

Dr. K. Kolb, Stuttgart

## Einfluß der Einschallwinkelungenauigkeit auf die ZfP-Aussage bei Ultraschallprüfungen

### Prüfsicherheit der ZfP einmal anders gesehen

Das Ultraschall-Prüfergebnis wird charakterisiert durch

- die Koordinaten bzw./ und Ausdehnung einer Ungänze bezogen auf die Fläche, welche zwischen Ultraschallprüfkopf-Fahrstrahl auf der Oberfläche und Ultraschallprüfkopf-Zentralstrahl aufgespannt wird,
- die „Größe“ der Ungänze ausgedrückt in Kreisscheibenreflektor (KSR) bzw. Registriergrenze (RG)  $\pm$  dB.

Die Bewertung einer Ungänze, insbesondere auf der unzugänglichen Innenseite von Rohren und Behältern (i.a. die Wurzelseite bzw. z.B. bei Flachbodentanks die Schnittstelle zwischen Blech und Badsicherung), erfordert eine möglichst exakte Ermittlung des Schallweges/ Projektionsabstandes zur Angabe der Tiefenlage.

Die Tiefenlage einer Schallantwort (Ungänze) ergibt sich aus dem Zusammenhang

$$t = p/2 \tan \alpha,$$

wobei  $t$  = Tiefe der Ungänzenlage  
 $d$  = Dicke des Bleches/ der Wand,  
 $p$  = Projektionsabstand,  
 $\alpha$  = Einschallwinkel in Grad

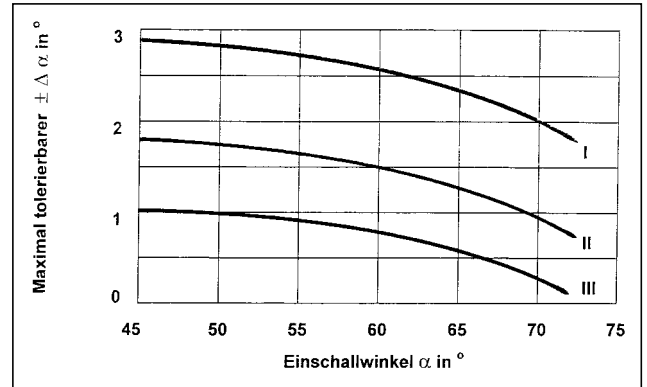
ist.

Wenn die Ungänze in einer Tiefe entsprechend Blech- oder Wanddicke liegt, dann wird  $t = d$ .

Eine zuverlässige Ultraschallprüfung muß in der Lage sein, die  $\pm$ -Abweichung für die Tiefenlage einer Schallantwort/ Ungänze so qualifiziert anzugeben, daß keine realitätsfremden Entscheidungen getroffen werden können. Das Problem der genauen Einschallwinkelbestimmung ist bekannt. Die Bestimmung an Kontrollkörper 1 und Kontrollkörper 2 ist, wie jeder Ultraschallprüfer weiß, in bezug auf Genauigkeit unbefriedigend.

Das immer wieder präsentierte Argument, daß man bei den neuen digitalen Geräten den exakten Einschallwinkel eingeben kann, täuscht eine nicht vorhandene Zuverlässigkeit vor. Denn bekanntlich führt selbst der beste Rechner auf ein falsches oder unzuverlässiges Ergebnis, wenn er falsch oder ungenau gefüttert wird. Dies bedeutet, daß nicht geräteseitig sondern periphereseitig, d.h. beim Ultraschallprüfkopf, eine Optimierung gesucht werden muß. Fabrikneue Ultraschallprüfköpfe werden je nach Einschallwinkel mit einer Ungenauigkeit von  $\pm 1^\circ < \Delta \alpha < \pm 2,5^\circ$  geliefert. Eine genaue und aktuelle Einschallwinkelbestimmung kann nur im Labor mit elektromagnetisch-akustischen Empfängern (Sondenverfahren) erfolgen.

