

Ausgabe 2005

Herausgeber:

Vereinigung der Metall-Berufsgenossenschaften

Verwaltungsgemeinschaft

Maschinenbau- und Metall-Berufsgenossenschaft, Düsseldorf

Hütten- und Walzwerks-Berufsgenossenschaft, Düsseldorf

Norddeutsche Metall-Berufsgenossenschaft, Hannover

Süddeutsche Metall-Berufsgenossenschaft, Mainz

Edel- und Unedelmetall-Berufsgenossenschaft, Stuttgart

Für Mitglieder anderer Berufsgenossenschaften zu beziehen durch
Carl Heymanns Verlag KG, Luxemburger Straße 449, 50939 Köln

Beurteilung der Gefährdung durch Schweißrauche

BG-Information

BGI 616



Informationsschriften

Anschläger (BGI 556)
Arbeiten an Bildschirmgeräten (BGI 742)
Arbeiten an Gebäuden und Anlagen vorbereiten und durchführen (BGI 831)
Arbeiten in engen Räumen (BGI 534)
Arbeiten unter Hitzebelastung (BGI 579)
Arbeitsschutz im Handwerksbetrieb (BGI 741)
Arbeitsschutz will gelernt sein – Ein Leitfaden für den Sicherheitsbeauftragten (BGI 587)
Arbeitssicherheit durch vorbeugenden Brandschutz (BGI 560)
Belastungstabellen für Anschlagmittel (BGI 622)
Beurteilung der Gesundheitsgefährdung durch Schweißrauche (BGI 616)
Damit Sie nicht ins Stolpern kommen (BGI 5013)
Einsatz von Fremdfirmen im Rahmen von Werkverträgen (BGI 865)
Elektrofachkräfte (BGI 548)
Elektromagnetische Felder in Metallbetrieben (BGI 839)
Elektrostatisches Beschichten (BGI 764)
Fahrzeug-Instandhaltung (BGI 550)
Gabelstaplerfahrer (BGI 545)
Galvaniseure (BGI 552)
Gasschweißer (BGI 554)
Gebrauch von Hebebändern und Rundschlingen aus Chemiefasern (BGI 873)
Gefährdungen in der Kraffahrzeug-Instandhaltung (BGI 808)
Gefahren beim Umgang mit Blei und seinen anorganischen Verbindungen (BGI 843)
Gefahren durch Sauerstoff (BGI 644)
Gefahrstoffe in Gießereien (BGI 806)
Gießereiarbeiter (BGI 549)
Handwerker (BGI 547)
Hautschutz in Metallbetrieben (BGI 658)
Inhalt und Ablauf der Ausbildung zur Fachkraft für Arbeitssicherheit (BGI 838)
Informationen zur Ausbildung der Fachkraft für Arbeitssicherheit (BGI 838-1)
Instandhalter (BGI 577)
Jugendliche (BGI 624)
Kranführer (BGI 555)

BGI 616

Lackierer (BGI 557)
Lärm am Arbeitsplatz in der Metall-Industrie (BGI 688)
Leitern sicher benutzen (BGI 521)
Lichtbogenschweißer (BGI 553)
Maschinen der Zerspanung (BGI 5003)
Mensch und Arbeitsplatz (BGI 523)
Metallbau-Montagearbeiten (BGI 544)
Nitrose Gase beim Schweißen und bei verwandten Verfahren (BGI 743)
Presseneinrichter (BGI 551)
Prüfung von Pfannen (BGI 601)
Rückengerechtes Verhalten im Gerüstbau (BGI 821)
Schadstoffe beim Schweißen und bei verwandten Verfahren (BGI 593)
Schleifer (BGI 543)
Schutz gegen Absturz – Auffangsysteme sachkundig auswählen, anwenden und prüfen (BGI 826)
Schweißtechnische Arbeiten mit chrom- und nickellegierten Zusatz- und Grundwerkstoffen (BGI 855)
Sichere Reifenmontage (BGI 884)
Sichere Verwendung von Flüssiggas in Metallbetrieben (BGI 645)
Sicherheit bei der Blechbearbeitung (BGI 604)
Sicherheit beim Arbeiten mit Handwerkzeugen (BGI 533)
Sicherheit beim Errichten und Betreiben von Batterieladegeräten (BGI 5017)
Sicherheit durch Betriebsanweisungen (BGI 578)
Sicherheit durch Unterweisung (BGI 527)
Sicherheit in Gießereien
Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Transport- und Lagerarbeiten (BGI 582)
Sicherheit und Gesundheitsschutz durch Koordinieren (BGI 528)
Stress am Arbeitsplatz (BGI 609)
Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen in der Metallindustrie (BGI 805)
Umgang mit Gefahrstoffen (BGI 546)
Verringerung von Autoabgasen in der Kfz-Werkstatt (BGI 894)
Wolfram-Inertgasschweißen (WIG) (BGI 746)

Auf CD-ROM erhältlich:

„Prävention – Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz“

Vilia Elena Spiegel-Ciobanu

Beurteilung der Gesundheitsgefährdung durch Schweißrauche

Verantwortlich für den Inhalt:
NMBG
Norddeutsche Metall-
Berufsgenossenschaft

BGI 616

Für die wertvolle Unterstützung bei der Beschaffung von Daten über die chemische Analyse und Emissionsraten der hier vorgestellten Zusatzwerkstoffe und für die gute Zusammenarbeit sei der Schweißelektroden-Vereinigung e.V. (SEV) gedankt.

Gleichzeitig geht der Dank auch an den Deutschen Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V. (DVS) als auch an das Deutsche Institut für Normung e.V. (DIN) für die Genehmigung der Übernahme von Auszügen aus Publikationen und Normen.

Für die Unterstützung bei der Erstellung der Dateien über die chemischen Zusammensetzungen der Zusatzwerkstoffe sei den Herren Gohl und Struß von der Norddeutschen Metall-Berufsgenossenschaft (NMBG) gedankt.

Vorwort	7
1 Entwicklung der Schweißverfahren	
1.1 Schweißtechnische Anwendungen der Schweißverfahren	9
2 Entwicklung der Werkstoffe	
2.1 Schweißtechnische Anwendungen	18
2.2 Typische Legierungen; chemische Zusammensetzung der repräsentativen Grund- und Zusatzwerkstoffe.....	21
3 Beurteilung der Gefährdung und Empfehlungen für die Praxis	
3.1 Verfahrensspezifische Faktoren	55
3.2 Werkstoffspezifische Faktoren.....	56
3.3 Arbeitsplatzspezifische Faktoren	60
3.4 Relevante Schweißzusatzwerkstoffe und deren Schweißbrauche	63
3.5 Beurteilung der Exposition.....	128
3.5.1 Unlegierte und niedriglegierte Werkstoffe (Grund- und Zusatzwerkstoffe) mit einzelnen Anteilen an Elementen wie Cr, Ni, Mn, Cu, Ba, Co, F, Pb < 5 %	128
3.5.2 Hochlegierte Werkstoffe (Grund- und Zusatzwerkstoffe) mit einzelnen Anteilen an Elementen wie Cr, Ni, Mn, Cu, Ba, Co, F, Pb ≥ 5 %	128
3.5.3 Löten.....	128
3.6 Ultrafeine Partikel (UFP).....	129
3.7 Beispiele von Schweißrauchkonzentrationen bei verschiedenen Verfahren	130
4 Empfehlungen für praxisbezogene Schutzmaßnahmen	
4.1 Auswahl von schadstoffarmen Verfahren und Werkstoffen	131
4.2 Optimierung der Arbeitsbedingungen	132
4.3 Lüftung.....	133
4.4 Persönliche Schutzausrüstungen	134
4.5 Schutzmaßnahmen für die Bereiche mit sehr hoher und hoher Gesundheitsgefährdung	135
4.6 Schutzmaßnahmen für Bereiche mit mittlerer Gesundheitsgefährdung ..	135
4.7 Schutzmaßnahmen für Bereiche mit niedriger Gesundheitsgefährdung.	136

BGI 616

	Seite
5 Arbeitsmedizinische Vorsorge	140
6 Schweißrauchdatenblatt/Sicherheitsdatenblatt	140
7 Vorschriften und Regeln	
7.1 Unfallverhütungsvorschriften.....	141
7.2 BG-Regeln, BG-Informationen und BG-Grundsätze	141
7.3 Verordnungen und Technische Regeln.....	142
7.4 DIN-Normen.....	142
7.5 Sonstige Regeln der Technik.....	145
7.6 Andere Literaturquellen	145
8 Anhang	
Anhang 1 Schweißrauchdatenblatt/Sicherheitsdatenblatt	147
Anhang 2 Arbeitsanamnesebogen	148
Anhang 3 Nationale und internationale Forschungsergebnisse zur Emissions- charakterisierung von Schweißrauchen	150

Vorwort

Zum Schutz der Gesundheit schreibt das Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) vor, die für die Beschäftigten mit ihrer Arbeit verbundenen Gefährdungen zu ermitteln, zu beurteilen und entsprechende Arbeitsschutzmaßnahmen zu treffen.

Um die Betriebe bei der Beurteilung der Gefährdung durch die chemische Einwirkung der partikelförmigen Stoffe (= Schweißrauche) – die während des Schweißens und der verwandten Verfahren entstehen – zu unterstützen, wird hier eine an der Praxis orientierte Hilfestellung gegeben.

Die in dieser Broschüre enthaltenen Informationen und Angaben versuchen, die in den letzten Jahren an den Fachausschuss „Metall und Oberflächenbehandlung“ (früher „Eisen und Metall I“), Sachgebiet „Schadstoffe in der Schweißtechnik“ herangebrachten Fragen zu beantworten.

Diese betreffen Informationen und Angaben über

- die Entwicklung der Schweißverfahren, insbesondere zwischen den 50er und 80er Jahren,
- die Entwicklung der Werkstoffe, insbesondere der typischen Legierungen und deren chemischen Zusammensetzungen sowie
- einige relevante Auszüge aus schweißtechnischen Normen ab den 50er Jahren bis heute.

Mit dem In-Kraft-Treten der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) am 01.01.2005 in der Fassung vom 23.12.2004 sind für Betriebe Änderungen gegenüber der alten Verordnung eingetreten.

Zu den wichtigsten Änderungen, die auch für das Schweißen und verwandte Verfahren von Bedeutung sind, gehören:

- **Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW)**, die vom neuen Verständnis her so konzipiert sind, dass bei ihrer Einhaltung akute oder chronische schädliche Wirkungen nicht zu erwarten sind.
- **Biologische Grenzwerte (BGW)**, die arbeitsmedizinisch toxikologisch abgeleitet sind und die Konzentrationen im biologischen Material angeben, bei denen im Allgemeinen die Gesundheit der Beschäftigten nicht beeinträchtigt wird. Gemäß dieser Definition entsprechen die bisherigen MAK den AGW, die bisherigen BAT-Werte den BGW. Technisch basierte Werte, wie sie die TRK darstellen, sind nicht vorgesehen, die bisherigen TRK entfallen.
- **Die Gefährdungsbeurteilung** – die als Kern der Verordnung anzusehen ist.

BGI 616

- **Das Schutzstufenkonzept** – das in engem Zusammenhang mit der Gefährdungsbeurteilung steht und die Schutzmaßnahmen in vier Stufen nach der Gefährdungshöhe zuordnet (für die Schweißtechnik siehe auch die BG-Regel „Schweißrauche“ [BGR 220]).
- **Arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen**
Diese sind beim Schweißen und Trennen von Metallen zu veranlassen, wenn die Schweißrauchkonzentration 3 mg/m^3 überschreitet; jedoch sind sie auch anzubieten, wenn diese Konzentration eingehalten wird.

In dieser Broschüre werden die „alten“ TRK herangezogen, da sie den Stand der Technik bis Ende 2004 beschreiben und somit erfahrungsgemäß eine Hilfe bei der Beurteilung der Exposition am Arbeitsplatz geben können.

Das Modell zur Beurteilung der Gefährdung durch Schweißrauche entspricht im Großen und Ganzen der Anforderung der Gefahrstoffverordnung (siehe Abschnitt 3, Seite 36).

Ein Schwerpunkt dieser BG-Information liegt in der Darstellung

- des Zusammenhangs zwischen der chemischen Zusammensetzung der wichtigsten Schweißzusatzwerkstoffe und der chemischen Zusammensetzung der entstehenden Schweißrauche,
- der Zuordnung der Leitkomponenten zu den Verfahren und Werkstoffen beim Schweißen,
- der Berechnung der maximal zulässigen Gesamtschweißrauchkonzentration für die vorher ermittelten Leitkomponenten.

Verfahrensspezifische Schweißrauchklassen (= Emissionsklassen) sowie wirkungsspezifische Schweißrauchklassen (= Wirkungsklassen) wurden als Leitfaden in einem Modell zur Beurteilung der Gefährdung durch Schweißrauche gewählt.

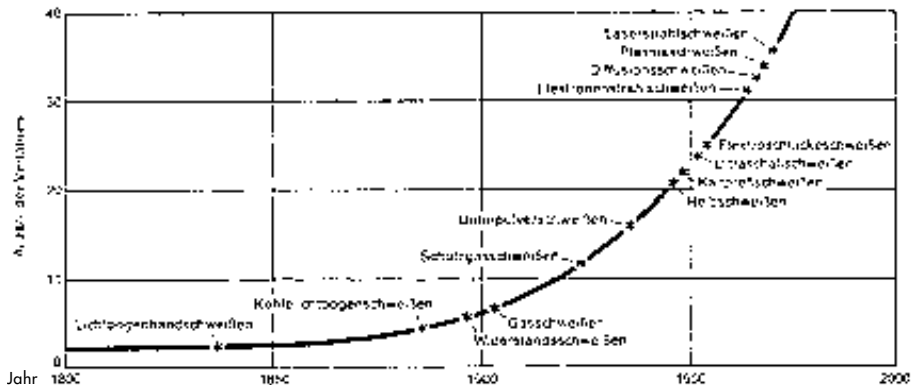
Die daraus resultierenden Konsequenzen und die zu treffenden Schutzmaßnahmen sind abschließend genannt.

Diese Informationsschrift soll Hilfestellung bei der Beantwortung von Fragen zu technischen Gegebenheiten am Schweißarbeitsplatz, zur Ermittlung der kumulativen Schweißrauchdosis am Arbeitsplatz, zur Anamnese der Berufskrankheiten, insbesondere der obstruktiven Atemwegserkrankung, geben, wenn für alle infrage kommenden Beschäftigungszeiträume jeweils ein Anamnesebogen (Anhang 2) ausgefüllt wird.

Sie dient als Ergänzung zur BGI 593 „Schadstoffe beim Schweißen und bei verwandten Verfahren“ für Aufsichtspersonen der Berufsgenossenschaften, Arbeitsschutzsachverständige, Versicherte, Sicherheitsfachkräfte, Mediziner und andere.

1 Entwicklung der Schweißverfahren

Bild 1-1: Entwicklung der Schweißverfahren nach [1]



1.1 Schweißtechnische Anwendung der Schweißverfahren

Ende der 70er Jahre wurde durch den Deutschen Verband für Schweißtechnik (DVS) eine Analyse über den Stand der Anwendung der (Metall-)Schweißverfahren in der Bundesrepublik Deutschland einschließlich West-Berlin – gegliedert nach Fertigungs-zweigen und Betriebsgrößen – durchgeführt.

Es wurde zwischen

- Apparate-, Behälter-, Rohrleitungsbau und
- Stahlhoch-, Stahlbrücken-, Stahlwasserbau

unterschieden, da in beiden Branchen der Anwendungsumfang der Schweißverfahren verschieden war.

Deutlicher Trend zum Schutzgaschweißen

Die steigenden wirtschaftlichen Anforderungen haben in den vergangenen Jahrzehnten das Bild des Anwendungsumfanges der einzelnen Schweißverfahren grundsätzlich gewandelt. Das Gasschweißen wurde auf zahlreichen Gebieten vom Lichtbogen-schweißen mehr und mehr abgelöst, wobei ihm die spezifischen Bereiche, wie das Handwerk und der Rohrleitungsbau, weitgehend erhalten blieben. Auf dem Sektor Lichtbogenschweißen waren es vor allem die Schutzgaschweißverfahren, die eine stürmische Entwicklung durchlaufen haben.

BGI 616

Der damalige Stand der Anwendung schweißtechnischer Verfahren spiegelt sich in den Bildern 1-1 bis 1-3 wider.

Bild 1-2: Prozentualer Anteil der beschäftigten Schweißer nach Verfahren (Stand Ende 1971) nach [1]

Fertigungszweig	Schweißer					
	Lichtbogenhandschweißer (%)	Gasschweißer (%)	Schutzgasschweißer (%)	Widerstandschweißer (%)	Kunststoffschweißer (%)	sonstige Schweißer (%)
Apparate-, Behälter-, Rohrleitungsbau	46	28	20	3	2	1
Stahlhoch-, Stahlbrücken-, Stahlwasserbau	70,6	6	21	2	0,1	0,3
Maschinenbau	56	10	32	1	0,5	0,5
Straßenfahrzeugbau	15	9	31	44	0,4	0,6
Schienenfahrzeugbau	31	4,8	61	3	0,1	0,1
Schiffbau	82	10	7	–	–	1
Flug-, Raumfahrzeugbau	17	12	56	13	1	1
Stahl-, Metallverarbeiter gesamt	42	11	29,5	16	0,5	1
bis 49 Beschäftigte	61	13	25	0,3	0,2	0,5
50 bis 99 Beschäftigte	53	16	29	0,7	0,3	1
100 bis 199 Beschäftigte	54	16	28	0,9	0,6	0,5
200 bis 499 Beschäftigte	59	10	27	2,2	0,8	1

So zeigte sich beispielsweise die vorherrschende Stellung des Lichtbogenhandschweißers darin, dass z. B. 82 % aller Schweißer im Schiffbau sowie 70 % aller Schweißer im Stahlbau diese Methode einsetzten (Bild 1-2). Das Gasschweißen hat, und das bestätigt die Praxis in vieler Hinsicht, seine allgemeine Bedeutung bis heute in wenigen Bereichen und vereinzelt nicht verloren (Bild 1-6). Die steile Entwicklung des Schutzgasschweißens, insbesondere des Metall-Schutzgas-Schweißens, ist in allen Fertigungsbereichen festzustellen.

Insgesamt dominierte bei den Stahl und Metall verarbeitenden Betrieben (Bild 1-3) erwartungsgemäß das Lichtbogenhandschweißen mit 51 % (33 % entfallen jedoch bereits auf das Schutzgasschweißen).

Dieses Bild wandelt sich je nach Fertigungszweig und Betriebsgröße mehr oder weniger. Der Schwerpunkt des Lichtbogenhandschweißens war mit Abstand der Schiffbau (80 %), gefolgt vom Stahlhoch-, Stahlbrücken-, Stahlwasserbau (63 %) und Maschinenbau (51 %). Alle anderen Branchen lagen – teilweise deutlich – unter dem Gesamtdurchschnitt (51 %).

Folgender Trend war zu erkennen:

Je größer das Unternehmen, desto weniger wurde das Lichtbogenhandschweißen angewandt. Der Anwendungsumfang des Gasschweißens war – ausgenommen Stahlhoch-, Stahlbrücken-, Stahlwasserbau und Schienenfahrzeugbau – in allen Produktionsgruppen nahezu gleich; das bestätigt, dass diesem Verfahren zwar keine überragende Stellung, aber immer noch umfassende Bedeutung zukam.

Hauptanwender des Schutzgasschweißens war der Schienenfahrzeugbau (68 %); an letzter Stelle stand der Schiffbau mit nur 9 % (Bild 1-4).

BGI 616

Bild 1-3: Verteilung der schweißtechnischen Anwender auf die unterschiedlichen Industriezweige (Ende der 70er Jahre) nach [1]

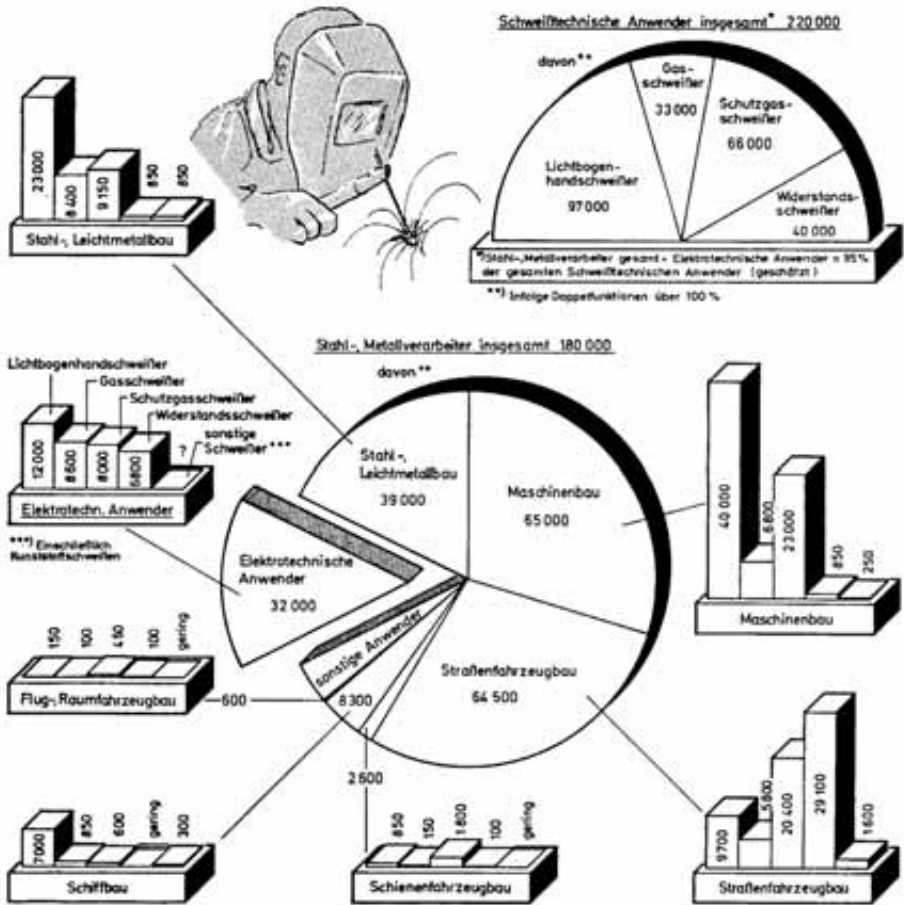


Bild 1-4: Prozentualer Anteil der angewandten Schweißverfahren (Ende der 70er Jahre) nach [1]

Fertigungs­zweig	Schweißverfahren ¹⁾							
	Lichtbogenhand-schweißen (%)	Gas-schweißen (%)	Schutzgas-schweißen ²⁾ (%)	Unterpulver-schweißen (%)	Elektro-schlacke-schweißen (%)	Widerstands-pressschweißen (%)	Sonder-schweiß-verfahren ³⁾ (%)	Mecha-nisierungs-grad ⁴⁾ (%)
Apparate, Behälter-, Rohrleitungsbau	50	13	28	4	< 0,1	4	< 0,1	26
Stahlhoch-, Stahlbrücken-, Stahlwasserbau	63	3	29	3	–	1	0,1	32
Maschinenbau	51	7	38	1	< 0,1	2	< 0,1	37
Straßenfahrzeugbau	31,5	10	41	1	–	16	0,1	56
Schienenfahrzeugbau	26	1	68	1	–	4	–	70
Schiffbau	80	7	9	2	0,5	< 0,1	–	11
Flug-, Raumfahrzeugbau	25	11	54	–	–	7	3	21
Stahl-, Metallverarbeiter gesamt	51	9	33	3	gering	4	gering	32
bis 49 Beschäftigte	58	11	29	1	–	1	–	18
50 bis 99 Beschäftigte	57,8	9	31	1	0,2	1	–	26
100 bis 199 Beschäftigte	54	7	31,8	4	< 0,1	3	–	31
500 bis 999 Beschäftigte	45	9	35	2	0,1	8	–	38
1000 und mehr Beschäftigte	39	10	36	3	< 0,1	11	0,2	42
Elektrotechnische Anwender	36	14	19	0,2	< 0,1	28	1	40
(Fragebogenauswertung)								
1) Differenz zu 100 % = sonstige Metallschweißverfahren								
2) Aufgliederung siehe Bild 1-5								
3) Elektronenstrahl-, Laserstrahl-, Lichtstrahl-, Ultraschall-, Kaltpress-, Reib-, Diffusionsschweißen								
4) Summe der Anteile der mechanisierten Verfahren Metall-, Schutzgas-, Unterpulver-, Elektroschlacke-, Widerstandspressschweißen, Sonderschweißverfahren und sonstige								

Von hundert Stahl und Metall verarbeitenden Betrieben setzten ein:

98 Lichtbogenhandschweißen, 77 Metall-Schutzgas-Schweißen, 73 Gasschweißen, 45 Wolfram-Inertgas-Schweißen, 39 Widerstandpunktschweißen, 26 Unterpulverschweißen.

BGI 616

Während der Anwendungsumfang des Lichtbogenhandschweißens weiter abgenommen hat und beim Unterpulverschweißen etwa gleich geblieben ist, war beim Schutzgasschweißen mit einer erheblichen Erweiterung zu rechnen.

Das Gasschweißen, früher neben dem Lichtbogenhandschweißen das bedeutendste Schweißverfahren, wird für einige Sonderfälle, vorwiegend für Reparaturschweißungen sowie für spezielle Montagearbeiten, auch in Zukunft noch angewendet werden.

Bild 1-5: Prozentualer Anteil der angewandten Schutzgasschweißverfahren, gemessen an der monatlich durchschnittlich aufgewendeten Gesamtschutzgasschweißzeit; Bundesrepublik Deutschland, Stand Ende 1971 (Fragebogenauswertung) nach [1]

Fertigungs­zweig	Schutzgasschweißverfahren			
	Wolfram-Inertgas-Schweißen (%)	Metall-Inertgas-Schweißen (%)	Metall-Aktivgas-Schweißen (%)	Plasma-schweißen (%)
Apparate-, Behälter-, Rohrleitungsbau	39	11	49,6	0,4
Stahlhoch-, Stahlbrücken-, Stahlwasserbau	6	10	84	–
Maschinenbau	13	10	76,8	0,2
Straßenfahrzeugbau	6	10	84	–
Schienenfahrzeugbau	5	7	88	–
Schiffbau	26	12	62	–
Flug-, Raumfahrzeugbau	78	21	gering	1
Stahl-, Metallverarbeiter gesamt	23	10	66,8	0,2
bis 49 Beschäftigte	22	11	67	< 0,1
50 bis 99 Beschäftigte	21,3	14	64	0,7
100 bis 199 Beschäftigte	22	10	68	< 0,1
200 bis 499 Beschäftigte	26	8,7	65	0,3
500 bis 999 Beschäftigte	23	11	66	< 0,1
1000 und mehr Beschäftigte	24	11	64,6	0,4
Elektrotechnische Anwender	49	12	37	2

Innerhalb der Schutzgasschweißverfahren war das Metall-Aktivgas-Schweißen am häufigsten anzutreffen (siehe Bild 1-5). Ausgenommen waren die Elektrotechnik sowie der Flug- und Raumfahrzeugbau; hier wurde mehr Wolfram-Inertgas geschweißt. Das Plasmaschweißen nahm dagegen in allen Bereichen bisher nur eine untergeordnete Stellung ein, selbst in der Mikrotechnik (Elektrotechnik). Auf diesem „Kleinteilsektor“ wurden offensichtlich weit häufiger Widerstandpressschweißverfahren herangezogen.

Die Anteile des Unterpulver-, Elektroschlacke- und Widerstandpressschweißens (hier ausgenommen Straßenfahrzeugbau mit 16 % und Elektrobranche mit 28 % – siehe Bild 1-3) sowie der Sonderschweißverfahren (Elektronenstrahl-, Laserstrahl-, Lichtstrahl-, Ultraschall-, Kaltpress-, Reib-, Diffusionsschweißen) waren durchweg gering bzw. unbedeutend.

Die weitere Entwicklung der klassischen Schweißverfahren zeigt Bild 1-6.

Bild 1-6: Anteil der Schmelzschweißverfahren bezogen auf das abgesetzte Schweißgut (Quelle: Schweißelektroden-Vereinigung, Düsseldorf)

Verfahren	1986 (%)	1987 (%)	1988 (%)	1989 (%)	1990 (%)	1991 (%)	1992 (%)	1993 (%)	1994 (%)	1995 (%)	1996 (%)	1997 (%)	1998 (%)	1999 (%)	2000 (%)	2001 (%)	2002 (%)	2003 (%)	2004 (%)
Lichtbogenhand-schweißen	23,2	22,6	21,2	18,7	18,3	18,0	17,0	16,1	15,0	13,5	13,1	11,2	11,1	8,4	7,4	9,3	8,7	8,9	8,3
Metall-Schutzgasschweißen	62,6	64,3	66,0	69,8	69,3	69,7	70,8	72,2	73,0	74,0	73,9	75,7	72,9	78,8	80,1	71,4	69,6	69,6	68,9
Unterpulverschweißen	7,7	6,6	6,8	5,9	5,7	5,8	5,9	5,5	5,5	5,3	5,5	5,9	7,2	4,8	4,5	11,6	13,5	12,8	13,5
Wolfram-Inertgasschweißen	1,5	1,5	1,5	1,7	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5	1,3	1,8	2,0	2,0	1,9	1,8	2,1	2,1
Gas-schmelzschweißen	2,6	2,7	2,2	1,7	2,1	2,0	2,0	2,1	2,1	2,0	1,6	1,4	1,2	1,0	1,0	0,9	0,8	0,9	0,8
Schweißen mit Füll-draht-elektrode	2,3	2,3	2,3	2,3	3,0	2,8	2,6	2,5	2,8	3,0	4,3	4,5	5,7	5,0	5,0	5,0	5,6	5,8	6,4

In den letzten 20 Jahren kamen neue Schweißverfahren hinzu. Ende der 80er Jahre wurde auch das Fülldrahtschweißverfahren mit und ohne selbstschützender Elektrode eingeführt. Gleichzeitig konnten ab 1980 die Anfänge für eine Mechanisierung und Automatisierung der Schweißtechnik geschaffen werden. Heute ist die Automatisierung der Schweißprozesse fortschrittsbestimmend.

BGI 616

Hochproduktive Varianten des Unterpulverschweißens und besonders des Schutzgaslichtbogenschweißens (z. B. Hochleistungsschweißen, Tandemverfahren) sowie das Elektronenstrahlschweißen kennzeichnen die moderne Schweißtechnik. Darüber hinaus wurden verschiedene Sonderschweißverfahren bekannt und immer mehr eingesetzt, z. B. das Reibschweißen, das Ultraschallschweißen, das Laserstrahlschweißen. Bei dieser Entwicklung kommt der Mechanisierung und Automatisierung der Schweißprozesse große Bedeutung zu.

Für die weitere Entwicklung der Schweißtechnik ist zu erkennen, dass die konventionellen Schweißverfahren, insbesondere das Schutzgasschweißen sowie das Widerstandschweißen, auch in Zukunft im Anwendungsumfang dominieren werden und dass neben ihnen die Sonderschweißverfahren verstärkt eingesetzt werden.

Vergleich zwischen Brennschneiden und Plasmaschneiden

In vielen Fällen ersetzen thermische Trennmethode, wie das Brenn- und Plasmaschneiden, im Bereich dickerer Werkstücke die mechanischen Trennmethode.

Am häufigsten wird das Plasmaschneiden im Flug- und Raumfahrzeugbau sowie im Apparate-, Behälter- und Rohrleitungsbau – wenn hochlegierte Stähle oder Nichteisenmetalle zu schneiden sind – eingesetzt. Die überragende Stellung des Brennschneidens kommt darin zum Ausdruck, dass schon Ende der 70er Jahre 83 % aller Stahl und Metall verarbeitende Betriebe dieses Verfahren für das Schneiden von unlegierten und niedriglegierten Stählen vorgesehen haben (siehe Bild 1-7).

Parallel zur Entwicklung der Schweißverfahren findet auch im Bereich des thermischen Trennens die Entwicklung des Laserstrahlschneidens statt. Neben dem Werkstoff und durch den Bearbeitungsprozess bedingten Parametern spielt die Laserquelle eine wichtige Rolle.

Man unterscheidet zwischen:

- CO₂-Laser, der entweder mit Laserstrahl mit Hochdruck schneidet oder mit Laserstrahl mit Sauerstoff brennschneidet und
- Nd:YAG-Laser mit unterschiedlichen Ausgangsleistungen.

Bild 1-7: Verhältnis des Anwendungsumfanges zwischen Brenn- und Plasmaschneiden, gemessen an der monatlich durchschnittlich aufgewendeten Gesamtschneidzeit; Bundesrepublik Deutschland, Stand Ende 1971 (Fragebogenauswertung) nach [1]

Fertigungszweig	Schneidverfahren	
	Brennschneiden (%)	Plasmaschneiden (%)
Apparate-, Behälter-, Rohrleitungsbau	96	4
Stahlhoch-, Stahlbrücken-, Stahlwasserbau	99,7	0,3
Maschinenbau	98	2
Straßenfahrzeugbau	98	2
Schienerfahrzeugbau	98	2
Schiffbau	99	1
Flug-, Raumfahrzeugbau	95	5
Stahl-, Metallverarbeiter gesamt	98	2
bis 49 Beschäftigte	98	2
50 bis 99 Beschäftigte	97	3
100 bis 199 Beschäftigte	98	2
200 bis 499 Beschäftigte	96	4
500 bis 999 Beschäftigte	98	2
1000 und mehr Beschäftigte	98	2
Elektrotechnische Anwender	97	3

BGI 616

2 Entwicklung der Werkstoffe

2.1 Schweißtechnische Anwendungen

Ende der 70er Jahre lag die Verteilung des Verbrauchs an Stabelektroden von insgesamt 75 800 t/Jahr für die Stahl- und Metallverarbeitung wie folgt (Bild 2-1):

- 25 650 t im Maschinenbau,
- 20 500 t im Stahl-, Leichtmetallbau,
- 15 750 t im Schiffbau und
- 13 350 t im Straßenfahrzeugbau.

Der Anteil im Schienenfahrzeugbau lag bei knapp 1000 t. Dabei wurden die titan(Ti)-umhüllten Stabelektroden in allen Fertigungszweigen, unabhängig von der Betriebsgröße, am häufigsten verwendet, gefolgt vom Kalkbasisch(Kb)- und Eisen(Fe)-Typ. Vor allem in kleineren Unternehmen griff man offensichtlich noch verhältnismäßig oft auf die nackte Stabelektrode zurück. 2 % zelluloseumhüllte Stabelektroden fanden im Bereich Apparate-, Behälter-, Rohrleitungsbau Verwendung. Danach zeichnete sich jedoch ein deutliches Plus für den Kb- und Fe-Typ ab. Der Anteil der Fülldrahtelektroden am Gesamtdrahtelektrodenverbrauch lag im Mittel nur bei 3 %.

Aus Bild 2-2 ist der prozentuale Anteil der durchschnittlich verbrauchten Stabelektroden nach Umhüllungstypen Ende der 70er Jahre ersichtlich.

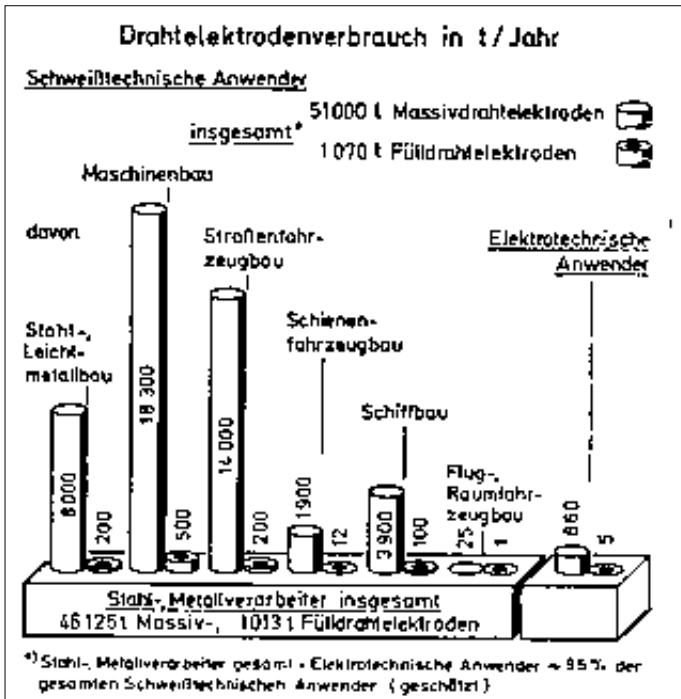
Den Verbrauch an Drahtelektroden bei unterschiedlichen Anwendern Ende der 70er Jahre zeigt Bild 2-3. Der größte Verbrauch von Massivdrähten zeigte sich im Maschinen-, Straßenfahrzeug-, Stahl- und Leichtmetallbau.

BGI 616

Bild 2-2: Prozentualer Anteil der durchschnittlich verbrauchten Stabelektroden nach Umhüllungstypen (Ende 1971) nach [1]

Fertigungszweig	Umhüllungstyp der Stabelektrode							
	nackt (%)	Tl-Typ (%)	Es-Typ (%)	Kb-Typ (%)	Ze-Typ (%)	Tf-Typ (%)	Fe-Typ (%)	sonstige ¹⁾ (%)
Apparate-, Behälter-, Rohrleitungsbau	1,3	69	3	19	2,0	0,1	5	0,6
Stahlhoch-, Stahlbrücken-, Stahlwasserbau	0,3	52,3	5	24	0,2	0,2	17	1,0
Maschinenbau	1,0	61,3	3	23	0,1	0,6	10	1,0
Straßenfahrzeugbau	0,3	60,5	9	24	0,2	0,1	5	0,9
Schienerfahrzeugbau	–	67,8	3	8	–	0,1	21	0,1
Schiffbau	–	71,8	–	8	–	0,4	19	0,8
Flug-, Raumfahrzeugbau	–	59	–	12	–	–	29	–
Stahl-, Metallverarbeiter gesamt	1,0	63	4	21	0,7	0,3	9	1,0
bis 49 Beschäftigte	2,0	74,7	4	11	0,4	0,7	7	0,2
50 bis 99 Beschäftigte	2,0	58,3	7	22	0,4	0,3	9	1,0
100 bis 199 Beschäftigte	0,3	69,4	3	21	0,2	0,3	5	0,8
200 bis 499 Beschäftigte	0,5	60,7	3	23	1,0	0,1	11	0,7
500 bis 999 Beschäftigte	1,0	62,9	3	19	1,0	0,1	12	1,0
1000 und mehr Beschäftigte	0,3	54,9	3	29	0,7	0,1	11	1
Elektrotechnische Anwen- der	2,0	72	3	17	0,2	0,2	4	1,6
¹⁾ z. B. Mischtypen								

Bild 2-3: Verbrauch der Drahtelektroden in t/Jahr (Ende der 70er Jahre) nach [1]



2.2 Typische Legierungen; chemische Zusammensetzung der repräsentativen Grund- und Zusatzwerkstoffe

Als typische Legierungen sind zu nennen:

- Allgemeine Baustähle, z. B. St 33, St 34, St 37-2, die unlegiert sind. Diese können bei Leitungen, Behältern und Apparaten bis 300 °C eingesetzt werden; DIN EN 10025, DIN EN 10222-1, DIN EN 10250-1/-2 (früher DIN 17100). Schweißzusätze z. B. nach DIN EN 440, DIN EN 499.
- Rohrstähe DIN 17172-100 (früher DIN 17172), ISO/DIS 3183-3-1996; DIN 17175, DIN EN 10208-1 (früher DIN 1629; DIN 1630).
- Warmfeste Stähle, die im Dampfkessel-, Apparate- und Rohrleitungsbau für hohe Temperaturen und gleichzeitig hohen Drücken verwendet werden können, z. B. Kesselbleche aus unlegierten oder legierten Stählen DIN EN 10028-1/-2 (früher DIN 17155). Schweißzusätze z. B. nach DIN EN 1599, DIN EN 12070, DIN EN 12071.

BGI 616

- Feinkornstähle DIN EN 10113-1/-2, DIN EN 10028-1/-3 (früher DIN 17102). Schweißzusätze z. B. nach DIN EN 440, DIN EN 499.
- Stahlguss DIN 1681, ISO 3755, ISO/DIS 8062. Schweißzusätze z. B. nach DIN 8573-1.
- Hochlegierte Stähle, z. B. CrNi 18 8-Stahl, für chemische und petrochemische Anlagen. Schweißzusätze z. B. nach DIN EN 1600.
- Aluminium und Aluminiumlegierungen. Schweißzusätze z. B. nach DIN 1732-1.
- Nickel- und Nickellegierungen. Schweißzusätze z. B. nach DIN 1736-1.

Eine retrospektive Übersicht der chemischen Zusammensetzung einiger typischer Legierungen sowie deren Anwendungsgebiete enthalten die Auszüge aus schweißtechnischen Normen (DIN-Normen) der 60er und 70er Jahre (Bilder 2-4 bis 2-16). Diese Normen wurden mittlerweile zurückgezogen bzw. durch andere DIN-Normen ersetzt (siehe Abschnitt 7.4).

Eine aktuelle Übersicht der chemischen Zusammensetzung typischer Legierungen geben die Auszüge aus dem DIN-DVS-Taschenbuch 8 (13. Auflage, März 2001) wider (Bilder 2-17 bis 2-27).

Spezifisch für die Anwendung des **Lichtbogenhandschweißens** ist die Verwendung von **umhüllten Stabelektroden**, die im Lichtbogen abgeschmolzen werden. Die Umhüllung hat sowohl metallurgische (Zulegierung von Legierungselementen: Schlackebildend, Schutz des Schweißbades vor dem Luftsauerstoff) als auch verfahrenstechnische Aufgaben (Stabilisierung und Ausrichtung des Lichtbogens).

In den 60er Jahren wurden – nach Umhüllungscharakter – sechs Grundtypen von Elektroden nach DIN 1913 Blatt 1 unterschieden:

Titandioxid: Ti	als Hauptbestandteil der Umhüllung Titandioxid, meist in Form von Rutil
Erzsauer: Es	die Umhüllung enthält Eisenoxide, Manganoxide, vorwiegend in Form von Erzen und einen hohen Zusatz von Ferromangan oder andere desoxidierende Bestandteile
Oxidisch: Ox	als Hauptbestandteil der Umhüllung Eisenoxid mit oder ohne Manganoxid-Zusätzen
Kalkbasisch: Kb	die Umhüllung weist einen hohen Gehalt an Calcium- oder anderen Erdalkalibicarbonaten und Flussspat auf
Zellulose: Ze	die Umhüllung enthält mehr als 10 % verbrennbare organische Stoffe, insbesondere Zellulose, sodass beim Schweißen starke Rauchentwicklung auftritt
Sondertypen: So	Tiefefinbrand-Elektroden (Tf), die sich ihrem Umhüllungscharakter nach in die Typen „Ti“ und „Ze“ einordnen lassen und hoch eisenpulverhaltige Elektroden (Fe)

Darüber hinaus werden auch Mischtypen eingesetzt.

