

Untersuchungen des Wirkprinzips eines Blasenschleiers durch Computersimulation

Marian Markiewicz, Thilo Michels, Olgierd Zaleski

Novicos GmbH, 21073 Hamburg, E-Mail: markiewicz@novicos.de; michels@novicos.de; zaleski@novicos.de

Einleitung

Offshore-Windparks in den deutschen Hoheitsgewässern werden zurzeit mit Hilfe von gerammten Gründungsstrukturen errichtet. Die dabei entstehende Hydroschallemission überschreitet die festgelegten Grenzwerte erheblich. Als eines der möglichen Schallschutzsysteme wird ein Blasenschleier eingesetzt.

Die bisherigen Erkenntnisse zur Wirksamkeit dieser Maßnahme basieren auf Untersuchungen im Frequenzbereich bei stationärer Anregung. Der während der Rammarbeiten entstehende Schall hat jedoch einen impulsartigen Charakter, so dass es unklar ist, ob die schallmindernde Wirkung eines Blasenschleiers auf dem Prinzip der Resonanzschwingung der Blasen oder auf dem Impedanzsprung zwischen Wasser und Wasser-Blasen-Gemisch basiert. In dem Beitrag werden die ersten Simulationsergebnisse der Wechselwirkung einer akustischen Impulsquelle mit blasenförmigen Strukturen im Wasser dargestellt. Die Blasen werden als sehr dünne, mit Luft gefüllte Schalen modelliert. Beginnend mit einer Einzelblase wird anschließend eine gleichmäßige Blasenordnung untersucht. Die Simulationen werden im Zeitbereich durchgeführt. Mit dem in der Arbeit verfolgten Ansatz lässt sich auch die Wirksamkeit eines Hydroschalldämpfers, der aus Luftballons besteht, untersuchen.

Simulationsmodell

Das Finite-Elemente-Modell wurde im Programm LS DYNA aufgebaut. Der im Berechnungsmodell abgebildete Wasserbereich stellt einen Quader ($20d \times 20d \times 20d$) dar, in dem sich eine Schicht von gleichmäßig verteilten, mit Luft gefüllten kugelförmigen Schalen mit Durchmesser d befindet. Der Abstand D zwischen den Schalenmittelpunkten beträgt ein Vielfaches des Schalendurchmessers. In der Arbeit werden die Simulationsergebnisse für $D = 1,25d$ und $D = 2d$ präsentiert.

Die Vernetzung des Systems (Abbildung 1) wurde mit dem Programm Hypermesh der Firma ALTAIR generiert. Das Berechnungsmodell besteht aus ca. 2,3 Millionen Elementen. An einer schallharten Wand (Pfahloberfläche) wurde eine impulsförmige Schallwelle vorgegeben. An allen anderen Wänden des Berechnungsquaders wurde eine nicht reflektierende Randbedingung definiert.

Den Schalen können ein Werkstoff und eine Dicke zugeordnet werden, so dass das Modell entweder ein Verhalten einer Blasenordnung oder eines Hydroschalldämpfers, der aus einer Anordnung von Luftballons besteht, abbilden kann. Darüber hinaus kann eine Druckdifferenz zwischen der Luft im Inneren der Schalen und dem umgebenden Wasser vorgegeben werden.

Auf diese Weise lässt sich eine bestimmte Oberflächenspannung in der Schale einstellen. In den präsentierten Simulationen wurde die Oberflächenspannung von $\sigma = 0,072 \text{ N/m}$ mit der Druckdifferenz von $\Delta p = 2,88 \text{ Pa}$ erzeugt. Die Schalendicke wurde auf $h = 0,05 \text{ mm}$ festgelegt.

