)

Beschreibung der Tätigkeit

Nach Beenden des Druckprozesses müssen das Pulver und die darin befindlichen Bauteile abkühlen, bevor der Bauraum geöffnet und das nicht geschmolzene Pulver mit einem Sauger entfernt wird. Nach dem Entfernen des Pulvers werden die Bauteile mit der Bauplattform aus dem Bauraum genommen. An Bauteilen anhaftendes Metallpulver wird grob mit Spachteln, Pinseln oder ähnlichen Werkzeugen entfernt.

Schutzmaßnahmen

Bei den Arbeitsschritten kann eine Exposition gegenüber Metallpulvern auftreten. Insofern gelten auch hier die in Abschnitt 7.1 genannten Schutzmaßnahmen. Werden die Bauteile noch im warmen Zustand entnommen, sind geeignete hitzebeständige Schutzhandschuhe zu tragen.

7.7 Reinigen des Bauraumes

Beschreibung der Tätigkeiten

Vor dem nächsten Druckprozess wird der Bauraum gereinigt, konkret wird an den Wänden anhaftendes Kondensat/Schmauch mit Nassabscheidern oder Trockensaugern abgesaugt und mit feuchten Tüchern nachgewischt. Für das Reinigen der Laseroptik kommen meist spezielle Linsenreinigungstücher zum Einsatz. Beim Reinigen des Innenraums besteht wegen der kondensierten Stäube eine erhöhte Explosionsgefahr. Trocknen die Reinigungstücher, so können sie sich selbst entzünden. Sie stellen daher eine erhöhte Brandlast dar.

Schutzmaßnahmen

Bei den Arbeitsschritten können die unter Abschnitt 7.1 beschriebenen Gefährdungen auftreten, insofern gelten auch hier die genannten Schutzmaßnahmen. Insbesondere sind geeignete Schutzhandschuhe zu tragen. Zur Reinigung des Bauraums bieten einzelne Filtergerätehersteller spezielle Filtergeräte an, die in der Regel über ein mehrstufiges Filtersystem verfügen. Aus Gründen des Explosionsschutzes besteht das Vorfilter üblicherweise aus einem Nassabscheider z.B. Wasserbad. Beim manuellen Reinigen eingesetzte Tücher sind in geschlossenen Behältern aus nicht brennbarem Material zu sammeln und zu entsorgen.

7.8 Bauteilnachbearbeitung

Beschreibung der Tätigkeiten

Die gedruckten Bauteile sind mit der Bauplattform fest verbunden und müssen mithilfe einer Säge oder durch Abbrechen mechanisch getrennt werden. Diese Arbeitsschritte sowie die weitergehende Bauteilreinigung erfolgen außerhalb des Bauraumes, oftmals auf speziellen

Arbeitstischen mit Absaugung oder in gekapselten Reinigungskammern. Müssen die Bauteiloberflächen sandgestrahlt oder geschliffen werden, erfolgt dies in Kabinen.

Schutzmaßnahmen

Tragen von geeigneten Schutzhandschuhen, erforderlichenfalls Bereitstellen und Tragen von geeignetem Atemschutz.

7.9 Abfallentsorgung

Beschreibung der Tätigkeiten

Metallpulver und Abfälle können an der Luft zu starken Reaktionen neigen und sich mitunter selbst entzünden. Ein Mischen von unterschiedlichen Metallpulverresten ist zu vermeiden. Schlämme aus Nassabscheidern sowie geflutete Luftfilter können an Luft reagieren und Wasserstoff freisetzen (Explosionsgefahr).

Schutzmaßnahmen

Abfälle in Behältern aus nicht brennbarem Material und möglichst im Freien bzw. in gut belüfteten Räumen mit direktem Luftaustausch durch Außenluft lagern.

Anhang 4: Hinweise für Messungen

- **zur Ermittlung der Gefahrstoffexposition**
- **zur Überprüfung der Wirksamkeit von Lüftungstechnischen Einrichtungen**

bei schweißtechnischen Arbeiten

1 Ermittlung der Gefahrstoffexposition

(1) Für Messungen zur Ermittlung von Gefahrstoffexpositionen ist die TRGS 402 zu berücksichtigen. Wer Arbeitsplatzmessungen durchführt, muss fachkundig sein und über die erforderlichen Einrichtungen verfügen. Werden die Messungen durch Messstellen durchgeführt, die für die Messung von Gefahrstoffen an Arbeitsplätzen akkreditiert sind, kann der Arbeitgeber in der Regel davon ausgehen, dass die von dieser Messstelle gewonnenen Erkenntnisse zutreffend sind.

Informationen über geeignete Messstellen enthält die Homepage der DGUV unter: <http://www.dguv.de/ifa/fachinfos/arbeitsplatzgrenzwerte/messstellen-fuer-gefahrstoffe/index.jsp>.

Sollen Messungen von einer für Arbeitsplatzmessungen nicht akkreditierten Messstelle durchgeführt werden, so muss der Arbeitgeber prüfen, ob die Messstelle die entsprechenden Anforderungen erfüllt.

Das Ergebnis der Beurteilung einer Messung nach TRGS 402 ist der Befund.

Der Befund kann (außer bei krebserzeugenden Stoffen mit risikobasierten Beurteilungsmaßstäben) lauten: „Schutzmaßnahmen ausreichend“ bzw. „Schutzmaßnahmen nicht ausreichend“.

