

Schweißtechnik

Schweißen von metallischen Konstruktionswerkstoffen

Bearbeitet von
Klaus-Jürgen Matthes, Werner Schneider

6., aktualisierte Auflage 2016. Buch. 508 S. Hardcover

ISBN 978 3 446 44561 1

Format (B x L): 20,5 x 24,5 cm

Gewicht: 1213 g

[Weitere Fachgebiete > Technik > Produktionstechnik > Schweißtechnik](#)

schnell und portofrei erhältlich bei



Die Online-Fachbuchhandlung beck-shop.de ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.

HANSER



Leseprobe

Schweißtechnik

Schweißen von metallischen Konstruktionswerkstoffen

Herausgegeben von Klaus-Jürgen Matthes, Werner Schneider

ISBN (Buch): 978-3-446-44561-1

ISBN (E-Book): 978-3-446-44554-3

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-44561-1>

sowie im Buchhandel.

Vorwort

Die schweißtechnische Ausbildung hat in Chemnitz eine langjährige Tradition. Ab dem Jahr 1922 erfolgte eine theoretische und praktische Ausbildung in den Hörsälen und Laborräumen der damaligen Höheren Technischen Lehranstalt. Es wurden die ersten schweißtechnischen Lehrgänge in Verfahrenstechniken des Gas- und Lichtbogenschweißens durchgeführt und Schweißerprüfungen abgenommen. Dieser Tradition fühlen sich die Herausgeber und Autoren verpflichtet.

Forschung, Entwicklung und Anwendung des Schweißens und verwandter Verfahren haben große volkswirtschaftliche Bedeutung. Geschweißte Bauteile finden wir sowohl im Maschinen-, Apparate- und Stahlbau als auch im Automobil-, Schiff- und Flugzeugbau sowie in vielen weiteren technischen Produkten. Die fortschreitende Automatisierung in der Schweißtechnik ermöglicht u. a. auch eine umfassende fertigungstechnische Nutzung physikalischer und chemischer Effekte zum örtlich begrenzten Energieeintrag (Wärme und/oder Druck). Diese unterschiedlichen physikalischen und chemischen Effekte und ihre Kombinationen bilden die Grundlage für die Gliederung dieses Buches und der Verfahrensbeschreibungen.

Neben den theoretischen Grundlagen werden die Schweißverfahren vorgestellt und ihre Anwendungsgebiete aufgezeigt. Schwerpunkte bei den einzelnen Verfahren sind:

- Wirkprinzipien und gerätetechnische Umsetzung,
- Verfahrensmerkmale und Anwendungen,
- Merkblätter und Fachnormen,
- Verfahrensprinzip und Anlagentechnik,
- Verfahrensvarianten,
- Zusatzwerkstoffe,
- Schweißeignung,
- Gestaltungs- und Fertigungshinweise,

- Qualitätsmerkmale, Gütesicherung und Prüfverfahren sowie
- Arbeits- und Gesundheitsschutz.

Schweißen dient dazu, eine Schweißverbindung oder eine geschweißte Beschichtung herzustellen. Voraussetzung für eine qualitätsgerechte Ausführung ist die Berücksichtigung der Einflussfaktoren auf die Schweißbarkeit. Diese Einflussfaktoren umfassen sowohl die konstruktive Gestaltung und die stofflichen Gegebenheiten des zu schweißenden Produkts als auch die fertigungstechnischen Bedingungen. Die fachkundige Ausführung des Schweißvorganges kann nur dann zur qualitätsgerechten Verbindungen führen, wenn das Vorbereiten der Fügestelle und das Nachbereiten sowie Kontrollieren der Verbindung mit Sorgfalt und Umsicht ausgeführt werden. Eine komplexe Berücksichtigung der verschiedenen Einflüsse ist im realen Schweißprozess deshalb in jedem Fall unerlässlich.

Das vorgelegte Lehr- und Fachbuch wendet sich vor allem an Studierende des Maschinenbaus, der Produktionstechnik und der Konstruktionstechnik an Universitäten, Fachhochschulen, Berufsakademien und Weiterbildungseinrichtungen. Es soll ihnen die Möglichkeit geben, den Lernstoff aus den Vorlesungen zu vertiefen sowie Seminare und Übungen gezielt und fundiert vorzubereiten. Natürlich bietet es auch Studienbewerbern die Möglichkeit, sich über das Wissensgebiet „Schweißen und verwandte Verfahren“ umfangreich zu informieren. Nicht zuletzt wird es zur Auffrischung und als Nachschlagewerk für in der Praxis tätige Ingenieure und interessierte Leser nutzbar sein.

Das Buch präsentiert den aktuellen Stand des Fachgebietes und der Fachnormen. Die systematische Gliederung des Buches und die annähernd 800

Begriffe des Sachwortverzeichnisses geben dem Nutzer eine klare Orientierung und ermöglichen ein schnelles Auffinden der gesuchten Texte, Tafeln und Bilder.

Bei der vollständig überarbeiteten 5. Auflage dieses Buches haben neue, sehr fachkompetente Autoren mitgewirkt. In der nun vorliegenden 6. Auflage wurden in erster Linie Aktualisierungen von Normen, Fehlerkorrekturen sowie einige Ergänzungen vorgenommen.

Wir wünschen den Lesern, dass sie die Antworten auf ihre Fragen zu den Schweißverfahren finden und dass trotz der Fülle des Stoffs Klarheit und Verständnis dominieren.

Den Autoren und allen, die an der Fertigstellung dieses Fachbuches maßgeblich mitgearbeitet haben, wird für die gute Zusammenarbeit gedankt.

Die Herausgeber

Inhalt

Vorwort.....	5	3	Schweißen mit Lichtbogen	64
		3.1	<i>Grundlagen der Lichtbogentechnik.....</i>	64
1 Grundlagen	15		3.1.1 Physik des Lichtbogens.....	64
<i>1.1 Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580.....</i>	15		3.1.2 Zünden des Lichtbogens	67
<i>1.2 Fügen durch Schweißen.....</i>	17	3.2	3.1.3 Betrieb des Lichtbogens	68
<i>1.3 Wirkprinzipien beim Schweißen.....</i>	19		<i>Schweißstromquellen zum Lichtbogen-schweißen</i>	70
			3.2.1 Überblick	70
2 Schweißbarkeit	29		3.2.2 Schweißumformer	70
<i>2.1 Grundlagen und Einteilung</i>	29		3.2.3 Schweißtransformatoren.....	71
<i>2.2 Schweißeignung von Stählen</i>	31		3.2.4 Schweißgleichrichter	72
<i>2.3 Schweißsicherheit</i>	36		3.2.5 Schweißumrichter	75
2.3.1 Konstruktive Gestaltung	37		3.2.6 Statische Kennlinien von Schweißstromquellen	75
2.3.2 Beanspruchungszustand.....	40		3.2.7 Dynamische Eigenschaften von Schweißstromquellen.....	76
2.3.3 Regelwerke zur Auslegung von Schweißkonstruktionen.	40		3.2.8 Regelungsprinzipien zur Arbeitspunktstabilisierung ..	77
2.3.4 Anwendung von Finite-Elemente-Methoden zur Bemessung geschweißter Tragwerke.....	43		3.2.9 Modulationsarten bei Impulsstromquellen.....	78
<i>2.4 Schweißmöglichkeit</i>	44	3.3	3.2.10 Angaben auf dem Leistungsschild	79
2.4.1 Grundlagen.....	44		<i>Schweißbrenner zum Lichtbogenschweißen</i>	81
2.4.2 Vorbereitungen zum Schweißen.....	45		3.3.1 Stabelektronenhalter	81
2.4.3 Durchführung des Schweißens.....	47		3.3.2 Stromkontakteeinrichtung zum UP-Schweißen	81
2.4.4 Nacharbeiten beim Schweißen.....	55		3.3.3 Schweißbrenner mit nichtabschmelzender Elektrode.....	82
2.4.5 Anwendung numerischer Simulationen für die Prozessanalyse beim Schweißen.....	55		3.3.4 Schweißbrenner mit abschmelzender Elektrode ...	84
		3.4	3.3.5 Bolzenschweißpistolen	85
<i>2.5 Qualitätssicherung beim Schweißen</i>	56		<i>Drahtvorschubsysteme zum Lichtbogenschweißen</i>	86
<i>2.6 Arbeitsschutz beim Schweißen.....</i>	59		3.4.1 Grundaufbau	86
<i>2.7 Schweißen im Produkt-, Umwelt- und Energiemanagement.....</i>	60		3.4.2 Stirnrollenantrieb.....	86
			3.4.3 Planetarantrieb	88

<p>3.4.4 Bauformen mit potenzialführender Drahtelektrode..... 88</p> <p>3.4.5 Bauformen mit nicht potenzialführender Drahtelektrode..... 89</p> <p>3.4.6 Drahtrichteinheiten 90</p> <p>3.5 Zusatzwerkstoffe zum Lichtbogenschweißen..... 90</p> <p>3.5.1 Stabelektroden..... 90</p> <p>3.5.2 Schweißstäbe 93</p> <p>3.5.3 Massivdrahtelektroden 95</p> <p>3.5.4 Fülldrahtelektroden 98</p> <p>3.5.5 Schweißpulver zum UP-Schweißen..... 101</p> <p>3.5.6 Schweißpulver zum Plasma-Pulver-Auftragschweißen (PTA)..... 104</p> <p>3.5.7 Schweißbolzen 104</p> <p>3.6 Gase zum Lichtbogenschweißen..... 105</p> <p>3.6.1 Aufgaben von Schutzgasen... 105</p> <p>3.6.2 Eigenschaften von Schutzgasen 106</p> <p>3.6.3 Einteilung und Bezeichnung von Schutzgasen..... 107</p> <p>3.6.4 Herstellung von Schutzgasen 107</p> <p>3.6.5 Lieferarten und Entnahmestellen..... 109</p> <p>3.6.6 Kennzeichnung von Druck-gasflaschen..... 110</p> <p>3.7 Lichtbogenhandschweißen (Prozess 111) 111</p> <p>3.7.1 Verfahrensprinzipien und Anlagentechnik..... 111</p> <p>3.7.1.1 Funktionsweise..... 111</p> <p>3.7.1.2 Schweißstromquellen 112</p> <p>3.7.1.3 Elektrodenhalter..... 112</p> <p>3.7.1.4 Stabelektroden..... 112</p> <p>3.7.2 Anwendung 117</p> <p>3.7.2.1 Allgemeines..... 117</p> <p>3.7.2.2 Reparaturhandschweißen 118</p> <p>3.7.2.3 Auftragschweißen 118</p> <p>3.7.2.4 Verbindungsschweißen 118</p> <p>3.7.3 Fertigungshinweise..... 118</p> <p>3.7.3.1 Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung 118</p> <p>3.7.3.2 Zündvorgang 120</p> <p>3.7.3.3 Führen der Elektrode..... 121</p>	<p>3.7.3.4 Schweißparameter..... 123</p> <p>3.7.4 Fehler beim Lichtbogen-handschweißen..... 124</p> <p>3.7.4.1 Häufige Ursachen und Fehlerbilder..... 124</p> <p>3.7.4.2 Poren 124</p> <p>3.7.4.3 Schlackeeinschlüsse 126</p> <p>3.7.4.4 Bindefehler 126</p> <p>3.7.4.5 Geometrische Unregelmä-ßigkeiten 126</p> <p>3.7.5 Gefährdungen für den Schweißer 127</p> <p>3.8 Wolfram-Inertgasschweißen (Prozess 141)..... 127</p> <p>3.8.1 Verfahrensprinzip und Anlagentechnik 128</p> <p>3.8.1.1 Funktionsweise..... 128</p> <p>3.8.1.2 Schutzgase..... 129</p> <p>3.8.1.3 Wolframelektroden 132</p> <p>3.8.1.4 Zusatzwerkstoff 134</p> <p>3.8.1.5 Schweißstromquellen und Brennertechnik..... 134</p> <p>3.8.2 Verfahrensvarianten 135</p> <p>3.8.2.1 Zünden des Lichtbogens 135</p> <p>3.8.2.2 Stromart und Polarität..... 136</p> <p>3.8.2.3 Mechanisierungsgrad..... 139</p> <p>3.8.2.4 WIG-Schweißen mit Zusatz-werkstoff 139</p> <p>3.8.3 Anwendung 141</p> <p>3.8.3.1 Verbindungsschweißen 141</p> <p>3.8.3.2 Reparaturhandschweißen 141</p> <p>3.8.3.3 WIG-Orbitalschweißen 141</p> <p>3.8.3.4 WIG-Punktschweißen 142</p> <p>3.8.3.5 WIG-Engspaltschweißen 143</p> <p>3.8.3.6 WIG-Auftragschweißen 145</p> <p>3.8.3.7 Sonderanwendungen 145</p> <p>3.8.4 Fertigungshinweise..... 146</p> <p>3.8.4.1 Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung 146</p> <p>3.8.4.2 Zündvorgang 146</p> <p>3.8.4.3 Brennerführung 147</p> <p>3.8.4.4 Heften..... 147</p> <p>3.8.4.5 Gasschutz 148</p> <p>3.8.4.6 Richtwerte 149</p> <p>3.8.5 Fehler beim WIG-Schweißen 150</p> <p>3.8.5.1 Gaseinschlüsse 150</p> <p>3.8.5.2 Bindefehler 151</p>
--	---

