

Einsatz eines Sedimentecholots für eine Bathymetrie einschließlich Sedimentkartierung

Stephan Heimerl
Beate Kohler

Die Aufnahme der Bathymetrie, also der Gewässersohle in Fließgewässern, Stauräumen oder Talsperren, bedingt immer öfters parallel auch die Ermittlung der Ablagerungen von Sedimenten oder der Untergrundverhältnisse für Gründungen o. ä. Fichtner Water & Transportation setzt für diese Aufgabenstellung ein firmeneigenes parametrisches Sedimentecholot bzw. einen sogenannten Sub-Bottom Profiler ein. Durch das Aussenden unterschiedlicher Frequenzen können verschiedene Eindringtiefen in den Boden erreicht werden, so dass sowohl die Gewässersohle als auch die darunter liegenden Schichtungen im Untergrund erfasst und zugeordnet werden können. Durch die Kombination mit einem GPS-System kann jede Wassertiefen- bzw. Schichtenmessung exakt lokalisiert und darauf aufbauen ein 3-D-Modell des Untergrundes zur Interpretation, z. B. hinsichtlich Schichtdicken oder abgelagerten Volumina etc., erstellt werden.

Stichworte: Bathymetrie, Echolot, Sedimentkartierung, Talsperren, Gewässersohle, Gewässeruntergrund, Gründung

1 Technik

1.1 Grundlagen

Aufgabenstellungen, wie die Aufnahme der Bathymetrie, also der der topographischen Gestalt der Gewässersohle in Fließgewässern, Stauräumen oder Talsperren, bedingen immer öfters parallel auch die Ermittlung der Ablagerungen von Sedimenten sowie der Untergrundverhältnisse.

Für die bathymetrische Aufnahme wird in Gewässern i. d. R. ein Echolot eingesetzt, welches Hochspannungs-Impulse erzeugt. Diese werden über einen Geber in Schallsignale gewandelt und von einem Boot aus nach unten gesendet. Dort wird das Signal vom Gewässerboden und dortigen Materialien, wie z. B. Pflanzen, Einbauten und Wracks, sowie Fische bzw. Fischschwärmen reflektiert. Der reflektierte Impuls wird durch einen Empfänger, der meist mit dem Geber zusammen in einem Gerät zusammen eingebaut ist, wieder aufgenommen. Aus der Laufzeit der Impulse kann die Wassertiefe berechnet werden.

Bei der Bathymetrie werden dabei je nach den Anforderungen insbesondere folgende Echolot-Techniken eingesetzt:

- Fächerecholot: Bei diesem Typ wird nacheinander ein Strahlenbündel mit einem Öffnungswinkel von etwa $1,5^\circ$ ausgesendet, so dass je nach Verteilung der Strahlen quer zur Fahrtrichtung ein Fächer von 120° bis 150° Breite entsteht. Auf diese Weise wird ein Streifen der Gewässersohle entlang des Schiffskurses erfasst, dessen Genauigkeit insbesondere von der Wassertiefe, der Geschwindigkeit des Bootes sowie ggf. der Überdeckung der Streifen abhängt. Durch das Zusammenführen der Streifen entsteht schließlich eine topographische Karte. Eine einfachere Form dieses Echolots wird auch als sogenannter „Fischfinder“ zur Ortung von Fischen und insbesondere Fischschwärmen eingesetzt.
- Flächenecholot: Bei dieser Bauweise werden mehrere Schwinger an einem Rahmen mit definiertem Abstand befestigt, wobei diese Geber einen geringen Öffnungswinkel aufweisen und unterschiedliche Frequenzen ausstrahlen, damit die jeweiligen Signale der verschiedenen Geber sich nicht gegenseitig stören. Durch die parallel betriebenen Geräte wird eine hohe Genauigkeit erzielt, wobei allerdings der technische Aufwand gegenüber dem Fächerecholot größer ist.
- Sedimentecholot: Hierbei handelt es sich um ein Mehrfrequenzgerät, das i. d. R. zwei Frequenzen parallel nutzt, um bei einer linienhaften Aufnahme sowohl die Gewässersohle als auch den Gewässerboden aufzunehmen. Es liefert so zusätzliche Informationen über die Boden- bzw. Sedimentschichtung.

