

Modellgestützte Untersuchung der Blasenbildung und des Übertragungsverlusts eines offshore eingesetzten Blasenschleiers

Tobias Bohne¹, Tanja Griebmann¹, Raimund Rolfes¹

¹ Institut für Statik und Dynamik, Leibniz Universität, 30167 Hannover, Deutschland, Email: t.bohne@isd.uni-hannover.de

Einleitung

Der Ausbau der Offshore-Windenergie ist mit einer deutlichen Lärmbelastung der Meeresumwelt verbunden. Der Blasenschleier ist dabei eines der am häufigsten verwendeten Systeme, um die Belastung, die insbesondere auf die Rammung der Gründungspfähle zurückzuführen ist, in den gesetzlich festgelegten Grenzen zu halten [1]. Zur Bestimmung der Schallminderung, entwickelten die Autoren ein physikalisch basiertes Modell, das es ermöglicht die akustischen Eigenschaften des Blasenschleiers zu bestimmen [2]. Dieses wurde im letzten Jahr um eine Komponente zur modellbasierten Bestimmung der Blasengrößenverteilung erweitert. Zu Beginn wird das Modell kurz vorgestellt. Im Anschluss werden die Ergebnisse einer Sensitivitätsstudie gezeigt, die den Einfluss der Düsen Schlauchkonfiguration auf die Blasengrößenverteilung und die akustischen Übertragungseigenschaften untersucht.

Modell der akustischen Eigenschaften des Blasenschleiers

Die akustischen Eigenschaften eines Blasenschleiers lassen sich auf die Luftblasen zurückführen. Diese interagieren in Abhängigkeit ihrer Größe mit den einfallenden Schallwellen als schwingungsfähiges System. Aufgrund ihrer Vielzahl ist es aber nicht möglich diese einzeln in einem Modell aufzulösen. Üblicherweise wird daher ein effektives Medium eingeführt, das die gleichen akustischen Eigenschaften wie die Luftblasen aufweist. Die lokale effektive Wellenzahl im Blasenschleier schreibt sich nach [3]

$$k_{\text{eff}}^2 = \frac{\omega^2}{c_W^2} + 4\pi\omega^2 \int_0^\infty \frac{a n(x, z, a) da}{\omega_0^2 - \omega^2 + 2ib\omega} \quad (1)$$

mit den Blasenradius a , der Kreisfrequenz ω , der Schallgeschwindigkeit im Wasser c_W , der Eigenkreisfrequenz ω_0 , der Dämpfungskonstanten b und der Blasenanzahl-dichte $n(x, z, a)$. Letztere beschreibt die lokale Anzahl der Luftblasen in einem Einheitsvolumen im Intervall a bis $a + da$ geteilt durch da und lässt sich wie folgt ausdrücken

$$n(x, z, a) = \frac{f(x, z, a) \epsilon_g(x, z)}{\bar{v}(x, z)} \quad (2)$$

mit dem lokalen Gasgehalt $\epsilon_g(x, z)$, der Blasen-größenverteilung $f(x, z, a)$ und dem gemittelten Blasen-volumen $\bar{v}(x, z)$. Letzteres lässt sich mit Hilfe von $f(x, z, a)$ ausdrücken, sodass die Blasenanzahldichte

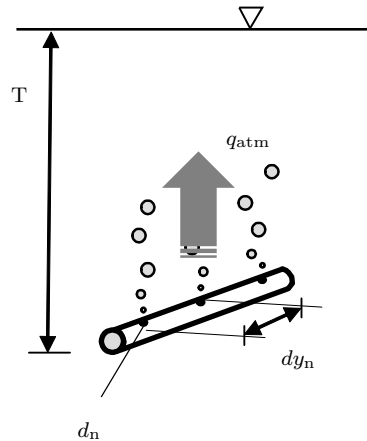


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Systems Blasenschleiers

letztendlich eine Funktion der Blasengrößenverteilung und des Gasgehalts ist. Um die akustischen Eigenschaften eines Blasenschleiers zu bestimmen, müssen beide Größen aus Messungen oder Modellen abgeleitet werden.

Die Modelle für den lokalen Gasgehalt und die Blasen-größenverteilung können mit Hilfe eines integralen Ansatzes aus den Erhaltungsgleichungen für Mehrphasenströmungen hergeleitet werden. Zur Bestimmung der Blasengrößenverteilung wird dabei der Blasenbildungsprozess oberhalb der Düse genauer betrachtet. An der Düse bilden sich primäre Blasen aus, die innerhalb der Strömung zu den deutlich kleineren sekundären Blasen zerfallen [4]. Um diesen Prozess abzubilden, wird das Modell nach Lehr, Millies und Mewes [5] genutzt.

Ausgehend von den lokalen akustischen Eigenschaften ist es dann möglich die Übertragungseigenschaften des Blasenschleiers mittels der Transfer Matrix Methode oder die Schallminderung von Rammerschall mittels der Finiten Elemente Methode zu bestimmen.

Sensitivitätsstudie

Im Folgenden werden die Ergebnisse einer Sensitivitätsstudie vorgestellt, die den Einfluss unterschiedlicher Düsen Schlauchkonfigurationen auf die Übertragungseigenschaften untersucht. Das technische System Blasenschleier ist schematisch in Abbildung 1 dargestellt. Die Düsen Schlauchkonfiguration umfasst dabei die Parameter Düsenabstand (dy_n) und Düsendurchmesser (d_n). Die Sensitivitätsanalyse wurde für eine feste Wassertiefe von 30m und einen festen Luft-volumenstrom von $0.35\text{m}^3/\text{min}$ durchgeführt. Ausgehend

Tabelle 1: Düsenschauchkonfigurationen, die mit Hilfe des Modells untersucht werden. Zusätzlich ist die zugehörige Darstellungsfarbe angegeben.

