

Schwertwal jagt Königslachs: Ein Problem der Sonarortung

Jan Ehrlich

Wehrtechnische Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen, Maritime Technologie und Forschung,
Berliner Str. 115, 24340 Eckernförde, E-Mail: janehrlich@bwb.org

Einleitung

Die Sonartechnik wird vorwiegend in einem militärischen Kontext gesehen. Aber es können auch andere Vorgänge beschrieben werden. Als Beispiel dient eine Betrachtung der Sonarortung eines Schwertwals (Orca, *Orcinus orca*), der einen Lachs (Königslachs, *Oncorhynchus Tshawytscha*) jagt. Die hier beschriebenen Berechnungen wurden im Rahmen eines Symposiums des Institute of Acoustics zum Vergleich von Sonar Simulationsprogrammen gemacht. Eine genauere Beschreibung des Szenarios findet sich bei Ainslie [1].

Abbildung 1 zeigt die Geometrie des Problems. Der Orca schwimmt in der Tiefe d_0 von 5 m und der Lachs in einer Tiefe d_f von 25 m. Gesucht wird das Signal-zu-Rausch Verhältnis für die Ortung in Entfernungen bis zu 500 m. Dabei wird angenommen, dass der Orca immer die Hauptkeule seines Sonars auf den Fisch richtet. Weiterhin wird von einem Tiefwasser Szenario ausgegangen, so dass der Einfluss des Meeresbodens nicht betrachtet wird, da der Orca die Bodenechos zeitlich ausfiltern kann.

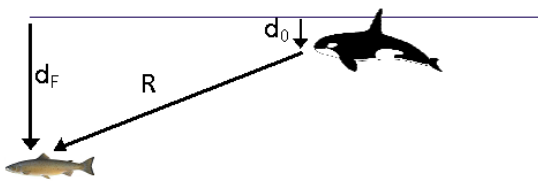


Abbildung 1: Beschreibung der Geometrie des Ortungsproblems

Modellierung

Die Beschreibung des Sonars des Orca geht auf den Artikel von Au et.al. [2] zurück. Wie auch Delfine benutzt der Orca extrem kurze Klicklaute zur Ortung. Aus aufgezeichneten Klicks wurde ein generischer Puls durch einen Kosinuspuls mit Shading abstrahiert, der in Abbildung 2 auf der linken Seite im Vergleich zu einer Messung aus [2] gezeigt wird. Der Puls hat eine 3-dB Bandbreite von 28 kHz um die Mittelfrequenz 50 kHz (10 dB Bandbreite 50 kHz).

Für das Sonar wird ein kreisförmiges Array mit dem Durchmesser $D = 10$ cm angenommen, das ein Beampattern b gemäß

$$b(u) = [2J_1(u)/u]^2, \quad u = (\pi D f / c) \sin \psi \quad (1)$$

aufweist, wobei $J_1(u)$ die Besselfunktion erster Ordnung und erster Art ist. Hierbei steht f für die Frequenz und ψ für den Winkel zur Symmetrieachse des Arrays. Das Beampattern des Modells wird für die Frequenzen 30 kHz, 50 kHz und 70 kHz auf der rechten Seite von Abbildung 2 gezeigt.

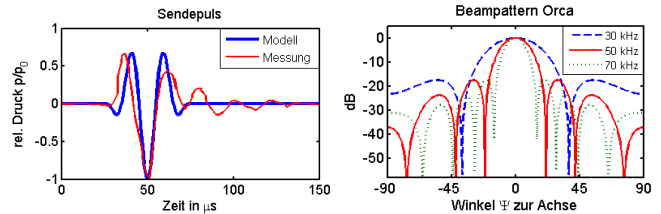


Abbildung 2: links: Puls des Orca Soanrs, Modell und Messung aus [2], rechts: Beampattern für 30 kHz, 50 kHz und 70 kHz.