Aus den erhobenen Tiefendaten werden jeweils bathymetrische Karten erstellt, die die Grundlage für weitere Fragestellungen bilden.

Problematisch sind bei allen Echoloten unklare Trennschichten, z. B. bei dicken Suspensionen bzw. Schlamm, da dort das Signal diffus reflektiert wird. Des Weiteren stören bei Sedimentmessungen Gaseinschlüsse in Form von Luft- oder Methanblasen in Bodenschichten die Messung, da das Signal durch derartige Schichten nicht oder nur teilweise hindurch dringen kann.

Ist die Gewässersohle insbesondere in Fließgewässern flächenhaft genauer aufzunehmen, wird heute bevorzugt das Flächenecholot eingesetzt, sofern nicht weitergehende Fragestellungen anstehen. In vielen Fällen, darunter v. a. in Stauanlagen und natürlichen Seen, sind jedoch die Tiefenänderungen der Gewässersohle relativ ausgeglichen, so dass auch der Einsatz von Echoloten mit einer linienhaften Aufnahme und anschließender Kopplung der Daten zu einem flächenhaften Modell eine ausreichende Genauigkeit ergeben.

1.2 Sedimentecholot

Flächenhafte Sedimentkartierungen erfolgen heute mittels eines parametrischen Sedimentecholots bzw. eines sogenannten Sub-Bottom Profilers. Dieses spezielle Echolot verfügt über einen Schallwandler zum Senden und Empfangen der Primärfrequenzen sowie zum Empfang der Differenzfrequenzsignale (s. Abbildung 1).



Abbildung 1: Sonde (links) und Transmitter (rechts) des Sedimentecholots

Das Gerät kann mittels einer speziellen Halterung an einem Boot seitlich montiert werden. Bei der Auswahl des Bootes ist darauf zu achten, dass dies einerseits möglichst klein und wendig ist, andererseits muss es eine ausreichende Tragfähigkeit für mind. 2 Personen (Bootsführer und Messingenieur) sowie die technische Ausrüstung (Sonde mit Aufhängung, Transmitter, Stromaggregat, Messtechnik etc.) aufweisen. Des Weiteren ist es für eine gleichmäßige Messung empfehlenswert, ein motorbetriebenes Boot einzusetzen, wobei dann die Sonde in einem ausreichenden Abstand zum Motor installiert werden muss, damit die Signale nicht durch die Turbulenzen einschließlich der dabei entstehenden Bläschen aus dem Schraubenbetrieb gestört werden.

Durch das Aussenden unterschiedlicher Frequenzen können verschiedene Eindringtiefen in den Boden erreicht werden. Die höhere Frequenz (100 kHz) wird bereits an der obersten Bodenschicht reflektiert und damit die Wassertiefe ermittelt. Die Schallwellen mit einer niedrigeren Frequenz (4-15 kHz) werden hingegen erst an der festeren Sohle bzw. Schicht unterhalb der Sedimentablagerungen reflektiert, so dass durch diese die Bodenschichten erfasst werden können.

Der Einsatzbereich erstreckt sich vom Flachwasser in Ufernähe bis zu einer Wassertiefe von 400 m. Die Eindringtiefe, um die Sedimentmächtigkeit zu erhalten, kann je nach Sedimentart bis zu 40 m betragen.

Durch die Kombination mit einem GPS-System kann jede Wassertiefen- bzw. Sedimentmächtigkeitsmessung exakt lokalisiert werden. Zur direkten Steuerung

des Sedimentecholots während des Betriebes und zur Speicherung der gewonnenen Daten wird das System mit einem Laptop gekoppelt. Mit den dort installierten entsprechenden Programmen kann u. a. die aktuelle Abweichung der Fahrtroute vom erwünschten, vorgeplanten Pfad auf einem Bildschirm angezeigt werden, so dass der Bootsführer nachsteuern kann.

