

Einführung in die Ultraschallprüfung

Grundlagen

Ultraschallprüfung ist Fehlerortung und -größenbestimmung mittels Ultraschall, d. h. oberhalb des Hörbereiches von 20000 Hz - in der Praxis 1 bis 10 MHz (1-10 · 10⁶).

Ausgenutzt wird entweder, dass der Schall bei seinem Durchgang durch ein Werkstück an Fehlern

(1.) teilweise reflektiert wird und ein Echo ergibt sowie dass

(2.) ein laufender Schallstrahl infolge der Abschattung durch einen Fehler geschwächt wird.

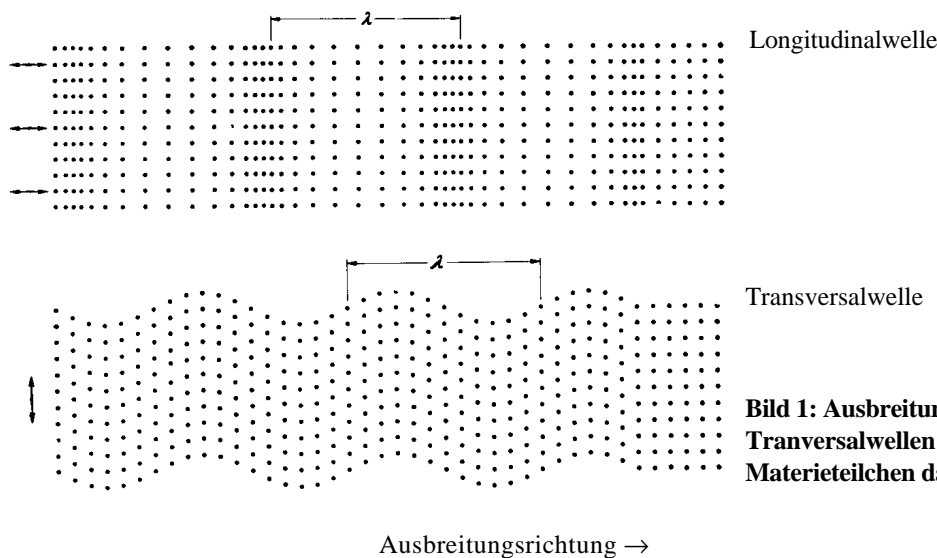


Bild 1: Ausbreitung von Longitudinal- und Transversalwellen - jeder Punkt stellt ein Materieteilchen dar

Der Schall breitet sich (**Bild 1**) in festen Körpern aus in Form von

- Longitudinalwellen (L) und
- Transversalwellen (T)

in Flüssigkeiten und Gasen dagegen, wo keine Scherspannungen übertragen werden können, nur in Form von Longitudinalwellen.

Die Schallwellen pflanzen sich gradlinig fort, durchdringen sehr große Wanddicken und werden an Werkstoffgrenzen zu einem Teil reflektiert.

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit c (in m/s) ist abhängig von Werkstoff und Wellenart

($\sim \sqrt{\frac{E}{\rho}}$, mit E = Elastizitätsmodul und ρ = Dichte):

Eigenschaft	Stahl	Aluminium	Wasser	Luft	Plexiglas
Longitudinalschallgeschwindigkeit c_L [m/s]	5920	6320	1480	333	2730
Transversalschallgeschwindigkeit c_T [m/s]	3250	3130	-	-	1430
Elastizitätsmodul [kN/mm ²]	210	70			
Dichte ρ [kg/m ³]	7850	2700	1000	1,29	1180

Zwischen Schallgeschwindigkeit c , Frequenz f und Wellenlänge λ besteht die Beziehung:

$$c = f \cdot \lambda$$

Beim Durchgang durch Festkörper wird die Ultraschallwelle an den Korngrenzen und Verunreinigungen je nach Werkstoff mehr oder weniger stark geschwächt. Hinzu kommt die Divergenz, d.h. die Auffächerung des Schallbündels, welche die Schallintensität mit zunehmender Tiefe nach dem Abstands-Quadrat-Gesetz schwächt (Analogie zum Lichtkegel einer Lampe).

Die Verstärkung, aber auch die Schwächung des Schalls wird als Verhältnis zu einer Bezugsgröße in Dezibel (dB) angegeben. Es gilt

$$dB = 20 \cdot \lg \left(\frac{A_2}{A_1} \right) \quad \text{mit den Schallamplituden } A_1 \text{ und } A_2$$

Über den Laufweg $x_1 \rightarrow x_2$ errechnet sich die Schwächung α der Schallamplitude zu

$$\mathbf{a} = \frac{20 \cdot \lg A_1 / A_2}{x_2 - x_1} \quad [dB / mm]$$

Hat sich beispielsweise die Amplitude (Echohöhe) auf die Hälfte verringert ($A_1/A_2 = 2$), so ergibt sich für die Gesamtschwächung von x_1 nach x_2 ein Wert von 6 dB.

Trifft eine Schallwelle in einem Medium 1 auf eine Grenzfläche zu einem Medium 2, so wird sie zum Teil durchgelassen und zum anderen Teil reflektiert.

