

# Inhalt

|          |   |    |
|----------|---|----|
|          | Vorwort.....  | 5  |
|          | <b>Einführung</b> .....   | 21 |
| <b>1</b> | <b>Schweißverfahren, Schweißnähte und Schweißpositionen</b> ..... | 25 |
| 1.1      | Wichtige Schweißverfahren im Metallhandwerk .....                 | 25 |
| 1.1.1    | Schutzgasschweißen (MIG/MAG, WIG).....                            | 27 |
| 1.1.2    | Gasschmelzschweißen.....  | 34 |
| 1.1.3    | Lichtbogenhandschweißen.....                                      | 40 |
| 1.1.4    | Unterpulverschweißen .....  | 43 |
| 1.1.5    | Bolzenschweißen .....   | 45 |
| 1.1.6    | Punktschweißen.....   | 47 |
| 1.2      | Stoßarten.....  | 48 |
| 1.3      | Schweißnahtvorbereitung.....                                      | 50 |
| 1.4      | Schweißpositionen.....  | 53 |
| 1.5      | Besondere Fügeverfahren.....                                      | 54 |
| 1.5.1    | Auftragschweißen .....  | 55 |
| 1.5.2    | Reparaturschweißen .....  | 57 |
| 1.5.3    | Fügen in der Denkmalpflege .....                                  | 59 |
| 1.5.3.1  | Feuerschweißen .....  | 59 |
| 1.5.3.2  | Schweißen von Gusseisen.....                                      | 61 |
| 1.5.3.3  | Fügen von Puddelstahl .....                                       | 63 |
| 1.5.3.4  | Schränkenlöten .....  | 65 |
| 1.5.3.5  | Weichlöten .....  | 68 |
| 1.6      | Vorbereiten des Schweißens .....                                  | 70 |
| 1.7      | Schweißgerechte Materialbestellung.....                           | 71 |
| 1.8      | Auswahl von Schweißzusätzen und Hilfsstoffen .....                | 80 |
| 1.8.1    | Schwarze Stähle .....   | 80 |
| 1.8.2    | Weißer Stähle (Chrom-Nickel-Stähle).....                          | 80 |
| 1.8.2.1  | Artgleiche Verbindungen.....                                      | 80 |
| 1.8.2.2  | Mischverbindungen .....   | 81 |
| 1.8.2.3  | Schwarz-Weiß-Verbindungen.....                                    | 81 |
| 1.8.2.4  | Hilfsstoffe .....   | 81 |
| 1.9      | Entmagnetisierung ferromagnetischer Werkstoffe .....              | 82 |
| <b>2</b> | <b>Konstruktion und Statik</b> .....                              | 83 |
| 2.1      | Gestaltung der Schweißkonstruktionen.....                         | 83 |
| 2.1.1    | Einleitung .....  | 83 |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 2.1.2    | Gestaltung von Schweißkonstruktionen mit Wahl der Z-Güte   | 83         |
| 2.1.3    | Gestaltung dynamisch beanspruchter Schweißkonstruktionen und Kerbfälle                           | 86         |
| 2.1.4    | Verzinkungsgerechte Gestaltung der Schweißkonstruktionen   | 89         |
| 2.1.4.1  | Allgemeine konstruktive Grundregeln für feuerverzinkte Konstruktionen                            | 89         |
| 2.1.4.2  | Konstruktionsklassen, Detailklassen und Vertrauenszonen nach DAST-Richtlinie 022                 | 92         |
| 2.1.4.3  | Allgemeine Hinweise zu Duplex-Systemen mit Pulverbeschichtungen                                  | 93         |
| 2.2      | Statische Berechnungen von Schweißkonstruktionen   | 94         |
| 2.2.1    | Grundlagen   | 94         |
| 2.2.1.1  | Bemessungen von Stahlbauten, Teilsicherheitsbeiwerte, Streckgrenze, Fließgrenze                  | 94         |
| 2.2.1.2  | Grundlagen der Schweißnahtberechnung nach DIN EN 1993-1-8  | 96         |
| 2.2.2    | Tragfähigkeitsberechnungen bei Stumpfnähten  | 97         |
| 2.2.2.1  | Durchgeschweißte Stumpfnähte   | 97         |
| 2.2.2.2  | Nicht durchgeschweißte Stumpfnähte   | 97         |
