

# Einfluss des hydrostatischen Drucks auf die Performance von hydroakustischen Wandlern

Thomas Sievertsen

ATLAS ELEKTRONIK GmbH, 28307 Bremen, E-Mail: thomas.sievertsen@atlas-elektronik.com

## Einleitung

Für Uboote sind hydroakustische Wandler wichtige Sensoren für Navigation und Ortung. Da Uboote über einen großen Tiefenbereich operieren, muss die akustische Performance unabhängig vom hydrostatischen Umgebungsdruck sein. Passive hydroakustische Wandler bestehen im Wesentlichen aus einem druckempfindlichen Sensor (z. B. piezoelektrische Keramiken) und Komponenten, in die der Sensor eingebettet ist. Mit diesen Komponenten lassen sich die akustischen Eigenschaften wie z.B. Empfangsempfindlichkeit oder Signal zu Stör Verhältnis des Wandlers beeinflussen. Teilweise werden für diese Komponenten auch Materialien eingesetzt, die sehr geringe Impedanzen also geringe Schallgeschwindigkeiten und Dichten haben. Solche Materialien haben dann auch im Allgemeinen eine geringe Steifigkeit und werden beim Einwirken von äußerem Druck stark komprimiert. In diesem Artikel wird beschrieben, wie mit einem Finite Elemente Ansatz der Einfluss der geometrischen Veränderungen auf das Empfangsverhalten - speziell auf die Empfangsempfindlichkeit - am Beispiel eines passiven Wandlers berechnet wird.

## Hydroakustischer Wandler

Für die Untersuchungen wird ein hydroakustischer Wandler betrachtet, dessen Form sich aufgrund seines inneren Aufbaus durch hydrostatischen Aussendruck signifikant verändert. Bei diesem Wandler handelt es sich um ein passives System, das im Bereich von 10 bis 100 kHz arbeitet. Der Wandler ist im Wesentlichen rotations-symmetrisch. Er besteht aus einem druckempfindliche Sensor und Materialien unterschiedlicher Impedanz, die das frequenzabhängige Empfangsverhalten des Sensors beeinflussen. Diese Komponenten werden mit einem wasserundurchlässigen PU Material, welches die gleiche Impedanz wie Wasser hat, zu einem Zylinder vergossen.

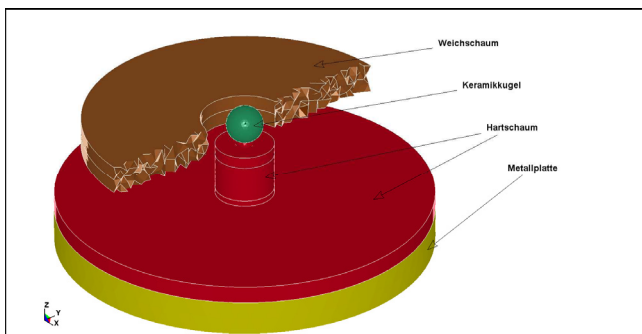


Abbildung 1: Prinzipielle Aufbau des betrachteten hydroakustischen Wandlers mit der piezoelektrischen Hohlkugel und den akustisch wirksamen Komponenten – ohne Umgussmaterial.

Der prinzipielle Aufbau ist in **Abbildung 1** dargestellt. Bei dem Sensor handelt es sich um eine keramische, piezoelektrische Hohlkugel, die die Druckschwankungen in elektrische Signale umwandelt. Diese ist auf einem mehrschichtigen Zylinder gelagert und von einem Weichschaumring, der leicht komprimierbar ist, umgeben. Auf der der Empfangsrichtung abgewandten Seite wird der Sensor durch eine Hartschaum- und ein Metallscheibe gegen Störschall abgeschirmt.

## Verfahren

Für die Berechnung des Empfangsverhaltens des Wandlers wird mit einem zeitlich expliziten FEM Code (hier: LSDYNA [1]) das Auftreffen einer monofrequenten, ebenen Welle auf den Wandler und dessen Einschwingverhalten berechnet. Als Maß für die Empfindlichkeit wird der gemittelte Festkörperdruck in der Keramikhohlkugel ausgewertet. Diese Empfindlichkeit wird für diskrete Frequenzen im Frequenzbereich von 10 kHz bis 100 kHz in Abständen von 2.5 kHz berechnet. Ein Vergleich mit Messungen der Empfangsempfindlichkeit an realen Wandlern zeigt gute Übereinstimmungen. Der gemittelte Festkörperdruck in dem betrachteten Frequenzbereich entspricht dem gemessenen Übertragungsmaß ( $G_{up}$ ). Ist die Verformung des Wandlers unter hydrostatischen Aussendruck bekannt, so lässt sich das Empfangsverhalten von dem verformten und dem unverformten Wandler wie oben erläutert berechnen und miteinander vergleichen.

