

# Gemeinsame Bestimmung von Schallgeschwindigkeit und Dicke unbekannter Voll- und Hohlkörper mittels Ultraschall

Michael IWANOW<sup>1</sup>, Susan WALTER<sup>1</sup>, Thomas HERZOG<sup>1</sup>, Frank SCHUBERT<sup>1</sup>,  
Henning HEUER<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer IKTS, Dresden

Kontakt E-Mail: susan.walter@ikts.fraunhofer.de

## Kurzfassung

Ultraschall ist das am häufigsten eingesetzte Verfahren in der zerstörungsfreien Prüfung. Mit diesem können die Eigenschaften von Werkstoffen charakterisiert, die Produktqualität kontrolliert oder Fertigungsprozesse und Anlagenkomponenten überwacht werden. Für die Ultraschallprüfung werden verschiedene akustische Eigenschaften herangezogen, um eine Charakterisierung des Prüfobjekts durchzuführen.

Eine Bauteilprüfung oder Werkstoffcharakterisierung kann je nach Aufgabenstellung auf Basis von Materialgrenzen, Schallgeschwindigkeiten, Materialdämpfung usw. erfolgen. Sie lassen Rückschlüsse über Materialdicken, -beschaffenheiten, Lage und Größe von Fehlern oder Geometrien zu. Der gesuchte Materialparameter, wie z.B. Wanddicke, wird über andere bekannte Parameter des Bauteils bestimmt. Die bekannten Parameter können durch Ermitteln mit einer anderen Messmethode oder durch Tabellenwerte, z.B. für die Schallgeschwindigkeit, erlangt werden. Durch externe Einflüsse, wie Temperaturänderung oder Verunreinigung des Koppelmediums sind Messunsicherheiten unumgänglich und diese führen zu Toleranzen bei der Bauteilcharakterisierung. Ist eine möglichst genaue Charakterisierung gefordert oder eine Änderung von mehreren Materialparametern zu erwarten, ist eine Prozessüberwachung oder eine vollautomatisierte Bauteilcharakterisierung nur schwer möglich.

Die vorzustellende Methode bietet eine Möglichkeit zum Messen von mehreren Materialparametern bzw. Charakterisierung von Halberzeugnissen. Es werden Materialstärken bzw. Wanddicken und Schallgeschwindigkeit bestimmt. Durch ein Referenzieren des Koppelmediums werden Schwankungen durch die Veränderungen des Koppelmediums beachtet und führen zu einer höheren Messgenauigkeit sowie höheren Freiheit bei der Auswahl des Koppelmediums. Die Methode kann z.B. zur automatisierten Prüfung von Hohlwellen eingesetzt werden. Die Wanddicken, der Innendurchmesser und die Schallgeschwindigkeit ermöglichen Rückschlüsse auf die Abnutzung bzw. die Materialveränderung dieser Hohlwelle.



# GEMEINSAME BESTIMMUNG VON SCHALLGESCHWINDIGKEIT UND DICKE UNBEKANNTER VOLL- UND HOHLKÖRPER MITTELS ULTRASCHALL

Michael Iwanow, Susan Walter, Thomas Herzog, Frank Schubert, Henning Heuer

Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS

## MOTIVATION

Die Ultraschallprüfung wird in der zerstörungsfreien Prüfung nicht nur eingesetzt, um makroskopische Defekte sichtbar zu machen – sie wird auch genutzt, um über die Charakterisierung der Materialeigenschaften Aussagen zu dessen Zustand zu treffen. Die Messung von Schallgeschwindigkeit und akustischer Dämpfung ermöglicht die Analyse von:

- mikroskopischen Defekten,
- Mikrostruktur (Kornstruktur),
- Dotierung,
- Alterungszustand und
- Materialzusammensetzung.

Beim hier vorgestellten Verfahren werden sowohl die transmittierten als auch die reflektierten Signale ausgewertet. Durch zusätzliche Referenzmessungen im umgebenden Medium ist es möglich, Einflüsse durch individuelle Prüfkopfgeometrien, Elektronik und umgebendes Medium (beispielsweise Wasser) zu minimieren und dadurch die Messgenauigkeit zu erhöhen.

