

Automatische Erkennung von Objekten in der Wassersäule

Ein Beitrag von OSKAR KRIWAT

Multibeam-Sonare wie die hier verwendeten ELAC SeaBeam 3030 und 3050 werden schon seit Längerem nicht mehr nur zur Bathymetrie, sondern auch zur Speicherung von Daten der Wassersäule (Water Column Imaging – WCI) mit großen Öffnungswinkeln und hoher Auflösung verwendet. Diese Daten eignen sich dazu, Objekte in der Wassersäule aufzuspüren. Da es sehr aufwendig ist, wenn Menschen die Überwachung oder Analyse der Sonardaten durchführen, ist der Bedarf nach einer automatischen Erkennung von Objekten in der Wassersäule groß. Insbesondere die Erkennung von Gasfahnen submariner Gashydrate ist von Bedeutung. Hierzu wurde in der Bachelorarbeit »Automatische Erkennung von Objekten in der Wassersäule mit Hilfe von Tracking-Algorithmen«, die bei Wärsilä ELAC Nautik durchgeführt wurde, eine entsprechende Software maßgeblich entwickelt.

Autor

Oskar Kriwat studiert Elektro- und Informationstechnik im Master an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

oskar.kriwat@wartsila.com

WCI | Fächerecholote | Gasaustritte | Objekterkennung | Automatic Object Detector | Clustering | Gating

1 Einleitung

Gashydrate, insbesondere Methanhydrat, treten vor allem an Kontinentalhängen auf. Sie stellen die weltweit größte Reserve an fossilem Kohlenstoff dar. Da das Methan in einem grenzstabilen Zustand vorliegt, können geringe Temperatur- oder Druckveränderungen bereits einen Zerfall der Hydrate und ein Aufsteigen des Methangases verursachen. Die Methanblasen können Gasfahnen in der Wassersäule bilden, welche als Indikator für Gashydratvorkommen gelten. Diese Fahnen können sich über 100 m in die Höhe erstrecken. Mit Fächerecholoten lassen sich Bilder der Wassersäule aufzeichnen (WCI-Daten), auf welchen diese Gasfahnen zu erkennen sind. Da Gashydrate sehr großflächig verteilt sind, ist es sehr aufwendig, die Vorkommen zu erkunden. Hierfür und für einen eventuellen Abbau als fossile Energiequelle soll eine Lösung geschaffen werden, die automatisiert eine Erfassung von Gasaustritten durchführen kann. So kann eine Kartographierung der Gasvorkommen oder ein Monitoring von eventuellen Gaslecks deutlich erleichtert werden.

Zu diesem Zweck wurde bei Wärsilä ELAC Nautik eine Software zur automatischen Auswertung der WCI-Daten und zum Auffinden von Objekten

in der Wassersäule entwickelt, der Automatic Object Detector (AOD). Eine zentrale Anforderung an den AOD ist, dass er intuitiv von einem Nutzer ohne besondere Vorkenntnisse verwendet werden kann. Insbesondere wurde dafür eine Benutzeroberfläche für alle Einstellungen sowie zum Starten und Beenden des Programms entwickelt. Ein rudimentärer Software-Rahmen, der WCI-Daten und Konfigurationsdaten einlesen konnte, lag zu Beginn der hier vorgestellten Bachelorarbeit bereits vor.

Die Software wurde speziell für Daten der ELAC SeaBeam 3030/3050 Multibeam-Sonare entwickelt. Diese führen eine Yaw-Stabilisierung mittels mehrerer Teilfächer durch, welche unterschiedliche Sendefrequenzen besitzen und damit verschiedene Bereiche beschallen (Abb. 1). Die Teilfächer werden getrennt gespeichert und erst in der Anwendung wieder zusammengefügt.

2 Datenaufbereitung

Im Vergleich beispielsweise zu optischen Aufnahmeverfahren sind die Daten von Sonaranlagen stark gestört. Deshalb müssen als Vorbereitung für die eigentliche Objekterkennung Störungen, Artefakte und insbesondere auch Nebenkeulen entfernt werden. Zusätzlich wird das Bodenecho entfernt, um die Erkennung von Objekten zu erleichtern. Ziel ist es, dass während des eigentlichen Lokalisiervorgangs nur noch die gewünschten Objekte in den WCI-Daten vorhanden sind.

