

# Nichtscannendes Verfahren zur Messung von Krümmungsradien mit einem Ultraschall-Annulararray

Michael Lenz, Jörg Sorber, Elfgard Kühnicke

Technische Universität Dresden, Institut für Festkörperelektronik, 01062 Dresden, Deutschland, Email: michael.lenz@tu-dresden.de

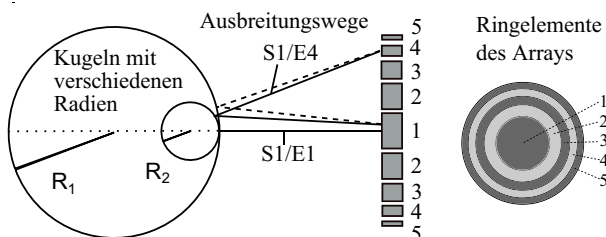
## Einleitung

Die konventionelle Ultraschall-Meßtechnik basiert auf der Erzeugung von sogenannten B-Bildern. Zur Messung wird ein Ultraschallwandler flächig entlang der Objektoberfläche verschoben und sendet in sehr kurzen Zeitabständen Ultraschallimpulse ins Objekt. Die von den im Objekt vorhandenen Grenzflächen reflektierten Echosignale werden vom Wandler erfaßt und ermöglichen bei bekannter Schallgeschwindigkeit eine Rekonstruktion der im Meßobjekt vorhandenen inneren Grenzflächen.

Gekrümmte Grenzflächen verursachen bei der Bildgebung besondere Probleme, da der Schall an ihnen abgelenkt und dabei das Schallbündel aufgeweitet bzw. fokussiert wird. Die normalerweise störenden Abbildungseigenschaften von gekrümmten Grenzflächen werden im vorliegenden Projekt genutzt, um daraus die lokale Krümmung des Meßobjektes zu bestimmen. Hierzu ist es erforderlich, Ultraschallarrays anstelle von monofokalen Schallköpfen zu verwenden. Das bedeutet für die geplante Anwendung zur Krümmungsmessung am Auge nur eine geringe Einschränkung, da moderne Ultraschallgeräte schon jetzt auf Ringarrays zurückgreifen, um eine größere Bildschärfe zu erreichen[1].

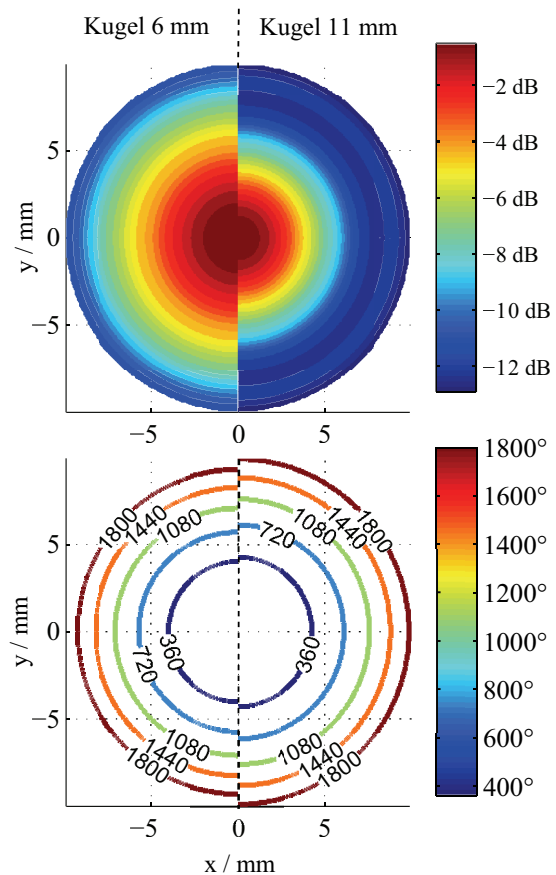
## Idee und Meßaufbau

Abbildung 1 zeigt eine schematische Abbildung des Meßaufbaus. Als einen wesentlichen Bestandteil enthält er ein Ultraschall-Ringarray, das im Puls-Echo-Modus betrieben wird. Es besteht aus einer als Dickenschwinger ausgeführten PZT-Platte. Die Anschlußelektroden sind auf einer Seite flächig ausgeführt (Massefläche) und auf der gegenüberliegenden Seite in fünf konzentrische Ringelemente – die Einzelemente des Ringarrays – unterteilt. Als Reflektoren mit definierter Oberflächenkrümmung werden Stahlkugeln mit unterschiedlichen Durchmessern verwendet. Wie in Abbildung 1 dargestellt, werden die Kugeln jeweils radial beschallt.



