

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Theoretische Grundlagen für Schweißkonstruktionen aus Stählen</b> .....	15
1.1. Beanspruchung und Tragfähigkeit .....	15
1.1.1. Übersicht der Werkstoffkennwerte für die Bemessung von Konstruktionen .....	15
1.1.2. Gewalt-, Spröd- und Ermüdungsbruch von Stählen (metallphysikalische Deutung der Bruchentstehung) .....	18
1.1.2.1. Einführung .....	18
1.1.2.2. Metallphysikalische Grundlagen – Versetzungstheorie .....	19
1.1.2.3. Sprödbruch .....	24
1.1.2.4. Ermüdungsbruch .....	28
1.1.3. Statische Festigkeit von Schweißkonstruktionen .....	31
1.1.3.1. Werkstoffkennwerte für den „allgemeinen Spannungsnachweis“ im Nennspannungskonzept .....	31
1.1.3.1.1. Zugversuch .....	31
1.1.3.1.2. Bemessung nach Kurzzeitfestigkeit im Nennspannungskonzept .....	33
1.1.3.1.3. Statische Festigkeit von Stumpf- und Kehlnähten .....	34
1.1.3.1.4. Statische Festigkeit von Reibschweißverbindungen .....	39
1.1.3.1.5. Statische Festigkeit von Punktschweißverbindungen .....	41
1.1.3.2. Einführende Grundlagen für das Traglastverfahren .....	47
1.1.3.3. Werkstoffkennwerte für Spannungsnachweise bei Langzeitbeanspruchung .....	51
1.1.3.3.1. Warmfestigkeit .....	51
1.1.3.3.2. Langzeitbeanspruchung bei stetig absinkender Temperatur .....	55
1.1.4. Ermüdung von Schweißkonstruktionen .....	56
1.1.4.1. Allgemeines .....	56
1.1.4.2. Einstufige Belastung (Zeit- und Dauerschwingfestigkeit) im Nennspannungskonzept .....	59
1.1.4.2.1. Grundlagen	
Werkstoffkennwerte der Stähle für die Bemessung von Konstruktionen bei einstufiger Belastung .....	59
1.1.4.2.1.1. Wöhlerkurven .....	59
1.1.4.2.1.2. Dauerschwingfestigkeitsschaubilder .....	66
1.1.4.2.1.3. Dauerschwingfestigkeitsschaubilder gekerbter Stäbe .....	69
1.1.4.2.1.4. Werte der Dauerschwingfestigkeit von Baustählen .....	74
1.1.4.2.1.5. Zusammenfassende Schlußfolgerungen zu Werkstoffkennwerten für einstufige Belastung .....	76
1.1.4.2.2. Dauerschwingfestigkeitsverhalten von Schweißverbindungen bei Belastung auf Zug bzw. Druck (Normalspannungen) .....	76
1.1.4.2.2.1. Einfluß der Schweißung auf die Dauerschwingfestigkeit (bei Kleinteilen) .....	76
1.1.4.2.2.2. Spannungsverteilungen an Schweißverbindungen (Finite-Element-Verfahren) .....	79
1.1.4.2.2.3. Einfluß der Gestalt und der Herstellung der Schweißverbindungen auf die Dauerschwingfestigkeit .....	82

1.1.4.2.2.4.	Einfluß der Stahlarten auf die Dauerschwingfestigkeit der Schweißverbindungen .....	100
1.1.4.2.3.	Dauerschwingfestigkeitsverhalten von Schweißverbindungen bei Belastung auf Torsion .....	104
1.1.4.2.3.1.	Einfluß der Schweißung auf die Dauerschwingfestigkeit bei Torsion .....	104
1.1.4.2.3.2.	Einfluß der Gestalt und der Herstellung der Schweißverbindung auf die Dauerschwingfestigkeit bei Torsion .....	107
1.1.4.2.4.	Dauerschwingfestigkeitsverhalten von geschweißten Bauelementen (Bauteilen) .....	109
1.1.4.2.4.1.	Geschweißte Zug-Druck-Stäbe (Bauteile) .....	109
1.1.4.2.4.2.	Geschweißte Biegeträger .....	111
1.1.4.2.4.3.	Geschweißte Fachwerkträger .....	121
1.1.4.2.4.4.	Geschweißte Bauteile mit Beanspruchung auf Torsion .....	125
1.1.4.2.5.	Vorschläge der Klassifizierung des Ermüdungsverhaltens der Schweißverbindungen nach Kerbfällen .....	126
1.1.4.3.	Mehrstufige Belastung (Betriebsfestigkeit) .....	130
