

## Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort .....	- 1 -
2	Normative Hinweise.....	- 2 -
3	Gliederung der Fertigungsverfahren .....	- 3 -
4	Die Mechanisierungsgrade .....	- 3 -
4.1	Vorbemerkungen .....	- 3 -
4.2	Matrix der Mechanisierungsgrade.....	- 6 -
5	Schweißen und Schweißverfahren .....	- 7 -
5.1	Einteilung der Schweißverfahren .....	- 7 -
5.2	Gliederung der Verfahren nach DIN 1910-100 und DIN pr EN ISO 4063 ..	- 8 -
5.3	Veraltete und ersetzte Prozess nach DIN prEN ISO 4063.....	- 11 -
5.4	Verfahrenskennzeichnung nach DIN prEN ISO 4063.....	- 11 -
5.5	Schweißbarkeit von Werkstoffen .....	- 12 -
5.5.1	Schweißeignung .....	- 13 -
5.5.2	Schweißsicherheit.....	- 13 -
5.5.3	Schweißmöglichkeit .....	- 13 -
5.5.4	Schweißbare Werkstoffe.....	- 13 -
5.5.4.1	Stähle .....	- 13 -
5.5.4.2	Nichteisenmetalle (NE-Metalle) .....	- 15 -
5.5.4.3	Kunststoffe.....	- 15 -
5.5.4.4	Glas .....	- 16 -
5.6	Besonderheiten beim Schweißen mittels Lichtbogen .....	- 16 -
5.6.1	Die Vorgänge im Lichtbogen .....	- 16 -
5.6.1.1	Schweißen mit Gleichstrom .....	- 17 -
5.6.1.2	Schweißen mit Wechselstrom .....	- 17 -
5.6.2	Schweißstromquellen .....	- 18 -
5.6.3	Die magnetische Blaswirkung.....	- 19 -
5.6.3.1	Ursachen .....	- 19 -
5.6.3.2	Erscheinungsformen.....	- 19 -
5.6.3.3	Gegenmaßnahmen.....	- 20 -
5.6.4	Arbeitsschutzmaßnahmen .....	- 20 -

5.7	Grundsatz beim Schweißen mit Zusatzwerkstoff .....	- 27 -
5.8	Massiv- und Füllzusatzwerkstoffe .....	- 27 -
5.9	Schweißpositionen nach DIN EN ISO 6947 .....	- 28 -
5.10	Vorbemerkungen .....	- 28 -
5.11	Lichtbogenhandschweißen (E/111) .....	- 28 -
5.11.1	Verfahrensprinzip.....	- 28 -
5.11.2	Gerätetechnik .....	- 30 -
5.11.3	Zusatzwerkstoff.....	- 30 -
5.11.4	Anwendung.....	- 36 -
5.11.5	Arbeitsschutz .....	- 36 -
5.12	Unterpulverschweißen (UP/12).....	- 36 -
5.12.1	Verfahrensprinzip.....	- 36 -
5.12.2	Verfahrensvarianten .....	- 38 -
5.12.3	Gerätetechnik .....	- 39 -
5.12.4	Zusatzwerkstoff.....	- 39 -
5.12.5	Pulverarten .....	- 40 -
5.12.6	Anwendung.....	- 41 -
5.12.7	Arbeitsschutz .....	- 41 -
5.13	Metall-Inertgasschweißen (MIG/131).....	- 41 -
5.13.1	Verfahrensprinzip.....	- 41 -
5.13.2	Verfahrensvarianten .....	- 42 -
5.13.3	Technische Gase.....	- 42 -
5.13.4	Gerätetechnik .....	- 44 -
5.13.5	Zusatzwerkstoff.....	- 44 -
5.13.6	Anwendung.....	- 45 -
5.13.7	Arbeitsschutz .....	- 46 -
5.14	Metall-Aktivgasschweißen (MAG/135).....	- 46 -
5.14.1	Verfahrensprinzip.....	- 46 -
5.14.2	Verfahrensvarianten .....	- 46 -
5.14.3	Technische Gase.....	- 47 -
5.14.4	Gerätetechnik .....	- 47 -
5.14.5	Zusatzwerkstoff.....	- 47 -

5.14.6	Anwendung.....	- 47 -
5.14.7	Arbeitsschutz .....	- 47 -
5.15	Wolfram-Inertgasschweißen mit Massivdraht- oder Massivstabzusatz (WIG/141) .....	- 47 -
5.15.1	Verfahrensprinzip.....	- 48 -
5.15.2	Verfahrensvarianten .....	- 49 -
5.15.3	Technische Gase.....	- 49 -
5.15.4	Gerätetechnik .....	- 49 -
5.15.5	Zusatzwerkstoff.....	- 49 -
5.15.6	Wolframelektroden.....	- 50 -
5.15.7	Anwendung.....	- 51 -
5.15.8	Arbeitsschutz .....	- 52 -
5.16	Plasmaschweißen (15) .....	- 52 -
5.16.1	Verfahrensvarianten .....	- 52 -
5.16.2	Stichloch-Plasmaschweißen (153).....	- 52 -
5.16.2.1	Verfahrensprinzip .....	- 52 -
5.16.2.2	Technische Gase.....	- 54 -
5.16.2.3	Anwendung .....	- 54 -
5.16.3	Plasmalichtbogenschweißen (WPL/154) .....	- 54 -
5.16.3.1	Verfahrensprinzip .....	- 54 -
5.16.3.2	Technische Gase.....	- 56 -
5.16.3.3	Anwendung .....	- 56 -
5.16.4	Plasmastrahlschweißen (WPS/155) .....	- 56 -
5.16.4.1	Verfahrensprinzip .....	- 56 -
5.16.4.2	Technische Gase.....	- 57 -
5.16.4.3	Anwendung .....	- 57 -
5.17	Lichtbogenschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen (MBL/185) -	57 -
5.17.1.1	Verfahrensprinzip .....	- 57 -
5.17.1.2	Anwendung .....	- 58 -
5.18	Widerstandspunktschweißen (21).....	- 58 -
5.18.1	Verfahrensprinzip.....	- 58 -
5.18.2	Verfahrensvarianten .....	- 59 -

5.18.3	Anwendung.....	- 59 -
5.19	Rollennahtschweißen (RR/22) .....	- 59 -
5.19.1	Verfahrensprinzip.....	- 59 -
5.19.2	Verfahrensvarianten .....	- 60 -
5.19.3	Anwendung.....	- 61 -
5.20	Buckelschweißen (RB/23) .....	- 61 -
5.20.1	Verfahrensprinzip.....	- 61 -
5.20.2	Verfahrensvarianten .....	- 62 -
5.20.3	Anwendung.....	- 62 -
5.21	Abtrennstumpfschweißen (RA/24) .....	- 62 -
5.21.1	Verfahrensprinzip.....	- 62 -
5.21.2	Verfahrensvarianten .....	- 63 -
5.21.3	Anwendung.....	- 63 -
5.22	Presstumpfschweißen (25) .....	- 64 -
5.22.1.1	Verfahrensprinzip .....	- 64 -
5.22.1.2	Anwendung .....	- 65 -
5.23	Widerstandsschweißen mit Hochfrequenz (291) .....	- 65 -
5.23.1	Verfahrensprinzip.....	- 65 -
5.24	Gasschweißen mit Sauerstoff-Acetylen-Flamme (G/311).....	- 66 -
5.24.1	Verfahrensprinzip.....	- 66 -
5.24.2	Verfahrensvarianten .....	- 68 -
5.24.3	Technische Gase.....	- 68 -
5.24.4	Gerätetechnik .....	- 71 -
5.24.5	Zusatzwerkstoff .....	- 74 -
5.24.6	Anwendung.....	- 75 -
5.24.7	Arbeitsschutz .....	- 76 -
5.25	Ultraschallschweißen (US/41) .....	- 76 -
5.25.1	Verfahrensprinzip.....	- 76 -
5.25.2	Anwendung.....	- 77 -
5.26	Reibschweißen (FR/42) .....	- 78 -
5.26.1.1	Verfahrensprinzip .....	- 78 -
5.26.1.2	Verfahrensvarianten .....	- 79 -

5.26.1.3	Anwendung .....	- 80 -
5.27	Rührreibschweißen (FSW/43) .....	- 80 -
5.27.1	Verfahrensprinzip.....	- 81 -
5.27.2	Anwendung.....	- 81 -
5.28	Sprengschweißen (S/441) .....	- 82 -
5.28.1	Verfahrensprinzip.....	- 82 -
5.28.2	Anwendung.....	- 83 -
5.28.3	Arbeitsschutz .....	- 83 -
5.29	Diffusionsschweißen (D/45).....	- 83 -
5.29.1	Verfahrensprinzip.....	- 83 -
5.29.2	Anwendung.....	- 84 -
5.30	Gaspressschweißen (GP/47).....	- 85 -
5.30.1	Verfahrensprinzip.....	- 85 -
5.30.2	Anwendung.....	- 86 -
5.31	Kaltpressschweißen (KP/48) .....	- 86 -
5.31.1	Verfahrensprinzip.....	- 86 -
5.31.2	Anwendung.....	- 87 -
5.32	Elektronenstrahlschweißen (EB/51).....	- 87 -
5.32.1	Verfahrensprinzip.....	- 87 -
5.32.2	Verfahrensvarianten .....	- 89 -
5.32.3	Anwendung.....	- 90 -
5.32.4	Arbeitsschutz .....	- 90 -
5.33	Laserstrahlschweißen (LA/52) .....	- 90 -
5.33.1	Verfahrensprinzip.....	- 90 -
5.33.2	Verfahrensvarianten .....	- 92 -
5.33.3	Gerätetechnik .....	- 92 -
5.33.3.1	Laserarten .....	- 95 -
5.33.4	Technische Gase.....	- 95 -
5.33.5	Anwendung.....	- 96 -
5.33.6	Arbeitsschutz .....	- 97 -
5.34	Aluminothermisches Schweißen (AS/71).....	- 97 -
5.34.1	Verfahrensprinzip.....	- 97 -

5.34.2	Anwendung.....	- 98 -
5.35	Elektroschlackeschweißen (RES/72).....	- 98 -
5.35.1	Verfahrensprinzip.....	- 98 -
5.35.2	Verfahrensvarianten .....	- 100 -
5.35.3	Zusatzwerkstoff.....	- 100 -
5.35.4	Anwendung.....	- 100 -
5.36	Auswahl von Schweißverfahren und deren spezifische Kenngrößen ....	- 100 -
6	Quellen .....	IX
7	Literaturverzeichnis.....	X
8	Normenverzeichnis .....	XI
9	Weiterführende Literatur .....	XV

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580 <sup>[N01]</sup> .....	- 3 -
Abbildung 2:	Untergliederung der Hauptgruppe Fügen nach DIN 8580[N01] .....	- 3 -
Abbildung 3:	Die Mechanisierungsgrade nach DIN 1910-100 <sup>[N02]</sup> .....	- 6 -
Abbildung 4:	Energieträger nach DIN EN 14610 <sup>[N03]</sup> .....	- 7 -
Abbildung 5:	Einteilung nach dem Zweck des Schweißens .....	- 8 -
Abbildung 6:	Einteilung der Schweißverfahren nach DIN 1910-100 <sup>[N02]</sup> .....	- 10 -
Abbildung 7:	Schweißbarkeit <sup>[ST03]</sup> .....	- 12 -
Abbildung 8:	Auswahl schweißgeeigneter Baustähle <sup>[ST02]</sup> .....	- 14 -
Abbildung 9:	Die Vorgänge im Lichtbogen beim Gleichstromschweißen <sup>[ST02]</sup> .....	- 16 -
Abbildung 10:	Stromquellenbauarten <sup>[ST03]</sup> .....	- 18 -
Abbildung 11:	Kantenwirkung bei ferromagnetischen Werkstoffen <sup>[ST03]</sup> .....	- 19 -
Abbildung 12:	Schutzstufenauswahl (nach DIN 4647 und EN 169) <sup>[AS01]</sup> .....	- 24 -
Abbildung 13:	Gefährdungsbeurteilung <sup>[AS01]</sup> .....	- 24 -
Abbildung 14:	Schutzstufenzuordnung <sup>[AS01]</sup> .....	- 25 -
Abbildung 15:	Schweißpositionen nach DIN EN ISO 6947 <sup>[ST03]</sup> .....	- 28 -
Abbildung 16:	Schematische Anordnung beim Lichtbogenhandschweißen <sup>[ST03]</sup> .....	- 29 -
Abbildung 17:	Schematischer Aufbau einer Lichtbogenhandschweißanlage <sup>[ST03]</sup> .....	- 30 -
Abbildung 18:	Polaritätsgebundene Elektroden zum Lichtbogenhandschweißen <sup>[ST03]</sup> .....	- 33 -
Abbildung 19:	Kernstab- und Umhüllungsdurchmesser .....	- 34 -
Abbildung 20:	Schematische Anordnung beim Unterpulverschweißen <sup>[ST03]</sup> .....	- 37 -
Abbildung 21:	Aufbau einer UP-Schweißanlage <sup>[ST03]</sup> .....	- 39 -
Abbildung 22:	Pulver zum Unterpulverschweißen nach DIN EN 760 <sup>[ST02]</sup> .....	- 40 -
Abbildung 23:	Schematische Anordnung beim MIG-Schweißen <sup>[ST03]</sup> .....	- 42 -
Abbildung 24:	Grundsätzlicher Aufbau einer wassergekühlten MIG-Schweißanlage <sup>[ST03]</sup> .....	- 44 -
Abbildung 25:	Schematische Anordnung beim WIG-Schweißen <sup>[ST03]</sup> .....	- 48 -
Abbildung 26:	Grundsätzlicher Aufbau einer wassergekühlten WIG-Schweißanlage <sup>[ST03]</sup> .....	- 49 -
Abbildung 27:	Chemische Zusammensetzung von Wolframelektroden <sup>[N07]</sup> .....	- 50 -
Abbildung 28:	Normdurchmesser von Wolframelektroden <sup>[N07]</sup> .....	- 51 -
Abbildung 29:	Normdurchmesser von Wolframelektroden <sup>[N07]</sup> .....	- 51 -
Abbildung 30:	Schematische Anordnung beim Stichloch-Plasmaschweißen <sup>[ST01]</sup> .....	- 53 -
Abbildung 31:	Schematische Anordnung Plasma-Lichtbogenschweißen <sup>[ST02]</sup> .....	- 55 -
Abbildung 32:	Schaltungsanordnung beim Plasmastrahl- (a), Plasmalichtbogen- (b) und Plasmastrahl-Plasmalichtbogenschweißen (c) <sup>[ST03]</sup> .....	- 55 -
Abbildung 33:	Schematische Anordnung beim Plasmastrahlschweißen <sup>[ST02]</sup> .....	- 56 -
Abbildung 34:	Schematische Anordnung beim MBL-Schweißen <sup>[ST02]</sup> .....	- 57 -
Abbildung 35:	Schematische Anordnung beim Widerstandspunktschweißen <sup>[ST02]</sup> .....	- 58 -
Abbildung 36:	Punktentstehung beim Widerstandspunktschweißen <sup>[ST03]</sup> .....	- 59 -

Abbildung 37:	Schematische Anordnung beim Rollennahtschweißen <sup>[ST02]</sup> .....	- 60 -
Abbildung 38:	Schematische Anordnung beim Widerstandsbuckelschweißen <sup>[ST02]</sup> .....	- 61 -
Abbildung 39:	Punktentstehung beim Buckelschweißen mit geprägten Buckeln <sup>[ST03]</sup> .....	- 62 -
Abbildung 40:	Schematische Anordnung beim Abbrennstumpfschweißen <sup>[ST02]</sup> .....	- 63 -
Abbildung 41:	Schematische Anordnung beim Pressstumpfschweißen <sup>[ST02]</sup> .....	- 64 -
Abbildung 42:	Schematische Anordnung beim Widerstandsschweißen mit Hochfrequenz <sup>[N03]</sup> .....	- 65 -
Abbildung 43:	Schematische Anordnung beim Nachlinksschweißen <sup>[N02]</sup> .....	- 66 -
Abbildung 44:	Schematische Anordnung beim Nachrechtsschweißen <sup>[N02]</sup> .....	- 67 -
Abbildung 45:	Die neutrale Sauerstoff-Acetylen-Flamme <sup>[ST03]</sup> .....	- 68 -
Abbildung 46:	Eigenschaften ausgewählter Brenngase <sup>[ST02]</sup> .....	- 70 -
Abbildung 47:	Flammtemperatur ausgewählter Brenngase <sup>[ST01]</sup> .....	- 70 -
Abbildung 48:	Kennzeichnung von Druckgasflaschen nach DIN EN 1089 <sup>[ST01]</sup> .....	- 71 -
Abbildung 49:	Aufbau eines Injektorbrenners zum Gasschmelzschweißen <sup>[ST01]</sup> .....	- 72 -
Abbildung 50:	Darstellung einer Rückschlagsicherung bzw. Gebrauchsstellenvorlage <sup>[ST02]</sup> .....	- 73 -
Abbildung 51:	Druckminderventil zur Regulierung des Arbeitsdruckes <sup>[ST02]</sup> .....	- 74 -
Abbildung 52:	Schweißstabklassen und deren Schweißverhalten nach DIN EN 12536 <sup>[N08]</sup> .....	- 75 -
Abbildung 53:	Schematische Anordnung beim Ultraschallschweißen <sup>[ST01]</sup> .....	- 77 -
Abbildung 54:	Werkstoffkombinationen beim Ultraschallschweißen <sup>[ST01]</sup> .....	- 78 -
Abbildung 55:	Schematische Anordnung beim Reibschweißen nach DIN EN 14610 <sup>[N03]</sup> .....	- 79 -
Abbildung 56:	Mögliche Werkstoffkombinationen beim Reibschweißen <sup>[ST01]</sup> .....	- 80 -
Abbildung 57:	Schematische Anordnung beim Rührreibschweißen <sup>[ST01]</sup> .....	- 81 -
Abbildung 58:	Schematische Anordnung beim Sprengschweißen <sup>[ST02]</sup> .....	- 82 -
Abbildung 59:	Schematische Anordnung beim Diffusionsschweißen <sup>[ST01]</sup> .....	- 84 -
Abbildung 60:	Werkstoffkombinationen beim Diffusionsschweißen <sup>[ST01]</sup> .....	- 85 -
Abbildung 61:	Schematische Anordnung beim Gaspressschweißen <sup>[ST02]</sup> .....	- 86 -
Abbildung 62:	Anstauschweißen (links) und Fliesspressschweißen (rechts) <sup>[ST02]</sup> .....	- 87 -
Abbildung 63:	Schematische Anordnung beim Elektronenstrahlschweißen <sup>[ST01]</sup> .....	- 88 -
Abbildung 64:	Tiefschweißeffekt beim Elektronenstrahlschweißen <sup>[ST02]</sup> .....	- 89 -
Abbildung 65:	Wärmeleitungs- und Tiefschweißen beim Laserschweißen <sup>[ST01]</sup> .....	- 91 -
Abbildung 66:	Vor- und Nachteile beim Laserstrahlschweißen <sup>[ST01]</sup> .....	- 92 -
Abbildung 67:	Prinzipieller Aufbau eines Lasers <sup>[ST02]</sup> .....	- 93 -
Abbildung 68:	Prinzipieller Aufbau einer Laserschweißanlage <sup>[ST01]</sup> .....	- 94 -
Abbildung 69:	Prinzipieller Aufbau eines Laserschweißkopfes, z.B. für einen CO <sub>2</sub> -Laser <sup>[ST02]</sup> .....	- 94 -
Abbildung 70:	Eigenschaften der Laserarten <sup>[ST02]</sup> .....	- 95 -
Abbildung 71:	Auswahl von Werkstoffen zum Laserschweißen <sup>[ST01]</sup> .....	- 96 -
Abbildung 72:	Schematische Anordnung beim aluminothermischen Schweißen <sup>[ST03]</sup> .....	- 98 -
Abbildung 73:	Schematische Anordnung beim Elektroschlackeschweißen <sup>[ST01]</sup> .....	- 99 -
Abbildung 74:	Ausgewählte Schweißverfahren mit Kennwerten Teil 1 <sup>[ST01]</sup> .....	- 101 -
Abbildung 75:	Ausgewählte Schweißverfahren mit Kennwerten Teil 2 <sup>[ST02]</sup> .....	- 102 -



## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b>	<b>Veraltete und ersetzte Prozesse nach DIN prEN ISO 4063<sup>[N04]</sup> .....</b>	<b>- 11 -</b>
<b>Tabelle 2:</b>	<b>Prozesskennzeichnung nach ISO 4063.....</b>	<b>- 12 -</b>
<b>Tabelle 3:</b>	<b>Schweißbeignung in Abhängigkeit vom Kohlenstoffäquivalent .....</b>	<b>- 15 -</b>
<b>Tabelle 4:</b>	<b>Zusatzwerkstoffe zum Elektrodenhandschweißen .....</b>	<b>- 31 -</b>
<b>Tabelle 5:</b>	<b>Umhüllungsbestandteile der Stabelektroden nach DIN EN ISO 2560.....</b>	<b>- 31 -</b>
<b>Tabelle 6:</b>	<b>Umhüllungstypen der Stabelektroden nach DIN EN ISO 2560<sup>[N05]</sup> .....</b>	<b>- 32 -</b>
<b>Tabelle 7:</b>	<b>Rechnerische Ermittlung des Umhüllungs dickentyps<sup>[ST02]</sup> .....</b>	<b>- 34 -</b>
<b>Tabelle 8:</b>	<b>Erläuterung der Stabelektrodenbezeichnung<sup>[N05]</sup> .....</b>	<b>- 35 -</b>
<b>Tabelle 9:</b>	<b>Zusatzwerkstoffe zum Unterpulverschweißen .....</b>	<b>- 40 -</b>
<b>Tabelle 10:</b>	<b>Erläuterung einer Draht-Pulver-Kombination<sup>[ST02]</sup> .....</b>	<b>- 41 -</b>
<b>Tabelle 11:</b>	<b>Schutzgase zum Lichtbogenschweißen nach DIN EN ISO 14175.....</b>	<b>- 43 -</b>
<b>Tabelle 12:</b>	<b>Zusatzwerkstoffe zum MIG-Schweißen.....</b>	<b>- 44 -</b>
<b>Tabelle 13:</b>	<b>Erläuterung einer Schweißprozess-Drahtelektrodenkombination<sup>[N06]</sup> .....</b>	<b>- 45 -</b>
<b>Tabelle 14:</b>	<b>Zusatzwerkstoffe zum WIG-Schweißen .....</b>	<b>- 49 -</b>
<b>Tabelle 15:</b>	<b>Schweißbare Querschnitte beim Abbrennstumpfschweißen<sup>[ST02]</sup>.....</b>	<b>- 64 -</b>
<b>Tabelle 16:</b>	<b>Erläuterung der Schweißstabkennzeichnung nach DIN EN 12536<sup>[N08]</sup>.....</b>	<b>- 75 -</b>

# 1        **Vorwort**

Die vorliegende Ausarbeitung wird ausgewählte Vertreter des Füge- bzw. Beschichtungsverfahrens „Schweißen“ behandeln..Sie soll dem schon fügetechnisch versierten Ingenieur und dem Neuling auf dem Gebiet der Fügetechnik einen Querschnitt der in der Wirtschaft gebräuchlichen Schweißverfahren bieten. Aufgrund der großen Anzahl an Fügeprozessen können jedoch keinesfalls alle existierenden Verfahren bearbeitet werden. Schwerpunktmäßig werden im folgenden Verlauf diejenigen Verfahren betrachtet, die ein großes Anwendungsspektrum an fügbaren Werkstoffen gewährleisten. Die wissenschaftliche Tiefe wird dabei auf ein Maß begrenzt, die dem Nutzer die Anwendbarkeit bzw. Entscheidungsfindung des jeweiligen Verfahrens gewährleistet, jedoch nicht zwangsmäßig jedes physikalische Prinzip erläutert.

## **2 Normative Hinweise**

Um der ständig zunehmenden Globalisierung und der damit einhergehenden länder-  
übergreifenden Auftragsvergabe im industriellen Bereich Rechnung zu tragen, sollen  
im folgenden Verlauf möglichst Normen aufgeführt werden, die eine internationale  
Anwendbarkeit gewährleisten. Dabei soll die jeweilige Norm (ISO-/EN-Norm) idealer-  
weise auf nationaler Ebene (als DIN EN-/DIN EN ISO-Dokument) übernommen  
worden sein.

Anzumerken ist, dass sich in der vergangenen Dekade die Aktualisierungszeiträume  
bzw. Gültigkeitsdauern bei einem Großteil der im laufenden Text genannten Normen  
aufgrund der Erforderlichkeit zur Überwindung von nationalen Barrieren (im Zuge der  
Vereinheitlichung von Wirtschaftsräumen) stark verkürzt haben. Deswegen ist es  
dem Fertigungstechniker bzw. Ingenieur nahezu legen turnusmäßig die Gültigkeit der  
im Unternehmen angewandten Normen zu überprüfen und ggfs. die Dokumente zu  
aktualisieren.

Zu beachten ist, dass bei Angabe der Norm jeweils die übergeordnetste Norm  
referenziert wird (bei einem DIN EN ISO-Dokument ist ISO die übergeordnetste  
Norm).

### 3 Gliederung der Fertigungsverfahren

Die Verfahren Schweißen, Kleben und Löten zählen zu den Hauptgruppen „Fügen“ und „Beschichten“ nach DIN 8580:2003.

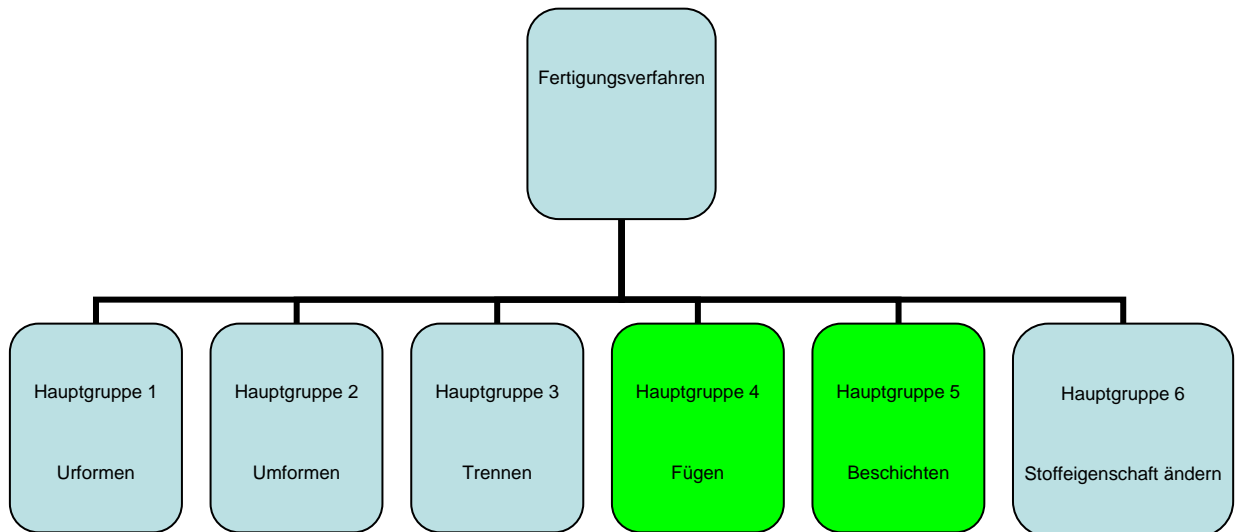


Abbildung 1: Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580<sup>[N01]</sup>

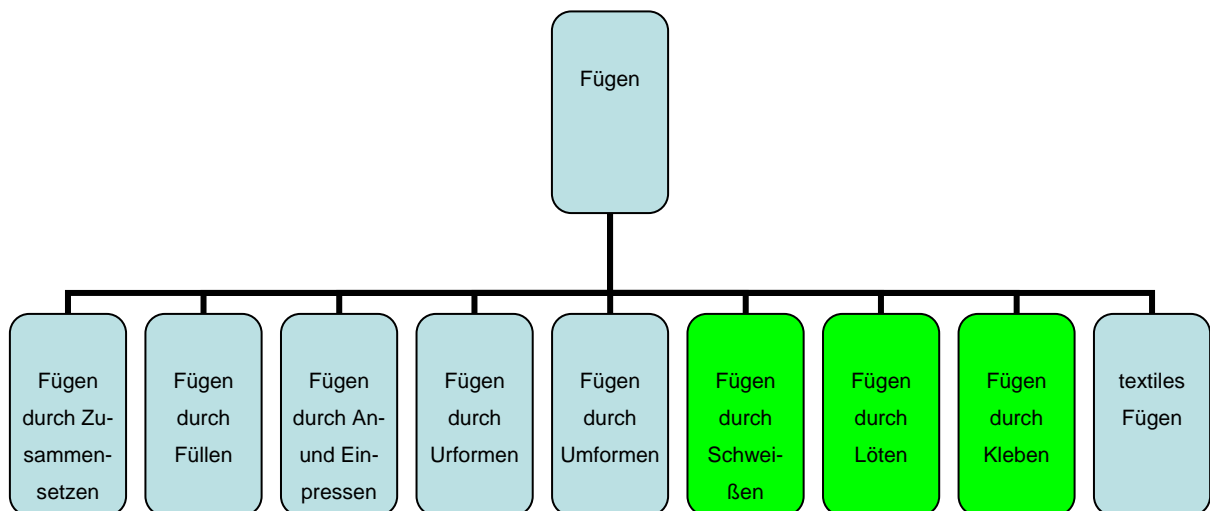


Abbildung 2: Untergliederung der Hauptgruppe Fügen nach DIN 8580[N01]

## 4 Die Mechanisierungsgrade

### 4.1 Vorbemerkungen

Die DIN 1910-100 unterscheidet anhand spezifischer Merkmale des Schweißvorganges 5 Mechanisierungsgrade<sup>1</sup>:

- Handschweißen<sup>[N02]</sup>
- Teilmechanisches Schweißen<sup>[N02]</sup>
- Vollmechanisches Schweißen<sup>[N02]</sup>
- Automatisches Schweißen<sup>[N02]</sup>
- Roboterschweißen<sup>[N02]</sup>

### *Handschweißen*

Alle Bewegungs- und Arbeitsabläufe werden manuell ausgeführt.

### *Teilmechanisches Schweißen*

Manuelles Schweißen (manuelle Führung des Schweißbrenners bzw. Stabelektrodenhalters und manuelle Werkstückhandhabung) mit einem mechanischen Drahtvorschub.

### *Vollmechanisches Schweißen*

Schweißvorgang, bei dem alle Bewegungs- und Arbeitsabläufe außer der Werkstückhandhabung mechanisiert sind. Die Schweißparameter des Prozesses können während dem Schweißvorgang manuell verändert werden.

### *Automatisches Schweißen*

---

<sup>1</sup> Die 5 genannten Mechanisierungsgrade gelten nur teilweise für das Fügeverfahren Lötten und nicht für das Fügeverfahren Kleben

Alle Arbeits- und Bewegungsabläufe werden mechanisiert ausgeführt. Eine manuelle Nachregelung der Schweißparameter während des Schweißvorgangs ist nicht möglich.

### *Roboterschweißen*

Der Ablauf und die Kontrolle des Schweißvorgangs werden durch Roboter gesteuert.

## 4.2 Matrix der Mechanisierungsgrade

Abbildung 3 zeigt schemahaft die Einteilung der Mechanisierungsgrade. Roboterschweißen wird dabei nicht als Einzelpunkt aufgeführt, da es als grundsätzlich verwandt zum automatischen Schweißen betrachtet werden kann.

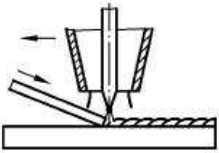
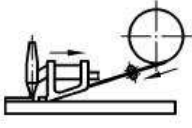
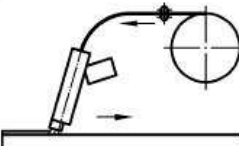
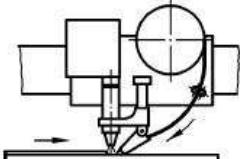
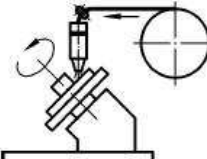
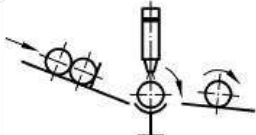
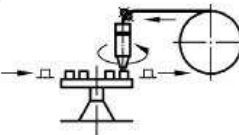
Benennung	Beispiele Schutzgasschweißen		Bewegungs-/Arbeitsabläufe		
	Wolfram-Inertgasschweißen WIG (141)	Metall-Schutzgasschweißen MSG (13)	Brenner-/Werkstückführung	Zusatzvorschub	Werkstückhandhabung
Handschweißen (manuelles Schweißen)		—	manuell	manuell	manuell
teilmechanisches Schweißen			manuell	mechanisch	manuell
vollmechanisches Schweißen			mechanisch	mechanisch	manuell
automatisches Schweißen			mechanisch	mechanisch	mechanisch

Abbildung 3: Die Mechanisierungsgrade nach DIN 1910-100 <sup>[N02]</sup>

## 5 Schweißen und Schweißverfahren

### 5.1 Einteilung der Schweißverfahren

Die Schweißverfahren lassen sich nach verschiedenen Kriterien untergliedern bzw. klassifizieren, z.B.:

- ▶ Art des Energieträgers
- ▶ Art des Grundwerkstoffes
- ▶ Art der Fertigung
- ▶ Zweck des Schweißens
- ▶ Ablauf des Schweißens
- ▶ Art des Schweißstoßes

Nachfolgend sollen 2 der wichtigsten Unterscheidungsarten aufgeführt werden.