2 Messung mit dem Sedimentecholot

Für eine optimale Qualität der Ergebnisse werden Querschnitte in meist regelmäßigem Abstand abgefahren (s. Abbildung 2). Diese Querschnitte werden je nach Aufgabenstellung und den Vor-Ort-Gegebenheiten bereits vor Aufnahme der eigentlichen Messfahrten mittels einer speziellen Navigationssoftware, bei der digitale Vermessungskarten oder Luft- bzw. Satellitenbilder als Plangrundlage integriert werden können, festgelegt. Die Distanz zwischen den Querschnitten hängt vom notwendigen Detaillierungsgrad ab.

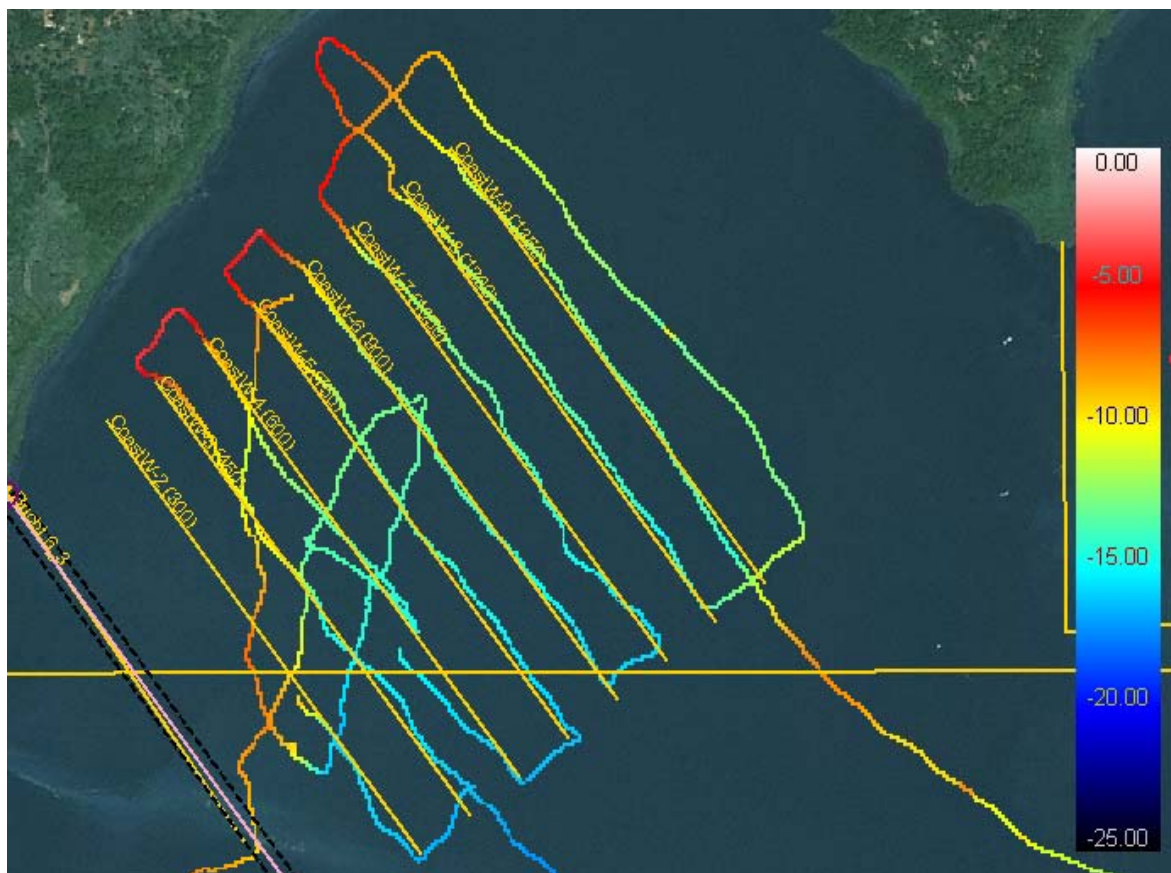


Abbildung 2: Beispiel einer Messung: geplante Messprofile als linienhaftes Raster und tatsächlich gefahrene Messstrecken einschließlich quer liegender Probefahrten

Während der Messfahrten müssen dann die natürlichen Gegebenheiten, wie Flachstellen, Sprünge in der Gewässersohle, im Gewässer liegende Bäume etc., sowie eine teilweise schwierigere Navigation durch z. B. Wind berücksichtigt werden.