1.1.4.3.1.	Grundlagen Werkstoffkennwerte der Stähle für die Bemessung von Konstruktionen bei mehrstufiger Belastung .....	130
1.1.4.3.2.	Ermüdungsverhalten von Schweißverbindungen bei mehrstufiger Belastung .....	141
1.1.5.	Sprödbbruchverhalten von Schweißkonstruktionen .....	146
1.1.5.1.	Schweißbeignung und Schweißsicherheit .....	146
1.1.5.2.	Sprödbbruchverhalten von Schweißkonstruktionen bei Beanspruchung durch mehrachsigen Spannungszustand, tiefe Temperaturen und Schlag .....	153
1.1.5.2.1.	Voraussetzungen für einen spröden Bruch .....	153
1.1.5.2.2.	Kriterium für Sprödbrucheintritt .....	153
1.1.5.2.3.	Einflußgrößen auf das Sprödbbruchverhalten .....	154
1.1.5.2.4.	Ansätze zur rechnerischen Erfassung der Mehrachsigkeit der Spannungen als Kriterien für den Spröd- bzw. Zähbruch .....	156
1.1.5.2.5.	Einfluß des Schweißens auf den Sprödbbruch .....	160
1.1.6.	Mehrachsiger Spannungszustand Festigkeits- und Ermüdungsverhalten von Schweißkonstruktionen bei mehrachsiger Beanspruchung .....	164
1.1.6.1.	Festigkeitshypothesen .....	164
1.1.6.1.1.	Klassische Hypothesen der Vergleichsspannungen .....	167
1.1.6.1.1.1.	Hypothese der maximalen Normalspannung .....	167
1.1.6.1.1.2.	Hypothese der maximalen Dehnung .....	168
1.1.6.1.1.3.	Hypothese der maximalen Schubspannungen .....	169
1.1.6.1.1.4.	Hypothese der inneren Reibung .....	170
1.1.6.1.1.5.	Hypothese der konstanten Gestaltänderungsarbeit .....	171
1.1.6.1.1.6.	Hypothese der resultierenden Dehnung .....	172
1.1.6.1.2.	Sonderhypothesen .....	172
1.1.6.1.2.1.	Hypothese von <i>Prager</i> .....	172
1.1.6.1.2.2.	Hypothese von <i>Kudrjavcev</i> .....	173
1.1.6.1.2.3.	Hypothese von <i>Yokobori</i> .....	173
1.1.6.2.	Festigkeitsverhalten von Schweißverbindungen im mehrachsigen Spannungszustand .....	174
1.1.6.2.1.	Festigkeitshypothesen bei statischer Beanspruchung .....	174
1.1.6.2.2.	Festigkeitshypothesen bei schwingender Beanspruchung .....	176
1.1.6.3.	Konzept der Bruchmechanik für Nachweise bei Schweißverbindungen ..	183

1.1.7. Steifigkeit, Schwingung, Dämpfung	
Steifigkeits-, Schwingungs- und Dämpfungsverhalten von geschweißten Konstruktionen .....	187
1.1.7.1. Einleitung .....	187
1.1.7.2. Grundlagen über statische und dynamische Steifigkeit .....	188
1.1.7.2.1. Statische Steifigkeit .....	188
1.1.7.2.2. Schwingungsverhalten, dynamische Steifigkeit .....	190
1.1.7.2.2.1. Freie Schwingungen .....	190
1.1.7.2.2.2. Erzwungene Schwingungen .....	191
1.1.7.3. Einfluß der Querschnittsgestaltung und der Werkstoffeigenschaften auf die statische Steifigkeit .....	197
1.1.7.3.1. Zug- und Druckbeanspruchung .....	197
1.1.7.3.2. Biegebeanspruchung .....	197
1.1.7.3.3. Torsionsbeanspruchung .....	200
1.1.7.4. Einfluß der Querschnittsgestaltung und der Werkstoffeigenschaften auf die Eigenfrequenz .....	201
1.1.7.4.1. Zug- und Druckbeanspruchung .....	201
1.1.7.4.2. Biegebeanspruchung .....	202
1.1.7.4.3. Torsionsbeanspruchung .....	203
1.1.7.5. Konstruktionsvergleiche durch Anwendung von Modellgesetzen .....	203
1.1.7.6. Steifigkeit von Bauteilen .....	206
1.1.7.6.1. Einfluß der Schweißung auf die Steifigkeit .....	206
1.1.7.6.2. Einfluß der Querschnittsgestaltung, Verrippung und Kräfteinleitung auf die Steifigkeit .....	207
1.1.7.6.2.1. Stäbe, Träger .....	207