## Berechnung der Verformung

Für den Wandler wird ein strukturmechanisches FEM Modell generiert und mit einem impliziten Verfahren die Verformung des Wandlers unter hydrostatischem Aussendruck berechnet. **Abbildung 2** zeigt das Ergebnis dieser FEM Analyse für die maximale Einsatztiefe des Wandlers

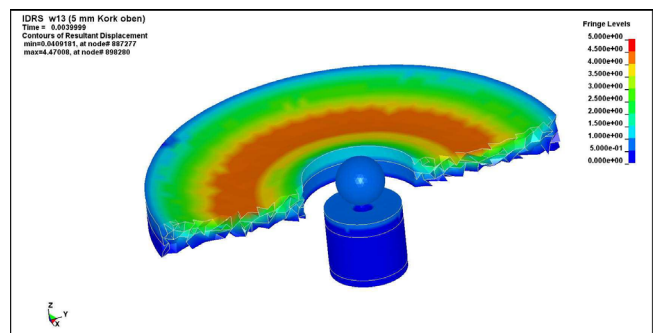


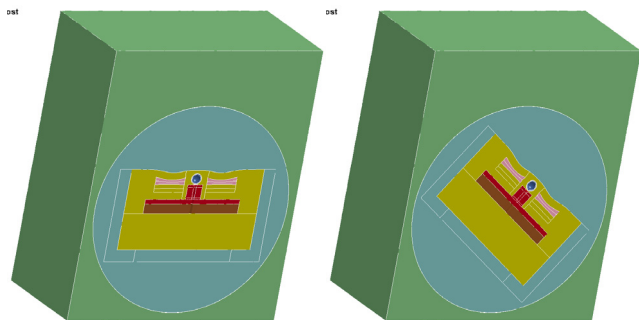
Abbildung 2: Verformung des Wandlers unter hydrostatischem Aussendruck. Der Weichschaumring wird in der Mitte am stärksten komprimiert und die Keramikhohlkugel wird minimal nach innen verschoben

Bei dieser Belastung wird der Weichschaumring maximal um 30% komprimiert und die Keramikkkugel wird geringfügig verschoben. Diese verformte Struktur bildet dann die Geometrie des Wandlers für das Akustik Modell.

### FEM Akustik Modelle

Für die Berechnung des Empfangsverhaltens wird der Wandler mit seinen wesentlichen Komponenten in einer Wasserumgebung modelliert. Aus der Wasserumgebung wird eine Kugel abgespalten, in der der Wandler liegt. Die Kugel ist über tied interfaces mit der restlichen Wasserumgebung verbunden. Durch Drehen der Kugel lassen sich dann beliebige Einfallswinkel des Schalls realisieren, ohne das jeweils ein neues Modell erstellt werden muss. **Abbildung 3** zeigt die Modelle für die verformte Struktur bei senkrechtem Schalleinfall und bei einem Schalleinfallswinkel von 39°.

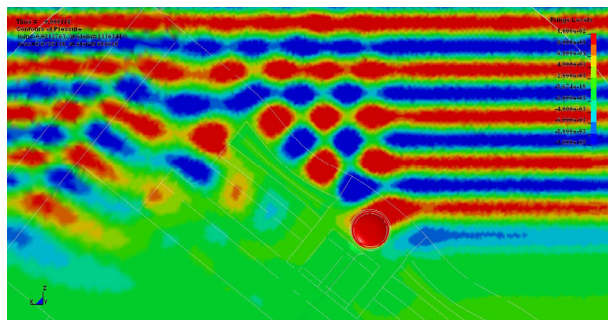
Um die hohen Frequenzen bis 100 kHz (15 mm Wellenlänge im Wasser) mit finiten Elementen abzubilden ist eine feine Vernetzung erforderlich. Außerdem muss das Rechenggebiet so groß sein, dass, von den Rändern ungestört, mehrere Wellenlängen des einlaufenden Schallfeldes die Kugel erreichen. Daraus ergibt sich ein relativ großen Modell (9.6 Mio. Knoten und 8.4 Mio. Elemente) und damit lange Rechenzeiten.