Nach DIN EN 499 (1995) werden die Umhüllungen der Stabelektroden zum Schweißen unlegierter Stähle in folgende Typen eingeteilt:

Sauerumhüllt: A	Umhüllung mit hohen Eisenoxidanteilen und Ferromangan
Zelluloseumhüllt: C	Umhüllung mit hohem Anteil an verbrennbaren organischen Stoffen, insbesondere Zellulose
Rutilumhüllt: R	Umhüllung mit Titandioxid, Siliziumdioxid und Eisenverbindungen
Basischumhüllt: B	Umhüllung mit großem Anteil an Erdalkalikarbonaten, z. B. Calciumcarbonat und Flussspat; für das Schweißen mit Wechselstrom enthält die Umhüllung auch nicht basische Stoffe, z. B. Rutil oder Quarz

Als Mischtypen kommen rutilzellulose(RC)-, rutilsauer(RA)- und rutilbasisch(RB)-umhüllte Elektroden zur Anwendung.

Beim Fülldrahtschweißverfahren wird als Elektrodenmaterial ein ähnlicher Schweißzusatzwerkstoff wie beim Lichtbogenhandschweißen verwendet. Die Pulverfüllung der Fülldrähte ist ähnlich der Umhüllung der Stabelektroden. Somit kann bei Lichtbogenverfahren die Füllung eine ähnliche Rolle wie die Umhüllung spielen.

Nach DIN EN 758 werden die Füllungen der Fülldrahtelektroden – zum Schweißen unlegierter Stähle mit oder ohne Schutzgas – nach Füllungstyp in folgende Gruppen eingeteilt:

Rutil (R- und P-Typ):	enthält Titandioxid, Siliziumdioxid, Ferromangan
Basisch (B-Typ):	enthält vorwiegend Fluoride und Oxide der Erdalkalimetalle
Metallpulver (M-Typ):	enthält überwiegend Metall-Legierungen, Eisenpulver und lichtbogenstabilisierende Komponenten, wie Kaliumcarbonat

Diese Typen werden unter den Schutzgasen: CO₂ und Argon/CO₂-Mischgase mit unterschiedlichen Argon Anteilen geschweißt:

- Rutil oder Basisch/Fluorid (V-Typ),
- Basisch/Fluorid (W-Typ)
(langsam erstarrende Schlacke),
- Basisch/Fluorid (Y-Typ)
(schnell erstarrende Schlacke).

BGI 616

Als Hauptbestandteil der einzelnen Füllungstypen selbstschützender Fülldrähte sind zu zitieren:

Füllungstyp	mineralische Komponenten	metallische Komponenten	sonstige Komponenten
rutil-basisch	TiO ₂ , SiO ₂ , CaCO ₃ , Na ₂ CO ₃ , CaF ₂	Fe, FeMn, FeSi	Graphit
fluorid-basisch	CaO, MgO, CaF ₂ , CaCO ₃ , BaF ₂	Fe, FeMn, FeSi, Al, Mg, Ni	Graphit
fluoridisch	CaF ₂ , BaF ₂ , MgO	Fe, FeMn, FeSi, Al, Mg, Ni	–
(Killing-R., „Schweißen mit Fülldrahtelektrode – Neueste Erkenntnisse und Erfahrungen“, DVS Jahrbuch Schweißtechnik 1994)			

Bezüglich der Füllstoffmenge kann die selbstschützende Fülldrahtelektrode mit einer dünn umhüllten Stabelektrode verglichen werden.

Die Anwendung von Fülldrahtelektroden, insbesondere der selbstschützenden, hat im Vergleich zum Lichtbogenhandschweißen mit der Stabelektrode die sehr starke Rauchentwicklung als Nachteil.

Retrospektive Übersicht für typische Legierungen

Bild 2-4: Allgemeine Baustähle, Stahllarten – chemische Zusammensetzung
(Auszug aus DIN 17 100, Teil 1 – 1959)

Stahlsorte der Gütegruppe:			Werkstoffnummer	Schmelzenanalyse (Gew.-%)				
1 für allgemeine Anforderungen	2 für höhere Anforderungen	3 besonders beruhigt für Sonderanforderungen		C	P	S	N für W-Stahl	
			höchstens					
St 33			1.0033	–	–	–	–	
St 34			1.0100	0,17	0,08	0,05	–	
USt 34			1.0100.U					
RSt 34			1.0100.R					
	St 34-2		1.0102		0,05		0,05	0,010
	USt 34-2		1.0102.U					0,008
	RSt 34-2		1.0102.R					0,010
	MSt 34-2		1.0102.M					–
	MUSt 34-2		1.0102.5					
	MRSt 34-2		1.0102.6					
		St 34-3	1.0106		0,010			
		MSt 34-3	1.0106.6	–				
St 37			1.0110	0,20	0,08	0,05	–	
USt 37			1.0110.U					
RSt 37			1.0110.R					
	St 37-2		1.0112		0,06		0,05	0,010
	USt 37-2		1.0112.U					0,008
	RSt 37-2		1.0112.R					0,010
	MSt 37-2		1.0112.M					–
	MUSt 37-2		1.0112.5					
	MRSt 37-2		1.0116.6					
		St 37-3	1.0116		0,010			
		MSt 37-3	1.0116.6	–				

BGI 616

Stahlsorte der Gütegruppe:			Werkstoffnummer	Schmelzenanalyse (Gew.-%)			
1 für allgemeine Anforderungen	2 für höhere Anforderungen	3 besonders beruhigt für Sonderanforderungen		C	P	S	N für W-Stahl
			höchstens				
St 42			1.0130	0,25	0,08	0,05	-
USt 42			1.0130.U				
RSt 42			1.0130.R				
	St 42-2		1.0132	0,25 ¹⁾	0,06	0,05	0,010
	USt 42-2		1.0132.U				0,008
	RSt 42-2		1.0132.R				0,010
	MSt 42-2		1.0132.M				-
	MUSt 42-2		1.0132.5				-
	MRSt 42-2		1.0132.6				-
		St 42-3	1.0136				0,05
		MSt 42-3	1.0136.6	-			
St 50			1.0530	≈ 0,30	0,08	0,05	-
	St 50-2		1.0532				0,010
	MSt 50-2		1.0532.6				-
		St 52-3	1.0841	0,20 ³⁾	0,05	0,05	0,010
		MSt 52-3	1.0841.6				
St 60			1.0540	≈ 0,40	0,08	0,05	-
	St 60-2		1.0542				0,010
	MSt 60-2		1.0542.6				-
	St 70-2		1.0632.6				≈ 0,50

1) Sofern der Kohlenstoffgehalt in der Schmelzenanalyse 0,22 % – das sind in der Stückanalyse bei unberuhigtem Stahl 0,27 %, bei beruhigtem Stahl 0,25 % – überschreitet, darf der Stahl nur höchstens 0,20 % Cr enthalten

2) Der Siliziumgehalt darf 0,55 %, der Mangangehalt 1,50 % nicht überschreiten

3) Bei Halbzeug für Sonderprofile sowie bei Sonderprofilen mit Dicken über 16 mm, bei Breittflachstahl, Grobblech und Band wird ein Kohlenstoffgehalt bis 0,22 % in der Schmelzenanalyse, das sind 0,24 % in der Stückanalyse, nicht beanstandet

Bild 2-5: Rohre aus unlegiertem Stahl – chemische Zusammensetzung der Stähle (Schmelzenanalyse) für Rohre nach DIN 1629 Blatt 2 bis 4 (Auszug aus DIN 1629 Blatt 1 – 1959)

Stahlsorte		Chemische Zusammensetzung (Gew.-%)				
Kurzname nach DIN 17 006	Werkstoffnummer nach DIN 17 007 Blatt 2	C	Si	Mn	P	S
					höchstens	
St 00	1.0030	keine Vorschriften				
St 35	1.0308	≤ 0,18	–	–	0,05	0,05
St 45	1.0408	≤ 0,25	–	–	0,05	0,05
St 55	1.0507	≈ 0,36	–	–	0,05	0,05
St 52	1.0831	≤ 0,20 ²⁾	≤ 0,55	≤ 1,50	0,05	0,05
St 35.4	1.0309	≤ 0,17	0,10 bis 0,35	≥ 0,40	0,05	0,05
St 45.4	1.0418	≤ 0,22 ²⁾	0,10 bis 0,35	≥ 0,40	0,05	0,05
St 55.4	1.0509	≈ 0,36	0,10 bis 0,35	≥ 0,40	0,05	0,05
St 52.4	1.0832	< 0,20 ¹⁾	0,10 bis 0,55	≤ 1,50	0,05	0,05
¹⁾ Der Chromgehalt darf höchstens 0,3 % betragen ²⁾ Bei Wanddicken über 16 mm darf ein Kohlenstoffgehalt bis 0,22 % (Schmelzenanalyse) nicht beanstandet werden ³⁾ Bei der Nachprüfung am einzelnen Rohr darf der Kohlenstoffgehalt 0,25 % nicht überschreiten						

BGI 616

Bild 2-6: Inhaltsangaben über die Anwendungsbereiche der Rohre nach DIN 1629 Blatt 2 bis 4 (Auszug aus DIN 1629 Blatt 1 – 1959)

Maßgebende technische Lieferbedingung	Rohrart	Empfohlene Anwendungsbereiche		
		Anforderungen	Beanspruchungen	
			Temperatur	Betriebsdruck
DIN 1629 Blatt 2	Rohre in Handlungüte	Für allgemeine Anforderungen bei Leitungen, Behältern und Apparaten (die Rohre eignen sich im Allgemeinen zum Biegen, Bördeln und zu ähnlichen Verformungen)	bis 120 °C	für Flüssigkeiten bis 25 at Überdruck, falls Innendurchmesser (in mm) x Betriebsdruck (in at) ≤ 7200 für Pressluft und ungefährliche Gase bis 10 at Überdruck
			bis 180 °C	für Satteldampf bis 10 at Überdruck
DIN 1629 Blatt 3	Rohre mit Gütevorschriften	Für höhere Anforderungen bei Leitungen, Behältern und Apparaten (die Rohre eignen sich zum Biegen, Bördeln und zu ähnlichen Verformungen; bei größeren Verformungsbeanspruchungen sind die weicheren Stähle vorzuziehen)	bis 120 °C	bis 64 at Überdruck
			bis 300 °C, falls Wandtemperatur (in °C) x Betriebsdruck (in at) ≤ 7200	
			bis 120 °C	bis 160 at Überdruck
			bis 300 °C	
DIN 1629 Blatt 4	Rohre mit besonderen Gütevorschriften	Für höchste Anforderungen bei Leitungen, Behältern und Apparaten	bis 120 °C	ohne Begrenzung
			bis 300 °C	

Bild 2-7: Warmfeste Stähle für nahtlose Rohre, chemische Zusammensetzung/ Schmelzenanalyse (Auszug aus DIN 17 175 Blatt 1 – 1960)

Stahlsorte		Chemische Zusammensetzung (Gew.-%)							
Kurzname nach DIN 17 006	Werkstoffnummer nach DIN 17 007	C	Si	Mn	P		S	Cr	Mo
					höchstens				
St 35.8	1.0305	≤ 0,17	≤ 0,35	≥ 0,40	0,050	0,050			
St 45.8	1.0405	≤ 0,22	0,10 - 0,35	≥ 0,45	0,050	0,050			
15 Mo 3	1.5414	0,12 - 0,20	0,15 - 0,35	0,50 - 0,80	0,040	0,040			0,25 - 0,30
13 CrMo 4 4	1.7335	0,10 - 0,18	0,15 - 0,35	0,40 - 0,70	0,040	0,040	0,7 - 1,0		0,40 - 0,50
10 CrMo 9 10	1.7380	≤ 0,15	0,15 - 0,50	0,40 - 0,60	0,040	0,040	2,0 - 2,5		0,90 - 1,10

Nahtlose Rohre aus warmfesten Stählen, die im Dampfkessel-, Apparate- und Rohrleitungsbau für hohe Temperaturen bei gleichzeitig hohen Drücken verwendet werden können. Die Rohre eignen sich zum Biegen, Bördeln, Einwalzen und Schweißen.

Bild 2-8: Stähle für Kesselblech, Chemische Zusammensetzung/Schmelzenanalyse (Auszug aus DIN 17 155 Blatt 2 – 1960)

Stahlsorte		Chemische Zusammensetzung (Gew.-%)							
Kurzname nach DIN 17 006	Werkstoffnummer nach DIN 17 007	C	Si	Mn	P		S	Cr	Mo
					höchstens				
unlegierte Stähle									
H I	1.0345	≤ 0,16	} ≤ 0,35	≥ 0,40	} 0,050	} 0,050	} 1)		
H II	1,9425	≤ 0,20		≥ 0,50					
H III	1.0435	≤ 0,22		≥ 0,55					
H IV	1,9445	≤ 0,26		≥ 0,60					
legierte Stähle									
17 Mn 4	1.0844	0,14 - 0,20	0,20 - 0,40	0,90 - 1,20	} 0,050	} 0,050	} 1)		
19 Mn 5	1.0845	0,17 - 0,23	0,40 - 0,60	1,00 - 1,30					
15 Mo 3	1.5415	0,12 - 0,20	0,15 - 0,35	0,50 - 0,70	} 0,040	} 0,040	} 0,70 - 1,00		0,25 - 0,35
13 CrMo 4 4	1.7335	0,10 - 0,18	0,15 - 0,35	0,40 - 0,70					0,40 - 0,50
Kesselbleche, die für Dampfkesselanlagen ¹⁾ , Druckbehälter, große Druckrohrleitungen und ähnliche Bauteile verwendet wurden									
¹⁾ Höchstens 0,3 % Cr									

BGI 616

Bild 2-9: Schweißzusatzwerkstoffe für Aluminium und Aluminium-Legierungen – chemische Zusammensetzung der Schweißzusatzwerkstoffe (Auszug aus DIN 1732 Blatt 1 – 1963)

Legierungs- kurzzeichen	Werkstoff- nummer	Zusammensetzung		Schmelz- bereich (°C) ≈
		Legierungsbestandteile (Gew.-%)	Zulässige Beimengungen (Gew.-%)	
S-ALMg3	3.3535	Mg 2,6 bis 3,3 Mn 0 bis 0,4 Cr 0 bis 0,30 Al Rest	Si 0,50 Fe 0,40 Ti 0,20 Zn 0,20 Cu 0,05 Sonstige: einzeln 0,05 zusammen 0,15	580 bis 642
S-ALMg3 Si	3.3245	Mg 2,3 bis 3,5 Si 0,5 bis 0,8 Mn 0,3 bis 0,8 Cr 0 bis 0,30 Al Rest	Fe 0,50 Ti 9,20 Zn 0,20 Cu 0,10 Sonstige: einzeln 0,05 zusammen 0,15	588 bis 635
S-ALMg5	3.3555	Mg 4,3 bis 5,5 Mn 0 bis 0,6 Cr 0 bis 0,30 Al Rest	Si 0,50 Fe 0,40 Ti 0,20 Zn 0,20 Cu 0,05 Sonstige: einzeln 0,05 zusammen 0,15	562 bis 633
S-ALSi5	3.2245	Si 4,5 bis 5,5 Al Rest	Fe 0,40 Ti 0,20 Zn 0,20 Mn 0,10 Mg 0,10 Cu 0,05 Sonstige: einzeln 0,05 zusammen 0,15	573 bis 625

Legierungs- kurzzeichen	Werkstoff- nummer	Zusammensetzung		Schmelz- bereich (°C) ≈
		Legierungsbestandteile (Gew.-%)	Zulässige Beimengungen (Gew.-%)	
S-ALSi12	3.2585	Si 11,0 bis 13,5 Mn 0 bis 0,5 Al Rest	Fe 0,60 Ti 0,15 Zn 0,10 Mg 0,05 Cu 0,05 Sonstige: einzeln 0,05 zusammen 0,15	573 bis 585
S-ALSi10 Mg	3.2385	Si 9,0 bis 11,0 Mg 0,2 bis 0,4 Mn 0 bis 0,5 Al Rest	Fe 0,60 Ti 0,15 Zn 0,10 Cu 0,05 Sonstige: einzeln 0,05 zusammen 0,15	573 bis 585
S-AL99,98 R	3.0385	Al mindestens 99,98	insgesamt davon Si 0,010 Zn 0,010 Fe 0,006 Cu 0,003 Ti 0,003 Sonstige: einzeln 0,003	660
S-AL99,8	3.0285	Al mindestens 99,8	insgesamt davon Si 0,15 Fe 0,15 Zn 0,06 Ti 0,03 Cu 0,02 Sonstige: einzeln 0,01	658

BGI 616

Legierungs- kurzzeichen	Werkstoff- nummer	Zusammensetzung		
		Legierungsbestandteile (Gew.-%)	Zulässige Beimengungen (Gew.-%)	Schmelz- bereich (°C) ≈
S-Al99,5	3.0255	Al mindestens 99,5	insgesamt davon Fe 0,40 Si 0,30 Zn 0,07 Cu 0,05 Ti 0,05 Sonstige: einzeln 0,03	647 bis 658
S-Al99,5 Ti	3.08055	Al + Ti mindestens 99,5 Ti	insgesamt davon Fe 0,40 Si 0,30 Zn 0,07 Cu 0,05 Sonstige: einzeln 0,03	647 bis 658
S-AlMn	3.0515	Mn 0,8 bis 1,5 Mg 0 bis 0,3 Al Rest	Fe 0,5 Si 0,5 Ti 0,2 Zn 0,2 Cu 0,10 Sonstige: einzeln 0,05 zusammen 0,15	648 bis 657
S-AlMgMn	3.3528	Mg 1,6 bis 2,5 Mn 0,5 bis 1,5 Cr 0 bis 0,30 Al Rest	Si 0,5 Fe 0,40 Ti 0,2 Zn 0,2 Cu 0,05 Sonstige: einzeln 0,05 zusammen 0,15	575 bis 645

Bild 2-10: Angaben über die Verwendung der Aluminium-Schweißzusatzwerkstoffe bei unterschiedlichen Schweißverfahren – Beispiele –
(Auszug aus DIN 1732 Blatt 1 – 1963)

Grundwerkstoffe nach DIN 1712 Blatt 3 und DIN 1725 Blatt 1 und 2	Schweißverfahren				
	Gasschweißen	Wolfram-Inertgas- Schweißen (WIG)	Metall-Inertgas- Schweißen (MIG)	offenes Lichtbogen- schweißen mit umhüllten Elektroden	
Al 99,98 R Al 99,9	geeignet	empfohlen	empfohlen	geeignet	
Al 99,8 Al 99,7 E-Al E-ALMgSi	empfohlen	empfohlen	empfohlen	empfohlen	
Al 99,5 Al 99 E-Al E-ALMgSi	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	
Al 99,5 Al 99	empfohlen	empfohlen	empfohlen	empfohlen	
AlMn AlMg1 AlMg2 AlMg3 AlMgMn AlMg5	bei offenem Licht- bogen- schwei- ßen	empfohlen	empfohlen	geeignet	
AlMgMn		empfohlen	empfohlen	empfohlen	
AlMg3, AlMgMn, AlMg1, AlMg2, AlMgSi 0,5 dek G-ALMg3 G-ALMg3 (Cu)		empfohlen	empfohlen	geeignet	geeignet
AlMg3Si, AlMg3, AlMgSi 0,5 dek		empfohlen	geeignet	geeignet	nicht geeignet

BGI 616

Grundwerkstoffe nach DIN 1712 Blatt 3 und DIN 1725 Blatt 1 und 2	Schweißverfahren			
	Gasschweißen	Wolfram-Inertgas- Schweißen (WIG)	Metall-Inertgas- Schweißen (MIG)	offenes Lichtbogen- schweißen mit umhüllten Elektroden
AlMg5, AlMg3, AlMgMn, AlMg3Si, AlMgSi1 AlZnMg-Legierungen G-AlMg3 G-AlMg3 (Cu) G-AlMg5	geeignet	empfohlen	empfohlen	nicht geeignet
AlMgSi1 und AlZnMg- Legierungen (Schweiß- gut nicht dekorativ anodisch oxidierbar) AlCuMg-Legierungen AlSi-Gusslegierungen bis etwa 7 Gew.-% Si als Hauptlegierungs- bestandteil	empfohlen	empfohlen	empfohlen	empfohlen
AlSi-Gusslegierung mit mehr als 7 Gew.-% Si als Hauptlegierungs- bestandteil In Sonderfällen auch für Knetlegierungen bei ungünstigen Span- nungsverhältnissen (Schweißgut nicht dekorativ anodisch oxidierbar)	empfohlen	empfohlen	geeignet	empfohlen

Bild 2-11: Zusammensetzung verschiedener Kupfer- und kupferhaltiger Schweißzusatzwerkstoffe (Auszug aus DIN 1733 Blatt 1 – 1963)

Legierungskurzzeichen	Werkstoffnummer	Zusammensetzung		Schmelzbereich (°C) ≈
		Legierungsbestandteile (Gew.-%)	Zulässige Beimengungen (Gew.-%)	
S-Cu	2.0181	Cu mind. 99,0 P 0,02 bis 0,05 Zn 0 bis 0,5 Sn 0 bis 0,5 Si 0 bis 0,1 Mn 0 bis 0,5	Ni 0,3 Fe 0,05 Pb 0,01 As 0,05 Sonstige: zusammen 0,10	1070 bis 1080
S-CuAg	2.1211	Cu + Ag mind. 99,5 Ag 0,8 bis 1,2 P 0,02 bis 0,05 Mn 0 bis 0,2	Ni 0,30 Fe 0,05 Pb 0,01 As 0,05 Sonstige: zusammen 0,10	1068 bis 1078
S-CuSn	2,1006	Cu mind. 98,0 Sn 0,4 bis 1,0 Mn 0,1 bis 0,5 Si 0 bis 0,5 P 0 bis 0,02	Ni 0,30 Fe 0,05 Pb 0,01 As 0,05 Sonstige: zusammen 0,10	1050 bis 1075
S-CuSi	2.1461	Cu mind. 94,0 Si 2,8 bis 4,5 Mn 0,5 bis 1,5 Sn 0 bis 1,5 Fe 0 bis 0,5 Zn 0 bis 0,5	Pb 0,02 Sonstige: zusammen 0,50	910 bis 1025
S-SnBz6	2.1021	Cu mind. 91,0 Sn 5,0 bis 8,0 P 0 bis 0,4	Pb 0,02 Al 0,01 Zn 0,10 Fe 0,10 Sonstige: zusammen 0,40	910 bis 1040

BGI 616

Legierungskurzzeichen	Werkstoffnummer	Zusammensetzung		Schmelzbereich (°C) ≈
		Legierungsbestandteile (Gew.-%)	Zulässige Beimengungen (Gew.-%)	
S-SnBz12	2.1053	Cu mind.86,0 Sn 11,0 bis 13,0 P 0 bis 0,4	Fe 0,10 Pb 0,02 Al 0,01 Zn 0,10 Sonstige: zusammen 0,4	825 bis 990
S-Ms60	2.0366	Cu 58 bis 62 Si 0,1 bis 0,5 Sn 0 bis 0,5 Zn Rest	Fe 0,20 Mn 0,30 Pb 0,03 Al 0,01 Sonstige: zusammen 0,5	890 bis 900
S-SoMs	2.0531	Cu 56 bis 62 Si 0,1 bis 0,5 Mn 0 bis 1,0 Sn 0 bis 1,5 Ni 0 bis 1,5 Ag 0 bis 1,0 Fe 0 bis 0,5 Zn Rest Sn+Fe+Mn+Ni ≥ 1	Pb 0,03 Al 0,01 Sonstige: zusammen 0,20	870 bis 890
S-ALBz6	2.0917	Cu 91,5 bis 94 Al 5,5 bis 7,0 Ni 0 bis 0,8 Mn 0 bis 1,8	Fe 0,40 Si 0,20 Sonstige: zusammen 0,5	1050 bis 1060
S-ALBz8	2.0921	Cu 89 bis 93 Al 7,5 bis 9,5 Ni 0 bis 0,8 Mn 0 bis 1,8	Fe 0,50 Si 0,20 Sonstige: zusammen 0,50	1030 bis 1040
S-CuNi30Fe	2.0837	Cu 67 bis 70 Ni 29,0 bis 32,0 Fe 0,4 bis 1,4 Mn 0,3 bis 1,5 Ti 0 bis 0,5	Sn 0,03 Zn 0,20 Pb 0,02 Sonstige: zusammen 0,50	1180 bis 1240

Bild 2-12: Lieferart und Maße der Schweißzusatzwerkstoffe
(Auszug aus DIN 1733 Blatt 1 – 1963)

Lieferart der Schweißzusatzwerkstoffe	Verwendung für Verfahren	Durchmesser gezogen Nennmaß	Längen gezogen Nennmaß
Schweißstäbe ¹⁾	Gasschweißen Wolfram-Inertgas-Schweißen (WIG)	1,5	1000 oder nach Vereinbarung
		2,0	
		2,5	
		3,0	
		4,0	
		5,0	
Drahtelektroden Schweißdrähte	Metall-Inertgas-Schweißen (MIG)	(0,6)	-
		0,8	
		1,0	
		1,2	
		1,6	
		2,4	
		3,2	
Elektroden	Offenes Lichtbogenschweißen	2,0	250, 300
		2,5 3,25	350
		4	350, 400, 450
		5 6 8	450
¹⁾ Bei einigen Schweißzusatzwerkstoffen können Schweißstäbe mit Durchmessern von 2,0 bis 8,0 mm auch als gepresste Stäbe geliefert werden			

BGI 616

Schweißzusatzwerkstoffe für Nickel und Nickellegierungen

Bild 2-13: Zusammensetzung von Schweißstäben, Schweißdrähten und Drahtelektroden (Auszug aus DIN 1736 Blatt 1 – 1966)

Kurzzeichen	Werkstoffnummer	Legierungsbestandteile ¹⁾ (Gew.-%)	Zulässige Beimengungen (Gew.-%) höchstens
S-NiTi4	2.4155	Ni mindestens 93,0 Ti 1,0 bis 4,0 Al 0,1 bis 1,0 Ti + Al + Nb maximal 5	C 0,1 Pb 0,02 Cu 0,25 S 0,01 Fe 0,75 Si 0,75 Mn 0,75 Nb + Ta 2 Sonstige: zusammen 0,5
S-NiCr15FeTi	2.4803	Ni mindestens 67 Cr 14,0 bis 17,0 Fe 6,0 bis 10,0 Mn 2,0 bis 3,5 Ti 2,5 bis 3,5	C 0,1 Cu 0,5 S 0,01 Si 0,4 Sonstige: zusammen 0,5
S-NiCr20Nb	2.4806	Ni mindestens 67 Cr 18,0 bis 22,0 Mn 2,5 bis 3,5 Nb 2,0 bis 3,0	C 0,1 Si 0,5 Cu 0,5 Ta 0,3 Fe 3,0 Ti 0,75 S 0,015 Sonstige: zusammen 0,5
S-NiCr20	2.4808	Ni mindestens 76 C4 18,0 bis 21,0	C 0,25 Mn 1,2 Cu 0,2 S 0,01 Fe 0,5 Si 0,5 Sonstige: zusammen 0,5
S-NiMo30	2.4800	Ni mindestens 60 Mo 26,0 bis 30,0 Fe 4,0 bis 7,0	C 0,05 Mn 0,025 Cu 2,5 Si 1,0 Cr 1,0 V 0,6 Mn 1,0 Sonstige: zusammen 0,8
S-NiMo16Cr	2.4801	Ni mindestens 50 Mo 15,0 bis 17,0 Cr 14,5 bis 16,5 Fe 4,0 bis 7,0 W 3,0 bis 4,5	C 0,08 V 0,35 Co 2,5 Mn 1,0 S 0,025 Si 1,0 Sonstige: zusammen 0,8

Kurzzeichen	Werkstoffnummer	Legierungsbestandteile ¹⁾ (Gew.-%)	Zulässige Beimengungen (Gew.-%) höchstens
S-NiCu32Ti	2.4371	Ni mindestens 62 Cu 28,0 bis 34,0 Ti 1,5 bis 3,0 Fe 0,3 bis 2,5 Al 0,1 bis 1,0	C 0,15 S 0,02 Mn 1,0 Si 1,5 Sonstige: zusammen 0,5
S-NiCu30Al	2.4372	Ni mindestens 63 Cu 27,0 bis 34,0 Al 2,0 bis 4,0	C 0,25 S 0,01 Fe 2,0 Si 1,0 Mn 1,5 Ti 1,0 Sonstige: zusammen 0,5

¹⁾ Die Nickelgehalte schließen bis 1 Gew.-% ein, wenn nicht anders angegeben

Bild 2-14: Chemische Zusammensetzung von Stabelektroden
(Auszug aus DIN 1736 Blatt 1 – 1966)

Kurzzeichen	Werkstoffnummer	Legierungsbestandteile ¹⁾ (Gew.-%)	Zulässige Beimengungen (Gew.-%) höchstens
S-NiT1	2.4162	Ni mindestens 93 Ti 0,5 bis 4,0 Al 0,1 bis 1,0 Ti+Al+Nb maximal 5	C 0,4 Pb 0,02 Cu 0,25 S 0,01 Fe 0,75 Si 1,25 Mn 0,75 Nb+Ta 2 Sonstige: zusammen 0,5
S-NiT3	2.4156	Ni mindestens 93 Ti 1,0 bis 4,0 Al 0,1 bis 1,0 Ti+Al+Nb maximal 5	C 0,1 S 0,01 Cu 0,25 Si 0,75 Fe 0,75 Nb+Ta 2 Mn 0,75 Pb 0,02 Sonstige: zusammen 0,5
S-NiCr15FeNb	2.4805	Ni mindestens 70 Cr 14,0 bis 17,0 Fe 6,0 bis 12,0 Mo 0 bis 2,0 Nb 1,0 bis 4,0 Mn 1,0 bis 7,0	C 0,15 Cu 0,5 S 0,02 Si 0,75 Sonstige: zusammen 0,5

BGI 616

Kurzzeichen	Werkstoffnummer	Legierungsbestandteile ¹⁾ (Gew.-%)	Zulässige Beimengungen (Gew.-%) höchstens
S-NiCr15FeMn	2.4807	Ni mindestens 67 Cr 13,0 bis 17,0 Mn 5,0 bis 10,0 Fe 2,0 bis 9,0 Nb 1,0 bis 3,5	C 0,1 Cu 0,5 Mo 2,0 S 0,015 Si 0,1 Ta 0,3 Ti 1,0 Sonstige: zusammen 0,5
S-NiMo28	2.4802	Ni mindestens 60 Mo 26,0 bis 30,0 Fe 4,0 bis 7,0	C 0,05 S 0,025 Co 2,5 Si 1,0 Cr 1,0 V 0,6 Mn 1,0 Sonstige: zusammen 0,5
S-NiMo15Cr	2.4813	Ni mindestens 50 Mo 15,0 bis 17,0 Cr 14,5 bis 16,5 Fe 4,0 bis 7,0 W 3,0 bis 5,0	C 0,08 Si 0,1 Co 2,5 V 0,35 Mn 1,0 S 0,025 Sonstige: zusammen 0,8
S-NiCu30Mn	2.4366	Ni mindestens 62 Cu 27,0 bis 35,0 Mn 0,5 bis 2,5 Fe 0,3 bis 2,5 Ti 0 bis 1,5 Nb/Ta 0 bis 3,0	Al 1,0 C 0,15 Si 1,0 S 0,025 Sonstige: zusammen 0,5
S-NiCu28Mn	2.4372	Ni 60,0 bis 68,0 Cu mindestens 25 Mn 3,0 bis 6,0 Fe 0,3 bis 2,5 Nb 0 bis 2,5	C 0,15 S 0,025 Si 1,5 Sonstige: zusammen 0,5
S-NiCu28Al	2.4383	Ni 60,0 bis 68,0 Cu mindestens 25 Mn 1,0 bis 4,0 Fe 0,3 bis 2,5 Al 1,0 bis 4,0	C 0,15 Ti 1,0 S 0,025 Si 1,25 Sonstige: zusammen 0,5

¹⁾ Die Nickelgehalte schließen bis 1 Gew.-% ein, wenn nicht anders angegeben

Bild 2-15: Angaben über die Verwendung der Nickel- und Nickellegierungen – Schweißzusatzwerkstoffe bei unterschiedlichen Schweißverfahren – Beispiele – (Auszug aus DIN 1736 Blatt 1 – 1966)

Grundwerkstoffe nach	Schweißverfahren		
	Gasschweißen	Wolfram-Inertgas-Schweißen (WIG)	Metall-Inertgas-Schweißen (MIG)
Ni99,8 Ni99,6 Ni99,2 LC-Ni99 NiMn1 NiMn2 Verbindungsschweißungen dieser Werkstoffe mit Stählen	bedingt geeignet	empfohlen	empfohlen
NiCr15Fe NiCr15FeMo Verbindungsschweißungen unterschiedlicher Cu-freier Ni-Legierungen untereinander und mit unlegierten und legierten Stählen ¹⁾ und kaltzähen Stählen	nicht geeignet	empfohlen	empfohlen
NiCr15Fe NiCr15FeMo Verbindungsschweißungen unterschiedlicher Cu-freier Ni-Legierungen untereinander sowie mit unlegierten und legierten Stählen und kaltzähen Stählen, jedoch vorzugsweise für Zwangslagenschweißungen, Reaktorschweißungen und für dauerbeanspruchte Schweißungen bei hohen Temperaturen	nicht geeignet	empfohlen	empfohlen
Hochwarmfeste, ausscheidungshärtende Ni-Legierungen, Verbindungsschweißungen von Ni-Legierungen mit Stählen	nicht geeignet	empfohlen	empfohlen
NiMo30 Verbindungsschweißungen von NiMo30 mit Stählen	nicht geeignet	empfohlen	empfohlen
NiMo16Cr Verbindungsschweißungen von NiMo16Cr mit Stählen	nicht geeignet	empfohlen	empfohlen
NiCu30Fe Verbindungsschweißungen von NiCu30Fe mit unlegierten und niedrig legierten Stählen	bedingt geeignet	empfohlen	empfohlen
NiCu30Al	bedingt geeignet	empfohlen	empfohlen
¹⁾ Für dauerbeanspruchte Schweißverbindungen bei höheren Temperaturen			

BGI 616

Bild 2-16: Angaben über die Verwendung von verschiedenen Schweißzusatzwerkstoffen bei unterschiedlichen Schweißverfahren – Beispiele – (Auszug aus DIN 1733 Blatt 1 – 1963)

Grundwerkstoffe	Schweißverfahren			
	Gasschweißen	Wolfram-Inertgas-Schweißen (WIG)	Metall-Inertgas-Schweißen (MIG)	offenes Lichtbogenschweißen mit umhüllten Elektroden
Kupfersorten nach DIN 1787	empfohlen	geeignet	nicht geeignet	nicht geeignet
Kupfersorten nach DIN 1787	empfohlen	empfohlen ¹⁾	empfohlen ¹⁾	nicht geeignet
Kupfersorten nach DIN 1787	empfohlen	empfohlen	empfohlen	empfohlen
Siliziumbronzen	nicht geeignet	empfohlen	empfohlen	geeignet
Zinnbronzen SnBz2 bis SnBz6, Rotguss	geeignet	empfohlen	empfohlen	empfohlen
Guss-Zinnbronzen, Rotguss	empfohlen	geeignet	geeignet	empfohlen
Messing, Sondermessing	empfohlen	geeignet	nicht geeignet	nicht geeignet
1) Für Schutzgas-Lichtbogenschweißen P-Gehalt < 0,02 Gew.-%				

Aktuelle Übersicht für typische Legierungen

Die chemische Zusammensetzung bei den neu bezeichneten Legierungen hat sich weitgehend nicht geändert.

Die Werkstoffnummer hat sich im Laufe der Jahre nicht geändert, nur die Stoffbezeichnungen haben sich geändert.

Bild 2-17: Umhüllte Stabelektroden zum Lichtbogenhandschweißen von unlegierten Stählen und Feinkornstählen – chemische Zusammensetzung des Schweißgutes (Auszug aus EN 499 – 1994)

Legierungskurzzeichen	Chemische Zusammensetzung ^{1),2)} (Gew.-%)		
	Mn	Mo	Ni
kein Kurzzeichen	2,0	–	–
Mo	1,4	0,3 bis 0,6	–
MnMo	> 1,4 bis 2,0	0,3 bis 0,6	–
1Ni	1,4	–	0,6 bis 1,2
2Ni	1,4	–	1,8 bis 2,6
3 Ni	1,4	–	> 2,6 bis 3,8
Mn1Ni	> 1,4 bis 2,0	–	0,6 bis 1,2
1NiMo	1,4	0,3 bis 0,6	0,6 bis 1,2
Z	jede andere vereinbarte Zusammensetzung		

¹⁾ Falls nicht festgelegt: Mo < 0,2 %, Ni < 0,3 %, Cr < 0,2 %, V < 0,05 %, Nb < 0,05 %, Cu < 0,3 %
²⁾ Einzelwerte in der Tabelle sind Höchstwerte

BGI 616

Bild 2-18: Drahtelektroden und Schweißgut zum Metall-Schutzgasschweißen von unlegierten Stählen und Feinkornstählen – chemische Zusammensetzung für Drahtelektroden (Auszug aus EN 440 – 1994)

Kurzzeichen	Chemische Zusammensetzung ^{1), 2)} (Gew.-%)								
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	Al	Ti und Zr
G2Si1	0,06 bis 0,14	0,50 bis 0,80	0,90 bis 1,30	0,025	0,025	0,15	0,15	0,02	0,15
G3Si1	0,06 bis 0,14	0,70 bis 1,00	1,30 bis 1,60	0,025	0,025	0,15	0,15	0,02	0,15
G4Si1	0,06 bis 0,14	0,80 bis 1,20	1,60 bis 1,90	0,025	0,025	0,15	0,15	0,02	0,15
G3Si2	0,06 bis 0,14	1,00 bis 1,30	1,30 bis 1,60	0,025	0,025	0,15	0,15	0,02	0,15
G2Ti	0,04 bis 0,14	0,40 bis 0,80	0,90 bis 1,40	0,025	0,025	0,15	0,15	0,05 bis 0,20	0,05 bis 0,25
G3Ni1	0,06 bis 0,14	0,50 bis 0,90	1,00 bis 1,60	0,020	0,020	0,80 bis 1,50	0,15	0,02	0,15
G2Ni2	0,06 bis 0,14	0,40 bis 0,80	0,80 bis 1,40	0,020	0,020	2,10 bis 2,70	0,15	0,02	0,15
G2Mo	0,08 bis 0,12	0,30 bis 0,70	0,90 bis 1,30	0,020	0,020	0,15	0,40 bis 0,60	0,02	0,15
G4Mo	0,06 bis 0,14	0,50 bis 0,80	1,70 bis 2,10	0,025	0,025	0,15	0,40 bis 0,60	0,02	0,15
G2Al	0,08 bis 0,14	0,30 bis 0,50	0,90 bis 1,30	0,025	0,025	0,15	0,15	0,35 bis 0,75	0,15

¹⁾ Falls nicht festgelegt: Cr ≤ 0,15, Cu ≤ 0,35 und V ≤ 0,03. Der Anteil an Kupfer im Stahl plus Umhüllung darf 0,35 % nicht überschreiten.
²⁾ Einzelwerte in der Tabelle sind Höchstwerte.