2.1 Originaldaten

Im Folgenden wird die kartesische Darstellung der WCI-Daten verwendet, bei der Raumwinkel und Entfernung die Koordinatenachsen bilden, was zu einer verzerrten Ansicht des Raumes führt. Diese Darstellung wird verwendet, da sie algorithmisch leichter verarbeitet werden kann und die Sonaranlagen die Daten in dieser Form bereits bereitstellen.

Um Rechenzeit zu sparen, können die Daten auf

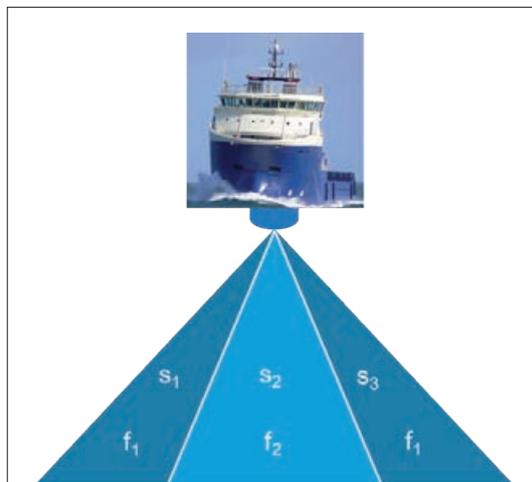


Abb. 1: Veranschaulichung der Beschallung mit drei Sektoren und zwei Frequenzen

einen wählbaren Bereich zugeschnitten werden, in dem Objekte von Interesse erwartet werden.

Abb. 2 zeigt einen Ausschnitt von WCI-Daten, bei denen die oben genannten Teilflächen bei etwa 35° und -35° zu einem gesamten Fächer mit etwa 110° Fächerbreite zusammengeführt wurden, wodurch im WCI-Bild eine sichtbare vertikale Kante entsteht. Im Bereich um 40° ist eine deutliche Gasfahne zu erkennen.

2.2 Nebenkeulenunterdrückung

Nebenkeulen des empfangsseitigen Beamformings stellen eine starke Störquelle dar. Insbesondere nach dem ersten Bodenkontakt machen die Pegel das Erkennen von Objekten deutlich schwieriger. Sie erstrecken sich über alle Werte einer Entfernung (in der kartesischen Darstellung also auf waagerechten Linien, siehe Abb. 2). Die Nebenkeulen lassen sich über geeignete Schwellenwerte reduzieren.

2.3 Reduktion von Störungen und Artefakten

Für die Reduktion von weiteren Störungen und Artefakten wurden unterschiedliche Ansätze verfolgt: Anfangs wurden nacheinander alle Werte eines Raumwinkels (Beams) und alle Werte einer Entfernung jeweils durch ihren Mittelwert geteilt (Normalisierung) und verworfen, wenn sie unter einem Schwellenwert liegen. Danach wurde rücknormalisiert, um Amplitudengleichheit zu gewährleisten. Besser bewährt hat sich während der Arbeit jedoch ein LUM-Filter (LUM – Lower Upper Median), welches mehrfach auf jedes WCI-Bild angewendet werden kann. Ein LUM-Filter ist ein erweitertes Median-Filter, welches Amplituden umsortiert und keine neuen errechnet. Nach dem LUM-Filter wird noch ein gleitendes Mittelwertfenster angewendet, welches die Daten weiter glättet.

2.4 Entfernung des Bodenechos

Im Rahmen der Arbeit wurde ein vorhandener adaptiver Bodenerkennung in den AOD integriert, der mit den Grenzen seines Suchbereichs dem Bodenprofil folgt. Dieser dient dazu, den Boden möglichst zu entfernen. Hierfür wird eine erwartete Echolänge von der gefundenen Bodentiefe abgezogen. Alle danach aufgenommenen Werte werden entfernt.

2.5 Ergebnis der Datenaufbereitung

Das Ergebnis aller vorhergehenden Schritte ist in Abb. 3 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass fast alle Amplituden, die nicht zu der Gasfahne gehören, durch die Aufbereitung entfernt wurden.

