

# Akustische Simulation von Wellendurchgang und –reflexion an ausgedehnten Platten

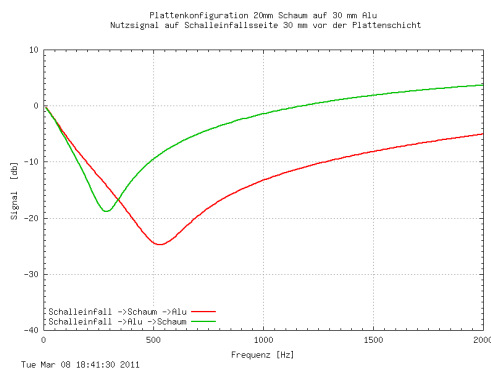
Walter Sachs<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ATLAS ELEKTRONIK GmbH, 28309 Bremen, E-Mail: walter.sachs@atlas-elektronik.com

## Einleitung

Bei ATLAS ELEKTRONIK werden für Unterwasser-Schallwandler vielfach Kunststoffmaterialien verwendet, z.B. als Verguss oder als Reflektormaterial zur Erhöhung des Signal-Stör-Verhältnisses. Oft sind die wesentlichen akustischen Parameter wie longitudinale und transversale Schallgeschwindigkeit sowie der Verlustfaktor nicht bekannt, schwanken mit der Produktion oder sind frequenzabhängig.

Eine Möglichkeit der Bestimmung der akustischen Parameter besteht darin, statt der direkten Vermessung des Schalldurchgangs an Probekörpern das Schalltransmissions- und -reflexionsverhalten anhand ausgedehnter Platten im Fluid-Umfeld zu vermessen. Die theoretischen Grundlagen des Schalldurchgangs ebener Wellen durch Platten finden sich z.B. in den Arbeiten von Schoch 1952 [1], Madigosky u. Fiorito 1978 [2] oder Folds u. Loggins 1977 [3]. Aus diesen theoretischen Überlegungen lassen sich die typischen Verläufe des transmittierten Signals oder des vor der Platte gemessenen Signals (Überlagerung von einfallender und reflektierter Welle) in Abhängigkeit der Frequenz ermitteln. In **Abbildung 1** ist exemplarisch, bei senkrechtem Einfall, die Signalstärke eines zweischichtigen Aufbaus aus 30 mm Aluminium und 20 mm Elastomer-Schaumstoff dargestellt. Es wird der beidseitige senkrechte Einfall betrachtet.



**Abbildung 1:** Theoretisches, normiertes Summensignal (einfallender plus reflektierter Schall) vs. Frequenz im Abstand von 30 mm vor einer Sandwichplatte (30 mm Alu, 20 mm Elastomer-Schaum) in Wasser. Verwendete Materialparameter des Schaums hier:  $\rho=0.55\text{g/cm}^3$ ,  $c_{\text{long}}=120\text{m/s}$ , Verlustfaktor=0.3).

Für den Fall, dass der Schall zuerst auf die Schaumseite trifft (rote Kurve), ergibt sich ein Einbruch bei ca. 500 Hz. Im umgekehrten Falls (grüne Kurve) wird das Systemverhalten von der Lagerungsfrequenz der schweren Aluminiumplatte auf der leichteren Schaumplatte bestimmt. Hier wird zudem

die Tiefe des Einbruchs vom Verlustfaktor des Schaums bestimmt (je geringer, desto tiefer).

Wenn es gelingt, diesen theoretisch zu erwartenden Effekt zu messen (bzw. zu simulieren), so kann daraus auf die Materialparameter des zu untersuchenden Kunststoffmaterials geschlossen werden. Es muß jedoch geklärt sein, welche Plattenaufbauten noch als „eben“ (d.h. unendlich ausgedehnt) betrachtet werden können und welche Effekte (Beugung, Reflexionen vom Rand des Meßbereichs) noch toleriert werden dürfen.