Der Durchlässigkeitskoeffizient errechnet sich zu

$$D = \frac{p_d}{p_e} = \frac{2 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

und der Reflexionskoeffizient zu

$$R = \frac{p_r}{p_e} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

mit p = Schalldruck und

$Z = c \cdot \rho$ = Schallwellenwiderstand, auch akustische Impedanz genannt

Die Reflexion ist also um so größer, je größer der Unterschied zwischen den Schallwellenwiderständen der beiden Medien ist. Für den Übergang von Stahl auf Luft errechnet sich mit letzterer Formel ein Reflexionskoeffizient von nahezu 1, d. h. praktisch 100%ige Schallreflexion. Selbst Haarrisse sind daher für den Schall undurchlässig.

Daher muss die Ankopplung der Schallköpfe an das Prüfstück über eine Flüssigkeit erfolgen (Wasser, Tapetenkleister, Fett, Öl). Trotzdem beträgt die Reflexion beim Übergang von Stahl auf Wasser/Öl noch etwa 90%.

Erzeugung von Ultraschallwellen mit dem Normalprüfkopf

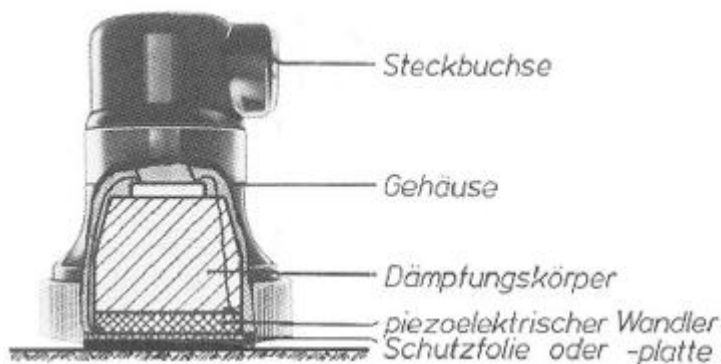
Die Ultraschallprüfung bedient sich des Piezoeffektes (grch. piezein = drücken): setzt man gewisse, geeignet zugeschnittene Kristalle, die eine polare Achse haben, von gegenüberliegenden Flächen her einer elastischen Verformung aus, so entstehen auf diesen Flächen entgegengesetzte elektrische Ladungen \rightarrow piezoelektrischer Effekt.

Lässt man dagegen auf die beiden gegenüberliegenden Kristallflächen (z. B. über aufgedampfte Silberschichten) ein elektrisches Feld einwirken, so erleidet der Kristall elastische

Verformungen → inverser piezoelektrischer Effekt = Elektrostriktion.

Diese Eigenschaften benutzt man zum Senden und zum Empfangen von Ultraschallwellen. Ein Kristall mit geeigneter Abmessung schwingt im Rhythmus einer hochfrequenten elektrischen Wechselspannung bzw. setzt eine aufgezwungene mechanische Schwingung in eine elektrische um.

Der Effekt beruht auf der Verschiebung von Ionen in Kristallen mit nicht symmetrischen Einheitszellen: beim Zusammenpressen verschieben sich die Ionen und verursachen eine Polarisation (Ladungsverschiebung). Ursprünglich an Quarz entdeckt, werden für die Ultraschallprüfung meist keramisch leichter herzustellende Mischkristalle auf Bariumtitanat-Basis eingesetzt. Die Auswahl der Kristalle erfolgt je nach Anforderungen an Empfindlichkeit, Auflösungsvermögen und Verschleißfestigkeit.



Wichtigstes Teil des Ultraschallkopfes (**Bild 2**) ist somit der Schwinger. Damit er nach Ende der elektrischen Impulse möglichst wenig nachschwingt, wird er durch einen Dämpfungskörper bedämpft. Eine Spule dient zur elektrischen

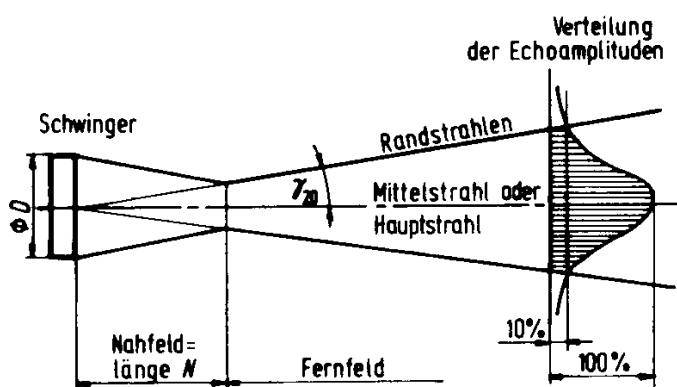
Bild 2: Normalprüfkopf

Anpassung. Der Schallprüfkopf gemäß Bild 2, der Ultraschall in Form von Longitudinalwellen senkrecht zur Oberfläche in das Werkstück schiebt, wird Normalprüfkopf genannt.

Die Reichweite des Schalls von Normalprüfköpfen beträgt 5000 mm und mehr.

Weiterhin gibt es die Winkelprüfköpfe, die den Schall unter bestimmten Winkeln in das Prüfstück senden.

Schallfeld



Der aus dem Kopf in das Werkstück eintretende Schall ist gerichtet und stark gebündelt: man spricht von einem Schallbündel oder auch einer Schallkeule (**Bild 3**).

Bild 3: Schallbündel eines Normalprüfkopfes (schematisch, n. Schlinke)

Im Nahfeld sind genaue Messungen nicht möglich, da hier Interferenzen auftreten und der Sendepuls stört. Die Nahfeldlänge N errechnet sich zu

$$N = 0,25 \frac{D^2 \cdot f}{c}$$

Eine hohe Frequenz, insbesondere aber ein großer Wandlerdurchmesser¹ ergeben damit ein langes Nahfeld.

