

Inhaltsverzeichnis

10 Verfahren zum Schweißen von Metallen	1
10.1 Definition des Begriffs „Schweißen“	1
10.2 Gasschweißen	1
10.2.1 Schweißgase	1
10.2.2 Brenner, Druckminderer und Zubehör	9
10.2.3 Gefahren beim Umgang mit Azetylen und Sicherheitseinrichtungen	10
10.2.4 Schweißflamme, Verbrennungsvorgang	15
10.2.5 Nahtform (in Anlehnung an DIN 8551 T1)	16
10.2.6 Zusatzwerkstoffe	16
10.2.7 Technik des Schweißens	19
10.3 Lichtbogenschweißen	19
10.3.1 Vorgänge im Lichtbogen und Schweißstromquellen	19
10.3.1.1 Vorgänge im Lichtbogen	19
10.3.1.2 Schweißstromquellen	28
10.3.2 Werkstoffübergang im Lichtbogen	36
10.3.3 Metall-Lichtbogenschweißen	38
10.3.3.1 Lichtbogenschweißen mit Stabelektroden	38
10.3.3.2 Schwerkraft- und Federkraftschweißen	51
10.3.4 Offenes mechanisiertes Lichtbogenschweißen	51
10.3.5 Unterpulverschweißen	52
10.3.5.1 Pulver und Drahtelektrode	53
10.3.5.2 Schweißstromquellen für das UP-Schweißen	62
10.3.5.3 Nahtausbildung	62
10.3.5.4 Verfahrensvarianten für das UP-Schweißen	66
10.3.5.5 Metallurgische Eigenschaften von UP-Schweißgut	70
10.3.6 Schutzgasschweißen	71
10.3.6.1 Wolfram-Inertgasschweißen (WIG)	71
10.3.6.2 (Wolfram-)Plasmaschweißen (WP)	78
10.3.6.2.1 Anlage und Verfahrensprinzipien	79
10.3.6.2.2 Verfahrensvarianten zum Verbindungsschweißen	80
10.3.6.2.3 Plasmaauftragschweißen	81

10.3.6.3	Wolfram-Wasserstoff-Schweißen WHG	81
10.3.6.4	Metall-Inertgasschweißen (MIG)	82
10.3.6.4.1	Stromquelle	83
10.3.6.4.2	Die Anlage	86
10.3.6.4.3	Werkstoffübergang im Lichtbogen [B1]	86
10.3.6.4.4	Stromart	87
10.3.6.4.5	Schutzgas	87
10.3.6.4.6	Schweißzusatz	90
10.3.6.4.7	Verfahrensvarianten	90
10.3.6.5	Metall-Aktivgasschweißen (MAG)	92
10.3.6.5.1	Stromquelle und Zündverhalten	92
10.3.6.5.2	Das Schutzgas	93
10.3.6.5.3	Nahtform	94
10.3.6.5.4	Stromdichte und Elektrodendurchmesser	94
10.3.6.5.5	Schweißzusatz für das MAG-Schweißen	95
10.3.6.5.6	Verfahrensvarianten des MAG-Schweißens	96
10.3.6.5.7	Unfallverhütung	100
10.3.6.5.8	Schweißnahtvorbereitung	100
10.3.6.5.9	Zündvorgang und Spritzerbildung	100
10.3.6.5.10	Praktische Hinweise	101
10.4	Elektronenstrahlschweißen	101
10.4.1	Die Dampfkapillare	102
10.4.2	Schweißen mit dem Elektronenstrahl	103
10.4.2.1	Grundlagen	103
10.4.2.4	Schweißen an der Atmosphäre und unter Teilvakuum	105
10.4.2.5	Anlagen zum Elektronenstrahlschweißen	105
10.4.2.6	Steuern und Regeln des Prozesses	105
10.4.2.7	Berechnung der Nahttiefe	106
10.4.2.8	Tandem-Elektronenstrahlschweißen (TEB)	107
10.4.2.9	Fehler und Fehlervermeidung beim Elektronenstrahlschweißen	107
10.4.2.10	Vergleich zwischen Elektronenstrahl- und Laserstrahlschweißen	108
10.4.2.11	Anwendungsgebiete	109
10.5	Aluminothermisches Gießschmelzschweißen	110
10.5.1	Zwischengußverfahren (Schienenschweißen)	110
10.5.2	Das Einsatzverfahren	112
10.5.3	Schnellschweißverfahren	112
10.5.4	Stabilität der Schienenschweißung	113
10.5.5	Anwendungsgebiete	114
10.6	Widerstandsschmelzschweißen	114
10.6.1	Elektroschlackeschweißen	114

