



## Belastung durch partikelförmige Gefahrstoffe bei Schweiß- und Schleiftätigkeiten in Betrieben der Metallbe- und -verarbeitung





**Fachpolitischer Schwerpunkt des Hessischen Ministeriums für Soziales und  
Integration**

**„Kampf dem Krebs am Arbeitsplatz“ (2015 – 1019)**

# **Projektbericht**

**der messtechnischen Aktion in metallbe- und  
-verarbeitenden Betrieben**



## Inhalt

1	Einleitung.....	1
2	Ausgangslage.....	2
3	Anlass des Projekts .....	3
4	Durchführung des Projekts .....	4
5	Probenahmeparameter.....	5
6	Analyseverfahren.....	7
7	Untersuchte Tätigkeiten.....	9
8	Ausgangsmaterialien .....	12
8.1	Werkstoffe .....	12
8.1.1	Baustahl .....	12
8.1.2	Korrosions- und säurebeständiger Stahl (Edelstahl) .....	12
8.2	Zusatzwerkstoffe .....	12
8.2.1	Massivdraht.....	12
8.2.2	Fülldraht .....	12
9	Ergebnisse der messtechnischen Erhebungen.....	13
9.1	Schweißtechnische Arbeiten .....	13
9.1.1	MAG-Schweißen .....	13
9.1.2	WIG-Schweißen .....	19
9.1.3	Automatische Schweiß- und Schneidverfahren .....	23
9.1.4	Elektrodenschweißen (Lichtbogenhandschweißen) .....	26
9.2	Schleifen .....	28
9.3	Hallengrundbelastung.....	30
10	Lösungsansätze zur Minimierung der Gefahrstoffbelastung .....	32
11	Ausblick.....	37
12	Abkürzungsverzeichnis.....	38

## 1 Einleitung

Arbeitnehmer in Betrieben der Metallverarbeitung sind vielen Gefährdungen ausgesetzt. Der Arbeitgeber hat nach § 5 des Gesetzes über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (ArbSchG) die mit der Arbeit verbundene Gefährdung zu ermitteln und Arbeitsschutzmaßnahmen zu ergreifen. Nach § 6 der Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (GefStoffV) hat er festzustellen, ob die Beschäftigten Tätigkeiten mit Gefahrstoffen ausüben oder ob bei Tätigkeiten Gefahrstoffe entstehen oder freigesetzt werden können. Ist dies der Fall, so hat er alle hiervon ausgehenden Gefährdungen der Gesundheit und Sicherheit der Beschäftigten zu beurteilen. Neben der Belastung durch Gefahrstoffe stellen die körperlichen Anforderungen wie schweres Heben und Tragen, Belastungen durch das Tragen von Atemschutz sowie die stetig wachsenden psychischen Belastungen auf Grund steigender Arbeitsintensität, Zeitdruck oder fortschreitender Digitalisierung eine Belastung dar. Weitere Belastungen entstehen durch ultraviolette Strahlung und elektromagnetische Felder.

Beim Schweißen und Schleifen entstehen viele, zum Teil auch krebserzeugende Gefahrstoffe, die hinsichtlich der Gefährdung der Arbeitnehmer beurteilt werden müssen, um geeignete Schutzmaßnahmen festzulegen. Die Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 528 „Schweißtechnische Arbeiten“ bietet eine Hilfestellung zur Umsetzung der Anforderungen der Gefahrstoffverordnung und der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge in den Betrieben. Die Wirksamkeit der ergriffenen oder zu ergreifenden Schutzmaßnahmen muss auf Grundlage von Arbeitsplatzmessungen oder durch andere geeignete Ermittlungsmethoden überprüft werden.

Der nachfolgende Projektbericht betrachtet ausschließlich den Aspekt der Belastung der Arbeitnehmer durch partikelförmige Gefahrstoffe in Schweißrauchen und Schleifstäuben. Die Messungen wurden im Rahmen des fachpolitischen Schwerpunktes „Kampf dem Krebs am Arbeitsplatz“ in Hessen durchgeführt und sollen im Rahmen der Gemeinsamen Deutschen Arbeitsschutzstrategie (GDA) weiter fortgeführt werden. Gemeinsam mit den Aufsichtspersonen der hessischen Arbeitsschutzverwaltung wurden geeignete Betriebe ausgewählt und Probenahmen an Schweiß- und Schleifarbeitsplätzen durchgeführt. Neben tätigkeitsbezogenen personengelegenen Probenahmen bei diesen Tätigkeiten wurden auch stationäre Probenahmen in den Arbeitsbereichen vorgenommen, um die Belastung weiterer Arbeitnehmer in den Hallen zu beurteilen.

Der Fokus der Messungen lag auf die Ermittlung der Belastung durch krebserzeugende Gefahrstoffe der Kategorie 1A oder 1B, da für diese Stoffe mit Einführung der TRGS 910 „Risikobezogenes Maßnahmenkonzept für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen“ im Jahr 2014 eine neue Beurteilungsgrundlage geschaffen wurde, deren Umsetzung in den Betrieben zur Anfang des Messprojektes weitgehend unbekannt war. Neben den krebserzeugenden Gefahrstoffen wurde auch die Belastung durch Stäube sowie weitere relevante Staubinhaltsstoffe mit einem Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) ermittelt.

Gasförmige Gefahrstoffe, die bei schweißtechnischen Arbeiten entstehen, wie z.B. Stickoxide, Ozon und Kohlenstoffmonoxid wurden bei den Erhebungen in den Betrieben nicht betrachtet, da sich für diese Stoffe die Beurteilungsgrundlagen nicht geändert haben.

In dem vorliegenden Bericht wird neben einer kurzen Beschreibung der wesentlichen Arbeitsverfahren die aktuelle Belastungssituation in den hessischen Betrieben durch Stäube und

Staubinhaltsstoffe beim Schweißen und Schleifen dargestellt. Die dargestellten Daten können im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung zur Bewertung der inhalativen Belastung der Beschäftigten herangezogen werden, solange keine betriebsbezogenen messtechnischen Ermittlungen durchgeführt werden.

## 2 Ausgangslage

Der Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) hat 2008 ein Risikokzept für krebserzeugende Stoffe erarbeitet, welches in der Bekanntmachung 910 (BekGS 910) veröffentlicht wurde. Auf der Basis des aufgeführten Gesamtkonzeptes wurden vom AGS stoffspezifische Konzentrationswerte und Expositions-Risiko-Beziehungen (ERB) abgeleitet.

Im Sommer 2013 wurde das Risikokzept in der Gefahrstoffverordnung verankert und durch die im Februar 2014 als Technische Regel für Gefahrstoffe veröffentlichte TRGS 910 „Risiko-bezogenes Maßnahmenkonzept für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen“ konkretisiert. In diesem wurden stoffübergreifende Risikogrenzen für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen festgelegt. Diese Risikogrenzen geben die statistische Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer berufsbedingten Krebserkrankung an. Wird das Akzeptanzrisiko von 4:100.000 (übergangsweise 4:10.000) unterschritten, besteht bezogen auf eine Arbeitslebenszeit von 40 Jahren ein geringes, akzeptables Risiko, an berufsbedingtem Krebs zu erkranken. Wird diese Grenze überschritten, besteht ein mittleres Risiko. Ab dem Toleranzrisiko von 4:1.000 wird die Gefahr, an berufsbedingtem Krebs zu erkranken, als hoch und damit nicht tolerabel bewertet. Bei dem mittleren und hohen Risiko werden spezifizierte Maßnahmen aus dem Maßnahmenkatalog der TRGS 910 erforderlich. Auf Grundlage dieser Risikogrenzen werden stoffspezifische Akzeptanzkonzentrationen (AK) und Toleranzkonzentrationen (TK) abgeleitet und in Anlage 1, Tabelle 1 – Liste der stoffspezifischen Akzeptanz- und Toleranzkonzentrationen der TRGS 910 veröffentlicht. Im Falle von Chrom(VI)-Verbindungen wurden keine Toleranz- oder Akzeptanzkonzentrationen abgeleitet, sondern ein risikobasierter Beurteilungsmaßstab (BM), der mit einem Risiko von 4:1.000 assoziiert ist.

Bei der Be- und Verarbeitung von metallischen Werkstücken können Stäube oder Rauche freigesetzt werden, die krebserzeugende Metalle oder Metallverbindungen enthalten (z.B. Arsenverbindungen, Cadmium und Cadmiumverbindungen, Cobalt und Cobaltverbindungen, Chrom(VI)-Verbindungen und Nickelverbindungen). Bis zum Inkrafttreten der Novelle der Gefahrstoffverordnung im Januar 2005 wurde zur Beurteilung der Belastungssituation dieser krebserzeugenden Metallverbindungen am Arbeitsplatz eine Technische Richtkonzentration (TRK-Wert) herangezogen. Dieser Wert gab die Konzentration in der Luft an Arbeitsplätzen an, die nach Stand der Technik maximal erreicht werden durfte. Die Einhaltung des TRK-Wertes bedeutete aber im Umkehrschluss nicht, dass die Arbeitnehmer keinem Risiko ausgesetzt waren, an Krebs zu erkranken.

Mit der Abschaffung der TRK-Werte war es für die Betriebe und die Aufsichtspersonen sehr schwer, die Gefährdung der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer zu beurteilen, ohne einen festgelegten Beurteilungsmaßstab zu haben. Dies führte dazu, dass die krebserzeugenden Metallverbindungen, die bei der Be- und Verarbeitung von Metallen entstehen, in der Regel bei der Gefährdungsbeurteilung nicht betrachtet wurden.

Die heute gültigen Beurteilungsmaßstäbe sind im Verhältnis zu den TRK-Werten stark abgesenkt. Zum Start des Messprojektes gab es kaum Expositionsdaten, die bei der Beurteilung der Gefährdung der Arbeitnehmer durch krebserzeugende Gefahrstoffe bei Schweiß- und Schleiftätigkeiten zu Grunde gelegt werden konnten. Ältere Expositionsdaten konnten nicht herangezogen werden, weil entweder die Metallverbindungen nun in anderen Staubfraktionen bestimmt wurden, oder aber die Bestimmungsgrenzen der Verfahren, die zur Ermittlung der Konzentrationen herangezogen wurden, oberhalb der jetzt gültigen Beurteilungsmaßstäben lagen. Eigene Messungen wurden nur von den wenigsten Betrieben durchgeführt.

Auch für weitere relevante, jedoch nicht krebserzeugende Gefahrstoffe wurden vor Start des Messprojektes neue Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) oder Maximale Arbeitsplatz-Konzentrationen (MAK-Werte) festgesetzt (z. B. für die alveolengängige Staubfraktion, Mangan und seine anorganischen Verbindungen, Zink und seine anorganischen Verbindungen). Auch bei diesen Gefahrstoffen führte die geringe Höhe der neuen Grenzwerte sowie die Festsetzung der Grenzwerte in einer anderen Staubfraktion zu einer schlechten Datenlage. Daher wurde bei den Messungen auch die Gefahrstoffbelastung durch diese Stoffe ermittelt.

### 3 Anlass des Projekts

Weltweit gelten etwa 11 Millionen Menschen als Berufsschweißer, weitere Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer sind regelmäßig den beim Schweißen entstehenden Expositionen ausgesetzt. Im Branchenprofil „Metallindustrie in Hessen“, das die Hessen Agentur GmbH im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung 2014 veröffentlichte, wurde die Anzahl der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer in dieser Branche mit ca. 52.000 Beschäftigten in Hessen angegeben. In der aktualisierten Ausgabe aus dem Jahr 2018 wird von ca. 50.000 Beschäftigten ausgegangen. Die Metallindustrie ist damit eine der großen Branchen in Hessen. Aufgrund der mangelnden Datenlage wurde ein dringender Handlungsbedarf gesehen, die Belastungen durch krebserzeugende Metalle und Metallverbindungen zu erheben und damit die Betriebe und die Aufsichtspersonen der Arbeitsschutz- und Produktsicherheitsdezernate in Hessen zu unterstützen.

Die hessische Ländermessstelle für Gefahrstoffe des Regierungspräsidiums Kassel hat zur Erhebung der aktuellen Belastungssituation im Rahmen des politischen Schwerpunkts „Kampf dem Krebs am Arbeitsplatz“ in den Jahren 2014 – 2019 Arbeitsplatzmessungen in 19 metallbe- und -verarbeitenden Betrieben bei unterschiedlichen Schweiß Tätigkeiten und den dazugehörigen Nachbearbeitungsverfahren wie z.B. Schleifen durchgeführt. Zusätzlich wurde auch die Hallengrundbelastung ermittelt.

Auf Grundlage der Untersuchungen sollten Arbeitsschutzmaßnahmen nach dem Stand der Technik abgeleitet und in einer Handlungsanleitung zusammengefasst werden, die bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden Metallen bzw. Metallverbindungen in hessischen Betrieben den Schutz der Arbeitnehmer gewährleisten.



## 4 Durchführung des Projekts

Schweißen ist ein sehr weit verbreitetes Verfahren in der industriellen Verarbeitung von Metallen. Rauche, die beim Metallschweißen entstehen, sind nach der Festlegung einer Experten-Gruppe der International Agency für Research on Cancer (IARC) der Weltgesundheitsorganisation (WHO) karzinogen für den Menschen<sup>1</sup>. Schweißrauche können krebserzeugende Inhaltsstoffe wie Chrom(VI)- und Nickelverbindungen enthalten. Auch die krebserzeugenden Cadmium-, Beryllium-, Arsen- und Cobaltverbindungen wurden im Projekt betrachtet, da der Verdacht bestand, dass sie als Verunreinigung oder als Legierungsbestandteil in den Werkstoffen vorhanden sind.

Auch beim Schleifen entstehen Stäube, die je nach bearbeitetem Material krebserzeugende Inhaltsstoffe enthalten können.

Die messtechnisch untersuchten Gefahrstoffe sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

**Tabelle 1:** Analytierte Gefahrstoffe und deren Beurteilungsmaßstäbe – Stand März 2020

Gefahrstoff	Beurteilungsmaßstab (Staubfraktion)		Spitzen- begrenzung ÜF (Kurzzeitwert- kategorie)
<b>Einatembare Staub (E-Staub)</b>	AGW	10 mg/m <sup>3</sup> (E)	2 (II)
<b>Alveolengängiger Staub (A-Staub)</b>	AGW	1,25 mg/m <sup>3</sup> (A)	8 (II)
<b>Arsenverbindungen als Carc. 1A, Carc. 1B eingestuft</b>	AK	0,83 µg/m <sup>3</sup> (E)	--
	TK	8,3 µg/m <sup>3</sup> (E)	8 (II)
<b>Beryllium und anorganischen Berylliumverbindungen</b>	AGW	0,00006 mg/m <sup>3</sup> (A) 0,00014 mg/m <sup>3</sup> (E)	1 (I)
<b>Cadmium und Cadmium- verbindungen, als Carc.1A, Carc.1B eingestuft</b>	AK	0,9 µg/m <sup>3</sup> (A)	--
	TK	2 µg/m <sup>3</sup> (A)	8 (II)
<b>Cadmium und anorganische Cadmiumverbindungen</b>	AGW	2 µg/m <sup>3</sup> (E)	8 (II)
<b>Chrom und anorganische Chrom(II) und (III)-Verbindungen</b>	AGW	2 mg/m <sup>3</sup> (E)	1 (I)
<b>Chrom(VI)-Verbindungen</b>	BM	1 µg/m <sup>3</sup> (E)	8 (II)
<b>Cobalt und Cobaltverbindungen als Carc.1A, Carc.1B eingestuft</b>	AK	0,5 µg/m <sup>3</sup>	-
	TK	5 µg/m <sup>3</sup> (A)	8 (II)

<sup>1</sup> <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Welding-Molybdenum-Trioxide-And-Indium-Tin-Oxide-2018>

Gefahrstoff	Beurteilungsmaßstab (Staubfraktion)		Spitzenbegrenzung ÜF (Kurzzeitwertkategorie)
<b>Kupfer und seine anorganischen Verbindungen</b>	MAK	0,01 mg/m <sup>3</sup> (A)	2 (II)
<b>Mangan und seine anorganischen Verbindungen</b>	AGW	0,2 mg/m <sup>3</sup> (E) 0,02 mg/m <sup>3</sup> (A)	8 (II)
<b>Nickelverbindungen, als Carc. 1A, Carc. 1B eingestuft</b>	AK	6 µg/m <sup>3</sup> (A)	--
	TK	6 µg/m <sup>3</sup> (A)	8 (II)
<b>Nickel und Nickelverbindungen</b>	AGW	0,030 mg/m <sup>3</sup> (E)	8 (II)
<b>Zink</b>	MAK	0,1 mg/m <sup>3</sup> (A)	4 (I)
		2 mg/m <sup>3</sup> (E)	2 (I)

AGW: Arbeitsplatzgrenzwert, AK: Akzeptanzkonzentration assoziiert mit Risiko 4:10.000, TK: Toleranzkonzentration, BM: Beurteilungsmaßstab, risikobasiert, MAK: maximale Arbeitsplatz-Konzentration ÜF: Überschreitungsfaktor

## 5 Probenahmeparameter

Es wurden personengetragene und stationäre Messungen auf alveolengängigen Staub (A-Staub) und einatembaren Staub (E-Staub) durchgeführt. Für die Bestimmung von hexavalenten Chromverbindungen erfolgte eine separate E-Staub-Probenahme.

