

---

Karlheinz Schiebold

# Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung – Ultraschallprüfung

1. Auflage  
mit 441 Bildern und 100 Tabellen

# Inhaltsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| <b>Einführung</b> .....  | 1  |
| <b>1 Physikalische Grundlagen</b> .....  | 3  |
| 1.1 <b>Ultraschallwellen</b> .....   | 3  |
| 1.1.1 <b>Ausbreitungsgeschwindigkeit</b> .....   | 4  |
| 1.1.2 <b>Wellenlänge</b> .....   | 4  |
| 1.1.3 <b>Wellenarten</b> .....   | 6  |
| 1.1.3.1 <b>Longitudinalwellen</b> .....  | 6  |
| 1.1.3.2 <b>Transversalwellen</b> .....   | 8  |
| 1.1.3.3 <b>Oberflächenwellen (Rayleighwellen)</b> .....                                      | 9  |
| 1.1.3.4 <b>Plattenwellen (Lambwellen)</b> .....  | 9  |
| 1.2. <b>Verhalten der Wellen an Grenzflächen</b> .....                                       | 10 |
| 1.2.1 <b>Grenzflächen senkrecht zur Schallrichtung</b> .....                                 | 10 |
| 1.2.2 <b>Grenzflächen schräg zur Schallrichtung</b> .....                                    | 12 |
| 1.2.2.1 <b>Reflexion</b> .....   | 12 |
| 1.2.2.2 <b>Brechung</b> .....  | 13 |
| 1.2.2.3 <b>Wellenumwandlung</b> .....  | 13 |
| 1.2.2.4 <b>Grenzwinkel (Kritische Winkel)</b> .....  | 17 |
| 1.2.2.5 <b>Streifender Einfall von Schallwellen</b> .....                                    | 21 |
| 1.2.2.5.1 <b>Nebenechos durch teilweise Wellenum-</b><br><b>wandlung und Reflexion</b> ..... | 21 |
| 1.2.2.5.2 <b>Zusatzechos durch Mehrfachreflexion</b> .....                                   | 24 |
| 1.2.3 <b>Schallschwächung</b> .....  | 26 |
| 1.2.3.1 <b>Absorption</b> .....  | 26 |
| 1.2.3.2 <b>Streuung</b> .....  | 26 |
| 1.3. <b>Ultraschallerzeugung und -verfahren</b> .....  | 27 |
| 1.4 <b>Technische Darstellungsmöglichkeiten von Ultraschallanzeigen</b> .....                | 32 |
| <b>2 Ultraschallprüfsysteme</b> .....  | 35 |
| 2.1 <b>Prüfgeräte</b> .....  | 35 |
| 2.1.1 <b>Analoggeräte</b> .....  | 35 |

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| 2.1.1.1   | Blockschaltbild .....   | 35 |
| 2.1.1.2   | Baustufen des US-Gerätes .....  | 36 |
| 2.1.2     | Digitalgeräte .....   | 39 |
| 2.1.2.1   | Blockschaltbild .....   | 39 |
| 2.1.2.2   | Mikroprozessor und Auswertung der Signale .....                             | 39 |
| 2.1.3     | Allgemeine Einstellungen am Ultraschallgerät nach DIN EN 583-1 .....        | 39 |
| 2.1.4     | Generelle Anwendung von digitalen Ultraschallgeräten .....                  | 40 |
| 2.2       | Prüfköpfe .....   | 40 |
| 2.2.1     | Schallfelder .....  | 40 |
| 2.2.1.1   | Nahfeld und Fernfeld .....  | 41 |
| 2.2.1.2   | Divergenz und Bündeldurchmesser .....                                       | 43 |
| 2.2.1.3   | Schallfeld und Prüfkopfeigenschaften nach DIN EN 583-1 .....                | 44 |
| 2.2.2     | Senkrechtprüfköpfe .....  | 47 |
| 2.2.2.1   | Normalprüfköpfe .....   | 47 |
| 2.2.2.2   | Sende-Empfangs-Prüfköpfe .....  | 48 |
| 2.2.3     | Winkelprüfköpfe .....   | 51 |
| 2.2.4     | Sonderprüfköpfe .....   | 53 |
| 2.2.4.1   | Tauchtechnikprüfköpfe .....   | 53 |
| 2.2.4.2   | Fokusprüfköpfe .....  | 54 |
| 2.2.4.3   | SEL- und SEK-Prüfköpfe .....  | 55 |
| 2.2.4.4   | Oberflächenwellen-Prüfköpfe .....   | 57 |
| 2.2.4.5   | Rohrprüfköpfe .....   | 58 |
| 2.2.4.6   | Hochtemperaturprüfköpfe .....   | 59 |
| 2.2.4.7   | Prüfköpfe zur Trockenankopplung .....                                       | 61 |
| 2.3       | Charakterisierung und Verifizierung der Ultraschallprüfausrüstung .....     | 61 |
| 2.3.1     | Ultraschallprüfgerät nach DIN EN 583-1 und DIN EN 12668-1 .....             | 61 |
| 2.3.1.1   | Gerätekontrolle nach DIN EN 12668-3 .....                                   | 62 |
| 2.3.1.1.1 | Linearität der Zeitachse .....  | 62 |
| 2.3.1.1.2 | Linearität der Verstärkung .....  | 62 |
| 2.3.1.2   | Gerätekontrolle nach ASME-Code, Sect. V, Artikel 4 .....                    | 63 |
| 2.3.1.2.1 | Gerätegrundeinstellung .....  | 63 |
