

Entwicklung und Evaluation eines Systems zur akustischen Detektion von Schweinswalen

Hendrik Schoof¹, Hauke Holst¹, Uwe Simmer², Rainer Matuschek¹, Klaus Betke¹, Siegfried Gündert¹, Matthias Blau², Michael Bellmann¹

¹ Itap GmbH, 26129 Oldenburg, E-Mail: info@itap.de

² Jade Hochschule Oldenburg, Institut für Hörtechnik und Audiologie, 26121 Oldenburg

Einleitung

Für Schweinswale ist ein gutes Gehör überlebenswichtig, denn sie benutzen zur Echoortung Klicks im Ultraschallbereich. Der Hauptfrequenzbereich der Klicks von in Freiheit lebenden Schweinswalen liegt zwischen 120 und 160 kHz [1].

Beim Bau von Offshore-Windkraftanlagen werden Stahlfundamente mit einem hydraulischen Hammer mittels Impulsrammverfahren in den Meeresboden hinein gerammt. Der sich dabei unter Wasser ausbreitende Schall kann marine Säugetiere, wie z.B. Schweinswale und deren Gehör physisch schädigen [2]. Schweinswale müssen daher vor Baubeginn aus der unmittelbaren Gefährdungszone vergrämt werden. Die Wirksamkeit der Vergrämungsmaßnahmen wird mittels Schweinswal-Klickdetektoren überwacht. Das bisherige Standardgerät, der sogenannte C-POD, hat eine nicht transparente Funktionsweise und detektiert maximal 40 % der tatsächlich anwesenden Schweinswale [3]. Andere Systeme erzeugen aufgrund hoher Samplingfrequenzen große Datenmengen.

Es ist daher ein alternatives System zur akustischen Detektion von Schweinswalen entwickelt worden, das unter Berücksichtigung der Klick-Charakteristik eine zuverlässigere Detektion ermöglichen soll. Es vermeidet große Datenmengen und soll den Dynamikbereich zwischen Hydrophon und Aufnahmesystem bestmöglich anpassen. Das System transformiert die Klicks aus dem Ultraschallbereich in den niederfrequenten Bereich und ermöglicht damit Aufnahmen über Standard-Soundkarten. Es fungiert autark und konnte bei einer Offshore-Erprobung erste Schweinswal-Klicks über einen Zeitraum von zwölf Stunden aufnehmen. Das Aufnahmesystem und die Ergebnisse der Offshore-Erprobung werden im Folgenden vorgestellt.

Aufnahmesystem

Das neuartige Aufnahmesystem verwendet eine spezielle Form der Frequenzmischung, die sogenannte IQ-Mischung. Es besteht aus einem Hydrophon, einem IQ-Mischer, einer USB-Soundkarte mit Anti-Aliasing-Tiefpass und Analog/Digital-Wandler sowie einem Computer. Die einzelnen Komponenten sind spannungsmäßig entkoppelt und haben jeweils eine eigenständige Stromversorgung. Das Hydrophon wird durch einen Auftriebskörper senkrecht im Wasser gehalten, sodass ein Schalleinfall aus allen Richtungen möglich wird. Der IQ-Mischer arbeitet mit einer Oszillatorfrequenz von 140 kHz. Die Soundkarte zeichnet

mit einer Samplingfrequenz von 48 kHz auf. Durch die IQ-Mischung sind hiermit Aufnahmen mit einer Bandbreite von nahezu 48 kHz möglich, sodass Frequenzen aus dem Ultraschallbereich zwischen 116 und 164 kHz in den niederfrequenten Bereich von -24 bis +24 kHz transformiert werden.

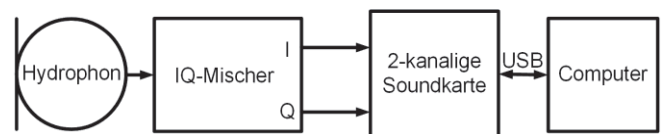


Abbildung 1: Schematische Darstellung der elektronischen Komponenten des Aufnahmesystems.

Die Übertragungseigenschaften wurden durch eine Einspeisung sinusförmiger Spannungen im Frequenzbereich zwischen 116,5 und 164,5 kHz im Abstand von 0,5 bzw. 1 kHz und einer maximalen Eingangsspannung von 20 mVpp bestimmt. Abbildung 2 zeigt, dass neben der transformierten Eingangsfrequenz auch eine Spiegelfrequenz entsteht.