Für einen einzelnen Stoff wird der Stoffindex gebildet. Sofern mehrere Stoffe gleichzeitig oder nacheinander während einer Schicht zur Exposition im Arbeitsbereich beitragen, wird für Stoffe mit einem AGW aus den Stoffindizes der Einzelstoffe durch Addition der Bewertungsindex berechnet. Sind die Stoff- bzw. Bewertungsindizes kleiner oder gleich 1, die Kurzzeitwertanforderungen erfüllt und kann darüber hinaus begründet werden, dass auch künftig die Stoff- bzw. die Bewertungsindizes eingehalten werden, lautet der Befund „Schutzmaßnahmen ausreichend“.

Wegen der unterschiedlichen Wirkungen werden bei schweißtechnischen Arbeiten die gasförmigen Gefahrstoffe (NO_x und Ozon) getrennt von den partikelförmigen Gefahrstoffen beurteilt und damit nicht in den Bewertungsindex eingerechnet. Dies gilt nicht für Mangan und andere Stoffe mit AGW.

Liegen für einen Gefahrstoff Stoffindizes für die A- und E-Staubfraktion vor, so ist bei der Berechnung des Bewertungsindex der höhere Stoffindex zu berücksichtigen. Liegt nur ein Stoffindex vor, ist dieser zu verwenden.

Die Einhaltung des Allgemeinen Staubgrenzwertes (A- und E-Staubfraktion) muss anhand der Stoffindizes separat festgestellt werden.

Bei krebserzeugenden Gefahrstoffen mit risikobasierten Beurteilungsmaßstäben nach TRGS 910 kann der Befund lauten:

1. Toleranz- bzw. Akzeptanzkonzentration eingehalten oder
2. Toleranzkonzentration überschritten.

Bei krebserzeugenden Chrom(VI)-Verbindungen kann der Befund lauten:

1. Beurteilungsmaßstab eingehalten oder

2. Beurteilungsmaßstab überschritten.

Sofern eine Exposition gegenüber mehreren krebserzeugenden Stoffen vorliegt, werden diese als Einzelstoffe getrennt anhand ihrer Stoffindices bewertet. Ein Bewertungsindex ist in diesen Fällen nicht zu berechnen. Bei krebserzeugenden Stoffen ergeben sich die zu treffenden Maßnahmen anhand der TRGS 910 und dieser TRGS.

(2) Bei Gefahrstoffmessungen ist zwischen Staub- und Gasmessungen zu unterscheiden. Bei Staub- und Schweißrauchmessungen wird mit Hilfe einer Probenahmepumpe eine Luftprobe angesaugt. Die darin enthaltenen Partikel werden auf einem Filter abgeschieden, das zuvor in einen Probenahmekopf eingelegt wurde. Der Probenahmekopf stellt sicher, dass das System nur die zu betrachtende Staubfraktion (alveolengängige bzw. einatembare Fraktion) erfasst. Für Gasmessungen werden vorzugsweise direktanzeigende Gasmessgeräte verwendet, die die Konzentration des betreffenden Gases selektiv messen.

(3) Für Schweißrauchmessungen sind Messsysteme zu verwenden, die sowohl die einatembare (E-Staub) wie auch die alveolengängige Staubfraktion (A-Staub) erfassen. Soll die Exposition eines Schweißers bestimmt werden, sollte die Messung mit personengetragenen Messsystemen im Atembereich des Schweißers erfolgen, d.h. die Probenahme sollte hinter dem Schweißerschutzschirm oder -schild erfolgen, das der Schweißer zum Schutz gegen optische Strahlung einsetzt.

Gleiches gilt auch für die Messung von Gasexpositionen. Gasmessungen sollten entweder mit tragbaren Gasmessgeräten oder mit stationär betriebenen mit hinreichend langen Schlauchleitungen verwendet werden, die eine Probenahme im Atembereich ermöglichen.

(4) Für die Probenahme von Schweißrauchen hat sich die Verwendung des Probenahmesystems PGP-EA bewährt. Das System erfasst simultan die alveolengängige und die einatembare Staubfraktion und ermöglicht auf Grund der geringen Abmessungen eine Probenahme hinter dem Schweißerschutzschirm. Das System ermöglicht aber lediglich die analytische Bestimmung von Gefahrstoffen in der A-Staubfraktion, z.B. von Nickeloxid. Müssen die Gefahrstoffkonzentrationen in der E-Staubfraktion ermittelt werden, z.B. bei Chrom(VI)-, Cadmium-, Mangan- oder Fluor-Verbindungen, ist zusätzlich ein E-Staubprobenahmesystem (PGP-GSP) zu verwenden. Die E-Staubkonzentration wird dann gravimetrisch bestimmt, die Konzentrationen der einzelnen Gefahrstoffe mit chemischen Analyseverfahren von dem beaufschlagten Filter. Alternativ zum Probenahmesystem PGP-EA können auch die Probenahmesysteme PGP-GSP und PGP-FSP mit einem entsprechend umgebauten Schweißerhelm zur Bestimmung der E- und A-Staubfraktion und der darin enthaltenen Gefahrstoffe verwendet werden.

(5) Soll die Schweißrauch- oder Gaskonzentration im Arbeitsbereich bestimmt werden, z.B. zur Beurteilung der Gefährdung von anderen Beschäftigten im Gefahrenbereich oder zur Beurteilung von Schweißverfahren und/oder Schweißpositionen, sind stationäre Messsysteme zu verwenden oder personengetragene Systeme stationär einzusetzen.

(6) Bei schweißtechnischen Arbeiten kann bei der messtechnischen Ermittlung und Beurteilung der Exposition auf repräsentative Messgrößen zurückgegriffen werden, siehe nachfolgende Tabellen 5 bis 8. Für Weichlöten siehe Empfehlungen Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (EGU) nach der Gefahrstoffverordnung Manuelles Kolbenlöten mit bleihaltigen Lotlegierungen in der Elektro- und Elektronikindustrie (DGUV Information 213-714) bzw. Manuelles Kolbenlöten mit bleifreien Lotlegierungen in der Elektro- und Elektronikindustrie (DGUV Information 213-725).