| 2.3.1.2.2 | Linearität der Amplitudenregelung .....                                     | 63 |
| 2.3.1.2.3 | Linearität der Bildschirmhöhe .....   | 63 |
| 2.3.1.2.4 | Simulatorkontrolle .....  | 64 |
| 2.3.2     | Ultraschallprüfköpfe nach DIN EN 583-1 und 12668-2 .....                    | 64 |
| 2.3.2.1   | Ultraschallprüfkopfkalibrierung nach DIN EN 12668-3 .....                   | 64 |
| 2.3.2.1.1 | Kontrolle des Schallaustrittspunktes .....                                  | 64 |
| 2.3.2.1.2 | Kontrolle des Einschallwinkels .....  | 65 |
| 2.3.3     | Ultraschallprüfkopfkalibrierung nach ASME-Code,<br>Sect. V, Artikel 4 ..... | 65 |
| 2.3.4     | Gesamtverifizierung des Prüfsystems nach DIN EN 12668-3 .....               | 67 |
| 2.3.4.1   | Äußeres Erscheinungsbild .....  | 67 |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 2.3.4.2   | Prüfempfindlichkeit und Signal-Rausch-Abstand          | 67         |
| 2.3.4.3   | Impulsdauer  | 68         |
| 2.3.5     | Protokollierung der Kalibrierergebnisse                | 68         |
| <b>3</b>  | <b>Justierung</b>                                      | <b>71</b>  |
| 3.1       | Justierung mit analogen Ultraschallgeräten             | 71         |
| 3.1.1     | Entfernungsjustierung                                  | 71         |
| 3.1.1.1   | Senkrechteinschallung                                  | 71         |
| 3.1.1.1.1 | Normalprüfköpfe  | 71         |
| 3.1.1.1.2 | Sende-Empfangs-Prüfköpfe                               | 73         |
| 3.1.1.2   | Schrägeinschallung                                     | 75         |
| 3.1.1.2.1 | Schallwegjustierung                                    | 77         |
| 3.1.1.2.2 | Justierung im Projektionsabstand                       | 78         |
| 3.1.1.2.3 | Schallbündelversatz                                    | 82         |
| 3.1.1.3   | Justierung anderer Werkstoffe als Stahl                | 82         |
| 3.1.2     | Empfindlichkeitsjustierung                             | 85         |
| 3.1.2.1   | Echohöhenbewertung                                     | 85         |
| 3.1.2.2   | Logarithmischer Maßstab                                | 85         |
| 3.1.2.3   | Empfindlichkeitseinstellung                            | 87         |
| 3.2       | Justierung mit digitalen Ultraschallgeräten            | 87         |
| 3.2.1     | Bedienkonzepte   | 88         |
| 3.2.2     | Funktionsgruppen                                       | 91         |
| 3.2.3     | Justierung der Entfernungsanzeige                      | 91         |
| 3.2.4     | Justierung der Empfindlichkeit                         | 96         |
| 3.3       | Koordinatenfestlegung                                  | 96         |
| 3.3.1     | Festlegung eines Bezugssystems                         | 96         |
| 3.3.2     | Einschallposition und Einschallwinkel                  | 97         |
| 3.3.3     | Reflektorlagenbestimmung bei der Senkrechteinschallung | 97         |
| 3.3.4     | Reflektorlagenbestimmung bei der Schrägeinschallung    | 99         |
| 3.3.4.1   | Das Fehlerdreieck                                      | 99         |
| 3.3.4.2   | Vorgehensweise für die Koordinatenfestlegung           | 100        |
| 3.3.4.2.1 | Festlegung der Längskoordinate                         | 101        |
| 3.3.4.2.2 | Festlegung der Tiefenkoordinate                        | 101        |
| 3.3.4.2.3 | Festlegung der Querkoordinate                          | 102        |
| <b>4</b>  | <b>Justier- und Vergleichsreflektoren</b>              | <b>105</b> |
| 4.1       | Begriffsbestimmung                                     | 105        |
| 4.2       | Vorbemerkung   | 105        |
| 4.3       | Justierreflektoren                                     | 106        |
| 4.3.1     | Auswahl und Anforderungen                              | 106        |
| 4.3.2     | Typische Justierreflektoren                            | 106        |
