

# Inhaltsverzeichnis\*

<i>Teil A</i>		<i>Physikalische Grundlagen der Ultraschallwerkstoffprüfung</i>	1
1.	Wellen		1
1.1	Schwingungen und Wellen		1
1.2	Wellenarten und Wellenformen		4
1.3	Zusammengesetzte und stehende Wellen. Interferenz		9
1.4	Einige Formeln und Zahlenwerte		13
2.	Ebene Schallwellen an Grenzflächen		19
2.1	Senkrechter Einfall auf einfache, ebene Grenzflächen		19
2.2	Senkrechter Einfall auf mehrfache Grenzflächen. Platte und Spalt		22
2.3	Das Brechungsgesetz		27
2.4	Die Schalldruckwerte an Grenzflächen		28
2.5	Reflexion in einer rechtwinkligen Kante und in einer Ecke		37
2.6	Abspaltung von Oberflächen- und Grenzschichtwellen		39
2.7	Schallausbreitung in Platten. Plattenwellen		39
3.	Geometrische Ultraschalloptik		42
3.1	Gültigkeitsgrenzen		42
3.2	Abstandsgesetz des Schalldrucks für die Kugel- und Zylinderwelle		43
3.3*	Reflexion und Brechung von Kugelwellen an ebenen Flächen		44
3.4*	Gekrümmte Grenzflächen als Hohlspiegel und Linsen		47
3.5*	Kugelwellen im Hohl- und Vollzylinder		53
4.	Wellenphysikalische Behandlung des Schallfelds, der Schallstrahl		58
4.1	Elementare Beschreibung		58
4.1.1	Ebene Schwinger		58
4.1.2*	Fokussierende Schwinger		71
4.2*	Zonenkonstruktion des Schallfelds		76

---

\* Die mit einem Sternchen bezeichneten Abschnitte sind für Anfänger weniger wichtig und können zur Erlernung elementarer Kenntnisse überschlagen werden.

## VIII Inhaltsverzeichnis

4.3	Schallfeld bei ungleichförmiger Erregung des Schwingers und bei Impulsanregung . . . . .	82
5.	Echo und Schatten eines Hindernisses im Schallfeld . . . . .	86
5.1	Echo eines ebenen Reflektors senkrecht zur Schallstrahl- achse eines Kolbenschwingers (AVG-Diagramm) . . . . .	86
5.2	Schatten eines Kreisscheibenfehlers senkrecht zur akusti- schen Achse . . . . .	92
5.3	Schrägliegende Fehler. Reflexion durch Randwellen . . . . .	94
5.4	Andere Reflektoren . . . . .	97
5.5	Natürliche Reflektoren. Rauigkeit . . . . .	98
5.6*	Einfluß des Reflektors auf die Frequenzverteilung des Impulses . . . . .	101
6.	Die Schwächung von Ultraschallwellen in festen Stoffen . . . . .	103
6.1	Absorption und Streuung . . . . .	103
6.2*	Die Schwächung in Metallen, Anisotropie und Guß- struktur . . . . .	109
7.	Piezoelektrische Verfahren zur Erzeugung und zum Empfang von Ultraschallwellen . . . . .	115
7.1	Der piezoelektrische Effekt . . . . .	115
7.2	Die piezoelektrische Platte als Sender und Empfänger für Ultraschallwellen . . . . .	120
7.3*	Der piezoelektrische Wandler bei Impulsanregung . . . . .	128
7.4	Piezoelektrische Stoffe . . . . .	138
8.*	Andere Verfahren zum Senden und Empfangen von Ultra- schall . . . . .	146
8.1*	Mechanische Effekte . . . . .	147
8.2*	Thermische Effekte . . . . .	148
8.3*	Elektrostatische Verfahren . . . . .	151
8.4*	Verfahren, die auf nichtmagnetischen Wirkungen des elektrischen Stromes beruhen . . . . .	152
8.5*	Elektrodynamische Verfahren . . . . .	153
8.6*	Magnetostriktive Verfahren . . . . .	158
8.7*	Optische Verfahren . . . . .	162