Die personengetragenen Probenahmen wurden möglichst parallel zueinander durchgeführt. Nur wenn dieses aus technischen Gründen nicht möglich war, oder weil die Arbeitnehmer auf Grund der körperlichen Belastung durch drei Probenahmegeräte sich dazu nicht bereit erklärten, wurden E-Staub-Messung und Bestimmung der hexavalenten Chromverbindungen alternierend durchgeführt.

Zu Beginn der Aktion im Jahr 2014/2015 wurden in einem Großteil der Betriebe als persönliche Schutzausrüstung meist Automatikhelme oder Handschilde eingesetzt, die nur einen Schutz vor Strahlen und Funken bieten. Bereits während des Projektzeitraums bis 2019 konnte beobachtet werden, dass in den Betrieben zunehmend Schweißerschutzhauben mit Frischluftversorgung eingesetzt werden, die zusätzlich auch einen Schutz vor Gefahrstoffbelastung darstellen. Diese werden in der Regel nur bei längeren Unterbrechungen der Schweißarbeit abgesetzt. Im Gegensatz dazu werden Handschilde oder Visiere von Automatikschweißhelmen direkt im Anschluss an den Schweißvorgang abgelegt bzw. nach oben geklappt. In beiden Fällen können die Dämpfe von heißen Werkstücken sowie nicht durch Absaugungen erfasste Schweißrauche in den Atembereich des Arbeitnehmers gelangen.

Die Probenahmeköpfe wurden in der Regel außerhalb der Schilde oder Hauben im Atembereich an einer Probenahmeweste befestigt. Bei einigen Messungen wurden beim Tragen klassischer Automatikhelme die Probenahme mit präparierten Helmen (Abbildung 1) durchgeführt, bei dem sich die Ansaugöffnungen jeweils hinter dem Schutzschild befanden. Hier sollte ermittelt werden, ob sich Gefahrstoffe z.B. unter den hochgeklappten Visieren fangen. Da jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den Messergebnissen mit den präparierten Helmen und den Messergebnissen vor den Helmen festgestellt wurde, wurden im Weiteren nur noch Probenahmen vor den Helmen durchgeführt.



**Abbildung 1:** Präparierter Automatikschweißhelm mit A- und E-Staub-Probenahmekopf

Für die stationären Probenahmen wurden die drei Probenahmegeräte an einem Stativ befestigt und die Messungen ebenfalls parallel durchgeführt. Hier muss zwischen stationären Messungen zur Ermittlung der Hallengrundbelastung und personenbeziehbaren stationären Messungen unterschieden werden. Personenbeziehbare stationäre Messungen wurden durchgeführt, wenn die personengetragene Messung eine unzumutbare körperliche Belastung darstellte oder aus arbeitsorganisatorischen Gründen nicht zu vertreten war. Sie lassen aber Rückschlüsse auf die Gefahrstoffbelastung bei den Arbeitnehmern zu. Die Probenahmegeräte wurden dann z.B. bei Schweißautomaten an der Stelle positioniert, an der sich der Arbeitnehmer zum Bedienen der Anlage aufhielt. Die Arbeitnehmer richteten in der Regel die Automaten nur ein oder kontrollierten sie und verbrachten die restliche Zeit mit anderen Arbeiten wie z.B. Transport- und Bereitstellungsarbeiten. Die Zeiten der Nullexposition wurden bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Damit wird der Fall simuliert, dass die Arbeitnehmer sich über die gesamte Tätigkeit im Bedienbereich der automatischen Anlagen aufhalten.

Die Dauer der Probenahme betrug in der Regel 120 min. Bei starker Staub- und Rauchbelastung oder kurzfristigeren Tätigkeiten wurde die Probenahmezeit auf 60 min reduziert. Kurzzeitwerte konnten auf Grund der Bestimmungsgrenzen der Analyseverfahren nicht messtechnisch ermittelt werden.

**Tabelle 2:** Probenahmegeräte und –verfahren sowie eingesetzte Messgeräte

Zweck	Eingesetzte Geräte
Personengetragene und stationäre Probenahme	<p><u>E-Staub</u></p> <p>Personal Air Sampler Fa. GSA Typ 10-2 und Typ 10-2A mit einem Volumenstrom von 10 L/min.            Probenahmekopf GSP 10            Quarzfaserfilter Fa. Munktell, Typ MK 360            Probenahmedauer ca. 60 – 120 min</p> <p><u>A-Staub</u></p> <p>Personal Air Sampler Fa. GSA Typ 10-2 und Typ 10-2A mit einem Volumenstrom von 10 L/min.            Probenahmekopf FSP 10            Membranfilter Fa. Whatman, Typ ME 27            Probenahmedauer ca. 60 – 120 min</p>
Volumenstrommessung	<p>Gilibrator II der Firma Sensidyne</p> <p>MesLabs DryCal Defender 520-H</p>

## 6 Analyseverfahren

Die Konzentration von A- und E-Staub in der Luft wurde durch eine gravimetrische Auswertung der belegten Filter bestimmt. Dazu werden die Filter vor der Probenahme in einem Exsikkator konditioniert, um die Fehler durch klimatische Einflüsse bei der Ein- und Rückwaage zu minimieren und anschließend gewogen. Nach der Probenahme werden die Filter erneut konditioniert und gewogen. Die Staubkonzentration ergibt sich aus der Differenz der Filtergewichte vor und nach der Probenahme abzüglich des Blindwertes bezogen auf das Probenahmenvolumen. Zur Bestimmung des Blindwertes werden 10 Filter mit den Proben mitgewogen und entsprechend der Probenahmefilter behandelt. Der Blindwert errechnet sich aus dem Mittelwert der Differenz zwischen den beiden Wägevorgängen dieser Filter.

Im Anschluss daran werden die metallischen Inhaltsstoffe (siehe Tabelle 1) mittels Säureaufschluss aus den Staubbelegungen der Filter herausgelöst und atomabsorptionsspektroskopisch analysiert.

Bei den analytischen Untersuchungen wurden die Staubinhaltsstoffe in der Regel in beiden Staubfraktionen bestimmt. In der nachfolgenden Auswertung werden nur die Ergebnisse in der Fraktion dargestellt, für die ein Beurteilungsmaßstab festgelegt wurde.

Die Analytik auf hexavalente Chromverbindungen konnte in der Ländermessstelle nicht durchgeführt werden. Die beaufschlagten Filter wurden an ein akkreditiertes Messinstitut versendet und dort untersucht.

Alle verwendeten Verfahren basieren auf empfohlenen Analyseverfahren und wurden im Vorfeld durch die Hessische Ländermessstelle validiert (außer der Bestimmung von Chrom(VI)-Verbindungen). Die Bestimmungsgrenzen der Analyseverfahren geben die kleinsten Konzentrationen an, die mit einer vorgegebenen statistischen Sicherheit quantitativ nachgewiesen werden können. Sie sind in Tabelle 3 gefahrstoffspezifisch aufgelistet.

**Tabelle 3:** Bestimmungsgrenzen der krebserzeugenden Gefahrstoffe

Gefahrstoff	Absolute Bestimmungsgrenze [µg/Probe]	Relative Bestimmungsgrenze [µg/m <sup>3</sup> ] bei einem Probenahmenvolumen von	
		0,6 m <sup>3</sup>	1,2 m <sup>3</sup>
Arsen	0,15	0,24	0,12
Beryllium	0,0007	0,0012	0,00058
Cadmium	0,0080	0,013	0,0067
Cobalt	0,025	0,042	0,021
Nickel	2,0	3,3	1,6
Chrom(VI)	0,52	0,86	0,43

**Tabelle 4:** Bestimmungsgrenzen der Gefahrstoffe mit Arbeitsplatzgrenzwert

Gefahrstoff	Absolute Bestimmungsgrenze [mg/Probe]	Relative Bestimmungsgrenze [mg/m <sup>3</sup> ] bei einem Probenahmenvolumen von	
		0,6 m <sup>3</sup>	1,2 m <sup>3</sup>
A-Staub	0,11	0,18	0,092
E-Staub	0,065	0,11	0,054
Chrom	0,0015	0,0025	0,0013
Kupfer	0,0025	0,0042	0,0021
Mangan	0,0020	0,0033	0,0017
Zink	0,0030	0,0050	0,0025

## 7 Untersuchte Tätigkeiten und deren Beurteilung

Im Rahmen des fachpolitischen Schwerpunktes „Kampf dem Krebs am Arbeitsplatz“ wurden in der Zeit zwischen 2014 und 2019 Probenahmen in 19 metallbe- und -verarbeitenden Betrieben durchgeführt. Dabei erfolgten je 464 Probenahmen auf A- und E-Staub und 118 E-Staub-Probenahmen zur Bewertung von Chrom(VI)-Verbindungen.

**Tabelle 5:** Anzahl der Betriebe und Arbeitnehmer in den beteiligten Branchen

Branche	Anzahl Betriebe	Anzahl Arbeitnehmer Produktion
<b>Werkzeugherstellung</b>	2	75 - 130
<b>Anlagen- und Apparatebau</b>	12	10 - 120
<b>Industriebau, Hallenbau, Sonderkonstruktionen</b>	3	14 - 20
<b>Zulieferer Automobilindustrie</b>	2	15 - 112

Um geeignete Betriebe für die messtechnischen Ermittlungen auswählen zu können, wurde ein Erhebungsbogen erstellt und die notwendigen Daten wurden anhand des Bogens im Vorfeld durch die Aufsichtspersonen der hessischen Arbeitsschutzdezernate in den drei Regierungspräsidien in Erfahrung gebracht. Voraussetzung für die messtechnische Erhebung war eine Mindestdauer von 4 Stunden arbeitstäglich für die Schweiß- oder Schleifarbeiten und das Vorhandensein von technischen Schutzvorrichtungen, mindestens von Schweißrauchabsaugungen.

Um eine bessere Vergleichbarkeit in den unterschiedlichen Betrieben herzustellen, wurde die Haupttätigkeit (z. B. Schleifen oder Schweißen) spezifisch beprobt und die Belastung damit tätigkeitsbezogen (als tätigkeitsbezogene zeitgewichtete Mittelwert) ermittelt. Nebentätigkeiten, wie kurzfristige Transport-, Richtarbeiten, Vor- und Nachbereitungsarbeiten, wie Montagearbeiten oder Wechseln der Schweißdrahtrolle im Gerät etc., wurden den in Tabelle 6 aufgelisteten Haupttätigkeiten zugerechnet. Die Haupttätigkeit hatte einen Anteil von mindestens 40 % der Messzeit. Unterschiedliche Schweiß Tätigkeiten wurden möglichst voneinander getrennt beprobt, wenn diese mindestens 1 Stunde dauerten. Konnten diese Tätigkeiten nicht getrennt werden, wurden die Messwerte der Kategorie „Sonstige Tätigkeiten“ in Tabelle 6 zugeordnet.

Es wurden insgesamt 187 tätigkeitsbezogene zeitgewichtete Mittelwerte ermittelt. Diese wurden analog zu Schichtmittelwerten berechnet, spiegelten aber unter Umständen nicht die Belastung der Arbeitnehmer über die gesamte Schicht, sondern ausschließlich während der Schweiß- und Schleiftätigkeit einschließlich der typischen Nebentätigkeiten wider. In Fällen, in denen die Arbeitnehmer diese Arbeiten über die gesamte Schicht hinweg durchführten, entspricht der tätigkeitsbezogene zeitgewichtete Mittelwert dem Schichtmittelwert. Werden diese Tätigkeiten nicht über die gesamte Schicht durchgeführt, können die dargestellten Messwerte zur Abschätzung der Belastung über die Schicht herangezogen werden. Dabei kann jedoch in den metallbe- und -verarbeitenden Betrieben bei den Beschäftigten in der Produktion auch außerhalb der

Schweiß- und Schleifzeiten nicht von einer verkürzten Exposition (d.h. von einer Nullbelastung in der restlichen Arbeitszeit) ausgegangen werden, wenn diese sich die gesamte Arbeitsschicht im Bereich der Fertigungshallen aufhalten. In den Betrieben wurden mehrere Arbeitnehmer beprobt, so dass mehrere Mittelwerte pro Betrieb ausgewertet wurden. Die Anzahl der Mittelwerte pro Betrieb ist abhängig von der Anzahl der Schweißer und der Anzahl der vorgefundenen Schweißverfahren.

**Tabelle 6:** Aufteilung der Mittelwerte auf die Tätigkeiten und Anzahl der Betriebe, bei denen die Tätigkeiten durchgeführt wurden. Doppelnennungen möglich.

<b>Anzahl tätigkeitsbezogene zeitgewichtete Mittelwerte</b>	<b>Probenahme bei</b>	<b>Anzahl der Betriebe, bei denen die Tätigkeit durchgeführt wurde</b>
<b>34</b>	MAG-Schweißen Baustahl	9
<b>20</b>	MAG-Schweißen Edelstahl	5
<b>6</b>	WIG-Schweißen Baustahl	3
<b>22</b>	WIG-Schweißen Edelstahl	7
<b>17</b>	Automatische Schweiß- und Schneidverfahren (Laser, Plasma)	5
<b>19</b>	Sonstige Tätigkeiten, z.B. Lichtbogenhandschweißen, wechselnde Tätigkeiten	10
<b>11</b>	Schleifen Baustahl	4
<b>9</b>	Schleifen Edelstahl	3
<b>49</b>	Hallengrundbelastung	15

Neben der Beurteilung der relevanten Einzelstoffe ist nach TRGS 402 Punkt 5.1 (4) eine Beurteilung der Gemischexposition, nach dem Verfahren wie in Nummer 5.2.1. der TRGS beschrieben, vorzunehmen, wenn mehrere Stoffe mit einem AGW zur Exposition im Arbeitsbereich beitragen. Die Beurteilung erfolgt anhand der Bewertungsindizes (BI), die wie folgt berechnet werden.

$$BI_{AGW} = \sum_{i=1}^n I_i = \frac{C_1}{AGW_1} + \frac{C_2}{AGW_2} + \dots + \frac{C_n}{AGW_n}$$

BI = Bewertungsindex

C = Konzentration Einzelstoff mit AGW

## I = Stoffindex

Als Grenzwert gilt der Bewertungsindex  $BI = 1$ . Bei der Berechnung der Bewertungsindizes von Stoffgemischen sind die Stoffindizes für den Allgemeinen Staubgrenzwert (ASGW) gemäß TRGS 900 2.4. Absatz 6, Stoffe mit anderen Beurteilungsmaßstäben (z.B. MAK-Wert) sowie die krebserzeugenden Inhaltstoffe mit risikobezogenen Beurteilungsmaßstäben nicht zu berücksichtigen.