| 4.3.2.1   | Rückwand   | 106        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 4.3.2.2  | Kreisbogen .....   | 107        |
| 4.3.2.3  | Flachbodenbohrung .....  | 107        |
| 4.3.2.4  | Querbohrung .....  | 108        |
| 4.3.2.5  | Nut .....  | 109        |
| 4.3.3    | Anwendung von Justierreflektoren .....                         | 110        |
| 4.4      | Typische Justier- und Vergleichskörper .....                   | 111        |
| 4.5      | Abstands- und Größengesetze für verschiedene Reflektoren ..... | 120        |
| 4.5.1    | Abstandsgesetze .....  | 120        |
| 4.5.1.1  | Rückwand .....   | 120        |
| 4.5.1.2  | Kreisscheibe .....   | 120        |
| 4.5.1.3  | Querbohrung .....  | 121        |
| 4.5.1.4  | Weitere Vergleichsreflektoren .....                            | 122        |
| 4.5.2    | Größengesetze .....  | 123        |
| 4.5.2.1  | Kreisscheibe .....   | 123        |
| 4.5.2.2  | Querbohrung .....  | 123        |
| 4.5.2.3  | Kugel .....  | 123        |
| 4.6      | Größenbestimmung von Inhomogenitäten nach DIN EN 583-5 .....   | 126        |
| 4.6.1    | Beschreibung von Inhomogenitäten .....                         | 126        |
| 4.6.1.1  | Ortung von Inhomogenitäten .....                               | 126        |
| 4.6.1.2  | Orientierung von Inhomogenitäten .....                         | 126        |
| 4.6.1.3  | Beurteilung von Mehrfachanzeigen .....                         | 126        |
| 4.6.1.4  | Formen von Inhomogenitäten .....                               | 127        |
| 4.6.1.5  | Maximale Echohöhe von Inhomogenitäten .....                    | 127        |
| 4.6.2    | Größe von Inhomogenitäten .....                                | 127        |
| 4.6.2.1  | Techniken mit maximaler Echohöhe .....                         | 127        |
| 4.6.2.2  | Techniken mit Prüfkopfbewegung .....                           | 128        |
| 4.6.2.3  | Techniken mit Schallbündelfokussierung .....                   | 129        |
| 4.6.2.4  | Anwendung mathematischer Algorithmen .....                     | 129        |
| 4.6.2.5  | Zusatztechniken zur Größenbestimmung .....                     | 129        |
| <b>5</b> | <b>Anzeigenbewertung I (Vergleichskörpermethode)</b> .....     | <b>131</b> |
| 5.1      | Vergleichskörpermethode .....                                  | 133        |
| 5.1.1    | Direkter Echohöhenvergleich .....                              | 134        |
| 5.1.2    | Vergleichshöhenverfahren .....                                 | 135        |
| 5.1.3    | Vergleichslinienverfahren .....                                | 135        |
| 5.1.4    | Anwendung der Vergleichskörpermethode .....                    | 137        |
| 5.2      | Abtastverfahren .....  | 137        |
| <b>6</b> | <b>Anzeigenbewertung II (AVG-Methode)</b> .....                | <b>143</b> |
| 6.1      | Allgemeines AVG-Diagramm .....                                 | 143        |
| 6.2      | Spezielles AVG-Diagramm .....                                  | 145        |
| 6.2.1    | Bezugshöhenverfahren .....                                     | 146        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 6.2.1.1  | Allgemeines  | 146        |
| 6.2.1.2  | Vorgehensweise   | 146        |
| 6.2.1.3  | Entfernungsjustierung  | 147        |
| 6.2.1.4  | Empfindlichkeitsjustierung                                     | 147        |
| 6.2.1.5  | Anzeigenbewertung  | 148        |
| 6.2.2    | Bezugslinienverfahren  | 149        |
| 6.2.2.1  | Allgemeines  | 149        |
| 6.2.2.2  | Vorgehensweise   | 150        |
| 6.2.2.3  | Entfernungsjustierung  | 150        |
| 6.2.2.4  | Empfindlichkeitsjustierung                                     | 151        |
| 6.2.2.5  | Anzeigenbewertung  | 153        |
| 6.2.3    | Transferkorrektur bei Senkrechtprüfköpfen                      | 153        |
| 6.2.4    | Transferkorrektur bei Winkelprüfköpfen                         | 153        |