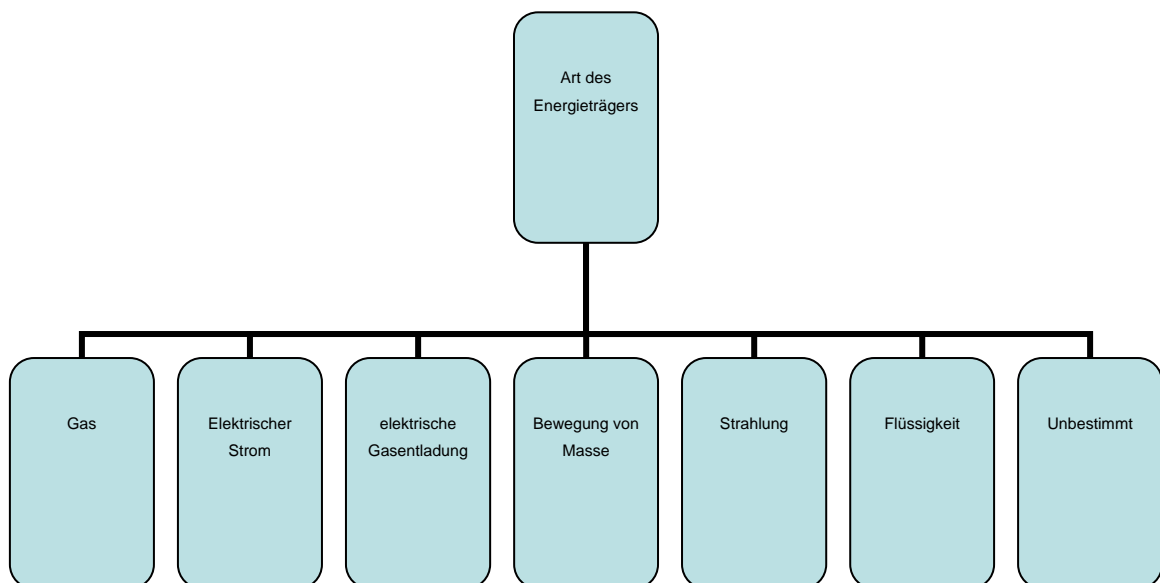


Abbildung 4: Energieträger nach DIN EN 14610<sup>[N03]</sup>



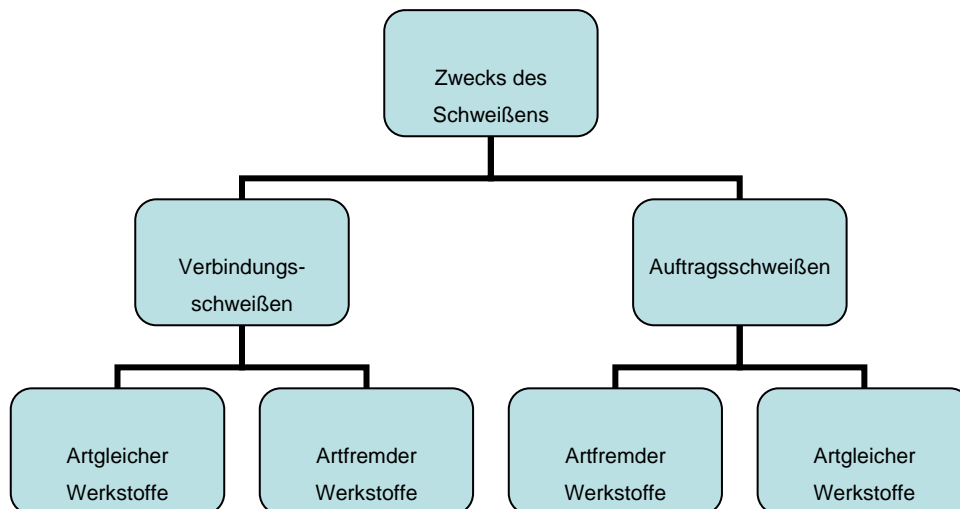


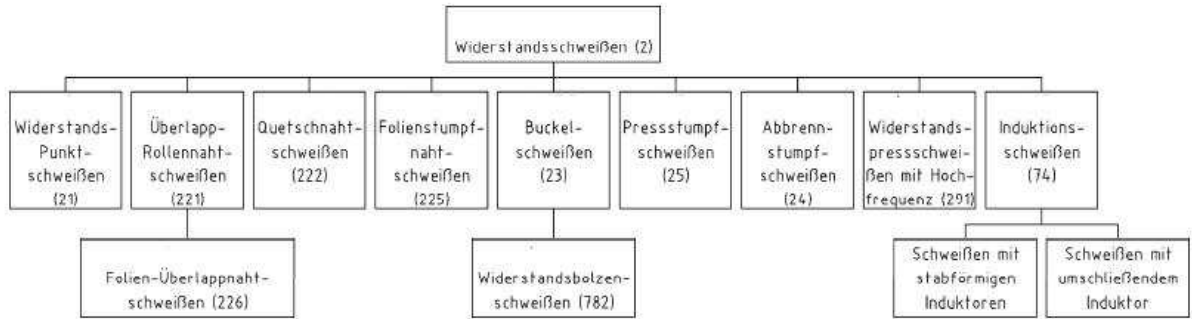
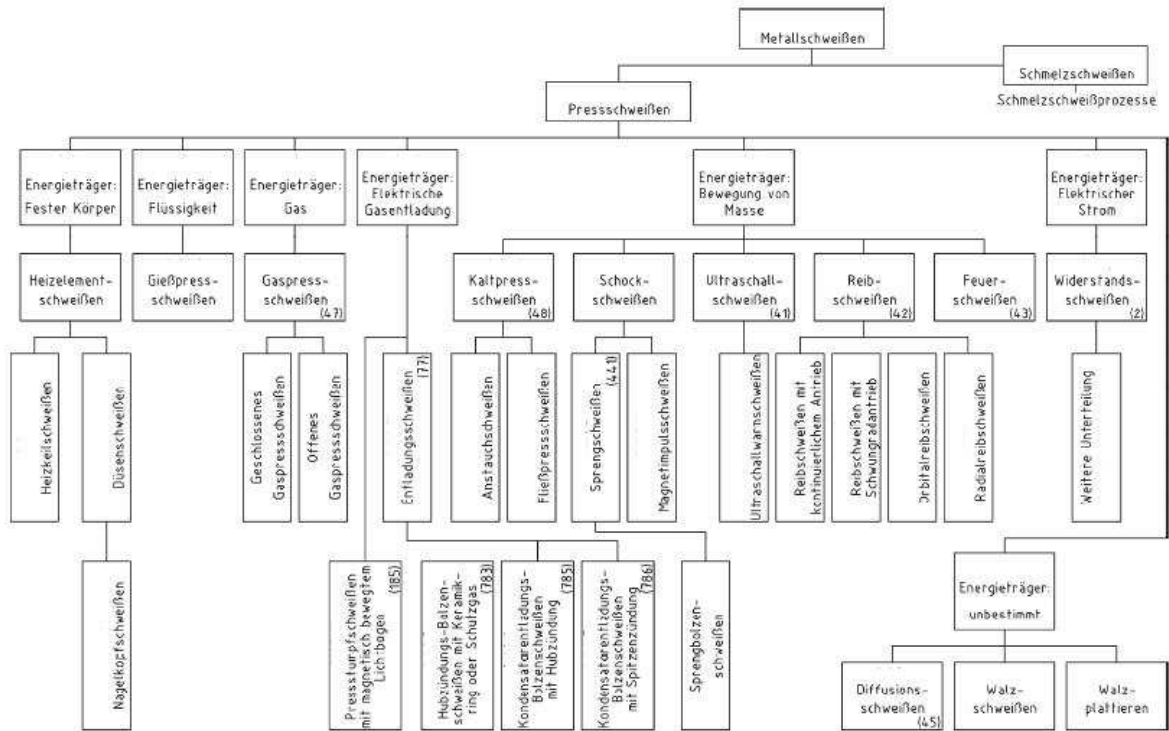
Abbildung 5: Einteilung nach dem Zweck des Schweißens

## 5.2 Gliederung der Verfahren nach DIN 1910-100 und DIN pr EN ISO 4063

Nachfolgend sollen die Schweißverfahren basierend auf nationaler und internationaler Normung untergliedert werden. Als nationale Bezugsnorm wird dabei DIN 1910-100:2008 und als internationale Bezugsnorm DIN prEN ISO 4063:2008 referenziert.

### *Untergliederung nach DIN 1910-100*

In Abbildung 6 werden Schweißverfahren klassifiziert. Grundsätzlich unterteilt die Norm die Verfahren in erster Ebene in Pressschweißen und Schmelzschweißen (nach dem Ablauf des Schweißens) und weiterführend in die Verfahren geordnet nach dem Energieträger. Die Nummerierung des Verfahrens – falls gegeben – folgt dabei den Ordnungsnummern nach DIN prEN ISO 4063:2008 bzw. DIN EN ISO 4063:2000.



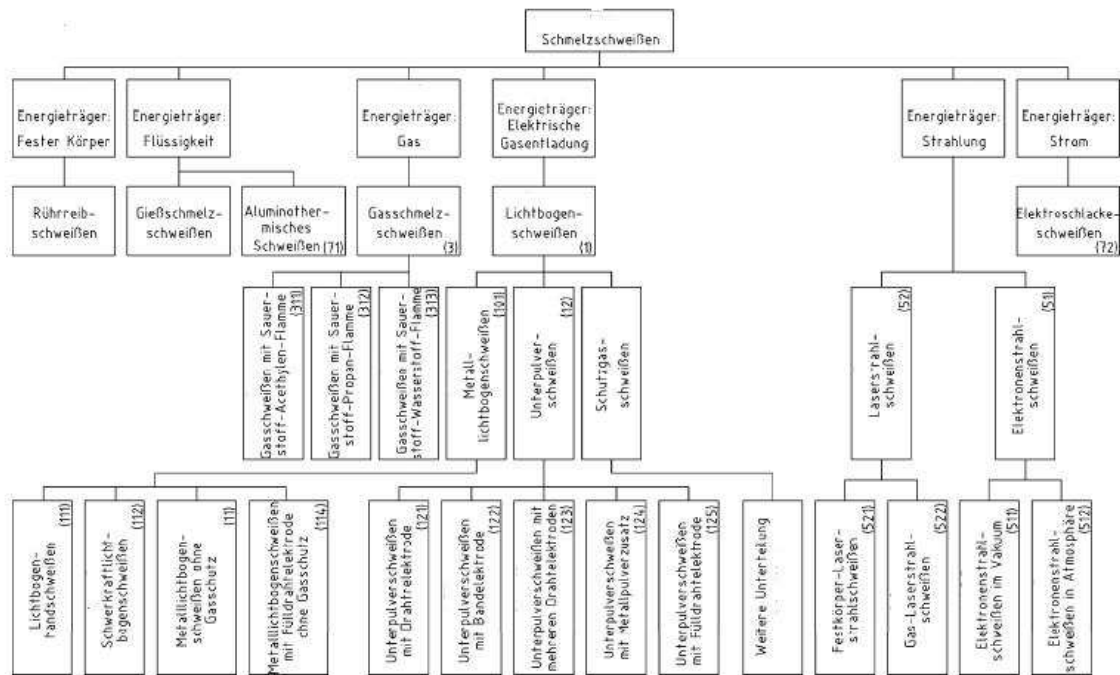


Abbildung 6: Einteilung der Schweißverfahren nach DIN 1910-100<sup>[N02]</sup>

### Untergliederung nach DIN prEN ISO 4063

In DIN prEN ISO 4063 wird nicht zwangsmäßig eine Unterteilung der Verfahren nach den in Kapitel 5.1 aufgeführten Klassifizierungsmöglichkeiten vorgenommen. Aufgrund des gewählten Blattformates (A0-Format) ist die Darstellung im laufenden Text

nicht zweckmäßig. Die Übersicht der Verfahren ist deshalb auf dem beigelegten Datenträger einzusehen (Datei: „Übersicht Schweißverfahren DIN EN ISO 4063.pdf“).

### 5.3 Veraltete und ersetzte Prozess nach DIN prEN ISO 4063

Im Zuge der sich ständig ändernden Anforderungen der Wirtschaft, werden ständig neue anforderungsgerechte Schweiß- und Lötverfahren entwickelt. Im Umkehrschluss bedeutet dies aber auch, dass bisher vorhandene Prozesse ersetzt oder überarbeitet werden müssen bzw. nicht mehr verwendet werden. Auch wenn die nachfolgend in Tabelle 1 aufgeführten Prozesse teilweise noch in Unternehmen angewendet werden, gelten Sie nach DIN prEN ISO 4063:2008 als veraltet bzw. wurden ersetzt.

Tabelle 1: Veraltete und ersetzte Prozesse nach DIN prEN ISO 4063<sup>[N04]</sup>

Ordnungsnummer	Prozess
113	Metall-Lichtbogenschweißen mit Massivdrahtelektrode
115	Metall-Lichtbogenschweißen mit Netzmantelelektrode
118	Unterschienenschweißen
149	Wolfram-Wasserstoffschweißen
181	Kohlelichtbogenschweißen
32	Gasschweißen mit Luft-Brenngas-Flamme
321	Gasschweißen mit Luft-Acetylen-Flamme
322	Gasschweißen mit Luft-Propan-Flamme
43	Feuerschweißen (neu: Rührreibschweißen)
752	Lichtbogenstrahlschweißen
77	Perkussionsschweißen
781	Lichtbogen-Bolzenschweißen
917	Ultraschallhartlöten
923	Reibhartlöten
953	Reibweichlöten

### 5.4 Verfahrenskennzeichnung nach DIN prEN ISO 4063

Nach DIN prEN ISO 4063 wird ein Schweißprozess (oder Lötprozess) wie folgt gekennzeichnet:

## ISO 4063 – 131 – X

Tabelle 2: Prozesskennzeichnung nach ISO 4063

Bezeichnung	Erläuterung
ISO 4063	Bezugsnorm
131	Ordnungsnummer des Prozesses nach ISO 4063
X	Zu ersetzen durch einen Kennbuchstabe oder eine Ziffer die Aussagen über z.B. Anzahl der verwendeten Elektroden oder den Werkstoffübergang gibt

### 5.5 Schweißbarkeit von Werkstoffen

Die Schweißbarkeit eines Werkstoffes ergibt sich aus dem Zusammenwirken der Einflussfaktoren Schweißbeignung, Schweißsicherheit und Schweißmöglichkeit. Dabei soll die Darstellung in Abbildung 7 verdeutlichen dass, um die Betriebssicherheit der gefügten Bauteile zu gewährleisten, alle 3 Bedingungen erfüllt sein müssen.

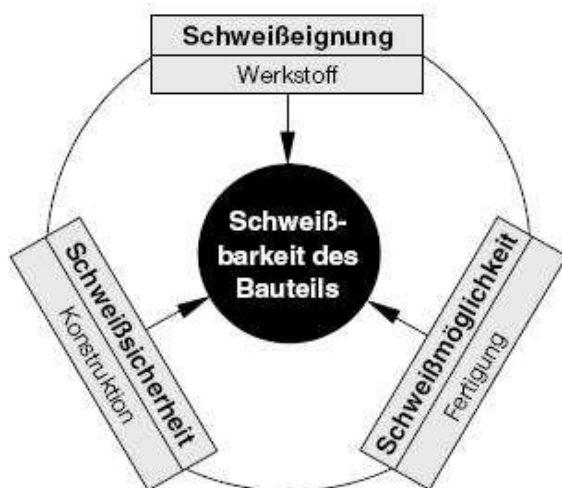


Abbildung 7: Schweißbarkeit<sup>[ST03]</sup>

## **5.5.1 Schweißeignung**

Die Schweißeignung beschreibt die Möglichkeit des Verbindens eines Werkstoffes mittels eines ausgewählten Verfahrens ohne Beeinträchtigung seiner technologischen Eigenschaften.

## **5.5.2 Schweißsicherheit**

Die Schweißsicherheit soll die Betriebssicherheit der in der Konstruktion gewählten Verbindungen gewährleisten. Dabei darf in der herzustellenden Verbindung unter der vorher festgelegten Beanspruchung kein Materialversagen, z.B. durch Bruch, Risse, u.ä., auftreten.

## **5.5.3 Schweißmöglichkeit**

Die Schweißmöglichkeit sagt aus, ob die herzustellende Verbindung mit dem gewählten Schweißverfahren ordnungsgemäß ausführbar ist.

## **5.5.4 Schweißbare Werkstoffe**

### **5.5.4.1 Stähle**

Maßgebliches Element für die Schweißbarkeit von Stählen ist das Element Kohlenstoff (C). Je höher der Kohlenstoffgehalt desto mehr können folgende Erscheinungen auftreten:

- ▶ Härteneigung in der Wärmeeinflusszone
- ▶ Aufkohlung
- ▶ Kaltrissbildung
- ▶ Heißrissbildung
- ▶ Verminderte Schweißeignung (ohne Berücksichtigung der zusätzlichen Legierungselemente)

Im Eisen-Kohlenstoff-Diagramm gelten Werkstoffe bis 2,06 % Masseanteil Kohlenstoff als Stähle. Von diesen sind nicht alle schweißbar. Als grundsätzlich schweißge-

eignet gelten allgemeine Baustähle (nach DIN 17100) bis zu einem Kohlenstoffgehalt von 0,22 % (siehe Abbildung 8).

Stahlsorte				Chemische Zusammensetzung Massenanteile in %				
Kurzname nach EN 10027	Frühere nationale Bezeichn.	Desoxid. Art	Stahl -Art	C		Mn	Si	Schweißbeignung
				für Erzeugnismenn- dicken in mm				
				<16	16- 40			
S 185	St 33		BS		–	–	–	bedingt
S 235 JR	St 37-2	–	BS	0,17	0,20	–	–	eingeschränkt
S 235 JR	USt 37-2	FU	BS	0,17	0,20	–	–	eingeschränkt
S 235 JR	RSt 37-2	FN	BS	0,17	0,17	–	–	eingeschränkt
S 235 JO	St 37-3U	FN	QS	0,17	0,17	–	–	gut
S 235 J2	St 37-3N	FF	QS	0,17	0,17	–	–	sehr gut
S 235 J2	–	FF	QS	0,17	0,17		–	sehr gut
S 275 JR	St 44-2	FN	BS	0,21	0,21	–	–	eingeschränkt
S 275 JO	St 44-3U	FN	QS	0,18	0,18	–	–	gut
S 275 J2	St 44-3N	FF	QS	0,18	0,18	–	–	sehr gut
S 275 J2	–	FF	QS	0,18	0,18		–	sehr gut
S 355 JR	–	FN	BS	0,24	0,24	1,6	0,5	eingeschränkt
S 355 JO	St 52-3U	FN	QS	0,20	0,20	1,6	0,5	gut
S 355 J2	St 52-3N	FF	QS	0,20	0,20	1,6	0,5	sehr gut
S 355 J2	–	FF	QS	0,20	0,20	1,6	0,5	sehr gut
S 355 K2	–	FF	QS	0,20	0,20	1,6	0,5	sehr gut
S 355 K2	–	FF	QS	0,20	0,20	1,6	0,5	sehr gut
E 295	St 50-2	FN	BS	–	(0,3)	–	–	bedingt
E 335	St 60-2	FN	BS	–	(0,4)	–	–	bedingt
E 360	St 70-2	FN	BS	–	(0,5)	–	–	bedingt

Abbildung 8: Auswahl schweißgeeigneter Baustähle<sup>[ST02]</sup>

Die Schweißbeignung niedriglegierter Stähle wird über das sogenannte Kohlenstoff-äquivalent (EC) bestimmt. In diesem werden die Legierungselemente mit starkem Einfluss auf die Schweißbeignung berücksichtigt.

$$EC [\%] = C + \frac{Ni}{15} + \frac{Cu}{13} + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{P}{2}$$

Tabelle 3: Schweißbeignung in Abhängigkeit vom Kohlenstoffäquivalent

Kohlenstoffäquivalent [%]	Schweißbeignung
< 0,45	Gut, Vorwärmung bei Werkstückdicken >30mm erforderlich
0,45 ... 0,6	Bedingt, Vorwärmen erforderlich
> 0,6	Nicht gewährleistet

### *Hochlegierte Stähle*

Ferritische Chromstähle und austenitische Chrom-Nickel- und Mangan-Stähle besitzen übergreifend eine gute Schweißbeignung.

#### **5.5.4.2 Nichteisenmetalle (NE-Metalle)**

Bei den Nichteisenmetallen ist keine werkstoffübergreifende Klassifizierung der Schweißbeignung möglich. Der Großteil der in der Schweißtechnik verwendeten NE-Metalle (z.B. Aluminium, Titan, Kupfer und deren Legierungen) neigt jedoch bereits unter Einfluss der Atmosphäre oder geringer Wärmeeinwirkung zu starker Oxidbildung oder Korrosion. Aufgrund dieses Umstandes eignen sich zum Fügen von NE-Metallen nur Verfahren die eine nichtoxidierende Schutzgasatmosphäre, Vakuumatmosphäre und/oder geringen Wärmeeintrag gewährleisten. Für das Schweißen des jeweiligen NE-Werkstoffes ist Sekundärliteratur zu Rate zu ziehen, die den spezifischen Anwendungsfall behandelt.

#### **5.5.4.3 Kunststoffe**

In der Gruppe der Kunststoffe sind nur die thermoplastischen Kunststoffe schweißbar, die übergreifend eine gute Schweißbeignung besitzen.



#### 5.5.4.4 Glas

Beim Schweißen von Glas ist zu beachten dass, um Spannungen und damit Risse im Material zu unterbinden, punktförmiger Wärmeeintrag zu vermeiden ist.

### 5.6 Besonderheiten beim Schweißen mittels Lichtbogen

#### 5.6.1 Die Vorgänge im Lichtbogen

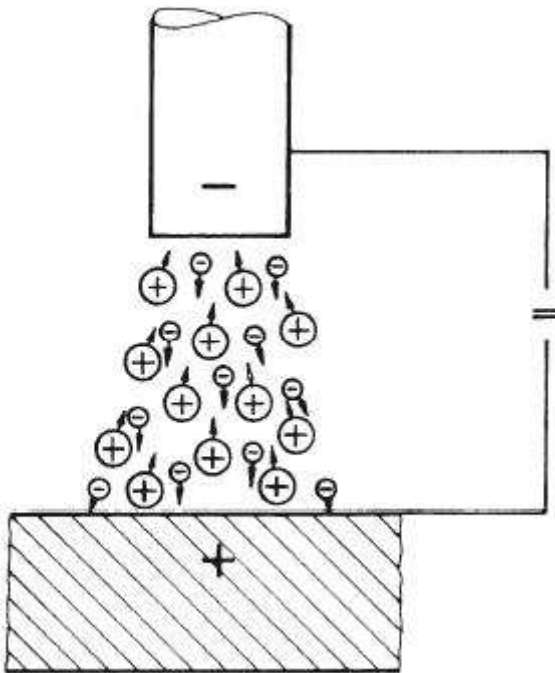


Abbildung 9: Die Vorgänge im Lichtbogen beim Gleichstromschweißen<sup>[ST02]</sup>

Der elektrische Lichtbogen entsteht durch eine elektrische Gasentladung (Ionisation von Gasmolekülen) zwischen 2 Elektroden. Bei Zünden des Lichtbogens in der Atmosphäre muss der Abstand zwischen den beiden Elektroden (Polen) jedoch sehr gering sein und die Spannung sehr hoch, da Luft ein schlechter Leiter für den elektrischen Strom ist. Der Strom fließt stets von der Kathode (Minuspole) zur Anode (Pluspol). Im elektrischen Feld werden die Elektronen (-) während der Bewegung zur Anode stark beschleunigt. Während Ihrer Bewegung treffen Sie auf Gasmoleküle und zerlegen diese aufgrund Ihrer hohen kinetischen Energie in Ihre Bestandteile (hauptsächlich Ionen und Elektronen). Dieser Vorgang wiederholt sich stetig (sogenannte

Stoßionisation), wodurch die Zahl der Ladungsträger (Elektronen, Ionen) exponentiell anwächst. Beim Auftreffen der hochenergetischen Elektronen auf das Werkstück (Anode) entsteht eine sehr hohe Aufprallwärme (die den Werkstoff aufschmilzt). Ferner wandern die plusgeladenen Ionen zur Kathode. Bei Ihrem Auftreffen auf diese entsteht auch hier Aufprallwärme, die jedoch aufgrund der geringeren elektrischen Ladung der Ionen bedeutend geringer als am Pluspol ist.

Das ionisierte Gas fungiert als elektrischer Leiter und wird als Plasma bezeichnet.<sup>[ST02]</sup> Zum guten Zünden des Lichtbogens eignen sich Gase mit hoher Ionisationsenergie (z.B. Argon, Helium).

### **5.6.1.1 Schweißen mit Gleichstrom**

Beim Schweißen mit Gleichstrom ist die Polung der Elektrode bzw. des Bauteiles und damit die Stromflussrichtung von entscheidender Bedeutung. Der elektrische Strom fließt immer vom Minus- (Kathode) zum Pluspol (Anode, siehe Abbildung 9). Durch das erhöhte Elektronenauftreffen am Pluspol („heißer Pol“) wird dieser immer stärker erwärmt als der Minuspol. Im Regelfall wird das Bauteil mit der Pluselektrode belegt und somit stärker erwärmt als der Schweißbrenner/die Stabelektrode.

Bei bestimmten Arten von umhüllten Stabelektroden und vornehmlich Nichteisen-Metallen (z.B. Aluminium) wird jedoch der Pluspol stets auf den Schweißbrenner/die Stabelektrode gelegt (sogenanntes „Pluspolschweißen“). Durch den Stromfluss zum Pluspol hin werden auf der Oberfläche des Werkstückes vorhandene Oxidschichten aufgerissen („Reinigungseffekt“). Anwendung findet das Pluspolschweißen auch beim Schweißen von Dünoblechen ( $t \leq 3 \text{ mm}$ ).

### **5.6.1.2 Schweißen mit Wechselstrom**

Bedingt durch die Eigenschaft des Wechselstromes ständig seine Richtung zu wechseln, ändert sich gleichermaßen ständig die Stromflussrichtung. Dadurch werden der Schweißbrenner/die Stabelektrode annähernd auf die gleiche Temperatur wie das Werkstück erwärmt. Als zusätzlicher Effekt wird noch die Abschwächung

der Magnetfelder stromdurchflossener Leiter und damit einhergehend die Verringerung der magnetischen Blaswirkung erreicht bzw. die magnetische Blaswirkung unterbunden.

Anzumerken ist, dass – im Gegensatz zum Schweißen mit Gleichstrom – beim Schweißen mit Wechselstrom der Lichtbogen periodisch erlischt (an den Nulldurchgängen der Periode) und danach neugezündet wird.

## 5.6.2 Schweißstromquellen

In Abhängigkeit von der für das Schweißverfahren benötigten Stromart wird grundsätzlich zwischen 3 Arten von Schweißstromquellen<sup>2</sup> unterschieden (siehe Abbildung 10).

Merkmal	Schweißumformer	Schweißgleichrichter	Schweißtransformator
Bestimmungen	DIN EN 60974-1	DIN EN 60974-1	DIN EN 60974-1 und DIN EN 60974-6
Stromart	Gleichstrom	Gleichstrom	Wechselstrom
Netzanschluss	netzunabhängig	erforderlich	erforderlich
Netzbelastung	symmetrisch	symmetrisch	unsymmetrisch
Wirkungsgrad	45 % bis 60 %	60 % bis 80 %	80 % bis 90 %
el. Leistungsfaktor ( $\cos \varphi$ )	0,85 bis 0,9	0,6 <sup>1)</sup> bis 0,8 <sup>2)</sup>	0,4 <sup>1)</sup> bis 0,8 <sup>2)</sup>
zulässige Leerlaufspannung	113 V (113 V) <sup>3)</sup>	113 V (113 V) <sup>3)</sup>	80 V <sub>eff</sub> (48 V <sub>eff</sub> ) <sup>3)</sup>
Feineinstellung	möglich	möglich	nein
Zünden des Lichtbogen	sehr leicht	sehr leicht	befriedigend
Schweißigenschaften	sehr gut	gut bis sehr gut	befriedigend bis gut
Blaswirkung	groß	groß	gering
Wartungsaufwand	groß	mittel bis gering	gering
Anschaffungskosten	100 %	80 %	50 %
Anwendung	unbeschränkt	unbeschränkt	ungeeignet für polaritätsgebundene Elektroden

<sup>1)</sup> ohne Kompensation    <sup>2)</sup> mit Kompensation    <sup>3)</sup> Werte in Klammern gelten für erhöhte elektrische Gefährdung

Abbildung 10: Stromquellenbauarten<sup>[ST03]</sup>

<sup>2</sup> Als 4. Bauart von Schweißstromquellen können noch die Stromquellen mit Leistungselektronik aufgeführt werden<sup>[ST02]</sup>

## 5.6.3 Die magnetische Blaswirkung

### 5.6.3.1 Ursachen

Prinzipiell kann die magnetische Blaswirkung als ein unerwünschtes Ablenken des Lichtbogens bezeichnet werden. Sie basiert auf dem Prinzip der Bildung von Magnetfeldern in stromdurchflossenen Leitern (hier: metallische Werkstoffe). Die Blaswirkung tritt jedoch nicht zwingend nur bei (ferro-) magnetischen Metallen auf, sondern kann auch bei unmagnetischen Metallen beobachtet werden. Die magnetische Blaswirkung tritt bei in gleicher oder entgegengesetzter Richtung stromdurchflossenen Leitern auf.

### 5.6.3.2 Erscheinungsformen

#### *Kantenwirkung*

In der Nähe von Werkstückkanten wird der Lichtbogen infolge der Magnetfeldverdichtung an den Werkstückkanten und der daraus resultierenden Kraftwirkung abgelenkt (entgegengesetzt der Werkstückkante).

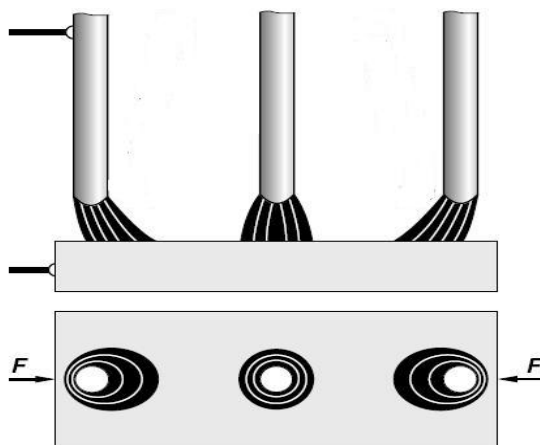


Abbildung 11: Kantenwirkung bei ferromagnetischen Werkstoffen<sup>[ST03]</sup>

#### *Wirkung in der Nähe von Materialanhäufungen*

In der Nähe von Materialanhäufungen wird der Lichtbogen zu diesen hingezogen („Saugwirkung“), z.B. bei den Innenradien von I-Profilen oder bei der Kehlnahtschweißung von Bauteilen mit stark unterschiedlicher Materialdicke.

#### *Wirkung an den Anschlussklemmen*

In der Nähe von Anschlussklemmen (Masseanschlüssen) wird der Lichtbogen zu diesen hingezogen.

### **5.6.3.3 Gegenmaßnahmen**

#### *Maßnahmen in der Technik des Schweißens*

- ▶ Neigen der Stabelektrode/des Schweißbrenners in Blasrichtung

#### *Technologische Maßnahmen*

- ▶ Einsatz von Gabelpolen bzw. mehreren Masseanschlüssen
- ▶ Anwendung von Wechselstrom (-quellen)

### **5.6.4 Arbeitsschutzmaßnahmen**

Beim Schweißen mittels Lichtbogen ist nicht nur der Schutz des ausführenden Arbeiters (Schweißers), sondern auch der Schutz des Arbeitsumfeldes und der darin befindlichen Mitarbeiter (besonders bei Schweißungen auf Baustellen) zu beachten. Der Lichtbogen kann zu Hautverbrennungen oder im Ernstfall zu Hautkrebs führen. Gleichzeitig wirkt der Lichtbogen auch augenschädigend. Durch die enorme Wärmeentwicklung im Lichtbogen (bis zu 10000 K) können bei Berührung der Haut mit dem aufgeschmolzenen Material oder dem erstarrten, aber noch nicht abgekühltem Material schwerste Verbrennungen an dieser auftreten. Die elektrische Gefährdung des Arbeiters durch den im Prozess auftretenden Strom, darf nicht unterschätzt werden.

Die stärkste Gefährdung des Arbeiters entsteht bei den Schmelzschweißverfahren bzw. bei Verfahren bei denen ein Lichtbogen auftritt und bei den Strahlschweißverfahren. Folgende Verfahren (und deren Varianten) beinhalten eine hohe gesundheitliche Gefährdung des Arbeiters:

- ▶ Lichtbogenhandschweißen (E/111)
- ▶ Metall-Inertgasschweißen (MIG/131)
- ▶ Metall-Aktivgasschweißen (MAG/135)
- ▶ Wolfram-Schutzgasschweißen (14)
- ▶ Plasma-Schweißen (15)
- ▶ Abbrennstumpfschweißen (RA/24)
- ▶ Bolzenschweißen (78)
- ▶ Elektronenstrahlschweißen (EB/51)
- ▶ Laserstrahlschweißen (LA/52)

Bei Anwendung der vorab aufgeführten Verfahren treten Gesundheitsgefährdungen infolge von:

- ▶ gasförmigen Stoffen
- ▶ partikelförmigen Stoffen
- ▶ Strahlung (ultraviolett und infrarot)

auf<sup>[AS01]</sup>

### *Gasförmige Stoffe*

Die gasförmigen Stoffe treten als Gase (als Reaktionsprodukte des Wärmeeinflusses auf den Werkstoff und den Zusatzwerkstoff) auf. Zusätzlich können die verwendeten Prozessgase aufgrund Ihrer Reinheit in ausreichender Konzentration eine erstickende Wirkung hervorrufen.

Die – prozessabhängigen – entstehenden schädlichen Gase sind hauptsächlich:

- ▶ Kohlenmonoxid (CO)
- ▶ Stickoxide (NO, NO<sub>2</sub>)
- ▶ Ozon (O<sub>3</sub>)<sup>3</sup>

### *Partikelförmige Stoffe*<sup>[AS01]</sup>

Die partikelförmigen Stoffe treten in den Schweißrauchen (durch Verbrennung von Verunreinigungen (Öle, Fette, u.a.) am Werkstück) als Stäube auf. Die Durchmesser der Partikel liegen zwischen 0,01 µm und 1 µm, jedoch hauptsächlich im Bereich <0,4 µm. Bei Einatmen dieser Partikel lagern sich diese in den feinsten Lungenbläschen ab (sogenannte Alveolengängigkeit) und können von da in den Blutkreislauf gelangen.