| 2.2.2.3  | T-Stöße  | 98         |
| 2.2.3    | Berechnung der Tragfähigkeit an Kehlnähten   | 98         |
| 2.2.3.1  | Konstruktive Anforderungen   | 98         |
| 2.2.3.2  | Beanspruchungen von Kehlnähten   | 99         |
| 2.2.3.3  | Kehlnahtbemessungen nach dem „Vereinfachten Verfahren“   | 100        |
| 2.2.3.4  | Kehlnahtbemessungen nach dem „Richtungsbezogenen Verfahren“                                      | 101        |
| 2.2.4    | Schlitznähte und Lochschweißungen  | 101        |
| 2.2.5    | Einseitige Schweißnahtanschlüsse   | 102        |
| 2.2.5.1  | Exzentrisch beanspruchte einseitige, nicht durchgeschweißte Stumpfnähte und einseitige Kehlnähte | 103        |
| 2.2.5.2  | Einschenkliges Winkelprofil-Anschlüsse   | 103        |
| 2.2.6    | Schweißen in kaltverformten Bereichen  | 103        |
| 2.2.7    | Anschlüsse an Hohlprofile  | 104        |
| 2.3      | Schweißplanung   | 106        |
| 2.3.1    | Grundlagen der Schweißplanung  | 106        |
| 2.3.2    | Verringern von Schweißzugspannungen  | 107        |
| 2.3.3    | Praxis des Pilgerschrittverfahrens   | 110        |
| <b>3</b> | <b>Werkstoffe und ihre Schweißbarkeit</b>  | <b>113</b> |
| 3.1      | Begriff der Schweißbarkeit   | 113        |
| 3.1.1    | Schweißbarkeit   | 113        |
| 3.1.2    | Schweißbarkeit   | 114        |
| 3.1.3    | Schweißmöglichkeit   | 115        |
| 3.1.4    | Schweißsicherheit  | 115        |
| 3.2      | Gruppeneinteilung von Stählen zum Schweißen  | 115        |
| 3.3      | Schweißen und Schweißbarkeit von Werkstoffen (Baustahl)  | 116        |
| 3.3.1    | Einführung   | 116        |

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| 3.3.2     | Wichtige Eigenschaften von Kohlenstoff- und Kohlenstoff-Mangan-Stählen . . . . . | 116 |
| 3.3.2.1   | Überblick über wichtige Eigenschaften . . . . .                                  | 116 |
| 3.3.2.2   | Tragfähigkeit und Umformbarkeit . . . . .  | 117 |
| 3.3.2.3   | Sprödbbruchverhalten. . . . .  | 118 |
| 3.3.2.4   | Verschleißbeständigkeit . . . . .  | 118 |
| 3.3.2.5   | Eignung zur Wärmebehandlung. . . . .   | 118 |
| 3.3.2.6   | Schweißbeignung . . . . .  | 118 |
| 3.3.2.6.1 | Beurteilung der Schweißbeignung. . . . .   | 118 |
| 3.3.2.6.2 | Kohlenstoffäquivalent CEV . . . . .  | 119 |
| 3.4       | Unlegierte Stähle . . . . .  | 119 |
| 3.4.1     | Unlegierte Bau- und Maschinenbaustähle nach DIN EN 10025-2 . . . . .             | 119 |
| 3.4.1.1   | Begriff und maßgebliche Eigenschaften. . . . .                                   | 119 |
| 3.4.1.2   | Einteilung der unlegierten Baustähle gemäß CEN ISO/TR 15608 . . . . .            | 120 |
| 3.4.1.3   | Sorten. . . . .  | 120 |
| 3.4.1.4   | Schweißbeignung. . . . .   | 121 |
| 3.4.1.5   | Bezeichnungsbeispiele. . . . .   | 122 |
| 3.4.2     | Wetterfeste Baustähle nach DIN EN 10025-5 . . . . .                              | 122 |
| 3.4.2.1   | Begriff und maßgebliche Eigenschaften. . . . .                                   | 122 |
| 3.4.2.2   | Sorten. . . . .  | 123 |
| 3.4.2.3   | Schweißbeignung. . . . .   | 123 |
| 3.4.2.4   | Bezeichnungsbeispiele. . . . .   | 124 |
| 3.4.3     | Betonstähle nach DIN EN 10080 und DIN 488-1. . . . .                             | 124 |
| 3.4.3.1   | Begriff und maßgebliche Eigenschaften. . . . .                                   | 124 |
| 3.4.3.2   | Sorten. . . . .  | 125 |
| 3.4.3.3   | Schweißbeignung. . . . .   | 126 |
| 3.4.3.4   | Bezeichnungsbeispiele. . . . .   | 126 |
| 3.4.3.5   | Kennzeichnung . . . . .  | 126 |
| 3.4.4     | Schweißtechnische Verarbeitung . . . . .   | 126 |