1.1.7.6.2.2. Platten .....	213
1.1.7.6.2.3. Ständer .....	213
1.1.7.6.2.4. Kästen .....	213
1.1.7.6.2.5. Konsolen .....	214
1.1.7.6.3. Einfluß von Durchbrüchen, Deckeln, Naben und Flanschen auf die Steifigkeit .....	216
1.1.7.7. Erhöhung der dynamischen Steifigkeit .....	222
1.1.7.7.1. Übersicht .....	222
1.1.7.7.2. Dämpfung an geschweißten Maschinen .....	223
1.1.7.7.2.1. Werkstoffdämpfung .....	223
1.1.7.7.2.2. Reibungsdämpfung .....	225
1.1.7.7.3. Reibungsdämpfer für Schweißkonstruktionen .....	227
1.2. Schrumpfungen und Eigenspannungen – Verformungen und Tragfähigkeit .....	230
1.2.1. Einführung .....	230
1.2.2. Theoretische Grundlagen .....	233
1.2.3. Schrumpfungen und Verformungen .....	239
1.2.3.1. Querschrumpfung .....	240
1.2.3.2. Formänderung infolge außermittiger Querschrumpfung (Winkeländerung, Krümmung) .....	252
1.2.3.3. Längenänderungen und Formänderungen infolge Längsschrumpfung (Verkürzung, Krümmung) .....	259
1.2.4. Eigenspannungen .....	264
1.2.4.1. Größe und Verteilung der Eigenspannungen .....	265
1.2.4.2. Eigenspannungen und Verformungsfähigkeit .....	271
1.2.4.3. Zusammenwirken von Eigenspannungen und Lastspannungen .....	274

1.2.5. Einfluß der Eigenspannungen auf die Tragfähigkeit .....	277
1.2.5.1. Einfluß auf die Dauerfestigkeit .....	277
1.2.5.2. Einfluß auf die Stabilität .....	280
1.2.5.3. Theoretische Deutung der Vorgänge beim Zusammenwirken von Eigen- und Lastspannungen und Einordnung in ein System charakteristischer Fälle .....	284
1.2.5.4. Prinzipielle Schlußfolgerungen .....	292
1.3. Wärmebehandlung von Schweißkonstruktionen .....	295
1.3.1. Allgemeines .....	295
1.3.2. Grundlagen der Wärmebehandlung .....	296
1.3.3. Wärmebehandlungsarten .....	302
1.3.4. Durchführung der Wärmebehandlung .....	307
1.3.5. Wärmen beim Schweißen .....	309
<b>2. Entwurf und Gestaltung von Schweißkonstruktionen aus Stählen .....</b>	<b>311</b>
2.1. Konstruktiver Entwicklungsprozeß .....	311
2.1.1. Übersicht der konstruktiven und technologischen Fertigungsvorbereitung .....	311
2.1.1.1. Grundlagen .....	311
2.1.1.2. Zusammenwirken von Konstruktion und Technologie in der Schweiß- technik .....	312
2.1.1.3. Übersicht der konstruktiven Vorbereitung geschweißter Erzeugnisse ...	313
2.1.1.4. Übersicht der technologischen Fertigungsvorbereitung geschweißter Er- zeugnisse .....	316
2.1.2. Grundlagen des konstruktiven Entwicklungsprozesses .....	319
2.1.2.1. Methodische Vorgehensweise im konstruktiven Entwicklungsprozeß ...	319
2.1.2.2. Grundprinzip des konstruktiven Entwicklungsprozesses .....	321
2.1.2.3. Flußbild des konstruktiven Entwicklungsprozesses .....	322
2.1.3. Entscheidungshilfen in der Konstruktion .....	324
2.1.4. Mathematische Optimierung im Konstruktionsprozeß .....	326
2.2. Grundsätze der Auswahl von Werkstoffen für Schweißkonstruktionen aus Stählen..	330
2.2.1. Einführung .....	330
2.2.1.1. Werkstoffwahl im konstruktiven Entwicklungsprozeß .....	330
2.2.1.2. Werkstoffwahl in bezug auf die Sicherheit gegen Versagen einer geschweiß- ten Konstruktion .....	332
2.2.2. Stahlgütewahl für Schweißkonstruktionen .....	335
2.2.2.1. Bestehende Richtlinien und Vorschriften und deren Erläuterung .....	335
2.2.2.2. Zusammenhang: Schweißtechnologie und Stahlgütewahl .....	337