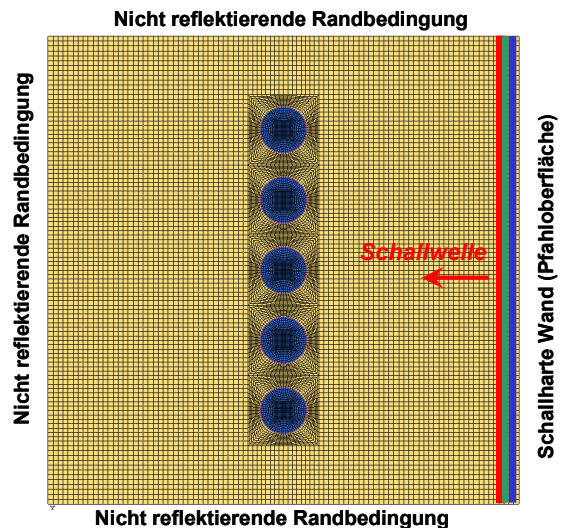


Abbildung 1: Ein Querschnitt durch das FE-Modell

Simulationsergebnisse

Zuerst wurde die Wechselwirkung einer Akustikwelle mit einer Einzelblase untersucht. Abbildung 2 zeigt typische Druckfelder beim Durchgang der Akustikwelle. Der Gesamtprozess dauert ca. 0,1 ms. Nur ein sehr geringer Teil der Schallenergie wird von der Blase reflektiert. Die Schallwelle läuft grundsätzlich ungehindert weiter.

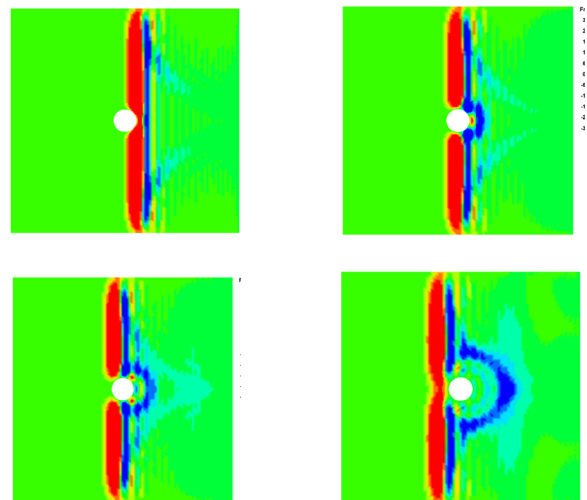


Abbildung 2: Schalldurchgang durch eine Einzelblase

Abbildung 3 zeigt typische Druckfelder beim Durchgang einer Akustikwelle durch eine Anordnung von Blasen mit

dem Abstand $D = 1,25d$. Es ist sichtbar, dass die Akustikwelle bei dieser kompakten Anordnung fast vollständig reflektiert wird. Nur sehr wenig Schallenergie wird nach außen übertragen.

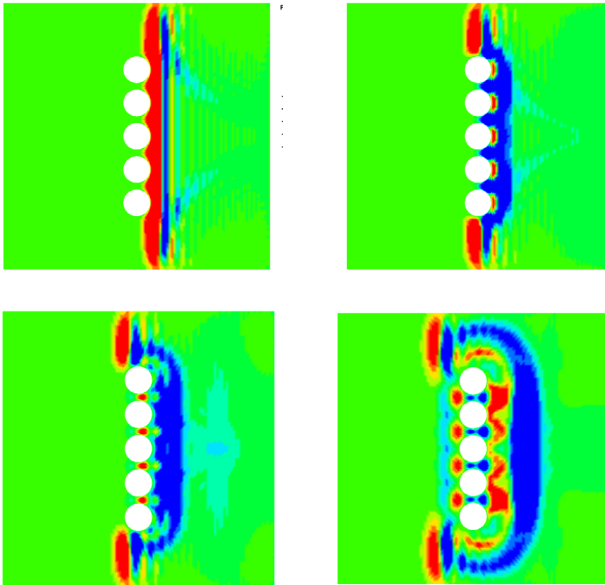


Abbildung 3: Schalldurchgang durch eine Blasenordnung, Blasenabstand $D = 1,25d$

Ein anderes Schallfeld entsteht beim Durchgang der Akustikwelle durch eine weniger kompakte Blasenordnung mit Blasenabstand von $D = 2d$ (Abb.4). Die Akustikwelle wird in diesem Fall fast vollständig durchgelassen.

