

# HANSER



## Leseprobe

zu

## „Schweißtechnik“

herausgegeben von Mario Kusch,  
Klaus-Jürgen Matthes, Werner Schneider

ISBN (Buch): 978-3-446-46745-3

ISBN (E-Book): 978-3-446-47000-2

Weitere Informationen und Bestellungen unter  
<http://www.hanser-fachbuch.de/9783446467453>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

# Vorwort

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

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

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

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

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

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

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

Das Buch präsentiert den aktuellen Stand des Fachgebietes und der Fachnormen. Die systemati-

sche Gliederung des Buches und die annähernd 800 Begriffe des Sachwortverzeichnisses geben dem Nutzer eine klare Orientierung und ermöglichen ein schnelles Auffinden der gesuchten Texte, Tafeln und Bilder.

Bei der aktualisierten 7. Auflage dieses Buches haben sehr fachkompetente Autoren mitgewirkt. Es wurden neueste technische Entwicklungen auf dem Gebiet der Schweißtechnik aufgenommen und das zitierte Norm- und Regelwerk dem aktuellen Stand angepasst.

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

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

*Die Herausgeber*

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>Schweißen mit Lichtbogen</b> .....	<b>64</b>
<b>1 Grundlagen</b> .....	<b>15</b>	<b>3.1</b>	<i>Grundlagen der Lichtbogentechnik</i> .....	64
1.1 <i>Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580</i> .....	15	3.1.1	Physik des Lichtbogens .....	64
1.2 <i>Fügen durch Schweißen</i> .....	17	3.1.2	Zünden des Lichtbogens .....	67
1.3 <i>Wirkprinzipien beim Schweißen</i> .....	19	3.1.3	Betrieb des Lichtbogens .....	69
<b>2 Schweißbarkeit</b> .....	<b>29</b>	<b>3.2</b>	<i>Schweißstromquellen zum Lichtbogen-</i> <i>schweißen</i> .....	71
2.1 <i>Grundlagen und Einteilung</i> .....	29	3.2.1	Überblick .....	71
2.2 <i>Schweißbeignung von Stählen</i> .....	31	3.2.2	Schweißumformer .....	71
2.3 <i>Schweißsicherheit</i> .....	36	3.2.3	Schweißtransformatoren.....	72
2.3.1 <i>Konstruktive Gestaltung</i> .....	37	3.2.4	Schweißgleichrichter .....	73
2.3.2 <i>Beanspruchungszustand</i> .....	40	3.2.5	Schweißumrichter .....	75
2.3.3 <i>Regelwerke zur Auslegung von Schweißkonstruktionen</i> .....	40	3.2.6	Statische Kennlinien von Schweißstromquellen .....	76
2.3.4 <i>Anwendung von Finite-Elemente-Methoden zur Bemessung geschweißter Tragwerke</i> .....	43	3.2.7	Dynamische Eigenschaften von Schweißstromquellen.....	77
2.4 <i>Schweißmöglichkeit</i> .....	44	3.2.8	Regelungsprinzipien zur Arbeitspunktstabilisierung ..	78
2.4.1 <i>Grundlagen</i> .....	44	3.2.9	Modulationsarten bei Impulsstromquellen .....	79
2.4.2 <i>Vorbereitungen zum Schweißen</i> .....	45	3.2.10	Angaben auf dem Leistungsschild .....	80
2.4.3 <i>Durchführung des Schweißens</i> .....	47	<b>3.3</b>	<i>Schweißbrenner zum Lichtbogen-</i> <i>schweißen</i> .....	82
2.4.4 <i>Nacharbeiten beim Schweißen</i> .....	55	3.3.1	Stabelektrodenhalter .....	82
2.4.5 <i>Anwendung numerischer Simulationen für die Prozessanalyse beim Schweißen</i> .....	55	3.3.2	Stromkontakteinrichtung zum UP-Schweißen .....	83
2.5 <i>Qualitätssicherung beim Schweißen</i> .....	56	3.3.3	Schweißbrenner mit nicht-abschmelzender Elektrode ...	83
2.6 <i>Arbeitsschutz beim Schweißen</i> .....	59	3.3.4	Schweißbrenner mit abschmelzender Elektrode ...	85
2.7 <i>Schweißen im Produkt-, Umwelt- und Energiemanagement</i> .....	60	3.3.5	Bolzenschweißpistolen .....	86
		<b>3.4</b>	<i>Drahtvorschubsysteme zum Lichtbogenschweißen</i> .....	87
		3.4.1	Grundaufbau .....	87
		3.4.1.1	Stirnrollenantrieb.....	88
		3.4.1.2	Planetarantrieb.....	89

3.4.2	Bauformen mit potenzial- führender Drahtelektrode.....	90	3.7.3.6	Schweißparameter.....	125
3.4.2.1	Bauformen mit nicht potenzialführender Draht- elektrode.....	91	3.7.4	Fehler beim Lichtbogen- handschweißen.....	126
3.4.2.2	Drahtrichteinheiten.....	91	3.7.4.1	Häufige Ursachen und Fehlerbilder.....	126
3.5	<i>Zusatzwerkstoffe zum Lichtbogen- schweißen.....</i>	92	3.7.4.2	Poren.....	128
3.5.1	Stabelektroden.....	92	3.7.4.3	Schlackeeinschlüsse.....	128
3.5.2	Schweißstäbe.....	96	3.7.4.4	Bindefehler.....	128
3.5.3	Massivdrahtelektroden.....	97	3.7.4.5	Geometrische Unregel- mäßigkeiten.....	128
3.5.4	Fülldrahtelektroden.....	99	3.7.5	Gefährdungen für den Schweißer.....	129
3.5.5	Schweißpulver zum UP-Schweißen.....	103	3.8	<i>Wolfram-Inertgasschweißen (Prozess 141).....</i>	129
3.5.6	Schweißpulver zum Plasma- Pulver-Auftragschweißen (PTA).....	105	3.8.1	Verfahrensprinzip und Anlagentechnik.....	130
3.5.7	Schweißbolzen.....	106	3.8.1.1	Funktionsweise.....	130
3.6	<i>Gase zum Lichtbogenschweißen.....</i>	108	3.8.1.2	Schutzgase.....	131
3.6.1	Aufgaben von Schutzgasen...	108	3.8.1.3	Wolframelektroden.....	133
3.6.2	Eigenschaften von Schutzgasen.....	108	3.8.1.4	Zusatzwerkstoff.....	135
3.6.3	Einteilung und Bezeichnung von Schutzgasen.....	109	3.8.1.5	Schweißstromquellen und Brenner技术.....	136
3.6.4	Herstellung von Schutzgasen.....	111	3.8.2	Verfahrensvarianten.....	137
3.6.5	Lieferarten und Entnahme- stellen.....	111	3.8.2.1	Zünden des Lichtbogens.....	137
3.6.6	Kennzeichnung von Druckgasflaschen.....	112	3.8.2.2	Stromart und Polarität.....	138
3.7	<i>Lichtbogenhandschweißen (Prozess 111)</i>	113	3.8.2.3	Mechanisierungsgrad.....	141
3.7.1	Verfahrensprinzip und Anlagentechnik.....	113	3.8.2.4	WIG-Schweißen mit Zusatzwerkstoff.....	142
3.7.1.1	Funktionsweise.....	113	3.8.3	Anwendung.....	143
3.7.1.2	Schweißstromquellen.....	114	3.8.3.1	Verbindungsschweißen.....	143
3.7.1.3	Elektrodenhalter.....	115	3.8.3.2	Reparaturschweißen.....	143
3.7.1.4	Stabelektroden.....	115	3.8.3.3	WIG-Orbitalschweißen.....	143
3.7.2	Anwendung.....	120	3.8.3.4	WIG-Punktschweißen.....	145
3.7.2.1	Allgemeines.....	120	3.8.3.5	WIG-Engspaltschweißen.....	145
3.7.2.2	Reparaturschweißen.....	120	3.8.3.6	WIG-Auftragschweißen.....	146
3.7.2.3	Auftragschweißen.....	120	3.8.3.7	Sonderanwendungen.....	147
3.7.2.4	Verbindungsschweißen.....	120	3.8.4	Fertigungshinweise.....	147
3.7.3	Fertigungshinweise.....	120	3.8.4.1	Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung.....	147
3.7.3.1	Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung.....	120	3.8.4.2	Zündvorgang.....	148
3.7.3.4	Zündvorgang.....	121	3.8.4.3	Brennerführung.....	149
3.7.3.5	Führen der Elektrode.....	123	3.8.4.4	Heften.....	149
			3.8.4.5	Gasschutz.....	149
			3.8.4.6	Richtwerte.....	151
			3.8.5	Fehler beim WIG-Schweißen	151
			3.8.5.1	Gaseinschlüsse.....	151
			3.8.5.2	Bindefehler.....	153