Die Bewertungsindizes wurden für jeden tätigkeitsbezogenen zeitgewichteten Mittelwert oder Schichtmittelwert berechnet. Die Auswertung der Bewertungsindizes wurde nicht in die Datentabellen des Berichtes aufgenommen, da dieses zu einer schlechteren Vergleichbarkeit der Verfahren und einer erschwerten Lesbarkeit der Tabellen geführt hätte. Unterschiede in den Belastungsschwerpunkten durch einzelne Gefahrstoffe hätten nicht erkannt werden können. Zusammenfassend kann dazu gesagt werden, dass in den Betrieben, an denen an allen Arbeitsplätzen die Beurteilungsmaßstäbe für alle Einzelstoffe eingehalten wurden auch die Bewertungsindizes unterhalb von 1 ( $BI < 1$ ) lagen. In Betrieben an denen die Beurteilungsmaßstäbe für die Einzelstoffe an einem oder mehreren Arbeitsplätzen überschritten waren lagen die Bewertungsindizes auch an den meisten Arbeitsplätzen, an denen die Beurteilungsmaßstäbe für alle Einzelstoffe eingehalten wurden, oberhalb von 1. Dies war in der Regel von der Lage der Arbeitsplätze zueinander und von der allgemeinen Belüftungssituation im Arbeitsbereich abhängig.

Da die Messungen tätigkeitspezifisch bei den Schleif- und Schweißarbeiten durchgeführt wurden, traten in der Regel innerhalb der Tätigkeiten keine Expositionsspitzen auf, daher wurden die Kurzzeitwertkonzentrationen nicht messtechnisch ermittelt. Aufgrund der ermittelten Konzentrationen kann jedoch die Einhaltung der Kurzzeitwerte in Abhängigkeit der Expositionsdauer abgeschätzt werden. Die Kurzzeitwertanforderung gilt als erfüllt, wenn für einen Stoff:

- maximal vier 15-min-Intervalle innerhalb einer Schicht auftreten, innerhalb derer die Konzentration des Gefahrstoffes oberhalb des Beurteilungsmaßstabes liegt, aber
- in keinem der 15-min-Intervalle der Kurzzeitwert überschritten wird und
- zwischen zwei solchen 15-min-Intervallen möglichst ein zeitlicher Abstand von 1 h liegt. Ein Mindestzeitraum zwischen den Kurzzeitwertphasen wird für Stoffe, die unter die TRGS 910 fallen, nicht festgelegt.

Bei Gefahrstoffen der Kurzzeitwertkategorie II sind in Abhängigkeit der Höhe des Überschreitungsfaktors (ÜF) auch längere zusammenhängende Phasen erhöhter Exposition möglich, solange das Produkt aus ÜF und Überschreitungsdauer nicht überschritten wird. Gemäß Tabelle 8 muss auch bei kurzzeitigen Schweißarbeiten (länger als eine halbe Stunde pro Schicht) z.B. in Rahmen von Wartungs- und Reparaturarbeiten in der Regel davon ausgegangen werden, dass für einzelne Staubinhaltsstoffe die Belastungen oberhalb der jeweiligen Kurzzeitwerte liegen. Damit müsste auch bei verkürzten Expositionen der Befund „Schutzmaßnahmen nicht ausreichend“ erteilt werden.



## 8 Ausgangsmaterialien

### 8.1 Werkstoffe

Werkstoffe sind Materialien, aus denen Werkstücke bestehen. Es gibt nicht-metallische Werkstoffe, wie z.B. Glas, Keramik, Kunststoffe und metallische Werkstoffe. Metallische Werkstoffe, die in der Metallbe- und -verarbeitung eingesetzt werden, sind Eisenwerkstoffe, zu denen die nachfolgenden Stähle zählen.

#### 8.1.1 Baustahl

Als Baustähle werden kohlenstoffarme Stahlsorten mit einem Kohlenstoffgehalt von 0,2 – 0,65 Massenprozent bezeichnet. Die Bezeichnung beginnt mit C und enthält anschließend den Kohlenstoffgehalt in Massenprozent multipliziert mit 100, z.B. C60 ist ein Baustahl mit einem Kohlenstoffgehalt von 0,6 %. In der Regel sind die Baustähle unlegiert und nicht wärmebehandelt. Sie finden Anwendung im Stahl- und im Maschinenbau.

#### 8.1.2 Korrosions- und säurebeständiger Stahl (Edelstahl)

Edelstahl wird in legierte und unlegierte Stahlsorten unterschieden. Die häufigsten Legierungselemente mit einer krebserzeugenden Einstufung sind Chrom, Nickel und Cobalt. Als hochlegiert gilt ein Stahl dann, wenn der Massenanteil eines seiner Legierungselemente mehr als 5 % beträgt. In den beprobten Betrieben wurden in der Regel hochlegierte V2A (CrNi, 1.4301, 1.4541 und 1.4307) und V4A (CrNiMo, 1.4401, 1.4571 und 1.4404) Stähle eingesetzt.

### 8.2 Zusatzwerkstoffe

Unter Zusatzwerkstoffen versteht man Materialien (z.B. Stäbe oder Drähte), die zusätzlich zu den Werkstoffen zum Verbinden von Bauteilen verwendet werden. Sie werden aufgeschmolzen und bilden nach der Erstarrung die Schweißnaht.

Die Schweißdrähte werden unterschieden in Massivdraht oder Fülldraht.

#### 8.2.1 Massivdraht

Massivdrähte bestehen komplett aus Metall und benötigen immer ein Schutzgas, um eine Oxidation beim Schweißprozess zu verhindern. Sie kommen am häufigsten zum Einsatz und eignen sich für kontinuierliche Schweißabläufe.

#### 8.2.2 Fülldraht

Fülldrähte bestehen aus einem metallischen Mantel mit einer Pulverfüllung. Fülldrähte haben den Vorteil, dass meist spezielle Zusätze wie Gasbildner, Lichtbogen-Stabilisatoren und Legierungszusätze zugefügt wurden. Beim Arbeiten mit Fülldraht werden feinere und beständige Schweißnähte produziert und die Schweißzeit ist wegen der hohen Abschmelzleistung geringer. Beim Verarbeiten treten weniger Spritzeffekte auf, die Schweißnähte weisen eine hohe Riss- und Porensicherheit auf und sind unempfindlich gegen Bindefehler.

Es gibt selbstschützende Fülldrähte, die das benötigte Schutzgas selbst bilden und gasgeschützte Fülldrähte, die wie Massivdrähte beim Schweißvorgang ein Schutzgas benötigen.

## 9 Ergebnisse der messtechnischen Erhebungen

Im Kapitel 9 werden die Ergebnisse der messtechnischen Erhebungen, unterschieden nach einzelnen Arbeitsverfahren, dargestellt. Zu Beginn eines jeden Unterpunktes erfolgt eine kurze Beschreibung der Arbeitsverfahren, anschließend werden die Ergebnisse tabellarisch dargestellt. In den nachfolgenden Tabellen werden Überschreitung vom AGW, MAK-Wert und Überschreitungen der Toleranzkonzentration (TK) sowie des Beurteilungsmaßstabs (BM) bei den krebserzeugenden Stoffen in roter Schrift und Werte von krebserzeugenden Gefahrstoffen, die die Akzeptanzkonzentration (AK) überschreiten, die TK jedoch einhalten, mit gelber Schrift markiert. Werte unterhalb des AGW, MAK-Wertes, BMS oder Werte unterhalb der AK erscheinen schwarz.

### 9.1 Schweißtechnische Arbeiten

Schweißen ist eines der wichtigsten Fügeverfahren zum unlösbaren Verbinden von metallischen Bauteilen. Es ergibt deutlich festere Verbindungen als andere Fügeverfahren, wie z.B. Schrauben oder Niete. Je nach Werkstoff, Bauteilgeometrie und Zugänglichkeit der Schweißstelle stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung.

#### 9.1.1 MAG-Schweißen

Das Metall-Aktivgasschweißen (MAG-Schweißen) ist ein Lichtbogenschweißverfahren, das mit aktiven Gasen durchgeführt wird. Es kommt ein Gasgemisch aus Argon, Kohlendioxid und Sauerstoff zum Einsatz. Die Anteile der einzelnen Gase werden an die Anforderungen des Werkstoffes (zu schweißendes Material) angepasst. MAG-Schweißen wird hauptsächlich bei unlegierten Stahlsorten eingesetzt, ist aber auch bei niedrig bis hochlegierten korrosions- und säurebeständigen Stählen (Edelstähle) einsetzbar.

Der Schweißdraht (sowohl Massivdraht wie auch Fülldraht) fungiert beim MAG-Schweißen als Elektrode, wird automatisch von einer Spule abgewickelt und an die Schweißstelle herangeführt. Der Draht wird beim Schweißen abgeschmolzen, gleichzeitig wird durch eine Düse ein Schutzgas zugeführt, welches die Schweißstelle vor dem Einfluss von Sauerstoff schützt und so für eine oxidationsfreie Verbindung von Werkstoff und Schweißdraht (Zusatzwerkstoff) führt (siehe Abbildung 2).

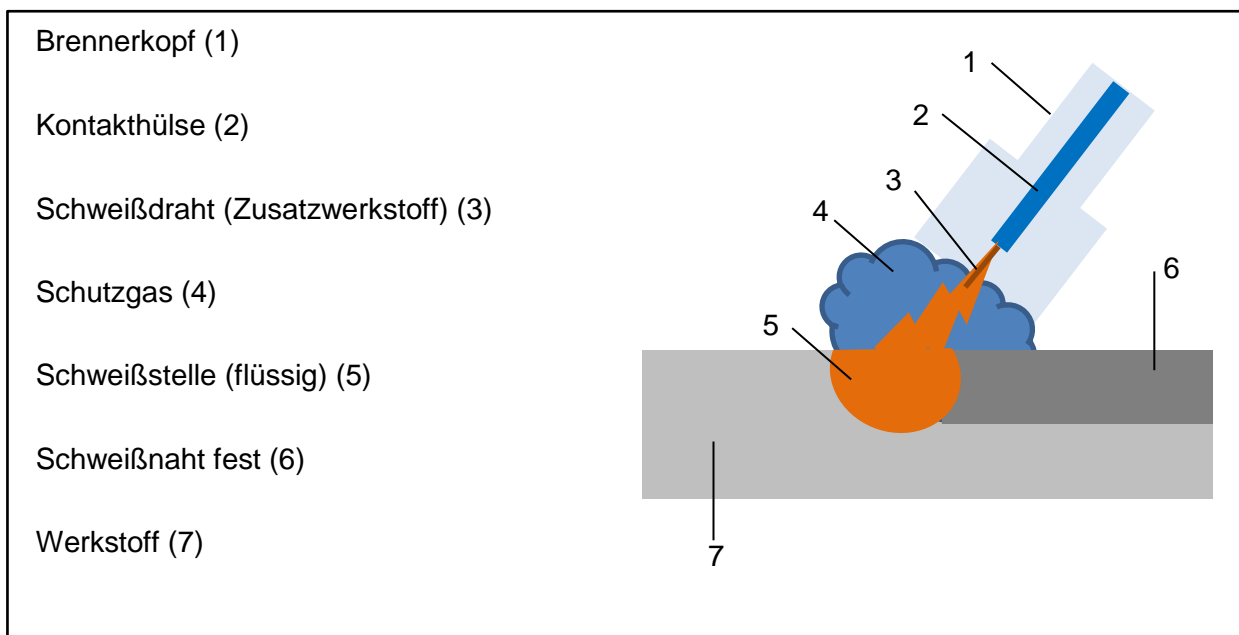


Abbildung 2: schematische Darstellung MAG-Schweißen

### 9.1.1.1 Messergebnisse beim MAG-Schweißen von Baustahl

Das MAG-Schweißen von Baustahl ist das am weitesten verbreitete Schweißverfahren in den am Projekt beteiligten Betrieben. Im Rahmen des Projektes wurden beim MAG-Schweißen von Baustahl insgesamt je 34 zeitgewichtete tätigkeitsbezogene Mittelwerte bzw. Schichtmittelwerte für A- und E-Staub und die Staubinhaltsstoffe ermittelt.

Alle Betriebe verfügten mindestens über mobile oder zentrale Schweißrauchabsaugungen, die jedoch nicht immer eingesetzt wurden. In einigen Betrieben waren auch technische Lüftungen vorhanden. Diese technischen Lüftungen hatten jedoch keinen direkten Einfluss auf die Höhe der Exposition beim MAG-Schweißen, sondern entfalteten ihrer Wirksamkeit ausschließlich bei der Reduzierung der Hallengrundbelastung.

Tabelle 7: Messwerte MAG-Schweißen Baustahl (n=34)

Gefahrstoff (Staubfraktion)	Einheit	Median	95- Perzentil	Anteil Werte [%] mit Messwert c		
				c > AGW,TK	AK < c < TK	c > KZW <sub>30</sub>
<b>E-Staub</b>	[mg/m <sup>3</sup> ]	2,8	<b>19</b>	18	-	18
<b>A-Staub</b>	[mg/m <sup>3</sup> ]	<b>1,7</b>	<b>12</b>	67	-	27
<b>Arsen (E)</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	0,29	<b>3,5</b>	0	18	-
<b>Beryllium (E)</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	0,0067	0,013	0	-	-
<b>Beryllium (A)</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	0,0067	0,013	0	-	-

Gefahrstoff (Staubfraktion)	Einheit	Median	95- Perzentil	Anteil Werte [%] mit Messwert c		
				c > AGW,TK	AK < c < TK	c > KZW <sub>30</sub>
Cadmium (E)	[µg/m <sup>3</sup> ]	0,013	0,026	0	-	-
Cadmium (A)	[µg/m <sup>3</sup> ]	0,013	0,026	3	-	-
Chrom (E)	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,0045	0,079	0	-	-
Chrom(VI) (E)	[µg/m <sup>3</sup> ]	0,22	<b>7,9</b>	33	-	17
Cobalt (A)	[µg/m <sup>3</sup> ]	0,11	<b>0,80</b>	3	12	-
Kupfer (A)	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,0087	<b>0,063</b>	45	-	46
Mangan (A)	[mg/m <sup>3</sup> ]	<b>0,098</b>	<b>0,79</b>	91	-	61
Mangan (E)	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,078	<b>0,81</b>	35	-	-
Nickel (E)	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,0033	<b>0,032</b>	6	-	-
Nickel (A)	[µg/m <sup>3</sup> ]	3,3	<b>13</b>	36	-	-
Zink (E)	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,0083	0,53	0	-	-
Zink (A)	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,0080	<b>0,38</b>	9	-	-

Beim MAG-Schweißen von Baustahl wurde bei 67 % der Messungen der ASGW für A-Staub überschritten. Wenn man die Staubinhaltsstoffe betrachtet, stellt man fest, dass auch dort bei einer Vielzahl von Messungen die Beurteilungsmaßstäbe überschritten wurden. Insbesondere bei den krebserzeugenden Nickel- und Cobaltverbindungen (beides im A-Staub) befinden sich eine Vielzahl der beprobten Arbeitsplätze im Bereich des mittleren oder sogar des hohen Krebsrisikos. Auffällig ist, dass der Anteil der Überschreitung der AGW für Mangan im A-Staub mit 91 % der Messungen deutlich höher ist als der Anteil der Überschreitung der AGW für A-Staub (Überschreitungen bei 67 % der Messungen). Das bedeutet, dass bei Einhaltung des A-Staub-Grenzwertes in den Betrieben nicht sichergestellt ist, dass auch der Arbeitsplatzgrenzwert für den Staubinhaltsstoff Mangan eingehalten ist. Auch bei anderen Staubinhaltsstoffen kam es bei Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwertes für A-Staub zu Überschreitung der Beurteilungsmaßstäbe.

