

Mario Kusch
Klaus-Jürgen Matthes
Werner Schneider

Schweißtechnik

Schweißen von metallischen
Konstruktionswerkstoffen



8., aktualisierte Auflage

HANSER

Disclaimer zur Barrierefreiheit

Der Carl Hanser Verlag unternimmt große Anstrengungen, um seine Produkte barrierefrei zu machen. Dazu gehört auch, dass Bilder oder Tabellen für blinde und sehbehinderte Menschen zugänglich gemacht werden. Dies geschieht durch zusätzliche beschreibende Texte (Alternativtexte), die in den Daten integriert sind. Die Alternativtexte können von assistiven Technologien (z. B. Screenreadern) vorgelesen werden. Bei der Erstellung dieser Texte kommt eine KI zum Einsatz. Die inhaltliche Verantwortung liegt weiterhin bei den Lektor:innen und Autor:innen.

Mario Kusch
Klaus-Jürgen Matthes
Werner Schneider

Schweißtechnik

Schweißen von metallischen
Konstruktionswerkstoffen

8., aktualisierte Auflage

HANSER



Print-ISBN: 978-3-446-48543-3

E-Book-ISBN: 978-3-446-48692-8

Die allgemein verwendeten Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

Alle in diesem Werk enthaltenen Informationen, Verfahren und Darstellungen wurden zum Zeitpunkt der Veröffentlichung nach bestem Wissen zusammengestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Werk enthaltenen Informationen für Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Weise aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht. Ebenso wenig übernehmen Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag die Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt also auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benützt werden dürften.

Die endgültige Entscheidung über die Eignung der Informationen für die vorgesehene Verwendung in einer bestimmten Anwendung liegt in der alleinigen Verantwortung des Nutzers.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

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

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Werkes, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 UrhG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Wir behalten uns auch eine Nutzung des Werks für Zwecke des Text und Data Mining nach § 44b UrhG ausdrücklich vor.

© 2026 Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, München
Vilshofener Straße 10 | 81679 München | info@hanser.de
www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Dipl.-Ing. Natalia Silakova-Herzberg

Herstellung: Frauke Schafft

Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München

Covergestaltung: Max Kostopoulos

Titelmotiv: © stock.adobe.com/Ilshat

Satz: le-tex publishing services, Leipzig

Druck: CPI Books GmbH, Leck

Printed in Germany

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,

- Schweißseignung,
- Gestaltungs- und Fertigungshinweise,
- Qualitätsmerkmale, Gütesicherung und Prüfverfahren sowie
- Arbeits- und Gesundheitsschutz.

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

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

Das Buch präsentiert den aktuellen Stand des Fachgebietes und der Fachnormen. Die systematische Gliederung des Buches und die annähernd 800 Begriffe des Sachwortverzeichnis geben dem Nutzer eine klare Orientierung und ermöglichen ein schnelles Auffinden der gesuchten Informationen.

Bei der aktualisierten 8. 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

Vorwort	V
1 Grundlagen	1
1.1 Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580	1
1.2 Fügen durch Schweißen	5
1.3 Wirkprinzipien beim Schweißen	7
2 Schweißbarkeit	14
2.1 Grundlagen und Einteilung	14
2.2 Schweißseignung von Stählen	16
2.3 Schweißsicherheit	25
2.3.1 Konstruktive Gestaltung	26
2.3.2 Beanspruchungszustand	28
2.3.3 Regelwerke zur Auslegung von Schweißkonstruktionen	29
2.3.4 Anwendung von Finite-Elemente-Methoden zur Bemessung geschweißter Tragwerke	32
2.4 Schweißmöglichkeit	34
2.4.1 Grundlagen	34
2.4.2 Vorbereitungen zum Schweißen	35
2.4.3 Durchführung des Schweißens	39
2.4.4 Nacharbeiten beim Schweißen	47
2.4.5 Anwendung numerischer Simulationen für die Prozessanalyse beim Schweißen	48