Nach EN 12668-2, Abschnitt 7.9.3.2 (Entwurf Juli 1998) muß der Einschallwinkel innerhalb von  $\pm 2^\circ$  mit dem Nennwinkel übereinstimmen. Die Einschallwinkeländerung bei manueller Ultraschallprüfung und vielfach



Legende zu den Kurven I bis III für maximal zu tolerierende  $\pm$ -Abweichung des Einschallwinkels

Parameterannahme zu den Kurven I bis III:

Standardprojektionsabstand  $p_0 = 100$  mm

Standardwandstärke  $s_0 = f(\alpha, p_0)$

Kurve I: Es wird Ungenauigkeit in der Tiefenangabe von 10 %  $s_0$  hingegenommen

Kurve II: Wie Kurve I, jedoch mit 5 % Ungenauigkeit

Kurve III:  $\pm \Delta \alpha = f$  (Ablesegenauigkeit von  $\pm 1$  mm)

Bild 1: Einschallwinkel einfluß auf die Prüfgenauigkeit

asymmetrischer Abnutzung der Ultraschallprüfkopfsohle ist unvermeidbar und allgemein bekannt. Bei jeder Prüfung bzw. bei Aufstellung der Prüfanweisung sollte daher überlegt werden, welche maximale Abweichung vom Soll-einschallwinkel toleriert werden kann.

Die Abschätzung der tolerierbaren Ungenauigkeit kann beispielsweise unter drei Prämissen erfolgen:

1. Akzeptanz der vom Hersteller angegebenen Fertigungsgenauigkeit in  $\pm \Delta \alpha$ .
2. Abschätzung der Einschallwinkelabweichung auf Basis einer vereinbarten Bildschirm-Ablesegenauigkeit von  $\pm 1$  mm (Bildschirm auf 100 mm Projektionsabstand eingestellt. Zugrundegelegte Wanddicke ergibt sich einschallwinkelabhängig für  $p = 100$  mm).
3. Vorgabe eines max. tolerierbaren Tiefenangabefehlers von 10 % bzw. 5 % der Wanddicke (Bildschirm auf 100 mm Projektionsabstand eingestellt. Zugrundegelegte Wanddicke ergibt sich einschallwinkelabhängig für  $p = 100$  mm, Ermittlung von  $\Delta \alpha$  für  $d \pm 10$  % bzw.  $d \pm 5$  %).

Das Ergebnis für die Vorgaben unter Punkt 2 und 3 ist im Diagramm von Bild 1 wiedergegeben.

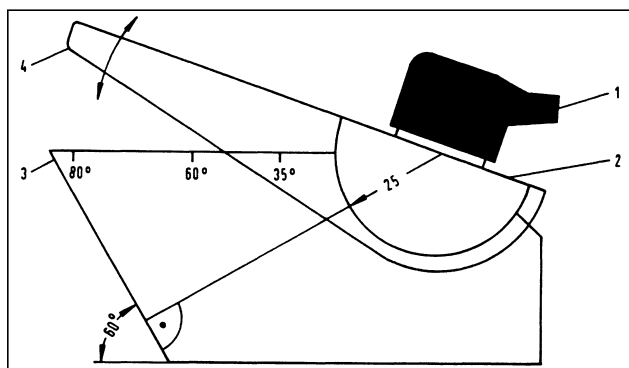
Folgende Schlüsse bzw. Konsequenzen lassen sich hieraus ableiten:

- ⇒ Die max. Abweichung vom Soll-Einschallwinkel sollte nicht größer als  $\pm 1,5^\circ$  bei 45°- und 60°- Sollwinkel bzw.  $\pm 1,0^\circ$  bei 70°- Sollwinkel sein.

- ⇒ Die Herstellertoleranzangaben folgen einem gegenläufigen Trend.
- ⇒ Die Regelwerke müssen verbindliche Angaben zur geforderten Einschallwinkeltoleranz bzw. zur geforderten Genauigkeit der Ungänzentiefenangabe bezogen auf die Objektdicke enthalten.
- ⇒ Die Ausbildungsinhalte zu UT1 (und UT2) müssen den Einfluß nicht präziser Einschallwinkel auf die Bewertungskonsequenz intensiver behandeln. Methoden der präziseren Einschallwinkelbestimmung als an Kontrollkörper 1 und Kontrollkörper 2 müssen standardisiert werden.
- ⇒ Einstufung bzw. Festlegung der Geräte- und Geräteperipherie-Eigenschaften (Linearität der Zeitbasis, Linearität der Geräteverstärkung, Schallaustrittspunkt, Einschallwinkel, Signal-/ Rauschabstand) in bezug auf Häufigkeit der Kontrolle durch den Prüfer und in bezug auf vorzugebende Absolutwerte und tolerierbare, d.h. das Prüfergebnis nicht maßgeblich beeinflussende  $\pm$ -Abweichungen. Dies gilt gleichermaßen für Prüfstellen-Prüfanweisungen (intern) wie für Regelwerke (extern).