10.6.1.1	Elektroschlackeschweißen mit abschmelzender Drahtführung (Kanalschweißen)	116
10.6.1.2	Mehrlagiges Elektroschlackeschweißen	117
10.6.1.3	Elektroschlacke-Auftragschweißen mit Bandedelektroden	118
10.7	Gießschmelzschweißen	118
10.8	Lichtstrahlschweißen	119
10.8.1	Schweißen mit kohärentem Licht – Laserstrahlschweißen ..	119
10.8.1.1	Strahlerzeugung und Strahlführung	119
10.8.1.2	Wechselwirkung zwischen Laserstrahl und Materie / Einfluß des Schutzgases	125
10.8.1.3	Anwendungen in der Schweißtechnik	127
10.8.2	Schweißen mit inkohärentem Licht	128
10.9	Widerstandspreßschweißen	129
10.9.1	Punktschweißen	129
10.9.1.1	Temperaturverteilung	132
10.9.1.2	Die Punktschweißmaschine	135
10.9.1.2.1	Elektrische Eigenschaften	135
10.9.1.2.2	Mechanische Eigenschaften	140
10.9.1.3	Nebenschluß	140
10.9.1.4	Steuerung von Punktschweißmaschinen	141
10.9.1.5	Regelung des Schweißprozesses	145
10.9.1.6	Verfahrensvarianten [D 34]	146
10.9.1.7	Punktschweißen von Stahlblechen mit nichtmetallischen Überzügen	147
10.9.1.8	Punktschweißen von Stahlblechen mit metallischen Überzügen	148
10.9.1.9	Fehlerarten beim Punktschweißen und deren Ursachen	149
10.9.1.10	Widerstandspunktschweißen ungleichartiger Werkstoffe	149
10.9.1.11	Einstellen der Verfahrensparameter	152
10.9.2	Kondensatorimpulsschweißen	152
10.9.3	Buckelschweißen	153
10.9.4	Rollennahtschweißen	155
10.9.4.1	Strom- und Kraftprogramm	155
10.9.4.2	Nahtschweißmaschinen	156
10.9.4.3	Rollenelektroden	156
10.9.4.4	Rollnahtschweißen beschichteter Bleche	156
10.9.4.5	Verfahrensvarianten	157
10.9.5	Stumpfschweißen	157
10.9.5.1	Preßstumpfschweißen	157
10.9.5.2	Abbrennstumpfschweißen	158
10.9.5.2.1	Längenzugabe und Einspannlänge	159
10.9.5.2.2	Schweißstrom und Schlittengeschwindigkeit	160

10.9.5.2.3	Stauchdruck	160
10.9.5.2.5	Wärmenachbehandlung	161
10.9.5.2.6	Schweißen von Nichteisenmetallen	161
10.9.5.2.7	Pulsierendes Abbrennschweißen	161
10.9.5.2.8	Kohlenstoffverarmung beim Abbrennstumpfschweißen von Stahl	162
10.9.5.2.9	Maschinen und Anwendung	162
10.9.5.3	Folienstumpfnahschweißen	163
10.9.6	Widerstandsschweißen mit hochfrequentem Wechselstrom	163
10.9.6.1	Hochfrequenzwiderstandsschweißen mit konduktiver Energieübertragung	163
10.9.6.2	Hochfrequenzwiderstandsschweißen mit induktiver Energieübertragung	164
10.10	Lichtbogenpreßschweißen	168
10.10.1	Lichtbogenbolzenschweißen	168
10.10.1.1	Lichtbogenbolzenschweißen mit Hubzündung	169
10.10.1.2	Lichtbogenbolzenschweißen mit Spitzenzündung	170
10.10.1.3	Lichtbogenbolzenschweißen mit Ringzündung	170
10.10.2	Preßschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen (MBP)	170
10.11	Gaspreßschweißen	172
10.12	Gießpreßschweißen	173
10.13	Kammerschweißen	173
10.14	Feuerschweißen	174
10.15	Reibschweißen	174
10.15.1	Reibschweißen mit kontinuierlichem Antrieb	174
10.15.2	Reibschweißen mit Schwungradantrieb	175
10.15.3	Kombiniertes Reibschweißen	176
10.15.4	Verfahrensvarianten	177
10.15.4.1	Radiales Reibschweißen	177
10.15.4.2	Lineares Reibschweißen	177
10.15.4.3	Reibbolzenschweißen	177
10.15.5	Werkstoffe	178
10.15.6	Verbindungsformen	178
10.15.7	Reibschweißnaht	178
10.15.7.1	Temperaturverteilung	178
10.15.7.2	Verfahrenseinflußzone	179
10.15.7.3	Mechanische Eigenschaften	181
10.15.8	Anwendung	181
10.15.8.1	Reibschweißmaschinen	181
10.15.8.2	Schweißparameter	182
10.15.8.3	Qualitätssicherung	182
10.15.9	Anwendungsbeispiele	182