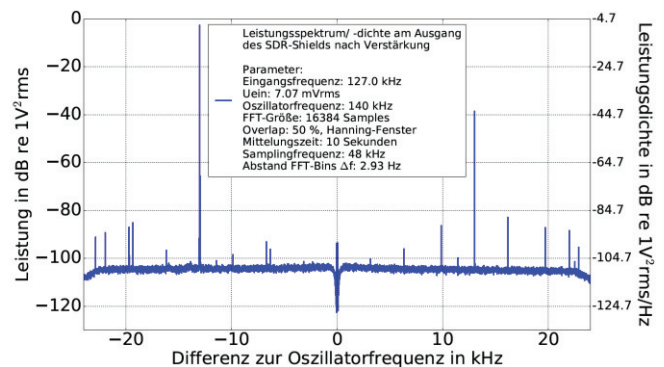


Abbildung 2: Übertragungseigenschaften des Aufnahmesystems anhand der Leistung in dB re $1V^2$ (links) bzw. Leistungsdichte in dB re $1V^2\text{rms}/\text{Hz}$ gegenüber der Differenz zur Oszillatorfrequenz in kHz. Eingespeist wurde eine sinusförmige Spannung mit einer Frequenz von 127 kHz.

Die Spiegelfrequenzunterdrückung (vgl. Abbildung 3) ist die Pegeldifferenz zwischen der transformierten Eingangsfrequenz und der Spiegelfrequenz. Bei einer Demodulation werden i.d.R. Spiegelfrequenzunterdrückungen von bis zu 40 dB erreicht [4]. Das Aufnahmesystem erzielte frequenzabhängig eine Spiegelfrequenzunterdrückung zwischen 30 und 42 dB.

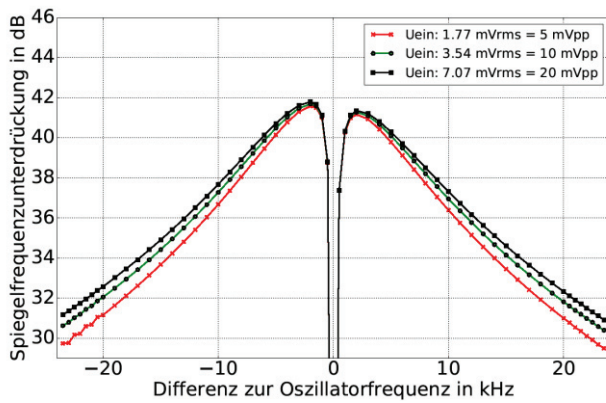


Abbildung 3: Spiegelfrequenzunterdrückung in dB gegenüber der Differenz zur Oszillatorfrequenz in kHz. Die Markierungen entsprechen den transformierten Eingangsfrequenzen.

Zusätzlich wurden theoretische Überlegungen zum Aufnahmeradius des Systems mit Hydrophon vorgenommen (vgl. Abbildung 4). Diese berücksichtigen die Absorption im Wasser und die geometrische Ausbreitungsdämpfung. Die Annahmen gelten für eine Eingangsfrequenz von 140kHz. Demnach wird der Aufnahmeradius neben Schiffsgeräuschen nur durch das Eigenrauschen des Hydrophons begrenzt. Somit könnten Schweinswal-Klicks je nach Quellpegel eines Klicks theoretisch noch in Entfernungen von 700 m bis 1,3 km aufgezeichnet werden, wenn die Echoortung auf das Hydrophon gerichtet ist.

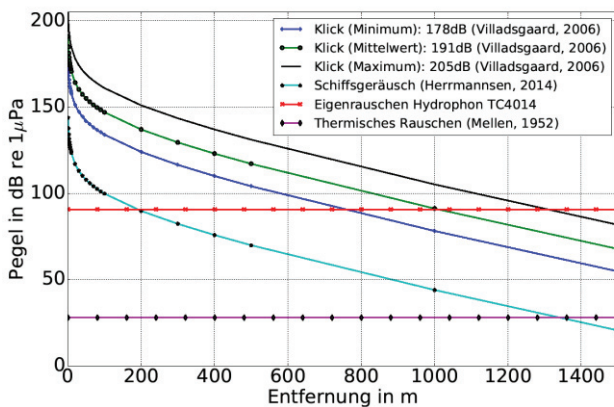


Abbildung 4: Theoretische Überlegungen zum Aufnahmeradius des Aufnahmesystems. Der Pegel in dB re $1\mu\text{Pa}$ ist gegenüber der Entfernung in m aufgetragen.

Offshore-Erprobung

Bei einer Offshore-Erprobung in der Nordsee wurden erste Schweinswal-Klicks und durch Kavitation ausgelöste Schiffsgeräusche aufgezeichnet. Zur nachträglichen Analyse wurde eine Vorauswahl an Klickfolgen durch Betrachtung der Signalform und Hörproben durchgeführt. Mit Hilfe eines analytischen Signals konnte aus dem 2-kanaligen Signal ein 1-kanaliges Signal berechnet werden.