3.8.5.3	Wolframeinschlüsse.....	153	3.10	<i>Metall-Schutzgasschweißen (Prozess 13)</i>	191
3.8.5.4	Oxideinschlüsse .....	153	3.10.1	Verfahrensprinzip und Anlagentechnik.....	192
3.8.5.5	Häufige Fehlerbilder und Ursachen.....	153	3.10.1.1	Funktionsweise.....	192
3.8.6	Gefährdungen für den Schweißer .....	156	3.10.1.2	Schutzgase.....	192
3.9	<i>Plasmaschweißen (Prozess 15)</i> .....	157	3.10.1.3	Zusatzwerkstoff .....	196
3.9.1	Verfahrensprinzip und Anlagentechnik.....	158	3.10.1.4	Schweißstromquellen und Brennertechnik.....	197
3.9.1.1	Funktionsweise.....	158	3.10.2	Lichtbogenarten.....	199
3.9.1.2	Prozess- und Schutzgase.....	161	3.10.2.1	Allgemein .....	199
3.9.1.3	Wolframelektroden .....	164	3.10.2.2	Kurzlichtbogen .....	200
3.9.1.4	Zusatzwerkstoff .....	165	3.10.2.3	Übergangslichtbogen.....	200
3.9.1.5	Schweißstromquellen und Brennertechnik.....	166	3.10.2.4	Sprühlichtbogen .....	200
3.9.2	Verfahrensvarianten.....	169	3.10.2.5	Impulslichtbogen.....	200
3.9.2.1	Zünden des Lichtbogens .....	169	3.10.2.6	Hochleistungs-Kurz- lichtbogen .....	201
3.9.2.2	Stromart und Polarität.....	170	3.10.2.7	Instabiler Lichtbogen.....	201
3.9.2.3	Mechanisierungsgrad.....	174	3.10.2.8	Rotierender Lichtbogen .....	201
3.9.2.4	Plasmaschweißen mit Zusatzwerkstoff .....	174	3.10.2.9	Hochleistungs-Sprüh- lichtbogen .....	202
3.9.2.5	Schmelzbadausbildung .....	176	3.10.2.10	Kräfte beim Werkstoff- übergang.....	202
3.9.3	Anwendung .....	177	3.10.3	Verfahrensvarianten.....	204
3.9.3.1	Verbindungsschweißen .....	177	3.10.3.1	Hochleistungsschweißen.....	204
3.9.3.2	Plasma-Punktschweißen .....	178	3.10.3.2	Energiereduzierte MSG- Prozesse .....	208
3.9.3.3	Plasma-Auftragschweißen ....	178	3.10.3.3	Modifizierte MSG- Impulsprozesse.....	210
3.9.3.4	Mikroplasmaschweißen .....	179	3.10.3.4	MSG-Hybridprozesse .....	212
3.9.3.5	Additive Fertigung .....	181	3.10.3.5	Zünden des Lichtbogens .....	214
3.9.4	Fertigungshinweise.....	182	3.10.3.6	Mechanisierungsgrad.....	214
3.9.4.1	Allgemeines.....	182	3.10.4	Anwendung .....	214
3.9.4.2	Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung .....	183	3.10.4.1	Verbindungsschweißen .....	214
3.9.4.3	Zündvorgang.....	183	3.10.4.2	MSG-Engspaltschweißen.....	215
3.9.4.4	Brennerführung .....	184	3.10.4.3	MSG-Auftragschweißen.....	216
3.9.4.5	Heften.....	185	3.10.4.4	Additive Fertigung .....	217
3.9.4.6	Gasschutz .....	185	3.10.4.5	Sonderanwendungen .....	218
3.9.4.7	Richtwerte .....	187	3.10.5	Fertigungshinweise.....	219
3.9.5	Fehler beim Plasma- schweißen.....	188	3.10.5.1	Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung .....	219
3.9.5.1	Gaseinschlüsse .....	188	3.10.5.2	Zündvorgang.....	220
3.9.5.2	Nahtunterwölbung.....	189	3.10.5.3	Brennerführung .....	220
3.9.5.3	Einbrandkerben.....	189	3.10.5.4	Heften.....	222
3.9.5.4	Oxideinschlüsse .....	189	3.10.5.5	Gasschutz .....	222
3.9.5.5	Häufige Fehlerbilder und Ursachen.....	190	3.10.5.6	Richtwerte .....	223
3.9.6	Gefährdungen für den Schweißer .....	190	3.10.6	Fehler beim MSG- Schweißen.....	224

3.10.6.1	Gaseinschlüsse .....	224	3.11.5.1	Häufige Fehlerbilder und Ursachen.....	269
3.10.6.2	Bindefehler .....	224	3.11.5.2	Durchschweißfehler.....	269
3.10.6.3	Häufige Fehlerbilder und Ursachen.....	227	3.11.5.3	Nahtüberhöhung .....	269
3.10.7	Gefährdungen für den Schweißer .....	227	3.11.5.4	Risse .....	270
3.11	<i>Unterpulverschweißen (Prozess 12)</i> .....	227	3.11.5.5	Lunker .....	271
3.11.1	Verfahrensprinzip und Anlagentechnik.....	228	3.11.5.6	Schlackeeinschlüsse .....	271
3.11.1.1	Funktionsweise.....	228	3.11.6	Gefährdungen für den Schweißer .....	271
3.11.1.2	Schweißpulver .....	229	3.12	<i>Lichtbogenschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen</i> .....	271
3.11.1.3	Elektroden .....	244	3.12.1	Grundlagen.....	272
3.11.1.4	Stromquellen und Brennertechnik .....	246	3.12.2	Pressstumpfschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen (Prozess 185).....	272
3.11.1.5	Mechanisierungseinrichtungen .....	248	3.12.2.1	Verfahrensprinzip .....	272
3.11.2	Verfahrensvarianten des Unterpulverschweißens .....	249	3.12.2.2	Anwendungsbereiche .....	272
3.11.2.1	Überblick .....	249	3.12.2.3	Ausrüstungen.....	273
3.11.2.2	UP-Eindrahtschweißen .....	249	3.12.2.4	Zusatzstoffe .....	273
3.11.2.3	UP-Doppeldrahtschweißen ...	249	3.12.2.5	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit .....	273
3.11.2.4	UP-Tandemschweißen .....	252	3.12.2.6	Fertigungshinweise.....	273
3.11.2.5	UP-Mehrdrahtschweißen .....	252	3.12.3	Schmelzschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen (MBS-Schweißen) .....	274
3.11.2.6	UP-Bandschweißen .....	253	3.12.3.1	Verfahrensprinzip .....	274
3.11.2.7	UP-Kaltdrahtschweißen.....	254	3.12.3.2	Anwendungsbereiche .....	274
3.11.2.8	UP-Heißdrahtschweißen.....	254	3.12.3.3	Zusatzstoffe .....	274
3.11.2.9	UP-Schweißen mit Metallpulverzugabe.....	254	3.12.3.4	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit .....	274
3.11.3	Anwendung des UP-Verfahrens.....	255	3.12.3.5	Fertigungshinweise.....	275
3.11.3.1	Überblick .....	255	3.13	<i>Lichtbogenbolzenschweißen</i> .....	275
3.11.3.2	Verbindungsschweißen .....	255	3.13.1	Grundlagen.....	276
3.11.3.3	UP-Auftragschweißen .....	255	3.13.2	Verfahrensprinzip .....	276
3.11.3.4	UP-Engspaltschweißen .....	256	3.13.2.1	Kondensatorentladungs-Bolzenschweißen mit Hubzündung (Prozess 785) ..	276
3.11.3.5	UP-Quernahtschweißen.....	257	3.13.2.2	Lichtbogenbolzenschweißen mit Spitzenzündung (Prozess 786) .....	276
3.11.3.6	Verfahrensvergleich.....	258	3.13.2.3	Hubzündungs-Bolzenschweißen mit Keramikring oder Schutzgas (Prozess 783) .....	276
3.11.4	Fertigungshinweise.....	258	3.13.3	Anwendungsbereiche .....	277
3.11.4.1	Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung .....	258	3.13.4	Zusatzstoffe .....	278
3.11.4.2	Schmelzbadabsicherung .....	261			
3.11.4.3	Heften.....	262			
3.11.4.4	An- und Auslaufbleche.....	262			
3.11.4.5	Werkstückneigung.....	263			
3.11.4.6	Zünden des Lichtbogens .....	263			
3.11.4.7	Nahtformung.....	264			
3.11.4.8	Richtwerte .....	266			
3.11.5	Fehler beim UP-Schweißen... ..	269			

3.13.5	Fertigungshinweise.....	279	4.1.5.3	Gasschläuche .....	312
3.13.6	Ausrüstungen.....	279	4.1.5.4	Sicherheitseinrichtungen .....	314
3.14	<i>Sensorik beim Lichtbogenschweißen.....</i>	281	4.2	<i>Einteilung der Verfahren der Autogentechnik nach DIN 8522.....</i>	316
3.14.1	Überblick .....	281	4.3	<i>Gasschmelzschweißen (Prozess 31) .....</i>	317
3.14.2	Taktile Sensoren.....	282	4.3.1	Grundlagen.....	318
3.14.3	Elektromagnetische Sensoren .....	283	4.3.2	Anwendung .....	319
3.14.4	Lasersensoren.....	284	4.3.2.1	Allgemeines.....	319
3.14.5	Lichtbogensensoren.....	285	4.3.2.2	Fugenformen.....	320
3.15	<i>Gefährdungen beim Lichtbogenschweißen.....</i>	287	4.3.2.3	Schweißpositionen .....	320
3.15.1	Elektrischer Strom .....	287	4.3.2.4	Werkstückdicken.....	320
3.15.2	Elektromagnetische Strahlung .....	288	4.3.3	Ausrüstung.....	320
3.15.3	Rauch, Stäube und Gase.....	289	4.3.4	Zusatzwerkstoffe und Hilfsstoffe.....	322
3.15.4	Sauerstoffmangel.....	290	4.3.5	Technologische Merkmale ...	325
3.15.5	Spritzer und Schlacke.....	290	4.3.5.1	Nachrechtsschweißen (NR)...	325
3.15.6	Druckgasflaschen.....	290	4.3.5.2	Nachlinksschweißen (NL)....	327
4	<b>Schweißen mit Brenngas-Sauerstoff-Flamme .....</b>	<b>291</b>	4.4	<i>Gaspressschweißen (Prozess 47).....</i>	327
4.1	<i>Grundlagen der Autogentechnik.....</i>	291	4.4.1	Verfahrensprinzip.....	327
4.1.1	Autogenflamme.....	291	4.4.2	Anwendungsbereiche .....	328
4.1.1.1	Allgemeines.....	291	4.4.3	Zusatzstoffe .....	328
4.1.1.2	Verbrennung.....	291	4.4.4	Fertigungshinweise.....	328
4.1.1.3	Flammeneinstellung.....	293	4.4.5	Ausrüstungen.....	329
4.1.2	Autogenbrenner.....	295	5	<b>Schweißen mit Widerstandserwärmung .....</b>	<b>330</b>
4.1.2.1	Allgemeines.....	295	5.1	<i>Einteilung der Widerstandsschweißverfahren .....</i>	330
4.1.2.2	Brennerarten.....	295	5.2	<i>Konduktives Widerstandspressschweißen .....</i>	331
4.1.2.3	Betreiben der Autogenbrenner .....	297	5.2.1	Widerstandserwärmung durch konduktive Stromübertragung .....	331
4.1.2.4	Flammenstörungen.....	299	5.2.2	Ausrüstungen zum konduktiven Widerstandspressschweißen .....	332
4.1.3	Betriebsmittel der Autogentechnik .....	299	5.2.2.1	Aufbau einer konduktiven Widerstandsschweißmaschine .....	332
4.1.3.1	Allgemeines.....	299	5.2.2.2	Schweißstromquellen zum konduktiven Widerstandspressschweißen .....	333
4.1.3.2	Sauerstoff.....	299	5.2.2.3	Mechanischer Teil der Schweißeinrichtungen.....	338
4.1.3.3	Brenngase.....	301	5.2.3	Widerstandspunktschweißen (Prozess 21).....	339
4.1.3.4	Gegenüberstellung von Gasen der Autogentechnik .....	309	5.2.3.1	Verfahrensmerkmale.....	339
4.1.4	Sicherheitshinweise und -vorschriften für den Umgang mit Sauerstoff und Brenngasen .....	310			
4.1.5	Armaturen und Zubehör.....	311			
4.1.5.1	Allgemeines.....	311			
4.1.5.2	Druckminderer .....	311			