10.16	Ultraschallschweißen	183
10.16.1	Oberflächenvorbereitung	184
10.16.2	Werkstoffe	184
10.16.3	Anwendung	185
10.17	Kaltpreßschweißen	185
10.17.1	Überlappschweißen	186
10.17.2	Stumpfschweißen	186
10.17.3	Kaltpreßschweißen in Ziehvorgängen	187
10.17.4	Kaltpreßschweißen in Fließpreßvorgängen	187
10.17.5	Anwendung	189
10.17.6	„Kaltpreßlöten“	190
10.18	Diffusionsschweißen	190
10.18.1	Werkstoffe	192
10.18.2	Anwendung	193
10.18.3	Diffusionslöten	193
10.19	Sprengschweißen	194
10.19.1	Kritische Plattierungsgeschwindigkeit	195
10.19.2	Anwendung	196
10.20	Heizelementschweißen	198
11	Verfahren zum thermischen Schneiden	199
11.1	Verfahren der Autogentechnik	199
11.1.1	Autogenes Brennschneiden	199
11.1.1.1	Brenngase	199
11.1.1.2	Sauerstoff	199
11.1.1.3	Bedingungen für die Schneidbarkeit	199
11.1.1.4	Der Schneidvorgang	201
11.1.1.5	Schneidgeräte	201
11.1.1.6	Formteilgenauigkeit, Oberflächengüte	204
11.1.1.7	Gefüge, Härte und Eigenspannungen im Bereich der Schnittkante	204
11.1.1.8	Nahtvorbereitung durch Brennschneiden	205
11.1.1.9	Technik des autogenen Brennschneidens	206
11.1.2	Pulverbrennschneiden	207
11.1.2.1	Metallpulver-Schmelzschnitten	207
11.1.2.2	Metallpulver-Brennschneiden	208
11.1.2.3	Mineralpulver-Brennschneiden	208
11.1.2.4	Anwendung	208
11.1.2.5	Brennfugen (Fugenhobeln)	208
11.1.3	Brennflämmen	209
11.1.4	Brennbohren	210
11.1.4.1	Brennbohren mit Sauerstoffkernlanzen	210
11.1.4.1.1	Spezifischer Verbrauch von Material und Zeit	210
11.1.4.2	Brennbohren mit Pulverlanze	211

11.1.4.2.1 Funktionsweise	211
11.1.4.3 Pulverbrennschneiden von Beton	211
11.1.5 Flammstrahlen	212
11.2 Lichtbogenschneidverfahren	213
11.2.1 Plasmaschmelzschnitten	213
11.2.1.1 Schnittgüte	214
11.2.1.2 Druckluft-Plasmaschneiden	214
11.2.1.3 Wasser-Plasmaschneiden	215
11.2.1.4 Plasmafeinstrahlschneiden	215
11.2.1.5 Anlagen zum Plasmaschneiden	215
11.2.1.6 Plasmalichtbogen-Fugen	216
11.2.2 Lichtbogen-Sauerstoffschnitten mit Hohlelektrode	216
11.2.3 Lichtbogendruckluftfugen mit Kohle-Graphitelektrode ..	216
11.2.4 Funkenerosives Schneiden	216
11.3 Strahlverfahren	217
11.3.1 Laserstrahlschneiden	217
11.3.2 Wasserstrahlschneiden	219
12 Verfahren zum Schweißen und Schneiden von Kunststoffen	220
12.1 Schweißen von Kunststoffen	220
12.1.1 Warmgasschweißen	220
12.1.2 Heizelementschweißen	222
12.1.2.1 Direktes Heizelementschweißen	222
12.1.2.2 Indirektes Heizelementschweißen	224
12.1.3 Reibschweißen	225
12.1.3.1 Rotationsreibschweißen	225
12.1.3.2 Vibrationsreibschweißen	226
12.1.4 Hochfrequenz-(HF)-Schweißen	227
12.1.4.1 Geräte zum Hochfrequenzschweißen	228
12.1.4.2 Temperaturverteilung	228
12.1.4.3 Anwendung	228
12.1.5 Ultraschallschweißen	230
12.1.5.1 Anwendung	231
12.1.6 Extrusionsschweißen	232
12.1.7 Lichtstrahlschweißen	233
12.1.8 Quellschweißen, Lösungsschweißen	234
12.2 Schneiden von Kunststoffen	234
12.2.1 Laserstrahlschneiden	234
12.2.2 Wasserstrahlschneiden	234
12.2.3 Ultraschallschneiden	235
13 Löten	236
13.1 Lötbarkeit	236
13.2 Lötstoffe	236
13.3 Charakteristische Temperaturen	237