Wie auf einfache Weise in der Praxis vor Ort eine genaue und reproduzierbare Einschallwinkelbestimmung erfolgen kann, wurde 1972 von ZPKo beschrieben (Materialprüfung 14 (1972), Nr. 12, S. 423-424). Das Prinzip beruht darauf, daß die Winkelposition des Schwingers im Prüfkopf in bezug auf die Oberfläche des Prüfobjektes gemessen wird. Der Schallaustrittspunkt muß, im Gegensatz zur üblichen und wenig genauen Winkelbestimmung am DIN-Körper, nicht bestimmt werden. Die Meßstellung ist dann erreicht, wenn das Rückwandecho ein Maximum zeigt. Der Winkel, welcher vom Lot auf die Reflexionsfläche und vom Lot auf die Kontaktfläche zwischen Prüfkopf und Halbzylinder eingeschlossen wird, entspricht (vgl. Bild 2) bei fabrikneuen Prüfköpfen genau dem rechnerisch ermittelten Montagewinkel des Schwingers im Winkelprüfkopf.

Bei gebrauchten, schief abgeschliffenen Plexiglassohlen wird auf diese Weise einer Pseudo-Montagewinkeländerung



- 1 = Prüfkopf
- 2 = Halbzylinder (Plexiglas)
- 3 = Lagerteil (Plexiglas)
- 4 = Plexiglaszunge als Ablesehilfe

Bild 2: Schematische Darstellung des Meßblockes

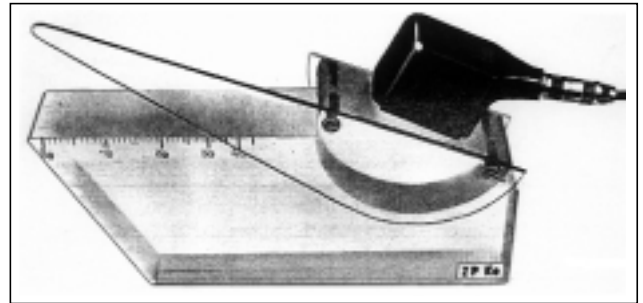


Bild 3: Plexiglasprüfblock mit aufgesetztem Ultraschall-Winkelprüfkopf.

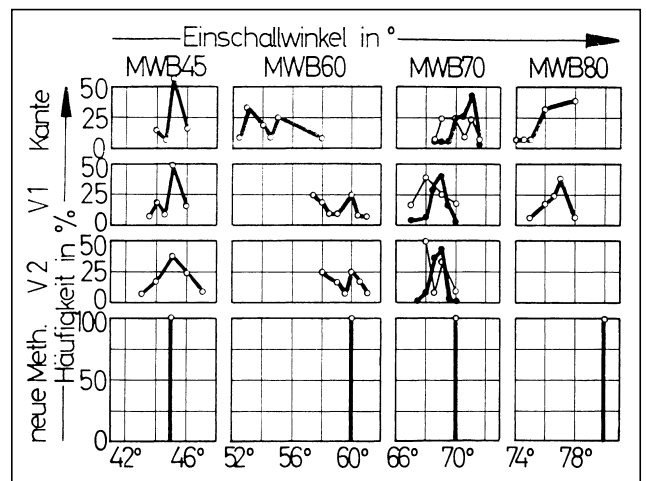


Bild 4: Wiedergabe der für vier Miniaturwinkelprüfköpfe mit Hilfe von vier verschiedenen Methoden bestimmten Häufigkeitsverteilungen der ermittelten Einschallwinkel.

und somit der Einschallwinkeländerung Rechnung getragen. Ist die Transversalwellengeschwindigkeit im Objekt bekannt, so kann eine genaue Angabe des Einschallwinkels erfolgen. Je nach Materialbeschaffenheit des Prüfstückes (z.B. Al, Cu, Fe, Ti oder VA), werden, wie in Bild 3 gezeigt, entsprechende Skalen zur Einschallwinkelablesung verwendet.