5.2.3.2	Verfahrensprinzip/ -beschreibung .....	340	5.2.6.2	Verfahrensprinzip/ -beschreibung .....	387
5.2.3.3	Schweißanlagenaufbau.....	342	5.2.6.3	Schweißanlagenaufbau.....	387
5.2.3.4	Elektroden zum Wider- standspunktschweißen.....	343	5.2.6.4	Schweißbeignung .....	389
5.2.3.5	Schweißbeignung .....	346	5.2.6.5	Konstruktive Gestaltung .....	389
5.2.3.6	Konstruktive Gestaltung .....	350	5.2.6.6	Fertigungshinweise.....	390
5.2.3.7	Fertigungshinweise.....	352	5.2.6.7	Qualitätssicherung.....	392
5.2.3.9	Prüfen der Schweiß- verbindung .....	359	5.2.6.8	Prüfen der Schweiß- verbindung .....	393
5.2.3.10	Verfahrensvarianten.....	361	5.2.7	Pressstumpfschweißen (Prozess 25).....	393
5.2.3.11	Arbeits- und Gesundheits- schutz .....	362	5.2.7.1	Verfahrensmerkmale .....	393
5.2.4	Rollennahtschweißen (Prozess 22).....	363	5.2.7.2	Verfahrensprinzip/ -beschreibung .....	394
5.2.4.1	Verfahrensmerkmale .....	363	5.2.7.3	Schweißanlagenaufbau.....	395
5.2.4.2	Verfahrensprinzip/ -beschreibung .....	363	5.2.7.4	Schweißbeignung .....	396
5.2.4.3	Schweißanlagenaufbau.....	364	5.2.7.5	Konstruktive Gestaltung .....	396
5.2.4.4	Elektroden zum Rollennaht- schweißen .....	366	5.2.7.6	Fertigungshinweise.....	397
5.2.4.5	Schweißbeignung .....	367	5.2.7.7	Qualitätssicherung.....	398
5.2.4.6	Konstruktive Gestaltung .....	368	5.2.7.8	Prüfen der Schweiß- verbindung .....	398
5.2.4.7	Fertigungshinweise.....	369	5.2.7.9	Verfahrensvariante Kammerschweißen.....	398
5.2.4.8	Qualitätssicherung.....	371	5.3	<i>Induktives Widerstandspressschweißen..</i>	399
5.2.4.9	Prüfen der Schweiß- verbindung .....	373	5.3.1	Widerstandserwärmung durch induktive Strom- übertragung .....	399
5.2.4.10	Verfahrensvarianten.....	373	5.3.2	Ausrüstungen zum induktiven Widerstands- pressschweißen .....	400
5.2.5	Buckelschweißen (Prozess 23).....	376	5.3.2.1	Aufbau einer induktiven Widerstandsschweiß- maschine.....	400
5.2.5.1	Verfahrensmerkmale .....	376	5.3.2.2	Schweißstromquellen zum induktiven Widerstands- pressschweißen .....	401
5.2.5.2	Verfahrensprinzip/ -beschreibung .....	377	5.3.2.3	Mechanischer Teil der Schweißeinrichtungen.....	401
5.2.5.3	Schweißanlagenaufbau.....	377	5.3.3	Induktives Hochfrequenz- schweißen (Prozess 743).....	402
5.2.5.4	Elektroden zum Buckel- schweißen .....	378	5.3.3.1	Verfahrensmerkmale .....	402
5.2.5.5	Schweißbeignung .....	379	5.3.3.2	Verfahrensprinzip/ -beschreibung .....	402
5.2.5.6	Konstruktive Gestaltung .....	380	5.3.3.3	Schweißbeignung .....	404
5.2.5.7	Fertigungshinweise.....	382	5.3.3.4	Fertigungshinweise.....	405
5.2.5.8	Qualitätssicherung.....	383	5.3.4	Induktives Stumpfschweißen (Prozess 741) .....	405
5.2.5.9	Prüfen der Schweiß- verbindung .....	385			
5.2.5.10	Verfahrensvarianten.....	385			
5.2.6	Abtrennstumpfschweißen (Prozess 24).....	386			
5.2.6.1	Verfahrensmerkmale .....	386			

5.4	<i>Elektroschlackeschweißen (Prozess 72) ..</i>	406	6.3.3	Weitere Verfahren der Elektronenstrahlmaterialbearbeitung .....	439
5.4.1	Grundlagen zum Elektroschlackeschweißen.....	406	6.3.4	Strahlenschutz.....	440
5.4.2	Elektroschlacke-Verbindungsschweißen .....	407	6.4	<i>Laserstrahlschweißen (Prozess 52).....</i>	441
5.4.2.1	Verfahrensprinzip/-beschreibung .....	407	6.4.1	Grundlagen des Laserstrahlschweißens .....	443
5.4.2.2	Schweißanlagenaufbau.....	408	6.4.1.1	Entstehung und Besonderheiten von Laserlicht .....	443
5.4.2.3	Schweißpulver .....	409	6.4.1.2	Eigenschaften des Laserlichts .....	445
5.4.2.4	Zusatzwerkstoff .....	410	6.4.2	Laseranlagen.....	445
5.4.2.5	Schweißbeignung .....	410	6.4.2.1	Laserstrahlquellen .....	445
5.4.2.6	Fertigungshinweise.....	410	6.4.2.2	Laserstrahlführung .....	452
5.4.2.7	Verfahrensvarianten.....	412	6.4.2.3	Fokussierende Optiken.....	453
5.4.3	Elektroschlacke-Auftragsschweißen.....	413	6.4.2.4	Bewegungseinrichtungen ....	454
5.4.3.1	Verfahrensprinzip/-beschreibung .....	413	6.4.2.5	Steuerung und Bedienung....	454
5.4.3.2	Schweißanlagenaufbau.....	414	6.4.3	Anwendung des Laserstrahlschweißens .....	455
5.4.3.3	Schweißpulver .....	415	6.4.3.1	Tiefschweißeffekt .....	455
5.4.3.4	Zusatzwerkstoff .....	415	6.4.3.2	Vorbereitung der Werkstücke .....	456
5.4.3.5	Fertigungshinweise.....	415	6.4.3.3	Schweißparameter und Hinweise für die Schweißpraxis .....	456
6	<b>Schweißen mit Strahlen.....</b>	<b>417</b>	6.4.3.4	Schweißbeignung metallischer Werkstoffe .....	462
6.1	<i>Grundlagen der Strahltechnik .....</i>	417	6.4.3.5	Industrielle Anwendung .....	464
6.2	<i>Lichtstrahlschweißen – Schweißen mit inkohärentem Licht (Prozess 75) .....</i>	418	6.4.4	Weitere Verfahren der Lasermaterialbearbeitung ....	465
6.3	<i>Elektronenstrahlschweißen (Prozess 51).....</i>	419	6.4.4.1	Überblick .....	465
6.3.1	Grundlagen des Elektronenstrahlschweißens.....	420	6.4.4.2	Laserstrahlschneiden .....	466
6.3.1.1	Entstehung und Besonderheiten des Elektronenstrahls.....	420	6.4.4.3	Additive Fertigung mit dem Laserstrahl.....	468
6.3.1.2	Elektronenstrahlerzeugung..	421	6.4.5	Strahlenschutz.....	473
6.3.1.3	Elektronenstrahlführung .....	422	6.4.6	Gegenüberstellung Elektronenstrahlschweißen – Laserstrahlschweißen.....	474
6.3.1.4	Elektronenstrahlschweißanlagen.....	423	7	<b>Schweißen durch Bewegungsenergie</b>	<b>478</b>
6.3.2	Anwendung des Elektronenstrahlschweißens.....	427	7.1	<i>Grundlagen zur schweißtechnischen Nutzung kinetischer Energie.....</i>	478
6.3.2.1	Tiefschweißeffekt .....	427	7.2	<i>Reibschweißen.....</i>	478
6.3.2.2	Vorbereitung der Werkstücke .....	429	7.2.1	Rotationsreibschweißen (Prozess 42).....	478
6.3.2.3	Schweißparameter und Hinweise für die Schweißpraxis .....	431	7.2.1.1	Verfahrensprinzip .....	479
6.3.2.4	Schweißbeignung metallischer Werkstoffe .....	435			
6.3.2.5	Industrielle Anwendung .....	438			