| 3.4.4.1   | Schweißprozesse . . . . .  | 126 |
| 3.4.4.2   | Schweißzusatzwerkstoffe . . . . .  | 126 |
| 3.4.4.3   | Wirkungen der Schweißwärmebehandlung . . . . .                                   | 128 |
| 3.5       | Feinkornbaustähle . . . . .  | 128 |
| 3.5.1     | Einführung . . . . .   | 128 |
| 3.5.2     | Überblick über die Feinkornbaustähle . . . . .                                   | 129 |
| 3.5.3     | Einteilung der Feinkornbaustähle nach CEN ISO/TR 15608 . . . . .                 | 129 |
| 3.5.4     | Normalisierte Feinkornbaustähle . . . . .  | 129 |
| 3.5.4.1   | Überblick. . . . .   | 129 |
| 3.5.4.2   | Sorten. . . . .  | 131 |
| 3.5.4.3   | Bezeichnungsbeispiele. . . . .   | 132 |
| 3.5.4.4   | Schweißbeignung. . . . .   | 132 |
| 3.5.5     | Thermomechanisch gewalzte Feinkornbaustähle. . . . .                             | 132 |
| 3.5.5.1   | Überblick. . . . .   | 132 |
| 3.5.5.2   | Sorten. . . . .  | 133 |
| 3.5.5.3   | Bezeichnungsbeispiele. . . . .   | 133 |
| 3.5.5.4   | Schweißbeignung. . . . .   | 134 |
| 3.5.6     | Flüssigkeitsvergütete Feinkornbaustähle . . . . .                                | 134 |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 3.5.6.1   | Überblick .....  | 134        |
| 3.5.6.2   | Sorten .....   | 134        |
| 3.5.6.3   | Bezeichnungsbeispiele .....  | 134        |
| 3.5.6.4   | Schweißbeignung .....  | 135        |
| 3.5.7     | Schweißtechnische Verarbeitung .....                                       | 136        |
| 3.5.7.1   | Allgemeine Hinweise .....  | 136        |
| 3.5.7.2   | Schweißprozesse .....  | 136        |
| 3.5.7.3   | Schweißzusatzwerkstoffe .....  | 136        |
| 3.6       | Sonderbaustähle mit erhöhtem Verschleißwiderstand .....                    | 138        |
| 3.6.1     | Einführung .....   | 138        |
| 3.6.2     | Grundwerkstoffübersicht .....  | 139        |
| 3.6.3     | Schweißtechnische Verarbeitung .....                                       | 141        |
| 3.6.3.1   | Besonderheiten beim Schweißen .....  | 141        |
| 3.6.3.1.1 | Vorwärmung .....   | 142        |
| 3.6.3.1.2 | Schweißtechnologische Hinweise .....                                       | 142        |
| 3.6.3.2   | Zusatzwerkstoffe .....   | 143        |
| 3.6.3.3   | Beispiele für Grundwerkstoff-Zusatzwerkstoff-Kombinationen .....           | 145        |
| 3.7       | Nichtrostende Stähle .....   | 146        |
| 3.7.1     | Einführung .....   | 146        |
| 3.7.2     | Arten nichtrostender korrosionsbeständiger (säurebeständiger) Stähle ..... | 146        |
| 3.7.2.1   | Ferritische nichtrostende Stähle .....                                     | 146        |
| 3.7.2.2   | Martensitische nichtrostende Stähle .....                                  | 148        |
| 3.7.2.3   | Austenitische nichtrostende Stähle .....                                   | 151        |
| 3.7.2.4   | Austenitisch-ferritische nichtrostende Stähle .....                        | 153        |
| 3.7.3     | Einteilung der nichtrostenden Stähle gemäß CEN ISO/TR 15608 .....          | 154        |
| 3.7.4     | Schweißtechnische Verarbeitung .....                                       | 156        |
| 3.7.4.1   | Allgemeine Hinweise .....  | 156        |
| 3.7.4.2   | Anwendbare Schweißprozesse .....   | 156        |
| 3.7.4.3   | Schweißzusatzwerkstoffe .....  | 156        |
| 3.7.4.4   | Schweißbeignung und Auswahl von Zusatzwerkstoffen .....                    | 156        |
| 3.7.4.4.1 | Ferritische nichtrostende Stähle .....                                     | 156        |