Tabelle 5: Schweißverfahren und zu messende Gefahrstoffe (repräsentative Messgrößen)								
Verfahren	Werkstoff	Gefahrstoff						
		A-Staubfraktion	Manganoxid (A- und E-Staubfraktion)	Cr(VI)-Verbindungen (E-Staubfraktion)	Nickeloxid und Nickelspinelle (A-Staubfraktion)	Ozon	Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid ⁶⁾	Sonstige
Autogenschweißen	Un-, niedriglegierter Stahl ⁴⁾						X	
	NE-Metalle ³⁾						X	Zinkoxid ¹¹⁾ Kupferoxid ¹²⁾
Lichtbogenhand-Schweißen	Un-, niedriglegierter Stahl ⁴⁾	X	X ¹³⁾¹⁶⁾				X	
	Hochlegierter CrNi-Stahl ⁵⁾	X		X ¹⁶⁾			X	
	Nickel, Nickellegierungen (Ni > 30 %)	X			X ¹⁶⁾		X	Kupferoxid ⁷⁾
	Kupfer, Kupferlegierungen (Cu > 50%)	X	X ⁸⁾		X ⁹⁾		X	Kupferoxid ¹⁶⁾
Metall-Fülldrahtschweißen ohne Schutzgas	Un-, niedriglegierter Stahl ⁴⁾	X	X ¹³⁾¹⁶⁾				X	Bariumoxid ²⁾
	Hochlegierter CrNi-Stahl ⁵⁾	X	X ¹³⁾	X ¹⁶⁾	X ¹⁵⁾		X	Bariumoxid ²⁾
Metall-Fülldrahtschweißen mit Schutzgas	Un-, niedriglegierter Stahl ⁴⁾	X	X ^{13) 16)}				X	Kohlenstoffmonoxid ¹⁾
	Hochlegierter CrNi-Stahl ⁵⁾	X	X ¹³⁾	X ^{14) 16)}	X ¹⁵⁾		X	Kohlenstoffmonoxid ¹⁾
	Nickel, Nickellegierungen (Ni > 30 %)	X			X ¹⁶⁾		X	Kohlenstoffmonoxid ¹⁾
Metall-Aktivgas-schweißen (MAG) mit Kohlenstoffdioxid	Un-, niedriglegierter Stahl ⁴⁾	X	X ^{13) 16)}				X	Kohlenstoffmonoxid
Metall-Aktivgas-schweißen (MAG) mit Mischgas	Un-, niedriglegierter Stahl ⁴⁾	X	X ^{13) 16)}				X	
	Hochlegierter CrNi-Stahl ⁵⁾	X	X ¹³⁾	X ¹⁴⁾	X ^{15) 16)}		X	
Metall-Inertgas-schweißen (MIG)	Aluminiumwerkstoffe	X ¹⁶⁾				X ¹⁶⁾		Aluminiumoxid
	Nickel, Nickellegierungen (Ni > 30 %)	X		X ¹⁰⁾	X ¹⁶⁾			
	Kupfer, Kupferlegierungen (Cu > 50 %)	X			X ⁹⁾			Kupferoxid ¹⁶⁾

Tabelle 5: Schweißverfahren und zu messende Gefahrstoffe (repräsentative Messgrößen)								
Verfahren	Werkstoff	Gefahrstoff						
		A-Staubfraktion	Manganoxid (A- und E-Staubfraktion)	Cr(VI)-Verbindungen (E-Staubfraktion)	Nickeloxid und Nickel-spinelle (A-Staubfraktion)	Ozon	Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid	Sonstige
Wolfram-Inertgas-Schweißen (WIG) mit Zusatzwerkstoff	Un-, niedriglegierter Stahl ⁴⁾	X						
	Hochlegierter CrNi-Stahl ⁵⁾	X			X ¹⁶⁾	X		
	Aluminiumwerkstoffe	X ¹⁶⁾				X		Aluminiumoxid
	Nickel, Nickellegierungen (Ni > 30 %)	X			X ¹⁶⁾			
Laserstrahlschweißen (ohne Zusatzwerkstoff)	Un-, niedriglegierter Stahl ⁴⁾	X	X ¹⁶⁾					
	Verzinkter Grundwerkstoff	X	X ¹⁶⁾					Zinkoxid ¹⁶⁾
	Hochlegierter CrNi-Stahl ⁵⁾	X	X	X	X ¹⁶⁾			
Laserstrahl-Auftragschweißen	Cobalt, Cobaltlegierungen (Co > 60 %)	X		X ¹⁰⁾				Cobaltoxid ¹⁶⁾
	Nickel, Nickellegierungen (Ni > 30 %)	X			X ¹⁶⁾			
	Eisen, Eisenlegierungen (Fe > 60 %; Cr < 40 %)	X	X	X ¹⁶⁾				
	Kupfer, Kupferlegierungen (z.B. Aluminiummehrstoffbronzes) (Cu > 50 %)	X						Kupferoxid ¹⁶⁾ Aluminiumoxid