13.4	Benetzen	237
13.5	Beseitigen von Fremdschichten durch Flußmittel, reduzierende Gase, Löten unter Vakuum oder mittels mechanischer Verfahren	239
13.6	Lote und Löt eignung	242
13.6.1	Weichlote	242
13.6.2	Hartlote	242
13.6.3	Zuordnung von Lot und Füge teil	243
13.7	Spaltfüllung	243
13.8	Der Bindungsvorgang	250
13.9	Festigkeit von Lötverbindungen	250
13.10	Lötverfahren nach Art des Energieträgers für das Weichlöten ..	251
13.10.1	Löten durch festen Körper	251
13.10.1.1	Kolbenlöten	251
13.10.1.2	Blocklöten	251
13.10.1.3	Rollenlöten	251
13.10.2	Löten durch Flüssigkeit	251
13.10.2.1	Lotbadlöten	251
13.10.2.2	Wellenlöten	252
13.10.2.3	Schlepplöten	252
13.10.2.4	Ultraschalllöten	252
13.10.2.5	Wiederaufschmelzlöten (Reflow-Löten)	252
13.10.3	Löten durch Gas	252
13.10.3.1	Flammlöten	252
13.10.3.2	Warmgaslöten	252
13.10.3.3	Löten im Gasofen	252
13.10.3.4	Dampfphasenlöten (Kondensationslöten)	253
13.10.4	Strahl löten	253
13.10.4.1	Lichtstrahl löten	253
13.10.4.2	Laserstrahl löten	253
13.10.5	Löten durch elektrischen Strom	253
13.10.5.1	Induktionslöten	253
13.10.5.2	Widerstandslöten	253
13.10.5.3	Ofenlöten	253
13.11	Lötverfahren nach Art des Energieträgers für das Hartlöten und (z. T.) für das Hochtemperaturlöten	254
13.11.1	Löten durch Flüssigkeit	254
13.11.1.1	Salzbadlöten	254
13.11.1.2	Lotbadlöten	254
13.11.2	Löten durch Gas	254
13.11.2.1	Flammlöten	254

13.11.3 Löten durch elektrische Gasentladung	254
13.11.3.1 Lichtbogenlöten	254
13.11.4 Strahllöten	254
13.11.4.1 Lichtstrahllöten	254
13.11.4.2 Laserstrahllöten	254
13.11.4.3 Elektronenstrahllöten	255
13.11.5 Löten durch elektrischen Strom	255
13.11.5.1 Induktionslöten	255
13.11.5.2 Widerstandslöten	255
13.11.5.3 Ofenlöten	255
13.12 Verfahren nach der Form der Lötstelle	255
13.12.1 Spaltlöten	255
13.12.2 Fugenlöten	255
13.13 Weichlöten	255
13.14 Hartlöten	256
13.15 Hochtemperaturlöten	257
13.16 Mechanisierung des Lötprozesses	258
14 Beschichten durch thermisches Spritzen, Wirbelsintern und Pulver-Auftragschweißen	260
14.1 Thermisches Spritzen von metallischen und nichtmetallischen Werkstoffen	260
14.1.1 Verfahren zum thermischen Spritzen	260
14.1.1.1 Flammsspritzen	260
14.1.1.2 Lichtbogenspritzen	262
14.1.1.3 Plasmaspritzen	263
14.1.1.4 Spritzen mit induzierter Stromwärme (Induktionsspritzen)	265
14.1.1.5 Kondensatorentladungsspritzen	265
14.1.1.6 Schmelzbadspritzen	265
14.1.1.7 Laserspritzen	266
14.1.2 Haftgrundvorbereitung	266
14.1.3 Vorwärmen	266
14.1.4 Haftfestigkeit der Spritzschicht	267
14.1.5 Nachbehandlung von Spritzschichten	267
14.1.6 Spritzzusatzwerkstoffe	268
14.1.6.1 Spritzzusätze für das Flammsspritzen	268
14.1.6.2 Spritzzusätze für das Lichtbogenspritzen	270
14.1.6.3 Spritzzusätze für das Plasmaspritzen	270
14.1.7 Gütesicherung	270
14.1.8 Arbeits- und Umweltschutz	270
14.2 Wirbelsintern	273
14.3 Pulver-Auftragschweißen	273
14.3.1 Gas-Pulverauftragschweißen	273
14.3.2 Plasma-Pulverauftragschweißen	274

