

# FMCW-Sonar zur Kleinzielortung

Dietmar Stiller

WTD 71, Forschungsbereich für Wasserschall und Geophysik,  
Berliner Straße 115, 24340 Eckernförde, Deutschland, Email: dietmarstiller@bwb.org

## Einleitung

Schiffe der Marine können in Häfen und auf Reede, insbesondere in Einsätzen, einer asymmetrischen Bedrohung aus dem Unterwasserbereich ausgesetzt sein. Diese Bedrohung von Schiffen kann zum Beispiel durch Taucher (mit und ohne Schwimmhilfe), durch AUVs (Autonomous Underwater Vehicle) oder auch durch Mini-Uboote erfolgen. Die schwierigste Bedrohung geht vom Taucher aus, da er sich am langsamsten fortbewegt, selbst kaum Geräusche erzeugt und ein kleines Zielmaß besitzt.

Als Sensor für die hier vorgestellten Detektionsversuche im Hafengebiet und auf Reede wurde ein aktives hochfrequentes Sonar verwendet. Um Ziele mit sehr kleinem Zielmaß detektieren zu können, werden Sonare mit hoher Auflösung benötigt. Die Entfernungsauflösung wird durch eine hohe Bandbreite des Sonars vergrößert. Eine möglichst gute Richtungsauflösung wird durch eine hohe Anzahl an Antennenelementen erreicht. Zur Detektion werden dabei unter Wasser sowohl passive als auch aktive akustische Verfahren eingesetzt.

Da die Bedrohung im Hafen und auf Reede permanent besteht, ist eine durchgehende Überwachung erforderlich. Durch die extremen Flachwasserbedingungen im Hafen und auf Reede treten bei der aktiven Ortung sehr viele Falschalarme auf. Zudem ist die Reichweite stark von den variablen Umgebungsbedingungen abhängig und entzieht sich damit teilweise der Beeinflussung durch das Systemdesign [2]. An das Gesamtsystem werden sehr hohe Anforderungen bezüglich einer möglichst geringen Falschalarmrate gestellt. Dazu wird neben der Standard-Signalverarbeitung über Matched Filterung das Verfahren FMCW-Sonar<sup>1</sup> zur Kleinzielortung untersucht.

## Signalverarbeitung

Als Sendesignal wird bei der Aktivortung häufig ein Linear Frequenz Modulierter Puls (LFM), bei dem die Frequenz während der Pulsdauer ansteigt, verwendet. Der LFM-Puls bietet mit der Matched Filterung eine genaue Lokalisierung. Die Signalverarbeitungskette ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Blöcke Tracking und Darstellung werden hier nicht weiter betrachtet. Tracking-Verfahren ganz allgemein sind z.B. in [3] beschrieben. Eine Darstellung eines auf Kleinzielortung angepassten Tracking-Verfahrens ist in [4] beschrieben. Der Vergleich der beiden Verfahren Matched-Filterung und FMCW bezieht sich auf die generierten Kontaktdaten, die die Eingangsdaten für das Tracking-Verfahren darstellen.

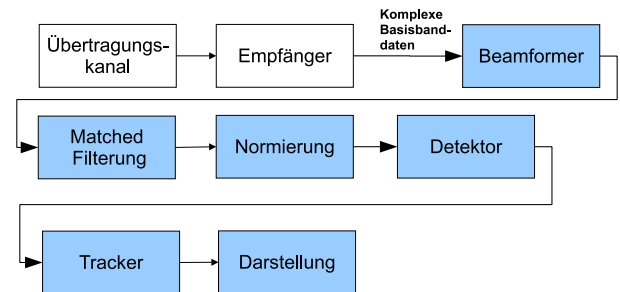


Abbildung 1: Blockschaftbild der Standard-Auswertung.

## FMCW-Sonar

Im Radarbereich ist das FMCW-Verfahren bekannt [1], bei dem ein kontinuierliches Sendesignal in der Frequenz verändert wird. Das Prinzip ist in Abbildung 2 dargestellt.