- 1) Kohlenstoffmonoxid (CO) nur berücksichtigen, wenn Kohlenstoffdioxid als Schutzgas verwendet wird.
- 2) Bariumoxid nur berücksichtigen, wenn Bariumverbindungen Bestandteil des Zusatzwerkstoffes sind.
- 3) NE-Metalle: Kupfer, Aluminium, Zink, Bronze, Messing und Metalllegierungen mit Fe < 50 %
- 4) Un-, niedriglegierter Stahl: Legierungsbestandteile < 5 %
- 5) Hochlegierter CrNi-Stahl: Cr 5-20 %; Ni 5-30 %
- 6) NO und NO₂ treten bei allen Autogen- und Lichtbogenverfahren auf. Hohe Konzentrationen sind beim Gasschweißen zu erwarten.
- 7) Nur bei Zusatzwerkstoffen mit Kupferanteilen > 20 %
- 8) Nur bei Zusatzwerkstoffen mit Mangananteilen > 10 %
- 9) Nur bei Zusatzwerkstoffen mit Nickelanteilen > 30 %
- 10) Nur bei Zusatzwerkstoffen mit Chromanteilen ≥ 20 %
- 11) Wenn NE-Metall Zink

- 12) Wenn NE-Metall Kupfer
- 13) Mangan-Eisen-Spinell (MnFe_2O_4)
- 14) Vorwiegend Cr(III)-Verbindungen
- 15) Nickel-Chrom-Eisen-Spinelle ($\text{Ni}(\text{Cr,Fe})_2\text{O}_4$)
- 16) Üblicherweise Einzelstoff mit dem höchsten Stoffindex

Tabelle 6: Schneidverfahren und zu messende Gefahrstoffe (repräsentative Messgrößen)								
Verfahren	Werkstoff	Gefahrstoff						
		A-Staubfraktion	Manganoxid (A- und E-Staubfraktion)	Cr(VI)-Verbindungen (E-Staubfraktion)	Nickeloxid und Nickelspinelle (A-Staubfraktion)	Ozon	Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid	Sonstige
Brennschneiden	Un-, niedriglegierter Stahl ²⁾	X	X ⁴⁾				X	
Thermisches Schneiden mit Sauerstofflanze	Un-, niedriglegierter Stahl ²⁾	X	X ⁴⁾				X ¹⁾	
	Hochlegierter CrNi-Stahl ³⁾	X	X	X	X ⁴⁾		X ¹⁾	
Plasmaschmelzschneiden	Nickel, Nickellegierungen (Ni > 30 %)	X			X ⁴⁾		X ¹⁾	
Laserstrahlschneiden	Aluminiumwerkstoffe	X ⁴⁾				X	X ^{1) 4)}	Aluminium-oxid

- 1) Bei Verwendung von Druckluft oder Stickstoff als Schneidgas
- 2) Un-, niedriglegierter Stahl: Legierungsbestandteile < 5 %
- 3) Hochlegierter CrNi-Stahl: Cr 5-20 %; Ni 5-30 %
- 4) Üblicherweise Einzelstoff mit dem höchsten Stoffindex

Tabelle 7: Spritzverfahren und zu messende Gefahrstoffe (repräsentative Messgrößen)						
Verfahren	Spritzzusatzwerkstoff	Gefahrstoff				
		A-/E-Staubfraktion	Cr(VI)-Verbindungen (E-Staubfraktion)	Nickeloxid und Nickel-spinelle (A-Staubfraktion)	Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid	Sonstige
Flammspritzen	Un-, niedriglegierter Stahl ³⁾	X ⁶⁾			X ⁶⁾	
	Hochlegierter CrNi-Stahl ⁴⁾	X	X	X ⁶⁾	X ⁶⁾	
	Nickel, Nickellegierungen (Ni > 30 %)	X		X ⁶⁾	X ⁶⁾	
	Aluminiumwerkstoffe	X ⁶⁾			X	Aluminiumoxid
	NE-Metalle ²⁾ , abhängig vom Werkstoff	X ⁶⁾			X	Kupferoxid ⁵⁾⁶⁾
Lichtbogen-spritzen	Un-, niedriglegierter Stahl ³⁾	X ⁶⁾				
	Hochlegierter CrNi-Stahl ⁴⁾	X	X	X ⁶⁾		
	Nickel, Nickellegierungen (Ni > 30 %)	X		X ⁶⁾		
	Aluminiumwerkstoffe	X ⁶⁾				Aluminiumoxid
	NE-Metalle ²⁾ , abhängig vom Werkstoff	X ⁶⁾				Kupferoxid ⁵⁾
Plasmaspritzen	Kupfer, Kupferlegierungen	X				Kupferoxid ⁶⁾⁸⁾
	Hochlegierter CrNi-Stahl ⁴⁾	X	X	X ⁶⁾		
	Nickel, Nickellegierungen (Ni > 30 %)	X		X ⁶⁾		
	Cobalt, Cobaltlegierungen (Co > 60 %)	X	X ¹⁾			Cobaltoxid ⁶⁾

- 1) Bei einem Cr-Anteil > 20 % sind zusätzlich Cr(VI)-Verbindungen zu bestimmen.
- 2) NE-Metalle: Kupfer, Aluminium, Zink, Bronze, Messing, Metallegierungen mit Fe < 50 %
- 3) Un-, niedriglegierter Stahl: Legierungsbestandteile < 5 %
- 4) Hochlegierter CrNi-Stahl: Cr 5-20 %; Ni 5-30 %
- 5) Bei Kupfer als Nichteisenmetall
- 6) Üblicherweise Einzelstoff mit dem höchsten Stoffindex