| 6.2.5    | Schallschwächungskorrektur bei Senkrechtprüfköpfen             | 155        |
| 6.2.6    | Schallschwächungskorrektur bei Winkelprüfköpfen                | 156        |
| 6.2.6.1  | Pauschal durch eine Transferkorrektur                          | 156        |
| 6.2.6.2  | Wegabhängige Berücksichtigung der Schallschwächung             | 157        |
| 6.2.6.3  | Schallschwächungsmessung am Beispiel<br>der Schweißnahtprüfung | 158        |
| 6.3      | AVG-Vorsatzskalen  | 160        |
| 6.4      | AVG-Verfahren mit Phased-Array                                 | 160        |
| <b>7</b> | <b>Ankopplungstechnik</b>                                      | <b>161</b> |
| 7.1      | Ankopplung   | 161        |
| 7.2      | Oberflächenzustand nach DIN EN 583                             | 161        |
| 7.3      | Kopplungsmittel  | 163        |
| 7.4      | Ankopplungstechniken   | 164        |
| 7.4.1    | Kontakttechnik   | 164        |
| 7.4.2    | Fließwassertechnik   | 166        |
| 7.4.2.1  | Spalttechnik   | 166        |
| 7.4.2.2  | Kühlkammertechnik  | 166        |
| 7.4.2.3  | Strahltechnik  | 167        |
| 7.4.2.4  | Tauchtechnik (Pfüzentechnik)                                   | 168        |
| 7.5      | Ankopplungskontrolle   | 170        |
| 7.6      | Abtastgeschwindigkeit nach DIN EN 583-1                        | 171        |
| <b>8</b> | <b>Wanddickenmessung</b>                                       | <b>173</b> |
| 8.1      | Messungen mit Analoggeräten                                    | 173        |
| 8.1.1    | Einfachmessung   | 173        |
| 8.1.2    | Mehrfachechomethode  | 175        |
| 8.1.3    | SE-Prüfköpfe   | 176        |
| 8.2      | Messungen mit Digitalgeräten                                   | 177        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 8.2.1    | Senkrechtprüfkopf ohne Vorlaufstrecke                      | 179        |
| 8.2.2    | Senkrechtprüfkopf mit Vorlaufstrecke                       | 180        |
| 8.2.3    | SE-Prüfköpfe   | 181        |
| 8.3      | Einflussgrößen und Grenzen der Wanddickenmessung           | 182        |
| 8.3.1    | Messgenauigkeit  | 182        |
| 8.3.1.1  | Prüfsystemabhängige Faktoren                               | 182        |
| 8.3.1.2  | Prüfbereich  | 182        |
| 8.3.1.3  | Ablesefehler   | 183        |
| 8.3.1.4  | Echoamplitudeneinstellung                                  | 183        |
| 8.3.1.5  | Linearitätsabweichungen                                    | 184        |
| 8.3.2    | Werkstückeinflüsse   | 185        |
| 8.3.3    | Werkstoffeinflüsse   | 185        |
| 8.3.4    | Temperatureinfluss   | 186        |
| 8.3.5    | Zusammenfassung  | 188        |
| 8.4      | Spezielle Anwendungen der Wanddickenmessung                | 189        |
| 8.4.1    | Beschichtete Oberflächen                                   | 189        |
| 8.4.2    | Glasfaserverstärkte Kunststoffe                            | 190        |
| 8.4.3    | Offshore-Messungen   | 192        |
| 8.4.4    | Wanddickenmessungen bei höheren Temperaturen               | 193        |
| 8.5      | Wanddickenmessung nach ASME-Code                           | 194        |
| <b>9</b> | <b>Prüfung von Grobblechen, Stäben, gewalztem Halbzeug</b> | <b>197</b> |
| 9.1      | Prüfung von Grobblechen nach SEL-072                       | 197        |
| 9.2      | Prüfung von Grobblechen nach DIN EN 10160                  | 200        |
| 9.2.1    | Flächenprüfung der Klassen $S_0$ und $S_1$                 | 200        |
| 9.2.2    | Flächenprüfung der Klassen $S_2$ und $S_3$                 | 201        |
| 9.2.3    | Randzonenprüfung   | 201        |
| 9.2.4    | Empfindlichkeitsjustierung und Ungänzengrößenbestimmung    | 201        |
| 9.2.5    | Abnahmekriterien   | 201        |
| 9.3      | Prüfung von Grobblechen nach DIN EN 10307                  | 203        |
| 9.3.1    | Prüfklassen  | 204        |
| 9.3.2    | Flächen- und Randzonenprüfung                              | 204        |