Bild 2-19: Fülldrahtelektroden zum Metall-Lichtbogenschweißen mit und ohne Schutzgas von unlegierten Stählen und Feinkornstählen – chemische Zusammensetzung des reinen Schweißgutes
(Auszug aus EN 758 – 1997)

Kurzzeichen	Chemische Zusammensetzung ^{1), 2)} (Gew.-%)		
	Mn	Ni	Mo
Kein Kurzzeichen	2,0	–	–
Mo	1,4	–	0,3 bis 0,6
MnMo	1,4 bis 2,0	–	0,3 bis 0,6
1Ni	1,4	0,6 bis 1,2	–
1,5Ni	1,6	1,2 bis 1,8	–
2Ni	1,4	1,8 bis 2,6	–
3Ni	1,4	2,6 bis 3,8	–
Mn1Ni	1,4 bis 2,0	0,6 bis 1,2	–
1NiMo	1,4	0,6 bis 1,2	0,3 bis 0,6
Z	jede andere vereinbarte Zusammensetzung		
¹⁾ Falls nicht festgelegt: Mo < 0,2 %, Ni < 0,5 %, Cr < 0,2 %, V < 0,08 %, Nb < 0,05 %, Cu < 0,3 % und nur Fülldrähte ohne Schutzgas Al < 2,0 % ²⁾ Einzelwerte in der Tabelle sind Höchstwerte			

BGI 616

Bild 2-20: Umhüllte Stabelektroden zum Lichtbogenhandschweißen von nicht rostenden und hitzebeständigen Stählen – chemische Zusammensetzung des reinen Schweißgutes (Auszug aus EN 1600 – 1997)

Legierungs- kurzzeichen	Chemische Zusammensetzung ¹⁾ (Gew.-%)							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni ²⁾	Mo ²⁾
13	0,12	1,0	1,5	0,030	0,025	11,0 bis 14,0	-	-
13 4	0,06	1,0	1,5	0,030	0,025	11,0 bis 14,5	3,0 bis 5,0	0,4 bis 1,0
17	0,12	1,0	1,5	0,030	0,025	16,0 bis 18,0	-	-
19 9	0,08	1,0	2,0	0,030	0,025	18,0 bis 21,0	9,0 bis 11,0	-
19 9 L	0,04	1,0	2,0	0,030	0,025	18,0 bis 21,0	9,0 bis 11,0	-
19 9 Nb	0,08	1,0	2,0	0,030	0,025	18,0 bis 21,0	9,0 bis 11,0	-
19 12 2	0,08	1,2	2,0	0,030	0,025	17,0 bis 20,0	10,0 bis 13,0	2,0 bis 3,0
19 12 3 L	0,04	1,2	2,0	0,030	0,025	17,0 bis 20,0	10,0 bis 13,0	2,5 bis 3,0
19 12 3 Nb	0,08	1,2	2,0	0,030	0,025	17,0 bis 20,0	10,0 bis 13,0	2,5 bis 3,0
19 13 4 N L	0,04	1,2	1,0 bis 5,0	0,030	0,025	17,0 bis 20,0	12,0 bis 15,0	3,0 bis 4,5
22 9 3 N L	0,04	1,2	2,5	0,030	0,025	21,0 bis 24,0	7,5 bis 10,5	2,5 bis 4,0
25 7 2 N L	0,04	1,2	2,0	0,035	0,025	24,0 bis 28,0	6,0 bis 8,0	1,0 bis 3,0
25 9 3 Cu N L	0,04	1,2	2,5	0,030	0,025	24,0 bis 27,0	7,5 bis 10,5	2,5 bis 4,0
25 9 4 N L	0,04	1,2	2,5	0,030	0,025	24,0 bis 27,0	8,0 bis 10,5	2,5 bis 4,5
18 15 3 L	0,04	1,2	1,0 bis 4,0	0,030	0,025	16,5 bis 19,5	14,0 bis 17,0	2,5 bis 3,5
18 16 5 N L	0,04	1,2	1,0 bis 4,0	0,035	0,025	17,0 bis 20,0	15,5 bis 19,0	3,5 bis 5,0
20 25 5 Cu N L	0,04	1,2	1,0 bis 4,0	0,030	0,025	19,0 bis 22,0	24,0 bis 27,0	4,0 bis 7,0
20 16 3 Mn N L	0,04	1,2	5,0 bis 8,0	0,035	0,025	18,0 bis 21,0	15,0 bis 18,0	2,5 bis 3,5
25 22 2 N L	0,04	1,2	1,0 bis 5,0	0,030	0,025	24,0 bis 27,0	20,0 bis 23,0	2,0 bis 3,0
27 31 4 Cu L	0,04	1,2	2,5	0,030	0,025	26,0 bis 29,0	30,0 bis 33,0	3,0 bis 4,5
Spezialsorten								
18 8 Mn	0,20	1,2	4,5 bis 7,5	0,035	0,025	17,0 bis 20,0	7,0 bis 10,0	-
18 9 MnMo	0,04 bis 0,14	1,2	3,0 bis 5,0	0,035	0,025	18,0 bis 21,5	9,0 bis 11,0	0,5 bis 1,5
20 10 3	0,10	1,2	2,5	0,030	0,025	18,0 bis 21,0	9,0 bis 12,0	1,5 bis 3,5
23 12 L	0,04	1,2	2,5	0,030	0,025	22,0 bis 25,0	11,0 bis 14,0	-
23 12 Nb	0,10	1,2	2,5	0,030	0,025	22,0 bis 25,0	11,0 bis 14,0	-
23 12 2 L	0,04	1,2	2,5	0,030	0,025	22,0 bis 25,0	11,0 bis 14,0	2,0 bis 3,0
29 9	0,15	1,2	2,5	0,035	0,025	27,0 bis 31,0	8,0 bis 12,0	-

Legierungs- kurzzeichen	Chemische Zusammensetzung ¹⁾ (Gew.-%)							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni ²⁾	Mo ²⁾
Hitzebeständige Sorten 16 8 2	0,08	1,0	2,5	0,030	0,025	14,5 bis 16,5	7,5 bis 9,5	1,5 bis 2,5
19 9 H	0,04 bis 0,08	1,2	2,0	0,030	0,025	18,0 bis 21,0	9,0 bis 11,0	-
25 4	0,15	1,2	2,5	0,030	0,025	24,0 bis 27,0	4,0 bis 6,0	-
22 12	0,15	1,2	2,5	0,030	0,025	20,0 bis 23,0	10,0 bis 13,0	-
25 20	0,06 bis 0,20	1,2	1,0 bis 5,0	0,303	0,025	23,0 bis 27,0	18,0 bis 22,0	-
25 20 H	0,35 bis 0,45	1,2	2,5	0,030	0,025	23,0 bis 27,0	18,0 bis 22,0	-
18 36	0,25	1,2	2,5	0,030	0,025	14,0 bis 18,0	33,0 bis 37,0	-
¹⁾ Einzelwerte in der Tabelle sind Höchstwerte. ²⁾ Falls nicht festgelegt: Mo < 0,75%, Cu < 0,75% und Ni < 0,60%.								

BGI 616

Bild 2-21: Drahtelektroden, Drähte und Stäbe zum Lichtbogenhandschweißen von nicht rostenden und hitzbeständigen Stählen – chemische Zusammensetzung von Drahtelektroden, Drähten und Stäben (Auszug aus EN 12072:1999)

Legierungs- kurzzeichen	Chemische Zusammensetzung ^{1) 2)} (Gew.-%)							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
13	0,15	1,0	1,0	0,03	0,02	12,0 bis 15,0	–	–
13 L	0,05	1,0	1,0	0,03	0,02	12,0 bis 15,0	–	–
13 4	0,05	1,0	1,0	0,03	0,02	11,0 bis 14,0	3,0 bis 5,0	0,4 bis 1,0
17	0,12	1,0	1,0	0,03	0,02	16,0 bis 19,0	–	–
19 9 L	0,03	0,65	1,0 bis 2,5	0,03	0,02	19,0 bis 21,0	9,0 bis 11,0	–
19 9 Nb	0,08	0,65	1,0 bis 2,5	0,03	0,02	19,0 bis 21,0	9,0 bis 11,0	–
19 12 3 L	0,03	0,65	1,0 bis 2,5	0,03	0,02	18,0 bis 20,0	11,0 bis 14,0	2,5 bis 3,0
19 12 3 Nb	0,08	0,65	1,0 bis 2,5	0,03	0,02	18,0 bis 20,0	11,0 bis 14,0	2,5 bis 3,0
22 9 3 N L	0,03	1,0	2,5	0,03	0,02	21,0 bis 24,4	7,0 bis 10,0	2,5 bis 4,0
25 7 2 L	0,03	1,0	2,5	0,03	0,02	24,0 bis 27,0	6,0 bis 8,0	1,5 bis 2,5
25 9 3 Cu N L	0,03	1,0	2,5	0,03	0,02	24,0 bis 27,0	8,0 bis 11,0	2,5 bis 4,0
25 9 4 N L	0,03	1,0	2,5	0,03	0,02	24,0 bis 27,0	8,0 bis 10,5	2,5 bis 4,5
18 15 3 L	0,03	1,0	1,0 bis 4,0	0,03	0,02	17,0 bis 20,0	13,0 bis 16,0	2,5 bis 4,0
18 16 5 N L	0,03	1,0	1,0 bis 4,0	0,03	0,02	17,0 bis 20,0	16,0 bis 19,0	3,5 bis 5,0
19 13 4 L	0,03	1,0	1,0 bis 5,0	0,03	0,02	17,0 bis 20,0	12,0 bis 15,0	3,0 bis 4,5
20 25 5 Cu L	0,03	1,0	1,0 bis 5,0	0,03	0,02	19,0 bis 22,0	24,0 bis 27,0	4,0 bis 6,0
20 16 3 Mn L	0,03	1,0	5,0 bis 9,0	0,03	0,02	19,0 bis 22,0	15,0 bis 18,0	2,5 bis 4,5
25 22 2 N L	0,03	1,0	3,5 bis 6,5	0,03	0,02	24,0 bis 27,0	21,0 bis 24,0	1,5 bis 3,0
27 31 4 Cu L	0,03	1,0	1,0 bis 3,0	0,03	0,02	26,0 bis 29,0	30,0 bis 33,0	3,0 bis 4,5
18 8 Mn	0,20	1,2	5,0 bis 8,0	0,03	0,03	17,0 bis 20,0	7,0 bis 10,0	–
20 10 3	0,12	1,0	1,0 bis 2,5	0,03	0,02	18,0 bis 21,0	8,0 bis 12,0	1,5 bis 3,5
23 12 L	0,03	0,65	1,0 bis 2,5	0,03	0,02	22,0 bis 25,0	11,0 bis 14,0	–
23 12 Nb	0,08	1,0	1,0 bis 2,5	0,03	0,02	22,0 bis 25,0	11,0 bis 14,0	–
23 12 2 L	0,03	1,0	1,0 bis 2,5	0,03	0,02	21,0 bis 25,0	11,0 bis 15,5	2,0 bis 3,5
29 9	0,15	1,0	1,0 bis 2,5	0,03	0,02	28,0 bis 32,0	8,0 bis 12,0	–
16 8 2	0,10	1,0	1,0 bis 2,5	0,03	0,02	14,5 bis 16,5	7,5 bis 9,5	1,0 bis 2,5
19 9 H	0,04 bis 0,08	1,0	1,0 bis 2,5	0,03	0,02	18,0 bis 21,0	9,0 bis 11,0	–
19 12 3 H	0,04 bis 0,08	1,0	1,0 bis 2,5	0,03	0,02	18,0 bis 20,0	11,0 bis 14,0	2,0 bis 3,0
22 12 H	0,04 bis 0,15	2,0	1,0 bis 2,5	0,03	0,02	21,0 bis 24,0	11,0 bis 14,0	–
25 4	0,15	2,0	1,0 bis 2,5	0,03	0,02	24,0 bis 27,0	4,0 bis 6,0	–
25 20	0,08 bis 0,15	2,0	1,0 bis 2,5	0,03	0,02	24,0 bis 27,0	18,0 bis 22,0	–
25 20 Mn	0,08 bis 0,15	2,0	2,5 bis 5,0	0,03	0,02	24,0 bis 27,0	18,0 bis 22,0	–
25 20 H	0,35 bis 0,45	2,0	1,0 bis 2,5	0,03	0,02	24,0 bis 27,0	18,0 bis 22,0	–
18 36 H	0,18 bis 0,25	0,4 bis 2,0	1,0 bis 2,5	0,03	0,02	15,0 bis 19,0	33,0 bis 37,0	–

¹⁾ Falls nicht festgelegt Mo < 0,3%; Cu < 0,3% und Ni < 0,3%

²⁾ Einzelwerte in der Tabelle sind Höchstwerte

Bild 2-22: Fülldrahtelektroden zum Metall-Lichtbogenschweißen mit oder ohne Schutzgas von nicht rostenden und hitzebeständigen Stählen – chemische Zusammensetzung des reinen Schweißgutes
(Auszug aus EN 12073 – 1999)

Legierungs- kurzzeichen	Chemische Zusammensetzung ^{1), 2)} (Gew.-%)							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
13	0,12	1,0	1,5	0,030	0,025	11,0 bis 14,0	–	–
13 Ti	0,10	1,0	0,80	0,030	0,030	10,5 bis 13,0	–	–
13 4	0,06	1,0	1,5	0,030	0,025	11,0 bis 14,5	3,0 bis 5,0	0,4 bis 1,0
17	0,12	1,0	1,5	0,030	0,025	16,0 bis 18,0	–	–
19 9 L	0,04	1,2	2,0	0,030	0,025	18,0 bis 21,0	9,0 bis 11,0	–
19 9 Nb	0,08	1,2	2,0	0,030	0,025	18,0 bis 21,0	9,0 bis 11,0	–
12 12 3 L	0,04	1,2	2,0	0,030	0,025	17,0 bis 20,0	10,0 bis 13,0	2,5 bis 3,0
19 12 3 Nb	0,08	1,2	2,0	0,030	0,025	17,0 bis 20,0	10,0 bis 13,0	2,5 bis 3,0
19 13 4 NL	0,04	1,2	1,0 bis 5,0	0,030	0,025	17,0 bis 20,0	12,0 bis 15,0	3,0 bis 4,5
22 9 3 NL	0,04	1,2	2,5	0,030	0,025	21,0 bis 24,0	7,5 bis 10,5	2,5 bis 4,0
18 16 5 NL	0,04	1,2	1,0 bis 4,0	0,035	0,025	17,0 bis 20,0	15,5 bis 19,0	3,5 bis 5,0
18 8 Mn	0,20	1,2	4,5 bis 7,5	0,035	0,025	17,0 bis 20,0	7,0 bis 10,0	–
20 10 3	0,08	1,2	2,5	0,035	0,025	19,5 bis 22,0	9,0 bis 11,0	2,0 bis 4,0
23 12 L	0,04	1,2	2,5	0,030	0,025	22,0 bis 25,0	11,0 bis 14,0	–
23 12 2 L	0,04	1,2	2,5	0,030	0,025	22,0 bis 25,0	11,0 bis 14,0	2,0 bis 3,0
29 9	0,15	1,2	2,5	0,035	0,025	27,0 bis 31,0	8,0 bis 12,0	–
22 12 H	0,15	1,2	2,5	0,030	0,025	20,0 bis 23,0	10,0 bis 13,0	–
25 20	0,06 bis 0,20	1,2	1,0 bis 5,0	0,030	0,025	23,0 bis 27,0	18,0 bis 22,0	–

¹⁾ Falls nicht festgelegt Mo < 0,75 %, Cu < 0,75 % und Ni < 0,60 %
²⁾ Einzelwerte in der Tabelle sind Höchstwerte

BGI 616

Bild 2-23: Umhüllte Stabelektroden zum Lichtbogenhandschweißen von warmfesten Stählen – chemische Zusammensetzung des reinen Schweißgutes (Auszug aus EN 1599 – 1997)

Kurzzeichen	Chemische Zusammensetzung ^{1), 2), 3)} (Gew.-%)							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
Mo	0,10	0,80	0,40 bis 1,50 ³⁾	0,030	0,025	–	0,40 bis 0,70	–
MoV	0,03 bis 0,12	0,80	0,40 bis 1,50	0,030	0,025	0,30 bis 0,60	0,80 bis 1,20	0,25 bis 0,60
CrMo0,5	0,05 bis 0,12	0,80	0,40 bis 1,50	0,030	0,025	0,40 bis 0,65	0,40 bis 0,65	–
CrMo1	0,05 bis 0,12	0,80	0,40 bis 1,50 ³⁾	0,030	0,025	0,90 bis 1,40	0,45 bis 0,70	–
CrMo1L	0,05	0,80	0,40 bis 1,50 ³⁾	0,030	0,025	0,90 bis 1,40	0,45 bis 0,70	–
CrMoV1	0,05 bis 0,15	0,80	0,70 bis 1,50	0,030	0,025	0,90 bis 1,30	0,90 bis 1,30	0,10 bis 0,35
CrMo2	0,05 bis 0,12	0,80	0,40 bis 1,30	0,030	0,025	2,0 bis 2,6	0,90 bis 1,30	–
CrMo2L	0,05	0,80	0,40 bis 1,30	0,030	0,025	2,0 bis 2,6	0,90 bis 1,30	–
CrMo5	0,03 bis 0,12	0,80	0,40 bis 1,50	0,025	0,025	4,0 bis 6,0	0,40 bis 0,70	–
CrMo9	0,03 bis 0,12	0,80	0,40 bis 1,30	0,025	0,025	8,0 bis 10,0	0,90 bis 1,20	0,15
CrMo91	0,06 bis 0,12	0,60	0,40 bis 1,50	0,025	0,025	8,0 bis 10,5	0,80 bis 1,20	0,15 bis 0,30
CrMoWV12	0,15 bis 0,22	0,80	0,40 bis 1,30	0,025	0,025	10,0 bis 12,0	0,80 bis 1,20	0,20 bis 0,40

1) Falls nicht festgelegt: Ni < 0,3 %, Cu < 0,3 %, V < 0,03 %, Nb < 0,01 %, Cr < 0,2 %
2) Einzelwerte in der Tabelle sind Höchstwerte
3) Für rutilumhüllte Stabelektroden sind Mn-Anteile von 0,4 % bis 0,9 %, für basischumhüllte Stabelektroden sind Mn-Anteile von 0,7 % bis 1,5 % üblich

Bild 2-24: Drahtelektroden, Drähte und Stäbe zum Lichtbogenschweißen von warmfesten Stählen – chemische Zusammensetzung (Auszug aus EN 12070 – 1999)

Legierungs- kurzzeichen	Chemische Zusammensetzung ^{1),2)} (Gew.-%)							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
Mo	0,08 bis 0,15	0,05 bis 0,25	0,80 bis 1,20	0,025	0,025	–	0,45 bis 0,65	–
MoSi	0,08 bis 0,15	0,50 bis 0,80	0,70 bis 1,30	0,020	0,020	–	0,40 bis 0,60	–
MnMo	0,08 bis 0,15	0,05 bis 0,25	1,30 bis 1,70	0,025	0,025	–	0,45 bis 0,65	–
MoV	0,08 bis 0,15	0,10 bis 0,30	0,60 bis 1,00	0,020	0,020	0,30 bis 0,60	0,50 bis 1,00	0,25 bis 0,45
MoVSi	0,08 bis 0,15	0,40 bis 0,70	0,70 bis 1,10	0,020	0,020	0,30 bis 0,60	0,50 bis 1,00	0,20 bis 0,40
CrMo1	0,08 bis 0,15	0,05 bis 0,25	0,60 bis 1,00	0,020	0,020	0,90 bis 1,30	0,40 bis 0,65	–
CrMo1Si	0,08 bis 0,14	0,50 bis 0,80	0,80 bis 1,20	0,020	0,020	0,90 bis 1,30	0,40 bis 0,65	–
CrMoV1	0,08 bis 0,15	0,05 bis 0,25	0,80 bis 1,20	0,020	0,020	0,90 bis 1,30	0,90 bis 1,30	0,10 bis 0,35
CrMoV1Si	0,06 bis 0,15	0,50 bis 0,80	0,80 bis 1,20	0,020	0,020	0,90 bis 1,30	0,90 bis 1,30	0,10 bis 0,35
CrMo2	0,08 bis 0,15	0,05 bis 0,25	0,30 bis 0,70	0,020	0,020	2,2 bis 2,8	0,90 bis 1,15	–
CrMo2Si	0,04 bis 0,12	0,50 bis 0,80	0,80 bis 1,20	0,020	0,020	2,3 bis 3,0	0,90 bis 1,20	–
CrMo2Mn ³⁾	0,10	0,50	0,50 bis 1,20	0,020	0,015	2,0 bis 2,5	0,90 bis 1,20	–
CrMo2L	0,05	0,05 bis 0,25	0,30 bis 0,70	0,020	0,020	2,2 bis 2,8	0,90 bis 1,15	–
CrMo2LSi	0,05	0,50 bis 0,80	0,80 bis 1,20	0,020	0,020	2,3 bis 3,0	0,90 bis 1,20	–
CrMo5	0,03 bis 0,10	0,20 bis 0,50	0,40 bis 0,75	0,020	0,020	5,5 bis 6,5	0,50 bis 0,80	–
CrMo5Si	0,03 bis 0,10	0,30 bis 0,60	0,30 bis 0,70	0,020	0,020	5,5 bis 6,5	0,50 bis 0,80	–
CrMo9	0,06 bis 0,10	0,30 bis 0,60	0,30 bis 0,70	0,025	0,025	8,5 bis 10,0	0,80 bis 1,20	0,15
CrMo9Si	0,03 bis 0,10	0,40 bis 0,80	0,40 bis 0,80	0,020	0,020	8,5 bis 10,0	0,80 bis 1,20	–
CrMo91	0,07 bis 0,15	0,60	0,4 bis 1,5	0,020	0,020	8,0 bis 10,5	0,80 bis 1,20	0,15 bis 0,30
CrMoWV12	0,22 bis 0,30	0,05 bis 0,40	0,40 bis 1,20	0,025	0,020	10,5 bis 12,5	0,80 bis 1,20	0,20 bis 0,40
CrMoWV12Si	0,17 bis 0,24	0,20 bis 0,60	0,40 bis 1,00	0,025	0,020	10,5 bis 12,0	0,80 bis 1,20	0,20 bis 0,40

1) Falls nicht festgelegt: Ni < 0,3 %, Cu < 0,3 %, V < 0,03 %, Nb < 0,01 %, Cr < 0,2 %
2) Einzelwerte in der Tabelle sind Höchstwerte
3) Ein Verhältnis von Mn zu Si von > 2,0 ist wünschenswert

BGI 616

Bild 2-25: Drahtelektroden, Drähte, Stäbe zum Schutzgasschweißen von hochfesten Stählen – chemische Zusammensetzung für Drahtelektroden (Auszug aus EN 12534 – 1999)

Legierungs- kurzzeichen	Chemische Zusammensetzung ^{1),2)} (Gew.-%)								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu
Mn3NiCrMo	0,14	0,60 bis 0,80	1,30 bis 1,80	0,015	0,018	0,40 bis 0,65	0,50 bis 0,65	0,15 bis 0,30	0,30
Mn3Ni1CrMo	0,12	0,40 bis 0,70	1,30 bis 1,80	0,015	0,018	0,20 bis 0,40	1,20 bis 1,60	0,20 bis 0,30	0,35
Mn3Ni1Mo	0,12	0,40 bis 0,80	1,30 bis 1,90	0,015	0,018	0,15	0,80 bis 1,30	0,25 bis 0,65	0,30
Mn3Ni1,5Mo	0,08	0,20 bis 0,60	1,30 bis 1,80	0,015	0,018	0,15	1,40 bis 2,10	0,25 bis 0,55	0,30
Mn3Ni1Cu	0,12	0,20 bis 0,60	1,20 bis 1,80	0,015	0,018	0,15	0,80 bis 1,25	0,20	0,30 bis 0,65
Mn3Ni1MoCu	0,12	0,20 bis 0,60	1,20 bis 1,80	0,015	0,018	0,15	0,80 bis 1,25	0,20 bis 0,55	0,35 bis 0,65
Mn3Ni2,5CrMo	0,12	0,40 bis 0,70	1,30 bis 1,80	0,015	0,018	0,20 bis 0,60	2,30 bis 2,80	0,30 bis 0,65	0,30
Mn4Ni1Mo	0,12	0,50 bis 0,80	1,60 bis 2,10	0,015	0,018	0,15	0,80 bis 1,25	0,20 bis 0,55	0,30
Mn4Ni2Mo	0,12	0,25 bis 0,60	1,60 bis 2,10	0,015	0,018	0,15	2,00 bis 2,60	0,30 bis 0,65	0,30
Mn4Ni1,5CrMo	0,12	0,50 bis 0,80	1,60 bis 2,10	0,015	0,018	0,15 bis 0,40	1,30 bis 1,90	0,30 bis 0,65	0,30
Mn4Ni2CrMo	0,12	0,60 bis 0,90	1,60 bis 2,10	0,015	0,018	0,20 bis 0,45	1,80 bis 2,30	0,45 bis 0,70	0,30
Mn4Ni2,5CrMo	0,13	0,50 bis 0,80	1,60 bis 2,10	0,015	0,018	0,20 bis 0,60	2,30 bis 2,80	0,30 bis 0,65	0,30

¹⁾ Falls nicht festgelegt: Ti < 0,10 %, Zr < 0,10 %, Al < 0,12 % und V < 0,03 %. Der Anteil an Kupfer im Stahl plus Überzug darf 0,35 % nicht überschreiten

²⁾ Einzelwerte in der Tabelle sind Höchstwerte

Bild 2-26: Umhüllte Stabelektroden zum Lichtbogenhandschweißen von hochfesten Stählen – chemische Zusammensetzung des reinen Schweißgutes (Auszug aus EN 757 – 1997)

Legierungskurzzeichen	Chemische Zusammensetzung ^{1) 2)} (Gew.-%)			
	Mn	Ni	Cr	Mo
MnMo	1,4 bis 2,0	–	–	0,3 bis 0,6
Mn1Ni	1,4 bis 2,0	0,6 bis 1,2	–	–
1NiMo	1,4	0,6 bis 1,2	–	0,3 bis 0,6
1,5NiMo	1,4	1,2 bis 1,8	–	0,3 bis 0,7
2NiMo	1,4	1,8 bis 2,6	–	0,3 bis 0,7
Mn1NiMo	1,4 bis 2,0	0,6 bis 1,2	–	0,3 bis 0,7
Mn2NiMo	1,4 bis 2,0	1,8 bis 2,6	–	0,3 bis 0,7
Mn2NiCrMo	1,4 bis 2,0	1,8 bis 2,6	0,3 bis 0,6	0,3 bis 0,6
Mn2Ni1CrMo	1,4 bis 2,0	1,8 bis 2,6	0,6 bis 1,0	0,3 bis 0,6

¹⁾ Falls nicht festgelegt: C 0,03 bis 0,10 %, Si ≤ 0,90 %, Ni < 0,3 %, Cr < 0,2 %, Mo < 0,2 %, V < 0,05 %, Nb < 0,05 %, Cu < 0,3 %, P < 0,02 % und S < 0,02 %

²⁾ Einzelwerte in der Tabelle sind Höchstwerte

BGI 616

Bild 2-27: Fülldrahtelektroden zum Metall-Schutzgasschweißen von hochfesten Stählen – chemische Zusammensetzung des reinen Schweißgutes (Auszug aus EN 12 535 – 2000)

Legierungskurzzeichen	Chemische Zusammensetzung ^{1), 2)} (Gew.-%)			
	Mn	Ni	Cr	Mo
MnMo	1,4 bis 2,0	–	–	0,3 bis 0,6
Mn1Ni	1,4 bis 2,0	0,6 bis 1,2	–	–
Mn1,5Ni	1,1 bis 1,8	1,3 bis 1,8	–	–
Mn2,5Ni	1,1 bis 2,0	2,1 bis 3,0	–	–
1NiMo	1,4	0,6 bis 1,2	–	0,3 bis 0,6
1,5NiMo	1,4	1,2 bis 1,8	–	0,3 bis 0,7
2NiMo	1,4	1,8 bis 2,6	–	0,3 bis 0,7
Mn1NiMo	1,4 bis 2,0	0,6 bis 1,2	–	0,3 bis 0,7
Mn2NiMo	1,4 bis 2,0	1,8 bis 2,6	–	0,3 bis 0,7
Mn2NiCrMo	1,4 bis 2,0	1,8 bis 2,6	0,3 bis 0,6	0,3 bis 0,6
Mn2Ni1CrMo	1,4 bis 2,0	1,8 bis 2,6	0,6 bis 1,0	0,3 bis 0,6

¹⁾ Falls nicht festgelegt: C 0,03 bis 0,10 %, Si ≤ 0,90 %, Ni < 0,3 %, Cr < 0,2 %, Mo < 0,2 %, V < 0,05 %, Nb < 0,05 %, Cu < 0,3 %, P < 0,02 % und S < 0,02 %
²⁾ Einzelwerte in der Tabelle sind Höchstwerte

3 Beurteilung der Gefährdung und Empfehlungen für die Praxis

Für die Festlegung von Maßnahmen zum Schutz der Gesundheit wird nach dem ArbSchG (BetrSichV) und dem Chemikaliengesetz (GefStoffV) eine Beurteilung gefordert, in der die für die Beschäftigten mit ihrer Arbeit verbundenen Gefährdungen zu ermitteln sind.

Die Gefahrstoffverordnung vom 23.12.2004 stellt die Beurteilung der Gefährdung in den Vordergrund.

Ein Modell zur Beurteilung der Exposition und der damit verbundenen Gefährdung der Schweißer durch Schweißrauche bei schweißtechnischen Verfahren wird im Weiteren vorgestellt.

Dieses Modell dient der korrekten Auswahl der zutreffenden Schutzmaßnahmen, zur Einhaltung der Grenzwerte und zur Absenkung der Expositionen an den Arbeitsplätzen.

Hinweis: Im Folgenden werden die unter den konkreten praktischen Gesichtspunkten und in der Praxis bewährten Sachverhalte bzw. Schutzmaßnahmen dargestellt.

Zur Beurteilung der Gefährdung durch Schweißrauche sind nachfolgende Faktoren heranzuziehen:

3.1 Verfahrensspezifische Faktoren

Die Art des Verfahrens (WIG, UP, LBH usw.) bestimmt die Menge (Emissionsrate) der entstehenden Schweißrauche. Dabei spielen insbesondere die schweißtechnischen Parameter, wie Strom und Spannung sowie Elektrodendurchmesser, eine wesentliche Rolle.

Die **Emissionsrate** in mg/s gibt die Gesamtmenge partikelförmiger Stoffe (= Schweißrauche), die pro Zeiteinheit bei einer bestimmten Verfahrens-/Werkstoff-Kombination entsteht, an. In den Tabellenköpfen der Bilder 3-5 bis 3-17 ist die „Emissionsrate“ als „Emission“ bezeichnet.

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

- Emissionsklasse 1: Verfahren mit niedrigen Emissionsraten (unter 1 mg/s), z. B. Wolfram-Inertgasschweißen, Unterpulverschweißen;
- Emissionsklasse 2: Verfahren mit mittleren Emissionsraten (1 bis 2 mg/s), z. B. Laserstrahlschweißen ohne Zusatzwerkstoff;
- Emissionsklasse 3: Verfahren mit hohen Emissionsraten (2 bis 25 mg/s), z. B. Lichtbogenhandschweißen, Metall-Aktivgasschweißen mit Massivdrahtelektrode;

BGI 616

- Emissionsklasse 4: Verfahren mit sehr hohen Emissionsraten (über 25 mg/s), z. B. Metall-Aktivgasschweißen mit Fülldrahtelektrode, Schweißen mit selbstschützender Fülldrahtelektrode.

3.2 Werkstoffspezifische Faktoren

Schweißrauche sind ein komplexes Gemisch von partikelförmigen Stoffen. Die chemische Zusammensetzung der eingesetzten Zusatzwerkstoffe beim Schweißen bestimmt die Zusammensetzung der Schweißrauche.

Die im Schweißrauch enthaltenen Stoffe haben unterschiedliche Wirkungen auf den Menschen.

Als Leitkomponente im Schweißrauchgemisch wird die Komponente gewählt, die als Menge und Wirkung dominiert und deren Konzentration in der Atemluft zugleich als erste den stoffspezifischen Grenzwert überschreitet.

Bild 3-1: Zuordnung der Leitkomponenten zu den Verfahren/Werkstoffen beim Schweißen (Beispiele)

Verfahren	Schweißzusatzwerkstoff	Schweißrauch/Leitkomponente(n)
Gasschweißen	unlegierter, niedriglegierter Stahl (Legierungsbestandteile < 5 %)	Stickstoffdioxid
Lichtbogenhandschweißen	unlegierter, niedriglegierter Stahl (Legierungsbestandteile < 5 %)	Schweißrauch
	Chrom-Nickel-Stahl (≤ 20 % Cr und ≤ 30 % Ni)	Chrom(VI)-Verbindungen
	Nickel, Nickellegierungen (> 30 % Ni)	Nickeloxid oder Kupferoxid ¹⁾
Metall-Aktivgasschweißen mit Kohlendioxid (MAGC)	unlegierter, niedriglegierter Stahl (Legierungsbestandteile < 5 %)	Schweißrauch Kohlenmonoxid
Metall-Aktivgasschweißen mit Mischgas (MAGM)	unlegierter, niedriglegierter Stahl (Legierungsbestandteile < 5 %)	Schweißrauch
	Chrom-Nickel-Stahl Masivdraht (≤ 20 % Cr und ≤ 30 % Ni)	Nickeloxid

Verfahren	Schweißzusatzwerkstoff	Schweißrauch/Leitkomponente(n)
	Chrom-Nickel-Stahl Füll- draht ($\leq 20\%$ Cr und $\leq 30\%$ Ni)	Chrom(VI)-Verbindungen
Metall-Inertgasschweißen (MIG)	Nickel, Nickellegierungen ($> 30\%$ Ni)	Nickeloxid oder Kupferoxid ¹⁾ ; Ozon
	Rein-Aluminium, Aluminium-Silicium-Legierungen	Ozon Schweißrauch
	andere Aluminium-Legierungen ²⁾	Schweißrauch Ozon
Wolfram-Inertgasschweißen (WIG)	unlegierter, niedriglegierter Stahl (Legierungsbestand- teile $< 5\%$)	Schweißrauch Ozon
	Chrom-Nickel-Stahl ($\leq 20\%$ Cr und $\leq 30\%$ Ni)	Schweißrauch Ozon
	Nickel, Nickellegierungen ($> 30\%$ Ni)	Schweißrauch Ozon
	Rein-Aluminium, Aluminium-Silicium-Legierungen	Schweißrauch Ozon
	andere Aluminium-Legierungen ²⁾	Schweißrauch Ozon
¹⁾ je nach Legierungsart, mit/ohne Kupfer, Grenzwert für Kupfer-Rauch ²⁾ z. B. Aluminium-Magnesium-Legierungen		

Die **Schweißrauche** lassen sich hinsichtlich ihrer Inhaltsstoffe bzw. deren spezifischer Wirkung auf den Körper in drei Klassen (**Wirkungsklassen A – C**) einteilen:

- **Wirkungsklasse A:**
Schweißrauche ohne toxische Stoffe, atemwegs- und lungenbelastend, z. B. Eisenoxide
- **Wirkungsklasse B:**
Schweißrauche mit toxischen oder toxisch-irritativen Stoffen, z. B. Fluoride, Manganoxid, Kupferoxid
- **Wirkungsklasse C:**
Schweißrauche mit krebserzeugenden Stoffen, z. B. Chrom(VI)-Verbindungen, Nickeloxid

Aus den Abschnitten 3.1 und 3.2 erfolgt die Zuordnung der Gefährdung zu den Schweißrauchklassen.

BGI 616

Die Höhe der Gefährdung ist von verfahrens- und wirkungsspezifischen Faktoren, d. h. von der Höhe der Schweißrauch-Emissionsrate (Definition siehe Abschnitt 3.1) und von der spezifischen Wirkung der im Schweißrauch enthaltenen Einzelstoffe abhängig. Die Zuordnung der Gefährdungen zu den verschiedenen Schweißrauchtypen (Klassen) wird wie folgt dargestellt:

Schweißrauchklassen	Gefährdung
A 1	niedrige Gefährdung
A 2, B 1, C 1	mittlere Gefährdung
A 3, B 2, B 3, C 2, C 3	hohe Gefährdung
A 4, B 4, C 4	sehr hohe Gefährdung

Die Einteilung in Gefährdungsklassen (niedrige bis sehr hohe Gefährdung) erfolgt auf der Basis der für Verfahren und Werkstoff bekannten Daten: Emissionsrate und chemische Analyse des Schweißrauchs.

Bei mittleren und hohen Emissionsraten treten in der Regel im Atembereich des Schweißers beim Fehlen lufttechnischer Maßnahmen Schadstoffkonzentrationen auf, die den Schweißrauchgrenzwert um ein Vielfaches überschreiten.

Bei niedrigen Emissionsraten liegen die Schadstoffkonzentrationen im Atembereich des Schweißers erfahrungsgemäß im Grenzwertbereich oder knapp darunter.

Kenntnisse über die „Emissionsrate“ und „chemische Zusammensetzung“ des Schweißrauchs, der bei einer Verfahrens-/Werkstoff-Kombination entsteht, sind Voraussetzung für die Beurteilung der Gefährdung (Bild 3-2) sowie für die Auswahl der geeigneten Schutzmaßnahmen, insbesondere der Lüftungstechnischen Maßnahmen.

Bild 3-2: Beurteilung der Gefährdung anhand von Emissionsraten und Wirkung beim Schweißen; Zuordnung zu den Schweißrauchklassen

Schweißverfahren	Emissionsklassen	Emissionsraten (mg/s)	Wirkung/Wirkungsklassen		
			A	B	C
			Atemwegs- und lungenbelastende Stoffe ¹⁾ , z. B. Fe ₂ O ₃	Toxische oder toxisch-irritative Stoffe ²⁾ , z. B. F, MnO, CuO	Krebs-erzeugende Stoffe ²⁾ , z. B. Cr(VI), NiO
			Gefährdung	Gefährdung	Gefährdung
z. B. WIG,UP	1	< 1	I (A 1)	II (B 1)	II (C 1)
z. B. Laserstrahlschweißen ohne Zusatzwerkstoff	2	1 bis 2	II (A 2)	III (B 2)	III (C 2)
z. B. LBH, MAG (Massivdraht), MIG, Laserstrahlschweißen mit Zusatzwerkstoff	3	2 bis 25	III (A 3)	III (B 3)	III (C 3)
z. B. MAG (Fülldraht), Schweißen mit selbstschützendem Fülldraht	4	> 25	IV (A 4)	IV (B 4)	IV (C 4)
I = niedrige Gefährdung IV = sehr hohe Gefährdung		II = mittlere Gefährdung A 1 bis C 4 = Schweißrauchklassen		III = hohe Gefährdung	
¹⁾ Wenn Legierungs- und Umhüllungs-/Füllungskomponenten jeweils < 5 % sind. ²⁾ Wenn Legierungs- und Umhüllungs-/Füllungskomponenten jeweils ≥ 5 % sind.					

BGI 616

Die Einhaltung des Grenzwertes für die Leitkomponente – dementsprechend die Einhaltung der berechneten Schweißrauchkonzentration – bedeutet zugleich auch die Grenzwertunterschreitung aller im Schweißrauch enthaltenen Stoffe.

Dieser Zusammenhang ist die Voraussetzung für die Festlegung der Leitkomponente im Schweißrauchgemisch, da die Leitkomponente als erste ihren Grenzwert im Schweißrauchgemisch überschreiten wird.

Da bei einigen Verfahren neben Schweißrauchen (= partikelförmige Stoffe) auch Gase als Leitkomponenten auftreten, z. B.

- beim MAG-Schweißen mit Schutzgas CO₂: Schweißrauche und Kohlenmonoxid und
- beim MIG-Schweißen von Al/Al-Legierungen: Schweißrauch und Ozon

sollte bei der abschließenden Beurteilung der Gefährdung auch die toxikologische Wirkung und Menge dieser Gase herangezogen werden.

3.3 Arbeitsplatzspezifische Faktoren

Für eine Gefährdungsbeurteilung sind neben den o. g. verfahrenstechnischen Einflussgrößen auch arbeitsplatzspezifische Faktoren, z. B. die

- Lüftungsverhältnisse am Arbeitsplatz,
- räumlichen Arbeitsplatzverhältnisse,
- Arbeitsposition des Schweißers und
- Schweißdauer,

zu berücksichtigen.

Einfluss der Raumgröße bzw. der Raumlüftung

Die Raumgröße sowie die Art der Raumlüftung haben einen maßgeblichen Einfluss auf die Schweißrauchkonzentration innerhalb des Raumes. Speziell in engen und unzureichend belüfteten Räumen ist mit hohen Schweißrauchkonzentrationen zu rechnen.

Enge Räume sind z. B. fensterlose Kellerräume, Stollen, Rohrleitungen, Schächte, Tanks, Kessel, Behälter, chemische Apparate, Kofferdämme, Doppelböden in Schiffen. Selbst Bereiche im Freien, z. B. Rohrgräben, können Eigenschaften enger Räume aufweisen.

Arbeitsposition des Schweißers

Neben den räumlichen und lüftungstechnischen Verhältnissen des Schweißarbeitsplatzes beeinflusst u. a. auch die Arbeitsposition des Schweißers dessen Exposition.

Bei einer Arbeitsposition, in welcher der Kopf des Schweißers nicht über die Schweißstelle (= Rauchquelle) gebeugt ist, sind vergleichsweise geringe Expositionen zu erwarten. In dieser Arbeitsposition steigen die Schweißrauche vor dem Schutzschirm auf und nicht in den Atembereich des Schweißers.

Wird dagegen in einer Zwangshaltung geschweißt, in welcher der Schweißer mit dem Kopf über die Schweißstelle gebeugt ist, so kann davon ausgegangen werden, dass ein großer Teil der Rauche hinter den Schutzschirm gelangt, was entsprechend hohe Expositionen zur Folge hat (siehe Bild 3-3).

Bild 3-3: Lüftung und räumliche Verhältnisse/Faktoren

Lüftung	Faktoren $\left(\frac{mg/m^3}{mg/m^3}\right)$	
	Raum (1)	enger Raum (4)
mit Erfassung (1)	1	4
ohne Erfassung (4)	4	16

mit Erfassung = mit Lüftungstechnischen Maßnahmen
 ohne Erfassung = ohne Lüftungstechnische Maßnahmen
 (einschließlich Arbeitspositionen)

Arbeitsposition, Körperhaltung, Kopfposition		Faktor	$\left(\frac{mg/m^3}{mg/m^3}\right)$
1)	<u>Kopf über und in der Rauchsäule</u> (kleiner Abstand zur Rauchquelle)	4	(4 : 1)
2)	<u>Kopf außerhalb der Rauchsäule</u> (Atembereich außerhalb der Rauchquelle)	1	

Die o. g. Faktoren basieren auf Auswertungen einer Vielzahl von Konzentrationsmessungen am Arbeitsplatz und sind **nur** als **unverbindliche Anhaltswerte** zu sehen.

BGI 616

Schweißdauer

Bild 3-4: Lichtbogenbrenndauer bezogen auf die Schweißarbeitszeit

Lichtbogenbrenndauer/Schweißarbeitszeit (%)			
Schweißverfahren	für: Vollzeitschweißer	für: Schweißer mit erhöhtem Anteil an Nebentätigkeit	für: Gelegenheitsschweißer
LBH	max. 50	12 bis 50	max. 12
MAG/MIG	max. 70	20 bis 70	max. 20
WIG	max. 60	12 bis 60	max. 12

Messtechnische Erfahrungen haben gezeigt, dass i.d.R. bei fast allen Verfahren – außer z.B. WIG- und UP-Schweißen und ohne eine örtliche Absaugung im Entstehungsbereich – Überschreitungen des in der TRGS 900 festgelegten Schweißrauchgrenzwertes der Regelfall sind.

Da beim thermischen Schneiden und Spritzen die Rauch-Emissionsraten über 25 mg/s liegen und – ausgenommen Brennschneiden – die Rauche vorwiegend toxische und krebserzeugende Stoffe enthalten, kann hier beim Fehlen lüftungstechnischer Maßnahmen von einer hohen und sehr hohen Gesundheitsgefährdung des Versicherten ausgegangen werden.

Im Anhang 2 wird ein Arbeitsanamnesebogen dargestellt. Die eingetragenen Angaben dienen als Grundlage für die Beurteilung der Gefährdung für den dargestellten Zeitraum. Gleichzeitig dient der Bogen als Checkliste bei der gegenwärtigen Arbeitsplatzbeurteilung.

Durch die Gegebenheiten am Arbeitsplatz, d. h. durch „arbeitsplatzspezifische Faktoren“ kann die **von Verfahren und Werkstoff ausgehende Gefährdung** (Bild 3-2) erhöht oder reduziert werden. So z. B. durch die Umsetzung geeigneter Schutzmaßnahmen, insbesondere geeigneter lüftungstechnischer Maßnahmen, wird die Gesundheitsgefährdung minimiert oder sogar ausgeschlossen.

Demgegenüber kommt es in „engen Räumen“ zu einer Erhöhung der Gefährdung, da hier sehr hohe Konzentrationen auftreten. Hier sind neben lüftungstechnischen Maßnahmen auch persönliche Schutzausrüstungen in den meisten Fällen notwendig (d. h. Tragen von Atemschutzgeräten).

3.4 Relevante Schweißzusatzwerkstoffe und deren Schweißrauche

Beispiele von repräsentativen Schweißzusatzwerkstoffen (Stabelektroden, Drähte, Fülldrähte) sind im Weiteren (Bilder 3-5 bis 3-17) aufgeführt.

Dabei werden hier nach DIN EN-Normen die chemischen Zusammensetzungen dieser Zusätze sowie der direkte Zusammenhang mit den analytisch bestimmten Schweißrauchzusammensetzungen einschließlich deren Emissionsraten dargestellt.

