

Schallabstrahlung eines unterseeischen Eisenbahntunnels

Klaus Betke, Rainer Matuschek

itap – Institut für technische und angewandte Physik GmbH, 26129 Oldenburg, E-Mail: betke@itap.de

Einleitung

Die geplante Fehmarnbeltquerung zwischen Dänemark und Deutschland wird als Tunnel zwischen den Inseln Lolland und Fehmarn ausgeführt werden. Der etwa 18 km lange Tunnel wird voraussichtlich als Absenktunnel gebaut, d.h. aus vorgefertigten Röhrenelementen, die an der Zielposition versenkt werden. Im Rahmen der Umweltverträglichkeitsanalyse, in der auch Unterwasserlärm betrachtet wurde [1], ergab sich die Frage, ob nicht nur der Bau, sondern auch der reguläre Betrieb eines solchen Tunnels Geräusche im Wasser erzeugt, die marine Lebewesen beeinflussen oder beeinträchtigen könnten. Mangels geeigneter Literaturdaten wurde eine Messung an einem existierenden Tunnel vorgenommen, und zwar am Drogden-Tunnel, der Teil der Verbindung über den Öresund zwischen Dänemark und Schweden ist.

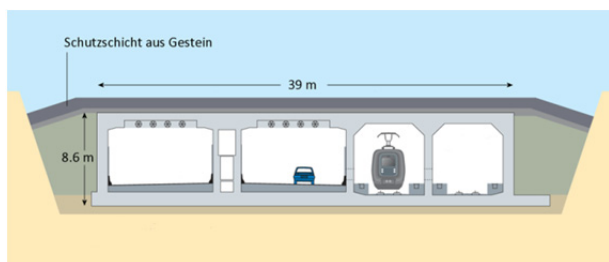


Abbildung 1: Querschnitt des Drogden-Tunnels. Nicht eingezeichnet ist eine zusätzliche Schicht aus Sand und Gesteinsmaterial, durch die der Tunnel eine leichte Erhöhung von gut 1 m gegenüber dem umgebenden Meeresboden darstellt.

Vorgehensweise

Die Messung fand im Juli 2011 statt. Ein Hydrofon vom Typ Brüel & Kjær 8106 wurde genau über dem Tunnel ausgebracht, ein weiteres in 450 m Abstand vom Tunnel. Diese beiden Positionen sind in Abb. 2 mit MP1 und MP2 bezeichnet. Die Wassertiefe beträgt hier etwa 8 m. Die Hydrofone wurden mit Auftriebskörpern ca. 1,5 m über dem Meeresboden gehalten. Die Aufzeichnungsgeräte waren in Stahlröhren eingebaut, die auf dem Meeresgrund lagen.

In die Röhre bei MP1 war außerdem ein Geofon (Schwinggeschwindigkeitssensor, Sensor Nederland SM-6) eingebaut. Um eine ungefähr vertikale Ausrichtung des Sensors zu erzwingen und als zusätzlicher Ballast war die Röhre zu dazu mit zwei Vierkantstäben von 1 m Länge versehen (Abb. 3). Der Frequenzbereich der Hydrofon-Kanäle betrug 10 Hz bis 20 kHz; das Geofon hatte eine obere Grenzfrequenz von rund 1 kHz. Das Arbeitsschiff JHC Miljø ankerte etwa 400 m nördlich von MP2. Von hier aus wurde der Schiffsverkehr im Gebiet mit Hilfe eines AIS-Empfängers (Icom MXA-5000) registriert.

(Bild kann vorübergehend nicht angezeigt werden, Juni 2019)

Abbildung 2: Messpositionen. Der Tunnel verläuft in der Mitte zwischen den beiden gestrichelten diagonalen Linien.