### Teil B | Verfahren und Geräte der Ultraschallwerkstoffprüfung . . . . . 171

9.	Intensitätsverfahren . . . . .	172
9.1	Prinzip, Einteilung und Abgrenzung gegenüber den Lauf- zeitverfahren . . . . .	172
9.2	Geräte für Intensitätsmessung . . . . .	177
9.3	Geräte für Schallsichtverfahren . . . . .	180
9.4*	Ultraschall-Holografie . . . . .	183

10.	Impuls-Echo-Verfahren . . . . .	191
10.1	Geschichtliches und Grundlagen . . . . .	191
10.2	Aufbau und Wirkungsweise eines Impuls-Echo-Gerätes . . . . .	195
10.2.1	Kippspannungsteil mit Bildröhre . . . . .	195
10.2.2	Senderteil . . . . .	200
10.2.3	Der Verstärker . . . . .	204
10.2.4	Abstandsskala und Zeitmarken . . . . .	213
10.2.5	Störschutz . . . . .	217
10.3	Die Prüfköpfe . . . . .	217
10.3.1	Normalprüfköpfe . . . . .	217
10.3.2	Winkelprüfköpfe . . . . .	228
10.4	Eigenschaften von Impuls-Echo-Geräten und Prüfköpfen . . . . .	235
10.4.1	Eigenschaften des Bildteils . . . . .	236
10.4.2	Eigenschaften des Verstärkers . . . . .	236
10.4.3	Eigenschaften des Schallfelds . . . . .	241
10.4.4	Der Entfernungsabgleich . . . . .	243
10.5	Geräte für das Impuls-Echo-Verfahren . . . . .	245
10.6	Verfahren und Zusatzgeräte zur elektronischen Datenverarbeitung . . . . .	247
10.7	Verfahren und Zusatzgeräte zur Dokumentation . . . . .	252
10.8*	Frequenzmodulationsverfahren . . . . .	263
11.	Laufzeitverfahren . . . . .	265
11.1	Laufzeitverfahren mit Dauerschall (Resonanzverfahren). Grundlagen und Geräte . . . . .	265
11.2	Laufzeitverfahren mit Impulsen . . . . .	270
11.2.1	Vergleichsverfahren. Interferometer . . . . .	270
11.2.2	Frequenzmeßverfahren . . . . .	272
11.2.3	Elektronische Laufzeitmessung . . . . .	279
11.2.4*	Phasenmeßverfahren . . . . .	286
12.*	Schallemissionsanalyse . . . . .	287
<i>Teil C</i>	<i>Algemeine Prüftechnik . . . . .</i>	<i>289</i>
13.	Ankopplung. Wahl von Prüfkopf und Frequenz . . . . .	289
13.1	Oberflächenzustand und -vorbereitung . . . . .	289
13.2	Gekrümmte Oberflächen . . . . .	291
13.3	Kopplungsmittel . . . . .	293
13.4	Ankopplungskontrolle . . . . .	297
13.5	Ankopplung über Zwischenschichten . . . . .	298
13.6	Ultraschallfrequenz und Prüfkopfart . . . . .	304
14.	Störeinfluß von Grenzflächen. Komplizierte Schallwege und Schirmbilder . . . . .	307
14.1	Schallfeldveränderungen durch Grenzflächen parallel zur Strahlachse . . . . .	307