## METHODE



Bild 1: Schematische Darstellung des Messkonzepts. Zur gleichzeitigen Bestimmung von Schallgeschwindigkeit longitudinaler Wellen und Dicke unbekannter Voll- und Hohlkörper müssen zwei Bedingungen erfüllt sein. Die erste Bedingung ist, dass der Abstand  $a$  der Prüfköpfe UT 1 und UT 2 bekannt ist. Zweite Bedingung ist, dass sich die Schallgeschwindigkeit des Umgebungsmediums nicht ändert oder die Änderung durch erneute Referenzmessungen erfassbar ist.

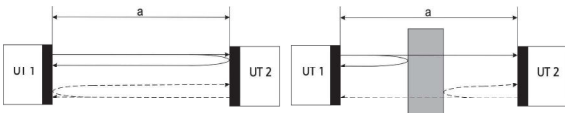


Bild 2: Links: Messaufbau analog zu Bild 2 mit eingesetztem Hohlkörper. Ausgewertet werden die Laufzeiten der jeweils direkt transmittierten Wellen sowie der jeweils an der an der ersten Grenzfläche zum Prüfobjekt reflektierten Wellen.

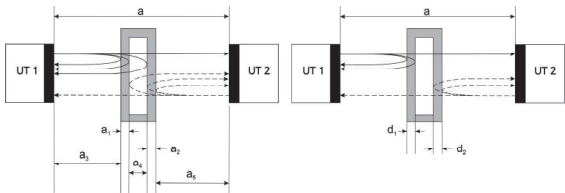


Bild 3: Messaufbau analog zu Bild 2 mit eingesetztem Hohlkörper. Ausgewertet werden die Laufzeiten der jeweils direkt transmittierten Wellen sowie der an den folgenden Grenzflächen (Umgebungsmedium-Prüfobjekt, Prüfobjekt-Umgebungsmedium, Umgebungsmedium-Prüfobjekt) reflektierten Wellen. Mit diesen Informationen können im Anschluss die Schallgeschwindigkeit des Hohlkörpermaterials, sowie alle Strecken  $a_1$  bis  $a_4$  berechnet werden (links). Ist die räumliche Zuordnung nicht nötig, sondern ausschließlich die Wanddicke relevant, kann auf die Bestimmung der Laufzeit der dritten Reflexion verzichtet werden (rechts).

## FUNKTIONSFÄHIGKEITSNACHWEIS DER METHODE AM KALIBRIERKÖRPER NR. 1

- Messaufbau:
- Wasserbad
  - Kalibriertkörper Nr. 1
  - 20 MHz Ultraschallprüfköpfe unfokussiert
  - PCUS® pro multi (Abtastrate 80 MHz)

Tabelle 1: Ergebnisse der gemeinsamen Bestimmung von Wanddicke und Schallgeschwindigkeit des Kalibriertkörpers Nr. 1 für Longitudinalwellen mit einer Frequenz von 20 MHz.

	Wanddicke in mm	Schallgeschwindigkeit in m/s
Sollwert	25 ± 0,1	5920 ± 30
Messwert	25,055 ± 0,01	5894 ± 4



Bild 4: Kalibriertkörper Nr. 1 im Wasserbad eines automatisierten Messstands mit Thermostat zwischen zwei 20 MHz Ultraschallprüfköpfen (UT 1 und UT 2).

## ZUSAMMENFASSUNG

- Referenzmessung kompensiert unerwünschte Einflüsse wie Temperaturänderungen oder Verschmutzungen des Mediums
- Abhängig von der Prüfaufgabe kann das umgebende Medium Wasser sein, eine beliebige andere geeignete Flüssigkeit oder auch Luft
- Referenzmessung kann in regelmäßigen Abständen erfolgen oder parallel zur Messung am Prüfobjekt durch ein zweites Prüfkopfpaar realisiert werden

## QUALITÄTSKONTROLLE VON QUARZHÖHLZYLINDERN

### Anwendungsbeispiel

- Quarzhohlzylinder mit folgenden Einflüssen:
- unterschiedliche Dotierungen,
  - unterschiedliche Wanddicken und Bohrungsdurchmesser,
  - Versatz der Bohrungsmittelpunkte.

