

Gegenüberstellung hydrographischer Messmethoden zur Gewässeruntergrundmessung von Fließgewässern und Seen

Diplomarbeit

eingereicht von

Lisa-Maria Mic

zur Erlangung des akademischen Grades
Diplomingenieur der Alpinen Naturgefahren/ Wildbach und Lawinenverbauung

Am Departement für Bautechnik und Naturgefahren an der Universität für Bodenkultur
Wien

Betreuer:

Univ. Prof. DI Dr. nat. techn. Johannes Hübl

Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.mont. Gerhard Mayer

Wien, Juni 2013

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Lisa-Maria Mic

Wien, Juni 2013

Vorwort

Ich möchte mich hiermit bei all jenen, die mich zur Fertigstellung dieser Diplomarbeit unterstützt haben, bedanken.

Ich bedanke mich bei den Herren Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.mont. Gerhard Mayer, sowie bei Univ. Prof. DI Dr. nat. techn. Johannes Hübl für die Betreuung dieser Diplomarbeit.

Weiterer Dank gilt Christian Arth, Geschäftsführer von GHS-Austria GmbH und seinen Mitarbeitern DI. Franziska Jurisch und DI. Milos Puda für ihre Unterstützung und Einarbeitung in die Materie, die es mir schlussendlich ermöglicht hat, diese Arbeit zu vollenden. Auch bin ich sowohl für ihre wissenschaftliche, als auch fortwährende Unterstützung, sowie für ihre Geduld, betreffend meiner teils mangelnden Vorkenntnisse, dankbar.

Abschließend möchte ich mich natürlich besonders bei meiner Familie für ihre langjährige Unterstützung und Begleitung bedanken.

Zusammenfassung-Abstract

Gegenüberstellung hydrographischer Messmethoden zur Gewässeruntergrundmessung von Fließgewässern und Seen

Gegenstand dieser Diplomarbeit ist der Vergleich diverser hydrographischer Messmethoden, welche in unterschiedlichen Untersuchungsgebieten zum Einsatz kommen, um Sohlgrundmessungen durchzuführen. Hierbei liegt der Schwerpunkt auf Fließgewässern und Seen, beziehungsweise Gewässer, die sich wie Seen verhalten. Dazu werden in den folgenden Kapiteln die notwendigen Schritte erläutert. Anfangs werden die physikalischen Grundlagen, sowie die Varianten der GPS-Vermessung und Positionierung näher erklärt. Des Weiteren werden die einzelnen Messmethoden, welche im Laufe der Diplomarbeit zur Durchführung der Messungen zum Einsatz kamen, genauer beschrieben. Im Anschluss werden sowohl die Messungen als auch die zugehörigen Ergebnisse vorgestellt. Dokumentiert werden in weiterer Folge ebenfalls die Auswertungen. Darauf aufbauend wird versucht, eine Gegenüberstellung der verwendeten Methoden hinsichtlich ihrer technischen und wirtschaftlichen Einsatzfähigkeit zu beurteilen.

Comparison of hydrographic measurement methods for measurement of channel beds/water subsurface in rivers and lakes

This master thesis deals with the comparison of different measurement methods, which are used in various application areas to perform channel bed measurements. At this juncture the focus is on rivers and lakes, or water, which behaves like lakes. Given in the following chapters, the necessary steps will be explained. Initially, the basic physics, as well as the variants of GPS surveying and positioning are explained in more detail. Furthermore, the individual measurement methods, which in the course of the thesis were used to carry out the measurements, are also described in detail. Following both the measurements and the related results are presented. Subsequently also the evaluations are documented. Based attempted a comparison of the methods used to assess in terms of their technical and economic usability.

Inhalt

1	Einleitung.....	8
2	Einführung in die Hydrographie	8
2.1	Hydrographie.....	8
2.2	Vermessungssysteme	8
3	Physikalische Grundlagen.....	10
3.1	Einführung	10
3.2	Der Schall.....	10
3.3	Schallausbreitung	10
3.4	Frequenz-Reichweite.....	11
3.5	Echolote und Sonare	12
3.5.1	Aktivsonar.....	13
3.5.2	Passivsonar	14
4	Die Messmethoden	14
4.1	Rahmensondierung	14
4.1.1	Funktion.....	14
4.1.2	Anwendung	15
4.1.3	Daten	15
4.2	Singlebeam	15
4.2.1	Funktion.....	15
4.2.2	Anwendung	16
4.2.3	Daten	17
4.2.4	Vor- und Nachteile	17
4.3	Multibeam-Fächerecholot.....	18
4.3.1	Funktion.....	18
4.3.2	Amplituden und Phasenmessung.....	23
4.3.3	Anwendung	24
4.3.4	Daten	25
4.4	Flächenecholot	25
4.4.1	Funktion.....	25
4.3.2	Anwendung	26
5	Positionierung	26
5.1	GPS (Global Positioning System)	29
5.2	DGPS (Differential Global Positioning System).....	30
5.3	RTK (Real Time Kinematic).....	31

6	Messgenauigkeiten.....	32
6.1	Gerade Einstrahlung	34
6.2	Gerade Einstrahlung auf eine Hangneigung.....	35
6.3	Überdeckungsgrad und Messabweichungen einer Fächerlotung.....	36
6.4	Messungen an einer Kaimauer.....	38
6.5	Messungen über einer steinigen Gewässersohle.....	40
7	Messungen der einzelnen Methoden	42
7.1	Linz-DürnbergerKachlet.....	43
7.1.1	Rahmensondierung	44
7.1.2	Messung mit Singlebeam	46
7.1.3	Messung mit Multibeam	47
7.2	Hafen Korneuburg	49
7.2.1	Messung mit Singlebeam	50
7.2.2	Messung mit Multibeam	50
7.3	Hafen Freudenau.....	51
7.3.1	Messung mit Multibeam	52
7.3.2	Messung mit Singlebeam	52
7.3.3	Vorarbeiten zur Durchführung der Messungen	53
8	Methodik der Gegenüberstellung	53
8.1	Technische Daten	54
8.2	Methodische Vorgehensweise	54
9	Auswertung	55
9.1	Korrektur der Rohdaten	55
9.2	Dürnberger Kachlet	56
9.3	Hafen Korneuburg	59
9.4	Hafen Freudenau.....	64
9.5	Gegenüberstellung anhand eines Differenzmodelles	67
9.6	Endergebnisse in Kartendarstellung.....	73
10	Diskussion.....	77
10.1	Gegenüberstellung	77
10.1.1	Vergleichende Betrachtung der 4 Messmethoden aus technischer und wirtschaftlicher Sicht	78
10.1.2	Ausblick.....	80
	Literaturverzeichnis.....	81
	Tabellenverzeichnis	82

Abbildungsverzeichnis.....	82
----------------------------	----

1 Einleitung

Gegenstand und Aufgabenstellung dieser Diplomarbeit ist ein Vergleich unterschiedlicher hydrographischer Messmethoden hinsichtlich ihrer Einsatzgebiete und ihrer Wirtschaftlichkeit. Anhand von durchgeführten Messungen in diversen Einsatzgebieten soll eine Gegenüberstellung diesbezüglich erfolgen. Dazu werden in der Diplomarbeit alle wichtigen und dafür benötigten Verfahren erläutert.

2 Einführung in die Hydrographie

2.1 Hydrographie

Die Hydrographie befasst sich im Wesentlichen mit der Messung und Darstellung von notwendigen Parametern zur Beschreibung des Gewässeruntergrundes mitsamt den Unterwasserschichten, dessen Beziehung zum Festland sowie dessen Zustand und Dynamik. Hinzu kommt der Aspekt der Geomatik, welcher für die raumbezogenen Daten und Informationen in diesem Bereich eine große Rolle spielt. (Vgl. Andree 2003, S.7)

Hydrographische Messungen werden vor allem in Fließgewässern zur Bestimmung der Wassertiefen genutzt, um eine möglichst einwandfreie Navigation im Sinne der Verkehrssicherheit am Fluss zu gewährleisten.

2.2 Vermessungssysteme

Früher fanden hydrographische Messmethoden vor allem im maritimen Bereich ihre Anwendung. Die Geräte haben sich mittlerweile weiterentwickelt, was dazu geführt hat, dass nun auch andere Anwendungsbereiche damit erschlossen werden können. So werden sie heutzutage auch in Binnen,- Grund sowie Fließgewässern eingesetzt, vor allem für baubegleitende Arbeiten wie Brücken, Buhnen etc. (Vgl. Mayer et al. 2012, S.151)

Hydrographische Messsysteme sind aus verschiedenen Komponenten zusammengesetzt, und dementsprechend auch nach diesen einzuteilen.

- **Messboote**

Die Messboote dienen als Geräteträger zur Durchführung der Messungen. Sie transportieren sowohl verwendete Messausrüstung als auch die notwendigen Personen, sie können allerdings auch unbemannt sein.

- **Echolotsysteme**

Mit diesen Messsystemen können Entfernungen auf Schallbasis ermittelt werden. Dazu nützt man die Schallleitfähigkeit von Wasser um Distanzen zu gewissen Objekten unter Wasser zu messen, zum Beispiel die Distanz von Schallsensor zur Gerinnesohle.

- **GPS und Bewegungssensoren**

Hydrographische Vermessungen haben meist die Aufgabe den Bereich unterhalb der Gewässeroberfläche, sprich in diesem Falle die Gerinnesohle, als georeferenzierte, dreidimensionale Bilder oder Modelle darzustellen. Echolotsysteme arbeiten auf Schallbasis und liefern nur relative Messungen, daher sind auch eine Bestimmung der Position, sowie eine genaue Ausrichtung des Sensors im Raum für eine absolute Orientierung unbedingt erforderlich. Dies geschieht mit Hilfe sogenannter GPS- und Bewegungssensoren.

- **Datenerfassung und Auswertung**

Softwareprogramme zur Erfassung, Speicherung, Berechnung, Auswertung und Weiterverarbeitung von hydrographischen Messwerten sind ein weiterer wichtiger Bestandteil hydrographischer Messsysteme. (Vgl. Mayer et al. 2012, S.151)

- **Schallgeschwindigkeitssonde (SVP)**

Sonde zur Messung der Wasserschallgeschwindigkeit bestehend aus Temperatur, Dichte und Salzgehalt.

3 Physikalische Grundlagen

3.1 Einführung

Das folgende Kapitel soll vorab einen Überblick über die wichtigsten physikalischen Grundlagen verschaffen, welche bei dieser Arbeit zum Einsatz kamen. In diesem Sinne werden der Schall und dessen Ausbreitung, beziehungsweise dessen Verhalten unter Wasser näher erklärt.

3.2 Der Schall

Als Schall werden Schwingungen bezeichnet, welche in verschiedenen Frequenzbereichen zum Einsatz kommen. Die für die Wasserschalltechnik wichtigen Frequenzbereiche liegen im subHz-Bereich bis hin zu Frequenzen im MHz-Bereich. (Vgl. Siegel 2005, S.1-1)

Mit Hilfe des Piezoelektrischen Effektes spezieller Kristalle (Entdeckung um 1880) war es erstmals möglich, Schall einer gleichbleibenden Frequenz zu erzeugen. Dabei wurde eine elektrische Wechselspannung an den besagten Piezokeramiken angelegt und dadurch mechanische Verformungen der Kristalle hervorgerufen. Aufgrund dieser Methode gelang es Druckschwankungen zu erzeugen und gleichfalls die dabei entstehenden medialen Druckveränderungen eines Schallfeldes abzutasten, um diese anschließend in elektrische Signale umzuwandeln. Man spricht von einem Verfahren, welches erlaubt, Schallenergie in elektrische Energie umzuwandeln und umgekehrt. (Vgl. Siegel 2005, S.1-18)

Noch heute findet dieses Verfahren aufgrund seiner Einfachheit und Wirtschaftlichkeit Anwendung.

3.3 Schallausbreitung

Schall breitet sich in den diversen Medien unterschiedlich aus, so auch im Wasser. Grund dafür sind unterschiedliche Grenzschichten im Wasser, an denen die Schallwellen gebrochen, gestreut oder reflektiert werden. An diesen sogenannten Grenzflächen (Wasser-Luft-Grenzfläche beziehungsweise Wasser-Sediment-Grenzfläche) bilden sich Wellenwiderstandsansprüche. Hinzu kommen ähnliche Faktoren, wie die Wasserschichtung, Temperaturschichten, Turbulenzen, lokale oder großflächige Inhomogenitäten, interne Wellen- und Blasenschleier, welche ebenfalls im Stande sind, dieselben Effekte an Schallwellen hervorzurufen.

Die Streuung der Schallwellen ist in eine Vorwärtsstreuung und eine Rückwärtsstreuung unterteilt. Bei der Vorwärtsstreuung spricht man von einer Streuung in Richtung der Spiegelreflexion, während sie bei der Rückwärtsstreuung in gegengesetzter Richtung verläuft, sozusagen in Richtung der Quelle. Addiert man nun alle rückwärts gestreuten Signalanteile, spricht man von einem Nachhall. Dabei ist es von keiner Bedeutung, welcher physikalische Vorgang beziehungsweise Mechanismus dafür ausschlaggebend war. (Vgl. Siegel 2005, S.2-19)

Betrachtet man die Grenzfläche Wasser-Sediment genauer, so ist ein Unterschied zum Reflexionsprozess an der Grenzschicht Wasser-Luft festzustellen. An der Grenzfläche Wasser-Sediment kommt es häufiger zu Interpretationsschwierigkeiten, da hier der Wellenwiderstand an beiden Flächen sehr gering ist und der Gewässeruntergrund verschiedene Strukturen aufweisen kann. Hydroakustiker befassen sich speziell mit der Bodenbeschaffenheit, indem die Akustik zur seismischen Erkundung eingesetzt wird. Dadurch ist es möglich, Aussagen über die vorhandenen Gewässeruntergrundstrukturen, oder auch über potentiell vorhandene Bodenschätze zu treffen. (Vgl. Siegel 2005, S.2-27-28)

Schallfelder im Wasser können anhand der Schallstrahlentheorie erklärt werden. Dazu müssen jedoch einige weitere Faktoren gegeben sein. Insbesondere eine horizontale Schichtung des Mediums und eine ausreichend hohe Schallfrequenz. Diese wird dann als ausreichend hoch angesehen, wenn ihre

$$\text{Wellenlänge } \lambda = \frac{c}{f}$$

kleiner ist als die betrachtete Kanaltiefe z und diese wiederum kleiner der Entfernung R ist. (Vgl. Siegel 2005, S.3-1)

$$\lambda < z < R$$

3.4 Frequenz-Reichweite

Für die Hydroakustik, speziell für die Einsatzgebiete der Vermessung in dieser Arbeit, spielen natürlich auch die erreichbaren Tiefen und Reichweiten eine wichtige Rolle. Da auch im Unterwasserbereich mit vielen Geräuschen zu rechnen ist, müssen diese, aufgrund ihres störenden Einflusses auf die

Detektionsreichweiten, sowohl berücksichtigt, als auch soweit wie möglich ausgeschaltet werden.

Demnach muss bei einer großen Reichweite mit hoher Detektionswahrscheinlichkeit und geringer Falschalarmrate ein ausreichend hohes Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) vorhanden sein, welches jedoch nur mit Hilfe energiereicher Pulse erreicht werden kann. (Vgl. Siegel 2005, S.6-3)

Die akustische Frequenz eines Echolotes bestimmt die Reichweite und die Wassertiefe, bis zu der vorgedrungen werden kann. Je höher die Frequenz ist, desto größer ist die Schallschwächung und umso geringer die Reichweite und Eindringtiefe in den Gewässeruntergrund. Die Breite des Strahlenbündels hängt dabei von der akustischen Wellenlänge und der Größe des Transducer ab. (Vgl. Siegel 2005, S.6-3)

Typische Frequenzen sind dabei

- Wassertiefe < 100 m → Frequenz > 200 kHz
- Wassertiefe < 1500 m → Frequenz 50 - 200 kHz
- Wassertiefe > 1500 m → Frequenz 12-50 kHz

Diese Frequenzen beziehen sich auf die erste erfasste Sedimentschicht.

3.5 Echolote und Sonare

Wie bereits im vorigen Kapitel erwähnt, ist das Medium Wasser geprägt von vielen Störfaktoren, welche eine einwandfreie Signalerfassung und -verarbeitung erheblich erschweren.

Die in dieser Arbeit verwendeten Echolote funktionieren auf dem Prinzip der Reflexionsseismik. Dabei werden von einem Schwinger mechanische Schwingungen (Ultraschallimpulse) erzeugt und ausgesandt. Diese pflanzen sich im Wasser solange fort, bis sie an einer Grenzfläche unterschiedlicher Dichte zweier Medien reflektiert und vom Schwinger wieder erfasst werden. Wichtig ist hierbei die Wasserschallgeschwindigkeit, welche sich aus der Temperatur, der Dichte und dem Salzgehalt ermitteln lässt. Mit einer Laufzeitmessung des Signals und der gemessenen Wasserschallgeschwindigkeit wird die Entfernung zum Gewässeruntergrund gemessen und daraus in Folge die Wassertiefe berechnet.

Im Prinzip wird ein Schwinger an der Unterseite des Messbootes angebracht, welcher fortlaufend Schallimpulse aussendet. Aufgrund dieser Bewegung entsteht ein Messbild auf dem Monitor, welches durch Licht und Schattenwirkung die Schallimpulse widerspiegelt. Mit Vorsicht sind mögliche Mehrfachreflexionen zu genießen, die sowohl bei Echoloten, als auch bei Sonarsystemen auftreten, und sich störend auswirken. Quellen für eine solche Störung sind unter anderem Luftblasen, Fische, Pflanzen etc. Bei einer Erhöhung der reflektierten, beziehungsweise erfassten Energie an der Wasseroberfläche und am Gewässeruntergrund kommen diese zum Vorschein.

Des Weiteren entspricht eine Echolotmessung der zweifachen Wassertiefe, aufgrund des doppelten Weges, den die Schallwellen zurücklegen. (Vgl. Pilgram 2006, S.54)

Folgend können zwei Arten von Sonaren unterschieden werden, sogenannte aktive und passive Sonare.

3.5.1 Aktivsonar

Bei einem Aktivsonar werden von einem Sender Schallimpulse ausgesendet, welche sich schließlich im Wasser ausbreiten und von verschiedenen sich im Wasser befindlichen Objekten reflektiert werden. Diese Echos werden von einem Empfänger aufgenommen und dabei auf unterschiedliche Merkmale wie Laufzeit, Empfangsrichtung oder spektrale Verschiebung, untersucht. (Vgl. Siegel 2005, S.8-3)

Wie bereits erwähnt gibt es einige Faktoren (Reflexionsverlust, SNR-Minderung, Ausbreitungsverlust im Wasserschallkanal), die eine Minderung des Nutzsignals zur Folge haben. Hinzu kommt der sogenannte Nachhall, welcher unvermeidbar ist. Dieser wird in Form von Primärenergie ausgesandt und als Teil vom Wasser in den Sonarempfänger wieder zurückgestreut. Im Wasser tritt der Nachhall in verschieden Formen auf. Man unterscheidet Oberflächen- und Bodennachhall, sowie Volumennachhall. Bei den ersteren beiden handelt es sich um Einflüsse der Wasseroberfläche beziehungsweise des Gewässeruntergrundes. Beim Volumennachhall spielen die unterschiedlichen Wasserschichten, die sich in ihrer Temperatur und Salinität differenzieren, eine große Rolle. Dazu gehören auch sich im Wasser befindliche Partikel aus biologischer, meteorologischer oder technisch-

industrieller Herkunft. Ein Aktivsonar basiert darum im Grunde auf der Auswertung des reinen Nutzsignales. (Vgl. Siegel 2005, S.8-5)

3.5.2 Passivsonar

Im Gegensatz dazu misst ein Passivsonar das vom jeweiligen Ziel abgegebene Signal. Somit ist der Nachhall eher zu vernachlässigen. Das heißt, es muss kein eigenes Beschallungssignal abgestrahlt werden, sondern es werden lediglich die vom gewünschten Ziel erzeugten Signale erfasst und ausgewertet. (Vgl. Siegel 2005, S.8-8)

4 Die Messmethoden

4.1 Rahmensondierung

4.1.1 Funktion

Die Rahmensondierung ist eine Methode zur Fahrrinnentiefenkontrolle. Überdies ist es möglich, die Beschaffenheit der Gerinnesohle mit dieser Anwendung zu ermitteln. Zu diesem Zweck wird am vorderen Teil eines Messbootes ein sogenannter Peilrahmen montiert. Dieser besteht aus sechs Rahmen mit einem Regelabstand von 1,66 m, die zusammen eine Art Rahmengerüst bilden. Die Achse des Schiffes liegt dabei nicht ganz in der Mitte des Peilrahmens, sondern befindet sich 5,33 m vom linken und 4,67 m vom rechten Rahmenende. Sie bildet außerdem die Sollfahrline des Schiffes während der Messung. Wie weit der Rahmen ins Wasser eintaucht, ist individuell zu entscheiden und sollte an die Gegebenheiten vor Ort angepasst werden. Das heißt, das Gestell ist in seiner Tiefenauslage variierbar.