3 Objekterkennung

Nach der Datenaufbereitung werden Positionen mit erhöhten Amplituden gegenüber dem umgebenden Gebiet als vorläufige Objekte lokalisiert. Die nachfolgende Bearbeitung erfolgt dann auf ei-

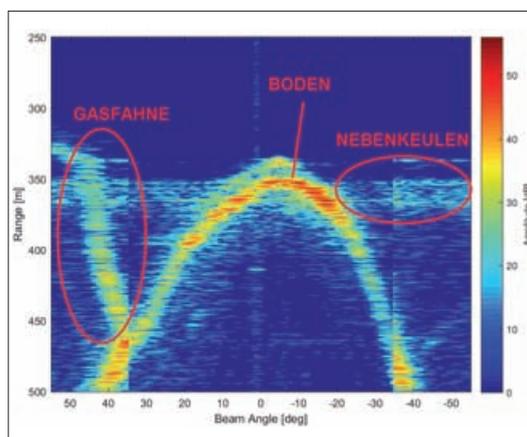


Abb. 2: Ausschnitt aus den WCI-Daten eines ELAC SeaBeam 3050 mit markierten Störungen

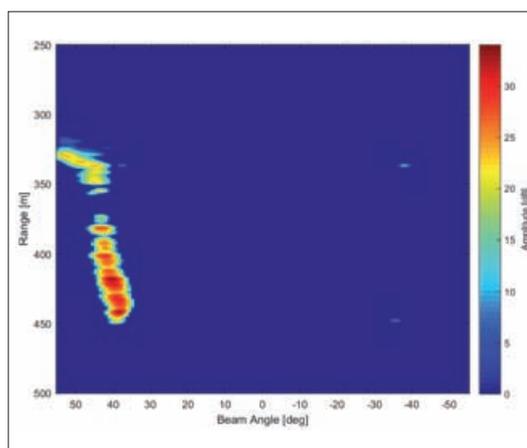


Abb. 3: WCI-Daten nach Datenaufbereitung durch den AOD

ner sogenannten Objektebene, das heißt die WCI-Daten werden nicht weiter verwendet.

In der Objektebene werden nur noch Listen mit Informationen über die Objekte wie beispielsweise Position oder Amplitude verarbeitet.

Die vorläufigen Objekte werden durch die folgenden, ebenfalls in der Bachelorarbeit entwickelten Schritte auf Gasfahnen-Eigenschaften untersucht und zusammengefasst.

In den Gasfahnen erzeugen die Schallreflexionen von Gasblasenverbänden benachbarte Flächen mit überhöhten Amplituden. Einzelne Gasblasen werden in der Regel nicht erkannt.

3.1 Clustering von Objekten

Gasfahnen sind Aggregationen einer gewissen Anzahl von benachbarten Gasblasenverbänden, die in Bodennähe beginnen und sich nach oben erstrecken. Diese Kriterien werden im Clustering mit einbezogen. Hierbei wird angenommen, dass ganze Gasfahnen auf den WCI-Daten eines Pings vorhanden sind.

Aufgrund der Nähe der benachbarten Gasblasenverbände werden beim Clustering pro Ping die einzelnen Objekte nach dem »Single-Linkage Verfahren« zusammengefasst. Das bedeutet, dass ein Cluster dann vollständig ist, wenn keines der Objekte mehr einen Mindestabstand zu irgendeinem anderen Objekt, das nicht zu dem Cluster gehört, unterschreitet.

Anschließend werden die ermittelten Cluster weiter analysiert und deren Flächen approximiert.

Ausgezeichnet mit dem
DHyG Student Excellence
Award 2016



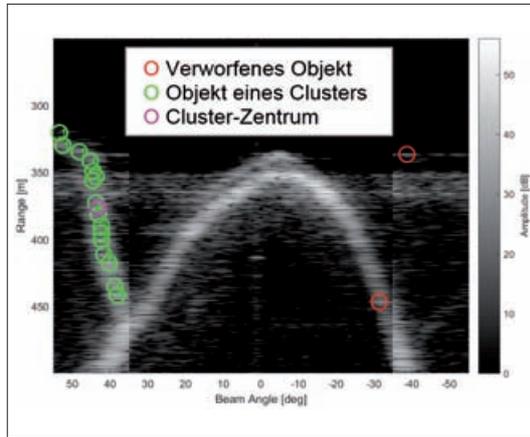


Abb. 4: Ergebnis nach dem Clustering (im Hintergrund schwarz-weiße, originale WCI-Daten)

Hierbei wird jedes Cluster auf bestimmte Eigenschaften untersucht, um andere Objekte oder Reststörungen von Gasfahnen zu trennen. Cluster, die folgende Anforderungen nicht erfüllen, werden verworfen:

- Jedes Cluster muss ein Objekt beinhalten, das nah genug am Boden ist.
- Jedes Cluster muss ein Objekt beinhalten, das eine bestimmte Höhe über dem Boden erreicht.
- Jedes Cluster muss eine minimale Anzahl an Objekten beinhalten.