15 Kleben von metallischen und nichtmetallischen Werkstoffen	275
15.1 Klebstoffe	275
15.1.1 Physikalisch abbindende Klebstoffe	276
15.1.1.1 Lösungsmittelklebstoffe	276
15.1.1.2 Dispersionsklebstoffe	276
15.1.1.3 Kontaktklebstoffe	276
15.1.1.4 Haftklebstoffe	277
15.1.1.5 Plastosolklebstoffe	277
15.1.1.6 Schmelzklebstoffe	277
15.1.2 Chemisch abbindende Klebstoffe (Reaktionsklebstoffe)	277
15.1.2.1 Kaltaushärtende Reaktionsklebstoffe	279
15.1.2.2 Warmaushärtende Klebstoffe	281
15.1.2.3 Lösungsmittelhaltige Reaktionsklebstoffe	281
15.1.3 Klebstoffauswahl	281
15.2 Haftgrundvorbereitung	282
15.2.1 Reinigung	282
15.2.2 Mechanisches Aufrauen	282
15.2.3 Beizen	282
15.2.4 Elektrochemische Vorbehandlung	283
15.2.5 Thermische Vorbehandlung	283
15.2.6 Elektrische Vorbehandlung	283
15.3 Festigkeit von Klebverbindungen	284
15.3.1 Einfluß des Klebstoffs	284
15.3.2 Einfluß der geometrischen Gestaltung	284
15.3.2.1 Einfluß der Wanddicke	284
15.3.2.2 Einfluß der Überlappung	285
15.3.2.3 Einfluß der Fugendicke	286
15.3.3 Einfluß des Fügeteilwerkstoffs	286
15.3.4 Einfluß der Beanspruchungsart	287
15.4 Alterung von Klebverbindungen	287
15.5 Klebverbindungen für erhöhte Temperaturen	287
15.6 Klebverbindungen für tiefe Temperaturen	288
15.7 Korrosionsbeständigkeit von Klebverbindungen	288
15.8 Kombinierte Fügeverfahren	289
15.8.1 Punktschweißkleben	289
15.8.2 Klebschrumpfen	289
15.8.3 Klebschrauben	289
15.8.4 Falznahtkleben	289
15.9 Anwendung des Klebens	290
16 Technische Unterlagen für die Fertigung	292
16.1 Festigkeitsberechnung	292
16.2 Ausführungszeichnungen	292

16.3 Schweißplan, Schweißfolgeplan und Schweißanweisung	292
16.4 Prüfplan	293
16.5 Betriebsbeschreibung, Bescheinigung nach DIN 8563, Großer und Kleiner Eignungsnachweis	293
16.6 Werkstoffqualitätsnachweis	293
17 Werkstätten und Werkstatteinrichtung	294
18 Nahtvorbereitung	295
18.1 Nahtformen und ihre zeichnerische Darstellung	295
18.2 Badsicherungssysteme	298
18.3 Toleranzen bei der Nahtvorbereitung	302
19 Mechanisierung und Automatisierung von Schweißprozeß und Qualitätskontrolle	304
19.1 Vorrichtungen	304
19.1.1 Spannvorrichtungen	305
19.1.2 Drehvorrichtungen und Drehkipptische	305
19.1.3 Wendevorrichtungen	306
19.1.4 Rollenböcke	306
19.1.5 Geräteträger	307
19.1.6 Sonderschweißvorrichtungen	307
19.1.7 Die Schweißvorrichtung als Werkzeugmaschine	308
19.2 Numerisch kontrolliertes Schweißen	308
19.2.1 Leistungsschalter	309
19.2.2 Sensoren und Programmgeber	309
19.2.3 Programmierbare Steuerungen	310
19.2.4 Manipulatoren und Industrieroboter	311
19.3 Prozeßkontrolle	314
19.4 Fernbedientes Schweißen	314
19.5 Qualitätskontrolle	315
20 Ausbildung und Prüfung von Schweißern und Aufsichtspersonal	316
20.1 Ausbildung von Schweißern	316
20.2 Ausbildung des Aufsichtspersonals	322
20.2.1 Schweißfachingenieur	322
20.2.2 Schweißfachmann	323
20.2.3 Schweißtechniker	324
21 Gütesicherung und Betriebszulassung	325
21.1 Güte	325
21.2 Eignungsnachweis der Betriebe	325