Als Begrenzung des Fernfeldes werden die 6dB-Linien (auch die 20dB-Linien) des Schallfeldes festgelegt. Das sind die Grenzen, an denen die Intensität gegenüber der auf dem Zentralstrahl auf 50% (10%) gesunken ist. Der Divergenzwinkel γ des Schallfeldes errechnet sich zu

$$\sin g_6 = 0,51 \cdot \frac{c}{f \cdot D} \quad \text{bzw.} \quad \sin g_{20} = 1,08 \cdot \frac{c}{f \cdot D}$$

Im Fernfeld liegt eine glockenförmige Verteilung der Schallintensität vor.

Der Schalldruck und damit die Prüfeempfindlichkeit reduziert sich im Fernfeld mit zunehmendem Abstand vom Prüfkopf infolge der Divergenz und der Schallschwächung.

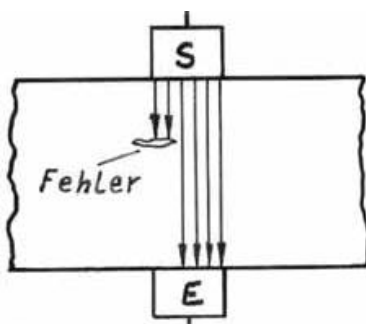
Ist eine gute Fehlernachweisbarkeit in großer Tiefe gewünscht, so muss der Divergenzwinkel klein, d. h. Wandlerdurchmesser und die Frequenz müssen groß sein. Dann ist allerdings die Nahfeldlänge groß und Fehler nahe der Oberfläche sind nicht auffindbar.

Ist dagegen ein kurzes Nahfeld gefordert, so müssen f und insbesondere D klein sein. Man erhält damit allerdings ein stark divergierendes Schallbündel.

Der Schalldruck nimmt mit der Entfernung vom Prüfkopf nicht nur wegen der Divergenz ab. Es kommt noch die werkstoffabhängige Schallschwächung hinzu, die sich aus Absorption (Umwandlung in Wärme) und Streuung an Korngrenzen, Verunreinigungen, ... zusammensetzt. Die Schallschwächung ist frequenzabhängig.

Verfahren

Man unterscheidet das Durchschallungsverfahren und das Impuls-Echo-Verfahren.



Beim Durchschallungsverfahren (**Bild 4**) arbeitet man mit einem Sender- (S) und einem Empfänger-Prüfkopf (E). Der Sendekopf sendet impulsweise Schallwellen aus, der Empfängerkopf ist ständig auf Empfang geschaltet. Liegt ein Fehler im Schallweg,

Bild 4: Durchschallungsverfahren

so verringert sich die Schallintensität (Schallamplitude) auf der Empfängerseite oder – bei einem sehr großen Fehler - es kommt überhaupt kein Schall mehr beim Empfänger an. Eine Ermittlung der Tiefe, in welcher der Fehler liegt, ist nicht möglich.

¹ als Wandlerdurchmesser ist genau genommen der "effektive" Wandlerdurchmesser einzusetzen, der sich jedoch nur um wenige Prozent vom geometrischen Durchmesser des Wandlers unterscheidet
Reuter, Fh HH, Werkstoffprüfung: Einführung in die Ultraschallprüfung (10.99)

Das Impuls-Echo-Verfahren (**Bild 5**) ist das vorwiegend eingesetzte Verfahren. Man arbeitet mit nur einem Prüfkopf, der gleichzeitig als Sender und Empfänger arbeitet. Der Kopf sendet sehr kurze Ultraschall-Impulse in das Werkstück und ist gleichzeitig auf Empfang geschaltet.

Es liefert eine Information über die Größe von eventuell vorhandenen Reflektoren durch die Höhe ihrer Echoamplitude.

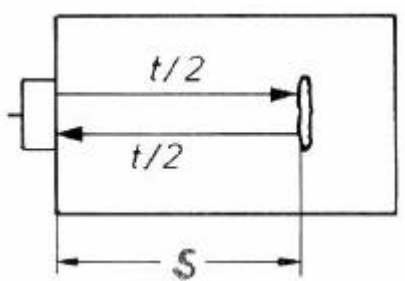


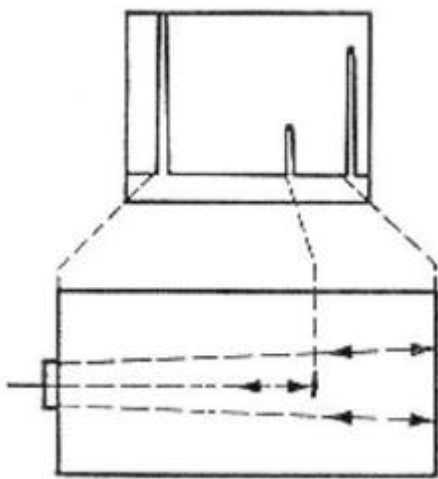
Bild 5: Impuls-Echo-Verfahren

Da die Schallgeschwindigkeit bekannt ist und die Zeit von Senden des Impulses bis zum Empfang des Echos (Echolaufzeit) gemessen wird, kann außerdem die Lage von Reflektoren ermittelt werden. Die Formel lautet:

:

$$s = \frac{1}{2} c t$$

Der elektrische Empfänger ist ein Oszillograph. Der Leuchtschirm hat ein eingraviertes Raster (Skala). Der den Leuchtpunkt zeichnende Elektronenstrahl wird durch zwei waagrecht und zwei senkrecht angeordnete Plattenpaare abgelenkt.