| 9.3.3    | Zulässigkeitskriterien                                     | 205        |
| 9.4      | Prüfung von Grobblechen nach ASME-Code                     | 205        |
| 9.5      | Prüfung von Stäben aus Stahl nach DIN EN 10308             | 207        |
| 9.5.1    | Prüfzeitpunkt und -umfang                                  | 207        |
| 9.5.2    | Prüfsystem, Justierung und Durchführung der Prüfung        | 209        |
| 9.5.3    | Bewertung von Anzeigen                                     | 210        |
| 9.6      | Prüfung von gewalztem Halbzeug                             | 212        |
| 9.6.1    | Automatisierte Ultraschallprüfung v. Band/Blech            |            |
|          | n. DIN EN ISO 10893-9                                      | 212        |
| 9.6.1.1  | Prüfzeitpunkt und -umfang                                  | 212        |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| 9.6.1.2    | Prüfsystem, Justierung und Durchführung der Prüfung . . .  | 213        |
| 9.6.1.3    | Bewertung von Anzeigen . . . . .   | 214        |
| 9.6.2      | Prüfung von gewalztem Halbzeug nach SEP 1920 . . . . .   | 215        |
| 9.6.3      | Prüfung von gewalztem Halbzeug nach ASME-Code . . . . .  | 215        |
| 9.7        | Prüfanlagen und Auswertung der Prüfergebnisse . . . . .  | 216        |
| <b>10</b>  | <b>Prüfung von Rohren . . . . .</b>  | <b>221</b> |
| 10.1       | Nahtlose Rohre . . . . .   | 221        |
| 10.1.1     | Fehlerarten . . . . .  | 221        |
| 10.1.2     | Manuelle Prüfung . . . . .   | 222        |
| 10.1.3     | Automatische Prüfanlagen . . . . .   | 224        |
| 10.1.4     | Prüfung nach DIN EN ISO 10893-10 . . . . .   | 234        |
| 10.1.4.1   | Prüfverfahren . . . . .  | 234        |
| 10.1.4.2   | Bezugsstandards . . . . .  | 234        |
| 10.1.4.3   | Einstellung und Überprüfung der Prüfanlage . . . . .   | 234        |
| 10.1.4.4   | Zulässigkeitsbedingungen . . . . .   | 234        |
| 10.1.5     | Prüfung nach SEP 1915 . . . . .  | 235        |
| 10.1.6     | Prüfung nach SEP 1918 . . . . .  | 237        |
| 10.1.7     | Prüfung nach ASME-Code . . . . .   | 238        |
| 10.2       | Geschweißte Rohre . . . . .  | 239        |
| 10.2.1     | Prüfanordnungen . . . . .  | 240        |
| 10.2.2     | Automatische Prüfanlagen . . . . .   | 240        |
| 10.2.3     | Prüfung nach DIN EN ISO 10893-11 . . . . .   | 243        |
| 10.2.3.1   | Prüfverfahren . . . . .  | 244        |
| 10.2.3.2   | Bezugsstandards, Einstellung und Überprüfung<br>der Prüfanlage . . . . .                         | 244        |
| 10.2.3.3   | Zulässigkeitsbedingungen . . . . .   | 244        |
| 10.2.4     | Prüfung nach SEP 1916 . . . . .  | 244        |
| 10.2.5     | Prüfung nach SEP 1917 . . . . .  | 245        |
| 10.2.6     | Prüfung nach ASME-Code . . . . .   | 245        |
| 10.3       | Spezielle Rohrprüfungen nahtloser und geschweißter Stahlrohre . . . . .                          | 246        |
| 10.3.1     | Automatis. Ultraschalldickenprüfung v. Rohren<br>n. DIN EN ISO 10893-12 . . . . .                | 246        |
| 10.3.1.1   | Prüfverfahren . . . . .  | 246        |
| 10.3.1.2   | Bezugsstandards, Einstellung und Überprüfung<br>der Prüfanlage . . . . .                         | 246        |
| 10.3.1.3   | Zulässigkeitsbedingungen . . . . .   | 246        |
| 10.3.2     | Automatisierte Rohrprüfung auf Dopplungen und der Rohrenden<br>nach DIN EN ISO 10893-8 . . . . . | 246        |
| 10.3.2.1   | Prüfung auf Dopplungen . . . . .   | 247        |
| 10.3.2.1.1 | Prüfverfahren . . . . .  | 247        |



|            |   |            |
|------------|---|------------|
| 10.3.2.1.2 | Bezugsstandards, Einstellung und<br>Überprüfung der Prüfanlage .....        | 247        |
| 10.3.2.1.3 | Zulässigkeitsbedingungen .....  | 248        |
| 10.3.2.2   | Rohrendenprüfung .....  | 248        |
| <b>11</b>  | <b>Prüfung von Schmiedestücken .....</b>                                    | <b>251</b> |