In jedem dieser Beispiele wird für jede Schweißrauchkomponente die Schweißrauchkonzentration berechnet. Diese Schweißrauchkonzentration gibt die Konzentration des Schweißrauches an, die nicht überschritten werden darf, um die Konzentration einer Komponente „i“ im Schweißrauch unter ihrem stoffspezifischen Grenzwert (GW_i) zu halten. Anschließend wird für jedes Schweißrauchgemisch die Leitkomponente ausgewählt.

Als Leitkomponente wird der Stoff mit der niedrigst berechneten Schweißrauchkonzentration ausgewählt. Durch die Einhaltung des stoffspezifischen Grenzwertes für die Leitkomponente wird sichergestellt, dass alle anderen Komponenten im Schweißrauchgemisch unter den jeweiligen stoffspezifischen Grenzwerten liegen. Diese Methode wird in "Guidance Note" EH 54 ("Assessment of exposure to fume in welding and allied processes") von Health and Safety Executive (HSE) dargestellt.

Die Schweißrauchkonzentration für eine Schweißrauchkomponente „i“ wird wie folgt berechnet:

$$SRK_i = \frac{GW_i \cdot 100}{C_i} [mg / m^3] \quad (1)$$

GW_i → stoffspezifischer Grenzwert [mg/m^3] für eine Schweißrauchkomponente (i)

C_i → prozentualer Anteil der Schweißrauchkomponente „i“ im Schweißrauchgemisch (% für i)

Die stoffspezifischen Grenzwerte sind in „Technischen Regeln für Gefahrstoffe“ (TRGS) 900 aufgeführt und einige davon, die für die Schweißtechnik relevant sind, in der BG-Information „Schadstoffe beim Schweißen und bei verwandten Verfahren“ (BGI 593) aufgestellt.

Obwohl durch die Gefahrstoffverordnung vom 23.12.2004 die TRK entfallen, werden die „alten“ Werte, die den Stand der Technik bis Ende 2004 beschreiben, bei der Festlegung der Leitkomponente und bei der Berechnung der SRK als Beurteilungskriterium herangezogen.

Die im Weiteren aufgeführten Angaben zu den Schweißrauchzusammensetzungen und Emissionsraten haben unterschiedliche Quellen:

BGI 616

- Die von Herstellern der Norddeutschen Metall-Berufsgenossenschaft zur Verfügung gestellten Daten; dabei sind zum Teil Einzelheiten über die genauen Untersuchungsparameter nicht bekannt (Bilder 3-5 bis 3-17).
- Die national und international publizierten Untersuchungsergebnisse (Anhang 3). Ein Großteil dieser nationalen Forschungsergebnisse stammt aus Vorhaben, die vom Deutschen Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V. (früher Deutscher Verband für Schweißtechnik – DVS) im Rahmen der „Humanisierung des Arbeitslebens des Schweißers“ initiiert und begleitet wurden.
- Die vom BG-Fachausschuss „Metall und Oberflächenbehandlung“ (früher „Eisen und Metall I“), Sachgebiet „Schadstoffe in der Schweißtechnik“, in Auftrag gegebenen Forschungsvorhaben; dabei konnte sichergestellt werden, dass den in der DIN EN 15 011 genannten Anforderungen bezüglich der Bestimmung der Emissionsraten und der analytischen Bestimmungen zur Schweißrauchzusammensetzung Rechnung getragen wird (Anhang 3).

Die Daten wurden hinsichtlich der unterschiedlichen Verfahren und Werkstoffe repräsentativ ausgewählt, zugeordnet und insgesamt auf Plausibilität überprüft. Für jeden Schweißrauchtyp erfolgten Berechnungen der Schweißrauchkonzentration jeweiliger Hauptkomponenten im Schweißrauch und Auswahl der Leitkomponenten.

- Bei der Beurteilung der berechneten Schweißrauchkonzentration über $3 \text{ mg/m}^3 \text{ A}$ (Grenzwert für A-Staub, gleichzeitig für Schweißrauche), gilt $3 \text{ mg/m}^3 \text{ A}$ als „Obergrenze“ für die Gesamt-Schweißrauchkonzentration am Arbeitsplatz.
- Liegt die berechnete Schweißrauchkonzentration unter $3 \text{ mg/m}^3 \text{ A}$ (Grenzwert für A-Staub, gleichzeitig für Schweißrauche), gilt die jeweils berechnete Schweißrauchkonzentration für die Leitkomponente als „Obergrenze“ für die Gesamt-Schweißrauchkonzentration am Arbeitsplatz.

Entsprechend der Gefahrstoffverordnung steht bei der Auswahl der zutreffenden Schutzmaßnahmen insbesondere bei Exposition gegenüber krebserzeugenden Stoffen das Minimierungsgebot im Vordergrund, um das Restrisiko auf ein vertretbares Maß zu reduzieren.

Die Daten im Anhang 3 dienen, ähnlich wie die Bilder 3-5 bis 3-17, der Beurteilung der Gefährdung. Sie wurden separat im Anhang 3 dargestellt, da sie zum Unterschied der Angaben in den Bildern 3-5 bis 3-17 detaillierte Informationen über Prozessparameter enthalten. Die Beurteilung der jeweils berechneten Schweißrauchkonzentration und der Gefährdung erfolgt in gleicher Weise wie in Abschnitt 3 (Bilder 3-5 bis 3-17).

Hinweis: Schweißzusätze mit ähnlicher chemischer Analyse führen zu ähnlichen Emissionen und fast gleichen chemischen Zusammensetzungen.

Beim Schweißen, insbesondere beim Lichtbogenhandschweißen mit umhüllten Stabelektroden (LBH) und beim Metall-Aktivgasschweißen (MAG), entstehen große Mengen an partikelförmigen Schadstoffen. Etwa 95 % der Schweißrauche stammen aus den Schweißzusatzwerkstoffen und nur weniger als 5 % aus dem Grundwerkstoff.

Die chemische Zusammensetzung der eingesetzten Schweißzusatzwerkstoffe (Stabelektroden, Schweißdraht, Fülldraht) hat einen direkten Einfluss auf die chemische Zusammensetzung der Schweißrauche.

Bei der Beurteilung der Gefährdung durch Schweißrauche spielen die korrekten Angaben über die chemische Zusammensetzung sowie Angaben über ihre Mengen (Emissionsraten) eine wesentliche Rolle. Die Bestimmung der Emissionsraten sowie die wichtigsten Hinweise über die Analyseverfahren zur Bestimmung der Zusammensetzungen von Schweißrauchen sind in der europäischen Norm DIN EN ISO 15011-1 „Arbeits- und Gesundheitsschutz beim Schweißen und bei verwandten Verfahren – Laborverfahren zum Sammeln von Rauch und Gasen, die beim Lichtbogenschweißen erzeugt werden – Teil 1: Bestimmung der Emissionsrate und Probenahme zur Analyse von Rauch“ zusammengestellt.

Durch die Überwachung der Schweißrauchkonzentration anstelle der Überwachung der Leitkomponente kann der messtechnische Aufwand verringert werden. Die Ermittlung der Schweißrauchkonzentration erfolgt durch die gravimetrische Wägung der Rauchmenge. Die Bestimmung der Leitkomponente oder mehrerer Hauptkomponenten erfolgt durch stoffspezifische analytische Methoden.

Die Berechnung der Schweißrauchkonzentration für jede Schweißrauchkomponente erlaubt die Auswahl der niedrigsten Schweißrauchkonzentration und diese bestimmt die Leitkomponente. Mit anderen Worten: Die Leitkomponente ist die Komponente im Schweißrauch, bei der die niedrigste Schweißrauchkonzentration berechnet wurde.

Festlegung der Leitkomponente im Schweißrauch (Beispiel)

Die nach dem o. g. Verfahren durchgeführte Analyse des Schweißrauches, entstanden während Lichtbogenhandschweißen mit einer hochlegierten Cr/Ni-Stabelektrode ergab Folgendes:

Schweißrauchkomponente	Grenzwert (mg/m ³)
4,0 % Cr(VI)	0,1 „alter“ GW
10 % F ⁻	2,5
4,9 % Fe	3
3 % Mn	0,5
0,32 % Ni	0,5 „alter“ GW

BGI 616

Die Schweißrauchkonzentration für eine Schweißrauchkomponente „i“ wird

$$\text{mit der Formel } SRK_i = \frac{GW_i \cdot 100}{C_i} \quad (1)$$

berechnet.

$GW_i \rightarrow$ stoffspezifischer Grenzwert [mg/m^3] für eine Schweißrauchkomponente (i)

$C_i \rightarrow$ prozentualer Anteil der Schweißrauchkomponente „i“ im Schweißrauchgemisch (% für i)

Für jede Komponente im Schweißrauch wird deren Schweißrauchkonzentration berechnet. Die Leitkomponente im Schweißrauch ist die Komponente, bei der die niedrigste Schweißrauchkonzentration berechnet wurde. Diese Konzentration gilt als „Obergrenze“ für die Gesamt-Schweißrauchkonzentration am Arbeitsplatz. Die Einhaltung der hier niedrigsten Schweißrauchkonzentration stellt gleichzeitig die Einhaltung aller spezifischen Grenzwerte dar.

$$SRK_{Cr(VI)} = \frac{0,1 \cdot 100}{4} = 2,5 \text{ mg} / \text{m}^3$$

$$SRK_{F^-} = \frac{2,5 \cdot 100}{10} = 25 \text{ mg} / \text{m}^3$$

$$SRK_{Fe} = \frac{3 \cdot 100}{4,9} = 60 \text{ mg} / \text{m}^3$$

$$SRK_{Mn} = \frac{0,5 \cdot 100}{3} = 16,6 \text{ mg} / \text{m}^3$$

$$SRK_{Ni} = \frac{0,5 \cdot 100}{0,32} = 156 \text{ mg} / \text{m}^3$$

Da die niedrigste berechnete Konzentration $2,5 \text{ mg}/\text{m}^3$ ist und diese für „Cr(VI)“ berechnet wurde, ist in diesem Beispiel Cr(VI) die Leitkomponente im Schweißrauch. Wenn diese Schweißrauchkonzentration unterschritten wird, liegen die Konzentrationen aller Komponenten im Schweißrauch unter ihren jeweiligen Grenzwerten.

(Siehe auch Bild 3-1, Leitkomponenten beim Schweißen)

Hinweis: In den Bildern 3-5 bis 3-17 sowie in einigen Tabellen im Anhang 3 wurde die Schweißrauchkonzentration nach diesem Verfahren berechnet.

BGI 616

Die Tabellen der Bilder 3-5 bis 3-17 enthalten die chemischen Zusammensetzung der Schweißbrauche in Abhängigkeit von dem eingesetzten Schweißzusatzwerkstoff, die Leitkomponenten und die berechnete Schweißbrauchkonzentration.

Bild 3-5: Lichtbogenhandschweißen mit un- und niedriglegierten Schweißzusatzwerkstoffen

SCHWEISSZUSATZWERKSTOFF¹⁾

	Norm-Bezeichnung	Chem. Zusammensetzung (%)					
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Cu
1	DIN 1913 E 43 22 RR 6	Siehe DIN 1913 ^{6),7)}					
2	DIN 1913 E 51 22 RR 6	Siehe DIN 1913 ^{6),7)}					
3	DIN 1913 E 51 43 B(R) 10	Siehe DIN 1913 ^{6),7)}					
4	DIN 1913 E 51 54 B(R) 10	Siehe DIN 1913 ^{6),7)}					
5	DIN 1913 E 43 22 RR(C) 6	Siehe DIN 1913 ^{6),7)}					
6	DIN 1913 E 51 32 RR 11	Siehe DIN 1913 ^{6),7)}					
7	EN 499 E 38 0 RC12 Durchmesser 1,6	0,07	0,5	0,6			
8	EN 499 E 38 0 RC12 Durchmesser 2,5	0,07	0,5	0,6			
9	EN 499 E 38 0 RC12 Durchmesser 3,25	0,07	0,5	0,6			
10	EN 499 E 38 0 RC12 Durchmesser 4,0	0,07	0,5	0,6			
11	EN 499 E 38 0 RC11 Durchmesser 1,6	0,05	0,4	0,4			
12	EN 499 E 38 0 RC11 Durchmesser 2,5	0,05	0,4	0,4			
13	EN 499 E 38 ORC 11 Durchmesser 3,2	0,08	0,5	0,3			
14	EN 499 E 38 0 RC11 Durchmesser 4,0	0,05	0,4	0,4			
15	EN 499 E 42 2 RB12 H10 *	0,06	0,7	0,9			
16	EN 499 E 42 2 RB12 H10 *	0,06	0,7	0,9			
17	EN 499 E 42 2 RB12 H10 *	0,06	0,7	0,9			
18	EN 499 E 38 0 RR54 **	0,07	0,3	0,9			
19	EN 499 E 38 0 RR54 **	0,07	0,3	0,9			

* unterschiedliche Durchmesser (von Hersteller nicht angegeben)

** unterschiedliche Durchmesser (von Hersteller nicht angegeben)

SCHWEISSRAUCHE

Emission ²⁾ (mg/s)	Quantitative Analyse ³⁾ (Gew.-%)															Leitkomponente ⁴⁾	Berechn. Schweißrauchkonzentration ⁵⁾ (mg/m ³)	
	Ni	Cr(VI)	Cr	Cu	Co	Mn	Ca	Mo	F	Pb	Fe	Mg	Si	Zn	Al			Ba
k. A.						5,0			10,0		25,0						Mn	10,0
k. A.						6,5					17,5						Mn	7,7
k. A.						5,5			18,5		12,0						Mn	9,1
k. A.						4,0			20,0		13,0						Mn	12,5
k. A.						6,0					30,0						Mn	8,3
k. A.						7,0					30,0						Mn	7,1
1,4				0,05		5,0				0,05	35,0						Mn	10,0
2,8				0,05		5,0				0,05	35,0						Mn	10,0
4,2				0,05		5,0				0,05	35,0						Mn	10,0
5,6				0,05		5,0				0,06	35,0						Mn	10,0
1,4				0,1		5,0			1,0	0,06	35,0						Mn	10,0
2,8				0,27		5,0			1,0	0,06	35,0						Mn	10,0
4,2	0,02			0,05		5			0,1	0,07	35						Mn	10,0
5,6				0,1		5,0			1,0	0,07	35,0						Mn	10,0
4,2				0,04		6,3			13,2	0,03	14,4						Mn	7,9
5,6				0,03		6,3			14,8	0,03	15,3						Mn	7,9
52,8				0,04		6,1			14,6	0,02	14,5						Mn	8,2
5,6				0,16		6,1			2,0	0,13	28,3						Mn	8,2
13,9				0,07		7,7			0,2	0,44	22,5						Mn	6,5

BGI 616

SCHWEISSZUSATZWERKSTOFF¹⁾

	Norm-Bezeichnung	Chem. Zusammensetzung (%)					
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Cu
20	EN 499 E MnMo B42 H5 *	0,08	0,5	1,6			
21	EN 499 E MnMo B42 H5 *	0,08	0,5	1,6			
22	EN 499 E MnMo B42 H5 *	0,08	0,5	1,6			
23	EN 499 E 42 0 RR12 Durchmesser 2,5	0,09	0,3	0,5			
24	EN 499 E 42 0 RR12 Durchmesser 3,2	0,08	0,6	0,5			
25	EN 499 E 42 0 RR12 Durchmesser 6,0	0,09	0,3	0,5			
26	EN 499 E 42 0 RR53 Durchmesser 3,2	0,09	0,3	0,5			
27	EN 499 E 42 0 RR53 Durchmesser 6,0	0,09	0,3	0,5			
28	EN 499 E 42 0 RR73 Durchmesser 3,2	0,09	0,3	0,5			
29	EN 499 E 42 0 RR73 Durchmesser 6,0	0,09	0,3	0,5			
30	EN 499 E 42 0 RC11 Durchmesser 2,0	0,07	0,3	0,9			
31	EN 499 E 420 0 RC11 Durchmesser 3,2	0,08	0,4	0,6			
32	EN 499 E 38 0 RC11 Durchmesser 4,0	0,07	0,3	0,9			
33	EN 499 E 42 0 RC11 Durchmesser 6,0	0,07	0,3	0,9			
34	EN 499 E 38 0 RC12 Durchmesser 2,5	0,07	0,3	0,9			
35	EN 499 E 38 0 RC12 Durchmesser 5,0	0,07	0,3	0,9			
36	EN 499 E 38 2 RA12 Durchmesser 2,5						
37	EN 499 E 42 2 RA53 Durchmesser 3,2						
38	EN 499 E 38 2 RA12 Durchmesser 5,0						

* unterschiedliche Durchmesser (von Hersteller nicht angegeben)

SCHWEISSRAUCHE

Emission ²⁾ (mg/s)	Quantitative Analyse ³⁾ (Gew.-%)																Leitkomponente ⁴⁾	Berechn. Schweißrauchkonzentration ⁵⁾ (mg/m ³)
	Ni	Cr(VI)	Cr	Cu	Co	Mn	Ca	Mo	F	Pb	Fe	Mg	Si	Zn	Al	Ba		
5,6				0,03		4,9				13,5	0,02	14,7					Mn	10,2
5,6				0,04		5,3				16,1	0,02	12,9					Mn	9,4
11,1				0,06		4,8				21,2	0,01	14,3					Mn	10,4
2,5				0,02		6,9					0,06	20,1					Mn	7,2
2,8	0,02			0,03		7,5			1,8	0,07	15,9						Mn	6,7
15,3				0,02		6,9				0,06	20,1						Mn	7,2
3,8				0,02		6,6				0,07	29,1						Mn	7,6
30,0				0,02		6,6				0,07	29,1						Mn	7,6
3,0				0,05		6,0				0,05	32,0						Mn	8,3
21,4				0,05		6,0				0,05	32,0						Mn	8,3
2,8				0,05		6,0				0,05	30,0						Mn	8,3
4,2				0,05		6,0				0,05	30,0						Mn	8,3
5,0				0,05		5,0				0,05	35,0						Mn	10,0
12,2				0,05		6,0				0,05	30,0						Mn	8,3
2,5				0,05		5,0				0,05	35,0						Mn	10,0
6,9				0,05		5,0				0,05	35,0						Mn	10,0
5,0				0,03		10,0				0,03	18,0						Mn	5,0
7,4				0,03		6,2				0,01	39,7						Mn	8,1
9,7				0,03		10,0				0,03	18,0						Mn	5,0

BGI 616

SCHWEISSZUSATZWERKSTOFF¹⁾

Norm-Bezeichnung	Chem. Zusammensetzung (%)					
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Cu
39 EN 499 E 42 2 RA53 Durchmesser 5,0						
40 EN 499 E 42 2 RA73 Durchmesser 4,0						
41 EN 499 E 42 2 RA73 Durchmesser 5,0						
42 EN 499 E 42 3 RB53 Durchmesser 3,2						
43 EN 499 E 42 3 RB53 Durchmesser 5,0						
44 EN 499 E 42 3 RB73 Durchmesser 4,0						
45 EN 499 E 42 3 RB53 Durchmesser 6,0						
46 EN 499 E 42 4 B42 Durchmesser 2,0						
47 EN 499 E 42 4 B42 Durchmesser 6,0						
48 EN 499 E 42 2 B12 Durchmesser 2,5						
49 EN 499 E 42 2 B12 Durchmesser 5,0						
50 EN 499 E 46 5 B32 Durchmesser 2,5						
51 EN 499 E 46 5 B32 Durchmesser 6,0						
52 EN 499 E 42 4 B73 Durchmesser 4,0						
53 EN 499 E 42 4 B73 Durchmesser 6,0						
^{1), 2), 3)} Herstellerangaben, einige Angaben weichen von der Norm ab ^{4), 5)} von der BG ermittelt/ berechnet ⁶⁾ DIN 1913 – Legierungsbestandteile < 5 % ⁷⁾ DIN EN 499 – Höchstwerte (Mn 2 %, Mo < 0,2 %, Ni < 0,3 %, Cr < 0,2 %, Cu < 0,3 %)						

SCHWEISSRAUCHE

Emission ²⁾ (mg/s)	Quantitative Analyse ³⁾ (Gew.-%)																Leitkomponente ⁴⁾	Berechn. Schweißrauchkonzentration ⁵⁾ (mg/m ³)
	Ni	Cr(VI)	Cr	Cu	Co	Mn	Ca	Mo	F	Pb	Fe	Mg	Si	Zn	Al	Ba		
38,6				0,03		6,2				0,01	39,7						Mn	8,1
11,7				0,05		7,0				0,05	38,0						Mn	7,1
33,3				0,05		7,0				0,05	38,0						Mn	7,1
3,3				0,05		5,0			14,0	0,05	18,0						Mn	10,0
11,9				0,05		5,0			14,0	0,05	18,0						Mn	10,0
13,0				0,02		4,2			19,2	0,04	16,7						Mn	11,9
29,4				0,02		4,2			19,2	0,04	16,7						Mn	11,9
3,6				0,02		3,8			17,0	0,07	18,0						Mn	13,2
14,0				0,02		3,8			17,0	0,07	18,0						Mn	13,2
2,9				0,04		3,6			21,2	0,05	11,5						F	11,8
8,3				0,04		3,6			21,2	0,05	11,5						F	11,8
5,6				0,05		5,0			20,0	0,03	17,0						Mn	10,0
18,9				0,05		5,0			20,0	0,03	17,0						Mn	10,0
6,1				0,05		5,0			16,0	0,05	19,0						Mn	10,0
17,2				0,05		5,0			16,0	0,05	19,0						Mn	10,0

BGI 616

Beurteilung der berechneten Schweißrauchkonzentration in Bild 3-5

Beim Lichtbogenhandschweißen mit un- und niedriglegierten Schweißzusatzwerkstoffen ist die Leitkomponente in fast allen Beispielen Mangan als Manganoxid (siehe Formel (1) auf Seite 63).

Da die berechnete Schweißrauchkonzentration über $3 \text{ mg/m}^3 \text{ A}$ (Grenzwert für A-Staub, gleichzeitig für Schweißrauche) liegt, gilt $3 \text{ mg/m}^3 \text{ A}$ als „Obergrenze“ für die Gesamtschweißrauchkonzentration am Arbeitsplatz.

Beurteilung der Gefährdung (nach Bild 3-2 auf Seite 59)

Die Schweißrauche enthalten die toxischen Stoffe Mn als Manganoxid und Fluoride.

Die Rauche mit Emissionsraten von $1,4 \text{ mg/s}$ sind der Schweißrauchklasse „B 2“ zuzuordnen. Die Rauche mit Emissionsraten zwischen $2,8$ bis $21,4 \text{ mg/s}$ sind der Schweißrauchklasse „B 3“ zuzuordnen. Die Rauche mit Emissionsraten $29,4$, $33,3$ und $38,6 \text{ mg/s}$ gehören zur Schweißrauchklasse „B 4“. Ohne wirksame Absaugung im Entstehungsbereich ist von einer hohen und sehr hohen Gefährdung auszugehen, da mehrfache Überschreitungen des Grenzwertes von $3 \text{ mg/m}^3 \text{ A}$ im Atembereich des Schweißers in der Praxis gemessen wurden.

BGI 616

Bild 3-6: Lichtbogenhandschweißen mit hochlegiertem Cr/Ni-Schweißzusatzwerkstoff

SCHWEISSZUSATZWERKSTOFF ¹⁾							
Norm-Bezeichnung	Chem. Zusammensetzung (%)						
	Ni	Cr	Cu	Co	Mn	Mo	Nb
1	DIN 8556 E 19 9 L R23	9,5	19,4			0,95	
2	DIN 8556 E 19 9 L R16	9,3	19,5			0,80	
3	DIN 8556 E 19 12 3 L R23	11,5	18,2			0,85	2,35
4	DIN 8556 E 19 12 3 L R16	11,6	18,6			0,60	2,70
5	EN 1600 E 25 20 R23	20,8	26,0			1,25	
6	DIN 8556 E 19 9 Nb R23	9,4	18,8			0,85	0,28
7	DIN 8556 E 19 9 L R36 150	9,9	19,8			0,85	
8	DIN 8556 E 19 12 3 L R36 150	11,8	19,3			0,85	2,65
9	DIN 8556 E 19 12 3 Nb R23	12,4	18,2			0,95	2,65
10	DIN 8556 E 19 9 B20+ 110	9,6	19,0			1,80	
11	DIN 8556 E 19 12 2 B20+ 110	11,6	18,7			1,20	2,30
12	DIN 8556 E 19 9 LR23	9,5	19,2			0,70	
13	DIN 1600 E 20 25 5 Cu L B20+	25,5	21,5			1,85	
14	DIN 1600 E 27 31 4 Cu L R23	25,5	21,0	4		1,00	3,80
15	DIN 1600 E 22 9 3 L R23	8,7	22,5			1,00	3,00
16	DIN 1600 E 23 12 L R23	13,0	23,5			1,10	
17	DIN 1600 E 23 12 L R36	12,3	23,8			1,00	
18	DIN 8556 E 23 13 2 R23	13,5	23,8			1,00	2,30
19	DIN 8556 E 29 9 R23	8,5	30,1			1,00	
20	DIN 8556 E 20 10 3 R26	10,7	21,0			0,90	3,50
21	DIN 8556 E 23 12 L MPR 33 180	13,0	23,8			0,75	
22	DIN 8556 E 23 12 2 MPR 33 180	13,2	24,0			0,90	2,40
23	DIN 8556 E 25 10 MPR 33 180	9,7	25,2			0,40	
24	DIN 8556 E 18 8 Mn6 MPB 23 160	8,4	21,5			5,80	0,90
25	DIN 8556 E 18 8 Mn6 MPR 21 160	8,0	21,0			6,10	

SCHWEISSRAUCHE

Emission ²⁾ (mg/s)	Quantitative Analyse ³⁾ (Gew.-%)															Leitkomponente ⁴⁾	Berechn. Schweißrauchkonzentration ⁵⁾ (mg/m ³)
	Ni	Cr(VI) ⁶⁾	Cu	Co	Mn	Ca	Mo	F	Pb	Fe	Mg	Si	Zn	Al	Ba		
k. A.	0,2	3,00			3,5			18,0		4,0						Cr(VI)	3,3
k. A.	0,3	3,00			3,5			15,0		5,0						Cr(VI)	3,3
k. A.	0,3	3,00			3,5			19,0		5,0						Cr(VI)	3,3
k. A.	0,5	2,50			3,0			12,0		4,5						Cr(VI)	4,0
k. A.	2,5	3,50			5,0			11,0		7,0						Cr(VI)	2,9
k. A.	0,3	3,50			3,5			19,5		5,0						Cr(VI)	2,9
k. A.	0,4	3,50			3,5			20,5		6,0						Cr(VI)	2,9
k. A.	0,7	3,00			4,0			21,0		6,5						Cr(VI)	3,3
k. A.	0,3	3,00			3,5			19,0		5,0						Cr(VI)	3,3
k. A.	0,5	2,50			6,0			25,0		6,0						Cr(VI)	4,0
k. A.	0,3	2,00			6,0			25,0		6,0						Cr(VI)	5,0
k. A.	0,2	3,50			3,0			18,0		4,0						Cr(VI)	2,9
k. A.	0,7	2,50	0,5		6,5			21,0		3,5						Cr(VI)	4,0
k. A.	1,5	4,00	1,5		3,5			14,0		3,5						Cr(VI)	2,5
k. A.	0,4	3,00			3,5			13,5		5,5						Cr(VI)	3,3
k. A.	1,0	3,50			5,0			16,0		3,5						Cr(VI)	2,9
k. A.	1,2	4,00			4,0			20,0		6,0						Cr(VI)	2,5
k. A.	0,8	3,50			4,5			15,0		4,0						Cr(VI)	2,9
k. A.	1,5	4,00			4,5			10,5		12,5						Cr(VI)	2,5
k. A.	0,3	3,50			3,5			15,5		4,5						Cr(VI)	2,9
k. A.	1	3,50			5,5			14,5		13,0						Cr(VI)	2,9
k. A.	1	3,50			5,5			14,5		13,0						Cr(VI)	2,9
k. A.	0,6	4,00			2,0			13,5		14,0						Cr(VI)	2,5
k. A.	0,8	3,00			14,5			16,5		13,0						Cr(VI)	3,3
k. A.	0,4	2,50			17,5			15,0		7,5						Mn	2,9

BGI 616

SCHWEISSZUSATZWERKSTOFF¹⁾

	Norm-Bezeichnung	Chem. Zusammensetzung (%)						
		Ni	Cr	Cu	Co	Mn	Mo	Nb
26	DIN 8556 E 18 8 Mn R26 Durchmesser 3,2	8,5	19,0			5,50		
27	DIN 8556 E 18 8 Mn R26 Durchmesser 4,00	8,5	19,0			5,50		
28	EN 1600 E 18 8 Mn7 Durchmesser 3,2	9,0	19,0			6,00		
29	EN 1600 E 18 8 Mn7 Durchmesser 4,00	9,0	19,0			6,00		
30	EN 1600 E 29 9 R73 Durchmesser 2,5	9,0	29,0			0,60	1,00	
31	EN 1600 E 29 9 R73 Durchmesser 4,00	9,0	29,0			0,60	1,00	
32	EN 1600 E 23 12 2 L R32 Durchmesser 3,2	13,0	24,0			1,00	3,50	
33	EN 1600 E 29 9 R12 Durchmesser 2,5	9,5	30,0			1,00		
34	EN 1600 E 29 9 R12 Durchmesser 3,2	9,5	30,0			1,00		
35	EN 1600 E 17 B42 Durchmesser 2,5		17,0			0,6		
36	EN 1600 E 17 B43 Durchmesser 3,2		17,0			0,60		
37	EN 1600 E 22 9 3 N L R32 Durchmesser 2,5	9,5	22,5	0,8		0,90	3,00	
38	EN 1600 E 22 9 3 N L R32 Durchmesser 3,2	9,5	22,5	0,8		0,90	3,00	
39	EN 1600 E 19 13 3 L R32 Durchmesser 2,5	12,0	18,0			0,50	2,80	
40	EN 1600 E 19 13 3 L R32 Durchmesser 3,2	12,0	18,0			0,50	2,80	
41	EN 1600 E 19 12 3 L R73 Durchmesser 3,2	12,0	19,0			0,60	2,60	
42	EN 1600 E 19 12 3 L R73 Durchmesser 4,0	12,0	19,0			0,60	2,60	

SCHWEISSRAUCHE

Emission ²⁾ (mg/s)	Quantitative Analyse ³⁾ (Gew.-%)															Leitkom- ponente ⁴⁾	Berechn. Schweißrauch- konzentration ⁵⁾ (mg/m ³)
	Ni	Cr(VI) ⁶⁾	Cu	Co	Mn	Ca	Mo	F	Pb	Fe	Mg	Si	Zn	Al	Ba		
2,78	0,53	3,00	0,03		10,4			12,5	0,04	5,3						Cr(VI)	3,3
4,20	0,49	3,10	0,03		10,4			9,8	0,04	5,3						Cr(VI)	3,2
2,78	0,95	4,70	0,05		21,7			10,1		12,1						Cr(VI)	2,1
4,17	0,54	3,70	0,04		19,7			11,8		9,9						Cr(VI)	2,7
2,78	0,19	4,30	0,01		3,1			10,1	0,11	4,8						Cr(VI)	2,3
4,17	0,34	4,60	0,01		3,0			9	0,09	8,1						Cr(VI)	2,2
3,36	1,4	4,29	0,04		3,91			8,9	0,08	9,6						Cr(VI)	2,3
1,39	1,27	6,30	0,04		2,0			8,2	0,08	9,2						Cr(VI)	1,6
2,78	1,23	6,70	0,03		2,1			9,1	0,08	9,4						Cr(VI)	1,5
2,78	0,02	3,00	0,03		1,8			21,5		5,4						Cr(VI)	3,3
5,56	0,02	2,70	0,02		1,7			22,1		5,6						Cr(VI)	3,7
2,09	0,7	3,72	1,56		4,5			11,3	0,09	6,55						Cr(VI)	2,7
3,72	0,66	4,00	1,34		4,37			12,6	0,11	6,34						Cr(VI)	2,5
1,81	0,35	3,92	0,11		3,63			11,7	0,12	4,9						Cr(VI)	2,6
2,11	0,22	3,70	0,2		3,87			12,8	0,13	4,1						Cr(VI)	2,7
5,56	0,95	5,70	0,02		2,9			15,8	0,03	15,1						Cr(VI)	1,8
7,78	0,94	5,30	0,03		2,4			18,8	0,04	14,5						Cr(VI)	1,9

BGI 616

SCHWEISSZUSATZWERKSTOFF¹⁾

	Norm-Bezeichnung	Chem. Zusammensetzung (%)						
		Ni	Cr	Cu	Co	Mn	Mo	Nb
43	EN 1600 E 19 12 3 L R73 Durchmesser 5,0	12,0	19,0			0,60	2,60	
44	EN 1600 E 19 12 3 L R25 Durchmesser 3,2	12,0	19,0			0,90	2,80	
45	EN 1600 E 19 12 3 L R25 Durchmesser 4,0	12,0	19,0			0,90	2,80	
46	DIN 8556 E 19 9 L R36 150 Durchmesser 2,5	10,0	20,2			1,00		
47	DIN 8556 E 19 9 L R36 150 Durchmesser 3,2	10,0	20,0			1,00		
48	EN 1600 E 19 12 3 L R53 Durchmesser 2,5	12,0	18,5			1,20		
49	EN 1600 E 19 12 3 L R53 Durchmesser 3,2	12,0	18,5			1,20		
50	EN 1600 E 19 12 3 L R73 Durchmesser 2,5	12,0	19,0			0,60		
51	EN 1600 E 19 12 3 L R73 Durchmesser 3,2	12,0	19,0			0,60		
52	EN 1600 E 19 12 3 L R73 Durchmesser 4,0	12,0	19,0			0,60		
53	EN 1600 E 19 9 Nb R32 Durchmesser 5,0	9,0	19,0			2,00		
54	EN 1600 E 19 9 LR53 Durchmesser 5,0	10,0	19,0			2,00		
55	EN 1600 E 20 10 3 R73 Durchmesser 5,0	10,0	20,0			2,50		
56	EN 1600 E 18 8 Mn B42 Durchmesser 5,0	8,5	18,5			6,00		
57	EN 1600 E 23 12 L B42 Durchmesser 5,0	12,0	23,0			2,50		
58	EN 1600 E 25 9 4 N L B42 Durchmesser 4,0	9,0	25,0			2,50		

1), 2), 3) Herstellerangaben, einige Angaben weichen von der Norm ab ⁴⁾, ⁵⁾ von der BG ermittelt/ berechnet ⁶⁾ Die Cr(VI)-Werte wurden in einigen Fällen, nach Absprache mit den Herstellern, aus Herstellerangaben zum Gesamtchrom errechnet.

SCHWEISSRAUCHE

Emission ²⁾ (mg/s)	Quantitative Analyse ³⁾ (Gew.-%)															Leitkomponente ⁴⁾	Berechn. Schweißrauchkonzentration ⁵⁾ (mg/m ³)
	Ni	Cr(VI) ⁶⁾	Cu	Co	Mn	Ca	Mo	F	Pb	Fe	Mg	Si	Zn	Al	Ba		
18,06	0,79	5,60	0,02		2,8			16,5	0,04	14,1						Cr(VI)	1,8
1,43	0,5	3,98	0,05		2,85			12,4	0,09	5,92						Cr(VI)	2,5
1,19	0,63	3,49	0,03		3,33			10,6	0,09	5,8						Cr(VI)	2,9
2,78	0,48	5,20	0,03		6,1			14,1	0,06	8,0						Cr(VI)	1,9
4,17	0,38	3,30	0,02		3,4			18,3	0,06	4,6						Cr(VI)	3,0
2,78	0,5	3,70	0,03		4,5			14,3	0,05	7,5						Cr(VI)	2,7
4,17	0,45	4,00	0,03		4,2			15,4	0,05	6,7						Cr(VI)	2,5
2,78	0,24	2,70	0,02		3,7			14,2	0,05	5,0						Cr(VI)	3,7
4,17	0,3	3,20	0,02		4,4			14,9	0,05	6,7						Cr(VI)	3,1
4,17	0,35	3,30	0,02		3,6			13,5	0,05	7,8						Cr(VI)	3,0
3,53	0,91	6,00	0,02		7,8			13,0	0,08	10,6						Cr(VI)	1,7
11,11	0,48	5,60	0,01		3,5			21,0	0,03	7,3						Cr(VI)	1,8
18,06	0,79	4,50	0,02		2,8			16,5	0,04	14,1						Cr(VI)	2,2
12,89	0,32	3,10	0,01		11,2			26,0	0,06	6,4						Cr(VI)	3,2
8,89	0,46	3,90	0,01		8,6			23,7	0,03	4,1						Cr(VI)	2,6
8,72	0,75	4,80	0,04		2,7			22,4	0,04	8,2						Cr(VI)	2,1

BGI 616

Beurteilung der Schweißrauchkonzentration der aufgeführten Beispiele in Bild 3-6

Beim Lichtbogenhandschweißen mit hochlegiertem Cr/Ni-Schweißzusatzwerkstoff resultiert in fast allen Beispielen „Chrom(VI)-Verbindungen/Chromate“ als Leitkomponente (siehe Formel (1) auf Seite 63). Liegt die berechnete Schweißrauchkonzentration unter $3 \text{ mg/m}^3 \text{ A}$ (Grenzwert für A-Staub, gleichzeitig für Schweißrauche), gilt die jeweils berechnete Schweißrauchkonzentration für die Leitkomponente als „Obergrenze“ für die Gesamt-Schweißrauchkonzentration am Arbeitsplatz.

Liegt die berechnete Schweißrauchkonzentration über $3 \text{ mg/m}^3 \text{ A}$ (Grenzwert für A-Staub, gleichzeitig für Schweißrauche), gilt $3 \text{ mg/m}^3 \text{ A}$ als „Obergrenze“ für die Gesamt-Schweißrauchkonzentration am Arbeitsplatz.

Beurteilung der Gefährdung (nach Bild 3-2 auf Seite 59)

Die Schweißrauche enthalten die toxischen Stoffe Mn als Manganoxid, Fluoride und die krebserzeugenden Stoffe Cr(VI)-Verbindungen, Ni als Nickeloxid; die Emissionsrate liegt vorwiegend zwischen 2,7 und 18 mg/s. Diese Schweißrauche sind der Schweißrauchklasse „C 3“ zuzuordnen.

In vier Beispielen ist die Rauchemission niedriger (zwischen 1,19 und 1,81 mg/s); diese Rauche sind der Schweißrauchklasse „C 2“ zuzuordnen. Ohne wirksame Absaugung im Entstehungsbereich der Schweißrauche ist von einer hohen Gefährdung auszugehen, da mehrfache Überschreitungen der jeweiligen Grenzwerte in der Praxis beobachtet wurden.

BGI 616

Bild 3-7: Lichtbogenhandauftragschweißen mit Schweißzusatzwerkstoff für verschleißfeste Auftragungen bei hoher Temperatur und Korrosion

SCHWEISSZUSATZWERKSTOFF ¹⁾								
	Norm-Bezeichnung ⁶⁾	Chem. Zusammensetzung (%)						
		Ni	Cr	Cu	Co	Mn	Mo	W
1	DIN 8555 E20-UM-40-... Durchmesser 4,0 basisch umhüllt		27,5		70,0			4,5
2	DIN 8555 E20-UM-55-CTZ	1,7	32		48,0	0,4		12
3	DIN 8555 E20-UM-45-CTZ	1,6	27,5		61,0	0,3		4,4
4	DIN 8555 E20-UM-50-CTZ	2,5	30,0		53,5	0,4		8,4
5	DIN 8555 E20-UM-55-CSTZ Durchmesser 3,0 rutil umhüllt		32,0		53,0			13
6	DIN 8555 E20-UM-55-CTZ	0,1	28,7		52,0	0,6		12
7	DIN 8555 E20-UM-45-...	0,3	29,0		61,0	0,5		4,5
8	DIN 8555 E20-UM-250-CPTZ	10	20,7		49,0	1,9		15,0
9	DIN 8555 E20-UM-250-CKTZ Durchmesser 5,0 basisch umhüllt	11	21,0		50,0	1,2		14,0
10	DIN 8555 E20-UM-250-CKTZ Durchmesser 6,0 basisch umhüllt	11	21,0		50,0	1,2		14,0
11	DIN 8555 E20-UM-300-... Durchmesser 3,0 basisch umhüllt	3,5	31,0		60,2		5	
12	DIN 8555 E20-UM-300-... Durchmesser 4,0 basisch umhüllt	3,5	31,0		60,2		5	
^{1), 2), 3)} Herstellerangaben, einige Angaben weichen von der Norm ab ^{4), 5)} von der BG ermittelt/berechnet ⁶⁾ Legende der Norm-Bezeichnung: E – Lichtbogenhandschweißen 20 – Legierungsgruppe: Co-Basis, Cr-W-legiert mit oder ohne Ni und Mo 55 – Härtestufe C – korrosionsbeständig								

SCHWEISSRAUCHE																			
Emission ²⁾ (mg/s)	Quantitative Analyse ³⁾ (Gew.-%)																	Leitkom- ponente ⁴⁾	Berechn. Schweiß- rauch- konzentration ⁵⁾ (mg/m ³)
	Ni	Cr(VI)	Cr	Cu	Co	Mn	Ca	Mo	F	Pb	Fe	Mg	Si	Zn	Al	Ba			
8,33	1,0	3,5			18,0	1,3			5,0	0,1	1,7					0,02	Co	0,6	
k. A.	1,0	4,0			19,0	1,0			5,0	2,5			W				Co	0,5	
k. A.	1,0	4,0			19,0	1,0			6,5	2			W				Co	0,5	
k. A.	0,9	4,3			16,0	1,1			9,0	2,4							Co	0,6	
8,33	0,6	4,8			16,8	0,6			5,0	1,6						0,02	Co	0,6	
k. A.	0,1	4,0			19,0	1,5			9,0	2,5			W				Co	0,5	
k. A.	0,2	4,5			21,0	2,5			10,0	1,0			W				Co	0,5	
k. A.	0,7	3,5			5,0	6,0			15,0	1,0			W				Co	2,0	
4,20	1,4	3,4		0,0 3	4,7	3,9			26,0	0,1	1,4					0,02	Co	2,1	
8,30	1,4	3,4		0,03	4,7	3,9			26,0	0,1	1,4					0,02	Co	2,1	
4,20	1,0	2,9		0,02	10,0	1,3			16,0	0,1	1,1					0,02	Co	1,0	
5,70	1,0	2,9		0,02	10,0	1,3			16,0	0,1	1,1					0,02	Co	1,0	
UM – umhüllt Z – hitzebeständig T warmfest																			

BGI 616

Beurteilung der berechneten Schweißrauchkonzentration in Bild 3-7

Beim Lichtbogenhandauftragschweißen mit Schweißzusatzwerkstoff für verschleißfeste Auftragungen ist in allen Beispielen die Leitkomponente „Co“ als Cobaltoxid.