Abb.: 1 Peilrahmengestell am Boot montiert (GHS, 2013)

4.1.2 Anwendung

Die Rahmensondierung kommt vorwiegend in Fließgewässern zum Einsatz. Mit Hilfe des Rahmens, der während der Fahrt am Gewässeruntergrund mitgeführt wird, werden bei Anschlägen an Unebenheiten beziehungsweise Hindernissen Signale empfangen. Stößt der Rahmen unter Wasser an ein Hindernis, so wird über eine verbundene Leitung ein Signal an Bord geleitet und am Computer wahrgenommen. Die störenden Objekte können somit geortet und später behoben werden. Diese Methode wird häufig zur Überprüfung der Fahrrinntiefe eingesetzt.

4.1.3 Daten

Mit Hilfe des Programmes NEPTUN2-WIN werden die Daten erfasst und für andere Zwecke weiterverarbeitet.

4.2 Singlebeam

4.2.1 Funktion

Beim Singlebeam Verfahren handelt es sich um eine Echolotung basierend auf einer Ultraschallmessung. An der Schiffsunterseite wird ein Ultraschalllautsprecher angebracht und fixiert, der Impulse im Ultraschallbereich aussendet und gleichzeitig aufnimmt. Diese Impulse können unterschiedliche Frequenzen haben. Je nachdem welcher Anwendungsbereich beziehungsweise welche gewünschte Auflösung angestrebt wird, wird ein entsprechender Frequenzbereich ausgewählt.

Wird nun der erste Impuls ausgesandt, so kann man davon ausgehen, dass die gesuchte Tiefe mit dem ersten Echo korreliert. Fehler können jedoch nie

ausgeschlossen werden. Hinzu kommt, dass die Gewässersohle keine kontinuierliche, plane Ebene darstellt, die Untergrundbeschaffenheit, wie bei Schlick, Schlamm oder Kies, jedoch eine wesentliche Rolle spielen. Der Einsatz unterschiedlicher Frequenzen ist daher unabdingbar, um die jeweilige Untergrundbeschaffenheit zu definieren.

Anhand zweier Frequenzen kann die eigentliche schiffbare Tiefe, auch nautischer Horizont genannt (unterhalb des Tiefenwertes mit 100 kHz), genauer abgeschätzt werden. Dazu werden vorwiegend Frequenzen in größeren Bereichen von 100-200 kHz verwendet, da diese im Vergleich zu niedrigeren Frequenzen um die 15 kHz eine geringere Eindringtiefe aufweisen. Sie werden schon bei geringer Dichte reflektiert. (Vgl. Geoings 2013)

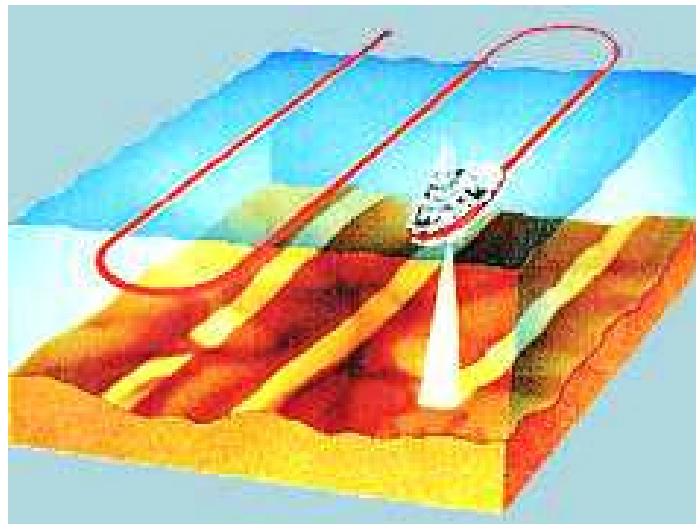


Abb.: 2 Durchführung einer Singlebeam-Messung (IUEM, 2010)

4.2.2 Anwendung

Die Singlebeam-Methode wird für die Überprüfung der Gerinnesohle oder zur Überprüfung der Ausführung von Bauvorhaben mit Hilfe von sogenannten Längsbeziehungsweise Querprofilen verwendet. Ein wichtiger Anwendungsbereich von Singlebeam-Loten ist der Einsatz von Messungen bei starker Strömung, wo größer Schiffe nicht mehr manövrierfähig sind, sowie im ufernahen Böschungsbereich. Hier kann im Normalfall direkter und näher an die Uferlinie herangepeilt werden.

4.2.3 Daten

Die Daten, die mit diesem Verfahren erfasst werden, können unterschiedlich weiterverarbeitet werden. Es können Tiefenlinien- bzw. Tiefenzahlenpläne, Längs- und Querprofile und auch digitale Geländemodelle erstellt werden.

4.2.4 Vor- und Nachteile

Die Messungen eines Singlebeam -Verfahrens werden linienhaft durchgeführt. Der Personalbedarf sowie der Geräteaufwand können im Großen und Ganzen als gering bezeichnet werden. Das relativ geringe Datenvolumen ermöglicht eine rasche Auswertung. Hinzu kommen die eher geringen Ausstattungsanforderungen an das Messboot.

Ein Nachteil der Singlebeam-Lotung ist jedoch die punktförmige Messung entlang von Messlinien, welche weite Teile des Untergrundes nicht erfassen. (Vgl. Arth 2006, S.21)

Singlebeam-Lotungen erfassen die Gerinnesohle nicht flächenhaft und daher nicht komplett. Eine repräsentative Wiedergabe der Sohlbeschaffenheit ist somit nur eingeschränkt gegeben. Ein weiterer wichtiger Aspekt liegt in der Profilgenauigkeit, also in der profilgenauen Navigation des Schiffes, welche stark variiert und so zu ungenauen Messungen führen kann. Störende Faktoren können sowohl durch Schiffsbewegungen, als auch durch den Schiffsverkehr hervorgerufen werden. Die Positionsgenauigkeit, sowie die Messung selbst, spielen dabei ebenfalls eine Rolle. Auch die Messrichtung ist entscheidend. Je nachdem können Sohlenstrukturen erfasst oder übersehen werden. Auf Grund dessen ist es notwendig, sich vorab Kenntnisse über das Messgebiet zu verschaffen. Singlebeam-Messungen sind eher ungenau in Bezug auf die flächenhaften Gewässersohlenerfassungen und dienen daher hauptsächlich zur Kontrolle beziehungsweise Ergänzung nicht kritischer Messbereiche. Dazu zählen Örtlichkeiten, an denen die Fließgeschwindigkeit den Einsatz von Multibeam-Lotungen nicht zulässt.

4.3 Multibeam-Fächerecholot

4.3.1 Funktion

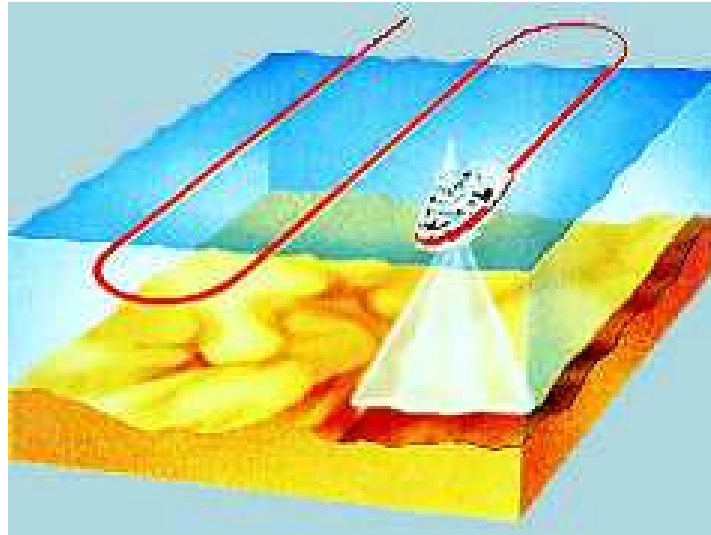


Abb.: 3 Durchführung einer Multibeam-Messung (IUEM, 2010)

Das Multibeam-Fächerecholot-Verfahren funktioniert nach demselben Prinzip wie die Singlebeam-Lotung, mit Hilfe von Ultraschallsignalen zwischen 240 und 500 kHz. Dadurch kann die Topographie unter Wasser gemessen werden. Ein Fächerecholot misst simultan die Tiefen in mehreren Richtungen, welche durch die empfangenen Strahlenbündel des Systems determiniert sind. Diese Strahlenbündel bilden einen Fächer lotrecht zur Schiffsachse. Die am meisten verwendeten Schwinger haben einen Öffnungswinkel von 150° oder 210° , wobei der Mittelstrahl senkrecht nach unten geht und jeweils 75° oder 105° nach links und rechts pingt. In diesem Fall spricht man von einer flächenhaften Bathymetrie und einem ganzheitlichen Abtasten.

Fächerecholote funktionieren überwiegend nach der Methode der gekreuzten Strahlenbündel. Dabei wird ein akustischer Impuls, welcher sich durch eine Art ausgesendeter Strahlenkeule fortpflanzt, in Längsrichtung (in der Regel von 1° bis 5°) und in Querrichtung (vorwiegend 150° , zusammengesetzt aus Einzelbündeln mit einer Öffnung von $1,5^\circ$) freigesetzt. Gemessen wird also die Laufzeit des akustischen Impulses, vom Sender (Schwinger) zur Gerinnesohle und wieder retour. Weiters sind der Abstrahlwinkel, sowie die Schallgeschwindigkeit des

Wassers notwendig, um eine Tiefenmessung zu ermitteln. Die Wasserschallgeschwindigkeit wird zu diesem Zweck mit Hilfe einer Wasserschallsonde ermittelt. Bei einer Tiefe von 100 m z.B. und einer Differenz von 50 m/s des Wasserschalls erhält man eine Tiefendifferenz von 3,33 m. Es ist gerade bei der Fächerecholotung wichtig den Wasserschall in der kompletten Wassersäule zu ermitteln. Ist die Wasserschallgeschwindigkeit über den gesamten Messbereich konstant, so breitet sich das Signal geradlinig aus. In diesem Fall können die einzelnen Messwerte, Positionen und Tiefen folgendermaßen berechnet werden, wobei Schatten Bereiche rechts unten in Abbildung 4, nicht erfasst werden, diese befinden sich in einem toten Winkel.

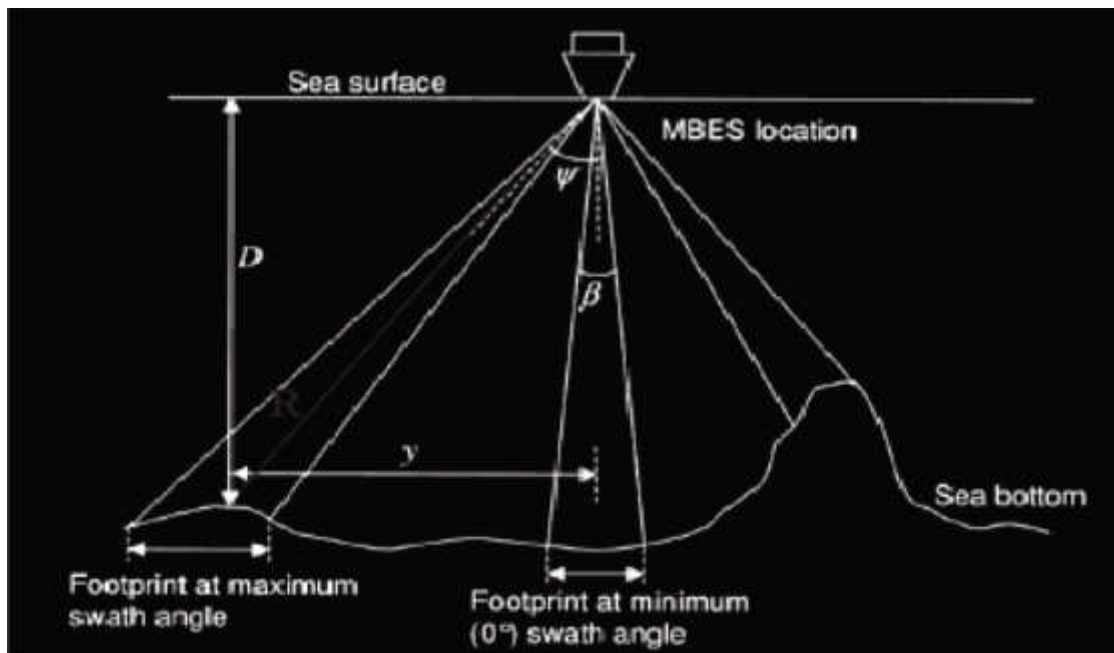


Abb.: 4 Messprinzip einer Fächerecholotung und die dazugehörigen geometrischen Größen (Schinke, 2008)

Bei bekannten Abstrahlwinkel Ψ , der dazugehörigen Laufzeit Δt und der Wasserschallgeschwindigkeit c können

- die senkrechte Tiefe D über:

$$D = \frac{1}{2} c \Delta t \cos \Psi$$

D= Wassertiefe

c= Wasserschallgeschwindigkeit

Δt = Zeitdifferenz

- und der horizontale Abstand y zur Lotrechten der Schwingermitte über:

$$y = \frac{1}{2} c \Delta t \sin \Psi$$

berechnet werden. (Vgl. Schinke 2008, S.5)

Die Tiefe wird nun zwischen der Schwingerunterkante und einem beliebigen Punkt, an dem der akustische Impuls reflektiert wird, ermittelt. Wichtig dabei ist, dass es auch bei schrägem Gewässeruntergrund zu Totalreflektionen durch entsprechend ausgerichtete reflektierende Bodenteilchen kommen kann.

Empfangen werden die Signale mit Hilfe der engen Strahlenbündel über die Querebene (in der Größenordnung von 1 bis 5°). Für jedes empfangende Strahlenbündel gilt die erkundete Zone des Grundes als der Abschnitt zwischen der ausgestrahlten Strahlenkeule und des empfangenden Strahlenbündels.

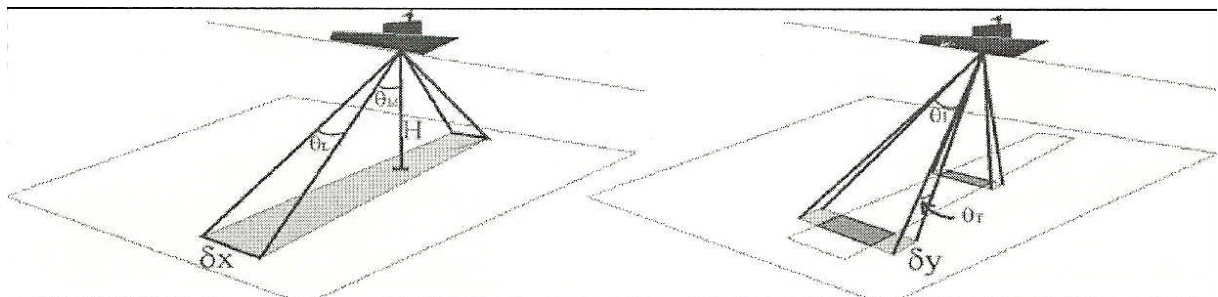


Abb.: 5 Links: Ausstrahlung des Signals, rechts: Empfang des Signals (IUEM, 2010)

Das Fächerecholot kann nach unterschiedlichen Gesichtspunkten charakterisiert werden:

- **Nach seiner akustischen Frequenz**
- **Der Reichweite des Echolots**

Die Schalldämpfung erhöht sich im Wasser mit der Frequenz. Daher kann man generell 4 Geräteklassen unterscheiden

Echolot für	Tiefenbereich [m]	Frequenz [kHz]	Art der Aufnahme
Große Tiefe	100 - 12 000	10 - 15	Kontinentalabhänge , Ozeanische Rücken, Ebenen, Gräben
Mittlere Tiefe	30 - 3000	30 - 50	Plateaus, Kontinentalabhänge
Kleine Tiefe	5 - 500	80 - 120	Kontinentales Plateau
Sehr kleine Tiefe	0 - 100	200 - 500	Küstenbereiche, Flussläufe od. für U-Boote

Tab.: 1 Übersicht über die Reichweite und Einsatzbereichs eines Echolotes (IUEM, 2010)

Abbildung 5 zeigt einen groben Überblick über die verschiedenen Reichweiten der Echolotsysteme in Abhängigkeit der verwendeten Frequenz.

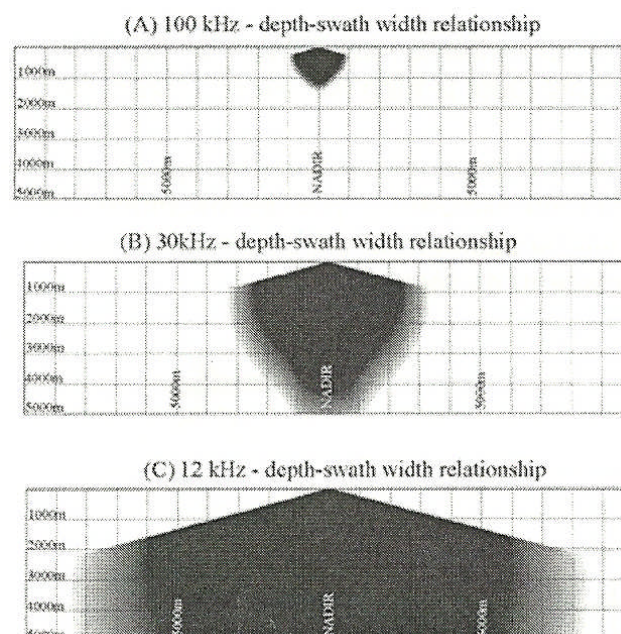


Abb.: 6 Übersicht der Echolotreichweite in Abhängigkeit der Frequenz (IUEM, 2010)

- **Dem Eindringen in weiche Materialien**

Je niedriger die Frequenz ist, desto besser dringt der Schall in weichere Materialien (Sediment) ein.

- **Der Größe der Antennen**

Die Erzeugung eines Signals niedriger Frequenz erfordert Antennen großer Dimension.

- **Der räumlichen Auflösung**

Je höher die Frequenz und je größer die Antennen, desto besser ist die räumliche Auflösung.

- **Der Anzahl der Strahlenbündel**

Variiert nach der Ausrüstung, von zehn bis einigen hundert.

- **Dem Öffnungswinkel**

Repräsentiert die Winkelbreite des Fächers und variiert generell von 90° bis 150°.

Beispiele:

Simrad EM12 Dual: 162 Strahlenbündel- 150°

ResonSeabat 7125: 512 Strahlenbündel- 128°

ResonSeabat 7101: 511 Strahlenbündel- 150°/210°

ResonSeabat 8101: 111 Strahlenbündel- 150°/210°

ODOM ES3: Strahlenbündel- 30°-150°

- **Die Winkelbreite der Strahlenbündel**

Sie variiert zwischen 1° und 5°. Man unterscheidet demnach:

- Die longitudinale Breite (in der Schiffsachse): sie ist die längslaufende Winkelbreite des ausgesandten Strahlenbündels.
- Die transversale Breite (lotrecht zur Schiffsachse): sie ist die Winkelbreite des Empfängerstrahlenbündels.

- **Die Aufteilung der Strahlenbündel**

Die Aufteilung kann entweder:

- gleichwinkelig: der Winkel zwischen der Achse zweier aufeinanderfolgender Strahlenbündel ist konstant
- abstandsgleich: der Winkel zwischen der Achse zweier aufeinanderfolgender Strahlenbündel ist unverändert konstant der Distanz zwischen den Zentren der Strahlenbündelenden.

- **Der Dauer des freigesetzten akustischen Impulses**

Es wird ein „Ping“, ein sogenanntes Signal ausgesendet: Abschnitte von sinusförmigen Signalen welche nach einer Dauer T limitiert sind. Je länger die Ausstrahlungsdauer, desto größer ist die Reichweite und desto schwächer die Auflösung. Häufig: 1 bis 10 ms.

- **Der Kadenz der Emission**

Dauer zwischen zwei konsekutiven Ausstrahlungen des Echolots. Sie ist zumindest länger als die Dauer des Hin- und Retourweges der äußeren Strahlenbündel (weniger als eine Zehntelsekunde in seichten Gewässern, mehrere Zehntelsekunden in tiefen Gewässern).

Sie ist entweder konstant (zum Beispiel am Operator fixiert), oder automatisch geregelt, abhängig vom Weg der äußeren Strahlenbündel.

- **Der Kadenz der Stichprobenerhebung des Signals**

Das ist die Kadenz der Signalstichprobenerhebung welche von jedem elementaren Messwandler/ Signalwandler erhalten werden. Dieser Messwandler wandelt mechanische Energie des Signals in elektrische Energie um.