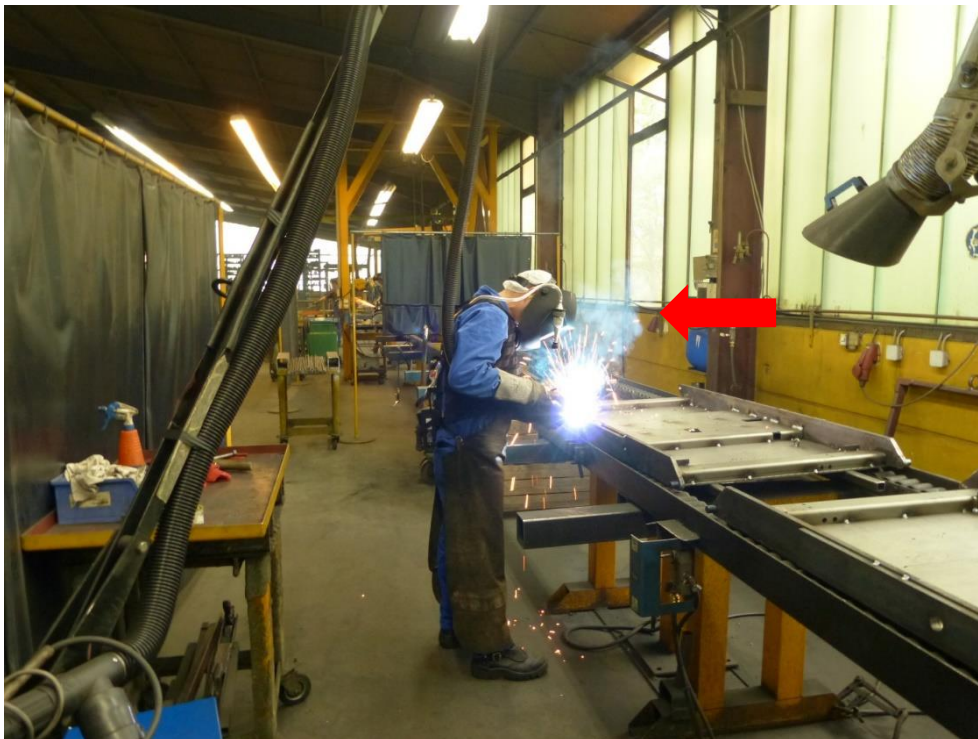
Aus den vorgenannten Gründen ist eine Messung auf A-Staub allein als Leitkomponente nicht geeignet, die Gefährdung der Arbeitnehmer beim MAG-Schweißen von Baustahl zu beurteilen.

Selbst wenn die Tätigkeit nicht eine ganze Schicht, sondern lediglich 30 Minuten durchgehend durchgeführt werden, müssten bei 60 % der Messungen die Schutzmaßnahmen als nicht ausreichend erachtet werden, da in diesen Fällen für Mangan im A-Staub der Kurzzeitwert nicht eingehalten ist. Ähnliches gilt bei 46 % der Messungen wegen Kupfer und für weitere Gefahrstoffe (siehe Tabelle 7 letzte Spalte).

Die beim MAG-Schweißen von Baustahl eingesetzten Zusatzwerkstoffe sind zum größten Teil niedriglegiert und enthalten ca. 1,4 – 1,8 % Mangan. Der Werkstoff selbst besteht zum überwiegenden Teil aus Eisen und Kohlenstoff und enthält nur geringe Mengen an Chrom, Kupfer, Nickel, Blei, Mangan und Silicium. Da das MAG-Schweißen ein abschmelzendes Schweißverfahren ist, kommt die Belastung aus den eingesetzten Zusatzwerkstoffen. Eine Differenzierung nach unterschiedlichen Zusatzwerkstoffen kann derzeit nicht vorgenommen werden, da es sehr viele Anbieter und Produkte auf dem Markt gibt und die Anzahl der Messungen nicht ausreicht, diese Differenzierung vorzunehmen. Dies ist bei diesem Verfahren anhand der Ergebnisse allerdings auch nicht erforderlich, da z.B. der AGW für Mangan im A-Staub bei 91 % der Messungen, bei denen verschiedene Zusätze verwendet worden waren, überschritten wurde.

Die Ursache für die hohen Gefahrstoffbelastungen sind häufig organisatorische Mängel an den Arbeitsplätzen. Eine hohe Bedeutung kommt der Erfassung der Schweißrauche unmittelbar an der Entstehungsquelle zu.

Messungen an Arbeitsplätzen wurden in der Regel nur dort durchgeführt, bei denen entweder mobile oder an eine zentrale Abluft angeschlossene Schweißrauchabsaugungen vorhanden waren. Die Messergebnisse zeigen daher, dass das bloße Vorhandensein einer Absaugung nicht ausreicht. Sie muss auch ausreichend nah an der Entstehungsquelle positioniert sein. Dabei ist davon auszugehen, dass eine Entfernung der Schweißrauchabsaugung von mehr als 20 cm nicht geeignet ist, die entstehenden Rauche wirksam zu erfassen. Wichtig ist auch, die vorhandene technische Ausstattung regelmäßig auf die Wirksamkeit hin zu überprüfen und die Arbeitnehmer im richtigen Umgang mit der Absaugung zu unterweisen. Meist ist eine unzureichende Wirksamkeit der Schweißrauchabsaugung bereits mit dem bloßen Auge zu erkennen, wie bei Abbildung 3 sichtbar ist.



**Abbildung 3:** MAG-Schweißarbeitsplatz mit falsch positionierter Absaugung, Rauche werden nicht erfasst (siehe Pfeil)

Bei diesem Beispiel wurde eine Schweißpistole mit integrierter Absaugung verwendet. Der Betrieb war davon ausgegangen, dass diese ausreichend wirksam ist. In der TRGS 528, Kapitel 4.4.2 wird diese integrierte Brennerabsaugung als Möglichkeit der Absaugung von Schweißrauch an der Entstehungsquelle genannt. Diese Schweißpistolen sind nur in sehr begrenzten Anwendungsbereichen wirksam, meist wirkt die integrierte Absaugung nur, wenn die Schweißpistole gerade gehalten und in einer bestimmten Richtung geschweißt wird und zudem die Verfahrensparameter aufeinander abgestimmt sind. Bei den beprobten Arbeitsplätzen wurden diese Schweißpistolen allerdings selten angetroffen.

Wirksame und gut positionierte Absaugungen erfassen die Schweißrauche unmittelbar (siehe Abbildung 4).

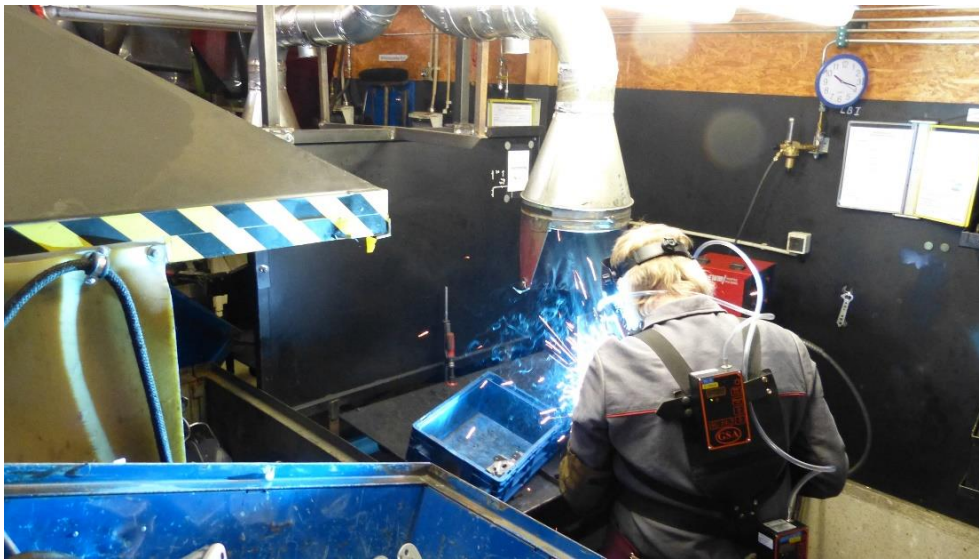


Abbildung 4: MAG-Schweißarbeitsplatz mit gut positionierter Absaugung

#### 9.1.1.2 Messergebnisse beim MAG-Schweißen von korrosions- und säurebeständigem Stahl (Edelstahl)

Im Rahmen des Projektes wurden beim MAG-Schweißen von Edelstahl insgesamt je 20 zeitgewichtete tätigkeitsbezogene Mittelwerte bzw. Schichtmittelwerte für A- und E-Staub und die Staubinhaltsstoffe in 4 verschiedenen Betrieben ermittelt.

Die verwendeten Zusatzwerkstoffe enthielten ca. 2 % Mn, ca. 20 % Cr und ca. 13 % Ni. Der Gehalt an Cobalt war in den technischen Datenblättern nicht ausgewiesen. Durch das Abschmelzen der Zusatzstoffe werden Rauche freigesetzt, deren chemische Zusammensetzung bis zu 16 % Chromverbindungen bei der Verarbeitung von hochlegierten Massivdrähten enthalten kann. Bei der Verwendung von hochlegierten Fülldrähten, liegt der Anteil an Chrom(VI)-Verbindungen bei bis zu 60% des Gesamtchroms (Quelle: DGUV Information 209-058 – Schweißtechnische Arbeiten mit chrom- und nickellegierten Zusatz und Grundwerkstoffen, Punkt 3.1)

Die angetroffenen Schutzmaßnahmen beim MAG-Schweißen von Edelstahl entsprechen denen vom MAG-Schweißen von Baustahl.

**Tabelle 8:** Messwerte MAG-Schweißen Edelstahl (n=20)

Gefahrstoff (Staubfraktion)	Einheit	Median	95- Perzentil	Anteil Werte [%] mit Messwert c		
				c > AGW,TK	AK < c < TK	c > KZW <sub>30</sub>
E-Staub	[mg/m <sup>3</sup> ]	2,3	10	7	-	7
A-Staub	[mg/m <sup>3</sup> ]	1,2	<b>5,7</b>	45	-	25
Arsen (E)	[µg/m <sup>3</sup> ]	0,25	0,52	0	7	-
Beryllium (E)	[µg/m <sup>3</sup> ]	0,0058	0,069	0	-	-
Beryllium (A)	[µg/m <sup>3</sup> ]	0,0033	0,013	0	-	-
Cadmium (E)	[µg/m <sup>3</sup> ]	0,012	0,013	0	-	-
Cadmium (A)	[µg/m <sup>3</sup> ]	0,0066	0,027	0	-	-
Chrom (E)	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,14	0,90	0	-	-
Chrom(VI) (E)	[µg/m <sup>3</sup> ]	<b>8,2</b>	<b>33</b>	67	-	56
Cobalt (A)	[µg/m <sup>3</sup> ]	0,27	<b>2,4</b>	0	45	-
Kupfer (A)	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,0048	<b>0,027</b>	25	-	25
Mangan (E)	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,10	<b>0,48</b>	13	-	7
Mangan (A)	[mg/m <sup>3</sup> ]	<b>0,044</b>	<b>0,50</b>	70	-	40
Nickel (E)	[mg/m <sup>3</sup> ]	<b>0,087</b>	<b>0,27</b>	71	-	36
Nickel (A)	[µg/m <sup>3</sup> ]	<b>17</b>	<b>260</b>	65	-	60
Zink (E)	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,0048	0,028	0	-	-
Zink (A)	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,0048	0,012	0	-	-

Wie Tabelle 8 zeigt, ist bei fast der Hälfte der Messungen der Arbeitsplatzgrenzwert für A-Staub überschritten. Viel wesentlicher sind beim MAG-Schweißen von Edelstählen die Belastung durch krebserzeugende Staubinhaltsstoffe. Bei 65 % der Messungen wurden die Beurteilungsmaßstäbe für die krebserzeugenden Nickelverbindungen, bei 67 % für die hexavalenten Chromverbindungen sowie bei 45 % die Akzeptanzkonzentration für Cobalt überschritten. Diese Arbeitsplätze befinden sich demnach zum größten Teil im Bereich des hohen Krebsrisikos. Zusätzlich wurden die AGWs für Mangan im A-Staub (bei 70 % der Messungen), Nickel und Nickelverbindungen im E-Staub (bei 71 % der Messungen) sowie weniger häufig die AGWs für Mangan im E-Staub und Kupfer im A-Staub überschritten. Auch bei diesem Verfahren konnte keine Differenzierung nach den verwendeten Zusatzstoffen gemacht werden.

Wie auch beim Baustahl, müssten auch beim kurzzeitigen dauerhaften MAG-Schweißen von Edelstahl über einen Zeitraum von 30 pro Schicht bei 60 % der Messungen die Schutzmaßnahmen als nicht ausreichend erachtet werden, da in diesen Fällen für Nickel im A-Staub der Kurzzeitwert nicht eingehalten ist. Ähnliches gilt bei 56 % der Messungen wegen Chrom(VI) und bei 40 % wegen Mangan im A-Staub, sowie für weitere Gefahrstoffe (siehe Tabelle 8).

Die Erfassung der Schweißrauche an den Arbeitsplätzen war häufig unzureichend. Ursächlich war, wie beim Schweißen von Baustahl auch, eine mangelnde Wirksamkeit oder eine schlechte Positionierung der Absaugvorrichtung.

### 9.1.2 WIG-Schweißen

Das Wolfram-Inertgasschweißen (WIG-Schweißen) ist ebenfalls ein Lichtbogenschweißverfahren. Der elektrische Lichtbogen entsteht zwischen dem Werkstück und einer Wolframelektrode. Beim WIG-Schweißen kommen inerte Gase wie Argon oder Helium zum Einsatz. WIG-Schweißen wird hauptsächlich bei hochlegierten korrosions- und säurebeständigen Stählen (Edelstähle) verwendet und es sind besonders hohe Nahtqualitäten zu erreichen. Das Verfahren ist emissionsärmer, jedoch bedeutend langsamer als das MAG-Schweißen.

Wegen des hohen Schmelzpunktes von Wolfram schmilzt die Elektrode im Gegensatz zum MAG-Verfahren nicht ab. Der Zusatzwerkstoff wird in Form von Drähten oder Stäben in den Lichtbogen gebracht und wird dabei geschmolzen. Damit die Schmelze nicht mit der Umgebungsluft reagiert, werden die Schutzgase (inerte Gase) in die Pistole geführt und ummanteln die Elektrode und die Schweißstelle.