Dabei ist es in der Regel sinnvoll, durch Probefahrten die natürlichen Gegebenheiten mit der Untergrundbeschaffenheit vor Ort zu prüfen, indem diese live auf dem Bildschirm des Messlaptops verfolgt wird, und die Einstellungen zu optimieren.

Die hohe Frequenz für die Aufnahme der Sohle bzw. Wassertiefe ist nicht variabel. Für die Ermittlung der optimalen tiefen Frequenz zur Aufnahme der Bodenschichtungen müssen jeweils einige Probefahrten mit unterschiedlichen Einstellungen gefahren werden. Die optimale tiefe Frequenz hängt von mehreren Faktoren, wie Sedimentart, Wassertrübung etc., ab und lässt sich nur durch derartige Fahrten vor Ort ermitteln.

Da die Schallgeschwindigkeit temperaturabhängig ist, muss diese zu Beginn der Messung erfasst und in die Betriebs- und Auswertungssoftware zur Kalibrierung eingegeben werden.

Für die Positionsbestimmung wird seitens Fichtner Water & Transportation ein GPS-System verwendet, das aus einem mobilen GPS-Rover, der direkt mit dem Sedimentecholot gekoppelt ist, und einer GPS-Basisstation besteht. Die Basisstation wird dabei an einem gut einsehbaren Punkt über längere Zeit positioniert und als Referenzstation für das mobile GPS-Gerät eingesetzt, um eine höhere Genauigkeit der Signale zu erzielen. Alternativ lassen sich auch Permanentstationen von Dienstleistern oder satellitenbasierte Korrektursignale, wie z. B. Omnistar, nutzen.

Durch die verwendete GPS-Technik steht bei den Messungen permanent die aktuelle Position zur Verfügung, so dass diese auch für die Navigation des Bootes herangezogen werden kann. Dabei werden dem Bootsführer auf einem zusätzlichen Bildschirm die geplante Route sowie die aktuelle Position einschließlich der bisher gefahrenen Strecke angezeigt, so dass der Bootsführer seine Fahrtstrecke in Echtzeit nachkorrigieren kann (s. Abbildung 2). Die Erfahrung zeigt, dass gute Bootsführer sich trotz stärkeren Winden und Wellengang rasch an das System gewöhnen und die Fahrtstrecken sehr genau abfahren.

Falls die Gewässersohle bzw. die Bodenschichtungen nur geringe Wechsel aufweisen, kann ggf. ein größeres Messnetz gewählt werden, falls größere Sprünge anzutreffen sind, kann ggf. auch eine zusätzliche Fahrt zwischen vorgesehenen oder bereits aufgenommenen Querschnitten zur Verfeinerung der Ergebnisse gefahren werden. Auf diese Weise kann das vorgeplante Messraster permanent

geprüft und ggf. nachjustiert werden, um das bestmögliche Ergebnis unter Berücksichtigung von Nutzen und Aufwand zu erzielen.

Die Pingrate, also die Rate, mit der die Tiefendaten vom Echolot erfasst werden, liegt üblicherweise unter 1 s, so dass von einer ständigen Erfassung ausgegangen werden kann. Um die Datenlage nicht zu eng zu erhalten, sollte darauf geachtet werden, dass die Fahrtgeschwindigkeit zwischen 3 und 5 Knoten (ca. 5,5-9 km/h) liegt.

Während der Messung können die Messwerte live verfolgt werden. In Abbildung 3 sind auf der linken Seite die Messwerte der höheren Frequenz dargestellt, welche klar die Gewässersohle zeigen. Auf der rechten Bildschirmseite sieht man gut die Schichtung im Untergrund.