4.3.2 Amplituden und Phasenmessung

Amplitudenmessung: misst den Zeitpunkt der maximalen Energie zu einem vordefinierten Winkel. Der Zeitpunkt des Retourimpulses ist mit dem Zentrum der Schwerkraft des Signals auf einem „Vorerkennungsfenster“ fixiert. Die Erkennungsqualität geht aus der erhaltenen Energie hervor. Diese Art von Erkennung ist nicht geeignet im Falle von lateralen Strahlenbündeln, jedoch einsatzfähig von vertikalen Strahlenbündeln.

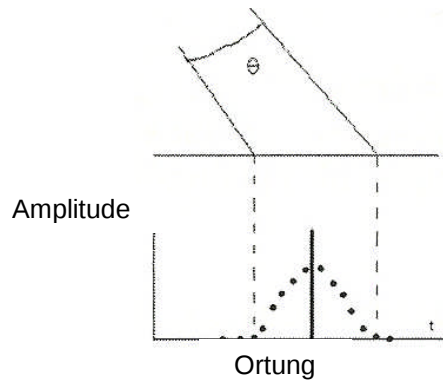


Abb.: 7 Schema der Amplitudenmessung (IUEM, 2010)

Phasenmessung: Das Prinzip dieser Erkennungsmethode besteht darin die Verspätung der Ankunft des Signals auf zwei nahestehenden Empfängern zu ermitteln (Phasenunterschied zwischen 2 „Unter-Strahlenbündel“). Diese Methode ist für schräge Strahlenbündel geeignet, nicht jedoch für vertikale.

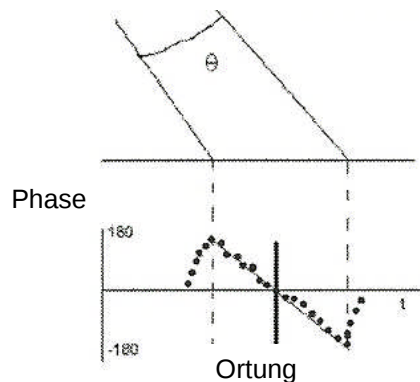


Abb.: 8 Schema der Phasenmessung (IUEM, 2010)

Die Amplitudenmessung ist für komplexe Unterwassersituationen besser anwendbar aufgrund beständigerer Ergebnisse, doch mit einer weitaus schlechteren Auflösung als die Phasenmessung.

4.3.3 Anwendung

Das Fächerecholot-System findet seine Anwendung in vielen hydrographischen Vermessungsbereichen, vor allem in tiefen Gewässern mit starker Bodenrauigkeit. An Spundwänden, Brückenpfeilern, Unterwasserbauten wie Buhnen, begleitende Baumaßnahmen, Flüsse, Marinas...

4.3.4 Daten

Mit der Multibeam-Methode kann eine flächendeckende und lückenlose Erfassung der Gewässersohle durchgeführt werden. Außerdem ist eine gleichzeitige Aufnahme der Bathymetrie sowie eines Sidescans (bildhafte Darstellung des Meeresbodens) möglich. Hinzu kommt eine kurze Messzeit. (Vgl. Arth 2006, S.23)

Aufgrund der großen Anzahl von Daten und der hochauflösenden Erfassung des Flusssohlenreliefs erhöht sich die Aussagekraft der Aufnahmen. Es können pro Sekunde etwa 40 Querprofile bestehend aus über 528 Messpunkten ermittelt werden. Dies ermöglicht ein Raster von bis zu 0,1 m x 0,1 m, mit welchem die Gerinnesohle gescannt wird.

Die erhaltenen Multibeam– Aufnahmen können in einen Isobathenplan weiterverarbeitet werden. Später kann man auch mit Hilfe geeigneter Auswertprogramme die Ergebnisse zu 3D-Darstellungen der Gerinnesohle kombinieren. (Vgl. Arth 2006, S.25)

4.4 Flächenecholot

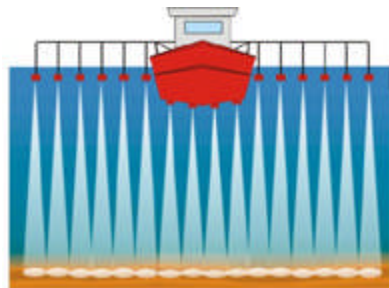


Abb.: 9 Flächenecholotsystem (Kongsberg, 2013)

4.4.1 Funktion

Beim Flächenecholotsystem handelt es sich um viele einzelne Schwinger, die an einer Stange am Ausleger des Messbootes befestigt werden. Diese Schwinger pingen wie die Schwinger einer Singlebeam-Lotung. Da sie in einem fixen Abstand zueinander, der je nach Einsatzgebiet bestimmt wird, angebracht sind, bilden sie eine Art Rechen, der durchs Wasser pflügt. Die einzelnen Schwinger messen simultan, senden jedoch meistens mit unterschiedlichen Frequenzen, um sich gegenseitig nicht zu stören. Ausschlaggebend hierbei sind natürlich einige Faktoren, wie zum Beispiel die zu messende Wassertiefe, die benötigte

Profildichte und die davon abhängigen Öffnungswinkel der Schwinger. Die Profildichte ist vorgegeben, da die Messungen wie beim Singlebeam- Verfahren an ein vordefiniertes Raster angepasst ist, welches abgefahren wird. Es kann allerdings wie bei einer Fächerecholotung die gesamte Gerinnesohle gescannt werden.

4.3.2 Anwendung

Dieses Verfahren findet seine Anwendung sowohl im Tiefen,- als auch Flachwasserbereich, wie Flüsse, Kanäle, Küstenzonen, Hafengebiete, Seen, etc.

5 Positionierung

Eine genaue Tiefenmessung erfordert eine sehr genaue Positionsbestimmung des Messbootes. Eine Positionsbestimmung ist für die Durchführung der Messungen und der Erfassung und anschließenden Zuordnung in ein geeignetes Koordinatensystem im Vorhinein zu erheben. Dies geschieht meistens mit Hilfe eines GPS (Global Positioning System)- Gerätes, welches am Schiff fixiert ist. Für die Navigation am Fluss kann ein DGPS (Differential Global Positioning System) verwendet werden. Zur Positionsbestimmung des Messbootes kann ein RTK (Real Time Kinematic)- System verwendet werden. Diese Systeme, GPS, DGPS und RTK werden in den folgenden Kapiteln näher erklärt.

Des Weiteren bedarf es einer exakten Bestimmung des Fahrverhaltens während der Peilung. Aufgrund sogenannter Squat- und Settlement- Effekte ist dies allerdings nicht so einfach, aber notwendig zur Durchführung einer korrekten Messung. Ein Bewegungssensor ist ebenfalls zu installieren. Mit dessen Hilfe werden vier weitere Effekte (Abbildung 10 und 11), welche sich negativ auf die Aufnahme fehlerfreier Messungen auswirken, ausgeschlossen.

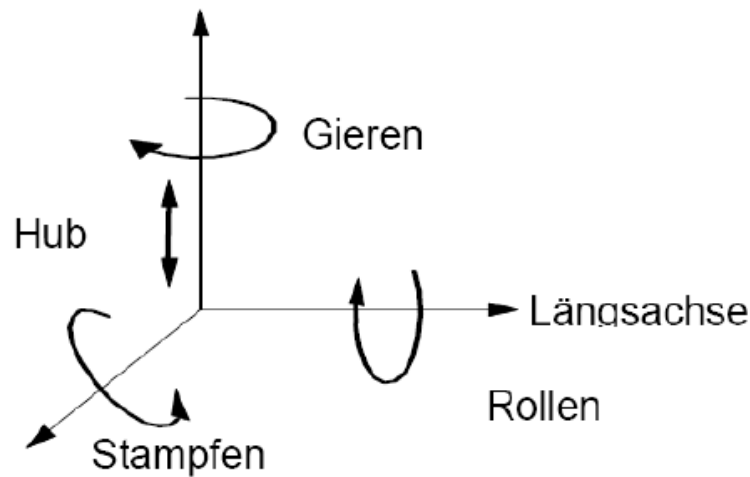


Abb.: 10 Schiffsbewegungen (Kern, 2008)

- **Der Hub**

Der Hub ist eine vertikale Bewegung der Sonde unabhängig zur mittleren Wasserspiegelhöhe.

- **Das Rollen**

Das Rollen des Messschiffes verursacht eine Änderung des Neigungswinkels der Strahlenbündel. Das heißt der Untergrund, also die Gerinnesohle, erscheint als eine wellige Fläche. Um diesem Problem entgegenzuwirken, wird vor einer Messung eine Kalibrierung durchgeführt, die durch zwei gegensätzliche, bathymetrische Profile in gleicher Richtung mit einer relativ konstanten Geschwindigkeit berechnet wird. Es werden sozusagen zwei entgegengesetzte sowie eine parallele Fahrt dazu benötigt.

- **Das Stampfen**

Das Stampfen ist der „Heave“ und beschreibt, in wie weit das Schiff ins Wasser eintaucht beziehungsweise wieder hoch kommt. Nimmt das Schiff Geschwindigkeit auf, so wird es anfänglich vom Wasser „angesaugt“ und später, nach Erreichen einer bestimmten und konstanten Geschwindigkeit, ins Gleiten versetzt und somit ein Stück nach oben gehoben. Das Stampfen des Messbootes ruft eine Strahlschwenkung um die horizontale Achse im belichteten Abschnitt hervor. So erscheint die Gerinnesohle ebenfalls als wellige Fläche. Die Eichung erfolgt auf ähnliche Weise wie beim Rollen, nur dass sie auf einer abschüssigen Zone durchgeführt wird.

- **Das Driften**

Das Driften erzeugt ebenfalls eine Strahlenschwenkung, allerdings um die vertikale Achse des gescannten Bereiches. Die Fehlerbehebung erfolgt folgendermaßen:

Die Achse einer Zone wird im Profil dargestellt und anschließend mit dem Schiff abgefahren. Dabei orientiert man sich an einem Fixpunkt (z.B.: ein vorspringendes Relief), um den Weg in die andere Richtung ebenfalls abfahren zu können. Die dadurch erhaltene mehr oder weniger reguläre Symmetrie erlaubt eine Abschätzung der Strahlenschwenkung.

Die im Vorhinein anhand der Kalibrierung ermittelten Korrekturwerte werden vor der Messung eingespielt, um die Lagegenauigkeit der Tiefenwerte zu steigern.

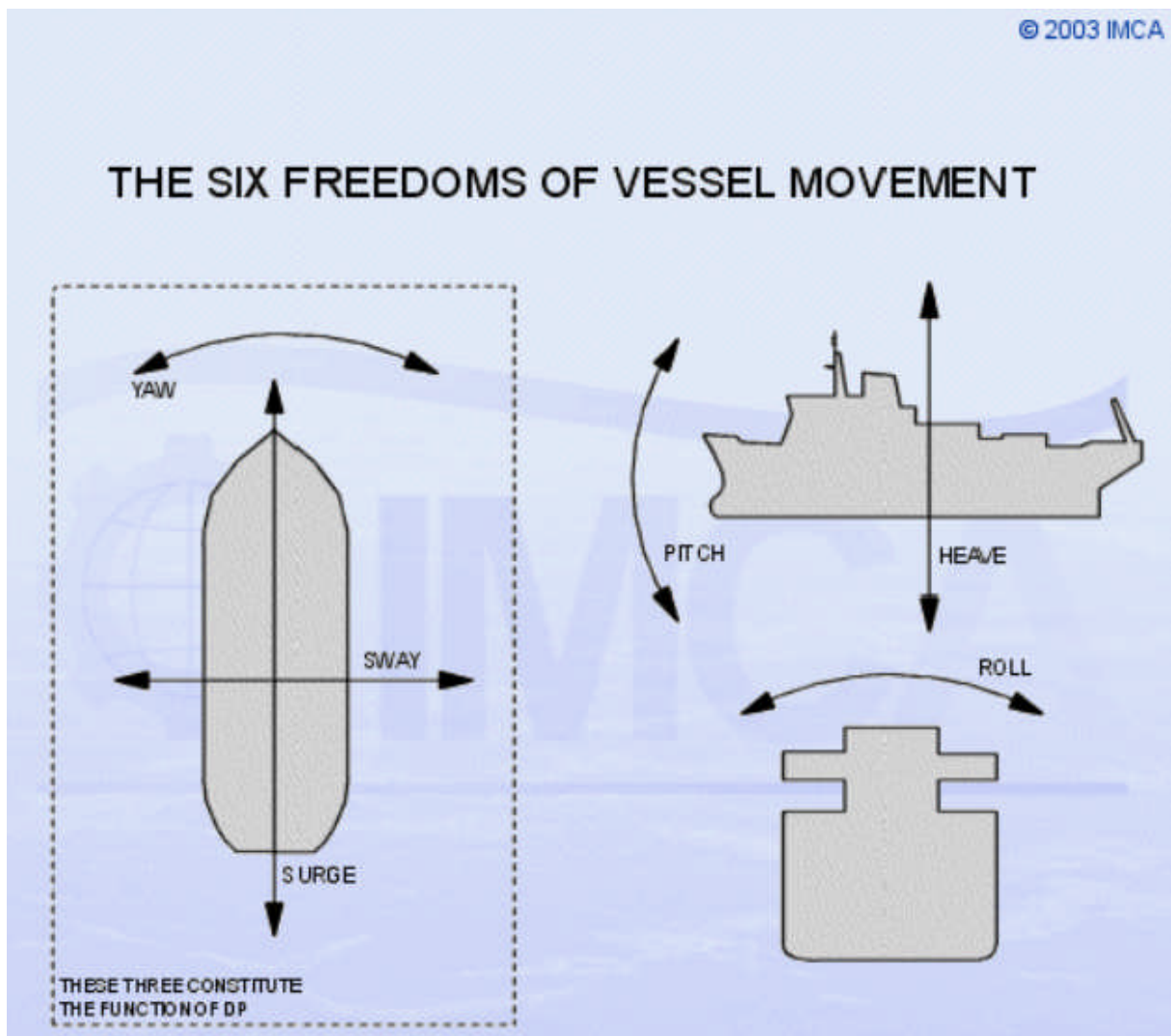


Abb.: 11 Systemskizze der Bewegungskomponenten des Schiffes (Jurisch, 2013)

5.1 GPS (Global Positioning System)

Die Entwicklung des GPS reicht bis in die 1970-er Jahre zurück und wurde damals vom U.S. Verteidigungsministerium als Mittel für Positionsbestimmungen und Navigationsaufgaben konzipiert. Zuerst diente diese zum damaligen Zeitpunkt bahnbrechende Erfindung ausschließlich militärischen Zwecken, doch hat man bereits früh die Nutzung für zivile Bereiche forciert. Zum einen für die Navigation auf hoher See und in der Luftfahrt, zum anderen für Vermessungszwecke. Heute ist der Einsatz von GPS in vielen Bereichen weit verbreitet.

Das GPS-System basiert auf drei Segmenten, von denen jedes eine andere Aufgabe erfüllt. (Vgl. Leica GPS-Basics)

- **Raumsegment**

Dieses umfasst mindestens 24 Satelliten, welche die Erde alle 12 Stunden in einer Höhe von rund 20200 km umkreisen. Ausgestattet mit Empfänger, Sender, Antenne und Atomuhren garantieren sie aufgrund ihrer Konstellation und Laufbahnen eine relativ gute Abdeckung der Erdoberfläche. Die Satelliten sind mit einem Mindestelevationswinkel von 15° so positioniert, dass mindestens vier davon zu jeder Zeit immer sichtbar sind. (Vgl. Leica GPS-Basics)

- **Kontrollsegment**

Dieses sind sogenannte Stationen, welche rund um den Äquator aufgestellt sind, und einerseits laufend die Umlaufpositionen der Satelliten aktualisieren, kalibrieren und dessen Atomuhren synchronisieren, sowie versuchen deren Umlaufbahnen für die jeweils kommenden 24 Stunden vorhersagen. Sie dienen sozusagen zur Kontrolle der Satelliten und leiten die gesammelten und geänderten Daten an die Empfänger weiter. (Vgl. Leica GPS-Basics)

- **Nutzersegment**

Dieses umfasst jeden, der mit Hilfe eines GPS-Empfängers GPS-Signale empfängt und diese weiterverarbeitet, sei es um seine Position zu bestimmen oder nur die genaue Zeit zu ermitteln.

Das GPS funktioniert auf unterschiedliche Weise. Das heißt, die Position kann abhängig von der gewünschten Genauigkeit und des zur Verfügung stehenden Empfänger-Typen anhand dreier Messmethoden ermittelt werden. Diese sind:

- **Autonome Navigation**
- **Differentielle Phasenmessung**
- **Differentiell korrigierte Positionierung (DGPS)**

Folgend wird jedoch nur auf das DGPS weiter eingegangen, da dieses Verfahren hauptsächlich in der Hydrographie verwendet wird.

Beim GPS-Verfahren werden im Grunde die Distanzen von den GPS-Empfängern der Erde zu den jeweiligen Satelliten gemessen und somit die Entfernungen und Positionen bestimmt. Dies erfolgt über die Berechnung der Laufzeit der verschiedenen Satelliten-Signale. Es können jedoch aufgrund einiger Faktoren nur „Pseudostrecken“ gemessen werden. Hinzu kommen mehrere Fehlerquellen

Ionosphärische und troposphärische Laufzeitverzögerung

Satelliten- und Empfängeruhrenfehler

Mehrwegeeffekte

Dilution of Precision (DOP)

Selective Availability (S/A)

Anti-Spoofing (A-S)

die eine Messung der Position um mehrere Meter an Genauigkeit beeinflussen können. (Vgl. Leica GPS-Basics)

5.2 DGPS (Differential Global Positioning System)

Ein DGPS arbeitet mit ortsfesten Empfängerstationen, sogenannten Referenzstationen. Die Referenzstation ist die Basisstation, die auf einem koordinativ bereits bekannten Punkt aufgestellt wird. Mit Hilfe des Referenzempfängers ist es möglich, die Abweichungen zwischen den aus Koordinaten berechneten und mit GPS gemessenen Entfernungen zu den

einzelnen Satelliten festzustellen. Die so erhaltenen Werte dienen der weiteren Verarbeitung als Korrekturwerte, die über Funk an die Roverstation übertragen werden können. Ein Rover-Empfänger ist der Gegenpart dazu, er ist ebenfalls mit einer Funkverbindung ausgestattet und ist somit in der Lage, die von der Basisstation gesendeten Korrekturdaten zu erhalten. Weiters berechnet er ebenfalls die Distanzen zu den Satelliten. Aufgrund der übernommenen Korrekturwerte kann eine genauere Position des Rovers bestimmt werden (genauer als 1 m).

Das normale GPS-Verfahren erlaubt eine Genauigkeit von 1-5 m, je nach Anwendungsbereich. Dies ist allerdings für eine Messung, welche selbst in der Lage zwischen 2-10 cm liegen soll, nicht ausreichend. Daher wird das DGPS-Verfahren angewendet, mit einer Genauigkeit von 0,5-2 cm.

Es besteht heute die Möglichkeit, Basisdaten für die DGPS-Messung zuzukaufen. Davon ist jedoch eher abzuraten, da in diesem Fall aus wirtschaftlicher Sicht gleich mit der RTK-Methode gemessen werden kann.

5.3 RTK (Real Time Kinematic)

Die RTK ist eine „Real-Time-Kinematic“, eine sogenannte „on-the-fly“ Vermessung. Ähnlich wie beim DGPS kommen sowohl eine Referenzstation als auch ein Rover zum Einsatz. Dieses Verfahren wird zudem auch "Trägerphasen-Differential GPS" genannt, um mit Trägerphasenmessungen cm- Genauigkeiten in Echtzeit zu liefern. Kennzeichnende Merkmale der RTK-Methode sind:

Eine Übertragung von Trägerphasen- und Pseudorange-Daten von einer Referenzstation zur Rover Station in Echtzeit

Lösung der Mehrdeutigkeiten der Trägerphasenmessungen mit dem Algorithmus "on the fly" (OTF),

sowie eine zuverlässige Bestimmung von Basislinienvektoren zwischen den Stationen in Echtzeit oder nahezu Echtzeit.

Es können mit diesem Verfahren cm- Genauigkeiten erzielt werden. Aus diesem Grund wird die RTK- Methode immer häufiger eingesetzt. (Vgl. Kahmen 2006, S. 372)

6 Messgenauigkeiten

Die Messgenauigkeiten richten sich nach internationalen Vorgaben. Die IHO (Internationale Hydrographische Organisation) legt in diesem Fall die Standards für hydrographische Vermessungen fest. In folgender Abbildung 12 sind die Anwendungsbereiche und Anforderungen aufgelistet.

