

A close-up photograph of a welding torch being used on a metal joint. Bright blue and white sparks are visible at the point of contact. The background is dark, and the lighting is focused on the welding area.

Hans J. Fahrenwaldt
Volkmar Schuler
Jürgen Tvrdek

Praxiswissen Schweißtechnik

Werkstoffe · Prozesse · Fertigung

5. Auflage



Praxiswissen Schweißtechnik

Hans J. Fahrenwaldt • Volkmar Schuler •
Jürgen Twrdek

Praxiswissen Schweißtechnik

Werkstoffe, Prozesse, Fertigung

5., vollständig überarbeitete Auflage

 Springer Vieweg

Prof. Dr.-Ing. Hans J. Fahrenwaldt
Stuttgart, Deutschland

Prof. Dr.-Ing. Volkmar Schuler
Ulm, Deutschland

Jürgen Twrdek
Ulm, Deutschland

Wir bedanken uns für die freundliche Unterstützung der voestalpine Böhler Welding Austria GmbH.

voestalpine Böhler Welding Austria GmbH
Böhler-Welding-Str. 1
8605 Kapfenberg, Austria
Tel.: +43 3862 301-0
Fax: +43 3862 301 95193
E-Mail: boehler.welding@voestalpine.com
www.voestalpine.com/welding

ISBN 978-3-658-03140-4
DOI 10.1007/978-3-658-03141-1

ISBN 978-3-658-03141-1 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2003, 2006, 2009, 2011, 2014

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+BusinessMedia
www.springer-vieweg.de

Vorwort zur 5. Auflage

Schweißen ist nach wie vor das wichtigste Verfahren innerhalb der gesamten Fügetechnik. Neben der unübertroffenen Wirtschaftlichkeit erlaubt es konstruktive Ausführungen, die in hohem Maße die Bedürfnisse nach Flexibilität und Gewichtsoptimierung berücksichtigen. Dieses Buch stellt alle relevanten und modernen Verfahren der Schweißtechnik vor und gibt umfassende Informationen zur anforderungs-, anwendungs- und prüfgerechten Gestaltung von Schweißkonstruktionen.

Das Buch versucht, einen Überblick in die Vielzahl praktischer Anwendungen der täglichen schweißtechnischen Arbeit zu geben. Es soll einen Querschnitt an Wissen vermitteln, welche Fügetechniken heute angewendet werden, welches die technischen Grundlagen zum Verbinden von Werkstoffen sind und wie dies in der Praxis umgesetzt werden kann. Fachliche Erklärungen sollen helfen, schnell Lösungen für Verbindungsmöglichkeiten zu finden.

Die 5. Auflage wurde an vielen Stellen grundlegend überarbeitet. Vor allem wurde Wert darauf gelegt, praktische Anwendungsbeispiele in Form von Bildern zu zeigen, zu erklären, um so dem Leser ein fundiertes Praxiswissen zu vermitteln. Auch wurde versucht, aktuelles Wissen praxisnah in die Kapitel zu integrieren, weshalb zu einzelnen Abschnitten Spezialisten auf dem jeweiligen Fachgebiet um Beiträge gebeten wurden. Für deren Mitwirkung an der Überarbeitung einzelner Abschnitte und Kapitel und durch Bereitstellung von Informationsmaterial sei hier ausdrücklich gedankt.

Die Zielgruppen

- Fachleute, die mit schweißtechnischen Fragestellungen befasst sind
- Ingenieure des Maschinenbaus, der Produktionstechnik und des Bauingenieurwesens und -techniker in Konstruktion, Arbeitsvorbereitung und Fertigung
- Studierende der oben angegebenen Fachrichtungen an Hochschulen für Technik und Technischen Universitäten

Ein besonderer Dank geht an Prof. Dr. Carsten Bye von der Privaten Fachhochschule für Wirtschaft und Technik in Diepolz für die komplette Neufassung des Kapitels 6 – Fügen durch Umformen.

Im Weiteren bedankt sich das Autorenteam bei:

- | | |
|--|--|
| Dr.-Ing. B. Jaeschke, Fa. Lorch | – Kap. 2.2 Schweißstromquellen |
| Fa. Elektro-Thermit | – Kap. 2.6 Gießschmelzschweißen |
| Dipl.-Ing. J. Heusel, Trumpf
Werkzeugmaschinen GmbH | – Kap. 2.7.2 Laserstrahlschweißen |
| Dipl.-Ing. R.Trillmich, Fa. Köco | – Kap. 3.3.1 Bolzenschweißen |
| Dr.-Ing. S. Jahn, IFM Jena | – Kap. 3.4 Diffusionsschweißen |
| Dipl.-Ing. M. Ebbinghaus, Fa. Fontargen | – Kap. 4 Löten |
| Dipl.-Ing. W. Krömmer, Fa. Linde | – Kap. 8.2 Thermisches Spritzen |
| Dipl.-Ing. W. Schmidt, Fa. Kjellberg | – Kap. 9 Thermisches Trennen,
Plasmaschneiden |
| Prof. Dr.-Ing. I. Seidl, HS Ulm | – Kap. 11.1.4 Feinkornstähle |

Ganz herzlich möchten sich die Autoren bei Herbert Wittel bedanken, der über viele Auflagen hinweg das Kapitel Schweißnahtberechnung auf aktuellem Stand gehalten hat und somit nachhaltig am Erfolg des Buches beteiligt war. Da das Fachbuch jetzt deutlich in Richtung Praxis weiter entwickelt wird, konnte dieser Abschnitt jetzt herausgelöst werden.

Wie in den Jahren zuvor geht ein herzliches Dankeschön an Herrn Dipl.-Ing. Thomas Zipsner und Frau Imke Zander vom Verlag Springer Vieweg, Lektorat Maschinenbau. Über alle Auflagen hinweg bestand stets eine sehr gute Zusammenarbeit, die besonders zum Gelingen des Buches beitrug.

Ulm, November 2013

Jürgen Twrdek
Volkmar Schuler

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
1 Einleitung	1
<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
2 Schmelzschweißprozesse	7
<i>H. J. Fahrenwaldt/V. Schuler/J. Twrdek</i>	
2.1 Gasschmelzschweißen (G/31)	8
<i>H. J. Fahrenwaldt/V. Schuler/J. Twrdek</i>	
2.1.1 Brenngase	8
2.1.2 Sauerstoff	9
2.1.3 Armaturen	10
2.1.4 Schweißbrenner (DIN EN 731)	12
2.1.5 Schweißzusätze (DIN EN 12536)	15
2.1.6 Schweißarten	16
2.1.7 Unregelmäßigkeiten beim Gasschmelzschweißen	17
2.2 Grundlagen des Lichtbogenschweißens	18
<i>H. J. Fahrenwaldt/V. Schuler/J. Twrdek</i>	
2.2.1 Die Vorgänge im Lichtbogen	18
2.2.2 Schweißstromquellen	21
2.3 Das Lichtbogenhandschweißen (E/111)	32
<i>H. J. Fahrenwaldt/V. Schuler/J. Twrdek</i>	
2.3.1 Stabelektroden	33
2.3.2 Bezeichnung der Elektroden	37
2.3.3 Technik des Schweißens	41
2.3.4 Unregelmäßigkeiten beim Lichtbogenhandschweißen	42
2.4 Unterpulver-Schweißen	43
<i>H. J. Fahrenwaldt</i>	
2.4.1 Elektroden	44
2.4.2 Schweißpulver	45

