

# Warnung vor in Betrieb befindlichen Taucherdetektionssonaren zum Schutz für Taucher

Dietmar Stiller

WTD 71, Zentrum für Wasser-, Körper-, Luftschall

Berliner Straße 115, 24340 Eckernförde, Deutschland, Email: dietmarstiller@bundeswehr.org

## Einleitung

Zum Schutz von Schiffen oder Hafeneinrichtungen gegen Angriffe aus dem Unterwasserbereich werden zunehmend Taucherdetektionssonare eingesetzt. Dabei handelt es sich um aktive akustische Sensoren, weil sich im Wasser nur Schallwellen so weit ausbreiten, dass sich eine Ortung relevanter Reichweite erzielen lässt [1, 2]. Der Schutz von im Wasser befindlichen Taucher vor zu hohen Schallpegeln muss dabei gewährleistet sein. Dafür ist ein Warngerät erforderlich, das dem Taucher einen zu hohen Schallpegel anzeigt, da viele Sonare in nicht hörbaren Frequenzbereichen arbeiten und diese Schallpegel nicht vom Taucher wahrgenommen werden können. In diesem Beitrag wird ein das Konzept für ein Warngerät vorgestellt. Dafür wird das Umgebungsgeräusch mit einem Hydrophon analysiert. Da die Grenzwerte für Taucher frequenzabhängig sind, ist eine frequenzselektive Analyse der Daten notwendig. Ein einfacher Energiedetektor zur Bestimmung des Pegels ist nicht ausreichend.

Um die Unterscheidung im Frequenzbereich vornehmen zu können, bieten sich als Parameter zur Identifizierung eines in Betrieb befindlichen Sonars die Mittenfrequenz  $f_0$ , die Bandbreite  $B$ , die Signaldauer  $T$  und die Pulswiederholrate  $PRT$  als Kenngrößen an. Die Konzeption der Algorithmen und der Realisierung soll dabei die begrenzten Ressourcen eines kleinen, mobilen Geräts berücksichtigen, das Akku betrieben den Taucher über eine lange Zeit unterstützen kann.

## Signalverarbeitung

Die in der Einleitung aufgeführten Parameter werden an Messungen getestet, die im Rahmen von unterschiedlichen Messkampagnen erhoben worden sind [3]. Bei den verwendeten Daten wurde das Umgebungsgeräusch im Hafen aufgenommen. Dieses ist überlagert mit den Sendesignalen unterschiedlicher aktiver Sonare in verschiedenen Frequenzbereichen, sowie einem Unterwasserlautsprecher im hörbaren Frequenzbereich zur Taucherabschreckung.

## Spektrogramm

In Abbildung 1 ist das Spektrogramm ohne Normierung für die Dauer von 1 s für zwei unterschiedliche Zeitabschnitte dargestellt. Dadurch wird ein Eindruck des Umgebungsgeräusches und die Art der Sendeereignisse vermittelt. Im ersten Abschnitt (Abbildung 1 oben) sind neben zwei Sendeereignissen deutlich tonale, teilweise gepulste Geräusche zu sehen, die sich deutlich vom Hintergrund abheben. Die Sendeereignisse haben eine Mittenfrequenz von ca. 100 kHz und von ca. 35 kHz. Für die

se Zeit- und Frequenzabschnitte ist der Schalldruckpegel zu berechnen. Die tonalen Anteile werden während der Sendeereignisse teilweise maskiert. Im zweiten Abschnitt (Abbildung 1 unten) ist bei 100 kHz ein langer CW zu sehen. Dieser Geräuschanteil ist ebenfalls auf ein Sonar zurückzuführen, dass in einem Wechselbetrieb eingesetzt wurde, in dem LFM und CW abwechselnd ausgesendet wurden. Für die Einhaltung der Grenzwerte, die weiter unten genauer dargestellt werden, ist der am Ort des Tauchers gemessene Pegel relevant und nicht der emittierte Quellpegel der Sonare. In dem hier untersuchten Daten-

