

# 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 FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung [beck-shop.de](http://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.



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,
- Schweißbeugung,
- 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 Fugestelle 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

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

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

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	Mikroplasma-schweißen .....	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	Bindefehler .....	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 Metallpulverzugabe .....	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-Bolzenschweißen 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	Gefährdungen beim Licht- bogenschweißen.....	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	Nachrechtsschweißen (NR)...	317
3.15.5	Spritzer und Schlacke.....	282	4.3.5.2	Nachlinksschweißen (NL).....	318
3.15.6	Druckgasflaschen.....	282	4.4	Gaspressschweißen (Prozess 47).....	318
4	<b>Schweißen mit Brenngas-Sauerstoff- Flamme .....</b>	<b>283</b>	4.4.1	Verfahrensprinzip .....	319
4.1	<b>Grundlagen der Autogentechnik.....</b>	<b>283</b>	4.4.2	Anwendungsbereiche .....	320
4.1.1	Autogenflamme.....	283	4.4.3	Zusatzstoffe .....	320
4.1.1.1	Allgemeines.....	283	4.4.4	Fertigungshinweise.....	320
4.1.1.2	Verbrennung .....	284	4.4.5	Ausrüstungen.....	321
4.1.1.3	Flammeneinstellung.....	285	5	<b>Schweißen mit Widerstandserwärmung .....</b>	<b>322</b>
4.1.2	Autogenbrenner.....	287	5.1	<i>Einteilung der Widerstandsschweißverfahren .....</i>	<i>322</i>
4.1.2.1	Allgemeines.....	287	5.2	<i>Widerstandspressschweißen (Prozess 2) ..</i>	<i>323</i>
4.1.2.2	Brennerarten.....	288	5.2.1	Grundlagen des Wider- standspressschweißens.....	323
4.1.2.3	Betreiben der Autogen- brenner .....	291	5.2.1.1	Widerstandserwärmung durch konduktive Strom- übertragung .....	323
4.1.2.4	Flammenstörungen .....	291	5.2.1.2	Widerstandserwärmung durch induktive Stromüber- tragung (Prozess 74).....	324
4.1.3	Betriebsmittel der Autogen- technik .....	292	5.3	<i>Ausrüstungen zum Widerstandspressschweißen .....</i>	<i>324</i>
4.1.3.1	Allgemeines.....	292	5.3.1	Aufbau einer Widerstands- schweißmaschine (kon- duktive Stromübertragung)..<	324
4.1.3.2	Sauerstoff.....	292	5.3.1.1	Schweißstromquellen für das Punkt-, Rollennaht- und Buckelschweißen .....	325
4.1.3.3	Brenngase.....	292	5.3.1.2	Schweißstromquellen für das Abbrennstumpf- schweißen und Stumpf- schweißen.....	329
4.1.3.4	Gegenüberstellung von Gasen der Autogentechnik ...	302	5.3.1.3	Mechanischer Teil der Schweißeinrichtungen .....	330
4.1.4	Sicherheitshinweise und -vorschriften für den Umgang mit Sauerstoff und Brenngasen .....	303	5.3.2	Aufbau einer Widerstands- schweißmaschine (induktive Stromübertragung) .....	330
4.1.5	Armaturen und Zubehör.....	304	5.4	<i>Widerstandsschweißverfahren mit konduktiver Stromübertragung.....</i>	<i>331</i>
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>	<i>309</i>			
4.3	<i>Gasschmelzschweißen (Gasschweißen)...</i>	<i>309</i>			
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-		5.4.4.6	Qualitätsmerkmale, Gütesi-	
	schweißen (Prozess 21).....	331		cherung und Prüfverfahren..	383
5.4.1.1	Verfahrensmerkmale.....	331	5.4.4.7	Schweißanlagen.....	384
5.4.1.2	Verfahrensprinzip/-		5.4.5	Pressstumpfschweißen	
	beschreibung.....	332		(Prozess 25).....	385
5.4.1.3	Elektroden.....	334	5.4.5.1	Verfahrensmerkmale.....	385
5.4.1.4	Schweißbeignung.....	337	5.4.5.2	Verfahrensprinzip/	
5.4.1.5	Konstruktive Gestaltung.....	341		-beschreibung.....	385
5.4.1.6	Fertigungshinweise.....	344	5.4.5.3	Konstruktive Gestaltung.....	386
5.4.1.7	Qualitätsmerkmale, Gütesi-		5.4.5.4	Prozessparameter.....	386