2.4.3	Draht-Pulver-Kombination	48
2.4.4	Schweißgeräte	50
2.4.5	Unregelmäßigkeiten beim UP-Schweißen	52
2.5	Schutzgasschweißen	53
	<i>H. J. Fahrenwaldt/V. Schuler/J. Twrdek</i>	
2.5.1	Schutzgase zum Schweißen	53
	<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
2.5.2	Metall-Schutzgasschweißen (MSG)	60
	<i>H. J. Fahrenwaldt/V. Schuler/J. Twrdek</i>	
2.5.3	Wolfram-Inertgasschweißen (WIG)	72
	<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
2.5.4	Wolfram-Plasmaschweißen (WP)	78
	<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
2.6	Gießschmelzschweißen	81
	<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
2.7	Strahlschweißprozesse	84
	<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
2.7.1	Elektronenstrahlschweißen (EBW = Electron Beam Welding)	84
2.7.2	Laserschweißen	89
2.8	Elektroschlackeschweißen	96
	<i>H. J. Fahrenwaldt</i>	
3	Prozesse des Pressschweißens	99
	<i>H. J. Fahrenwaldt</i>	
3.1	Widerstandspressschweißen	100
	<i>H. J. Fahrenwaldt/V. Schuler/J. Twrdek</i>	
3.1.1	Punktschweißen (RP/21)	101
3.1.2	Pressstumpf- und Abbrennstumpfschweißen (RPS/25 und RA/24) ..	108
3.1.3	Induktives Widerstandspressschweißen (RI/74)	110
3.2	Gaspressschweißen (GP/47)	110
	<i>H. J. Fahrenwaldt</i>	
3.3	Lichtbogenpressschweißen	111
	<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
3.3.1	Bolzenschweißen	111
3.3.2	Pressschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen (MBL)	119
3.4	Diffusionsschweißen	121
	<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
3.4.1	Ablauf	122
3.4.2	Werkstoffe	123
3.4.3	Anwendung	123

3.5	Reibschweißen	124
	<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
3.5.1	Verfahrensprinzip	125
3.5.2	Reibschweißmaschinen	126
3.5.3	Werkstoffe	127
3.6	Kaltpressschweißen	129
	<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
3.7	Sprengschweißen	132
	<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
3.7.1	Ablauf	132
3.7.2	Werkstoffe	133
3.7.3	Anwendung	134
3.8	Ultraschallschweißen (US/41)	134
	<i>H. J. Fahrenwaldt</i>	
4	Löten	137
	<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
4.1	Einteilung der Lötprozesses	137
4.1.1	Temperaturen beim Löten	140
4.1.2	Grundlagen des Lötens	140
4.1.3	Kapillareffekt	141
4.1.4	Vor- und Nachteile des Lötens	142
4.1.5	Lötbarkeit	143
4.1.6	Löteignung der Werkstoffe	143
4.2	Lötverfahren	143
4.3	Lote	146
4.3.1	Einteilung der Lote nach den Arbeitsbereichen (Temperatur)	146
4.4	Flussmittel	149
4.4.1	Lötgerechtes Konstruieren	152
4.4.2	Eigenschaften von Lötverbindungen	153
4.4.3	Festigkeit von Lötverbindungen	154
4.4.4	Unregelmäßigkeiten von Lötverbindungen	154
4.4.5	Prüfung von Personal und Verfahrensprüfungen	155
4.4.6	Arbeitsschutz beim Löten	156
5	Metallkleben	157
	<i>H. J. Fahrenwaldt</i>	
5.1	Grundlagen des Klebens	158
5.1.1	Oberflächeneigenschaften	159
5.1.2	Oberflächenvorbereitung	160
5.2	Klebstoffe	161

6	Fügen durch Umformen	169
	<i>C. Bye</i>	
6.1	Grundlagen	169
6.2	Clinchen	171
6.2.1	Verfahrensbeschreibung und Varianten	171
6.2.2	Qualitätsrelevante Kenngrößen	172
6.2.3	Anwendungen	173
6.2.4	Geräte und Systeme	173
6.3	Nieten	174
6.3.1	Stanznieten	175
6.3.2	Blindnieten	178
6.3.3	Schließbringbolzen	180
6.3.4	Funktionselemente	182
7	Kunststoffschweißen	189
	<i>H. J. Fahrenwaldt</i>	
7.1	Wärmgasschweißen	193
7.2	Wärmgas-Extrusionsschweißen (WE)	194
7.3	Direktes Heizelementschweißen	195
7.4	Heizwendelschweißen	196
7.5	Indirektes Heizelementschweißen	196
7.6	Ultraschallschweißen	197
7.7	Reibschweißen und Vibrationsschweißen	200
7.8	Hochfrequenzschweißen	200
7.9	Induktionsschweißen	202
7.10	Strahlschweißen	203
7.11	Kleben von Kunststoffen	206
8	Auftragschweißen und Thermisches Spritzen	209
	<i>H. J. Fahrenwaldt/P. Heinrich/W. Krömmer</i>	
8.1	Auftragschweißen	209
8.1.1	Schweißverfahren	210
8.1.2	Aufmischungsgrad	210
8.1.3	Gas-Pulver-Schweißen	211
8.1.4	Lichtbogenhand- und WIG-Schweißen	212
8.1.5	Metall-Schutzgas-Schweißen	212
8.1.6	Plasma-Pulver-Auftragschweißen	213
8.1.7	Laser-Auftragschweißen	213
8.1.8	Elektro-Schlacke-Bandauftragschweißen	215
8.1.9	Schweißzusatzwerkstoffe	216
8.1.10	Auftraglöten	218
8.2	Thermisches Spritzen	218

8.3	Verfahren des Thermischen Spritzens	221
8.3.1	Flammspritzen	221
8.3.2	Flammspritzen mit Draht	221
8.3.3	Flammspritzen mit Pulver	222
8.3.4	Einschmelzen selbstfließender Pulver	223
8.3.5	Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen	223
8.3.6	Verfahrensprinzip des Jet Kote-Spritzen	225
8.3.7	Vorhandene Systeme des Hochgeschwindigkeits-Flammspritzens ..	226
8.3.8	Detonationsspritzen (amerikanische Bezeichnung: D-Gun-Spritzen)	228
8.3.9	Lichtbogenspritzen	229
8.3.10	Plasmaspritzen	230
8.3.11	Kaltgasspritzen	231
8.4	Wirtschaftlichkeit des Thermischen Spritzens als Beschichtungsverfahren...	233
8.4.1	Thermisches Spritzen	233
8.5	Beispiele wirtschaftlicher Einsätze und Anwendungen	234
9	Thermisches Trennen	241
	<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
9.1	Werkstoffe und Materialdicken	243
9.2	Autogenes Brennschneiden	244
9.2.1	Betriebsgase zum autogenen Brennschneiden	247
9.2.2	Brennschneidgeräte	248
9.2.3	Brennschnittgüte	250
9.2.4	Sonderverfahren des autogenen Brennschneidens	252
9.3	Plasmaschneiden	254
9.3.1	Verfahrensprinzip	254
9.3.2	Einteilung der Verfahren	255
9.3.3	Plasmagase	256
9.3.4	Plasmapbrenner	257
9.3.5	Plasmafugen	258
9.3.6	HotWire-Plasmaschneiden	258
9.4	Laserstrahlschneiden	259
9.4.1	Laserarten zum Schneiden	260
9.5	Wasserstrahlschneiden	260
10	Flammrichten	265
	<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
10.1	Verfahrensprinzip	265
10.2	Ausführung	266
10.3	Ausrüstung	269
10.4	Eignung der Werkstoffe und Besonderheiten beim Flammrichten	270
10.4.1	Stähle	270

11 Werkstoffe und Schweißen	277
<i>H. J. Fahrenwaldt</i>	
11.1 Stahl und Eisen	277
11.1.1 Die Beeinflussung des Grundwerkstoffs durch das Schweißen	277
11.1.2 Allgemeine Baustähle	286
11.1.3 Schweißgeeignete Betonstähle	289
11.1.4 Feinkornbaustähle	290
<i>I. Seidl</i>	
11.1.5 Hochlegierte Stähle	296
11.1.6 Eisen-Kohlenstoff-Gusswerkstoffe	303
11.1.7 Schweißverbindungen von unterschiedlichen Metallen	308
11.2 Nichteisenmetalle	311
11.2.1 Aluminium und Aluminiumlegierungen	311
11.2.2 Kupfer und Kupferlegierungen	318
11.2.3 Nickel und Nickellegierungen	324
11.2.4 Titan und Titanlegierungen	327
11.2.5 Molybdän und Molybdänlegierungen	329
11.2.6 Magnesium und Magnesiumlegierungen	330
12 Anforderungsgerechte Gestaltung von Schweißkonstruktionen	335
<i>V. Schuler/J. Tvrdek</i>	
12.1 Beanspruchungsgerechte Gestaltung	335
12.1.1 Statisch und dynamisch beanspruchte Bauteile	337
12.1.2 Biege- und verdrehsteife Konstruktionen	340
12.1.3 Zug- und druckbeanspruchte Stäbe	343
12.1.4 Vibrationsgerechte Gestaltung	345
12.1.5 Vakuumgerechte Gestaltung	349
12.2 Fertigungsgerechte Gestaltung	351
12.3 Werkstoffgerechte Gestaltung	364
12.3.1 Nahtvorbereitung und Fugenform	364
12.3.2 Gestaltung bei Oberflächenbeschichtungen	365
12.3.3 Verbindungen an plattierten Blechen	368
12.3.4 Mischverbindungen	371
12.3.5 Verminderung der Terrassenbruchneigung	375
12.4 Korrosionsgerechte Gestaltung	376
12.5 Prüfgerechte Gestaltung	385
12.6 Instandsetzungsgerechte Gestaltung	387
12.6.1 Allgemeines zu Instandsetzung	387
12.6.2 Riegeln	390
12.7 Mechanisierungs-/Automatisierungsgerechte Gestaltung	393