7.2.1.2	Ausrüstungen.....	479	<b>8</b>	<b>Schweißen durch festen Körper.....</b>	<b>509</b>
7.2.1.3	Anwendungsbereich .....	482	<i>8.1</i>	<i>Grundlagen zur schweißtechnischen</i>	
7.2.1.4	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit .....	483	<i>8.2</i>	<i>Nutzung von Heizelementen .....</i>	509
7.2.1.5	Fertigungshinweise.....	484		<i>Heizelementschweißen.....</i>	509
7.2.1.6	Richtwerte .....	487	8.2.1	Verfahrensprinzip .....	509
7.2.2	Linearreibschweißen .....	487	8.2.2	Anwendungsbereich, Ausrüstungen .....	510
7.3	<i>Rührreibschweißen (Prozess 43).....</i>	489	8.2.3	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit .....	511
7.3.1	Verfahrensprinzip.....	489	8.2.4	Fertigungshinweise.....	511
7.3.2	Ausrüstungen.....	490			
7.3.3	Anwendungsbereiche .....	491	<b>9</b>	<b>Schweißen mit Metallschmelzen .....</b>	<b>512</b>
7.3.4	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit .....	492	<i>9.1</i>	<i>Grundlagen der schweißtechnischen</i>	
7.3.5	Fertigungshinweise.....	493		<i>Nutzung von Metallschmelzen .....</i>	512
7.3.6	Punktreibschweißen .....	493	<i>9.2</i>	<i>Gießschweißen (Thermitschweißen).....</i>	512
7.3.6.1	Verfahrensprinzip.....	493	9.2.1	Aluminothermisches Schmelzschweißen (Prozess 71).....	512
7.3.6.2	Anwendungsbereiche .....	494	9.2.1.1	Verfahrensprinzip .....	512
7.4	<i>Ultraschallschweißen (Prozess 41) .....</i>	495	9.2.1.2	Anwendungsbereich .....	513
7.4.1	Verfahrensprinzip.....	495	9.2.1.3	Ausrüstungen.....	514
7.4.2	Ausrüstungen.....	496	9.2.1.4	Fertigungshinweise.....	514
7.4.3	Anwendungsbereiche .....	497	9.2.2	Aluminothermisches Pressschweißen .....	515
7.4.4	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit .....	498	9.2.2.1	Verfahrensprinzip .....	515
7.4.5	Fertigungshinweise.....	498	9.2.2.2	Anwendungsbereich .....	515
7.5	<i>Kaltpressschweißen (Prozess 48) .....</i>	498	9.2.2.3	Fertigungshinweise.....	515
7.5.1	Verfahrensprinzip.....	500	<i>9.3</i>	<i>Besondere Gefährdungen.....</i>	516
7.5.2	Anwendungsbereich.....	501			
7.5.3	Konstruktive Gestaltung.....	502	<b>10</b>	<b>Schweißen durch Diffusion.....</b>	<b>517</b>
7.5.4	Fertigungshinweise .....	503	<i>10.1</i>	<i>Grundlagen zur schweißtechnischen</i>	
7.6	<i>Sprengschweißen (Prozess 441).....</i>	503		<i>Nutzung der Diffusion .....</i>	517
7.6.1	Verfahrensprinzip.....	504	<i>10.2</i>	<i>Diffusionsschweißen (Prozess 45).....</i>	517
7.6.2	Anwendungsbereich .....	505	10.2.1	Verfahrensprinzip .....	518
7.6.3	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit .....	505	10.2.2	Anwendungsbereich .....	519
7.6.4	Fertigungshinweise.....	506	10.2.3	Konstruktive Gestaltung .....	520
7.6.5	Spezielle Gefährdungen .....	506	10.2.4	Fertigungshinweise.....	520
7.7	<i>Magnetpulsschweißen (Prozess 442) .....</i>	506			
7.7.1	Verfahrensprinzip.....	507			
7.7.2	Anwendungsbereich .....	507			
7.7.3	Spezielle Gefährdungen .....	508			
				<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>523</b>
				<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>541</b>

# 1

## Grundlagen

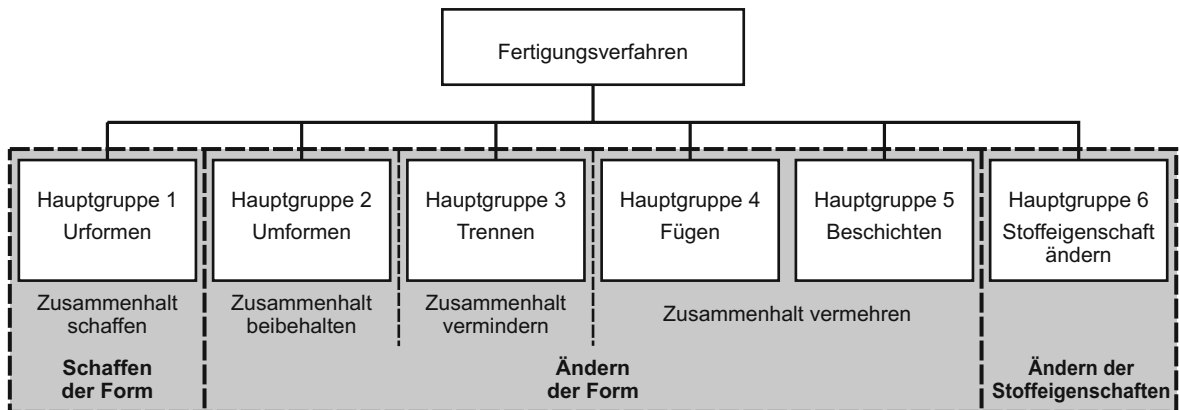
### 1.1 Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580

Produktion (lat.: producere = hervor führen) ist der Prozess der Transformation von Ausgangsstoffen (Rohstoffen) in fertige bzw. weiter zu verarbeitende Produkte bzw. (Wirtschafts-)Güter. Dies erfolgt unter Einsatz von Energie sowie mithilfe spezifischer Produktionsmittel – sogenannter **Produktionstechnik** – nach festgelegtem Schema, d. h. auf der Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse in Verfahren und Prozessen, die vom Menschen technologisch beherrscht werden. Die für die Produktion von Gütern mit geometrisch bestimmter Form aus festen Stoffen erforderlichen Bearbeitungsvorgänge werden als **Fertigungsverfahren** bezeichnet. Fertigungsverfahren können durch die Arbeitskraft des Menschen manuell vollzogen werden oder mechanisiert bzw. automatisiert erfolgen. Der Fortschritt in der

industriellen Produktionstechnik wird maßgeblich durch Mechanisierung bzw. Automatisierung des **Fertigungsprozesses** sowie der Optimierung seiner Elemente (Arbeitsgegenstand – Arbeitsmittel – Arbeitskraft) zueinander und zur Fertigungsorganisation bestimmt.

Die Vielzahl der Fertigungsverfahren zwingt zur Einordnung in ein überschaubares System, in dem sowohl die bislang bekannten, aber auch die in der Zukunft neu entwickelten Verfahren Platz finden. Die Einteilung der Fertigungsverfahren erfolgt entsprechend DIN 8580 in sechs Hauptgruppen: Urformen, Umformen, Trennen, Fügen, Beschichten und Stoffeigenschaft ändern (Bild 1.1).

Die Fertigungsverfahren lassen sich u. a. nach der Art ihrer Wirkungsweise auf den zu bearbeitenden Werkstoff unterscheiden. Dabei bestehen wechselseitige Anforderungen zwischen dem Fertigungsverfahren und dem Werkstoff. So sind einerseits nicht alle Verfahren auf jeden Werkstoff anwendbar und andererseits lässt sich nicht jeder Werkstoff mit jedem



**Bild 1.1** Einteilung der Fertigungsverfahren nach Art des Zusammenhalts und deren Wirkungsweise nach DIN 8580

**Tabelle 1.1** Teiloperationen des Montageprozesses nach VDI 2860

Montage				
Fügen (DIN 8593)	Handhaben (VDI 2860)	Kontrollieren (VDI 2860)	Justieren durch	Sonderoperation
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zusammensetzen</li> <li>▪ Füllen</li> <li>▪ Anpressen und Einpressen</li> <li>▪ Fügen durch Urformen</li> <li>▪ Fügen durch Umformen</li> <li>▪ Fügen durch Schweißen</li> <li>▪ Fügen durch Löten</li> <li>▪ Fügen durch Kleben</li> <li>▪ textiles Fügen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Speichern</li> <li>▪ Mengen verändern</li> <li>▪ Bewegen</li> <li>▪ Sichern</li> <li>▪ Kontrollieren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Messen</li> <li>▪ Prüfen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Einformen</li> <li>▪ Umformen</li> <li>▪ Trennen</li> <li>▪ Fügen von Ausgleichsteilen</li> <li>▪ Einstellen</li> <li>▪ Nachbehandeln</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Markieren</li> <li>▪ Erwärmen</li> <li>▪ Kühlen</li> <li>▪ Reinigen</li> <li>▪ Entgraten</li> <li>▪ Bedrucken</li> <li>▪ Abdecken</li> <li>▪ Abziehen</li> <li>▪ Auspacken</li> <li>▪ Ölen</li> <li>▪ Einsprühen</li> <li>▪ Abdichten</li> </ul>

Fertigungsverfahren sinnvoll bearbeiten. Diese Einflüsse und Wechselbeziehungen müssen sowohl bei der Produkt- und Fertigungsprozessgestaltung als auch beim Qualitätsmanagement berücksichtigt werden. Für das Fügen und besonders beim stoffschlüssigen Fügen, wie z. B. Schweißen, Löten, Kleben u. a., besteht in besonderem Maße diese Abhängigkeit, da hier neben Bauteilen aus artgleichen Werkstoffen auch Werkstoffkombinationen gefügt werden. Dies zeigt auch, dass das Fügen eine besondere, grundlegende Bedeutung besitzt. Einerseits existieren kaum monolithische Produkte und andererseits ermöglicht das Fügen die Herstellung komplexer Produkte aus einzelnen, fertigungstechnisch einfacher herzustellenden Bauteilen und erreicht damit außerdem eine Flexibilität in der Prozesskette.

Neben der Einteilung des Fügens in die Gruppe der Fertigungsverfahren ist Fügen auch eine primäre Operation der **Montage**, zu der auch sekundäre Vorgänge wie Handhaben, Kontrollieren, Justieren sowie weitere Sonderoperationen, wie z. B. Reinigen oder Markieren, gehören (Tabelle 1.1). Das Fügen bewirkt bei der Montage, d. h. beim gezielten Zusammenbau, den aktiven Fertigungsfortschritt am

Werkstück bzw. Arbeitsgegenstand hin zum Produkt, d. h., der Zusammenhalt zwischen den Einzelteilen und Baugruppen wird örtlich geschaffen und insgesamt vermehrt.

Unterschiedliche Werkstoffe, wie Metall, Holz, Kunststoff, Textil oder Papier, erfordern jeweils spezifische Fügeverfahren. Gefügt werden können zwei Bauteile **unmittelbar**, d. h. ohne zusätzliche Stoffe, aber auch **mittelbar** mithilfe eines **Verbindungselements**, wie z. B. Schraube, Niet, Nagel oder Spreizring, bzw. eines **Zusatzwerkstoffes** wie Vergussmittel, Schweißelektrode oder Kitt. Dementsprechend gibt es eine große Anzahl verschiedenartiger Fügeverfahren.

Die Unterteilung der Fertigungsverfahrenshauptgruppe „Fügen“ in Gruppen erfolgt in DIN 8593-0 nach dem Ordnungsgesichtspunkt „Art des Zusammenhalts unter Berücksichtigung der Art der Erzeugung“. Die Arten des Zusammenhalts lassen sich dabei unterscheiden in

- Schwerkraft (Reiben), Formschluss oder Federkraft beim Zusammensetzen,
- Einschluss in einen das Füllgut umschließenden Körper beim Füllen,

- Kraftschluss beim An- und Einpressen,
- Formschluss, der durch Urformen bzw. Umformen hervorgerufen wird,
- Stoffverbindung beim Schweißen und Löten,
- Adhäsion beim Kleben sowie
- Formschluss und/oder Kraftschluss bei textilen Faserstoffen.

Daraus resultierend ergibt sich die Einteilung der Hauptgruppe „Fügen“ in neun Verfahrensgruppen (Bild 1.2).