2.5	Qualitätssicherung beim Schweißen	49
2.6	Arbeitsschutz beim Schweißen	52
2.7	Schweißen im Produkt-, Umwelt- und Energiemanagement	54
3	Schweißen mit Lichtbogen	58
3.1	Grundlagen der Lichtbogentechnik	58
3.1.1	Physik des Lichtbogens	58
3.1.2	Zünden des Lichtbogens	63
3.1.3	Betrieb des Lichtbogens	66
3.2	Schweißstromquellen zum Lichtbogenschweißen	69
3.2.1	Überblick	69
3.2.2	Schweißumformer	70
3.2.3	Schweißtransformatoren	70
3.2.4	Schweißgleichrichter	72
3.2.5	Schweißumrichter	76
3.2.6	Statische Kennlinien von Schweißstromquellen	77
3.2.7	Dynamische Eigenschaften von Schweißstromquellen	79
3.2.8	Regelungsprinzipien zur Arbeitspunktstabilisierung	80
3.2.9	Modulationsarten bei Impulsstromquellen	82
3.2.10	Angaben auf dem Leistungsschild	84
3.3	Schweißbrenner zum Lichtbogenschweißen	87
3.3.1	Stabelektrodenhalter	87
3.3.2	Stromkontakteinrichtung zum UP-Schweißen	88
3.3.3	Schweißbrenner mit nichtabschmelzender Elektrode	89
3.3.4	Schweißbrenner mit abschmelzender Elektrode	92
3.3.5	Bolzenschweißpistolen	93
3.4	Drahtvorschubsysteme zum Lichtbogenschweißen	94
3.4.1	Grundaufbau	94
3.4.1.1	Stirnrollenantrieb	95
3.4.1.2	Planetarantrieb	97
3.4.2	Bauformen mit potenzialführender Drahtelektrode	98
3.4.2.1	Bauformen mit nicht potenzialführender Drahtelektrode	100
3.4.2.2	Drahtrichteinheiten	101
3.5	Zusatzwerkstoffe zum Lichtbogenschweißen	102
3.5.1	Stabelektroden	102
3.5.2	Schweißstäbe	108

3.5.3	Massivdrahtelektroden	109
3.5.4	Fülldrahtelektroden	113
3.5.5	Schweißpulver zum UP-Schweißen	118
3.5.6	Schweißpulver zum Plasma-Pulver-Auftragschweißen (PTA)	123
3.5.7	Schweißbolzen	124
3.6	Gase zum Lichtbogenschweißen	126
3.6.1	Aufgaben von Schutzgasen	126
3.6.2	Eigenschaften von Schutzgasen	126
3.6.3	Einteilung und Bezeichnung von Schutzgasen	128
3.6.4	Herstellung von Schutzgasen	131
3.6.5	Lieferarten und Entnahmestellen	131
3.6.6	Kennzeichnung von Druckgasflaschen	133
3.7	Lichtbogenhandschweißen (Prozess 111)	135
3.7.1	Verfahrensprinzip und Anlagentechnik	136
3.7.1.1	Funktionsweise	136
3.7.1.2	Schweißstromquellen	137
3.7.1.3	Elektrodenhalter	137
3.7.1.4	Stabelektroden	138
3.7.2	Anwendung	145
3.7.2.1	Allgemeines	145
3.7.2.2	Reparaturschweißen	145
3.7.2.3	Auftragschweißen	146
3.7.2.4	Verbindungsschweißen	146
3.7.3	Fertigungshinweise	146
3.7.3.1	Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung	146
3.7.3.2	Zündvorgang	149
3.7.3.3	Führen der Elektrode	149
3.7.3.4	Schweißparameter	153
3.7.4	Fehler beim Lichtbogenhandschweißen	155
3.7.4.1	Häufige Ursachen und Fehlerbilder	155
3.7.4.2	Poren	156
3.7.4.3	Schlackeeinschlüsse	157
3.7.4.4	Bindefehler	157
3.7.4.5	Geometrische Unregelmäßigkeiten	157
3.7.5	Gefährdungen für den Schweißer	158