	cherung und Prüfverfahren..	349	5.4.5.5	Schweißanlagen.....	386
5.4.1.8	Schweißanlagenaufbau.....	357	5.5	<i>Widerstandsschweißverfahren mit</i>	
5.4.1.9	Qualitätssicherungsgeräte....	359		<i>induktiver Stromübertragung.....</i>	387
5.4.2	Rollennahtschweißen		5.5.1	Induktionsschweißen	
	(Prozess 22).....	360		(Prozess 74).....	387
5.4.2.1	Verfahrensmerkmale.....	360	5.5.1.1	Verfahrensmerkmale.....	387
5.4.2.2	Verfahrensprinzip/-		5.5.1.2	Verfahrensprinzip/-	
	beschreibung.....	361		beschreibung.....	387
5.4.2.3	Rollenelektroden für		5.5.1.3	Schweißbeignung.....	389
	Nahtschweißen.....	361	5.5.1.4	Fertigungshinweise.....	389
5.4.2.4	Schweißbeignung.....	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			
5.4.2.7	Schweißanlagenaufbau.....	366	6	<b>Widerstandsschmelzschweißen.....</b>	391
5.4.2.8	Verfahrensvarianten.....	368	6.1	<i>Grundlagen zum Elektroschlacke-</i>	
5.4.3	Buckelschweißen			<i>schweißen (Prozess 72).....</i>	391
	(Prozess 23).....	369	6.2	<i>Elektroschlacke-Verbindungsschweißen..</i>	392
5.4.3.1	Verfahrensmerkmale.....	369	6.2.1	Zusatzwerkstoffe und Pulver	393
5.4.3.2	Verfahrensprinzip/-		6.2.2	Schweißbeignung.....	393
	beschreibung.....	370	6.2.3	Fertigungshinweise.....	393
5.4.3.3	Elektroden zum Buckel-		6.2.4	Schweißleinrichtungen.....	394
	schweißen.....	370	6.3	<i>Elektroschlacke-Auftragschweißen mit</i>	
5.4.3.4	Schweißbeignung.....	371		<i>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, Gütesi-		6.3.3	Schweißleinrichtungen.....	396
	cherung und Prüfverfahren..	376	7	<b>Schweißen mit Strahlen.....</b>	397
5.4.3.8	Schweißanlagen.....	376	7.1	<i>Grundlagen der Strahltechnik.....</i>	397
5.4.4	Abbreinstumpfschweißen		7.2	<i>Lichtstrahlschweißen – Schweißen mit</i>	
	(Prozess 24).....	378		<i>inkohärentem Licht (Prozess 75).....</i>	398
5.4.4.1	Verfahrensmerkmale.....	378	7.3	<i>Elektronenstrahlschweißen (Prozess 51).</i>	399
5.4.4.2	Verfahrensprinzip/-				
	beschreibung.....	380	7.3.1	Grundlagen des Elektronen-	
5.4.4.3	Schweißbeignung.....	380		strahlschweißens.....	400
5.4.4.4	Konstruktive Gestaltung.....	381	7.3.1.1	Entstehung und Besonder-	
5.4.4.5	Prozessparameter.....	383		heiten des Elektronenstrahls	400
			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	<b>8</b>	<b>Schweißen durch Bewegungsenergie</b>	<b>452</b>	
7.3.2.1	Tiefschweißeffekt .....	407	<b>8.1</b>	<i>Grundlagen zur schweißtechnischen Nutzung kinetischer Energie.....</i>	452	
7.3.2.2	Vorbereitung der Werk- stücke .....	409	<b>8.2</b>	<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	Schweißbeignung 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	<b>8.3</b>	8.2.4 Konstruktive Gestaltung und Festigkeit .....	455	
7.3.4	Strahlenschutz .....	420		8.2.5 Fertigungshinweise.....	457	
7.4	<i>Laserstrahlschweißen (Prozess 52).....</i>	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	<b>8.4</b>	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		<i>Ultraschallschweißen (Prozess 41) .....</i>	465	
7.4.3	Anwendung des Laserstrahl- schweißens .....	435	<b>8.5</b>	8.4.1 Verfahrensprinzip .....	465	
7.4.3.1	Tiefschweißeffekt .....	435		8.4.2 Anwendungsbereiche .....	466	
7.4.3.2	Vorbereitung der Werk- stücke .....	436		8.4.3 Konstruktive Gestaltung und Festigkeit .....	467	
7.4.3.3	Schweißparameter und Hinweise für die Schweiß- praxis .....	436	<b>8.6</b>	8.4.4 Fertigungshinweise.....	467	
7.4.3.4	Schweißbeignung metal- lischer Werkstoffe .....	442		8.4.5 Ausrüstungen.....	468	
7.4.3.5	Industrielle Anwendung .....	443		<i>Kaltpressschweißen (Prozess 48).....</i>	469	
7.4.4	Weitere Verfahren der Lasermaterialbearbeitung ....	445		8.5.1 Verfahrensprinzip .....	469	
7.4.5	Strahlenschutz .....	447		8.5.2 Anwendungsbereich und Ausrüstungen.....	470	
				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	