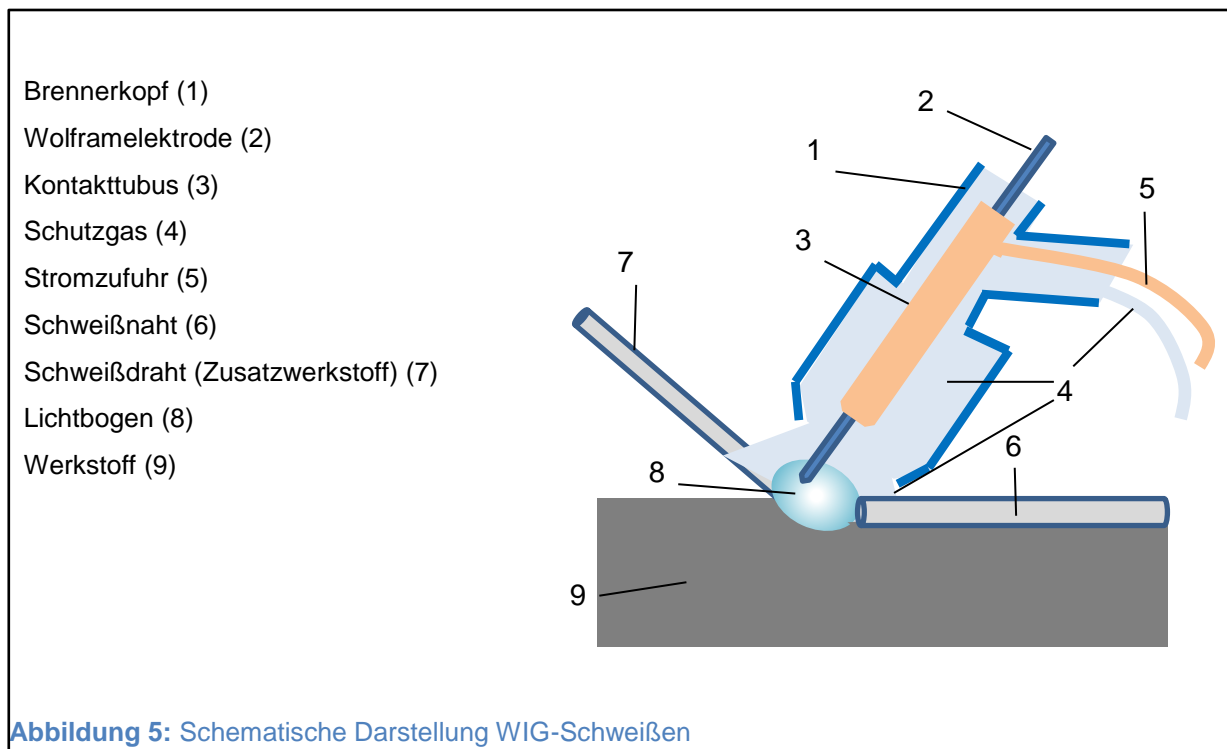


Abbildung 5: Schematische Darstellung WIG-Schweißen



### 9.1.2.1 Messergebnisse beim WIG-Schweißen von Baustahl

WIG-Schweißen von Baustahl hat in den im Projekt betrachteten Betrieben nur wenig Anwendung gefunden. Von den 187 tätigkeitsbezogenen zeitgewichteten Mittelwerten konnten nur 6 Werte aus unterschiedlichen Betrieben dem WIG-Schweißen von Baustahl zugeordnet werden. Alle Arbeitsplätze verfügten über Absaugarme zum Erfassen der Schweißrauche an der Entstehungsquelle. Mangan ist in den verwendeten Zusatzwerkstoffen mit ca. 1,5 %, der Anteil an Nickel mit 0,3 % angegeben.

Eine statistische Auswertung ist nicht möglich, da das Datenkollektiv zu klein ist. Auffällig erhöhte Konzentrationen in der Luft am Arbeitsplatz wurden bei Einhaltung der ASGW für A- und E-Staub für Nickel und Nickelverbindungen im E-Staub, Nickelverbindungen im A-Staub und Mangan im A-Staub gefunden. Für Nickel und Nickelverbindungen im E-Staub lag das Maximum bei 0,40 mg/m<sup>3</sup> (Stoffindex I=13) und für Mangan im A-Staub bei 0,064 mg/m<sup>3</sup> (Stoffindex I=3,2). Für krebserzeugende Nickelverbindungen wurde ein maximaler Wert von 14 µg/m<sup>3</sup> ermittelt und damit der Beurteilungsmaßstab um Faktor 2,3 überschritten.

Auch wenn das Verfahren deutlich emissionsärmer als andere Schweißverfahren ist, wird trotz der wenigen Messungen deutlich, dass beim WIG-Schweißen von Baustahl nicht sichergestellt werden kann, dass die Beurteilungsmaßstäbe – insbesondere die der Staubinhaltsstoffe – eingehalten werden, da bei je einer Messung die Beurteilungsmaßstäbe für Nickel im E-Staub und für Mangan im A-Staub überschritten wurden. Um genauere Aussagen treffen zu können, sind weitere Messungen erforderlich. Ursache für die Grenzwertüberschreitungen war erneut die mangelhafte Absaugung der Schweißrauche an der Emissionsquelle; die Absaugungen wurden nicht nahe genug an der Entstehungsquelle positioniert. Da nur wenig Schweißrauch beim WIG-Schweißen entsteht, konnte die mangelnde Wirksamkeit nicht mit bloßem Auge erkannt werden.



Abbildung 6: WIG-Schweißarbeitsplatz mit gut positionierter Absaugung

### 9.1.2.2 Messergebnisse beim WIG-Schweißen von korrosions- und säurebeständigem Stahl (Edelstahl)

Insgesamt wurden beim WIG-Schweißen von Edelstahl insgesamt je 22 zeitgewichtete tätigkeitsbezogene Mittelwerte bzw. Schichtmittelwerte für A- und E-Staub und die Staubinhaltsstoffe in 7 verschiedenen Betrieben ermittelt.

Die angetroffenen Schutzmaßnahmen entsprachen denen der anderen Schweißverfahren.

**Tabelle 9:** Messwerte WIG-Schweißen Edelstahl (n=22)

Gefahrstoff (Staubfraktion)	Einheit	Median	95- Perzentil	Anteil Werte [%] mit Messwert c		
				c > AGW,TK	AK < c < TK	c > KZW <sub>30</sub>
E-Staub	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,56	4,3	5	-	5
A-Staub	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,23	0,58	5	-	-
Arsen (E)	[µg/m <sup>3</sup> ]	< 0,13	0,24	0	-	-
Beryllium (E)	[µg/m <sup>3</sup> ]	< 0,0033	0,0062	0	-	-
Beryllium (A)	[µg/m <sup>3</sup> ]	< 0,0033	0,0067	0	-	-
Cadmium (E)	[µg/m <sup>3</sup> ]	< 0,0066	0,013	0	-	-
Cadmium (A)	[µg/m <sup>3</sup> ]	< 0,0066	0,013	0	-	-
Chrom (E)	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,012	0,21	5	-	9
Chrom(VI) (E)	[µg/m <sup>3</sup> ]	< 0,43	0,90	0	-	-
Cobalt (A)	[µg/m <sup>3</sup> ]	0,042	0,16	0	5	-
Kupfer (A)	[mg/m <sup>3</sup> ]	< 0,0021	0,0042	0	-	-
Mangan (E)	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,0064	0,083	5	-	-
Mangan (A)	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,0060	0,020	5	-	-
Nickel (E)	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,0032	<b>0,38</b>	27	-	9
Nickel (A)	[µg/m <sup>3</sup> ]	< 0,17	<b>18</b>	24	-	5
Zink (E)	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,0061	0,051	0	-	-
Zink (A)	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,0031	0,032	0	-	-

Ca. 25 % der Messwerte für Nickel und Nickelverbindungen lagen oberhalb der Beurteilungsmaßstäbe, obwohl nur in 5 % der Fälle der ASGW der beiden Staubfraktionen überschritten wurde. Da wenig Schweißrauche bei diesem Verfahren entstehen und die ASGW für die Stäube

größtenteils eingehalten sind, ist es für die Betriebe schwer nachvollziehbar, dass eine Gefährdung der Arbeitnehmer durch die Staubinhaltsstoffe vorliegt. Die vorgefundenen Überschreitungen des Beurteilungsmaßstabs wurden insbesondere bei der Verwendung von Nickelbasis-Drähten (z.B.: Werkstoffnummern 2.4607, 2.4806 und 2.4831) ermittelt. Bei diesen Drähten liegt der Nickelanteil im Material bei 50 % - 60 %, der Chromanteil liegt bei max. 20 %. Sie finden häufig im Behälterbau Anwendung. Die klassischen WIG-Schweißdrähte wie z.B. 1.4430, 1.4370, 1.4576 oder 1.4541 enthalten ebenfalls ca. 20 % Chrom, der Nickelanteil liegt mit 8 – 12 % jedoch deutlich niedriger. Weitere Aussagen bzgl. der Zusatzwerkstoffe können nicht gemacht werden, da für eine weitere Differenzierung die Anzahl der Messungen zu gering ist.

Beim kurzfristigen WIG-Schweißen von Edelstahl über einen andauernden Zeitraum von 30 Minuten muss nur in wenigen Messungen (< 10 %) davon ausgegangen werden, dass die Schutzmaßnahmen nicht ausreichend sind (siehe Tabelle 9 letzte Spalte).

Auch beim WIG-Schweißen ist die Mitführung der Absaugung wesentlich. Insbesondere in Behälterinnenräumen ist der Platz oft beengt und die vorhandenen flexiblen Absaugarme können nicht positioniert werden (siehe Abbildung 7). Die Arbeitnehmer tragen bei diesen Tätigkeiten Atemschutz, häufig als nicht-belastenden Atemschutz in Form von Schweißerschutzhauben mit Frischluftzufuhr. Schweißpistolen mit brennerintegrierter Absaugung wurden vor Ort bei diesen Tätigkeiten nicht vorgefunden. Diese könnten aber im Behälterinnenraum evtl. eine positive Wirkung haben. Allerdings ist deren Akzeptanz durch den zusätzlichen Absaugeschlauch und damit eine erschwerte Handhabung eher gering.



**Abbildung 7:** WIG-Schweißen im Innenraum eines Edelstahlbehälters

Auch bei Tätigkeiten auf einem Behälter ist eine Nachführung der Absaugungen schwierig (Abbildung 8). Hier ist einerseits oft die Reichweite der Absaugarme nicht ausreichend, andererseits ist die Nachführung auf den zu begehenden Oberflächen sehr schwierig.



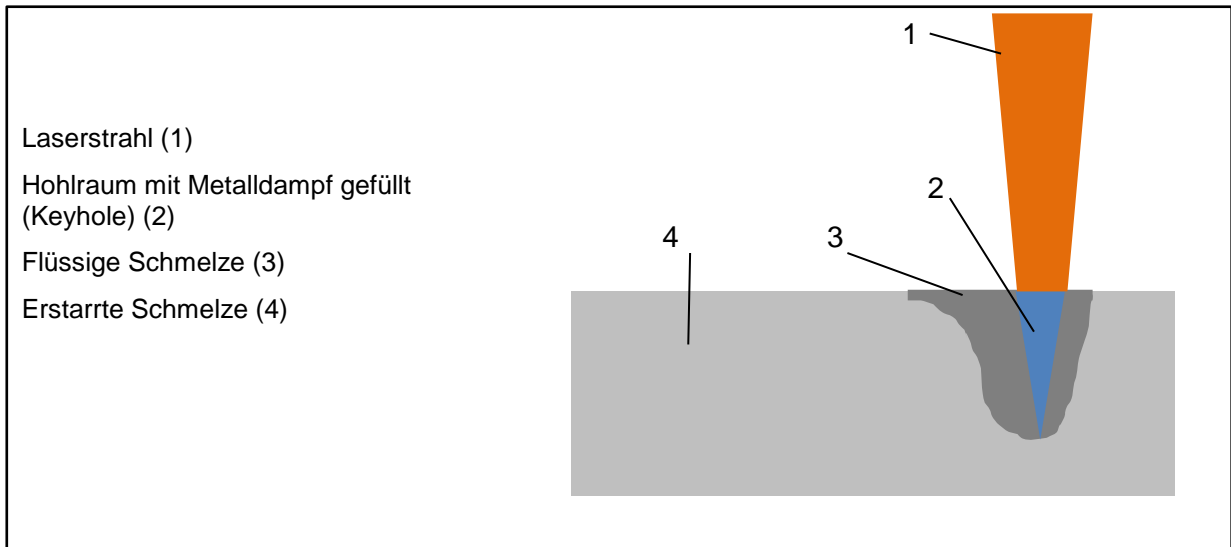
**Abbildung 8:** WIG-Schweißen an der Oberfläche eines Edelstahlbehälters

### 9.1.3 Automatische Schweiß- und Schneidverfahren

Die automatischen Schweiß- und Schneidverfahren werden in der Auswertung zusammengefasst. In allen Fällen handelt es sich um automatisierte und damit gekapselte Prozesse. Nachfolgend werden die häufig angetroffenen Verfahren beschrieben. Weitere Informationen zur Unterscheidung der Verfahren finden sich in der TRGS 528 „Schweißtechnische Arbeiten“, Anhang 1. Die Probenahmen wurden entweder personengetragen oder personenbeziehbar als stationäre Messungen durchgeführt. In diesem Fall wurden die Probenahmegeräte in der Höhe der Bedienpulte der Anlagen aufgestellt und die Messwerte – berechnet als Schichtmittelwerte – entsprechen der Situation, dass der Anlagenbediener sich über die gesamte Arbeitsschicht in der Nähe des Bedienpultes befunden hat.

#### 9.1.3.1 Laserschweißen und -schneiden

Beim Laserschweißen erfolgt die Energiezuführung über einen Laser und wird vor allem zum Fügen von Bauteilen eingesetzt, bei denen eine hohe Schweißgeschwindigkeit und eine schmale Schweißnaht erforderlich sind. Laserschweißen wird in der Regel ohne einen Zusatzwerkstoff ausgeführt. Durch den gerichteten Laserstrahl bildet sich am Werkstück eine Schmelze, durch die die Teile miteinander verbunden werden. Die Schweißstelle wird zum Schutz vor Oxidation durch Luftsauerstoff mit hochreinem Argon umspült.

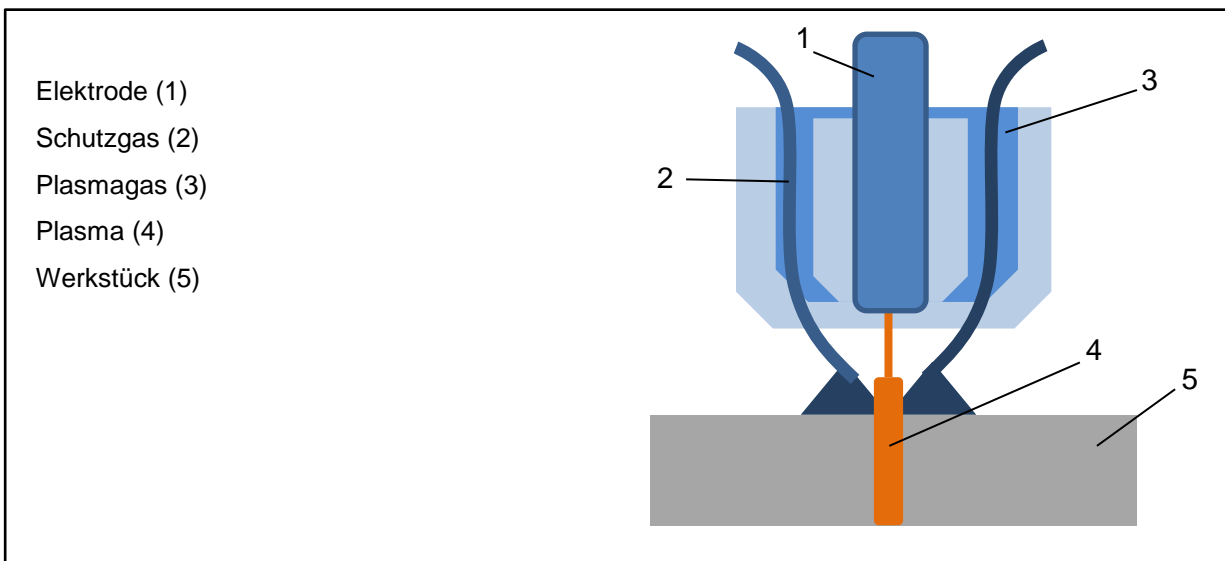


**Abbildung 9:** schematische Darstellung Laserschweißen

Das Laserschneiden ist verwandt mit dem Laserschweißen, es fügt jedoch das Material nicht zusammen, sondern ist ein Trennverfahren. Die flüssige Schmelze wird mittels eines Prozessgases (Blasgas) aus der Fuge getrieben.