3.8	Wolfram-Inertgasschweißen (Prozess 141)	159
3.8.1	Verfahrensprinzip und Anlagentechnik	160
3.8.1.1	Funktionsweise	160
3.8.1.2	Schutzgase	161
3.8.1.3	Wolframelektroden	165
3.8.1.4	Zusatzwerkstoff	168
3.8.1.5	Schweißstromquellen und Brennertechnik	168
3.8.2	Verfahrensvarianten	170
3.8.2.1	Zünden des Lichtbogens	170
3.8.2.2	Stromart und Polarität	171
3.8.2.3	Mechanisierungsgrad	177
3.8.2.4	WIG-Schweißen mit Zusatzwerkstoff	177
3.8.3	Anwendung	178
3.8.3.1	Verbindungsschweißen	178
3.8.3.2	Reparaturschweißen	179
3.8.3.3	WIG-Orbitalschweißen	180
3.8.3.4	WIG-Punktschweißen	181
3.8.3.5	WIG-Engspaltschweißen	182
3.8.3.6	WIG-Auftragschweißen	184
3.8.3.7	Sonderanwendungen	184
3.8.4	Fertigungshinweise	185
3.8.4.1	Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung	185
3.8.4.2	Zündvorgang	185
3.8.4.3	Brennerführung	187
3.8.4.4	Heften	187
3.8.4.5	Gasschutz	188
3.8.4.6	Richtwerte	190
3.8.5	Fehler beim WIG-Schweißen	191
3.8.5.1	Gaseinschlüsse	191
3.8.5.2	Bindefehler	192
3.8.5.3	Wolframeinschlüsse	193
3.8.5.4	Oxideinschlüsse	193
3.8.5.5	Häufige Fehlerbilder und Ursachen	193
3.8.6	Gefährdungen für den Schweißer	196

3.9	Plasmaschweißen (Prozess 15)	198
3.9.1	Verfahrensprinzip und Anlagentechnik	199
3.9.1.1	Funktionsweise	199
3.9.1.2	Prozess- und Schutzgase	203
3.9.1.3	Wolframelektroden	207
3.9.1.4	Zusatzwerkstoff	210
3.9.1.5	Schweißstromquellen und Brennertechnik	211
3.9.2	Verfahrensvarianten	215
3.9.2.1	Zünden des Lichtbogens	215
3.9.2.2	Stromart und Polarität	216
3.9.2.3	Mechanisierungsgrad	222
3.9.2.4	Plasmaschweißen mit Zusatzwerkstoff	222
3.9.2.5	Schmelzbadausbildung	224
3.9.3	Anwendung	226
3.9.3.1	Verbindungsschweißen	226
3.9.3.2	Plasma-Punktschweißen	227
3.9.3.3	Plasma-Auftragschweißen	228
3.9.3.4	Mikroplasmaschweißen	230
3.9.3.5	Additive Fertigung	231
3.9.4	Fertigungshinweise	232
3.9.4.1	Allgemeines	232
3.9.4.2	Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung	234
3.9.4.3	Zündvorgang	236
3.9.4.4	Brennerführung	236
3.9.4.5	Heften	237
3.9.4.6	Gasschutz	237
3.9.4.7	Richtwerte	240
3.9.5	Fehler beim Plasmaschweißen	241
3.9.5.1	Gaseinschlüsse	241
3.9.5.2	Nahtunterwölbung	242
3.9.5.3	Einbrandkerben	242
3.9.5.4	Oxideinschlüsse	242
3.9.5.5	Häufige Fehlerbilder und Ursachen	243
3.9.6	Gefährdungen für den Schweißer	244

3.10	Metall-Schutzgasschweißen (Prozess 13)	245
3.10.1	Verfahrensprinzip und Anlagentechnik	246
3.10.1.1	Funktionsweise	246
3.10.1.2	Schutzgase	247
3.10.1.3	Zusatzwerkstoff	253
3.10.1.4	Schweißstromquellen und Brennertechnik	254
3.10.2	Lichtbogenarten	258
3.10.2.1	Allgemein	258
3.10.2.2	Kurzlichtbogen	258
3.10.2.3	Übergangslichtbogen	259
3.10.2.4	Sprühlichtbogen	259
3.10.2.5	Impulslichtbogen	260
3.10.2.6	Hochleistungs-Kurzlichtbogen	260
3.10.2.7	Instabiler Lichtbogen	260
3.10.2.8	Rotierender Lichtbogen	261
3.10.2.9	Hochleistungs-Sprühlichtbogen	261
3.10.2.10	Kräfte beim Werkstoffübergang	262
3.10.3	Verfahrensvarianten	265
3.10.3.1	Hochleistungsschweißen	265
3.10.3.2	Energiereduzierte MSG-Prozesse	271
3.10.3.3	Modifizierte MSG-Impulsprozesse	275
3.10.3.4	MSG-Hybridprozesse	277
3.10.3.5	Zünden des Lichtbogens	280
3.10.3.6	Mechanisierungsgrad	280
3.10.4	Anwendung	281
3.10.4.1	Verbindungsschweißen	281
3.10.4.2	MSG-Engspaltschweißen	282
3.10.4.3	MSG-Auftragschweißen	283
3.10.4.4	Additive Fertigung	285
3.10.4.5	Sonderanwendungen	286
3.10.5	Fertigungshinweise	287
3.10.5.1	Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung	287
3.10.5.2	Zündvorgang	288