Da die berechnete Schweißrauchkonzentration in allen Beispielen unter 3 mg/m³ A (Grenzwert für A-Staub, gleichzeitig für Schweißrauche) liegt, ist bei der Überwachung am Arbeitsplatz die jeweils berechnete Schweißrauchkonzentration als „Obergrenze“ heranzuziehen.

Beurteilung der Gefährdung (nach Bild 3-2 auf Seite 59)

Die Schweißrauche enthalten krebserzeugende Stoffe (Co als Cobaltoxid, Cr(VI)-Verbindungen als Chromate, Ni als Nickeloxid) sowie toxische Stoffe (Mn als Manganoxid, Fluoride). Die Emissionsrate liegt zwischen 4,2 und 8,3 mg/s. Diese Rauche sind der Schweißrauchklasse „C 3“ zuzuordnen.

Ohne wirksame Absaugung im Entstehungsbereich, ist in diesen Beispielen von einer hohen Gefährdung auszugehen, da mehrfache Überschreitungen der jeweiligen Grenzwerte in der Praxis zu erwarten sind.

Die berechneten Schweißrauchkonzentrationen für die Leitkomponente Cr(VI) entsprechen einer Cr(VI)-Konzentration in der Höhe des früheren TRK-Wertes von 0,1 mg/m³. Entsprechend der neuen GefStoffV gilt das Minimierungsgebot, insbesondere bei krebserzeugenden Stoffen. Somit sollen hier die berechneten Schweißrauchkonzentrationen weit unterschritten werden, um das Restrisiko durch Cr(VI) und eventl. Ni zu reduzieren.

BGI 616

Bild 3-8: Lichtbogenhandauftragschweißen gegen Abrasion, Stoßverschleiß

SCHWEISSZUSATZWERKSTOFF ¹⁾							
Norm-Bezeichnung ⁶⁾	Chem. Zusammensetzung (%)						
	Ni	Cr	Cu	Co	Mn	Mo	W
1 DIN 8555 E6-UM-55		9,5			0,6		
2 DIN 8555 E6-UM-55-GR Durchmesser 3,25 rutilbasisch umhüllt		9,5			0,6		
3 DIN 8555 E6-UM-55-GR Durchmesser 4,0 rutilbasisch umhüllt		9,5			0,6		
4 DIN 8555 E6-UM-55-GR Durchmesser 5,0 rutilbasisch umhüllt		9,5			0,6		
5 DIN 8555 E6-UM-55-G Durchmesser 4,0 basisch umhüllt		9,5			0,6		
6 DIN 8555 E6-UM-55-G Durchmesser 5,0 basisch umhüllt		9,5			0,6		
7 DIN 8555 E6-UM-60 Durchmesser 3,25		9,5					Fe 89
8 DIN 8555 E6-UM-60 Durchmesser 4,0		9,5					Fe 89
9 DIN 8555 E6-UM-60 Durchmesser 5,0		9,5					Fe 89
10 DIN 8555 E6-UM-60-R Durchmesser 3,25 rutil-sauer umhüllt		9,5					
11 DIN 8555 E6-UM-60-R Durchmesser 4,0 rutil-sauer umhüllt		9,5					
12 DIN 8555 E6-UM-60-R Durchmesser 5,0 rutil-sauer umhüllt		9,5					
13 DIN 8555 E7-UM-200					13		
14 DIN 8555 E7-UM-200-KP Durchmesser 3,25 basisch umhüllt					13		

SCHWEISSRAUCHE

Emission ²⁾ (mg/s)	Quantitative Analyse ³⁾ (Gew.-%)															Leitkomponente ⁴⁾	Berechn. Schweißrauchkonzentration ⁵⁾ (mg/m ³)
	Ni	Cr(VI)	Cu	Co	Mn	Ca	Mo	F	Pb	Fe	Mg	Si	Zn	Al	BA		
k.A.		1,2			2,5			10,0		30,0						Cr(VI)	8,3
12,70	0,040	2,5	0,04		1,9			5,6		36,0						Cr(VI)	4,0
19,60	0,040	2,5	0,04		1,9			5,6		36,0						Cr(VI)	4,0
26,40	0,040	2,5	0,04		1,9			5,6		36,0						Cr(VI)	4,0
11,40	0,040	2,9	0,08		2,9			6,3		34,7						Cr(VI)	3,4
15,00	0,040	2,9	0,08		2,9			6,3		34,7						Cr(VI)	3,4
4,20	0,005	1,9	0,14		1,5			8,8	0,02	20,6						Cr(VI)	5,2
8,30	0,005	1,9	0,07		1,4			12,3	0,01	20,2						Cr(VI)	5,2
13,90	0,005	2,1	0,04		1,6			14,1	0,01	21,1						Cr(VI)	4,7
8,30	0,03	3,4	0,03		3,1			10,0	0,03	30,0						Cr(VI)	2,9
9,40	0,03	3,4	0,03		3,1			10,0	0,03	30,0						Cr(VI)	2,9
16,70	0,03	3,4	0,03		3,1			10,0	0,03	30,0						Cr(VI)	2,9
k. A.			0,10		20,0			7,9		26,0						Mn	2,5
8,30	0,03		0,03		19,0			12,8		17,1						Mn	2,6

BGI 616

SCHWEISSZUSATZWERKSTOFF¹⁾

	Norm-Bezeichnung ⁶⁾	Chem. Zusammensetzung (%)						
		Ni	Cr	Cu	Co	Mn	Mo	W
15	DIN 8555 E7-UM-200		14,0			17		
16	DIN 8555 E7-UM-250 Durchmesser 4,0	4	4,5			13		
17	DIN 8555 E7-UM-250	4	4,5			13		
18	DIN 8555 E8-UM-200	8,4	21,5			5,8		
19	DIN 8555 E8-UM-200	8	21,0			6,1		
20	DIN 8555 E10-UM-60		31,8			0,3		
21	DIN 8555 E10-UM-55		21,0			1,2		Nb 6,6
22	DIN 8555 E10-UM-65		24,5			1,5		Nb 7
23	DIN 8555 E10-UM-65		21,5		11	1,5	6,3	
24	DIN 8555 E10-UM-60 Durchmesser 3,25		35,0					Fe 62
25	DIN 8555 E10-UM-60 Durchmesser 4,0		35,0					Fe 62
26	DIN 8555 E10-UM-60-Z Durchmesser 3,25 rutilbasisch umhüllt		35,0					
27	DIN 8555 E10-UM-60-Z Durchmesser 5,0 rutilbasisch umhüllt		35,0					
28	DIN 8555 E10-UM-65-G Durchmesser 3,25		23,0				8,0	2,0
29	DIN 8555 E10-UM-65-G Durchmesser 4,0		23,0				8,0	2,0

1), 2), 3) Herstellerangaben, einige Angaben weichen von der Norm ab 4), 5) von der BG ermittelt/berechnet 6) Legende der Norm-Bezeichnung:

E – Stabelektrode 6, 7, 8, 10 – Legierungsgruppen
6 – legiert mit mehr als 5 % Cr und etwa 0,2 bis 2,0 % C
7 – Mn-Austenite mit 11 bis 18 % Mn und mehr als 0,5 % C und bis 3 % Ni
8 – Cr-Ni-Mn Austenite
10 – hoch C-haltig und hoch Cr-legiert mit und ohne zusätzliche Karbidbildner

SCHWEISSRAUCHE

Emission ²⁾ (mg/s)	Quantitative Analyse ³⁾ (Gew.-%)															Leitkom- ponente ⁴⁾	Berechn. Schweiß- rauch- konzentration ⁵⁾ (mg/m ³)
	Ni	Cr(VI)	Cu	Co	Mn	Ca	Mo	F	Pb	Fe	Mg	Si	Zn	Al	BA		
k. A.		1			30,0			7,0		20,0						Mn	1,7
11,11	2,08		0,09		20,0			1,2	0,02	28,5						Mn	2,5
13,89	2,38		0,15		24,0			0,6	0,02	30,9						Mn	2,1
k. A.	0,8	3			14,5			16,5		13,0						Cr(VI)	3,3
k. A.	0,4	2,5			17,5			15,0		7,5						Mn	2,9
k. A.		4,0			0,5			7,5		27,0						Cr(VI)	2,5
k. A.		3,5			2,5			10,0		27,0						Cr(VI)	2,9
k. A.		3,5			5,0			5,0		13,0						Cr(VI)	2,9
k. A.		2,5		5	0,5			12,0		13,0						Co	2,0
16,67	0,08	8,3	0,70		0,7			3,4	0,02	32,1						Cr(VI)	1,2
22,22	0,05	8,3	0,07		0,64			3,4	0,04	27,8						Cr(VI)	1,2
11,20	0,26	10,2	0,07		3,8			4,8	0,03	33,6						Cr(VI)	1,0
22,20	0,26	10,2	0,07		3,8			4,8	0,03	33,6						Cr(VI)	1,0
8,30	0,03	4,0	0,07		0,8			5,9	0,16	14,1						Cr(VI)	2,5
13,90	0,03	4,0	0,07		0,8			5,9	0,16	14,1						Cr(VI)	2,5
UM	- umhüllt							G - schmirgelbeständig									
55, 60, 65, 200	- Härtestufen							K - kaltverfestigungsfähig									
R	- rostbeständig																
Z	- hitzebeständig																

BGI 616

Beurteilung der berechneten Schweißrauchkonzentration in Bild 3-8

Beim Lichtbogenhandauftragschweißen mit Schweißzusatzwerkstoff gegen Abrasion und gegen Stoßverschleiß ist in den o.g. Beispielen je nach Legierungsart, Cr(VI)-Verbindungen oder Mn als Manganoxid oder Co als Cobaltoxid die Leitkomponente (siehe Formel (1) auf Seite 63).

Liegt die berechnete Schweißrauchkonzentration unter 3 mg/m³ A (Grenzwert für A-Staub, gleichzeitig für Schweißrauche), gilt die jeweils berechnete Schweißrauchkonzentration für die Leitkomponente als „Obergrenze“ für die Gesamt-Schweißrauchkonzentration am Arbeitsplatz.

Liegt die berechnete Schweißrauchkonzentration über 3 mg/m³ A (Grenzwert für A-Staub, gleichzeitig für Schweißrauche), gilt 3 mg/m³ A als „Obergrenze“ für die Gesamt-Schweißrauchkonzentration am Arbeitsplatz.

Beurteilung der Gefährdung (nach Bild 3-2 auf Seite 59)

In fast allen Beispielen sind die Schweißrauche der Schweißrauchklasse „C 3“ - ausgenommen im zweiten Beispiel: Schweißrauchklasse „C 4“ – zuzuordnen, da sie Emissionsraten zwischen 4,2 und 22,2 mg/s erreichen und toxische Stoffe (Mn als Manganoxid, Fluoride, Pb als Bleioxid, Cu als Kupferoxid) sowie krebserzeugende Stoffe (wie Cr(VI)-Verbindungen, Ni als Nickeloxid oder Co als Cobaltoxid) enthalten.

Ohne wirksame Absaugung im Entstehungsbereich der Schweißrauche ist von einer hohen Gefährdung auszugehen, da mehrfache Überschreitungen der jeweiligen Grenzwerte in der Praxis zu erwarten sind.

Die berechneten Schweißrauchkonzentrationen für die Leitkomponente Cr(VI) und Co entsprechen einer Cr(VI) und Co-Konzentration in der Höhe des früheren TRK-Wertes 0,1 mg/m³. Entsprechend der neuen GefStoffV gilt das Minimierungsgebot, insbesondere bei krebserzeugenden Stoffen. Somit sollen hier die berechneten Schweißrauchkonzentrationen weit unterschritten werden, um das Restrisiko durch Cr(VI) und Co zu reduzieren.

BGI 616

Bild 3-9: Lichtbogenhandauftragschweißen, Pufferung, Reparatur

SCHWEISSZUSATZWERKSTOFF ¹⁾							
Norm-Bezeichnung ⁶⁾	Chem. Zusammensetzung (%)						
	Ni	Cr	Cu	Co	Mn	Mo	W
1 DIN 8555 E1-UM-250	0,7	0,2			1,5	0,5	
2 DIN 8555 E1-UM-40-P		2,8			0,4		
3 DIN 8555 E2-UM-60-GP		2,0			1,1		
4 DIN 8555 E2-UM-60		2,0			0,0		
^{1), 2), 3)} Herstellerangaben ^{4), 5)} von der BG ermittelt/berechnet ⁶⁾ Legende der Norm-Bezeichnung: E – Lichtbogenhandschweißen 1;2 – Legierungsgruppe 1 – unlegiert bis 0,4 % C oder niedriglegiert bis 0,4 % C und bis max. 5 % Legierungsbestandteile Cr, Mn, Mo, Ni insgesamt 2 – unlegiert mit mehr als 0,4 % C oder niedriglegiert mit mehr als 0,4 % C und bis max. 5 % Legierungsbestandteile Cr, Mn, Mo, Ni insgesamt							

SCHWEISSRAUCHE																		
Emission ²⁾ (mg/s)	Quantitative Analyse ³⁾ (Gew.-%)													Leitkomponente ⁴⁾	Berechn. Schweißrauchkonzentration ⁵⁾ (mg/m ³)			
	Ni	Cr(VI)	Cr	Cu	Co	Mn	Ca	Mo	F	Pb	Fe	Mg	Si			Zn	Al	Ba
k. A.	<0,1	<0,10				5,0			18,5		13,5						Mn	10,0
k. A.		0,60		0,1		2,2			13,7		23,0						Fe	13,0
k. A.		0,25				3,0			13,0		20,0						Fe	15,0
k. A.		0,25				4,0					45,0						Fe	6,7
UM	- umhüllt																	
40, 60, 250	- Härtestufen																	
P	- schlagbeständig																	
G	- schmirgelbeständig																	

Beurteilung der berechneten Schweißrauchkonzentration in Bild 3-9

In den aufgeführten Beispielen ist die Leitkomponente Mn als Manganoxid oder Fe als Eisenoxid (siehe Formel (1) auf Seite 63).

Da die berechnete Schweißrauchkonzentration in allen Beispielen über 3 mg/m³ A (Grenzwert für A-Staub, gleichzeitig für Schweißrauch) liegt, gilt 3 mg/m³ A als Obergrenze für die Gesamt-Schweißrauchkonzentration am Arbeitsplatz.

Beurteilung der Gefährdung (nach Bild 3-2 auf Seite 59)

Hier sind die Schweißrauche der Schweißrauchklasse „B 3“ zuzuordnen, da sie die toxischen Stoffe Mn als Manganoxid und Fluoride enthalten. Erwartungsgemäß entstehen allgemein beim Lichtbogenhandschweißen Emissionsraten zwischen 2 und 25 mg/s.

Ohne wirksame Absaugung im Entstehungsbereich der Schweißrauche ist von einer hohen Gefährdung auszugehen, da mehrfache Überschreitungen der jeweiligen Grenzwerte in der Praxis zu erwarten sind.

BGI 616

Bild 3-10: Lichtbogenhandschweißen mit Aluminiumbasis-Schweißzusatzwerkstoffen

SCHWEISSZUSATZWERKSTOFF							
Norm-Bezeichnung ⁶⁾	Chem. Zusammensetzung (%)						
	Al	Si	Mn	Mg	Sn	Zr	Cu
1 DIN 1732 EL-ALSi 12 Durchmesser 2,5 mm	88	12					
2 DIN 1732 EL-ALSi 12 Durchmesser 3,25 mm	88	12					
3 DIN 1732 EL-ALMn 1 Durchmesser 2,5 mm	98		1,5	0,2			
4 DIN 1732 EL-ALMn 1 Durchmesser 3,25 mm	98		1,5	0,2			
^{1), 2), 3)} Herstellerangaben ^{4), 5)} von der BG ermittelt/berechnet ⁶⁾ Legende der Norm-Bezeichnung EL – Stabelektrode Al Si 12 12% Si, Rest-Al % Al Mn, Rest-Al %							

SCHWEISSRAUCHE																		
Emission ²⁾ (mg/s)	Quantitative Analyse ³⁾ (Gew.-%)																Leitkomponente ⁴⁾	Berechn. Schweißrauchkonzentration ⁵⁾ (mg/m ³)
	Ni	Cr(VI)	Cr	Cu	Co	Mn	Ca	Mo	F	Pb	Fe	Mg	Si	Zn	Al	Ba		
4,0								7,2							16,4		Al	18,3
6,6								5,7							18,2		Al	16,5
3,2						0,46		5,2							20,0		Al	15,0
4,4						0,26		6,9							16,4		Al	18,3

Beurteilung der berechneten Schweißrauchkonzentration in Bild 3-10

Beim Lichtbogenhandschweißen mit Aluminiumbasis-Schweißzusatzwerkstoffen ist die Leitkomponente im Schweißrauch Al als Aluminiumoxid (siehe Formel (1), Seite 63).

Da die berechnete Schweißrauchkonzentration in allen Beispielen über 3 mg/m³ A (Grenzwert für A-Staub, gleichzeitig für Schweißbrauche) liegt, gilt 3 mg/m³ A als „Obergrenze“ für die Gesamt-Schweißrauchkonzentration am Arbeitsplatz.

Beurteilung der Gefährdung (nach Bild 3-2 auf Seite 59)

Hier sind die Schweißbrauche der Schweißrauchklasse „B 3“ zuzuordnen. Die Emissionsraten liegen zwischen 3,2 bis 6,6 mg/s und im Rauch sind die toxischen Stoffe Fluoride und gelegentlich Mn als Manganoxid enthalten.

Ohne wirksame Absaugung im Entstehungsbereich der Schweißbrauche ist von einer hohen Gefährdung auszugehen, da Überschreitungen der Grenzwerte am Arbeitsplatz festgestellt wurden.

BGI 616

Bild 3-11: Lichtbogenhandschweißen mit Kupferbasis-Schweißzusatzwerkstoffen

SCHWEISSZUSATZWERKSTOFF ¹⁾								
	Norm-Bezeichnung	Chem. Zusammensetzung (%)						
		Ni	Fe	Cu	Co	Mn	Al	Sn
1	DIN 1733 EL-CuSn 7			90,7		1,2		5
2	DIN 1733 EL-CuSn 8			92,5				8
3	DIN 1733 EL-CuMn14Al	2,5	2,0	76,7		12,2	6	
4	DIN 1733 EL-CuSn 7			93,0				5
5	DIN 1733 EL-CuMn14Al Durchmesser 3,25 mm	2,5	1,5	75,0		13,0	6	
6	DIN 1733 EL-CuMn14Al Durchmesser 4,0 mm	2,5	1,5	75,0		13,0	6	
7	DIN 1733 EL-CuMn14Al Durchmesser 5,0 mm	2,5	1,5	75,0		13,0	6	
8	DIN 1733 EL-CuNi30Mn Durchmesser 2,5 mm	30	0,4	67,8		1,2		
9	DIN 1733 EL-CuNi30Mn Durchmesser 3,25 mm	30	0,4	67,8		1,2		
10	DIN 1733 EL-CuNi30Mn Durchmesser 4,0	30	0,4	67,8		1,2		
^{1), 2), 3)} Herstellerangaben ^{4), 5)} von der BG ermittelt/berechnet ⁶⁾ Werte nicht plausibel – zu erwartende Cu-Anteile > 10 %								

SCHWEISSRAUCHE

Emission ²⁾ (mg/s)	Quantitative Analyse ³⁾ (Gew.-%)																Leitkom- ponente ⁴⁾	Berechn. Schweißrauch- konzentration ⁵⁾ (mg/m ³)
	Ni	Cr(VI)	Cr	Cu	Co	Mn	Ca	Mo	F	Pb	Fe	Mg	Si	Zn	Al	Ba		
k. A.				26,50		2,50			9,5								Cu	0,4
k. A.				11,50					17,5								Cu	0,9
k. A.				10,20		6,80			28,4		1,0						Cu	1,0
8,3	0,02		0,01	9,00		6,10			1,8	0,11	26,5						Cu	1,1
8,3	0,05		0,02	4,15 ⁶⁾		3,50			7,0		0,2						Cu	2,4
11,1	0,03		0,01	2,65 ⁶⁾		2,50			7,2		0,2						Cu	3,8
19,4	0,05		0,02	3,52 ⁶⁾		2,90			7,2		0,2						Cu	2,8
4,2	0,88		0	5,89		0,62			6,1	0,03	0,2					0,04	Cu	1,7
5,5	0,96		0	6,95		0,69			10,8	0,03	0,2					0,01	Cu	1,4
5,5	1,31		0	7,68		0,73			13,5	0,02	0,3					0,03	Cu	1,3

BGI 616

Beurteilung der berechneten Schweißrauchkonzentration in Bild 3-11

In den aufgeführten Beispielen ist die Leitkomponente im Schweißrauch Cu als Kupferoxid (siehe Formel (1) auf Seite 63).

Da die berechnete Schweißrauchkonzentration in allen Beispielen unter $3 \text{ mg/m}^3 \text{ A}$ (Grenzwert für A-Staub, gleichzeitig auch für Schweißrauch) liegt, ist bei der Überwachung am Arbeitsplatz die jeweils berechnete Schweißrauchkonzentration als „Obergrenze“ heranzuziehen.

Beurteilung der Gefährdung (nach Bild 3-2 auf Seite 59)

Die Schweißrauche enthalten zum Teil toxische Stoffe (Cu als Kupferoxid, Mn als Manganoxid, F als Fluoride) und einige zusätzlich krebserzeugende Stoffe (Ni als Nickeloxid). Die Emissionsraten liegen zwischen 4,2 und 19,4 mg/s. Die Rauche, die nur toxische Stoffe enthalten, sind der Schweißrauchklasse „B 3“ zuzuordnen. Die Rauche, die neben den toxischen Stoffen auch Ni als Nickeloxid enthalten, sind der Schweißrauchklasse „C 3“ zuzuordnen.

Ohne wirksame Absaugung im Entstehungsbereich ist von einer hohen Gefährdung auszugehen, da eine mehrfache Überschreitung der jeweiligen Grenzwerte in der Praxis zu erwarten ist.

BGI 616

Bild 3-12: Lichtbogenhandschweißen mit Nickelbasis-Schweißzusatzwerkstoffen

SCHWEISSZUSATZWERKSTOFF ¹⁾							
Norm-Bezeichnung	Chem. Zusammensetzung (%)						
	Ni	Cr	Cu	Co	Mn	Mo	Nb
1	DIN 1736 EL-NiCu 30 Mn	65,0		29		3,5	
2	DIN 1736 EL-NiCr 15 FeMn	66,0	16,0			8,2	1,9
3	DIN 1736 EL-NiCr 15 FeMn	68,2	16,0			6,0	2,0
4	DIN 1736 EL-NiCr 15 FeNb	71,7	16,2			2,8	1,4
5	DIN 1736 EL-NiCr 20 Mo 9 Nb	60,3	21,6			0,9	9
6	DIN 1736 EL-NiCr 20 Mo 9 Nb	62,2	22,0			0,8	9
7	DIN 1736 EL-NiCr 15 Mo 6 NbW	64,3	14,6			3,7	7
8	DIN 1736 EL-NiCr 20 Mo 9 Nb Durchmesser 2,5	61,6	22,0			0,6	9
9	DIN 1736 EL-NiCr 20 Mo 9 Nb Durchmesser 3,25	61,6	22,0			0,6	9
10	DIN 1736 EL-NiCr 20 Mo 9 Nb Durchmesser 4,0	61,6	22,0			0,6	9
11	DIN 1736 EL-NiCr 15 FeMn Durchmesser 3,25	40,0	26,0	1,8		2,5	6
12	DIN 1736 EL-NiCu 30 Mn Durchmesser 2,5	66,3		29		3,0	
13	DIN 1736 EL-NiCu 30 Mn Durchmesser 3,25	66,3		29		3,0	
14	DIN 1736 EL-NiCu 30 Mn Durchmesser 4,0	66,3		29		3,0	
15	DIN 1736 EL-NiT ₃ Durchmesser 2,5	96,6				0,3	Ti: 2,0
16	DIN 1736 EL-NiT ₃ Durchmesser 3,25	96,6				0,3	Ti: 2,0
17	—	95,8		1,8		0,8	
18	—	95,8		1,8		0,8	
1), 2), 3) Herstellerangaben 4), 5) von der BG ermittelt/berechnet							

SCHWEISSRAUCHE

Emission ²⁾ (mg/s)	Quantitative Analyse ³⁾ (Gew.-%)																Leitkomponente ⁴⁾	Berechn. Schweißrauchkonzentration ⁵⁾ (mg/m ³)
	Ni	Cr(VI)	Cr	Cu	Co	Mn	Ca	Mo	F	Pb	Fe	Mg	Si	Zn	Al	Ba		
k. A.	3,0			6,00		2,5			33,0		0,50						Cu	1,7
k. A.	7,5	2,00				10,5			24,0		1,50						Mn	4,8
k. A.	3,0	1,80				6,5			33,0		0,50						Cr(VI)	5,5
k. A.	8,5	3,00				4,0			19,0		1,00						Cr(VI)	3,3
k. A.	5,5	4,00				1,5			21,0		0,50						Cr(VI)	2,5
k. A.	3,2	2,50				1,0			34,0		0,50						Cr(VI)	4,0
k. A.	13,0	3,00				8,5			15,0		2,00						Cr(VI)	3,3
2,80	2,6	2,90	3,17	0,01		1,0			24,0	0,10	1,00						Cr(VI)	3,4
6,0	3,0	3,15	3,5	0,08		1,0			21,8	0,10	0,30						Cr(VI)	3,2
8,3	2,6	3,20	3,55	0,04		1,0			20,9	0,10	0,30						Cr(VI)	3,1
6,7	2,5	3,71		0,017		7,5			16,0	0,07	0,86						Cr(VI)	2,7
5,9	7,6			13,10		1,5			5,0	0,01	2,10						Cu	0,8
6,5	8,6			13,60		1,5			6,6	0,02	4,10						Cu	0,7
11,1	12,0			19,20		1,6			6,4	0,02	4,10						Cu	0,52
4,4	2,9					0,9			11,5		0,11						Ni	17,2
6,7	4,3					0,6			12,9		0,21						Ni	11,6
1,4	1,4		0,01	1,27		0,1			5,0	0,02	1,30						Cu	7,9
2,8	1,6		0,01	1,09		0,1			4,7	0,02	1,40						Cu	9,2

BGI 616

Beurteilung der berechneten Schweißrauchkonzentration in Bild 3-12

In den aufgeführten Beispielen ist die Leitkomponente – je nach Kerndraht und Umhüllung – Cu als Kupferoxid oder Ni als Nickeloxid oder Cr(VI)-Verbindungen (siehe Formel (1) auf Seite 63).

Liegt die berechnete Schweißrauchkonzentration unter $3 \text{ mg/m}^3 \text{ A}$ (Grenzwert für A-Staub, gleichzeitig für Schweißrauche), gilt die jeweils berechnete Schweißrauchkonzentration für die Leitkomponente als „Obergrenze“ für die Gesamt-Schweißrauchkonzentration am Arbeitsplatz.

Liegt die berechnete Schweißrauchkonzentration über $3 \text{ mg/m}^3 \text{ A}$ (Grenzwert für A-Staub, gleichzeitig für Schweißrauche), gilt $3 \text{ mg/m}^3 \text{ A}$ als „Obergrenze“ für die Gesamt-Schweißrauchkonzentration am Arbeitsplatz.

Beurteilung der Gesundheitsgefährdung (nach Bild 3-2 auf Seite 59)

Die Schweißrauche enthalten toxische Stoffe (Cu als Kupferoxid, Mn als Manganoxid, F als Fluoride) und krebserzeugende Stoffe (Cr(VI)-Verbindungen und Ni als Nickeloxid). Die Emissionsraten liegen zwischen 2,8 und 11,1 mg/s. Somit sind diese Schweißrauche der Schweißrauchklasse „C 3“ zuzuordnen.

Ohne wirksame Absaugung im Entstehungsbereich ist von einer hohen Gefährdung auszugehen, da eine mehrfache Überschreitung der jeweiligen Grenzwerte in der Praxis zu erwarten ist.

BGI 616

Bild 3-13: Lichtbogenhandschweißen von Gusseisen

SCHWEISSZUSATZWERKSTOFF ¹⁾							
	Norm-Bezeichnung	Chem. Zusammensetzung (%)					
		Ni	Cr	Cu	Co	Mn	Fe
1	—						
2	DIN 8573 E Ni-BG 11 Durchmesser 2,5 mm basisch-graphitische Umhüllung	97,0		2		0,25	
3	DIN 8573 E Ni-BG 11 Durchmesser 3,2 mm basisch-graphitische Umhüllung	97,0		2		0,25	
4	DIN 8573 E Ni-BG 11 Durchmesser 4,0 mm basisch-graphitische Umhüllung	97,0		2		0,25	
5	DIN 8573 E Ni-BG 11 Durchmesser 5,0 mm basisch-graphitische Umhüllung	97,0		2		0,25	
6	DIN 8573 E Ni-BG 32 basisch-graphitische Umhüllung	95,8				0,20	
7	DIN 8573 E Ni-BG 22 basisch-graphitische Umhüllung	96,9				0,20	
8	DIN 8573 E NiFe 1-BG 22 basisch-graphitische Umhüllung	53,0				1,00	
9	DIN 8573 E NiFe 1-BG 22 basisch-graphitische Umhüllung	53,0				0,80	
10	DIN 8573 E NiFe 1-BG 24 basisch-graphitische Umhüllung	51,0				0,90	
11	DIN 8573 E NiFe 1-BG 25 basisch-graphitische Umhüllung	51,0				0,30	
12	DIN 8573 E NiFe 1-BG 26 basisch-graphitische Umhüllung	52,0				0,80	
13	—						
14	DIN 8573 E NiFe 1 BG 23 Durchmesser 3,25 mm basisch-graphitische Umhüllung	54,0		2			

SCHWEISSRAUCHE

Emission ²⁾ (mg/s)	Quantitative Analyse ³⁾ (Gew.-%)																Leitkomponente ⁴⁾	Berechn. Schweißrauchkonzentration ⁵⁾ (mg/m ³)
	Ni	Cr(VI)	Cr	Cu	Co	Mn	Ca	Mo	F	Pb	Fe	Mg	Si	Zn	Al	Ba		
k.A.	3,00				0,2				5,5	4,5						15,0	Ba	3,3
4,60	8,30			0,03	1,5				6,7	1,1						23,0	Ba	2,2
6,40	5,20			0,03	1,6				5,6	0,7						23,0	Ba	2,2
11,50	6,20			0,03	1,6				6,0	0,9						23,0	Ba	2,2
17,70	6,60			0,03	1,6				6,1	0,6						23,0	Ba	2,2
k. A.	2,00								7,5	1						32,0	Ba	1,6
k. A.	7,00				0,2				7,5	1,5						28,0	Ba	1,8
k. A.	3,50				0,4				5,5	6						14,0	Ba	3,6
k. A.	0,70				0,3				10,0	1,5						26,0	Ba	1,9
k. A.	3,00				1,0				7,0	5						n. b.*	Ni	16,7
k. A.	3,00				1,0				7,0	12						n. b.*	Ni	16,6
k. A.	5,50			3,50	1,5				5,0	8						n. b.*	Cu	2,9
k. A.	1,00			1,50	0,2				7,5	0,5						33,0	Ba	1,5
2,80	6,89			3,48	0,9				0,5	0	9,7					2,0	Cu	2,9

* Ba-Gehalt wurde nicht bestimmt. Man kann davon ausgehen, dass bei diesen Typen von Elektroden der Ba-Gehalt im Schweißrauch über 10% liegen müsste; somit würden auch hier die berechneten Schweißrauchkonzentrationen unter 3 mg/m³ liegen.

BGI 616

SCHWEISSZUSATZWERKSTOFF¹⁾

	Norm-Bezeichnung	Chem. Zusammensetzung (%)					
		Ni	Cr	Cu	Co	Mn	Fe
15	DIN 8573 E NiFe 1 BG 12 Durchmesser 2,5 mm basisch-graphitische Umhüllung	54,0		2			
16	DIN 8573 E NiFe 1 BG 12 Durchmesser 3,25 mm basisch-graphitische Umhüllung	54,0		2			
17	DIN 8573 E NiCu BG 31 Durchmesser 2,5 mm basisch-graphitische Umhüllung	65,0		24		2,00	4
18	DIN 8573 E NiCu BG 31 Durchmesser 3,25 mm basisch-graphitische Umhüllung	65,0		24		2,00	4
19	DIN 8573 E NiCu BG 31 Durchmesser 4,0 mm basisch-graphitische Umhüllung	65,0		24		2,00	4
^{1), 2), 3)} Herstellerangaben ^{4), 5)} von der Berufsgenossenschaft – nicht bestimmt/ermittelt/berechnet k.A. – keine Angaben; n.b. nicht bestimmt							
Normbezeichnung-Legende E – Lichtbogenhandschweißen BG – basisch mit Graphit 11, 22 usw. – Kennziffer für die Schweißposition und für die Stromerzeugung							

SCHWEISSRAUCHE

Emission ²⁾ (mg/s)	Quantitative Analyse ³⁾ (Gew.-%)																Leikom- ponente ⁴⁾	Berechn. Schweißrauch- konzentration ⁵⁾ (mg/m ³)
	Ni	Cr(VI)	Cr	Cu	Co	Mn	Ca	Mo	F	Pb	Fe	Mg	Si	Zn	Al	Ba		
2,80	2,35			0,03		0,4			5,7	0	3,7					19,3	Ba	2,6
4,20	2,66			0,02		0,3			5,9	0	5,8					21,5	Ba	2,3
10,40	12,3			19,20		1,5			5,0		10,1					0,7	Cu	0,5
6,50	8,60			13,60		1,5			6,6		4,1					0,9	Cu	0,7
6,50	7,60	0,03		13,10		1,6			6,4		2,1					1,0	Cu	0,8

BGI 616

Beurteilung der berechneten Schweißrauchkonzentration in Bild 3-13

Beim Lichtbogenhandschweißen von Gusseisen ist, je nach Kerndraht und Umhüllung, Ba als Bariumverbindung, Ni als Nickeloxid oder Cu als Kupferoxid die Leitkomponente.

Liegt die berechnete Schweißrauchkonzentration unter $3 \text{ mg/m}^3 \text{ A}$ (Grenzwert für A-Staub, gleichzeitig für Schweißrauche), gilt die jeweils berechnete Schweißrauchkonzentration für die Leitkomponente als „Obergrenze“ für die Gesamt-Schweißrauchkonzentration am Arbeitsplatz.

Liegt die berechnete Schweißrauchkonzentration über $3 \text{ mg/m}^3 \text{ A}$ (Grenzwert für A-Staub, gleichzeitig für Schweißrauche), gilt $3 \text{ mg/m}^3 \text{ A}$ als „Obergrenze“ für die Gesamt-Schweißrauchkonzentration am Arbeitsplatz.

Beurteilung der Gefährdung (nach Bild 3-2 auf Seite 59)

Die Schweißrauche enthalten sowohl toxische Stoffe (Mn als Manganoxid, F als Fluoride, Ba als Bariumverbindungen, Cu als Kupferoxid) als auch krebserzeugende Stoffe (Ni als Nickeloxid). Die Emissionsraten liegen zwischen 2,8 und 17,7 mg/s. Diese Rauche sind der Schweißrauchklasse „C 3“ zuzuordnen.

Ohne wirksame Absaugung im Entstehungsbereich ist von einer hohen Gefährdung auszugehen, da eine mehrfache Überschreitung der jeweiligen Grenzwerte in der Praxis zu erwarten ist.

BGI 616

Bild 3-14: Schutzgasschweißen (MIG/MAG-Schweißen) mit hochlegiertem Cr/Ni-Schweißzusatzwerkstoff

SCHWEISSZUSATZWERKSTOFF ¹⁾							
Norm-Bezeichnung	Chem. Zusammensetzung (%)						
	Ni	Cr	Cu	Co	Mn	Mo	Nb
1 DIN 8556 SG-X2 CrNi 19 9	10,0	20			1,8		
2 DIN 8556 SG-X2 CrNiMo 19 12	12,0	18			1,8		2,6
3 ---	15,0	20			1,8	3,5	
4 DIN 8556 SG-X5 CrNiNb 19 9	9,6	19			1,2		0,5
5 DIN 8556 SG-X5 CrNiMoNb 19 12	12,0	19			1,3	2,6	0,6
6 DIN 8556 SG-X2 CrNi 25 20	21,0	26			1,7		
7 DIN 8556 SG-X2 CrNiMoCu 20 25	25,0	20	1,5		1,7	4,5	
8 DIN 8556 SG-X2 CrNiMo 22 9	8,2	23			1,6	3,0	
9 DIN 8556 SG-X2 CrNi 24 12	14,0	24			1,8		
10 DIN 8556 SG-X15CrNiMn 18 8	8,8	19			6,7		
11 DIN 8556 SG-X10CrNi 30 9	9,2	31			1,8		
1), 2), 3) Herstellerangaben 4), 5) von der Berufsgenossenschaft ermittelt/berechnet							

Beurteilung der berechneten Schweißrauchkonzentrationen in Bild 3-14

In den aufgeführten Beispielen ist die Leitkomponente im Schweißrauch vorwiegend Ni als Nickeloxid oder Mn als Manganoxid. Da die berechnete Schweißrauchkonzentration über $3 \text{ mg/m}^3 \text{ A}$ (Grenzwert für A-Staub, gleichzeitig für Schweißrauche) liegt, gilt $3 \text{ mg/m}^3 \text{ A}$ als „Obergrenze“ für die Gesamt-Schweißrauchkonzentration am Arbeitsplatz.

SCHWEISSRAUCHE

Emission ²⁾ (mg/s)	Quantitative Analyse ³⁾ (Gew.-%)																Leitkomponente ⁴⁾	Berechn. Schweißrauchkonzentration ⁵⁾ (mg/m ³)
	Ni	Cr(VI)	Cr	Cu	Co	Mn	Ca	Mo	F	Pb	Fe	Mg	Si	Zn	Al	Ba		
k. A.	6,2		11			4					40						Fe	7,5
k. A.	6,0		8			7		2			31						Mn	7,1
k. A.	7,0		8	0,7		7		2			31						Ni	7,1
k. A.	6,0		10	0,2		5					34						Ni	8,3
k. A.	6,0		9	0,2		7		2			31						Mn	7,1
k. A.	10,0		16			4					34						Ni	5,0
k. A.	11,0		8	0,2		6		2			31						Ni	4,5
k. A.	6,0		16			7		2			31						Mn	7,1
k. A.	7,0		16			7					33						Ni	7,1
k. A.	6,2		11	0,2		8		0			40						Mn	6,3
k. A.	6,0		18	0,1		7		0			34						Mn	7,1

Beurteilung der Gesundheitsgefährdung (nach Bild 3-2 auf Seite 59)

Die Schweißrauche enthalten toxische Stoffe (Mangan als Manganoxid) und krebserzeugende Stoffe (Ni als Nickeloxid).

Daten über die Rauchemissionen sind hier nicht angegeben. Erfahrungsgemäß liegen die Rauchemissionen beim MIG/MAG-Schweißen mit Massivdraht zwischen 2 und 25 mg/s. Somit sind die hier aufgeführten Schweißrauche der Schweißrauchklasse „C 3“ zuzuordnen.

Ausgenommen sind die Schweißrauche, die beim Impulslichtbogen entstehen. Deren Emissionsraten liegen zwischen 1 bis 2 mg/s. Diese sind der Schweißrauchklasse „C 2“ zuzuordnen.

Ohne wirksame Absaugung im Entstehungsbereich ist von einer hohen Gefährdung auszugehen, da eine mehrfache Überschreitung der jeweiligen Grenzwerte in der Praxis zu erwarten ist.

BGI 616

Bild 3-15: Schutzgasschweißen (MIG/MAG-Schweißen) mit Cu-Basissschweißzusatzwerkstoffen

SCHWEISSZUSATZWERKSTOFF ¹⁾							
Norm-Bezeichnung	Chem. Zusammensetzung (%)						
	Ni	Cr	Cu	Co	Mn	Al	Sn
1 DIN 1733 SG-CuSn	0,3		98		0,2		0,7
2 DIN 1733 SG-CuAl8	0,8		89		1,0	8	
3 DIN 1733 SG-CuSn6			94				6
1), 2), 3) Herstellerangaben 4), 5) von der Berufsgenossenschaft ermittelt/berechnet							

SCHWEISSRAUCHE

Emission ²⁾ (mg/s)	Quantitative Analyse ³⁾ (Gew.-%)																Leitkomponente ⁴⁾	Berechn. Schweißrauchkonzentration ⁵⁾ (mg/m ³)
	Ni	Cr(VI)	Cr	Cu	Co	Mn	Ca	Mo	F	Pb	Fe	Mg	Si	Zn	Al	Ba		
k. A.	0,1			75							0,3						Cu	0,1
k. A.	0,1			75		0,1					0,3						Cu	0,1
k. A.	0,2			73		1,0					0,2						Cu	0,1

Beurteilung der berechneten Schweißrauchkonzentrationen in Bild 3-15

Beim Schutzgasschweißen mit Cu-Basiszusatzwerkstoffen ist in den aufgeführten Beispielen Cu als Kupferoxid die Leitkomponente. Die berechnete Schweißrauchkonzentration ist in diesen Fällen maßgebend bei der Überwachung am Arbeitsplatz. Sie liegt in diesen Fällen bei 0,1 mg/m³ A und gleicht dem festgelegten Grenzwert für Kupfer und seine Verbindungen.

Beurteilung der Gesundheitsgefährdung nach Bild 3-2, Seite 59

Die Schweißrauche enthalten den toxischen Stoff Cu als Kupferoxid. Daten über die Rauchemissionen sind hier nicht angegeben. Erfahrungsgemäß liegen die Rauchemissionen beim MIG/MAG-Schweißen mit Massivdraht zwischen 2 und 25 mg/s. Die Schweißrauche sind generell der Schweißrauchklasse „B 3“ zuzuordnen. Ausgenommen sind die Schweißrauche, die beim Impulslichtbogen entstehen. Deren Emissionsraten liegen zwischen 1 bis 2 mg/s. Diese sind der Schweißrauchklasse „B 2“ zuzuordnen.

Ohne wirksame Absaugung im Entstehungsbereich ist von einer mittleren bis hohen Gesundheitsgefährdung auszugehen, da in der Praxis bis zu mehrfache Überschreitungen der jeweiligen Grenzwerte zu erwarten sind.