**Abbildung 3:** 3D-Modell des unter hydrostatischem Drucks verformten Wandlers für senkrechten Schalleinfall (links) und für einen Schalleinfallswinkel von 39° (rechts).

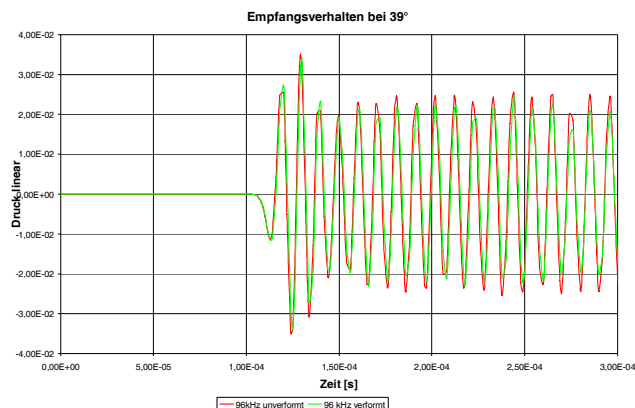
### Ergebnisse

**Abbildung 4** zeigt das berechnete Schallfeld der unter 39° einfallenden Welle (96 kHz) des verformten Wandlers für einen Zeitpunkt. Der Weichschaumring bewirkt eine Erhöhung der Druckamplitude nahe der Keramikkkugel. Das



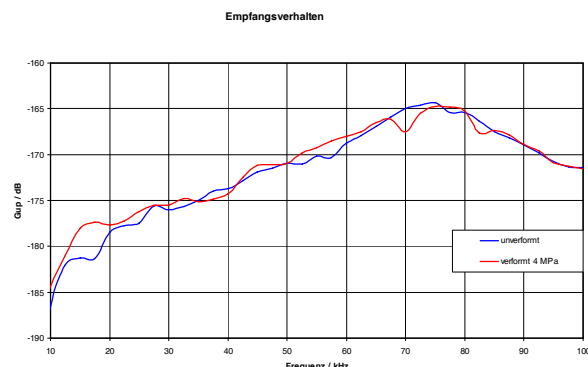
**Abbildung 4:** Wellenfeld der unter 39° einlaufenden Druckwelle (96 kHz) zu einem Zeitpunkt .

daraus resultierende Zeitsignal ist für den verformten und unverformten Wandler in **Abbildung 5** dargestellt. Die Signale unterscheiden sich nur minimal in Phase und Amplitude.



**Abbildung 4:** Zeitliche Empfangsverhalten der Kugel bei Schalleinfallswinkel von 39° und einer Frequenz von 96 kHz bei unverformtem (rot) und verformtem (grün) Wandler. Das Verhalten ist fast identisch.

Die Auswertung dieser Zeitsignale für den Frequenzbereich von 10 kHz bis 100 kHz und den Winkelbereich von 0° bis 60° zeigt, dass Empfangsverhalten trotz der großen Verformungen im Weichschaum nahezu gleich bleibt, wie beispielhaft in **Abbildung 5** für den senkrechten Schalleinfall gezeigt wird.



**Abbildung 5 :** Empfangsverhalten (gemittelter Festkörperdruck in der Keramikhohlkugel) des unter hydrostatischem Aussendruck verformten (blau) und unverformten (rot) hydroakustischen Wandlers bei senkrechtem Schalleinfall.

Mit dem hier beschriebenen Verfahren ist es möglich, den geometrischen Einfluss des hydrostatischen Aussendruckes auf das Empfangsverhalten von Wandlern zu berechnen. Da aber für jede Frequenz und für jeden Einfallswinkel eine Berechnung des verformten und des unverformten Wandlers durchgeführt werden muss, ist dieses Verfahren mit der momentanen Rechnerleistung sehr zeitaufwendig.

### Literatur

[1] Hallquist J.O.: LSDYNA Theory Manual (2006), URL: <http://www.lstc.com/manuals.htm>