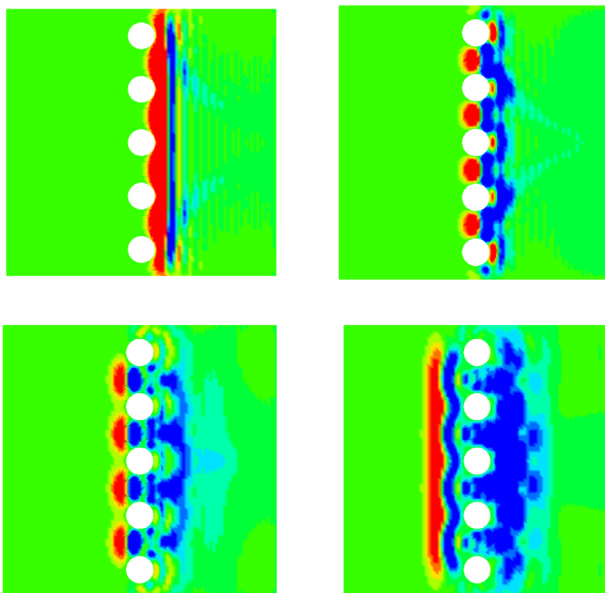


Abbildung 4: Schalldurchgang durch eine Blasenordnung, Blasenabstand $D = 2d$

Die Dämmeigenschaften einer Blasen-schicht können anhand der Berechnung des Schalldämmmaßes (TL) bewertet werden. Zu diesem Zweck wurden die Zeitverläufe gemittelter Intensitäten in Wellenausbreitungsrichtung auf zwei Kontrollflächen direkt vor und hinter der Blasen-schicht ermittelt (Abbildungen 5 und 6). Basierend auf den ersten

Maximalwerten der beiden Verläufe konnten die Schalldämmmaße für unterschiedliche Blasenordnungen berechnet werden. Beim Blasenabstand von $D = 1,25d$ erhält man $TL = 15 \text{ dB}$ (Abbildung 5), bei $D = 2d$ sinkt der Wert von TL auf ca. 3 dB (Abbildung 6).

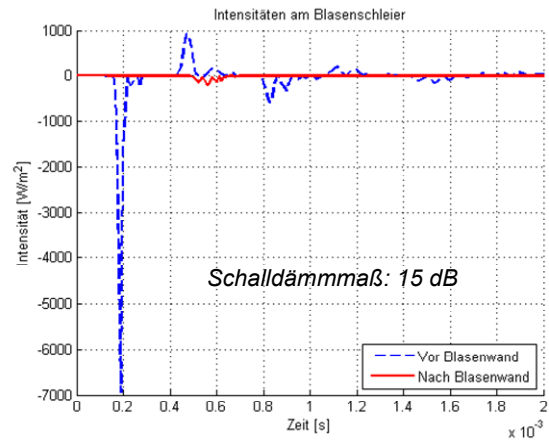


Abbildung 5: Intensitäten vor (gestrichelt) und hinter (durchgezogen) der Blasenordnung, $D = 1,25d$

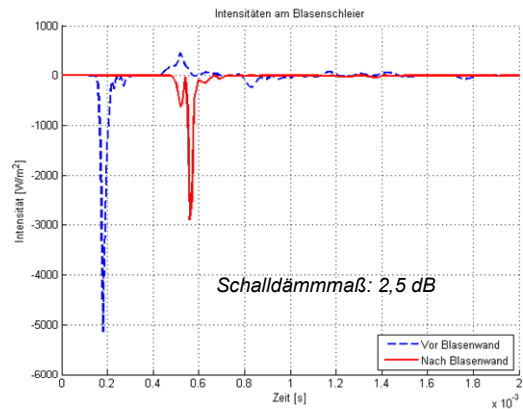


Abbildung 6: Intensitäten vor (gestrichelt) und hinter (durchgezogen) der Blasenordnung, $D = 2d$

Schlussfolgerungen

Die bisherigen Simulationsergebnisse zeigen, dass das Wirkprinzip eines Blasenschleiers bei einer akustischen Impulsanregung nicht auf dem Resonanzverhalten der Blasen, sondern auf der Beugung und Reflexion der Akustikwelle, also auf dem Impedanzsprung basiert. Der Durchgang einer Druckwelle durch eine Blasenordnung dauert ca. 0,1 ms, so dass sich in dieser Zeit keine Resonanzschwingung der Blase entwickeln kann.

Das Schalldämmmaß einer Blasenwand hängt maßgeblich von der Blasendichte ab. Wird der Abstand zwischen den Blasen größer als $3 \times \text{Blasenradius}$, sinkt das Schalldämmmaß rapide. Ein effizient wirkender Blasenschleier muss demzufolge den geramten Pfahl vollständig umhüllen.

Literatur

- [1] Clift, R., Grace, J.R., Weber, M.E. Bubbles, Drops, and Particles, Academic Press, New York,..., 1978
- [2] Blackstock, D.T. Fundamentals of Physical Acoustics, John Wiley & Sons, Inc. New York,..., 2000