Die grünen Kreise in Abb. 4 markieren die Positionen von lokalisierten Objekten, die zu einem Cluster zusammengefasst wurden, und zwar mit einer pingbezogenen Cluster-Nummer, die jeweils innerhalb der grünen Kreise platziert ist. Um den Bezug zu den WCI-Daten sichtbar zu machen, sind die Objektpositionen auf den Originaldaten eingetragen. Der purpurne Kreis markiert die Mittenposition des Clusters. Rote Kreise markieren Objekte, die nach dem Clustering verworfen wurden.

Hierbei ist anzumerken, dass die Parameter für

Abb. 5: Verdeutlichung der Schritte des AOD

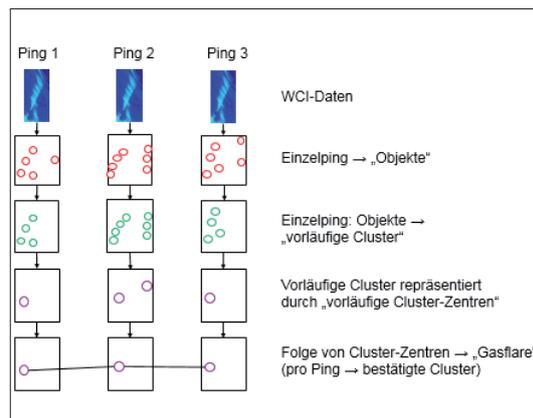
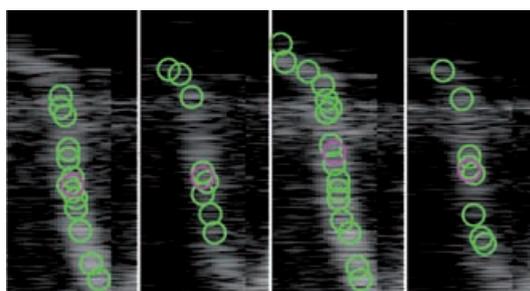


Abb. 6: Tracking-Ergebnis



die Bodennähe und Bodenentfernung so eingestellt wurden, dass Gasfahnen möglichst gut erkannt werden können. Jedoch ist es durchaus möglich, mit angepassten Parametersätzen auch andere Objekte in der Wassersäule zu erkennen und Gasfahnen beispielsweise gezielt auszusortieren.

Die verbleibenden pingbezogenen Cluster werden anschließend im Kontext mehrerer Pings untersucht, wie nachfolgend beschrieben.

3.2 Tracking der Cluster-Mittelpunkte

Die Schlüssigkeit der Cluster über mehrere Pings wird mit einem vereinfachten Tracking der Cluster-Mittelpunkte ermittelt. Es wird angenommen, dass das Schiff mit konstanter Geschwindigkeit geradeaus fährt und mit jedem Ping einen gewissen Bodenbereich (»Footprint«) untersucht, wohingegen Gasfahnen stationär sind.

Es wird daher erwartet, dass ein Cluster aufgrund seiner räumlichen Ausdehnung in M aufeinanderfolgenden Pings im Footprint des Sonars liegen muss. Um diverse Störfaktoren zu kompensieren, wird akzeptiert, dass nur in N aus M Pings die Gasfahne tatsächlich zu erkennen ist. Allerdings dürfen dabei nur L aufeinanderfolgende Lücken entstehen. Diese Kriterien werden »M/N/L-Logik« genannt.