21.3 Technische Unterlagen	326
21.4 Werkstoffe und Konstruktion	326
21.4.1 Werkstoffe	326
21.4.2 Konstruktion	326
21.5 Schweißtechnische Fertigung	327
21.6 Verfahrensprüfung	328
21.7 Qualitätssicherungshandbuch	328
21.8 Das „fitness for purpose“-Konzept	328
22 Prüfung und Abnahme des Erzeugnisses	329
22.1 Zerstörungsfreie Prüfung von Werkstoffen und Schweißverbindungen	329
22.1.1 Prüfen durch Betrachten	329
22.1.2 Prüfen mit Röntgenstrahlen	330
22.1.2.1 Entstehung und Eigenschaften der Röntgenstrahlen	330
22.1.2.2 Röntgenröhren	331
22.1.2.2.1 Zweipolröhre	331
22.1.2.2.2 Kurzanodenröhre	332
22.1.2.2.3 Hohlanodenröhre	332
22.1.2.2.4 Feinfokusröhre	332
22.1.2.2.5 Röntgenblitzröhre	332
22.1.2.3 Schwächung der Strahlung beim Durchgang durch Materie	332
22.1.2.4 Röntgensichtverfahren	333
22.1.2.5 Röntgen-Tomographieverfahren	333
22.1.3 Prüfen mit Gammastrahlen	334
22.1.3.1 Entstehung und Eigenschaften von Gammastrahlen	334
22.1.3.1.1 Radioaktive Elemente	334
22.1.3.1.2 Radioaktives Zerfallsgesetz	335
22.1.3.1.3 Die Halbwertszeit	335
22.1.3.1.4 Aktivität	336
22.1.3.1.5 Zerfallsschema (Termschema)	336
22.1.3.1.6 Schwächung der Strahlung beim Durchgang durch Materie	336
22.1.3.1.7 Durchstrahlbare Wanddicke	338
22.1.3.1.8 Geräte	338
22.1.4 Prüfen mittels Betatron und Linearbeschleuniger	339
22.1.4.1 Betatron	339
22.1.4.2 Linearbeschleuniger	340
22.1.5 Aufnahmetechnik	341
22.1.5.1 Prüftechnik	341
22.1.5.2 Schwärzung und Kontrast des Röntgenfilms	341
22.1.5.2.1 Schwärzung	341
22.1.5.2.2 Kontrast	342
22.1.5.2.3 Unschärfe	343

22.1.5.3	Kontrolle der Bildgüte	344
22.1.5.3.1	Bildgüte	344
22.1.5.3.2	Bildgütezahl	345
22.1.5.3.3	Bildgüteprüfkörper (BPK)	345
22.1.5.3.4	Anforderung an die Bildgüte	346
22.1.5.4	Auswertung von Röntgenaufnahmen	346
22.1.5.5	Xeroradiographie	348
22.1.5.6	Strahlenschutz	348
22.1.6	Prüfen mit Ultraschall	350
22.1.6.1	Entstehung und Eigenschaften von Schallwellen	350
22.1.6.1.1	Die Schallgeschwindigkeit	350
22.1.6.1.2	Charakteristische Größen zur Beschreibung der Schallwellen	352
22.1.6.1.3	Schwächung von Schallwellen	353
22.1.6.1.4	Erzeugung von Ultraschall	353
22.1.6.1.5	Brechung von Schallwellen	353
22.1.6.1.6	Reflexion von Schallwellen	354
22.1.6.1.7	Richtcharakteristik	354
22.1.6.2	Prüfverfahren	354
22.1.6.2.1	Durchschallungsverfahren	354
22.1.6.2.2	Reflexionsverfahren	355
22.1.6.2.3	Resonanzverfahren	355
22.1.6.2.4	Ultraschallholographie	355
22.1.6.2.5	Weitere Verfahren	356
22.1.6.3	Prüftechnik	356
22.1.6.4	Auswertung von Ultraschallanzeigen	357
22.1.7	Prüfen mit Schallemissionsanalyse	358
22.1.8	Prüfen mit magnetischen und magnetinduktiven Methoden	359
22.1.8.1	Magnetische Streuflußverfahren (Magnetpulverprüfung)	359
22.1.8.1.1	Arten der Magnetisierung	361
22.1.8.2	Prüfen durch Messen des Magnetfeldes	361
22.1.8.2.1	Messung der Koerzitivfeldstärke	363
22.1.8.2.2	Restfeldmessung	363
22.1.8.3	Wirbelstromverfahren	363
22.1.8.4	Auswertung der erhaltenen Signale	364
22.1.8.5	Anwendung	364
22.1.9	Prüfen mit elektrischen Prüfverfahren	365
22.1.10	Prüfen mit Eindringmitteln	365
22.1.10.1	Farbeindringverfahren	365
22.1.10.2	Fluoreszenzeindringverfahren	365
22.1.11	Leckprüfung mit Testgasen und -flüssigkeiten	365
22.1.11.1	Druckstandprobe	366
22.1.11.2	Halogenlecksucher	367
22.1.11.3	Heliumgasdetektor	367
22.1.12	Prüfen mit Wärmeflußverfahren	367