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

# 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 Agententechnik 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: 1986-06	Umgang mit Druckgasflaschen
DIN 1340: 1990-12	Gasförmige Brennstoffe und sonstige Gase – Arten, Bestandteile, Verwendung
DIN 8522: 2009-12	Fertigungsverfahren der Autogentechnik – Übersicht
DIN EN 12536: 2000-08	Schweißzusätze – Stäbe zum Gasschweißen von unlegierten und warmfesten Stählen – Einteilung

DIN EN ISO 5172: Gasschweißgeräte – Brenner 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 Entfernungen mit den Prozessgasen versorgt werden. Die Investitionskosten sind im Vergleich zu zahlreichen anderen Schmelzschweißverfahren gering. Zudem besteht die Möglichkeit, die Anlagen- und Apparatentechnik auch für andere Fertigungsverfahren, wie das Flammlöten, das autogene Brennschneiden, das Flammschneiden oder das Flammschweißen, 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.

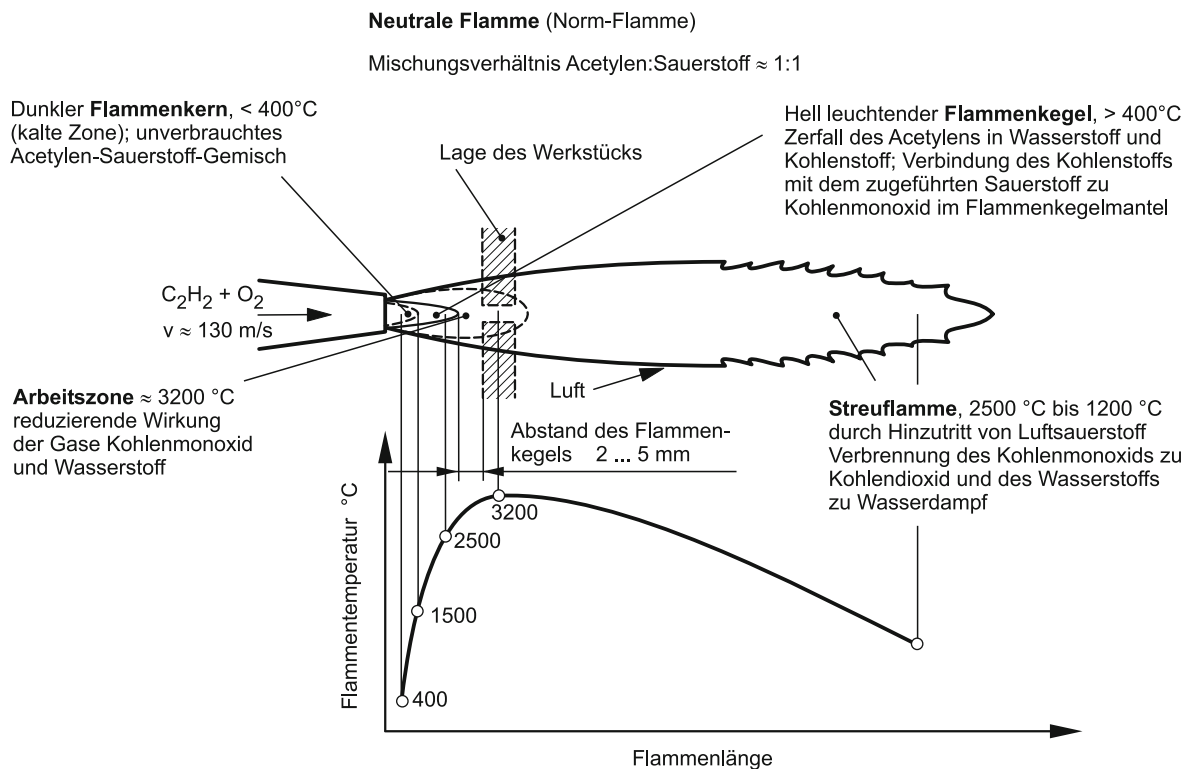
Das wichtigste Brenngas der Autogentechnik ist **Acetylen** ( $C_2H_2$ ), auch als Azetylen benannt. Im Weiteren wird statt des Namens Ethin, der der chemischen Nomenklatur entspricht, der in den Ingenieurwissenschaften einschließlich der Fügetechnik übliche Trivialname Acetylen verwendet.

Neben den für das Schmelzschweißen allgemein vorhandenen Gefährdungen durch Schweißrauch, Metaldämpfe 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.

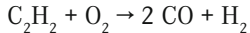