Noise

Als der die Ortung limitierender Faktor werden Windgeräusche von der Meeresoberfläche angenommen. Dabei werden Windgeschwindigkeiten von 2 m/s, 6 m/s und 10 m/s untersucht. Die Modellierung erfolgt nach einem Modell des Applied Physics Laboratory der University of Washington (APL-UW) [3] als Quellpegel von Dipolen auf der Oberfläche. Es ergibt sich eine spektrale Quellpegeldichte SDSL pro Fläche

$$\text{SDSL} = 41.2 + 22.4 \log_{10} v - 15.9 \log_{10} f \quad \text{dB re } \mu\text{Pa}^2 \text{ Hz}^{-1} \quad (2)$$

Dabei steht v für die Windgeschwindigkeit in m/s und f für die Frequenz in kHz. Für geringe Entfernungen von der Oberfläche kann man, unter Vernachlässigung der Dämpfung, aus der spektralen Quellpegeldichte dem APL-UW Modell [3] folgend näherungsweise eine tiefenunabhängige spektrale Rauschdichte NSDL beim Empfänger errechnen zu

$$\text{NSDL} \approx \text{SDSL} + 10 \log_{10} \pi = \text{SDSL} + 4.971 \quad (3)$$

Um jedoch den tatsächlich vom Orca empfangen, spektralen Rauschpegel N_f zu berechnen, muss man die spektrale Quellpegeldichte unter Berücksichtigung des Beampatterns des Empfängers räumlich aufintegrieren.

$$N_f(R) = \left(10^{\text{SDSL}/10} \mu\text{Pa}^2/\text{Hz}\right) \int_{4\pi} b(u) \exp\left(-\frac{2\beta z}{\sin \theta_N}\right) \cos \theta_N d\theta_N d\phi \quad (4)$$

Die Winkel $\theta_N = 90^\circ \dots 180^\circ$ und $\phi = 0^\circ \dots 360^\circ$ sind in Abbildung 3 dargestellt. Dabei steht β für den Absorptionskoeffizienten des Schalls im Wasser in Neper/m.

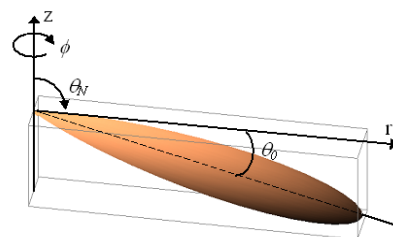


Abbildung 3: Integration des Rauschens von der Oberfläche über das Beampattern des Sonars

Da das Geräusch nur von der Oberfläche stammt, muss nur über einen Halbraum integriert werden. Die sphärische Integration muss für jede Zielentfernung separat ausgeführt werden, da die Hauptkeule des Sonars jeweils einen anderen Depressionswinkel θ_N hat und somit der Anteil der Haupt- und Nebenkeulen, die im Bereich des Quelleinflusses von der Oberfläche liegen, wechselt.

Um aus der spektralen Quellpegeldichte den tatsächlich empfangenen Rauschpegel In-Beam Noise Level (IBNL) zu berechnen, muss über den betrachteten Frequenzbereich des Pulses integriert werden. Somit ergibt sich

$$IBNL(R) = 10 \log_{10} \left(\frac{\int N_f(R) df}{1 \mu Pa^2} \right) \quad (5)$$

Der Noise Level NL, den ein Empfänger mit omnidirektionaler Empfangscharakteristik empfangen würde, ergibt sich analog zu Gleichung 5 durch die Integration über die spektrale Rauschdichte NDSL. Die Differenz dieser beiden Rauschpegel ist als Antennengewinn zu verstehen. Abbildung 4 zeigt links den In-Beam Noise Level für die berechneten Windgeschwindigkeiten und rechts den von der Windgeschwindigkeit unabhängigen Antennengewinn.

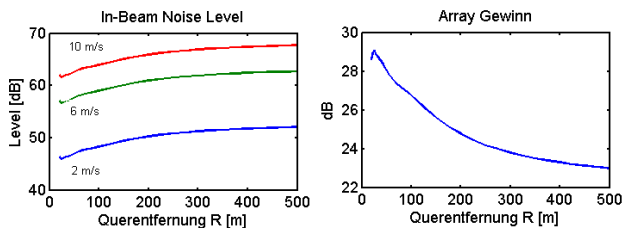


Abbildung 4: links: In-Beam Noise Level für Windgeschwindigkeiten von 2 m/s, 6 m/s und 10 m/s, rechts: Antennengewinn durch Orca Sonar

Ergebnisse

Zur Berechnung der Echostärke und, daraus folgend, des Signal-zu-Rausch Verhältnisses ist es erforderlich, das Sonar Zielmaß des Lachses und den Sendepiegel des Orca zu kennen. Nach Foote [4] wird für das Zielmaß der Wert -30 dB angenommen und nach Au [2] ein Sendepiegel von 200 dB. Für die Ausbreitungsrechnung wird ein Raytracing Verfahren verwendet, dass auf dem dynamischen Raytracing nach Červený [5] basiert. Abbildung 5 zeigt Echopegel und Signal-zu-Rauschverhältniss für die Zielentfernung 100 m.