13 Anwendungsgerechte Gestaltung von Schweißkonstruktionen	401
<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
13.1 Stahlbau – Trägergestaltung und Trägeranschlüsse	401
13.1.1 DIN 18800 versus DIN EN 1090	401
13.1.2 Tragwerke	406
13.1.3 Vorschriften	408
13.1.4 Werkstoffe	409
13.1.5 Schweißzusätze	409
13.1.6 Halbzeuge	410
13.1.7 Herstellung	410
13.1.8 Grundsätze für die Konstruktion	411
13.1.9 Vollwandträger	412
13.1.10 Aussteifungen	416
13.1.11 Fachwerkträger	419
13.1.12 Hohlprofilkonstruktionen	423
13.1.13 Rahmenecken	424
13.1.14 Trägeranschlüsse	425
13.2 Behälter-, Apparate-, Druckgefäße-, Tank- und Rohrleitungsbau	427
13.2.1 Vorschriften	428
13.2.2 Herstellung	429
13.2.3 Werkstoffe	430
13.2.4 Schweißzusätze	431
13.2.5 Allgemeine Gestaltungsregeln	432
13.2.6 Nahtformen und Schweißnahtvorbereitungen	435
13.2.7 Flanschanschlüsse	436
13.2.8 Rohrverbindungen	440
13.2.9 Stutzenanschlüsse	443
13.2.10 Kompensatoren	445
13.2.11 Mäntel, Böden und Doppelmäntel für Behälter, Apparate und Tanks	446
13.2.12 Halbrohre zum Anschweißen an Behälter	453
13.2.13 Einschweißen von Rohren in Rohrböden	454
13.2.14 Rauchgasdichte Rohrwände	455
13.2.15 Bestiften (Bolzenschweißung) an leeren Rohren	456
13.3 Gestaltung von Maschinenelementen	457
13.3.1 Allgemeine Gestaltungsregeln	457
13.3.2 Hebel, Stangen und Gabeln	458
13.3.3 Drehende Maschinenteile	460
13.4 Gestaltung im Fahrzeugbau	461
13.5 Schweißen und Löten im Luft- und Raumfahrzeugbau	475
13.6 Schweißen in Feinwerktechnik und Elektronik	484

14	Berechnung von Schweißnähten	495
	<i>J. Twrdek</i>	
14.1	Grundsätze der Schweißnahtberechnung im Maschinenbau	495
14.2	Grundregeln für die Fugenformen von Schweißnähten	498
14.2.1	T-Stoß	499
14.2.2	Stumpfstoß	500
15	Schweißeigenspannungen und -verformungen	507
	<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
15.1	Entstehung von Eigenspannungen	507
15.2	Schrumpfungsarten	508
15.2.1	Beeinflussende Faktoren	511
15.2.2	Maßnahmen zur Verminderung von Schweißeigenspannungen	511
15.2.3	Bauteilverzug und Schweißfolgeplan	514
15.2.4	Abbau von Eigenspannungen	520
15.2.5	Auswirkungen von Schweißeigenspannungen	523
15.2.6	Rechnerische Berücksichtigung der Eigenspannungen	524
16	Darstellung und Ausführung von Schweißverbindungen	527
	<i>J. Twrdek</i>	
16.1	Zeichnerische Darstellung von Schweißnähten	527
16.2	Stoßarten, Fugenformen und deren Auswahl	539
17	Wirtschaftlichkeitsüberlegungen	545
	<i>J. Twrdek</i>	
18	Qualitätssicherung	553
	<i>J. Twrdek</i>	
18.1	Schweißtechnische Qualitätsanforderungen und Schweißaufsicht	554
18.2	Schweißen in gesetzlich geregelten Bereichen	560
18.3	Schweißnaht – Verfahren und Möglichkeiten der Prüfung	564
18.4	Fehlertoleranzen und Unregelmäßigkeiten von Schweißverbindungen	577
18.5	Schulung und Prüfung von Schweißern und Bedienern von Schweißeinrichtungen	591
18.6	Gesundheits-, Arbeits- und Brandschutz (GABS)	602
19	Anhang	611
19.1	Tabellen und Diagramme	611
	<i>H. J. Fahrenwaldt/J. Twrdek</i>	
19.2	Normen in der Schweißtechnik	623
	<i>J. Twrdek</i>	
	Sachwortverzeichnis	639

Schweißen ist ein Fügeprozess, bei dem zwei oder mehr Teile miteinander zu einem Kontinuum verbunden werden. Dabei werden die zu verbindenden Werkstoffe unter Anwendung von Wärme oder Kraft oder beides und mit oder ohne Schweißzusatzwerkstoff hergestellt. Schweißen kann auch zum Beschichten und zum Wiederaufschmelzen benutzt werden. DIN 1910-100 definiert diese und weitere Grundbegriffe zum Schweißen.

Fügen ist nach DIN 8580 definiert als das „auf Dauer angelegte Verbinden oder sonstiges Zusammenbringen von zwei oder mehreren Werkstücken geometrisch bestimmter fester Form oder von eben solchen Werkstücken mit formlosem Stoff; dabei wird der Zusammenhalt örtlich geschaffen und im Ganzen vermehrt“.

Fügen ist die Hauptgruppe 4 in der Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580, Abb. 1.1:

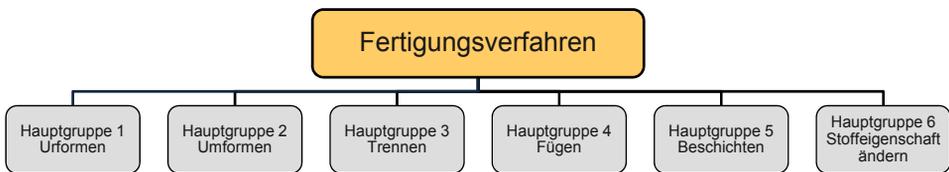


Abb. 1.1 Fertigungsverfahren nach DIN 8580

Urformen, Hauptgruppe 1, ist das Fertigen eines festen Körpers aus formlosem Stoff. Der Ausgangsstoff ist dabei flüssig, plastisch, breiig, pulverförmig oder gasförmig. Ein Zusammenhalt wird geschaffen. Bekanntestes Verfahren des Urformens ist das Gießen. Es lassen sich jedoch auch Bauteile aus reinem Schweißgut (herstellen) urformen.

Umformen, Hauptgruppe 2, beschreibt die plastische Änderung der Form eines festen Körpers. Masse und Zusammenhalt bleiben bei Volumenkonstanz erhalten. Beispiele des Umformens sind das Walzen, Freiformen und Tiefziehen.

Trennen, Hauptgruppe 3, sind alle Verfahren des Zerteilens, Abtragens oder Zerlegens. Der Zusammenhalt der Körper wird teilweise oder im Ganzen vermindert.

Fügen, Hauptgruppe 4, und *Beschichten, Hauptgruppe 5*, vermehren den Zusammenhalt. Sie verbinden Werkstücke bzw. bringen eine fest anhaftende Schicht auf die Oberfläche von Werkstücken. Die wichtigsten Verfahren des Fügens sind in Abb. 1.2 dargestellt. Zum Beschichten gehören alle Verfahren des Schmelztauchens oder Lackierens (Beschichten aus dem flüssigen Zustand), aber auch Beschichten durch Schweißen, Löten, Bedampfen oder Bestäuben.