3.8.5.3	Wolframeinschlüsse.....	151	3.10	<i>Metall-Schutzgasschweißen (Prozess 13)</i>	188
3.8.5.4	Oxideinschlüsse	151	3.10.1	Verfahrensprinzip und Anlagentechnik	189
3.8.5.5	Häufige Fehlerbilder und Ursachen.....	152	3.10.1.1	Funktionsweise.....	189
3.8.6	Gefährdungen für den Schweißer	154	3.10.1.2	Schutzgase.....	190
3.9	<i>Plasmaschweißen (Prozess 15)</i>	155	3.10.1.3	Zusatzwerkstoff	194
3.9.1	Verfahrensprinzip und Anlagentechnik	156	3.10.1.4	Schweißstromquellen und Brennertechnik.....	194
3.9.1.1	Funktionsweise.....	156	3.10.2	Lichtbogenarten.....	196
3.9.1.2	Prozess- und Schutzgase.....	159	3.10.2.1	Allgemein	196
3.9.1.3	Wolframelektroden	162	3.10.2.2	Kurzlichtbogen	196
3.9.1.4	Zusatzwerkstoff	164	3.10.2.3	Übergangslichtbogen.....	197
3.9.1.5	Schweißstromquellen und Brennertechnik.....	165	3.10.2.4	Sprühlichtbogen	197
3.9.2	Verfahrensvarianten.....	168	3.10.2.5	Impulslichtbogen.....	197
3.9.2.1	Zünden des Lichtbogens	168	3.10.2.6	Hochleistungs-Kurz- lichtbogen	198
3.9.2.2	Stromart und Polarität.....	168	3.10.2.7	Instabiler Lichtbogen.....	198
3.9.2.3	Mechanisierungsgrad.....	172	3.10.2.8	Rotierender Lichtbogen	198
3.9.2.4	Plasmaschweißen mit Zusatzwerkstoff	172	3.10.2.9	Hochleistungs-Sprüh- lichtbogen	199
3.9.2.5	Schmelzbadausbildung	174	3.10.2.10	Kräfte beim Werkstoff- übergang	199
3.9.3	Anwendung	175	3.10.3	Verfahrensvarianten	201
3.9.3.1	Verbindungsschweißen	175	3.10.3.1	Hochleistungsschweißen.....	201
3.9.3.2	Plasma-Punktschweißen	175	3.10.3.2	Energiereduzierte MSG- Prozesse	205
3.9.3.3	Plasma-Auftragschweißen	177	3.10.3.3	Modifizierte MSG- Impulsprozesse	207
3.9.3.4	Mikroplasmaschweißen	178	3.10.3.4	MSG-Hybridprozesse	209
3.9.4	Fertigungshinweise.....	179	3.10.3.5	Zünden des Lichtbogens	210
3.9.4.1	Allgemeines.....	179	3.10.3.6	Mechanisierungsgrad	211
3.9.4.2	Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung	180	3.10.4	Anwendung	211
3.9.4.3	Zündvorgang	180	3.10.4.1	Verbindungsschweißen	211
3.9.4.4	Brennerführung	181	3.10.4.2	MSG-Engspaltschweißen.....	212
3.9.4.5	Heften.....	182	3.10.4.3	MSG-Auftragschweißen.....	213
3.9.4.6	Gasschutz	182	3.10.4.4	Sonderanwendungen	214
3.9.4.7	Richtwerte	183	3.10.5	Fertigungshinweise	215
3.9.5	Fehler beim Plasma- schweißen.....	185	3.10.5.1	Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung	215
3.9.5.1	Gaseinschlüsse	185	3.10.5.2	Zündvorgang	216
3.9.5.2	Nahtunterwölbung	186	3.10.5.3	Brennerführung	216
3.9.5.3	Einbrandkerben.....	186	3.10.5.4	Heften	218
3.9.5.4	Oxideinschlüsse	186	3.10.5.5	Gasschutz	218
3.9.5.5	Häufige Fehlerbilder und Ursachen.....	186	3.10.5.6	Richtwerte	219
3.9.6	Gefährdungen für den Schweißer	186	3.10.6	Fehler beim MSG-Schweißen	220
			3.10.6.1	Gaseinschlüsse	220
			3.10.6.2	Bindfehler	221

3.10.6.3	Häufige Fehlerbilder und Ursachen.....	222	3.12	<i>Lichtbogenschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen.....</i>	263
3.10.7	Gefährdungen für den Schweißer	222	3.12.1	Grundlagen.....	263
3.11	<i>Unterpulverschweißen (Prozess 12)</i>	224	3.12.2	Pressstumpfschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen (Prozess 185).....	264
3.11.1	Verfahrensprinzip und Anlagentechnik.....	224	3.12.2.1	Verfahrensprinzip	264
3.11.1.1	Funktionsweise.....	224	3.12.2.2	Anwendungsbereiche	264
3.11.1.2	Schweißpulver	226	3.12.2.3	Ausrüstungen.....	264
3.11.1.3	Elektroden	241	3.12.2.4	Zusatzstoffe	265
3.11.1.4	Stromquellen und Brenner-technik	242	3.12.2.5	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	265
3.11.1.5	Stromart und Polung	242	3.12.2.6	Fertigungshinweise	265
3.11.1.6	Mechanisierungsgrad und Aufbau einer UP-Anlage.....	243	3.12.3	Schmelzschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen (MBS-Schweißen)	266
3.11.2	Verfahrensvarianten des Unterpulverschweißens	245	3.12.3.1	Verfahrensprinzip	266
3.11.2.1	Schweißpositionen	245	3.12.3.2	Anwendungsbereiche	266
3.11.2.2	Kaltdrahtschweißen	246	3.12.3.3	Zusatzstoffe	266
3.11.2.3	Bandschweißen	246	3.12.3.4	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	266
3.11.2.4	Heißdrahtschweißen mit zwei Schweißköpfen	248	3.12.3.5	Fertigungshinweise	266
3.11.2.5	Paralleldrahtschweißen.....	248	3.13	<i>Lichtbogenbolzenschweißen.....</i>	267
3.11.2.6	Tandemschweißen.....	249	3.13.1	Grundlagen.....	267
3.11.2.7	Engspaltschweißen	250	3.13.2	Verfahrensprinzip	268
3.11.2.8	Schweißen mit Metallpulver-zugabe	252	3.13.2.1	Kondensatorentladungs-Bolzenschweißen mit Hubzündung (Prozess 785) ..	268
3.11.3	Anwendung des UP-Verfahrens	252	3.13.2.2	Lichtbogenbolzenschweißen mit Spitzenzündung (Prozess 786)	268
3.11.4	Fertigungshinweise.....	253	3.13.2.3	Hubzündungs-Bolzen-schweißen mit Keramikring oder Schutzgas (Prozess 783)	269
3.11.4.1	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	253	3.13.3	Anwendungsbereiche	270
3.11.4.2	Fugenvorbereitung.....	253	3.13.4	Zusatzstoffe	270
3.11.4.3	Schmelzbadsicherungen	255	3.13.5	Fertigungshinweise	270
3.11.4.4	Nahtformung	256	3.13.6	Ausrüstungen	272
3.11.4.5	Freie Drahtelektrodenlänge..	257	3.14	<i>Sensorik beim Lichtbogenschweißen.....</i>	273
3.11.4.6	Werkstückneigung	258	3.14.1	Überblick	273
3.11.4.7	Zünden des UP-Lichtbogens .	259	3.14.2	Taktile Sensoren	274
3.11.4.8	Heften	259	3.14.3	Elektromagnetische Sensoren	275
3.11.4.9	Richtwerte	259	3.14.4	Lasersensoren	276
3.11.4.10	Leistungsvergleiche	262	3.14.5	Lichtbogensensoren	277
3.11.5	Fehler beim UP-Schweißen...	262			
3.11.6	Spezielle Gefährdungen durch das UP-Verfahren für den Bediener	263			

3.15	<i>Gefährdungen beim Lichtbogenschweißen</i>	279	4.3.2.4	Werkstückdicken.....	312
3.15.1	Elektrischer Strom	279	4.3.3	Ausrüstung.....	312
3.15.2	Elektromagnetische Strahlung	280	4.3.4	Zusatzwerkstoffe und Hilfsstoffe.....	315
3.15.3	Rauch, Stäube und Gase.....	281	4.3.5	Technologische Merkmale	317
3.15.4	Sauerstoffmangel.....	282	4.3.5.1	Nachrechtschweißen (NR)...	317
3.15.5	Spritzer und Schlacke.....	282	4.3.5.2	Nachlinksschweißen (NL)	318
3.15.6	Druckgasflaschen.....	282	4.4	<i>Gaspressschweißen (Prozess 47)</i>	318
			4.4.1	Verfahrensprinzip.....	319
			4.4.2	Anwendungsbereiche	320
			4.4.3	Zusatstoffe	320
			4.4.4	Fertigungshinweise.....	320
			4.4.5	Ausrüstungen.....	321
4	Schweißen mit Brenngas-Sauerstoff-Flamme	283			
4.1	<i>Grundlagen der Autogentechnik</i>	283			
4.1.1	Autogenflamme.....	283	5	Schweißen mit Widerstandserwärmung	322
4.1.1.1	Allgemeines.....	283	5.1	<i>Einteilung der Widerstandsschweißverfahren</i>	322
4.1.1.2	Verbrennung	284	5.2	<i>Widerstandspressschweißen (Prozess 2)</i>	323
4.1.1.3	Flammeneinstellung	285	5.2.1	Grundlagen des Widerstandspressschweißens.....	323
4.1.2	Autogenbrenner.....	287	5.2.1.1	Widerstandserwärmung durch konduktive Stromübertragung	323
4.1.2.1	Allgemeines.....	287	5.2.1.2	Widerstandserwärmung durch induktive Stromübertragung (Prozess 74).....	324
4.1.2.2	Brennerarten.....	288	5.3	<i>Ausrüstungen zum Widerstandspressschweißen</i>	324
4.1.2.3	Betreiben der Autogenbrenner	291	5.3.1	Aufbau einer Widerstandsschweißmaschine (konduktive Stromübertragung)..	324
4.1.2.4	Flammenstörungen.....	291	5.3.1.1	Schweißstromquellen für das Punkt-, Rollennaht- und Buckelschweißen	325
4.1.3	Betriebsmittel der Autogentechnik	292	5.3.1.2	Schweißstromquellen für das Abbrennstumpf-schweißen und Stumpfschweißen	329
4.1.3.1	Allgemeines.....	292	5.3.1.3	Mechanischer Teil der Schweißeinrichtungen	330
4.1.3.2	Sauerstoff.....	292	5.3.2	Aufbau einer Widerstandsschweißmaschine (induktive Stromübertragung)	330
4.1.3.3	Brenngase.....	292	5.4	<i>Widerstandsschweißverfahren mit konduktiver Stromübertragung</i>	331
4.1.3.4	Gegenüberstellung von Gasen der Autogentechnik ...	302			
4.1.4	Sicherheitshinweise und -vorschriften für den Umgang mit Sauerstoff und Brenngasen	303			
4.1.5	Armaturen und Zubehör	304			
4.1.5.1	Allgemeines.....	304			
4.1.5.2	Druckminderer	304			
4.1.5.3	Gasschläuche	305			
4.1.5.4	Sicherheitseinrichtungen	307			
4.2	<i>Einteilung der Verfahren der Autogentechnik nach DIN 8522</i>	309			
4.3	<i>Gasschmelzschweißen (Gasschweißen)</i>	309			
4.3.1	Grundlagen.....	309			
4.3.2	Anwendung	312			
4.3.2.1	Allgemeines.....	312			
4.3.2.2	Fugenformen.....	312			
4.3.2.3	Schweißpositionen	312			