| 3.7.4.4.2 | Martensitische nichtrostende Stähle .....                                  | 157        |
| 3.7.4.4.3 | Austenitische nichtrostende Stähle .....                                   | 157        |
| 3.7.4.4.4 | Austenitisch-ferritische nichtrostende Stähle .....                        | 157        |
| 3.7.4.5   | Hinweise zur Nahtgestaltung .....  | 158        |
| 3.8       | Schweißbeignung von Altstählen .....                                       | 158        |
| 3.9       | Werkstoffe und ihre Eignung zum Schmelztauchverzinken ..                   | 159        |
| <b>4</b>  | <b>Schweißen im geregelten und ungeregelten Bereich .....</b>              | <b>163</b> |
| 4.1       | Qualitätsanforderungen .....   | 163        |
| 4.2       | Schweißen im Geltungsbereich der DIN EN 1090 .....                         | 167        |
| 4.2.1     | Ausführungsklassen .....   | 169        |
| 4.2.2     | Personalanforderungen für den Schweißprozess .....                         | 171        |
| 4.2.3     | Qualifizierung von Schweißverfahren .....                                  | 173        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 4.2.4    | Eurocodes .....  | 178        |
| 4.3      | Schweißanweisungen .....   | 183        |
| 4.4      | Prüfung von Schweißnähten .....  | 192        |
| 4.4.1    | Prüfanforderungen in der Ausführungsklasse 1 (EXC1).....                                   | 192        |
| 4.4.2    | Prüfanforderungen in der Ausführungsklasse 2 (EXC2).....                                   | 193        |
| 4.4.3    | Sichtprüfung.....  | 194        |
| 4.4.3.1  | Sichtprüfung vor dem Schweißen .....   | 194        |
| 4.4.3.2  | Sichtprüfung während des Schweißens .....  | 194        |
| 4.4.3.3  | Sichtprüfung nach dem Schweißen.....   | 194        |
| 4.4.4    | Ergänzende zerstörungsfreie Prüfungen .....  | 196        |
| 4.4.5    | Prüfpersonal .....   | 198        |
| 4.4.6    | Prüfplan.....  | 198        |
| 4.5      | Aus- und Weiterbildung von Schweißern .....  | 198        |
| 4.6      | Schweißen im unregelmäßigen Bereich.....   | 201        |
| <b>5</b> | <b>Schweißnahtnachbehandlung und Korrosionsschutz .....</b>                                | <b>203</b> |
| 5.1      | Schleifen und Polieren .....   | 204        |
| 5.1.1    | Begriffsbestimmung .....   | 204        |
| 5.1.2    | Ausgewählte Schleif- und Poliermittel.....   | 206        |
| 5.1.3    | Lieferformen.....  | 208        |
| 5.1.4    | Hinweise für die Stahlbearbeitung .....  | 211        |
| 5.2      | Beizen .....   | 213        |
| 5.2.1    | Begriffsbestimmung .....   | 213        |
| 5.2.2    | Beizen von allgemeinem Baustahl.....   | 215        |
| 5.2.3    | Beizen von nichtrostendem Stahl .....  | 216        |
| 5.2.4    | Verarbeitungsformen .....  | 218        |
| 5.2.5    | Arbeitssicherheit und Umweltschutz.....  | 219        |
| 5.3      | Nachverzinken von Schweißnähten .....  | 220        |
| 5.4      | Wärmebehandlung nach dem Schweißen .....   | 224        |
| 5.4.1    | Begriffsbestimmung .....   | 224        |
| 5.4.2    | Spannungsarmglühen.....  | 225        |
| 5.4.3    | Normalglühen .....   | 228        |
| 5.4.4    | Anlagenkalibrierung und Qualitätssicherung.....  | 229        |
| 5.5      | Beseitigung von Spannungen und Schrumpfungen.....  | 230        |
| <b>6</b> | <b>Schweißarbeitsplätze und der Gesundheits- und Arbeitsschutz<br/>beim Schweißen.....</b> | <b>235</b> |
| 6.1      | Gefährdungen beim Schweißen.....   | 236        |
| 6.1.1    | Mechanische Gefährdungen .....   | 236        |