Um festzustellen, ob ein Cluster in einem Folgeping wieder gefunden wurde, wird ein Gating durchgeführt. Hierbei wird ein Fenster um die letzte bekannte Position gelegt und in diesem nach einem neuen Cluster-Zentrum gesucht. Ist eins vorhanden, wird angenommen, dass es sich dabei um dieselbe Gasfahne handelt wie zuvor. Werden mehrere Cluster-Zentren gefunden, wird der Track verzweigt und beide Pfade werden weiter verfolgt. Hierdurch wird auch die Notwendigkeit des Clusterings zur Minimierung der zu verfolgenden Objekte begründet, da die Anzahl der Tracks exponentiell mit der Anzahl der zu verfolgenden Objekte steigen kann.

Sind alle Kriterien (M/N/L) erfüllt, werden die Cluster, die bis dahin nur einen vorläufigen Status hatten, als bestätigte Cluster markiert und ihre Positionen vom AOD in eine XML-Datei, das Object Log, geschrieben.

Die einzelnen Schritte von den identifizierten Einzelobjekten bis hin zum Tracking sind in Abb. 5 noch einmal dargestellt.

In Abb. 6 ist das Ergebnis des Trackings für vier Pings dargestellt.

4 Bewertung der Ergebnisse

Im Folgenden werden verschiedene Aspekte des AOD wie Benutzbarkeit, Performance und Detektionswahrscheinlichkeit bewertet.

4.1 Konfigurationsparameter

Der AOD besitzt ungefähr 80 Konfigurationsparameter. Davon sind ungefähr 15 für allgemeine Programmeinstellungen wie das zu speichernde Bild-

format oder die Farbe der Objektmarkierungen zuständig. Die restlichen 65 sind algorithmische Parameter, die noch nicht abschließend optimiert worden sind und die mitunter erheblichen Einfluss auf den AOD und Wechselwirkungen untereinander haben.

4.2 Vereinfachungen

Bei der Entwicklung des AOD wurden mehrere Vereinfachungen vorgenommen: Um die Komplexität des AOD zu begrenzen, wurde in der Entwicklung darauf verzichtet, stark verdriftete Gasfahnen, von denen nur eine Scheibe in einem Ping aufgenommen werden kann, zu detektieren. Außerdem wurde eine konstante Schiffsgeschwindigkeit angenommen, mit der die Tracking-Parameter bestimmt wurden.

Da einzelne Gasblasen im Allgemeinen nicht trennbar sind, werden genau genommen Gasaggregationen detektiert und zu Gasfahnen zusammengefasst, deren Amplituden in den WCI-Daten stark fluktuieren.

4.3 Systematische Evaluierung

Für die Optimierung der algorithmischen Parameter ist es erforderlich, eine fundierte Aussage über die Ergebnisse des AOD liefern zu können. In der Bachelorarbeit wurden vier grundlegende Ereignisse für die Evaluierung definiert:

- In einem Ping wurde eine Gasfahne richtig detektiert (True Positive – TP). Dies kann mehrfach pro Ping passieren.
- In einem Ping ohne Gasfahne wurde keine Gasfahne erkannt (True Negative – TN). Dies kann nur ein Mal pro Ping passieren.
- Eine Gasfahne wurde entdeckt, wo tatsächlich keine vorhanden war (False Positive – FP). Dies kann in einem Ping mehrfach auftreten.
- Eine Gasfahne wurde nicht entdeckt (False Negative – FN). Dies kann ebenfalls mehrfach pro Ping passieren.

Zu beachten ist hierbei, dass jeder Ping einzeln ausgewertet wird. Insbesondere die Anzahl der »True Positives« ist nicht direkt mit der realen Anzahl an Gasfahnen verknüpft, da nicht beachtet wird, ob es sich in aufeinanderfolgenden Pings um dieselbe Gasfahne handelt oder nicht.

Basierend auf den obigen Ereignissen lassen sich eine Detektionswahrscheinlichkeit P_D sowie eine Falschalarmrate FAR berechnen:

$$P_D = \frac{\text{Anzahl der TP}}{\text{Anzahl der TP} + \text{Anzahl der FN}}$$

$$FAR = \frac{\text{Anzahl der FP}}{\text{Anzahl der Pings}}$$

Wärtsilä ELAC Nautik hat basierend auf den Definitionen aus der Bachelorarbeit eine Software zur systematischen Evaluierung des AOD bezüglich der oben genannten Ereignisse entwickelt. In dieser können Object-Log-Dateien, die beispielsweise

vom AOD generiert wurden, mit anderen Object-Log-Dateien abgeglichen werden, wobei eine der beiden Dateien als korrekte Referenz dient. Um Referenzdateien zu generieren, wurden von Hand Tausende Pings auf Gasfahnen untersucht und Object-Log-Dateien erstellt. So eröffnet sich die Möglichkeit einer fundierten Aussage über die Leistung des AOD.