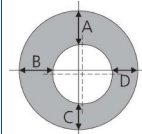


Bild 6: Skizze eines Quarzhohlzylinders mit Versatz der Innenbohrung und Markierung der Messpositionen (A, B, C, D) zur Bestimmung der Wanddicke.

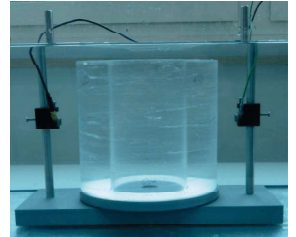


Bild 5: Quarzhohlzylinder auf einer Drehscheibe im Wasserbad zwischen zwei 20 MHz Ultraschallprüfköpfen.

### Simulation

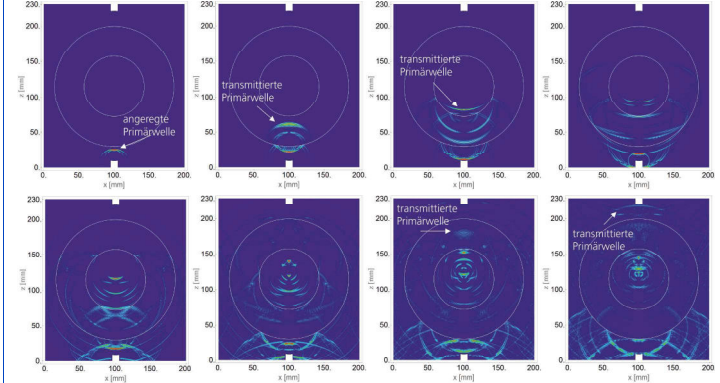


Bild 7: Schnappschüsse der Simulation der raumzeitlichen Wellenausbreitung im Quarzhohlzylinder mit Hilfe eines IKTS-eigenen Simulationstools auf Basis der Elastodynamischen Finiten Integrationstechnik (EFIT).

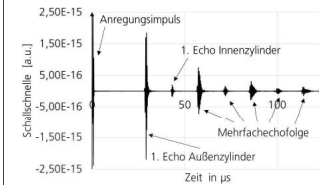


Bild 8: Berechnetes Zeitsignal für den Fall, dass der Sende- und Empfängerprüfkopf direkt gegenüber stehen (Reflexion). Der Abstand des Sendeprüfkopfes vom Quarzhohlzylinder sollte so gewählt werden, dass die darin entstehende Mehrfachechofolge sich nicht mit den relevanten Echo des Quarzhohlzylinders überlagern.

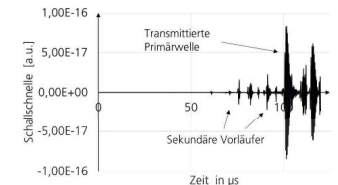


Bild 9: Berechnetes Zeitsignal für den Fall, dass sich Sende- und Empfängerprüfkopf gegenüber stehen (Transmission). Deutlich zu erkennen sind sekundäre Vorläufer, die die automatisierte Auswertung der transmittierten Primärwelle erschweren können.

### Ergebnisse

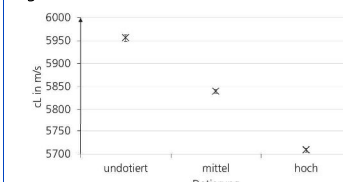


Bild 10: Ermittelte Schallgeschwindigkeit für Longitudinalwellen in Quarzhohlzylindern mit drei unterschiedlichen Dotierungsstärken.

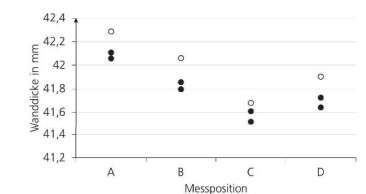


Bild 11: Ermittelte Wanddicken (gefüllte Markierung) an 4 Positionen (A, B, C, D) eines Quarzhohlzylinders mit Bohrungsversatz entsprechend Bild 6 im Vergleich zu den mechanisch ermittelten Referenzwerten (ungefüllte Markierung), deren systematische Abweichung Folge der Krümmung des Quarzhohlzylinders ist.