3.10.5.3	Brennerführung	289
3.10.5.4	Heften	291
3.10.5.5	Gasschutz	291
3.10.5.6	Richtwerte	293
3.10.6	Fehler beim MSG-Schweißen	296
3.10.6.1	Gaseinschlüsse	296
3.10.6.2	Bindefehler	296
3.10.6.3	Häufige Fehlerbilder und Ursachen	297
3.10.7	Gefährdungen für den Schweißer	298
3.11	Unterpulverschweißen (Prozess 12)	299
3.11.1	Verfahrensprinzip und Anlagentechnik	300
3.11.1.1	Funktionsweise	300
3.11.1.2	Schweißpulver	302
3.11.1.3	Elektroden	324
3.11.1.4	Stromquellen und Brennertechnik	326
3.11.1.5	Mechanisierungseinrichtungen	329
3.11.2	Verfahrensvarianten	331
3.11.2.1	Überblick	331
3.11.2.2	UP-Eindrahtschweißen	332
3.11.2.3	UP-Doppeldrahtschweißen	333
3.11.2.4	UP-Tandemschweißen	335
3.11.2.5	UP-Mehrdrahtschweißen	335
3.11.2.6	UP-Bandschweißen	336
3.11.2.7	UP-Kaltdrahtschweißen	337
3.11.2.8	UP-Heißdrahtschweißen	338
3.11.2.9	UP-Schweißen mit Metallpulverzugabe	338
3.11.3	Anwendung	338
3.11.3.1	Überblick	338
3.11.3.2	Verbindungsschweißen	339
3.11.3.3	UP-Auftragschweißen	340
3.11.3.4	UP-Engspaltschweißen	341
3.11.3.5	UP-Quernahtschweißen	342
3.11.3.6	Verfahrensvergleich	343

3.11.4	Fertigungshinweise	344
3.11.4.1	Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung	344
3.11.4.2	Schmelzbadssicherung	347
3.11.4.3	Heften	348
3.11.4.4	An- und Auslaufbleche	348
3.11.4.5	Werkstückneigung	349
3.11.4.6	Zünden des Lichtbogens	351
3.11.4.7	Nahtformung	351
3.11.4.8	Richtwerte	354
3.11.5	Fehler beim UP-Schweißen	357
3.11.5.1	Häufige Fehlerbilder und Ursachen	357
3.11.5.2	Durchschweißfehler	358
3.11.5.3	Nahtüberhöhung	359
3.11.5.4	Risse	359
3.11.5.5	Lunker	359
3.11.5.6	Schlackeeinschlüsse	360
3.11.6	Gefährdungen für den Schweißer	360
3.12	Lichtbogenschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen	360
3.12.1	Grundlagen	361
3.12.2	Pressstumpfschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen (Prozess 185)	361
3.12.2.1	Verfahrensprinzip	361
3.12.2.2	Anwendungsbereiche	362
3.12.2.3	Ausrüstungen	363
3.12.2.4	Zusatzstoffe	364
3.12.2.5	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	364
3.12.2.6	Fertigungshinweise	364
3.12.3	Schmelzschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen (MBS-Schweißen)	365
3.12.3.1	Verfahrensprinzip	365
3.12.3.2	Anwendungsbereiche	365
3.12.3.3	Zusatzstoffe	365
3.12.3.4	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	366
3.12.3.5	Fertigungshinweise	366