**X Inhaltsverzeichnis**

14.2	Nebenechos durch abgespaltene Transversalwellen . . .	311
14.3	Dreieckreflexionen . . . . .	314
14.4	61°-Reflexion . . . . .	316
14.5	Schirmbilder bei Prüfung einer Platte . . . . .	318
14.6	Störechos durch Oberflächenwellen . . . . .	324
15.	Prüftechnik mit Transversal-, Oberflächen- und Plattenwellen	326
15.1	Transversalwellen . . . . .	326
15.2	Oberflächenwellen . . . . .	332
15.3	Plattenwellen . . . . .	336
16.	Form- und Größenbestimmung von Fehlstellen . . . . .	338
17.	Störungen durch fremde Hochfrequenz- und Ultraschall- quellen . . . . .	344
18.	Organisation der Prüfung, Personal- und Ausbildungsfragen	348
19.	Prüfanlagen und Auswertung der Prüfergebnisse . . . . .	353
<i>Teil D</i>	<i>Spezielle Prüfaufgaben</i> . . . . .	357
20.	Bearbeitete Prüfstücke aus Metall in Einzelbeispielen . . .	357
20.1	Schwere Schmiedestücke . . . . .	357
20.2	Bearbeitete Maschinenteile . . . . .	372
21.	Eisenbahnmaterial . . . . .	382
21.1	Achswellen . . . . .	382
21.2	Schienen . . . . .	389
21.3	Sonstiges Eisenbahnmaterial . . . . .	398
22.	Bleche und Bänder . . . . .	401
22.1	Mittel- und Grobbleche . . . . .	401
22.2	Bänder und Feinbleche . . . . .	416
23.	Halbzeug . . . . .	430
23.1	Stangen . . . . .	430
23.2	Knüppel . . . . .	438
23.3	Drähte . . . . .	441
24.	Rohre . . . . .	442
25.	Gußstücke . . . . .	462

26. Schweißverbindungen . . . . .	470
26.1 Stumpfschweißnähte . . . . .	470
26.1.1 Allgemeines zur Prüfmethode . . . . .	470
26.1.2 Blechdicke, Schallwinkel und Prüffrequenz . . . . .	475
26.1.3 Fehlerortungsverfahren . . . . .	478
26.1.4 Fehlerart, -form und -größe . . . . .	487
26.1.5 Registrierung und Automatisierung . . . . .	490
26.2 Kehlnähte . . . . .	500
26.3 Punktschweißungen . . . . .	505
26.4 Andere Schweißnahtformen . . . . .	506
27. Niet-, Klebe- und Schrumpfverbindungen . . . . .	510
27.1 Nietlochprüfung . . . . .	510
27.2 Schichtverbindungen durch Löten, Kleben, Plattieren	512
27.3 Schrumpfsitze . . . . .	521
28. Kernreaktoren . . . . .	523
29. Metallische Werkstoffe und ihre besonderen Prüfaufgaben . . . . .	531
29.1 Stähle . . . . .	531
29.2 Stahlguß . . . . .	533
29.3 Gußeisen . . . . .	534
29.4 Leichtmetalle . . . . .	541
29.5 Buntmetalle . . . . .	544
29.6 Andere Nichteisenmetalle . . . . .	546
29.7 Sintermetalle . . . . .	547
30. Prüfaufgaben bei nichtmetallischen Prüfstücken . . . . .	549
30.1 Keramik und Glas . . . . .	549
30.2 Kunststoffe . . . . .	554
30.3 Gummi . . . . .	558
30.4 Gestein, Schleifscheiben und Kohle . . . . .	559
30.5 Beton . . . . .	562
30.6 Holz und Leder . . . . .	567
30.7 Speck und Fleisch . . . . .	569
31. Lage-, Form- und Füllstandsbestimmung . . . . .	574
32. Meßverfahren mit Ultraschall . . . . .	578
32.1 Wand- und Schichtdickenmessung . . . . .	578
32.2 Schallgeschwindigkeitsmessung . . . . .	584
32.3 Schallschwächungs- und Schallstreuungsmessungen . . . . .	592
32.4 Härteprüfung (Kleinlast) . . . . .	600
33. Normung . . . . .	603
Anhang . . . . .	609
Literaturverzeichnis . . . . .	623
Sachverzeichnis . . . . .	659