5.4.1	Widerstandspunkt-schweißen (Prozess 21).....	331	5.4.4.6	Qualitätsmerkmale, Gütesicherung und Prüfverfahren..	383
5.4.1.1	Verfahrensmerkmale.....	331	5.4.4.7	Schweißanlagen.....	384
5.4.1.2	Verfahrensprinzip/-beschreibung.....	332	5.4.5	Pressstumpfschweißen (Prozess 25).....	385
5.4.1.3	Elektroden	334	5.4.5.1	Verfahrensmerkmale	385
5.4.1.4	Schweißeignung	337	5.4.5.2	Verfahrensprinzip/-beschreibung	385
5.4.1.5	Konstruktive Gestaltung	341	5.4.5.3	Konstruktive Gestaltung	386
5.4.1.6	Fertigungshinweise.....	344	5.4.5.4	Prozessparameter.....	386
5.4.1.7	Qualitätsmerkmale, Gütesicherung und Prüfverfahren..	349	5.4.5.5	Schweißanlagen.....	386
5.4.1.8	Schweißanlagenaufbau.....	357	5.5	<i>Widerstandsschweißverfahren mit induktiver Stromübertragung</i>	387
5.4.1.9	Qualitätssicherungsgeräte....	359	5.5.1	Induktionsschweißen (Prozess 74).....	387
5.4.2	Rollennahtschweißen (Prozess 22).....	360	5.5.1.1	Verfahrensmerkmale	387
5.4.2.1	Verfahrensmerkmale.....	360	5.5.1.2	Verfahrensprinzip/-beschreibung.....	387
5.4.2.2	Verfahrensprinzip/-beschreibung.....	361	5.5.1.3	Schweißeignung	389
5.4.2.3	Rollenelektroden für Nahtschweißen	361	5.5.1.4	Fertigungshinweise.....	389
5.4.2.4	Schweißeignung	362	5.5.2	Verfahrensvarianten	389
5.4.2.5	Konstruktive Gestaltung	363	5.6	<i>Arbeits- und Gesundheitsschutz</i>	390
5.4.2.6	Fertigungshinweise.....	363	6	Widerstandsschmelzschweißen.....	391
5.4.2.7	Schweißanlagenaufbau.....	366	6.1	<i>Grundlagen zum Elektroschlackeschweißen (Prozess 72)</i>	391
5.4.2.8	Verfahrensvarianten.....	368	6.2	<i>Elektroschlacke-Verbindungsschweißen</i> ..	392
5.4.3	Buckelschweißen (Prozess 23).....	369	6.2.1	Zusatzwerkstoffe und Pulver	393
5.4.3.1	Verfahrensmerkmale.....	369	6.2.2	Schweißeignung	393
5.4.3.2	Verfahrensprinzip/-beschreibung.....	370	6.2.3	Fertigungshinweise.....	393
5.4.3.3	Elektroden zum Buckel-schweißen.....	370	6.2.4	Schweißeinrichtungen.....	394
5.4.3.4	Schweißeignung	371	6.3	<i>Elektroschlacke-Auftragschweißen mit Bandelektrode</i>	395
5.4.3.5	Konstruktive Gestaltung	373	6.3.1	Zusatzwerkstoffe und Pulver	395
5.4.3.6	Fertigungshinweise.....	375	6.3.2	Fertigungshinweise.....	395
5.4.3.7	Qualitätsmerkmale, Gütesicherung und Prüfverfahren..	376	6.3.3	Schweißeinrichtungen.....	396
5.4.3.8	Schweißanlagen.....	376	7	Schweißen mit Strahlen	397
5.4.4	Abbrennstumpfschweißen (Prozess 24).....	378	7.1	<i>Grundlagen der Strahltechnik</i>	397
5.4.4.1	Verfahrensmerkmale.....	378	7.2	<i>Lichtstrahlschweißen - Schweißen mit inkohärentem Licht (Prozess 75)</i>	398
5.4.4.2	Verfahrensprinzip/-beschreibung.....	380	7.3	<i>Elektronenstrahlschweißen (Prozess 51)</i>	399
5.4.4.3	Schweißeignung	380	7.3.1	Grundlagen des Elektronenstrahlschweißens.....	400
5.4.4.4	Konstruktive Gestaltung	381	7.3.1.1	Entstehung und Besonderheiten des Elektronenstrahls	400
5.4.4.5	Prozessparameter.....	383	7.3.1.2	Elektronenstrahlerzeugung..	401

7.3.1.3	Elektronenstrahlführung	402	7.4.6	Gegenüberstellung Elektronenstrahlschweißen - Laserstrahlschweißen	449
7.3.1.4	Elektronenstrahlschweiß- anlagen.....	403			
7.3.2	Anwendung des Elektronen- strahlschweißens.....	407	8	Schweißen durch Bewegungsenergie	452
7.3.2.1	Tiefschweißeffekt	407	8.1	<i>Grundlagen zur schweißtechnischen Nutzung kinetischer Energie.....</i>	452
7.3.2.2	Vorbereitung der Werk- stücke	409	8.2	<i>Rotationsreibschweißen (Prozess 42).....</i>	452
7.3.2.3	Schweißparameter und Hinweise für die Schweiß- praxis	411		8.2.1 Verfahrensprinzip.....	453
7.3.2.4	Schweißeignung metal- lischer Werkstoffe	415		8.2.2 Ausrüstungen.....	454
7.3.2.5	Industrielle Anwendung	418		8.2.3 Anwendungsbereich	455
7.3.3	Weitere Verfahren der Elektronen- strahlmaterialbearbeitung....	419	8.3	8.2.4 Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	455
7.3.4	Strahlenschutz.....	420		8.2.5 Fertigungshinweise.....	457
7.4	Laserstrahlschweißen (Prozess 52)	420		<i>Rührreibschweißen (FSW - Friction Stir Welding)</i>	459
7.4.1	Grundlagen des Laserstrahl- schweißens	423		8.3.1 Verfahrensprinzip.....	459
7.4.1.1	Entstehung und Besonder- heiten von Laserlicht	423		8.3.2 Ausrüstungen.....	460
7.4.1.2	Eigenschaften des Laser- lichts	424		8.3.3 Anwendungsbereiche	461
7.4.2	Laseranlagen	425	8.4	8.3.4 Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	462
7.4.2.1	Laserstrahlquellen	425		8.3.5 Fertigungshinweise.....	463
7.4.2.2	Laserstrahlführung	432		8.3.6 Punktreibschweißen	464
7.4.2.3	Fokussierende Optiken.....	433		8.3.6.1 Verfahrensprinzip.....	464
7.4.2.4	Bewegungseinrichtungen	434		8.3.6.2 Anwendungsbereiche	464
7.4.2.5	Steuerung und Bedienung....	434		8.4.1 Verfahrensprinzip.....	465
7.4.3	Anwendung des Laserstrahl- schweißens	435	8.5	8.4.2 Anwendungsbereiche	466
7.4.3.1	Tiefschweißeffekt	435		8.4.3 Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	467
7.4.3.2	Vorbereitung der Werk- stücke	436		8.4.4 Fertigungshinweise.....	467
7.4.3.3	Schweißparameter und Hinweise für die Schweiß- praxis	436		8.4.5 Ausrüstungen.....	468
7.4.3.4	Schweißeignung metal- lischer Werkstoffe	442	8.6	<i>Kaltpressschweißen (Prozess 48)</i>	469
7.4.3.5	Industrielle Anwendung	443		8.5.1 Verfahrensprinzip.....	469
7.4.4	Weitere Verfahren der Lasermaterialbearbeitung	445		8.5.2 Anwendungsbereich und Ausrüstungen.....	470
7.4.5	Strahlenschutz	447		8.5.3 Konstruktive Gestaltung	470
				8.5.4 Fertigungshinweise.....	471
				<i>Sprengschweißen (Prozess 441)</i>	472
			8.6.1 Verfahrensprinzip.....	472	
			8.6.2 Anwendungsbereich	472	
			8.6.3 Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	474	
			8.6.4 Fertigungshinweise.....	474	
			8.6.5 Spezielle Gefährdungen	474	

9	Schweißen durch festen Körper.....	475					
9.1	<i>Grundlagen zur schweißtechnischen Nutzung von Heizelementen</i>	475	10.2.1.3	Ausrüstungen.....	479		
9.2	<i>Heizelementschweißen.....</i>	475	10.2.1.4	Fertigungshinweise.....	480		
	9.2.1	<i>Verfahrensprinzip</i>	475	10.2.2	Aluminothermisches Pressschweißen	481	
	9.2.2	<i>Anwendungsbereich, Ausrüstungen</i>	476	10.2.2.1	Verfahrensprinzip	481	
	9.2.3	<i>Konstruktive Gestaltung und Festigkeit</i>	477	10.2.2.2	Anwendungsbereich	481	
	9.2.4	<i>Fertigungshinweise.....</i>	477	10.2.2.3	Fertigungshinweise.....	481	
			10.3	<i>Besondere Gefährdungen.....</i>	482		
10	Schweißen mit Metallschmelzen	478	11	Schweißen durch Diffusion.....	483		
10.1	<i>Grundlagen der schweißtechnischen Nutzung von Metallschmelzen</i>	478	11.1	<i>Grundlagen zur schweißtechnischen Nutzung der Diffusion</i>	483		
10.2	<i>Gießschweißen (Thermitschweißen).....</i>	478	11.2	<i>Diffusionsschweißen (Prozess 45).....</i>	483		
	10.2.1	<i>Aluminothermisches Schmelzschweißen (Prozess 71).....</i>	478	11.2.1	Verfahrensprinzip	484	
	10.2.1.1	<i>Verfahrensprinzip</i>	478	11.2.2	Anwendungsbereich	485	
	10.2.1.2	<i>Anwendungsbereich</i>	479	11.2.3	Konstruktive Gestaltung	485	
			11.2.4	<i>Fertigungshinweise.....</i>	485		
				Literaturverzeichnis.....	488		
				Sachwortverzeichnis	505		

4

Schweißen mit Brenngas-Sauerstoff-Flamme

Gasschmelzschweißen mit Brenngas-Sauerstoff-Flamme (Prozess 31):

Verfahrensprinzip

Schmelzschweißverfahren, bei welchem die thermische Wirkenergie durch die Verbrennung von Brenngas mit Sauerstoff oder Luft mittels einer Flamme in die Werkstücke eingebracht wird.

Anwendungsbereich/Abmessungen

Verbindungs- oder Auftragschweißen, unabhängig von öffentlicher Versorgung mit Elektroenergie, vielfach für Reparaturarbeiten, im Heizungs- und Rohrleitungsbau angewandt, Nutzung der Anlagentechnik und des Werkzeugs Flamme auch für Löten (Flammlöten) und Wärmebehandlungen möglich, Schweißen auch in Zwangslagen möglich, geeignet für Bleche, Profile, Rohre, wirtschaftlich bis $\approx 6,3$ mm Bauteildicke, gute Spaltüberbrückbarkeit.