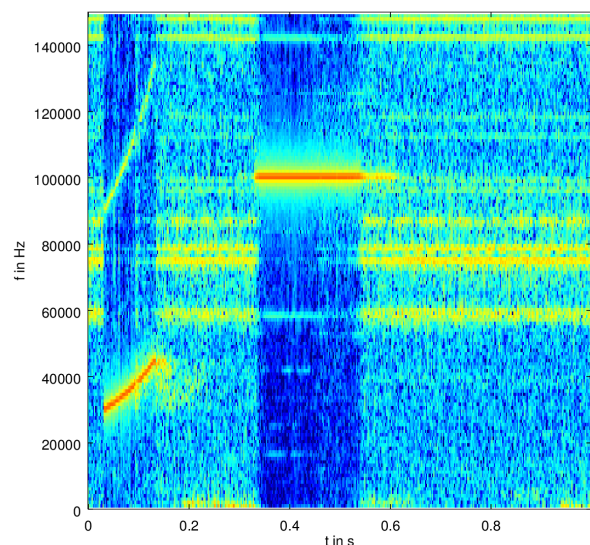
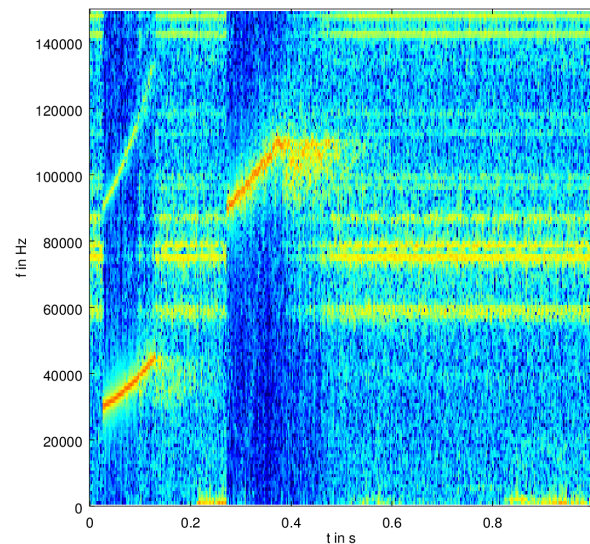


Abbildung 1: Spektrogramm der Umgebung mit Sendeereignissen.

satz sind 20 Sendeereignisse vorhanden, die von Taucherdetektionsonaren in unterschiedlichen Betriebsmodi erzeugt wurden. Diese sind automatisiert zu detektieren. Als Ausgangspunkt für die Signalverarbeitung werden Spektrogramme verwendet, wie sie in Abbildung 1 dargestellt sind. Daran schließen sich weitere Signalverarbeitungsschritte an, die nachfolgend beschrieben werden.

## Normierung

Es wird eine Überlappung von 75% mit Hanning-Fenster der Länge 0.1 s verwendet. Spektral wird das Ergebnis mit dem Median des Hintergrundes normiert. Parallel wird ein Zeitpuffer von 1 s gebildet, dessen Median ebenfalls berechnet wird. Beide Vektoren werden einer Schwellwertentscheidung unterzogen, so dass eine Kombination aus zeitlicher und spektraler Detektion entsteht.

## Segmentierung

Anschließend werden aus einer Matrix mit Hilfe von Segmentierungsalgorithmen aus der Bildverarbeitung (z.B. [4]) Objekte extrahiert. Dazu ist ein weiterer Puffer notwendig, der mit einer Länge von 10 s angesetzt wird. Der Speicherbedarf für diesen großen Puffer beträgt etwa 5 MB, was für die Realisierung auf Kleincomputern keine besondere Herausforderung darstellt. Nach der Segmentierung wird jedes Gebiet ausreichender Pixelanzahl wird als Objekt betrachtet und es werden die folgenden Merkmale gebildet:

- SNR
- Mittelwert
- Pixel Anzahl
- Gewichteter Schwerpunkt  $\Rightarrow f_0$
- Länge in Pixel  $\Rightarrow T$  in s
- Breite in Pixel  $\Rightarrow B$  in Hz
- Exzentrizität und Orientierung der Hauptachse der Ellipse, die die gleichen Momente 2. Ordnung zu dem Gebiet besitzt.