Tabelle 8: Hartlöten und zu messende Gefahrstoffe (repräsentative Messgrößen)			
Verfahren	Werkstoff	Flussmittel	Repräsentative Messgrößen
Flammhartlöten	Kupfer-Phosphorhaltige Hartlote	Borverbindungen, Chloride, Fluoride, Phosphate sowie Silicate (FH)	A-Staub, Kupferoxid, Chloride, Fluoride
	Silberhaltige Hartlote	Borverbindungen, Chloride, Fluoride, Phosphate sowie Silicate (FH)	A-Staub, Silberoxid, Chloride, Fluoride,
	Aluminiumhartlote	Chloride, Fluoride (FL)	A-Staub, Chloride, Fluoride
	Zinkhaltige Hartlote	Borverbindungen, Chloride, Fluoride, Phosphate sowie Silicate (FH)	A-Staub, Zinkoxid, Chloride, Fluoride
	Kupferhaltige Hartlote	Borverbindungen, Chloride, Fluoride, Phosphate sowie Silicate (FH)	A-Staub, Kupferoxid, Chloride, Fluoride
Ofenlöten	Nickelhaltige Hartlote ²⁾	_____	A-Staub, Nickeloxid
	Palladiumhaltige Hartlote ²⁾	_____	A-Staub
	Goldhaltige Hartlote ²⁾	_____	A-Staub
Lichtbogenhartlöten	Kupferbasislegierungen ³⁾	_____	A-Staub, Kupferoxid ¹⁾
Laserstrahlhartlöten	Kupferbasislegierungen ³⁾	_____	A-Staub, Kupferoxid ¹⁾

1) Bei verzinkten Grundwerkstoffen zusätzlich Zinkoxid.

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

3) CuSi3, CuAl8, CuSn6.

2 Überprüfung der Wirksamkeit von Lüftungstechnischen Einrichtungen

Werden Lüftungstechnische Einrichtungen zur Reduzierung der Gefahrstoffbelastung von Beschäftigten eingesetzt, sind diese hinsichtlich ihrer Wirksamkeit regelmäßig zu prüfen.

Diese Prüfung kann durch Messungen nach TRGS 402 erfolgen, was mit einem nicht unerheblichen Aufwand verbunden sein kann. Zur Vereinfachung bzw. zur Reduzierung des Mess-

aufwandes wird empfohlen, bei der Erstüberprüfung eine Ermittlung und Beurteilung der Exposition nach den messtechnischen Ermittlungsmethoden nach TRGS 402 durchzuführen und zusätzlich die Leistungsmerkmale der am Arbeitsplatz eingesetzten Lüftungstechnischen Einrichtung zu bestimmen. Je nach Art der Lüftungseinrichtung sollte z.B. der Luftvolumenstrom des Absauggerätes/der Absauganlage, die Luftgeschwindigkeit im Saugfeld einer Absaughaube oder der Unterdruck im Saugschlauch eines Schweißbrenners mit Rauchabsaugung bestimmt werden.

Ergibt die Beurteilung nach TRGS 402 den Befund „Schutzmaßnahmen ausreichend“, können die Leistungsdaten der Lüftungstechnischen Einrichtung für Wirksamkeitskontrollen genutzt werden. Bestätigen nachfolgende Leistungsüberprüfungen die unveränderte Funktion der Lüftungstechnischen Einrichtung, kann bei gleichbleibenden Arbeitsbedingungen (gleicher Werkstoff, gleiche Auslastung, gleiche Schweißbedingungen, gleiches Arbeitsverhalten z.B. bei der Nachführung der Absaugung) eine ausreichende Wirkung der Schutzmaßnahmen auch ohne weitere Arbeitsplatzmessungen nach TRGS 402 unterstellt werden.

Anhang 5: Beispiele für Betriebsanweisungen

(FIRMENNAME)		BETRIEBSANWEISUNG ³		NR:	
ARBEITSBEREICH: Schiffbau, Behälter- und Apparatebau			ARBEITSPLATZ: Enge Räume, z.B. Doppelboden TÄTIGKEIT: Flammwärmen, -richten		
GEFAHREN FÜR MENSCH UND UMWELT					
– Vergiftung durch nitrose Gase (Die Wirkungen können noch bis zu 72 Stunden nach der Exposition eintreten!) – Erstickung durch Sauerstoffmangel – Verbrennung durch Sauerstoffanreicherung – Explosionsgefahr durch Brenngasansammlung – Brandgefahr durch brennbare Stoffe in den Räumen – Verbrennungen durch angewärmte Teile, Schlacke und Brennerflamme – Lärm					
SCHUTZMASSNAHMEN UND VERHALTENSREGELN					
– Immer Raumbelüftung benutzen, mit Anwärmen erst beginnen, wenn Raumlüftung wirksam ist (Kontrolle). Nicht mit dem Gesicht über der Flamme aufhalten. Flamme nicht unnötig brennen lassen. Niemals Sauerstoff zur „Luftverbesserung“ ausströmen lassen. Brennergeschirr auf poröse Schläuche und festen Sitz der Verschraubungen überprüfen. – Schläuche nicht über scharfe Kanten ziehen. – Brennergeschirr in Pausen und bei Arbeitsende aus dem Raum entfernen oder an der Einspeisestelle Schläuche abnehmen. – Brennbare Stoffe, wie Fette, Öle, Farben, Holz, Papier usw. aus dem Arbeitsbereich entfernen. Ist das nicht möglich, Stoffe abdecken und Feuerlöscher bereithalten. – Brenngasschläuche nicht um den Körper legen. – Schwer entflammbaren Schweißeranzug benutzen. Hosenbeine über die Schuhe ziehen. – Schutzhandschuhe, Schutzbrille und Gehörschutz benutzen.					
VERHALTEN BEI STÖRUNGEN					
– Bei Ausfall der Lüftung sofort die Arbeit einstellen und den Raum verlassen. – Bei Schlauchbrand sofort den Raum verlassen und Gasventile an der Einspeisestelle schließen. – Entstehungsbrände mit Feuerlöscher bekämpfen, Brand melden (Telefon: 112).					
VERHALTEN BEI UNFÄLLEN, ERSTE HILFE					
– Arbeiten einstellen. – Bei Verbrennung betroffene Körperteile sofort unter fließendem Wasser kühlen und Ersthelfer rufen. – Erste Hilfe leisten.			– Bei Hustenreiz und Unwohlsein Arzt aufsuchen und auf nitrose Gase hinweisen. – Hilfe holen über Tel. 112. – Vorgesetzten informieren.		
INSTANDHALTUNG, ENTSORGUNG					
Wartung und Instandhaltung nur durch beauftragte Personen					
FOLGEN DER NICHTBEACHTUNG					
– Gesundheitliche Schäden – Sachschäden			– Arbeitsrechtliche Maßnahmen		
Datum: _____ Unterschrift: Freigabe: _____					