### *Strahlung*<sup>[AS01]</sup>

Die Strahlung tritt in Form von ultravioletter und infraroter Strahlung auf. Dabei liegt der schädlichste Bereich der ultravioletten Strahlung unter 260 nm, da Strahlung unterhalb dieser Wellenlänge von den Zellen des menschlichen Körpers in den Randzonen der Haut und der Augen absorbiert wird. Diese führt zu chemischer Veränderung des Gewebes (z.B. Hornhautveränderungen, Bindehautentzündung, Bildung von Krebszellen, u.ä.). Die infrarote Strahlung mit Wellenlängen über 800 nm verursacht hauptsächlich thermische Veränderungen an den Augen. Folgen dieser Veränderungen sind z.B. der „Graue Star“.

Folgende Schutzmaßnahmen sollten beachtet werden:

- ▶ Tragen geeigneter Schweißerschutzschilder oder Schweißschutzbrillen (mit Schweißschutzgläsern) zum Schutz der Augen und des Gesichts
- ▶ Tragen von Schweißerschutzschildern mit automatisch abdunkelnder (Flüssigkristall-) Optik zum Schutz der Augen und des Gesichts
- ▶ Tragen langer, robuster Kleidung, die dem Einfluss der Strahlung und der Partikel standhalten kann

---

<sup>3</sup> Ozon entsteht hauptsächlich bei der Schweißung von stark reflektierenden Werkstoffen, z.B. Aluminium und bei Schweißungen in einer stark reflektierenden Arbeitsumgebung

- ▶ Tragen geeigneter Schutzhandschuhe
- ▶ Tragen von geeignetem Schuhwerk, das den Arbeiter gegenüber dem Boden isoliert
- ▶ Feuchte Kleidung sollte stets ausgetauscht werden
- ▶ Bei Durchführung von Schweißungen auf Baustellen, ist das Umfeld des Arbeiters vor den schädlichen Einwirkungen des Lichtbogens zu schützen, z.B. durch Schweißvorhänge (nach DIN EN 1598)
- ▶ Einsatz einer Schweißrauchabsaugung bei Bildung von giftigen Dämpfen (Verbrennen von Ölen, Fetten), bei Anwendung von Prozessgasen mit erstickender Wirkung und zur Entfernung der Partikel aus der Atemluft
- ▶ Bei vollmechanischen und automatischen Schweißvorgängen ist es sinnvoll den Arbeiter möglichst aus der gesundheitsgefährdenden Umgebung zu entfernen
- ▶ Durch die hohe Wärmeentwicklung und umherfliegende Funken und Schweißspritzer sind Brandschutzmaßnahmen zu beachten

Die Schweißerschutzgläser sind in verschiedene Schutzgruppen eingeteilt. In der folgenden Abbildung (Abbildung 12) soll eine Auswahl von Schweißverfahren und die für den Prozess notwendige Schutzstufe<sup>4</sup> dargestellt werden (in Abhängigkeit von der Schweißstromstärke). Die Bezeichnung „Hohlelektroden“ ist dabei mit dem Begriff „Füllelektroden“ gleichzusetzen.

Zusätzlich zum Schutz der Augen muss beim Schweißen unter elektrischem Lichtbogen (bzw. Elektroschweißen) nach EN 175 noch ein vollflächiger Schutz des Gesichtes gewährleistet werden.<sup>[AS01]</sup> Die dafür geeigneten Schweißschutzschilder sind mit Materialien beschichtet, die die ultraviolette und infrarote Strahlung

---

<sup>4</sup> Die Schutzgruppen werden in „DIN“ eingeteilt. Damit wird jedoch keine Norm referenziert, sondern „DIN“ bezeichnet hier nur ein Maß für die Stärke der Schutzstufe



absorbieren oder reflektieren. Gleichzeitig wird das Gesicht noch vor umherschwirrenden Partikeln, Funken und Schweißspritzern geschützt.

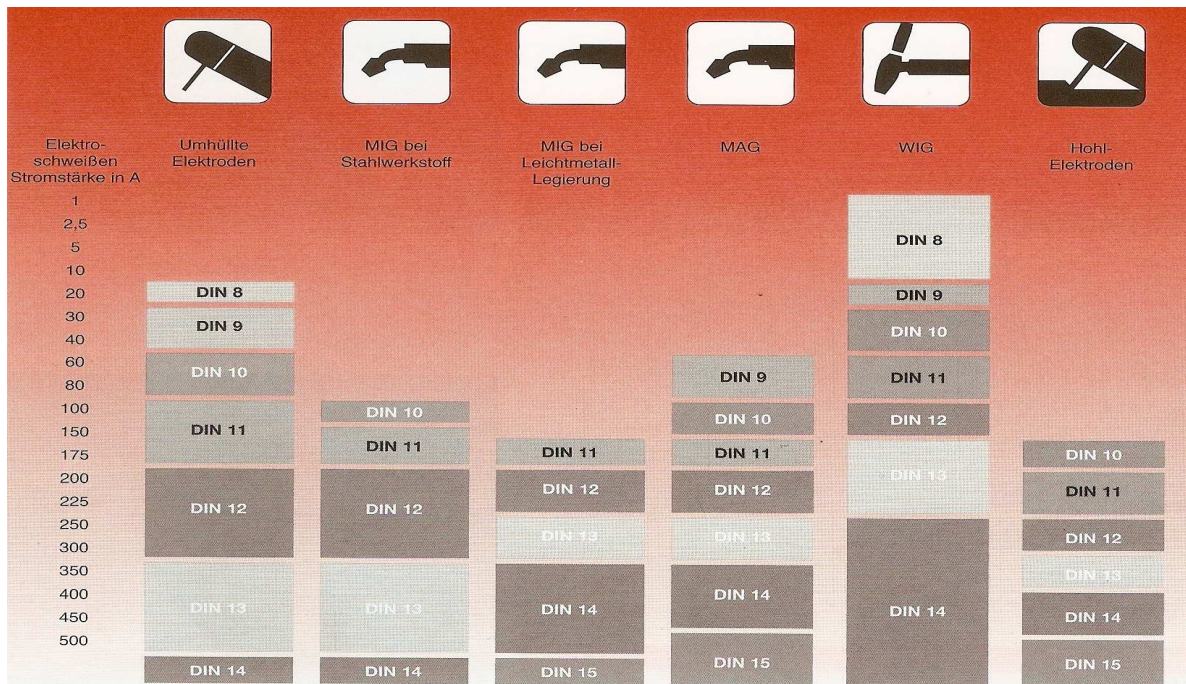


Abbildung 12: Schutzstufenauswahl (nach DIN 4647 und EN 169)<sup>[AS01]</sup>

### Die Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)<sup>[AS01]</sup>

Die GefStoffV dient zur Ermittlung und Klassifizierung von Gefahrstoffen am Arbeitsplatz. Gleichzeitig werden entsprechende Gegenmaßnahmen dargelegt. In § 7 Abs. 1 wird der Unternehmer verpflichtet die eventuell vorhandenen Schadstoffe am Arbeitsplatz zu ermitteln und deren mögliche Gefährdung zu beurteilen.

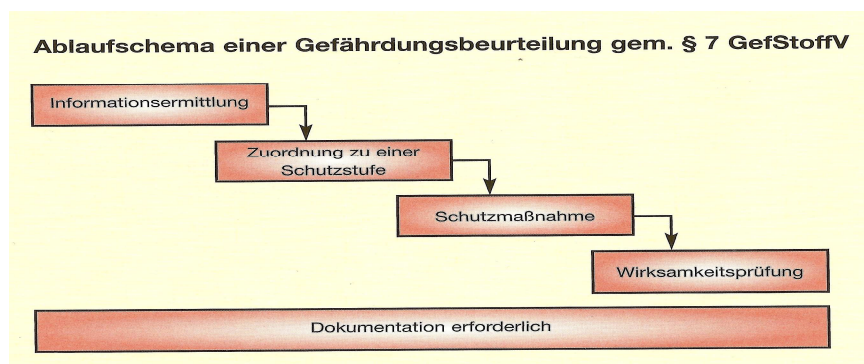


Abbildung 13: Gefährdungsbeurteilung<sup>[AS01]</sup>

Die Gefährdung durch Gefahrstoffe wird dabei in Schutzstufen<sup>5</sup> eingeteilt.

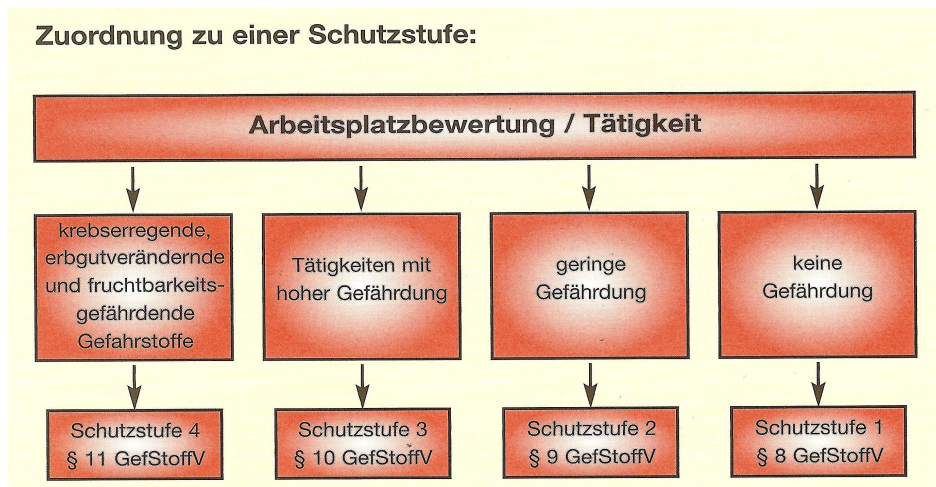


Abbildung 14: Schutzstufenzuordnung<sup>[AS01]</sup>

Nachfolgend sollen die maßgeblichen Inhalte<sup>6</sup> der einzelnen Schutzstufen kurz wiedergegeben werden:

### *Schutzstufe 1*

- >keine Gefahrstoffe
- >kein persönlicher Arbeitsschutz erforderlich
- >keine Brandschutzmaßnahmen erforderlich

### *Schutzstufe 2*

- >persönlicher Arbeitsschutz ist notwendig
- >Einhaltung von Arbeitsplatzgrenzwerten (AGW<sup>7</sup>)

---

<sup>5</sup> Bei Auftreten von Schweißrauchen ist mindestens Schutzstufe 2 erforderlich

<sup>6</sup> Quelle: [AS01]

<sup>7</sup> Die AGW ersetzen im Jahr 2005 die vorherigen MAK- und TRK-Werte

- >Maßnahmen zum Brand- und Explosionsschutz
- >Dokumentationspflicht der Gefährdungen und Gegenmaßnahmen zu diesen

### *Schutzstufe 3*

- >Verwendung geschlossener Systeme
- >Zugangsbeschränkungen für Personen
- >Auswahl eines alternativen, emissionsärmeren Verfahrens, wenn dies technisch möglich ist

### *Schutzstufe 4*

- >Stoffe mit besonderer Gefährdung (krebserzeugend, erbgutverändernd, fruchtbarkeitsgefährdend)

Nach § 14 GefStoffV muss der Unternehmer die Gefährdungen schriftlich festhalten und diese den Beschäftigten zugänglich machen (Wahrung des Informationsrechtes der Beschäftigten).

### *TRGS – Technische Regeln für Gefahrstoffe*

Die TRGS für Schweißprozesse (und Schneidprozesse) legen grundsätzlich Grenzwerte für Stoffkonzentrationen in der Arbeitsumgebung fest. Aufgrund des großen Aufkommens und des Umfangs dieser Vorschriften diese in dieser Ausarbeitung nicht alle erfasst und behandelt werden. Nachfolgend sollen 2 wichtige TRGS-Vorschriften aufgeführt werden:

- >TRGS 403 „Bewertung von Stoffgemischen“ dient zur Beurteilung und Einhaltung der Luftgrenzwerte von Schweißrauch
- >TRGS 900 „Allgemeiner Staubgrenzwert“ legt die Grenzwerte für Stäube in der Luft fest

## **5.7 Grundsatz beim Schweißen mit Zusatzwerkstoff**

Beim Verbindungsschweißen artgleicher Werkstoffe ist stets anzustreben, dass der Zusatzwerkstoff artgleich (gleiche chemische Zusammensetzung) mit dem zu verschweißenden Grundwerkstoff ist. Bei Nichtbeachtung dieser Regel kann es zur Bildung eines Lokalelementes kommen (Schweißnaht ist höher- oder niedrigerlegiert als der Grundwerkstoff). Infolgedessen kann elektrochemische Korrosion auftreten, wodurch entweder der Grundwerkstoff oder die Schweißnaht abgetragen wird bzw. die mechanischen Eigenschaften des Grundwerkstoffes oder der Schweißnaht verringert werden.

Abweichungen von dieser Regel werden im Gliederungspunkt *Zusatzwerkstoff* oder *Verfahrensprinzip* der gegebenenfalls betroffenen Schweißverfahren aufgeführt.

## **5.8 Massiv- und Füllzusatzwerkstoffe**

In der Schweißtechnik werden vornehmlich massive Zusatzwerkstoffe (Massivdrähte, Massivbänder, Massivstäbe) verwendet. Bei denjenigen Verfahren, die unter einer Schutzgasatmosphäre arbeiten (hauptsächlich die Metall-Schutzgasschweißverfahren) können jedoch auch gefüllte Zusatzwerkstoffe (Fülldrähte, Füllstäbe, Füllbänder) eingesetzt werden. Der Aufbau eines Füllzusatzwerkstoffes besteht im Wesentlichen aus einem (metallischem) Pulver (oder Körnern) das innerhalb eines metallischen, hohlen Bandes oder Drahtes eingepresst ist. Das Pulver (oder Korn) übernimmt beim Abschmelzen des Füllzusatzwerkstoffes ähnliche Aufgaben, wie die Umhüllung einer umhüllten Stabelektrode. Wichtigste Eigenschaft des Pulvers (oder Kornes) ist die Bildung einer Schutzgasatmosphäre durch schutzgasbildende Stoffe in der Pulverzusammensetzung. Die Füllzusatzwerkstoffe bilden somit eine kostengünstige Alternative im Vergleich zum Einsatz eines teuren Schutzgases (aus Druckgasflaschen). Die mechanischen Kennwerte des reinen Schweißgutes liegen meist unter denen eines vergleichbaren massiven Schweißzusatzes. Die Anwendung von gefüllten Schweißzusätzen ist in der Praxis übergreifend kaum verbreitet.

## 5.9 Schweißpositionen nach DIN EN ISO 6947

Zur Ausführung von Schweißnähten sind in DIN EN ISO 6947 sieben Standard-schweißpositionen genormt. Von diesen sind die sogenannten Normallagen zu bevorzugen.

Normallagen		Zwangslagen				
PA	PB	PC	PD	PE	PF	PG
PA Wannenposition PB Horizontalposition		PC Querposition PD Horizontal-Überkopfposition		PE Überkopfposition PF Steigposition		PG Fallposition
Ausführungszeiten in Prozent						
100	130	180	220 bis 250		220	70

Abbildung 15: Schweißpositionen nach DIN EN ISO 6947<sup>[ST03]</sup>

## 5.10 Vorbemerkungen

In den folgenden Kapiteln des Gliederungspunktes 5 sollen ausgewählte Vertreter der Schweißverfahren behandelt werden. Dabei folgt die Gliederung des in DIN prEN ISO 4063:2008 angewandten Nummernsystems. In der Überschrift des jeweiligen Verfahrens sind in Klammern stets dessen Kennbuchstaben und die Ordnungsnummer angegeben. Der Kennbuchstabe ist jedoch kein Bestandteil der Norm, sondern hat sich in der Entwicklung der Schweißverfahren als Akronym herausgebildet bzw. war Bestandteil einer nicht mehr gültigen Norm.

### 5.11 Lichtbogenhandschweißen (E/111)

#### 5.11.1 Verfahrensprinzip

Das Lichtbogenhandschweißen gehört systematisch zur Gruppe der Lichtbogenschweißverfahren. Der Schmelzfluss entsteht beim Brennen eines Lichtbogens zwischen Werkstück und der Stabelektrode. Durch die dabei entstehende Prozesswärme, wird der Grundwerkstoff aufgeschmolzen und die manuell geführte,

stromführende, umhüllte Stabelektrode kontinuierlich abgeschmolzen. Der Schutz des Schweißbades und des Lichtbogens vor der Atmosphäre wird dabei durch das Abbrennen der Umhüllung und die damit einhergehende Bildung von Gasen und Schlacken erreicht (siehe Kapitel 4.6.1.3). Nachdem Schweißvorgang muss die erstarrte Schlacke manuell (Schlackehammer) entfernt werden.

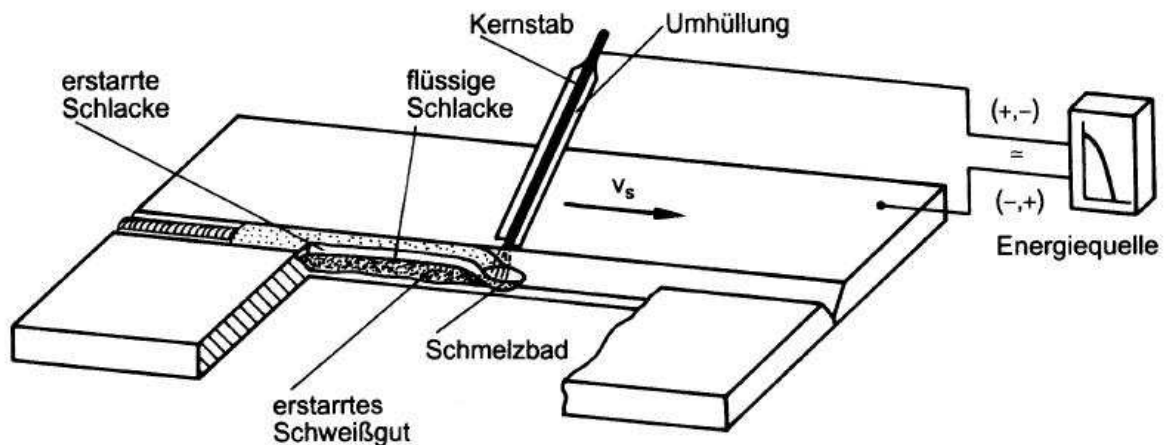


Abbildung 16: Schematische Anordnung beim Lichtbogenhandschweißen<sup>[ST03]</sup>

### Zünden des Lichtbogens

Beim erstmaligen Aufsetzen (1. Ablaufschritt) der Stabelektrode auf die Fügestelle fällt die Schweißspannung  $U_s$  gegen 0 Volt und die Schweißstromstärke  $I_s$  wächst gegen den Wert des Kurzschlussstromes  $I_k$ .

$$U_s \Rightarrow 0 \text{ Volt } (U_0)$$

$$I_s \Rightarrow I_k$$

Beim darauffolgenden Abheben (2. Ablaufschritt) der Stabelektrode vom Werkstück wächst die Spannung  $U_0$  automatisch auf den (selbsttätig) geregelten Wert der Schweißspannung (Einstellen auf den Arbeitswert). Der Kurzschlussstrom regelt sich

bei Vorhandensein der Schweißspannung auf den vorab an der Stromquelle eingestellten Wert der Schweißstromstärke.

$$U_0 \Rightarrow U_s$$

$$I_k \Rightarrow I_s$$

Das Vorhandensein der Schweißstromstärke bewirkt einen Elektronenfluss zwischen der Stabelektroden spitze und dem Werkstück. Es bildet sich somit ein Lichtbogen (3. Ablaufschritt).

### 5.11.2 Gerätetechnik

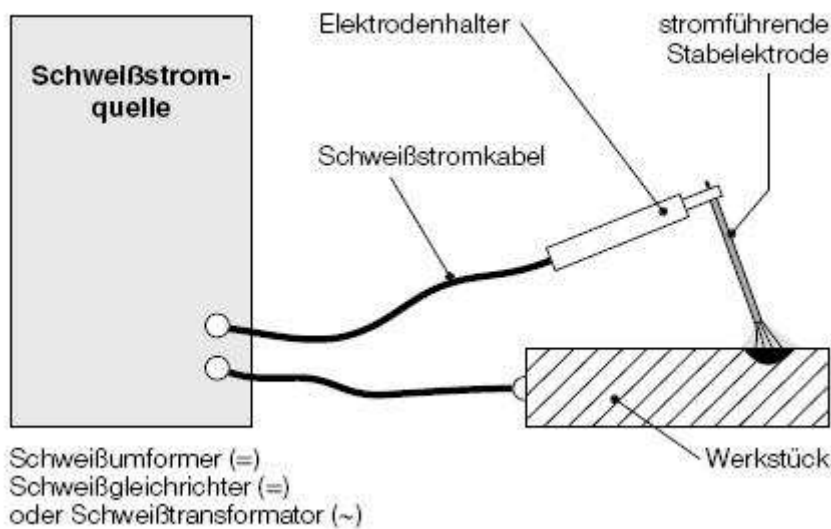


Abbildung 17: Schematischer Aufbau einer Lichtbogenhandschweißanlage<sup>[ST03]</sup>

### 5.11.3 Zusatzwerkstoff

Der Schweißzusatz beim Lichtbogenhandschweißen wird in Form von umhüllten Stabelektroden zugegeben. Diese sind in Abhängigkeit vom zu schweißenden Werkstoff genormt (siehe Tabelle 4). Die Länge beläuft sich, je nach verwendetem Elektrodentyp, auf 200 mm bis maximal 450 mm. Der Durchmesser des Kernstabes liegt im Bereich von 2 bis 6 mm.

Tabelle 4: Zusatzwerkstoffe zum Elektrodenhandschweißen

<b>Grundwerkstoff</b>	<b>Bezugsnorm</b>
Unlegierte Stähle und Feinkornbaustähle ( $R_e \leq 500 \text{ N/mm}^2$ )	DIN EN ISO 2560
Hochfeste Stähle	DIN EN 757
Nichtrostende und hitzebeständige Stähle	DIN EN 1600
Warmfeste Stähle	DIN EN 1599
Nickelwerkstoffe	DIN EN ISO 14172
Auftragsschweißlegierungen	DIN EN 14700

### *Aufgaben der Elektrodenumhüllung*

Die Elektrodenumhüllung weist im Regelfall 6 Hauptbestandteile mit entsprechenden Funktionen auf.

Tabelle 5: Umhüllungsbestandteile der Stabelektroden nach DIN EN ISO 2560

<b>Umhüllungsbestandteil<sup>[N05]</sup></b>	<b>Funktion</b>
Schlackebildende Stoffe	Schutz des abgeschmolzenen Schweißgutes vor der Atmosphäre und zu schneller Abkühlung
Desoxidierende Stoffe	Verhinderung von Oxidbildung bzw. Bindung des Luftsauerstoffes
Schutzgasbildende Stoffe	Durch Zerlegung der Umhüllungsbestandteile unter Wärmeeinfluss bildet sich ein Schutzgasmantel um den Lichtbogen
Lichtbogenstabilisierende Stoffe	Ionisierung von Umhüllungsbestandteilen durch Energiezufuhr zur Stabilisierung des Lichtbogens
Bindemittel	Bindung der Umhüllungsbestandteile, der noch nicht abgeschmolzenen Stabelektrode



Legierungsbestandteile (optional)	Auflegieren des Schweißgutes: 1. Zum Ersatz, der durch die Wärmeinwirkung verbrannten Legierungselemente 2. Zur Erzielung eines ausgesprochenen Legierungseffektes
-----------------------------------	--

### *Umhüllungsarten*

Auf dem Weltmarkt existieren nach DIN EN ISO 2560:2005<sup>8</sup> zwei Systeme zur Klassifizierung von umhüllten Stabelektroden, namentlich System A und System B. Im weiteren Verlauf wird ausschließlich System A behandelt werden, da System B vorwiegend im Pazifikraum zur Anwendung kommt.

In System A wird das reine Schweißgut – als Ergebnis einer Schweißung mit einer umhüllten Stabelektrode – einheitlich nach der Streckgrenze und der durchschnittlichen Kerbschlagarbeit von 47 Joule eingeteilt.

Hieraus ergeben sich acht verschiedene Umhüllungstypen bezeichnet nach dem chemischen Charakter der Umhüllung:

Tabelle 6: Umhüllungstypen der Stabelektroden nach DIN EN ISO 2560<sup>[N05]</sup>

<b>Kennbuchstabe(n)</b>	<b>Umhüllungstyp</b>
A	sauer umhüllt
C	zellulose-umhüllt

---

<sup>8</sup> DIN EN ISO 2560:2005 gilt im Text nur als Beispiel. Ausschlaggebend ist die jeweilige Bezugsnorm des verwendeten Werkstoffes. Nicht jede Bezugsnorm unterscheidet in System A und B

R	rutil-umhüllt
RR	dick rutil-umhüllt
RC	rutil-zellulose-umhüllt
RA	rutil-sauer-umhüllt
RB	rutil-basisch-umhüllt
B	basisch umhüllt

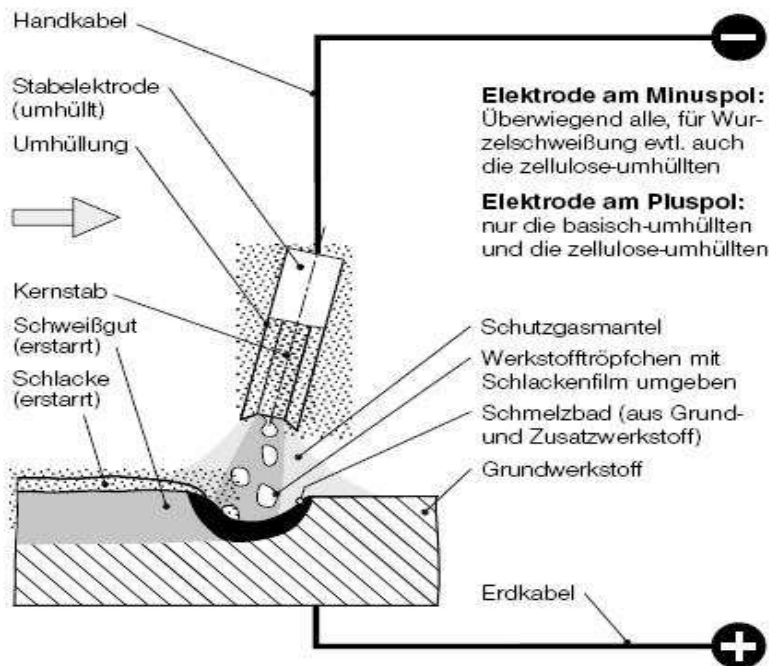


Abbildung 18: Polaritätsgebundene Elektroden zum Lichtbogenhandschweißen<sup>[ST03]</sup>

### *Dicke der Umhüllung*

Je nach Dicke der Umhüllung wird die Stabelektrode als dünn, mitteldick oder dick umhüllt bezeichnet.

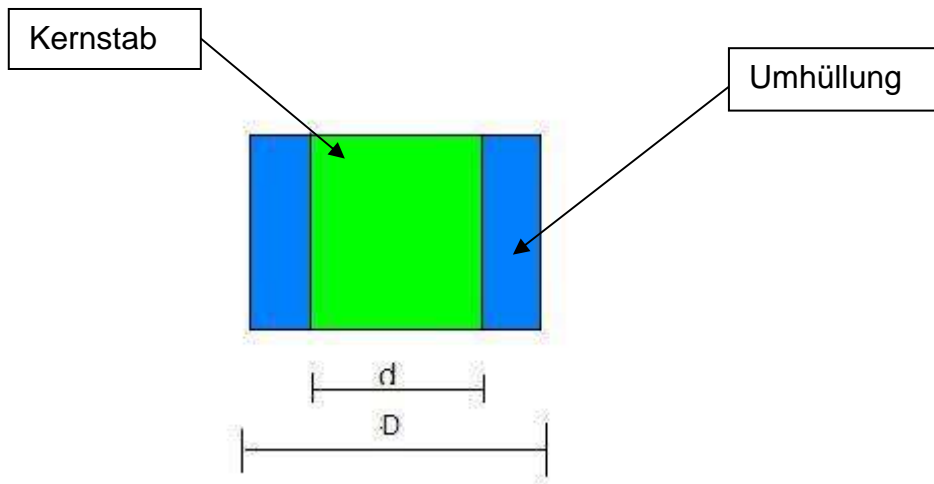


Abbildung 19: Kernstab- und Umhüllungsdurchmesser

Tabelle 7: Rechnerische Ermittlung des Umhüllungsdickentyps<sup>[ST02]</sup>

Umhüllungsdickentyp	Berechnungsgrundlage
Dünn umhüllt	$D \leq 1,2 \cdot d$
Mitteldick umhüllt	$1,2 \cdot d \leq D \leq 1,55 \cdot d$
Dick umhüllt	$D \geq 1,55 \cdot d$

### *Kennzeichnung einer umhüllten Stabelektrode*

Nachfolgend soll beispielhaft (anhand der DIN EN ISO 2560:2005) dargestellt werden (siehe Tabelle 8), welche Kennwerte aus einer genormten Elektrodenbezeichnung ablesbar sind. Bei der Auswahl der anwendungsspezifischen Stabelektrode ist jedoch auch das Studium der vom Stabelektrodenhersteller mitgelieferten Datenblätter von elementarer Bedeutung.

**ISO 2560-A – E 46 3 1Ni B 54 H5**

Tabelle 8: Erläuterung der Stabelektrodenbezeichnung<sup>[N05]</sup>

Merkmalsnummer	Benennung	Erläuterung
0	ISO 2560-A	Bezugsnorm, Einteilung nach Streckgrenze und Kerbschlagarbeit von 47 J
1	E	Prozess Lichtbogenhandschweißen, umhüllte Stabelektrode
2	46	Festigkeit und Bruchdehnung
3	3	Kerbschlagarbeit bei definierter Temperatur
4	1Ni	Chemische Zusammensetzung des reinen Schweißgutes nach der Bezugsnorm
5	B	Umhüllungstyp
6	5	Ausbringung und Angabe der für die Stabelektrode verwendbaren Stromart(en)
7	4	Schweißpositionen, für die die Stabelektrode geeignet bzw. genormt ist
8	H5	Wasserstoffgehalt in ml/100g

**Anmerkung:** Die Merkmale 0-5 sind bei der Elektrodenbezeichnung obligatorisch. Die Merkmale 6-8 können bei Erfordernis aufgeführt werden.

### *Überschlägige Berechnung der erforderlichen Schweißstromstärke*

Die einzustellende Schweißstromstärke ist in Abhängigkeit vom Elektrodendurchmesser, der Werkstückdicke und der Schweißposition zu wählen. Als Hilfestellung können dabei folgende Faustformeln<sup>[ST02]</sup> – in Abhängigkeit vom Kernstabdurchmesser der Elektrode – gelten:

$d \leq 2,5 \text{ mm}$  Schweißstromstärke  $I_S \text{ [A]} = 30 \cdot \text{Kernstabdurchmesser } d \text{ in mm}$

$d \geq 3 \text{ mm}$  Schweißstromstärke  $I_S \text{ [A]} = (40 \dots 50) \cdot \text{Kernstabdurchmesser } d \text{ in mm}$

**Anmerkung:** Beim Schweißen in Zwangspositionen weicht die Berechnung der Schweißstromstärke in der Regel von den obig genannten Formeln ab.

#### **5.11.4 Anwendung**

Hauptsächlich findet das Lichtbogenhandschweißen Anwendung beim Verbindungsschweißen von unlegierten und warmfesten Stählen, Stahlguss und Feinkornstählen und beim Auftragsschweißen hochlegierter Stähle. Unter bestimmten Voraussetzungen können auch Aluminium, Kupfer, Nickel (und deren Legierungen) und Gusseisenwerkstoffe verschweißt werden. Große Verbreitung findet das Lichtbogenhandschweißen beim Regenerieren verschlissener Baugruppen (Reparaturschweißungen) von z.B. Wellen, Zugtriebrädern. Anwendungsgebiete sind der Stahl-, Hoch-, Brücken-, Apparat-, Behälter- und Rohrleitungsbau.

Die Mindestdicke des Grundwerkstoffes sollte 1 mm betragen, um ein Durchbrennen des Lichtbogens zu verhindern.

Umsetzbar sind alle Schweißpositionen nach DIN EN ISO 6947. Einschränkungen werden durch den jeweils verwendeten Elektrodentyp bestimmt.

#### **5.11.5 Arbeitsschutz**

Siehe Kapitel 5.6.4

### **5.12 Unterpulverschweißen (UP/12)**

#### **5.12.1 Verfahrensprinzip**

Das Unterpulverschweißen ist ein verdecktes Lichtbogenschweißen, bei dem eine blanke Drahtelektrode, die mittels eines mechanischen Drahtvorschubes zugegeben wird, unterhalb einer schlacke- und schutzgasbildenden Pulverschmelze abbrennt.