ORDER	Special	1	2	3
Example of typical areas	Harbours, berthing areas and associated critical channels with minimum underkeel clearances	Harbours, harbour approach channels, recommende tracks and some coastal areas with depths up to 100m	Areas not described in Special Order and Order 1, or areas up to 200m water depth	Offshore areas not described in Special Order and Order 1
Horizontal Accuracy (95% Confidence Level)	2m	5m + 5% of depth	20m + 5% of depth	150m + 5% of depth
Depth Accuracy for Reduced Depths (95% Confidence Level)	a= 0,25 m b= 0,0075	a= 0,5 m b= 0,013	a= 1 m b= 0,023	a= 1 m b= 0,023
100% Bottom Search	Compulsory	Requested in selected areas	May be required in selected areas	Not applicable
System Detection Capability	Cubic feature > 1m	Cubic features > 2m in depths up to 40m; 10% of depths beyond 40m	Same as Order 1	Not applicable
Maximum Line Spacing	Not applicable; as 100% search compulsory	3 x average depth or 25m, whichever is greater	3-4 x average depth or 200m, whichever is greater	4 x average depth

Abb.: 12 IHO Standards for Hydrographic Surveys - Special Publication No. 44, 4th Ed. 1998 (Arth, 2003)

Zur Berechnung der erforderlichen Grenzgenauigkeiten wurde von der IHO eine Formel entwickelt die dieses Vorhaben ermöglicht.

Um die Fehlerlimits für die Tiefengenaugkeiten zu berechnen, müssen die Werte a und b, die in der obigen Tabelle genannt sind, in folgende Formel einbezogen werden.

$$\pm\sqrt{a^2 + (bxd)^2}$$

a = konstanter Tiefenfehler, als Summe aller konstanten Fehler

b x d = tiefenabhängiger Lotfehler, das heißt die Summe aller tiefenabhängigen Lotfehler

b = Faktor des tiefenabhängigen Lotfehlers

d = Tiefe

Als Beispiel kann man hier das „Spezial Order Survey“ hernehmen, dessen Werte mit a= 0,25 m, b= 0,0075, d= 15 m → eine Grenzgenauigkeit der Tiefe bei 15 m +/- 0,27 m ergeben. (Vgl. Arth 2003, S.8)

Wie bereits in Kapitel 6 erwähnt, gibt es einige Effekte, die das Peilschiff bei der Durchführung von Messungen am Wasser erfährt, die sich auf die Peilgenauigkeit fehlerhaft auswirken. Aufgrund der Einwirkungen der Schiffsbewegung gilt es diese Fehlerquellen so gut wie möglich zu eliminieren. Folgend gibt es auch hier Toleranzgrenzen, die eingehalten werden müssen.

Hier unterscheidet man zwischen Singlebeam und Fächerecholot, welche eine unterschiedliche Einstrahlung auf die Gewässersohle haben.

6.1 Gerade Einstrahlung

Bei dieser Art von Einstrahlung handelt es sich um die einfache Lotung eines Einstrahl-Echolotes.

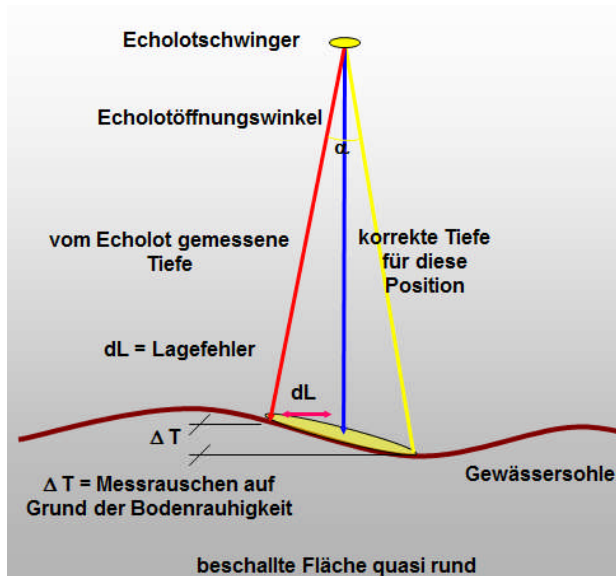


Abb.: 13 „Footprint“ des Einstrahl-Echolotes

(Arth 2003, S.32)

Tab.: 2 Einstrahlung mit verschiedenen Öffnungswinkeln und dazugehörigen Messfehlern (Arth 2003, S.32)

Hohe Frequenz (Öffnungswinkel α 3°)

	3 deg	Footprint
Tiefe	$dL = \sin \alpha \times T$	$dL \times 2$
5	0,13	0,26
10	0,26	0,52
12,5	0,33	0,65
15	0,39	0,79

Hohe Frequenz (Öffnungswinkel α 9°)

	9 deg	Footprint
Tiefe	$dL = \sin 4,5 \times T$	$dL \times 2$
5	0,39	0,78
10	0,78	1,57
12,5	0,98	1,96
15	1,18	2,35

Niedrige Frequenz (Öffnungswinkel α 23°)

	23 deg	Footprint
Tiefe	$dL = \sin 11,5 \times T$	$dL \times 2$
5	1	1,99
10	1,99	3,99
12,5	2,49	4,98
15	2,99	5,98

6.2 Gerade Einstrahlung auf eine Hangneigung

Anhand der folgenden Abbildung 13 kann man deutlich die Probleme einer Messung auf einer geneigten Ebene erkennen. In diesem Fall setzt sich der Lotungsfehler aus einem Tiefenfehler und einem Lagefehler der Einstrahlung zusammen.

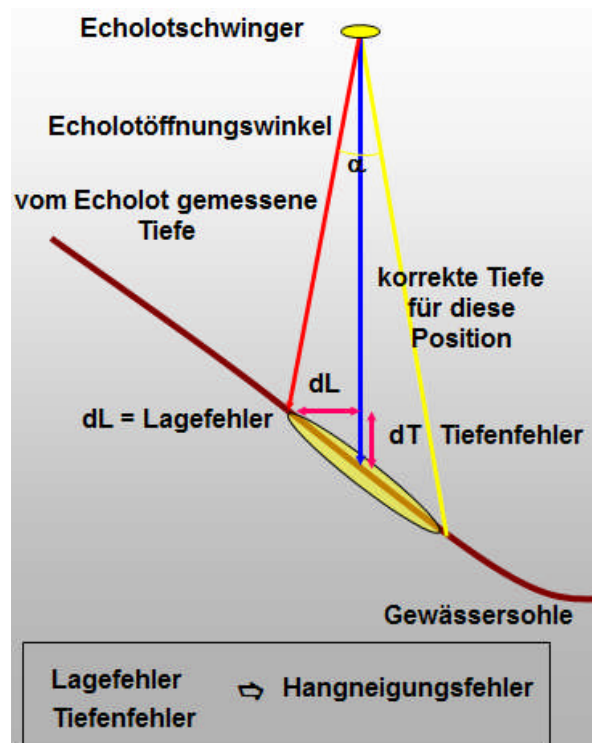


Abb.: 14 Einstrahlung auf Hangneigung (Arth 2003, S.33)

Die Tabelle 3 zeigt, dass die Messfehler je nach Öffnungswinkel des Echolotes und der geloteten Tiefe variieren.

Footprint und tiefenabhängiger Lotfehler
hohe Frequenz - eng gebündelter Echolotsschwinger - 3 deg
Öffnungswinkel

	3 deg	Footprint	1 : 3	1 : 4	1 : 5
Tiefe	$dL = \sin \alpha \times T$	$dL \times 2$	$dT = dL \times \frac{1}{3}$	$dT = dL \times \frac{1}{4}$	$dT = dL \times \frac{1}{5}$
5,00	0,13	0,26	0,04	0,03	0,03
10,00	0,26	0,52	0,09	0,07	0,05
12,50	0,33	0,65	0,11	0,08	0,07
15,00	0,39	0,79	0,13	0,10	0,08

**Footprint und tiefenabhängiger Lotfehler
hohe Frequenz - normaler Echolotschwinger - 9 deg
Öffnungswinkel**

	9 deg	Footprint	1 : 3	1 : 4	1 : 5
Tiefe	$dL = \sin \times T$	$dL \times 2$	$dT = dL \times \frac{1}{3}$	$dT = dL \times \frac{1}{4}$	$dT = dL \times \frac{1}{5}$
5,00	0,39	0,78	0,13	0,10	0,08
10,00	0,78	1,57	0,26	0,20	0,16
12,50	0,98	1,96	0,33	0,25	0,20
15,00	1,18	2,35	0,39	0,29	0,24

**Footprint und tiefenabhängiger Lotfehler
niedrige Frequenz - normaler Echolotschwinger - 23 deg
Öffnungswinkel**

	23 deg	Footprint	1 : 3	1 : 4	1 : 5
Tiefe	$dL = \sin \times T$	$dL \times 2$	$dT = dL \times \frac{1}{3}$	$dT = dL \times \frac{1}{4}$	$dT = dL \times \frac{1}{5}$
5,00	1,00	1,99	0,33	0,25	0,20
10,00	1,99	3,99	0,66	0,50	0,40
12,50	2,49	4,98	0,83	0,62	0,50
15,00	2,99	5,98	1,00	0,75	0,60

Tab.: 3 Werte der Einstrahlung und dessen tiefenabhängige Lotfehler (Arth 2003, S.33)

Zu erkennen sind die aufgrund der Verzerrungen unterschiedlichen Werte, daher ist es wichtig, den Hangneigungsfehler zu korrigieren, um deutliche Abweichungen der Gerinnesohle zu vermeiden.

6.3 Überdeckungsgrad und Messabweichungen einer Fächerlotung

Das Fächerecholot hat einen anderen „Footprint“ als das Singlebeam- Verfahren, bei dem es quasi nur einen Strahl gibt, der die Gewässersohle abtastet. Die folgende Abbildung 15 veranschaulicht das Messprinzip einer solchen Fächerlotung.

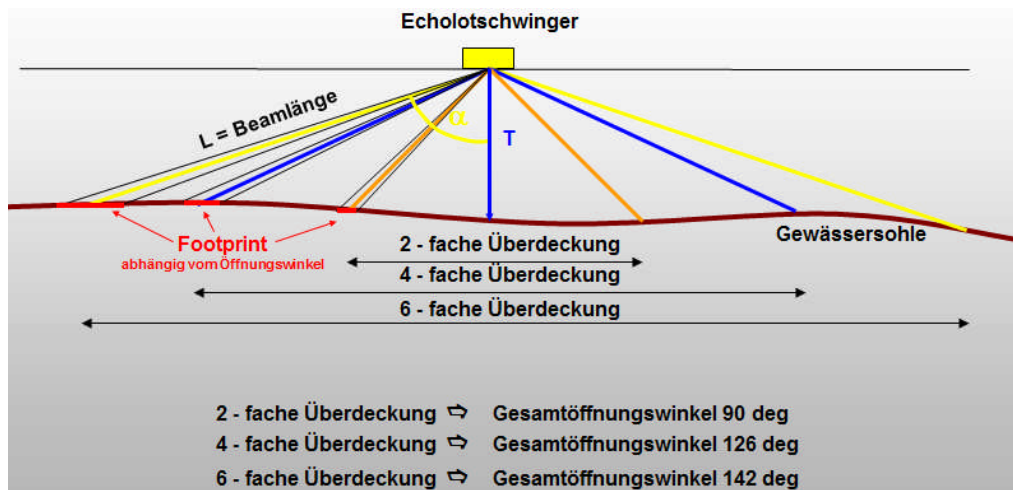


Abb.: 15 Schema der Überdeckung eines Fächerecholotes (Arth 2003, S.35)

Man sieht die verschiedenen Einstrahlungen, wobei der jeweils äußere Beam zu beachten ist. Die Tabelle 4 zeigt nun die Abweichungen der Multibeam-Messungen eines Echolotes mit hoher Frequenz im Außenbereich (äußerer Beam) mit einem Öffnungswinkel von 3° längs und 1,5° quer, beziehungsweise 1° längs und 0,5° quer. (Vgl. Arth 2003, S.38)

L = Länge des äußeren Beams

Öffnungs- winkel	90 deg	126 deg	142 deg
	2 fache Über- deckung	4 fache Über- deckung	6 fache Über- deckung
Tiefe	L (45)	L (63)	L (71)
5,00	7,07	11,01	15,36
10,00	14,14	22,03	30,72
12,50	17,68	27,53	38,39
15,00	21,21	33,04	46,07

Footprint 45 Grad - 2 fache Überdeckung

Tiefe	Länge Beam	Längs 3 Grad	Quer 1,5 Grad	Längs 1deg	Quer 0,5 deg
5,00	7,07	0,37	0,19	0,12	0,12
10,00	14,14	0,74	0,37	0,25	0,25
12,50	17,68	0,93	0,46	0,31	0,31
15,00	21,21	1,11	0,56	0,37	0,37

Footprint 63 Grad - 4 fache Überdeckung

Tiefe	Länge Beam	Längs 3 Grad	Quer 1,5 Grad	Längs 1deg	Quer 0,5 deg
5,00	11,01	0,58	0,29	0,19	0,19
10,00	22,03	1,15	0,58	0,38	0,39
12,50	27,53	1,44	0,72	0,48	0,48
15,00	33,04	1,73	0,86	0,58	0,58

Footprint 71 Grad - 6 fache Überdeckung

Tiefe	Länge Beam	Längs 3 Grad	Quer 1,5 Grad	Längs 1deg	Quer 0,5 deg
5,00	15,36	0,80	0,40	0,27	0,27
10,00	30,72	1,61	0,80	0,54	0,54
12,50	38,39	2,01	1,01	0,67	0,68
15,00	46,07	2,41	1,21	0,80	0,81

Tab.: 4 Gegenüberstellung der verschiedenen Messgenauigkeiten abhängig vom Öffnungswinkel des Echolotes (siehe Arth, 2003)

Was man hier deutlich erkennen kann, sind die Unterschiede bezüglich des „Footprints“. Dieser ist um ein 3 faches kleiner bei einem Echolot mit dem Öffnungswinkel von 1° längs und 0,5° quer als bei einem Echolot mit Öffnungswinkel von 3° längs und 1,5° quer.

6.4 Messungen an einer Kaimauer

Um Messungen erfolgreich durchführen zu können, ist es wichtig, eine geeignete Methode zu wählen. Darum ist es von großer Bedeutung, die hydroakustischen Wirkprinzipien der Fächerecholote zu verstehen. Man unterscheidet hier zwei wesentliche Verfahren: Zum einen das Beamforming- Verfahren (Amplitudenmessung) und zum anderen das Phasen-Verfahren. Die beiden Verfahren wurden bereits in Kapitel 3.2 vorgestellt. In Abbildung 16 ist das Amplitudenverfahren veranschaulicht. Hier sieht man eine schön geformte Parabel, bei der die jeweiligen Einzelaufzeiten für jedes Winkelintervall

ausschlaggebend sind. Somit zentriert sich die Datendichte in die Mitte der Messung, wo diese schließlich am größten ist. (Vgl. Arth 2003, S.41)

Die rechte Abbildung 16 stellt das hydroakustische Wirkprinzip des Phasenverfahrens dar.

Deutliche Unterschiede erkennt man hier im Außenbereich der Kurve, diese bildet eher ein breit ausgeformtes „U“ mit einer Verlagerung der Datendichte zu den Rändern. Weiters sind hier im Gegensatz zum Beamforming-Verfahren die einzelnen Winkel für die jeweiligen Laufzeitintervalle ausschlaggebend.

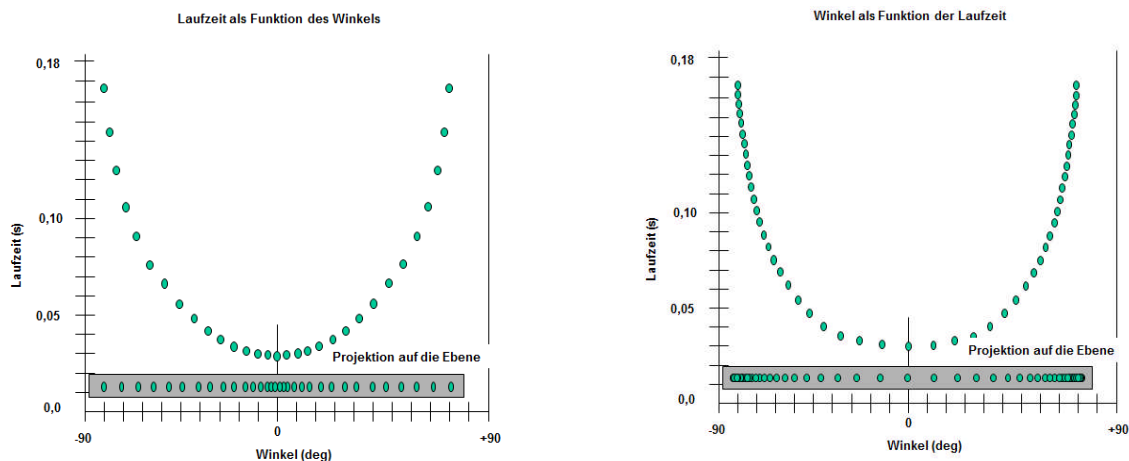


Abb.: 16 Hydroakustisches Wirkprinzip eines Fächerecholotes, links „Amplitudenverfahren“ rechts „Phasenverfahren“ (Arth 2003, S.42-43)

Die oben genannten zwei Wirkprinzipien werden nun zur Messung an einer Kaimauer angewandt. Die Ergebnisse dieser Messung sind in Abbildung 17 dargestellt. Auf der linken Seite wurde mit dem Beamforming-Verfahren gemessen. Man erkennt eine eher gleichmäßige Verteilung der Messpunkte und somit einer relativ gleichmäßige Abbildung sowohl der Gerinnesohle als auch entlang der Mauer. Im Gegensatz dazu sieht man im rechten Bild das Resultat der Phasenmessung, welches im Bereich der Kaimauer deutliche Unterschiede aufweist.

Es kommt zu einer zu starken Streuung des Signals, was eine genaue Abbildung des Überganges zwischen der Gerinnesohle und der Mauer, so wie es beim Beamforming-Verfahren der Fall ist, nicht ermöglicht.

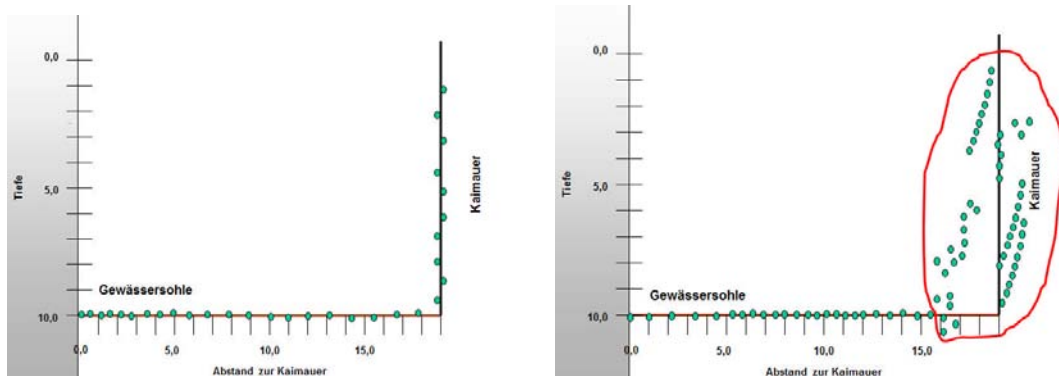


Abb.: 17 Anwendung hydroakustischer Wirkprinzipien entlang einer Kaimauer, links Beamforming-Verfahren, rechts Phasenverfahren (Arth 2003, S.44-45)

Bei Messungen im Bereich von Kaimauern ist daher auf gegebene Wassertiefen und Gewässerbreite zu achten. Abhängig davon müssen geeignete Lotverfahren angepasst und angewendet werden.

6.5 Messungen über einer steinigen Gewässersohle

Die Gewässersohle ist nicht immer aus homogenem Material zusammengesetzt, wodurch Unebenheiten aufgrund von Geschiebe entstehen können. In solchen Fällen ist darauf zu achten ein geeignetes Lotungsverfahren zu wählen, welches sich am besten an die vorhandenen Gegebenheiten anpasst. Des Weiteren kann hierbei auch zwischen Singlebeam- und Multibeam-Verfahren unterschieden werden.

In Abbildung 18 sieht man eine Einzelstrahl-Lotung auf Steinen. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Strahlen unterschiedlich weit eindringen. Dies ist auf die Öffnungswinkel der Echolotschwinger zurückzuführen. Benötigt man eine eher genauere Auflösung, so ist es von Vorteil, Echolotschwinger mit geringeren Öffnungswinkeln zu verwenden, da diese auch tiefer eindringen können. Benützt

man jedoch Echolotschwinger mit größeren Öffnungswinkeln, so dringen die Strahlen weniger tief ein und ergeben somit eine eher gemittelte Auflösung der Oberfläche.

