

Räumliche Kenngrößen des Schallfeldes punktförmiger Ultraschall-Prüfköpfe im Niederfrequenz-Bereich in Polyamid - Experimentelle Untersuchungen und Simulation

Stefan MAACK*, Martin KRAUSE*, Klaus MAYER**

* BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

** Universität Kassel

Kurzfassung

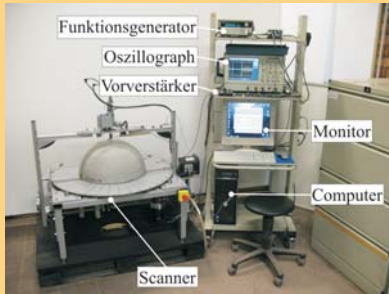
Mit der Entwicklung kontaktmittelfrei arbeitender Prüfköpfe gelang es, eine breitere Akzeptanz für die Anwendung von Ultraschallverfahren im Bauwesen zu erzielen. Aufgrund der oft nicht optimalen Ankopplungsbedingungen an die rauen Oberflächen der Materialien werden hierfür in der Regel Gruppenstrahler verwendet, die aus mehreren einzelnen beweglich gelagerten und parallel geschalteten Prüfköpfen bestehen. Diese Gruppenstrahler waren unter anderem Gegenstand einer umfangreichen Forschungsarbeit zur Charakterisierung von Schallfeldern im Niederfrequenz-Bereich. An der BAM wurde hierfür ein vollautomatischer Prüfstand entwickelt, durch den die wesentlichen Kenngrößen des Schallfeldes räumlich erfasst werden. Ein zentraler Teil dieser Forschungsarbeit war die Untersuchung der Kenngrößen des Schallfeldes von Einzelprüfköpfen, aus denen die Gruppenstrahler aufgebaut sind. Die Untersuchungen erfolgten in einem ersten Schritt an einem isotropen homogenen Werkstoff (Polyamid). Es werden zwei Arten von Einzelprüfköpfen vorgestellt. Mit der ersten Bauart können Longitudinalwellen mit der zweiten Bauart können direkt Transversalwellen (SH-Welle) angeregt werden. Da die Einzelprüfköpfe eine im Verhältnis zur angeregten Wellenlänge kleine kreisförmige Kontaktfläche haben, kann bei der Beurteilung der Kenngrößen vereinfachend von einer punktförmigen Schallanregung ausgegangen werden. Ein Vergleich der Messergebnisse mit den umfassend beschriebenen theoretischen Modellen zeigt, dass sich diese nicht vollständig übertragen lassen. Es wurden insbesondere bei den Kenngrößen der Transversalwellenanteile messbare Abweichungen festgestellt, die einer weiterführenden Interpretation bedurften. Mit Hilfe von Simulationsrechnungen (EFIT) wird das Wellenbild innerhalb des halbkugelförmigen Probekörpers abgebildet. Die Simulationsrechnungen liefern den entscheidenden Ansatz zur Erklärung der Abweichungen der Messergebnisse von den theoretischen Annahmen. Durch die räumlich begrenzte Ausdehnung des Probekörpers und die bei der Schallanregung auftretenden unterschiedlichen Wellenmoden kommt es zu Überlagerungseffekten, die die Abweichungen erklären. Dies ist eine

wesentliche Erkenntnis für die weiterführenden Untersuchungen an niederfrequenten Schallfeldern mit dem entwickelten Prüfstand.

Für die Auswertung von Ultraschallmessdaten sowie zur Optimierung der Messtechnik ist die genaue Kenntnis der sich ausbildenden Schallfelder von elementarer Bedeutung. Mit einem entwickelten Prüfstand können die Kennwerte der Schallfelder in Festkörpern speziell für den Niederfrequenz-

Bereich des Ultraschalls zur Anwendung im Bauwesen erfasst werden. Neben den präsentierten Ergebnissen der Kennwerte für punktförmige Kontaktprüfköpfe wurde der Prüfstand insbesondere für Untersuchungen zum Schallfeld bei einer luftgekoppelten Anregung entwickelt.

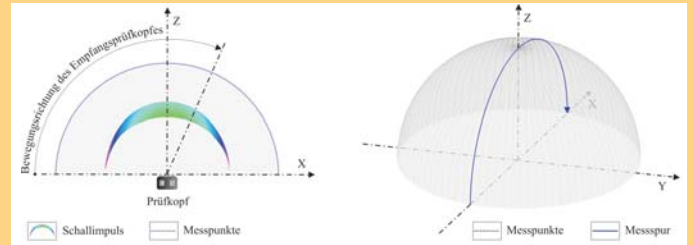
Prüfstand



Das linke Bild zeigt den an der BAM entwickelten Prüfstand bestehend aus dem Scanner und einer Laufzeitapparatur. In dem unteren Bild sind schematisch die Systemachsen des Scanners abgebildet. Die Oberfläche der Halbkugel kann vollständig automatisch abgetastet werden.



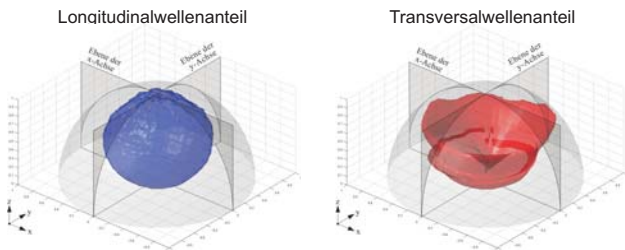
Messprinzip



Schematische Darstellung des Messprinzips zur Bestimmung der Kennwerte der Schallfelder. Die linke Seite des Bildes zeigt die Abtastung entlang einer Ebene der Halbkugel. In der rechten Seite ist der räumliche Bezug der abgetasteten Ebene dargestellt.