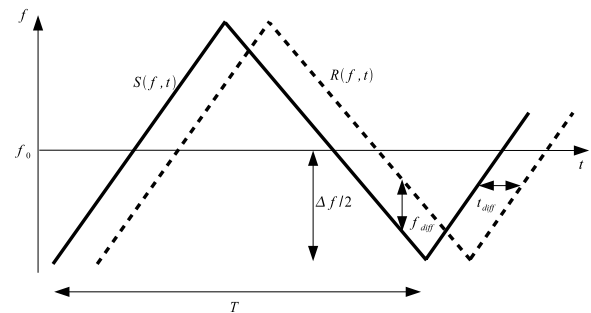


Abbildung 2: Prinzip des FMCW.

Aus Abbildung 2 kann man die Beziehung  $\frac{\Delta f}{f_{\text{diff}}} = \frac{T/2}{t_{\text{diff}}}$  ablesen. Mit  $r = \frac{c \cdot t_{\text{diff}}}{2}$  ergibt sich:

$$r = \frac{f_{\text{diff}} \cdot c \cdot T}{4\Delta f} \quad (1)$$

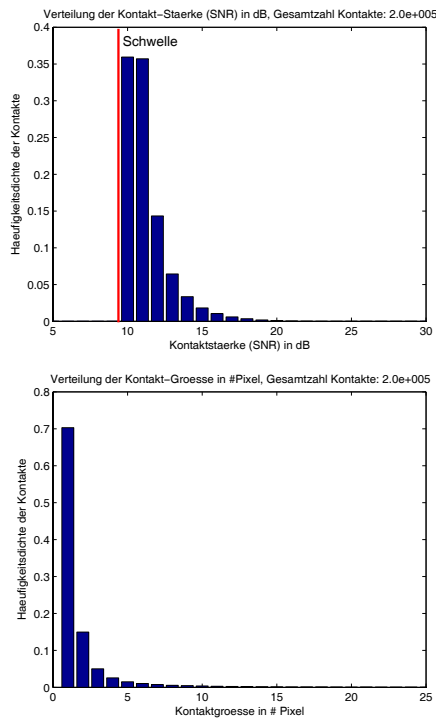
Eine eindeutige maximale Entfernung  $R$  lässt sich mit bis zu  $f_{\text{diff}} = \Delta f$  angeben, also  $R = \frac{c \cdot T}{4}$ . Durch die Verwendung eines LFM zur FMCW-Auswertung wird dies zur Quasi-FMCW. Da es sich bei dem LFM-Signal um ein gepulstes Verfahren handelt, ist die maximale Entfernung durch die Pulswiederholrate bestimmt. Es ergibt sich  $R = \frac{c \cdot T}{2}$ , wie für die Standard-Signalverarbeitung auch. Für die Auswertung der Frequenzverschiebung wird ein Spektrogramm gebildet. Dabei tritt in Entfernungsrichtung eine Abstratenreduktion auf. Die Anzahl der FFTs ist maßgeblich für die Reduzierung der Abstrate. Die Anzahl der berechneten FFTs  $N$  ergibt sich zu  $N = \lfloor (M - L_w) / N_{no} \rfloor + 1$ , wobei  $M$  die Anzahl der Samples,  $L_w$  die Länge des Analysefensters und  $N_{no}$  die

<sup>1</sup>FMCW - frequency modulated continuous wave

Anzahl der nicht überlappenden Samples ist. Der Zeitbezug der FFTs ergibt sich aus der Mitte des Datenfensters des jeweiligen Spektrums. Daraus ergibt sich mit der Schallgeschwindigkeit im Wasser die gemessene Entfernung.