**Bild 4.1** Temperaturen und typische Bereiche einer Acetylen-Sauerstoff-Flamme

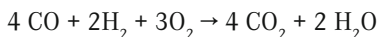
**Tabelle 4.1** Verbrennungsstufen unterschiedlicher Brenngase und erreichbare Flammentemperaturen

Brenngas B	Unvollkommene Verbrennung in der ersten Stufe		Vollkommene Verbrennung		Flammen- temperatur in °C
	Mischungs- verhältnis B:O <sub>2</sub>	Ablauf	Mischungs- verhältnis B:O <sub>2</sub>	Ablauf	
Acetylen C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	1:1	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> → 2 CO + H <sub>2</sub>	1:2,5	2 C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> + 5 O <sub>2</sub> → 4 CO + 2 H <sub>2</sub> O	3180
Propan C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1:4	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> + 4 O <sub>2</sub> → 2 CO + CO <sub>2</sub> + 4 H <sub>2</sub> O	1:5	2 C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> + 5 O <sub>2</sub> → 3 CO <sub>2</sub> + 4 H <sub>2</sub> O	2850
Erdgas (Methan) CH <sub>4</sub>	2:1	2 CH <sub>4</sub> + O <sub>2</sub> → 2 CO + 4 H <sub>2</sub>	1:2	CH <sub>4</sub> + 2 O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub> + 2 H <sub>2</sub> 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 (H<sub>2</sub>) 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  $\approx 3200^\circ\text{C}$  in der Arbeitszone charakteristisch. Für die vollkommene Verbrennung von 1 Volumenteil Acetylen sind 2,5 Volumenteile Sauerstoff notwendig.