Horizontal ist eine konstante Ablenkungsgeschwindigkeit einstellbar. Vertikal wird die vom Prüfkopf empfangene Schallintensität (verstärkt) wiedergegeben.

Es ergibt sich nun gemäß **Bild 6** folgender Ablauf:

(1) Mit dem Sendeimpuls beginnt der Elektronenstrahl seinen horizontalen Lauf über den Leuchtschirm.

Bild 6: Impuls-Echo-Verfahren. Schalllauf und Echoanzeigen

(2) Unmittelbar nach dem Abklingen des Sendeimpulses kann der Prüfkopf Schallwellen empfangen. Es wird zunächst der ausklingende Sendeimpuls² empfangen.

(3) Trifft das Schallbündel auf seinem Weg auf eine kleinere Ungänze, so wird von ihr ein Teil des Schalls zum Kopf hin zurückreflektiert. Sobald dieser Schall dieses Echo den Prüfkopf erreicht, erfolgt wieder eine Vertikalauslenkung des Elektronenstrahles: das Fehlerecho (Zwischenecho).

² Dieses Echo entspricht nicht der Werkstückoberfläche - es kommt vom Wandler (Schwinger) direkt. Daher nur die Differenz zwischen Rückwandechos zum Justieren benutzen!

Der nicht vom Fehler reflektierte Schall läuft in unserem Beispiel bis zur Rückwand, wird dort reflektiert, vom Schallkopf empfangen und als Rückwandecho auf den Leuchtschirm gezeichnet.

Da sich der Vorgang ständig wiederholt (der Prüfkopf sendet pro Sekunde mehr als 1000 Impulse), erhält man ein stehendes Bild.

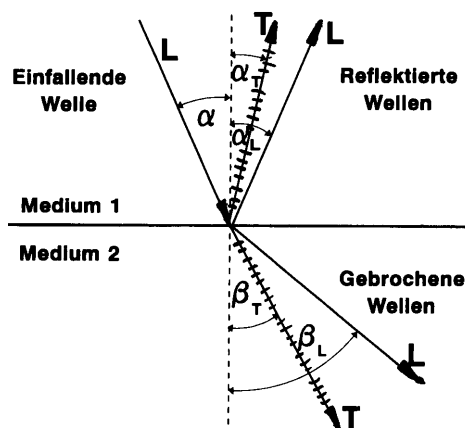
Man nennt diese Art der Darstellung ein A-Bild.

Besondere praktische Bedeutung für viele Anwendungsfälle, insbesondere in der Schweißtechnik hat auch die Einschallung unter einem bestimmten Winkel (Winkelkopfprüfung). Fehler liegen nämlich sehr oft nicht parallel zur Bauteiloberfläche. Dann ist eine Schrägeinschallung, d. h. eine Prüfung mit Winkelprüfköpfen zur Auffindung erforderlich.

Trifft eine Longitudinalschallwelle unter dem Winkel α aus dem Medium 1 in das Medium 2, so wird sie unter dem Winkel α zur Senkrechten an der Oberfläche reflektiert, wobei sie in eine Longitudinal- und eine Transversalwelle aufgespalten wird.

Weiterhin wird sie in dem Medium 2 gebrochen, wobei sie sich ebenfalls in eine Longitudinalwelle L und eine Transversalwelle T aufspaltet. Für die Brechung gilt das Snelliussche Gesetz aus der Optik, das in der allgemeinen Form lautet:

$$\frac{\sin a}{\sin b} = \frac{c_1}{c_2}$$



Eine Ultraschallprüfung mit zwei sich unterschiedlich verhaltenden Wellenarten ist aber unmöglich, da man die empfangenen Signale nicht interpretieren kann. Man nutzt daher die Tatsache, dass die Longitudinalwelle stärker gebrochen wird als die Transversalwelle

Bild 7: Reflexion und Aufspaltung einer Longitudinalwelle beim Übertritt von Medium 1 in Medium 2

und wählt den Winkel α_L so groß, dass die Longitudinalwelle aus dem Medium 2 austritt. Einsetzen der Geschwindigkeit der Longitudinalwelle (Plexiglas und Stahl):

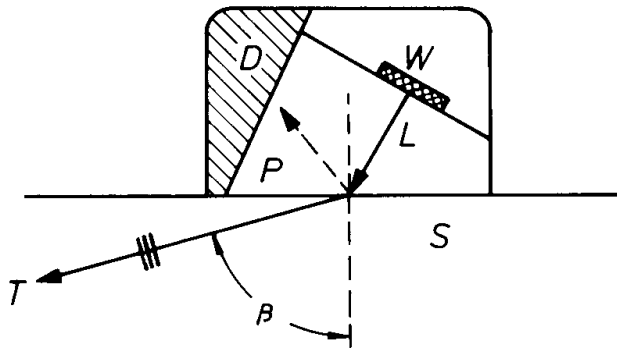
$$\frac{\sin a}{\sin b_f} = \frac{2730}{5920} = 0,461$$

Setzt man $\beta_T = 90^\circ$ und damit $\sin \beta_T = 1$, so erhält man $\alpha = 27,5^\circ$. Dies ist der kleinste Winkel, unter dem die Longitudinalwelle aus dem Werkstück verschwindet. In der Praxis verwendet man wegen der Divergenz des Schallbündels 35° .