### 9.1.3.2 Plasmaschweißen und -schneiden

Beim Plasmaschweißen dient ein durch einen Lichtbogen hochoverhitztes, elektrisch leitendes Gas (Plasma) als Energiequelle. Im Brenner wird das Plasmagas (Argon) durch Hochfrequenzimpulse ionisiert und ein Hilfslichtbogen gezündet. Dieses brennt zwischen einer negativen Wolframelektrode und der als Düse ausgebildeten Anode (Kupfer) und ionisiert die Gassäule zwischen den beiden Polen. Eine geringfügige Beimischung von Wasserstoff oder Helium zum Argon erhöht die Schweißgeschwindigkeit. Die nahezu zylindrische Plasmasäule ergibt eine hohe Energiekonzentration. Hauptanwendungsbereiche sind der Behälter- und Apparatebau, der Rohrleitungsbau und die Raumfahrt.



**Abbildung 10:** schematische Darstellung Plasmaschweißen

Das Plasmaschneiden entwickelte sich aus dem Plasmaschweißen. Es handelt sich um ein Trennverfahren.

### 9.1.3.3 Messergebnisse bei den automatischen Verfahren

Bei den automatischen Verfahren wurden insgesamt 17 tätigkeitsbezogene Schichtmittelwerte an Schweißautomaten, Plasmaschneidanlagen und Laserschweiß- und -schneidanlagen durchgeführt. Eine Differenzierung nach den einzelnen Verfahren ist zum jetzigen Zeitpunkt des Projektes nicht möglich, da die Anzahl der Messungen an den Anlagen für eine separate Betrachtung nicht ausreichend ist.

**Tabelle 10:** Messwerte automatische Schweiß- und Schneidverfahren (n=17)

Gefahrstoff (Staubfraktion)	Einheit Werte	Median	95- Perzentil	Anteil Werte [%] mit Messwert c	
				c > AGW, TK	AK < c < TK
<b>E-Staub</b>	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,23	0,62	0	-
<b>A-Staub</b>	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,12	0,35	0	-
<b>Arsen (E)</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	0,13	0,25	0	-
<b>Beryllium (E)</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	< 0,0033	0,0040	0	-
<b>Beryllium (A)</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	< 0,0033	0,0040	0	-
<b>Cadmium (E)</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	< 0,0066	0,013	0	-
<b>Cadmium (A)</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	< 0,0066	0,013	0	-
<b>Chrom (E)</b>	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,0074	0,022	0	-
<b>Chrom(VI) (E)</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	0,43	0,86	0	-
<b>Cobalt (A)</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	0,042	0,48	0	6
<b>Kupfer (A)</b>	[mg/m <sup>3</sup> ]	<0,0021	0,0042	0	-
<b>Mangan (E)</b>	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,0039	0,017	0	-
<b>Mangan (A)</b>	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,0044	0,018	6	-
<b>Nickel (E)</b>	[mg/m <sup>3</sup> ]	<0,0017	0,0060	0	-
<b>Nickel (A)</b>	[µm/m <sup>3</sup> ]	<1,7	4,4	6	-
<b>Zink (E)</b>	[mg/m <sup>3</sup> ]	<0,0024	0,0048	0	-
<b>Zink (A)</b>	[mg/m <sup>3</sup> ]	<0,0024	0,0049	0	-

Bei den automatischen Verfahren wurden in der Regel alle Beurteilungsmaßstäbe eingehalten. Alle automatisierten Anlagen verfügten über Absaugungen. Die Arbeitnehmer befanden sich außer zu Transport- und Bereitstellungsarbeiten im Bereich der Anlagen und trugen bei ihren Tätigkeiten keinen Atemschutz. Mit der Bedienung, Kontrolle und Einrichtung der Anlage waren sie zu max. 20 % ihrer Arbeitszeit beschäftigt. Reinigungsarbeiten an der Anlage entfielen, da die im Anlageninneren entstehenden Rauche oder Stäube durch die integrierte Absaugung erfasst werden.

An nur einer Anlage wurden die Beurteilungsmaßstäbe für Mangan und Nickel überschritten, für Cobalt wurde an der gleichen Anlage die Akzeptanzkonzentration überschritten, die Toleranzkonzentration wurde eingehalten. Die dort gemessenen Werte sind aber nicht zwingend auf die automatische Anlage zurückzuführen, sondern wurden voraussichtlich durch organisatorische Mängel im Betrieb verursacht. Im gleichen Hallenteil befand sich ein Schleifarbeitsplatz, an dem die Schleifarbeiten ohne technische Absaugung durchgeführt wurden. Außerdem hatte die Halle einen ständig geöffneten Durchgang zum benachbarten Schweißbereich, in dem unter anderem die Beurteilungsmaßstäbe von Nickel, Cobalt und Mangan im A-Staub überschritten waren. Zwischen beiden Hallen herrschte reger Staplerverkehr.

Automatische Anlagen werden in der Regel nicht kurzfristig eingesetzt.



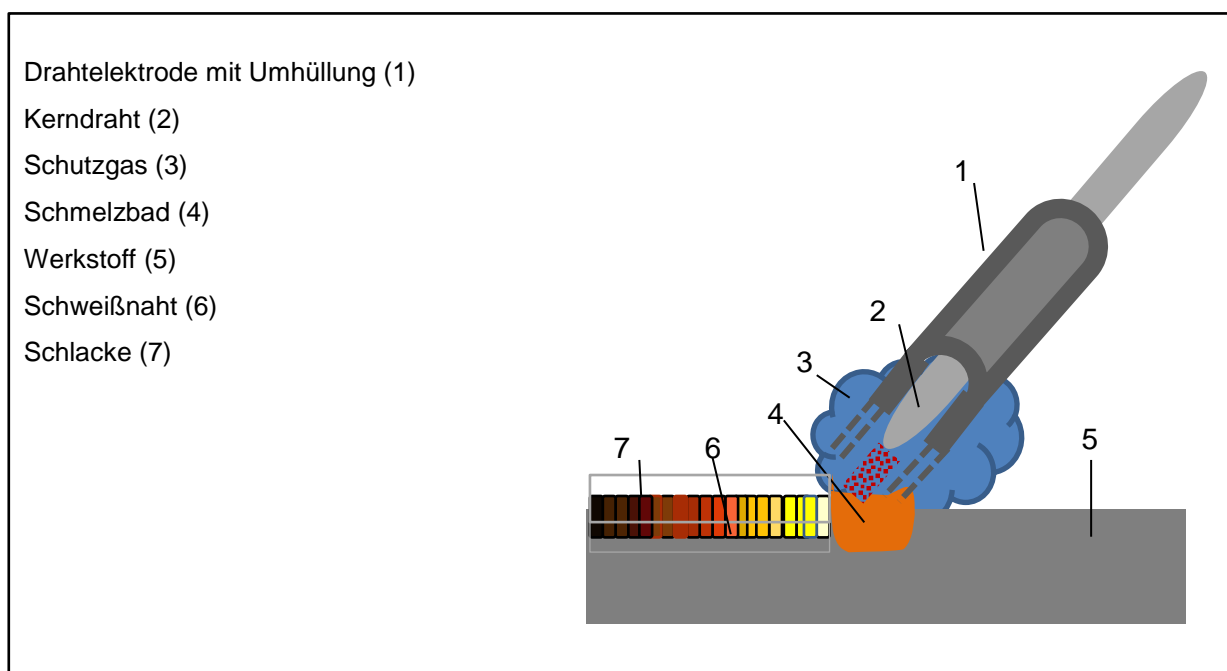
**Abbildung 11:** Plasmaschneidanlage mit personenbeziehbarer stationärer Probenahme (siehe Pfeil)

#### 9.1.4 Elektrodenschweißen (Lichtbogenhandschweißen)

Das Elektrodenschweißen ist ein manuelles, relativ langsames und damit für die Fertigung ein eher unproduktives Schmelzschweißverfahren. Von Vorteil sind die einfache Handhabung und flexiblen Einsatzmöglichkeiten. Bei diesem Verfahren brennt zwischen dem Werkstoff und der Elektrode ein Lichtbogen, der auf eine kleine Fläche wirkt. Der Werkstoff wird mit dem einen Pol (meist +) der Schweißstromquelle verbunden, die Elektrode mit dem anderen Pol (meist -).

Dadurch entsteht der Lichtbogen, der sowohl den Werkstoff, als auch die Elektrode schmilzt. Diese fungiert somit gleichzeitig als Zusatzwerkstoff, der zusammen mit dem Werkstoff das Schmelzbad und die spätere Schweißnaht bildet. Eine wichtige Bedeutung bei diesem Verfahren hat die Umhüllung der Stabelektroden. Diese bildet Schutzgase, die die Schmelze umströmen, sowie Schlacke. Die Schlacke ist leichter als die Schmelze und schwimmt obenauf. Die Schlacke stellt einen Schutz vor der Umgebung dar und sorgt für eine langsamere Abkühlung der Schmelze und der erstarrten Naht.

Das Verfahren wird hauptsächlich bei Arbeiten auf Baustellen und Reparaturarbeiten verwendet. Es ist für viele Werkstoffe und auch für ungünstig zu erreichende Schweißstellen geeignet. Der Einfluss von Wind auf Baustellen hat wenig Einfluss auf die Schweißgüte und es ist auch für Arbeiten unter Wasser im Schiffsbau einsetzbar (Unterwasserschweißen).



**Abbildung 12:** schematische Darstellung Elektrodenschweißen

Elektrodenschweißen hat in den im Projekt betrachteten Betrieben nur wenig Anwendung gefunden, da es zwar einerseits sehr flexibel einsetzbar ist, andererseits für die Fertigung auf Grund der benötigten Schweißzeit weniger geeignet ist. Reparatur- und Instandhaltungsarbeiten, bei denen dieses Verfahren häufig zum Einsatz kommt, wurden wegen der schlechten Planbarkeit der Arbeiten und deren meist kurzen Bearbeitungszeit nicht beprobt. Von den 187 tätigkeitsbezogenen zeitgewichteten Mittelwerten kam nur bei 5 Werten Elektrodenschweißen zur Anwendung (in 2 von 19 Betrieben). Eine statistische Auswertung ist nicht erfolgt, da das Datenkollektiv zu klein ist.

In einem Betrieb hatte das Elektrodenschweißen einen höheren Stellenwert und wurde häufig in Verbindung mit dem MAG-Schweißen eingesetzt. Drei der tätigkeitsbezogenen zeitgewichteten Schichtmittelwerte werden diesem Betrieb zugeordnet. Die Beurteilungsmaßstäbe für E-Staub, A-Staub, Mangan im E- und A-Staub, Nickel im E- und A-Staub und Chrom(VI) im E-Staub wurden bei allen drei Messungen überschritten.





**Abbildung 13:** Beispiel für Elektrodenschweißen

## 9.2 Schleifen

Die Schweißnähte aus den unterschiedlichen Schweißverfahren werden nach dem Aushärten zum Glätten und Entgraten der Schweißnähte geschliffen. Dazu kommen hauptsächlich elektrisch betriebene handgeführte Winkelschleifer mit schnell rotierenden Schleifscheiben zum Einsatz. Gelegentlich werden auch (Fein-)Geradschleifer mit runden Schleifköpfen insbesondere zum Entgraten von Aussparungen in Blechen, z.B. bei Löchern verwendet. Kurzfristige Schleifarbeiten kamen bei den Schweißarbeiten als Nebenarbeiten häufig vor und sind in die Auswertungen der Schweißarbeiten mit eingeflossen (siehe auch TRGS 528, Kapitel 2). Bei der nachfolgenden Auswertung wurden Schleifarbeiten mit einer Dauer von mindestens einer Stunde – unabhängig vom geschliffenen Material – betrachtet. In einigen Betrieben gab es separate Schleifereien. Im Gegensatz zu den Schweißarbeiten wurden die Schleifarbeiten häufig nicht mit technischer Objektabsaugung, sondern ausschließlich mit persönlicher Schutzausrüstung durchgeführt.



**Abbildung 14:** Arbeiten mit Winkelschleifer zum Glätten und Entgraten

Beim Schleifen konnten 20 zeitgewichtete Mittelwerte berechnet werden. Es handelt sich in diesem Fall um separate Schleifarbeitsplätze aus 7 Betrieben, an denen während der gesamten Messzeit manuell geschliffen wurde.

**Tabelle 11:** Messwerte Schleifverfahren (n=20)

Gefahrstoff (Staubfraktion)	Einheit	Median	95- Perzentil	Anteil Werte [%] mit Messwert c		
				c > AGW, TK	AK < c < TK	c > KZW <sub>30</sub>
E-Staub	[mg/m <sup>3</sup> ]	1,6	<b>21</b>	20	-	20
A-Staub	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,48	<b>3,8</b>	20	-	20
Arsen (E)	[µg/m <sup>3</sup> ]	0,25	<b>3,7</b>	0	10	-
Beryllium (E)	[µg/m <sup>3</sup> ]	0,0067	0,0076	0	-	-
Beryllium (A)	[µg/m <sup>3</sup> ]	0,0067	0,0076	0	-	-
Cadmium (E)	[µg/m <sup>3</sup> ]	0,0066	0,064	0	-	-
Cadmium (A)	[µg/m <sup>3</sup> ]	0,0066	0,026	0	-	-
Chrom (E)	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,062	1,9	5	-	-
Chrom(VI) (E)	[µg/m <sup>3</sup> ]	0,86	0,87	0	-	-
Cobalt (A)	[µg/m <sup>3</sup> ]	0,064	<b>1,2</b>	0	20	-
Kupfer (A)	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,0042	<b>0,029</b>	20	-	20
Mangan (E)	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,013	0,14	0	-	-

Gefahrstoff (Staubfraktion)	Einheit	Median	95- Perzentil	Anteil Werte [%] mit Messwert c		
				c > AGW, TK	AK < c < TK	c > KZW <sub>30</sub>
<b>Mangan (A)</b>	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,033	<b>0,045</b>	10	-	-
<b>Nickel (E)</b>	[mg/m <sup>3</sup> ]	<b>0,036</b>	<b>0,77</b>	55	-	15
<b>Nickel (A)</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	4,0	<b>52</b>	35	-	10
<b>Zink (E)</b>	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,0048	0,010	0	-	-
<b>Zink (A)</b>	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,0048	0,010	0	-	-

Beim Schleifen entsteht ein deutlich höherer Anteil an E-Staub am Gesamtstaub als bei den vorgenannten Schweißverfahren. Bei ca. 20 % der Messungen wurde der ASGW für E-Staub in Höhe von 10 mg/m<sup>3</sup> überschritten. Bei Überschreitung des ASGW für E-Staub war auch immer der ASGW für A-Staub überschritten. Insbesondere bei krebserzeugenden Nickelverbindungen im A-Staub lag der Anteil der Messungen mit Überschreitung des Beurteilungsmaßstabes mit ca. 35 % noch höher. Im E-Staub wurde der Beurteilungsmaßstab für Nickel und Nickelverbindung sogar bei 55 % der Messungen überschritten. Dies bedeutet, dass auch bei Einhaltung der Staubgrenzwerte nicht sichergestellt ist, dass die Beurteilungsmaßstäbe für Nickel in den beiden Fraktionen eingehalten werden. Für die weiteren Staubinhaltsstoffe, die in der Tabelle 11 aufgelistet sind, wurden bei den vorliegenden Messungen bei Einhaltung der Staubgrenzwerte auch deren Beurteilungsmaßstäbe eingehalten.