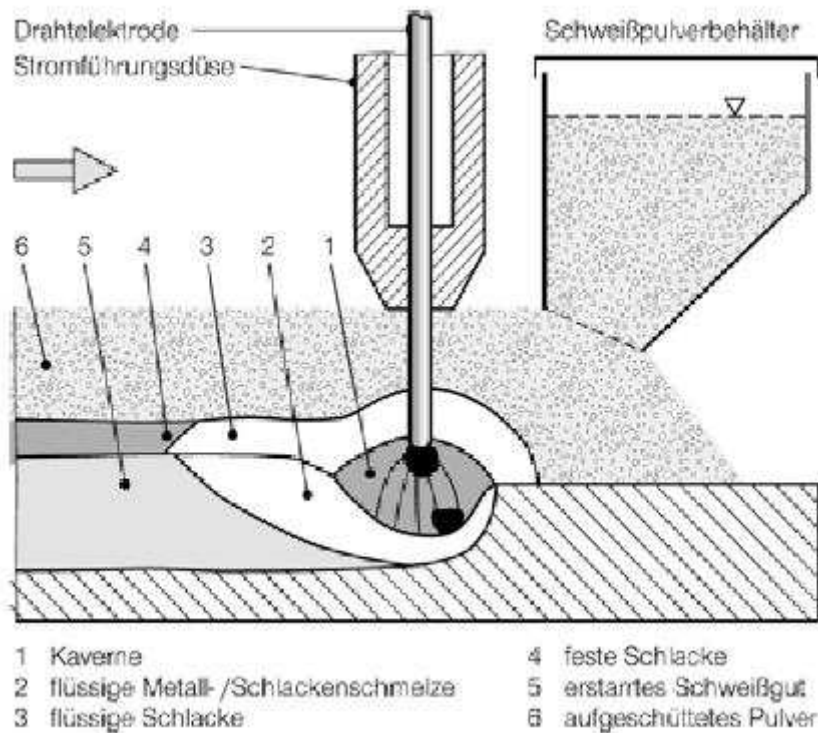


Abbildung 20: Schematische Anordnung beim Unterpulverschweißen<sup>[ST03]</sup>

Die Drahtelektrode sticht durch eine vorher aufgebrachte Pulverschüttung in den Grundwerkstoff und bildet bei Anlegen eines Schweißstromes den Lichtbogen, der das Pulver und den Grundwerkstoff aufschmilzt. Das ständig nachfließende Schweißpulver schmilzt durch die Wärmeentwicklung des Lichtbogens zwischen Werkstück und Drahtelektrode. Aufgrund der geringeren Dichte der Pulverschmelze (gegenüber der Metallschmelze) schwimmt diese immer obenauf und bildet somit eine Abschirmung (Schlacke) gegenüber der Atmosphäre (ähnlich der Schlackencharakteristik beim Elektrodenhandschweißen). Mit zunehmendem Schweißfortschritt erstarrt die flüssige Metallschmelze und bildet die Schweißnaht. Überflüssiges Pulver kann während des Schweißvorgangs mittels einer Absaugvorrichtung entfernt und dem Kreislauf wieder zugeführt werden. Als abschließender Schritt ist die Entfernung der festen Schlacke an der Nahtoberfläche durchzuführen.

Im Gegensatz zum Lichtbogenhandschweißen wird der Schweißstrom erst an der sogenannten Stromdüse an die Draht- bzw. Bandelektrode übergeben. Die strom-

führende Länge des Zusatzwerkstoffes ist somit sehr kurz und ermöglicht dadurch im Verfahren die Anwendung großer Stromstärken (bis 3500A) mit denen große Abschmelzleistungen erreicht werden können (bis 16kg/h). Aufgrund dieses Umstandes wird das UP-Schweißen als Hochleistungsschweißverfahren bezeichnet.

Beim UP-Schweißen ist im Regelfall eine (wurzelseitige) Schweißbadsicherung erforderlich.

### **5.12.2 Verfahrensvarianten**

- ▶ Unterpulverschweißen mit einer Massivdrahtelektrode (121)
- ▶ Unterpulverschweißen mit einer Massivbandelektrode (122)
- ▶ Unterpulverschweißen mit Metallpulverzusatz (124)
- ▶ Unterpulverschweißen mit Fülldrahtelektrode (125)
- ▶ Unterpulverschweißen mit Füllbandelektrode (126)

### 5.12.3 Gerätetechnik

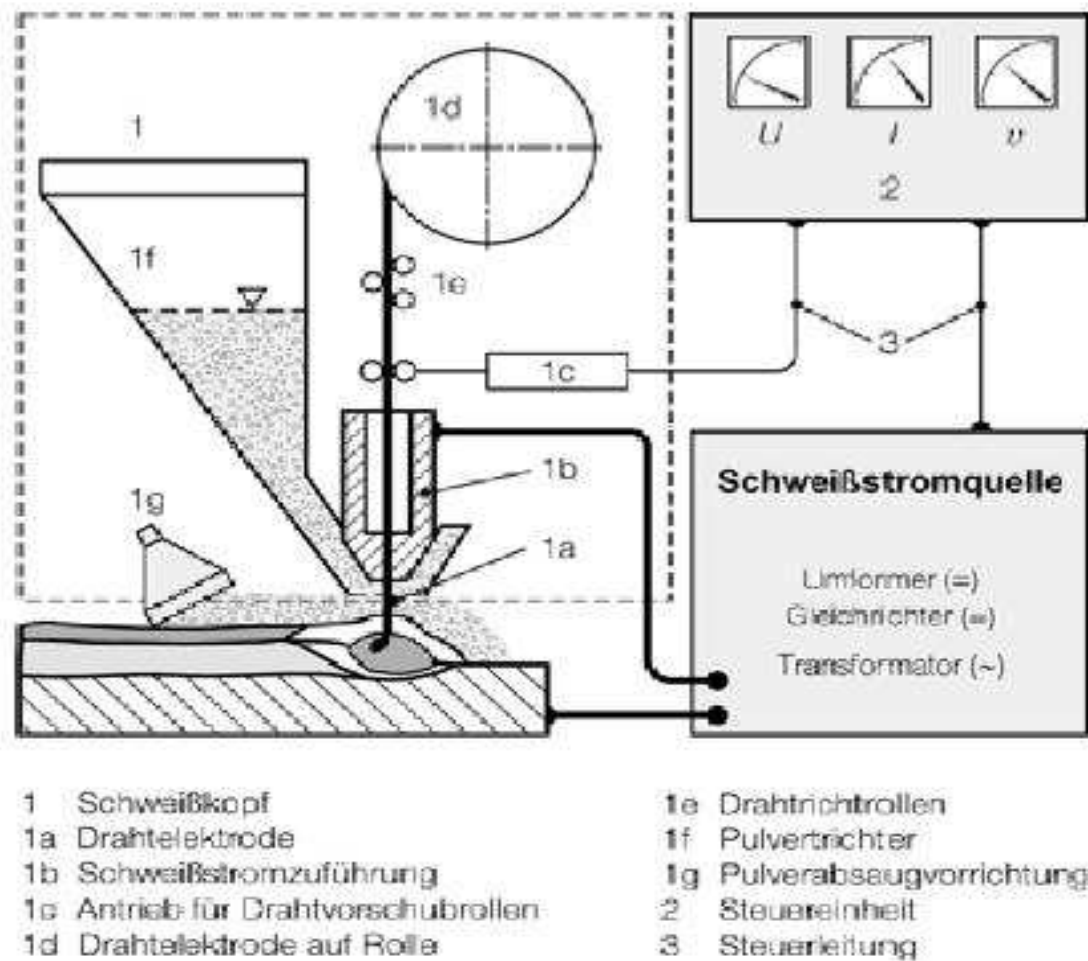


Abbildung 21: Aufbau einer UP-Schweißanlage<sup>[ST03]</sup>

### 5.12.4 Zusatzwerkstoff

Der Zusatzwerkstoff beim UP-Schweißen wird in Form von Drahtelektroden (Kreisquerschnitt) oder Bandelektroden (Rechteckquerschnitt) zugegeben. Die Durchmesser der Drahtelektroden bewegen sich im Bereich von 1,2 mm bis 12 mm. Die Elektroden sind werkstoffbezogen genormt, wobei jedoch keine Unterscheidung zwischen Draht- oder Bandelektrode getroffen wird.



Tabelle 9: Zusatzwerkstoffe zum Unterpulverschweißen

Grundwerkstoff	Bezugsnorm
Unlegierte Stähle und Feinkornbaustähle	DIN EN 756
Warmfeste Stähle	DIN EN ISO 21952
Nichtrostende und hitzebeständige Stähle	DIN EN ISO 14343
Nickelwerkstoffe	DIN EN ISO 18274

### 5.12.5 Pulverarten

Die verschiedenen Pulverarten – und deren chemische Zusammensetzung – für das Unterpulverschweißen werden in DIN EN 760 klassifiziert.

Bezeichnung	Chemische Zusammensetzung Hauptbestandteile	Anteile
MS Mangan-Silikat	MnO + SiO <sub>2</sub>	min. 50 %
	CaO	max. 15 %
CS Calcium-Silikat	CaO + MgO + SiO <sub>2</sub>	min. 55 %
	CaO + MgO	max. 15 %
ZS Zirkonium-Silikat	ZrO <sub>2</sub> + SiO <sub>2</sub> + MnO	min. 45 %
	ZrO <sub>2</sub>	max. 15 %
RS Rutil-Silikat	TiO <sub>2</sub> + SiO <sub>2</sub>	min. 50 %
	TiO <sub>2</sub>	max. 20 %
AR Aluminat-rutil	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiO <sub>2</sub>	min. 40 %
AB Aluminat-basisch	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + CaO + MgO	min. 40 %
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	max. 20 %
	CaF <sub>2</sub>	max. 22 %
AS Aluminium-Silikat	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + SiO <sub>2</sub> + ZrO <sub>2</sub>	min. 40 %
	CaF <sub>2</sub> + MgO	min. 30 %
	ZrO <sub>2</sub>	min. 5 %
AF Aluminium-Fluorid-basisch	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + CaF <sub>2</sub>	min. 70 %
FB Fluorid-basisch	CaO + MgO + CaF <sub>2</sub> + MnO	min. 50 %
	SiO <sub>2</sub>	min. 20 %
	CaF <sub>2</sub>	min. 15 %
Z	alle anderen Zusammensetzungen	

Abbildung 22: Pulver zum Unterpulverschweißen nach DIN EN 760<sup>[ST02]</sup>

## Kennzeichnung einer Draht-Pulver-Kombination

### EN 756 – S 46 3 AB S2

Tabelle 10: Erläuterung einer Draht-Pulver-Kombination<sup>[ST02]</sup>

Benennung	Erläuterung
EN 756	Bezugsnorm
S	Kennbuchstabe für Unterpulverschweißen
46	Kennzahl für Festigkeit und Bruchdehnung
3	Kerbschlagarbeit
AB	Pulverart
S2	Drahtelektrodentyp; die Zahl dividiert mit 2 ergibt den mittleren Mangengehalt

#### 5.12.6 Anwendung

Das Unterpulverschweißen eignet sich zum Verbindungsschweißen und Auftragschweißen aller schweißgeeigneten Stahlsorten. Als Schweißpositionen kommen Wannen- und Horizontalposition zum Einsatz. Wirtschaftlich sinnvoll ist bei Anwendung des Verfahrens die Ausführung großer Schweißnahtlängen bzw. Auftragschweißflächen. Die Mindestwerkstückdicke sollte 4 mm betragen.

#### 5.12.7 Arbeitsschutz

Besonderer Arbeitsschutz ist beim Unterpulverschweißen nicht zu beachten, da der Lichtbogen verdeckt brennt.

### 5.13 Metall-Inertgasschweißen (MIG/131)

#### 5.13.1 Verfahrensprinzip

Beim MIG-Schweißen brennt der Lichtbogen zwischen dem Werkstück und einer kontinuierlich abschmelzenden, Drahtelektrode in einer inerten Schutzgasatmosphäre. Bei Betätigen des Handschalters am Schweißbrenner wird der mechanische Drahtvorschub gestartet. Bei Auftreffen der Drahtelektrode auf die Werkstückoberfläche fließt der Schweißstrom zwischen dem Drahtelektrodenende und dem

Werkstück. Es bildet sich ein Lichtbogen der den Grundwerkstoff und den kontinuierlich zugeführten Schweißzusatz aufschmilzt. Die erstarrte Schmelze bildet die Schweißnaht. Die inerte Schutzgasatmosphäre gewährleistet eine ausreichende Verhinderung der Oxidbildung.

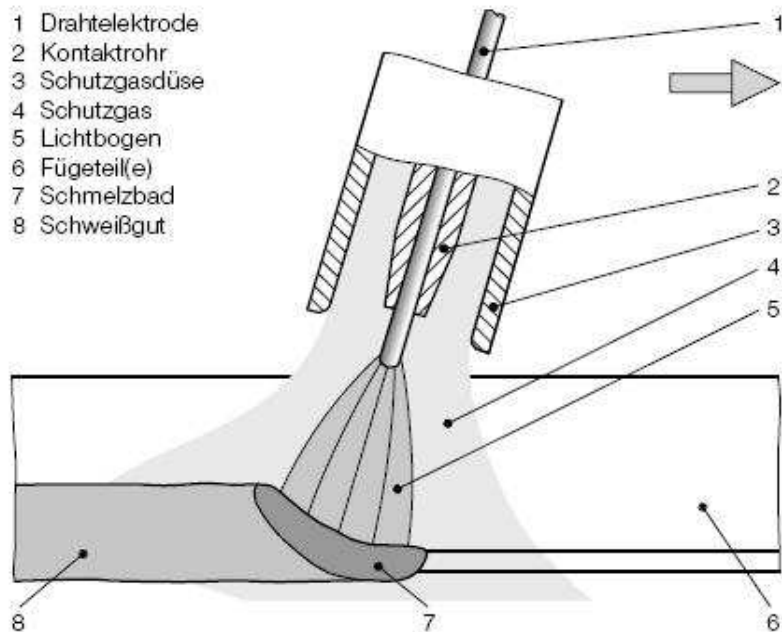


Abbildung 23: Schematische Anordnung beim MIG-Schweißen<sup>[ST03]</sup>

### 5.13.2 Verfahrensvarianten

- ▶ Metall-Inertgasschweißen mit metallgefüllter Drahtelektrode (132)
- ▶ Metall-Inertgasschweißen mit pulvergefüllter Drahtelektrode (133)

### 5.13.3 Technische Gase

Die technischen Gase zum Metall-Inertgasschweißen bzw. übergreifend die Gase und Mischgase zum Lichtbogenschweißen und dessen verwandten Prozessen werden in DIN EN ISO 14175:2008 klassifiziert. Prinzipiell wird dabei zwischen 9 Hauptgruppen mit entsprechenden Untergruppen unterschieden (siehe Tabelle 11).

Die jeweiligen Komponenten des verwendeten Schutzgases sind dabei der DIN EN ISO 14175 zu entnehmen. In Bezugnahme zur Benennung des Verfahrens sind die zu verwenden Schutzgase immer inert (träge). Dies bedeutet dass das Schutzgas nicht mit dem Schweißbad reagiert bzw. Oxidbildung unterbunden wird.

Zur Anwendung kommen beim MIG-Schweißen die Gase Argon (Ar) und Helium (He) bzw. Mischgase die beide Komponenten enthalten (Hauptgruppe „I“).

Tabelle 11 stellt die Einteilung der Gase dar. Die jeweilige chemische Zusammensetzung ist dabei der DIN EN ISO 14175 zu entnehmen. Global sind die Gase und Mischgase nach ihrem Reaktionsverhalten gegliedert.

Tabelle 11: Schutzgase zum Lichtbogenschweißen nach DIN EN ISO 14175

Hauptgruppe	Untergruppe	Erläuterung
I	1	inerte Gase und inerte Mischgase
	2	
	3	
M1	1	oxidierende Mischgase mit Sauerstoff und/oder Kohlendioxid
	2	
	3	
	4	
M2	0	
	1	
	2	
	3	
	4	
	5	
	6	
7		
M3	1	
	2	
	3	
	4	
	5	
C	1	stark oxidierende Gase und stark oxidierende Mischgase
	2	
R	1	reduzierende Mischgase
	2	
N	1	reaktionsträges Gas oder reaktionsträges Mischgas mit Stickstoff
	2	
	3	
	4	
	5	
O	1	Sauerstoff
Z	-	Mischgase die nicht unter die vorher aufgeführten Mischgase fallen bzw. mit einer Zusammensetzung die außerhalb der angegebenen Bereiche der DIN EN ISO 14175 fällt

## 5.13.4 Gerätetechnik

Abbildung 24 zeigt die zur Realisierung eines MIG-Schweißarbeitsplatzes notwendigen Einrichtungen.

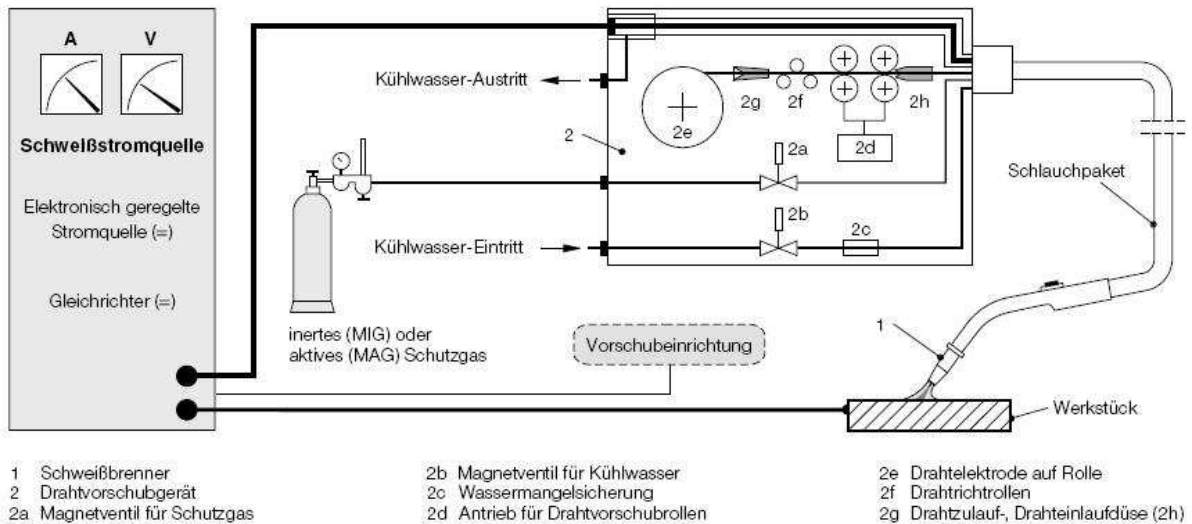


Abbildung 24: Grundsätzlicher Aufbau einer wassergekühlten MIG-Schweißanlage<sup>[ST03]</sup>

## 5.13.5 Zusatzwerkstoff

Die Zusatzwerkstoffe zum MIG-Schweißen bzw. übergreifend zum Metall-Schutzgasschweißen sind werkstoffbezogen genormt:

Tabelle 12: Zusatzwerkstoffe zum MIG-Schweißen

Grundwerkstoff	Bezugsnorm
Unlegierte Stähle und Feinkornbaustähle	DIN EN 440 bzw. DIN prEN ISO 14341:2008
Warmfeste Stähle	DIN EN ISO 21952
Hochfeste Stähle	DIN EN ISO 16834
Nichtrostende und hitzebeständige Stähle	DIN EN ISO 14343
Aluminiumwerkstoffe	DIN EN ISO 18273
Nickelwerkstoffe	DIN EN ISO 18274
Kupferwerkstoffe	DIN EN 14640
Gusseisenwerkstoffe	DIN EN ISO 1071

Der Zusatzwerkstoff ist in Form von (Endlos-) Drahtelektroden mit verschiedenen Durchmessern verfügbar. Die jeweilige Bezugsnorm gibt jedoch keine Aussage über die verfügbaren Varianten. Im allgemeinen Maschinenbau liegen die verwendeten Durchmesser jedoch meist im Bereich von 0,8 mm bis 1,6 mm (immer in 0,2 mm Abstufungen).

### *Kennzeichnung einer Schweißprozess-Drahtelektroden-Kombination*

#### **ISO 14341 – A – G 46 5 M G3Si1**

Tabelle 13: Erläuterung einer Schweißprozess-Drahtelektrodenkombination<sup>[N06]</sup>

<b>Benennung</b>	<b>Erläuterung</b>
ISO 14341-A	Bezugsnorm, Einteilung nach Streckgrenze und Kerbschlagarbeit von 47 J
G	Metall-Schutzgasschweißen, Drahtelektrode und/oder Schweißgut
46	Festigkeit und Bruchdehnung
5	Kerbschlagarbeit
M	Schutzgas
G3Si1	chemische Zusammensetzung der Drahtelektrode

### **5.13.6 Anwendung**

Das MIG-Schweißen wird bei Verbindungen angewandt, die – aufgrund der oxidierenden Wirkung des Schutzgases – nicht mehr mit MAG-Schweißen (siehe Kapitel 5.14.6) realisierbar sind. Grundsätzlich sind aber auch die Werkstoffe des MAG-Verfahrens schweißbar. Somit ergibt sich ein breites Anwendungsspektrum schweißbarer Werkstoffe. Anwendbar sind alle Schweißpositionen. Hauptsächliches Anwendungsfeld ist das Fügen von Aluminium- und Kupferwerkstoffen und hochlegierten Stählen (Chrom-Nickel-Stähle). Auch die Herstellung von sogenannten Schwarz-

Weiß-Verbindungen (Mischverbindung von austenitischem und ferritischem Stahl) ist möglich. Der schweißbare Blechdickenbereich liegt zwischen 1 mm und 100 mm.

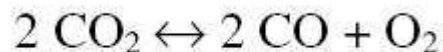
### **5.13.7 Arbeitsschutz**

Siehe Kapitel 5.6.4

## **5.14 Metall-Aktivgasschweißen (MAG/135)**

### **5.14.1 Verfahrensprinzip**

Das Verfahrensprinzip ist prinzipiell dem MIG-Schweißen gleich. Der Unterschied besteht hauptsächlich in den zum Schweißprozess verwendeten Schutzgasen. Das im Prozess angewandte Schutzgas Kohlendioxid – bzw. kohlendioxidhaltige Schutzgas – dissoziiert unter der Wärmeeinwirkung des Lichtbogens nach der folgenden Reaktionsgleichung:



Der freiwerdende Sauerstoff begünstigt einerseits die Oxidbildung in der Wärmeeinflusszone und fördert andererseits die Verbrennung von Legierungselementen des aufgeschmolzenen Grundwerkstoffes und der Drahtelektrode. Dies kann zur Verringerung der technologischen Eigenschaften des Grundwerkstoffes und der Schweißnaht führen. Zusätzlich führt das oxidierende Schutzgas noch zu stärkerer Schweißspritzerbildung als beim MIG-Verfahren.

Grundsätzlich kann mit einer MIG-Schweißanlage durch Austausch des Schutzgases (und der Drahtelektrode) auch das MAG-Verfahren angewandt werden. Umgekehrt gilt dies auch.

### **5.14.2 Verfahrensvarianten**

- ▶ Metall-Aktivgasschweißen mit metallgefüllter Drahtelektrode (136)
- ▶ Metall-Aktivgasschweißen mit pulvergefüllter Drahtelektrode (138)

### **5.14.3 Technische Gase**

Verwendet werden Gase der Hauptgruppen M1, M2, M3 und C.

Siehe DIN EN ISO 14175:2008

### **5.14.4 Gerätetechnik**

Siehe Kapitel 5.13.4

### **5.14.5 Zusatzwerkstoff**

Das MAG-Schweißen bildet eine Ausnahme vom Grundsatz des Schweißens mit Zusatzwerkstoff, da der Zusatzwerkstoff bei diesem Verfahren immer höherlegiert als der Grundwerkstoff ist. Dies ist bedingt durch die Verwendung oxidierender Schutzgase, die unter Wärmeeinwirkung Legierungselemente der Drahtelektrode bzw. des aufgeschmolzenen Grundwerkstoffes verbrennen können.

Siehe Zusatzwerkstoffe MIG-Schweißen (Kapitel 5.13.5). Ausgenommen sind dabei jedoch die Kupfer- und Aluminiumzusatzwerkstoffe und Schweißzusätze für hochlegierte Stähle.

### **5.14.6 Anwendung**

Anwendbar sind alle Schweißpositionen. Verschweißt werden vornehmlich un- und niedriglegierte Stähle mit Dicken von 1 mm bis 100 mm.

### **5.14.7 Arbeitsschutz**

Siehe Kapitel 5.6.4

## **5.15 Wolfram-Inertgasschweißen mit Massivdraht- oder Massivstabzusatz (WIG/141)**



### 5.15.1 Verfahrensprinzip

Das WIG-Schweißen (im englischen Sprachraum auch als TIG bezeichnet) zählt zur Gruppe der Schutzgasschweißverfahren. Als Schutzgas werden inerte Schutzgase verwendet. Während des Schweißvorgangs brennt ein Lichtbogen zwischen dem Werkstück und einer nichtabschmelzenden Wolframelektrode, der den Grundwerkstoff und den Zusatzwerkstoff aufschmilzt.

Das Schweißen kann ohne (sogenanntes „Verlaufenlassen“ im Dünoblechbereich) und mit Zusatzwerkstoff (Kalt- und Heißdrahtschweißung) durchgeführt werden.

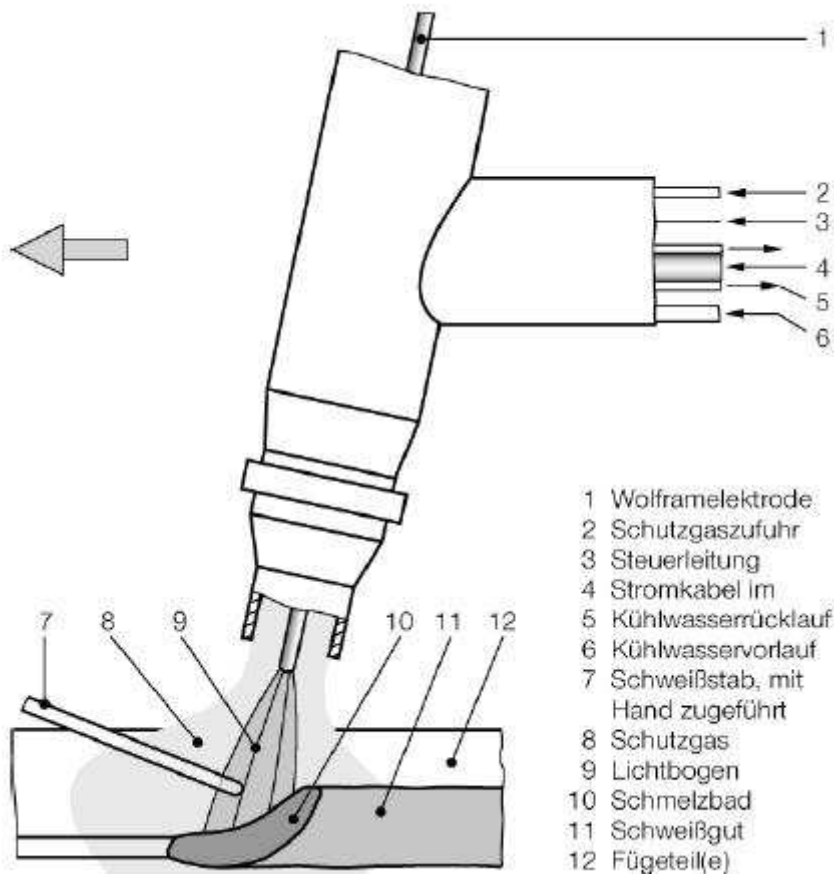


Abbildung 25: Schematische Anordnung beim WIG-Schweißen<sup>[ST03]</sup>

## 5.15.2 Verfahrensvarianten

- ▶ Wolfram-Inertgasschweißen ohne Schweißzusatz (142)
- ▶ Wolfram-Inertgasschweißen mit Fülldraht- oder Füllstabzusatz (143)
- ▶ Wolfram-Schutzgasschweißen mit reduzierenden Gasanteilen im ansonsten inerten Schutzgas und Massivdraht- oder Massivstabzusatz (145)
- ▶ Wolfram-Schutzgasschweißen mit reduzierenden Gasanteilen im ansonsten inerten Schutzgas und Fülldraht- oder Füllstabzusatz (146)

## 5.15.3 Technische Gase

Verwendet werden Schutzgase der Hauptgruppe „I“ (siehe DIN EN ISO 14175)

## 5.15.4 Gerätetechnik

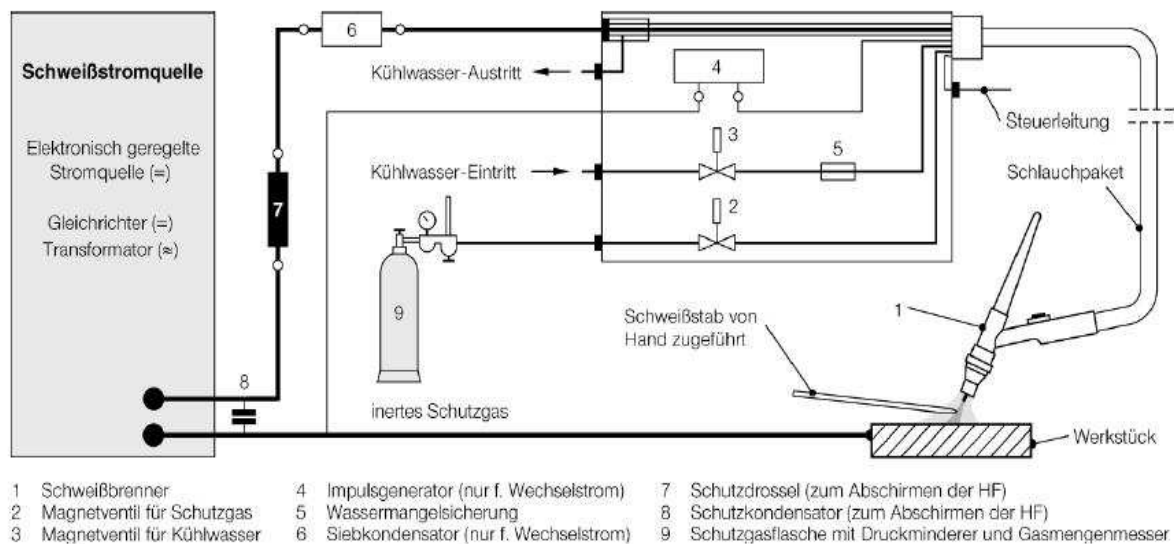


Abbildung 26: Grundsätzlicher Aufbau einer wassergekühlten WIG-Schweißanlage<sup>[ST03]</sup>

## 5.15.5 Zusatzwerkstoff

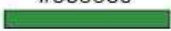



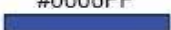
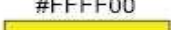

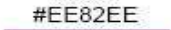
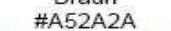
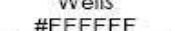
Die Schweißzusätze sind als Schweißstäbe und als Drahtelektroden lieferbar.

Tabelle 14: Zusatzwerkstoffe zum WIG-Schweißen

Grundwerkstoff	Bezugsnorm
Unlegierte Stähle und Feinkornbaustähle	DIN EN ISO 636
Warmfeste Stähle	DIN EN ISO 21952
Nichtrostende und hitzebeständige Stähle	DIN EN ISO 14343
Aluminiumwerkstoffe	DIN EN ISO 18273
Nickelwerkstoffe	DIN EN ISO 18274

### 5.15.6 Wolframelektroden

Die nichtabschmelzenden Wolframelektroden zum WIG-Schweißen sind in DIN EN ISO 6848 nach ihrer chemischen Zusammensetzung, Länge und dem Durchmesser genormt. Die aufgeführten Elektroden können gleichermaßen zum Plasmaschweißen und -schneiden verwendet werden.

Kurzzzeichen	Anforderung an die chemische Zusammensetzung				Kennfarbe, RGB-Farbwert und -Farbprobe <sup>a</sup>
	Oxidzusatz		Verunreinigungen Gehalt in %	Wolfram Gehalt in %	
	Hauptoxide	Gehalt in %			
WP	keine	N. A. <sup>b</sup>	0,5 max.	99,5 min.	Grün #008000 
WCe 20	CeO <sub>2</sub>	1,8 bis 2,2	0,5 max.	Rest	Grau #808080 
WLa 10	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,8 bis 1,2	0,5 max.	Rest	Schwarz #000000 
WLa 15	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,3 bis 1,7	0,5 max.	Rest	Gold #FFD700 
WLa 20	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,8 bis 2,2	0,5 max.	Rest	Blau #0000FF 
WTh 10	ThO <sub>2</sub>	0,8 bis 1,2	0,5 max.	Rest	Gelb #FFFF00 
WTh 20	ThO <sub>2</sub>	1,7 bis 2,2	0,5 max.	Rest	Rot #FF0000 
WTh 30	ThO <sub>2</sub>	2,8 bis 3,2	0,5 max.	Rest	Violett #EE82EE 
WZr 3	ZrO <sub>2</sub>	0,15 bis 0,50	0,5 max.	Rest	Braun #A52A2A 
WZr 8	ZrO <sub>2</sub>	0,7 bis 0,9	0,5 max.	Rest	Weiß #FFFFFF 

<sup>a</sup> RGB-Farbwerte und -Farbproben können auf der folgenden Website gefunden werden:  
<http://msdn.microsoft.com/library/default.asp?url=/workshop/author/dhtml/reference/colors/colors.asp>

<sup>b</sup> N. A. = nicht anwendbar

Abbildung 27: Chemische Zusammensetzung von Wolframelektroden<sup>[N07]</sup>

Durchmesser mm	Grenzabmaße mm
0,25	± 0,02
0,30	± 0,02
0,50	± 0,05
1,0	± 0,05
1,5	± 0,05
1,6	± 0,05
2,0	± 0,05
2,4	± 0,1
2,5	± 0,1
3,0	± 0,1
3,2	± 0,1
4,0	± 0,1
4,8	± 0,1
5,0	± 0,1
6,3	± 0,1
6,4	± 0,1
8,0	± 0,1
10,0	± 0,1

Abbildung 28: Normdurchmesser von Wolframelektroden<sup>[N07]</sup>

Länge mm	Grenzabmaße mm
50	± 1,5
75	+2,5 -1,0
150	+4,0 -1,0
175	+6,0 -1,0
300	+8,0 -1,0
450	+8,0 -1,0
600	+13,0 - 1,0

Abbildung 29: Normdurchmesser von Wolframelektroden<sup>[N07]</sup>

### 5.15.7 Anwendung

Das Wolfram-Inertgasschweißen ist dasjenige Schweißverfahren, das dem Anwender das größtmögliche Anwendungsspektrum bietet. Sofern ein zu schweißender Werkstoff schmelzbar und elektrisch leitfähig ist, ist er im Regelfall mittels dem WIG-Schweißen ffügbar. Nachteilig wirkt sich dabei der geringe Blechdickenbereich aus. Der wirtschaftliche Bereich der schweißbaren Blechdicken liegt zwischen 0,1 mm und 4 mm. Geschweißt werden vornehmlich hochlegierte Stähle, Aluminiumwerkstoffe, Kupferwerkstoffe, Titan und Sondermetalle. Aufgrund des geringen Verzugs beim

Schweißen und der guten Nahteigenschaften eignet sich das WIG-Verfahren auch zur Herstellung von Wurzelschweißungen – während die weiteren Lagen mittels eines anderen Verfahrens gefertigt werden können.