Freilich darf man den Winkel α auch nicht zu groß machen, sonst tritt auch die Transversalwelle aus. Hier gilt die Bedingung:

$$\frac{\sin a}{\sin b_f} = \frac{2730}{3250} = 0,84$$

Setzt man auch hier $\sin \alpha = 1$, so erhält man als Winkel für die Totalreflexion $\alpha = 57^\circ$

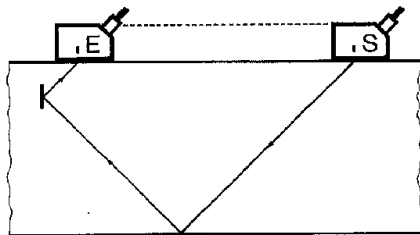


In **Bild 8** ist der Aufbau eines Winkelprüfkopfes skizziert. Es bedeuten W = Wandler, L = Longitudinalwelle, P = Plexiglaskeil, D = Dämpfungskörper, S = Prüfstück, T = Transversalwelle, β = Einschallwinkel.

Bild 8: Prinzipskizze eines Winkelprüfkopfes

Man kann nach den o. a. Formeln weiter errechnen, dass der theoretisch mögliche kleinste Einschallwinkel in Stahl $33,3^\circ$ beträgt, der größte knapp unter 90° . In der Praxis verwendet man hauptsächlich 45° -, 60° - und 70° -Winkelprüfköpfe.

Was die Reichweite anbetrifft, liegen Winkelprüfköpfe weit hinter Normalprüfköpfen. Dies ist in erster Linie damit zu erklären, dass die höherfrequenten Transversalwellen eine sehr hohe Schwächung durch Streuung an den Korngrenzen erfahren - und dies bereits in unlegierten, feinkörnigen Stählen. Immerhin gelingt es aber mit einem modernen, großen 2-MHz-Winkelprüfkopf noch, Ungängen in der Größenordnung von 2-3 mm ϕ in 700 mm Entfernung aufzufinden.

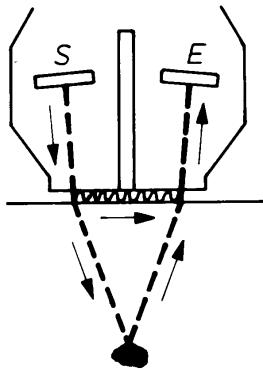


Außer mit der Winkelkopfprüfung im Impuls-Echo-Verfahren arbeitet man in bestimmten Fällen (große Wanddicken, senkrechte Fehler) mit der etwas umständlicheren Tandemtechnik, die sich zweier Winkelprüfköpfe bedient,

Bild 9: Tandemtechnik

einem Sendekopf und einem Empfangskopf (**Bild 9**). Der Abstand der Köpfe muss je nach Tiefenbereich, der überprüft werden soll, an einer entsprechenden mechanischen Koppelvorrichtung fest eingestellt werden.

Wie mit Normalprüfköpfen hat man auch mit Winkelprüfköpfen große Schwierigkeiten, oberflächennahe Fehler zu finden.



Gegen dieses Problem hat man die SE-Normalprüfköpfe (**Bild 10**) und SE-Winkelprüfköpfe entwickelt (SE = Sender-Empfänger).

Diese haben zwei Wandler. Sender und Empfänger sind elektrisch und akustisch voneinander getrennt. Die Köpfe eignen daher sehr gut zum Auffinden, Orten und Bewerten von kleinen Ungängen, die wegen ihrer

Bild 10: Prinzipskizze eines SE-Normalprüfkopfes

Nähe zur Oberflächen von Standard-Normalprüfköpfen und -Winkelprüfköpfen nicht aufgefunden werden. Allerdings ist die Reichweite dieser Köpfe im Vergleich zum Standard-Normalprüfkopf gering. .

Ein Fehler kann mit Ultraschall gefunden werden, wenn seine Abmessung d quer zum Schallbündel mindestens halb so groß ist wie die Schallwellenlänge. Es muss also $d \geq \lambda/2$ sein und es gilt damit beispielsweise für die Longitudinalwelle in Stahl (Fehler kreisrund und senkrecht angeschallt):

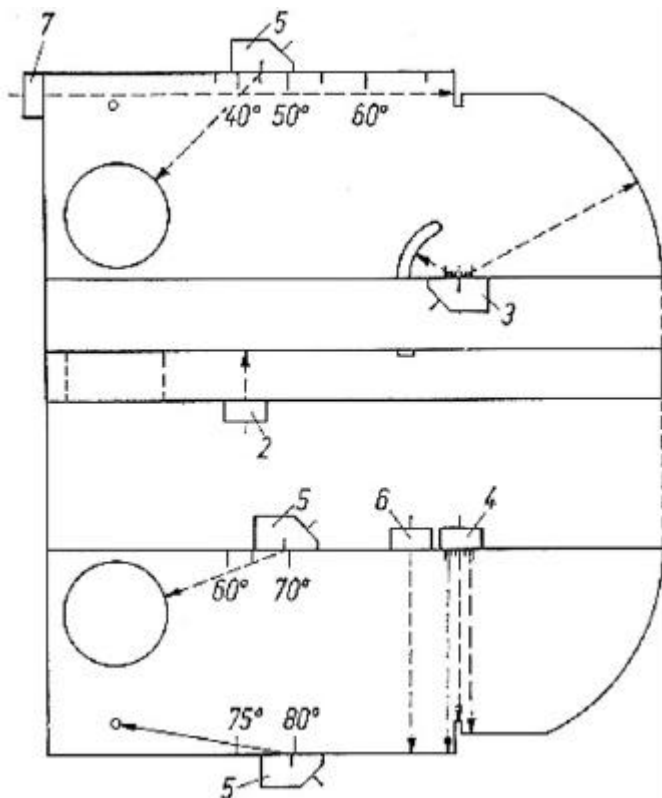
d [mm]	0,5	1,5	3	6
l [mm]	1	3	6	12
f [MHz]	6	2	1	0,5