BGI 616

Bild 3-16: Lichtbogenhandschweißen mit Zusatzwerkstoffen nach DIN EN 499, DIN EN 1600

SCHWEISSZUSATZWERKSTOFF ¹⁾								
Norm-Bezeichnung	Chem. Zusammensetzung (%)							
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Fe	
DIN EN 499								
1	E 42 0 RC 11 Durchmesser 3,2	0,1	0,4	0,6				Rest
2	E 42 0 RR 12 Durchmesser 3,2	0,1	0,5	0,6				Rest
3	E 42 3 B 42 Durchmesser 3,2	0,1	0,5	1,1				Rest
4	E 38 0 RC 11 Durchmesser 3,2	0,1	0,3	0,5				Rest
5	E 42 0 RC 11 Durchmesser 3,2	0,1	0,4	0,5				Rest
6	E 38 2 RA 13 Durchmesser 3,2	0,1	0,4	0,8				Rest
7	E 38 2 B 12 Durchmesser 3,2	0,1	0,2	0,6				Rest
8	E 42 6 B 42 Durchmesser 3,2	0,1	0,7	0,9				Rest
9	E 46 6 1Ni B 42 Durchmesser 3,2	0,1	0,3	1,5				Rest
10	E 42 5 B 32 H5	0,1	0,3	1,2				
11	E 42 0 RR 73	0,1	0,3	0,7				
12	E 42 2 C 25	0,1	0,2	0,5				
13	E 46 3 C 25	0,1	0,2	0,9	0,2			
14	E 38 0 RC 11 Durchmesser 2,5	0,1	0,4	0,4				
15	E 38 0 RC 11 Durchmesser 3,25	0,1	0,4	0,4				
16	E 38 0 RC 11 Durchmesser 4,0	0,1	0,4	0,4				
1), 2), 3) Herstellerangaben ^{4), 5)} von der Berufsgenossenschaft ermittelt/berechnet								

SCHWEISSRAUCHE

Emission ²⁾ (mg/s)	Quantitative Analyse ³⁾ (Gew.-%)															Leitkomponente ⁴⁾	Berechn. Schweißrauchkonzentration ⁵⁾ (mg/m ³)	
	Ni	Cr(VI)	Cr	Cu	Co	Mn	Ca	Mo	F	Pb	Fe	Mg	Si	Zn	Al			Ba
2,80				0,05		5,8			0,7		22,0						Mn	8,6
2,80				0,03		7,5			1,8		15,9						Mn	6,6
4,20				0,03		5,0			21,0		13,0						Mn	10,0
4,20				0,05		5,0			0,2		23,0						Mn	10,0
4,20				0,07		5,2			1,0		31,0						Mn	9,6
4,20				0,10		11,0			0,5		30,0						Mn	4,5
4,20				0,02		6,0			20,0		11,0						Mn	8,3
5,60				0,03		7,0			15,0		21,0						Mn	7,1
5,60				0,02		6,0			22,0		23,0						Mn	8,3
k. A.	<0,1		0,10	<0,10		5,0			18,0		13,0						Mn	10,0
k. A.	<0,1		<0,10	0,10		7,0			<1,0		25,0						Mn	7,1
k. A.	0,1		0,10	0,10		8,0			1,0		37,0						Mn	6,2
k. A.	0,1		0,10	0,10		9,0			<1,0		38,0						Mn	5,5
1,40	0		0,05	0,10		5,7			1,0		26,0						Mn	8,8
1,40	0		0,05	0,10		5,7			1,0		26,0						Mn	8,8
2,80	0		0,05	0,10		5,7			1,0		26,0						Mn	8,8

BGI 616

SCHWEISSZUSATZWERKSTOFF¹⁾

	Norm-Bezeichnung	Chem. Zusammensetzung (%)						Fe
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	
17	E 38 0 RR 12 Durchmesser 2,5	0,1	0,5	0,6				
18	E 38 0 RR 12 Durchmesser 3,25	0,1	0,5	0,6				
19	E 38 0 RR 12 Durchmesser 4,0	0,1	0,5	0,6				
20	E 38 0 RR 54 Durchmesser 3,25	0,1	0,3	0,9				
21	E 38 0 RR 54 Durchmesser 5,0	0,1	0,3	0,9				
22	E 42 2 RB 12 H 10 Durchmesser 2,5	0,1	0,7	0,9				
23	E 42 2 RB 12 H 10 Durchmesser 3,25	0,1	0,7	0,9				
24	E 42 2 RB 12 H 10 Durchmesser 4,0	0,1	0,7	0,9				
DIN EN 1600								
25	E 18 8 Mn 7 Durchmesser 3,25	0,1	1,2	6,0	8,0	18,0		Rest
26	E 18 8 Mn 7 Durchmesser 4,0	0,1	1,2	6,0	8,0	18,0		Rest
27	E 19 12 3 LR 73 Durchmesser 2,5		0,8	0,6	12,0	19,0	2,6	
28	E 19 12 3 LR 73 Durchmesser 3,25		0,8	0,6	12,0	19,0	2,6	
29	E 19 12 3 LR 73 Durchmesser 4,0		0,8	0,6	12,0	19,0	2,6	
30	E 19 12 3 LR 53 Durchmesser 2,5		0,6	1,2	12,0	19,0	2,5	
31	E 19 12 3 LR 53 Durchmesser 3,25		0,6	1,2	12,0	19,0	2,5	
1), 2), 3) Herstellerangaben 4), 5) von der Berufsgenossenschaft ermittelt/berechnet								

SCHWEISSRAUCHE

Emission ²⁾ (mg/s)	Quantitative Analyse ³⁾ (Gew.-%)															Leitkomponente ⁴⁾	Berechn. Schweißrauchkonzentration ⁵⁾ (mg/m ³)	
	Ni	Cr(VI)	Cr	Cu	Co	Mn	Ca	Mo	F	Pb	Fe	Mg	Si	Zn	Al			Ba
1,40	0		0,02	0,10		7,5			0,8		18,0						Mn	6,5
2,80	0		0,02	0,10		7,5			0,8		18,0						Mn	6,5
4,20	0		0,02	0,10		7,5			0,8		18,0						Mn	6,5
5,60	0		0,02	0,07		7,7			0,2		22,5						Mn	6,5
13,90	0		0,02	0,07		7,7			0,2		22,5						Mn	6,5
4,20	0		0,02	0,04		6,1			14,6		14,5						Mn	8,2
5,60	0		0,02	0,04		6,1			14,6		14,5						Mn	8,2
8,30	0		0,02	0,04		6,1			14,6		14,5						Mn	8,2
2,80	1,0	4,6	5,20	0,05		21,7			10,1		12,1						Cr(VI)	2,1
4,20	1,0	4,6	5,20	0,05		21,7			10,1		12,1						Cr(VI)	2,1
2,80	0,2	2,7	3,05	0,02		3,7			14,2		5,0						Cr(VI)	3,7
4,20	0,2	2,7	3,05	0,02		3,7			14,2		5,0						Cr(VI)	3,7
4,20	0,2	2,7	3,05	0,02		3,7			14,2		5,0						Cr(VI)	3,7
2,80	0,5	3,7	4,10	0,03		4,5			14,3		7,5						Cr(VI)	2,7
4,20	0,5	3,7	4,10	0,03		4,5			14,3		7,5						Cr(VI)	2,7

BGI 616

SCHWEISSZUSATZWERKSTOFF¹⁾

	Norm-Bezeichnung	Chem. Zusammensetzung (%)						
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Fe
32	E 19 12 3 LR 25 Durchmesser 2,5		0,8	0,9	12,0	19,0	2,8	
33	E 19 12 3 LR 25 Durchmesser 3,25		0,8	0,9	12,0	19,0	2,8	
34	E 19 13 3 LR 32 Durchmesser 2,5		0,8	0,5	12,0	18,0	2,8	
35	E 19 13 3 LR 32 Durchmesser 3,25		0,8	0,5	12,0	18,0	2,8	
36	E 19 12 3 LR 73 Durchmesser 3,25		0,8	0,6	12,0	19,0	2,6	
37	E 19 12 3 LR 73 Durchmesser 4,0		0,8	0,6	12,0	19,0	2,6	
38	E 19 12 3 LR 73 Durchmesser 5,0		0,8	0,6	12,0	19,0	2,6	
39	E 22 9 3 N LR 32 Durchmesser 2,5		0,9	0,9	9,5	23,0	3,0	Cu 0,8
40	E 22 9 3 N LR 32 Durchmesser 3,25		0,9	0,9	9,5	23,0	3,0	Cu 0,8
41	E 23 12 2 LR 32 Durchmesser 3,25	0,1	0,8	1	13,0	24,0	3,5	
42	E 29 9 R 12 Durchmesser 2,5	0,1	0,8	1	13,0	24,0	3,5	
43	E 29 9 R 12 Durchmesser 3,25	0,1	0,8	1	13,0	24,0	3,5	
44	E 29 9 R 73 Durchmesser 2,5	0,1	0,9	0,6	9,0	29,0	1	
45	E 29 9 R 73 Durchmesser 3,25	0,1	0,9	0,6	9,0	29,0	1	
46	E 29 9 R 73 Durchmesser 4,0	0,1	0,9	0,6	9,0	29,0	1	
47	E 17 B 42 Durchmesser 2,5	0,1	0,4	0,6		17,0		
1), 2), 3) Herstellerangaben 4), 5) von der Berufsgenossenschaft ermittelt/berechnet								

SCHWEISSRAUCHE

Emission ²⁾ (mg/s)	Quantitative Analyse ³⁾ (Gew.-%)															Leitkomponente ⁴⁾	Berechn. Schweißrauchkonzentration ⁵⁾ (mg/m ³)	
	Ni	Cr(VI)	Cr	Cu	Co	Mn	Ca	Mo	F	Pb	Fe	Mg	Si	Zn	Al			Ba
1,40	0,5	4,0		0,05		2,8			12,4		6,0						Cr(VI)	2,5
1,50	0,5	4,0		0,05		2,8			12,4		6,0						Cr(VI)	2,5
1,40	0,4	4,0	4,50	0,08		4,4			11,8		7,4						Cr(VI)	2,5
2,80	0,4	4,0	4,50	0,08		4,4			11,8		7,4						Cr(VI)	2,5
5,60	1	5,7		0,02		2,9			16,0		15,1						Cr(VI)	1,75
7,80	1	5,7		0,02		2,9			16,0		15,1						Cr(VI)	1,75
18,0	1	5,7		0,02		2,9			16,0		15,1						Cr(VI)	1,75
2,10	0,7	4,0		1,3		4,4			13,0		6,3						Cr(VI)	2,5
3,70	0,7	4,0		1,3		4,4			13,0		6,3						Cr(VI)	2,5
3,30	1,4	4,3		0,03		3,4			8,9		9,1						Cr(VI)	2,3
1,40	1,3	6,4	7,1	0,04		2,0			8,2		9,1						Cr(VI)	1,6
2,80	1,3	6,4	7,1	0,04		2,0			8,2		9,1						Cr(VI)	1,6
2,80	0,3	4,6	5,16	0,01		3,0			9		8,1						Cr(VI)	2,2
2,80	0,3	4,6	5,16	0,01		3,0			9		8,1						Cr(VI)	2,2
4,20	0,3	4,6	5,16	0,01		3,0			9		8,1						Cr(VI)	2,2
2,80	0	2,7	3,0	0,02		1,7			22,0		5,6						Cr(VI)	3,7

BGI 616

SCHWEISSZUSATZWERKSTOFF¹⁾

	Norm-Bezeichnung	Chem. Zusammensetzung (%)						
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Fe
48	E 17 B 42 Durchmesser 3,25	0,1	0,4	0,6		17,0		
49	E 19 12 3 LR 12 Durchmesser 1,5		0,9	0,8	11,0	18,0	2,8	
50	E 19 12 3 LR 12 Durchmesser 2,5		0,9	0,8	11,0	18,0	2,8	
51	E 19 12 3 LR 12 Durchmesser 3,2		0,9	0,8	11,0	18,0	2,8	
1), 2), 3) Herstellerangaben 4), 5) von der Berufsgenossenschaft ermittelt/berechnet								

SCHWEISSRAUCHE

Emission (mg/s) ²	Quantitative Analyse (Gew.-%) ³																Leitkom- ponente ⁴	Berechn. Schweißrauch- konzentration ⁵ (mg/m ³)
	Ni	Cr(VI)	Cr	Cu	Co	Mn	Ca	Mo	F	Pb	Fe	Mg	Si	Zn	Al	Ba		
5,60	0	2,7	3,0	0,02		1,7			22,0		5,6						Cr(VI)	3,7
1,40	0,5	3,8	5,7	<0,05		2,5			9,8		4,1						Cr(VI)	2,6
2,80	0,5	3,8	5,7	<0,05		2,5			9,8		4,1						Cr(VI)	2,6
5,60	0,5	3,8	5,7	<0,05		2,5			9,8		4,1						Cr(VI)	2,6

BGI 616

Bild 3-17: Schweißen mit Fülldrahtelektroden nach DIN EN 758, DIN EN 12071, DIN EN 12 535, DIN 8555, DIN EN 12 073

SCHWEISSZUSATZWERKSTOFF ¹⁾							
Norm-Bezeichnung	Chem. Zusammensetzung (%)						
	C	Si	Ni	Cr	Mn	Mo	Fe
DIN EN 758							
1	T 46 2 M M 1 H6 Durchmesser 1,2	0,1	0,6			1,3	
2	T 46 2 P C 1 H5	0,1	0,6			1,4	
3	T 46 4 1 Ni P M H5 Durchmesser 1,6	0,1	0,6	0,9		1,2	
4	T 42 4 B M 3 H5 Durchmesser 1,6	0,1	0,4			1,4	
5	T 42 4 B C 3 H5 Durchmesser 1,6	0,1	0,4			1,4	
6	T 42 3 M M2 H5 Durchmesser 1,2		0,8			1,4	
7	T 42 3 M M2 H5 Durchmesser 2,4		0,8			1,4	
DIN EN 12 071							
8	T MoL B M 3 H5 Durchmesser 1,2	0,1	0,4			1,4	0,5
9	T CrMo 2 B C 3 H5 Durchmesser 1,6	0,1	0,4		2,3	0,8	1
DIN EN 12 535							
10	T 55 6 1 NiMo B C 3 H5 Durchmesser 1,6		0,4	1,2		1,4	0,4
11	T 69 6 Mn2NiCrMo B C 3 H5 Durchmesser 1,6		0,4	1,8	1	1,7	0,4
12	T 89 4 Mn2Ni1CrMo B M 3 H5 Durchmesser 1,4		0,5	1,8	1	1,7	0,4
1), 2), 3) Herstellerangaben 4), 5) von der Berufsgenossenschaft ermittelt/berechnet							

SCHWEISSRAUCHE																		
Emission ²⁾ (mg/s)	Quantitative Analyse ³⁾ (Gew.-%)														Leitkomponente ⁴⁾	Berechn. Schweißrauchkonzentration ⁵⁾ (mg/m ³)		
	Ni	Cr(VI)	Cr	Cu	Co	Mn	Ca	Mo	F	Pb	Fe	Mg	Si	Zn			Al	Ba
16,70			0,03	0,15		6,0			0,3		57						Fe	5,7
14,00			< 0,04	0,17		10			2,0		40						Mn	5,0
14,00	0,7		< 0,1	0,1		11,7			5,1		28						Mn	4,3
8,00				0,2		8,6			23,0		17,3						Mn	5,8
14,00				0,3		9,3			17,0		28						Mn	5,4
8,30						14,0			0,3		40,1						Mn	3,6
19,40						14,0			0,3		40,1						Mn	3,6
11,10				0,17		6,4			17,6		26,1						Mn	7,8
18,30				0,24		11,1			16,7		29,1						Mn	4,5
13,30	0,2			0,15		8,1			20,5		23,5						Mn	6,2
11,70	0,2		0,2	0,17		8,0			20,5		24,5						Mn	6,2
14,00	0,6	0,1				11,0			15,0		31,3						Mn	4,5

BGI 616

SCHWEISSZUSATZWERKSTOFF¹⁾

	Norm-Bezeichnung	Chem. Zusammensetzung (%)						
		C	Si	Ni	Cr	Mn	Mo	Fe
DIN 8555								
13	MSG 6-GF-M21-60-GP Durchmesser 2,4	0,4	0,6		5,5	1,6	0,6	
14	MSG 6 GF-C1.60-GP Durchmesser 1,6	0,5	0,6		5,5	1,6	0,6	
15	MF 10-GF-60-GR Durchmesser 2,4	4	1,2		27	0,5		
DIN EN 12 073								
16	T 19 9 L R M 3 Durchmesser 1,2		0,6	10	20			
17	T 23 12 L R M 3 Durchmesser 1,2		0,6	12	24			
18	T 19 12 3 L R M 3 Durchmesser 1,2		0,6	12	20		2,6	
1), 2), 3) Herstellerangaben 4), 5) von der Berufsgenossenschaft ermittelt/berechnet								

SCHWEISSRAUCHE

Emission ²⁾ (mg/s)	Quantitative Analyse ³⁾ (Gew.-%)														Leitkomponente ⁴⁾	Berechn. Schweißrauchkonzentration ⁵⁾ (mg/m ³)		
	Ni	Cr(VI)	Cr	Cu	Co	Mn	Ca	Mo	F	Pb	Fe	Mg	Si	Zn			Al	Ba
28,00			2,0	0,17		5,3			7,9	40,7							Fe	7,4
8,00			1,8			9,1			15,4	27,3							Mn	5,5
18,30		9,1	18,2			1,6			2,3	45,5							Cr(VI)	0,5
8,60	0,9	1,1		0,1		11,2			12,6	8,5							Cr(VI)	4,4
5,60	2,8	0,8		0,15		11,4			9,0	10,3							Mn	4,3
6,70	2,9	0,5		0,15		11,5			5,0	13,5							Mn	4,3

BGI 616

3.5 Beurteilung der Exposition

Zur Expositionsbeurteilung sind die Technischen Regeln für Gefahrstoffe TRGS 402 heranzuziehen.

Als Schweißrauchgrenzwert dient eine Schweißrauchkonzentration in der Höhe des Allgemeinen Staubgrenzwertes, A-Staubfraktion von 3 mg/m^3 . Zur Beurteilung der Exposition wird die Konzentration der Schweißrauche ermittelt und mit dieser Luftkonzentration verglichen. Dieser Wert gilt als allgemeine Obergrenze für die Schweißrauchexposition. Werden die für die Leitkomponenten geltenden Grenzwerte in der Atemluft eingehalten, liegen auch die Konzentrationen der anderen Stoffe im Schweißrauchgemisch unterhalb ihrer jeweiligen Grenzwerte.

3.5.1 Unlegierte und niedriglegierte Werkstoffe (Grund- und Zusatzwerkstoffe) mit einzelnen Anteilen an Elementen wie Cr, Ni, Mn, Cu, Ba, Co, F, Pb < 5 %

(Beispiele sind im Abschnitt 3.4 zu finden)

Für die Verfahrensgruppe Schweißen und thermisches Schneiden ist bei der Beurteilung der Exposition des Schweißers am Arbeitsplatz die Konzentration der Schweißrauche im Atembereich des Schweißers zu ermitteln und mit dem Schweißrauchgrenzwert (s. oben) zu vergleichen.

Für die Verfahrensgruppe thermisches Spritzen sind bei der Beurteilung der Exposition des Schweißers am Arbeitsplatz die Schweißrauchkonzentration sowie die Konzentration der einatembaren Fraktion des Staubes im Atembereich zu ermitteln und mit den jeweiligen Grenzwerten (3 mg/m^3 A und 10 mg/m^3 E), zu vergleichen.

3.5.2 Hochlegierte Werkstoffe (Grund- und Zusatzwerkstoffe) mit einzelnen Anteilen an Elementen wie Cr, Ni, Mn, Cu, Ba, Co, F, Pb $\geq 5 \%$

(Beispiele sind im Abschnitt 3.4 zu finden)

Zur Beurteilung der Exposition des Schweißers am Arbeitsplatz bei den Verfahren Schweißen, Schneiden und thermisches Spritzen wird hier neben der Schweißrauchkonzentration auch die verfahrens-/werkstoffspezifische Leitkomponente ermittelt und die ermittelten Konzentrationen sind mit den entsprechenden Grenzwerten zu vergleichen. Auch hier erfolgt zur Ermittlung der Schweißrauchkonzentration und der Leitkomponenten-Konzentration die messtechnische Probenahme im Atembereich des Schweißers. Beim thermischen Spritzen ist darüber hinaus auch die einatembare Fraktion (E-Fraktion) des Staubes zu ermitteln und mit dem Grenzwert für die E-Fraktion von 10 mg/m^3 zu vergleichen.

3.5.3 Löten

Zur Expositionsbeurteilung am Arbeitsplatz ist die Konzentration der jeweiligen Leitkomponente zu ermitteln und mit dem stoffspezifischen Grenzwert zu vergleichen.

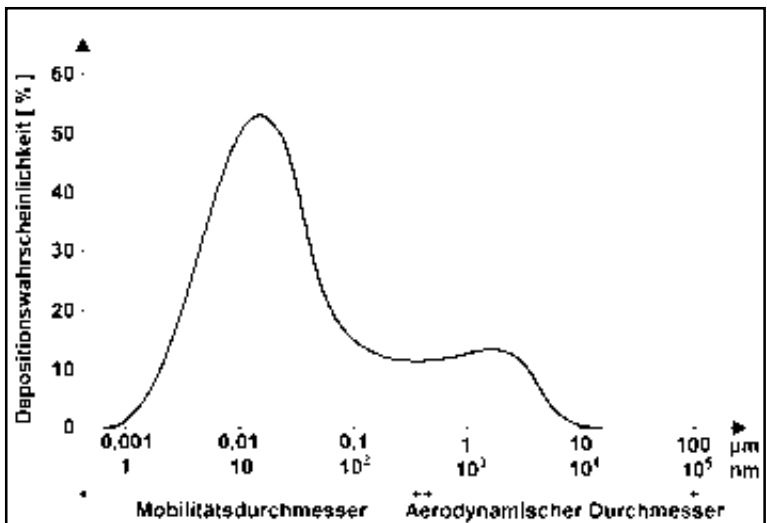
Das Verfahren zur Ermittlung der Schweißrauchkonzentrationen kann zur Ermittlung der Lötrauchkonzentrationen sinngemäß übertragen werden. Voraussetzung dafür sind auch hier Kenntnisse über die chemische Zusammensetzung der Lötrauche.

3.6 Ultrafeine Partikel (UFP)

Als ultrafeine Partikel werden alle Partikel bezeichnet, die kleiner als 0,1 µm (△100 nm) sind. Ihre Eigenschaften, insbesondere ihre Mobilität, hängen im Wesentlichen vom geometrischen Durchmesser und von der Partikelform (Einzelpartikel, Ketten oder Agglomerate) ab. Die Depositionswahrscheinlichkeit von Partikeln mit einem Durchmesser von 20 bis 50 nm im Alveolarbereich beträgt 50 bis 60 % (siehe Bild 3-18). Hier wird eine besondere Wirkungsqualität angenommen. Der Reinigungsmechanismus der Lunge wird stark beeinträchtigt. Tierversuche zeigen, dass z. B.

- bei Belegung von 60 % des in den Alveolen vorhandenen Makrophagenvolumens deren Reinigungsverhalten erliegt und die ultrafeinen Partikel in der Lunge verbleiben,
- die Toxizität der ultrafeinen Partikel wesentlich von der in der Lunge deponierten Partikelanzahl (Partikelanzahlkonzentration: N/m³) und deren Oberfläche abhängt.

Bild 3-18: Depositionswahrscheinlichkeit von Partikeln im Alveolarbereich der menschlichen Lunge in Abhängigkeit von deren Größe (nach ICPR 1994)



BGI 616

Die Erforschung der Wirkung von ultrafeinen Partikeln ist noch nicht abgeschlossen, deshalb können hierzu keine sicheren Angaben gemacht werden.

Auch in der Schweißtechnik treten ultrafeine Partikel auf. Da gezielte Messungen am Arbeitsplatz und im Labor zur Anzahlkonzentration, Oberfläche u.a. spezifischen Parametern noch weiter durchgeführt werden müssen, bis sie zu einer aussagefähigen Auswertung führen können, kann über die damit verbundene Gefährdung z. Zt. noch keine zuverlässige Aussage getroffen werden.

3.7 Beispiele von Schweißrauchkonzentrationen bei verschiedenen Verfahren

Bei den im Bild 3-19 angegebenen Schweißrauchkonzentrationen handelt es sich ausnahmslos um tätigkeitsbezogene Expositionswerte, die auf Messdaten basieren, die im Zeitraum 1989 – 1998 an Schweißarbeitsplätzen gemessen und in der BIA-Datenbank MEGA gespeichert wurden. Expositionswerte, die für andere mit dem Schweißen verbundene Tätigkeiten, z. B. Schleifen, ermittelt wurden, sind nicht berücksichtigt. Die Tabelle wurde vom Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitsschutz im Auftrag eines BG-übergreifenden Arbeitskreises erarbeitet.

Üblicherweise ist in den Expositionswerten, die durch Arbeitsplatzmessungen gewonnen werden, der Einfluss der kurzzeitigen Unterbrechungen bereits berücksichtigt, da die Probenahmesysteme während dieser Unterbrechungen in der Regel nicht abgeschaltet werden.

Bild 3-19: Tätigkeitsbezogene Expositionswerte

Schweiß- bzw. Schneidverfahren		Schweißrauchkonzentrationen (mg/m ³)			
		50 %-Wert		90 %-Wert	
		mit Erfassung (Absaugung)	ohne Erfassung	mit Erfassung (Absaugung)	ohne Erfassung
LBH (Raum)		2,5	5,0	9	25
LBH (enger Raum)		4,0	16,0	25	100
WIG		0,7	1,2	3	5
MAG		2,5	6,0	8	15
MAG (Fülldraht)		4,0	12,0	15	50
MIG		2,0	5,0	8	16
Unterpulverschweißen		Schweißverfahren mit geringen partikelförmigen Emissionen ¹⁾			
Widerstandsschweißen		Schweißverfahren mit geringen partikelförmigen Emissionen ²⁾			
Autogen-Schweißverfahren		Schweißverfahren mit geringen partikelförmigen Emissionen, Schweißrauchkonzentrationen < 1 mg/m ³			
Autogenes Brennschneiden	manuell	–	9	–	40
	halbautomatisch	2	7	8	22
	automatisch	1		8	
Plasmaschneiden ³⁾		2	8	11	12
¹⁾ Das Wiederaufbereiten des eingesetzten Schweißpulvers kann zu Expositionen insbesondere in Form von einatembarem Staub führen. ²⁾ z.B. Punktschweißen ³⁾ Verfahren findet bei unlegierten Stählen üblicherweise keine Anwendung.					

4 Empfehlungen für praxisbezogene Schutzmaßnahmen

Ergänzende Informationen zu den Schutzmaßnahmen siehe auch BG-Regel „Schweißrauche“ (BGR 220).

4.1 Auswahl von schadstoffarmen Verfahren und Werkstoffen

Unter Beachtung der schweißtechnischen Machbarkeit sind diejenigen Schweißverfahren auszuwählen, bei denen die Freisetzung von Schadstoffen möglichst gering ist, z. B.

BGI 616

- Impuls-Lichtbogentechnik beim MAG-Schweißen,
- Wolfram-Inertgasschweißen (WIG-Schweißen) mit thoriumoxidfreien Wolframelektroden,
- Unterpulverschweißen (UP-Schweißen),
- Plasmaschneiden mit Wasserabdeckung.

Beim Schutzgasschweißen mit hochlegiertem Massivdraht ist die Freisetzung krebserzeugender Chrom-(VI)-Verbindungen im Rauch wesentlich geringer als beim Lichtbogenhandschweißen mit umhüllten hochlegierten Stabelektroden.

Werden hingegen Nickelbasiswerkstoffe oder Reinnickel als Schweißzusatzwerkstoff verwendet, ist die Freisetzung krebserzeugender Anteile von Nickeloxid im Schweißrauch beim Lichtbogenhandschweißen geringer als beim MIG/MAG-Schweißen.

Siehe auch BG-Information „Schweißtechnische Arbeiten mit chrom- und nickellegierten Zusatz- und Grundwerkstoffen“ (BGI 855).

Beim WIG-Schweißen mit thoriumoxidhaltigen Wolframelektroden enthält der Schweißrauch geringfügige Anteile an radioaktiven Stoffen (Thoriumdioxid). Diese sind beim Schweißen mit Gleichstrom wesentlich niedriger als beim Schweißen mit Wechselstrom. Soweit möglich, sind thoriumoxidfreie Wolframelektroden anzuwenden.

Siehe auch BG-Information „Umgang mit thoriumoxidhaltigen Wolframelektroden beim Wolfram-Inertgasschweißen (WIG)“ (BGI 746).

4.2 Optimierung der Arbeitsbedingungen

Dazu gehört neben den Arbeiten mit optimierten Schweiß- und Prozessparametern vor allem auch die Arbeitsposition des Schweißers. Diese soll durch die Arbeitsplatzgestaltung so eingenommen werden, dass der Atembereich des Schweißers möglichst frei von Schweißrauch bleibt.

In jedem Fall sind bei Überschreitungen der Grenzwerte darüber hinaus geeignete lufttechnische Maßnahmen zu ergreifen und ggf. zusätzlich Atemschutzgeräte zu verwenden.

4.3 Lüftung

Verfahren, Werkstoffe und Einsatzbedingungen sind maßgebend für die Auswahl und die Intensität geeigneter lufttechnischer Maßnahmen:

- Absaugung im Entstehungsbereich,
- technische Raumlüftung,
- freie Lüftung.

Die Eignung einer Lüftung kann durch Konzentrationsmessungen der Schadstoffe nachgewiesen werden. Der Nachweis ist erbracht, wenn die Luftgrenzwerte eingehalten werden.

Bei schweißtechnischen Arbeiten soll sichergestellt werden, dass die entstehenden Rauche und Gase nicht in die Atemluft der Beschäftigten gelangen.

Bei manchen Verfahren sind Menge und Zusammensetzung der Rauche und Gase wesentlich abhängig vom Zusatzwerkstoff bzw. von der Art der Beschichtung. Bei anderen Verfahren sind Menge und Zusammensetzung der Rauche und Gase wesentlich abhängig vom Grundwerkstoff bzw. von der Art der Beschichtung; bei den Auto- genverfahren auch vom verwendeten Brenngas.

In engen Räumen reicht eine freie Lüftung nicht aus. Hier sollen die Schadstoffe abgesaugt und gleichzeitig Frischluft zugeführt werden. In vielen Fällen sind diese Maßnahmen nicht ausreichend um die Gefährdung auszuschließen. Deshalb sind in Ergänzung zur Lüftung Atemschutzgeräte anzuwenden.

Bei Schweißrauchen ohne krebserzeugende Stoffe ist eine Luftrückführung zulässig, wenn die abgesaugte Luft ausreichend von Schadstoffen gereinigt wird. Eine Abscheidung gilt als ausreichend, wenn die Konzentration der Stoffe in der rückgeführten Luft 1/5 der jeweiligen Luftgrenzwerte und der maximale Anteil der Rückluft in der Zuluft 70 % nicht überschreitet. Enthalten die Schweißrauche krebserzeugende Anteile – wie Nickeloxide oder Chrom(VI)-Verbindungen – gelten die Technischen Regeln für Gefahrstoffe TRGS 560 "Luftrückführung beim Umgang mit krebserzeugenden Gefahrstoffen". Danach ist Luftrückführung mittels mobiler Schweißrauchabsauggeräte nur im Ausnahmefall zulässig.

Absaugeinrichtungen mit beweglichen Erfassungselementen sind nur wirksam, wenn ihre Erfassungselemente ständig entsprechend dem Arbeitsfortschritt nachgeführt werden.

Integrierte Absaugungen im Schweißbrenner oder im Schutzschild haben den Vorteil, während des Schweißprozesses die Schadstoffe zwangsläufig zu erfassen.

Schweißbrenner mit integrierter Absaugung werden überwiegend an Hochvakuumanlagen angeschlossen und haben einen Luftbedarf von ca. 80 bis 100 m³/h. Konventionelle Erfassungseinrichtungen mit Rüssel haben einen Luftbedarf, der etwa dem Zehnfachen des vorgenannten entspricht.

Zusätzliche Angaben siehe auch die BG-Regeln „Arbeitsplatzbelüftung – Lufttechnische Maßnahmen“ (BGR 121) sowie BG-Information „Schadstoffe beim Schweißen und bei verwandten Verfahren“ (BGI 593) und „Schweißrauche“ (BGR 220) sowie DVS/VDI Richtlinie „Lüftungstechnik beim Schweißen und bei verwandten Verfahren“ (DVS/VDI 6005).

BGI 616

4.4 Persönliche Schutzausrüstungen

Soweit die vorher aufgeführten Schutzmaßnahmen technisch nicht möglich oder in ihrer Wirkung nicht ausreichend sind, sollen je nach Verfahren und Arbeitsbedingungen geeignete Atemschutzgeräte getragen werden.

Bei schweißtechnischen Arbeiten mit nicht ausreichender Lüftung sowie in engen Räumen können folgende Atemschutzgeräte verwendet werden:

- Schlauchgerät,
- Behältergerät unter Verwendung von Druckluft (z. B. Pressluftatmer) oder
- Filtergerät oder Filtergerät mit Gebläse und Filter der jeweils notwendigen Art (Filterklasse und Filtertyp) für kurzzeitige schweißtechnische Arbeiten, wenn in der Umgebungsatmosphäre genügend Sauerstoff vorhanden ist (mindestens 17 Vol.-%, bei CO-Filtern mindestens 19 Vol.-%). Bei ausreichender Sauerstoffversorgung wird ein Kombinationsfilter für Gase und Partikel empfohlen. Spezielle Filter für CO und nitrose Gase stehen zur Verfügung. Filter mit Aktivkohle sind auch für Ozon geeignet.

Träger von Atemschutzgeräten sind entsprechend der Unfallverhütungsvorschrift „Arbeitsmedizinische Vorsorge“ (BGV A 4) nach dem berufsgenossenschaftlichen Grundsatz für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen G 26 „Atemschutzgeräte“ zu überwachen. Dies entfällt, sofern Atemschutzgeräte benutzt werden, die weniger als 3 kg wiegen und keine Atemwiderstände besitzen (z. B. mit Frischluft belüftete Schweißerschutzhelme, Bild 4-1).

Bis 20fache Grenzwertüberschreitung für die alveolengängige Fraktion empfiehlt sich der Einsatz von Halb-/Viertelmasken mit P3-Filter bzw. partikelfilternden Halbmasken FFP3.

Siehe auch BG-Regel „Einsatz von Atemschutzgeräten“ (BGR 190) sowie BG-Information „Zertifizierte Atemschutzgeräte“ (BGI 693).

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

Bild 4-1: Mit Frischluft belüfteter Schweißerschutzhelm



4.5 Schutzmaßnahmen für die Bereiche mit sehr hoher und hoher Gesundheitsgefährdung

- Anwendung von schadstoffarmen Verfahren und Werkstoffen entsprechend Abschnitt 4.1.
- Optimierung der Arbeitsbedingungen entsprechend Abschnitt 4.2.
- Wirksame Absaugung des Schweißrauches im Entstehungsbereich, z. B. brennerintegrierte Absaugung (Bild 4-2) beim MAG/MIG-Schweißen, Schutzschild mit integrierter Absaugung, Untertisch-Absaugung bei thermischen Schneidverfahren. Ist eine wirksame Absaugung der Rauche im Entstehungsbereich aus technischen Gründen nicht möglich, so ist eine andere Lüftungsart, z. B. Raumlüftung, zu verwenden; darüber hinaus ist Abschnitt 4.3 entsprechend zu beachten.
- Anderes Erfassungselement nachführen und richtig positionieren.
- Einnahme einer günstigen Arbeitsposition, wobei der Atembereich möglichst weitgehend frei von Schweißrauch bleibt.

BGI 616

Bild 4-2: Erfassungselement am Brenner befestigt und Brenner mit integrierter Absaugung



- Anwendung von Atemschutzgeräten entsprechend Abschnitt 4.4 in Ergänzung zu den vorstehend genannten Schutzmaßnahmen in allen Bereichen mit eingeschränktem Luftaustausch, wie enge Räume, bei denen die Grenzwerte schwierig eingehalten werden können.

4.6 Schutzmaßnahmen für die Bereiche mit mittlerer Gesundheitsgefährdung

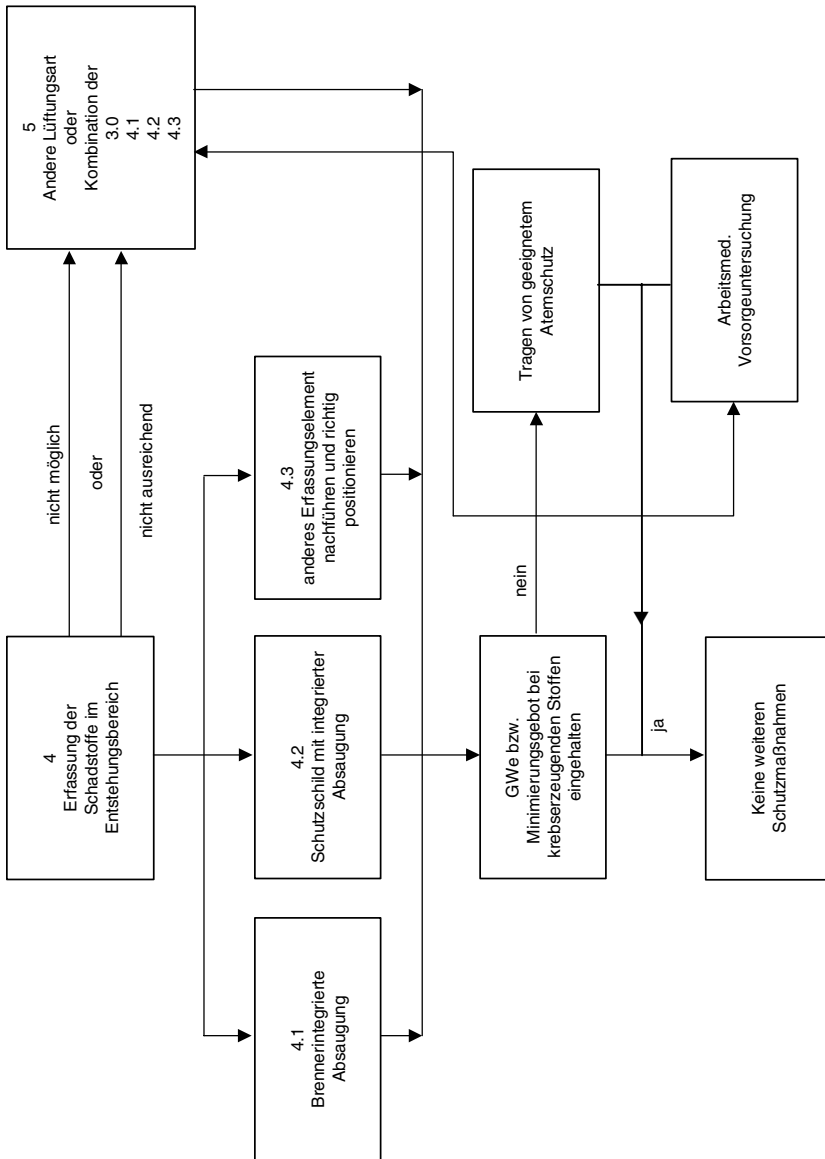
- Optimierung der Arbeitsbedingungen entsprechend Abschnitt 4.2.
- Wirksame Absaugung des Schweißrauches im Entstehungsbereich, z. B. brennerintegrierte Absaugung (Bild 4-2) beim MAG/MIG-Schweißen, Schutzschild mit integrierter Absaugung, Untertisch-Absaugung bei thermischen Schneidverfahren.
- Ist eine wirksame Absaugung der Rauche im Entstehungsbereich aus technischen Gründen nicht möglich, so ist eine andere Lüftungsart, z. B. Raumlüftung, zu verwenden; darüber hinaus ist Abschnitt 4.3 entsprechend zu beachten.
- Anderes Erfassungselement nachführen und richtig positionieren.
- Einnahme einer günstigen Arbeitsposition, wobei der Atembereich möglichst weitgehend von Schweißrauch frei bleibt.

- Anwendung von Atemschutzgeräten entsprechend Abschnitt 4.4 in Ergänzung zu den vorstehend genannten Schutzmaßnahmen in allen Bereichen mit eingeschränktem Luftaustausch, wie enge Räume, bei denen die Grenzwerte schwierig eingehalten werden können.

4.7 Schutzmaßnahmen für die Bereiche mit niedriger Gesundheitsgefährdung

- Keine besonderen Maßnahmen wie in Abschnitten 4.5 und 4.6.

Eine grafische Darstellung der Schutzmaßnahmen erfolgt im Bild 4-3.



1) GWWe Grenzwerte

BGI 616

5 Arbeitsmedizinische Vorsorge

Bei bestimmten Arbeiten ist es erforderlich, neben den notwendigen technischen Präventionsmaßnahmen auch eine arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung durchzuführen. Die Notwendigkeit der Durchführung von arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen ergibt sich aus der BGV A 4 „Arbeitsmedizinische Vorsorge“. Dementsprechend müssen Arbeitnehmer vor Aufnahme der Arbeit und danach in bestimmten Zeitabständen durch einen dazu ermächtigten Arzt arbeitsmedizinisch untersucht werden. Diese Forderung gilt unter anderem auch für Arbeitnehmer, die einer Einwirkung krebserzeugender Stoffe ausgesetzt sind.

Welcher Personenkreis für eine spezielle arbeitsmedizinische Untersuchung infrage kommt, ist der BG-Information „Auswahlkriterien für die spezielle arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem berufsgenossenschaftlichen Grundsatz für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen“ (BGI 504) zu entnehmen. So z.B. ist für Schweißrauche BGI 504-39 maßgebend.

Der berufsgenossenschaftliche Grundsatz für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen G 39 gibt dem ermächtigten Arzt wesentliche Hinweise für das Vorgehen in der Praxis beim Umgang mit Expositionen durch Schweißrauche.

Bei einer Überschreitung des Schweißrauchgrenzwertes ist eine Vorsorgeuntersuchung nach G 39 durchzuführen.

Bei Schweißrauchen, bei denen die Konzentration der Leitkomponente(n) über dem stoffspezifischen Grenzwert liegt, sind zusätzlich zum Grundsatz G 39 entsprechende arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen durchzuführen (siehe Beispiele in der BG-Information „Schadstoffe beim Schweißen und bei verwandten Verfahren“ [BGI 593]).

6 Schweißrauchdatenblatt/Sicherheitsdatenblatt

Die europäische Norm prEN ISO / DIS 15011-4 „Arbeits- und Gesundheitsschutz – Teil 4 Schweißrauchdatenblätter“ beschreibt die Bedingungen, unter denen Daten über Rauchemissionen und chemische Zusammensetzungen, die für eine Gefährdungsbeurteilung notwendig sind, ermittelt werden können.