³ Diese Betriebsanweisung ist beispielhaft und ist an den jeweiligen Bedarfsfall anzupassen.

(Firmenname)		BETRIEBSANWEISUNG ⁴ nach § 14 der Gefahrstoffverordnung		Nr. ...	
1. Anwendungsbereich					
Arbeitsbereich/-platz: Schiffbau, Chemischer Apparatbau		Tätigkeit:		Lichtbogenhand- und MAG-Schweißen von Chrom-Nickel-Stählen	
2. Gefahrstoffbezeichnung					
Schweißrauch mit krebserzeugenden Anteilen von Chrom(VI)-Verbindungen und Nickeloxid					
3. Gefahren für Mensch und Umwelt					
– Einatmen dieser Schweißbrauche kann Krebs erzeugen. – Reizung der Atemwege und der Magenschleimhaut. – Allergische Reaktionen der Haut durch Nickeloxid.					
4. Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln					
  		- Schweißbrauche immer im Entstehungsbereich absaugen. - Erfassungselement über der Schweißstelle positionieren und stets nachführen. - Arbeiten nur in belüfteten Räumen. - Fremdbelüfteten Schweißhelm benutzen. - Am Arbeitsplatz nicht essen, trinken und nicht rauchen. - Vor Pausen und nach Schichtende Gesicht und Hände reinigen sowie verschmutzte Arbeitskleidung wechseln. - Reinigung des Arbeitsplatzes nur mittels Absaugen (nicht fegen!).			
5. Verhalten im Gefahrfall					Notruf: ...
– Bei Ausfall der Absaugung, Lüftung oder des fremdbelüfteten Schweißhelms sofort die Arbeit einstellen und den Arbeitsbereich verlassen. – Vorgesetzten informieren.					
6. Erste Hilfe					Notruf: ...
		Beim Auftreten von allergischen Reaktionen oder Reizungen der Atemwege Arbeit einstellen und Arzt aufsuchen.			
7. Sachgerechte Entsorgung					
- entfällt.					
Datum:		Unterschrift/Freigabe:			

⁴ Diese Betriebsanweisung ist beispielhaft und ist an den jeweiligen Bedarfsfall anzupassen.

Anhang 6: Informationen gemäß Rauchdatenblatt nach DIN EN ISO 15011-4

Rauchdatenblatt

Hersteller/Lieferant:	Anschrift:
Datum der Erstellung oder Validierung:	
Handelsname des Zusatzwerkstoffes:	Art des Zusatzwerkstoffes:
Norm(en), nach der (denen) der Zusatzwerkstoff hergestellt wurde:	
Prüflaboratorium:	Ausgabedatum des Prüfberichts:
	Beobachtungen des Prüflaboratoriums:

Prüfbedingungen

Parameter	Prüfbedingung
Durchmesser des Zusatzwerkstoffes (mm)	
Stromstärke (A)	
Spannung (V)	
Polarität (d.c./+a.c./d.c.-)	
Gasart	
Gasdurchfluss (l/min)	
Schweißgeschwindigkeit (mm/min)	
Werkstoff des Prüfstücks	
Stromquelle: Typ, Hersteller, Modell und Aufbau	
Brenner: Hersteller, Modell und Schutzgasdüsendurchmesser (mm)	
Abstand Stromkontaktröhre/Werkstück (mm)	
Drahtvorschubgeschwindigkeit (m/min)	

Rauchemissionsrate und Daten über die chemische Zusammensetzung in Übereinstimmung mit ISO 15011-4

Rauchemissionsrate (mg/s und g/h)	

Hauptkomponenten des Schweißrauchs	Chemische Zusammensetzung % (Massenanteil)