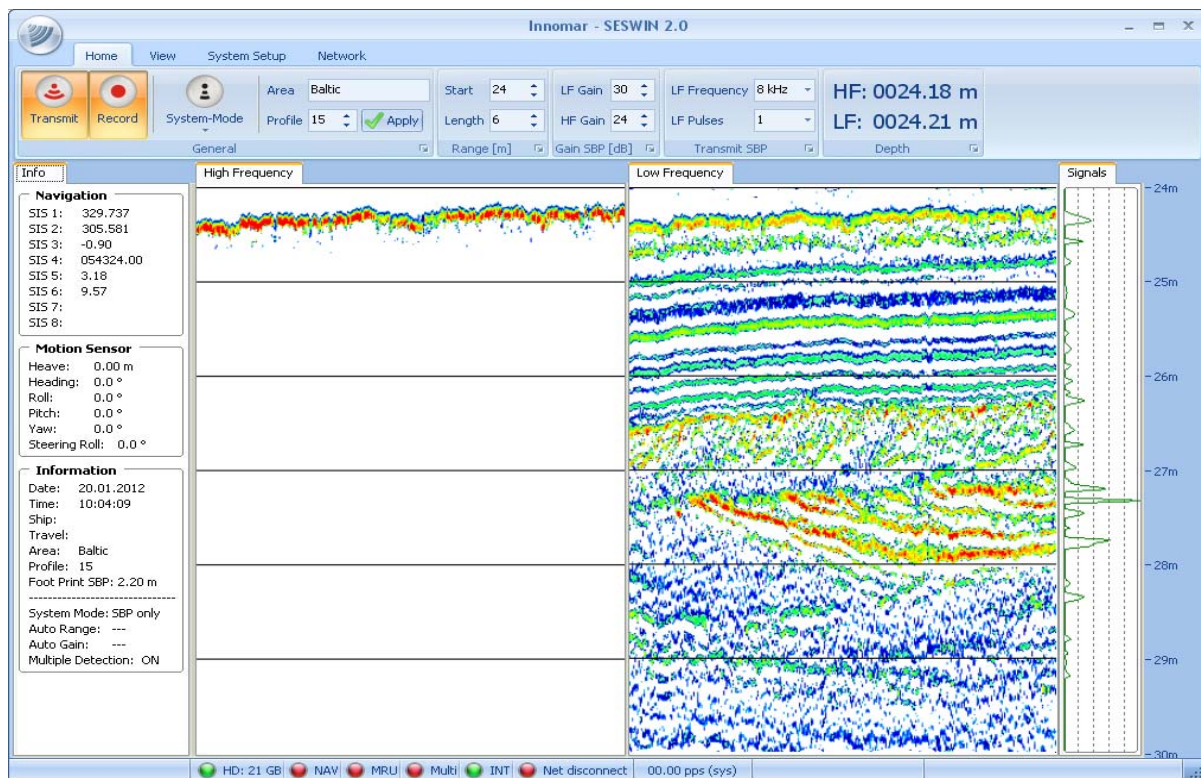


Abbildung 3: Live-Bildschirm bei einer Sedimentecholotmessung mit wesentliche Positions- und Messtechnikangaben (links und oben), Ergebnissen der Messung mit hoher Frequenz (Mitte) und der Messung mit tiefer Frequenz (rechts) (Quelle: Innomar)

3 Praktischer Einsatz

Anhand von Fallbeispielen soll im Folgenden gezeigt werden, mit welcher Technik und mit welchem Aufwand derartige Untersuchungen vorgenommen

werden und welche Ergebnisse dem Betreiber z. B. von Stauanlagen bei potenziellen Maßnahmenentscheidungen helfen.

3.1 Ermittlung der Sedimentmächtigkeit in einer Talsperre

An Talsperren und anderen Stauanlagen stellt sich aufgrund unterschiedlicher Anforderungen immer wieder die Frage nach der Sedimentmächtigkeit und dem Volumen der abgelagerten Sedimente, um beispielsweise über die Notwendigkeit einer Beräumung oder deren Erfolg entscheiden zu können.