Hauptgruppe 6, Stoffeigenschaft ändern, hat als wesentliches Ziel, die Eigenschaften der Werkstoffes zu verändern. Verfestigungsstrahlen, Wärmebehandeln, Thermomechanisches Behandeln, Sintern, Magnetisieren gehören zu den Verfahren dieser Hauptgruppe. Dabei geht es um Veränderungen im submikroskopischen oder atomaren Bereich (Diffusion, chemische Reaktionen, Versetzungen im Atomgitter).

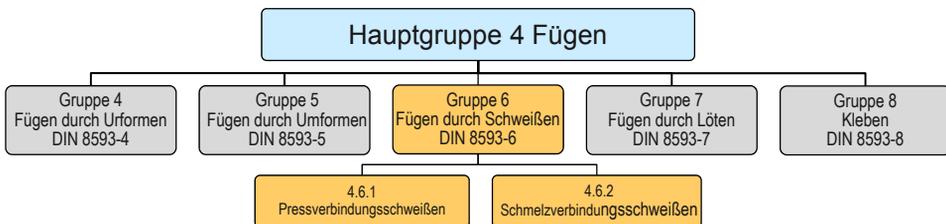


Abb. 1.2 Fügen nach DIN 8580 – ausgewählte Gruppen und Untergruppen

Der Fertigungsablauf ist bei allen Prozessen nach DIN 8580 so gestaltet, dass es eine Ausgangsform und eine Endform, ein Rohteil und ein Fertigteil gibt. Für den speziellen Prozess des Schweißens sind es im Wesentlichen drei Merkmale, die die Schweißbarkeit bestimmen. Das sind die:

- Schweißignung,
- Schweißmöglichkeit und
- Schweißsicherheit, siehe Abb. 1.3.



Abb. 1.3 Schweißbarkeit

In der früheren DIN 8528-1 wurden diese Begrifflichkeiten näher definiert.

Die *Schweißneigung* ist eine Werkstoffeigenschaft. Sie ist vorhanden, wenn die chemischen, physikalischen und metallurgischen Eigenschaften des Werkstoffes ein Verbinden der Werkstoffe ohne Probleme erlauben. Während die chemische Zusammensetzung der Werkstoffe unter anderem die Rissbildung und Aufhärtungsneigung beeinflussen, bestimmen die physikalischen Eigenschaften der Werkstoffe die Wärmeleitfähigkeit und Ausdehnung, Schmelzpunkt, Festigkeit und Zähigkeit. Metallurgische Eigenschaften wie Erschmelzungsart und Wärmebehandlungszustand wirken unter anderem auf die Gefügeausbildung und Korngröße.

Die *Schweißmöglichkeit* ist eine Fertigungseigenschaft und kennzeichnet demnach die fachgerechte Vorbereitung, Ausführung und Nachbereitung unter anderem durch Einsatz der entsprechenden Schweißprozesse. Weitere fertigungsbedingte Faktoren sind die Art der Verbindung (Stoßart, Fugenform), die Auswahl der Schweißzusätze und Hilfsstoffe, Wärmeleitung (Vorwärmen, Zwischenlagentemperatur, Wärmenachbehandlung), Schweißfolge und alle mechanischen und chemischen Nachbehandlungen der Schweißnaht (Bürsten, Schleifen, Beizen, Passivieren).

Unter *Schweißsicherheit* versteht man die konstruktive Gestaltung, die unter den vorgegebenen Betriebs- und Belastungsbedingungen ihre Funktion erfüllen muss. Deshalb nimmt die Schweißsicherheit Einfluss auf die konstruktive Gestaltung (Kraftfluss, Nahtanordnung, Bauteildicken, Kerbwirkungen) und den Beanspruchungs-zustand (Temperatur, Korrosion, Art und Höhe der Spannungen).

In DIN EN 14610, Schweißen und verwandte Prozesse, werden die Schweißprozesse aufgrund der physikalischen Eigenschaften beim Schmelz- und Pressschweißen nach dem Energieträger eingeteilt. Die Energieträger sind feste Körper, Flüssigkeiten und Gase, elektrische Gasentladung, Strahlung, Bewegung von Massen und elektrischer Strom. Diese Energieträger übertragen die zum Schweißen erforderliche Energie auf das Werkstück oder werden durch Umsetzen der Energie verfügbar gemacht. Beim Hybrid-schweißen werden zwei oder mehrere Schweißprozesse gleichzeitig angewendet.

Beim Schmelzschweißen werden die Fügeflächen angeschmolzen. In der Regel wird mit einem Schweißzusatz gearbeitet und keine äußere Kraft aufgewendet.

Beim Pressschweißen findet eine plastische Verformung statt. Es wird eine äußere Kraft aufgewendet und ohne Schweißzusatz gearbeitet.

Die nachfolgenden Kapitel 2, Schmelzschweißprozesse, und Kapitel 3, Pressschweißprozesse, sind entsprechend eingeteilt.

Tab. 1.1 Übersicht über die wichtigsten Schweißprozesse

Verfahren	Kennzahl ISO4063	Kurzzeichen	Ab-schmelz-leistung [kg/h]	Leis-tungs-dichte [W/cm ²]	Schweiß-geschwin-digkeit [m/min]	Blech-dicken-bereich [mm]	Aufmi-grad mit GW [%]	Erforder-liche Handfer-tigkeit	Automa-tisier-bar-keit	Ther-mischer Wir-kungs-grad [%]	Bau-stellen-tauglich-keit	Anlagen-kosten [T€]	Bemer-kung
Gasschmelzschweißen	3	G	0,1–1,0	10 ³	0,03–0,15	0,5–8,0	5–30	sehr groß	keine	40–50	sehr gut	0,5	
Lichtbogenhand-schweißen	111	E	0,2–4,0	10 ⁴	0,15–0,3	1–100	15–40	groß	keine	50–60	sehr gut	2–4	
Unterpulverschweißen, Massivdraht	121	UP	4–16	10 ⁶	0,3–1	3–100	40–60	keine	sehr gut	85–95	bedingt	20–30	
Unterpulverschweißen, Massivband	122	UP	2–4	10 ³	0,2–0,4	10–100	5–8	keine	sehr gut	90	bedingt	25	
Metall-Schutzgas (13, MSG), mit Massiv-drahtelektrode	131(MIG) / 135 (MAG)	MIG/ MAG	1–8	10 ⁵	0,2–1,8	0,6–100	25–35	mäßig	sehr gut	70	gut	6–30	a Maß 6...8 in einer Lage möglich
MAG, Fülldraht	136	MIG	3–15	10 ⁵	0,2–1,5	0,6–100	15–30	mäßig	sehr gut	60	sehr gut	6–30	
MSG, Hochleistungs-schweißen		MAG	10–20	10 ⁵	0,5–6	0,6–100	25–35	groß	sehr gut	70	bedingt	12–16	
Wolfram-Inertgas-schweißen (WIG)	141	WIG	0–0,6	10 ⁴	0,1–0,3	0,1–7	bis 100	groß	gut	60	bedingt	4–14	Engspalt-schweißen möglich
Mikro-WIG-Schweißen	141	WIG	0–0,1	10 ⁴	0,02–0,8	0,02–0,8	bis 100	sehr groß	gut	60	bedingt	8	
WIG-Schweißen mit Kaltdrahtzusatz	141	WIG	0,8–1,5	10 ⁴	0,1–0,4		15–25	keine	gut	50	bedingt	8–15	
WIG-Schweißen mit Heißdraht	141	WIG		10 ⁴			15–25	keine	gut		bedingt	10–18	