## Ergebnisse

Der Vergleich von Matched Filterung und Quasi-FMCW-Auswertung wird anhand von Daten aus Experimenten vorgenommen. Dazu werden die Anzahlen und Eigenschaften von Kontakten ausgewählter Daten verglichen. In diesen Kontakten sind nicht nur die Falschalarme, sondern auch die Detektionen des Ziels enthalten, da Taucher bei den Experimenten eingesetzt wurden. AUV-basierte Echo-Repeater standen nicht zur Verfügung, so dass eine automatische künstliche Trennung nicht möglich ist. Eine saubere Berechnung von sonst üblichen ROC-Kurven<sup>2</sup> ist daher nicht möglich. In Abbildung 3 sind die Verteilung der Stärke der Kontakte und die Größe der Kontakte für die Matched-Filter Auswertung mit einer Schwelle von 10 dB dargestellt. Für die experi-

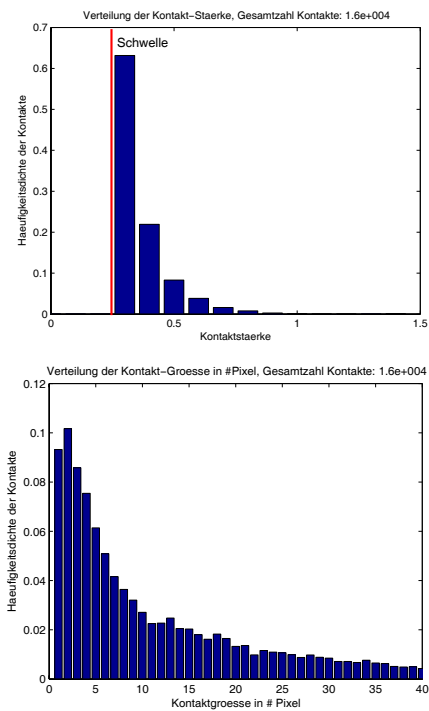


**Abbildung 3:** Die Verteilung der Stärke und Größe der Kontakte für die Matched Filterung bei einer Schwelle von 10 dB.

mentellen Daten ergibt sich für die FMCW-Verarbeitung eine Heruntertastung etwa um den Faktor 5. Stärke und Größe der Kontakte sind in Abbildung 4 dargestellt.

Die Schwelle für die FMCW-Auswertung ist so gewählt, dass die Erstdetektion bei Matched-Filterung und FMCW-Verarbeitung zum gleichen Ping stattfindet. Bei der Kleinzielortung befindet man sich ohnehin häufig im Nachhall begrenzten Fall. Bei der FMCW-Verarbeitung wird die Größe der Kontakte stark aufgespreizt, so dass

<sup>2</sup>receiver operating characteristic, siehe [2]



**Abbildung 4:** Die Verteilung der Stärke und Größe der Kontakte für die FMCW-Auswertung bei einer Schwelle von 0,25.

eine entfernungsabhängige Separierung der Kontakte auf Basis der Größe möglich erscheint. Die Anzahl an Falschalarmen wird in diesem Versuch um etwa den Faktor 12 verringert.

## Zusammenfassung und Ausblick

Die Idee des aus dem Radarbereich bekannten Verfahrens FMCW wurde als Quasi-FMCW in Anwendung mit LFM-Sendepulsen für den Sonarbereich angepasst. Die Anzahl an Falschalarmen wird durch diesen Ansatz stark reduziert. Erkauft wird dieses mit einer größeren Ungenauigkeit bei der Lokalisierung und einem erhöhten Rechenaufwand gegenüber der Matched-Filterung. Eine kombinierte Verwendung mit der Matched-Filter-Auswertung insbesondere in Bereichen hoher Clutter-Dichten ist ohne Weiteres möglich, so dass sich dieses Verfahren als parallele Analyse zur Matched Filterung in ausgewählten Gebieten, sogenannten ROIs<sup>3</sup>, anbietet.

## Literatur

- [1] Stimson, G.: Introduction to Airborne Radar, SciTech Publishing, Mendham (New Jersey), 1998.
- [2] Urick, J.: Principles of Underwater Sound, 3d ed., McGraw-Hill, New York, 1983.
- [3] Blackman, S., Popoli, R.: Design and Analysis of Modern Tracking Systems, Artech House, Boston, 1999.
- [4] Stiller, D.: Detektion und Tracking von Tauchern, DAGA, 2011.

<sup>3</sup>regions of interest