Die Verbrennungsstufen unterschiedlicher Brenngase und die erreichbaren Flammentemperaturen sind in Tabelle 4.1 wiedergegeben. Über die gebräuchlichen Mischungsverhältnisse (Volumenanteile) 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:  $\approx 6$  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 (Messing) 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 Acetylen-überschuss 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 Acetylen 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 Härterissgefahr. 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 Schweißbeinsätze 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 Schweißbeinsatz entsprechend der Dicke der zu schweißenden Bauteile gewählt. Darüber hinaus kann durch Betätigen der Ventile weiterhin die Flamme feinfühlig „hart“ oder „weich“ eingestellt werden.

Die Gasausströmgeschwindigkeiten liegen für sehr kleine Schweißbeinsätze im Bereich von  $\approx 50 \dots 60$  m/s und bei mittleren Schweißbeinsätzen im Bereich von  $\approx 80 \dots 130$  m/s. Sehr große Schweißbeinsätze 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 Schweißbeinsatzes 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:

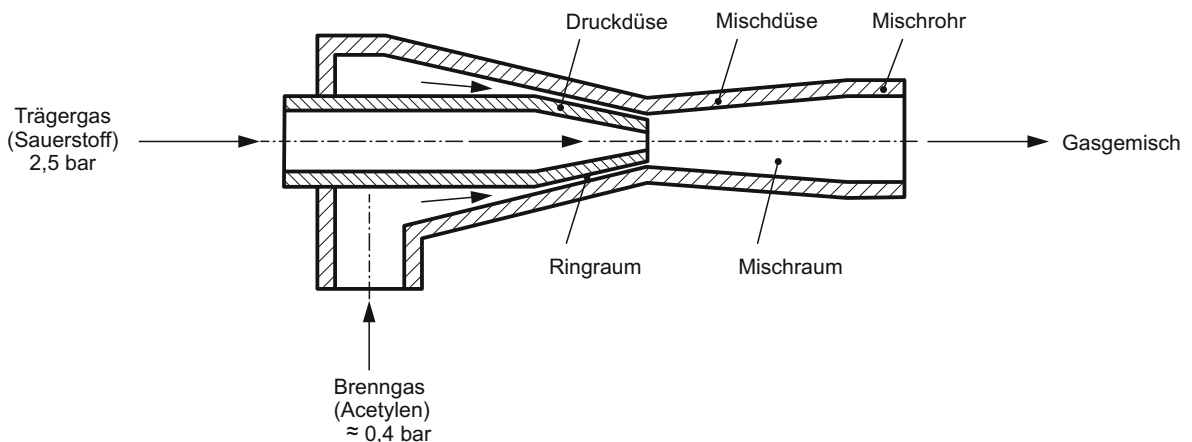
- manuell,
- mechanisiert.

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 Schweißeinsetz ist bei den meisten Brennern auswechselbar. Der Schweißeinsetz wird in das Griffstück eingesteckt

und hier mit Rundringen gedichtet sowie mittels einer Überwurfmutter angezogen und verbunden. Der Schweißeinsetz 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.

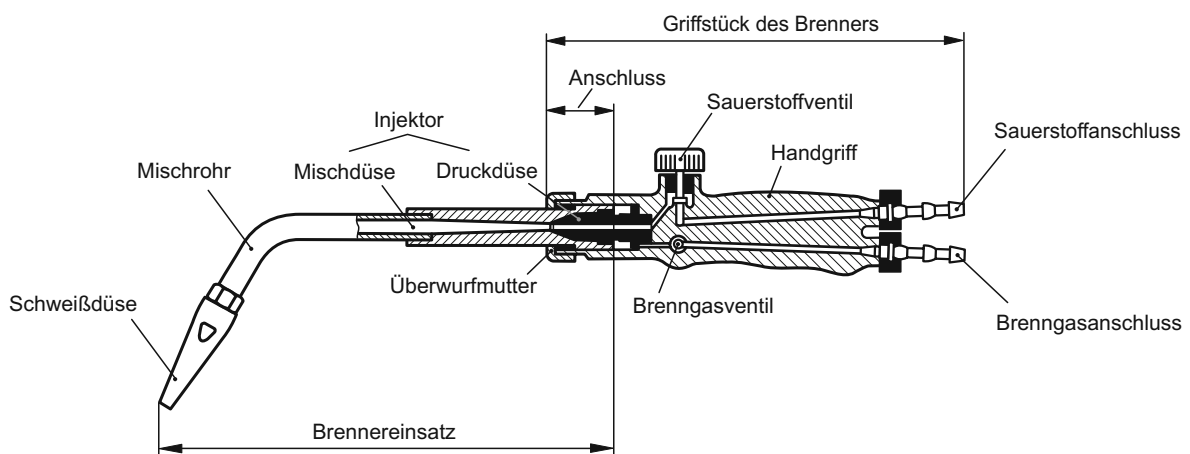
### Weitere Brennbauarten und Mischungsprinzipien