3.13	Lichtbogenbolzenschweißen	367
3.13.1	Grundlagen	367
3.13.2	Verfahrensprinzip	368
3.13.2.1	Kondensatorentladungs-Bolzenschweißen mit Hubzündung (Prozess 785)	368
3.13.2.2	Lichtbogenbolzenschweißen mit Spitzenzündung (Prozess 786)	369
3.13.2.3	Hubzündungs-Bolzenschweißen mit Keramikring oder Schutzgas (Prozess 783)	369
3.13.3	Anwendungsbereiche	370
3.13.4	Zusatzstoffe	371
3.13.5	Fertigungshinweise	372
3.13.6	Ausrüstungen	374
3.14	Sensorik beim Lichtbogenschweißen	375
3.14.1	Überblick	375
3.14.2	Taktile Sensoren	377
3.14.3	Elektromagnetische Sensoren	378
3.14.4	Lasersensoren	379
3.14.5	Lichtbogensensoren	382
3.15	Gefährdungen beim Lichtbogenschweißen	384
3.15.1	Elektrischer Strom	384
3.15.2	Elektromagnetische Strahlung	387
3.15.3	Rauch, Stäube und Gase	387
3.15.4	Sauerstoffmangel	388
3.15.5	Spritzer und Schlacke	389
3.15.6	Druckgasflaschen	389
4	Schweißen mit Brenngas-Sauerstoff-Flamme	390
4.1	Grundlagen der Autogentechnik	390
4.1.1	Autogenflamme	390
4.1.1.1	Allgemeines	390
4.1.1.2	Verbrennung	391
4.1.1.3	Flammeneinstellung	393
4.1.2	Autogenbrenner	395
4.1.2.1	Allgemeines	395
4.1.2.2	Brennerarten	397

4.1.2.3	Betreiben der Autogenbrenner	400
4.1.2.4	Flammenstörungen	401
4.1.3	Betriebsmittel der Autogentechnik	402
4.1.3.1	Allgemeines	402
4.1.3.2	Sauerstoff	402
4.1.3.3	Brenngase	406
4.1.3.4	Gegenüberstellung von Gasen der Autogentechnik	415
4.1.4	Sicherheitshinweise und -vorschriften für den Umgang mit Sauerstoff und Brenngasen	417
4.1.5	Armaturen und Zubehör	418
4.1.5.1	Allgemeines	418
4.1.5.2	Druckminderer	418
4.1.5.3	Gasschläuche	421
4.1.5.4	Sicherheitseinrichtungen	423
4.2	Einteilung der Verfahren der Autogentechnik nach DIN 8522	426
4.3	Gasschmelzschweißen (Prozess 31)	428
4.3.1	Grundlagen	428
4.3.2	Anwendungsbereiche	430
4.3.2.1	Allgemeines	430
4.3.2.2	Fugenformen	430
4.3.2.3	Schweißpositionen	432
4.3.2.4	Werkstückdicken	432
4.3.3	Ausrüstung	433
4.3.4	Zusatzwerkstoffe und Hilfsstoffe	434
4.3.5	Technologische Merkmale	437
4.3.5.1	Nachrechtsschweißen (NR)	438
4.3.5.2	Nachlinksschweißen (NL)	439
4.4	Gaspressschweißen (Prozess 47)	440
4.4.1	Verfahrensprinzip	441
4.4.2	Anwendungsbereiche	441
4.4.3	Zusatzstoffe	442
4.4.4	Fertigungshinweise	442
4.4.5	Ausrüstungen	443