Konfig.	Parameter		
	dy_n (m)	d_n (mm)	Farbe
1	0.3	0.5	blau
2	0.3	3.5	rot
3	0.3	1.5	schwarz
4	0.1	1.5	grün
5	1.5	1.5	cyan

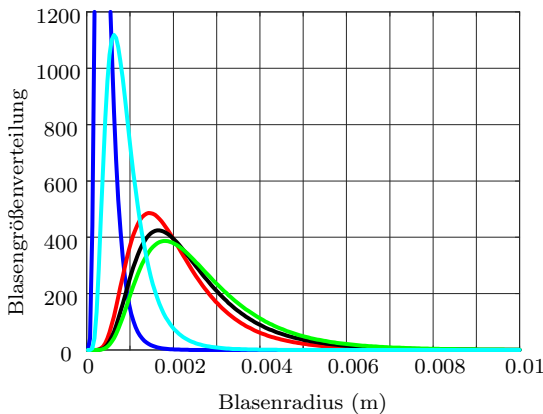


Abbildung 2: Blasengrößenverteilungen für die untersuchten Düsenschauchkonfigurationen. Die zugehörigen Parameterkonstellationen sind in der Tabelle 1 gegeben.

von einer praxisnahen Konfiguration ($dy_n = 0.3\text{m}$ und $d_n = 1.5\text{mm}$) werden die beiden Parameter einzeln verändert. Dieses Vorgehensweise ist auch als 'one at a time' bekannt. Eine untersuchte Parameterkonstellation entspricht dabei einer Düsenschauchkonfiguration. In der Tabelle 1 sind diese aufgeführt. Zusätzlich ist die Farbe angegeben in der die zugehörigen Ergebnisse dargestellt werden. In Abbildung 2 werden die resultierenden Blasengrößenverteilung gezeigt. Die Verteilungen weisen jeweils ein Maximum für Blasenradien $a < 2\text{mm}$ auf. Es zeigt sich, dass mit abnehmenden Düsenabstand die Verteilung breiter wird. Ein ähnlich Trend ist für den Düsendurchmesser nicht zu beobachten.

Aus den dargestellten Blasengrößenverteilungen ergeben sich die akustischen Eigenschaften und somit auch der Übertragungsverlust des Blasenschleiers (vgl. hierzu Abbildung 3). Im betrachteten Frequenzbereich nimmt bei zunehmender Frequenz der Übertragungsverlust zu. Die Zunahme beginnt bei niedrigeren Frequenzen umso breiter die Blasengrößenverteilung ist. Die in der Praxis verwendete Düsenschauchkonfiguration (schwarze Linie) weist einen vergleichsweise hohen Übertragungsverlust auf. Eine Verringerung des Düsenabstands verspricht Verbesserungspotential.

Fazit

Im Rahmen dieses Papers wurde ein Modell zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften von Blasenschleier vorgestellt. Dieses umfasst unter anderem

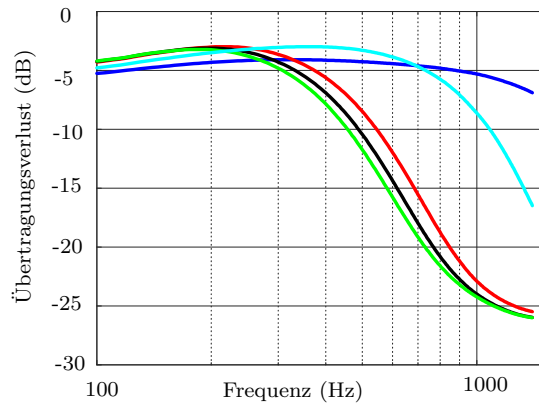


Abbildung 3: Übertragungsverluste für die untersuchten Düsenschauchkonfigurationen. Die zugehörigen Parameterkonstellationen sind in der Tabelle 1 gegeben.

eine Komponente zur modellbasierten Berechnung der Blasengrößenverteilung. Diese ermöglicht es den Einfluss unterschiedlicher Düsenschauchkonfigurationen auf die akustischen Eigenschaften eines Blasenschleiers zu untersuchen. Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wurden die Übertragungsverluste für verschiedene Düsenschauchkonfigurationen bestimmt. Es zeigt sich, dass ein geringer Düsenabstand einen höheren Übertragungsverlust bedingt. Ähnliche Beobachtungen konnten auch schon bei der Verwendung einer perforierten Membran gemacht werden (vgl. hierzu [6]), wobei davon auszugehen ist, dass eine Membran den Düsenabstand deutlich verkleinert. Im Hinblick auf den zunehmenden Pfahldurchmesser und die damit einhergehenden höheren Schallemissionen ist die Optimierung des Blasenschleiers von hoher Bedeutung.

Literatur

- [1] Müller, A. and Zerbs, C.: Offshore-Windparks: Messvorschrift für Unterwasserschallmessungen. URL: www.bsh.de (2011)
- [2] Bohne, T., Griebmann, T. and Rolfes, R.: Integral approach for modelling offshore bubble curtains. INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings, (2016), 7154-7159
- [3] Commander, K. W. und Prosperetti, A.: Linear pressure waves in bubbly liquids: Comparison between theory and experiments. Journal of the Acoustical Society of America (1989), 732-746
- [4] VDI Gesellschaft: VDI Wärmeatlas. Springer Vieweg (2013)
- [5] Lehr, F. and Millies, M. and Mewes, D.: Bubble size distributions and flow fields in bubble columns. AIChE Journal 48 (2002), 2426-2443
- [6] Rustemeier, J.: Optimierung von Blasenschleieren zur Minderung von Unterwasser-Rammschall. Doktorarbeit (2016)