Tab. 1.1 Fortsetzung

Verfahren	Kennzahl ISO4063	Kurzzeichen	Ab-schmelz-leistung [kg/h]	Leis-tungs-dichte [W/cm ²]	Schweiß-geschwin-digkeit [m/min]	Blech-dicken-bereich [mm]	Aufmi-schungs-grad mit GW [%]	Erforder-liche Handfer-tigkeit	Automa-tisier-barkeit	Ther-mischer Wir-kungs-grad [%]	Bau-stellen-tauglich-keit	Anlagen-kosten [T€]	Bemer-kung
WIG-Orbitalschweißen	141	WIG		10 ⁴			bis 100	keine	sehr gut		gut	15–35	
Wolfram-Plasma-schweißen, manuell	15	WP	0–0,8	10 ⁶	0,2–0,8	0,2–12	bis 100	sehr groß	Keine	65	bedingt	7–10	
Mikroplasmenschweißen	15	WP	0–0,1	10 ⁶		0,01–0,8	bis 100	sehr groß	bedingt	65	bedingt	7–10	
WP-Schweißen mecha-nisiert, Stichloch	15	WP	0	10 ⁶	0,2–0,6	2,5–12	100	keine	sehr gut	65–70	bedingt	40	
WP-Schweißen mit Kalt-drahtzufuhr	15	WP	0,8–2	10 ⁶	0,1–0,5	2–20	15–25	keine	sehr gut	50	bedingt	45	
Elektronenstrahl-schweißen	51	EB	0	10 ⁸	0,2–5	0,01–260	bis 100	keine	sehr gut	80	keine	50–1.000	Al bis 350mm Dicke
Laserstrahlschweißen	52	LA	0–0,3	10 ⁹	0,2–22	0,01–10	bis 100	keine	sehr gut	80	keine	50–1.000	Geschw. stark dicken-abhängig
Elektro-Schlacke-Schweißen (RES)	72	RES	10–12	10 ⁴	0,01–0,1	10–300	5–20	keine	sehr gut	90	gut	20–40	
RES-Band-Auftragschweißen	721	RES	2–4	10 ³	0,05–0,1	15–100	3–5	keine	sehr gut	90	gut	30–40	
Elektrogasschweißen	73	MSGG	5–10	10 ⁴	0,02–0,2	10–100	5–20	keine	sehr gut	80	gut	25	

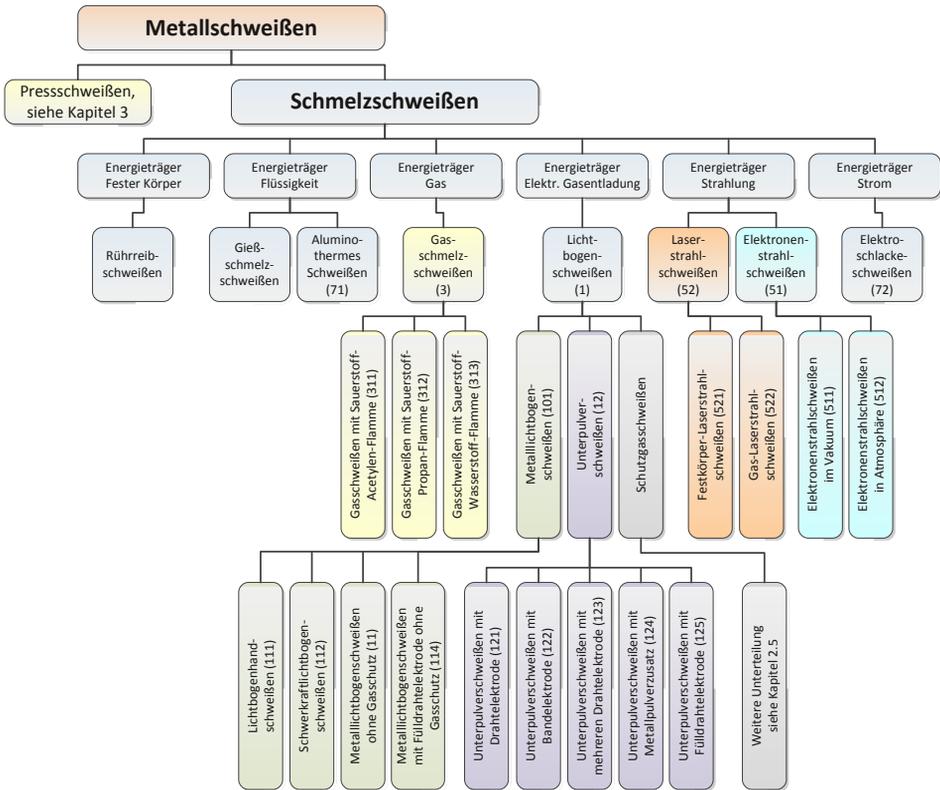
Tab. 1.1 Fortsetzung

Verfahren	Kennzahl ISO 4063	Kurzzeichen	Ab- schmelz- leistung	Leis- tungs- dichte	Schweiß- geschwin- digkeit	Blech- dicken- bereich	Aufmi- schungs- grad mit GW	Erforder- liche Handfer- tigkeit	Automa- tisierbar- keit	Ther- mischer Wir- kungs- grad	Bau- stellen- tauglich- keit	Anlagen- kosten	Bemer- kung
			[kg/h]	[W/cm ²]	[m/min]	[mm]	[%]			[%]		[T€]	
Reibschweißen	42	FR	0		0	0,5–200	100	keine	sehr gut		keine	300–1.000	
Hochfrequenzschweißen	27	HF	0		21–175	1,5–16	100	keine	sehr gut		keine	700–2.000	
Widerstandspunkt- schweißen	21	RP	0	10 ⁵	0	0,2–8 (20)	100	mäßig	sehr gut	75	bedingt	15–100	
Widerstandsbuckel- schweißen	23	RB	0	10 ⁴	0	0,5–10	100	keine	sehr gut	70	keine	15–100	
Widerstands- Rollnahtschweißen	22	RR	0	10 ⁴	0,4–6	0,3–3	100	keine	sehr gut	65	keine	30–200	
Widerstands- Pressstumpfschweißen	25	RPS	0	10 ⁵	0	A= 200 mm ²	100	keine	sehr gut	65	keine	30–100	
Abbreinstumpf- schweißen	24	RA	0	10 ⁴	0	A= 80.000 mm ²	100	keine	sehr gut	60	keine	30–2.000	
Widerstandsbolzen- schweißen $\varnothing < 10$ mm	26	RB	0	10 ⁴	0	0,5–20	100	mäßig	bedingt	80	sehr gut	3–10	Prozess mit Spitzen- zündung
Widerstandsbolzen- schweißen $\varnothing < 24$ mm	786	RB	0	10 ⁴	0	3–30	100	mäßig	bedingt	85	sehr gut	6–15	Prozess mit Hub- zündung

Schmelzschweißprozesse

Unter dem Begriff Schmelzschweißen werden die Prozesse zusammengefasst, bei denen das Schweißen bei örtlich begrenztem Schmelzfluss ohne Anwendung von Kraft mit oder ohne Schweißzusatz erfolgt (DIN 1910 Teil 2; ersetzt durch DIN ISO 857-1). Eine Übersicht über die zu dieser Verfahrensgruppe zählenden Prozesse gibt Tab. 2.1.

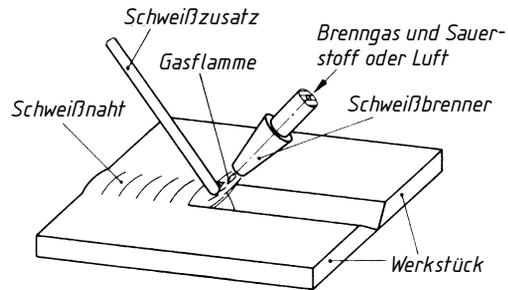
Tab. 2.1 Einteilung der Schmelzschweißprozesse nach DIN 1910-100 mit Nummern nach DIN EN ISO 4063



2.1 Gasschmelzschweißen (G/31)

Beim Gasschmelzschweißen, auch autogenes Schweißen genannt, entsteht der Schmelzfluss durch unmittelbares, örtlich begrenztes Einwirken einer Brenngas-Sauerstoff-Flamme. Wärme und Schweißzusatz werden, wenn eingesetzt, getrennt zugeführt (Definition nach DIN ISO 857-1), Abb. 2.1.

Abb. 2.1 Gasschmelzschweißen
(nach DIN 1910)

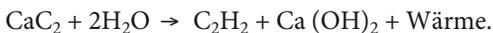


2.1.1 Brenngase

Als Brenngase kommen in Betracht Acetylen, Propan, Ethen, Methan, und gegebenenfalls auch Wasserstoff. Für die Beurteilung der Verwendbarkeit zum Schweißen ist neben der erreichbaren Flammentemperatur und der Verbrennungsgeschwindigkeit die Flammenleistung von Bedeutung, siehe Abb. 9.6 im Kapitel 9.2.1 „Betriebsgase zum autogenen Brennschneiden“. Als am besten geeignetes Gas ergibt sich daraus das Acetylen. Dieses Gas erfüllt darüber hinaus noch weitere für die Anwendung wichtige Bedingungen: Es ist nicht giftig, bildet bei richtiger Brennereinstellung keine Verbrennungsrückstände in der Naht und bietet bei reduzierend eingestellter Flamme einen guten Schutz des Schmelzbades.