Durch diese Arbeitsschritte erfolgt in dem hier betrachteten Datensatz eine Komprimierung von etwa 1,2 Millionen Pixeln auf 24 Objekte, aus denen die in der Einleitung aufgeführten Parameter zu extrahieren sind. Für die Klassifikation wird ein regelbasierter Ansatz gewählt, da dieser ohne Trainingsdaten auskommt. Die Herleitung der Regeln und die Funktionsweise der Klassifikation wird hier nicht dargestellt. Aus den Objekten kann der Pegel frequenzabhängig bestimmt werden. Da es sich um gepulste Geräusche handelt, wird die Definition für Einzelschallereignisse analog zu [5] für den Unterwasserbereich verwendet. Sie lautet:

$$L_{eq,1s} = 10 \log \left( \frac{1}{T} \int_{t=0}^T \left( \frac{p(t)}{p_{ref}} \right)^2 dt \right),$$

wobei  $p_{ref} = 1 \mu\text{Pa}$  ist.

## Realisierungskonzept

Die Realisierung ist auf einem Einplatinenrechner und mit Open-Source Software Octave durchgeführt worden, um einerseits einen überschaubaren Energiebedarf und andererseits eine relativ große Entwicklungsfreiheit zu erreichen. Das Experimentalsystem ist bislang nicht echtzeitfähig, allerdings sind die wesentlichen Komponenten für das Monitoring realer Daten in einem realen Umfeld realisiert und die Handhabbarkeit durch Taucher im Tauchvorgang ist berücksichtigt worden.

## Grenzwerte

In der Literatur existieren unterschiedliche Grenzwerte für den maximalen Schalldruckpegel für Taucher, von denen viele nicht öffentlich zugänglich sind. Eine öffentlich zugängliche Quelle ist eine NATO Schutzvorschrift [6] für den Einsatz von Tauchern, in der Grenzwerte aufgeführt sind. In dieser Vorschrift sind die in Tabelle 1 aufgeführten frequenzabhängigen Schalldruckpegel festgelegt. Unterhalb dieser Pegel hat ein Taucher keine Gefährdungen zu befürchten. Die genauere Wirkweise des Schalldruckpegels auf Taucher ist in [7] dargestellt.

Frequenz	Max. Pegel in dB re. 1 $\mu\text{Pa}$ @ 1m
125 Hz - 4 kHz	160 dB
25 kHz - 31,5 kHz	172 dB
31,5 kHz - 250 kHz	177 dB

**Tabelle 1:** Maximaler Schalldruckpegel für Taucher für unterschiedliche Frequenzen.

## Literatur

- [1] Urick, J.: Principles of Underwater Sound, 3d ed., McGraw-Hill, New York, 1983.
- [2] Hodges, P.: Underwater acoustics : analysis, design, and performance of sonar, Wiley, 2010.
- [3] Stiller, D.: Investigations on small target detection under water, AIA-DAGA, Meran, 2013.
- [4] Haralick, R., Shapiro, L.: Image segmentation techniques, Computer Vision, Graphics and Image Process., vol. 29, pp. 100- 132, 1985.
- [5] DIN 1320, Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1997
- [6] Staff Instruction 77, NATO URC Human Diver And Marine Mammal Risk NATO Mitigation Rules, NATO Undersea Research Centre ( NURC), La Spezia, Italy, 2004
- [7] Parvin S J, Cudahy E A and Fothergill D M.: "Guidance for diver exposure to underwater sound in the frequency range from 500 to 2500 Hz". Proceedings of Undersea Defence Technology, La Spezia, Italy, 2002