## Modellierungsansatz

Die hier vorzustellende numerische Analyse basiert auf der zeitlich expliziten Finite Elemente Methode (FEM). Eine detaillierte Beschreibung dieses Verfahrens, das insbesondere für den Zweck der strukturdynamischen Analyse geeignet ist, findet sich z.B. in Hallquist 2006 [4]

Folgende Eigenschaften des Verfahrens sind wichtig:

1. Das Verfahren arbeitet im Zeitbereich, Aussagen zum Frequenzverhalten müssen durch Fouriertransformation der Zeitsignale ermittelt werden.
2. Fluides (d.h. hydroakustisches) Medium und Strukturen werden einheitlich als Material mit Deviations- und Druckanteilen im Spannungstensor abgebildet. Es sind keine speziellen Kopplungselemente notwendig
3. So wie bei Messungen muß auch bei den Simulationen ein hinreichend großes Freifeld vorhanden sein, d.h. Reflexionen vom Rand des Rechenbereichs dürfen keine Auswirkungen haben. (Alternativ kann durch genaue Modellierung des Meßumfeldes wie Wände oder Wasseroberfläche auch auf die Verwendbarkeit von Messergebnissen geschlossen werden)

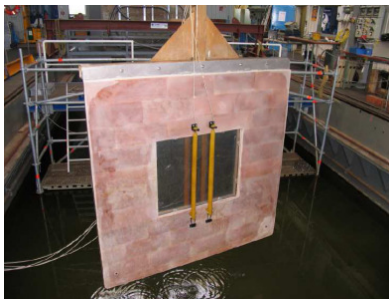
## Untersuchter Aufbau

**Abbildung 2** zeigt eine Aufnahme der untersuchten Plattenkonfiguration am Meßgestell. Der Probeaufbau besteht aus einer 1m\*1m-Sandwichplatte aus 20mm Aluminium und 20 mm Schaummaterial, die in einen äußeren Rahmen desselben Aufbaus eingesetzt ist, so dass insgesamt eine Fläche von 2m\*2m resultiert. Als rückwärtige Halterung dient eine weitere 10 mm starke Aluminiumplatte, wobei zwischen dieser Platte und dem Probeaufbau ein Wasserspalt von 5mm besteht. In der

Summe werden also, analog dem Modell in Abbildung 1, 30mm Alu und 20mm Schaum durchstrahlt.

Einen Überblick über das FEM-Modell (aus Symmetriegründen kann eine Viertel-Geometrie verwendet werden) gibt **Abbildung 3**. Die Schallwellen werden am rechten Rand des FEM-Modells erzeugt und laufen durch Randbedingungen wie in einem Kanal geführt auf die Plattenkonfiguration zu. Am linken Rand werden sogenannte Infinite Elemente als Auslaufrandbedingung verwendet. Die Einstrahlung erfolgt mit monofrequenten Wellen, deren Signal 30mm vor der Platte ermittelt wird. Es wird der Frequenzbereich von 200Hz bis 1000Hz in Abständen von 25 Hz durchsimuliert. Die simulierte Zeitspanne beträgt 10 ms. Die Wellenfront erreicht nach ca. 3.5 ms die Platten, der Auswertzeitraum ist also 6.5 ms. Damit ist sichergestellt, dass mindestens eine Wellenperiode auswertbar ist.

Im Folgenden wird die Schalleinstrahlung von der Rückseite betrachtet, d.h. die Schallwellen treffen nacheinander auf 10mm Alu -> 5mm Wasser ->20mm Alu ->20mm Schaum