Unter sicherheitstechnischen Gesichtspunkten sind noch die Explosionsgrenzen von Bedeutung, die beim Gemisch Sauerstoff/Acetylen zwischen 2,4 und 93 % Acetylen liegen.

Acetylen (Ethin, C_2H_2) ist ein Kohlenwasserstoff mit der Strukturformel $H-C \equiv C-H$. Gewonnen wird Acetylen in der Regel aus der Reaktion von Calciumcarbid und Wasser nach der Formel



Daneben existieren thermische Herstellungsverfahren, die von Kohlenwasserstoffen ausgehen. Acetylen wird heute gebrauchsfertig in Stahlflaschen in den Handel gebracht; die Verwendung von eigenen Acetylen-Entwicklern im Betrieb ist nicht mehr üblich.

Infolge der Dreifachbindung ist Acetylen bereits bei Drücken über 3,5 bar bzw. höheren Temperaturen instabil. Im Gegensatz zu anderen Gasen kann es somit nicht unter

hohem Druck gespeichert werden. Ausgenutzt wird daher die sehr gute Lösungsfähigkeit des Acetons für Acetylen (bei 1 bar Druck können 25 Liter Gas in 1 Liter gelöst werden). Die zur Speicherung verwendeten Stahlflaschen werden heute mit einer hochporösen monolithischen Masse aus Calciumsilikaten oder Kunststoffgranulat gefüllt, in die sich das mit Acetylen beladene Aceton einlagert. So wird eine gleichmäßige Verteilung des Acetons im Speicherraum erreicht und gleichzeitig vermieden, dass Lösungsmittel bei der Gasentnahme mitgerissen wird. Diese Maßnahme erlaubt auch die Erhöhung des Flaschendrucks bis auf 19 bar. In der Praxis enthält eine 40 Liter-Flasche 13 Liter Aceton. Bei einem Flaschendruck von 18 bar ergibt dies ein speicherbares Volumen von ca. 6.000 Liter Acetylen, wovon 5.600 Liter nutzbar sind.

Infolge der Lösung des Acetylen im Aceton folgt das Gas nicht den bekannten Gasgesetzen. Der in einer Flasche noch vorhandene Gasvorrat kann daher nicht aus dem Flaschendruck ermittelt werden, vielmehr ist dazu eine Wägung erforderlich.

Aus Sicherheitsgründen ist die maximale Entnahmemenge im Dauerbetrieb auf 700 Liter Acetylen je Stunde begrenzt; bei höherem Bedarf sind daher Flaschenbatterien zu verwenden. Die Flaschen tragen eine kastanienbraune (früher gelbe) Kennfarbe; sind sie bereits mit der modernen hochporösen Füllung versehen, so sind sie zusätzlich mit einem roten Ring am Flaschenhals gekennzeichnet. Diese Flaschen dürfen auch waagrecht liegend verwendet werden; sonst sind die Flaschen unter einem Winkel von mindestens 15° zur Waagrechten zu lagern. Alle Flaschen sind vor Sonneneinstrahlung zu schützen. Der Anschluss der Entnahmematuren an die Flasche erfolgt mit einem Spannbügel.

Nach TRAC 204 ist es nicht zulässig, für mit Acetylen in Kontakt kommende Teile Kupfer bzw. Kupferwerkstoffe mit mehr als 70 % Kupferanteil zu verwenden. Wegen der möglichen Bildung von Kupferacetylid (Cu_2C_2) besteht Explosionsgefahr.

DIN EN ISO 9539 enthält die Werkstoffe, die für Geräte für Gasschweißen, Schneiden und verwandte Prozesse geeignet sind.

2.1.2 Sauerstoff

Der zur Verbrennung erforderliche Sauerstoff wird großtechnisch durch Verflüssigung und anschließende Rektifikation aus der atmosphärischen Luft gewonnen. Er kommt in Stahlflaschen mit einem Fülldruck von 200 oder 300 bar in den Handel. Für Großverbraucher ist es günstig, den Sauerstoff flüssig in Großbehältern zu beziehen und in Kaltvergasern an Ort und Stelle in den Verbrauchszustand umzuwandeln. Nach den Gasgesetzen (Boyle-Mariotte) enthält eine 50-Liter-Flasche bei 200 bar Fülldruck 10 m³ Sauerstoff von 1 bar.

Das in einer Flasche vorhandene Sauerstoffvolumen kann nach der Beziehung $Q = p \cdot V$ unmittelbar aus dem Flaschendruck ermittelt werden.

Die Kennfarbe für Sauerstoff-Flaschen ist weiß (früher blau). Der Anschluss des Druckminderers an die Flasche erfolgt über ein G 3/4" Rechts-Gewinde. Alle Teile, die mit dem Sauerstoff in Kontakt kommen, müssen unbedingt frei von Fett und Öl gehalten

werden. Reiner Sauerstoff darf niemals zum Reinigen von Kleidungsstücken oder zum Belüften von Räumen bzw. Behältern verwendet werden. Sauerstoff ist schwerer als Luft und reichert Kleider und Räume von unten her an.

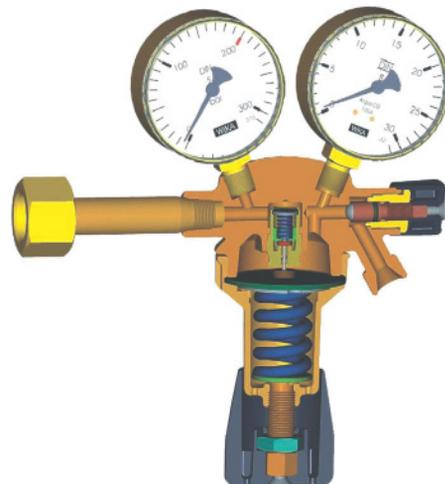
2.1.3 Armaturen

2.1.3.1 Druckminderventile (DIN EN ISO 2503)

Der Arbeitsbereich des Brenners liegt bei 0,5 bar für das Acetylen und 2,5 bar für den Sauerstoff. Das unter wesentlich höherem Druck in den Flaschen gespeicherte Gas muss also auf diesen Arbeitsdruck entspannt werden, was üblicherweise in einem membran-gesteuerten Druckminderventil erfolgt. Abb. 2.2 zeigt schematisch den Aufbau eines solchen Ventils. Der Ventilteller wird von zwei Federn belastet, einmal von der Schließfeder – sie ist bestrebt, das Ventil zu schließen – und über die vom Arbeitsdruck beaufschlagte Membran von der Einstellfeder, deren Spannung mit der Einstellschraube verändert werden kann und die der Schließkraft entgegenwirkt. Bei eingestelltem Arbeitsdruck herrscht Kräftegleichgewicht. Wird der Arbeitsdruck zu hoch, so drückt dieser die Membran entgegen der Wirkung der Einstellfeder nach unten und das Ventil schließt sich. Beim Absinken des Arbeitsdruckes drückt die Einstellfeder den Ventilteller gegen die Schließkraft nach oben, so dass sich das Ventil wieder öffnet. Die Reduzierung des Druckes erfolgt dabei einstufig über die Drosselwirkung des Ventilsitzes.

Die Druckminderer, wie auch die im Folgenden besprochenen Armaturen, müssen ihrer Gasart entsprechende Kennbuchstaben tragen, wie O für Sauerstoff, A für Acetylen oder F für andere Brenngase.

Abb. 2.2 Druckminderventil.
(Quelle: Werkbild CGE Rhöna)

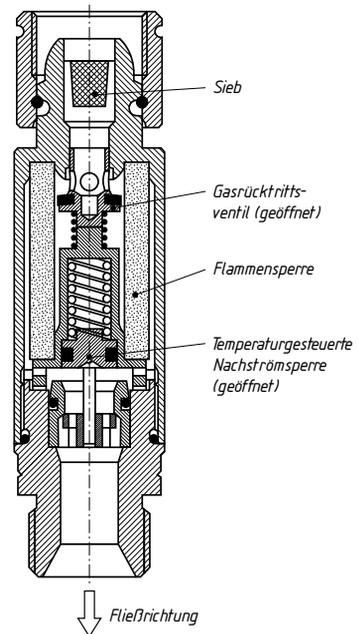


2.1.3.2 Rückschlagsicherungen (DIN EN 730)

Durch defekte Brenner kann es zu einem schleichenden Rücktritt von Sauerstoff in die Brenngasflasche kommen bzw. können Flammen in diese zurückschlagen. Um dies zu verhindern bzw. nach einem Flammenrückschlag die Zufuhr von Brenngas zu unterbinden, werden Rückschlagsicherungen oder Gebrauchsstellenvorlagen unmittelbar hinter dem Druckminderer in der Brenngasleitung angeordnet. Üblich sind heute trockene, druck-gesteuerte Gebrauchsstellenvorlagen mit oder ohne thermische Steuerung.