Bei der Entscheidung, welches der oben genannten Ereignisse jeweils vorliegt, werden gewisse Toleranzen im Winkel, in der Entfernung und in Ping-Richtung, also in der Zeit, zugelassen. Mit der Software lässt sich gut systematisch analysieren, wie sich Veränderungen in den Algorithmen des AOD oder in den Parametern auf die Endergebnisse auswirken. Es lassen sich durch die Darstellungen auch direkt Pings identifizieren, in denen der AOD bessere oder schlechtere Ergebnisse erzielt hat, sodass die Ursachen schneller identifizierbar sind.

Im Folgenden werden Daten, die 2010 vom Geomar im Donaudelta aufgenommen wurden, verwendet. Aus diesem Datensatz stammen auch die obigen Auszüge.

Für Abb. 7 wurden 2300 Pings ausgewertet mit hohen Toleranzen innerhalb eines Pings und einem Ping erlaubter Abweichung in Ping-Richtung. Die hohen Toleranzen innerhalb eines Pings wurden zunächst deshalb zugelassen, weil die genaue Lage einer Gasfahne unter dem Schiff weniger wichtig bewertet wurde, als die Information, dass eine Gasfahne in dem überfahrenen Gebiet vorhanden war. Die große Anzahl der »True Positives« in Abb. 7 resultiert daraus, dass oftmals mehrere Gasfahnen auf aufeinanderfolgenden Pings richtig detektiert wurden, wobei jede gefundene Gasfahne auf jedem Ping als »True Positive« zählt.

Aus den Daten wurden für den untersuchten Datensatz mit den untersuchten Parametern eine Detektionswahrscheinlichkeit $P_D = 84,1\%$ sowie eine Falschalarmrate $FAR = 0,105$ bestimmt. Die Testergebnisse sind vielversprechend und zeigen, dass der AOD ein hilfreiches Werkzeug zur automatischen Erkennung von Objekten in der Wassersäule ist.

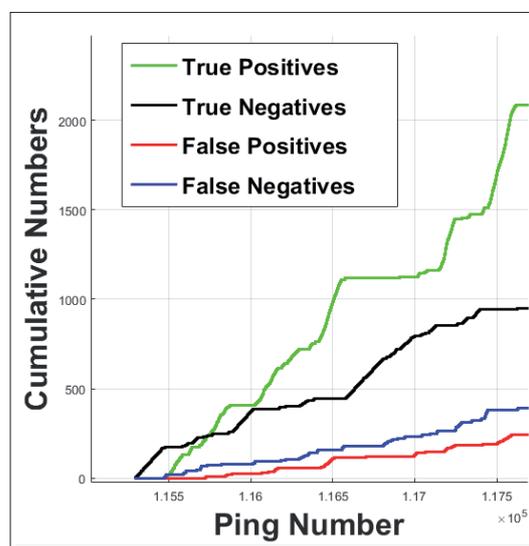


Abb. 7: Darstellung der Ergebnisse der Evaluierung eines AOD-Laufs über etwa 2300 Pings

4.4 Object Log

Die entstehenden XML-Dateien, welche die Lage aller gefundenen Objekte enthalten, sind kompatibel mit dem ELAC WCI Viewer, einem Programm von Wärtsilä ELAC Nautik zur Online- und Offlinedarstellung von hochaufgelösten WCI- und Sensordaten. Sie können von diesem Programm zu Analyse Zwecken eingelesen und angezeigt werden.

4.5 Stand der Produktentwicklung

Der AOD wurde nach der Bachelorarbeit im Rahmen einer Werkstudententätigkeit weiterentwickelt, und zwar schwerpunktmäßig hinsichtlich der Bedienbarkeit und Performance.