In Bild 4 ist das Ergebnis einer Testreihe wiedergegeben, die in eindrucksvoller Weise die Vorzüge dieser einfachen Methode dokumentiert. Hierbei wurde versucht, für vier verschiedene Winkelprüfköpfe mit vier verschiedenen Methoden Häufigkeitsverteilungen für die zu bestimmenden Einschallwinkel zu erhalten.

Die Spalten von links nach rechts sind den Prüfköpfen MWB 45, MWB 60, MWB 70 und MWB 80 (4 MHz) zuzuordnen. Die Zeilen geben von oben nach unten die Methode der Winkelbestimmung an. Die erste Zeile zeigt die Ergebnisse für die Kante am Kontrollkörper 1 und die zweite Zeile die Ergebnisse für die 50 mm-Bohrung des Kontrollkörpers 1 nach DIN 54120. Die dritte Zeile zeigt die Ergebnisse der Winkelbestimmungen an der Bohrung des Kontrollkörpers 2 nach DIN 54122. Die Bohrung hatte entgegen dem Normvorschlag anstatt 5 mm nur 1,5 mm  $\varnothing$ . In der letzten Zeile sind die mit der hier beschriebenen Vorrichtung gewonnenen Ergebnisse wiedergegeben.

Die durch Kreise gekennzeichneten Verteilungen wurden von vier Beobachtern mit jeweils drei Einzelmessungen gewonnen. Den durch volle Punkte markierten Verteilungen für den Prüfkopf MWB 70 liegen 100 Meßpunkte (fünf Beobachter) zugrunde. Es ist zu erkennen, daß die Zahl von 12 Einzelmessungen lediglich für einen Einschallwinkel von etwa 45° ausreichend ist. Den übrigen auf 12 Einzelmessungen beruhenden Kurvenverläufen kann nur ein Mittelwert mit  $\pm$ -Abweichung entnommen werden.

Eine sinnvolle Häufigkeitsverteilung und hieraus eine einigermaßen sichere Bestimmung des Wertes für den Einschallwinkel ist nur mit einer sehr hohen Zahl von Einzelmessungen zu erreichen. Mit Hilfe des beschriebenen Meßblockes läßt sich, wie aus der untersten Zeile hervorgeht, der Einschallwinkel schon mit einer Messung exakt genug bestimmen.

Der beschriebene Meßblock ermöglicht dem Praktiker eine einfachere, schnellere und genauere Bestimmung des Einschallwinkels als es mit den üblichen Methoden möglich ist. Darüber hinaus eignet sich der Block für eine schnelle Serienprüfung in der Fertigung sowie für Kontrollen auf der Baustelle im Rahmen der Bau- und Prüfüberwachung. Der durch die Schallkeulendeforma-

tion bei höheren Einschallwinkeln zu erwartende Fehler ist sehr viel kleiner als der Fehler, mit dem die am DIN-Körper bestimmten Werte behaftet sind. Da außer der Sondenmethode, die z.Z. das genaueste Verfahren darstellt, keine andere Methode der hier beschriebenen gleichkommt, sollte die Einschallwinkelbestimmung mit dem vorgestellten Meßblock auch in Spezifikationen und Normen ihren Eingang finden.



**Der Autor: Dr. Klaus Kolb**

- 1954     *Abitur*
- 1960     *Diplom TH Stuttgart*
- 1963     *Promotion Universität Stuttgart*
- 1963 -    *MPI Metallforschung*
- 1965     *Stuttgart*
- seit 1965 *ZPKo Prüf- und Inspektionsstelle Geschäftsführer und Sachverständiger*
- 1979 - 1998 *Geschäftsführender Vorstand Gütegemeinschaft ZfP e.V.*
- seit 1999 *Vorstandsvorsitzender F-GZP (DGZfP-Fachgesellschaft akkreditierter Prüfstellen)*