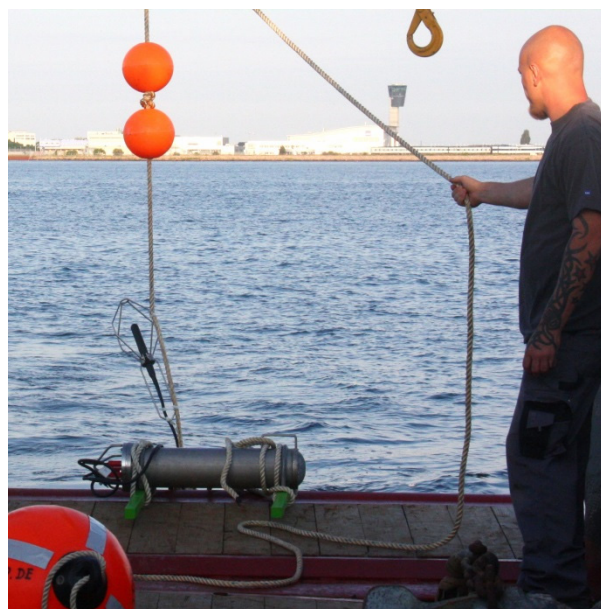


Abbildung 3: Ausbringen des Messsystems an MP1

Ergebnisse

In Abb. 4 ist der typische Verlauf des breitbandigen Schallpegels an MP1 über dem Tunnel dargestellt. Zugdurchfahrten lassen den Pegel kurzzeitig um 20 bis 30 dB ansteigen. Zu erkennen ist auch der Pegelanstieg durch zwei größere Schiffe, welche die Messposition im westlich gelegenen Fahrwasser in Nord-Süd-Richtung passieren. Die Züge waren sowohl im Hydrofonsignal als auch im Geofonsignal leicht per Gehör als solche zu identifizieren. Gelegentlich waren im Hydrofonsignal auch Lastzüge sehr schwach hörbar, messbare Pegelanstiege verursachte der Kraftfahrzeugverkehr jedoch nicht. An MP2 lag der von den Zügen verursachte Breitbandpegel bei 120 dB re 1 μ Pa (Abb. 5), gegenüber 135 bis 140 dB an MP1. Abb. 6 zeigt einige der Pegelspitzen aus Abb. 4 mit höherer zeitlicher Auflösung.

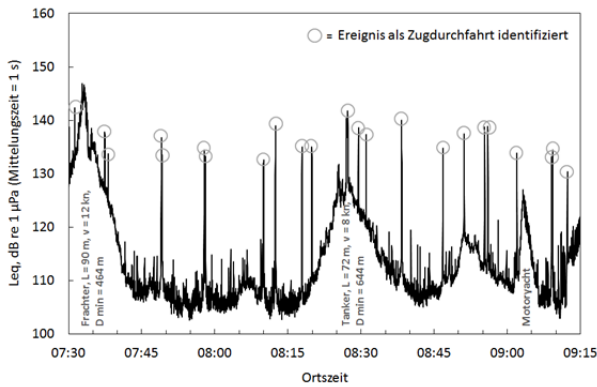


Abbildung 4: Pegelverlauf an MP1 über dem Tunnel

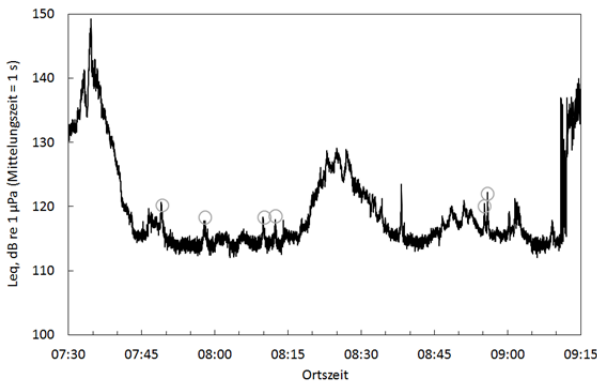


Abbildung 5: Pegel an MP2, 450 m neben dem Tunnel

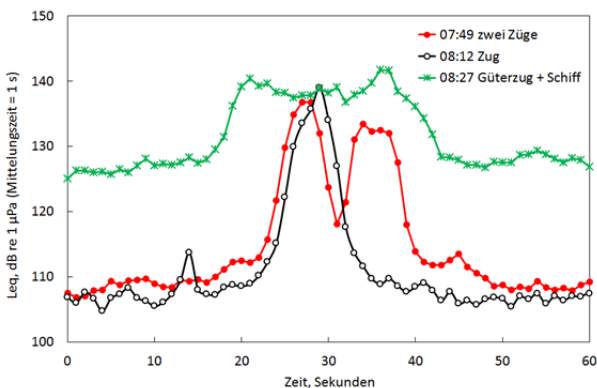


Abbildung 6: Drei Ausschnitte aus Abb. 4

Die Eisenbahngeräusche haben ein breites spektrales Maximum von unter 50 Hz bis über 500 Hz und ähneln hierin den Schiffsgeräuschen (Abb. 7). Der steile Pegelabfall zu tieferen Frequenzen bei allen Spektren hängt vermutlich auch mit der geringen Wassertiefe zusammen, welche die Ausbreitung tieffrequenter Schallwellen verhindert.