Orten von Ungängen mit einem Normalprüfkopf

Vor dem Orten ist der Leuchtschirm zu justieren. Justieren heißt, den Skalenteilen des Bildschirms Entfernungen im Bauteil zuzuordnen. Dazu können Echos aus unterschiedlicher Tiefe verwendet werden, sofern ihre genaue Lage bekannt ist. Meist verwendet man jedoch Rückwandechos eines Körpers mit genau bekannten Laufwegen, z. B. einen Kalibrierkörper. Mit dem Verschiebungs- bzw. Prüfbereichsteller verschiebt man die verschiedenen Echos so, dass ihr Fußpunkt dem jeweiligen Skalenwert zugeordnet ist. Es muss der gesamte für die Aufgabe erforderliche Messbereich auf der Leuchtschirmskala abgebildet werden. Dazu sind mindestens zwei Echos auf der Leuchtschirmskala abzubilden. Soll z. B. ein Prüfbereich von 100 mm eingestellt werden und liegt ein Kalibrierkörper von 25 mm Dicke vor, so stellt man das erste Rückwandecho auf 2,5 Skalenteile, das zweite auf 5 Skt., das dritte auf 7,5 Skt. und das vierte auf 10 Skt. ein. Wir haben in diesem Falle einen *Justierbereich* von 100 mm gewählt und eine *Justierstrecke* von 25 mm verwendet.

Mit dieser Einstellung können wir Fehlerechos und Rückwandechos im Bereich bis zu 100 mm orten. Der Sendeimpuls eignet sich nicht als Bezugswert.

Bei einem Bauteil von 100 mm Dicke kommt das Rückwandecho bei dieser Einstellung bei 10 Skt. und man kann die Tiefenlage des Fehlers direkt ablesen, z. B. 3 Skt. = in 30 mm Tiefe.



Orten von Ungängen mit einem Winkelprüfkopf

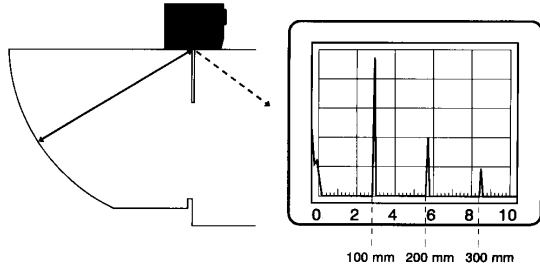
Arbeitet man mit Winkelprüfköpfen, so benutzt man die in **Bild 11** und **Bild 13** abgebildeten Kalibrierkörper Nr.1 oder Nr.2 (im Sprachgebrauch auch Justierkörper, Kontrollkörper oder Vergleichskörper genannt), die in DIN EN 12223 (Nr.1) und DIN EN 27963 (Nr.2) genormt sind.

Nr.1 ist für die Justierung von großen Winkelköpfen bestimmt, Nr.2 für die von Miniaturwinkelprüfköpfen.

Bild 11: Kalibrierkörper Nr.1 nach DIN EN 12223. Werkstoff: Baustahl, $t=25$ mm

Die Echos kommen bei diesen Kalibrierkörpern unabhängig vom Einschallwinkel aus der gleichen Tiefe.

Die Justierung mit dem Kalibrierkörper Nr. 1 ist in **Bild 12** dargestellt.

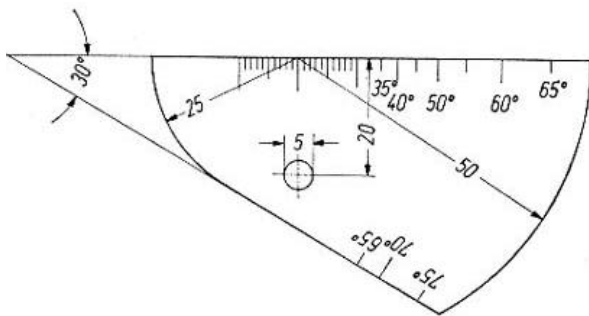


Wäre der Sägeschnitt nicht vorhanden, so würde der Schall nach der Rückkehr von der Kante gemäß der gestrichelten Linie weiterlaufen und sich "totlaufen". So wird er unter Ausnutzung des

Bild 12: Justierung mit dem Kalibrierkörper 1

sogenannten Winkelspiegeleffektes immer wieder zurück reflektiert, so dass die erforderlichen Mehrfachechos in 100 mm, 200 mm, ...Entfernung gegeben sind.

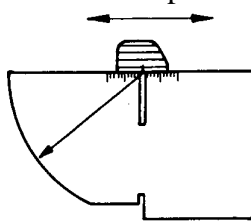
Der Kalibrierkörper Nr. 2 liefert bei Einschallung zur Seite R25 das erste Echo aus einer Entfernung von 25 mm, das zweite Echo (durch Reflexion an der Oberfläche, Hineinlaufen in den 50 mm Kreisbogen und Reflexion dort selbst und erneutes Hineinlaufen und Reflexion im 25 mm Kreisbogen) aus einer Entfernung von 100 mm. Stellt man das erste Echo auf 2,5 Skt. und das zweite auf 10 Skt., so hat man auf einen Prüfbereich von 100 mm Stahl justiert.