Für eine derartige Sedimentkartierung ist eine Erfassung der Sedimentoberfläche und der Trennschicht im Boden zwischen ursprünglichem Verlauf und abgelagerten Materialien nach Einstau zur Ermittlung der Sedimentmächtigkeit notwendig. Je nach notwendigem Detaillierungsgrad werden für die Messung die Querschnitte bzw. Fahrtrouten vorgeplant.

Eine Herausforderung stellen immer die Flachwasserzonen dar, da in diesen zum einen das Boot aufgrund fehlenden Tiefgangs normalerweise nicht mehr navigieren kann und zum anderen die für die Messungen notwendige Mindestwassertiefe von ca. 1 m unterhalb der Sonde nicht mehr gewährleistet ist. Daher müssen derartige Bereiche später bei der Auswertung interpoliert werden. Mittels eines üblicherweise keilförmigen Ansatzes dieser Zone in den entsprechenden Auswerteprogrammen ist allerdings ein hinreichend genaues Ergebnis zu erzielen, zumal in den Flachwasserzonen in der Regel nur ein kleiner Anteil des gesamten Sedimentvolumens abgelagert ist. Die Ergebnisse einer derartigen Messung einschließlich Auswertung der Sedimentmächtigkeit sind exemplarisch in Abbildung 4 dargestellt.

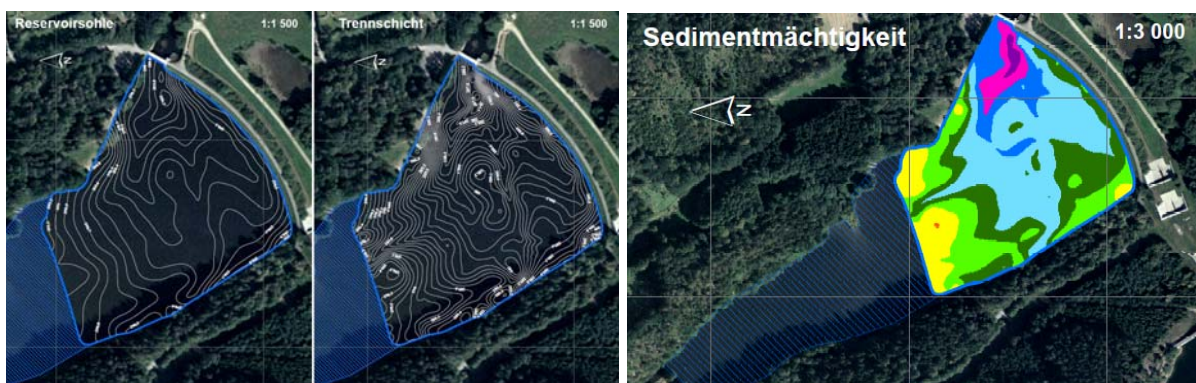


Abbildung 4: Exemplarische Ergebnisdarstellung: Höhenlinien der Reservoirsohle (links); Höhenlinien der Trennschicht (Mitte); Verteilung der Sedimentmächtigkeit (rechts)

Der Aufwand für eine derartige Messung an sich ist mir rund einem Tag überschaubar, hinzu kommen die detaillierte Vorbereitung und v. a. die Auswertung der Daten.

3.2 Lokalisierung einer Trinkwasserentnahmestelle

Im Zuge der Erweiterung des Wasserversorgungsnetzes Kampala, der Hauptstadt von Uganda, war es von besonderer Bedeutung, eine neue Trinkwasserentnahmestelle aus dem Viktoriasee zu finden. Dieser See stellt den zweitgrößten Süßwassersee der Welt und den größten See Afrikas dar. Er weist ein Einzugsgebiet von 193.000 km² bei einer Oberfläche von 68.800 km² auf, womit die Flächenausdehnung etwa derjenigen von Bayern entspricht. An seinen Ufern leben über 30 Mio. Menschen.