Für das **Fügen** wurde folgende Definition entwickelt:

Fügen ist ein auf Dauer angelegtes Verbinden oder sonstiges Zusammenbringen von zwei oder mehreren Werkstücken (Fügeteilen) geometrisch bestimmter fester Form oder von ebensolchen Werkstücken mit formlosem Stoff, dabei wird der Zusammenhalt örtlich geschaffen und im Ganzen vermehrt.

Der Bereich der Fügeteile, in dem die Verbindung gezielt hergestellt wird, ist die **Fügestelle**. Diese variiert je nach Fügeverfahren in ihren Abmessungen und spezifischen Eigenschaften. Als **Fügevorgang** wird die zeitliche Folge der technologischen Operationen beim Fügen bezeichnet, wie z. B. „In-Lagebringen“, „In-Lage-halten“ etc. Der **Fügeprozess** ist die Wechselbeziehung der Elemente des Prozesses sowie deren Wirkung aufeinander in ihrer zeitlichen Folge. Elemente des Fügeprozesses sind u. a. Arbeitsgegenstand (Fügeteile), Arbeitsmittel (z. B. Schweißbrenner, Zusatzwerkstoff etc.), Arbeitskraft (des Menschen) und Arbeitsorganisation (z. B. Gruppenarbeit).

## 1.2 Fügen durch Schweißen

Beim Fügen durch **Schweißen** wird der Zusammenhalt durch Stoffverbinden unter Anwendung von Wärme und/oder Kraft mit oder ohne Schweißzusatz erzielt. Dies wird teilweise durch den Einsatz von Schweißhilfsstoffen wie Schutzgasen, Schweißpulver oder Pasten erst ermöglicht oder kann durch diese erweitert werden. Kennzeichnend für eine

Schweißverbindung ist, dass alle Fügeteile sowie eventuell verwendete Zusatzwerkstoffe aus artgleichen bzw. artähnlichen Werkstoffen bestehen und daher auch näherungsweise gleiche Schmelztemperaturen aufweisen.

Die Fügestelle wird beim Schweißen als **Schweißzone** bezeichnet und umfasst das **Schweißgut** (tatsächlich aufgeschmolzener Werkstoff) und die **Wärmeeinflusszone (WEZ)**. Die WEZ ist der durch das Schweißen verfahrensbedingt thermisch beeinflusste Bereich direkt neben dem Schweißgut, in dem es infolge der thermischen Beeinflussung zu werkstofflichen Veränderungen (z. B. Kornveränderungen, Diffusionsvorgängen) kommen kann.

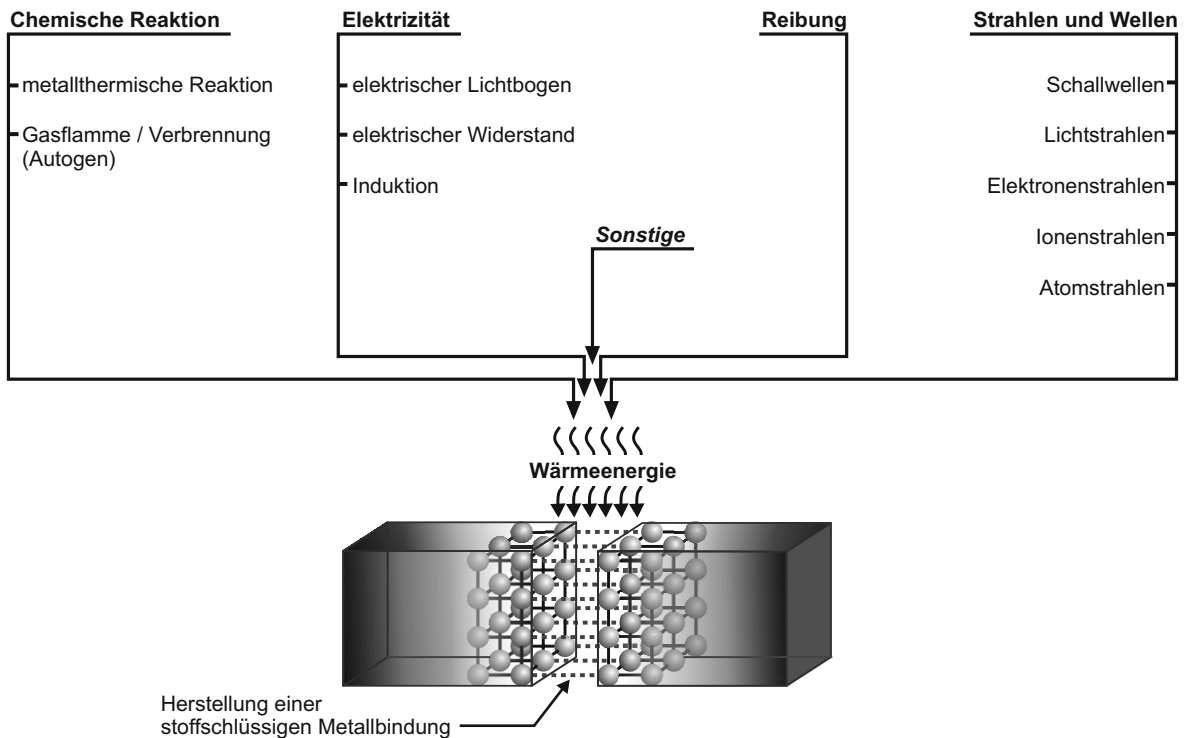
Die zum Schweißen erforderliche Energie wird stets von außen in die Fügeteile eingebracht, wobei dies verfahrensabhängig mehr oder weniger lokal an der eigentlichen Fügestelle erfolgt. Dabei können verschiedene physikalische Energieformen Anwendung finden. Die für das Schweißen häufigste Form ist **thermische Energie**, die als **Wärme** zugeführt wird. Das ermöglicht in vielen Fällen den Fügevorgang bzw. fördert in der Regel den Fügeprozess. Typische Formen der Wärmeerzeugung sind chemische Reaktionen, die Wirkung des elektrischen Stroms, Reibung, Wirkung von Strahlen u. a. (Bild 1.3).

Beim Schweißen unter ausschließlicher Anwendung von thermischer Energie wird der Werkstoff an der Fügestelle lokal bis zum Schmelzpunkt der Fügeteile erwärmt, dies führt zum Stoffverbinden. Dieser Prozess wird aus diesem Grund als **Schmelzschiessen** bezeichnet.

Neben der Einwirkung von Wärme kann der Schweißvorgang auch unter der Wirkung von Kraft oder Druck auf die Fügestelle bzw. einer Relativbewegung der Fügeteile erfolgen. Häufig ist eine zusätzliche Wärmeeinbringung erforderlich. Derartige Prozesse werden als **Pressschweißen** bezeichnet.

1 Urformen DIN	2 Umformen DIN 8582	3 Trennen	4 Fügen DIN 8593-0	5 Beschichten	6 Stoffeigen- schaft ändern
1.1 Urformen aus dem flüssigen Zustand	2.1 Druckumformen DIN 8583-1	3.1 Zerteilen DIN 8588	4.1 Zusammensetzen DIN 8593-1	5.1 Beschichten aus dem flüssigen Zustand	6.1 Verfestigen durch Umformen
1.2 Urformen aus dem plastischen Zustand	2.2 Zugdruckumformen DIN 8584-1	3.2 Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden DIN 8589-0	4.2 Füllen DIN 8593-2	5.2 Beschichten aus dem plastischen Zustand	6.2 Wärmebehandeln DIN EN ISO 4885
1.3 Urformen aus dem breiigen Zustand	2.3 Zugumformen DIN 8585-1	3.3 Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden DIN 8589-0	4.3 An- und Einpressen DIN 8593-3	5.3 Beschichten aus dem breiigen Zustand	6.3 Thermo- mechanisches Behandeln
1.4 Urformen aus dem körnigen oder pulverförmigen Zustand	2.4 Biegeumformen DIN 8586	3.4 Abtragen DIN 8590	4.4 Fügen durch Urformen DIN 8593-4	5.4 Beschichten aus dem körnigen oder pulverförmigen Zustand	6.4 Sintern Brennen
1.5 Urformen aus dem span- oder faserförmigen Zustand	2.5 Schubumformen DIN 8587	3.5 Zerlegen DIN 8591	4.5 Fügen durch Umformen DIN 8593-5	Die Gruppe 5.5 entfällt, da Beschichten aus dem spanförmigen Zustand nicht vorkommt.	6.5 Magnetisieren
Da Schweißen und Löten beim Urformen im Gegensatz zum Beschichten nicht zur Anwendung kommen, bleiben die Gruppennummern 1.6 und 1.7 frei.		3.6 Reinigen DIN 8592	4.6 Fügen durch Schweißen DIN 8593-6		5.6 Beschichten durch Schweißen
		4.7 Fügen durch Löten DIN 8593-7 DIN ISO 857-2	5.7 Beschichten durch Löten	6.7 Photo- chemische Verfahren	
1.8 Urformen aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand			4.8 Kleben DIN 8593-8	5.8 Beschichten aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand (Vakuumbeschichten)	
1.9 Urformen aus dem ionisierten Zustand			4.9 Textiles Fügen	5.9 Beschichten aus dem ionisierten Zustand	