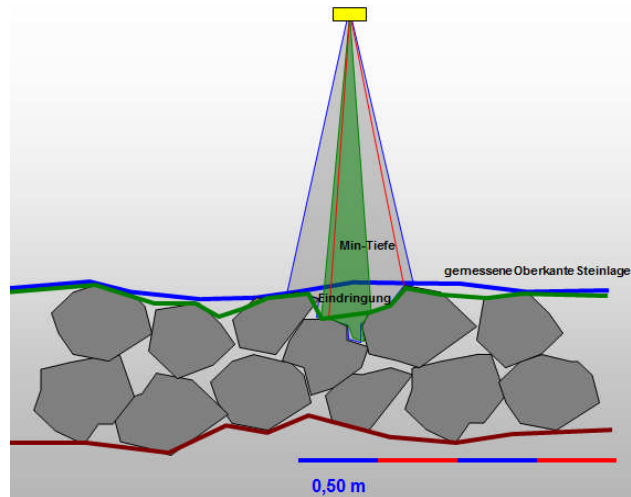


Abb.: 18 Singlebeam-Lotung auf steinigem Untergrund (Arth2003, S.47)

Bei der Multibeam- Messung ist es weitaus schwieriger eine genaue Aussage über die Sohlenoberfläche zu treffen. Aufgrund der zahlreichen Einstrahlungen kann es keine homogene Oberflächenmessung geben. Der Strahl, der sich genau unter dem Peilschiff befindet, hat die kürzeste Strecke und den kleinsten Winkel. Daher kann dieser auch dementsprechend am weitesten eindringen, während die anderen Strahlen, die sich weiter entfernt befinden, nur schräg auf der Sohle auftreffen und so der „Footprint“ etwas verzerrt wird. Außerdem können sie nicht so weit eindringen wie der mittige Strahl, der dadurch auch eine bessere und genauere Auflösung bietet wie der Rest.

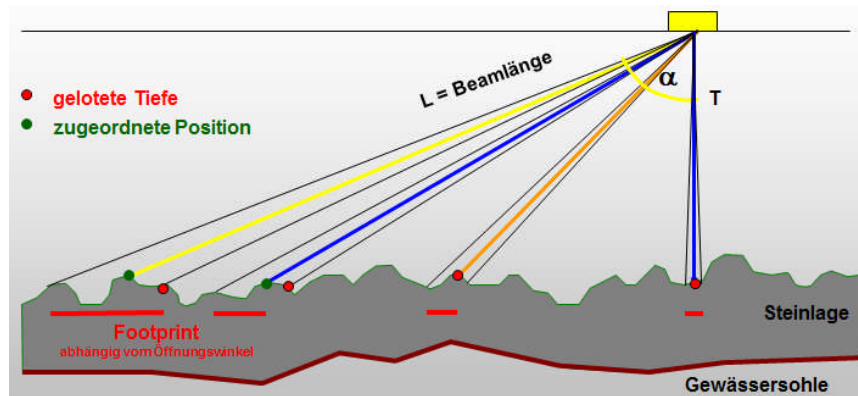


Abb.: 19 Multibeam-Lotung auf Steinen (Arth 2003, S.48)

Bei all den Messungen dürfen natürlich die Fahrgeschwindigkeit und die damit in Zusammenhang stehende Pingrate nicht außer Acht gelassen werden. Ist die Fahrgeschwindigkeit zu hoch, und die Pingrate zu niedrig, können leicht Hindernisse unter Wasser übersehen, beziehungsweise von der Lotung nicht berücksichtigt werden. Daher ist es wichtig die Pingrate der Geschwindigkeit anzupassen, sodass wirklich die gesamte Gerinnesohle gescannt werden kann. Bei einer Pingrate von 20 Hz und einer Fahrgeschwindigkeit von 2 m/s werden 12 Pings gesendet und somit 6 Punkte pro m aufgenommen.

7 Messungen der einzelnen Methoden

Im Folgenden werden nun Messprojekte vorgestellt. Aufgrund eines unvorhergesehenen Ausfalles des Flächenecholotes konnten leider keine aussagekräftigen Messungen, zum direkten Vergleich, durchgeführt werden.

Es fanden die jeweiligen Messungen mit unterschiedlichen Methoden an drei verschiedenen Standorten statt. Um eine Messung mit allen Methoden durchführen zu können, war es vorab wichtig, unseren Standpunkt und alle wichtigen Parameter genau zu definieren. Dazu ist es notwendig sich im Vorhinein zu positionieren, in unserem Fall mit dem des RTK-Verfahren, welches in *Kapitel 5* näher erläutert wurde.

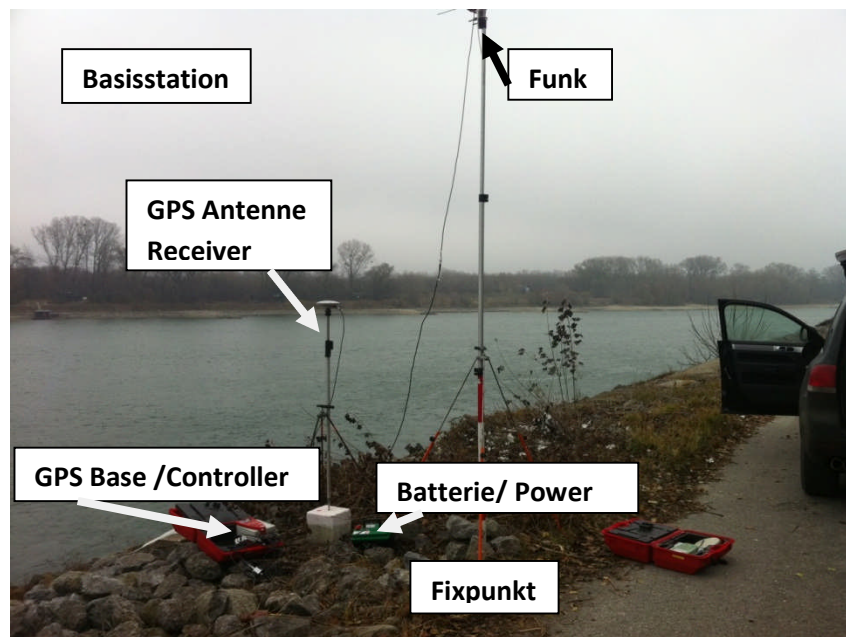


Abb.: 20 Foto der Basisstation

Die Abbildung 20 zeigt die Konstellation der Basisstation, welche zu den jeweils einzelnen Messungen im Vorfeld aufgebaut wurde. Sie ist im Prinzip schnell zu errichten, und sie besteht aus einem Funkgerät, einer GPS-Antenne beziehungsweise Receiver, einer GPS-Base und einer Energieversorgung für die diversen Geräte.

7.1 Linz-Dürnberger Kachlet

Das Untersuchungsgebiet befindet sich am km 2142.6-2142.9 der Donau in der Nähe der alten Schleuse Ottensheim.



Abb.: 21 Skizze des Untersuchungsgebietes Dürnberger Kachlet mit Querprofilen

Aufgrund punktueller Hochstellen im Gebiet des Dürnberger Kachlet, welche eine gefahrlose Nutzung der Fahrrinne gefährden, wurden in diesem Bereich Messungen durchgeführt. Beim Dürnberger Kachlet wurden Messungen an der Gewässersohle durchgeführt, Ziel der Messungen in diesem Abschnitt war die Erhebung der Wassertiefen, sowie der Gerinnesohlenmorphologie, beziehungsweise die Ortung der Felsen, um eine neue Fahrrinne für die Schifffahrt herstellen zu können. Im Anschluss daran wurde zusätzlich eine physikalische Überprüfung mit Hilfe der Rahmenpeilung durchgeführt. Die Messungen vor Ort erfolgten mit der Singlebeam-Methode, der Fächerlotung beziehungsweise der Rahmensondierung als Kontrollmessung.

7.1.1 Rahmensondierung

Die Messung mit dem Peilrahmen vom 20.7.2012 verlief in Längsrichtung der Fahrrinne. Das Messboot ist im vorderen Teil mit dem Peilrahmen ausgestattet. Der Rahmen ist mit einer Computer-Software (Neptun) an Bord des Bootes verbunden, um die erhaltenen Signale zu erfassen. Schlägt der Rahmen unter Wasser an ein Hindernis, so wird ein Signal direkt an den Computer weitergeleitet. Dieser zeichnet stetig den Messverlauf auf und meldet, wenn es Probleme oder Fehlmeldungen unter Wasser gibt.

Diese sind am Bildschirm sichtbar und müssen vom Ingenieur sofort notiert werden, um spätere Fehler bei der Datenverarbeitung zu vermeiden. Am Bildschirm werden alle wichtigen Daten erfasst und sind jederzeit ablesbar.

Die Abbildungen 22 und 23 zeigen die Darstellungen der Messungen auf den Bildschirmen an Bord des Messbootes. Am hinteren Bildschirm werden die Einstellungen des Peilrahmens definiert. Man kann das kleine blaue Boot erkennen, welches das Messboot mit der Schiffsachse darstellt und den beiden Seitenabständen, quasi den Fahrrinnenkanal. Die kleinen schwarzen Punkte in Front des Bootes stellen in diesem Fall die sechs Rahmen dar, welche am vorderen Teil montiert sind.

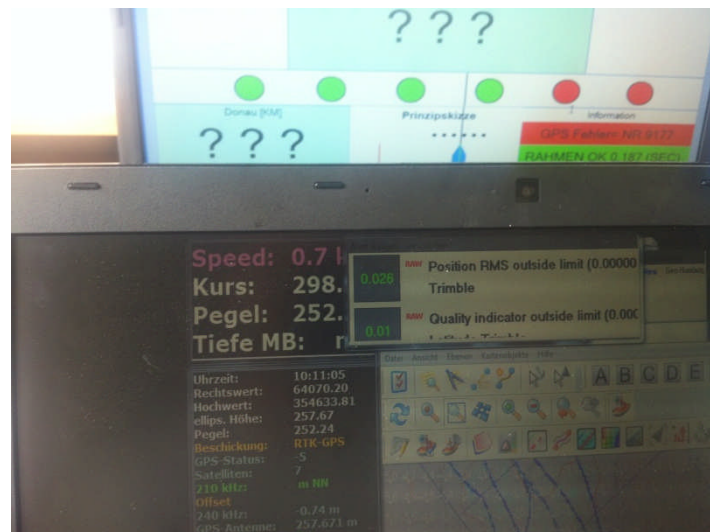


Abb.: 22 Darstellung der Peilrahmenmessung während der Fahrt am Computer



Abb.: 23 Darstellung der Peilrahmenmessung während der Fahrt am Computer

Auf dem Bildschirm im Vordergrund sind die restlichen wichtigen Parameter angeführt. Die Geschwindigkeit des Bootes, die Uhrzeit, die Koordinaten, die Pegelhöhe, die aktuelle Tiefe des Gewässers und vieles mehr. In Abbildung 22, rechts unten, ist ebenfalls der Kursverlauf des Schiffes beziehungsweise der Messungen angezeigt. In Echtzeit laufen die blauen Linien mit.

7.1.2 Messung mit Singlebeam

Die Singlebeam-Messung mit dem Gerät ADMODUS erfolgte im gleichen Gebiet, allerdings nicht entlang der Fließrichtung sondern in Form von Querprofilen. Die Datenpunkte wurden mit Hilfe eines Singlebeam-Echolotes ermittelt und unmittelbar aufgezeichnet. Auch hier werden die Daten zeitgleich am Bildschirm angezeigt. Zur Aufnahme der Daten wurde mit dem Software Programm Qinsy gearbeitet, welches auch zum Editieren und zur Auswertung zum Einsatz kommt. Qinsy wurde sowohl bei allen Singlebeam- als auch Multibeam-Messungen eingesetzt. Die folgende Abbildung 24 zeigt die Geräte, welche für eine Singlebeam-Messung notwendig sind. Diese können jeder Zeit abmontiert und an einem anderen Boot fixiert werden.

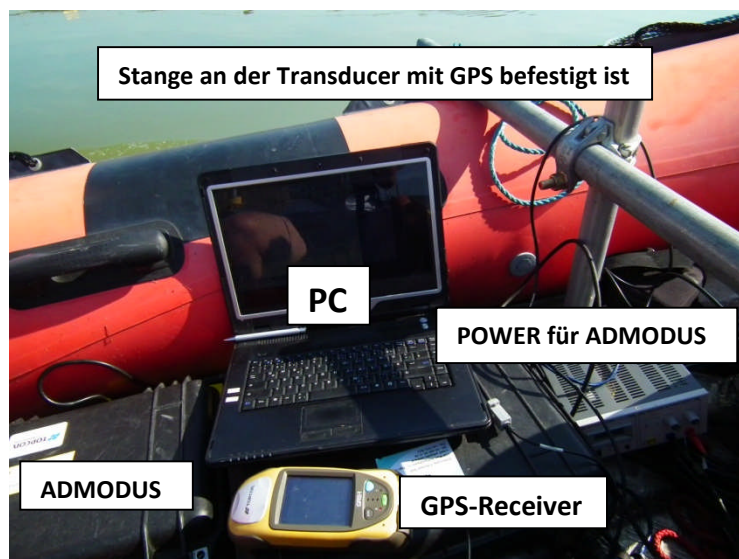


Abb.: 24 Bestandteile einer Singlebeam-Messung

Quer zur Fließrichtung von West nach Ost wurden die Profile aufgenommen. Um eine ordentliche und aussagekräftige Messung zu gewährleisten, wurden die Querprofile im Abstand von 10 m aufgenommen, wonach bei einer Tiefenmessung mit dem Echolot 8 Punkte in einer Sekunde gemessen werden.

7.1.3 Messung mit Multibeam

Die Multibeam-Messung fand am 2.7.2012, ebenfalls am gleichen Gewässerabschnitt statt. Das Untersuchungsgebiet wurde mit einem Multibeam-Echolot Reson Seabat 7101- 210° gescannt. In diesem Fall wurde die Fahrrinne, beziehungsweise die Gerinnesohle, komplett aufgenommen. Für die Multibeam-Messung war das Messboot mit folgenden Geräten ausgestattet:

Vorrichtung für die Fächerecholotausrüstung (außen am Boot befestigt)

GPS Antenne

GPS Controller

Hardware Key/Dongle

Motion Sensor

PC für das Programm Qinsy

PC für Multibeam



Abb.: 25 Messboot

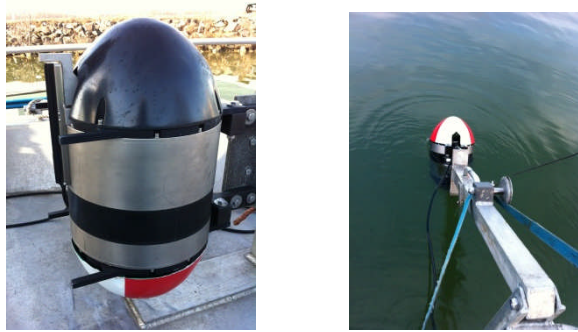


Abb.: 26 Echolot Reson Seabat 7101



Abb.: 27 GPS-Controller und Hardware Key mit Dongle

Die Abbildungen 24 bis 27 zeigen noch einmal, wie einige Geräte an Bord installiert sind. In Abbildung 27 sieht man den GPS-Controller, welcher mit der GPS Antenne außen in Kontakt steht. Gemeinsam sind sie für die Positionierung verantwortlich. Wichtig ist auch der Dongle, er ist sozusagen der Sicherheitsschlüssel für die Inbetriebnahme.

In Abbildung 28 kann man außen, mit Blick durch das Kabinfenster, die Vorrichtung für das Echolot erkennen. Zudem sieht man die drei Bildschirme, welche mit dem Messgerät verbunden sind, und somit aktuelle Bilder und Daten der Messung darstellen. Der Bildschirm rechts unten dient dem Kapitän zur Orientierung entlang der Messroute.



Abb.: 28 Darstellung der Multibeam-Messung an Bord mit Qinsy und Multibeam-Software

Es sei erwähnt, dass die hier verwendeten Instrumente der Multibeam-Messung bei allen Messungen zum Einsatz kamen. Dies gilt auch für die Geräte, welche bei der Singlebeam-Messung zur Anwendung kamen.

7.2 Hafen Korneuburg

Der Hafen Korneuburg liegt am linken Ufer parallel zur Donau, als kleine Seitenarmeinbuchtung ca. 20 km nordwestlich von Wien. Aufgrund der einerseits geringen Wasserzirkulation im Hafenbereich und des hohen Feinstoffeintrages und der starken Strömung der Donau andererseits, kommt es hier zu Materialablagerungen, welche regelmäßig zur Gewährleistung eines reibungslosen Betriebes beseitigt werden müssen. In Anbetracht dieser Tatsache wurden im Bereich des Hafenbeckens Messungen bezüglich des vorhandenen Gewässeruntergrundes vorgenommen, um schließlich Schlammabaggerungen durchführen zu können. In diesem Fall kam es zur Anwendung einer Singlebeam-beziehungsweise einer Multibeam-Messung.

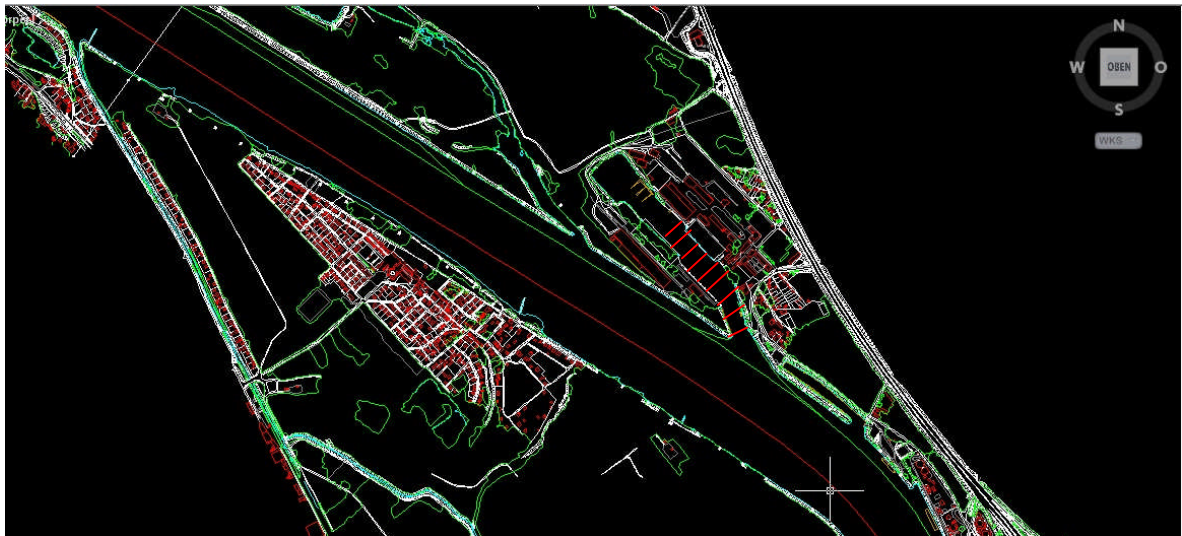


Abb.: 29 Skizze des Untersuchungsgebietes Hafen Korneuburg mit Querprofilen

7.2.1 Messung mit Singlebeam

Am 21.11.2012 in der Früh erfolgte die Messung mit dem Singlebeam-Echolot im Korneuburger Hafen. Die Wetterverhältnisse waren nicht auffällig, daher konnte die Messung reibungslos von statten gehen. Es wurden dieselben Geräte wie schon bereits bei der ersten Messung im Dürnberger Kachlet verwendet.

Das Messboot war für diese Messung ein anderes, daher mussten die Geräte dementsprechend neu montiert werden.

Die Messungen wurden im Inneren des Hafenbeckens, sowie im Mündungsbereich der Donaurinne durchgeführt, wobei sich die Hafeneinfahrt bei km 1943.0 L befindet. Die Querprofile wurden in einem Abstand von jeweils 5 m durchgeführt. Zusätzlich wurden noch einige Längsprofile angeordnet. Die Messung erfolgte ohne Schwierigkeiten. Die Aufnahmen in Ufernähe und entlang der Kaimauern waren allerdings etwas schwierig. Es ist einerseits nicht möglich, zu nahe an Ufer und Kaimauer heranzufahren, andererseits war der Wasserstand nicht genau bekannt. Dies ist erforderlich, um eventuelle Hindernisse, die sich unter Wasser befinden, zu meiden, da diese die Messgeräte beschädigen könnten.

7.2.2 Messung mit Multibeam

Der Bereich des Hafenbeckens wurde schließlich auch mit der Fächerecholot-Methode gemessen. Auch hier kam das gleiche Gerät, der Reson Seabat 7101-150°/210° zum Einsatz. Mit dem Fächerecholot wurde der Hafenbereich in

Längsrichtung gescannt. Grundsätzlich werden Multibeam-Messungen in solchen Fällen in Längsrichtung durchgeführt, da es aufgrund der Beckengeometrie vorteilhaft ist. Hinzu kommt die Fixierung des Echolotschwingers am Boot. Da dieser am Bug befestigt ist, ist es einerseits aus fahrtechnischen und andererseits aus messtechnischen Gründen von Vorteil, in Längsrichtung zu messen.