Grundvoraussetzung für die Trinkwasserentnahmestelle war eine Wassertiefe von mind. 10 m bei einem maximalen Abstand vom Ufer von 1 km. Zudem ist für den Einlauf eine Breite von ca. 700 m notwendig, auf welcher die beiden vorig genannten Bedingungen erfüllt sein müssen, um das Wasser in konstant gleicher Qualität aus dem See entnehmen zu können.

Vorab wurden von Fichtner Water & Transportation neun Gebiete aufgrund anderer Voraussetzungen (z. B. Einleitung von Verunreinigungen in den See, räumliche Nähe zum Wasserversorgungsnetz, Uferbeschaffenheit für die Leitungsanlandung und die Erstellung der Wasseraufbereitungsanlage etc.) ausgewählt (s. Abbildung 5), in denen dann die Bathymetrie durchgeführt wurde. Vorteil der Nutzung des Sedimentecholots war, dass parallel und ohne zusätzlichen Aufwand (dieser entsteht lediglich bei der Auswertung) auch die Tiefe der Sedimente bzw. die Bodenschichtungen ermittelt werden konnten. Somit können in der Bewertung der die Randbedingungen erfüllenden Gebiete gleich die notwendige Gründungsart und -tiefe für die weitere Planung als weiteres, v. a. die Realisierungskosten betreffendes Kriterium einbezogen werden.



Abbildung 5: Messstellen im Viktoriasee

Bei der Messung war an einigen Tagen insbesondere der Wellengang mit Wellen von bis zu 1 m eine Herausforderung. Dies lässt sich dies bei der Auswer-

tung mit Hilfe des Auswerteprogramms glätten (s. Abbildung 6), was zwar leichte Ungenauigkeiten zur Folge hat, jedoch bei der diesem Auftrag zugrunde liegenden Fragestellung unproblematisch war.