**Abbildung 1:** Der Krümmungsradius der Kugel verändert die Schalllaufzeit zu den Randelementen.

Die Idee zur Krümmungsmessung besteht darin, daß das reflektierte Schallfeld signifikant vom Krümmungsradius des Reflektors abhängt und je nach der Reflektor-krümmung unterschiedliche Schalldruckverteilungen auf dem Ultraschallempfänger verursacht[2]. Die im Schallfeld enthaltene Information über den Krümmungsradius des Reflektors wird durch die Segmentierung des Ultraschallwandlers in Form eines Ringarrays und damit einhergehend durch eine örtlichen Abtastung des Schallfeldes nutzbar gemacht.



**Abbildung 2:** Visualisierung des ausgenutzten physikalischen Effekts. Die Bilder zeigen die simulierten Schallfeldverteilungen auf dem Ultraschallwandler nach Reflexion des Schalls an Kugeln mit verschiedenen Krümmungsradien. Oben: Amplitudenverteilung in dB; Unten: Phasenverteilung in Grad, wobei in der Wandlermitte jeweils ein Phasenwinkel von  $0^\circ$  angenommen wurde. In beiden Abbildungen ist deutlich zu erkennen, daß die kleinere Reflektorkugel das divergentere Schallfeld erzeugt.

Abbildung 2 veranschaulicht den Meßeffect anhand von simulierten Schallfeldern für Reflektor-krümmungen von 6 mm und 11 mm Radius. Die Abstrahlung der Ultra-

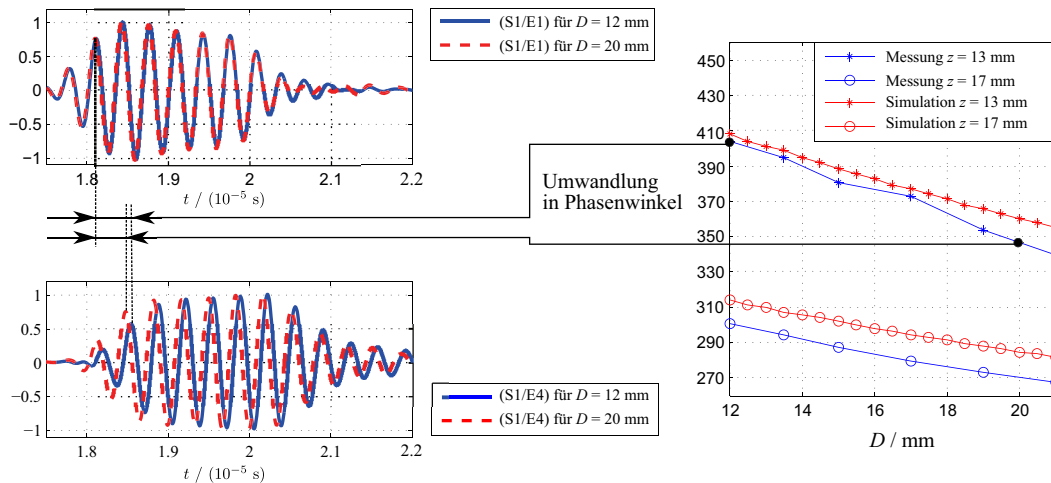


Abbildung 3: Demonstration des Meßprinzips und Ergebnisse für einen Kugelabstand von 13 mm.

schallwelle erfolgt von einem piezoelektrischen Kreiskolbenschwinger mit 2,44 mm Radius (Wandlerelement 1) bei einer Frequenz von 3 MHz. Die dem Sender zugewandte Oberfläche der Reflektoren befindet sich jeweils im Abstand von 13 mm vom Sender und damit im Bereich des natürlichen Fokus der Einzelelemente. Sowohl die Amplitudenverteilung (oberes Teilbild), als auch die Phasenverteilung (unteres Teilbild) lassen erkennen, daß wie erwartet eine kleinere Reflektorkugel ein divergenteres Schallfeld erzeugt.