7.3 Hafen Freudenau

Im Hafen Freudenau werden konstruktive Änderungen vorgenommen. Dafür waren hydrographische Messungen notwendig. Auch für den normalen Handelsverkehr im Hafenbereich waren die Messungen erforderlich, da aufgrund der Verbindung mit dem Flusslauf der Donau ein ständiger Feststoffaustausch stattfindet und daher immer wieder Sedimentansammlungen im Hafenbecken auftreten. Es war vor allem wichtig, den Bereich des Hafentors zu untersuchen, da es hier des Öfteren zum Verlanden der Hafentorschiene kommt. Die Messungen wurden sowohl mit einer Singlebeam als auch einer Multibeam-Messung durchgeführt. Diese erfolgten im ganzen Beckenbereich, einschließlich im Bereich des Hafentors. Aus Gründen der Größe des vorhandenen Einsatzgebietes wurde die Messung in drei Teile unterteilt. Der erste Teil, das Hauptbecken, westlich vom Hafentor, dann der Bereich beim Hafentor und schließlich östlich davon, der Einfahrtsbereich, bis hin zum Hafentor.

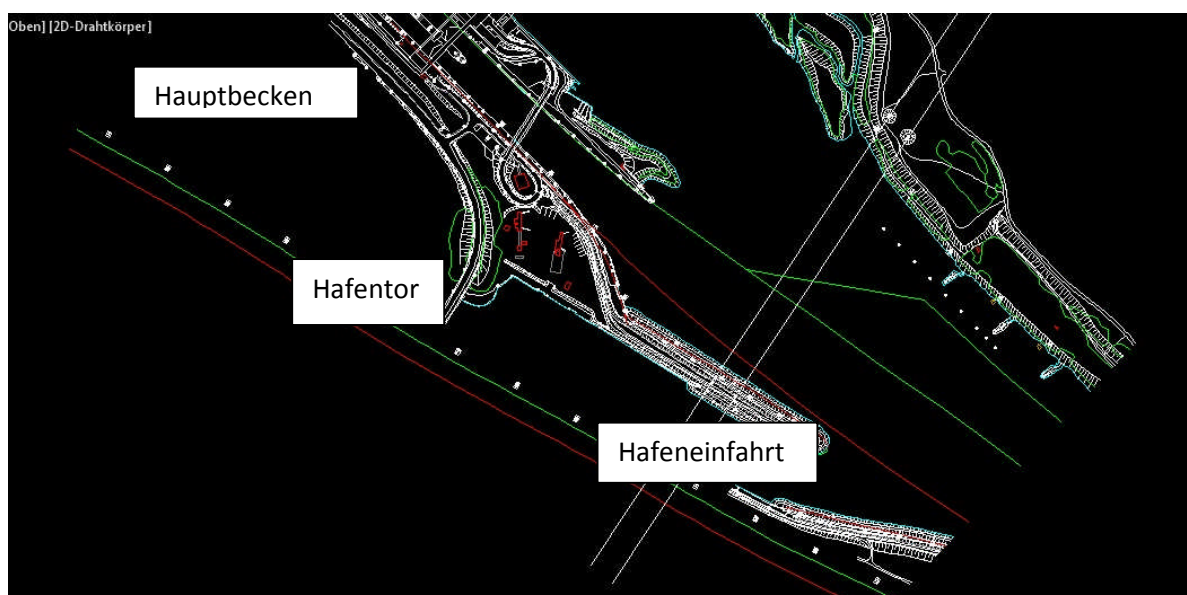


Abb.: 30 Skizze des Untersuchungsgebietes Hafen Freudenau

7.3.1 Messung mit Multibeam

Die Multibeam-Messung wurde am 29.11.2012 durchgeführt. Die Messung fand im Laufe des Nachmittages statt, bei kleinem Wellengang. Nachdem die Messungen innerhalb des Hafenbeckens stattfanden, spielte der Wind keine Rolle. Im Vorfeld wurden das Echolot sowie die anderen technischen Geräte wie Computer und GPS an Bord fixiert und installiert, anschließend die Positionierung des Bootes mittels RTK bestimmt und die Parameter für den Motionssensor eingestellt. Bevor die Messungen beginnen können, muss eine Kontrollfahrt zur Überprüfung sowohl der GPS Koordinaten, als auch der Parameter für die Korrekturen des Motionssensors durchgeführt werden. Dieses Procedere wurde vor jeder Messung beibehalten.

Wie bereits erwähnt, sind Multibeam-Messungen an Kaimauern eine Herausforderung, vor allem weil wenig Platz zum Manövrieren des Bootes vorhanden ist.

7.3.2 Messung mit Singlebeam

Der gesamte Hafenbereich wurde ebenfalls mit Singlebeam gemessen. Auch hier wurden vorab die Einstellungen bezüglich Positionierung eingestellt. Es kann allerdings auf den Motion-Sensor verzichtet werden, da der Schwinger die Signale nicht fächermäßig aussendet, sondern in Form eines Strahlenbündels senkrecht nach unten misst. Durch die zusätzliche Stabilisierung des Schwingers, aufgrund der Fixierung an einer entsprechenden Vorrichtung, ist eine Positionierung mit Hilfe der RTK-Methode ausreichend.

Im Gegensatz zur Multibeam-Messung wurden hier abermals Querprofile, sowie einige Längsprofile gemessen. In diesem Fall war es jedoch möglich, die Querprofile ohne Aufteilung in drei Abschnitte von Westen nach Osten durchzuführen.

Auch die Singlebeam-Messungen entlang von Kaimauern oder generell von engen Bereichen, wie es in den Hafenbecken der Fall war, sind mit Vorsicht durchzuführen.

7.3.3 Vorarbeiten zur Durchführung der Messungen

Für alle Messungen der jeweiligen Messprojekte waren auch einige entsprechende Vorarbeiten im Büro notwendig. Für jedes Untersuchungsgebiet wurden eigens Projekte angelegt. Diese beinhalten wichtige Vorinformationen zum Einsatzgebiet wie zum Beispiel den eigentlichen Messauftrag.

Weiters sind Angaben über das Gebiet, wie vorhandene Pläne, wichtig um eventuelle Vergleiche zum vorliegenden Bestand ziehen zu können. Mitsamt dem vorhandenen Material liefern die Projektunterlagen einen Überblick.

So können im Vorhinein die richtigen Einstellungen hinsichtlich Koordinaten Festpunkte, Transformationsparameter, oder Koordinatensystem getroffen werden.

Die vom GPS-Empfänger erhaltenen WGS84 Koordinaten sind weltweit einsetzbar. Allerdings müssen diese korrigiert und die Rohdaten angepasst werden, da die Erde keine Kugel sondern ein Geoid ist. Es gibt demnach für die Gauß-Krüger-Koordinaten, sogenannte Ellipsoide, welche an bestimmte Bereiche der Erde angepasst sind. In Österreich wird das Bessel-Ellipsoid verwendet, beschrieben durch die 7 Transformationsparameter. Durch die Rotation (Drehung, 3x in X,Y,Z), sowie durch die Translation (Verschiebung, 3x in X,Y,Z) und den Maßstab.

8 Methodik der Gegenüberstellung

Im Anschluss an die im Kapitel 7 vorgestellten Messprojekte folgt nun die Methodik der durchgeführten Messungen. Anhand dieser konnten Ansätze für eine vergleichende Gegenüberstellung erhoben werden.

Die verwendeten Messverfahren wurden in Kapitel 4 erwähnt, wobei hier auf die eingesetzten Geräte näher eingegangen wird. Speziell die beiden Echolote für die Singlebeam und Multibeam- Messungen.

8.1 Technische Daten

Für die Singlebeam-Messungen wurde das Gerät ADMODUS mit einem Schwinger von Simrad verwendet. Dieses Echolot misst mit einer Beamweite von 9°, sowohl longitudinal, als auch transversal. Das Gerät arbeitet mit zwei Frequenzen 33 kHz beziehungsweise 210 kHz und besitzt laut Hersteller eine maximale Erfassungstiefe von ca. 0.5 m – 50 m. Die Tiefenauflösung beträgt je nach Frequenz bei 33 kHz / 210 kHz und einer Wassertemperatur von $T=10^{\circ}\text{C}$ 48.34/ 7.25 mm. Die Tiefengenauigkeit liegt bei 33 kHz im Bereich von $0.10\text{ m} \pm 0.1\%$ und bei $0.01\text{ m} \pm 0.1\%$ bei einer Frequenz von 210 kHz. Die Pingrate bei diesem Gerät liegt bei 20 Hz.

Das Multibeam-Gerät ist ein Reson Seabat 7101 Echolot mit 511 Strahlenbündeln und einem Öffnungswinkel von 150° beziehungsweise einer optionalen Einstellung von 210°. Es arbeitet mit einer Frequenz von 240 kHz und einer maximalen Pingrate von 40 Hz. Die longitudinale Bandbreite beträgt 1.5° und die transversale 1.8°. Die erreichbaren Tiefen betragen standartmäßig bei einem Öffnungswinkel von 150° 0.5 m- 300 m und 0.5 m- 475 m bei 210°. Die Tiefenauflösung wird laut Hersteller mit 12.5 mm angegeben.

8.2 Methodische Vorgehensweise

Vor jeder Messung wurden die dementsprechenden Einstellungen bezüglich Frequenz, Pingrate und Öffnungswinkel vorgenommen. Die Erhebung des Wasserschalls mittels Wasserschallsonde muss ebenfalls vor den Messungen, sowohl für Singlebeam, als auch für Multibeam erfolgen.

Die für die Messungen dieser Arbeit relevanten Parameter beliefen sich vorwiegend auf die erhobenen Tiefen beziehungsweise Höhenmessungen. Anhand dieser Werte konnte die Aufgabenstellung hinsichtlich einer Gegenüberstellung der Messgeräte, bezüglich ihrer Einsatzgebiete und den dabei verbundenen technischen und wirtschaftlichen Aspekten, erfolgen.

Die Messgeräte kamen bei allen Messprojekten zum Einsatz und das Hauptaugenmerk lag in der Erhebung der Tiefenwerte. Die ermittelten Tiefenwerte wurden anschließend verarbeitet und anhand von Differenzmodellen untereinander verglichen.

9 Auswertung

Die Ergebnisse der Messungen werden als Rohdaten abgespeichert. Jede einzelne Messung setzt sich aus mehreren Messpunkten zusammen, welche in unterschiedlichen Datei-Foldern zu finden sind. Das heißt, zu jeder Messung gibt es einen entsprechenden Folder mit Punkten.

Zur Weiterverarbeitung der Daten werden anschließend diverse Computerprogramme verwendet. In diesem Fall kamen hauptsächlich

Qinsy: Aufnahmesoftware zur Auswertung von Singlebeam-Messungen für Höhen und Positionssprünge

Cloud: Dateneditionsprogramm für Multibeam-Messungen

und Surfer: eine Darstellungssoftware

zum Einsatz.

Qinsy und Cloud werden hierbei vorwiegend für die direkte Nachbearbeitung der Daten verwendet. Die Rohdaten werden noch einmal einzeln überprüft, eventuelle Fehler ausgebessert, oder aufgrund von zu schlechter Qualität entfernt. Die aufgenommen Rohdaten stellen die gemessenen Fahrlinien dar. Singlebeam-Daten werden mit Qinsy bearbeitet, Multibeam-Daten, sowohl mit Qinsy, als auch mit Cloud. Die Linien, bestehend aus Punkten, können anschließend mit Hilfe des Surfer Programmes in Form von Karten, mitsamt Tiefenzahlen, dargestellt werden. Auch Volumsberechnungen, sowie Querprofilmodelle sind möglich. Letztere werden jedoch meistens mit Civil3D oder Caplan ausgeführt.

9.1 Korrektur der Rohdaten

Im Folgenden werden nun einzelne Resultate der jeweiligen Messprojekte gezeigt. Aufgrund der großen Rohdatenmenge wurden nur einige Resultate ausgewählt. Diese zeigen die eingespielten Punkte, sowohl in Rohversion, als auch gesäubert und bearbeitet, in den diversen Weiterverarbeitungsprogrammen wie Qloud, Qinsy und Surfer. Die folgenden Abbildungen sollen einen Überblick über die Datenauswertung und ihre Darstellung liefern. Hier sei erwähnt, dass alle

Singlebeam-Messungen, beziehungsweise alle Multibeam-Messungen, jeweils mit demselben dafür vorgesehenen Programm bearbeitet wurden.

9.2 Dürnberger Kachlet

Abbildung 31 zeigt die Bearbeitung der Multibeam-Messung mit Qcloud. Hierzu werden die Rohdaten, in Form von Punkten, in das Programm geladen, und stellen somit ein Bild der gescannten Gerinnesohle dar.

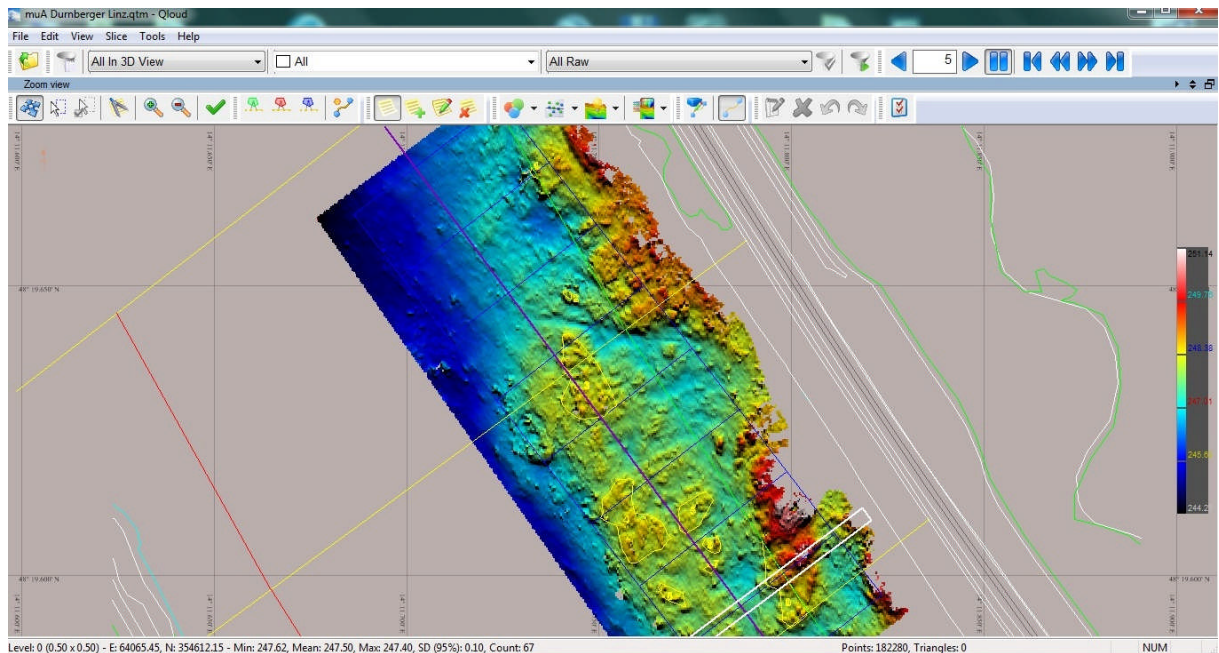


Abb.: 31 Darstellung der Multibeam-Rohdaten mit Qcloud, Dürnberger Kachlet

Wie man deutlich erkennen kann, ist die Darstellung der Gerinnesohle etwas schroff und grob pixelig. Dies ist auf Grund der Rohdaten so, die erst in den kommenden Schritten bearbeitet und von sogenannten "Ausreißer"-Punkten gesäubert werden.

In Abbildung 32 sieht man nun vier Fenster, welche unterschiedliche Ansichten bieten. Links oben, sowie links unten eine Art Übersichtskarte. Links oben sieht man anhand eines Rechteckes den groben Ausschnitt wo man sich gerade befindet, links unten wird die Scroll-Line definiert, mit welcher die Punkte einzeln bearbeiten werden können. Rechts oben ist eine 3D Ansicht eines kleinen Ausschnittes (grünes Rechteck im linken Bild unten) zu sehen und rechts unten schließlich eine gemessene Linie quer über die Gerinnesohle.

Einige Punkte weichen teilweise vom Hauptteil der Linie ab, diese müssen im Anschluss bearbeitet werden, um schlussendlich eine geeignete Darstellung zu erlangen. Die unterschiedlichen Farbstufen, mit Ausnahme der Ansicht im rechten unteren Fenster, spiegeln die verschiedenen Tiefen wieder. Die unterschiedlichen Farben unten rechts stehen für die einzelnen Messfiles, quasi den jeweiligen Messfahrten.

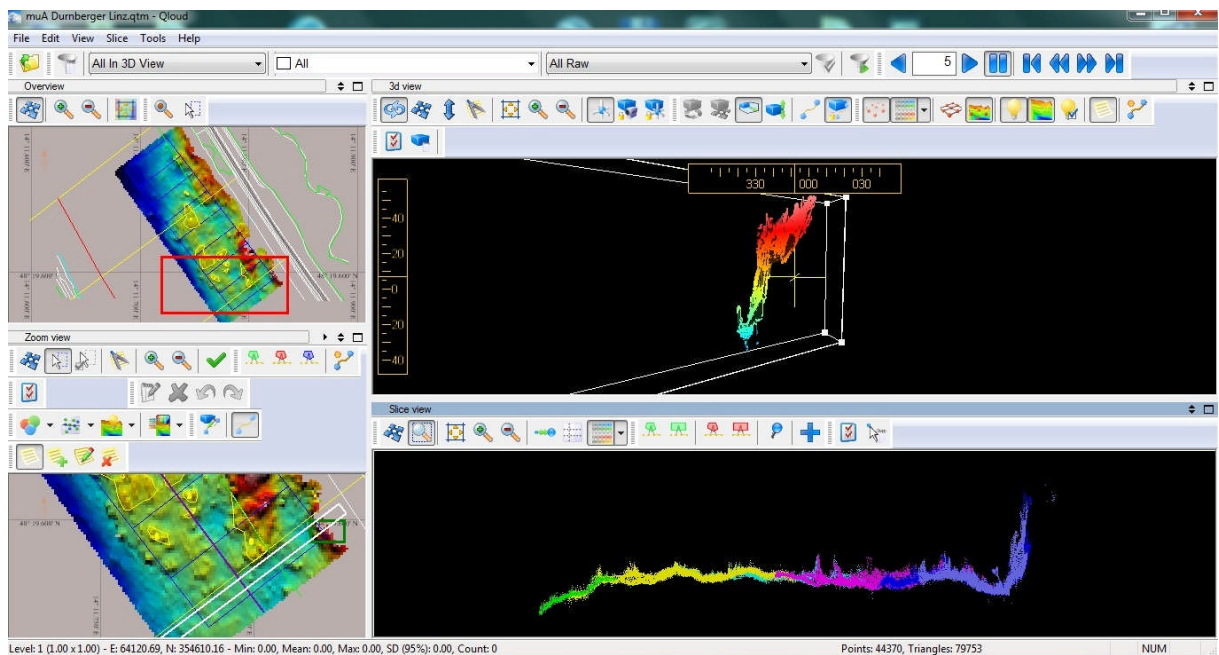


Abb.: 32 Darstellung der Multibeam-Rohdaten mit Qcloud, Dürnberger Kachlet

Abbildung 33 stellt nochmals eine Linie quer über die Gerinnesohle dar, in diesem Fall etwas vergrößert. Hier sind die sogenannten Ausreißer deutlicher zu erkennen.