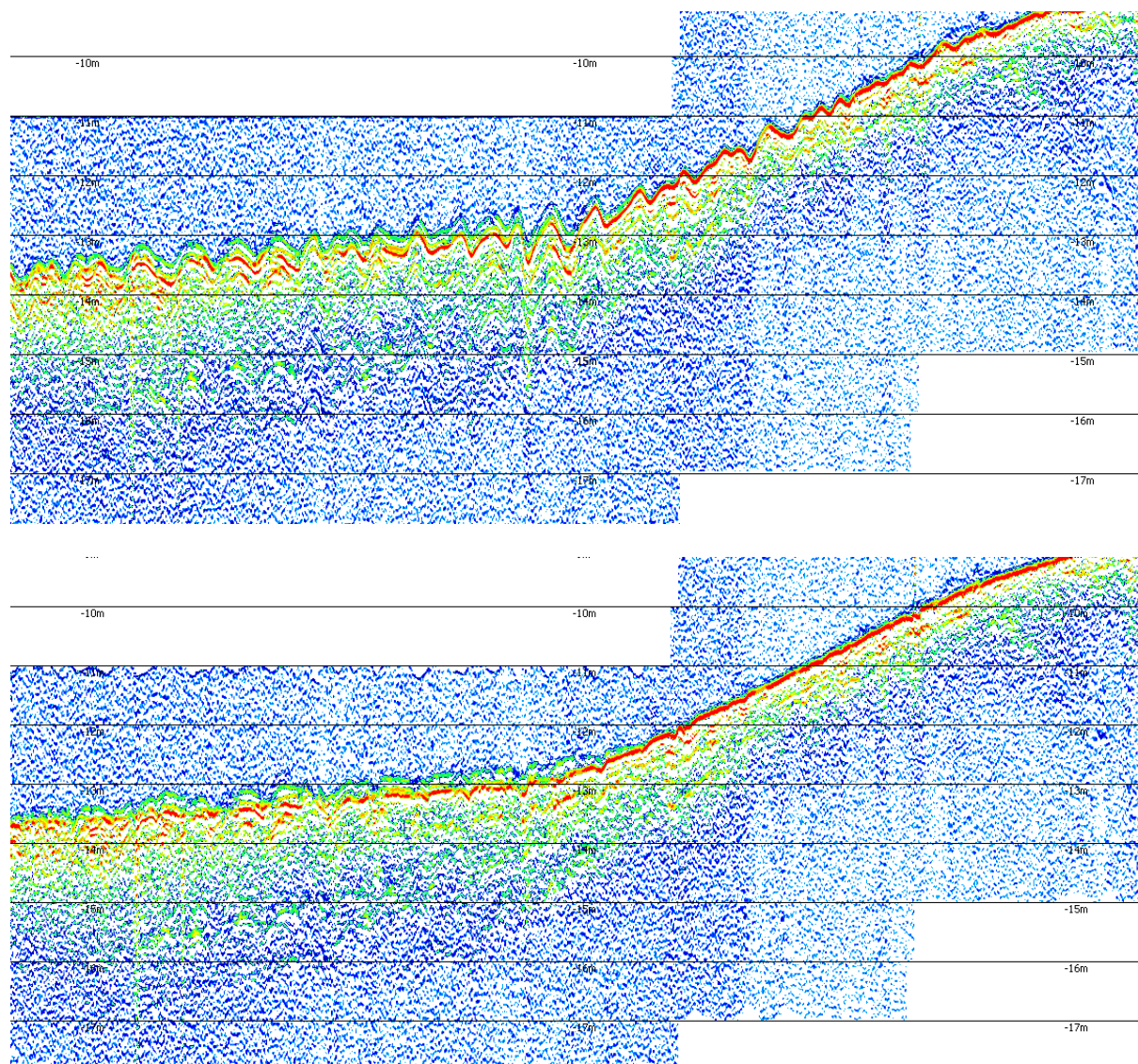


Abbildung 6: Messwerte während des Wellengangs (oben) und bearbeitete Daten (unten)

Auch hier war der Messaufwand an sich mit rund 5 Tagen in Abhängigkeit der Witterungsbedingungen und der notwendigen zusätzlichen Fahrtstrecken überschaubar. Die Vorbereitung und Auswertung waren hier jedoch weitaus umfangreicher.

3.3 Interpretation der Sedimentmessergebnisse

Bei der Auswertung und Interpretation der Messergebnisse ist vor allem eine vertiefte Erfahrung des Messingenieurs gefragt, da je nach Bodentyp und

Schichtstärken Echos auftreten, die herausgefiltert werden müssen bzw. nicht als Schichtgrenze interpretiert werden dürfen.

Im Idealfall wird die Aufnahme der Bodenschichten mittels Sedimentecholot von Probenahmen begleitet. Mittels dieser Proben, die sinnvollweise aus der Entnahme von Bohrkernen mit vollständigen Profilen bestehen sollten, können die Messergebnisse kalibriert werden. Hierzu ist es möglich, die Bohrerergebnisse in der Auswertungssoftware mit Echolotmessungen zu koppeln und so die Schichtenverläufe der verschiedenen angetroffenen Boden- bzw. Sedimentarten eindeutig zu interpretieren und damit die entsprechenden Planungsgrundlagen zu erhalten.

Seitens Fichtner Water & Transportation werden diese Mess- und Planungsleistungen bewusst aus einer Hand erbracht, um die sonst doch immer wieder auftretenden Schnittstellenprobleme zu minimieren. Darüber hinaus erhöht sich die Flexibilität bei den Messungen an sich bedeutend, da der Messingenieur tiefere in die planerischen Überlegungen einbezogen ist und so der Fragestellung angepasste Messungen direkt vorgenommen werden können, womit auf eine zusätzliche fachliche Begleitung vor Ort verzichtet werden kann.

Autoren:

Dr. Stephan Heimerl

von der IHK Region Stuttgart ö. b. u. v.
Sachverständiger für Wasserbau und Was-
serkraftanlagen sowie Fischaufstiegsanlagen

Fichtner Water & Transportation GmbH
Sarweystr. 3
70191 Stuttgart

Tel.: +49 711 8995 737
E-Mail: stephan.heimerl@fwt.fichtner.de

Dr. Beate Kohler

Fichtner Water & Transportation GmbH
Sarweystr. 3
70191 Stuttgart

Tel.: +49 711 8995 736
E-Mail: beate.kohler@fwt.fichtner.de