Bei der Winkelkopfprüfung erhält man allerdings den Projektionsabstand a und die Tiefe der Anzeige erst, nachdem man den gemessenen Schallweg s mit dem Sinus bzw. dem Cosinus des Einschallwinkels β multipliziert.

Bild 13: Kalibrierkörper Nr.2. Werkstoff: Baustahl. Wanddicke: 12,5 mm.

Der Schallaustrittspunkt von Winkelköpfen wird ebenfalls mit den Kalibrierkörpern bestimmt. Schallaustrittspunkt ist dort, wo die Achse des Schallbündels aus dem Winkelprüfkopf austritt. Er ist



meist durch eine Strichmarke seitlich am Kopf gekennzeichnet. Kontrolle kann am K 1 oder am K 2 durchgeführt werden. Am K 1 wird der Kopf gemäß **Bild 14** hin und her bewegt und das Echo dabei auf ein Maximum gezüchtet. Er liegt dann am Radiuspunkt.

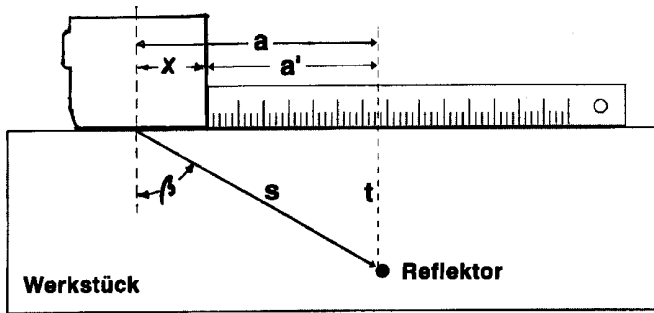
Bild 14: Bestimmung des Schallaustrittspunktes am Kalibrierkörper K 1

Beim K 2 erfolgt die Bestimmung in gleicher Weise.³

Mit den gleichen Kalibrierkörpern kann man auch den Einschallwinkel überprüfen.

Nach entsprechender Justierung des Gerätes erfolgt die genaue Ortung der Fehler.

³ vgl. DIN 54120 und 54122



Liegt der Fehler im Bereich eines halben Sprungabstandes (**Bild 15**), so errechnet sich Projektionsabstand a und Fehlertiefe t nach den Beziehungen

$$a = s \cdot \sin \beta$$

$$t = s \cdot \cos \beta$$

Bild 15: Fehlerortung bei der Winkelkopfprüfung

Der Prüfer arbeitet auch gern mit dem verkürzten Projektionsabstand a' , der von der Vorderkante des Prüfkopfes aus gemessen werden kann.

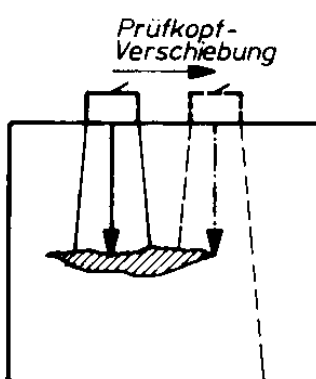
Liegt der Fehler jedoch im vollen Sprungabstand, was man daran merkt, dass die Fehlertiefe größer als die Wanddicke d ist, so ist es erforderlich, für die Ermittlung der tatsächlichen Tiefenlage der Anzeige die Beziehung

$$t' = 2 \cdot d - t$$

zu verwenden.

Im vollen Sprungabstand prüft man zum Beispiel zum Orten und Untersuchen von Fehlern, die im Bereich der dem Prüfkopf zugewandten Oberfläche liegen (sofern der Zugang von der Gegenseite unmöglich oder ungünstig ist) oder zur Prüfung in bestimmten Bereichen von Schweißnähten.

Ermittlung der Größe von Ungängen

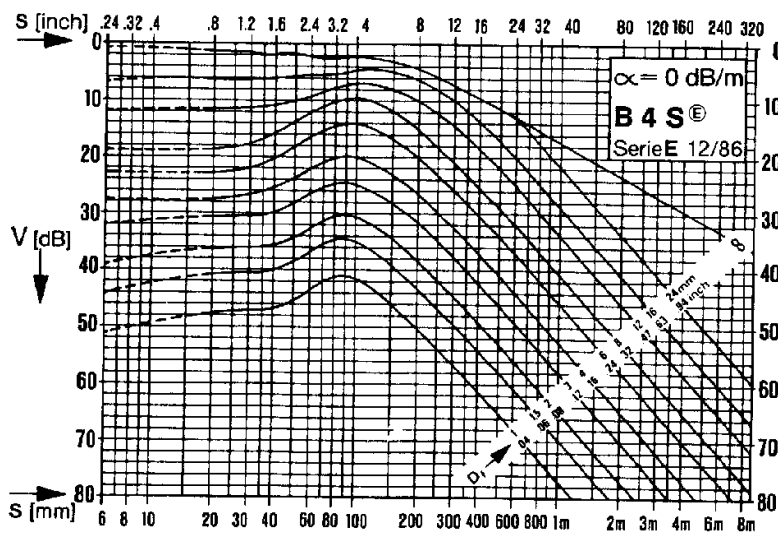


Fehler, die im Verhältnis zum Schallbündel groß sind, kann man durch Ermittlung der Ränder durch Abtasten ausmessen (Abtastmethode). Der Prüfkopf wird dorthin gesetzt, woher ein volles Fehlerecho kommt und dann solange verschoben, bis dieses Echo auf die halbe Intensität abgefallen ist (**Bild 16**). Jetzt liegt die akustische Achse auf dem Rand des Fehlers. Der Punkt wird auf dem Bauteil markiert. Durch Wiederholung an anderen Stellen wird so der Umriss der Ungänge angezeichnet.