5	Schweißen mit Widerstandserwärmung	444
5.1	Einteilung der Widerstandsschweißverfahren	444
5.2	Konduktives Widerstandspressschweißen	445
5.2.1	Widerstandserwärmung durch konduktive Stromübertragung ..	445
5.2.2	Ausrüstungen zum konduktiven Widerstandspressschweißen ...	447
5.2.2.1	Aufbau einer konduktiven Widerstandsschweißmaschine	447
5.2.2.2	Schweißstromquellen zum konduktiven Widerstandspressschweißen	449
5.2.2.3	Mechanischer Teil der Schweißeinrichtungen	455
5.2.3	Widerstandspunktschweißen (Prozess 21)	456
5.2.3.1	Verfahrensmerkmale	456
5.2.3.2	Verfahrensprinzip/-beschreibung	458
5.2.3.3	Schweißanlagenaufbau	460
5.2.3.4	Elektroden zum Widerstandspunktschweißen	463
5.2.3.5	Schweißseignung	468
5.2.3.6	Konstruktive Gestaltung	473
5.2.3.7	Fertigungshinweise	476
5.2.3.8	Qualitätssicherung	482
5.2.3.9	Prüfen der Schweißverbindung	486
5.2.3.10	Verfahrensvarianten	490
5.2.3.11	Arbeits- und Gesundheitsschutz	491
5.2.4	Rollennahtschweißen (Prozess 22)	493
5.2.4.1	Verfahrensmerkmale	493
5.2.4.2	Verfahrensprinzip/-beschreibung	494
5.2.4.3	Schweißanlagenaufbau	495
5.2.4.4	Elektroden zum Rollennahtschweißen	499
5.2.4.5	Schweißseignung	500
5.2.4.6	Konstruktive Gestaltung	501
5.2.4.7	Fertigungshinweise	503
5.2.4.8	Qualitätssicherung	506
5.2.4.9	Prüfen der Schweißverbindung	509
5.2.4.10	Verfahrensvarianten	510
5.2.5	Buckelschweißen (Prozess 23)	514
5.2.5.1	Verfahrensmerkmale	514
5.2.5.2	Verfahrensprinzip/-beschreibung	516

5.2.5.3	Schweißanlagenaufbau	516
5.2.5.4	Elektroden zum Buckelschweißen	518
5.2.5.5	Schweißseignung	519
5.2.5.6	Konstruktive Gestaltung	520
5.2.5.7	Fertigungshinweise	524
5.2.5.8	Qualitätssicherung	526
5.2.5.9	Prüfen der Schweißverbindung	528
5.2.5.10	Verfahrensvarianten	529
5.2.6	Abtrennstumpfschweißen (Prozess 24)	530
5.2.6.1	Verfahrensmerkmale	530
5.2.6.2	Verfahrensprinzip/-beschreibung	531
5.2.6.3	Schweißanlagenaufbau	532
5.2.6.4	Schweißseignung	534
5.2.6.5	Konstruktive Gestaltung	534
5.2.6.6	Fertigungshinweise	537
5.2.6.7	Qualitätssicherung	539
5.2.6.8	Prüfen der Schweißverbindung	540
5.2.7	Pressstumpfschweißen (Prozess 25)	541
5.2.7.1	Verfahrensmerkmale	541
5.2.7.2	Verfahrensprinzip/-beschreibung	542
5.2.7.3	Schweißanlagenaufbau	544
5.2.7.4	Schweißseignung	545
5.2.7.5	Konstruktive Gestaltung	545
5.2.7.6	Fertigungshinweise	546
5.2.7.7	Qualitätssicherung	548
5.2.7.8	Prüfen der Schweißverbindung	548
5.2.7.9	Verfahrensvariante Kammerschweißen	549
5.3	Induktives Widerstandspressschweißen	550
5.3.1	Widerstandserwärmung durch induktive Stromübertragung	550
5.3.2	Ausrüstungen zum induktiven Widerstandspressschweißen	552
5.3.2.1	Aufbau einer induktiven Widerstandsschweißmaschine	552
5.3.2.2	Schweißstromquellen zum induktiven Widerstandspressschweißen	553
5.3.2.3	Mechanischer Teil der Schweißeinrichtungen	554