Werkstoffgruppen

un- und niedriglegierte Stähle, Aluminiumwerkstoffe, seltener Kupfer

Wichtige DVS-Merkblätter und Normen

DVS 0212: Umgang mit Druckgasflaschen
1986-06

DIN 1340: Gasförmige Brennstoffe und
1990-12 sonstige Gase – Arten, Be-
standteile, Verwendung

DIN 8522: Fertigungsverfahren der Auto-
2009-12 gentechnik – Übersicht

DIN EN 12536: Schweißzusätze – Stäbe zum
2000-08 Gasschweißen von unlegierten
und warmfesten Stählen – Ein-
teilung

DIN EN ISO 5172: Gasschweißgeräte – Brenner
2006-08 für Schweißen, Wärmen und
Schneiden – Anforderungen
und Prüfungen

4.1 Grundlagen der Autogentechnik

4.1.1 Autogenflamme

4.1.1.1 Allgemeines

Das Werkzeug der Autogentechnik ist eine **Flamme**, die als Werkzeug für thermische Prozesse einschließlich des Gasschweißens dient. Die thermische Wirkenergie wird durch die Verbrennung eines Brenngases freigesetzt. Obwohl die Bedeutung des Gasschmelzschweißens in den letzten Jahrzehnten zurückgegangen ist, besitzt dieses Schweißverfahren Vorteile, wie die Möglichkeit der Speicherung der am Prozess beteiligten Gase (Prozessgase) in Behältern. Hierdurch ist das Verfahren unabhängig von einer öffentlichen Energieversorgung. Die Brenner können mittels Schlauchleitungen auch über große Entfernnungen mit den Prozessgasen versorgt werden. Die Investitionskosten sind im Vergleich zu zahlreichen anderen Schmelzschweißverfahren gering. Zudem besteht die Möglichkeit, die Anlagen- und Apparate-technik auch für andere Fertigungsverfahren, wie das Flammlöten, das autogene Brennschneiden, das Flammrichten oder das Flammwärmen, zu nutzen.

Als Prozessgase werden ein Brenngas – meist Acetylen, Propan oder auch Gemische brennbarer Gase – und ein oxidierend wirkendes Gas bzw. Gasgemisch in Form von Sauerstoff oder Luft benötigt.

Das wichtigste Brenngas der Autogentechnik ist **Acetylen** (C_2H_2), auch als Azetylen benannt. Im Weiteren wird statt des Namens Ethin, der der chemischen Nomenklatur entspricht, der in den Ingenieurwissenschaften einschließlich der Fügetechnik übliche Trivialname Acetylen verwendet.

Neben den für das Schmelzschweißen allgemein vorhandenen Gefährdungen durch Schweißrauch, Metalldämpfe und Stäube sind für die Anwendung der Autogentechnik Gefährdungen infolge des Umgangs mit brennbaren Gasen, explosionsfähigen Gasgemischen und unter hohem Überdruck stehenden Druckgasflaschen charakteristisch. Umfangreiche Angaben zum Umgang mit der Anlagentechnik, zu Gesundheitsgefahren, zur persönlichen Schutzausrüstung, zu Schweißarbeiten mit besonderen Gefahren sowie zu Vorschriften und Regeln enthält

die BG-Information „Gasschweißer“ (BGI 554) der Vereinigung der Metall-Berufsgenossenschaften [RÖS06]. Um Unfälle zu vermeiden sowie Gefährdungen zu erkennen und diese einzuschränken, existiert eine Vielzahl von Normen und Regeln insbesondere zum Umgang mit Prozessgasen der Autogentechnik sowie zu Anforderungen an die Anlagentechnik, deren Bedienung und Prüfung. Eine Auswahl an besonders wichtigen Normen und Regeln enthält das Quellenverzeichnis.

4.1.1.2 Verbrennung

Die thermische Wirkenergie wird durch eine **Verbrennung** aus chemisch gebundener Energie freigesetzt. Im Folgenden wird die Verbrennung des Brenngases Acetylen durch Sauerstoff beschrieben.

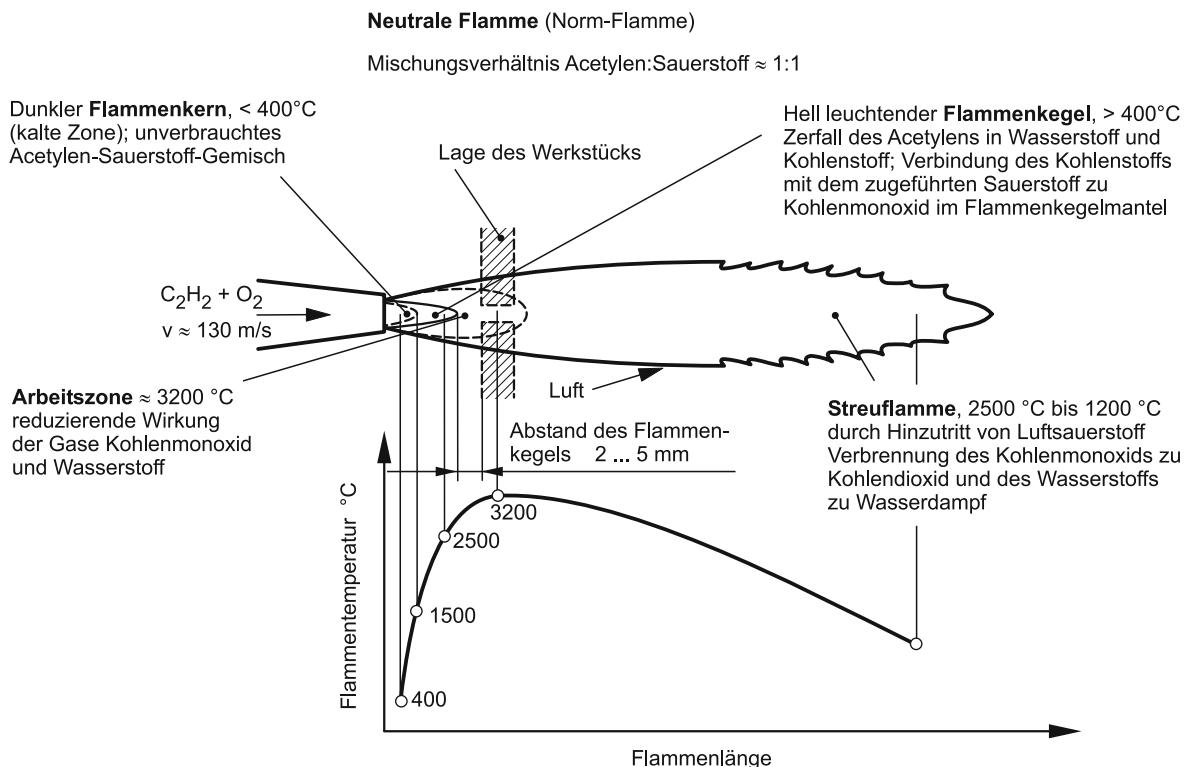
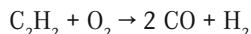


Bild 4.1 Temperaturen und typische Bereiche einer Acetylen-Sauerstoff-Flamme

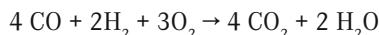
Tabelle 4.1 Verbrennungsstufen unterschiedlicher Brenngase und erreichbare Flammtemperaturen

Brenngas B	Unvollkommene Verbrennung in der ersten Stufe		Vollkommene Verbrennung		Flammentemperatur in °C
	Mischungsverhältnis B:O ₂	Ablauf	Mischungsverhältnis B:O ₂	Ablauf	
Acetylen C ₂ H ₂	1:1	C ₂ H ₂ + O ₂ → 2 CO + H ₂	1:2,5	2 C ₂ H ₂ + 5 O ₂ → 4 CO + 2 H ₂ O	3180
Propan C ₃ H ₈	1:4	C ₃ H ₈ + 4 O ₂ → 2 CO + CO ₂ + 4 H ₂ O	1:5	2 C ₃ H ₈ + 5 O ₂ → 3 CO ₂ + 4 H ₂ O	2850
Erdgas (Methan) CH ₄	2:1	2 CH ₄ + O ₂ → 2 CO + 4 H ₂	1:2	CH ₄ + 2 O ₂ → CO ₂ + 2 H ₂ O	2750

Die Verbrennung läuft in zwei Stufen ab. In einer ersten Verbrennungsstufe, einer unvollkommenen Verbrennung, wird das Acetylen mit Sauerstoff zu Kohlenmonoxid und Wasserstoff umgesetzt:



Im Einzelnen zerfällt zunächst das Acetylen in Kohlenstoff und Wasserstoff, wobei der Kohlenstoff zu Kohlenmonoxid oxidiert wird. Die entstehenden Gase Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff (H₂) wirken chemisch reduzierend auf die üblicherweise mit Oxiden behafteten Oberflächen der Grund- und Zusatzwerkstoffe und des Schweißbades. Oxide werden hierdurch abgebaut. Die zweite Verbrennungsstufe wirkt in Form einer vollkommenen Verbrennung:



Diese Verbrennungsstufe tritt in der sog. Streuflamme auf (Bild 4.1). Der Verbrennungsvorgang erfolgt außerhalb des eigentlichen Brenners vor dem Brennermundstück.

Die Autogenflamme, d. h. deren Gestalt, Temperaturen und **Temperaturverteilung** in der Flamme sowie chemische Wirkung (neutral, oxidierend, redu-

zierend), ist durch zahlreiche Einflussgrößen bestimmt, wie den beteiligten Prozessgasen, deren Mischungsverhältnis, Druck und Volumenstrom sowie der Brennerbauart. Die Temperaturverteilung in einer neutralen Acetylen-Sauerstoff-Flamme, einer sog. Normflamme, ist in Bild 4.1 dargestellt. Für diese Flamme ist eine höchste Temperatur von ≈ 3 200 °C in der Arbeitszone charakteristisch. Für die vollkommene Verbrennung von 1 Volumeteil Acetylen sind 2,5 Volumenteile Sauerstoff notwendig.

Die Verbrennungsstufen unterschiedlicher Brenngase und die erreichbaren Flammtemperaturen sind in Tabelle 4.1 wiedergegeben. Über die gebräuchlichen Mischungsverhältnisse (Volumenannteile) für unterschiedliche Verwendungszwecke von Autogenflammen gibt Tabelle 4.2 Auskunft.

4.1.1.3 Flammeneinstellung

Die Acetylen-Sauerstoff-Flamme kann bezüglich ihrer chemischen und thermischen Eigenschaften den Anforderungen des Schweißprozesses in weiten Grenzen angepasst werden. Die chemische Wirkung wird durch das Mischungsverhältnis bestimmt. Mittels Einstellung der Strömungsgeschwindigkeiten der Prozessgase kann die thermische Leistung der Flamme verändert werden. Diese

Tabelle 4.2 Mischungsverhältnisse (Volumenanteile) für unterschiedliche Verwendungszwecke von Autogenflammen

Brenngas	Brenngas-Sauerstoff-Gemische für		
	Schweißen	Brennschneiden	Flammwärmen
Acetylen	1:1 ... 1:1,2	1:1,1 ... 1:1,3	1:1,25 ... 1:1,5
Propan	-	1:4,5	1:3,6 ... 1:5
Erdgas	-	1:1,5 ... 1:2,8	1:1,5 ... 1:2

Flammeneinstellungen werden durch Ventile am Griffstück des Brenners vorgenommen.

Neutrale Flamme

Eine neutrale Flamme erfordert ein Mischungsverhältnis zwischen dem Brenngas Acetylen und Sauerstoff im Bereich von 1:1 ... 1:1,2 Volumeneinheiten.