Literaturhinweise

- (1) Verordnungen
 1. Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (GefStoffV)
 2. Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (BetrSichV)
 3. Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV)
- (2) Technische Regeln für Gefahrstoffe
 1. TRGS 400 „Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen“
 2. TRGS 402 „Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition“
 3. TRGS 407 „Tätigkeiten mit Gasen – Gefährdungsbeurteilung“
 4. TRGS 410 „Expositionsverzeichnis bei Gefährdung gegenüber krebserzeugenden oder keimzellmutagenen Gefahrstoffen der Kategorien 1A oder 1B“
 5. TRGS 420 „Verfahrens- und stoffspezifische Kriterien (VSK) für die Ermittlung und Beurteilung der inhalativen Exposition“, Anlage Nr. 1 Manuelles Kolbenlöten mit bleihaltigen Lotlegierungen in der Elektro- und Elektronikindustrie und Nr. 12 Manuelles Kolbenlöten mit bleifreien Lotlegierungen in der Elektro- und Elektronikindustrie
 6. TRGS 500 „Schutzmaßnahmen“
 7. TRGS 505 „Blei“
 8. TRGS 510 „Lagerung von Gefahrstoffen in ortsbeweglichen Behältern“
 9. TRGS 561 „Tätigkeiten mit krebserzeugenden Metallen und ihren Verbindungen“
 10. TRGS 557 „Dioxine“
 11. TRGS 600 „Substitution“
 12. TRBS 3145/TRGS 745 „Ortsbewegliche Druckgasbehälter – Füllen, Bereithalten, innerbetriebliche Beförderung, Entleeren“
 13. TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“
 14. TRGS 910 „Risikobezogenes Maßnahmenkonzept für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen“
- (3) Technische Regeln für Betriebssicherheit
 1. TRBS 1203 „Befähigte Personen“
- (4) Arbeitsmedizinische Regeln
 1. AMR 2.1 "Fristen für die Veranlassung/das Angebot arbeitsmedizinischer Vorsorge"
 2. AMR 3.2 „Arbeitsmedizinische Prävention“
 3. AMR 5.1 „Anforderungen an das Angebot von arbeitsmedizinischer Vorsorge“
 4. AMR 6.2 „Biomonitoring“
 5. AMR 6.3 „Vorsorgebescheinigung“
 6. AMR 6.4 „Mitteilungen an den Arbeitgeber nach § 6 Absatz 4 ArbMedVV“
 7. AMR 6.7 „Pneumokokken-Impfung als Bestandteil der arbeitsmedizinischen Vorsorge“

bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen durch Schweißen und Trennen von Metallen“

8. AMR 11.1 "Abweichungen nach Anhang Teil 1 Absatz 4 ArbMedVV bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden oder keimzellmutagenen Gefahrstoffen der Kategorie 1A oder 1B"
9. AMR 14.2 „Einteilung von Atemschutzgeräten in Gruppen“
- (5) Arbeitsmedizinische Empfehlungen
 1. Arbeitsmedizinische Empfehlung „Wunschvorsorge“
- (6) DGUV Regeln
 1. DGUV Regel 100-500 „Betreiben von Arbeitsmitteln“, insbesondere Kapitel 2.26 „Schweißen, Schneiden und verwandte Verfahren“; online-Fassung siehe <http://www.dguv.de>
 2. DGUV Regel 109-002 „Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen“
 3. DGUV Regel 112-190 „Benutzung von Atemschutzgeräten“
 4. DGUV Regel 112-192 „Benutzung von Augen- und Gesichtsschutz“
 5. DGUV Regel 112-195 „Benutzung von Schutzhandschuhen“
 6. DGUV Regel 113-004 „Behälter, Silos und enge Räume; Teil 1: Arbeiten in Behältern, Silos und engen Räumen“
- (7) DGUV Informationen
 1. DGUV Information 209-011 „Gasschweißen“
 2. DGUV Information 209-047 „Nitrose Gase beim Schweißen und bei verwandten Verfahren“
 3. DGUV Information 209-049 „Umgang mit thoriumoxidhaltigen Wolframelektroden beim Wolfram-Inertgasschweißen (WIG)“
 4. DGUV Information 209-058 „Schweißtechnische Arbeiten mit chrom- und nickellegierten Zusatz- und Grundwerkstoffen“
 5. DGUV Information 240-390 „Handlungsanleitung für arbeitsmedizinische Untersuchungen nach dem DGUV Grundsatz G 39 „Schweißrauche““
 6. DGUV Information 213-714 „Empfehlungen Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (EGU) nach der Gefahrstoffverordnung: Manuelles Kolbenlöten mit bleihaltigen Lotlegierungen in der Elektro- und Elektronikindustrie“
 7. DGUV Information 213-725 „Empfehlungen Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (EGU) nach der Gefahrstoffverordnung: Manuelles Kolbenlöten mit bleifreien Lotlegierungen in der Elektro- und Elektronikindustrie“
- (8) Normen
 1. DIN EN 481: 1993-09, Arbeitsplatzatmosphäre; Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel
 2. DIN 1910-100: 2008-02, Schweißen und verwandte Prozesse - Begriffe - Teil 100: Metallschweißprozesse mit Ergänzungen zu DIN EN 14610:2005
 3. DIN EN ISO 4063: 2011-03, Schweißen und verwandte Prozesse - Liste der Prozesse und Ordnungsnummern (ISO 4063:2009, Korrigierte Fassung 2010-03-01)