Vergleicht man die Spektren mit Hörschwellen von Schweinswalen, ergibt sich das übliche Bild: Oberhalb von einigen 100 Hz ist der Schall für die Tiere prinzipiell wahrnehmbar, auch der stets vorhandene (und überwiegend durch Schiffe verursachte) Hintergrundschall. Die direkt über dem Tunnel gemessenen Geräusche liegen maximal etwa 30 dB über der Hörschwelle; der Abstand zum Hintergrundschall ist noch geringer. Das ändert sich nicht wesentlich, wenn man die 1/3-Oktav-Pegel näherungsweise durch – hier möglicherweise adäquatere – Frequenzgruppen-

pegel [3] ersetzt. Ob dies zu Verhaltensreaktionen, etwa einem Vermeidungsverhalten [4] führen kann, ist nicht bekannt; Hinweise dafür gibt es bislang nicht. Im Fehmarnbelt wird die Belastung durch Tunnelgeräusche im Verhältnis zu Schiffsgeräuschen niedriger sein als im Gebiet Drogden, da die Schiffsdichte im Fehmarnbelt sehr viel höher ist, andererseits aber regionaler Eisenbahnverkehr durch den Tunnel geringer ausfallen dürfte.

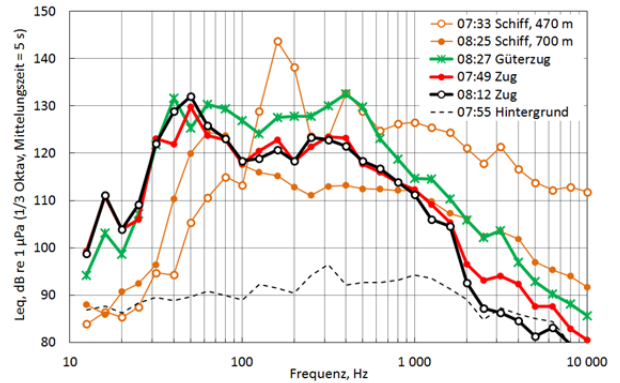


Abbildung 7: 1/3-Oktavspektren an MP1

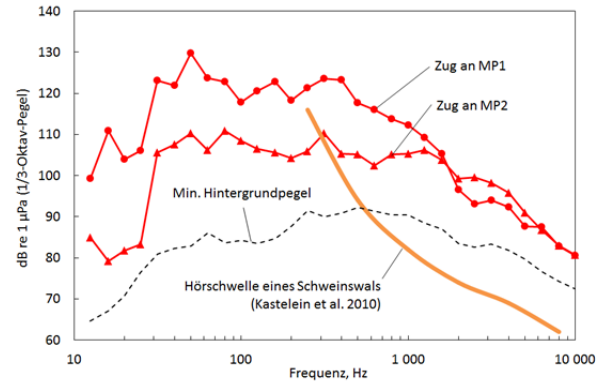


Abbildung 8: 1/3-Oktavspektren der Bahngeräusche im Vergleich zur Hörschwelle eines Schweinswals nach [2].

Literatur

- [1] Matuschek R, Betke K: Hydroschallmessungen und Schallausbreitungsmodellierung für die feste Fehmarnbelt-Querung. DAGA 2014
- [2] Kastelein RA, Hoek L, de Jong CAF, Wensveen PJ: The effect of signal duration on the underwater detection thresholds of a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) for single frequency-modulated tonal signals between 0.25 and 160 kHz. *J. Acoust. Soc. Am.* 128 (5), 3211–3222, 2010
- [3] Kastelein RA, Wensveen PJ, Hoek L, Au WWL, Terhune JM, de Jong CAF: Critical ratios in harbor porpoises (*Phocoena phocoena*) for tonal signals between 0.315 and 150 kHz in random Gaussian white noise. *J. Acoust. Soc. Am.* 126(3), 1588–1597, 2009
- [4] Wollheim L, Brandt MJ, Diederichs A, Höschle C, Nehls G: Case study on potential barrier effects of the Great Belt Bridge, Denmark, on harbour porpoises (*Phocoena phocoena*). ECS Annual Conference 2010