

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 Schwingung		58
4.1.2*	Fokussierende Schwingung		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*	Elektrostatistische 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
<i>Teil B</i>	<i>Verfahren und Geräte der Ultraschallwerkstoffprüfung</i>	<i>171</i>
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 Allgemeine Prüftechnik</i>		289
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>	<i>357</i>
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