### **5.15.8 Arbeitsschutz**

Siehe Kapitel 5.6.4

**Anmerkung:** Von allen Lichtbogenschweißverfahren bildet das WIG-Schweißen den intensivsten Lichtbogen. Deswegen sind auch verstärktere Arbeitsschutzeinrichtungen erforderlich. Diese bestehen in der Verwendung von speziell angepassten Schweißhandschuhen und Schweißschilden.

## **5.16 Plasmaschweißen (15)**

### **5.16.1 Verfahrensvarianten**

- ▶ Plasma-Metall-Inertgasschweißen (151)
- ▶ Pulverplasma-Lichtbogenschweißen (152)
- ▶ Plasmastrahl-Plasmalichtbogenschweißen (WPSL/156)

### **5.16.2 Stichloch-Plasmaschweißen (153)**

#### **5.16.2.1 Verfahrensprinzip**

Das Plasma (4. Aggregatzustand) bildet sich durch die Ionisation eines Gases mittels eines elektrischen Lichtbogens – bzw. durch sehr hohe Energiezufuhr. Der Lichtbogen ist aufgrund technischer Vorkehrungen (z.B.:Kühlung der Plasmadüse) eingeschnürt. Dadurch wird eine hohe Leistungsdichte erreicht mit der eine hohe Temperatur im Lichtbogen einhergeht, welche die Energie liefert um die Atome im Plasmagas teilweise zu ionisieren und die Moleküle zu dissoziieren (aufzuspalten). Bei Auftreffen des Plasmas auf die kältere Werkstückoberfläche werden die Teilchen (Atome, Ionen, Elektronen) rekombiniert und geben die vorher gespeicherte Energie wieder ab. Dieser Vorgang hat eine hohe punktuelle Wärmeentwicklung zur Folge und führt somit zur Bildung eines Schweißbades durch Aufschmelzen des Grundwerkstoffes und des – falls verwendet – Schweißzusatzes. Im Vergleich zu

anderen Lichtbogenschweißverfahren (Streuwinkel  $\leq 45^\circ$ ) tritt beim Plasmaschweißen ein Lichtbogen mit äußerst geringer Streuung auf (Streuwinkel  $\leq 6^\circ$ ), der eine annähernd zylindrische Form aufweist. Der Lichtbogen brennt – wie beim WIG-Verfahren – zwischen einer nichtabschmelzenden Wolframelektrode und dem Werkstück.

Die Stichlochtechnik wird bei Werkstückdicken ab 2,5 mm Materialstärke angewandt. Der Plasmastrahl schmilzt die im Stumpfstoß positionierten Teile an den Berührungsflächen auf (ähnlich dem Tiefschweißeffekt beim Elektronenstrahlschweißen). Durch den Lichtbogendruck wandert der Plasmastrahl durch den Werkstoff und schmilzt dabei auch den Werkstoff an der dem Brenner gegenüberliegenden Werkstückseite auf. Nach dem Durchdringen des Bauteils tritt der Plasmastrahl aus dem Bauteil aus. Dabei wird jedoch kein flüssiges Material aus der Fuge geschleudert. Mit fortschreitendem Schweißfortschritt füllt sich das Stichloch wieder mit flüssigem Material, das nach dem Erkalten die Schweißnaht bildet.

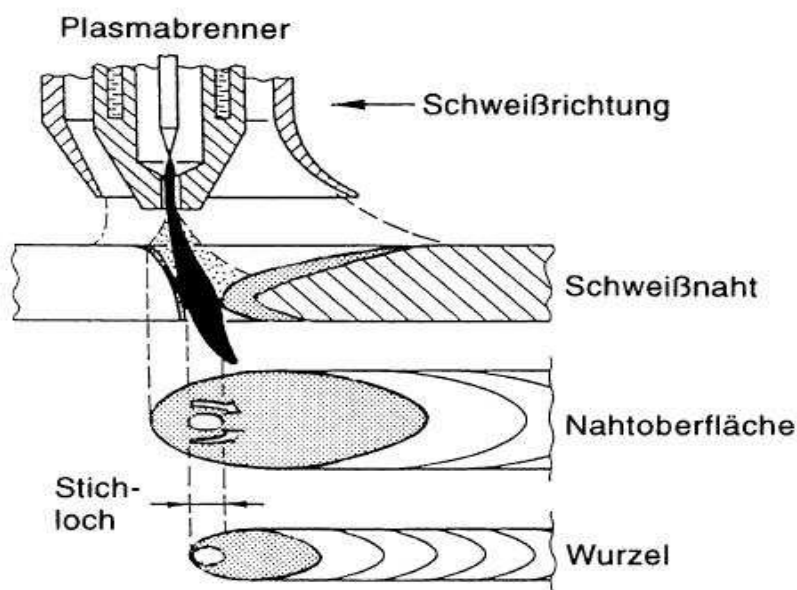


Abbildung 30: Schematische Anordnung beim Stichloch-Plasmaschweißen<sup>[ST01]</sup>

### **5.16.2.2 Technische Gase**

Zur Anwendung kommen Gase der Hauptgruppe „I“, „R“ und „N“ nach DIN EN ISO 14175.

### **5.16.2.3 Anwendung**

Das Stichloch-Plasmaschweißen findet Anwendung bei der Schweißung von Kupfer-, Aluminium-, Nickel- und Titanwerkstoffen und hochlegierten Stählen mit Blechdicken von 2,5 mm bis 10 mm. Das Schweißen von ferritschen Stählen ist aufgrund der hohen Anlagenkosten wirtschaftlich nicht sinnvoll. Im Regelfall wird die Fügestelle als Stumpfstoß ausgeführt. Deshalb wird das Plasma-Verbindungsschweißen vornehmlich ohne Zusatzwerkstoff ausgeführt. Dieser ist nur bei Mehrlagenschweißungen und Auftragsschweißungen erforderlich. Die Nahtausführung findet hauptsächlich in Wannenposition statt.

## **5.16.3 Plasmalichtbogenschweißen (WPL/154)**

### **5.16.3.1 Verfahrensprinzip**

Die Bildung des Plasmas erfolgt wie beim Stichloch-Plasmaschweißen (siehe Kapitel 5.16.2.1). Die Erwärmung und Aufschmelzung des Werkstoffes erfolgt von der Oberfläche aus und wandert entlang des Fügestoßes bis zur Wurzel Seite (sogenannte Durchdrücktechnik). Der Lichtbogen sticht jedoch nicht wie beim Stichlochschweißen durch das Material, sondern drückt dieses nur in Form einer Überhöhung aus dem Fügespalt.

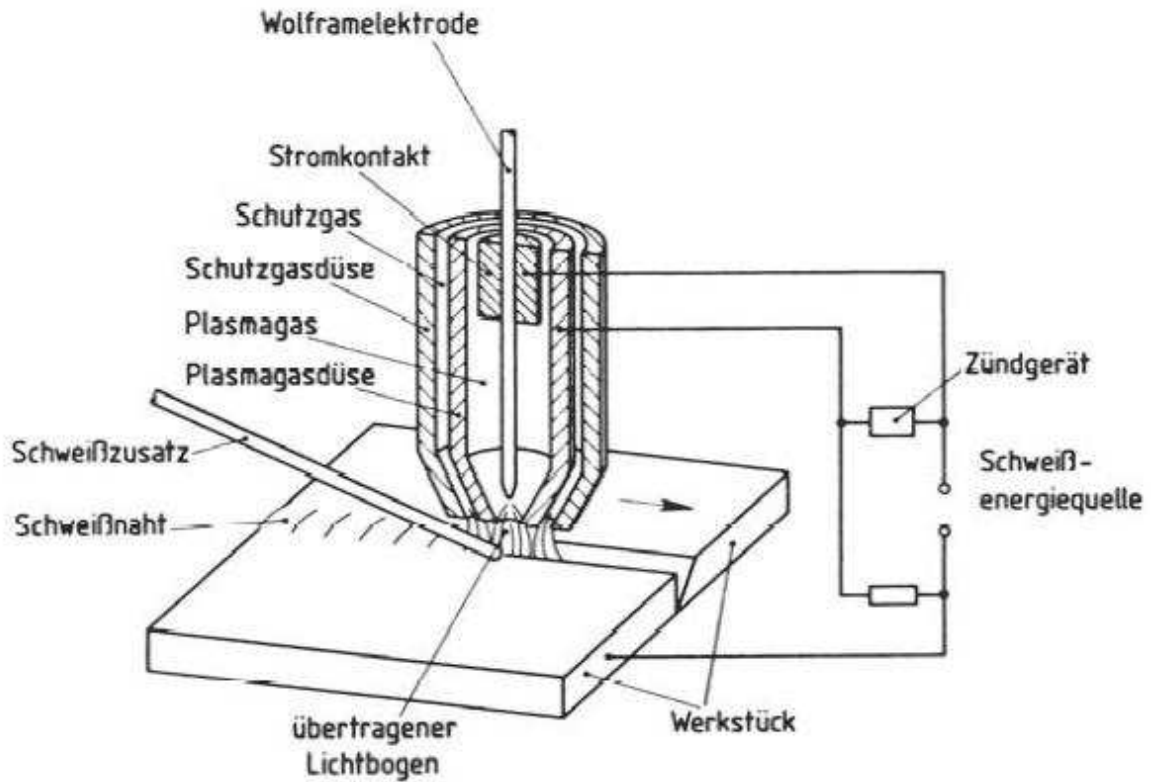


Abbildung 31: Schematische Anordnung Plasma-Lichtbogenschweißen<sup>[ST02]</sup>

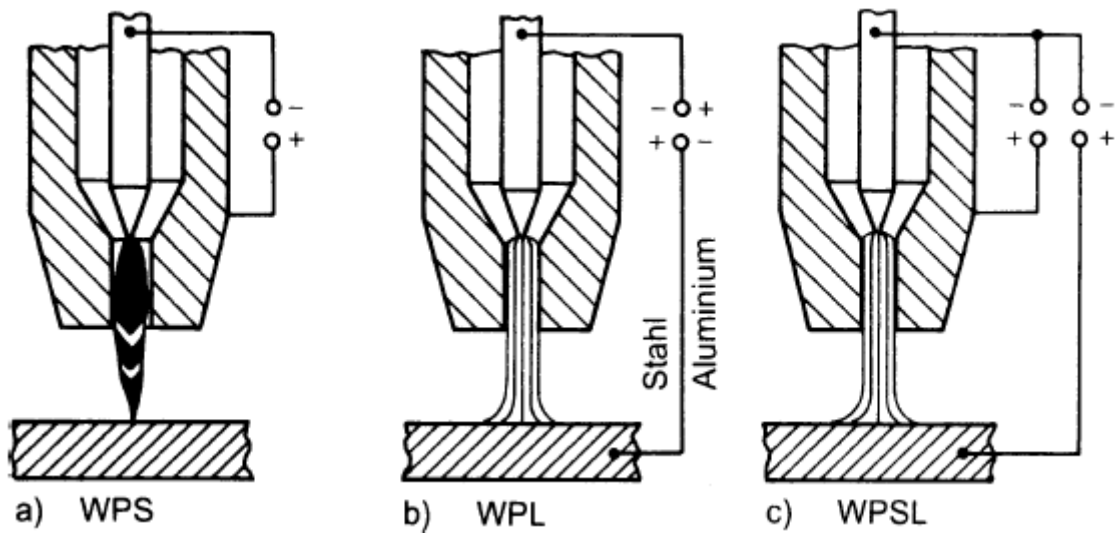


Abbildung 32: Schaltungsanordnung beim Plasmastrahl- (a), Plasmalichtbogen- (b) und Plasmastrahl-Plasmalichtbogenschweißen (c)<sup>[ST03]</sup>



### 5.16.3.2 Technische Gase

Siehe Kapitel 5.16.2.2

### 5.16.3.3 Anwendung

Siehe Kapitel 5.16.2.3 Der wirtschaftliche schweißbare Blechdickenbereich liegt beim Plasma-Lichtbogenschweißen zwischen 0,1 mm und 2,5 mm.

## 5.16.4 Plasmastrahlschweißen (WPS/155)

### 5.16.4.1 Verfahrensprinzip

Siehe Kapitel 5.16.2.1

Beim Plasmastrahlschweißen kommt ein nichtübertragener Lichtbogen zum Einsatz. Der Lichtbogen brennt nur zwischen der Wolframelektrode und der Innenseite der Schutzgasdüse. Das verwendete Plasmagas wird durch den Lichtbogen ionisiert und tritt dann in Form eines Strahls aus dem Plasmabrenner aus. Da der Lichtbogen nur am Plasmabrenner brennt (Stromfluss nur am Brenner), erlischt er bei Abheben des Brenners von der Werkstückoberfläche nicht.

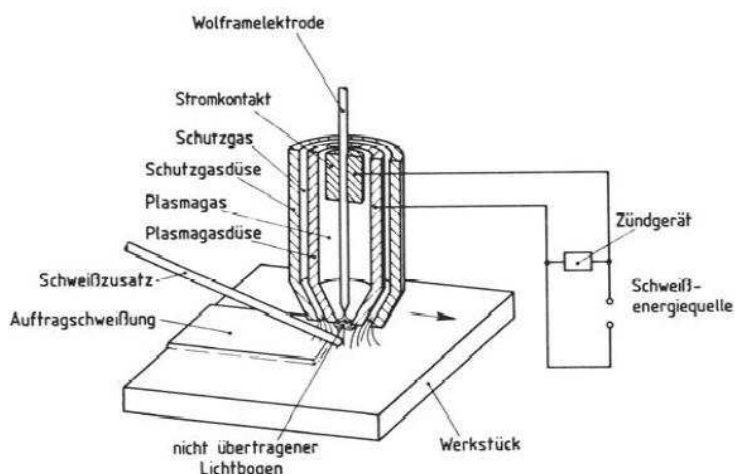


Abbildung 33: Schematische Anordnung beim Plasmastrahlschweißen<sup>[ST02]</sup>

## 5.16.4.2 Technische Gase

Siehe Kapitel 5.16.2.2

## 5.16.4.3 Anwendung

Siehe Kapitel und 5.16.3.3

## 5.17 Lichtbogenschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen (MBL/185)

### 5.17.1.1 Verfahrensprinzip

Beim Schweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen wird die Fügestelle durch eine ringförmige Ablenkspule (evtl. mit Schutzgaszufuhr) umschlossen. Zwischen den Fügeteilen entsteht durch Auseinanderziehen ein Fügespalt. Bei Zuschaltung des Schweißstromes brennt in diesem der Lichtbogen. Dieser rotiert durch die Überlagerung der Magnetfelder der Ablenkspule und des Lichtbogens und erwärmt die zu verschweißenden Kontaktflächen gleichmäßig auf Schweißtemperatur. Nach Erreichen der Schweißtemperatur werden die Werkstücke in axialer Richtung gegeneinander gepresst und es bildet sich in der Fügezone die Schweißnaht.

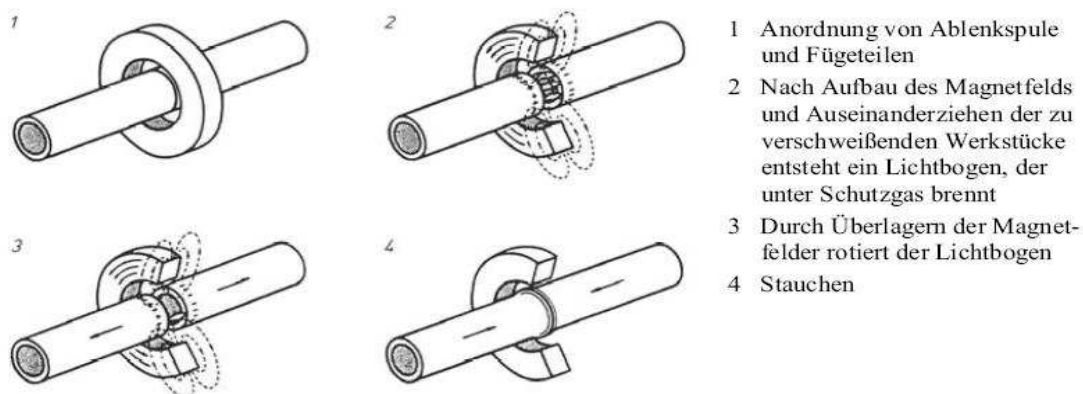


Abbildung 34: Schematische Anordnung beim MBL-Schweißen<sup>[ST02]</sup>

### 5.17.1.2 Anwendung

Hauptsächlich Anwendung findet das MBL-Schweißen beim Fügen runder Füge­teile mit geringen Wandstärken (Wanddicke bei Stahl  $\leq 5$  mm).

## 5.18 Widerstandspunktschweißen (21)

### 5.18.1 Verfahrensprinzip

Zwei zu fügende Bauteile werden durch 2 dünne zylinderförmige Punktschweiß­elektroden (meist auf Kupferbasis<sup>9</sup>) unter Einwirkung einer mechanischen Kraft zusammengepresst. Bei temporal kurzem Fließen eines elektrischen Stromes zwischen den beiden Elektroden erfolgt eine Widerstandserwärmung an der Verbindungslinie der beiden zu verschweißenden Teile wodurch ein Schweißpunkt, die sogenannte Schweißlinse, unter Einwirkung der mechanischen Kraft entsteht. Der Schweißpunkt entsteht zwischen den beiden Werkstücken, da an dieser Stelle der Widerstand (Kontaktwiderstand) zwischen den Werkstoffen am größten ist. Das Widerstandspunktschweißen erfolgt hauptsächlich ohne Zusatzwerkstoff.

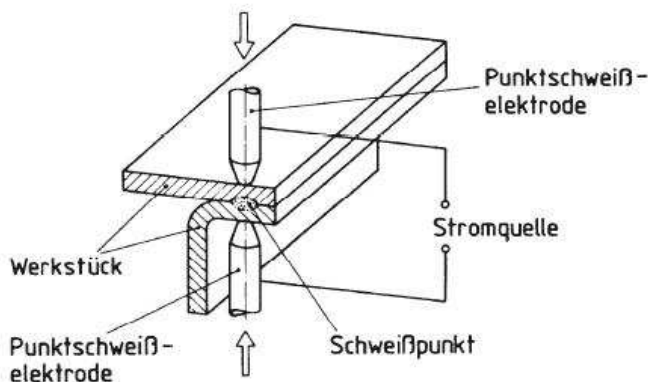


Abbildung 35: Schematische Anordnung beim Widerstandspunktschweißen<sup>[ST02]</sup>

---

<sup>9</sup> Die Werkstoffe für Punktschweißelektroden sind in DIN ISO 5182 und die Elektrodenformen in ISO 5821 genormt<sup>[ST02]</sup>

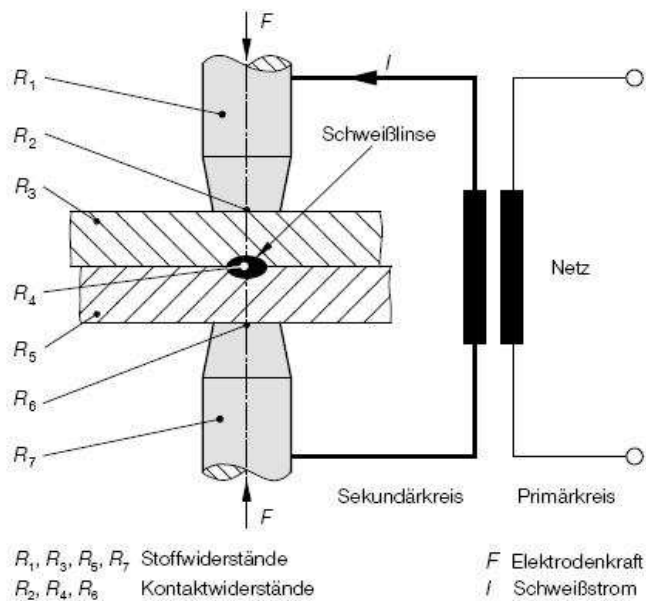


Abbildung 36: Punktentstehung beim Widerstandspunktschweißen<sup>[ST03]</sup>

## 5.18.2 Verfahrensvarianten

- ▶ Einseitiges Widerstandspunktschweißen (211)
- ▶ Zweiseitiges Widerstandspunktschweißen (212)

## 5.18.3 Anwendung

Das Widerstandspunktschweißen wird hauptsächlich zum Verbinden von un- und niedriglegierten Stahlblechen bis 20 mm Einzelwerkstückdicke und Aluminiumblechen bis 5 mm Einzelwerkstückdicke verwendet. Anwendungsbereich sind der Fahrzeugbau (z.B. Schweißungen an Fahrzeugkarosserien) und der allgemeine Maschinenbau.

## 5.19 Rollennahtschweißen (RR/22)

### 5.19.1 Verfahrensprinzip

Die stoffschlüssige Verbindung beim Rollennahtschweißen wird wie beim Punkt- und Buckelschweißen durch die Erzeugung von Schweißpunkten (Schweißlinsen) hergestellt. Die Kraft- und Schweißstromübertragung erfolgt hierbei durch eine sich drehende, rollenförmige Elektrode (Rollenelektrode). Durch die Steuerung der

Einwirkzeit des Schweißstromes können die Schweißpunkte in unterschiedlichen Abständen hergestellt werden. Dieser Umstand erlaubt es bei kurzen Zykluszeiten und demzufolge lokal aufeinanderfolgenden Schweißpunkten das Aussehen einer durchgängigen Schweißnaht (Dichtnaht) zu erwecken. Diese sogenannte Punktfolge wird zur Erzeugung von kraftübertragenden oder gas-/flüssigkeitsdichten Verbindungen genutzt. Das Rollennahtschweißen findet ohne Zusatzwerkstoff statt.

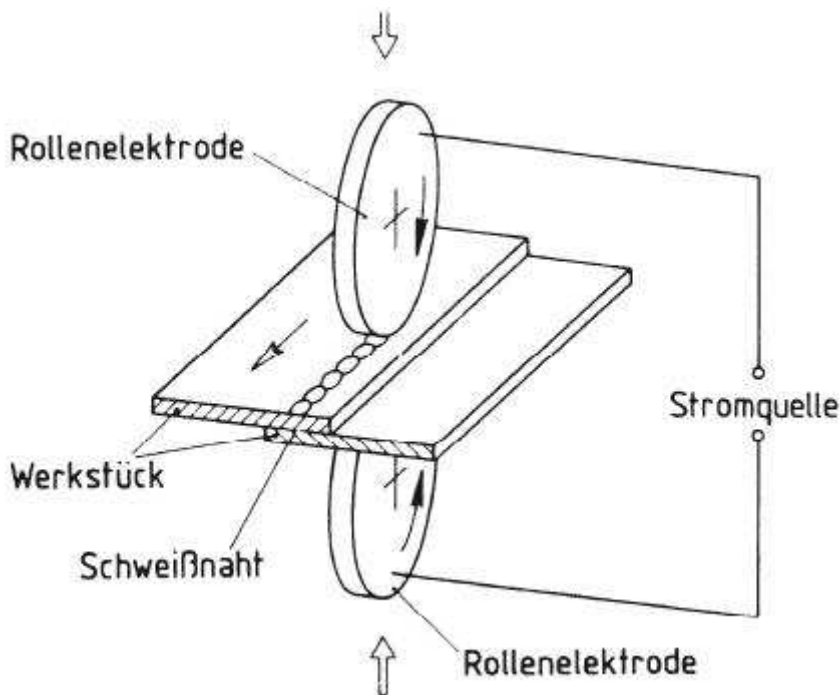


Abbildung 37: Schematische Anordnung beim Rollennahtschweißen<sup>[ST02]</sup>

## 5.19.2 Verfahrensvarianten

- ▶ Überlapp-Rollennahtschweißen (221)
- ▶ Quetschnahtschweißen (222)
- ▶ Rollennahtschweißen mit Kantenvorbereitung (223)
- ▶ Rollennahtschweißen mit Drahtelektroden (224)
- ▶ Folien-Stumpfnahtschweißen (225)
- ▶ Folien-Überlappnahtschweißen (226)

### 5.19.3 Anwendung

Das Rollennahtschweißen findet Anwendung beim Verbindungsschweißen un- und niedriglegierter Stähle und einem Großteil der Nichteisenmetalle. Verschweißt werden dabei Folien und Bleche mit einem Materialstärkenbereich von 0,1 mm bis 4 mm.

## 5.20 Buckelschweißen (RB/23)

### 5.20.1 Verfahrensprinzip

Das Buckelschweißen ist ein dem Punktschweißen ähnliches Verfahren. Es kommen keine stiftförmigen sondern flächige (planare) Elektroden zum Einsatz. Aufgrund der erforderlichen besonderen Bauteilgeometrie – mit Erhöhungen, den sogenannten Buckeln, versehene Werkstücke – erfolgt am Buckel bei Fließen des Schweißstromes eine Stromkonzentration entlang des Buckelquerschnitts. Die eintretende Widerstandserwärmung schmilzt den Buckel auf und bildet die Schweißnaht.

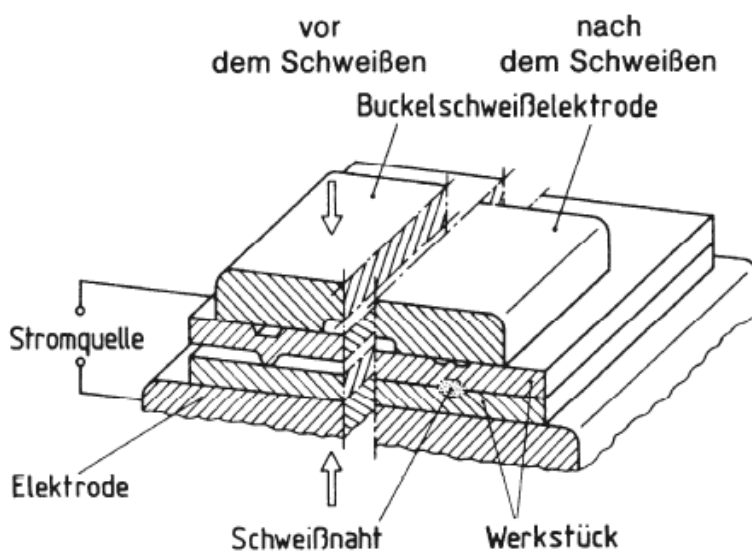


Abbildung 38: Schematische Anordnung beim Widerstandsbuckelschweißen<sup>[ST02]</sup>

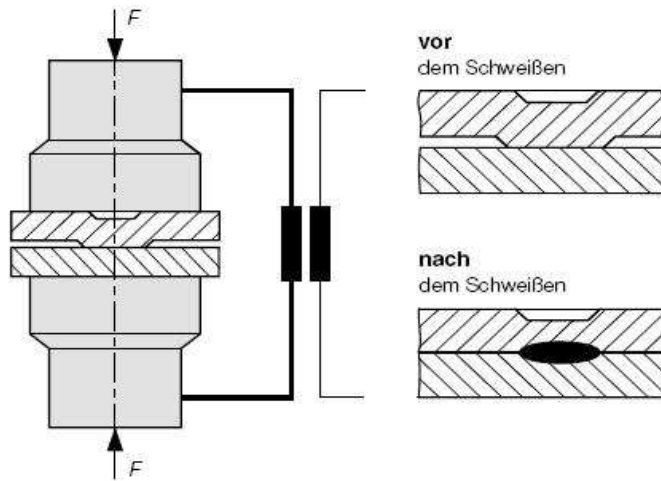


Abbildung 39: Punktentstehung beim Buckelschweißen mit geprägten Buckeln<sup>[ST03]</sup>

## 5.20.2 Verfahrensvarianten

- ▶ Einseitiges Buckelschweißen (231)
- ▶ Zweiseitiges Buckelschweißen (232)

## 5.20.3 Anwendung

Siehe Kapitel 5.18.3. Der schweißbare Blechdickenbereich liegt zwischen 0,5 mm und 10 mm.

## 5.21 Abbrennstumpfschweißen (RA/24)

### 5.21.1 Verfahrensprinzip

Das Abbrennstumpfschweißen ist ein dem Pressstumpfschweißen ähnliches Verfahren. Anders als beim Pressstumpfschweißen müssen jedoch die Stirnseiten der zu fügenden Bauteile nicht zwingend planbearbeitet sein. Die beiden Werkstücke werden stirnseitig gegeneinander gefahren und der Schweißstrom zugeschaltet. Eines der Werkstücke wird bei Fließen des Schweißstromes zurückgefahren. Dadurch bilden sich zwischen den Kontaktflächen der Fügeteile mehrere Lichtbögen,

welche die Stirnflächen (bei wiederholtem An- und Auseinanderfahren) vorwärmen bis die Verbrennungstemperatur des Werkstoffes erreicht ist. Nach dem Erreichen der Verbrennungstemperatur werden die jetzt in flüssigem Zustand befindlichen Stirnflächen der Werkstücke weiter zusammengestaucht. Ein Teil des Werkstoffes verbrennt und wird in die Randzone der Schweißnaht überführt. Der flüssige Teil erstarrt und bildet die Schweißnaht.

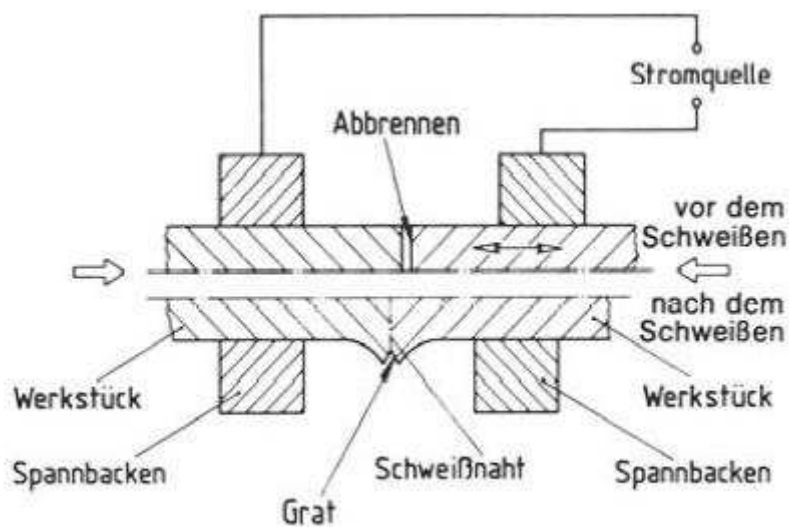


Abbildung 40: Schematische Anordnung beim Abbrennstumpfschweißen<sup>[ST02]</sup>

### 5.21.2 Verfahrensvarianten

- ▶ Abbrennstumpfschweißen mit Vorwärmung (241)
- ▶ Abbrennstumpfschweißen ohne Vorwärmung (242)

### 5.21.3 Anwendung

Das Abbrennstumpfschweißen eignet sich vornehmlich zum Verschweißen von großen Querschnitten. Dabei werden alle Arten von Profilen (Wellen, Rohre, Hohlprofile) im Stumpfstoß miteinander gefügt. Anwendungsgebiete sind der Automobil-, Werkzeug- und Maschinenbau.



Tabelle 15: Schweißbare Querschnitte beim Abbrennstumpfschweißen<sup>[ST02]</sup>

Werkstoff	Schweißbarer Querschnitt [mm <sup>2</sup> ]
un-, niedrig- und hochlegierter Stahl	70.000
Stahlrohre	120.000
Aluminiumwerkstoffe	12.000
Nickel	10.000
Kupfer	1.500

## 5.22 Pressstumpfschweißen (25)

### 5.22.1.1 Verfahrensprinzip

Die zu fügenden, an den Kontaktflächen planbearbeiteten Teile werden in wassergekühlte Spannbacken eingelegt. In axialer Richtung wird eine Stauchkraft eingebracht, welche die Stirnseiten gegeneinanderpresst. Bei Zuschaltung des Schweißstromes wird die Kontaktfläche auf die Schweißtemperatur  $T_S$  des Werkstoffes erwärmt (durch Widerstandserwärmung). Nach Erreichen der spezifischen Temperatur wird der Strom abgeschaltet und gleichzeitig die Stauchkraft erhöht, wodurch die Teile stoffschlüssig verbunden werden. In den Randzonen der Fugestelle bildet sich dabei eine wulstartige Überhöhung.

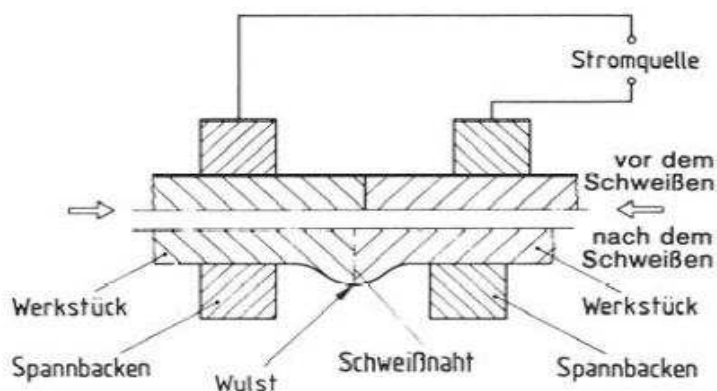


Abbildung 41: Schematische Anordnung beim Pressstumpfschweißen<sup>[ST02]</sup>

### 5.22.1.2 Anwendung

Das Pressstumpfschweißen findet vornehmlich Anwendung beim Verbindungsschweißen von un- und niedriglegierten Stählen mit einer maximalen Querschnittsfläche von ca. 500 mm<sup>2</sup>. Hauptsächliches Anwendungsgebiet ist Verlängerung von Drähten (Herstellung von Endlosdrähten).