Wie Abb. 2.3 zeigt, handelt es sich um federbelastete Ventile. Der Druck des durchströmenden Gases öffnet diese Ventile gegen die Federkraft. Die Flammensperre wird im Allgemeinen durch poröse Körper (Keramik, Sintermetall) gebildet. Die in der Abbildung gezeigte Nachströmsperre muss nach einem Ansprechen ausgetauscht werden. Die Fixierung des Federkörpers erfolgt mittels eines niedrig schmelzenden Lots, was eine irreversible Ventilauslösung nach Erwärmung zur Folge hat.

Abb. 2.3 Schnittzeichnung einer trockenen Gebrauchsstellenvorlage. In ihr sind Flammensperre, Gasrücktrittsventil und Nachströmsperre kombiniert. (Quelle: nach Ibeda)



2.1.3.3 Schläuche und Schlauchanschlüsse (DIN EN 559, 560, 561 und 1256, DIN EN ISO 3821)

Die Gasschläuche (DIN EN 559) sind entsprechend den zulässigen Betriebsdrücken in zwei Klassen – C = 20 bar und D = 40 bar maximaler Betriebsdruck – eingeteilt. Für Acetylen ist die Farbe Rot vorgeschrieben, Sauerstoffschläuche sind blau. Die Schläuche für Flüssiggase müssen quellbeständig sein und sind in DIN EN 11763 genormt; die Kennfarbe ist Orange.

Vor Inbetriebnahme sind neue Brenngasschläuche mit Druckluft, neue Sauerstoffschläuche mit Sauerstoff auszublasen. Zu beachten ist, dass alle Schlauchwerkstoffe al-

tern. Schläuche sind daher regelmäßig auf Dichtigkeit zu prüfen. Um einem falschen Anschluss vorzubeugen, sind die Schlauchanschlüsse am Druckminderventil unterschiedlich ausgeführt. Für Brenngase sind Linksgewinde, für alle anderen nichtbrennbaren Gase Rechtsgewinde vorgesehen.

2.1.4 Schweißbrenner (DIN EN 731)

Im Schweißbrenner werden Brenngas und Sauerstoff in einem einstellbaren Verhältnis miteinander gemischt. Wichtig ist, dass dies auf einfache Weise reproduzierbar geschieht und während des Schweißens konstante Betriebsbedingungen eingehalten werden.

Die Bauarten werden unterschieden nach Gleichdruck- und Injektor-(Saug-)brenner. Beim Gleichdruckbrenner, wie er in den USA üblich ist, werden die beiden Gase unter gleichem Druck zugeführt. Im Gegensatz dazu steht bei dem in Deutschland üblichen Saugbrenner, Abb. 2.4, der Sauerstoff unter einem Druck von etwa 2,5 bar, während das Acetylen mit einem Druck von etwa 0,2 bar zugeführt wird. Der Sauerstoff strömt mit höherer Geschwindigkeit aus der Druckdüse in den Injektor. Infolge des dort entstehenden Unterdrucks wird Acetylen angesaugt und mit dem Sauerstoff vermischt, was im Wesentlichen in der Mischdüse bzw. dem Mischrohr erfolgt. Nach Zündung des Gasgemisches entsteht dann an der Schweißdüse die Schweißflamme.

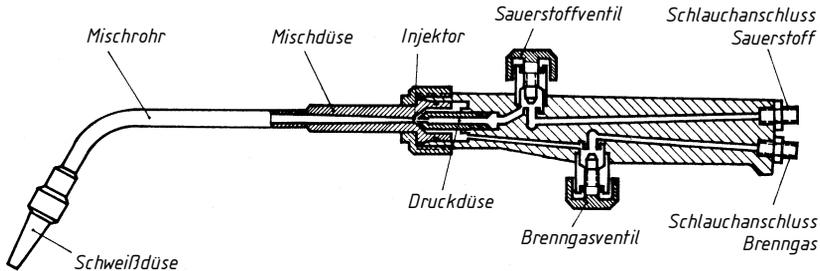


Abb. 2.4 Schnittzeichnung eines Schweißbrenners nach dem Injektorprinzip. Der Injektor ist nicht verstellbar und gehört zum Brenneinsatz. Dazu ein komplettes Schweißdüsenset.

Bei Inbetriebnahme des Brenners wird daher zuerst das Sauerstoffventil geöffnet und dann durch Einregulieren des Acetylendruckes ein zündfähiges Gasgemisch hergestellt. Umgekehrt wird nach beendigter Schweißarbeit zuerst das Acetylenventil geschlossen und erst dann das Sauerstoffventil. Die umgekehrte Reihenfolge kann zur Zerstörung des Brenners führen.

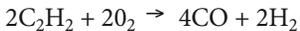
Der Schweißeinsetz ist bei beiden Bauarten auf die Dicke des zu verschweißenden Blechs abzustellen. Damit wird erreicht, dass der Flamme nur so viel Gas zugeführt wird, wie zum Schweißen der Blechdicke erforderlich ist. Beim Gleichdruckbrenner muss das Mischrohr mit Brennerdüse, beim Saugbrenner der einteilige Schweißeinsetz (Mischrohr, Mischdüse und Injektor) ausgewechselt werden.

Der Gasverbrauch richtet sich nach dem Schweißeinsetz, d. h. der zu verschweißenden Blechdicke. Als Richtwert gilt bei neutraler Flammeneinstellung ein Bedarf von je 100 Liter Sauerstoff und Acetylen je mm Blechdicke und Brennstunde.

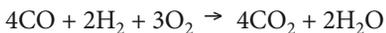
2.1.4.1 Schweißflamme

Für das Schweißen von Stahl soll die Acetylen-Sauerstoff-Flamme so eingestellt sein, dass ein Mischungsverhältnis von ca. 1:1 bis 1:1,2, also eine so genannte neutrale Flamme vorliegt. Bei dieser Flammeneinstellung beträgt die maximale Flammentemperatur etwa 3.200 °C, und die Flamme hat im Arbeitsbereich eine reduzierende Wirkung. Abb. 2.5 zeigt schematisch eine neutrale Flamme. Sie gliedert sich in die erste Verbrennungsstufe mit dem Flammenkegel und seiner leuchtenden Hülle und die zweite Verbrennungsstufe, die Bei- oder Streuflamme.

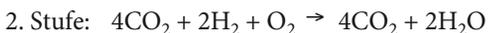
In der 1. Verbrennungsstufe wird das Acetylen in der Hitze gespalten. Mit dem beigemengten Sauerstoff läuft bei neutraler Flamme die folgende Reaktion ab:



Kohlenmonoxid und Wasserstoff, die Produkte der unvollständigen Verbrennung der 1. Stufe werden beide in der 2. Verbrennungsstufe mit dem der Umgebung entzogenen Sauerstoff verbrannt.



Diese vollständige Verbrennung erfolgt vom Flammkegel im gesamten Bereich der Streuflamme. In einem Abstand von etwa 2 bis 4 mm vor dem Flammenkegel herrscht die höchste Flammentemperatur, siehe Abb. 2.5. Da der gesamte Sauerstoffbedarf der Streuflamme der Umgebungsluft entzogen wird ist das Schweißbad vor Oxidation vollständig geschützt. Wird mit einem höheren Sauerstoffanteil gearbeitet, so entsteht eine kurze, harte Flamme von bläulich-violettem Aussehen und spitzem Flammenkegel. Bereits in der 1. Verbrennungsstufe tritt hier eine vollständige Verbrennung auf.