**Bild 1.2** Detaillierte Übersicht der Fertigungsverfahren nach DIN 8580



**Bild 1.3** Formen der Wärmeerzeugung an der Fugestelle

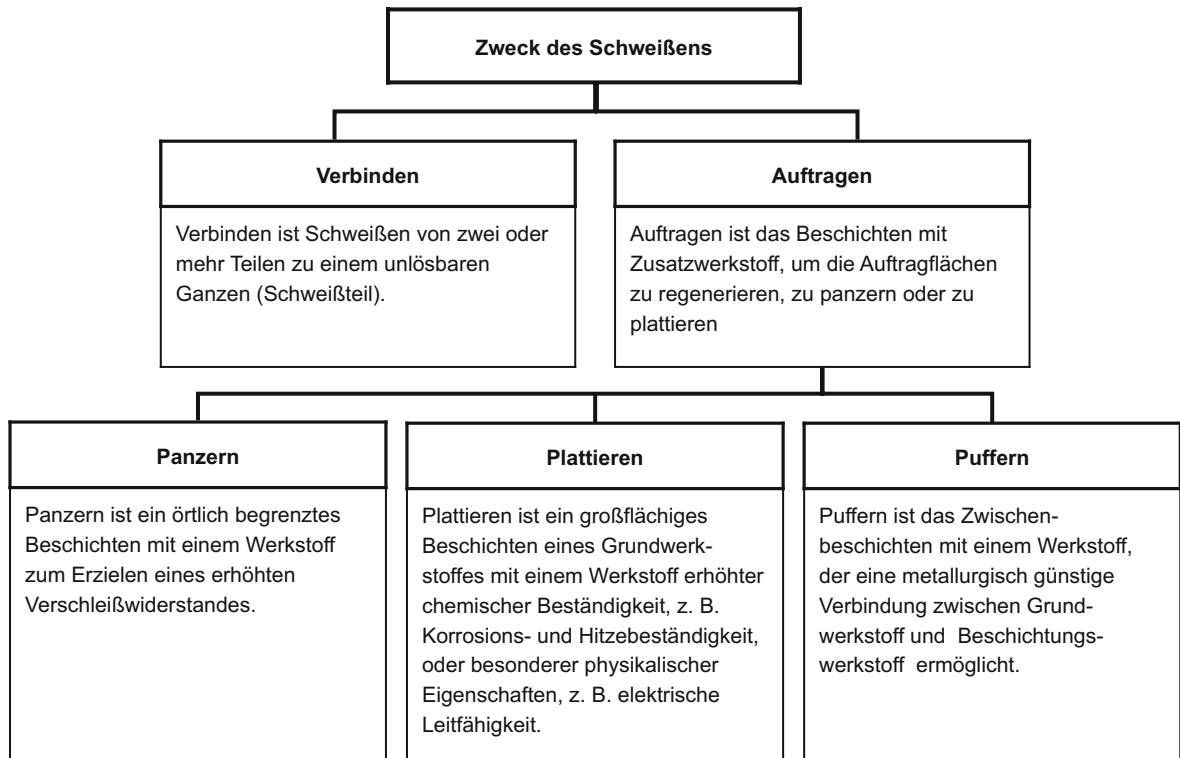
Eine weitere Unterscheidung der Schweißverfahren nach dem Grad ihrer Mechanisierung und Automatisierung ist ebenso möglich, wie auch nach der Anwendung – d. h. dem Zweck des Schweißens – in Verbindungs- und Auftragschweißverfahren (Bild 1.4). Das Verbindungsschweißen dient der Herstellung von Schweißverbindungen zwischen mindestens zwei Fügeteilen. Auch das **Beschichten** eines Bauteils mit artähnlichem Zusatzwerkstoff, aber beispielsweise höherem Verschleißwiderstand wird als Schweißen (**Auftragschweißen**) bezeichnet. Das Auftragschweißen ist demnach ein stoffschlüssiges Beschichten von Flächen, das je nach der Art der Zusammensetzung des Schweißzusatzes unterschieden wird in Panzern, Plattieren und Puffern.

## 1.3 Wirkprinzipien beim Schweißen

Die Schweißverbindung ist eine stoffschlüssige Verbindung. Sie beruht auf der Wirkung zwischenatomarer und zwischenmolekularer Kräfte. Sie zählt zu den **unlöslichen Verbindungen**, die nur durch Materialzerstörung getrennt werden können, z. B. durch mechanische oder thermische Trennverfahren.

Im Folgenden werden ausschließlich Metalle betrachtet. Deren Zusammenhalt basiert auf sogenannter Metallbindung, einer Sonderform der chemischen Bindung, wie sie bei Metallen und in deren Legierungen auftritt. Diese ist gekennzeichnet durch frei bewegliche Elektronen (sogenanntes „**Elektronengas**“) innerhalb eines Metallgitters aus Metallionen, was zugleich auch Ursache für Stromleitfähigkeit, Duktilität (Schmiedbarkeit, Verform-





**Bild 1.4** Einteilung des Schweißens nach dessen Zweck

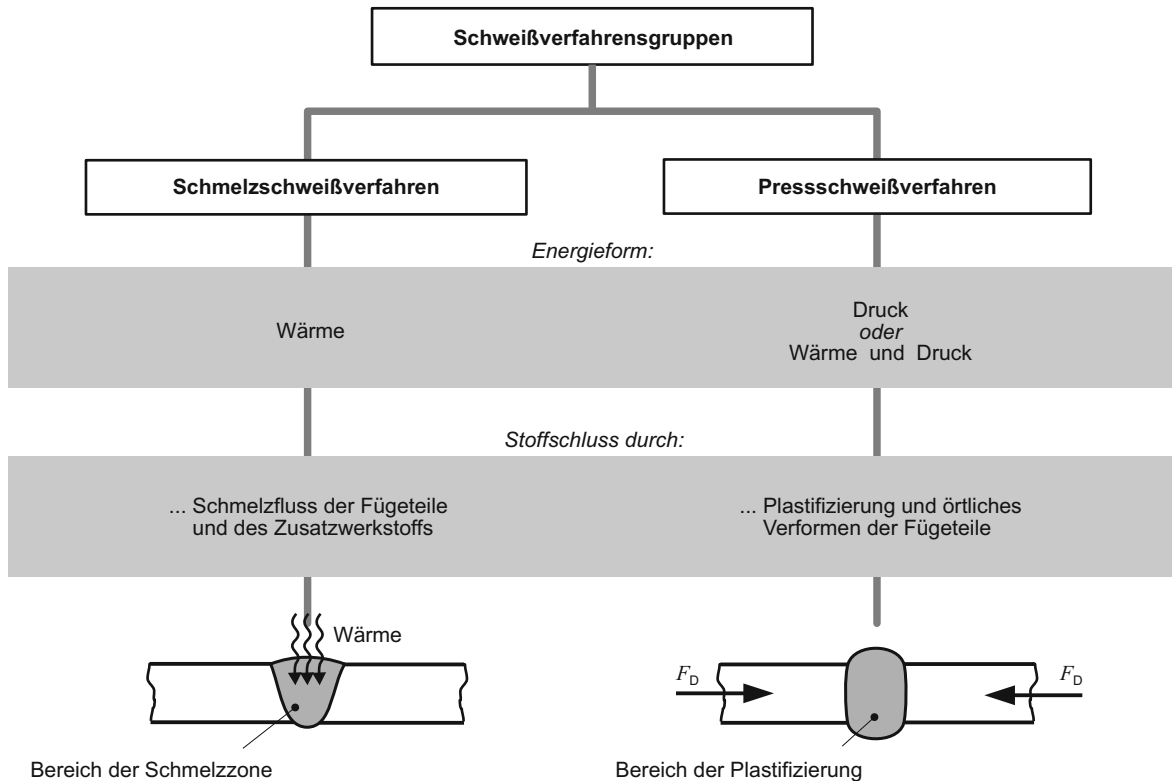
barkeit) und den metallischen Glanz dieser Werkstoffe ist. Die eigentliche Bindung innerhalb des Metalls erfolgt durch Anziehungskräfte zwischen Metallionen und freien Elektronen.

Um eine Verbindung zweier fester Metalle herzustellen, ist es notwendig, die Metallgitterstruktur beider Fügepartner sehr stark anzunähern, damit die chemische Bindung der Metallionen an der Oberfläche des Werkstoffes (in der Fügestelle) wirksam wird. Zusätzlich zur Annäherung ist aber auch die Entfernung jeglicher Fremdschichten auf der Oberfläche (z. B. Oxide, Verunreinigungen etc.) der beiden Fügepartner im Bereich der Fügestelle erforderlich. Diese Anforderungen können u. a. durch das Aufschmelzen des Werkstoffes bzw. durch starke Druckeinwirkung oder auch Relativbewegung der Fügepartneroberflächen zueinander erzielt werden.

Schmelz- und Pressschweißen unterscheiden sich in deren physikalischem Ablauf. Das **Schmelzschweißen** ist ein Fügen bei örtlich begrenztem Schmelzfluss ohne Anwendung von Kraft mit oder ohne Schweißzusatz. Das **Pressschweißen** erfolgt unter Anwendung von Kraft ohne oder mit Schweißzusatz. Örtlich begrenztes Erwärmen der Fügepartner an der Fügestelle – auch bis zum Schmelzpunkt – ermöglicht oder erleichtert das Schweißen.

Bild 1.5 zeigt die **Wirkpaarungen** zwischen thermischer und mechanischer Energie, die je nach fertigungstechnischer und gerätetechnischer Umsetzung eine Einteilung der Schweißverfahren nach den **Wirkprinzipien** für das Pressschweißen und für das Schmelzschweißen zulassen.

In Tafel 1.1 werden ausgewählte Schweißverfahren entsprechend dieser Einteilung nach den Wirkprinzipien dargestellt. Diese Einteilung bei der



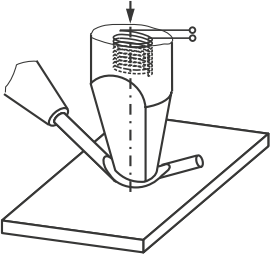
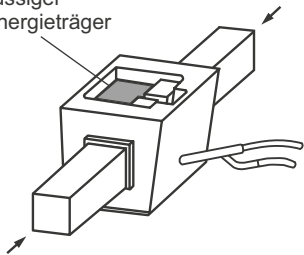
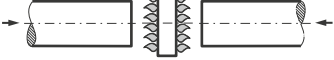
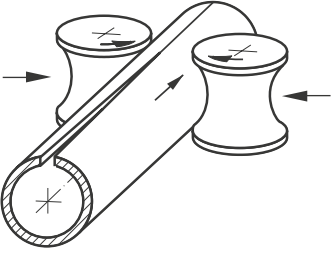
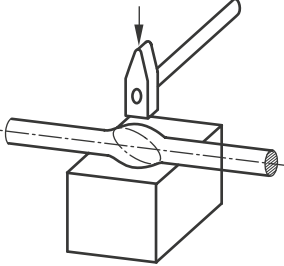
**Bild 1.5** Wirkpaarungen beim Schweißen

Herstellung der Schweißverbindung ist ebenfalls Grundlage des Aufbaus dieses Buches in den nachfolgenden Kapiteln.

Für die in Tafel 1.1 dargestellten Verfahren wird neben der Verfahrensbezeichnung – sofern vorhanden – auch die jeweilige **Ordnungsnummer** (ONr.) für Schweißverfahren nach DIN EN ISO 4063 angegeben, die auch Anwendung in den weiteren Kapiteln dieses Buches findet. Die Gliederung dieser

höchstens dreistelligen Ordnungsnummer basiert in der ersten Ziffer auf dem physikalischen Grundprinzip, d.h. dem eingesetzten Energieträger zur Durchführung des Schweißens, wird aber gleichfalls für das thermische Schneiden sowie für Lötverfahren angewendet. Die nachfolgenden Ziffern (eine oder zwei) kennzeichnen gegebenenfalls vorhandene Verfahrensuntergruppen und -varianten.