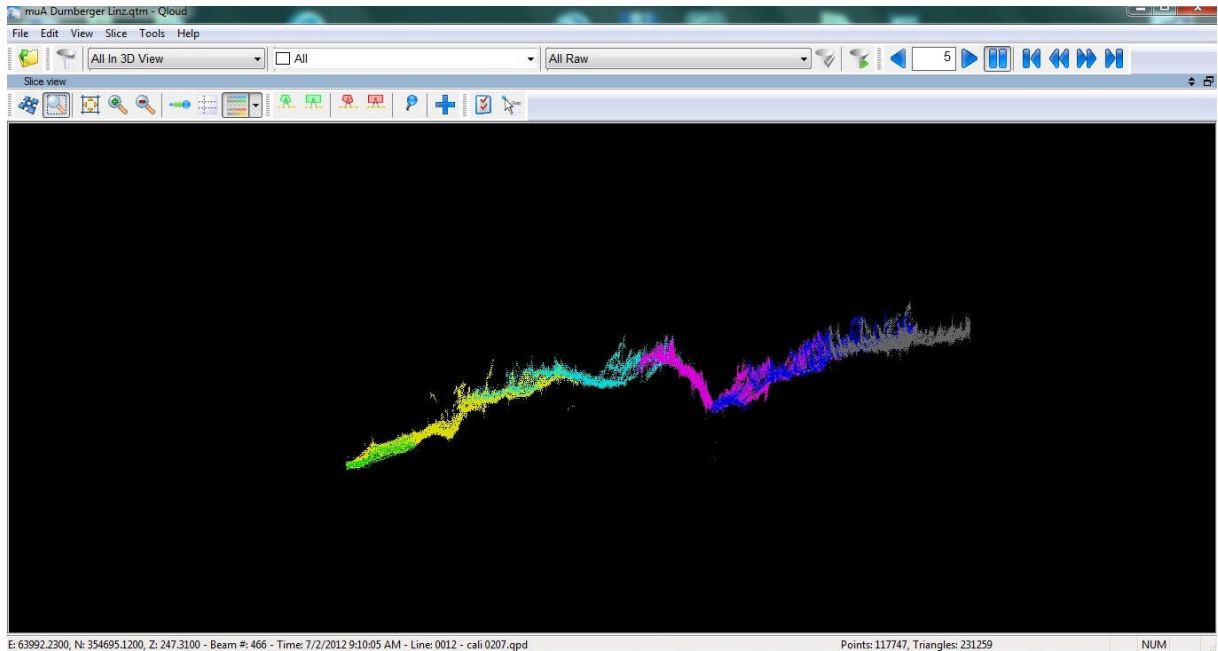


Abb.: 33 Darstellung der Multibeam-Rohdaten mit Qcloud, Dürnberger Kachlet

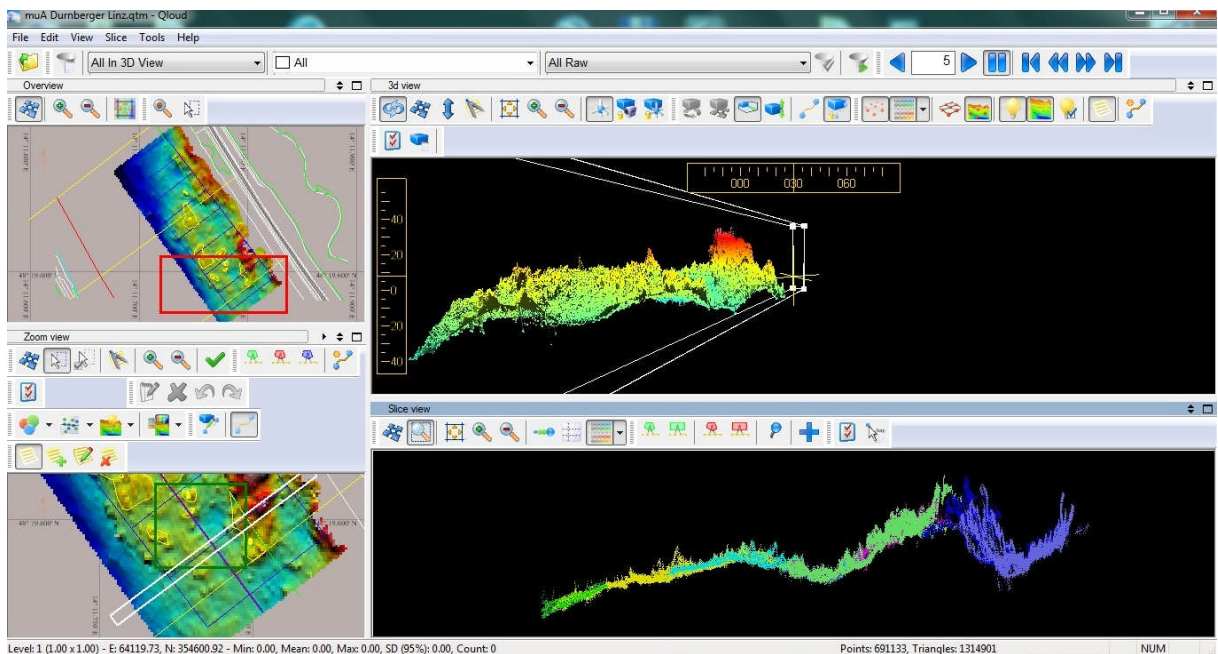


Abb.: 34 Darstellung der Multibeam-Rohdaten mit Qcloud, Dürnberger Kachlet

9.3 Hafen Korneuburg

Im Bereich des Korneuburger Hafens zeigen die folgenden Darstellungen die Resultate der Singlebeam-Auswertung. Zur Weiterverarbeitung der Rohdaten einer Singlebeam-Messung, werden gleichfalls die Punkte im Rohzustand in das Bearbeitungsprogramm gespielt. Folgende Abbildung 35 zeigt die erste Linie des gemessenen Querprofils. Diese entspricht im oberen Bild der unteren grünen Linie. Ausreißer sind rot markiert und weichen deutlich vom Profil des Gewässeruntergrundes ab. Im selbigen Bild die obere, eher horizontal verlaufende grüne Linie, stellt den Wasserspiegel dar. Verläuft diese annähernd waagrecht, ohne grobe Veränderungen, kann man von einem guten GPS-Signal und einem geringen Wellengang während der Messung ausgehen. Das untere Ansichtsfenster dient zum Überblick der Fahrlinie und der Erstellung der Scroll-Line.



Abb.: 35 Auswertung der Singlebeam-Messung mit Quinsy, Korneuburger Hafen

Abbildung 36 zeigt zwei Profillinien mit den jeweiligen Ausreißer-Punkten. Die horizontale Linie des Wasserspiegels oberhalb ist einheitlich, das heißt das Signal war in beiden Fällen in Ordnung und der Wellengang gering.



Abb.: 36 Auswertung der Singlebeam-Messung mit Quinsy, Korneuburger Hafen

Im Gegensatz zur vorherigen Abbildung 36, können in Abbildung 37 deutlich mehr Fehlerpunkte im Profil erkannt werden. Diese müssen natürlich für jedes Profil anschließend korrigiert werden.

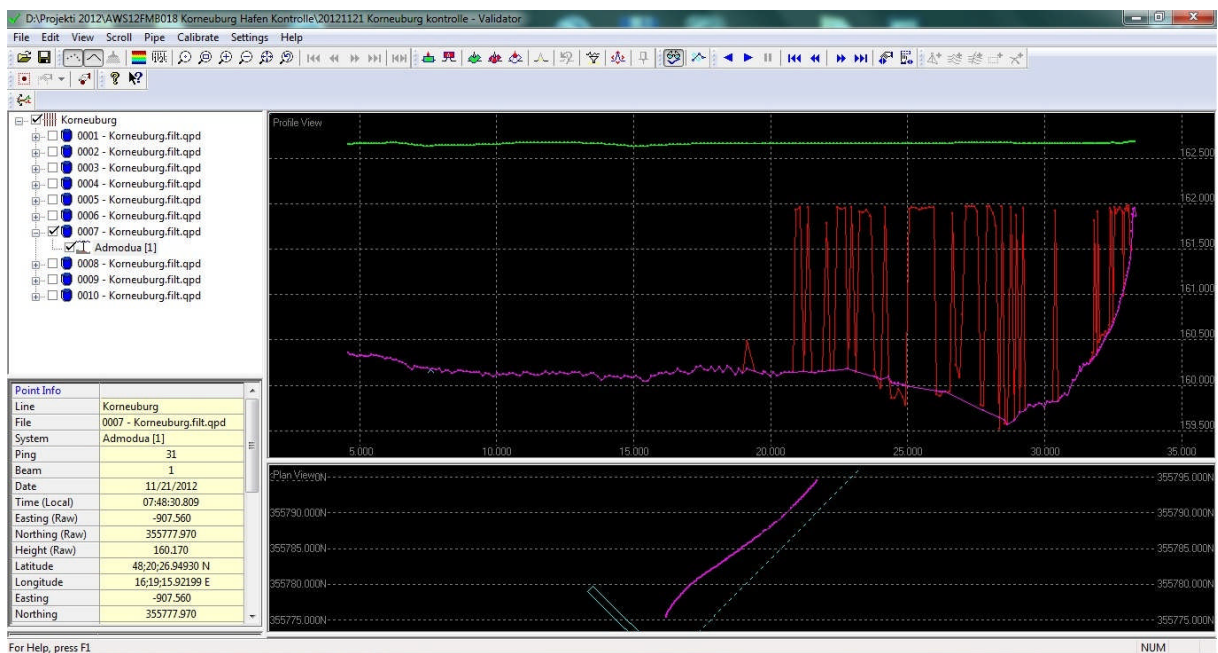


Abb.: 37 Auswertung der Singlebeam-Messung mit Quinsy, Korneuburger Hafen

In den beiden folgenden Abbildungen 38 und 39 sind mehrere Profile in der Ansicht aktiviert. Um die Profile nun deutlich erkennbar zu machen, muss eine geeignete Scroll-Line definiert werden. Dies ist in den Abbildungen 40 und 41 gut zu erkennen.

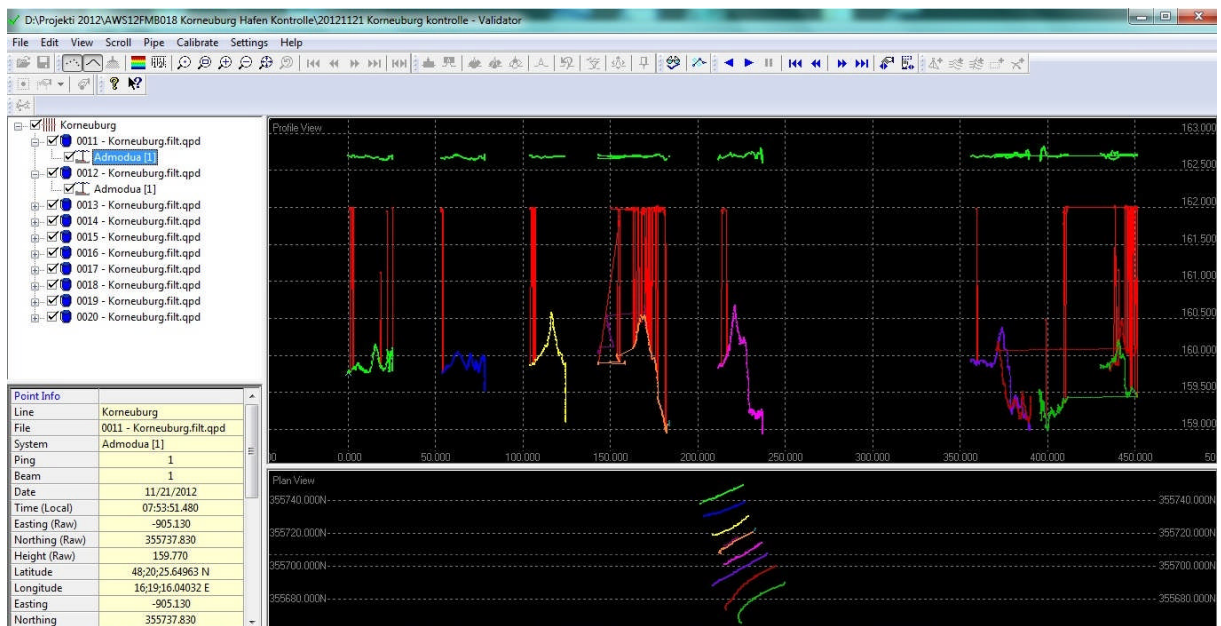


Abb.: 38 Auswertung der Singlebeam-Messung mit Quinsy, Korneuburger Hafen



Abb.: 39 Auswertung der Singlebeam-Messung mit Quinsy, Korneuburger Hafen



Abb.: 40 Auswertung der Singlebeam-Messung mit Quinsy, Korneuburger Hafen

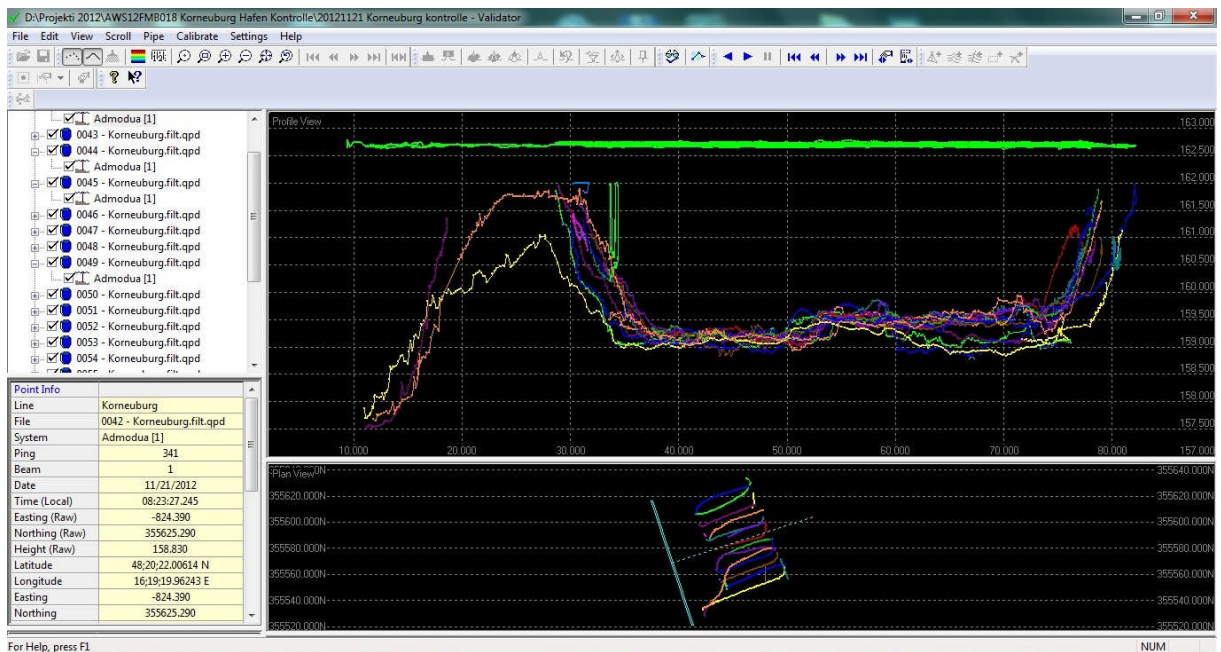


Abb.: 41 Auswertung der Singlebeam-Messung mit Quinsy, Korneuburger Hafen

In Abbildung 42 sind die Längsprofile im gesäuberten Zustand dargestellt. Auch Abbildung 43 zeigt zwei gesäuberte Linien.

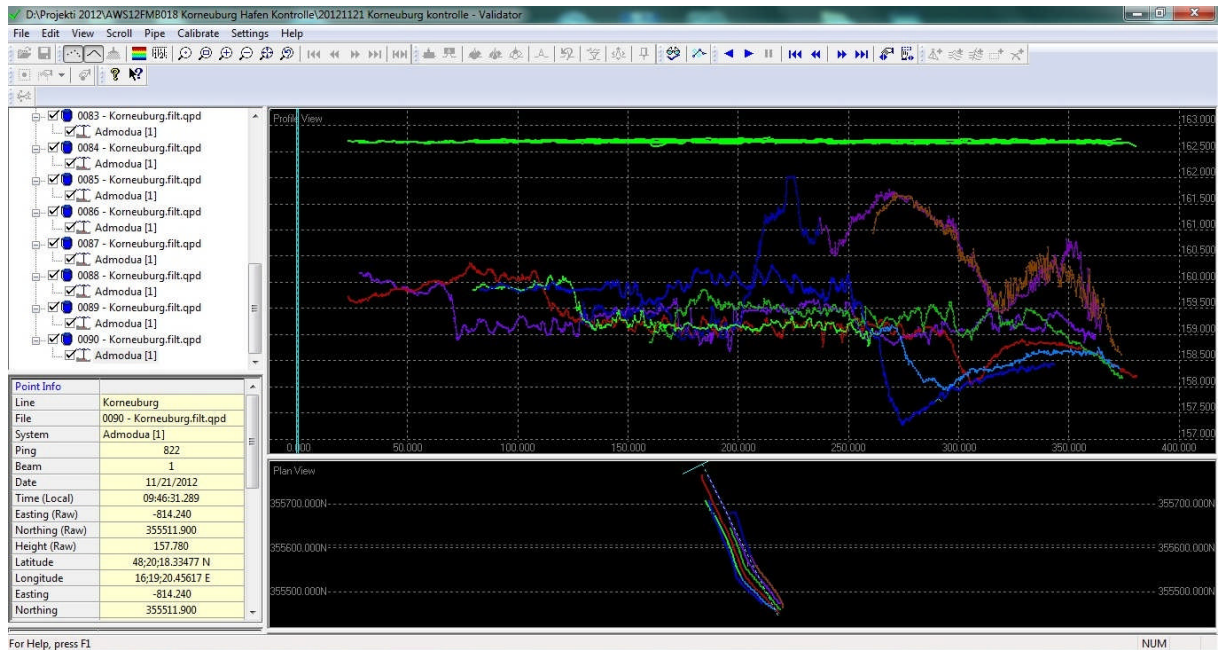


Abb.: 42 Auswertung der Singlebeam-Messung mit Quinsy, Korneuburger Hafen

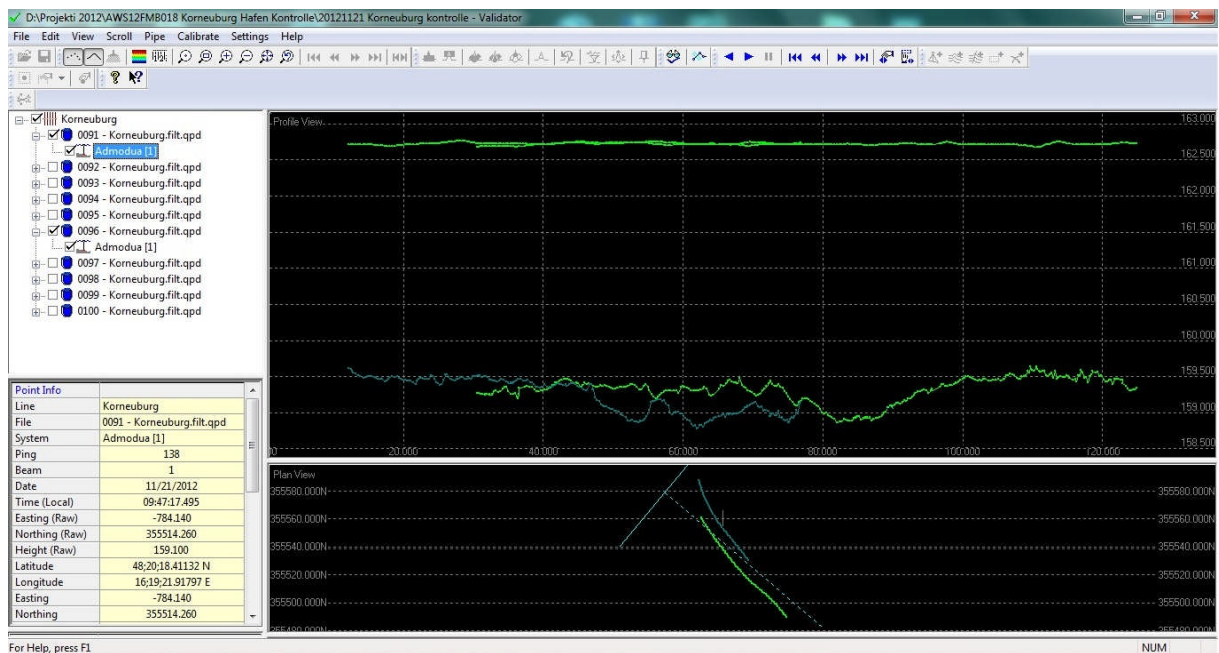


Abb.: 43 Auswertung der Singlebeam-Messung mit Quinsy, Korneuburger Hafen

9.4 Hafen Freudenau

Im Bereich des Hafen Freudenau werden zum besseren Vergleich auch die Resultate der Multibeam-Messung herangezogen. In den folgenden Abbildungen (44-48) sieht man die bereits gesäuberten Daten. Zum Vergleich mit den Darstellungen beim Dürnberger Kachlet kann man deutliche Unterschiede in allen Ansichten erkennen. Zum einen ist erkenntlich, dass die Übersichtskarte (Abb.: 44) weniger stark pixelig ist, und die Farbgradierung fließend verläuft.