2.2.2.3. Vorschlag zur Stahlauswahl in Schweißkonstruktionen im Tieftemperatur- bereich .....	340
2.2.2.4. Vorschläge für näherungsweise Sprödbruchsicherheitsnachweise .....	344
2.2.2.4.1. Überschläglicher Nachweis ohne Lastspannungen .....	344
2.2.2.4.2. Rechnerischer Nachweis auf der Basis von Last- und Eigenspannungen	348
2.3. Grundsätze der Bemessung von Schweißkonstruktionen aus Stählen .....	359
2.3.1. Kurzbericht der Bemessungsvorschriften .....	359

2.3.2. Programme für die Bemessung .....	360
2.3.3. CAD/CAM-Systeme .....	360
2.4. Grundsätze der Gestaltung von Schweißkonstruktionen aus Stählen .....	361
2.4.1. Schweißzeichnung .....	361
2.4.1.1. Einleitung .....	361
2.4.1.2. Angaben in Schweißzeichnungen .....	362
2.4.1.3. Begriffe und Sinnbilder der Schweißverbindungen .....	365
2.4.1.4. Fugenformen (Nahtvorbereitung) .....	365
2.4.2. Gestaltungsmerkmale von Schweißkonstruktionen in Abhängigkeit von der Funktion, besonders der Beanspruchung (beanspruchungsgerechte Gestaltung) .....	365
2.4.2.1. Allgemeine Grundsätze der Gestaltung von Schweißkonstruktionen ...	365
2.4.2.1.1. Übersicht: Funktion und Gestaltung .....	365
2.4.2.1.2. Bauweisen und Gestaltungsmerkmale .....	366
2.4.2.2. Gestaltungsmerkmale von Schweißkonstruktionen in bezug auf statische und dynamische (schwingende) Beanspruchung .....	373
2.4.2.3. Gestaltungsmerkmale von Schweißkonstruktionen in bezug auf Schlagbeanspruchung. ....	379
2.4.2.4. Gestaltungsmerkmale von geschweißten Konstruktionen aus Baustahl zur Vermeidung von Terrassenbrüchen .....	382
2.4.2.5. Gestaltungsmerkmale von Schweißkonstruktionen in bezug auf statische und dynamische Steifigkeit .....	384
2.4.3. Gestaltungsmerkmale von Schweißkonstruktionen in Abhängigkeit von der Fertigung (fertigungsgerechte Gestaltung) .....	393
2.5. Grundsätze der Auswahl von Schweißverfahren, Zusatzwerkstoffen und Wärmebehandlungen .....	406
2.5.1. Auswahl der Schweißverfahren beim Entwerfen und Gestalten .....	406
2.5.2. Schweißverfahren (stichwortartige Übersicht mit Anwendungsbereichen) .....	417
2.5.3. Auswahl der Zusatzwerkstoffe und der Wärmebehandlungen .....	423
2.6. Fertigung und Gütesicherung .....	446
2.6.1. Kurzübersicht der Fertigung .....	446
2.6.2. Gütesicherung (Ausführungsklassen) .....	449
2.6.3. Zusammenbau und Montage .....	452
2.6.3.1. Maßnahmen zur Beherrschung von Verformungen und Spannungen ...	452
2.6.3.2. Schweißfolge .....	453
2.6.3.3. Schweißfolgeplan .....	465
2.6.3.4. Schweißplan .....	465
2.6.3.5. Zusammenbauplan .....	465
2.6.3.6. Brennplan .....	468
2.6.3.7. Einsatz von Schweißvorrichtungen .....	469
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>472</b>
<b>Stahlschlüsselung .....</b>	<b>497</b>

<b>Anhang</b> .....	504
A1. Tafeln für den Entwurf von Schweißkonstruktionen .....	504
A1.1. Rechteck- und Rundprofile .....	504
A1.2. Schweißprofile .....	510
A1.3. Trägheits- und Widerstandsmomente gebräuchlicher Querschnitte .....	532
A2. Richtlinien und Vorschriften .....	539
A2.1. Stahlgütewahl für Schweißkonstruktionen .....	539
A2.2. Übersicht über Festigkeitsnachweise für Schweißverbindungen .....	548
A2.3. Zeichnerische Darstellung von Schweißverbindungen .....	550
A2.4. Gütesicherung von Schweißarbeiten .....	568
<b>Sachwörterverzeichnis</b> .....	599