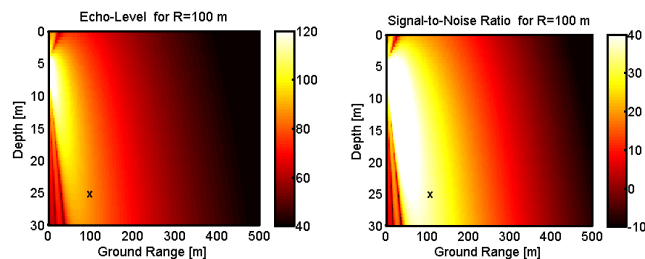


Abbildung 5: Echo Level und Signal-zu-Rausch Verhältnis für das Ziel in einer Entfernung von 100 m. Der Punkt markiert den Ort 100 m / 25 m Tiefe an der das Fisch angenommen wird.

Für die Zieltiefe von 25 m kann man die Echopegel im Vergleich zu dem gesamten Störschallpegel setzen, der sich aus dem Geräusch von der Oberfläche sowie dem Nachhall von der Oberfläche und aus den Wasservolumen zusammensetzt. Abbildung 6 zeigt den Vergleich für die Windgeschwindigkeit 6 m/s. Wie man erkennt, dominiert das Oberflächengeräusch den Störschall klar bei dem gegebenen Szenario.

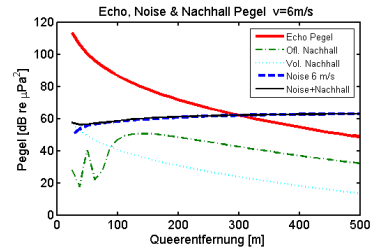


Abbildung 6: Echo Level, Rauschen und Nachhall in 25 m Tiefe für 6 m/s Windgeschwindigkeit.

Aus der Differenz des Echopegels und des Störschallpegel ergibt sich das Signal-zu-Noise Verhältnis. Abbildung 7 zeigt dieses für Windgeschwindigkeiten von 2 m/s, 6 m/s und 10 m/s. Je nach Annahme der Signalverluste bei der Detektion beim Orca kann man daraus Ortungsreichweiten abschätzen, die sich, in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit, im Bereich von 200 m bis 400 m befinden.

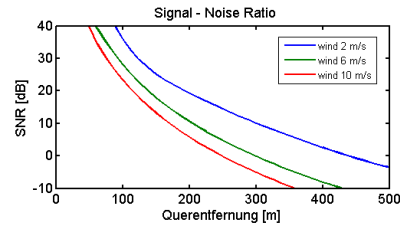


Abbildung 7: Signal-zu-Rausch Verhältnis über der Entfernung für Windgeschwindigkeiten von 2 m/s, 6 m/s und 10 m/s

Literatur

- [1] M. A. Ainslie, M. Zampolli: Sonar scenario A1: Killer whale vs. Chinook salmon, David Weston Memorial Symposium II, Proc. IOA Vol. 32, Part 2, 2010
- [2] W. W. L. Au, J. K. B. Ford, J. K. Horne, K. A. Newman Allman: Echolocation signals of free-ranging killer whales (*Orcinus orca*) and modelling of foraging for chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*), J. Acoust. Soc. Am. 115 (2004), 901-909
- [3] APL-UW High-Frequency Ocean Environmental Acoustic Models Handbook, APL-UW TR9407, AEAS 9501 October 1994, Applied Physics Laboratory, University of Washington, Seattle, Washington
- [4] K. G. Foote: Target strength of fish, in M. J. Crocker (ed.), Encyclopedia of Acoustics, S. 493-500, Wiley, New York, 1997
- [5] V. Červený: Ray tracing algorithms in three-dimensional laterally varying layered structures", in Seismic Tomography, in G. Nolet (ed.), Reidel, Boston, 1987