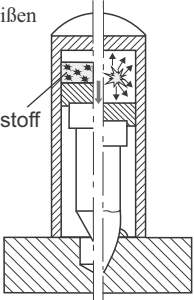
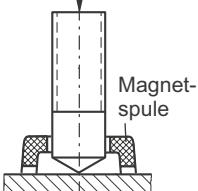
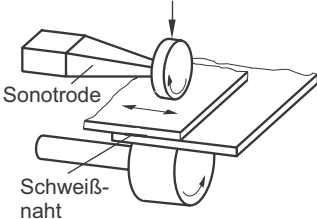
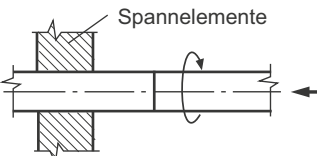
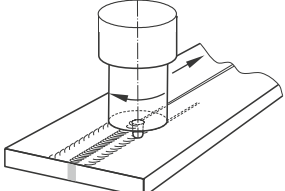
**Tafel 1.1** Wirkprinzipien beim Schmelz- und Pressschweißen (in Anlehnung an DIN 8593-6)

Untergruppe	Wirkprinzip	Beschreibung [Ordnungsnummer]		Beispiel	
6.1 Press- schweißen	6.1.1 ... durch feste Körper	Heizelement- schweißen	Fügen von Werkstücken durch Anpressen mit einem beheizten Schweißwerkzeug		
	6.1.2 ... durch Flüssigkeit	Gießpress- schweißen	Fügen, indem die Fügestelle der Werkstücke durch Umgießen mit einem flüssigen Energieträger erwärmt und ver- presst wird		
	6.1.3 ... durch Gas	Gaspress- schweißen [ONr. 47]		Fügen durch Ver- pressen von Werk- stücken mit durch Flammen erwär- mten Stoßflächen	
		Walz- schweißen		Fügen, indem erwärmte Werk- stücke gemeinsam gewalzt werden	
		Feuer- schweißen	Fügen von Werk- stücken durch Freiformen, Gesenkformen oder Durchdrücken der durch Feuer erwär- mten Stoßflächen		

Tafel 1.1 (Fortsetzung)

Untergruppe	Wirkprinzip	Beschreibung [Ordnungsnummer]		Beispiel
6.1 Press- schweißen	6.1.3 ... durch Gas	Diffusions- schweißen [ONr. 45]	Fügen von Werk- stücken im Vaku- um, unter Schutz- gas oder in einer Flüssigkeit auf- grund von Diffu- sion an den Stoß- flächen durch Wärme und Kraft	<p>Heizelemente</p> <p>Werkstücke</p> <p>Arbeits- kammer</p>
	6.1.4 ... durch elektrische Gasent- ladung	Lichtbogen- press- schweißen	Fügen durch Ver- pressen von Werk- stücken, die durch einen kurzzeitig brennenden Licht- bogen erwärmt wurden	<p>Bolzenschweißen [ONr. 78]</p> <p>Licht- bogen</p> <p>alternative Verfahrensvariante: Schweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen [ONr.185]</p>
	6.1.5 ... durch Strahlung	Lichtstrahl- Extrusions- schweißen  <i>Nur für Kunststoffe bekannt</i>	Kunststoff wird über einen durch Lichtstrahl beheizten Extruder zum Schweißkopf geführt, der die beheizte Masse zwischen die vorher erwärmten Stoß- flächen drückt	<p>Schweiß- schuh</p> <p>Zuführung Schweiß- zusatz</p> <p>Schweiß- gerät</p> <p>Vorwärmung</p>
	6.1.6 ... durch Bewegung	Kaltpress- schweißen [ONr. 48]	Fügen, indem Werkstücke an der Fügestelle durch stetige Kraftein- wirkung ohne Wärme stark plastisch verformt werden	

Tafel 1.1 (Fortsetzung)

Untergruppe	Wirkprinzip	Beschreibung [Ordnungsnummer]		Beispiel
6.1 Press- schweißen	6.1.6 ... durch Bewegung	Schock- schweißen	Fügen von Werk- stücken durch schlagartige Krafteinwirkung	Sprengschweißen [ONr. 441]  
				Magnetpuls- schweißen [ONr. 442]  
		Ultraschall- schweißen [ONr. 41]	Fügen durch Kraft und schwingende Bewegung mit Frequenzen im Ultraschallbereich ( $f \geq 20$ kHz)	
		Reib- schweißen [ONr. 42]	Fügen, indem die durch Reibung erwärmten Werkstücke miteinander verpresst werden	<i>mind. ein Werkstück wird bewegt:</i> Rotationsreibschweißen   <i>Werkstücke werden nicht bewegt:</i> Rührreibschweißen [ONr. 43] 

# Sachwortverzeichnis

## Symbole

4-Niveau-Laser 444

## A

Abbrennstumpfschweißen 386  
– Längenverlust 389  
Ablängen 58  
Ablenkfiguren 433  
Absaugung 474  
Abschmelzleistung 204  
Absorption 443  
Aceton 305  
Acetylenentwickler 304  
Acetylen-Luft-Gemisch 301  
Acetylenzerfall 301  
Additive Fertigung  
– mittels Elektronenstrahl 440  
– mittels Laser 468  
– mittels MSG-Schweißen 217  
– mittels PTA-Schweißen 181  
Aluminothermisches  
Schmelzschweißen 514  
Arbeitsgase 460  
Arbeitskammer 423  
Arbeitspunkt 78  
Armaturen 311  
Aspektverhältnis 456  
Aufheizgeschwindigkeit 521  
Auftragschweißen 19, 255  
Aufweitung 459  
Ausbringung 94, 100, 118  
Äußere Regelung, delta U-Regelung  
78  
Austenitbildner 35  
Autogenbrenner 295

## B

Balance 75, 139  
Bandelektroden 97  
– zum Elektroschlacke-  
Auftragschweißen 415  
– zum UP-Schweißen 244  
Basizitätsgrad 103, 235  
Beanspruchungszustand 37  
Beschichten 19  
Beschleunigungsspannung 421  
Besetzungsinversion 444  
Betriebsmittel 299  
Beugungsmaßzahl 458  
BG-Regeln 59  
Blaswirkung 67  
Bolzenschweißen 275  
Bolzenschweißen mit Spitzenzündung  
276  
Bolzenschweißpistole 86  
Brennerhaltungen 327  
Brennweite 458  
Buckelschweißen 376  
– einseitig 385

## C

Calciumcarbid 302  
CO<sub>2</sub>-Gaslaser 448  
CO<sub>2</sub>-Slab-Laser 449  
Crossjet 454

## D

Dampfkanal 429  
Deflagration 314  
Demontage 61  
Detonation 314  
Diffusionsschweißen 517  
Dimethylformamid 305  
Diodenlaser 450

Dissousgasflaschen 305  
Divergenz 445  
Divergenzwinkel 458  
Doppelpulsen 212  
Drahtpulsen 212  
Draht-Pulver-Kombination 243  
Drahttrichtwerk 91  
Drahtvorschubsystem 87  
Druckminderer 112, 311  
Durchtrittstrommessung 432

## E

Edelmetalle  
– Ultraschallschweißen 495  
Edelstähle 33  
Eigenspannungen 56  
Einschaltdauer 81  
Einteilung der Fertigungsverfahren  
nach DIN 8580 15  
Elektroden zum Buckelschweißen  
378  
Elektroden zum Rollennahtschweißen  
366  
Elektrogasschweißen 218  
Elektromagnetische Sensoren  
283  
Elektronengas 19  
Elektronenstrahl 421  
Elektronenstrahlbohren 440  
Elektronenstrahlgenerator 421  
Elektronenstrahlhärten 439  
Elektronenstrahlschweißen 421  
Elektronenstrahlschweißverbindungen  
430  
Elektronenstrahlumschmelzen 440  
Elektroschlacke-Auftragschweißen  
413  
Elektroschlacke-Mehrlagenschweißen  
413

Elektroschlackeschweißen 406  
 – mit abschmelzender Drahtzuführung 412  
 – mit Metallpulverzugabe 413  
 Erdgas 308  
 Erschmelzungsart 32  
 Excimerlaser 451

**F**

Farbkennzeichnung 320  
 Faserlaser 447  
 FEM 43  
 Fensterwirkung 353  
 Ferritbildner 35  
 Fertigungsprozess 15  
 Fertigungsverfahren 15  
 Festkörperlaser 443  
 Filter 474  
 Flachdrahtelektrode  
 – zum MSG-Schweißen 206  
 Flammdurchschlag 314  
 Flamme 291  
 Flammeneinstellungen 293  
 Flammenstörungen 299  
 Flüssiggas 306  
 Fokusdurchmesser 458  
 Fokusposition 433  
 Fokussierzahl 459  
 Folien-Stumpfnahtschweißen 375  
 Folien-Überlappnahtschweißen 375  
 Fördergas 175  
 Formiergas 131, 151, 161, 187  
 Freies Drahtelektrodenende 205, 221, 286  
 Fügbarkeit 29  
 Fuge 320  
 Fügen durch Schweißen 17  
 Fugenform 46  
 Fügeprozess 17  
 Fügestelle 17  
 Fügevorgang 17  
 Fülldrahtelektrode 244  
 Fülldrahtelektroden 99, 197

**G**

Gas 310  
 Gaslaser 443  
 Gaslinse 150  
 Gasrücktritt 314

Gasschläuche 312  
 Gasschmelzschweißen 318  
 Gasschweißen 318  
 Gasverbrauch 320  
 Gebrauchsstellenvorlage 315  
 Gefährdungen beim Sprengschweißen 506  
 Gefährdungsklassen 473  
 Gefügeumwandlungen 34, 56  
 Geprägte Buckel 380  
 Gesteuerter Kurzlichtbogen 209  
 Gleichdruckbrenner 297  
 Grobkornzone 35  
 Güte einer Schweißverbindung 56

**H**

Hauptgruppen der Fertigungsverfahren 316  
 Heißdraht-Drahtvorschubeinheit 91  
 Hilfsstromquelle 167  
 Hochdruckbrenner 297  
 Hochleistungs-Kurzlichtbogen 201  
 Hochleistungs-Sprühlichtbogen 202  
 Hochspannungsschweißanlagen 431  
 Hochspannungszündung 68  
 Hochvakuum-schweißanlagen 424  
 Hubzündungs-Bolzenschweißen 276