22.1.12.1	Kontaktverfahren	368
22.1.12.1.1	Oberflächenspannungsverfahren	368
22.1.12.1.2	Thermocolore (Farbumschlagverfahren)	368
22.1.12.1.3	Thermophosphore	369
22.1.12.1.4	Flüssige Kristalle	369
22.1.12.2	Kontaktfreie Verfahren	369
22.1.12.2.1	Elektromechanische Thermographie	369
22.1.12.2.2	Photothermographie	369
22.1.12.2.3	Thermovisionsverfahren	369
22.1.12.3	Anwendung der Wärmeflußverfahren	370
22.1.13	Prüfen mit Neutronenstrahlen	371
22.1.13.1	Geräte	372
22.1.13.2	Anwendung	373
22.1.14	Prüfen mittels Laserholographie (Holographische Interferometrie)	373
22.1.15	Anwendung der zerstörungsfreien Prüfverfahren	373
22.2	Zerstörende Prüfverfahren	375
22.2.1	Mechanisch-technologische Untersuchung	375
22.2.2	Chemische Untersuchung	375
22.2.3	Metallographische Untersuchung	375
23	Fehler – ihre Ursachen, ihre Vermeidung, ihre Bewertung und ihre Beseitigung	377
23.1	Fertigungsfehler	377
23.1.1	Fehler beim Schweißen	377
23.1.2	Fehler beim Löten	381
23.1.3	Fehler beim Brennschneiden	384
23.2	Werkstofffehler	384
23.3	Konstruktive Fehler	385
23.4	Einfluß von Fehlern auf das Festigkeitsverhalten – Fehlerbewertung	385
23.4.1	Räumliche Fehler	385
23.4.1.1	Räumliche Fehler bei statischer Beanspruchung	386
23.4.1.2	Räumliche Fehler bei dynamischer Beanspruchung	386
23.4.2	Ebene Fehler	388
23.4.2.1	Ebene Fehler bei statischer Beanspruchung	388
23.4.2.2	Ebene Fehler bei dynamischer Beanspruchung	389
23.5	Eigenspannungen	390
23.5.1	Einleitung	390
23.5.2	Bemerkungen zur Entstehung von Eigenspannungen, insbesondere von Schweiß eigenspannungen	391
23.5.3	Bemerkungen zur Bestimmung von Eigenspannungen	393
23.5.4	Beispiele von Schweiß eigenspannungszuständen	394
23.5.4.1	Eigenspannungen in der wärmebeeinflussten Zone brenngeschnittener Stahlbleche	394

23.5.4.2	Eigenspannungen in walz-, spreng- und auftrag- geschweißten austenitplattierten Stahlblechen ...	398
23.5.4.3	Eigenspannungen in Stumpf- und Kehlnähten ..	404
23.5.5	Einige Maßnahmen zur Herabsetzung der entstehenden Schweiß eigenspannungen	408
23.5.6	Abbau von Schweiß eigenspannungen	411
23.5.6.1	Allgemeines	411
23.5.6.2	Mechanisches Entspannen	412
23.5.6.2.1	Hämmern	412
23.5.6.2.2	Autogenes Entspannen (Flamm entspannen)	412
23.5.6.2.3	Überbelastung (overstressing)	413
23.5.6.3	Thermisches Entspannen (Spannungsarmglühen)	417
23.5.7	Richten mit der Flamme	420
23.5.8	Der Einfluß von Eigenspannungen auf das Werkstoffverhalten	422
23.5.8.1	Einfluß auf die Korrosionsbeständigkeit	422
23.5.8.2	Einfluß auf die statische Festigkeit und das Spröbruchverhalten	423
23.5.8.3	Einfluß auf die Knickstabilität	424
23.5.8.4	Einfluß auf die Dauerschwingfestigkeit	425
23.5.8.5	Einfluß auf die Rißzähigkeit	428
23.6	Verformungen, Verwerfungen und Verzug	430
23.6.1	Querverformung	430
23.6.2	Längsverformung	431
23.6.3	Verwerfungen, Beulen, Verzug	433
23.6.4	Maßtoleranzen der geschweißten Konstruktion	434
23.7	Korrosion von Schweißverbindungen	436
23.7.1	Kontaktkorrosion	436
23.7.2	Unterschiedliches Korrosionsverhalten von Schweißgut, Wärmeeinflußzone und Grundwerkstoff	437
23.7.3	Spannungsrißkorrosion (SpRK)	438
23.7.4	Schwingungsrißkorrosion (SwRK)	439
23.7.5	Lochkorrosion	440
23.7.6	Verringerte Korrosionsbeständigkeit durch Gasaufnahme	440
23.7.7	Verringerte Korrosionsbeständigkeit von Schweißverbindungen durch schweißbedingte Oberflächen- verunreinigungen und -fehler	441
23.7.8	Die geometrische Form der Schweißverbindung als Ursache für Korrosion	442
23.7.9	Korrosionsschutz	443
23.7.10	Lötbruch	443
23.8	Reparaturschweißen	443
23.8.1	Fertigungsschweißung	445
23.8.2	Instandsetzungsschweißung	445
23.8.3	Beispiele für Reparaturschweißungen	446