Eine neutrale Flamme besitzt einen inneren, weiß leuchtenden Flammenkern, der sich scharf gegenüber der äußeren Streuflamme abgrenzt. Der Flammenkern hat je nach Intensität der Flamme eine Länge von 5 ... 15 mm und soll möglichst zylindrisch und länglich ausgebildet sein. Die Streuflamme, die den Flammenkern umgibt, ist in Abhängigkeit von der Reinheit des Brenngases und der Raumluft bläulich oder gelb-bläulich. Beim Schweißen kommt es infolge der Erwärmung der Schweißdüse zu einer Vergrößerung der Düsenbohrung. Hierdurch reduziert sich die Strömungsgeschwindigkeit des Sauerstoffs. Es wird deshalb weniger Acetylen angesaugt, wodurch sich der chemische Charakter der Flamme verändert. Deshalb kann es während des Betriebs des Brenners notwendig werden, durch Betätigen der Ventile die Flammeneinstellung zu korrigieren.

Das Gasschmelzschweißen von Eisenbasiswerkstoffen erfolgt ausschließlich mit einer neutralen Flamme. Oxidschichten (Oxidhäute) auf der Schmelzbadoberfläche werden bei richtigem Brennerabstand durch Wirken der ersten Stufe der Verbrennung im Bereich des Gasgemisches durch Kohlenmonoxid und Wasserstoff reduziert. Auch neutral eingestellte Flammen können in Abhängigkeit vom Brenngas geringe Anteile oxidierend wirkender Gasanteile enthalten: $\approx 6 \text{ Vol.-%}$

für die Brenngase Propylen, Propan und Methan [END73].

Sauerstoff-Überschuss-Flamme

Steigt das Acetylen-Sauerstoff-Verhältnis über 1:1,2, so stellt sich eine Sauerstoff-Überschuss-Flamme, auch als oxidierende Flamme bezeichnet, ein. Mit zunehmendem Sauerstoffanteil verkürzen sich sowohl der Flammenkern als auch der sich anschließende Flammenkegel. Der Flammenkern nimmt eine leicht violette Farbe an. Diese Flammeneinstellung wird durch ein deutlich hörbares, zischendes Geräusch der Flamme gekennzeichnet.

Aus einem geringen Sauerstoffüberschuss resultiert eine Erhöhung der Flammenleistung, was sich positiv auf die Schweißgeschwindigkeit auswirkt. Zu große Sauerstoffanteile führen am Schweißbad zu Verbrennungs- und Überhitzungserscheinungen. Beim Schweißen von Stahl kommt es zur Funkenbildung, indem aus dem Schweißbad fortgeschleuderte Tropfen am Ende ihrer Flugbahn sternförmig platzen. Weitere Folgen des Sauerstoffüberschusses sind ein erhöhter Abbrand von Legierungselementen sowie die verstärkte Poren- und Oxidbildung im Schweißbad. Oxideinschlüsse können die Verformungsfähigkeit der Schweißverbindung und deren Beanspruchbarkeit insbesondere bei zeitlich veränderlicher Beanspruchung (Schwingbeanspruchung) oder schlagartiger Beanspruchung wesentlich reduzieren. Mit gezielt eingestelltem Sauerstoffüberschuss werden nur Kupfer-Zink-Legierungen (Messinge) geschweißt. Bei diesen Grundwerkstoffen wirkt der Sauerstoffanteil der Porenbildung entgegen und verhindert das Ausdampfen von Zink aus dem Grundwerkstoff.

Sofern der Grundwerkstoff nicht aufgeschmolzen werden soll, z. B. beim Flammwärmen, kann durch einen Sauerstoffüberschuss eine leistungsstarke Flamme erzielt werden.

Acetylen-Überschuss-Flamme

Sinkt das Acetylen-Sauerstoff-Verhältnis unter 1:1,2, so bildet sich eine Acetylen-Überschuss-Flamme, auch als karburierende Flamme bezeichnet, aus. Diese Flamme besitzt einen je nach Acetylenüberschuss verlängerten, gelblich-weißen inneren Flammenkegel, dessen Umriss nicht mehr scharf begrenzt ist, sondern unregelmäßig gefiedert erscheint.

In der ersten Verbrennungsstufe reicht der dargebotene Sauerstoff nicht zur Oxidation des durch den Zerfall des Acetylens entstehenden Kohlenstoffs aus. Verbleibender „freier“ Kohlenstoff kann beim Gasschmelzschweißen von Eisenbasiswerkstoffen vom flüssigen Schweißgut aufgenommen werden. Bei ausgeprägtem Acetylenüberschuss bilden sich in der Flamme Kohlenstoffflocken (Ruß). Die Folge der Anwendung einer Acetylen-Überschuss-Flamme ist eine Aufkohlung und ggf. Härtesteigerung. Bei Stahl kommt es zur Erhöhung von Härte und statischen Festigkeitseigenschaften, aber auch zu Versprödung und zunehmender Härteterissgefahr. Gezielt mit Acetylenüberschuss wird Gusseisen geschweißt. Zum Zwecke des Auftragschweißens wird mit Acetylen-Überschuss-Flamme gearbeitet, wobei durch den Kohlenstoffeintrag die Bildung härtesteigernder Carbide unterstützt wird. Da die Temperatur in einer Acetylen-Überschuss-Flamme unter der einer neutralen Flamme liegt, wird die Acetylen-Überschuss-Flamme bevorzugt für das Löten eingesetzt, wo i. d. R. niedrigere Arbeitstemperaturen als beim Schweißen erforderlich sind.

„Harte“ und „weiche“ Flamme

Die Eigenschaften einer Flamme werden neben dem Mischungsverhältnis der Prozessgase wesentlich durch deren Ausströmgeschwindigkeiten bestimmt. Eine Flamme mit hoher Ausströmgeschwindigkeit und folglich großer Flammenleistung wird als „harte Flamme“ bezeichnet, während

eine Flamme mit geringer Ausströmgeschwindigkeit vergleichsweise leistungsarm ist und als „weiche Flamme“ gilt.

Mittels unterschiedlicher Schweißeinsätze im Brenner kann die thermische Leistung bzw. die „Härte“ der Flamme der Schweißaufgabe angepasst werden, wobei das gewünschte, optimale Mischungsverhältnis der Prozessgase unverändert bleibt. Für das Gasschmelzschweißen werden die thermische Leistung und damit der Schweißeinsatz entsprechend der Dicke der zu schweißenden Bauenteile gewählt. Darüber hinaus kann durch Betätigen der Ventile weiterhin die Flamme feinfühlig „hart“ oder „weich“ eingestellt werden.

Die Gasausströmgeschwindigkeiten liegen für sehr kleine Schweißeinsätze im Bereich von $\approx 50 \dots 60$ m/s und bei mittleren Schweißeinsätzen im Bereich von $\approx 80 \dots 130$ m/s. Sehr große Schweißeinsätze erreichen Ausströmgeschwindigkeiten um 200 m/s und werden zum Wärmen, wo kein Wegblasen des Schmelzbades eintreten kann, oder zum autogenen Trennen benutzt.

4.1.2 Autogenbrenner

4.1.2.1 Allgemeines

Ein **Autogenbrenner** hat die Aufgabe, aus dem zugeführten Brenngas und dem Sauerstoff oder der Luft ein definiert einstellbares Gemisch zu bilden und dieses Mischungsverhältnis konstant zu halten. Das Gasgemisch soll mit einer solchen Geschwindigkeit aus dem Brenner austreten, sodass sich nach dem Zünden eine rückzündsicher brennende Flamme bestimmter Form, Größe und Leistung einstellt.

Die Autogenbrenner werden für verschiedene Gase mit entsprechender Flammengröße und -form in den Handel gebracht. Die Düsen dürfen nur für jenes Gas verwendet werden, für das sie bestimmt sind. Die Mischeinrichtung und die Düse des Schweißeinsatzes sind wie folgt gekennzeichnet:

A = Acetylen
P = Flüssiggas
H = Wasserstoff

C = Leuchtgas (Stadtgas, d. h. ein Gemisch aus Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Methan, kaum mehr in Anwendung)

M = Erdgas (Methan).

Zusätzlich sind der Schweißbereich (Bauteildickenbereich) sowie das Herstellerzeichen und auf der Mischeinrichtung noch der Sauerstoffdruck angegeben.

In der Autogentechnik wird eine Vielfalt unterschiedlicher Brenner für verschiedene Aufgaben genutzt. Eine Einteilung von Brennern kann nach folgenden Kriterien erfolgen:

Mischungsprinzip:

- Saugbrenner (Injektorbrenner, Bunsenbrenner),
- Druckbrenner.

Brenngasart:

- Acetylenbrenner,
- Propanbrenner,
- Erdgasbrenner,
- Wasserstoffbrenner.

Flammenform und Flammenanordnung:

- Einflammenbrenner,
- Mehrflammenbrenner.

Einsatzzweck:

- zum Fügen (Schweißen, Löten),
- zum Trennen,
- zum Stoffeigenschaftsändern (Wärmen),
- zum Beschichten,
- zum Umformen (Flammrichten).

Mechanisierungsgrad:

- manuell,
- mechanisiert.

Angaben über Aufbau, Funktion, Sicherheitsanforderungen und weitere Merkmale enthält DIN EN ISO 5172. Die meisten handelsüblichen Brenner sind mehrteilig ausgeführt, sodass durch einfaches Auswechseln ein Brenner verschiedenen Einsatzzwecken angepasst werden kann.

4.1.2.2 Brennerarten

Injektorbrenner (Saugbrenner)

Die meisten in der Praxis genutzten Autogenbrenner sind Injektorbrenner. Die Prozessgase strömen über die beiden Ventile (z. B. Sauerstoff- und Acetylenventil) durch Rohre bzw. im Brenner gebohrte Kanäle durch die Mischdüse in einen Mischraum. Den schematischen Aufbau des Injektors stellt Bild 4.2 dar. Bei einem Acetylen-Sauerstoff-Injektorbrenner strömt Sauerstoff aufgrund des im Ver-

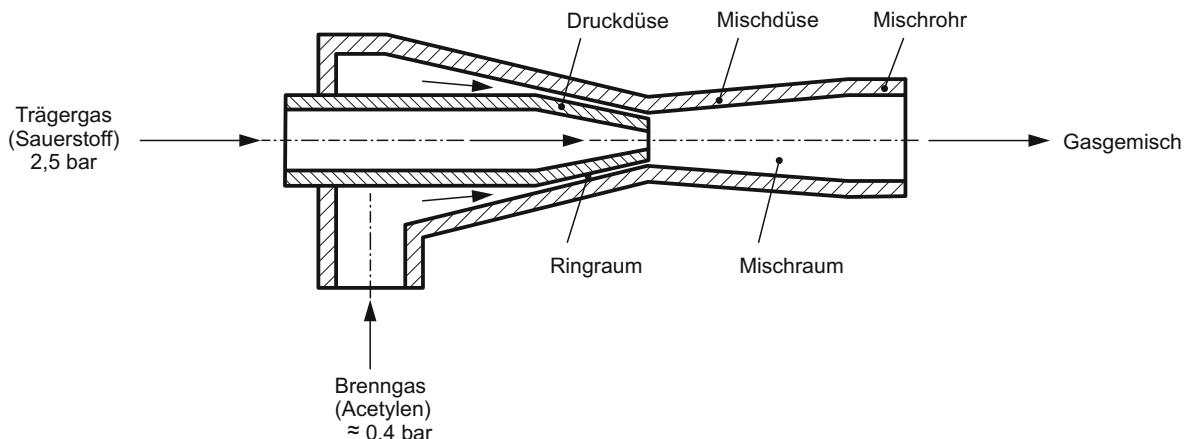


Bild 4.2 Injektor, schematisch

gleich zu Acetylen hohen Drucks von etwa 2,5 bar mit großer Geschwindigkeit in die Druckdüse. Die Druckdüse ist von einem metallischen Mantel umgeben, welcher einen spaltförmigen Ringraum bildet. Durch diesen Ringraum wird das Acetylen mit geringem Überdruck von 0,2 ... 0,4 bar zugeführt. Die große Geschwindigkeit des in die Mischdüse strömenden Sauerstoffs erzeugt im Ringraum zwischen Druck- und Mischdüse einen Unterdruck, durch welchen das Brenngas angesaugt wird. Dieser Effekt wird als Injektorwirkung bezeichnet. Die obigen Druckangaben entsprechen den jeweiligen Arbeitsdrücken für Sauerstoff bzw. für Acetylen beim Gasschweißen, welche an den Druckminderern einzustellen sind.