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.

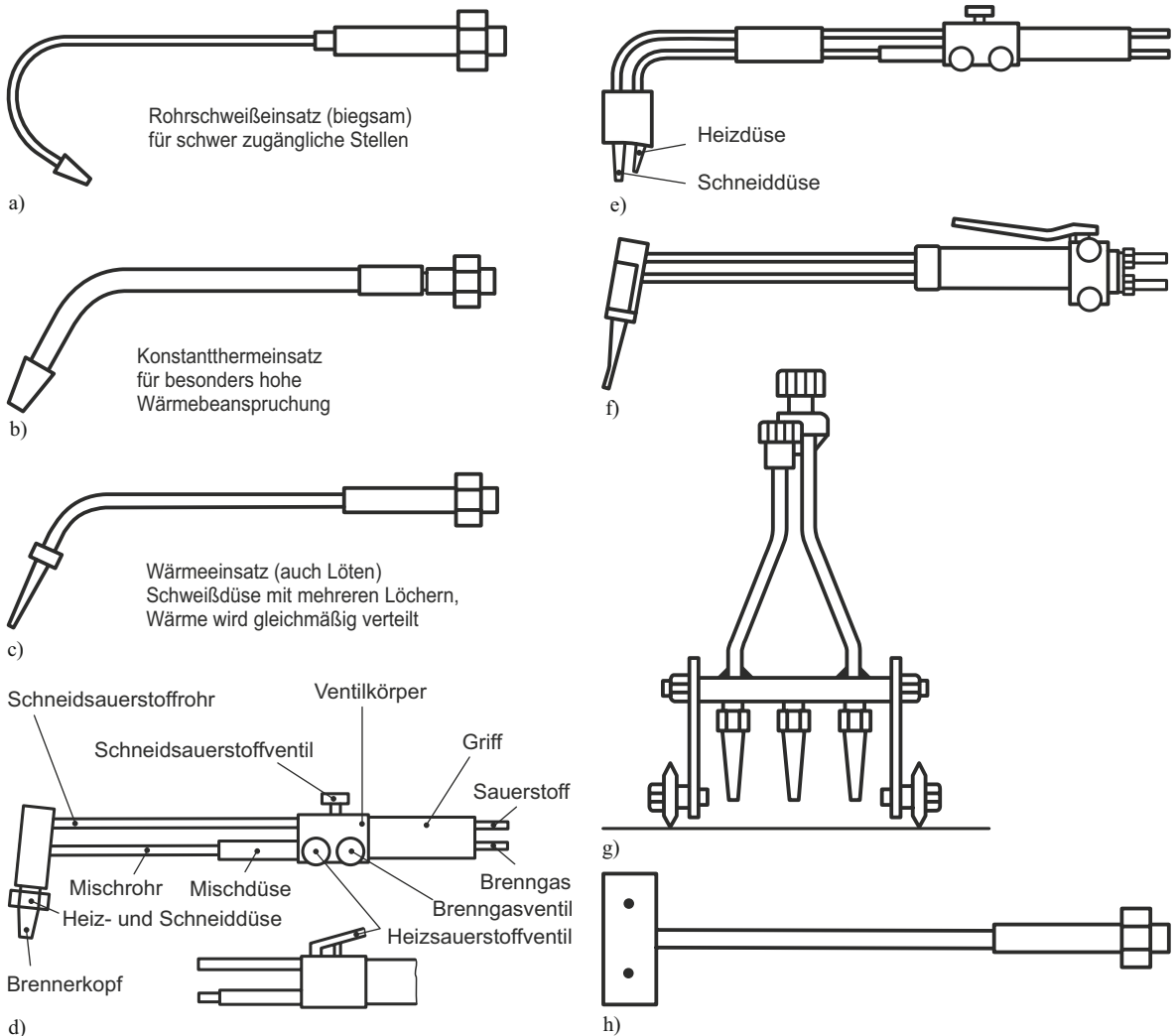
Eine Auswahl weiterer Brennerbauarten und Brenneinsätze für verschiedene Anwendungsgebiete, wie Fügen, Trennen, Umformen (Flammrichten), Stoffeigenschaftsändern (z. B. Flammwärmen) zeigt Bild 4.4.