4. DIN ISO 857-2: 2007-03, Schweißen und verwandte Prozesse – Begriffe –Teil 2: Weichlöten, Hartlöten und verwandte Begriffe (ISO 857-2:2005)
5. DIN EN 1045: 1997-08, Hartlöten - Flußmittel zum Hartlöten - Einteilung und technische Lieferbedingungen
6. DIN EN ISO 9453: 2014-12, Weichlote - Chemische Zusammensetzung und Lieferformen (ISO 9453:2014)
7. DIN EN ISO 9454-1: 2016-07, Flussmittel zum Weichlöten - Einteilung und Anforderungen - Teil 1: Einteilung, Kennzeichnung und Verpackung (ISO 9454-1:2016)
8. DIN EN 14610: 2005-02, Schweißen und verwandte Prozesse - Begriffe für Metallschweißprozesse
9. DIN EN ISO 14917: 2017-08, Thermisches Spritzen - Begriffe, Einteilung (ISO 14917:2017)
10. DIN EN ISO 15011-4: 2018-05, Arbeits- und Gesundheitsschutz beim Schweißen und verwandten Verfahren - Laborverfahren zum Sammeln von Rauch und Gasen; Teil 4: Rauchdatenblätter (ISO 15011-4:2017)
11. DIN EN ISO 15012-1: 2013-08, Arbeits- und Gesundheitsschutz beim Schweißen und verwandten Prozessen – Teil 1: Anforderungen an den Abscheidegrad sowie Prüfung und Kennzeichnung des Abscheidegrades (ISO 15012-1:2013)
12. DIN EN ISO 15012-2: 2008-06, Sicherheit und Gesundheitsschutz beim Schweißen und bei verwandten Verfahren – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung von Luftreinigungssystemen – Teil 2: Bestimmung des Mindestluftvolumenstroms von Absaughauben und Flanschplatten (ISO 15012-2:2008)
13. DIN EN ISO 15012-4: 2016-11, Arbeits- und Gesundheitsschutz beim Schweißen und bei verwandten Verfahren – Einrichtungen zum Erfassen und Abscheiden von Schweißrauch – Teil 4: Allgemeine Anforderungen (ISO 15012-4:2016)
14. DIN EN ISO 17672: 2017-1, Hartlöten – Lote (ISO 17672:2016)
15. DIN 31051: 2012-09, Grundlagen der Instandhaltung
16. DIN EN ISO 21904-1:2019-03 - Entwurf „Arbeits- und Gesundheitsschutz beim Schweißen und bei verwandten Verfahren - Einrichtungen zum Erfassen und Abscheiden von Schweißrauch - Teil 1: Allgemeine Anforderungen“ (ISO/DIS 21904-1:2019)
17. DIN EN ISO 21904-2:2019-03 - Entwurf „Arbeits- und Gesundheitsschutz beim Schweißen und bei verwandten Verfahren - Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung von Luftreinigungssystemen - Teil 2: Anforderungen an Prüfung des Abscheidegrades (ISO/DIS 21904-2:2019); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 21904-2:2019
18. DIN EN ISO 21904-4:2019-03 - Entwurf „Arbeits- und Gesundheitsschutz beim Schweißen und bei verwandten Verfahren - Einrichtungen zum Erfassen und Abscheiden von Schweißrauch - Teil 4: Bestimmen des Mindestluftvolumenstromes von Absaugeinrichtungen“ (ISO/DIS 21904-4:2019);
- (9) VDI-Bestimmungen
 1. VDI 2262 Blatt 3: 2011-06, Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz – Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe – Lufttechnische Maßnahmen
 2. VDI 2262 Blatt 4: 2006-03, Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz; Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe – Erfassen luftfremder Stoffe

3. VDI 3802 Blatt 1: 2014-09, Raumluftechnische Anlagen für Fertigungsstätten
 4. VDI/DVS 6005: 2018-02, Gefahrstoffe und Lüftungstechnik beim Schweißen
- (10) Sonstige Literatur
1. DGUV, IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen, Erich Schmidt Verlag Berlin
 2. DGUV, IFA-Handbuch Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz, Erich Schmidt Verlag Berlin
 3. Rudolf, E.; Pfeiffer, W., BIA Report 2/2004 – Thermisches Spritzen – Gefahrstoffe, Messungen und Schutzmaßnahmen, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin
 4. Merkblatt DVS 0938-1 „Lichtbogenlötten - Grundlagen, Verfahren, Anforderungen an die Anlagentechnik“, DVS Media Düsseldorf
 5. Merkblatt DVS 0938-2 „Lichtbogenlötten – Anwendungshinweise“, DVS Media Düsseldorf
 6. Merkblatt DVS 0973 „Übersicht der Prozessregelvarianten des MSG-Schweißens“, DVS Media Düsseldorf
 7. Merkblatt DVS 0973 Beiblatt 1 „Tabellarische Übersicht der Prozessregelvarianten des MSG-Schweißens“, DVS Media Düsseldorf
 8. Merkblatt DVS/DGUV 1204 „Hilfestellung für Anwender zur Informationsbeschaffung nach GefStoffV – Sicherheits-/Informationsdatenblätter – Allgemeine Informationen“, DVS Media Düsseldorf
 9. Merkblatt DVS 2301 „Thermische Spritzverfahren für metallische und nichtmetallische Werkstoffe“, DVS Media Düsseldorf
 10. CEN/TR 15339-6: 2014-06-30, Thermisches Spritzen. Sicherheitsanforderungen für Einrichtungen für das thermische Spritzen. Spritzkabinen, Handhabungssystem, Staubsammlung Abluftsystem, Filter
 11. VDI-Handlungsfelder Additive Fertigungsverfahren, VDI Düsseldorf; https://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/gpl_dateien/6242_PUB_GPL_Handlungsfelder_-_Additive_Fertigungsverfahren_Internet.pdf
 12. R. Killing, Handbuch der Schweißverfahren Teil I: Lichtbogenschweißverfahren, DVS Fachbücher Band 76/I, DVS Media Düsseldorf
 13. Spiegel-Ciobanu V.E., Arbeitsschutzregelungen beim Schweißen – Bewertung der Schweißrauchexposition und deren Wirkung, Schweißen und Schneiden 63 (2011), 9, S. 528 ff., DVS Media Düsseldorf
 14. BGHM-Onlineberechnung „Bewertung der Schweißrauchexposition mittels einer Gefährdungszahl“; <https://www.bghm.de/arbeitschuetter/fachinformationen/schweissen-und-verwandte-verfahren/schadstoffe-in-der-schweisstechnik/berechnungen/beurteilung/>
 15. Spiegel-Ciobanu V.E., Wissen Kompakt, Band 2 Schweißrauche, DVS Media Düsseldorf
 16. Spiegel-Ciobanu V.E., Matrix zur Beurteilung der Schadstoffbelastung durch Schweißrauche. Aachener Berichte Fügetechnik Bd. 3/2009, Shaker Aachen