## 5.23 Widerstandsschweißen mit Hochfrequenz (291)

### 5.23.1 Verfahrensprinzip

Nach DIN EN 14610 wird der Prozess wie folgt gekennzeichnet:

„Das Widerstandspressschweißen ist ein Widerstandsschweißen, wobei Wechselstrom von mindestens 10 kHz entweder über mechanische Kontakte zugeführt oder mit einem Induktor in den Werkstücken induziert wird, um die zum Schweißen erforderliche Erwärmung zu bewirken.“<sup>[N03]</sup>

Senkrecht auf die Fügestelle wird eine Stauchkraft aufgebracht, die das plastifizierte Material in der Fügezone zusammenpresst.

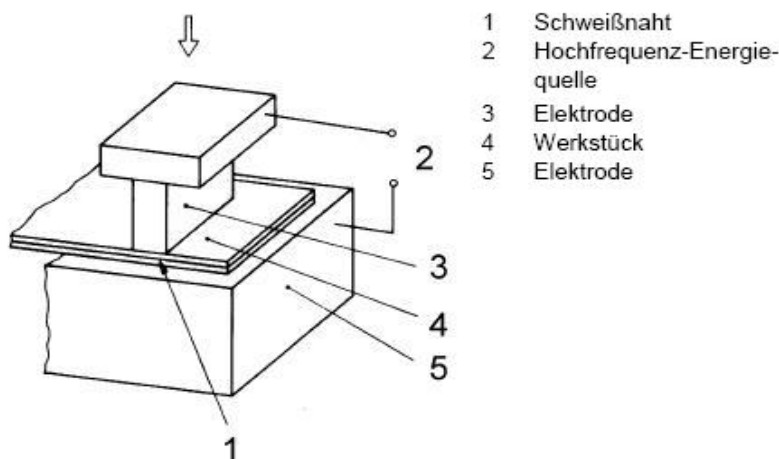


Abbildung 42: Schematische Anordnung beim Widerstandsschweißen mit Hochfrequenz<sup>[N03]</sup>

## 5.24 Gasschweißen mit Sauerstoff-Acetylen-Flamme (G/311)

### 5.24.1 Verfahrensprinzip

Der Wärmeeintrag beim Gasschweißen erfolgt durch eine Sauerstoff-Brenngasflamme, die dazu dient den Grundwerkstoff und den Schweißzusatz aufzuschmelzen. Die manuelle Führung des Brenners und des Schweißstabes erlaubt eine getrennte Regelung von Wärmeeinbringung und Abschmelzleistung.

In Abhängigkeit von der Werkstückdicke unterscheidet man beim Gasschmelzschweißen 2 Techniken des Schweißens, das Nachlinks- (NL) und Nachrechtschweißen (NR).

#### *Nachlinksschweißen*

Das Nachlinksschweißen wird nur für Blechdicken  $\leq 3$  mm angewandt. Der Schweißzusatz wird dabei in Schweißrichtung durch Auftupfen auf das Werkstück vor der Sauerstoff-Brenngas-Flamme zugeführt und bildet bei Erstarrung die Schweißnaht.

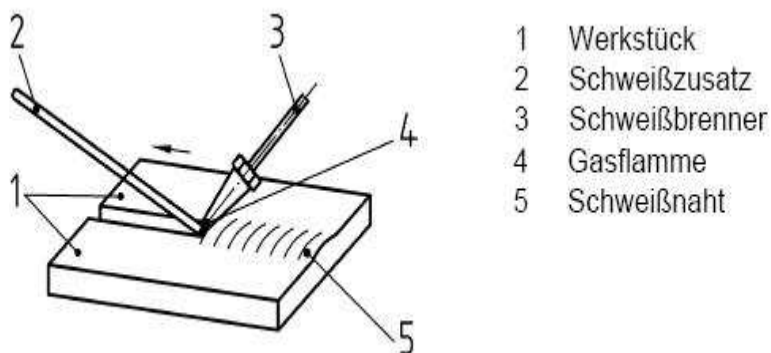


Abbildung 43: Schematische Anordnung beim Nachlinksschweißen<sup>[N02]</sup>

## Nachrechtsschweißen

Das Nachrechtsschweißen wird bei Werkstückdicken  $>3$  mm angewandt. Der Schweißzusatz wird dabei der Sauerstoff-Brenngas-Flamme nachgeführt und in rührender Bewegung zugegeben. Die Ausführung einer Schweißnaht in der Nachrechts-Technik erfordert einen höheren Zeitaufwand als die Nachlinks-Technik.

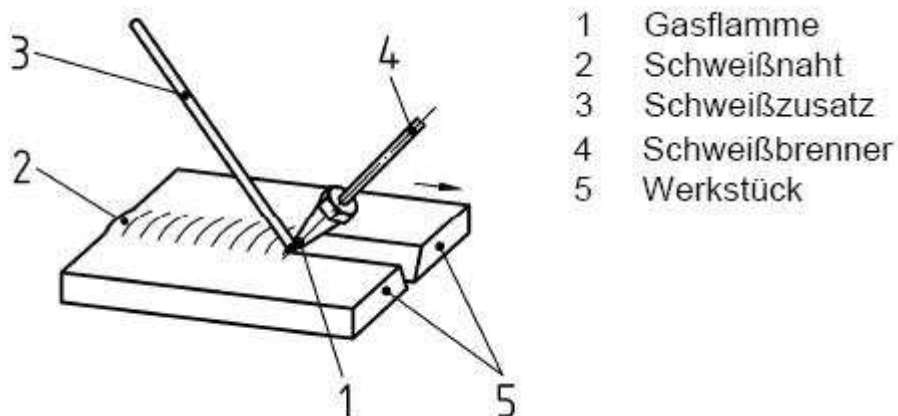
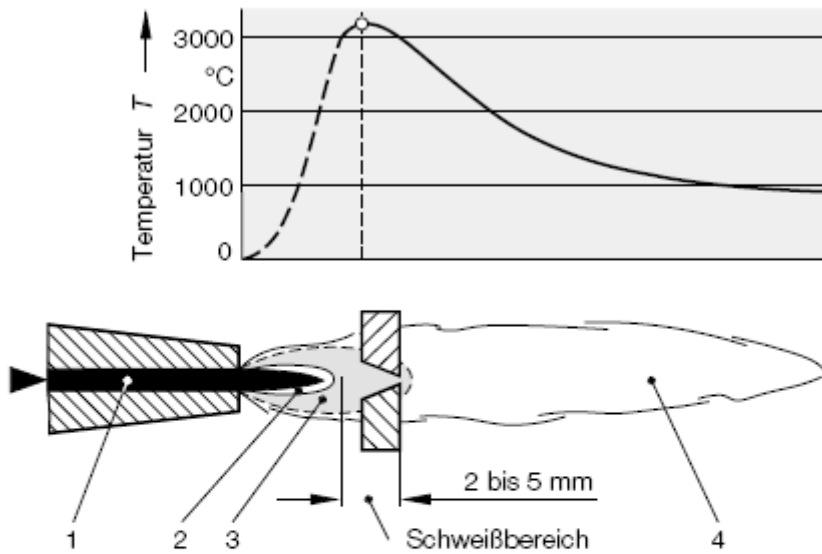


Abbildung 44: Schematische Anordnung beim Nachrechtsschweißen<sup>[N02]</sup>

## Die Sauerstoff-Acetylen-Flamme

In der folgenden Abbildung soll die (neutrale) Sauerstoff-Acetylen-Flamme und Ihre spezifischen Eigenschaften dargestellt werden. Obwohl die Flamme einen hohen Sauerstoffanteil aufweist, ist die oxidierende Wirkung relativ gering, da der eingebrachte Sauerstoff (teilweise auch aus der Luft) in der 2. Verbrennungsstufe vollständig verbrannt wird.



- 1 Kaltes Acetylen-Sauerstoffgemisch
- 2 Acetylenzerfall:  $2 \cdot \text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow 4 \cdot \text{C} + 2 \cdot \text{H}_2$
- 3 1. Verbrennungsstufe (Schweißbereich) besteht in der Hauptsache aus reduzierenden Flammgasen  $\text{CO}$  und  $\text{H}_2$ :  
 $2 \cdot \text{C} + \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \cdot \text{CO} + \text{H}_2$
- 4 2. Verbrennungsstufe («Streuflamme»):  
 $4 \cdot \text{CO} + 2 \cdot \text{H}_2 + 3 \cdot \text{O}_2 \rightarrow 4 \cdot \text{CO}_2 + 2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Abbildung 45: Die neutrale Sauerstoff-Acetylen-Flamme<sup>[ST03]</sup>

### 5.24.2 Verfahrensvarianten

- ▶ Gasschweißen mit Sauerstoff-Propan-Flamme (312)
- ▶ Gasschweißen mit Sauerstoff-Wasserstoff-Flamme (313)

### 5.24.3 Technische Gase

Beim Gasschmelzschweißen werden stets 2 technische Gase verwendet. Als Grundkomponente kommt dabei stets Sauerstoff zum Einsatz. Als 2. Gas (Brenn- bzw. Schweißgas) wird im Regelfall Acetylen, Propan oder Wasserstoff verwendet. Aufgrund seines guten Mischungsverhältnisses zu Sauerstoff (bei neutraler Flamme 1:1), der hohen Primärflammeleistung und der daraus resultierenden hohen Flammtemperatur von bis zu 3.200 °C wird hauptsächlich Acetylen verwendet.

Sauerstoff ist entweder in Druckgasflaschen (gasförmig) oder Standtanks (flüssig) vom Hersteller zu beziehen. Bei Einsatz von flüssigen Sauerstoff muss dieser vor Verwendung vorerst wieder in den gasförmigen Zustand überführt werden (mittels Kaltvergaseranlagen), um dann über Ringleitungen an den jeweiligen Verbrauchersanschluss im Unternehmen verfügbar gemacht zu werden.

Die Füllmenge bei Druckgasflaschen ist über die Gasgesetze ermittelbar:

$$\text{Füllmenge [l]} = \text{Fülldruck [bar]} * \text{Volumen [l]}$$

Bei einem Fülldruck von 200 bar und einem Flaschenvolumen von 50 l sind somit 10.000 l Sauerstoff entnehmbar. Dabei ist dabei jedoch zu beachten, dass pro Stunde Brenndauer der Sauerstoff-Brenngas-Flamme nicht mehr als 1.000 l/h Sauerstoff entnommen werden dürfen, um eine Vereisung der Ventile zu verhindern.

Acetylen wird vom Hersteller bzw. Lieferanten in Druckgasflaschen bezogen. Zur Speicherung des Acetylens ist in den Flaschen eine hochporöse Masse (Aceton, Calciumsilikat oder Kunststoffgranulat) vorhanden. In dieser wird das Acetylen in flüssiger Form gelöst, wird aber durch Ausströmen wieder vergast. Aufgrund der gelösten Form des Acetylens, folgt es beim Verbrauch nicht den Boyle-Mariott'schen Gasgesetzen. Die genaue bereits entnommene Menge bzw. Restmenge in der Druckgasflasche ist nur über Wägung ermittelbar. Die maximale Entnahmemenge /Stunde sollte 700 l/h nicht überschreiten.

Die frühere Eigenherstellung von Acetylen bei großen Verbrauchsmengen im Unternehmen (mittels Kaltentwickleranlagen) ist nicht mehr üblich.

Bei Bedarf größerer Entnahmemengen als die im Text angegebenen sind Flaschenbündel/Flaschenbatterien zu verwenden.

Brenn- gas	Dichte <sup>1)</sup>	Heizwert $H_u$	max. Flam- mentemp. mit $O_2$	Zündtemp. in Luft	Explos. Grenzen in Luft	Verbr. Geschw.	Flam- men- leistung
	kg/m <sup>3</sup>	kJ/m <sup>3</sup>	°C	°C	Vol. %	m/s	kW/cm <sup>2</sup>
Wasser- stoff ( $H_2$ )	0,09	10.800	2.100	585	4 bis 74	8,9	13,98
Acetylen ( $C_2H_2$ )	1,1	57.000	3.160	335	3,4 bis 80	13,5	42,74
Propan ( $C_3H_8$ )	1,88	93.000	2.750	510	2,0 bis 9,5	3,7	10,27
Methan ( $CH_4$ )	0,67	36.000	2.770	645	4 bis 17	3,3	8,51

<sup>1)</sup> bei 15 °C und 1 bar

Abbildung 46: Eigenschaften ausgewählter Brenngase<sup>[ST02]</sup>

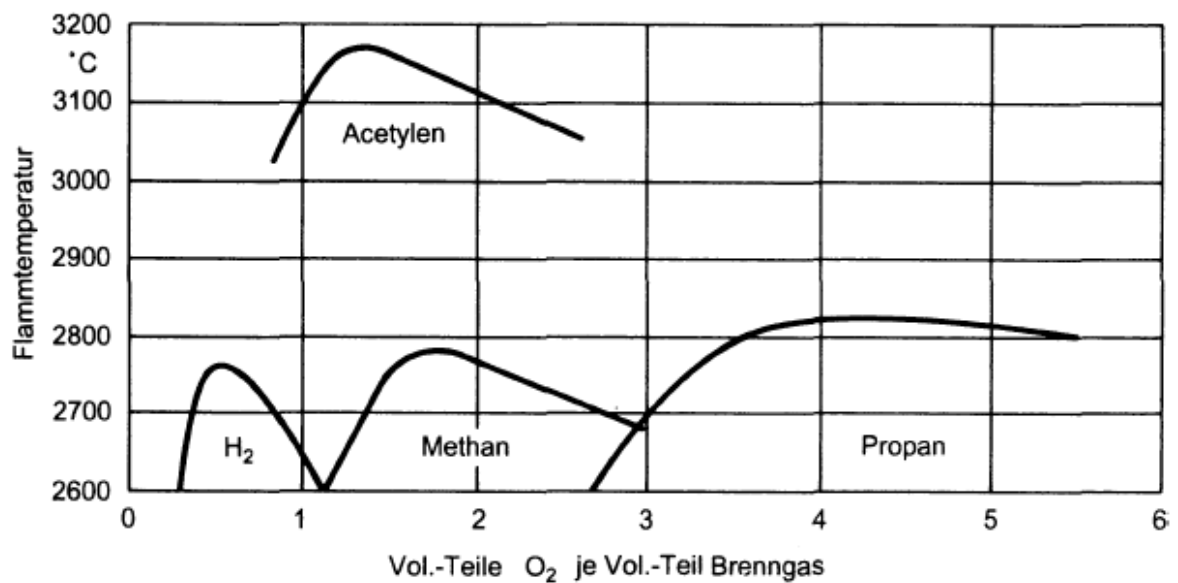


Abbildung 47: Flammtemperatur ausgewählter Brenngase<sup>[ST01]</sup>

DIN EN 1089		DIN EN 1089	
Sauerstoff techn.	 weiß blau (grau)	Helium	 braun grau
Acetylen	 kastanienbraun kastanienbraun (schwarz-gelb)	Wasserstoff	 rot rot
Argon	 dunkelgrün grau (dunkelgrün)	Gemisch Argon/ Kohlen- dioxid	 leuchtendgrün grau
Stickstoff	 schwarz grau (dunkelgrün, schwarz)	Kohlendioxid	 grau grau

Abbildung 48: Kennzeichnung von Druckgasflaschen nach DIN EN 1089<sup>[ST01]</sup>

#### 5.24.4 Gerätetechnik

Die nachfolgende Abbildung zeigt einen Injektorbrenner (nach DIN EN 731) zum Gassschmelzschweißen. Bei Ausströmen des Sauerstoffs bildet dieser in der Druckdüse einen Unterdruck, durch den das Acetylen angesaugt wird. Beim Zünden der Flamme ist zu beachten, dass zuerst das Sauerstoff- und danach das Brenngasventil geöffnet wird. Beim Stoppen der Flamme ist diese Reihenfolge umzukehren.



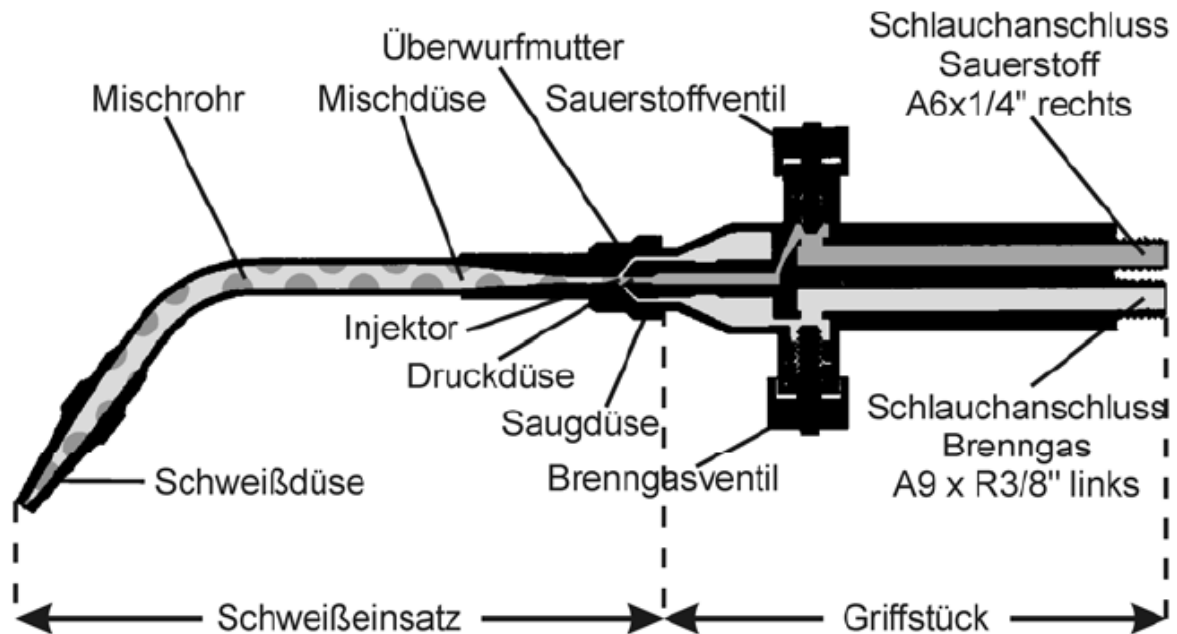


Abbildung 49: Aufbau eines Injektorbrenners zum Gasschmelzschweißen<sup>[ST01]</sup>

Der Schweißeinsetz ist – in Abhängigkeit von der zu schweißenden Blechdicke – auswechselbar.

**Anmerkung:** Anschlüsse für brennbare Gase sind immer mit Linksgewinde versehen.

Aus Sicherheitsgründen (Explosionsgefahr der Gase) sind zum Gasschmelzschweißen Sicherheitseinrichtungen erforderlich. Dazu zählen hauptsächlich Druckminderventile (nach DIN EN ISO 2503) und Rückschlagsicherungen (nach DIN EN 730). Zu beachten ist auch die Verwendung der für die Gase geeigneten Schläuche und Schlauchanschlüsse (nach DIN EN 559/560/561).

Die verwendeten Schläuche für Sauerstoff sind stets blau und die Schläuche für Acetylen rot gefärbt.

Die Rückschlagsicherung (Flammrücktrittssicherung) wird zwischen Schweißbrenner und Druckgasflasche bzw. dem Verbrauchsanschluss des Brenngases zwischengeschaltet. Die Rückschlagsicherung ist nur am Brenngasschlauch erforderlich. Sie

dient zur Verhinderung eines Rückschlages der Flamme in die Brenngasflasche bzw. in das Brenngasleitungsnetz und ist im Regelfall temperaturgesteuert. Bei Schließen der temperaturgesteuerten Nachströmsperre (siehe Abbildung 47) wird gleichzeitig noch das Nachströmen von weiterem Brenngas verhindert (durch automatisches Schließen des Gasrücktrittsventils).

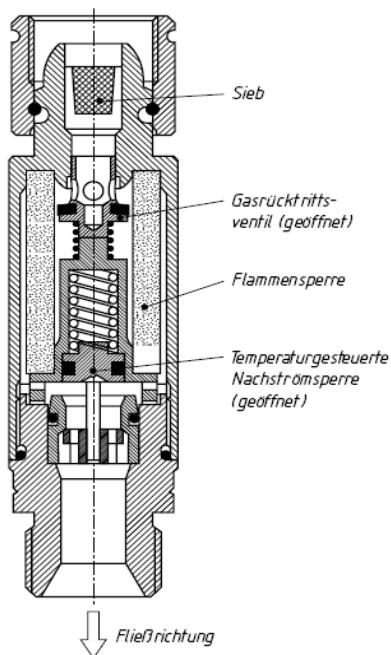


Abbildung 50: Darstellung einer Rückschlagsicherung bzw. Gebrauchsstellen-  
vorlage<sup>[ST02]</sup>

Das Druckminderventil<sup>10</sup> dient dazu den Flaschendruck (meist 200 bar) der Gase auf den Arbeitsdruck (0,3 bar für Acetylen; 2,5 bar für Sauerstoff) des Verfahrens zu regulieren. Gleichzeitig kann dabei die Gasdurchflussmenge (üblicherweise in l/min) abgelesen bzw. eingestellt werden. Der Druckminderer muss dabei für das zu verwendende Gas mittels eines Kennbuchstaben gekennzeichnet sein („O“ für

---

<sup>10</sup> Druckminderventile sind bei Entnahme technischer Gase aus Druckgasflaschen stets zu einzusetzen

Sauerstoff; „A“ für Acetylen). Druckminderventile für Acetylen-Druckgasflaschen sind zusätzlich mit einer Bügelschraube versehen.



Abbildung 51: Druckminderventil zur Regulierung des Arbeitsdruckes<sup>[ST02]</sup>

### 5.24.5 Zusatzwerkstoff

Die Zusatzwerkstoffe zum Gasschweißen von unlegierten und warmfesten Stählen sind in DIN EN 12536 genormt. Der Schweißzusatz wird dabei stets in Form von Schweißstäben (l=1.000 mm) zugegeben. Diese sind in 7 Schweißstabklassen nach der chemischen Zusammensetzung unterteilt. Die Klasse „O Z“ kann dabei vom Zusatzwerkstoffhersteller mit den geeigneten Legierungselementen frei belegt werden.

Kurzzeichen	Chemische Zusammensetzung in %							
	C	Si	Mn	P	S	Mo	Ni	Cr
O Z	Jede andere vereinbarte Zusammensetzung							
O I	0,03 bis 0,12	0,02 bis 0,20	0,35 bis 0,65	0,030	0,025			
O II	0,03 bis 0,20	0,05 bis 0,25	0,50 bis 1,20	0,025	0,025			
O III	0,05 bis 0,15	0,05 bis 0,25	0,95 bis 1,25	0,020	0,020		0,35 bis 0,80	
O IV	0,08 bis 0,15	0,10 bis 0,25	0,90 bis 1,20	0,020	0,020	0,45 bis 0,65		
O V	0,10 bis 0,15	0,10 bis 0,25	0,80 bis 1,20	0,020	0,020	0,45 bis 0,65		0,80 bis 1,20
O VI	0,03 bis 0,10	0,10 bis 0,25	0,40 bis 0,70	0,020	0,020	0,90 bis 1,20		2,00 bis 2,20

Kurzzeichen des Stabes Verhalten	O I	O II	O III	O IV	O V	O VI
Fließverhalten	dünnfließend	weniger dünnfließend	zähfließend			
Spritzer	viel	wenig	keine			
Porenneigung	ja	ja	nein			

Abbildung 52: Schweißstabklassen und deren Schweißverhalten nach DIN EN 12536<sup>[N08]</sup>

### *Kennzeichnung der Schweißstäbe*

#### **Stab EN 12536 – O III**

Tabelle 16: Erläuterung der Schweißstabkennzeichnung nach DIN EN 12536<sup>[N08]</sup>

<b>Benennung</b>	<b>Erläuterung</b>
EN 12536	Bezugsnorm
O	Kennbuchstabe für Gasschweißen
III	Schweißstabklasse bzw. chemische Zusammensetzung

### **5.24.6 Anwendung**

Das Gasschmelzschweißen eignet sich vornehmlich zum Schweißen un- und niedriglegierter Stähle mit Blechdicken von 0,5 mm bis 8 mm. Das Schweißen von Aluminium und Kupfer ist grundsätzlich möglich, muss jedoch unter Verwendung eines

zusätzlichen Flussmittels durchgeführt werden, welches die Oxidbildung verhindert. Anwendungsgebiete sind vor allem Verbindungsschweißungen in allen Schweißpositionen im Rohrleitungs- und Kesselbau. Zu erwähnen ist aufgrund der einfachen Gerätetechnik und der Lieferung der Energie aus transportablen Behältern (Druckgasflaschen) auch die sehr gute Baustelleneignung des Verfahrens.

#### **5.24.7 Arbeitsschutz**

Besonderes Augenmerk beim Gasschmelzschweißen ist auf den Umgang mit den verwendeten technischen Gasen bzw. den Druckgasflaschen zu legen. Vor allem müssen die Anschlüsse der Schutzgasflaschen und Schläuche frei von Ölen und Fetten sein. Auch ist beim Schweißvorgang eine Schutzbrille zu tragen.

### **5.25 Ultraschallschweißen (US/41)**

#### **5.25.1 Verfahrensprinzip**

Zwei zu fügende Bauteile werden beim Ultraschallschweißen meist per Überlappstoß gefertigt. Im sogenannten Wandler wird eine Ultraschallschwingung (Schwingfrequenz 20 bis 65 kHz) erzeugt, die sich über das schwingende Werkzeug – die sogenannte Sonotrode – auf das Werkstück überträgt. Diese hochfrequente Schwingung regt die Teilchen (Atome, Moleküle) an der Verbindungsstelle der zu fügenden Werkstücke stark an. Es tritt Grenzflächenreibung zwischen den Stoßflächen auf. Durch gleichzeitiges Einwirken einer Anpresskraft auf das schwingende Werkzeug werden die Werkstücke (infolge von Adhäsionskräften zwischen den Teilchen) verschweißt. Dabei verbleibt der Werkstoff in festem Zustand.

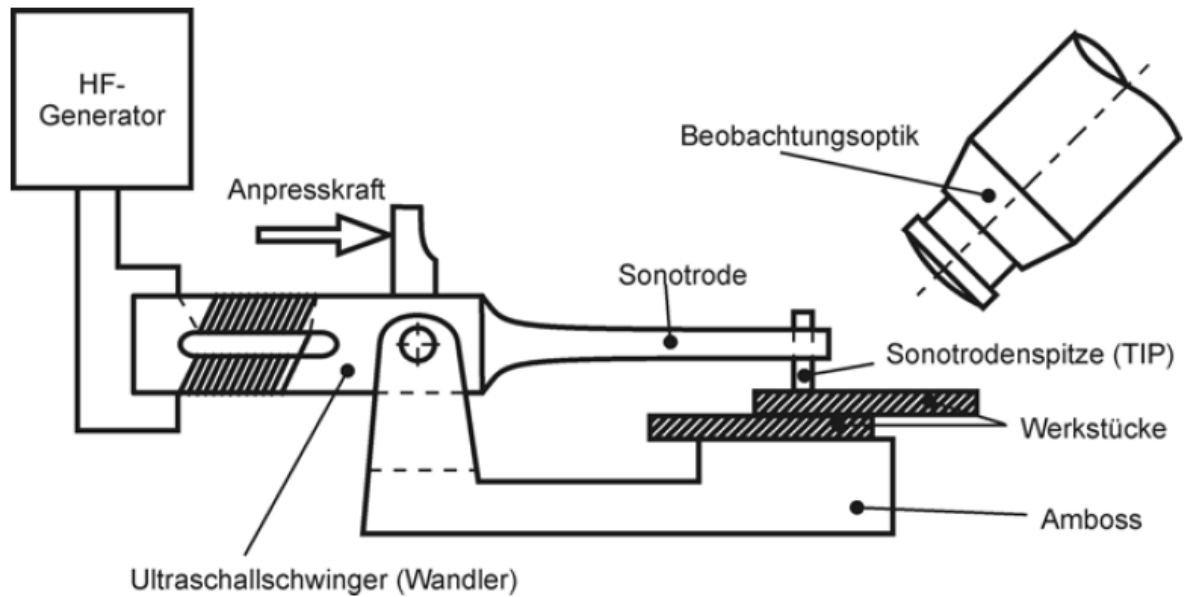


Abbildung 53: Schematische Anordnung beim Ultraschallschweißen<sup>[ST01]</sup>

### 5.25.2 Anwendung

Das Ultraschallschweißen findet hauptsächlich Anwendung beim Verbindungsschweißen von Metallen mittlerer Härte, thermoplastischen Kunststoffen und Nichteisenmetallen. Dabei werden z.B. dünne Folien mit dicken Bauteilen verschweißt oder Folien miteinander. Möglich ist auch das Fügen artfremder Werkstoffe wie z.B. Aluminium mit Kupfer, Gold und Glas.

Werkstoff	Zirkon + Legierung	Wolfram + Legierung	Titan + Legierung	Zinn	Tantal + Legierung	Silber + Legierung	Silicium	Platin + Legierung	Palladium + Legierung	Nickel + Legierung	Molybdän + Legierung	Magnesium + Legierung	Eisen	Gold	Germanium	Kupfer, Cu - Zn - Legierung	Beryllium + Legierung	Aluminium + Legierung
Aluminium + Legierung	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Beryllium + Legierung	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Kupfer, Cu - Zn - Legierung	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Germanium	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Gold	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Eisen	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Magnesium + Legierung	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Molybdän + Legierung	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Nickel + Legierung	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Palladium + Legierung	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Platin + Legierung	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Silicium	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Silber + Legierung	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Tantal + Legierung	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Zinn	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Titan + Legierung	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Wolfram + Legierung	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Zirkon + Legierung	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Abbildung 54: Werkstoffkombinationen beim Ultraschallschweißen<sup>[ST01]</sup>

## 5.26 Reibschweißen (FR/42)

### 5.26.1.1 Verfahrensprinzip

Das Reibschweißen ist ein Pressschweißverfahren, das ohne Zusatzwerkstoff stattfindet. Die zu verschweißenden Teile werden unterschiedlich eingespannt. Ein Teil wird in stationären Spannbacken aufgenommen. Das Gegenstück zu diesem wird in ein rotatorisch bewegbares Spannfutter eingelegt. Durch Gegeneinanderfahren der Stoßflächen erhalten diese Kontakt zueinander. Das Spannfutter wird jetzt in eine

Drehbewegung versetzt. Dadurch treten zwischen den Kontaktflächen der Bauteile große Reibkräfte auf, welche durch fortwährende Einwirkung der Drehbewegung und der Stauchkräfte eine starke Erwärmung (auf Schmiedetemperatur) zur Folge haben. Bei Erreichen dieser Temperatur befinden sich die Stoßflächen in einem teigigen Zustand und können nun (nach Beendigung der Drehbewegung) durch Erhöhung der in axialer Richtung wirkenden Kräfte zusammengestaucht werden. Nach dem Abkühlen der Verbindungsfläche ist eine Schweißnaht entstanden.

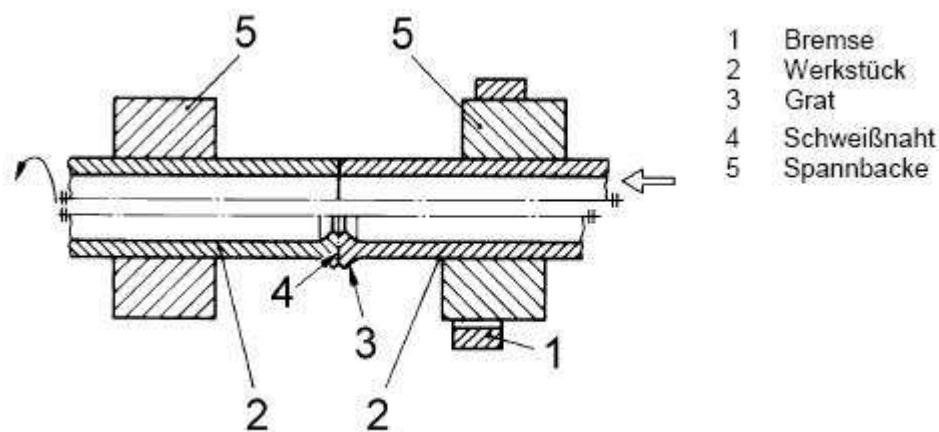


Abbildung 55: Schematische Anordnung beim Reibschweißen nach DIN EN 14610<sup>[N03]</sup>

### 5.26.1.2 Verfahrensvarianten

- ▶ Reibschweißen mit kontinuierlichem Antrieb (421)
- ▶ Reibschweißen mit Schwungradantrieb (422)
- ▶ Reibbolzenschweißen (423)



### 5.26.1.3 Anwendung

Aufgrund des breiten Anwendungsspektrums des Reibschweißens sollen nachfolgend die schweißbaren Werkstoffe und die möglichen Werkstoffkombinationen in einer Übersicht dargestellt werden.

	Zirkon	Wolfram	Vanadium	Titan	Tantal	Stellit	Stahl, Automaten-	Stahlguss	Stahl, austenitisch	Stahl, hochlegiert	Stahl, legiert	Stahl, unlegiert	Silber	Niob	Ni-Legierungen (PM)	Nickel	Molybdän	Messing	Magnesium	Kupfer	Kobalt	Hartmetall, gesintert	Gusseisen	Blei	Al, gesintert	Al-Legierungen	Aluminium
Aluminium	■																										
Al-Legierungen	■																										
Al, gesintert	■																										
Blei																											
Gusseisen																											
Hartmetall, gesintert																											
Kobalt																											
Kupfer																											
Magnesium																											
Messing																											
Molybdän																											
Nickel																											
Ni-Legierungen (PM)																											
Niob																											
Silber																											
Stahl, unlegiert																											
Stahl, legiert																											
Stahl, hochlegiert	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Stahl, austenitisch																											
Stahlguss																											
Stahl, Automaten-																											
Stellit																											
Tantal																											
Titan																											
Vanadium																											
Wolfram																											
Zirkon																											

Abbildung 56: Mögliche Werkstoffkombinationen beim Reibschweißen<sup>[ST01]</sup>

Anzumerken ist, dass zusätzlich zu den in der Übersicht genannten Werkstoffen noch die thermoplastischen Kunststoffe gut reibschweißgeeignet sind.