### 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 Brenneinsätze für verschiedene Anwendungsgebiete.

a) Rohrschweißersatz (biegsam) für schwer zugängliche Stellen; b) Konstanttherm-Brenneinsatz 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) Brenneinsatz zum Flammenstrahlen, Entrosten, Entzundern

flammenbrenner). Die voreilende Flamme wärmt vor, und mit der nachlaufenden Flamme wird unter gleichzeitiger Zugabe des Zusatzwerkstoffes (Schweißdraht) geschweißt. Der Zweiflammenbrenner bedingt zwangsläufig die Nachrechtsschweißung. 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 Absperrn wird zuerst der Sauerstoffhahn geschlossen.

### Löschen

Bei normaler Beendigung der Schweißarbeit, Störungen und Flammenrückschlägen 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 schließen des 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 Reinigungsnadeln 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 Gusseisenwärmeschweißungen oder Schweißen in Werkstückwinkeln), wodurch die Strömungsgeschwindigkeit des Gasgemisches bis unter dessen Zündgeschwindigkeit absinkt. Die zurückschlagende Flamme erlischt meist sofort vor der Druckdüse, kann sich jedoch auch entgegen der Gasströmungsrichtung unter Entwicklung eines charakteristischen, pfeifenden Geräuschs 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 verlöscht plötzlich. Nachströmendes Gasmisch 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! Anderenfalls besteht akute Brand- und Explosionsgefahr!

#### Bereitstellung, Transport und Verteilung

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

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

**Tabelle 4.4** Umrechnungsfaktoren für gasförmigen und flüssigen Sauerstoff

Volumen des Gases in m <sup>3</sup> (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			
		Acetylen	Flüssiggas (Propan)	Methan (Erdgas)	Wasserstoff
Chemisches Symbol	O <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>
Darstellung/Gewinnung	Luftverflüssigung, fraktionierte Destillation	Carbidvergasung, Hochtemperaturpyrolyse	Erdöldestillation	unmittelbare Fündigkeit	Chloralkalielektrolyse, Wasserelektrolyse
Verwendung	Autogentechnik, Hüttenindustrie, Stahlherzeugung, chemische Industrie, Medizin, Raketentechnik	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	> 99,8	≈ 85	> 99,75
Eigenschaften	ungiftig, geruchlos, geschmacklos, farblos, unbrennbar, verbrennungsfördernd	ungiftig, farblos, in Mengen betäubend, charakteristischer Geruch	geruch- und farblos, hohes spezifisches Gewicht, wirkt lösend oder quellend gegenüber einzelnen Elastomer- und Polymerwerkstoffen	ungiftig, geruchlos, geschmack- und farblos	ungiftig, geruchlos und farblos
Verunreinigungen	N <sub>2</sub> , Ar, H <sub>2</sub> O	Ar, H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O
Spezifische Masse in kg/m <sup>3</sup>	1,43 1,33	1,17 1,07	2,02 2,00	0,72 0,66	0,09 0,08
Siedetemperatur in °C	-183	-84	-43	-161	-253
Spezifischer Heizwert in kJ/m <sup>3</sup>		57 120	93 000	≈ 36 000	10 750
Minimale Zündtemperatur in °C		335 295	510 490	640 590	510 450
Zündgeschwindigkeit in m/s		1,3 13,1	0,3 3,7	0,4 3,3	2,7 8,9
Maximale Flammentemperatur in °C		2 325 3 180	1 925 2 850	1 920 2 750	2 095 2 525
Flammenleistung in kJ/(cm <sup>3</sup> s)		≈ 45	≈ 11	≈ 13	≈ 14
Mischungsverhältnis Brenngas : Sauerstoff		1:1	1:3,5	1:1,7	4:1