Die Klickdetektion basiert auf einer pegel- und zeitabhängigen blockweisen Verarbeitung. Abbildung 5 veranschaulicht die Detektion beispielhaft anhand einer Klickfolge, die von einem Schweinswal zur Orientierung benutzt wurde. Qualitativ stimmen die Zeitpunkte der im Spektrogramm sichtbaren Klicks mit den detektierten Ereignissen des analytischen Signals überein.

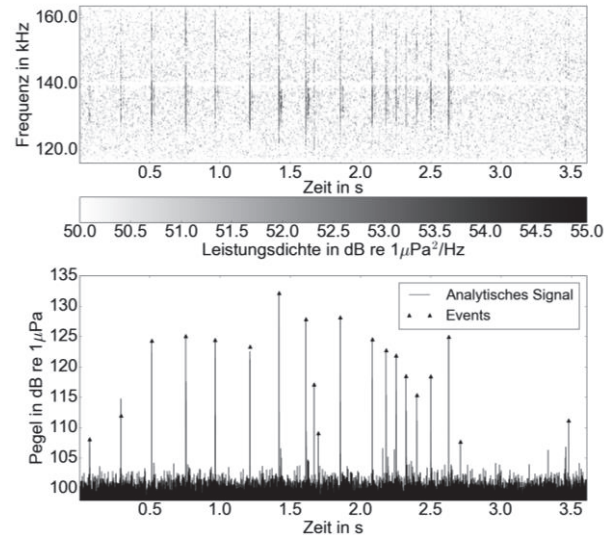


Abbildung 5: Funktionsweise der Klickdetektion anhand einer vom Schweinswal zur Orientierung benutzten Klickfolge. Im unteren Diagramm ist der Pegel des analytischen Signals in dB re $1\mu\text{Pa}$ gegenüber der Zeit in s aufgetragen. Die detektierten Ereignisse sind mit einem Dreieck gekennzeichnet. Im oberen Diagramm ist das Spektrogramm der Klickfolge aufgetragen. Die zeitliche Dimensionierung der x-Achsen ist identisch. Auf der y-Achse ist die Frequenz in kHz aufgetragen. Die Pegel der Klicks sind als Leistungsdichte in dB re $1\mu\text{Pa}/\text{Hz}$ angegeben.

Untersucht wurden der Effektivwertpegel eines Ereignisses, die spektrale Flachheit, der zeitliche Energieanstieg τ_{90} und die Zeitdifferenzen zwischen zwei Ereignissen. Dabei stellte sich heraus, dass Schweinswal-Klicks schmalbandiger sind als Schiffsgeräusche. Außerdem sind Schiffsgeräusche 10 bis 20 % spektral flacher. Schweinswal-Klicks hatten die Tendenz eines zeitlich kürzeren Energieanstiegs als Schiffsgeräusche. Der zeitliche Abstand zwischen Schweinswal-Klicks betrug bis zu 280 ms, wohingegen über 90 % aller Ereignissen eines Schiffsgeräusches mit weniger als 30 ms Abstand aufeinander folgten.

Zusammenfassung

Es ist ein alternativer Schweinswal-Klickdetektor entwickelt und offshore erprobt worden. Der Vorteil dieses Systems beruht auf der Verwendung eines IQ-Mischers, der die anfallenden Daten reduziert. Zudem hat das System einen hohen Dynamik-Bereich ($>70\text{ dB}$) und dadurch einen großen Aufnahmeradius. Die Zeitsignale werden im menschlichen Hörbereich aufgezeichnet und stehen für weitreichende Analysen zur Verfügung, wie z.B. Hörproben.

Literatur

- [1] Villadsgaard, Anne ; Wahlberg, Magnus ; Tougaard, Jakob: Echolocation signals of wild harbour porpoises, *Phocoena phocoena*. In: *Journal of Experimental Biology* 210 (2007), Nr. 1, S. 56–64
- [2] Umweltbundesamt: INFORMATION UNTERWASSERLÄRM – Empfehlung von Lärmschutzwerten bei der Errichtung von Offshore-Windenergieanlagen (OWEA). (2011), Mai. – Fachgebiet II 2.3/Stefanie Werner
- [3] Höschle, Caroline ; Kosarev, Vladislav ; Brandt, Miriam J. ; Diederichs, Ansgar ; Nehls, Georg: Applying the wireless detection system (WDS) – a real-time monitoring tool for porpoise activity around construction sites. In: *Conference on Wind energy and Wildlife impacts* BioConsult GmbH und Co.KG, 2015
- [4] Tietze, Ulrich ; Schenk, Christoph ; Gamm, Eberhard: *Halbleiter - Schaltungstechnik*. 13. Auflage. Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. – ISBN 978-3-642-01621-9