| 11.1       | Herstellungsbedingte Fehler .....   | 251        |
| 11.1.1     | Fehler vom Gießprozess .....  | 251        |
| 11.1.2     | Fehler aus dem Verformungsprozess .....                                     | 252        |
| 11.1.3     | Fehler vom Wärmebehandlungsprozess .....                                    | 255        |
| 11.2       | Prüftechnik .....   | 257        |
| 11.2.1     | Prüfzeitpunkt .....   | 257        |
| 11.2.2     | Prüftechnische Kriterien .....  | 257        |
| 11.2.3     | Manuelle, mechanisierte und automatisierte Prüfung .....                    | 258        |
| 11.3       | Prüfung nach SEP 1921 .....   | 263        |
| 11.3.1     | Prüfumfang und -zeitpunkt .....   | 263        |
| 11.3.2     | Prüfsystem, Justierung und Durchführung der Prüfung .....                   | 263        |
| 11.3.3     | Bewertung von Anzeigen .....  | 263        |
| 11.4       | Prüfung nach DIN EN 10228-3 .....   | 266        |
| 11.4.1     | Prüfumfang und -zeitpunkt .....   | 266        |
| 11.4.2     | Prüfsystem, Justierung und Durchführung der Prüfung .....                   | 269        |
| 11.4.3     | Bewertung von Anzeigen .....  | 269        |
| 11.5       | Prüfung nach ASME-Code .....  | 270        |
| 11.5.1     | Prüfumfang und -zeitpunkt .....   | 271        |
| 11.5.2     | Prüfsystem, Justierung und Durchführung der Prüfung .....                   | 272        |
| 11.5.3     | Bewertung von Anzeigen .....  | 274        |
| <b>12</b>  | <b>Prüfung von Gussstücken .....</b>  | <b>277</b> |
| 12.1       | Herstellungsbedingte Fehler .....   | 277        |
| 12.2       | Prüfbarkeit und Prüftechnik .....   | 279        |
| 12.2.1     | Stahlguss .....   | 279        |
| 12.2.2     | Gusseisen .....   | 280        |
| 12.3       | Prüfung von Stahlguss für allgemeine Verwendung<br>n. DIN EN 12680-1 .....  | 284        |
| 12.3.1     | Prüfumfang und -zeitpunkt .....   | 284        |
| 12.3.2     | Prüfverfahren, Prüfsystem, Justierung und Durchführung<br>der Prüfung ..... | 284        |
| 12.3.3     | Bewertung von Anzeigen .....  | 285        |
| 12.4       | Prüfung v. Stahlguss für hochbeanspruchte Bauteile n. DIN EN 12680-2 ..     | 288        |
| 12.4.1     | Prüfsystem, Justierung und Durchführung der Prüfung .....                   | 288        |
| 12.4.2     | Bewertung von Anzeigen .....  | 289        |
| 12.5       | Prüfung nach ASME-Code .....  | 290        |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 12.5.1    | Prüfumfang und -zeitpunkt  | 290        |
| 12.5.2    | Prüfsystem, Justierung und Durchführung der Prüfung                  | 291        |
| 12.5.3    | Bewertung von Anzeigen   | 292        |
| 12.6      | Prüfung von Gusseisen mit Kugelgraphit nach DIN EN 12680-3           | 292        |
| 12.6.1    | Prüfsystem, Justierung und Durchführung der Prüfung                  | 292        |
| 12.6.2    | Bewertung von Anzeigen   | 292        |
| 12.7      | Prüfung von Gussstücken aus Gusseisen mit Kugelgraphit nach SEP 1924 | 294        |
| 12.7.1    | Prüfumfang und -zeitpunkt  | 294        |
| 12.7.2    | Prüfsystem, Justierung und Durchführung der Prüfung                  | 294        |
| 12.7.3    | Bewertung von Anzeigen   | 295        |
| <b>13</b> | <b>Prüfung von Schweißverbindungen</b>                               | <b>297</b> |
| 13.1      | Der Aufbau von Schweißnähten   | 297        |
| 13.2      | Stoß- und Fugenformen  | 298        |
| 13.3      | Mechanisierte und automatisierte Prüfung                             | 300        |
| 13.4      | Schweißnahtfehler  | 301        |
| 13.4.1    | Flächenhafte Fehler  | 301        |
| 13.4.2    | Volumenhafte Fehler  | 302        |
| 13.4.3    | Einteilung von Ungängen an Metallen nach DIN EN ISO 6520             | 303        |
| 13.4.4    | Bestimmung des Anteils von Ungängen an Metallen nach EN ISO 5817     | 307        |
| 13.5      | Spezielle Schweißverfahren   | 308        |