Bei kurzfristigen Schleifarbeiten von einer zusammenhängenden Dauer von 30 Minuten muss auf Grund der Kurzzeitwertanforderungen bei 20 % der Messungen auf Grund der Konzentrationen von A-Staub, E-Staub und Kupfer im A-Staub und bei 15 % der Messungen wegen der Konzentration von Nickel im E-Staub der Befund „Schutzmaßnahmen nicht ausreichend“ gestellt werden (siehe Tabelle 11).

### 9.3 Hallengrundbelastung

Die Hallengrundbelastung ist, wenn technische Maßnahmen nicht wirksam sind, wesentlich für die Beurteilung der Belastungssituation aller Arbeitnehmer in der Halle. Ist diese hoch, können sowohl die Schweißer als auch andere in den Hallen beschäftigte Arbeitnehmer (Bystander) durch Staub oder Staubinhaltsstoffe gefährdet werden.

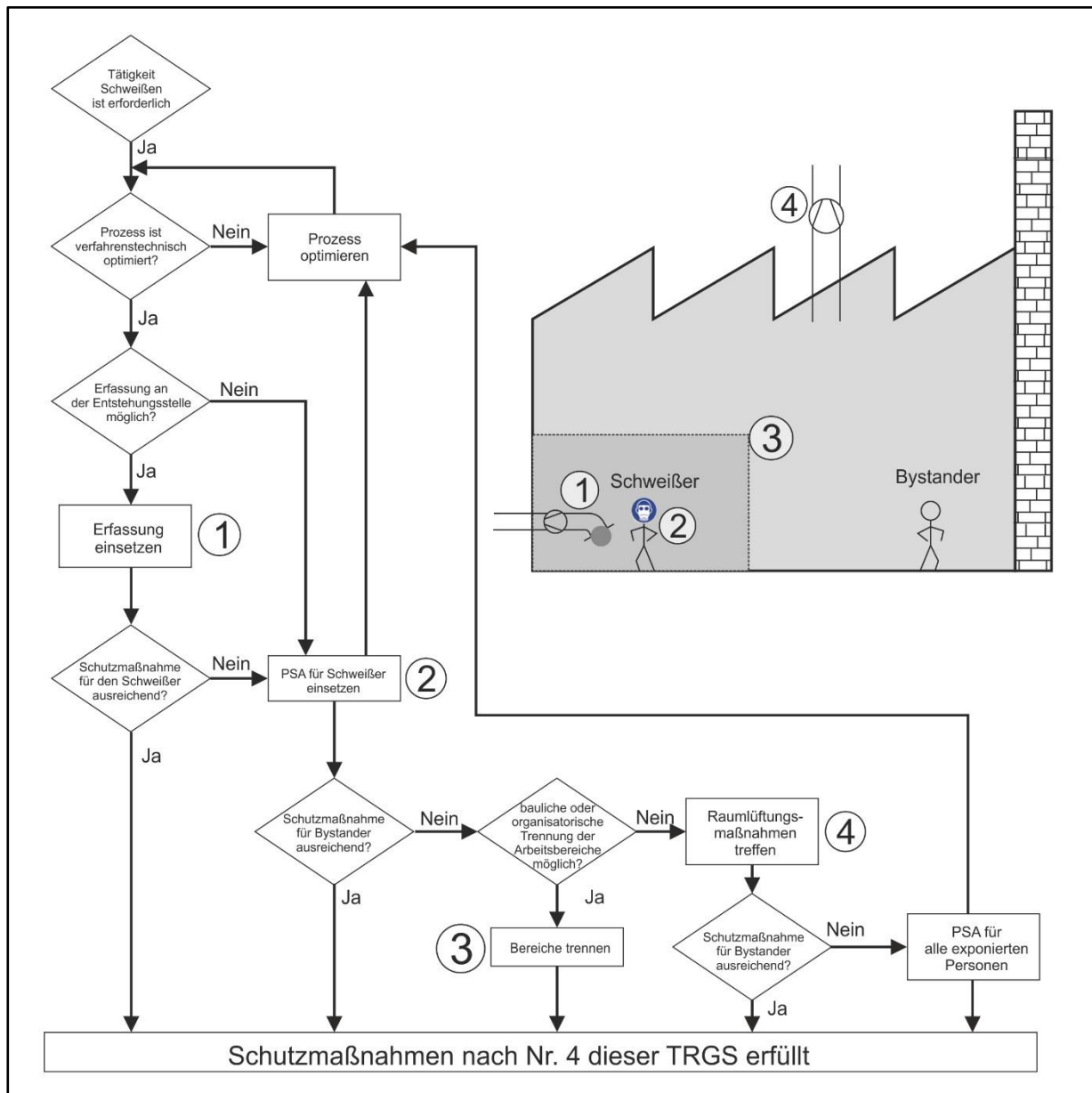
Diese Gefährdung durch die Grundbelastung in den Hallen muss bei jeder Gefährdungsbeurteilung unbedingt betrachtet werden. Für die Hallengrundbelastung wurden insgesamt 49 zeitgewichtete Mittelwerte ermittelt.

**Tabelle 12:** Messwerte Hallengrundbelastung (n=49)

Gefahrstoff (Staubfraktion)	Einheit Werte	Median (50 Perzentil)	95- Perzentil	Anteil Werte [%] mit Messwert c	
				c > AGW, TK	AK < c < TK
<b>E-Staub</b>	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,41	2,1	0	-
<b>A-Staub</b>	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,18	0,78	2	-
<b>Arsen (E)</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	< 0,13	0,25	0	-
<b>Beryllium (E)</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	< 0,0033	0,0067	0	-
<b>Beryllium (A)</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	< 0,0033	0,0067	0	-
<b>Cadmium (E)</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	< 0,0066	0,013	0	-
<b>Cadmium (A)</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	< 0,0066	0,013	0	-
<b>Chrom (E)</b>	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,0052	0,13	0	-
<b>Chrom(VI) (E)</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	0,43	<b>3,7</b>	11	-
<b>Cobalt (A)</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	0,042	0,46	0	4
<b>Kupfer (A)</b>	[mg/m <sup>3</sup> ]	< 0,0021	0,0042	0	-
<b>Mangan (E)</b>	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,0040	0,054	0	-
<b>Mangan (A)</b>	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,0031	<b>0,035</b>	14	-
<b>Nickel (E)</b>	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,0018	<b>0,055</b>	10	-
<b>Nickel (A)</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	< 1,7	<b>26</b>	12	-
<b>Zink (E)</b>	[mg/m <sup>3</sup> ]	0,0025	0,030	0	-
<b>Zink (A)</b>	[mg/m <sup>3</sup> ]	<0,0024	0,012	0	-

Bei einer der 49 Messungen (2 %) wurde der ASGW für A-Staub in der Hallenluft überschritten. Wesentlicher für die Ermittlung der Gefährdung sind neben der Staubbelastung die Belastung durch Staubinhaltsstoffe. Die Ermittlungen zeigen, dass auch Beurteilungsmaßstäbe für Nickel im E-Staub, Mangan im A-Staub und die krebserzeugenden Cobalt-, Nickel- und Chrom(VI)-Verbindungen im Hallengrundpegel teilweise überschritten wurden. Dies bedeutet, dass für alle Arbeitnehmer, die sich im Bereich der Hallen in diesen Betrieben aufhielten, ein mittleres bis hohes Krebsrisiko besteht. Damit wird deutlich, dass der Absaugung der Staubemissionen an der Entstehungsquelle eine relevante Bedeutung zukommt. Der Einsatz von persönlichem Atemschutz anstelle von technischen Maßnahmen zur Staubminderung kann das Problem vom Schweiß- oder Schleifarbeitsplatz auf alle Arbeitsplätze in der Halle verlagern. Im Regelfall sind

dann nicht nur die Bystander, sondern auch die Arbeitnehmer an den Schweiß- und Schleifarbeitsplätzen davon betroffen, wenn diese für weitere Arbeiten im Bereich der Halle die gebläseunterstützten Schweißhelme abnehmen. Die Bystander tragen in der Regel keinen Atemschutz.



**Abbildung 15:** Flussdiagramm zur Auswahl von Schutzmaßnahmen bei schweißtechnischen Arbeiten (aus TRGS 528 Anhang 2)

## 10 Lösungsansätze zur Minimierung der Gefahrstoffbelastung

Aufgrund der Datenlage können nur Lösungsansätze zur Minimierung der Gefahrstoffbelastung an den Schweißarbeitsplätzen aufgezeigt werden. Eine Lösung im Sinne einer Beschreibung, bei welchen Verfahren und Parametern die Beurteilungsmaßstäbe an den Arbeitsplätzen eingehalten werden können, ist nicht möglich, da die Höhe der Exposition nicht nur vom Schweißverfahren, sondern von einer Vielzahl von Prozessparametern beeinflusst wird. Die vorliegenden Messungen lassen auf Grund der zu geringen Anzahl von Messergebnissen eine detaillierte Unterscheidung innerhalb der Schweißverfahren nicht zu.

Im ersten Schritt muss nach TRGS 528 immer die Substitutionsprüfung stehen. Da der Werkstoff in der Regel nicht substituiert werden kann, ist nur ein Ersatz des verwendeten Fügeverfahrens denkbar. An dieser Stelle können keine konkreten Substitutionsvorschläge gemacht werden, da der Einsatz der verwendeten Verfahren von unterschiedlichen Parametern und Vorgaben von Kunden abhängig sein kann. Dennoch ist zu prüfen, ob andere mechanische Fügeverfahren oder automatische Verfahren eingesetzt werden können. Ist das nicht der Fall, ist zu prüfen, ob angewandte Schweißverfahren durch gefahrstoffärmere Verfahren (z.B. WIG-Schweißen, Unterpulverschweißen) substituiert werden können und das Prüfungsergebnis ist zu dokumentieren. Schweißverfahren mit einer niedrigen Freisetzung von Gefahrstoffen werden in Abschnitt 4.2. der TRGS 528 aufgeführt.

Hier bestehen Möglichkeiten, die in der betrieblichen Praxis oft nicht oder unzureichend ergebnisoffen geprüft werden. So wurden z.B. während des Projektes Probenahmen in mehreren Betrieben, die Behälter für unterschiedliche Medien hergestellt haben, durchgeführt. Auffällig war, dass bei in Form und Größe vergleichbaren Behältern diese sowohl mit MAG- als auch mit WIG-Schweißverfahren zusammengefügt wurden. In einigen Branchen, z.B. Behälterbau für Pharmaindustrie, sind die Vorgaben eindeutig. Dort sind die hohen Nahtqualitäten für die Verwendung wesentlich und es wird das WIG-Schweißverfahren eingesetzt. Das Tempo des Schweißvorgangs spielt dabei eine untergeordnete Rolle. In anderen Branchen sind die Anforderungen an die Nahtqualitäten weniger hoch, dort wird aus Kostengründen das schnellere und damit günstigere MAG-Schweißverfahren eingesetzt.

Grundsätzlich sind bei Schweißarbeiten Lüftungstechnische Maßnahmen nach dem Stand der Technik zu treffen (siehe TRGS 528 Abschnitt 4.3). Unabhängig von der Art der manuellen Schweißverfahren ist die Absaugung an der Emissionsquelle der Stäube von zentraler Bedeutung. Auch für die emissionsärmeren Verfahren, wie z.B. WIG-Schweißen, ist der Einsatz einer Absaugung an der Entstehungsstelle unerlässlich. Häufigste Ursache für die Überschreitung von Beurteilungsmaßstäben waren falsch positionierte Absaugungen oder die mangelnde Wirksamkeit der vorhandenen Absaugungen.

In der TRGS 528 wird die Reihenfolge der bei schweißtechnischen Arbeiten zu treffenden Schutzmaßnahmen dargestellt (siehe Abbildung 16). Als erste Maßnahme ist die Absaugung der Schweißrauche an der Entstehungsquelle genannt, gefolgt von weiteren technischen und organisatorischen Maßnahmen und persönlicher Schutzausrüstung. Die Messungen zeigen, dass es durch den ausschließlichen Einsatz von persönlicher Schutzausrüstung zu Problemen bei den Bystandern kommt, daher muss der Schutz der Schweißer immer mit technischen oder organisatorischen Maßnahmen erfolgen, um auch die Gefährdung weiterer Personen im Arbeitsbereich auszuschließen. Neben der wirksamen Absaugung der Gefahrstoffe an der Entstehungsquelle können dies auch bauliche bzw. organisatorische Maßnahmen sein, die sicherstellen, dass sich keine weiteren Arbeitnehmer in den Hallen, in denen geschweißt wird, aufhalten. Dies könnte z.B. die räumliche Abtrennung der Schweißbereiche von Montage- oder Lagerbereichen sein. Ferner können technische Anlagen zur Hallenluftreinigung eingesetzt werden, die zwar an den Schweiß- und Schleifarbeitsplätzen nicht ausreichen, um die Beurteilungsmaßstäbe bei diesen Tätigkeiten einzuhalten, aber immerhin die Belastung von Bystandern reduzieren können. Dies stellt insbesondere bei sehr großen Hallen eine technische und auch finanzielle Herausforderung dar. In kleineren Schweiß- und Schleifbereichen sind diese technischen Hallenlüftungen einfacher zu dimensionieren und damit auch kostengünstiger.

Um die Wirksamkeit sicherzustellen, sollten bei zentralen Absauganlagen nur die Anzahl der Absaugarme, die bei der Planung eingerechnet wurden, angeschlossen werden. Diese sollten mit Absperrvorrichtungen versehen werden, damit die Luft nur an den Arbeitsplätzen abgesaugt

wird, an denen tatsächlich geschweißt wird. Es sollte möglichst eine elektrische Absperrung erfolgen, gut wäre eine Schaltung, dass die Absaugung geöffnet wird, wenn das Schweißgerät in Betrieb genommen wird. Kommen im Laufe der Zeit weitere Schweißarbeitsplätze hinzu, dürfen diese nicht an die zentralen Absaugungen angeschlossen werden, ohne die Leistung der Anlage zu erhöhen. Die Absauganlagen sind regelmäßig zu warten und die Wirksamkeit zu prüfen. Zur Prüfung können auch einfache Verfahren mit raucherzeugenden Prüfmitteln, z.B. Strömungsprüfröhrchen oder Rauchgeneratoren, eingesetzt werden (siehe Abbildung 16).