| 6.1.2    | Belastung des Bewegungsapparates .....   | 236        |
| 6.1.3    | Belastung durch Lärm.....  | 236        |
| 6.1.4    | Elektrische Gefährdungen .....   | 237        |
| 6.1.5    | Gefährdung durch Hitze.....  | 237        |
| 6.1.6    | Gefährdung durch optische Strahlung.....   | 238        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 6.1.7    | Gefahren durch Explosion und Brand . . . . .                       | 238        |
| 6.1.8    | Gefährdung durch Schadstoffe . . . . .                             | 238        |
| 6.2      | Einrichtung von Schweißarbeitsplätzen . . . . .                    | 239        |
| 6.2.1    | Einrichtung von stationären Schweißarbeitsplätzen . . . . .        | 239        |
| 6.2.2    | Schweißen auf der Baustelle . . . . .                              | 242        |
| 6.2.2.1  | Vermeidung von Absturz . . . . .                                   | 242        |
| 6.2.2.2  | Vermeidung von Bränden und Explosionen auf der Baustelle . . . . . | 243        |
| 6.2.3    | Schweißen in engen Räumen . . . . .                                | 246        |
| 6.3      | Persönliche Schutzausrüstung des Schweißers . . . . .              | 246        |
| 6.4      | Lüftung am Schweißarbeitsplatz . . . . .                           | 251        |
| 6.5      | Mechanisierung und Automatisierung beim Schweißen . . . . .        | 259        |
| <b>7</b> | <b>Toleranzen, Fehler und Schäden . . . . .</b>                    | <b>265</b> |
| 7.1      | Zulässige Unregelmäßigkeiten an Schweißverbindungen . . . . .      | 265        |
| 7.1.1    | DIN EN 1090 . . . . .  | 266        |
| 7.1.2    | Bewertung von Schweißnähten . . . . .                              | 267        |
| 7.2      | Typische Schadensbilder an Schweißverbindungen . . . . .           | 270        |
| 7.3      | Schadensfälle zum Schweißen . . . . .                              | 272        |
| 7.3.1    | Altstähle ohne Schweißseignung . . . . .                           | 272        |
| 7.3.2    | Falsche Schweißkonstruktion . . . . .                              | 273        |
| 7.3.3    | Mischverbindungen falsch konstruiert . . . . .                     | 275        |
| 7.3.4    | Undichte Schweißnähte an Druckbehältern . . . . .                  | 276        |
| 7.3.5    | Pore ist kein Mangel . . . . .                                     | 277        |
| 7.3.6    | Falsches Schweißspray verursacht Fehlstellen . . . . .             | 278        |
| 7.3.7    | Schweißpalt als Ursache für Korrosion . . . . .                    | 279        |
| 7.3.8    | Korrosion durch Schweißfehler . . . . .                            | 280        |
| <b>8</b> | <b>Praktische Beispiele von Schweißbauteilen . . . . .</b>         | <b>283</b> |
| 8.1      | Stütze nach Handskizze . . . . .                                   | 283        |
| 8.2      | Treppenwange . . . . .   | 290        |
| 8.3      | Rahmen mit biegesteifem Stoß . . . . .                             | 293        |
| 8.4      | Unterkonstruktion für Maschine . . . . .                           | 303        |
| <b>9</b> | <b>Anhang . . . . .</b>  | <b>307</b> |
| 9.1      | Schweißen-Glossar . . . . .  | 307        |
| 9.2      | Stichwortverzeichnis . . . . .                                     | 324        |
| 9.3      | Normenverzeichnis . . . . .  | 329        |
| 9.4      | Literatur- und Quellenverzeichnis . . . . .                        | 336        |
| 9.5      | Bildnachweis . . . . .   | 340        |
| 9.6      | Autoren . . . . .  | 342        |