Den Aufbau eines Injektorbrenners zeigt Bild 4.3. Über das Griffstück erfolgt die Zufuhr von Sauerstoff- und Brenngas, gesteuert durch das jeweilige Ventil. Die Ventile sind mit folgenden Farben gekennzeichnet:

- blau: Sauerstoff,
- gelb: Acetylen,
- orange: Flüssiggas,
- rot: übrige Brenngase.

Der an den Einsatzzweck bzw. die zu schweißenden Werkstückdicken anzupassende Schweißeinsatz ist bei den meisten Brennern auswechselbar. Der Schweißeinsatz wird in das Griffstück eingesteckt

und hier mit Rundringen gedichtet sowie mittels einer Überwurfmutter angezogen und verbunden. Der Schweißeinsatz besteht aus dem Injektor mit Druck- und Mischdüse, dem Mischrohr und der Schweißdüse.

Die Funktionsfähigkeit eines Injektorbrenners lässt sich überprüfen, indem man den Schlauch am Brenngasanschluss abzieht und das Sauerstoffventil öffnet. Die Saugwirkung muss dann am Brenngasanschluss spürbar sein.

Weitere Brennbauarten und Mischungsprinzipien

Weitere Brenner, die gegenwärtig nur noch eine untergeordnete oder gar historische Bedeutung besitzen, sind der **Hochdruckbrenner** (meist für Brenngas Wasserstoff verwendet) und der **Gleichdruckbrenner**. Für weitere Informationen zu diesen Brennern sei auf das Schrifttum, z. B. [KRI54], verwiesen.

Eine Auswahl weiterer Brennerbauarten und Brennereinsätze für verschiedene Anwendungsbereiche, wie Fügen, Trennen, Umformen (Flammrichten), Stoffeigenschaftsändern (z. B. Flammwärmen) zeigt Bild 4.4.

Mehrflammenbrenner

Zur Erhöhung der Schweißleistung wurde dazu übergegangen, an dem Schweißbrennermundstück zwei Flammen brennen zu lassen (sog. Zwei-

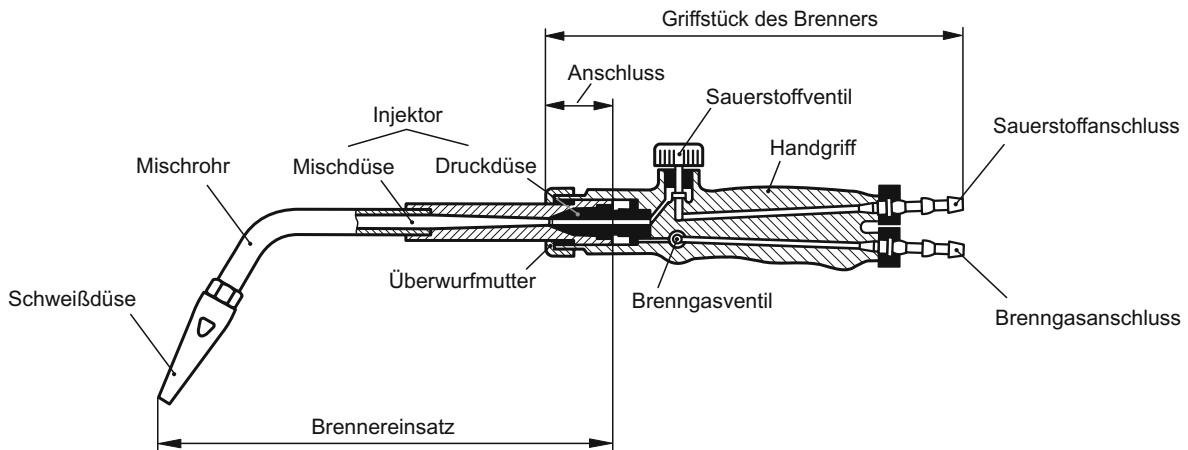


Bild 4.3 Aufbau eines Injektorbrenners, nach [BÖH92]

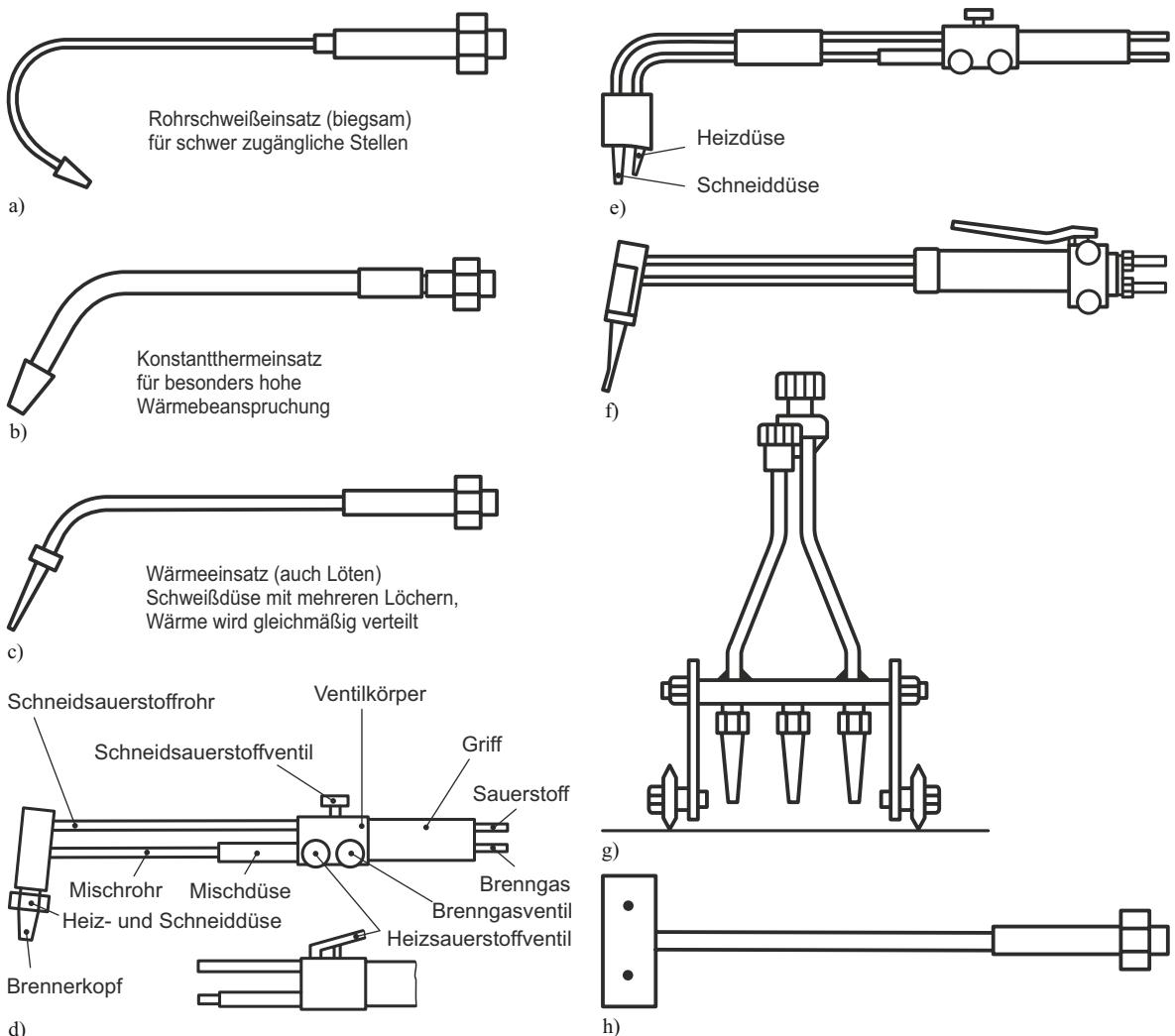


Bild 4.4 Auswahl weiterer Brennerbauarten und Brennereinsätze für verschiedene Anwendungsgebiete.

- a) Rohrschweißeinsatz (biegsam) für schwer zugängliche Stellen; b) Konstanttherm-Brennereinsatz für besonders hohe Wärmebeanspruchung; c) Wärmeeinsatz (auch für Löten, Wärme wird durch Schweißdüse mit mehreren Löchern gleichmäßig verteilt); d) Schneidbrenner (konventionelle Bauart); e) Schneidbrenner mit Stufendüse; f) Fugenhobel; g) Flammrichtbrenner (mehrflammig); h) Brennereinsatz zum Flammenstrahlen, Entrostern, Entzündern

flammenbrenner). Die voreilende Flamme wärmt vor, und mit der nachlaufenden Flamme wird unter gleichzeitiger Zugabe des Zusatzwerkstoffes (Schweißdraht) geschweißt. Der Zweiflammenbrenner bedingt zwangsläufig die Nachrechtschweißung. Bei Anwendung dieses Brenners können relativ hohe Schweiß-

geschwindigkeiten und schmale Schweißnähte bzw. Wärmeeinflusszonen erzielt werden. Zur Steigerung der Arbeitsleistung bei dickeren Blechen werden auch Brennerköpfe für Handschweißbrenner mit vier, fünf und mehr Flammen oder Schlitzflammen gebaut. Mit Ausnahme des Zweiflammenbrenners haben sich

die anderen erwähnten Mehrflammenbrenner nur in Sonderfällen bewährt.

Maschinenbrenner

Maschinenbrenner mit 20 und mehr Einzelflammen finden in Sonderfällen, z. B. in der Röhrenfertigung, Anwendung. Die Brenner werden in der Regel mit Rücksicht auf die starke Erwärmung wassergekühlt. Der Schmelzvorgang erfordert oft, dass die einzelnen Flammen desselben Brenners verschiedene Wärmeleistungen (Flammenstärken) und Richtungen besitzen, um den Metallfluss richtig zu beeinflussen.

4.1.2.3 Betreiben der Autogenbrenner

Inbetriebsetzen und Zünden

Acetylen-Sauerstoff-Schweißbrenner werden in nachstehender Reihenfolge der Bedienungsgriffe bzw. Tätigkeiten in Betrieb genommen:

1. Sauerstoffventil (weit) öffnen und Arbeitsdruck am Druckminderer einstellen.
2. Acetylenventil öffnen. Das Acetylen wird infolge des mit größerer Strömungsgeschwindigkeit fließenden Sauerstoffs von diesem angesaugt (Injektorwirkung) und anschließend mit dem Sauerstoff gemischt.
3. Zünden des am Brennermundstück austretenden Gasgemischs,
4. Durch Einstellen am Acetylenventil wird das typische Bild einer neutralen Flamme erzeugt.

Diese Reihenfolge des Öffnens der Ventile ist notwendig, um zu verhindern, dass Acetylen unnötig in die Schweißwerkstatt austritt. Ein sofortiges Zünden des Acetylens ohne Sauerstoffzufuhr bewirkt eine stark rußende Flamme. Für das Zünden sind nur hierfür bestimmte Geräte zu benutzen. Das Verwenden von Feuerzeugen ist aufgrund der Explosionsgefahr unzulässig.

Beim Inbetriebsetzen der Wasserstoff- und Leuchtgasschweißbrenner wird zuerst der Brenngashahn geöffnet. Das an der Brennermündung austretende Gas wird an einer offenen Flamme entzündet und nachträglich der Sauerstoffhahn geöffnet. Beim Absperren wird zuerst der Sauerstoffhahn geschlossen.

Löschen

Bei normaler Beendigung der Schweißarbeit, Störungen und Flammenrückenschlägen ohne pfeifendes Geräusch ist der Brenner in folgender Weise außer Betrieb zu setzen:

1. Acetylenventil schließen
2. Sauerstoffventil schließen

Durch diese Reihenfolge wird eine stark rußende Acetylenflamme vermieden und eine kleine Restflamme, die durch ein nicht völlig dicht schließendes Acetylenventil verbleiben kann, durch den noch strömenden Sauerstoff ausgeblasen. Nicht beachtete Acetylenrestflammen können einen Acetylenzerfall mit schweren Zerstörungen bis zur Sicherheitsvorlage (s. Abschn. 4.1.5.4) einleiten.