**I**

I-Entwickler 304  
 IG-IP-Modulation 79  
 IG-UP-Modulation 79  
 Impulslichtbogen 200  
 Induktives Hochfrequenzschweißen 402  
 – mit stabförmigem Induktor 404  
 – mit umschließendem Induktor 403  
 Induktives Stumpfschweißen 405  
 Induktiv unterstütztes  
 Laserstrahlschweißen 462  
 Injektorbrenner 295  
 Innere Regelung, delta I-Regelung 79  
 Ionisation 64

**K**

Kaltdraht-Vorschubeinheiten 91  
 Kammerschweißen 398  
 Kathodischer Reinigungseffekt 141

Kaverne 228  
 Kerbspannungskonzept 44  
 Kohlenstoffäquivalent 33  
 Kondensatorentladungs-  
 Bolzenschweißen 276  
 Kontaktzündung 67  
 Kurzlichtbogen 200

**L**

LASER 443  
 Laser-Abstandssensor 284  
 Laserarbeitsplätze 473  
 Laserbohren 467  
 Lasereffekt 444  
 Laserhärten 467  
 Laserklassen 474  
 Laser-MSG-Schweißen 212  
 Laserscanner 285  
 Laserschutzwand 474  
 Laserstrahlschneiden 466  
 Laserstrahlschweißen 441  
 Laserumschmelzen 467  
 L-Entwickler 304  
 Lichtbogen 64  
 Lichtbogenhandschweißen 113  
 Lichtbogenkennlinie 69  
 Lichtbogensensor 285  
 Lichtleitfasern 453  
 Lichtquant 443  
 Lichtquellen 444  
 Lichtschnittsensor 285  
 Lichtstrahlschweißen 419

**M**

MAGC-Schweißen 193  
 MAGM-Schweißen 193  
 Magnetische Fokussierlinse 422  
 Maschinenbrenner 297  
 Massivbuckel 381  
 Massivdrahtelektrode 97, 244  
 M-Entwickler 304  
 Metall-Aktivgasschweißen (MAG-Schweißen) 192  
 Metaldampf 456  
 Metall-Inertgasschweißen (MIG-Schweißen) 192  
 Metall-Schutzgasschweißen 191  
 MIG-AC-Schweißen 211  
 MIG-Löten 210

Mikroplasmenschweißen 179  
 Mitteldruckentwickler 304  
 Monochromasie 445  
 MSG-Absaugbrenner 198  
 MSG-Auftragschweißen 216  
 MSG-Dickdrahtschweißen 205  
 MSG-Doppeldrahtschweißen 206  
 MSG-Engspaltschweißen 215  
 MSG-Flachdrahtschweißen 206  
 MSG-Schweißbrenner 86  
 MSG-Tandemschweißen 207

**N**

Nachlinksschweißen 325  
 Nachrichtsschweißen 325  
 Nachsetzeinheiten 383  
 Nachweiskonzepte 43  
 Natürliche Buckel 382  
 Nd:YAG-Festkörperlaser 445, 447  
 Nebenschluss 353, 383, 392, 397  
 Nennspannungskonzept 43  
 Niederdruckentwickler 304  
 Nonvacuum-  
 Elektronenstrahlschweißen 425

**O**

Offline-Programmierung 455  
 Ökobilanzen 62  
 Ordnungsnummer 21

**P**

Phasenanschnittsteuerung 74  
 Photon 444  
 Pilotlichtbogen 169  
 Pilotlichtbogen-Zündung 68  
 Pincheffekt 66  
 Pinch-Effekt 203  
 Planetarantrieb 89  
 Plasma 456  
 Plasma-Auftragschweißen 178  
 Plasmabeeinflussung 456  
 Plasmadiagnostik 462  
 Plasmadüse 168  
 Plasmagas 161  
 Plasma-Heißdrahtschweißen 174  
 Plasma-Impulsstromschweißen 172  
 Plasma-Kaltdrahtschweißen 174  
 Plasmalichtbogenschweißen 159

Plasma-MIG-Schweißen 213  
 Plasma-Pulver-Auftragschweißen 179  
 Plasma-Pulver-Schweißbrenner 85  
 Plasma-Schweißbrenner 84  
 Plasmaschweißen 157  
 Plasma-Stichlochschiweißen 176  
 Plasmastrahlschweißen 159  
 Plasmawolke 456  
 PLM 61  
 Pressschweißen 17, 20  
 Pressstumpfschweißen 393  
 – Längenverlust 396  
 Primär getaktete Stromquelle, Inverter 75  
 Product Lifecycle Management 61  
 Produktionstechnik 15  
 Produktlebensphasen 60  
 Programmierbare Steuerung 432  
 Prozessanalyse 55  
 Prozessgase 291  
 Pulsbreitenmodulation 75  
 Pulverförderer 175  
 Pulver-Plasmalichtbogenschweißen 160  
 Pulverstrecke 247  
 Punktschweißelektroden 343  
 Punktschweißzange 342  
 Push-Pull-Antrieb 90

**Q**

Qualitätsstähle 33  
 Quetschnahtschweißen 373

**R**

Räumliche Kohärenz 445  
 Rautiefe 520  
 Recyclingfähigkeit 61  
 Reibschweißen  
 – Bauteilverkürzung 484  
 Remote-Bearbeitung 454  
 Rollennahtschweißen 363  
 – Dorn-Schlitten 365  
 – Längsnahtschweißen 365  
 – Quernahtschweißen 365  
 Rollennahtschweißen mit  
 Drahtzwischenelektrode 374  
 Röntgenstrahlung 440  
 Rotierender Lichtbogen 201  
 Rückrocknung 103, 119, 241

**S**

Sauerstoffversorgung 301  
 Saugbrenner 295  
 Scanneroptik 459  
 Schaeffler-Diagramm 35  
 Schärfentiefe 459  
 Scheibenlaser 447  
 Schleppgasdüse 150, 185, 222  
 Schmelzbadsicherung 261  
 Schmelzschweißen 17, 20  
 Schutzgas 192  
 Schutzgasbrause 150, 185  
 Schutzgase 108, 131, 161, 461  
 Schutzgläser 454  
 Schweißaggregat 71  
 Schweißbarkeit 29  
 Schweißbereichsdiagramm 357  
 Schweißbolzen 106  
 Schweißbeignung 29  
 Schweißen 17  
 Schweißen durch festen Körper 509  
 Schweißen mit magnetisch bewegten  
 Lichtbogen 271  
 Schweißen mit Metallschmelzen 512  
 Schweißerlaubnisschein 59  
 Schweißfolgepläne 45  
 Schweißgut 17  
 Schweißmöglichkeit 29  
 Schweißnahtwertigkeit 44  
 Schweißpositionen 320  
 Schweißpulver 103  
 – zum ES-Schweißen 409  
 – zum PTA-Schweißen 105  
 – zum UP-Schweißen 105, 229  
 Schweißsicherheit 29  
 Schweißstäbe 96  
 Schweißstromquellen 71  
 Schweißtransformator 72  
 Schweißzone 17  
 Sekundär getaktete Stromquelle 75  
 S-Entwickler 304  
 SF-Entwickler 304  
 Sicherheitswasservorlage 315  
 Skin-Effekt 400  
 Slab-Laser 450  
 Slope Control 432  
 Spaltüberbrückbarkeit 319  
 Sprühlichtbogen 200  
 Stabelektrode 92  
 Stabelektroden 115



Stabelektrodenhalter 82  
Stahlflaschen 305  
Statische Kennlinien von  
Schweißstromquellen 76  
Steuerelektroden 422  
Steuerspannung 422  
Stirnrollenantrieb 88  
Strahlführungssysteme 452  
Strahlintensitäten 453, 455  
Strahlparameterprodukt 458  
Strahlpendeln 434  
Strahlqualität 453  
Strahlqualitätszahl 458  
Strahlstrom 422  
Strahltaillenradius 458  
Strahlungseinkopplung 460  
Streckenenergie 52  
Strukturspannungskonzept 43  
Stufengeschalteter Schweiß-  
gleichrichter 73  
Systeme 454  
SZTU-Schaubilder 35

**T**

Taktile Sensoren 282  
Tandemschweißen 252  
Technische Regeln für Acetylenanlagen  
und Calciumcarbidlager (TRAC)  
311  
Temperaturverteilung 292  
Thermische Energie 17  
Thermokompressionsschweißen  
509  
Thermopulsen 211

Thyristorstromquelle 74  
Tiefschweißeffekt 176  
Totalreflexion 453  
Trockensicherungen 315  
Tropfenablösung 203

**U**

Übergangslichtbogen 200  
Ultraschallschweißen 495  
Umhüllungstypen von Stabelektroden  
93  
Umlenkspiegel 452  
Umweltmanagementsystem 62  
Unfallverhütungsvorschriften 59  
Unlösbare Verbindungen 19  
Unregelmäßigkeiten 56  
Unterpulverschweißen 227  
UP-Bandelektrodenschweißen 253  
UP-Doppeldrahtschweißen 249  
UP-Eindrahtschweißen 249  
UP-Engspaltschweißen 256  
UP-Heißdrahtschweißen 254  
UP-Kaltdrahtschweißen 254  
UP-Mehrdrahtschweißen 252  
UP-Quernahtschweißen 257  
UP-Schweißbrenner 83  
UP-Schweißen mit Metallpulverzugabe  
254

**V**

Verbindungselement 16  
Verbrennung 291  
Verunreinigungen 32

**W**

Wärme 17  
Wärmeeinflusszone (WEZ) 17  
Warmpressschweißen 509  
Wellenlänge 458  
Werkstoffübergang 202  
Werkstückdicken 320  
Widerstandspunktschweißen  
339  
– Dreiblech-Schweißen 361  
– einseitig 361  
WIG-Auftragschweißen 146  
WIG-Engspaltschweißen 145  
WIG-Heißdrahtschweißen 142  
WIG-Impulsstromschweißen 139  
WIG-Kaltdrahtschweißen 142  
WIG-Kilohertz-Pulsen 136  
WIG-Mehrkathodenbrenner 147  
WIG-Orbitalschweißen 143  
WIG-Punktschweißen 145  
WIG-Schweißbrenner 83  
Wire Arc Additive Manufacturing  
(WAAM) 217  
Wirkpaarungen 20  
Wirkungsgrad 52, 446  
Wolframelektrode 83, 133, 164  
Wolfram-Inertgasschweißen 129  
Wurzelschutz 150, 186

**Z**

Zusatzwerkstoff 16