## 5.27 Rührreibschweißen (FSW/43)

### 5.27.1 Verfahrensprinzip

In der Geschichte des Schweißens ist das Reibrührschweißen ein noch sehr „junges“ Verfahren (entwickelt 1991). Die benötigte Schweißwärme wird mittels eines sich schnell drehenden verschleißfesten Stiftes, dem sogenannten Pin, in die Fügezone eingebracht. Zwischen den zu fügenden Werkstücken existiert ein Fügespalt der die Größe des Durchmessers des Pins besitzt. Der rotierende Pin wird in den Fügespalt gepresst, bis die Werkzeugschulter flächig auf der Bauteiloberfläche aufliegt. Durch die Rotationsbewegung des Pins entstehen zwischen dessen Mantelfläche und den Stirnseiten der Werkstücke Reibkräfte, die eine Erwärmung zur Folge haben. Diese Erwärmung wird fortgesetzt bis sich der Grundwerkstoff in einem teigigen Zustand befindet. Das Werkzeug wird jetzt in Nahrichtung verfahren. Dabei bleibt der in plastischem Zustand befindliche Werkstoff teilweise am Pin haften und wird während der Verfahrbewegung des Werkzeuges in den jetzt freiwerdenden Spalt „geschleudert“. Das teigige Material haftet durch Abkühlen wieder an den zu verschweißenden Flächen an und bildet eine Schweißnaht (infolge Extrusion). An der Unterseite der zu fügenden Werkstücke ist eine feste Unterlage vorhanden, die das Herausschleudern von Material in dieser Richtung unterbinden soll.

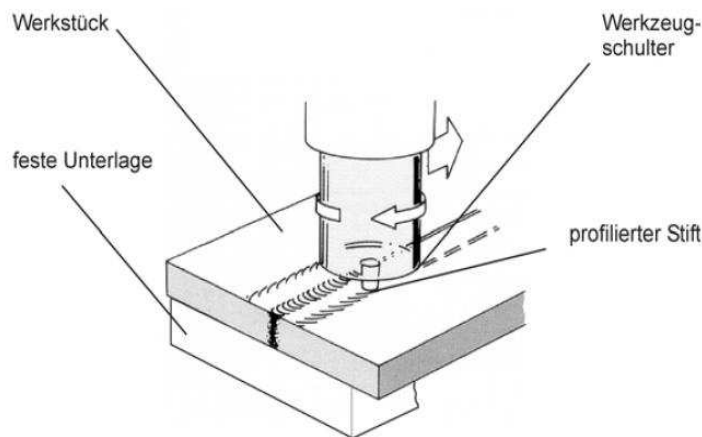


Abbildung 57: Schematische Anordnung beim Rührreibschweißen<sup>[ST01]</sup>

### 5.27.2 Anwendung

Das Rührreibschweißen findet eine starke Verbreitung beim Schweißen von Aluminiumwerkstoffen vor allem im Flugzeugbau.

## 5.28 Sprengschweißen (S/441)

### 5.28.1 Verfahrensprinzip

Das Explosionsschweißen findet ohne Zusatzwerkstoff und ohne Wärmezufuhr statt. Das Verfahren wird meist zum Fügen artfremder Werkstoffe eingesetzt, die bei Verwendung eines anderen Schweißverfahrens kein befriedigendes Nahtbild ergeben würden (z.B. Titan-Stahl-Schweißverbindung). Zwei (großflächige) zu verschweißende Teile werden übereinander positioniert, wobei eines der beiden mit einem Sprengstoff (als Schweißhilfsstoff) belegt wird. Bei Zünden des Sprengstoffes entsteht eine sich schlagartig ausdehnende Druckwelle, die das obere Werkstück auf das untere „schleudert“. Durch die hohe kinetische Energie (Auftreffgeschwindigkeit bis zu 1.500m/s) der Teilchen werden die Bestandteile der beiden Werkstücke auf atomarer Ebene ineinander gepresst (belegen von freien Gitterplätzen in der Atomstruktur und Eintreten von atomaren Bindungskräfte) und bewirken somit eine stoffschlüssige Verbindung.

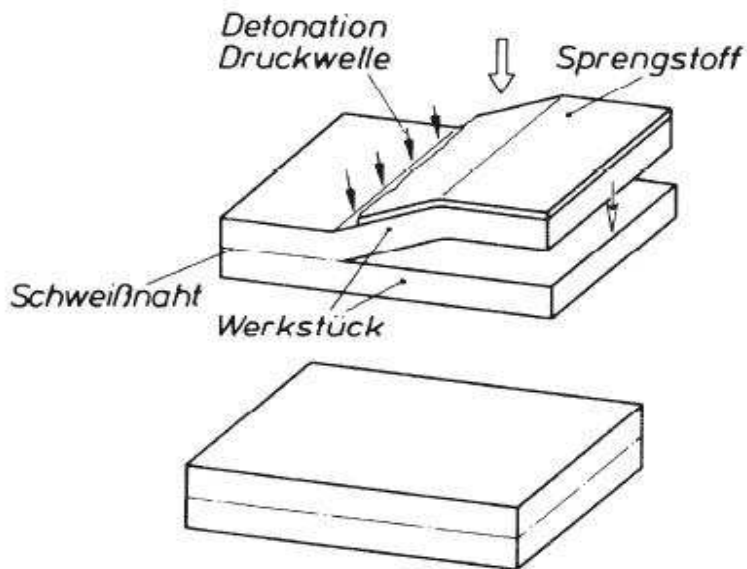


Abbildung 58: Schematische Anordnung beim Sprengschweißen<sup>[ST02]</sup>

## **5.28.2 Anwendung**

Das Sprengschweißen wird hauptsächlich zum Panzern und Plattieren eines niedrigerlegierten Werkstoffes genutzt. Gefügt werden dabei vornehmlich großflächige Werkstücke.

## **5.28.3 Arbeitsschutz**

Durch die sich in der Umgebung ausbreitende Druckwelle der Sprengstoffdetonation besteht Verletzungsgefahr durch umherfliegende Teile und Gehörschädigung durch den hohen Schalldruck. Deswegen dürfen sich Menschen nicht in unmittelbarer Nähe der Sprengung aufhalten.

## **5.29 Diffusionsschweißen (D/45)**

### **5.29.1 Verfahrensprinzip**

Beim Diffusionsschweißen werden die zu fügenden Werkstücke durchgängig oder nur an den Kontaktflächen erwärmt. Der Vorgang findet in einem Vakuum, in einer Schutzgasatmosphäre oder in einer Flüssigkeit statt. Nach dem Erwärmen werden die Stoßflächen über einen längeren Zeitraum (bis zu 4h) aneinander gepresst. Die Schaffung einer stoffschlüssigen Verbindung erfolgt bei diesem Schweißverfahren nicht über die Bildung eines Schmelzbades und nachfolgend dessen Abkühlung, sondern über Diffusion zwischen den beiden Kontaktflächen. Dies bedeutet, dass (während des Zusammenpressens) Atome zwischen den Stoßflächen wandern. Grundlage ist dabei ein physikalisches Prinzip bei dem der Werkstoff selbstständig bestrebt ist Konzentrationsunterschiede (von chemischen Bestandteilen des Werkstoffes) auszugleichen. Die Konzentrationsunterschiede entstehen z.B. durch ein nicht homogenes Gefüge (unterschiedliche Verteilung der chemischen Bestandteile innerhalb eines Bauteiles).

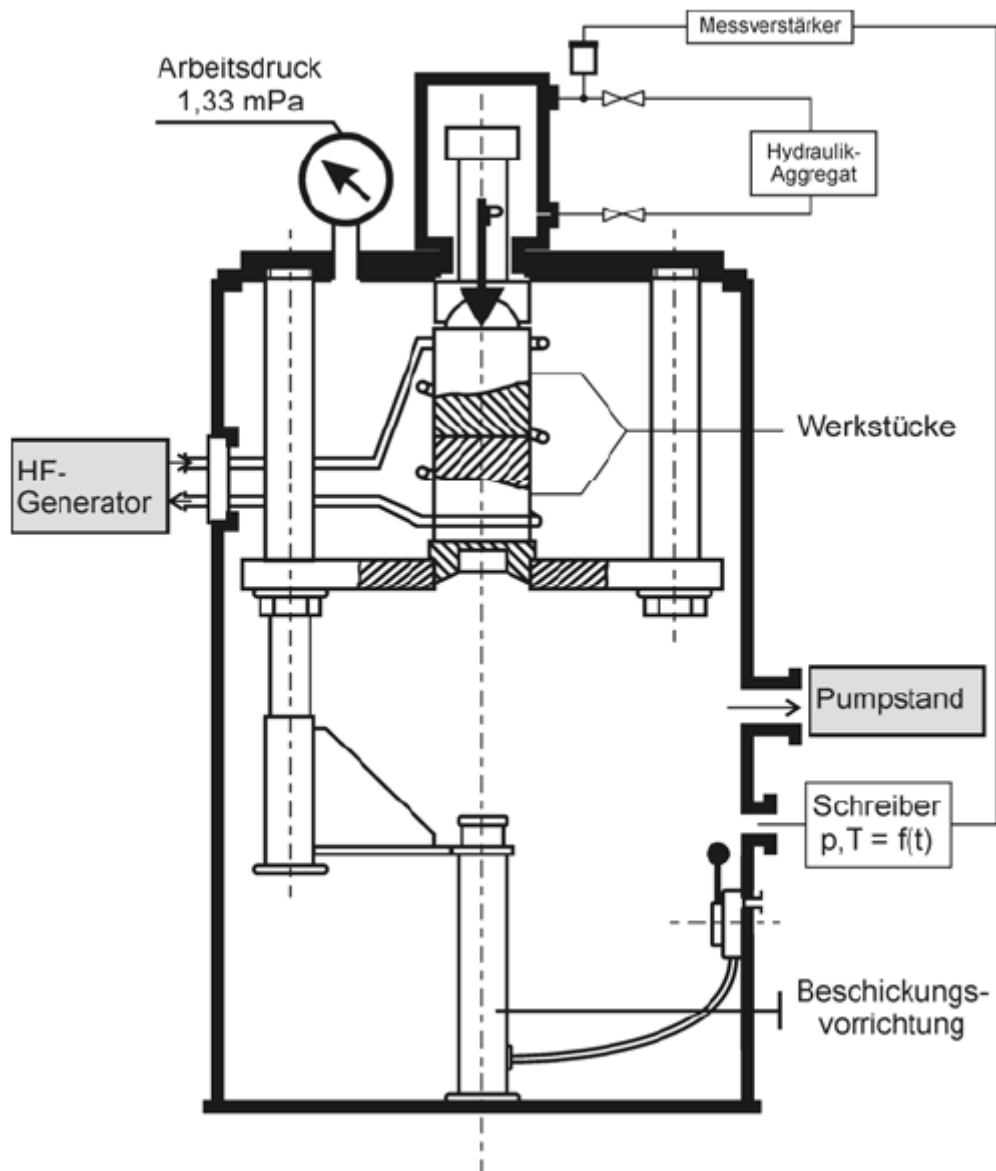


Abbildung 59: Schematische Anordnung beim Diffusionsschweißen<sup>[ST01]</sup>

### 5.29.2 Anwendung

Aufgrund des großen Aufkommens an Werkstoffkombinationen sollen die Einsatzmöglichkeiten des Diffusionsschweißens in einer Übersicht dargestellt werden.

Werkstoff	Gusseisen	Baustahl	Werkzeugstahl	Nichtrostender Stahl	Aluminium	Kupfer	Nickel	Titan	Molybdän	Wolfram	Zirkon	Niob	Tantal
Tantal					●						⊗	●	⊗
Niob		●				⊗		●	●	●	⊗	⊗	
Zirkon				●	●						●		
Wolfram						●			●	■			
Molybdän		●	■	■		●		●	■				
Titan		●		●		⊗	■	■					
Nickel					⊗	⊗	■						
Kupfer		●		●	●	■							
Aluminium	⊗			●	■								
Nichtrostender Stahl		■		■									
Werkzeugstahl		●	■										
Baustahl	●	■											
Gusseisen	⊗												

■ sehr gute Schweißung

● gute Schweißung

⊗ schlechte Schweißung

□ nicht untersucht bzw. Ergebnisse nicht ausgewiesen

Abbildung 60: Werkstoffkombinationen beim Diffusionsschweißen<sup>[ST01]</sup>

## 5.30 Gaspressschweißen (GP/47)

### 5.30.1 Verfahrensprinzip

Die zu fügenden Teile werden mittels einer Flamme (Acetylen-Sauerstoff-Gemisch) an der Fügestelle bis auf Schweißtemperatur erwärmt und dann in Längsrichtung gegeneinander gepresst. Man unterscheidet zwischen dem offenen (Kontaktflächen der Werkstücke berühren sich nicht beim Erwärmen) und dem geschlossenen (Kontaktflächen der Werkstücke berühren sich beim Erwärmen) Gaspressschweißen.

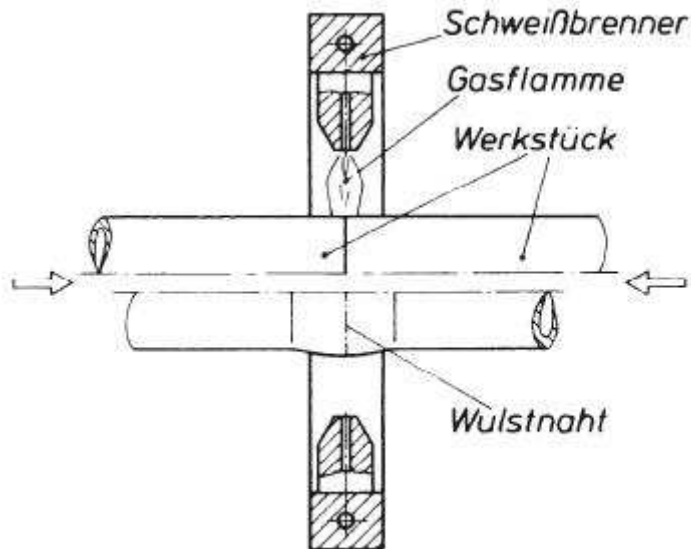


Abbildung 61: Schematische Anordnung beim Gaspressschweißen<sup>[ST02]</sup>

## 5.30.2 Anwendung

Das Verfahren wird vornehmlich zur Verbindung von Bewehrungsstählen auf Baustellen verwendet.

## 5.31 Kaltpressschweißen (KP/48)

### 5.31.1 Verfahrensprinzip

Beim Kaltpressschweißen werden Werkstoffe unter Einfluss von hohen Kräften bzw. Drücken verschweißt. Dabei verbleibt der Grundwerkstoff in (fast) kaltem Zustand bzw. unterhalb der niedrigstmöglichen Rekristallisationstemperatur. Geschweißt wird vornehmlich ohne Zusatzwerkstoff. Bei Annäherung der Kontaktflächen der zu schweißenden Stelle, durch Einfluss der Stauchkräfte, werden die eventuell vorhandenen Fremdschichten an der Oberfläche der Fugestelle aus der Nahtzone gepresst. Gleichzeitig nähern sich die Gefügebestandteile der (beiden) Werkstücke auf atomarer Ebene an, so dass zwischen den Teilchen atomare Bindungskräfte

wirksam oder Zwischengitterplätze besetzt werden. Beim Kaltpressschweißen treten starke plastische Verformungen auf, die sich meist in einer Wulst (Stauchgrat) in den Randzonen der Fugestelle ausprägen.

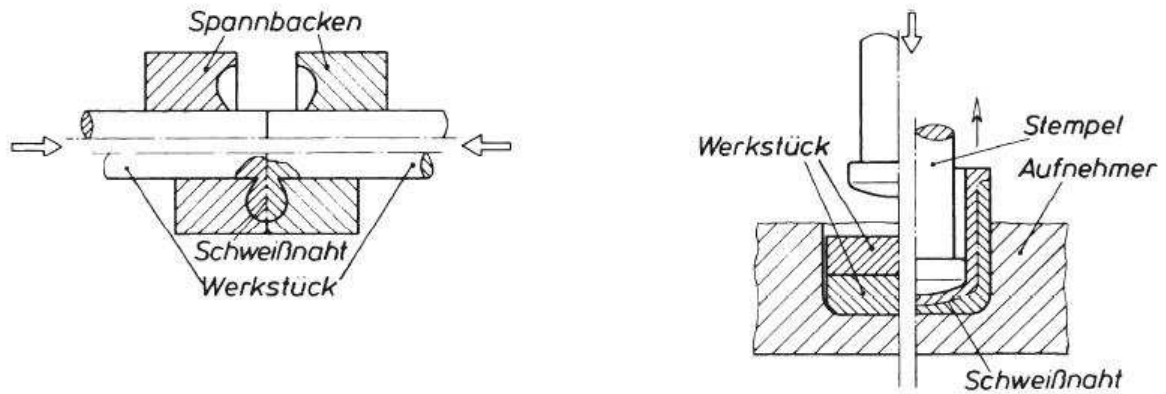


Abbildung 62: Anstauchschweißen (links) und Fließpressschweißen (rechts)<sup>[ST02]</sup>

**Anmerkung:** Bei Einbringung geringer Stauchkräfte werden möglicherweise die Fremdschichten nicht zerstört. Dann ist eine vorherige Entfernung derselben notwendig.

### 5.31.2 Anwendung

Verschweißt werden vorwiegend Nichteisenmetalle (Aluminium, Kupfer). Realisierbar sind auch Aluminium-Kupfer- und Aluminium-Stahl-Verbindungen.

## 5.32 Elektronenstrahlschweißen (EB/51)

### 5.32.1 Verfahrensprinzip

Als Energieträger werden beim Elektronenstrahlschweißen hochbeschleunigte Elektronen verwendet. Diese werden in einer Glühkathode (Minuspole) unter Vakuum gebildet und in Richtung der Anode (Pluspol) beschleunigt. Durch die elektromagnetischen Fokussierungslinsen werden die frei umherschwirrenden Elektronen zu einem Strahl gebündelt und mittels des Ablensystems (elektromagnetisch) auf die Fugestelle gelenkt.



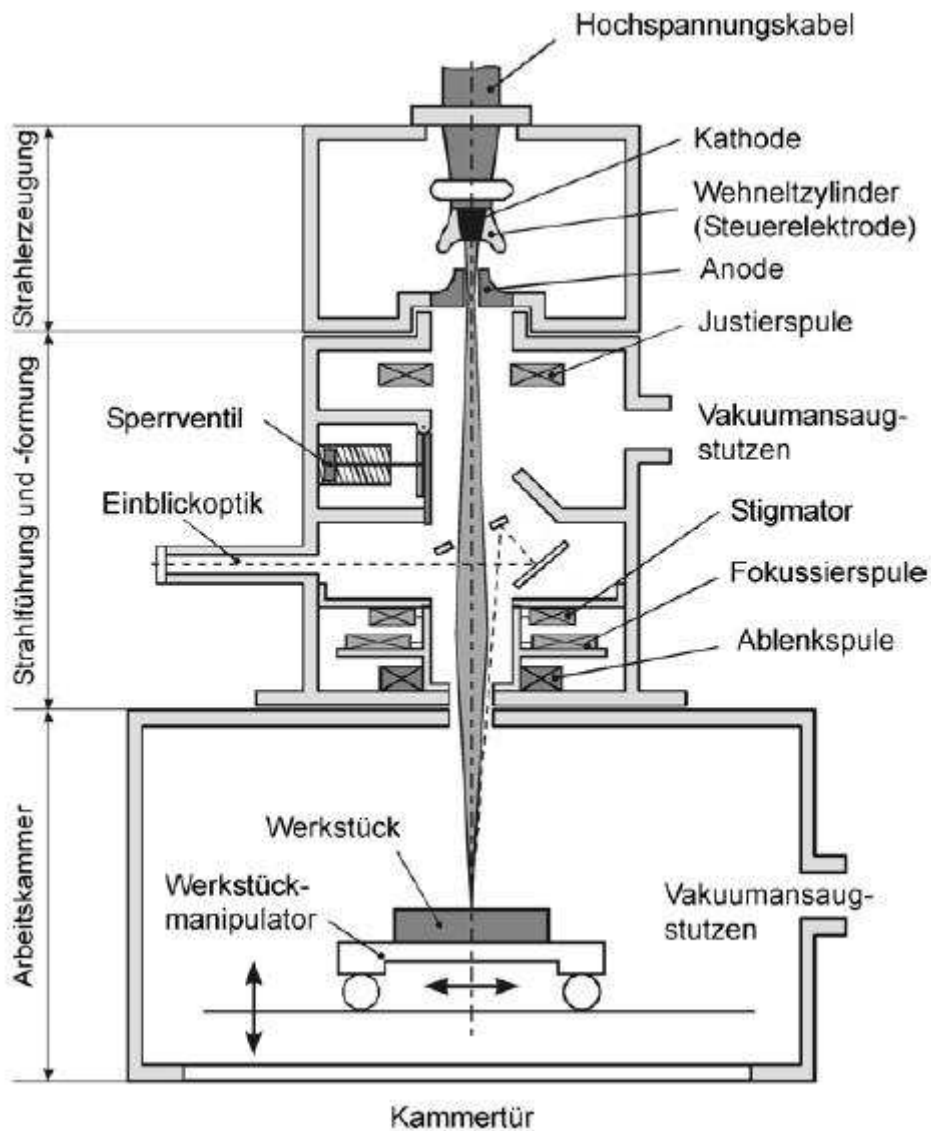


Abbildung 63: Schematische Anordnung beim Elektronenstrahlschweißen<sup>[ST01]</sup>

In der Arbeitskammer und der Elektronenstrahlkanone muss ein Vakuum vorherrschen, da die Elektronen unter Atmosphäre von den Molekülen der Luftbestandteile abgelenkt werden würden. Beim Auftreffen der hochenergetischen Elektronen auf die Werkstückoberfläche wird deren Bewegungsenergie größtenteils in Wärme umgewandelt, die den Grundwerkstoff aufschmilzt und teilweise auch verdampft. Der Dampf bildet eine sogenannte Dampfkaverne (Gaskanal) um den die Schmelze rotiert. Je nach Dicke des Bauteils wandert der Gaskanal entlang der Fugestelle

durch das Bauteil (Tiefschweißeffekt). Die Schmelze folgt dabei dem Gaskanal und bildet nach dem Erstarren die Schweißnaht.

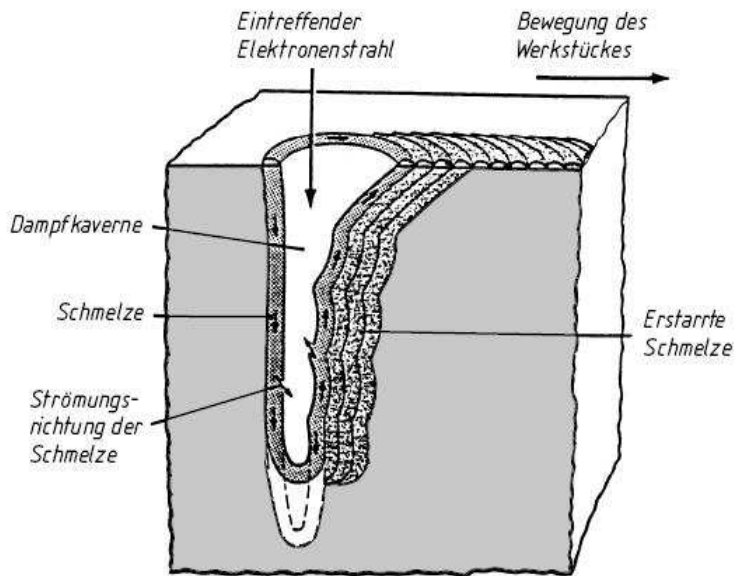


Abbildung 64: Tiefschweißeffekt beim Elektronenstrahlschweißen<sup>[ST02]</sup>

Im Vergleich zu anderen Schmelzschweißverfahren sind beim Elektronenstrahlschweißen keine hohen Stromstärken sondern hohe Spannungen (Beschleunigungsspannungen) im Bereich von 30 bis 150 kV ausschlaggebend. Zu beachten ist, dass die in der Vakuumkammer (Arbeitskammer) vorhandenen Werkstücke und etwaige Handhabungseinrichtungen vor dem Schweißen entmagnetisiert werden müssen, um eine unerwünschte Ablenkung des Elektronenstrahls zu verhindern.

### 5.32.2 Verfahrensvarianten

- ▶ Elektronenstrahlschweißen unter Vakuum (511)
- ▶ Elektronenstrahlschweißen in Atmosphäre (512)
- ▶ Elektronenstrahlschweißen unter Schutzgas (513)

### **5.32.3 Anwendung**

Das Elektronenstrahlschweißen findet Anwendung beim Verbindungsschweißen nahezu aller Metalle – vor allem derjenigen mit hohem Schmelzpunkt – in allen Schweißpositionen. Die Schweißfuge wird dabei als Stumpfstoß ausgeführt. Geschweißt wird ohne Zusatzwerkstoff. Verschweißt werden können Blechdicken im Bereich von 0,1 mm bis 350 mm (z.B. Aluminium). Von allen Schweißverfahren bietet das Elektronenstrahlschweißen das beste Verhältnis von Nahttiefe zu Nahtbreite (größte Nahttiefe bei geringster Nahtbreite; > 10:1). Aufgrund der lokal stark begrenzten Wärmeeinwirkung und dem damit einhergehendem geringen Verzug können auch bereits fertiggearbeitete Bauteile (z.B. Zahnräder) geschweißt werden.

### **5.32.4 Arbeitsschutz**

Beim Elektronenstrahlschweißen unter Vakuum (in einer Arbeitskammer) sind keine Arbeitsschutzmaßnahmen erforderlich, da die frei umherschwirrenden Teilchen innerhalb der Arbeitskammer verbleiben. Da das Elektronenstrahlschweißen jedoch teilweise auch unter Atmosphäre (ohne Umhausung) stattfindet, ist der Mitarbeiter vor der schädlichen Strahlung zu schützen.

## **5.33 Laserstrahlschweißen (LA/52)**

### **5.33.1 Verfahrensprinzip**

Das Wort LASER ist ein Akronym für die Bezeichnung „**L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation“ (zu deutsch: Lichtverstärkung durch induzierte Strahlungsemission). Der Laser erzeugt und verstärkt elektromagnetische Wellen und gibt diese in Form eines gebündelten Strahls aus. Dieser Strahl ist monochromatisch und kohärent. Aus der Pumpquelle wird dem Lasermedium Energie (meist in Form von Licht) zugeführt, die die Atome des Lasermediums anregt und deren Elektronen auf ein höheres Energieniveau (oberes Laserniveau) anhebt („pumpt“). Wenn eine genügende Anzahl von Teilchen im oberen Laserniveau vorhanden ist, gibt das laseraktive Material die zugeführte Energie in Form von Strahlung wieder ab (sogenannte induzierte Strahlungsemission). Die Strahlung (Licht) wird zwischen den beiden Resonatoren (parallel angeordnete Planspiegel) mehrmals reflektiert bis nur

noch sogenannte stimulierte Emission auftritt, die zur Bildung des Laserlichts führt. Diese kann jetzt in Form eines Strahls aus dem Laser ausgegeben werden (durch den halbdurchlässigen Resonator). Durch optische Umlenk- und Fokussierungseinrichtungen wird der Laserstrahl auf die Fügestelle des Bauteiles gerichtet. Durch die hohe Leistungsdichte (hohe Wärmeeinwirkung) wird der Grundwerkstoff, bei Auftreffen des Strahls auf die Werkstückoberfläche, aufgeschmolzen.

Grundsätzlich unterscheidet man beim Schweißen mittels Laser zwischen dem Wärmeleitungs- und Tiefschweißen. Beim Wärmeleitungsschweißen wird der Werkstoff nur bis zu einer Tiefe von ca. 0,5 mm aufgeschmolzen. Das Tiefschweißen ist vergleichbar mit dem Tiefschweißeffekt des Elektronenstrahlschweißens. Die maximal schweißbare Bauteildicke liegt beim Lasertiefschweißen jedoch nur bei  $\approx 25$  mm. Es wird jedoch ein sehr gutes Verhältnis von Nahtbreite zu Nahttiefe erreicht ( $\approx 1:10$ ). In der Regel werden die Fügeteile im Stumpfstoß zueinander positioniert (spaltfrei) und somit ohne Zusatzwerkstoff geschweißt. Bei Fügespalten, die  $\geq 5\%$  der Bauteildicke überschreiten muss mit artgleichem Zusatzwerkstoff geschweißt werden.

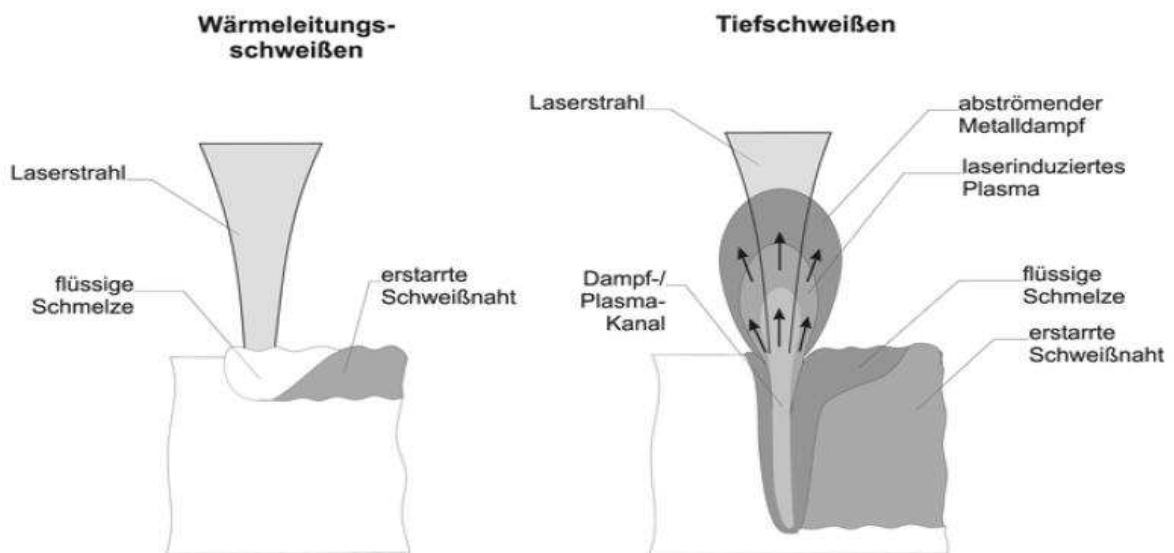


Abbildung 65: Wärmeleitungs- und Tiefschweißen beim Laserschweißen<sup>[ST01]</sup>

In der folgenden Tabelle sollen in einer Übersicht Vor- und Nachteile des Laserschweißens dargestellt werden.