4.1.2.4 Flammenstörungen

Flammenrückschlag

Der kontinuierliche Verlauf der Verbrennung kann infolge unterschiedlicher Ursachen gestört werden, sodass **Flammenstörungen** eintreten. Verschmutzte oder beschädigte Düsen erzeugen ein ungleichmäßiges Flammenbild und führen zu nicht reproduzierbaren Schweißergebnissen. Eine regelmäßige Reinigung des Brennermundstücks ist notwendig, darf aber nur mit den für diesen Zweck bestimmten Reinigungsstäben vorgenommen werden. Eine beschädigte Düse muss ersetzt werden.

Eine weitere Flammenstörung ist die Rückzündung der Flamme. Verantwortlich hierfür ist die Vergrößerung des Ausströmquerschnittes bei zunehmender Temperatur (z. B. bei Gusseisenwärmschweißungen oder Schweißen in Werkstückwinkel), wodurch die Strömungsgeschwindigkeit des Gasgemisches bis unter dessen Zündgeschwindigkeit absinkt. Die zurückslagende Flamme erlischt meist sofort vor der Druckdüse, kann sich jedoch auch entgegen der Gasströmungsrichtung unter Entwicklung eines charakteristischen, pfeifenden Geräusches zurück in den Brenner ausbreiten. Wird die Zufuhr der Prozessgase nicht sofort unterbrochen, kann dies zur Zerstörung des Brenners, u. U. auch zu einem Acetylenzerfall in der Zuleitung führen. In diesem Fall ist der Brenner sofort mit folgenden Maßnahmen außer Betrieb zu setzen:

1. Sauerstoffventil schließen,
2. Acetylenventil schließen.

Geschieht das nicht rechtzeitig, so zerstört eine im Gerät weiterbrennende Flamme den Schweißbrenner. Außerdem kann auch ein Acetylenzerfall in der Schlauchleitung verursacht werden.

Infolge einer Überhitzung des Mundstücks kann die Flamme „abknallen“, d. h., die Flamme verlischt plötzlich. Nachströmendes Gasgemisch entzündet sich wieder und erlöscht abermals (sog. „Abknallen“), wodurch der Brenner knattert. In diesem Fall ist das Brennermundstück durch Eintauchen in Wasser bei schwach geöffnetem Sauerstoffventil zu kühlen.

Ein Gasrücktritt als weitere Form einer Flammenstörung kann eintreten, wenn infolge von Undichtigkeiten im Brennergriffstück, verstärkt durch eine Düsenverstopfung, Gas aus der Leitung mit höherem Druck (dies ist Sauerstoff) in die Leitung mit niedrigerem Druck (Acetylen) eintritt. Kommt es zum Zünden eines zündfähigen Gemischs, so tritt eine explosionsartige Verbrennung ein, die möglicherweise zu Personen- und Sachschäden führen kann.

4.1.3 Betriebsmittel der Autogentechnik

4.1.3.1 Allgemeines

Unter **Betriebsmittel** der Autogentechnik werden die Prozessgase, d. h. Sauerstoff oder Luft, einerseits und Brenngase, wie Acetylen, Flüssiggas, Erdgas oder Wasserstoff andererseits, verstanden.

4.1.3.2 Sauerstoff

Allgemeines

Ausgewählte Eigenschaften des Sauerstoffs sind in Tabelle 4.3 zusammengefasst. Technisch genutzter Sauerstoff wird durch fraktionierte Destillation aus flüssiger Luft im Gegenstromverfahren nach Carl v. Linde gewonnen.

Armaturen und Verschraubungen, durch die Sauerstoff geleitet wird, dürfen nicht mit Ölen und Fetten in Kontakt kommen, demzufolge auch

nicht mit Ölen oder Fetten geschmiert werden! Andernfalls besteht akute Brand- und Explosionsgefahr!

Bereitstellung, Transport und Verteilung

Die Art der Bereitstellung richtet sich nach der Höhe des Gasverbrauchs. Folgende Anhaltswerte zu Gasverbrauch und Transport können angegeben werden:

- > 3 000 m³/Monat: Transport flüssig in Tankwagen für Kaltvergaseranlagen (zu Umrechnungsfaktoren für gasförmigen und flüssigen Sauerstoff s. Tabelle 4.4),
- > 100 m³/Monat: Transport in Flaschenbündeln,
- < 100 m³/Monat: Einzelflaschen mit Fülldruck von 150 bar oder 200 bar.

Tabelle 4.4 Umrechnungsfaktoren für gasförmigen und flüssigen Sauerstoff

Volumen des Gases in m ³ (bezogen auf 15 °C und 1 bar)	Volumen des Flüssiggases in l (im Siede- zustand)	Masse in kg
1,000	1,171	1,337
0,854	1,000	1,142
0,748	0,876	1,000

Verschiedene Arten der **Sauerstoffversorgung** in Abhängigkeit vom Sauerstoffverbrauch zeigt Bild 4.5 in schematischer Form. Die Verteilung erfolgt in Werkstätten mit größerem Verbrauch über Ringleitungen. Wichtige Baugruppen und Komponenten einer zentralen Sauerstoffversorgung beim Verbraucher werden in den Bildern 4.6 und 4.7 dargestellt.

4.1.3.3 Brenngase

Eine möglichst vollständige Verbrennung mit hohem Wirkungsgrad setzt das intensive Mischen des Brennstoffs mit Sauerstoff oder Luft voraus. Dies lässt sich insbesondere dann realisieren, wenn als Brennstoff ein Gas, ein sog. Brenngas, verwendet

Tabelle 4.3 Ausgewählte Eigenschaften von Sauerstoff und Brenngasen der Autogentechnik

Merkmale	Sauerstoff	Brenngase	Flüssiggas (Propan)	Methan (Erdgas)	Wasserstoff
		Acetylen	C ₃ H ₈ Erdöldestillation	CH ₄ unmittelbare Fünf- digkeit	H ₂ Chloralkalielektrolyse, Wasserelektrolyse
Chemisches Symbol	O ₂	C ₂ H ₂ Carbidvergasung, Hochtemperaturpyrolyse			
Darstellung/Gewinnung	Luftverflüssigung, fraktionierte Destillation				
Verwendung	Autogentechnik, Hüttenindustrie, Stahlherzeugung, chemische Industrie, Medizin, Rakettentechnik	Autogentechnik, chemische Industrie, Kunststoffe, Düngemittel	Treibgas, Industrie, Heizzwecke, Autogentechnik	Heizzwecke, Industrie, Autogentechnik (meist Verschnitt)	Schweißen von Blei und Aluminium, Brennschneiden dicker Querschnitte, Ofenlöten
Reinheit, handelsüblich, in %	> 99,5	> 99,8		> 95	> 99,75
Eigenschaften	ungiftig, geruch-, geschmack- und farblos, unbrennbar, verbrennungsfördernd	ungiftig, farblos, in Mengen betäubend, charakteristischer Geruch		ungiftig, geruch-, geschmack- und farblos	
Verunreinigungen	N ₂ , Ar, H ₂ O	Ar, H ₂ O	H ₂ , N ₂ , O ₂ , CH ₄	N ₂ , CO ₂ , C ₃ H ₈	O ₂ , H ₂ O
Spezifische Masse in kg/m ³	0°C und 1,01 bar 15°C und 1,00 bar	1,43 1,33	1,17 1,07	2,02 2,00	0,72 0,66
Siedetemperatur in °C	-183	-84	-43	-161	-253
Spezifischer Heizwert in kJ/m ³		57120	93000	≈ 36000	10750
Minimale Zündtemperatur in °C	mit Luft mit O ₂	335 295	510 490	640 590	510 450
Zündgeschwindigkeit in m/s	mit Luft mit O ₂	1,3 1,1	0,3 3,7	0,4 3,3	2,7 8,9
Maximale Flammtemperatur in °C	mit Luft mit O ₂	2325 3180	1925 2850	1920 2750	2095 2525
Flammenleistung in kJ/(cm ³ s)		≈ 45	≈ 11	≈ 13	≈ 14
Mischungsverhältnis		1:1	1:3,5	1:1,7	4:1
Brenngas : Sauerstoff					

Sachwortverzeichnis

4-Niveau-Lasers 424

ΔI-Regelung 78

ΔU-Regelung 78

A

Abbrennstrom 383

Abbrennzeit 383

Abbrennzugabe 383

Ablängen 58

Ablenkfiguren 413

Abreißzündung 136

Absaugbrenner 196

Absaugung 449

Abschmelzleistung 116

Absorption 423

Aceton 298

Acetylen 284

Acetylenentwickler 297

Acetylen-Luft-Gemisch 296

Acetylenzerfall 296

Aktive Gase 107

Al₂O₃ 233

Aluminium 379

- Ultraschallschweißen 465

Aluminothermisches

Schmelzschweißen

- Fertigungshinweise 480

Analogstromquellen 74

Anode 65

Anodenfallspannung 65

Arbeitsgase 440

Arbeitskammer 403

Arbeitspunkt 77, 278

Armaturen 304

Aspektverhältnis 435

Aufheizgeschwindigkeit 485

Auftragschweißen 19

Aufweitung 438

Ausbringung 91, 99, 116

Austenitbildner 35, 130, 192

Autogenbrenner 287

B

Backenabstand 383

Balance 74, 137, 170

Bandelektroden 95

Basisch umhüllte Stabelektronen 115

Basizitätsgrad 102, 233

Beanspruchungszustand 36

Beschichten 19

Beschleunigungsspannung 401

Besetzungsinvolution 424

Betriebsmittel 292

Beugungsmaßzahl 438

BG-Regeln 59

Blaswirkung 67, 272

Bolzenformen 270

Bolzenschweißen 267

Brennerhaltungen 318

Brennweite 438

Buckel ISO 8167-P2,5 375

C

Calciumcarbid 297

CaO 234

CO₂ 429

CO₂-Gaslaser 427

CO₂-Slab-Laser 429

Co-Basis-Legierungen 104

Crossjet 434

D

Dampfkanal 409

Deflagration 307

Demontage 61

Detonation 307

Dick Rutil umhüllte Stabelektronen

(RR) 115

Diffusionsschweißen 483

Dimethylformamid 298

Dissoxusgasflaschen 298

Dissoziation 64

Divergenz 424

Divergenzwinkel 438

Doppelpulstechnik 208

Drahtantrieb 86

Drahtelektrodenende 202, 217, 278

Drahtpulsen 209

Drahtrichtwerk 90

Drahtvorschubsysteme 86

Druckminderer 110, 304

Dünne Rutil umhüllte
Stabelektronen 115

Durchdrücktechnik 174

Durchtrittstrommessung 412

DVS-Merkblätter 212

E

Edelmetalle

- Ultraschallschweißen 465

Edelstähle 33

Eigenspannungen 56

Einschaltdauer 80

Einschleiß-Funktion 210

Einstellregeln für Stahl 383

Einteilung der Fertigungsverfahren
nach DIN 8580 15

elektrische Gefährdung 279

elektrische Leitfähigkeit von
Schutzgasen 106

Elektrodenrückstand 156

Elektroden spitze 132, 163

Elektrodenumhüllung 91

Elektrogassschweißen 214

Elektronengas 19

Elektronenstrahl 401

Elektronenstrahlgenerator 401

Elektronenstrahlhärten 419

Elektronenstrahlschweißen 401

Elektronenstrahlschweiß-
verbindungen 410

Engspaltschweißen 144, 212

Erdgas 300

Erschmelzungsart 32

F

fallende Kennlinie 134, 169
 Farbkennzeichnung 314
 Faserlaser 427
 Fe-Basis-Legierungen 104
 FEM 43
 Ferritbildner 35
 Fertigungsprozess 15
 Fertigungsverfahren 15
 Festkörperlaser 423
 Filter 449
 Flachdrahtelektroden 203
 Flammdurchschlag 307
 Flamme 283
 Flammeneinstellungen 286
 Flammenstörungen 291
 Flüssiggas 299
 Flussspat 113
 Fokusdurchmesser 438
 Fokusposition 413
 Fokussierzahl 438
 Fördergasstrom 174
 Formiergas 183
 Fügbarkeit 29
 Fuge 312
 Fügen durch Schweißen 17
 Fugenform 46
 Fügeprozess 17
 Fügestelle 17
 Fügevorgang 17
 Fülldrahtelektroden 194
 Füllgrad 99