Eine normgerechte Darstellung eines Schweißrauchdatenblattes enthält Anhang 1.

7 Vorschriften und Regeln

Zusammenstellung technischer Regelwerke, die bei Schadstoffen in der Schweißtechnik zu beachten sind.

7.1 Unfallverhütungsvorschriften

- „Grundsätze der Prävention“ (BGV A 1)
- „Arbeitsmedizinische Vorsorge“ (BGV A 4)

7.2 BG-Regeln, BG-Informationen und BG-Grundsätze

- „Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen“ (BGR 121)
- „Benutzung von Atemschutzgeräten“ (BGR 190)
- „Schweißrauche“ (BGR 220)
- „Betreiben von Arbeitsmitteln“ (BGR 500)
- „Auswahlkriterien für die spezielle arbeitsmedizinische Vorsorge nach den Berufsgenossenschaftlichen Grundsätzen für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen“ (BGI 504)
- „Blei oder seine Verbindungen (mit Ausnahme der Bleialkyle)“ (BGI 504-2)
- „Kohlenmonoxid“ (BGI 504-7)
- „Chrom(VI)-Verbindungen“ (BGI 504-15)
- „Isocyanate“ (BGI 504-27)
- „Cadmium oder seine Verbindungen“ (BGI 504-32)
- „Fluor oder seine anorganischen Verbindungen“ (BGI 504-34)
- „Nickel oder seine Verbindungen“ (BGI 504-38)
- „Schweißrauche“ (BGI 504-39)
- „Beryllium“ (BGI 504-40c)
- „Cobalt und seine Verbindungen“ (BGI 504-40f)
- „Von den Berufsgenossenschaften anerkannte Analyseverfahren zur Feststellung der Konzentrationen krebserzeugender Arbeitsstoffe in der Luft in Arbeitsbereichen“ (BGI 505)
- „Bestimmung von sechswertigem Chrom“ (BGI 505-5)
- „Bestimmung von Nickel“ (BGI 505-10)
- „Bestimmung von Cobalt“ (BGI 505-15)
- „Lichtbogenschweißer“ (BGI 553)
- „Gasschweißer“ (BGI 554)
- „Zertifizierte Atemschutzgeräte“ (BGI 693)
- „Nitrose Gase beim Schweißen, Schneiden und bei verwandten Verfahren“ (BGI 743)

BGI 616

- „Umgang mit thoriumoxidhaltigen Wolframelektroden beim Wolfram-Inertgas-schweißen (WIG)“ (BGI 746)
- „Berufsgenossenschaftliche arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen“ (BGG 904)
 - G 2 Blei oder seine Verbindungen
 - G 7 Kohlenmonoxid
 - G 15 Chrom(VI)-Verbindungen
 - G 27 Isocyanate
 - G 32 Cadmium oder seine Verbindungen
 - G 34 Fluor oder seine anorganischen Verbindungen
 - G 38 Nickel oder seine Verbindungen
 - G 39 Schweißrauche
 - G 40 Krebs erzeugende Gefahrstoffe – Allgemein

7.3 Verordnungen und Technische Regeln

- „Verordnung über gefährliche Stoffe“ (Gefahrstoffverordnung)
- TRGS 101 „Begriffsbestimmungen“
- TRGS 102 „Technische Richtkonzentrationen (TRK) für gefährliche Stoffe“
- TRGS 402 „Ermittlung und Beurteilung der Konzentration gefährlicher Stoffe in der Luft in Arbeitsbereichen“
- TRGS 403 „Bewertung von Stoffgemischen in der Luft am Arbeitsplatz“
- TRGS 415 „Tragezeitbegrenzungen von Atemschutzgeräten und isolierenden Schutanzügen ohne Wärmeaustausch für Arbeit“
- TRGS 420 „Verfahrens- und stoffspezifische Kriterien für die dauerhaft sichere Einhaltung von Luftgrenzwerten (VSK)“
- TRGS 560 „Luftrückführung beim Umgang mit krebserzeugenden Gefahrstoffen“
- TRGS 900 „Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz – Luftgrenzwerte“
- TRGS 903 „Biologische Arbeitsplatztoleranzwerte – BAT-Werte“
- TRGS 905 „Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder und fortpflanzungsgefährdender Stoffe“
- TRGS 910 „Begründungen für die Einstufung der krebserzeugenden Gefahrstoffe in die Gruppen I, II oder III der Liste des Anhangs II Nr.1.1 Gefahrstoffverordnung“

(zu beziehen bei Carl Heymanns Verlag KG, Luxemburger Straße 449, 50939 Köln)

7.4 DIN-Normen

- DIN EN 481 „Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel“

- E DIN 32507-1 (EN ISO 10882-1)
„Probenahme von partikelförmigen Stoffen und Gasen im Atembereich des Schweißers“
Teil 1: Probenahme von partikelförmigen Stoffen
- E DIN 32507-2 (EN ISO 10882-2)
Teil 2: Probenahme von Gasen
- E DIN 32507-3 (EN ISO 15011-1)
Teil 3: Laborverfahren zum Sammeln von Rauch und Gasen, die beim Lichtbogenschweißen erzeugt werden
- E DIN 32507-4 (EN ISO 15011-2)
Teil 4: Bestimmung der Emissionsraten außer Ozon
- E DIN 32507-5 (EN ISO 15011-3)
Teil 5: Bestimmung der Ozonkonzentration an festgelegten Messpunkten
- DIN EN 26848
„Wolframelektroden für Wolfram-Schutzgasschweißen und für Plasmaschneiden und -schweißen; Kurzzeichen (ISO 6848:1984); Deutsche Fassung EN 26848:1991“
- DIN 1732-1
„Schweißzusätze für Aluminium und Aluminiumlegierungen – Zusammensetzung, Verwendung und Technische Lieferbedingungen“ (1988 - 06)
- DIN 1733-1
„Schweißzusätze für Kupfer und Kupferlegierungen – Zusammensetzung, Verwendung und Technische Lieferbedingungen“ (1988 - 06)
- DIN 1736-1
„Schweißzusätze für Nickel und Nickellegierungen – Zusammensetzung, Verwendung und Technische Lieferbedingungen“
- DIN 8555-1
„Schweißzusätze zum Auftragschweißen – Schweißdrähte, Schweißstäbe, Drahtelektroden, Stabelektroden – Bezeichnung, Technische Lieferbedingungen“ (1983 -11)
- DIN 8573-1
„Schweißzusätze zum Schweißen unlegierter und niedriglegierter Gusseisenwerkstoffe – Bezeichnung, Technische Lieferbedingungen“ (1988 - 01)
- DIN EN 440 (Ersatz für DIN 8559-1: 1994)
„Schweißzusätze - Drahtelektroden und Schweißgut zum Metall-Schutzgasschweißen von unlegierten Stählen und Feinkornstählen – Einteilung“ (1994 - 11)
- DIN EN 499 (Ersatz für DIN 1913-1: 1984)
„Schweißzusätze – Umhüllte Stabelektroden zum Lichtbogenhandschweißen von unlegierten Stählen und Feinkornstählen – Einteilung“ (1995 - 01)

BGI 616

- DIN EN 757 (Ersatz für DIN 8529-1: 1981)
„Schweißzusätze – Umhüllte Stabelektroden zum Lichtbogenhandschweißen von hochfesten Stählen – Einteilung“ (1997 - 05)
- DIN EN 758 (Ersatz für DIN 8559 1: 1984)
„Schweißzusätze – Fülldrahtelektroden zum Metall-Lichtbogenschweißen mit und ohne Schutzgas von unlegierten Stählen und Feinkornstählen – Einteilung“ (1997 - 05)
- DIN EN 1599 (Ersatz für DIN 8575-1: 1984)
Schweißzusätze – Umhüllte Stabelektroden zum Lichtbogenhandschweißen von warmfesten Stählen – Einteilung“ (1997 - 10)
- DIN EN 1600 (Ersatz für DIN 8556-1: 1986)
„Schweißzusätze - Umhüllte Stabelektroden zum Lichtbogenhandschweißen von nicht rostenden und hitzebeständigen Stählen – Einteilung“ (1997 - 10)
- DIN EN 12070 (Ersatz für DIN 8575-1: 1984)
„Schweißzusätze – Drahtelektroden, Drähte und Stäbe zum Lichtbogenschweißen von warmfesten Stählen – Einteilung“ (2000 - 01)
- DIN EN 12071
„Schweißzusätze – Fülldrahtelektroden zum Metall-Schutzgasschweißen von warmfesten Stählen – Einteilung“ (2000 - 01)
- DIN EN 12072 (Ersatz für DIN 8556-1: 1986)
„Schweißzusätze – Drahtelektroden, Drähte und Stäbe zum Lichtbogenschweißen von nicht rostenden und hitzebeständigen Stählen – Einteilung“ (2000 - 01)
- DIN EN 12073
„Schweißzusätze - Fülldrahtelektroden zum Metall-Lichtbogenschweißen mit oder ohne Gasschutz von nicht rostenden und hitzebeständigen Stählen – Einteilung“ (2000 - 01)
- DIN EN 12534
„Schweißzusätze – Drahtelektroden, Drähte, Stäbe und Schweißgut zum Schutzgasschweißen von hochfesten Stählen – Einteilung“ (1999 - 11)
- DIN EN 12535
„Schweißzusätze - Fülldrahtelektroden zum Metall-Schutzgasschweißen von hochfesten Stählen – Einteilung“ (2000 - 04)

(zu beziehen bei Beuth-Verlag, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin)

7.5 Sonstige Regeln der Technik

- DVS/VDI-Richtlinie 6005 „Lüftungstechnik beim Schweißen und bei verwandten Verfahren“
- DVS 2307 Blatt 2 „Arbeitsschutz beim Flamspritzen“
- DVS 2307 Blatt 3 „Arbeitsschutz beim Lichtbogenspritzen“
- DVS 2307 Blatt 4 „Arbeitsschutz beim Plasmaspritzen“

(zu beziehen bei DVS-Verlag, Aachener Straße 172, 40223 Düsseldorf)

7.6 Andere Literaturquellen

- [1] Flemming D. u. H. Sossenheimer
„Schweißen heute und morgen – 1897 - 1972; 75 Jahre Schweißtechnische Gemeinschaftsarbeit; 25 Jahre Deutscher Verband für Schweißtechnik e. V.“;
DVS-Verlag, Düsseldorf (1972)
- [2] „Schweißen und Schneiden“, Heft 18 (1966), DVS-Verlag, Düsseldorf
- [3] Eichhorn, F. und Oldenburg, Th.
„Untersuchung der Schweißrauchentstehung beim Lichtbogenhandschweißen und beim Schutzgasschweißen mit mittel- und hochlegierten Zusatzwerkstoffen“, DVS-Verlag, Düsseldorf
- [4] Eichhorn, F. Trösken, F. und Oldenburg Th.
„Untersuchung der Entstehung gesundheitsgefährdender Schweißrauche beim Lichtbogenhandschweißen und Schutzgasschweißen“, DVS-Verlag, Düsseldorf (1981)
- [5] Eichhorn, F. und Oldenburg, Th.
„Vergleichende Untersuchungen neuerer Schweißverfahren für das Verbindungsschweißen von Aluminium und seinen Legierungen zum Zwecke der Reduzierung der Schadstoffbelastung des Aluminiumschweißers“, DVS-Verlag, Düsseldorf (1983)
- [6] Holzinger, K.
„Untersuchungen zur Schadstoffentstehung beim MIG-Schweißen von Nickel- und Nickelbasislegierungen“, ISF, Aachen (1996 und 1998)
- [7] Eichhorn, F. und Oldenburg, Th.
„Verbundprojekt Abbau und Abwehr von Schadstoffen beim Schweißen – Untersuchung zur Barium-Emission und ihrer arbeitsmedizinisch-toxikologischen Bedeutung bei der Verwendung bariumhaltiger Schweißzusatzwerkstoffe“, Teil 1, ISF, Aachen (1987)
- [8] Health and Safety Executive-Guidance Note EH 54
„Assessment of exposure to fume from welding and allied processes“ (March 1990)

BGI 616

- [9] Eichhorn, F. und Oldenburg, Th.
„Untersuchung der Schweißrauchentstehung beim Schweißen mit mittel- und hochlegierten Zusatzwerkstoffen“, DVS-Verlag, Düsseldorf (1986)
- [10] Bach, F.W., Haferkamp, H., Vinke, T. und Wittbecker, J.S.
„Ermittlung der Schadstoffemissionen beim thermischen Trennen nach dem Laserprinzip“, Schriftenreihe Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Fb 615, Dortmund
- [11] Zschesche, W.
Institut für Arbeits- und Sozialmedizin der Universität Erlangen-Nürnberg „Vergleichende arbeitsmedizinische Bewertung der Emissionen beim Laserschneiden von Stählen“ (Juni 1991)
- [12] Kraume, G. und Zober, A.
„Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz in der Schweißtechnik“ Band 105, DVS-Verlag, Düsseldorf (1989)
- [13] Grothe, I., Kraume, G. „Arbeitsschutz beim Schweißen“ Band 29, DVS-Verlag, Düsseldorf
- [14] Wittbecker, J.-G.
„Gefahrstoffermittlung bei der CO₂-Laserstrahlbearbeitung“ Reihe 2: Fertigungstechnik Nr. 298, VDI-Verlag, Düsseldorf (1996)
- [15] Steiner, H.
„Partikelmesstechnik beim Plasmaschmelzschneiden“, Reihe 2: Fertigungstechnik Nr. 245, VDI-Verlag, Düsseldorf
- [16] Lauterbach, R.
„Umweltbelastungen beim atmosphärischen Plasmaspritzen“ Reihe Werkstofftechnik, Verlag Shaker
- [17] Spiegel-Ciobanu, V. E.
„Bewertung der Gefährdung durch Schweißrauche und Schutzmaßnahmen“ Schweißen und Schneiden 54 (2002) Heft 2
- [18] Spiegel-Ciobanu, V. E.
„Beurteilung partikelförmiger Stoffe in der Schweißtechnik“ Schweißen und Schneiden 51 (1999) Heft 4

Anhang 1

(Auszug aus prEN ISO 15011, Teil 4)

Annex A (normativ) Schweißrauchdatenblatt

Hersteller/Lieferer:	Art des Schweißzusatzwerkstoffes	
	Durchmesser der Elektrode	
	Schweißgut:	
Handelsname:	Norm(en) nach denen der Schweißzusatzwerkstoff hergestellt wurde:	
Prüflabor:	Datum des Prüfberichts:	
Beobachtungen des Prüflabors:		
Parameter	Prüfbedingung	
Durchmesser (mm)		
Stromstärke (A)		
Spannung (V)		
Polarität (dc+/ac/dc)		
Fahrgeschwindigkeit (mm/min)		
Prüfstück		
Gastyp		
Gasdurchfluss		
Abstand Kontaktdüse/Werkstück (mm)		
Drahtvorschubgeschwindigkeit (mm/s)		
Rauchemissionsrate		
Haupt- und <u>Leit</u> -Komponenten des Rauchs	Chemische Zusammensetzung (Gew.-%)	
Grenzwert für die Leitkomponente im Schweißrauch (mg/m ³)		Länder, für die Gültigkeit besteht (und Verweis auf die Quelle der Grenzwerte)
Etikett des Zusatzwerkstoffes		

Anhang 2 Arbeitsanamnesebogen (Seiten 1 und 2)

Beschäftigungszeiten bei der Firma: von: bis: (Jahre)

Verfahren	Zusatz-/Grundwerkstoff	Lüftung				Arbeitsposition	Anteil schweißtechnischer Arbeiten an der täglichen Arbeitszeit in %:			sonstige Angaben (Klartext)				
		keine Lüftung	freie Lüftung	techn. Lüftung	Absaugung		LBH	MAG	WIG		Th. Spritzen	Th. Schneiden	Sonstige	
un- und niedriglegierter Stahl		keine Lüftung				Atembereich außerhalb der Rauchfahne (z. B. aufrecht stehend, über Kopf)								
		freie Lüftung												im Freien
		techn. Lüftung												in Räumen
		Absaugung												in Gräben o. Ä.
hochlegierter Stahl (Cr/Ni-Stahl)		keine Lüftung				Atembereich außerhalb der Rauchfahne (z. B. aufrecht stehend, über Kopf)								
		freie Lüftung												in engen Räumen
		techn. Lüftung												im Freien
		Absaugung												in Räumen
Ni-Basis-Legierungen		keine Lüftung				Atembereich in der Rauchfahne (z. B. gebückt, sitzend)								
		freie Lüftung												in engen Räumen
		techn. Lüftung												in Gräben o. Ä.
		Absaugung												in engen Räumen
Al-Legierung		keine Lüftung				Atembereich außerhalb der Rauchfahne (z. B. aufrecht stehend, über Kopf)								
		freie Lüftung												im Freien
		techn. Lüftung												in engen Räumen
		Absaugung												in Gräben o. Ä.
Cu-Legierung		keine Lüftung				Atembereich außerhalb der Rauchfahne (z. B. aufrecht stehend, über Kopf)								
		freie Lüftung												im Freien
		techn. Lüftung												in engen Räumen
		Absaugung												in Gräben o. Ä.
hoch Min-halt.		keine Lüftung				Atembereich in der Rauchfahne (z. B. gebückt, sitzend)								
		freie Lüftung												in engen Räumen
		techn. Lüftung												in Gräben o. Ä.
		Absaugung												in engen Räumen
Sonstige		keine Lüftung				Atembereich außerhalb der Rauchfahne (z. B. aufrecht stehend, über Kopf)								
		freie Lüftung												im Freien
		techn. Lüftung												in engen Räumen
		Absaugung												in Gräben o. Ä.

Bemerkungen: Zusatzwerkstoff = z. B. Elektrode, Schweißdraht, -stab, Fülldraht

BGI 616

Anhang 3

Nationale und internationale Forschungsergebnisse zur Emissionscharakterisierung von Schweißrauchen in Laboruntersuchungen in der „Fume-Box“

Die Beurteilung der berechneten Schweißrauchkonzentration und der Gesundheitsgefährdung erfolgt in gleicher Weise wie im Abschnitt 3 (Bilder 3-5 bis 3-18).

Tabelle 1: Menge und Zusammensetzung der beim MIG-Schweißen von Aluminium-Legierungen entstehenden Schweißbrauche

Grundwerkstoff	Schweißzusatzwerkstoff (Drahtelektrode)							Schweißbrauche					
Bezeichnung	Bezeichnung	Chemische Zusammensetzung (Gew.-%)						Emission (mg/s)	Quantitative Analyse (Gew.-%)				
		Al	Mg	Mn	Cr	Ti	Si		Al	Mg	Mn	Si	Zn
Al 99,5	S - Al 99,5 Ti	Basis	-	-	-	0,15	-	1,5	52,8	0,15	0,02	0,09	0,52
Al Mg 4,5 Mn	S - Al Mg 4,5 Mn	Basis	4,9	0,7	0,15	0,15	-	21,0	51,2	3,67	0,33	0,06	0,03
Al Zn 4,5 Mg 1	S - Al Mg 4,5 Mn	Basis	4,9	0,7	0,15	0,15	-	29,0	50,4	3,47	0,29	0,13	0,5
Al Mg Si 1	S - Al Si 5	Basis	-	-	-	-	5	0,8	51,6	0,19	0,03	2,2	0,37
Ozon-Emission													
I. E = 50 mg/min bis 90 mg/min													
II. E = 0,5 mg/min bis 31 mg/min													
III. E = 0,5 mg/min bis 18 mg/min													
IV. E = 70 mg/min bis 170 mg/min													

Tabelle 2: Zusatzwerkstoff-Grundwerkstoff-Kombinationen beim Lichtbogenhandschweißen mit mittel- und hochlegierten Stabelektroden

Grundwerkstoff		Stabelektrode						
DIN-Kurzname	Werkstoff-Nr.	mittlere chemische Zusammensetzung (Gew.-%)		DIN-Bezeichnung	Richtanalyse des Schweißgutes ¹⁾ (Gew.-%)			
		Cr	Ni		Cr	Ni	Sonst.	
X5 CrNi18 9	1.4301	17,0 - 20,0	8,5 - 10,5	DIN 8556	E 19 9 nC R26	19,0 - 19,5	9,0 - 10,0	-
X5 CrNi18 9	1.4301	17,0 - 20,0	8,5 - 10,5		E 19 9 nC B20+	19,0 - 19,5	ca. 10,0	-
X5 CrNi18 9	1.4301	17,0 - 20,0	8,5 - 10,5		E 19 9 Nb R26	19,0 - 19,5	9,0 - 10,0	-
X5 CrNiMo 18 10	1.4401	16,5 - 18,5	10,5 - 13,5		E 19 12 3 nC R26	18,0 - 19,0	11,5 - 12,0	-
X20 CrMo 13	1.4120	12,0 - 14,0	1,0		E 18 8 Mn6 R26	18,0 - 19,0	8,0 - 8,5	-
X 20 CrMo 13	1.4120	12,0 - 14,0	1,0		E 29 9 R26	ca. 29,0	ca. 9,0	-
X5 CrNi 18 9	1.4301	17,0 - 20,0	8,5 - 10,5		E 19 9 MPR26 160	ca. 19,0	ca. 9,0	-
X5 CrNi 18 9	1.4301	17,0 - 20,0	8,5 - 10,5		E 19 9 R26 160	ca. 19,0	ca. 9,0	-
NiCr15Fe	2.4816	14,0 - 17,0	72,0	DIN 1736	S-NiCr16FeMn	13,0 - 17,0	67,0 - 69,0	-
X10 NiCrAlTi32 20	1.4876	19,0 - 23,0	30,0 - 34,0		S-NiCr20Mo9Nb	ca. 22,0	ca. 61,0	-
St 37-2	1.0112	-	-	DIN 8555	E 20-40 crstz	ca. 27,0	-	ca. 67,5 Co
GG (Grauguss)	-	-	-	DIN 8573	E-Ni-BG1	-	ca. 97,5	-
GG (Grauguss)	-	-	-		E-NiCu-BG1	-	ca. 66,0	ca. 30,0 Cu
GG (Grauguss)	-	-	-		E-NiFe-BG1	-	53,0 - 54,0	-
10CrMo 9 10	1.7380	2,0 - 2,5	-	DIN 8575	E CrMo 2 R 25	ca. 2,4	-	-

¹⁾ Herstellerangaben

Tabelle 3: Zusatzwerkstoff-Grundwerkstoff-Kombinationen beim Schutzgasschweißen (MAG/MIG-Schweißen) mit mittel- und hochlegierten Drahtelektroden

Grundwerkstoff	Drahtelektrode Richtanalyse der Drahtelektrode ¹⁾ (Gew.-%)				
	DIN-Bezeichnung	Cr	Ni	Mn	
X5 CrNi18 9	DIN 8556	19,0 - 20,0	9,5 - 10,7	ca. 1,7	
X5 CrNiMo 18 10		18,4 - 19,0	11,3 - 11,8	ca. 1,8	
X5 CrNiMo 18 10		19,0 - 19,6	11,4 - 11,5	ca. 1,6	
X20 CrMo 13		18,5 - 19,3	8,0 - 9,0	6,0 - 7,0	
NiCr 15 Fe	DIN 1736	ca. 20,0	ca. 72,0	ca. 3,0	
X10 NiCrAlTi 32 20		ca. 22,0	ca. 61,0	ca. 1,0	
10CrMo 9 10	DIN 8575	ca. 2,8	–	ca. 1,1	

¹⁾ Herstellerangaben

Tabelle 4: Schweißrauchemission und -zusammensetzung bei Verwendung von Hochleistungsstabelektroden mit unterschiedlichen Legierungsanteilen in der Umhüllung
 Elektrode: E 19 9 R26 160; Ø 3,25 mm DC+

Variante	Schweißstrom (A)	Spannung (V)	Rauchemission (mg/s)	Rauchzusammensetzung (Gew.-%)				Leit- komponente	Berechn. Schweiß- rauchkonzentration (mg/m³)
				Cr	Cr(VI)	Mn	Ni		
hüllenlegiert									
Kernstab Umhüllung ¹⁾	110	20,0	3,06	3,0	1,8	2,3	0,8	Cr(VI)	5,5
0,02 % Cr	120	20,5	4,07	3,5	2,0	2,4	0,9	Cr(VI)	5,0
0,48 % Mn	130	21,5	5,25	5,0	1,8	2,2	1,3	Cr(VI)	5,5
0,04 % Ni	140	22,0	5,78	5,3	2,0	2,6	1,3	Cr(VI)	5,0
kernstab- und hüllenlegiert									
Kernstab Umhüllung ¹⁾	110	32,5	3,39	4,0	3,5	3,9	0,3	Cr(VI)	2,8
20,30 % Cr	120	33,5	4,44	4,0	3,4	3,9	0,4	Cr(VI)	2,9
1,40 % Mn	130	34,5	5,54	3,9	3,9	4,0	0,3	Cr(VI)	2,5
10,68 % Ni	140	35,5	6,30	4,0	3,9	3,9	0,3	Cr(VI)	2,5

¹⁾ Herstellerangaben

Durch den Einsatz hüllenlegierter Stabelektroden lassen sich die Cr(VI)-Anteile bis auf die Hälfte reduzieren.

Tabelle 5: Schweißrauchemission bei Verwendung von Stabelektroden nach DIN 8556

Stabelektrode	Hersteller	Durchmesser (mm)	Stromart/ Polung	Schweißparameterbereich	Schweißrauchemission (mg/s)	
E 18 Mn6 R 26	A	5,0	= + ≈	150 A/21,5 V - 170 A/22,5 V	7,5 - 9,5	
				150 A/21 V - 170 A/22 V	6,0 - 8,5	
	B	5,0	= + ≈	145 A/21,5 V - 170 A/23 V	5,5 - 9,5	
				145 A/22,5 V - 175 A/24,5 V	5,0 - 7,5	
			4,0	= + ≈	105 A/19,5 V - 135 A/21,5 V	2,5 - 5,0
					105 A/21,5 V - 135 A/24 V	2,5 - 3,5
E 19 9 nC R26		2,5	= + ≈	55 A/20 V - 85 A/24 V	2,0 - 4,0	
				55 A/22,5 V - 85 A/24,5 V	2,0 - 4,0	
	B	5,0	= + ≈	220 A/29 V	10,0	
				220 A/29,5 V	10,5	
	C	5,0	= + ≈	230 A/34,5 V	15,5	
				230 A/35 V	15,5	
B	4,0	= + ≈	150 A/27 V	3,5		
			150 A/27 V	4,0		
C	4,0	= + ≈	110 A/27,5 V - 150 A/30 V	4,0 - 6,5		
			150 A/30 V	7,0		
D	4,0	= + ≈	140 A/27,5 V	3,0		
			140 A/28,5 V	3,5		
B	2,5	= +	80 A/27 V	2,0		
C	2,5	= + ≈	50 A/24,5 V - 70 A/26 V	2,0 - 2,5		
			70 A/30 V	3,5		
E 19 9 nC B20+	C	4,0	= + = +	120 A/23 V - 140 A/25 V	5,5 - 6,0	
				D	140 A/26 V	5,0

Tabelle 5 (Fortsetzung): Schweißrauchemission bei Verwendung von Stabelektroden nach DIN 8556

Stabelektrode	Hersteller	Durchmesser (mm)	Stromart/ Polung	Schweißparameterbereich	Schweißrauchemission (mg/s)
E 19 9 Nb R26	C	2,5	= +	70 A/22,5 V	2,0
	D	2,5	= +	70 A/23 V	2,0
E 19 9 Nb R26	B	5,0	= +	160 A/31 V - 190 A/34 V	5,5 - 10,0
	C	5,0	= +	160 A/31 V - 200 A/34,5 V 160 A/28,5 V - 220 A/31,5 V	7,5 - 12,0 7,0 - 15,5
E 19 9 Nb R26	C	4,0	= +	110 A/29 V - 170 A/32 V	4,0 - 9,5
			≈	110 A/30 V - 170 A/32 V	4,5 - 9,0
E 19 9 Nb R26	B	3,25	= +	80 A/26 V - 115 A/29 V	2,0 - 4,5
	C	3,25	= +	70 A/27 V - 130 A/30,5 V 70 A/27 V - 130 A/30,5 V	2,5 - 6,0 3,0 - 6,0
E 19 12 3 nC R26	B	3,25	= +	80 A/23 V - 110 A/25 V	2,5 - 5,0
	C	3,25	= +	80 A/25 V - 110 A/27 V	2,5 - 6,0
E 19 12 3 nC R26	D	3,25	= +	80 A/24 V - 110 A/26 V	2,5 - 3,5
	B	4,0	= +	110 A/27 V - 140 A/28 V	4,5 - 7,5
E 29 9 R26	C	4,0	= +	110 A/26 V - 140 A/28 V	4,5 - 7,5
	D	4,0	= +	110 A/24 V - 140 A/26 V	2,5 - 4,5
E 29 9 R26	A	5,0	= +	130 A/22 V - 170 A/25 V	2,0 - 4,0
	B	5,0	= +	130 A/22 V - 170 A/25 V	3,0 - 6,5
E 29 9 R26	A	2,5	= +	50 A/27 V - 80 A/29 V	1,0 - 3,0
	B	2,5	= +	50 A/28 V - 70 A/28 V	1,0 - 2,5

Die Variabilität bei der Zusammensetzung der Umhüllung führt selbst bei ähnlichen Elektroden zu stark unterschiedlichen Rauchemissionen. Höhere Strom- und Spannungswerte führen zu höheren Schweißrauch-Emissionsraten. Für die verschiedenen Elektrodentypen lassen sich hinsichtlich der Schweißrauchentstehung einige gleichwertige Tendenzen feststellen.

Tabelle 6: Schweißrauchemission bei Verwendung mittellegierter und hoch nickelhaltiger Stabelektroden

Stabelektrode	Hersteller	Durchmesser (mm)	Stromart/ Polung	Schweißparameterbereich	Schweißrauchemission (mg/s)
E CrMo 2 R25	D	2,5	= -	80 A/18 V - 110 A/22 V	1,0 - 4,0
			= -	80 A/20 V - 110 A/23 V	2,0 - 4,0
E-NiFe-BG1	A	3,25 4,0	= -	110 A/17,5 V - 140 A/20 V	1,5 - 2,5
			= -	140 A/18,5 V - 180 A/21 V	2,5 - 3,5
E-NiCu-BG2	A	2,5 3,25	= -	70 A/14 V - 100 A/17 V	2,0 - 3,5
			= -	90 A/17 V - 150 A/17 V	4,0 - 7,0
E NiCr20Mo9Nb	A	3,25	= -	70 A/17 V - 110 A/19 V	3,0 - 6,0
			= +	130 A/23 V - 160 A/26 V	3,5 - 6,0
E NiCr16FeMn	A	5,0 4,0 2,5	= +	130 A/23,5 V - 160 A/25 V	4,0 - 6,5
			= +	90 A/22,5 V - 130 A/24 V	3,0 - 5,5
			= +	50 A/20 V - 80 A/23 V	1,5 - 4,5
E NiCr15FeMn	D	5,0 4,0 2,5	= +	120 A/23 V - 170 A/24,5 V	4,0 - 7,5
			= +	90 A/23 V - 140 A/25 V	3,0 - 7,0
			= +	50 A/20 V - 80 A/22 V	1,5 - 4,5

Höhere Strom- und Spannungswerte führen zu höheren Schweißrauch-Emissionsraten. Für die verschiedenen Elektrodentypen lassen sich hinsichtlich der Schweißrauchemission einige gleichwertige Tendenzen feststellen.

Tabelle 7: Schweißrauchzusammensetzung bei mittel- und hochlegierten Stabelektroden (Ø 3,25 mm)

Stabelektrode	Hersteller	Stromart/ Polung	Schweißparameterbereich	Rauchzusammensetzung				Leitkomponente	Berechn. Schweißrauchkonzentration (mg/m³)
				Cr	Cr(VI)	Ni	Mn		
E CrMo 2 R25	D	= -	110 A/17,5 V - 140 A/20 V	1,2 - 1,4	0,8 - 1,2	0,1	5,1 - 5,6	Cr(VI)	8,3
E 19 9Nb R29	B	= +	80 A/26 V - 115 A/29 V	2,5 - 3,5	2,4 - 2,7	0,14 - 0,49	1,1 - 1,6	Cr(VI)	3,7
	C	= +	70 A/27 V - 130 A/31 V	3,1 - 3,8	2,6 - 2,9	0,18 - 0,45	2,3 - 2,5	Cr(VI)	3,4
	C	≈	70 A/27 V - 130 A/30 V	3,7 - 4,2	1,6 - 3,2	0,64 - 0,78	2,4 - 2,7	Cr(VI)	3,1
E 19 12 3NC R26	B	= +	80 A/23 V - 110 A/25 V 80 A/26 V - 110 A/26,5 V	2,6 - 3,9 3,1 - 3,4	2,5 - 3,8 3,0 - 3,2	0,2 - 0,3 0,1 - 0,4	1,1 - 1,3 1,1 - 1,3	Cr(VI) Cr(VI)	2,6 3,1
	C	= +	80 A/25 V - 110 A/27 V 80 A/27 V - 110 A/29 V	3,2 - 3,5 2,8 - 3,6	2,8 - 3,1 2,3 - 2,7	0,3 - 0,5 0,7 - 0,9	2,5 - 2,8 2,3 - 2,8	Cr(VI) Cr(VI)	3,2 3,7
	D	= + ≈	80 A/24 V - 110 A/26 V 80 A/25 V - 110 A/27 V	2,8 - 3,8 2,8 - 3,4	2,2 - 3,3 2,2 - 4,2	0,2 - 0,8 0,9 - 1,2	2,2 - 2,4 2,2 - 2,7	Cr(VI) Cr(VI)	3 3,1
S-NiCr16FeMn	A	= +	70 A/22 V - 110 A/24 V	2, - 3,5	1,9 - 2,2	5,1 - 5,5	5,3 - 6,1	Cr(VI)	4,5
S-NiCr15FeMn	D	= +	70 A/22 V - 100 A/24 V	2,2 - 2,8	1,5 - 1,9	3,1 - 4,7	5,8 - 7,5	Cr(VI)	5,2
S-NiCr20Mo9Nb	A	= +	70 A/23 V - 100 A/25,5 V	3,1 - 4,2	2,5 - 2,9	3,2 - 3,8	0,8 - 1,0	Cr(VI)	3,4
E →	für Lichtbogenhandschweißen (Stabelektrode)								
S →	für Stabelektrode								
SRK →	Schweißrauchkonzentration								

Hier ist die Leitkomponente immer Cr(VI)-Verbindungen (Chromate).

- Liegt die berechnete Schweißrauchkonzentration über 3 mg/m³ A, gilt 3 mg/m³ A als „Obergrenze“ für die Gesamt-Schweißrauchkonzentration am Arbeitsplatz.
- Liegt die berechnete Schweißrauchkonzentration unter 3 mg/m³ A, gilt die jeweils berechnete SRK für die Leitkomponente als „Obergrenze“ für die Gesamt-Schweißrauchkonzentration am Arbeitsplatz.
Nach der neuen GefStoffV soll die Exposition auf ein Minimum von Cr(VI) reduziert werden. D.h. 3 mg/m³ soll weit unterschritten werden.

Tabelle 8: Einfluss der Umhüllungsbestandteile Kalium, Natrium und Chrom auf die Cr(VI)-Anteile im Schweißrauch bei hochlegierten Cr/Ni-Stabelektroden verschiedener Hersteller

Elektrodentyp	Hersteller	Umhüllungsbestandteile			Schweißrauchbestandteile (Gew.-%)		Cr(VI)/Cr (Gew.-%)	Berechn. Schweißrauchkonzentration (mg/m ³)
		K	Na	Cr	Cr(VI) ¹⁾	Cr		
E 18 8 Mn6 R 26	A	3,92	0,92	3,64	2,1 - 2,6	3,6 - 5,1	45 - 61	3,8
	B	1,89	0,25	5,20	1,6 - 2,4	4,1 - 6,3	37 - 41	4,17
E 18 8 Mn6 B20+	A	0,12	0,99	0,15	2,7 - 2,9	3,3 - 3,9	74 - 82	3,44
	A	1,25	1,17	7,44	2,6 - 3,3	2,6 - 3,6	87 - 100	3
E 19 9 nC R26	B	3,06	0,17	8,04	2,7	2,9	93	3,7
	C	3,89	1,53	7,92	1,7 - 3,4	2,3 - 4,2	63 - 87	2,9
	D	2,39	0,75	9,93	2,6	2,9	90	3,8
E 19 9 nC B20+	A	0,55	7,34	2,40	2,3 - 2,5	2,5 - 2,8	82 - 96	4
	C	1,98	0,16	9,31	2,4 - 3,4	4,7 - 5,7	46 - 72	2,9
	D	0,17	1,60	6,15	4,7	6,9	68	2,1

¹⁾ Als Chromate von Na und K

Das Verhältnis der Mengen an Kalium- und Natriumwasserglas als Bindemittel in der Umhüllung der Stabelektroden ist maßgeblich verantwortlich für die unterschiedlichen Anteile der Cr(VI)-Verbindungen am Gesamt-Chromgehalt.

Tabelle 9: Chemische Zusammensetzung der Schweißrauche beim Lichtbogenhandschweißen mit hochlegierten Stabelektroden

Stabelektrode	Hersteller	Durchmesser (mm)	Stromart/Polung	Strom/Spannung (A)/V	Schweißrauchzusammensetzung (%)										
					Ca	C ^{II}	F	Fe	K	Mn	Na	Ni	Ti	sonstige	
E CrMo 2 R25	D	3,25	= -	140/20	1,1	1,1	0,2	8,2	14,8	4,4	1,0	0,02	6,8		
E 18 8 Mn6 R26	A	3,25	= +	120/24	3,4	4,5	3,6	10,3	14,5	10,1	3,0	1,4	8,0		
	B	5,0	= +	170/22	1,6	5,5	4,1	11,2	10,1	9,5	2,7	1,8	3,4		
E 18 8 Mn6 B20+	A	3,25	= +	110/24,5	21,6	3,4	6,9	5,3	0,4	15,0	6,6	0,5	0,15		
E 19 9 nC R26	A	3,25	= +	110/28,5	0,9	3,2	1,6	3,1	20,6	3,0	7,7	0,2	2,2		
E 19 9 nC B20+	A	3,25	= +	90/21,5	6,7	2,6	9,5	3,7	4,6	3,3	21,1	0,3	1,6		
E 19 9 Nb R26	B	3,25	= +	110/28	0,3	3,3	5,8	4,1	15,6	1,1	6,2	0,4	1,6		
	C	3,25	= +	125/30	1,5	2,9	4,9	3,7	21,7	1,8	1,2	0,3	4,0		
E 19 12,3 nC R26	B	5,0	= +	220/30	0,3	3,3	5,9	3,8	8,3	1,1	5,4	0,4	1,1		
	C	3,25	= +	110/28	1,4	2,9	4,6	2,5	9,2	1,9	1,0	0,4	4,0		
	D	3,25	= +	110/27	0,7	2,6	4,8	2,2	16,2	2,0	5,1	0,4	2,3		
E 29 9 R26	A	3,25	= +	100/25,5	0,9	6,8	4,5	8,3	15,9	2,2	4,9	1,2	3,4		
	B	3,25	= +	100/26	0,6	6,1	4,8	7,7	10,3	1,8	5,2	1,2	2,0		
E NiCr20Mo9Nb	A	3,25	= +	100/25,5	6,5	2,7	2,0	0,4	0,7	0,7	24,5	2,9	1,5		
S NiCr16FeMn	A	3,25	= +	100/24,5	6,7	2,8	2,5	0,6	1,8	4,3	22,7	4,7	1,5		
S NiCr15FeMn	A	3,25	= +	100/24,5	4,0	2,0	1,5	0,6	0,2	4,7	24,5	3,3	1,7		
E 20-40 crsz	D	3,0	= +	100/22,5	1,6	12,9	2,4	2,2	9,0	0,5	2,4	0,7	2,1	19,5 % Co	
E NiFe-BG1	A	3,25	= -	150/17	19,9	0,05	5,3	3,4	1,0	0,3	2,9	2,3	-	19,9 % Ba	
E NiCu-BG1	A	3,25	= +	110/23,5	13,6	0,01	4,4	1,2	1,1	0,6	2,7	0,7	-	22,0 % Ba 7,18 % Cu	
E Ni-BG1	A	3,25	= -	130/17	17,4	0,06	5,4	1,1	0,8	0,2	3,1	1,2	-	23,1 % Ba	

!) Vorwiegend als Chrom(VI)-Verbindungen (Chromate)

Tabelle 10: Schweißrauchemission beim MAG/MIG-Schweißen mit mittel- und hochlegierten Drahtelektroden

Drahtelektrode	Hersteller	Durchmesser (mm)	Schutzgas	Schweißparameterbereich	Schweißrauchemission (mg/s)
SG X2 CrNi 19 9	A	1,6	Ar + 2 % O ₂	100 A/14 V - 200 A/16 V	0,5 - 2,5
				250 A/25 V - 350 A/28 V	1,5 - 2,5
SG X2 CrNiMo 19 12	B	0,8	Ar + 2 % O ₂	60 A/17 V - 120 A/21 V	0,5 - 1,5
				140 A/26 V - 180 A/30 V	0,5 - 1,5
	D	0,8	Ar + 2 % O ₂	60 A/17 V - 120 A/21 V	1,0 - 1,5
				140 A/25 V - 180 A/30 V	0,5 - 1,5
	B	1,2	Ar + 2 % O ₂	100 A/16 V - 180 A/18 V	0,5 - 2,0
				220 A/27 V - 320 A/31 V	2,0 - 4,5
	D	1,2	Ar + 2 % O ₂	100 A/16 V - 180 A/18 V	1,5 - 2,5
				220 A/27 V - 320 A/31 V	1,5 - 4,5
	D	1,6	Ar + 2 % O ₂	180 A/18 V - 230 A/20 V	2,5 - 4,5
				240 A/27 V - 300 A/28 V	1,0 - 3,0
SG X5 CrNiMoNb 19 12	A	0,8	Ar + 2 % O ₂	60 A/16 V - 90 A/18 V	0,5 - 1,0
				120 A/26 V - 180 A/30 V	0,5 - 2,0
	A	1,6	Ar + 2 % O ₂	100 A/14 V - 200 A/16 V	0,5 - 2,0
				250 A/26 V - 350 A/30 V	1,0 - 4,0
	B	0,8	Ar + 2 % O ₂	60 A/16 V - 120 A/19 V	0,5 - 1,5
				150 A/26 V - 210 A/30 V	0,5 - 2,5
SG X15 CrNiMn 18 8	B	0,8	Ar	60 A/18 V - 120 A/21,5 V	0,5 - 2,5
				120 A/27,5 V - 220 A/33 V	0,5 - 2,5
	D	0,8	Ar	60 A/18 V - 120 A/21,5 V	1,5 - 6,5
				140 A/27,5 V - 220 A/33 V	0,5 - 2,5
	D	1,6	Ar	140 A/18 V - 180 A/21 V	3,0 - 6,0
				200 A/27 V - 300 A/31 V	1,5 - 3,0
S-NiCr20Nb	A	1,2	Ar	120 A/17 V - 180 A/19 V	0,5 - 4,0
				210 A/28,5 V - 270 A/33,5 V	0,5 - 1,5
		1,6	Ar	150 A/16 V - 210 A/19 V	0,5 - 1,5
				240 A/28 V - 300 A/31 V	1,0 - 3,0

Tabelle 10 (Fortsetzung): Schweißrauchemission beim MAG/MIG-Schweißen mit mittel- und hochlegierten Drahtelektroden

Drahtelektrode	Hersteller	Durchmesser (mm)	Schutzgas	Schweißparameterbereich	Schweißrauchemission (mg/s)
S-NiCr21Mo9Nb	A	1,2	Ar	120 A/18 V - 180 A/20 V 210 A/29,5 V - 270 A/31,5 V	0,5 - 1,0 0,5
SG CrMo 2	D	0,8 1,6	Ar + 2 % O ₂ Ar + 2 % O ₂	60 A/16 V - 120 A/19 V 150 A/28 V - 200 A/31 V 100 A/14 V - 200 A/16 V 250 A/26 V - 350 A/29 V	0,3 - 1,0 1,0 - 3,0 1,0 - 3,5 2,5 - 4,0

Höhere Strom- und Spannungswerte führen zu höheren Emissionsraten.