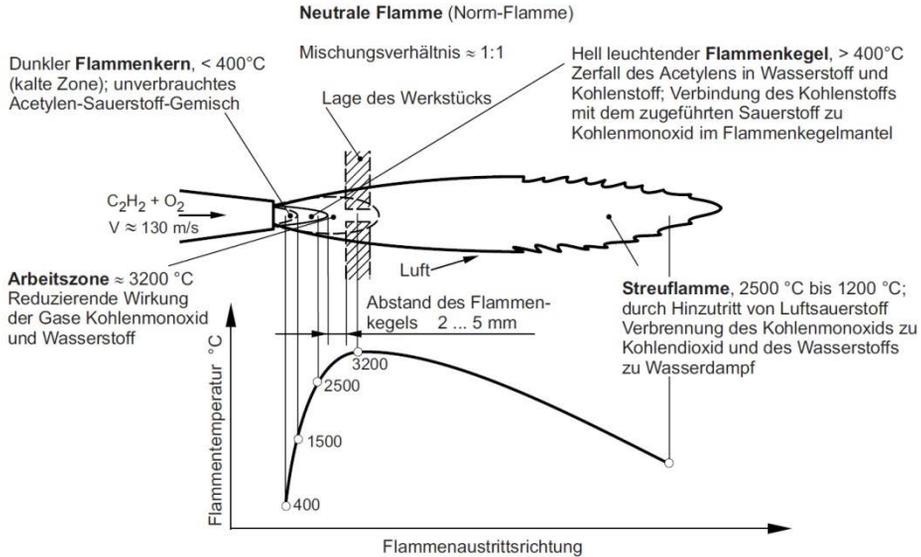
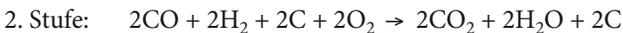
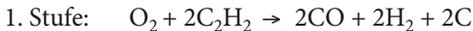


Abb. 2.5 Zoneneinteilung und Temperaturen in einer neutral eingestellten Acetylen-Sauerstoffflamme

Damit fehlt ein Teil der reduzierenden Wirkung der Flamme, die heißer wird. Kennzeichnend für diese Flammeneinstellung sind beim Schweißen von Stahl eine raue, leicht oxidierte Nahtoberfläche und Schlackeneinschlüsse in der Naht. Verwendet wird diese Flammeneinstellung unter Umständen noch für das Schweißen von Messing, da durch den unzureichenden Oxidationsschutz Zink oxidiert und diese Oxidhaut einen Schutz vor dem Ausdampfen des Zink bietet.

Eine große, weiche Flamme mit hellrotem, leuchtendem Aussehen und breitem, verschwommenem Flammenkegel erhält man beim Arbeiten mit Acetylenüberschuss. In der 1. Verbrennungsstufe tritt hier elementarer Kohlenstoff auf, der auch in der 2. Stufe nicht vollständig verbrannt werden kann. Die Streuflamme entzieht einem größeren Bereich den Sauerstoff – ein besserer Oxidationsschutz für die Naht, die beim Hartlöten verwendet wird.



Dieser freie Kohlenstoff kühlt bei Stahl die Schmelze auf, wodurch diese dünnflüssig wird. Die Nahtoberfläche wird glatt, die Naht selbst hängt durch und ist hart. Beim Schweißen von Gusseisen und bei Auftragschweißungen kann diese Flamme mit Acetylenüberschuss Vorteile haben.

2.1.5 Schweißzusätze (DIN EN 12536)

Die zum Schweißen von Stählen dienenden Gasschweißstäbe werden in sechs Klassen, bezeichnet mit I bis VI, eingeteilt, Tab. 2.2. In der Praxis finden davon nur noch Stäbe der Klassen III und IV Verwendung. Die einzelnen Klassen unterscheiden sich in der chemischen Zusammensetzung und im sich daraus ergebenden Schweißverhalten. Tab. 2.3 gibt einen Überblick über die Legierungszusammensetzung der Gasschweißstäbe, aus der auch das Verhalten beim Schweißen entnommen werden kann.

Die komplette Bezeichnung eines Schweißzusatzes lautet nach EN 12536 beispielsweise wie folgt:

Schweißstab 0 III EN 12536

Darin bedeuten: 0 Schweißverfahren: Gasschmelzschweißen

III Schweißstabklasse

Tab. 2.2 Schweißzusätze für das Gasschmelzschweißen. (Quelle: in Anlehnung an DIN EN 12536)

Grundwerkstoff		Schweißstabklasse					
		I	II	III	IV	V	VI
Allgemeine Baustähle nach DIN EN 10025	S 185*	x	x	x	x		
	S 235 JR		x	x	x		
	S 275 JR		x	x	x		
	S 235 J2			x	x		
	S 275 J2			x	x		
	S 355 J2			x	x		
Kesselblech nach DIN EN 10028	P 235 GH (HI)			x	x		
	P 265 GH (HII)			x	x		
	P 295 GH (17Mn4)				x		
Rohrstahl nach DIN EN 10216	P 235 T1	x	x	x	x		
	P 275 T1	x	x	x	x		
	P 355 N	x	x	x	x		
	P 235 T2			x	x		
	P 275 T2			x	x		
	P 355 N (St52.4)			x	x		
Kesselrohre nach DIN EN 10216-2	P 235 (St 35.1)			x	x		
	P 265 (St 37.8)				x		
	16 Mo3				x		
	13CrMo4-5					x	
	10CrMo9-10						x

* Schweißseignung nicht garantiert

Tab. 2.3 Chemische Zusammensetzung und Schweißverhalten der Gasschweißstäbe. (Quelle: nach DIN EN 12 536)

Schweißstabsklasse	Chemische Zusammensetzung						Verhalten		
	C	Si	Mn	P	S	Sonstige	Fließverhalten	Spritzer	Porenneigung
	%	%	%	%	%	%			
OI	0,03–0,12	< 0,20	0,35–0,65	< 0,030	< 0,025		Dünnfließend	viel	ja
OII	0,03–0,20	0,05–0,25	0,50–1,20	< 0,025	< 0,025		Weniger dünnfließend	wenig	ja
OIII	0,05–0,15	0,05–0,25	0,95–1,25	< 0,020	< 0,020	Ni 0,35–0,80	Zähfließend	keine	ja
OIV	0,08–0,15	0,10–0,15	0,90–1,20	< 0,020	< 0,020	Mo 0,45–0,65			
OV	0,10–0,15	0,10–0,25	0,80–1,20	< 0,020	< 0,020	Mo 0,45–0,65 Cr 0,80–1,20			
OVI	0,03–0,10	0,10–0,25	0,40–0,70	< 0,020	< 0,020	Mo 0,90–1,20 Cr 2,00–2,20			

Mo < 0,3 %; Ni < 0,3 %; Cr < 0,15 %; Cu < 0,35 % (inkl. Überzug); V < 0,03 %

2.1.6 Schweißarten

Beim Gasschmelzschweißen werden zwei Arten von Schweißungen unterschieden: das Nachlinks- und das Nachrechts-Schweißen. Die Bezeichnung erfolgt dabei aus der Aufeinanderfolge von Bad, Draht und Flamme.

Das Nachlinks-Schweißen, Abb. 2.6, wird nur bei Blechdicken bis ca. 3 mm angewandt. Der Grund für diese Einschränkung ist das geringere Wärmeeinbringen durch die Folge „Naht-Flamme-Schweißzusatz“ in Schweißrichtung. Der Schweißbrenner wird bei dieser Arbeitstechnik geradlinig geführt, wobei ein Fortschreiten nach links erfolgt. Der Flammenkegel ist auf den ruhig geführten, tuffenden Draht gerichtet, wodurch gleichzeitig das Bad in die Fuge läuft. Die Beiflamme wärmt die Nahtfuge allerdings nur bei dünnen Blechen ausreichend vor.

Ab einer Blechdicke von 3 mm ist das Nachrechts-Schweißen anzuwenden, das durch die Folge „Naht-Schweißzusatz-Flamme“ gekennzeichnet ist, Abb. 2.7. Hier wird der Brenner ohne Pendelbewegung in Schweißrichtung nach rechts geführt. Mit dem Schweißdraht werden halbkreis- bis kreisförmige Rührbewegungen im Bad ausgeführt; dabei taucht der Stab in das Bad ein. Der Flammenkegel ist auf den Stab und die Schmelze gerichtet, wobei eine Schweißöse entsteht, die das Durchschweißen der Wurzel sicherstellt. Die Streuflamme hält die bereits fertige Naht warm, was eine gute Entgasung bewirkt.