24 Arbeits- und Brandschutz	448
24.1 Arbeitsschutz	448
24.1.1 Sicherheit gegenüber beim Schweißen auftretenden Emissionen	448
24.1.1.1 Gase	448
24.1.1.2 Rauche und Dämpfe	452
24.1.1.3 Fremdkörpereinflug	454
24.1.1.4 Lärm	455
24.1.1.5 Strahlung	456
24.1.2 Sicherheit beim Gasschweißen, Brennschneiden und thermischen Spritzen	458
24.1.3 Sicherheit beim Lichtbogenschweißen	460
24.1.4 Sicherheit beim Laserstrahlschweißen	465
24.1.5 Sicherheit beim Weich- und Hartlöten	465
24.1.6 Sicherheit bei Schweiß- und Schneidarbeiten an Behältern und Rohrleitungen, die mit brennbaren Flüssigkeiten gefüllt waren	465
24.2 Brandschutz	466
24.2.1 Vorbeugende Schutzmaßnahmen	467
24.2.2 Maßnahmen während der Arbeit	467
24.2.3 Maßnahmen nach Abschluß der Arbeit	468
24.2.4 Flaschenbrand	468
25 Sonderfragen	471
25.1 Schweißen und Schneiden unter Wasser in Schiffbau und Meerestechnik	471
25.1.1 Schweißen unter Wasser	472
25.1.1.1 Naßschweißen unter Wasser	472
25.1.1.2 Trockenschweißen unter Wasser	473
25.1.2 Schneiden unter Wasser	476
25.1.2.1 Brennschneiden unter Wasser	476
25.1.2.2 Lichtbogenschneiden unter Wasser	477
25.1.2.3 Sonstige Schneidverfahren unter Wasser	478
25.1.3 Arbeitsausführung	478
25.2 Schichten zur Erhöhung von Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit	478
25.2.1 Beschichtungsverfahren und Auftragwerkstoffe	478
25.2.2 Schweißen beschichteter Bleche	483
25.2.2.1 Zinkschichten	483
25.2.2.2 Aluminiumschichten	485
25.3 Überschweißen von Fertigungsanstrichen	485
25.4 Schweißen artverschiedener Werkstoffe	487
25.4.1 Metall-Metall-Verbindungen	487
25.4.2 Metall/Keramik- und Keramik/Keramik-Verbindungen	490

25.4.3 Metall-Kunststoff-Verbindungen	490
25.4.4 Sinterwerkstoffe in ungleichartigen Schweißverbindungen	490
25.5 Mikroschweißen und -löten	490
26 Wirtschaftlichkeit	493
26.1 Wirtschaftliche Konstruktion	493
26.2 Wirtschaftliche Betriebsorganisation	494
26.3 Wirtschaftliche Fertigung	495
26.3.1 Verbrauchskosten	495
26.3.2 Lohnkosten	496
26.3.3 Maschinen- und Gerätekosten	498
26.3.4 Gemeinkosten	499
26.4 Verfahrensvergleich mittels Wirtschaftlichkeitsrechnung	499
Sachverzeichnis	547

Inhaltsübersichten

Band I (Werkstoffe)

- 1 Begriff der Schweißbarkeit
- 2 Werkstoffbeeinflussung durch den Schweißprozeß
- 3 Unlegierte Stähle
- 4 Niedriglegierte Stähle
- 5 Hochlegierte Stähle
- 6 Plattierte Stähle und Schweißplattierungen
- 7 Eisen-Gußwerkstoffe
- 8 Nichteisenmetalle
- 9 Nichtmetallische Werkstoffe

Band III (Konstruktive Gestaltung der Bauteile)

- 27 Der Auftrag
- 28 Indikationen für die geschweißte, gelötete und geklebte Konstruktion
- 29 Gestaltung von Schweißkonstruktionen
- 30 Detailgestaltung von Schweißverbindungen
- 31 Detailgestaltung von Lötverbindungen
- 32 Detailgestaltung von Klebverbindungen
- 33 Anwendungsbedingte Besonderheiten der Bauteilgestaltung
- 34 Konstruktionsbedingte Schadensfälle

Band IV (Berechnung von Schweißkonstruktionen)

- 35 Berechnung von Schweißverbindungen
- 36 Berechnung von Lötverbindungen
- 37 Berechnung von Klebverbindungen
- 38 Anwendung programmierbarer Taschenrechner
- 39 Rechnerunterstütztes Konstruieren
- 40 Methode der finiten Elemente