Tabelle 11: Schweißrauchzusammensetzung beim MAG/MIG-Schweißen mit hoch chrom- und nickelhaltigen Drahtelektroden

Schweißzusatz	Hersteller	Drahtdurchmesser (mm)	Schweißparameterbereich	Schweißrauchzusammensetzung (Gew.-%)					
				Cr	Ni	Mn	Cr(VI)	Leitkomponente	Berechn. Schweißrauchkonzentration (mg/m ³)
SG-X2 Cr-Ni 18 9	D	1,2	120 A/19,5 V - 190 A/22 V 210 A/29 V - 250 A/31,5 V	9,0-10,4	5,7-6,5	3,1-3,7	0,3-0,5	Ni	7,7
				11,7-15,0	4,3-5,7	12,1-15,0	0,5-0,9	Mn	3,3
SG-X2 CrNiMo 19 12	D	0,8	60 A/17 V - 120 A/21 V 140 A/26 V - 180 A/30 V	8,9-9,7	4,6-5,6	8,1-9,0	0,5-0,6	Mn	5,5
				10,6-11,0	3,2-4,2	15,1-23,8	0,6-0,9	Mn	2,1
	B	1,2	100 A/16 V - 180 A/18 V 220 A/27 V - 320 A/30 V	7,9-9,5	5,9-7,6	6,5-7,1	0,6-1,0	Ni	6,5
				9,6-12,9	5,8-6,1	7,8-10,8	0,3-0,5	Mn	4,6
	D	1,6	100 A/14 V - 200 A/16 V 250 A/25 V - 350 A/27 V	9,0-10,6	4,1-5,8	7,1-9,6	0,4-0,7	Mn	5,2
				10,8-14,1	3,6-4,7	8,2-13,8	0,1-0,2	Mn	3,6
SG-X5 CrNiMoNb 19 12	B	1,2	100 A/15 V - 180 A/18 V 220 A/27 V - 300 A/29 V	11,1-12,5	7,8-9,1	8,5-10,8	0,6-0,8	Mn	4,6
				15,2-19,9	6,6-6,7	10,0-14,4	0,3-0,6	Mn	3,5
	A	1,6	100 A/13 V - 200 A/16 V 250 A/25 V - 350 A/28 V	7,1-9,3	3,1-4,5	8,7-9,7	0,4-0,6	Mn	5,2
				8,8-9,8	3,0-4,6	9,5-11,4	0,3-0,6	Mn	4,4
S - NiCr20Nb	A	1,2	120 A/17 V - 180 A/19 V 210 A/28,5 V - 270 A/3,5 V	10,2-11,2	42,0-47,2	6,2-7,9	0,8-0,9	Ni	1,0
				8,8-13,1	29,4-36,4	6,7-12,9	0,5-1,0	Ni	1,4

- Liegt die berechnete Schweißrauchkonzentration über 3 mg/m³ A, gilt 3 mg/m³ A als „Obergrenze“ für die Gesamt-Schweißrauchkonzentration am Arbeitsplatz.
- Liegt die berechnete Schweißrauchkonzentration unter 3 mg/m³ A, gilt diese als „Obergrenze“ für die Gesamt-Schweißrauchkonzentration am Arbeitsplatz.

Tabelle 12: Schweißrauchentstehung beim Lichtbogenhandschweißen und beim MAG/MIG-Schweißen (gleicher Chrom und Nickel-Gehalt: 19/12)

Schweißzusatz	Schweißstrom I (A)	Spannung U (V)	Rauchemission R _m (mg/s)
<u>Stabelektrode</u>			
E 19 12 3 nC R26			
∅ 3,25	80	23	2,5
	90	24	2,7
	100	25	3,7
	110	25	4,8
∅ 4,0	110	27	4,5
	120	27	5,4
	130	27	6,5
	140	28	7,2
<u>Drahtelektrode</u>			
SG X2 CrNiMo 19 12			
∅ 0,8	60	17	0,6
	90	20	0,9
	120	21	1,3
	140	25	0,4
	160	28	0,7
	180	30	1,6
∅ 1,2	100	16	0,6
	140	17	1,1
	180	18	1,9
	220	27	1,9
	260	29	3,3
	320	31	4,4

BGI 616

Tabelle 13: Zusatzwerkstoff-Grundwerkstoff-Kombinationen beim Metall-Schutzgas-schweißen (MAG/MIG) mit mittel- und hochlegierten Drahtelektroden

Grundwerkstoff	Drahtelektrode		Richtanalyse der Drahtelektrode (Gew.-%)			Schutzgas
	DIN-Kurzname	DIN-Bezeichnung	Durchmesser (mm)	Ni	Cr	
GG (Grauguss)	DIN 8573 SG NiFe	1,2	ca. 52,0 - 60,0	-	-	Corgon 2
X8 Ni 9	DIN 1736 S-NiCr 20 Nb	1,2	≥ 67,0	18,0 - 22,0	2,5-3,5	Ar
Nickel ¹⁾	DIN 1736 S-NiTi 4	1,2	≥ 93,0	-	≤ 0,5	Ar
X8 Ni 9	DIN 8556 SG X 20 CrNiMnW 17 13	1,2	12,0 - 14,0	16,0 - 18,0	6,0 - 8,0	Argon S2
X10 CrNiTi 18 9	DIN 8556 SG X 10 CrNiMn 18 8	1,2	8,0 - 9,5	17,0 - 20,0	5,5 - 7,5	Argon S2
X10 CrNiTi 18 9	DIN 8556 SG X 5 CrNiNb 19 9	1,2	8,0 - 10,0	18,0 - 20,0	≤ 2,0	Argon S2
GG (Grauguss) ²⁾	DIN 8573 SG NiFe	1,2	ca. 52,0 - 60,0	-	-	Argon S2
St 37-2	NiMoCr	1,6	1,45	0,20	1,70	CO ₂
St 37-2	DIN 8573 SG NiFe	1,2	ca. 52,0 - 60,0	-	-	Corgon 2

¹⁾ Als Grundwerkstoff diene eine Nickelplattierung auf Grauguss, die mit Hilfe einer Stabelektrode mit Reinnickel-Kerndraht für Gusseisenkaltschweißung erstellt worden war.
²⁾ Grauguss auf Vorwärmtemperatur T = 100 °C vorgewärmt.

Tabelle 14: Menge und Zusammensetzung der beim Metall-Schutzgasschweißen (MAG/MIG) mit mittel- und hochlegierten Drahtelektroden entstehenden Schweißrauche

Grundwerkstoff	Drahtelektrode	Schutzgas	U _s (V)	I _s (A)	Schweiß- rauch- emission (mg/s)	Schweißrauch- zusammensetzung (Gew.-%)		
						Ni	Cr	Mn
GG (Grauguss)	DIN 8573 SG NiFe	Corgon 2	23	170	13,4	29,8	n. b. ²⁾	n. b.
X8 Ni 9	DIN 1736 S-NiCr 20 Nb	Ar	25	210	1,9	30,2	13,8	n. b.
Nickel	DIN 1736 S-NiTi 4	Ar	25	250	1,66	≈ 61	n. b.	n. b.
X8 Ni 9	DIN 8556 SG X 20 CrNiMnW 17 13	Argon S2	28	200	5,1	2,58	7,6	ca. 35
X10 CrNiTi 18 9	DIN 8556 SG X 10 CrNiMn 18 8	Argon S2	28	210	4,1	1,57	8,67	n. b.
X10 CrNiTi 18 9	DIN 8556 SG X 5 CrNiNb 19 9	Argon S2	27	210	2,0	1,93	12,42	n. b.
GG (Grauguss)	DIN 8573 SG NiFe	Argon S2	25	170	16,5	n. b.	n. b.	n. b.
St 37-2	NiMoCr	CO ₂	25	190	7,3	0,69	0,2	6,1
St 37-2	DIN 8573 SG NiFe	Corgon 2	24	170	6,5	n. b.	n. b.	n. b.
GG (Grauguss) ¹⁾	DIN 8573 SG NiFe	Corgon 2	24	170	15,7	n. b.	n. b.	n. b.

¹⁾ auf T_v = 400 °C vorgewärmt
²⁾ n. b. = nicht bestimmt

Tabelle 15: Menge und Zusammensetzung der beim Schweißen von hochlegierten Werkstoffen entstehenden Schweißrauche: Vergleich zwischen Metall-Schutzgasschweißen (MAG/MIG) und Lichtbogenhandschweißen

Grundwerkstoff	Metall-Schutzgasschweißen				Metall-Lichtbogenhandschweißen			
	Drathlektrode	Schweißrauchemission (mg/s)	Schweißrauchzusammensetzung (Gew.-%)		Stabelektrode	Schweißrauchemission (mg/s)	Schweißrauchzusammensetzung (Gew.-%)	
			Ni	Cr ¹⁾			Ni	Cr ²⁾
GG (Grauguss)	DIN 8573 SG NiFe	13,4	29,8	-	DIN 8573 ENiFe BGI	3,4	1,6	-
X8 Ni 9	DIN 1736 S-NiCr 20 Nb	1,9	30,2	13,8	DIN 1736 S-NiCr 15 FeMn	4,2	5,0	4,3
X8 Ni 9	DIN 8556 SG X 20 CrNiMnNb 1713	5,1	2,58	7,6	DIN 8556 E 1713 Mn 9 W3B 20+	3,8	1,5	2,5
X10 CrNiTi 189	DIN 8556 SG X 10 CrNiMn 15 8	4,1	1,57	8,67	DIN 8556 E 18 8 Mn 6 B 20+	3,2	0,7	3,7
X10 CrNiTi 189	DIN 8556 SG X 5 CrNiNb 19 9	2,0	1,93	12,42	DIN 8556 E 19 9 nCr 26	2,5	0,4	4,2

1) Vorwiegend als Chrom(III)-Verbindungen

2) Vorwiegend als Chrom(VI)-Verbindungen (Chromate)

Tabelle 16: Lichtbogenhandschweißen mit hochlegierten und NE-Metall umhüllten Stabelektroden; Emission und chemische Zusammensetzung der Schweißbrauche

Grundwerkstoff	Schweißzusatzwerkstoff (Stabelektrode)				Schweißbrauche									
	Bezeichnung	Chemische Zusammensetzung (Gew.-%)			Emission (mg/s)	Chemische Zusammensetzung (Gew.-%)								
Bezeichnung	Ni	Cr	sonst.		Ni	Cr	Co	Cu	Cr	Ni	Co	Mn	Ca	Ba
	DIN 1733													
Kupfer	-	-	98		-	-	-	11,3	-	-	-	n. b.	-	-
Kupfer	29 - 32	-	67 - 70 Cu		10,59	1,52	-	11,5	-	-	-	0,82	3,35	-
	DIN 1736													
Nickel	93	-	-		6,32	4,40	-	-	-	-	-	n. b.	n. b.	-
Nickel	62	-	27 - 35 Cu		6,27	3,25	-	5,97	-	-	-	2,04	4,32	-
X 8 Ni 9	67	15,5 - 17,0	-		4,22	5,00	4,30	-	-	-	-	9,70	2,10	-
	DIN 8555													
St37 - 2	-	24,0 - 32,0	48 - 54 W		12,27	-	11,88	-	-	-	-	-	n. b.	-
St37 - 2	-	29,0 - 31,0	61 - 65 Co		6,35	1,60	16,00	-	-	11,6	3,70	0,10	0,10	-
St37 - 2	-	32,0 - 35,0	-		9,26	0,10	14,50	-	-	26,7	1,20	2,40	2,40	-
St37 - 2	-	20,0 - 24,0	-		20,68	-	6,96	-	-	-	-	-	n. b.	-

Tabelle 16 (Fortsetzung): Lichtbogenhandschweißen mit hochlegierten und NE-Metall umhüllten Stabelektroden;
Emission und chemische Zusammensetzung der Schweißbrauche

Grundwerkstoff	Schweißzusatzwerkstoff (Stabelektrode)				Schweißbrauche							
	Bezeichnung	Chemische Zusammensetzung (Gew.-%)			Emission (mg/s)	Chemische Zusammensetzung (Gew.-%)						
Bezeichnung	Ni	Cr	sonst.			Ni	Cr ¹⁾	Cu	Co	Mn	Ca	Ba
	DIN 8556											
X10 CrNiTi 18 9	E 30 B20+	27,0 - 30,0	-	3,43	-	6,05	-	-	n. b.	n. b.	-	
X10 CrNiTi 18 9	E 25 20 B20+	19 - 22	-	2,64	1,10	6,11	-	-	n. b.	n. b.	-	
X10 CrNiTi 18 9	E 25 20 R26	19 - 22	-	7,56	1,40	6,78	-	-	n. b.	n. b.	-	
X10 CrNiTi 18 9	E 18 36 B20 +	34 - 38	-	4,48	2,90	4,90	-	-	n. b.	n. b.	-	
X 8 Ni 9	E 17 13 Mn9 W 3 B20+	12 - 14	-	3,82	1,50	2,50	-	-	14,0	2,60	-	
X10 CrNiTi 18 9	E 19 9 nC R26	8 - 11	-	2,52	0,40	4,20	-	-	3,30	0,80	-	
X10 CrNiTi 18 9	E 18 8 Mn 6 B20+	7,5 - 9	-	3,20	0,70	3,70	-	-	19,6	17,40	-	
	DIN 8573											
GG (Grauguss)	E NiCu BG1			6,56	5,08	-	8,72	-	0,82	11,80	n. b.	
GG (Grauguss)	E Ni BG 1	92	-	3,25	1,00	-	-	-	0,10	13,20	26,0	
GG (Grauguss)	E NiFe BG 1	52	-	3,45	1,60	-	-	-	0,20	19,30	32,0	

n. b. = nicht bestimmt

1) vorwiegend als Cr(VI) – Verbindung (Chromat)

Tabelle 17: Metall-Schutzgasschweißen mit mittel- und hochlegierten Drahtelektroden; Emission und chemische Zusammensetzung der Schweißbrauche

Grundwerkstoff	Schweißzusatzwerkstoff (Drahtelektrode)				Schweißbrauche						
	Bezeichnung	Durchmesser (mm)	Chemische Zusammensetzung (Gew.-%)		Emission (mg/s)	Quantitative Analyse (Gew.-%)		Leitkomponente	Berechn. Schweißbrauchkonzentration (mg/m³)		
			Ni	Cr		Mn	Ni			Cr ²⁾	Mn
GG (Grauguss)	DIN 8573 SG NiFe	1,2	ca. 52,0 - 60,0				29,80	n. b.	n. b.	Ni	1,7
X8 Ni 9	DIN 1736 S-NiCr 20 Nb	1,2	≥ 67,0	18,0 - 22,0	2,5 - 3,5		30,20	13,80	n. b.	Ni	1,7
Nickel ¹⁾	DIN 1736 S-NiTi 4	1,2	≥ 93,4		≤ 0,5		≈ 61,00	n. b.	n. b.	Ni	0,8
X8 Ni 9	DIN 8556 SG X 20 CrNiMn W 17 13	1,2	12,0 - 14,0	16,0 - 18,0	6,0 - 8,0		2,58	7,60	ca. 35	Mn	1,4
X10 CrNiTi 18 9	DIN 8556 SG X 10 CrNiMn 18 8	1,2	8,0 - 9,5	17,0 - 20,0	5,5 - 7,5		1,57	8,67	n. b.	Ni	32,0
X10 CrNiTi 18 9	DIN 8556 SG X 5 CrNiMn 19 9	1,2	8,0 - 10,0	18,0 - 20,0	≤ 2,0		1,93	12,42	n. b.	Ni	26,0
GG (Grauguss)	DIN 8573 SG NiFe ³⁾	1,2	ca. 52,0 - 60,0				n. b.	n. b.	n. b.		
§ 37-2	NiMoCr	1,2	1,45	0,20	1,70		0,69	0,20	6,1	Mn	8,2
§ 37-2	DIN 8573 SG NiFe ⁴⁾	1,2	ca. 52,0 - 60,0				n. b.	n. b.	n. b.		

1) Als Grundwerkstoff dient hier eine Nickelplattierung auf Grauguss, die mit Hilfe einer Stabelektrode mit Reinnickel-Kerndraht für Gussisenkaltschweißung erstellt wurde
 2) Beim MAG-Schweißen von CrNi-Stählen liegt Chrom fast ausschließlich als Cr(III) vor
 3) Schutzgas: Argon S2
 4) Schutzgas: Corgon2

- **Liegt die berechnete Schweißbrauchkonzentration über 3 mg/m³ A, gilt 3 mg/m³ A als „Obergrenze“ für die Gesamt-Schweißbrauchkonzentration am Arbeitsplatz.**
- **Liegt die berechnete Schweißbrauchkonzentration unter 3 mg/m³ A, gilt diese als „Obergrenze“ für die Gesamt-Schweißbrauchkonzentration am Arbeitsplatz.**

**Tabelle 18: MIG-Schweißen mit Nickelbasis-Zusatzwerkstoffen;
Emission und chemische Zusammensetzung der Schweißbrauche**

Zusatzwerkstoffe	Schutzgase	Emissionsrate (mg/s)	Analyse der Schweißbrauche (Gew.-%)						
			Ni	Cr ¹⁾	Mo	Cu	Ti	Leitkomponente	Berechn. Schweißbrauchkonzentration (mg/m ³)
SG-NiCr 23 Mo 16	Cronigon® He 30 S	2,20	43,9	11,8	8,4	-	-	Ni	1,1
SG-NiTi 4	Cronigon® He 30 S	2,80	68,5	-	-	-	1,1	Ni	0,73
SG-NiMo 28 Cr	Argon	1,05	50,0	-	4,8	-	-	Ni	1,0
SG-NiMo 28 Cr	Varigon® He 50	1,56	56,1	-	11,2	-	-	Ni	0,9
SG-NiMo 28 Cr	Cronigon® He 50 S	1,01	51,8	-	4,3	-	-	Ni	1,0
SG-NiMo 28 Cr	Cronigon® He 50 S	1,96	50,0	-	5,3	-	-	Ni	1,0
SG-CuNi 30 Fe	Cronigon® He 50 S	3,58	18,7	-	-	61,5	-	Cu	0,16

1) Die Bestimmung von Cr(VI) war bei dieser Untersuchung nicht möglich, da der übliche Lösungsweg nicht möglich war. Aus der Literatur ist bekannt, dass vorwiegend Cr(III)-Verbindungen entstehen.

Beim Schweißen mit CuNi 30 Fe enthalten die Rauche sehr hohe Cu-Anteile. Die Einhaltung des Cu-Grenzwertes ist hier sehr schwierig. Das Tragen von mit Frischluft belüfteten Helmen – zusätzlich zur unmittelbaren Schweißbraucherfassung (Absaugung) – wird hier dringend empfohlen.

Tabelle 19: MIG-Schweißen mit Nickelbasis-Zusatzwerkstoffen (Impulslichtbogen, Ø 1,2 mm); Emission und chemische Zusammensetzung der Schweißbrauche

	Zusatzwerkstoffe chemische Zusammensetzung (Gew.-%)						Schweißbrauche chemische Zusammensetzung (Gew.-%)								
	Ni	Cr	Fe	Cu	Mo	Ti	andere Elemente	Emissionsrate ¹⁾ (mg/s)	Ni	Cr(VI)	Mn	Mo	Fe	Co	Cu
1	≥ 93	-	-	-	-	3,0	-	0,6 - 3,0	56 - 87 ¹⁾	-	-	-	-	-	-
2	≥ 62	-	-	32,0	-	2,5	Mn 3,5	2,0 - 2,7	23 - 31 ¹⁾	-	-	-	-	-	40 - 53 ¹⁾
3	≥ 59	-	39,0	-	-	-	Mn 1,0	1,5 - 1,8	40 - 50 ¹⁾	-	-	-	12 - 25 ¹⁾	-	-
4	≥ 35	20	6,0	-	5,5	2,0	Co 20,0	1,6 - 1,8	30	0,8	-	2,9	-	8,7	-
5	≥ 66	-	1,0	-	28,0	-	-	0,8 - 1,4	49	-	-	10	-	-	-
6	≥ 67	20	2,0	-	-	-	Mn 3,0 Nb 2,0	0,5 - 2,4	31 - 38 ¹⁾	0,4 - 0,5 ¹⁾	12 - 15 ¹⁾	-	-	-	-

1) je nach Schutzgas-Zusammensetzung

Beim Zusatzwerkstoff 1 und 2 ist die niedrigste Emission bei der Anwendung von Argon als Schutzgas.
 Beim Zusatzwerkstoff 3 und 4 ist die niedrigste Emission bei der Anwendung von Argon/Helium 50 - 50 als Schutzgas.
 Beim Zusatzwerkstoff 5 ist die niedrigste Emission bei der Anwendung von Dreistoffgas (0,05 % CO₂, 50 % He, Rest Ar) als Schutzgas.
 Beim Zusatzwerkstoff 6 ist die niedrigste Emission bei der Anwendung von Argon als Schutzgas.

Tabelle 20: Zusatzwerkstoff-Grundwerkstoff-Kombination beim Schweißen mit bariumhaltigen Elektroden

Grundwerkstoff	DIN-Bezeichnung	Stablektrode Richtanalyse des reinen Schweißgutes ¹⁾ (Gew.-%)				
		Fe	Mn	Cr	Ni	sonstige
St 37	DIN 1913	Basis	1,2			
St 37		Basis	0,5			
X5 CrNi 18 9	DIN 8556	Basis	6,0	18,0	8,0	
X5 CrNi 18 9		Basis	6,0	19,0	8,0	
St 37	DIN 8555	Basis	0,4	9,0		
Messing, Grauguss 25	DIN 1733	S-CuSn 7				Cu: Basis, Sn: 5,8
Grauguss	DIN 8573	E-Ni ²⁾	2,0 - 4,0		Basis	Cu: 30
Grauguss		E-NiCu ²⁾	3,5		Basis	
Grauguss		E-NiFe ²⁾	43,0 - 45,0		53,0 - 54,0	
Grauguss	Ohne Normbezeichnung	Ni-Elektrode			Basis	
Grauguss		NiFe-Elektrode	40,0		60	
St 37		Fülldraht A ³⁾				ohne Angaben
St 37		Fülldraht B ³⁾				ohne Angaben
St 37		Fülldraht C ³⁾				ohne Angaben

1) Herstellerangaben

2) je nach Hersteller Umhüllungstyp BG1, BG3 oder G3

3) selbstschützende Fülldrahtelektroden

Tabelle 21: Schweißrauchemission bei Verwendung von Stabelektroden zum Schweißen von Gusseisen

Stabelektrode	Hersteller	Durchmesser (mm)	Stromart/ Polung	Schweißparameterbereich	Schweißrauchemission (mg/s)
Ni-Elektrode	B	2,5	= +	80 A/18 V - 110 A/20 V	4,0 - 7,5
		3,25	= +	120 A/15 V - 150 A/20 V	5,5 - 12,5
		4	= +	150 A/18 V - 180 A/21 V	11,0 - 17,0
		5	= +	180 A/20 V - 210 A/21,5 V	12,5 - 18,0
E Ni BG3	D	3,25	= -	70 A/11 V - 110 A/11 V	1,0 - 2,0
		5	= -	120 A/17 V - 160 A/20 V	4,0 - 9,0
		5	≈	120 A/20 V - 160 A/23 V	5,0 - 8,0
E Ni BG1	A	2,5	= -	50 A/16 V - 100 A/19 V	3,0 - 5,0
		4	= -	90 A/17 V - 150 A/15 V	3,0 - 4,5
		5	= -	120 A/17 V - 180 A/21 V	4,5 - 10,5
		5	≈	120 A/18 V - 180 A/20 V	4,5 - 9,0
		5	= +	120 A/18 V - 180 A/21 V	5,5 - 15,5
E NiFe BG1	A	2,5	= +	50 A/18 V - 80 A/24 V	2,5 - 7,5
		3,25	= +	80 A/17,5 V - 120 A/21 V	4,5 - 10,0
		4,0	= +	110 A/18 V - 140 A/21,5 V	7,0 - 11,0
E NiFe BG1	A	3,25	= -	90 A/12,5 V - 150 A/13,5 V	2,0 - 3,0
		4	= -	100 A/15 V - 180 A/18 V	3,5 - 8,0
E NiCu BG3	D	3,25	= -	90 A/12 V - 120 A/14 V	1,5 - 3,0
		3,25	≈	110 A/16,6 V	3,5
		3,25	= +	110 A/16 V	7,5
		4	= -	110 A/15 V - 140 A/15 V	2,5 - 3,5
E NiCu G3	C	3,25	= -	80 A/13 V - 110 A/14,5 V	2,5 - 4,5
		4	= -	110 A/14 V - 150 A/15 V	3,0 - 5,5

Die Schweißrauchemission steigt mit steigender Stromstärke und Spannung. Höhere Elektrodendurchmesser führen zu höheren Rauchemissionen als niedrige Durchmesser. Auch minusgepolte Stabelektroden führen häufig zu einem Anstieg der Rauchemission.

Tabelle 22: Schweißrauchemission bei Verwendung verschiedener bariumhaltiger Stabelektroden

Stabelektrode	Hersteller	Durchmesser (mm)	Stromart/ Polung	Schweißparameterbereich	Schweißrauchemission (mg/s)
E 51 22 RR (C) 6	B	2,5	==	70 A/21 V - 100 A/23 V	2,5 - 5,0
		3,25	==	130 A/24 V - 160 A/28 V	6,5 - 9,5
		4	==	170 A/22 V - 200 A/24 V	6,5 - 10,0
		5	==	190 A/24 V - 240 A/27 V	9,0 - 13,0
		5	≈	190 A/24 V - 240 A/27 V	7,5 - 12,0
E 18 8 Mn 6 MPR 36 160	A	2,5	==	75 A/18 V - 105 A/19 V	1,5 - 3,0
		3,25	==	110 A/18 V - 150 A/20 V	2,0 - 4,0
		4	==	140 A/19 V - 200 A/23 V	3,0 - 6,5
		5	==	210 A/22 V - 260 A/26 V	7,5 - 12,5
		5	≈	210 A/22 V - 260 A/26 V	5,0 - 10,5
E 18 8 Mn 6 R26	B	2,5	==	55 A/20 V - 85 A/24 V	2,0 - 4,0
		2,5	≈	55 A/22,5 V - 85 A/24,5 V	2,0 - 4,0
		3,25	==	75 A/20 V - 105 A/23,5 V	1,5 - 3,5
		3,25	≈	75 A/21,5 V - 105 A/24 V	2,0 - 3,5
		4	==	105 A/19,5 V - 135 A/21,5 V	2,5 - 5,0
4	≈	105 A/21,5 V - 135 A/24 V	2,5 - 3,5		
5	==	145 A/21,5 V - 170 A/23 V	5,5 - 9,5		
5	≈	145 A/22,5 V - 175 A/24,5 V	5,0 - 7,5		

Die Schweißrauchemission steigt mit steigender Stromstärke und Spannung. Höhere Elektrodendurchmesser führen zu höheren Rauchemissionen als niedrige Durchmesser. Auch minusgepolte Stabelektroden führen häufig zu einem Anstieg der Rauchemission.

Tabelle 23: Chemische Zusammensetzung der Schweißbrauche bariumhaltiger Stabelektroden (Ø 3,25 mm)

Stabelektrode	Hersteller	Strom- art/ Polung	Strom/ Spannung (A)/V	Schweißbrauchzusammensetzung (Gew.-%)										Leit- kompo- nente	Berechn. Schweißbrauch- konzentration (mg/m ³)	
				Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Mn	Na	Ni	Sr			
E 51 55 B10	A	+ -	140/25	0,14	8,0			16,5	16,4	3,6	5,2				Mn	13,8
E 51 22 RR(C)16	B	- -	160/27	0,40	0,02			27,4	10,8	4,5	n. b.				Fe	10,9
E 18 8 Mn 6 MPR 36 160	A	- -	150/21	0,21	0,25	5,0		14,8	8,8	18,2	4,3	1,6			Mn	2,7
E 18 8 Mn 6 R26	B	+ +	100/22	3,2	0,47	4,2		6,6	16,0	14,2	1,6	0,9			Mn	3,5
E 6-60 umhüllt	A	- -	100/22	0,98	9,8			10,6	19,0	1,2	n. b.				Fe	28,3
E Ni BG 1	A	- -	130/13	34,0	4,6			1,2	4,2	0,16	n. b.	0,65	0,10		Ba	1,5
Ni-Elektrode	B	+ +	140/16	24,8	8,2			1,3	0,65	0,30	5,9	13,4	0,32		Ba	2
E Ni G3	C	- -	110/13	37,5	10,9			1,5	5,8	0,16	n. b.	2,7	0,38		Ba	1,3
E Ni BG3	D	- -	110/11	31,0	12,6			2,6	4,5	0,08	2,6	0,85	n. b.		Ba	1,35
E NiFe BG1	A	+ +	120/20	29,9	7,1			5,6	n. b.	0,97	n. b.	5,3	n. b.		Ba	1,7
NiFe-Elektrode	B	+ +	110/20	0,51	7,3			4,9	0,34	0,72	5,5	4,4	24,8		Ni	11,4
E NiFe G3	C	- -	110/14	31,9	3,8			1,1	4,4	0,17	n. b.	1,1	n. b.		Ba	1,6
E NiFe BG1	A	- -	150/13	23,7	8,8			2,1	4,9	0,25	n. b.	1,1	n. b.		Ba	2,1
E NiCu BG1	A	+ +	110/20	23,4	6,2		8,1	1,3	4,6	0,68	n. b.	4,2	n. b.		Ba	2,1
E NiCu G3	C	- -	110/14	29,8	3,1		1,6	0,76	6,5	0,28	n. b.	1,1	n. b.		Ba	1,7

Tabelle 23 (Fortsetzung): Chemische Zusammensetzung der Schweißrauche bariumhaltiger Stabelektroden
(\varnothing 3,25 mm)

Stabelektrode	Hersteller	Strom- art/ Polung	Strom/Spannung (A)/[V]	Schweißrauchzusammensetzung (Gew.-%)										Berechn. Schweißrauch- konzentration (mg/m ³)
				Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Mn	Na	Ni	Sr	
E NiCu BC3	D	--	110/13	24,3	10,4	1,7	2,3	0,76	0,57	6,5	0,67	n. b.	Ba	2,0
Ni-Elektrode (60% BaCO ₃) ¹⁾	E	++	140/15	41,4	1,0		0,78	0,24	2,0	5,3	4,4	0,25	Ba	1,2
Ni-Elektrode (7,5% BaCO ₃) ¹⁾	E	++	140/17	6,2	1,0		n. b.	0,22	1,8	10,2	22,4	14,6	Ni	2,2

n. b. = nicht bestimmt

1) Elektroden- \varnothing 4 mm

Im Bereich sehr hoher BaCO₃-Anteile von mehr als 30 % in der Umhüllung wurde ein signifikanter Einfluss auf die Rauchensteigerung festgestellt. Bei Schweißrauchen mit hohem Barium(Ba)-Anteil im Schweißrauch ist „Barium-Verbindungen“ die Leitkomponente. Die entsprechende „berechnete Schweißrauchkonzentration“ liegt immer unter 3 mg/m³ A. Eine wirksame Absaugung im Entstehungsbereich dieser Rauche ist notwendig.

– Liegt die berechnete Schweißrauchkonzentration (SRK) über 3 mg/m³ A, gilt 3 mg/m³ A als „Obergrenze“ für die Gesamtschweißrauchkonzentration am Arbeitsplatz.

– Liegt die berechnete Schweißrauchkonzentration (SRK) unter 3 mg/m³ A, gilt die jeweils berechnete SRK für die Leitkomponente als „Obergrenze“ für die Gesamtschweißrauchkonzentration am Arbeitsplatz.

Tabelle 24: Chemische Zusammensetzung der Schweißbrauche einiger bariumhaltiger Fülldrahtelektroden (DC-)

Elektrode	Strom- art/ Polung	Strom-/Spannung (A)/[V]	Schweißbrauch- emission (mg/s)	Schweißbrauchzusammensetzung (Gew.-%)								Leit- kompo- nente	Berechn. Schweißbrauch- konzentration (mg/m ³)
				Ba	Ca	Fe	K	Mn	Ni	Mg	Al		
Fülldraht A	= -	310/23	35	31,7	0,14	10,6	1,0	0,2	0,30	8,0	3,8	Ba	1,6
Fülldraht B	= -	265/21	38	30,4	n. b.	13,1	0,92	1,4	0,23	6,7	n. b.	Ba	1,6
Fülldraht C	= +	545/33	42	5,4	n. b.	38,7	n. b.	1,6	n. b.	3,1	7,8	Fe	7,75

n. b. = nicht bestimmt

- Liegt die berechnete Schweißrauchkonzentration (SRK) über 3 mg/m³ A, gilt 3 mg/m³ A als „Obergrenze“ für die Gesamt-Schweißrauchkonzentration am Arbeitsplatz.
- Liegt die berechnete Schweißrauchkonzentration (SRK) unter 3 mg/m³ A, gilt die jeweils berechnete SRK für die Leitkomponente als „Obergrenze“ für die Gesamt-Schweißrauchkonzentration am Arbeitsplatz.

Tabelle 25: Einfluss des Grundwerkstoffes auf die chemische Zusammensetzung der Schweißrauche bariumhaltiger Fülldrahtelektroden (DC-)

Grundwerkstoff	Schweißrauchzusammensetzung (Gew.-%)									
	Ba	Ca	Cu	Fe	K	Mn	Na	Pb	Sr	Zn
Messing	5,4	5,9	20,1	0,84	1,1	0,09	1,3	0,84	0,05	30,3
GG (Grauguss) 25	8,2	8,5	7,4	2,8	5,4	0,43	4,7	0,24	0,08	4,0

Die hohen Anteile von Zink im Schweißrauch sind auf das Verdampfen von Zink aus dem Grundwerkstoff zurückzuführen. Dieses Zink-Verdampfen führt auch zu einem Anstieg der Rauchemission.

Tabelle 26: Schweißrauchkomponenten bei unterschiedlicher Umhüllungszusammensetzung bariumhaltiger Elektroden (Elektroden Durchmesser 4 mm, DC+, 140 A/17 V)

Umhüllungsanteile (%)			Schweißrauchkomponenten (Gew.-%)		
BaCO ₃	SrCO ₃	C	Ba	Ni	Sr
60		10,5	41,4	4,4	0,25
45	17,5	8,0	18,1	4,9	3,6
30	35,2	5,3	16,4	9,3	7,6
15	52,9	2,6	7,0	19,3	6,4
7,5	61,7	1,3	6,2	22,4	14,6

Die chemische Zusammensetzung der Umhüllung beeinflusst die Zusammensetzung der Schweißrauche. Höhere Anteile von Bariumcarbonat in der Umhüllung führen zu höheren Anteilen von Bariumverbindungen im Schweißrauch. Durch den Einsatz von SrCO₃ erfolgt eine drastische Reduzierung der Bariumanteile im Schweißrauch bei gleichzeitigem Anstieg des Nickelanteiles.

Tabelle 27: Schweißrauchemission und Schweißrauchzusammensetzung beim Lichtbogenhandschweißen mit einigen legierten Stabelektroden nach DIN 1733, DIN 1736, DIN 8555, DIN 8556, DIN 8556 und DIN 8575 (Stabelektrodenendurchmesser: 4,0 mm)

Stabelektrode	Schweißstrom (A)	Stromart/ Polung	Schweißrauchemission (mg/s)	Schweißrauchzusammensetzung (Gew.-%)									
				Fe	Mo	F ⁻	Cr(III)	Cr(V)	Ni	Cu	Pb	Co	V
DIN 8575													
E Kb CrMo 1	150	==	7	20	4,8	19	0,08	0,35	0,006	0,02	0,08		
E Kb CrMo 2	150	==	7	18	4,2	15	0,15	0,50	0,010	0,02	0,10		
E Kb CrMo 5	155	==	7		4,5	18		1,22	0,010	0,01	0,14		
E Kb CrMo 9	160	==	8		4,0	20	0,02	2,00	0,010	0,01	0,13		
DIN 8556													
E 19 9 nCr	150	==	4	6	3,0	17	1,0	4,0	0,50	0,02	0,10		
E 19 9 3 nCr	150	==	5	6	2,8	18	1,1	4,5	0,56	0,02	0,07		
E 19 12 2 Nb R	140	==	4,5		2,7	14		3,4	0,70	0,04	0,12		
E 19 12 3 nCr	140	==	4,3	7	3,0	16	1,2	3,5	0,70				
E 19 12 3 Nb R	130	==	4,5	8	3,0	15	1,0	3,8	0,60				
E 22 12 3 nCr	150	==	3	6	5,0	14	1,4	5,8	0,51	0,02	0,10		
E 18 Mn 6 B	135	==	4,5	7	1,7	19	0,8	3,0	0,60	0,02	0,01		
E 25 20 B	140	==	5	4	5,0	23	1,0	4,2	1,00	0,01	0,02		
DIN 8555													
E1-130	170	==	10	25	2,2	10	0,2	1,0	0,02	0,05	0,01		
E3-50	170	==	13	33	3,3	9	0,2	0,6	0,01	0,03	0,02	0,3	0,17
E4-60	175	==	17	34	3,6	10	0,4	1,4	0,02	0,08	0,02		
E5-45	150	==	7	22	1,2	12	1,2	4,6	0,04	0,07	0,03		
E6-55	155	==	10	30	2	10	1,0	4,0	0,05	0,06	0,02		
E10-60	150	==	22	42	0,5	6	2,7	10,8	0,10	0,03	0,01		
E9-200	135	==	5	10	6,4	13	1,8	7,4	1,20	0,02	0,05		

Tabelle 27 (Fortsetzung): Schweißrauchemission und Schweißrauchzusammensetzung beim Lichtbogenhand-schweißen mit einigen legierten Stabelektroden nach DIN 1733, DIN 1736, DIN 8555, DIN 8556 und DIN 8575 (Stabelektroden Durchmesser: 4,0 mm)

Stabelektrode	Schweißstrom (A)	Stromart/ Polung	Schweißrauch- emission (mg/s)	Schweißrauchzusammensetzung (Gew.-%)																
				Fe	Mo	F ⁻	Cr(III)	Cr(VI)	Ni	Cu	Pb	Co	V							
DIN 1736																				
S-NiTi 3	100	= +	6,3								4,4									
S-NiCr 15	120	= +	6,0	0,6	8,0	24	0,5	2,00		3,8	0,01									0,04
FeMn	130	= +	7	2,8	2,4	8		0,01		3,3	6,00									0,01
S-NiCu 30 Mn																				
DIN 1733																				
S-CuSn	150	= +	13,3																	
S-CuNi 30 Fe	130	= +	12		1					1,5		11,3								

Tabelle 28: Schweißrauchemission und Schweißrauchzusammensetzung beim Schweißen mit verschiedenen Fülldrähten

Fülldrähtyp nach DIN/AWS etc.	Schweißrauchemission (mg/s)	Schweißrauchzusammensetzung (Gew.-%)										Berechn. Schweißrauchkonzentration (mg/m ³)
		Fe	Mn	Cr	Cr(VI)	Ni	Cu	Sonstige	Leitkomponente	18)		
T694Mn2NiCrMo B(M) 3 ¹⁾	16	45,8	6,2	-	-	1,4	0,9	K: 4,2, Mg: 1,8	Fe			6,5
H5T694Mn2NiCrMo ²⁾	7,9	47,1	8,9	<0,02	-	1,1	0,11	K: 0,8, Mg: 2,4	Mn			5,6
MSG 5-GF-40-P ³⁾	8,2	32,8	2,6	3,1	1,1	-	-	Mo: 0,6	Cr(VI)			4,5
MSG 3-GF-45-P ⁴⁾	10,2	28,7	2,9	4,5	2,3	0,9	-	Mo: 0,8	Cr(VI)			2,2
TZ 199 HR M 3 ⁵⁾	6,2	8,9	1,8	7,2	1,8	7,4	-	-	Cr(VI)			2,7
TZ 199 HR M 3 ⁶⁾	7,9	31,1	1,8	8,8	4,3	7,8	-	-	Cr(VI)			1,2
Tmol P M 2 H5 ⁷⁾	4,6	49,9	1,1	-	-	-	-	Mo: 0,9	Fe			6
T 42 2P M 1 H 10 ⁸⁾	3,7	35,6	2,3	-	-	-	-	-	Fe			8,4
T CrMo 1 B M2 H5 ⁹⁾	6,3	48,7	2,7	0,8	<0,02	-	-	Mo: 1,2	Fe			6,2
T 23 12 LR M 3 ¹⁰⁾	9,6	42,0	3,4	8,9	7,3	9,4	-	-	Cr(VI)			0,7
T 23 12 LP M 1 ¹¹⁾	10,2	43,1	3,6	9,2	7,2	10,3	-	-	Cr(VI)			0,7
T 23 12 2 LP M 1 ¹²⁾	7,5	38,7	0,7	10,7	4,1	11,6	-	Mo: 2,2	Cr(VI)			1,2
E 101 T5K3 ¹³⁾	9,3	33,3	1,2	-	-	2,4	-	Mo: 0,4	Fe			9
MFx2 CrNi 24 12 ¹⁴⁾	7,8	28,1	1,6	10,5	4,7	5,3	-	-	Cr(VI)			1,1
E110T5-K4 ¹⁵⁾	8,5	33,8	1,2	0,2	0,1	1,4	-	Mo: 0,7	Fe			8,9