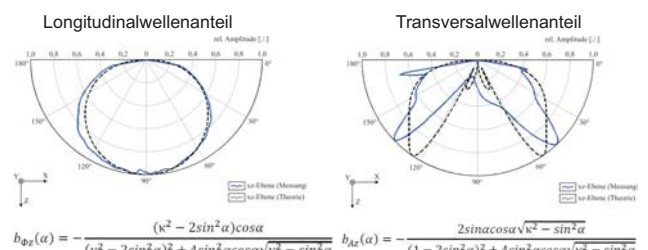
Richtcharakteristiken - punktförmige longitudinale Anregung

Räumliche Darstellung



Richtcharakteristiken einer punktförmigen Schallanregung durch einen Longitudinalwellenprüfkopf bei einer mittleren Frequenz von $f=100$ kHz. Die Longitudinalwelle ist in z-Richtung polarisiert.

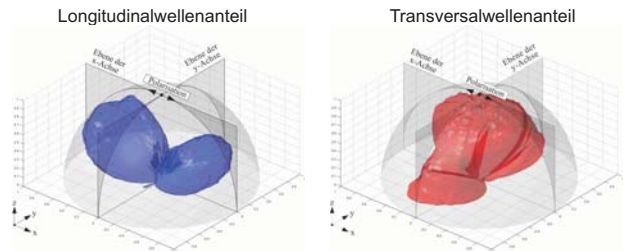
Vergleich: Theorie - Messergebnisse (xz-Ebene)



Die Richtcharakteristiken sind für Polyamid ($c_L=2642$ m/s, $c_T=1121$ m/s) nach Kutzner „Grundlagen der Ultraschallphysik“ (Teubner, Stuttgart 1983) berechnet.

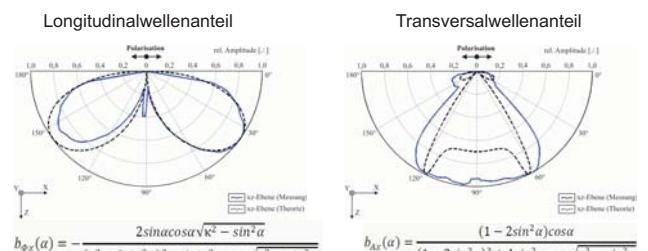
Richtcharakteristiken - punktförmige transversale Anregung

Räumliche Darstellung



Richtcharakteristiken einer punktförmigen transversalen Schallanregung in x-Richtung durch einen Transversalwellenprüfkopf bei der mittleren Frequenz von $f=50$ kHz.

Vergleich: Theorie - Messergebnisse (xz-Ebene)



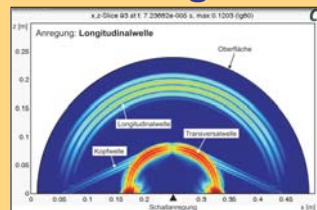
Die Richtcharakteristiken sind für Polyamid ($c_L=2642$ m/s, $c_T=1121$ m/s) nach Kutzner „Grundlagen der Ultraschallphysik“ (Teubner, Stuttgart 1983) berechnet.

Diskussion der Ergebnisse - Simulationsrechnung

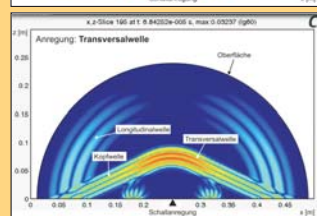
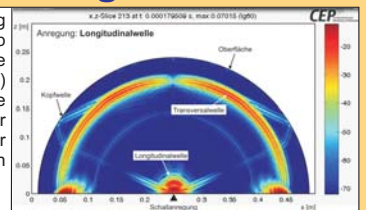
Longitudinalwellenanteile: Die bei einer punktförmigen Schallanregung auftretenden longitudinalen Wellenanteile stimmen mit den theoretischen Berechnungen qualitativ gut überein. Die vorhandenen Abweichungen werden auf die individuellen Eigenschaften der Prüfköpfe zurückgeführt.

Transversalwellenanteile: Bei den gemessenen transversalen Wellenanteilen sind bei beiden Arten der Anregung deutliche Abweichungen zu beobachten. Als Ursache hierfür werden die bei der Schallanregung zusätzlich erzeugten Kopfwelle vermutet, da diese die Eigenschaften einer Transversalwelle haben und an der abgetasteten Oberfläche der Halbkugel mit erfasst werden.

Zur Visualisierung dieser Überlegungen werden Simulationsrechnungen (3D-EFIT) der Universität Kassel nebenstehend präsentiert.



Im linken Wellenbild ist die Ausbreitung der verschiedenen Wellenarten innerhalb der Halbkugel zu sehen (t_1). Das rechte Wellenbild zeigt zum Zeitpunkt ($t_1 + \Delta t$) deutlich, die an der Oberfläche reflektierte Kopfwelle (Modenkonzersion), die bei der Abtastung zu der Abweichung der Amplitude gegenüber den theoretischen Werten führt.



Das linke Wellenbild zeigt die Ausbreitung der verschiedenen Wellenarten innerhalb der Halbkugel bei transversaler Anregung des Schalls (t_1). Neben der gewünschten Transversalwelle bildet sich ausgehend von der Longitudinalwelle eine Kopfwelle. Diese überlagert die nach der Theorie erwarteten lokalen Maxima in der Richtcharakteristik an der abgetasteten Oberfläche zum Zeitpunkt ($t_1 + \Delta t$).