G

Gas 302
 Gasdüsensensor 275
 Gaslaser 423
 Gaslinsen 148, 182
 Gasrücktritt 307
 Gasschläuche 305
 Gasschmelzschweißen 309
 Gasschweißen 309
 Gasverbrauch 312
 Gebrauchsstellenvorlage 308
 Gefährdungen beim Sprengschweißen 474
 Gefährdungsklassen 448
 Gefügeumwandlungen 34, 56
 Glättungsdrossel 73
 Gleichdruckbrenner 289

Grobkornzone

35
 Güte einer Schweißverbindung 56

H

Hartauftragen 95, 101
 Hauptgruppen der Fertigungsverfahren 309
 Heißrisse 372
 Hilfsstromquelle 166
 Hochdruckbrenner 289
 Hochleistungselektronen 116
 Hochleistungs-Kurzlichtbogen 198
 Hochspannungsschweißanlagen 411
 Hochspannungszündgerät 67, 135, 168
 Hochvakuumschweißanlagen 404
 horizontale Kennlinie 194
 Hotstart-Funktion 211
 Hubzündung 85, 268
 Hybridprozess 209

I

I-Entwickler 297
 IG-IP-Modulation 79
 IG-UP-Modulation 79
 Impulslichtbogen 197
 Impulstromschweißen 137, 170
 I-Naht 118
 induktive Sensoren 275
 induktiv unterstütztes Laserstrahlschweißen 442
 Induktoren 387
 inerte Gase 107
 Injektorbrenner 288
 innere Regelung 78, 242
 Inverter 75
 Ionisation 64
 Ionisationsenergie 106

K

Kadmium-Überzüge 339
 Kalkspat 113
 kapazitive Sensoren 276
 Kathode 65
 Kathodenfallspannung 65
 kathodischer Reinigungseffekt 139
 Kaverne 224
 Keramikring 105, 269
 Kerbspannungskonzept 44
 Kernstab 91

Kilohertz-Pulsen

135
 Kleinspulengerät 88
 Kohlenstoffäquivalent 33
 Kompaktgerät 89
 Kondensatorbatterie 331
 Kondensatorentladungs-Bolzenschweißen 268
 Konstruktionswerkstoffe 373
 Kontaktrohrabstand 201
 Kontaktwerkstoffe 373
 Kraft- und Stromprogramme 347
 Kurzlichtbogen 196
 Kurzlichtbogentechniken 205
 Kurzschlusszündung 68

L

Längenzugabe 382
 LASER 423
 Laser-Abstandssensoren 276
 Laserarbeitsplätze 448
 Lasereffekt 423
 Laserklassen 448
 Laserscanner 276
 Laserschutzwand 449
 Leiterwerkstoffe 373
 L-Entwickler 297
 Lichtbogen 64
 Lichtbogenart 196
 Lichtbogenbolzenschweißen 268
 Lichtbogenhandschweißen 111
 Lichtbogenkennlinie 68
 Lichtbogenplasma 65
 Lichtbogensensoren 277
 Lichtbogenstaudruck 161
 Lichtbogentemperatur 65
 Lichtbogenzündung 67
 Lichtleitfasern 432
 Lichtquant 423
 Lichtquellen 423
 Lichtstrahlschweißen 399

M

magnetische Fokussierlinse 402
 Magnetit 113
 Magnetwerkstoffe 373
 Maschinenbrenner 291
 Maschinenleistung 383
 Massivdrahtelektroden 95
 Mehrgasbrenner 145
 Mehrkathodenbrenner 145

Mehrkomponentengase 192
 Mehrkomponentenschutzgase 199
 Mehrrollenantriebe 87
 M-Entwickler 297
 Metall-Aktivgasschweißen 190
 Metalldampf 435
 Metall-Inertgas 190
 Metall-Schutzgasschweißen 188
 Mikroplasmorschweißen 178
 Mitteldruckentwickler 297
 mit Zellulose umhüllte
 Stabelektroden 114
 Monochromasie 424

N

Nachlinksschweißen 317
 Nachrechtschweißen 317
 Nachweiskonzepte 43
 Nd:YAG-Festkörperlaser 425, 426
 Nebenschluss 346
 Nennspannungskonzept 43
 Ni-Basis-Legierungen 104
 Nichteisenwerkstoffe 95
 nicht schweißbare
 Schutzschichten 339
 Niederdruckentwickler 297
 Nonvacuum-Elektronenstrahl-
 schweißen 405

O

Offline-Programmierung 435
 Ökobilanzen 62
 Ordnungsnummer 21

P

P 350, 375
 Phasenanschnittsteuerung 73
 Photon 423
 Pilotlichtbogen 168
 Pincheffekt 66
 Pinch-Effekt 200
 Plasma 435
 Plasmabeeinflussung 436
 Plasmadiagnostik 441
 Plasmadüse 166
 Plasmagas 161, 174
 Plasma-Heißdrahtschweißen 173, 177
 Plasma-Kaltdrahtschweißen 173
 Plasmalichtbogenschweißen 157
 Plamaschweißen 155

Plasma-Stichlochschweißen 175
 Plasmastrahlschweißen 158
 Plasmawolke 435
 PLM 61
 Polungarten 136, 169
 Pressschweißen 17, 20
 primär getaktete Stromquelle 75
 Product Lifecycle Management 61
 Produktionstechnik 15
 Produktlebensphasen 60
 programmierbare Steuerung 412
 Prozessanalyse 55
 Prozessgase 283
 Pull-Pull-Antrieb 89
 Pulsbreitenmodulation 74
 Pulverabsaugung 243
 Pulverförderer 174
 Pulver-Plasmalichtbogen-
 schweißen 158, 177
 Pulververbrauch 237
 Pulverzuführung 174
 Pulverzusammensetzungen 104
 Punktschweißblack 339
 Push-Pull-Antrieb 89

Q

Qualitätsstähle 33

R

räumliche Kohärenz 424
 Rautiefe 485
 Recyclingfähigkeit 61
 Reibschweißen
 - Bauteilverkürzung 457
 Remote-Bearbeitung 434
 Ringzündung 86
 Rohrschweißen mit stabförmigem
 Induktor 389
 Röntgenstrahlung 420
 rotierender Lichtbogen 198
 Rücktrocknung 117
 Rutil-sauer umhüllte
 Stabelektroden 115
 Rutil-Zellulose umhüllte
 Stabelektroden 115

S

Sauerstoffversorgung 292
 Sauer umhüllte Stabelektroden 114
 Saugbrenner 288

Scanneroptik 439
 Schaeffler-Diagramm 35
 Schärfentiefe 438
 Scheibenlaser 426
 Schlacke 116
 Schlauchpaket 85
 Schleppdüse 148, 182, 219
 Schlüssellochtechnik 174
 Schmelzbadsicherungen 255
 Schmelzschweißen 17, 20
 Schutzgasbrause 148, 182, 219
 Schutzgase 105, 441
 Schutzgläser 434
 Schweißaggregate 70
 Schweißbarkeit 29
 Schweißbolzen 105
 Schweißbrenneranstellung 217
 Schweißeignung 29
 Schweißen 17
 Schweißen durch festen Körper 475
 Schweißen mit Metallschmelzen 478

Schweißen mit stabförmigem
 Induktor 387
 Schweißen mit umschließendem
 Induktor 387
 Schweißerlaubnisschein 59
 Schweißfolgepläne 45
 Schweißgut 17
 Schweißmöglichkeit 29
 Schweißnahtwertigkeit 44
 Schweißöse 174
 Schweißpositionen 312
 Schweißpulver 101, 226
 Schweißpulver zum UP-
 Schweißen 103
 Schweißrauch 281
 Schweißsicherheit 29
 Schweißstäbe 93
 Schweißstabklassen 315
 Schweißstromquellen 70
 Schweißzone 17
 sekundär getakteten Stromquellen 74
 Sensorik 273
 S-Entwickler 297
 SF-Entwickler 297
 Sicherheitseinrichtungen 307
 Sicherheitsklasse 350
 Sicherheitswasservorlage 307
 Silber
 - Ultraschallschweißen 465
 Slab-Laser 429

Slope Control 412
 Spaltüberbrückbarkeit 310
 Spannkraft F 383
 Spannungsüberwachung 166
 Spitzenzündung 85, 268
 Sprühlichtbogen 197
 Square-wave-Stromquellen 242
 Stabelektroden 90
 Stahl
 - Ultraschallschweißen 465
 Stähle 379
 Stahlflaschen 298
 Stahl mit Zinkschutzschicht 338
 Stahlwerkstoffe 95
 Steilflanken-Naht 120
 Steuerelektroden 402
 Steuerspannung 402
 Stichlochtechnik 174
 Strahlführungssysteme 432
 Strahlintensitäten 433, 435
 Strahlparameterprodukt 438
 Strahlpendeln 414
 Strahlqualität 433
 Strahlqualitätszahl 438
 Strahlstrom 402
 Strahltaillenradius 438
 Strahlungseinkopplung 440
 Streckenenergie 52
 Strichraupentechnik 122
 Stromkontakte 84
 Stromquellenkennlinie 77, 278
 Strukturspannungskonzept 43
 stufengeschaltete
 - Schweißgleichrichter 73
 Synergiekennlinien 195
 Systeme 434
 SZTU-Schaubilder 34

T
 taktile Sensoren 274
 Technische Regeln für Acetylenanlagen
 und Calciumcarbidlager (TRAC) 303
 Temperaturverteilung 285
 thermische Energie 17
 Thermokompressionsschweißen 475
 Thermopulsen 208
 thoriumhaltige
 - Wolframelektroden 155
 Thyristorstromquellen 73
 Tiefschweißen 174
 Titan
 - Ultraschallschweißen 465
 Toleranzgrenzen 359
 Totalreflexion 432
 Transduktor 71
 Triangulation 276
 Trockensicherungen 308
 Tropfenablösung 197
 Tropfenübergang 116

U
 Ultraschallschweißen von Glas 465
 Ultraschallschweißen von Kupfer 465
 Umlenkspiegel 432
 Umweltmanagementsystem 62
 U-Naht 120
 Unfallverhütungsvorschriften 59
 Universalgerät 89
 unlegierte Stähle 380
 unlösbare Verbindungen 19
 Unregelmäßigkeiten 56
 Unterpulverschweißen 224
 UP-Bandschweißen 248
 UP-Heißdrahtschweißen 248
 UP-Kaltdrahtschweißen 246
 UP-Mehrdrahtschweißen 249
 UP-Metallpulverschweißen 252

UP-Paralleldrahtschweißen 248
 UP-Tandem 249

V
 Verbindungselement 16
 Verbrennung 284
 Verunreinigungen 32
 V-Naht 120

W
 Wärme 17
 Wärmeeinflusszone (WEZ) 17
 Wärmeleitfähigkeit von
 - Schutzgasen 106
 Wärmeleitungsschweißen 174
 Warmpressschweißen 475
 Wellenlänge 438
 Werkstoffübergang 192
 Werkstückdicken 312
 Widerstands- und
 - Heizleiterwerkstoffe 373
 WIG-Heißdrahtschweißen 140
 WIG-Kaltdrahtschweißen 140
 WIG-Stäbe 134
 Wirkpaarungen 20
 Wirkungsgrad 52, 425
 Wolframelektrode 82, 132
 Wolfram-Inertgassschweißen 127
 Wurzelschutz 149, 183, 219

X
 X-Naht 120

Z
 Zellulose 113
 Zubrandverhalten 234
 Zündhilfen 259
 Zusatzwerkstoff 16