| 13.5.1    | Engspaltschweißen  | 308        |
| 13.5.2    | Widerstandspunktschweißen  | 310        |
| 13.6      | Ultraschallprüfung von Schmelzschweißverbindungen n. DIN EN 12062    | 315        |
| 13.6.1    | Prüfumfang und Zeitpunkt   | 316        |
| 13.6.2    | Auswahl des Prüfverfahrens und Durchführung der Prüfung              | 316        |
| 13.6.3    | Bewertung von Anzeigen   | 317        |
| 13.7      | Prüfung nach AD-Merkblatt HP 5/3 (2000) und Anlage HPO               | 317        |
| 13.7.1    | Prüfumfang und -zeitpunkt  | 317        |
| 13.7.2    | Prüfsystem, Justierung und Durchführung der Prüfung                  | 318        |
| 13.7.3    | Bewertung von Anzeigen   | 318        |
| 13.8      | Prüfung nach Druckgeräterichtlinie DIN EN 13445-5                    | 323        |
| 13.8.1    | Prüfverfahren und Prüfumfang   | 323        |
| 13.8.2    | Bewertung von Anzeigen   | 323        |
| 13.9      | Prüfung nach DIN EN ISO 11666, 17640 und 23279, DIN EN ISO 5817      | 324        |
| 13.9.1    | Prüfumfang und -zeitpunkt  | 324        |
| 13.9.2    | Prüfsystem, Justierung und Durchführung der Prüfung                  | 325        |
| 13.9.3    | Bewertung von Anzeigen   | 327        |
| 13.10     | Ultraschallprüfung von Schweißnähten nach KTA 3201.3                 | 330        |
| 13.10.1   | Prüfumfang und -zeitpunkt  | 330        |
| 13.10.2   | Prüfsystem, Justierung und Durchführung der Prüfung                  | 331        |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| 13.10.3    | Bewertung von Anzeigen .....   | 331        |
| 13.11      | Ultraschallprüfung von Schweißnähten nach ASME-Code .....              | 332        |
| 13.11.1    | Prüfumfang und -zeitpunkt .....  | 332        |
| 13.11.2    | Prüfsystem, Justierung und Durchführung der Prüfung .....              | 333        |
| 13.11.3    | Bewertung von Anzeigen .....   | 333        |
| <b>14</b>  | <b>Besondere Prüftechniken I (Spezielle Bauteile) .....</b>            | <b>337</b> |
| 14.1       | Gekrümmte Bauteile .....   | 337        |
| 14.1.1     | Schallfeldveränderungen .....  | 337        |
| 14.1.2     | Prüfkopfanpassung nach DIN EN 583-2 .....                              | 338        |
| 14.1.2.1   | Geometrieklassen für Prüfobjekte .....                                 | 338        |
| 14.1.2.2   | Prüfköpfe mit Anpassung in Längsrichtung .....                         | 339        |
| 14.1.2.2.1 | Konvexe Prüffläche .....   | 339        |
| 14.1.2.2.2 | Konkave Prüffläche .....   | 339        |
| 14.1.2.3   | Prüfköpfe mit Anpassung in Querrichtung .....                          | 340        |
| 14.1.2.3.1 | Konvexe Prüffläche .....   | 340        |
| 14.1.2.3.2 | Konkave Prüffläche .....   | 340        |
| 14.1.2.4   | Prüfköpfe mit Anpassung in Längs- und Querrichtung ...                 | 340        |
| 14.1.2.5   | Prüfkopfanpassung nach ASME-Code .....                                 | 340        |
| 14.1.3     | Auswahl des Einschallwinkels .....                                     | 341        |
| 14.1.4     | Entfernungsjustierung .....  | 342        |
| 14.1.5     | Empfindlichkeitsjustierung .....                                       | 345        |
| 14.2       | Plattierte Bauteile .....  | 346        |
| 14.2.1     | Herstellung von Plattierungen .....                                    | 346        |
| 14.2.2     | Kriterien für prüftechnische Festlegungen .....                        | 346        |
| 14.2.3     | Justierung und allgemeine Prüftechnik .....                            | 348        |
| 14.2.3.1   | Prüfung auf Bindefehler im Interface mit<br>Senkrechtprüfkopf .....    | 348        |
| 14.2.3.2   | Prüfung auf Risse und Schlackeneinschlüsse mit<br>Winkelprüfkopf ..... | 350        |
| <b>15</b>  | <b>Besondere Prüftechniken II (Spezielle Techniken) .....</b>          | <b>353</b> |
| 15.1       | Tandem- und LLT-Technik .....  | 353        |
| 15.1.1     | Tandemtechnik .....  | 353        |