	<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>
<b>Prozess</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hohe Leistungsdichte</li> <li>- kleiner Strahldurchmesser</li> <li>- hohe Schweißgeschwindigkeit</li> <li>- berührungsloses Werkzeug</li> <li>- Schweißen unter Atmosphäre möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hohe Reflexion an Metallen</li> <li>- begrenzte Einschweißtiefe (<math>\leq 25</math> mm)</li> </ul>
<b>Werkstück</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- minimale thermische Belastung</li> <li>- geringer Verzug</li> <li>- Schweißen fertig bearbeiteter Teile möglich</li> <li>- Schweißen an schwer zugänglichen Stellen</li> <li>- unterschiedliche Werkstoffe schweißbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- aufwendige Nahtvorbereitung</li> <li>- exakte Positionierung notwendig</li> <li>- Aufhärtungsgefahr</li> <li>- Rissgefahr</li> <li>- Al, Cu schwer schweißbar</li> </ul>
<b>Anlage</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kurze Taktzeiten</li> <li>- Mehrstationenbetrieb möglich</li> <li>- Anlagenverfügbarkeit &gt; 90%</li> <li>- gut automatisierbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- aufwendige Strahlführung und -formung</li> <li>- Leistungsverluste an optischen Elementen</li> <li>- Schutz vor Laserstrahlung notwendig</li> <li>- hohe Investitionskosten</li> <li>- schlechter Wirkungsgrad (CO<sub>2</sub>-Laser: &lt; 20%, Nd:YAG: &lt; 5%)</li> </ul>

Abbildung 66: Vor- und Nachteile beim Laserstrahlschweißen<sup>[ST01]</sup>

### 5.33.2 Verfahrensvarianten

- ▶ Festkörper-Laserstrahlschweißen (521)
- ▶ Gas-Laserstrahlschweißen (522)
- ▶ Dioden-Laserstrahlschweißen (523)

### 5.33.3 Gerätetechnik

Jeder Laser besteht grundsätzlich aus den folgenden 3 Komponenten<sup>[ST02]</sup>:

- ▶ Pumpquelle<sup>11</sup>
- ▶ Lasermedium
- ▶ Resonator

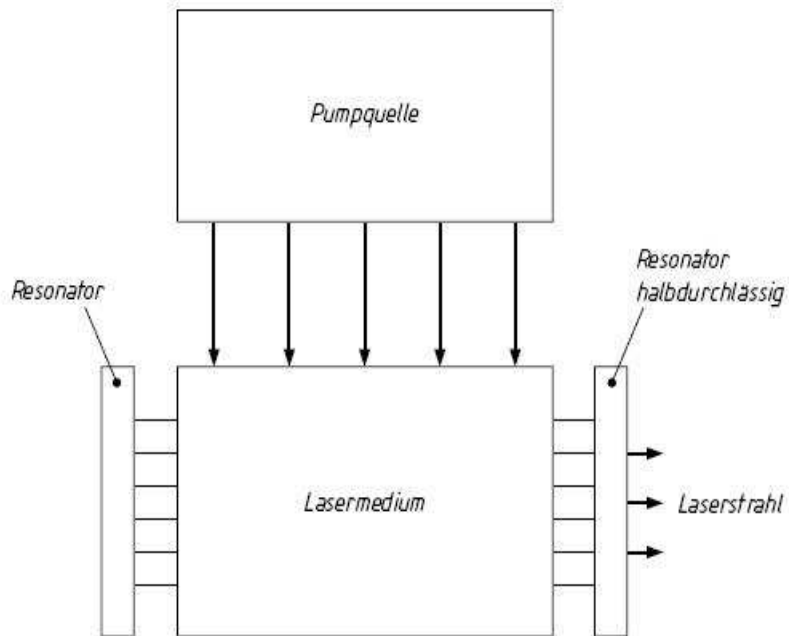


Abbildung 67: Prinzipieller Aufbau eines Lasers<sup>[ST02]</sup>

---

<sup>11</sup> „Pumpen“ ist hier nicht nach dem allgemeinen Sprachgebrauch zu verstehen, sondern bezeichnet die Anregung von Elektronen auf ein höheres Energieniveau durch äußere Energiezufuhr auf Atome

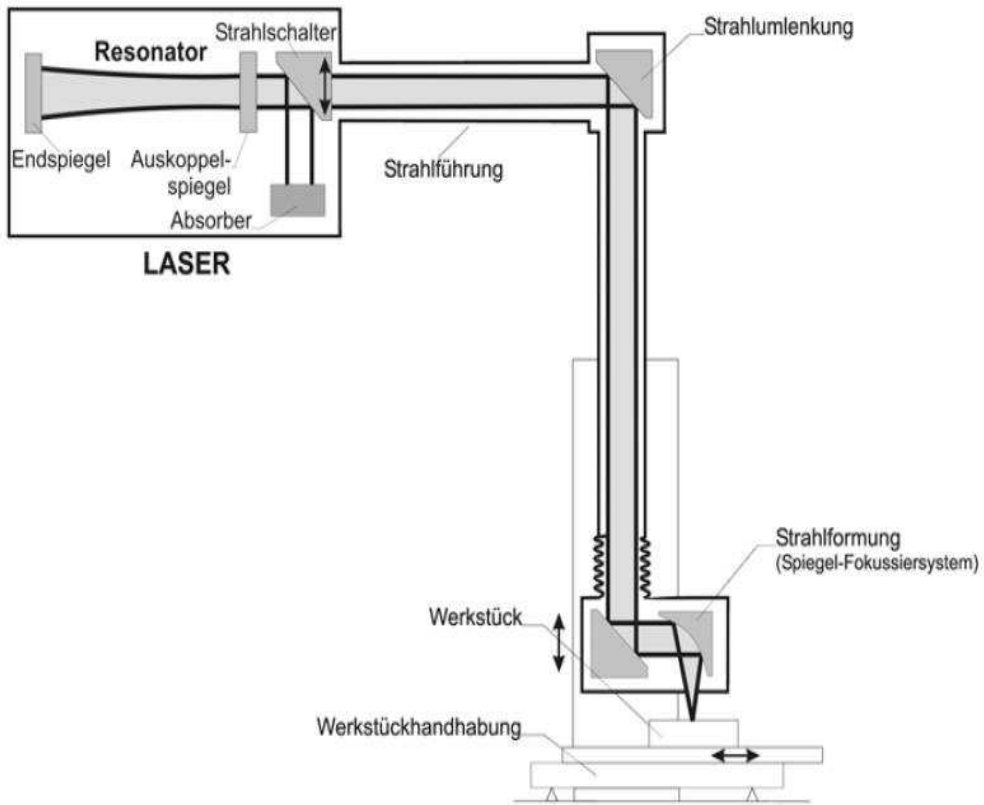


Abbildung 68: Prinzipieller Aufbau einer Laserschweißanlage<sup>[ST01]</sup>

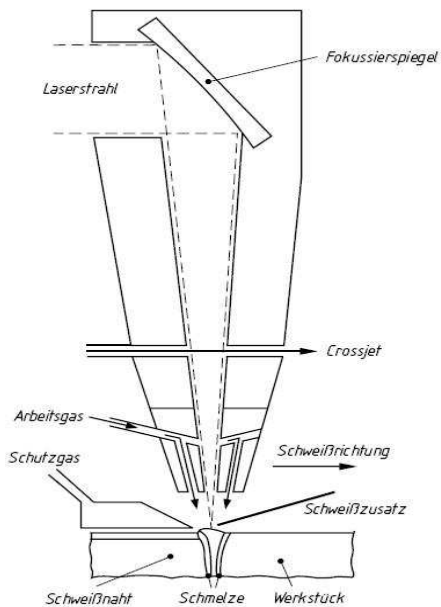


Abbildung 69: Prinzipieller Aufbau eines Laserschweißkopfes, z.B. für einen CO<sub>2</sub>-Laser<sup>[ST02]</sup>

### 5.33.3.1 Laserarten

Für das Laserstrahlschweißen stehen verschiedene Laserarten zur Verfügung. Diese werden anhand des verwendeten Lasermediums (laseraktives Material) unterschieden. Abbildung 70 zeigt die möglichen Laserarten und ausgewählte Eigenschaften. Die in der Praxis verbreitetsten Laserarten sind der CO<sub>2</sub>-Laser und der Nd:YAG<sup>12</sup>-Laser.

Lasertyp	Laseraktives Material	Pumpmechanismus und Pumpquellen	Beispiele
<b>Gaslaser</b>	Gas oder Dampf	Elektrisch angeregte Gasentladung	CO <sub>2</sub> -Laser: 10,6 µm Eximer-Laser: 175-483 nm
<b>Festkörperlaser</b>	Kristalle oder Gläser, die mit optisch aktiven Ionen dotiert sind	Optisch, mit Anregungslampen oder Diodenlaser	Rubin-Laser: 694 nm, Nd: YAG-Laser: 1,06 µm
<b>Farbstofflaser</b>	Organische Farbstoffe in stark verdünnter Lösung	Optisch, mit Blitzlampen oder Laser	Abstimmbare
<b>Halbleiterlaser</b>	Halbleiter	Elektrisch	GaInP: 670-680 nm GaAlAs: 780-880 nm

Abbildung 70: Eigenschaften der Laserarten<sup>[ST02]</sup>

### 5.33.4 Technische Gase

Bei Erfordernis – in Abhängigkeit vom zu schweißenden Werkstoff – werden beim Laserstrahlschweißen Schutzgase der Gruppe „I“, „M1“, „M2“, „M3“ und „N“ nach DIN EN ISO 14175 verwendet. Das Schweißen mittels CO<sub>2</sub>-Laser erfordert zusätzlich noch den Einsatz eines Arbeitsgases. Dieses dient zur Beeinflussung des Plasmas, welches durch das Verdampfen von Teilen des Grundwerkstoffes an der Werkstückoberfläche entstehen kann. Zum Einsatz kommen dabei die Gase Argon, Stickstoff,

---

<sup>12</sup> Neodym: Yttrium-Aluminium-Granat



Kohlendioxid oder Helium (vorab genannte Gashauptgruppen und zusätzlich noch die Hauptgruppe „C“ nach DIN EN ISO 14175).

### 5.33.5 Anwendung

Aufgrund des großen Anwendungsspektrums des Laserschweißens, sollen die Anwendungsmöglichkeiten nachfolgend in einer Übersicht dargestellt werden (siehe Abbildung 71). Besser schweißgeeignet sind Werkstoffe mit einem hohen Absorptionsgrad des Laserlichtes (geringe Reflexion des Laserlichtes an der Werkstückoberfläche). Übergreifend können nahezu alle Metalle mit dem Laserschweißen gefügt werden.

Verschweißbare Werkstoffe	Einsatzgebiete
<p><i>un- und niedriglegierte Stähle</i> (C-Gehalt 0,22%)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Baustähle (z.B. S 355 J2G3)</li> <li>- Feinkornstähle (z.B. S 460 N, S 690 N)</li> <li>- warmfeste Stähle (z.B. H II, 13 CrMo 4 4)</li> <li>- Einsatzstähle (z.B. 16 MnCr 5)</li> <li>- Vergütungsstähle (z.B. C 22, 25 CrMo)</li> </ul>	<p><i>Automobilbau</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Getriebeteile (Zahnräder, Planetengetriebe)</li> <li>- Karosseriebau (Bodenbleche, Außenhaut)</li> <li>- Motorenkomponenten (Tassenstößel, Diesel- Vorbrennkammer)</li> </ul> <p><i>stahlverarbeitende Industrie</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rohrherstellung</li> <li>- Fahrzeugaufbauten</li> <li>- Endlosbänder</li> <li>- Blechdosen</li> </ul>
<p><i>hochlegierte Stähle</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ferritische Chromstähle (z.B. X 5 CrTi 12)</li> <li>- austenitische CrNi-Stähle (z.B. X 6 CrNi 18 10)</li> </ul>	<p><i>Luft- und Raumfahrtindustrie</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Triebwerkskomponenten</li> <li>- Instrumentengehäuse</li> </ul> <p><i>Elektronikindustrie</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Leiterplatten</li> <li>- Batteriegehäuse</li> <li>- Trafobleche</li> <li>- Bildröhren</li> </ul>
<p><i>NE-Metalle</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ni-Basis-Legierungen</li> <li>- Titan und Titanlegierungen</li> <li>- Tantal</li> <li>- Aluminium (hohe Reflexion, hohe Wärmeleitfähigkeit, niedrige Ionisierungsenergie)</li> <li>- Kupfer (s. Aluminium)</li> </ul>	<p><i>Anlagen- und Apparatebau</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dichtschweißnähte an Gehäusen</li> <li>- Messsonden</li> </ul> <p><i>Medizintechnik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Herzschrittmachergehäuse</li> <li>- Hüftgelenkprothesen</li> </ul>

Abbildung 71: Auswahl von Werkstoffen zum Laserschweißen<sup>[ST01]</sup>

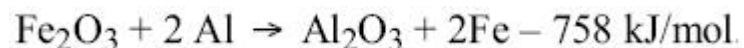
### 5.33.6 Arbeitsschutz

Besonderer Arbeitsschutz ist beim Laserschweißen zum Schutz vor der schädlichen – nicht sichtbaren – Laserstrahlung bei nicht eingehausten Laserschweißanlagen zu beachten (z.B. durch Tragen geeigneter Arbeitsschutzkleidung, Entfernung des Mitarbeiters aus dem Wirkungsbereich der Laserstrahlung). Die zulässige Strahlenbelastung wird dabei über die MZB<sup>13</sup>-Kennwerte festgelegt. Zusätzlich ist bei offenem, augenschädigendem Laserlicht das Tragen einer Schutzbrille erforderlich.

## 5.34 Aluminothermisches Schweißen (AS/71)

### 5.34.1 Verfahrensprinzip

Beim aluminothermischen Schweißen – auch als Thermit-Schweißen bezeichnet – wird der Energieträger der (eingeförmten) Fögestelle in flössiger Form zugeföhrt. Er öbernimmt dabei gleichzeitig die Funktion des Zusatzwerkstoffes. In den Thermitiegel (siehe Abbildung 72) wird ein Gemisch aus Aluminium-Eisenoxid-Pulver (oder Aluminium-Legierungszusatz-Pulver) gegeben. Dieses Gemisch wird mittels einer Zündquelle gezündet, z.B. mittels eines Magnesiumspans. Es findet eine exotherme Reaktion nach folgender Reaktionsgleichung<sup>[ST02]</sup> statt, die das Gemisch aufschmilzt:



Nach dem Aufschmelzen kann das flössige Schweißgut in die Fögestelle abgestochen werden. Die flössigen Eisen- bzw. Stahlbestandteile bilden bei Erkalten die Schweißnaht. Als letzter Ablaufschritt wird die Gussform entfernt.

---

<sup>13</sup> Maximal zulässige Belastung

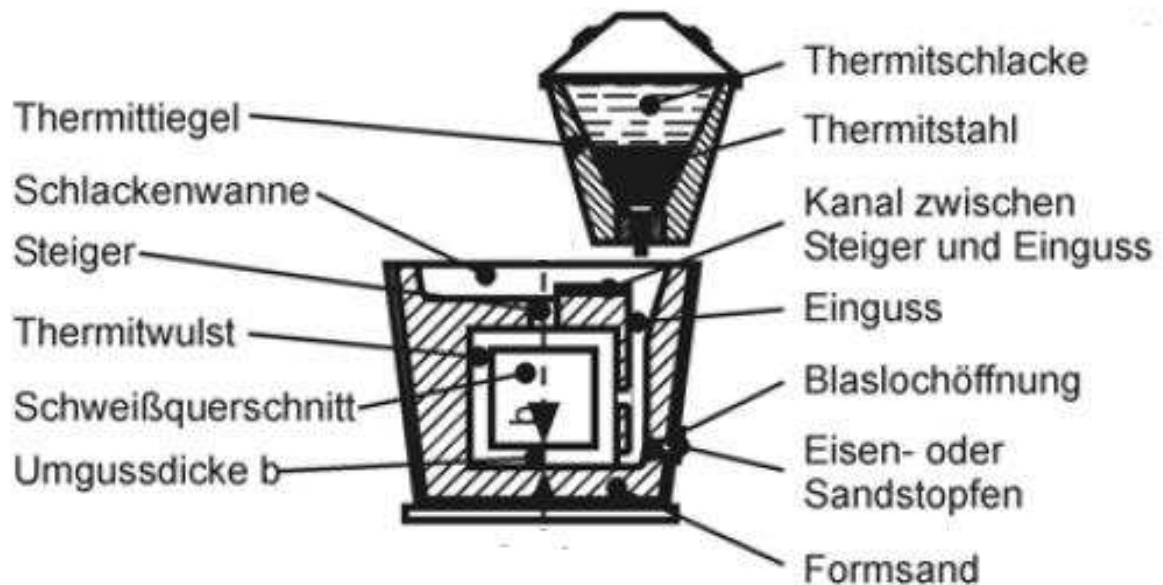


Abbildung 72: Schematische Anordnung beim aluminothermischen Schweißen<sup>[ST03]</sup>

### 5.34.2 Anwendung

Das aluminothermische Schweißen wird vornehmlich zum Verschweißen von Bahnschienen (auf der Baustelle) und für Reparaturschweißungen an großvolumigen Guss- und Schmiedeteilen verwendet.

## 5.35 Elektroschlackeschweißen (RES/72)

### 5.35.1 Verfahrensprinzip

Das Elektroschlackeschweißen ist ein vollmechanischer Schmelzschweißprozess, bei dem das Schweißen in senkrecht steigendem Verlauf entlang eines I-Stoßes erfolgt. Die zu schweißende Stelle wird seitlich mittels wassergekühlten Kupfergleit-  
schuhen eingeformt und am unteren Ende der Fügestelle mittels eines Anlaufstückes aus Kupfer (u-förmige Schweißbadsicherung) begrenzt. In den Fügespalt wird ein bestimmtes Quantum Schweißpulver gefüllt. Bei Anliegen des Schweißstromes und Starten der Drahtelektrodenzuführung brennt ein Lichtbogen zwischen Anlaufstück

und Drahtelektrodenpitze, der das Schweißpulver aufschmilzt. Nach Erreichen einer spezifischen Temperatur besitzt die flüssige Schlacke aufgrund Ihrer chemischen Zusammensetzung eine höhere elektrische Leitfähigkeit als der Lichtbogen. Somit erlischt der Lichtbogen und der Schweißstrom wird im weiteren Verlauf nur noch zwischen flüssiger Schlacke und dem Grundwerkstoff übergeben. Die damit einhergehende Widerstandserwärmung schmilzt die kontinuierlich zugeführte Drahtelektrode ab und den Grundwerkstoff an. Je nach Länge der Schweißnaht wandern die Gleitschuhe und der Drahtelektrodenrüssel kontinuierlich mit der Fugestelle mit. Die Schlacke übernimmt zusätzlich noch die Funktion des Luftabschlusses des Schweißbades von der Atmosphäre und schwimmt aufgrund Ihrer geringeren Dichte gegenüber der Metallschmelze ständig auf dieser. Ein Teil der Schlacke verbrennt jedoch während des Schweißvorganges, so dass ständig Schweißpulver zugeführt werden muss.

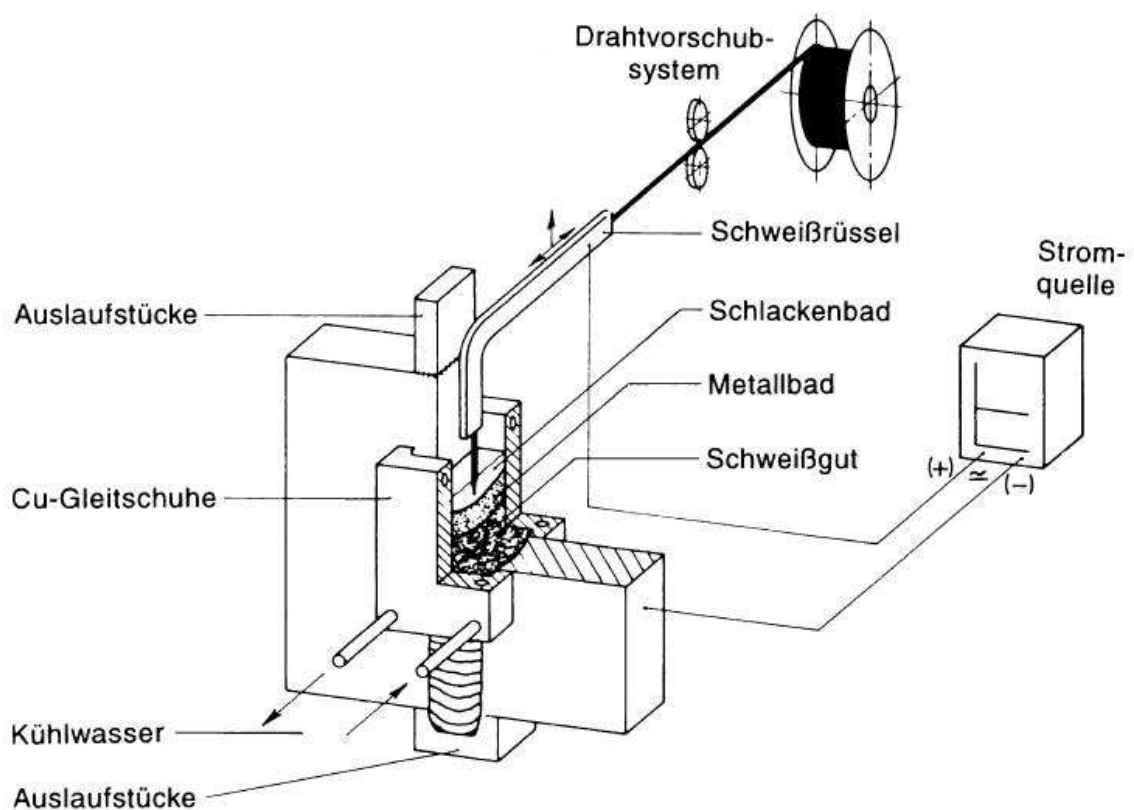


Abbildung 73: Schematische Anordnung beim Elektroschlackeschweißen<sup>[ST01]</sup>

### **5.35.2 Verfahrensvarianten**

- ▶ Elektroschlackeschweißen mit Bandelektrode (721)
- ▶ Elektroschlackeschweißen mit Drahtelektrode (722)

### **5.35.3 Zusatzwerkstoff**

Drähte und Bänder, siehe UP-Schweißen (Kapitel 5.12.4)

### **5.35.4 Anwendung**

Das Verfahren eignet sich besonders zum Verbindungsschweißen von Bauteilen großer Dicken in Steigposition. Verschweißt werden dabei vornehmlich un- und niedriglegierte Stähle (auch mit hohem Kohlenstoffgehalt). Anwendungsgebiete sind der Schiffbau, die Reaktortechnik und der Behälter- und Großmaschinenbau. Der Fügspalt beträgt üblicherweise 30 mm, während die Blechdicke im wirtschaftlichen Anwendungsfeld bei maximal 450 mm liegt (mit Mehrelektrodenteknik).

## **5.36 Auswahl von Schweißverfahren und deren spezifische Kenngrößen**

Nachfolgend soll die tabellarische Darstellung<sup>[ST02]</sup> einer Auswahl der im Text aufgeführten Schweißverfahren (und deren Anwendungsvarianten) erfolgen. Besondere Beachtung verdienen dabei die Merkmale Automatisierbarkeit und Anlagenkosten. Die in der Tabelle angegebenen Werte zum Blechdickenbereich bzw. zum schweißbaren Querschnitt stimmen dabei nicht zwingend mit den im jeweiligen Kapitel „Anwendung“ der im Text genannten Schweißverfahren überein.

Verfahren	Kenn- zahl ISO4063	Kurz- zeichen	Abschmelz- leistung	Leist- dichte	Schweiß- geschw.	Blech- dicken- bereich	Aufm- schungs- grad m. GW	Erforderl. Handfertig- keit	Automa- tisierbar- keit	Thermischer Wirkungsgrad	Baustellen- tauglich- keit	Anlagen- kosten	Bemer- kung
Gasschmelzschweißen	3	G	0,1-1,0	10 <sup>3</sup>	0,03-0,15	0,5-8,0	5-30	s.groß	keine	40-50	s.gut	0,5	
Lichtbogenhand- schweißen	111	E	0,2-4,0	10 <sup>4</sup>	0,15-0,3	1-100	15-40	groß	keine	50-60	s.gut	2-4	
Unterpulverschwei- ßen, Eindraht	121	UP	4-16	10 <sup>6</sup>	0,3-1	3-100	40-60	keine	s.gut	85-95	bedingt	20-30	
Unterpulverschwei- ßen, Band	122	UP	2-4	10 <sup>3</sup>	0,2-0,4	10-100	5-8	keine	s.gut	90	bedingt	25	
MSG, Massivdraht	131/135	MIG/ MAG	1-8	10 <sup>5</sup>	0,2-1,8	0,6-100	25-35	mäßig	s.gut	70	gut	10-30	a Maß 6...8 in einer Lage möglich
Wolfram- Inertgasschweißen	141	WIG	0-0,6	10 <sup>4</sup>	0,1-0,3	0,1-7	bis 100	groß	gut	60	bedingt	4-10	Engspalt- schweißen möglich
Mikro-WIG- Schweißen	141	WIG	0-0,1	10 <sup>4</sup>	0,02-0,8	0,02- 0,8	bis 100	s.groß	gut	60	bedingt	6	
WIG-Schweißen mit Kalt drahtzusatz	141	WIG	0,8-1,5	10 <sup>4</sup>	0,1-0,4		15-25	keine	gut	50	bedingt	8-15	
WIG-Schweißen mit Heißdraht	141	WIG		10 <sup>4</sup>			15-25	keine	gut		bedingt	10-18	

Abbildung 74: Ausgewählte Schweißverfahren mit Kennwerten Teil 1<sup>[ST01]</sup>

Verfahren	Kenn- zahl ISO4063	Kurz- zeichen	Abschmelz- leistung	Leist- dichte	Schweiß- geschw.	Blech- dicken bereich	Aufmi- schungs- grad m. GW	Erforderl. Handfertig- keit	Automa- tisierbar- keit	Thermisch. Wirk.grad	Baustellen- tauglich- keit	Anlagen- kosten	Bemer- kung
Wolfram- Plasmaschweißen, manuell	15	WP	0-0,8	10 <sup>6</sup>	0,2-0,8	0,2-12	bis 100	s.groß	K6eine	65	bedingt	7-8	
Mikroplasmaschweißen	15	WP	0-0,1	10 <sup>6</sup>		0,01-0,8	bis 100	s.groß	bedingt	65	bedingt	7-8	
WP-Schweißen me- chanisiert, Stichloch	15	WP	0	10 <sup>6</sup>	0,2-0,6	2,5-12	100	keine	s.gut	65-70	bedingt	40	
WP-Schweißen mit Kaltdrahtzufuhr	15	WP	0,8-2	10 <sup>6</sup>	0,1-0,5	2-20	15-25	keine	s.gut	50	bedingt	40	
Elektronenstrahl- schweißen	51	EB	0	10 <sup>8</sup>	0,2-5	0,01-260	bis 100	keine	s.gut	80	keine	50-1000	Al bis 350mm Dicke
Laserstrahlschweißen	52	LA	0-0,3	10 <sup>9</sup>	0,2-22	0,01-10	bis 100	keine	s.gut	80	keine	50-1000	Geschw. stark dicken- abhängig
Elektro-Schlacke- Schweißen	72	RES	10-12	10 <sup>4</sup>	0,01-0,1	10-300	5-20	keine	s.gut	90	gut	20-30	
RES-Band- Auftragschweißen	72	RES	2-4	10 <sup>3</sup>	0,05-0,1	15-100	3-5	keine	s.gut	90	gut	30-40	
Reibschweißen	42	FR	0		0	0,5-200	100	keine	s.gut		keine	300- 1000	
Hochfrequenzschweißen		HF	0		21-175	1,5-16	100	keine	s.gut		keine	700- 2000	

Verfahren	Kenn- zahl ISO4063	Kurz- zeichen	Abschmelz- leistung	Leist- dichte	Schweiß- geschw.	Blech- dicken bereich	Aufmi- schungs- Grad m. GW	Erforderl. Handfertig- keit	Automa- tisierbar- keit	Thermisch. Wirk.grad	Baustellen- tauglich- keit	Anlagen- kosten	Bemer- kung
Widerstandspunkt- schweißen	21	RP	0	10 <sup>5</sup>	0	0,2-8 (20)	100	mäßig	s.gut	75	bedingt	15-100	
Widerstandsbuckel- schweißen	23	RB	0	10 <sup>4</sup>	0	0,5-10	100	keine	s.gut	70	keine	15-100	
Widerstands- Rollennahtschweißen	22	RR	0	10 <sup>4</sup>	0,4-6	0,3-3	100	keine	s.gut	65	keine	30-200	
Widerstands- Pressstumpfschweißen	25	RPS	0	10 <sup>5</sup>	0	A= 200mm <sup>2</sup>	100	keine	s.gut	65	keine	30-100	
Abbrennstumpf- schweißen	24	RA	0	10 <sup>4</sup>	0	A= 80000mm <sup>2</sup>	100	keine	s.gut	60	keine	30-2000	

Abbildung 75: Ausgewählte Schweißverfahren mit Kennwerten Teil 2<sup>[ST02]</sup>

## 6 Quellen

- [ST01] DILTHEY, Ulrich (Hrsg.): *Schweißtechnische Fertigungsverfahren 1: Schweiß- und Schneidtechnologien*. Springer Verlag, Heidelberg, Berlin, 2006, 3., bearbeitete Auflage
- [ST02] FAHRENWALDT, Hans J., SCHULER, Volkmar: *Praxiswissen Schweißtechnik: Werkstoffe, Prozesse, Fertigung*. DVS-Verlag, Wiesbaden, 2006, 2., überarbeitete und erweiterte Auflage
- [ST03] FRITZ, Herbert Alfred, SCHULZE, Günter (Hrsg.): *Fertigungstechnik*. Springer- Verlag, Heidelberg, Berlin, 2008, 8., neu bearbeitete Auflage
- [AS01] Kemper GmbH: *Produktkatalog 2007*.
- [N01] DIN 8580:2003
- [N02] DIN 1910-100:2008
- [N03] DIN EN 14610:2005
- [N04] DIN EN ISO 4063:2008 [Entwurf]
- [N05] DIN EN ISO 2560:2006
- [N06] DIN EN ISO 14341:2007 [Entwurf]
- [N07] DIN EN ISO 6848:2005
- [N08] DIN EN 12536:2000



## 7 Literaturverzeichnis

DILTHEY, Ulrich (Hrsg.): *Schweißtechnische Fertigungsverfahren 1: Schweiß- und Schneidtechnologien*. Springer Verlag, Heidelberg, Berlin, 2006, 3., bearbeitete Auflage

FAHRENWALDT, Hans J., SCHULER, Volkmar: *Praxiswissen Schweißtechnik: Werkstoffe, Prozesse, Fertigung*. DVS-Verlag, Wiesbaden, 2006, 2., überarbeitete und erweiterte Auflage

FRITZ, Herbert Alfred, SCHULZE, Günter (Hrsg.): *Fertigungstechnik*. Springer-Verlag, Heidelberg, Berlin, 2008, 8., neu bearbeitete Auflage

BECKERT, M. (Hrsg.) u. a.: *Grundlagen der Schweißtechnik: Löten*. VEB Verlag Technik, Berlin, 1972

BECKERT, M. (Hrsg.) u. a.: *Grundlagen der Schweißtechnik: Sonderschweißverfahren*. VEB Verlag Technik, Berlin, 1969

SAUTTER, Rudolf: *Fertigungsverfahren*. Vogel Verlag und Druck GmbH & Co. KG, Würzburg, 1997

BÖHMEN, Dieter, HERMANN, F.-D. u. a.: *Handbuch der Schweißverfahren: Teil 2: Autogentechnik, Thermisches Schneiden, Elektronen-/Laserstrahlschweißen, Reib-, Ultraschall- und Diffusionsschweißen*. DVS-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1992

## **8 Normenverzeichnis**

### **DIN 8580:2003**

Fertigungsverfahren – Begriffe, Einteilung

### **DIN 1910-100:2008**

Schweißen und verwandte Begriffe – Begriffe – Teil 100: Metallschweißprozesse mit Ergänzungen zu DIN EN 14610:2005

### **DIN 8528 Blatt 1:1973**

Schweißbarkeit – metallische Werkstoffe, Begriffe

### **DIN EN 440:1994**

Schweißzusätze – Drahtelektroden und Schweißgut zum Metall-Schutzgas-schweißen von unlegierten Stählen und Feinkornstählen – Einteilung; Deutsche Fassung EN 440:1994

### **DIN EN 757:1997**

Schweißzusätze – Umhüllte Stabelektroden zum Lichtbogenhandschweißen von hochfesten Stählen – Einteilung; Deutsche Fassung EN 757:1997

### **DIN EN ISO 2560:2006**

Schweißzusätze – Umhüllte Stabelektroden zum Lichtbogenhandschweißen von unlegierten und Feinkornstählen – Einteilung (ISO 2560:2002); Deutsche Fassung EN ISO 2560:2005

### **DIN EN ISO 4063:2008 [Entwurf]**

Schweißen und verwandte Prozesse – Liste der Prozesse und Ordnungsnummern (ISO/DIS 4063:2008); Dreisprachige Fassung prEN ISO 4063:2008

### **DIN EN ISO 6947:2008 [Entwurf]**

Schweißnähte – Arbeitspositionen Definition der Winkel von Neigung und Drehung (ISO/DIS 6947:2008); Deutsche Fassung prEN ISO 6947:2008

### **DIN EN ISO 14175:2008**

Schweißzusätze – Gase und Mischgase für das Lichtbogenschweißen und verwandte Prozesse (ISO 14175:2008); Deutsche Fassung EN ISO 14175:2008

### **DIN EN ISO 14341:2007 [Entwurf]**

Schweißzusätze – Drahtelektroden und Schweißgut zum Metall-Schutzgas-schweißen von unlegierten Stählen und Feinkornstählen – Einteilung (ISO 14341:2002); Deutsche Fassung prEN ISO 14341:2007

### **DIN EN 760:1996**

Schweißzusätze – Pulver zum Unterpulverschweißen – Einteilung; Deutsche Fassung EN 760:1996

### **DIN EN 12536:2000**

Schweißzusätze – Stäbe zum Gasschweißen von unlegierten und warmfesten Stählen – Einteilung; Deutsche Fassung EN 12536:2000

### **DIN EN 14610:2005**

Schweißen und verwandte Prozesse – Begriffe für Metallschweißprozesse; Dreisprachige Fassung EN 14610:2004

### **DIN EN ISO 636:2008**

Schweißzusätze – Stäbe, Drähte und Schweißgut zum Wolfram-Inertgasschweißen von unlegierten Stählen und Feinkornstählen – Einteilung (ISO 636:2004); Deutsche Fassung EN ISO 636:2008

### **DIN EN ISO 1071:2003**

Schweißzusätze – Umhüllte Stabelektroden, Drähte, Stäbe und Fülldrahtelektroden zum Schmelzschweißen von Gusseisen – Einteilung (ISO 1071:2003); Deutsche Fassung EN ISO 1071:2003

### **DIN EN ISO 3580:2008**

Schweißzusätze – Umhüllte Stabelektroden zum Lichtbogenhandschweißen von warmfesten Stählen – Einteilung (ISO 3580:2004); Deutsche Fassung EN ISO 3580:2008

### **DIN EN ISO 6848:2005**

Lichtbogenschweißen und -schneiden – Wolframelektrode – Einteilung (ISO 6848:2004); Deutsche Fassung EN ISO 6848:2004

### **DIN EN ISO 14343:2007**

Schweißzusätze – Drahtelektroden, Bandelektroden, Drähte und Stäbe zum Schmelzschiweißen von nichtrostenden und hitzebeständigen Stählen – Einteilung (ISO 14343:2002 und ISO 14343:2002/Amd1:2006); Deutsche Fassung EN ISO 14343:2007

### **DIN EN ISO 16834:2007**

Schweißzusätze – Drahtelektroden, Drähte, Stäbe und Schweißgut zum Schutzgas-schweißen von hochfesten Stählen –Einteilung (ISO 16834:2006); Deutsche Fassung EN ISO 16834:2007

### **DIN EN ISO 18273:2004**

Schweißzusätze – Massivdrähte und –stäbe zum Schmelzschiweißen von Aluminium und Aluminiumlegierungen – Einteilung (ISO 18273:2004); Deutsche Fassung EN ISO 18273:2004

### **DIN EN ISO 18274:2006**

Schweißzusätze – Massivdrähte, -bänder und -stäbe zum Schmelzschiweißen von Nickel – Einteilung (ISO 18274:2004 + Cor. 1:2005); Deutsche Fassung EN ISO 18274:2004 + AC:2005

### **DIN EN ISO 21952:2008**

Schweißzusätze – Drahtelektroden, Drähte, Stäbe und Schweißgut zum Schutzgas-schweißen von warmfesten Stählen – Einteilung (ISO 21952:2007); Deutsche Fassung EN ISO 21952:2007

### **DIN 8514:2006**

Lötbarkeit

## **DIN ISO 857-2:2007**

Schweißen und verwandte Prozesse – Begriffe – Teil 2: Weichlöten, Hartlöten und verwandte Begriffe (ISO 857-2:2005)

## **9 Weiterführende Literatur**

SCHAU, Peter, SCHWIERCZINSKI, Georg: *WEKAPRAXIS Handbuch: Schweißaufsicht – Arbeitssicherheit und Unfallverhütung*. WEKA MEDIA GmbH & Co. KG, Kissing, 2002, Grundwerk einschließlich Aktualisierungs- und Ergänzungslieferung