Bild 16: Nachweis von großen Reflektoren

Anders geht man vor bei der Ermittlung der Größe kleiner Reflektoren, die innerhalb des Schallbündels liegen (vergleiche hierzu die vorstehenden Ausführungen über das Schallfeld eines Ultraschallprüfkopfes!).

Die Echohöhen derartiger Reflektoren sind proportional zu ihrer Fläche bzw. zum Quadrat ihrer Durchmesser. Mit zunehmender Abstand vom Prüfkopf nehmen sie ab, und zwar umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstandes r (Abnahme $\sim 1/r^2$).



Betrachtet man beispielsweise mehrere verschieden tief liegende Kreisreflektoren (Flachbodenbohrungen) von 2 mm ϕ und zeichnet ihre Echohöhe über ihrer Tiefenlage auf, so erhält man im Fernfeld eine mit dem Schallweg abfallende Kurve. Im Nahfeld fällt die Kurve zu kürzeren Abständen

Bild 17: AVG-Diagramm für einen Senkrechtprüfkopf

zum Prüfkopf hin wieder ab und je nach Kopf können sich Unstetigkeiten ergeben.

Ermittelt man zusätzlich derartige Kurven für weitere Reflektorgrößen und trägt sie in ein gemeinsames Schaubild ein, so erhält man ein sogenanntes AVG-Diagramm⁴ gemäß **Bild 17** (hier für einen Senkrecht-Prüfkopf B4S der Firma Krautkrämer). Die Fehlergröße ∞ entspricht der Rückwand.

Derartige Diagramme werden als durchsichtigen Vorsatzskalen für das Ultraschallgerät angeboten oder in digitalisierten Geräten elektronisch eingeblendet.

Zur Anwendung dieser Skalen muss zunächst der auf der Skala angegebene Prüfbereich einjustiert werden.

Nach dem Justieren, z. B. auf 100 mm, wird die Verstärkungseinstellung mittels eines Bezugsreflektors - hier eine Kreisscheibe von 2 mm ϕ - vorgenommen. Liegt der Reflektor beispielsweise in 50 mm Tiefe, so erscheint das Echo über Skalenteil 50. Man regelt an der Verstärkungseinstellung, bis die Spitze auf der Kurve für eine Ersatzreflektorgröße 2 liegt. Nun kann man jedem Reflektor im Bauteil eine Ersatzfehlergröße zuordnen.

Es gibt neuere Ultraschallgeräte, bei denen die mit zunehmendem Abstand wachsende Schallschwächung elektronisch kompensiert werden kann, so dass ein Arbeiten mit horizontalen Bewertungslinien möglich ist.

Im allgemeinen AVG-Schaubild sind die Abstände A als Vielfaches der Nahfeldlänge des jeweiligen Prüfkopfes, und die Reflektorgrößen G sind als das Verhältnis der Reflektorgröße zum effektiven Schwingerdurchmesser definiert.

⁴ A steht für Abstand, V für Verstärkung, G für Ersatzreflektorgröße
Reuter, Fh HH, Werkstoffprüfung: Einführung in die Ultraschallprüfung (10.99)

Anwendung der US-Prüfung

Die Ultraschallprüfung wird in den verschiedensten Gebieten des Maschinen- und Apparatebaus zur zerstörungsfreien Prüfung angewendet, nämlich zur Prüfung von

- Halbzeugen wie Bleche, Profile, Schmiedeteile, Gussstücke
- Rohre
- Schienen
- Maschinenteile
- Schweißnähte, Löt- und Klebverbindungen

Hinweise über Anforderungen an die Durchführung von Ultraschall-Prüfungen und die Bewertung der Ergebnisse finden sich in den zuständigen technischen Regelwerken, z.B. AD-Merkblatt HP5/3 (01.00): „Zerstörungsfreie Prüfung der Schweißverbindungen“ und zugehöriger Anlage 1 (01.00): „Verfahrenstechnische Mindestanforderungen für die zerstörungsfreien Prüfverfahren“.

Weiterführende Literatur

- Krautkrämer: Einführung in die Grundlagen, 1998
- Krautkrämer Taschenbuch, Firma Krautkrämer
- Krautkrämer, J., Krautkrämer, H., Ultrasonic Testing of Materials, Springer Verlag, 1990
- Krautkrämer, J., Krautkrämer, H., Werkstoffprüfung mit Ultraschall, Springer Verlag, 1986
- Schlinke, D., Werkstoffprüfung für Metalle, Hermann Schroedel Verlag, Hannover
- Corsepius, W., Ultraschallprüfungen an austenitischen Schweißverbindungen, Broschüre der Firma Krautkrämer

Für die Genehmigung zur Verwendung des größten Teils der Abbildungen danke ich der Firma Krautkrämer GmbH & Co., Hürth.