5.3.3	Induktives Hochfrequenzschweißen (Prozess 743)	555
5.3.3.1	Verfahrensmerkmale	555
5.3.3.2	Verfahrensprinzip/-beschreibung	556
5.3.3.3	Schweißseignung	558
5.3.3.4	Fertigungshinweise	558
5.3.4	Induktives Stumpfschweißen (Prozess 741)	559
5.4	Elektroschlackeschweißen (Prozess 72)	560
5.4.1	Grundlagen zum Elektroschlackeschweißen	560
5.4.2	Elektroschlacke-Verbindungsschweißen	561
5.4.2.1	Verfahrensprinzip/-beschreibung	561
5.4.2.2	Schweißanlagenaufbau	562
5.4.2.3	Schweißpulver	563
5.4.2.4	Zusatzwerkstoff	564
5.4.2.5	Schweißseignung	564
5.4.2.6	Fertigungshinweise	565
5.4.2.7	Verfahrensvarianten	568
5.4.3	Elektroschlacke-Auftragschweißen	570
5.4.3.1	Verfahrensprinzip/-beschreibung	570
5.4.3.2	Schweißanlagenaufbau	571
5.4.3.3	Schweißpulver	572
5.4.3.4	Zusatzwerkstoff	572
5.4.3.5	Fertigungshinweise	572
6	Schweißen mit Strahlen	575
6.1	Grundlagen der Strahltechnik	575
6.2	Lichtstrahlschweißen – Schweißen mit inkohärentem Licht (Prozess 75)	577
6.3	Elektronenstrahlschweißen (Prozess 51)	578
6.3.1	Grundlagen des Elektronenstrahlschweißens	580
6.3.1.1	Entstehung und Besonderheiten des Elektronenstrahls	580
6.3.1.2	Elektronenstrahlerzeugung	581
6.3.1.3	Elektronenstrahlführung	583
6.3.1.4	Elektronenstrahlschweißanlagen	584
6.3.2	Anwendung des Elektronenstrahlschweißens	590
6.3.2.1	Tiefschweißeffect	590
6.3.2.2	Vorbereitung der Werkstücke	592

6.3.2.3	Schweißparameter und Hinweise für die Schweißpraxis	595
6.3.2.4	Schweißeignung metallischer Werkstoffe	599
6.3.2.5	Industrielle Anwendung	603
6.3.3	Weitere Verfahren der Elektronenstrahlmaterialbearbeitung	606
6.3.4	Strahlenschutz	607
6.4	Laserstrahlschweißen (Prozess 52)	608
6.4.1	Grundlagen des Laserstrahlschweißens	611
6.4.1.1	Entstehung und Besonderheiten von Laserlicht	611
6.4.1.2	Eigenschaften des Laserlichts	613
6.4.2	Laseranlagen	614
6.4.2.1	Laserstrahlquellen	614
6.4.2.2	Laserstrahlführung	623
6.4.2.3	Fokussierende Optiken	625
6.4.2.4	Bewegungseinrichtungen	625
6.4.2.5	Steuerung und Bedienung	627
6.4.3	Anwendung des Laserstrahlschweißens	627
6.4.3.1	Tiefschweißeffekt	627
6.4.3.2	Vorbereitung der Werkstücke	629
6.4.3.3	Schweißparameter und Hinweise für die Schweißpraxis	629
6.4.3.4	Schweißeignung metallischer Werkstoffe	637
6.4.3.5	Industrielle Anwendung	638
6.4.4	Weitere Verfahren der Lasermaterialbearbeitung	641
6.4.4.1	Überblick	641
6.4.4.2	Laserstrahlschneiden	644
6.4.4.3	Additive Fertigung mit dem Laserstrahl	645
6.4.5	Strahlenschutz	651
6.4.6	Gegenüberstellung Elektronenstrahlschweißen – Laserstrahlschweißen	653
7	Schweißen durch Bewegungsenergie	657
7.1	Grundlagen zur schweißtechnischen Nutzung kinetischer Energie	657
7.2	Reibschweißen	658
7.2.1	Rotationsreibschweißen (Prozess 42)	658
7.2.1.1	Verfahrensprinzip	659
7.2.1.2	Ausrüstungen	660

7.2.1.3	Anwendungsbereich	663
7.2.1.4	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	665
7.2.1.5	Fertigungshinweise	667
7.2.1.6	Richtwerte	669
7.2.2	Linearreißschweißen	670
7.3	Rührreißschweißen (Prozess 43)	672
7.3.1	Verfahrensprinzip	672
7.3.2	Ausrüstungen	674
7.3.3	Anwendungsbereiche	675
7.3.4	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	676
7.3.5	Fertigungshinweise	677
7.3.6	Punktreißschweißen	679
7.3.6.1	Verfahrensprinzip	679
7.3.6.2	Anwendungsbereiche	680
7.4	Ultraschallschweißen (Prozess 41)	681
7.4.1	Verfahrensprinzip	681
7.4.2	Ausrüstungen	682
7.4.3	Anwendungsbereiche	684
7.4.4	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	685
7.4.5	Fertigungshinweise	687
7.5	Kaltpressschweißen (Prozess 48)	688
7.5.1	Verfahrensprinzip	688
7.5.2	Anwendungsbereich	689
7.5.3	Konstruktive Gestaltung	692
7.5.4	Fertigungshinweise	693
7.6	Sprengschweißen (Prozess 441)	694
7.6.1	Verfahrensprinzip	694
7.6.2	Anwendungsbereich	696
7.6.3	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	697
7.6.4	Fertigungshinweise	697
7.6.5	Spezielle Gefährdungen	698
7.7	Magnetimpulsschweißen (Prozess 442)	698
7.7.1	Verfahrensprinzip	699
7.7.2	Anwendungsbereich	700
7.7.3	Spezielle Gefährdungen	701