# Sachwortverzeichnis

4-Niveau-Lasers 424  
 $\Delta I$ -Regelung 78  
 $\Delta U$ -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  
 $Al_2O_3$  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 Stabelektroden 115  
Basizitätsgrad 102, 233  
Beanspruchungszustand 36  
Beschichten 19  
Beschleunigungsspannung 401  
Besetzungsinversion 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  
 $CO_2$  429  
 $CO_2$ -Gaslaser 427  
 $CO_2$ -Slab-Laser 429  
Co-Basis-Legierungen 104  
Crossjet 434

## D

Dampfkanal 409  
Deflagration 307  
Demontage 61  
Detonation 307  
Dick Rutil umhüllte Stabelektroden  
  (RR) 115  
Diffusionsschweißen 483  
Dimethylformamid 298  
Dissousgasflaschen 298  
Dissoziation 64  
Divergenz 424

Divergenzwinkel 438  
Doppelpulstechnik 208  
Drahtantrieb 86  
Drahtelektrodenende 202, 217, 278  
Drahtpulsen 209  
Drahttrichtwerk 90  
Drahtvorschubsysteme 86  
Druckminderer 110, 304  
Dünn Rutil umhüllte  
  Stabelektroden 115  
Durchdrücktechnik 174  
Durchtrittsstrommessung 412  
DVS-Merkblätter 212

## E

Edelmetalle  
– Ultraschallschweißen 465  
Edelstähle 33  
Eigenspannungen 56  
Einschaltdauer 80  
Einschleich-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  
Elektrogasschweißen 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  
Fokusedurchmesser 438  
Fokusposition 413  
Fokussierzahl 438  
Fördergasstrom 174  
Formiergas 183  
Fügbarekeit 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  
Glättungs-drossel 73  
Gleichdruckbrenner 289

Grobkornzone 35  
Güte einer Schweißverbindung 56

**H**

Hartauftragen 95, 101  
Hauptgruppen der  
  Fertigungsverfahren 309  
Heißbrisse 372  
Hilfsstromquelle 166  
Hochdruckbrenner 289  
Hochleistungs-elektroden 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  
Impulsstromschweißen 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  
Mikroplasma-schweißen 178  
Mitteldruckentwickler 297  
mit Zellulose umhüllte  
  Stabelektroden 114  
Monochromasie 424

**N**

Nachlinksschweißen 317  
Nachrechtsschweißen 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  
Plasmaschweißen 155

Plasma-Stichlochschiweißen 175  
Plasmastrahlschweißen 158  
Plasmawolke 435  
PLM 61  
Polungsarten 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  
Punktschweißlack 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  
Schmelzschiweißen 17, 20  
Schutzgasbrause 148, 182, 219  
Schutzgase 105, 441  
Schutzgläser 434  
Schweißaggregate 70  
Schweißbarkeit 29  
Schweißbolzen 105  
Schweißbrenneranstellung 217  
Schweißbeignung 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  
Schweißstabsklassen 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  
Steiflanken-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  
Stromkontaktrohr 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-Inertgasschweißen 127  
Wurzelschutz 149, 183, 219

**X**  
X-Naht 120

**Z**  
Zellulose 113  
Zubrandverhalten 234  
Zündhilfen 259  
Zusatzwerkstoff 16