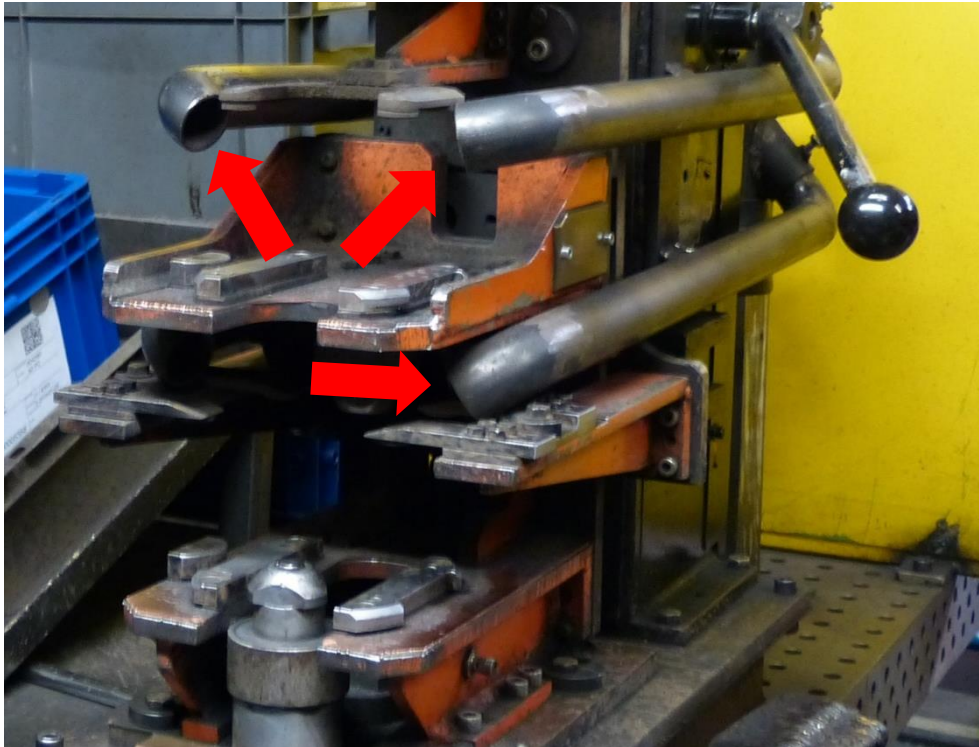


**Abbildung 16:** Überprüfung eines Absaugarmes auf seine Wirksamkeit mit einem Nebelgenerator

Ist ein zusätzlicher Anschluss an eine zentrale Absaugung nicht möglich, sind diese Schweißarbeitsplätze mit mobilen Schweißabsaugungen auszustatten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei mobilen Absaugungen die angesaugte Luft in den Arbeitsbereich zurückgeleitet wird. Je nach Wirksamkeit des Abscheidefilters wird dabei auch ein gewisser Anteil an Gefahrstoffen in den Arbeitsraum zurückgeführt. Wenn krebserzeugende Gefahrstoffe entstehen können (insbesondere bei Verwendung von chrom- und nickelhaltigen Werk- und Zusatzwerkstoffen), dürfen an den Arbeitsplätzen nur behördlich oder von den Trägern der gesetzlichen Unfallversicherung anerkannte Geräte der Schweißrauchabscheideklasse W3 eingesetzt werden.

Vorhandene Schweißrauchabsaugungen sollten je nach Anforderung der zu produzierenden Teile von den Betrieben optimiert werden.

Bei Serienfertigung, z.B. bei Automobilzulieferern, haben sich fest installierte Absaugvorrichtungen bewährt (siehe Abbildung 17).



**Abbildung 17:** Schweißarbeitsplatz mit fest installierten Absaugvorrichtungen (siehe Pfeile)

Bei umlaufenden Schweißnähten ist der Einsatz von Drehvorrichtungen mit einer Steuerung durch ein Fußpedal sinnvoll, die die Erfassung der Schweißrauche bei gleicher Position des Erfassungselements ermöglichen und gleichzeitig auch Fehlhaltungen der Arbeitnehmer verhindern (siehe Abbildung 18).



**Abbildung 18:** Schweißarbeitsplatz mit Drehvorrichtung zum Einspannen des Werkstücks, Steuerung der Vorrichtung mit Fußschalter



Eine weitere Möglichkeit zur Optimierung der Position der Absaugvorrichtung zum Werkstück stellen höhen- und neigungswinkelverstellbare Schweißtische dar. Beugt sich der Arbeitnehmer bei den Schweißstellen in der Mitte des Werkstücks weit über den Arbeitstisch, kann die vorhandene Absaugung trotz ausreichender Leistung und gutem Wartungszustand nicht effektiv positioniert werden. Bei einer solchen Messung wurden Überschreitungen der Beurteilungswerte von A-Staub sowie Mangan und Zink im A-Staub festgestellt. Ursache dafür war, dass sich der Arm der Absaugung während des Schweißens in der Mitte des Werkstücks oberhalb des Kopfes des Arbeitnehmers befand. Durch die Beschaffung eines höhen- und neigungswinkelverstellbaren Schweißtisches konnte der Absaugarm immer in einer optimalen Position eingesetzt werden, so dass bei gleichem Schweißverfahren und gleichem Werkstück alle Beurteilungsmaßstäbe eingehalten werden konnten. Der Arbeitnehmer konnte seine Schweiß Tätigkeit nun in sitzender und rückschonender Haltung durchführen.

Auch bei Schleiftätigkeiten müssen die Schleifstäube an der Entstehungsquelle erfasst werden. In den Fällen, in denen die Schleifarbeiten in den gleichen Arbeitsbereichen wie die Schweiß Tätigkeit durchgeführt werden, könnten die dafür vorgesehenen Absaugarme auch beim Schleifen eingesetzt werden. Auch bei einer Schleiftätigkeit spielt die Positionierung der Absaugvorrichtung eine wesentliche Rolle. Da durch die schnell drehenden Werkzeuge die Stäube und Funken in ihrer Richtung beeinflusst werden, ist das bei der Positionierung der Arme zu beachten.

Anstelle eines herkömmlichen Werktafelles könnten hier abgesaugte Schleiftische eingesetzt werden. Beim Schleifen steht der Arbeitnehmer vor dem Tisch, die Flugrichtung der Stäube geht in Richtung der Hinterwandabsaugung und die Stäube können so effektiv erfasst werden.

Nach TRGS 500 Abschnitt 6.2 Absatz 11 Nummer 2 hat der Arbeitgeber die Beschäftigten dazu anzuhalten, Aufwirbelung zu verhindern. Dies bedeutet, dass trockene Kehrarbeiten in allen Bereichen zu vermeiden sind, um die Gefahrstoffablagerungen auf Fußböden, Anlagen und Rohrleitungen nicht in die Luft im Arbeitsbereich zu wirbeln. Wenn keine Sauger oder Kehrsaugmaschinen eingesetzt werden können, sind die Deponiestäube zumindest zu befeuchten, bevor gekehrt wird.

Bei Reinigungsarbeiten an Arbeitsplätzen mit krebserzeugenden Stäuben müssen die Vorgaben der TRGS 560 „Lufrückführung bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden und fruchtbarkeitsgefährdenden Stäuben“ und der TRGS 500 „Schutzmaßnahmen“ beachtet werden. Insbesondere der Abschnitt 3 Absatz 7 der TRGS 560 ist relevant. Reinigungsarbeiten an den Arbeitsplätzen müssen mit geprüften Industriestaubsaugern oder Kehrsaugmaschinen der Staubklasse H durchgeführt werden.

Die Untersuchungsergebnisse und die Messwerte des Projektes machen deutlich, dass ohne eine Expositionsmessung die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen vor Ort nicht hinreichend beurteilt werden können. Es kann auch bei der Anwendung von emissionsärmeren Verfahren, wie z.B. WIG-Schweißen, nicht sichergestellt werden, dass die Schutzmaßnahmen ausreichend sind und ein geringes Krebsrisiko für die Arbeitnehmer besteht.

Bei Gefährdung von Arbeitnehmern durch krebserzeugende Gefahrstoffe hat der Arbeitgeber gemäß § 14 Absatz 3 der Gefahrstoffverordnung ein aktualisiertes Verzeichnis über die Beschäftigten zu führen, die Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen der Kategorie 1A und 1B ausüben und bei denen eine Gefährdung der Gesundheit und Sicherheit besteht. Die

TRGS 410 „Expositionsverzeichnis bei Gefährdung gegenüber krebserzeugenden oder keimzellenmutagenen Gefahrstoffen der Kategorie 1A und AB“ konkretisiert die Anforderungen der Gefahrstoffverordnung. Kriterien für die Aufnahme der Stoffe sind in Punkt 4 (1) aufgelistet. Für die vorgenannten Gefahrstoffe gilt daher, dass überprüft werden muss, in welcher Konzentration sie vorliegen und ob sie in das Expositionsverzeichnis aufgenommen werden müssen. Da auch für die allgemeingültige Aussage derzeit keine ausreichenden Expositionsdaten vorliegen, müssen auch dort betriebsspezifische Arbeitsplatzmessungen herangezogen werden.

Um den Aufwand für die Ermittlung der Wirksamkeit von durchgeführten Maßnahmen anhand von Expositionsmessungen möglichst gering zu halten, sind prinzipiell auch Messungen von Leitkomponenten möglich. Nach TRGS 402 sind Leitkomponenten für ein Stoffgemisch in der Luft solche, die stellvertretend für alle Stoffe oder eine Gruppe von Stoffen erfasst und beurteilt werden, um die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen zu beurteilen. Für einige Schweißverfahren können diese Leitkomponenten als repräsentative Messgröße für die Stäube und die Staubinhaltsstoffe auf Grundlage der vorliegenden Messergebnisse abgeleitet werden. In Rahmen der Informationsermittlung ist jedoch zu prüfen, ob auf Grund der eingesetzten Zusatzwerkstoffe ggf. weitere Messgrößen betrachtet werden müssen. Hinweise dazu gibt die TRGS 528, Anhang 4, Tabelle 5.

## 11 Ausblick

Obwohl die gesundheitliche Gefährdung von Arbeitnehmern und Arbeitnehmerinnen durch Schleif- und Schweißarbeiten eine Vielzahl von Betrieben betrifft, liegt derzeit noch kein ausreichend großes Datenkollektiv vor, um detaillierte Aussagen zu treffen. Um den Betrieben eine Hilfestellung an die Hand zu geben ist es dringend erforderlich, dass alle Akteure im Arbeitsschutz verstärkt Messungen bei Schweiß- und Schleifarbeiten durchführen, die Daten zusammenführen und auswerten. Im Dezember 2019 hatte die Berufsgenossenschaft Holz und Metall zu einem „Kolloquium Schweißrauche“ eingeladen. Dort haben sich Experten aus verschiedenen Bereichen darüber auseinandergesetzt, wie die Situation in den Betrieben zukünftig detailliert beurteilt werden kann. Auch Beschäftigte der hessischen Ländermessstelle für Gefahrstoffe waren dort, um ihre Erfahrungen aus den zahlreichen Messungen des hessischen Projektes einzubringen.

Wesentliche Punkte in der Expertenrunde waren die Fragestellung, ob Prozessparameter so verändert werden können, dass die Schweißrauchemissionen und damit die Belastung der Beschäftigten minimiert werden können und wie wirksam die zur Verfügung stehenden Maßnahmen sind bzw. welche zusätzlichen Maßnahmen noch in Betracht kommen könnten. Insbesondere über die weitere Vorgehensweise wurde dort intensiv diskutiert. Einigkeit wurde darüber erzielt, dass eine gemeinsame Vorgehensweise abgestimmt werden muss, insbesondere hinsichtlich einer Messstrategie. Die zu dokumentierenden Verfahrensparameter, die zu erhebenden Randbedingungen und die zur Verfügung stehenden Schutzmaßnahmen müssen von allen Beteiligten so erfasst werden, dass sie zu einer Auswertung zusammengefasst werden können.

Es ist notwendig, dass in naher Zukunft von allen Beteiligten die in den Betrieben vorgefundenen Maßnahmen zur Schweißrauchminimierung in einer ausreichenden Anzahl messtechnisch überprüft und hinsichtlich der Wirksamkeit beurteilt werden. Erst dann können gemeinsame

Überlegungen angestellt werden, welche Änderungen an den Schweißprozessen notwendig und zielführend sind, oder was zu tun ist, wenn trotz der Einhaltung des Standes der Technik Beurteilungsmaßstäbe nicht eingehalten werden können.

Am Ende stand die Feststellung, dass es noch viel zu tun gibt und dass das Thema „Schweißrauche“ nur gemeinsam bewältigt werden kann. Es wurde Einigkeit darüber erzielt, dass ein gemeinsames Handeln notwendig ist, wenn in naher Zukunft eine Hilfestellung für die Betriebe gegeben werden soll.

Für die hessische Arbeitsschutzverwaltung ergibt sich daraus, dass auch im Rahmen der dritten GDA-Periode im Arbeitsprogramm „Sicherer Umgang mit krebserzeugenden Gefahrstoffen“ im Rahmen von Begleitprozessen weitere Messungen in den metallbe- und -verarbeitenden Betrieben durchgeführt werden müssen. Gute Praxisbeispiele sollen mit einer ausreichenden Anzahl an Messwerten hinterlegt werden, um in den Betrieben abgesicherte Verbesserungsvorschläge zur Minimierung der Schweißrauchexposition machen zu können. Die Datenbasis - insbesondere zu den emissionsärmeren WIG-Verfahren - soll vergrößert werden, um eine Grundlage für die Prüfung, ob und unter welchen Voraussetzungen das MAG-Schweißverfahren bei allen Materialien durch das emissionsärmere WIG-Schweißen ersetzt werden kann, zu schaffen. Diese Verfahrenssubstitution sollte bereits zum jetzigen Zeitpunkt in den Betrieben geprüft und das Prüfungsergebnis in der Gefährdungsbeurteilung dokumentiert werden.

Der vorliegende Projektbericht wird nach der Durchführung weiterer Messungen um gute Praxisbeispiele und die neu gewonnenen Erkenntnisse hinsichtlich der Substitutionsmöglichkeiten des MAG-Verfahrens erweitert und die Messungen der Ländermessstelle werden in das gemeinsame Projekt einfließen. Damit wird Hessen seinen Beitrag leisten, damit in den bundesweit ca. 500.000 metallbe- und -verarbeitenden Betrieben die Gefährdung der Arbeitnehmer beim Schweißen besser beurteilt und reduziert werden kann.

## 12 Abkürzungsverzeichnis

A-Staub	Alveolengängige Staubfraktion
AGW	Arbeitsplatzgrenzwert nach TRGS 900
AK	Akzeptanzkonzentration nach TRGS 910
BM	Beurteilungsmaßstab
BSG	Analytische Bestimmungsgrenze
Chrom(VI)	Hexavalente Chromverbindungen
E-Staub	Einatembare Staubfraktion
GefStoffV	Gefahrstoffverordnung
MAG-Schweißen	Metallaktivgas-Schweißen
MAK	Maximale Arbeitsplatz-Konzentration
n.n.	Stoff nicht nachweisbar

TK	Toleranzkonzentration nach TRGS 910
TRGS	Technische Regel für Gefahrstoffe
WIG-Schweißen	Wolfram-Inertgas-Schweißen
(I)	Kurzzeitwertkategorie I: Stoffe, bei denen eine lokale Wirkung grenzwertbestimmend ist oder atemwegssensibilisierende Stoffe
(II)	Kurzzeitwertkategorie II: resorptiv wirksame Stoffe

## IMPRESSUM

- Titel:** Belastung durch partikelförmige Gefahrstoffe bei Schweiß- und Schleiftätigkeiten in Betrieben der Metallbe- und -verarbeitung
- Herausgeber:** Regierungspräsidium Kassel  
Hessische Ländermessstelle für Gefahrstoffe  
Ludwig-Mond-Straße 33  
34121 Kassel
- Redaktion:** Petra Brohmann (Regierungspräsidium Kassel)  
Dr. Anita Csomor (Regierungspräsidium Kassel)  
Dr. Stephan Stöckel (Regierungspräsidium Kassel)
- Bildnachweis:** Regierungspräsidium Kassel  
Hessische Ländermessstelle für Gefahrstoffe
- Veröffentlichung:** September 2021

HESSEN



**Regierungspräsidium Kassel**

Hessische Ländermessenstelle  
für Gefahrstoffe  
Ludwig-Mond-Straße 33  
34121 Kassel