| 15.1.1.1   | Prüftechnik .....  | 353        |
| 15.1.1.2   | Prüfzonen .....  | 354        |
| 15.1.1.3   | Entfernungsjustierung .....  | 354        |
| 15.1.1.4   | Empfindlichkeitsjustierung .....                                       | 357        |
| 15.1.2     | LLT-Technik .....  | 357        |
| 15.2       | TOFD-Technik .....   | 361        |
| 15.2.1     | Einführung .....   | 361        |
| 15.2.2     | Prinzip des Verfahrens .....   | 361        |

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| 15.2.3     | Prüftechnik und Einstellung des Prüfsystems                         | 364        |
| 15.2.4     | Anwendungen der TOFD-Technik  | 368        |
| 15.2.5     | Vorteile, Grenzen und Akzeptanzkriterien der TOFD-Technik           | 370        |
| 15.3       | Gruppenstrahlertechnik (Phased Array)                               | 374        |
| 15.3.1     | Prüfgerätesysteme   | 374        |
| 15.3.2     | Anwendungen der Phased-Array-Technik                                | 379        |
| 15.3.3     | Fehlerrekonstruktion und -klassifizierung                           | 384        |
| 15.3.4     | Vor- und Nachteile der Phased-Array-Technik                         | 387        |
| 15.4       | Prüfung bei höheren Temperaturen                                    | 387        |
| 15.4.1     | Einleitung  | 387        |
| 15.4.2     | Ultraschallankopplung   | 387        |
| 15.4.2.1   | Kontaktlose Verfahren   | 388        |
| 15.4.2.1.1 | Magnetostriktive Verfahren  | 388        |
| 15.4.2.1.2 | Piezoelektrische Verfahren  | 390        |
| 15.4.2.1.3 | Elektromagnetische Verfahren  | 390        |
| 15.4.2.1.4 | Thermoakustische Verfahren  | 393        |
| 15.4.2.2   | Ultraschallankopplung im Kontaktverfahren mit<br>Ankopplungsmitteln | 393        |
| 15.4.2.3   | Ultraschallankopplung im Kontaktverfahren ohne<br>Ankopplungsmittel | 396        |
| 15.4.3     | Ultraschallausbreitung  | 397        |
| 15.4.4     | Prüfung von Schmiedeblocken bei höheren Temperaturen                | 400        |
| 15.5       | Luftschall-Technik  | 405        |
| 15.5.1     | Einführung  | 405        |
| 15.5.2     | Prüftechnik   | 406        |
| 15.5.2.1   | Kapazitive Prüfköpfe  | 406        |
| 15.5.2.2   | Piezokomposite Prüfköpfe  | 406        |
| 15.5.2.3   | Prüfsysteme   | 408        |
| 15.5.3     | Prüfverfahren   | 410        |
| 15.5.4     | Anwendungen   | 411        |
| <b>16</b>  | <b>Besondere Prüftechniken III (Spezielle Werkstoffe)</b>           | <b>415</b> |
| 16.1       | Austenitische Werkstoffe  | 415        |
| 16.1.1     | Physikalische Grundlagen  | 415        |
| 16.1.2     | Prüftechnik   | 416        |
| 16.1.2.1   | Fokussierung des Schallbündels                                      | 416        |
| 16.1.2.2   | Longitudinalwellen-Winkelprüfköpfe                                  | 416        |
| 16.1.2.3   | Breitbandige hochbedämpfte Prüfköpfe                                | 416        |
| 16.1.2.4   | Schmalbandsendertechnik   | 417        |
| 16.1.2.5   | Signalverarbeitungstechnik  | 417        |
| 16.1.3     | Anwendungen   | 418        |
| 16.2       | Gusswerkstoffe  | 420        |

---

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 16.2.1    | Stahlformguss  | 420        |
| 16.2.2    | Gusseisen  | 422        |
| 16.2.3    | Schalenhartguss  | 424        |
| 16.3      | Kunststoffe  | 428        |
| 16.3.1    | Zielstellung für Ultraschallprüfungen  | 428        |
| 16.3.2    | Justierung und Justierkörper   | 429        |
| 16.3.3    | Bewertung  | 431        |
| <b>17</b> | <b>Normen, Regelwerke, Prüfanweisungen, Verfahrensbeschreibungen, Protokollierung, Dokumentation</b> | <b>435</b> |
| 17.1      | Normen, Regelwerke   | 435        |
| 17.2      | Prüfanweisungen  | 439        |
| 17.3      | Verfahrensbeschreibungen   | 443        |
| 17.4      | Protokollierung und Dokumentation  | 451        |
| <b>18</b> | <b>Sachwortverzeichnis</b>   | <b>457</b> |