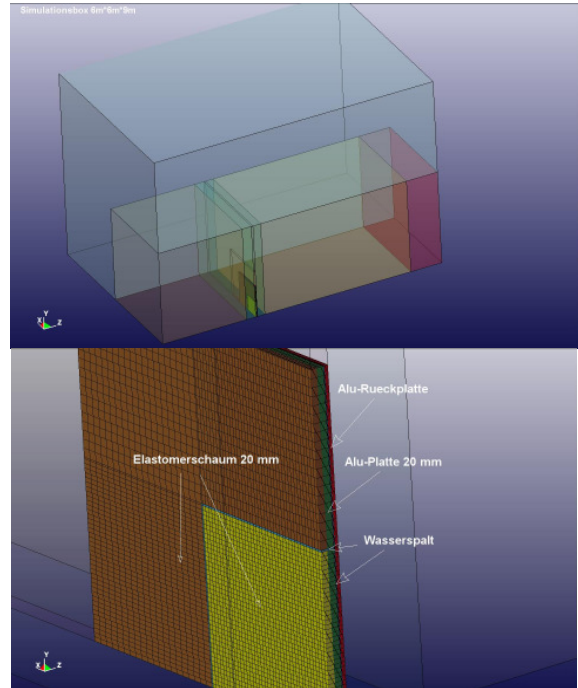
**Abbildung 2:** Meßaufbau des 2m\*2m –Plattensystems mit Hydrophonstäben. Aufsicht auf die Schaumseite (ohne das 1m\*1m-Innenteil)

### Ergebnis einer 3D-FEM-Simulation

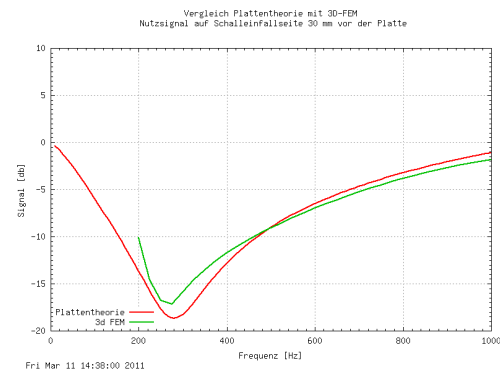
**Abbildung 4** zeigt für die oben beschriebene Konfiguration (Einstrahlung auf die Alu-Seite) die am Ort eines Hydrophons ( $x=y=90\text{mm}$  außerhalb des Plattenmittelpunkts,  $z=30\text{mm}$  über Rückplatte) ermittelte Signalstärke als Funktion der Frequenz. Die zugehörigen Zeitsignale der monofrequenten Rechnungen (hier nicht dargestellt) sind im Zeitbereich bis 5 ms nach Auftreffen der ersten Welle deutlich instationär (mit Drift und niederfrequentem Anteil). Aus diesem Grund sollte die Amplitude nicht aus der Differenz Maximum-Minimum ermittelt, sondern durch Fourieranalyse bestimmt werden.

Im Ergebnis zeigt sich eine Abweichung zwischen 3D-FEM und dem vereinfachten theoretischen Plattenmodell im niederfrequenten Bereich. Grund dürften die zu erwartenden Beugungseffekte an den Plattenkanten sein. Messungen werden also eher den 3D-FEM-Ergebnissen folgen als der idealisierten Plattentheorie. Eine Anpassung von Materialdaten muß diesen Effekt berücksichtigen. Basierend auf diesen Ergebnissen können jedoch im Detail auch Einflüsse des Meßaufbaus (z.B. Position der Hydrophone), ebenso wie Signalverarbeitungsaspekte geklärt werden. Eine der Herausforderungen dieser Vorgehensweise liegt in der

effizienten Speicherung und Auswertung von FEM-Massendaten.



**Abbildung 3:** FEM-Modell mit Plattenaufbau und Fluid-Umgebung (ca. 5.2 Mio. Volumenelemente, oben) und Detailansicht der Vernetzung der Viertel-Platte (unten)



**Abbildung 4:** 3D-Simulation des normierten Summensignals (grüne Kurve) im Vergleich mit der idealisierten Plattentheorie (rote Kurve)

### Literatur

- [1] Schoch, Arnold: Der Schalldurchgang durch Platten. *Acustica* 2 (1952), 1-17
- [2] Madigosky, Fiorito : Transmission and Reflection Characteristics of Viscoelastic Plates. NSW Tech. Rep. No. 78-4 (1978)
- [3] Folds D.L., Loggins C.D.: Transmission and Reflection of Ultrasonic Waves in Layered Media. *JASA* 62 (1977), 1102-1109
- [4] Hallquist J.O.: LSDYNA Theory Manual (2006), URL: <http://www.lstc.com/manuals.htm>