Der AOD ist eine operational anwendbare Software-Applikation, die von Nutzern intuitiv verwendet werden kann. Sie besitzt eine graphische Nutzeroberfläche, über die alle relevanten Informationen dargestellt und alle Parameter eingestellt werden können. Außerdem können Bilder und Videos von Zwischenschritten erstellt werden, was für die Analyse von Algorithmen sehr hilfreich ist. Alle Ergebnisse und die verwendete Konfiguration werden in einem wählbaren Verzeichnis abgelegt.

4.6 Performance

Der AOD ist derzeit noch nicht für Echtzeitanwendungen einsetzbar. Die Laufzeit des AOD wird von Parametern wie dem ausgewählten Lokalisieralgorithmus, der Anzahl der LUM-Filterungen und dem gewählten Ausschnitt aus den Daten maßgeblich mitbestimmt.

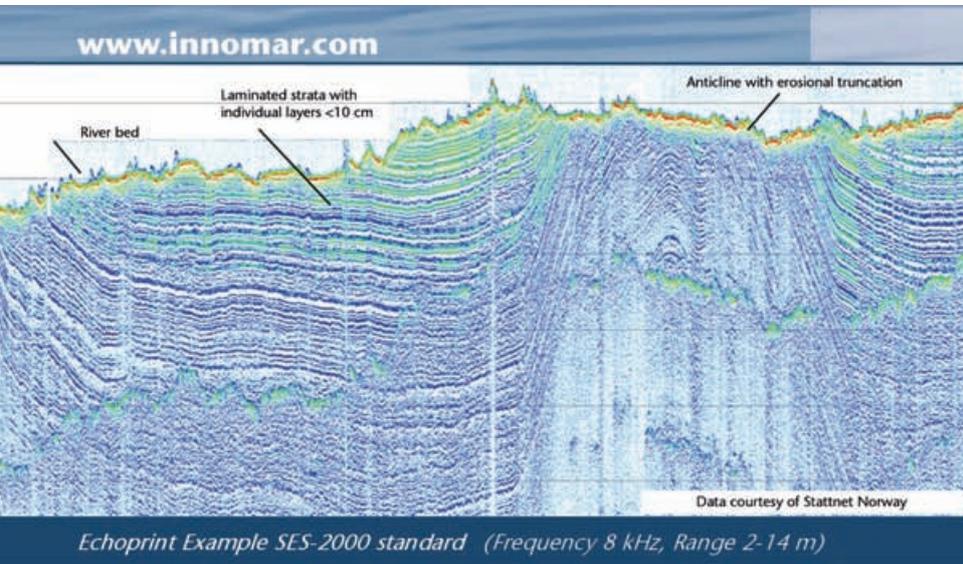
Typischerweise werden Datenverarbeitungsraten von 30 MB/s bis 100 MB/s erreicht, was etwa 3 bis 10 Sekunden pro Ping entspricht.

Zu beachten ist dabei, dass derzeit nur ein Prozessorkern für die Berechnungen benutzt wird, was durchaus Raum für Optimierungen lässt.

5 Ausblick

Für die Zukunft sollen mit Hilfe der oben genannten Evaluierungssoftware die Konfigurationsparameter weiter untersucht und optimiert werden. Gegebenenfalls wird es möglich sein, die Anzahl der einzustellenden Parameter zu reduzieren.

Darüber hinaus sind weitere Performance-Optimierungen des AOD geplant. Es ist das Ziel, unter anderem durch Parallel Processing die Algorithmen so zu beschleunigen, dass die Software online, das heißt während des Aufzeichnens der WCI-Daten, verwendet werden kann. 



SES-2000 Parametric Sub-Bottom Profilers

Discover sub-seafloor structures and embedded objects with excellent resolution and determine exact water depth

- ▶ Different systems for shallow and deep water operation available
- ▶ Menu selectable frequency and pulse width
- ▶ Two-channel receiver for primary and secondary frequencies
- ▶ Narrow sound beam for all frequencies
- ▶ Sediment penetration up to 200m (SES-2000 deep)
- ▶ User-friendly data acquisition and post-processing software
- ▶ Portable system components allow fast and easy mob/demob
- ▶ Optional sidescan extension for shallow-water systems

3 m
5 m
7 m
9 m
11 m
13 m

SES-2000 compact

SES-2000 standard

SES-2000 AUV/ROV

SES-2000 medium
SES-2000 deep

Innomar