8	Schweißen durch festen Körper	702
8.1	Grundlagen zur schweißtechnischen Nutzung von Heizelementen	702
8.2	Heizelementschweißen	702
8.2.1	Verfahrensprinzip	703
8.2.2	Anwendungsbereich, Ausrüstungen	705
8.2.3	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	705
8.2.4	Fertigungshinweise	706
9	Schweißen mit Metallschmelzen	707
9.1	Grundlagen der schweißtechnischen Nutzung von Metallschmelzen	707
9.2	Gießschweißen (Thermitschweißen)	708
9.2.1	Aluminothermisches Schmelzschweißen (Prozess 71)	708
9.2.1.1	Verfahrensprinzip	708
9.2.1.2	Anwendungsbereich	709
9.2.1.3	Ausrüstungen	710
9.2.1.4	Fertigungshinweise	711
9.2.2	Aluminothermisches Pressschweißen	712
9.2.2.1	Verfahrensprinzip	712
9.2.2.2	Anwendungsbereich	713
9.2.2.3	Fertigungshinweise	713
9.3	Besondere Gefährdungen	713
10	Schweißen durch Diffusion	714
10.1	Grundlagen zur schweißtechnischen Nutzung der Diffusion	714
10.2	Diffusionsschweißen (Prozess 45)	715
10.2.1	Verfahrensprinzip	715
10.2.2	Anwendungsbereich	718
10.2.3	Konstruktive Gestaltung	719
10.2.4	Fertigungshinweise	720
	Literaturverzeichnis	723
	Index	747

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 Fertigungsverfahren sinnvoll bearbeiten. Diese Einflüsse und Wechselbeziehungen müssen sowohl bei der Produkt- und Fertigungspro-

zessgestaltung 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.

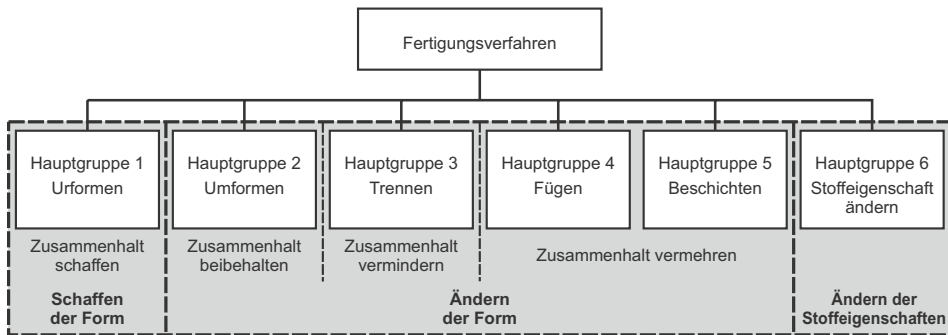


Bild 1.1 Einteilung der Fertigungsverfahren nach Art des Zusammenhalts und deren Wirkungsweise nach DIN 8580

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).

Tabelle 1.1 Teiloperationen des Montageprozesses nach VDI 2860

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

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-Lage-bringen“, „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 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	<i>Die Gruppe 5.5 entfällt, da Beschichten aus dem spanförmigen Zustand nicht vorkommt.</i>	6.5 Magnetisieren
<i>Da Schweißen und Löten beim Urformen im Gegensatz zum Beschichten nicht zur Anwendung kommen, bleiben die Gruppennummern 1.6 und 1.7 frei.</i>		3.6 Reinigen DIN 8592	4.6 Fügen durch Schweißen DIN 8593-6	5.6 Beschichten durch Schweißen	6.6 Bestrahlen
			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

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 **Schmelzschweißen** 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.

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.