Zur Auswertung wird die Phase des Echosignals verwendet, wobei das elektrische Empfangssignal jeweils die mittlere auf dem jeweiligen Element auftretende Phase des Schalldrucks wiedergibt. Die Bestimmung der Krümmung geschieht entsprechend Abbildung 3 anhand der Laufzeitdifferenzen zwischen den Laufwegen (S1/E1) und (S1/E4), wobei „S“ für Sender, „E“ für Empfänger steht, und die Nummern das jeweils gewählte Wandlerelement bezeichnen. Der Meßvorgang umfaßt folgende Schritte

- Messung des zu den Ausbreitungswegen (S1/E1) und (S1/E4) zugehörigen Zeitsignals
- Berechnung der Zeit-, und daraus abgeleitet der Phasendifferenz zwischen beiden Signalen
- Bestimmung des Kugelradius mithilfe einer Kalibrierfunktion, die die Phasendifferenz zwischen den Kanälen als Funktion des Kugelradius bei dem jeweils gewählten Kugelabstand  $z$  angibt.

## Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse einer Messung an Kugeln verschiedener Krümmungsradien und im Vergleich dazu die zugehörige durch Schallfeldsimulationen ermittelte Kalibrierfunktion. Man erkennt, daß beide Kurven prinzipiell gut übereinstimmen.

Nach Einschätzung der Autoren beruht die insbesondere für die Entfernung  $z = 13$  mm auftretende Welligkeit der Kurve auf einer Asymmetrie der abgestrahlten Ultra-

schallwelle, die in erster Linie durch die Lötkontaktierung der zugehörigen Einzelelemente verursacht wird. Dieses Problem soll für zukünftige Wandler technologisch durch Nutzung von Bondkontakten anstelle einer Löt- oder Klebekontaktierung weitgehend gelöst werden. Zusätzlich wird voraussichtlich die Schallfrequenz verringert werden, was bei gleicher Entfernung zwischen Wandler und Reflektor die Nutzung größerer Wandlerelemente ermöglicht und somit geringere technologische Probleme verursachen dürfte.

Eine Weiterentwicklung des Verfahrens zielt auf die Messung konkave Krümmungen. Für diese können grundsätzlich die schon vorhandenen Ringarrays verwendet werden. In Zukunft sollen zusätzliche Auswertemöglichkeiten für elliptische Krümmungen und Krümmungen von verdeckten Schichten entwickelt werden. Aufgrund der damit verbundenen Verringerung der Symmetrie wird dann zur Messung eine weitere Segmentierung des Wandlers erforderlich sein.

## Literatur

- [1] Silverman, R. H.: High-resolution ultrasound imaging of the eye – a review, *Clinical and Experimental Ophthalmology* 37 (2009), 54-67, DOI: [10.1111/j.1442-9071.2008.01892.x](https://doi.org/10.1111/j.1442-9071.2008.01892.x)
- [2] Lenz, M.; Sorber, J.; Kühnicke, E.; Gerlach, G.; Rodig, T.; Trier, H.G.: Non-scanning measurement of local curvature with an ultrasound annular array, *IEEE Ultrasonics Symposium* (2009), 2726-2729, DOI: [10.1109/ULTSYM.2009.5441830](https://doi.org/10.1109/ULTSYM.2009.5441830)
- [3] Kühnicke, E.: Three-dimensional waves in layered media with non-parallel and curved interfaces – A theoretical approach, *J. Acoust. Soc. Am.* 100(2)(1996), 709-716, DOI: [10.1121/1.416219](https://doi.org/10.1121/1.416219)
- [4] Rödiger, T.; Schönecker, A.; Hladky, A.: Design and characterisation of 1-3 ultrasonic composites using ATILA and ultra fast laser measurements (20 MHz), *IEEE Ultrasonics Symposium* 1 (2005), 353-356, DOI: [10.1109/ULTSYM.2005.1602867](https://doi.org/10.1109/ULTSYM.2005.1602867)