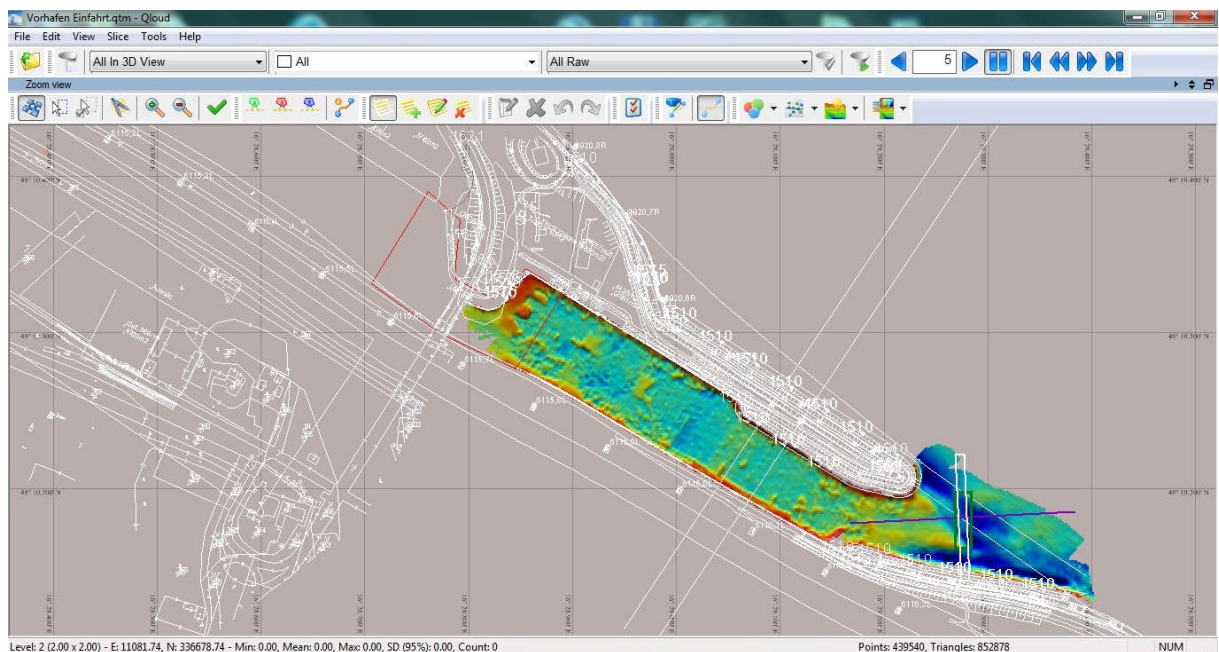


Abb.: 44 Auswertung der Multibeam-Messung mit Qcloud, Hafen Freudenau

Des Weiteren sind auch Verbesserungen in der 3D-Ansicht und in der Darstellung der einzelnen Linien des Profils, zu erkennen (Abb.:45-47).

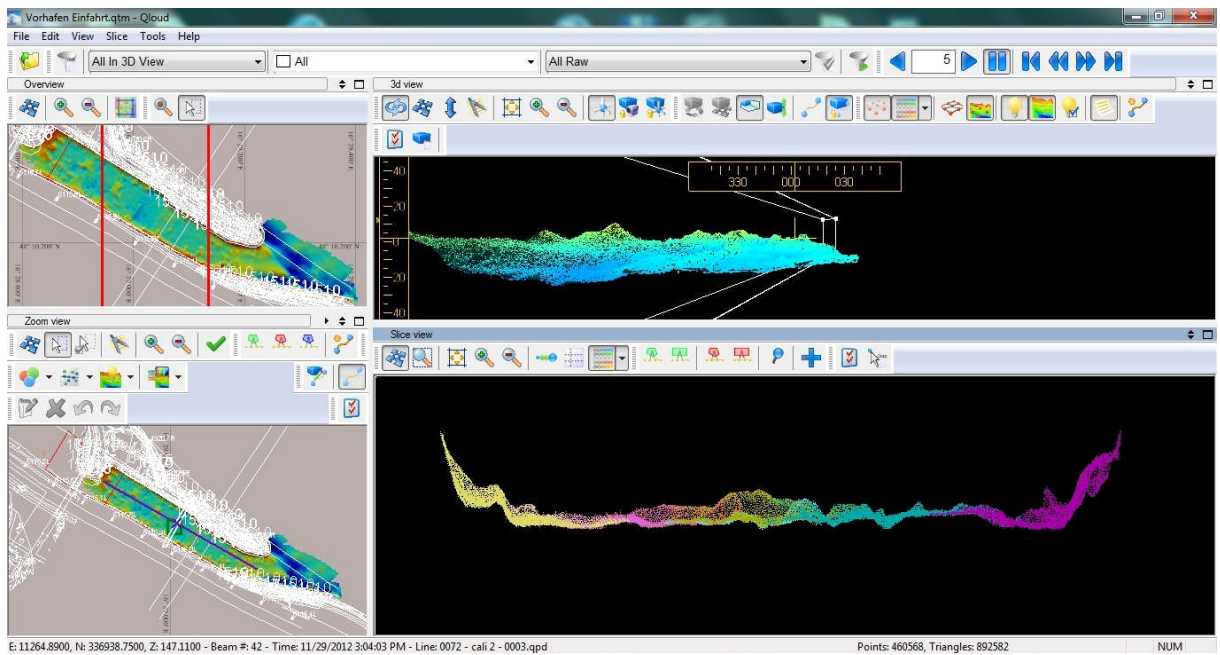


Abb.: 45 Auswertung der Multibeam-Messung mit Qcloud, Hafen Freudenau

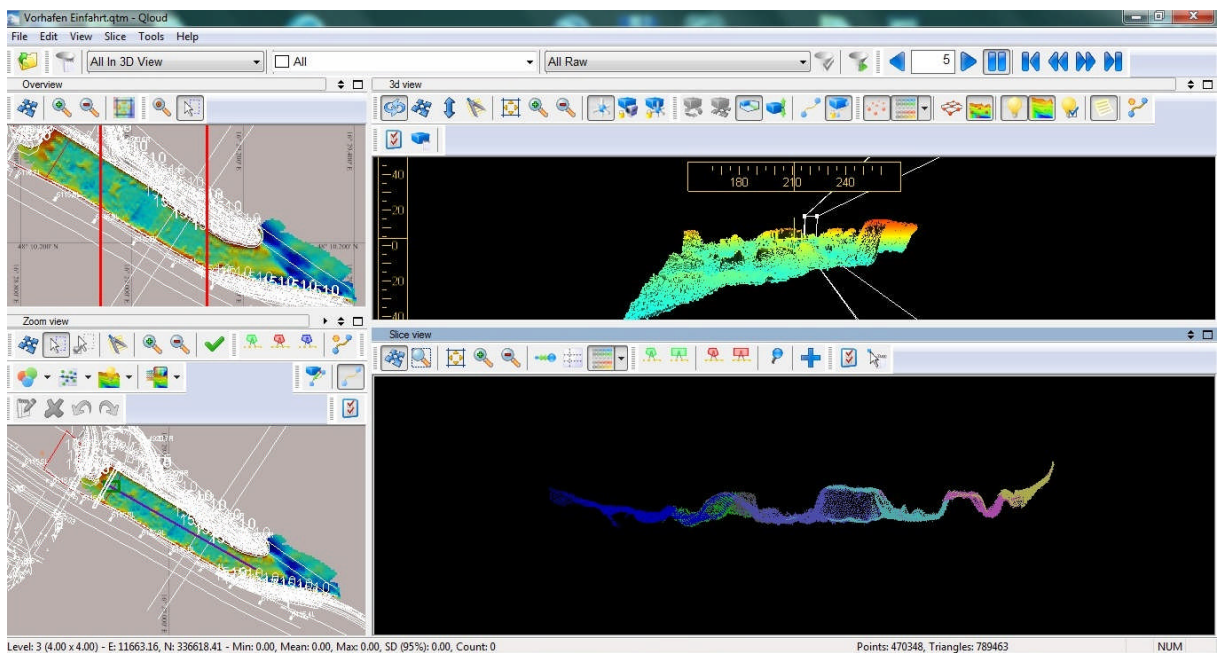


Abb.: 46 Auswertung der Multibeam-Messung mit Qcloud, Hafen Freudenau

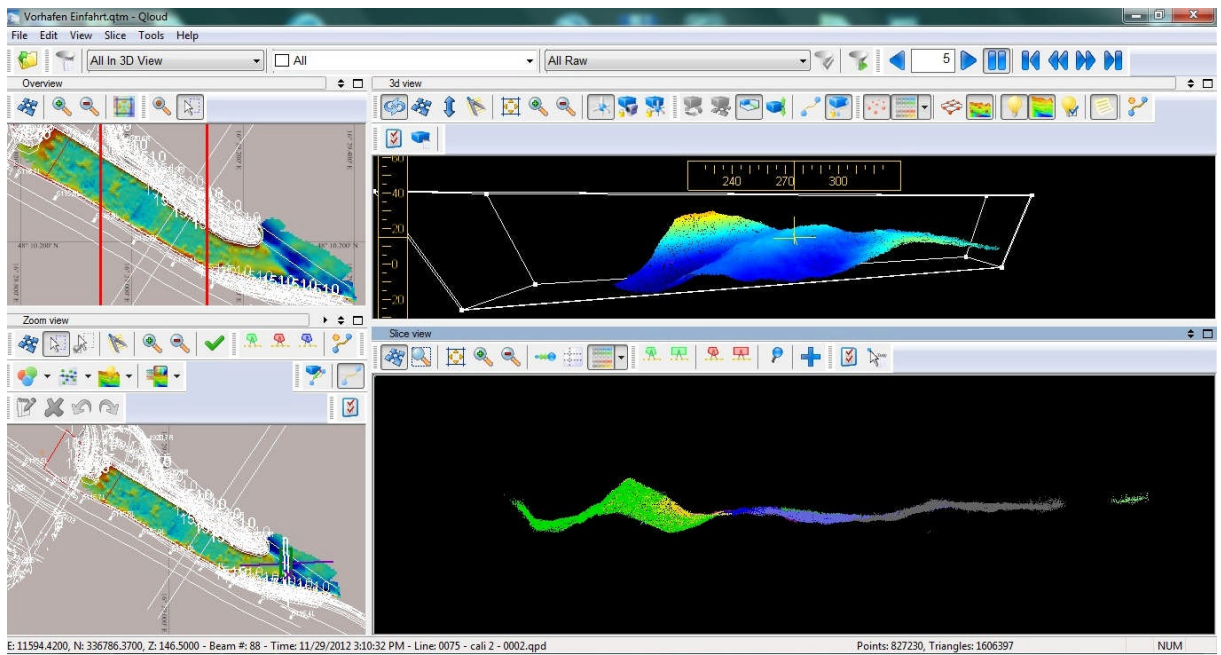


Abb.: 47 Auswertung der Multibeam-Messung mit Qcloud, Hafen Freudenau

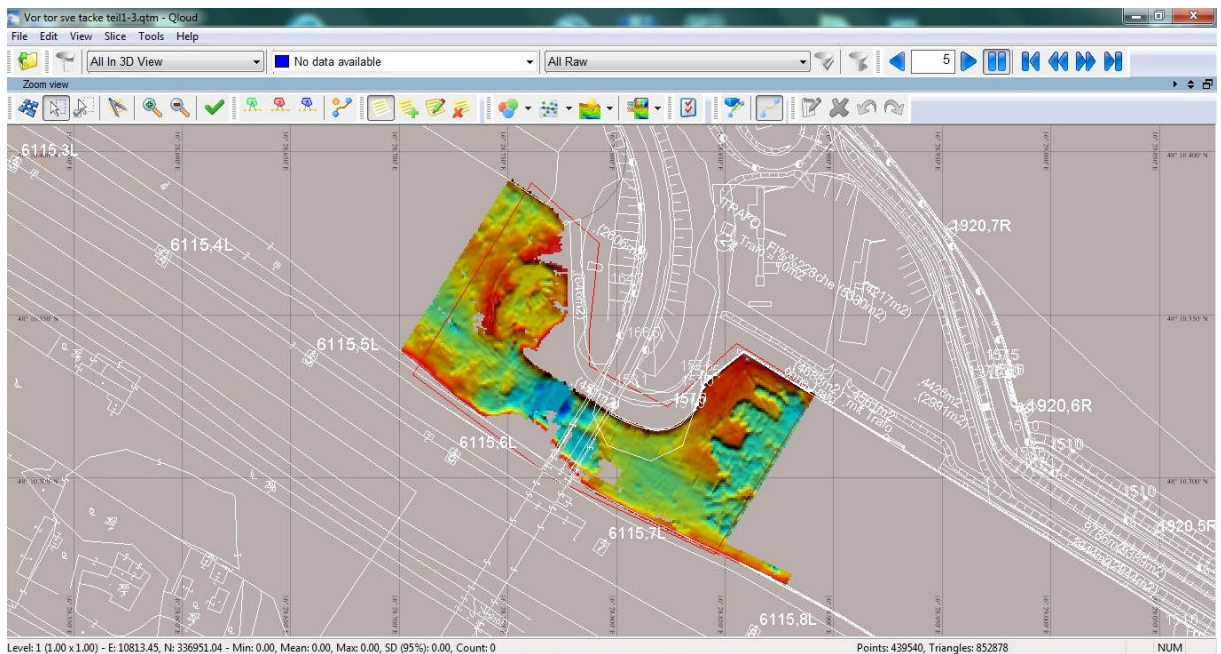


Abb.: 48 Auswertung der Multibeam-Messung mit Qcloud, Hafen Freudenau

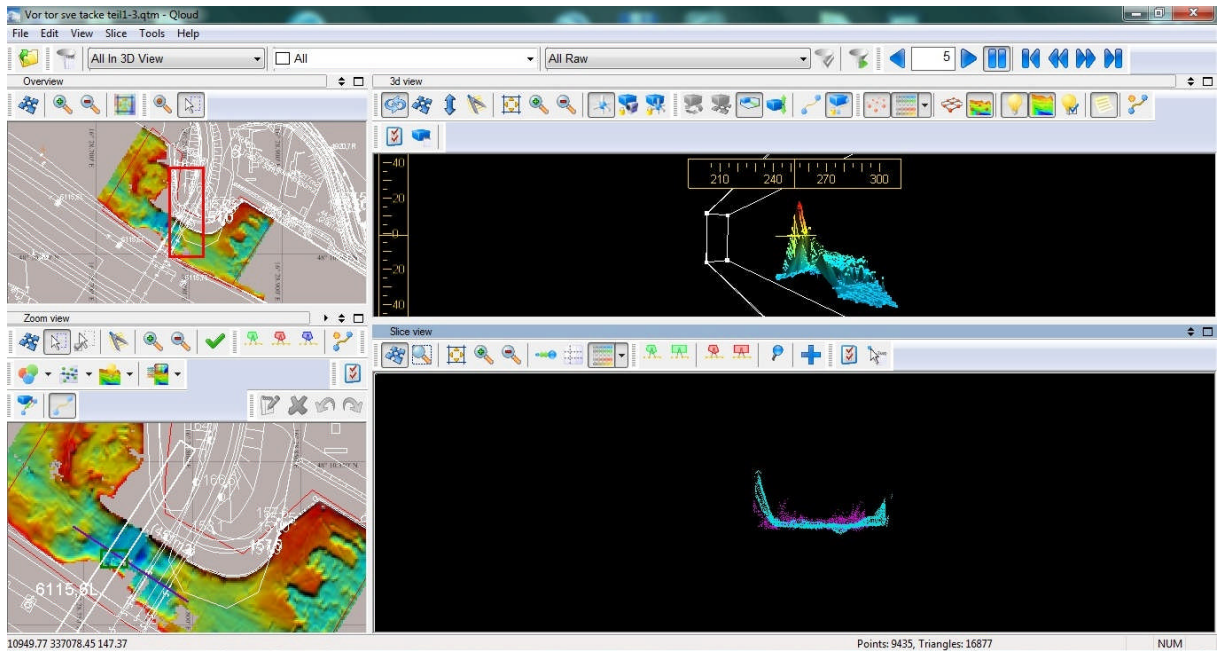


Abb.: 49 Auswertung der Multibeam-Messung mit Qcloud, Hafen Freudenau

Die angeführten Resultate der jeweiligen Messprojekte zeigen nur ausgewählte Ausschnitte. Diese sind jedoch charakteristisch für die komplette Auswertung sämtlicher Daten und Projekte.

9.5 Gegenüberstellung anhand eines Differenzmodelles

Als Gegenüberstellung der Messergebnisse und zur besseren Verdeutlichung der Arbeit, wurde ein Höhendifferenzmodell zwischen einer Multibeam- und einer Singlebeam-Messung im Bereich des Freudenauer Hafentors konstruiert. Dieses soll die Unterschiede der Messungen deutlicher veranschaulichen und eine Hilfestellung für die spätere Schlussfolgerung bieten.

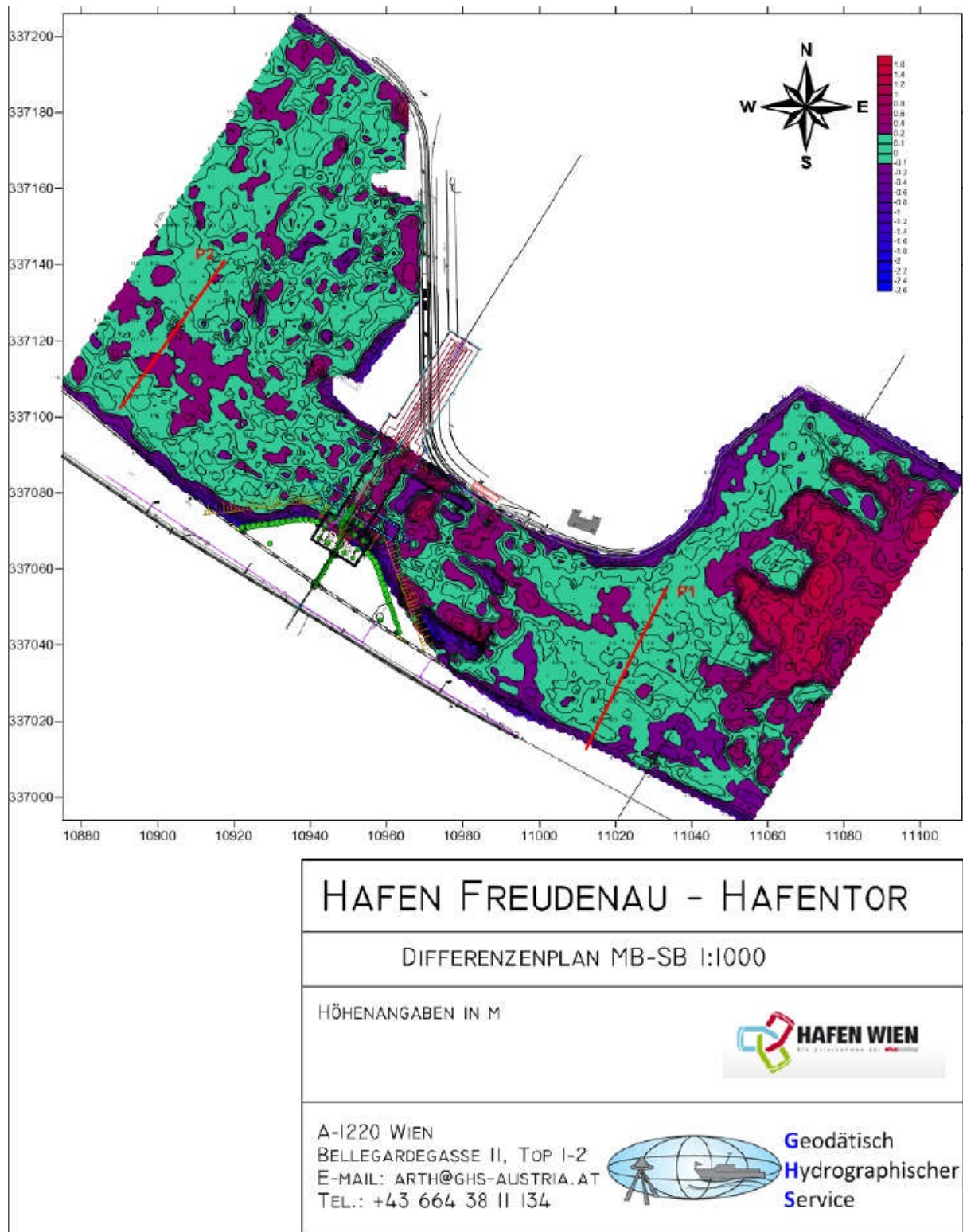


Abb.: 50 Höhendifferenzmodell zwischen Multibeam und Singlebeam, Hafen Freudenau- Hafentor

Abbildung 50 zeigt das Höhendifferenzmodell der beiden Echolotmessungen im Bereich des Hafentors. Für eine genauere Darstellung wurden zwei Profile (P1 und P2) erstellt, die die Höhendifferenzen besser zum Vorschein bringen.

Die Abbildungen 51-54 sind Querprofile entlang des Profils P1, welches rot markiert in Abbildung 50 zu finden ist.

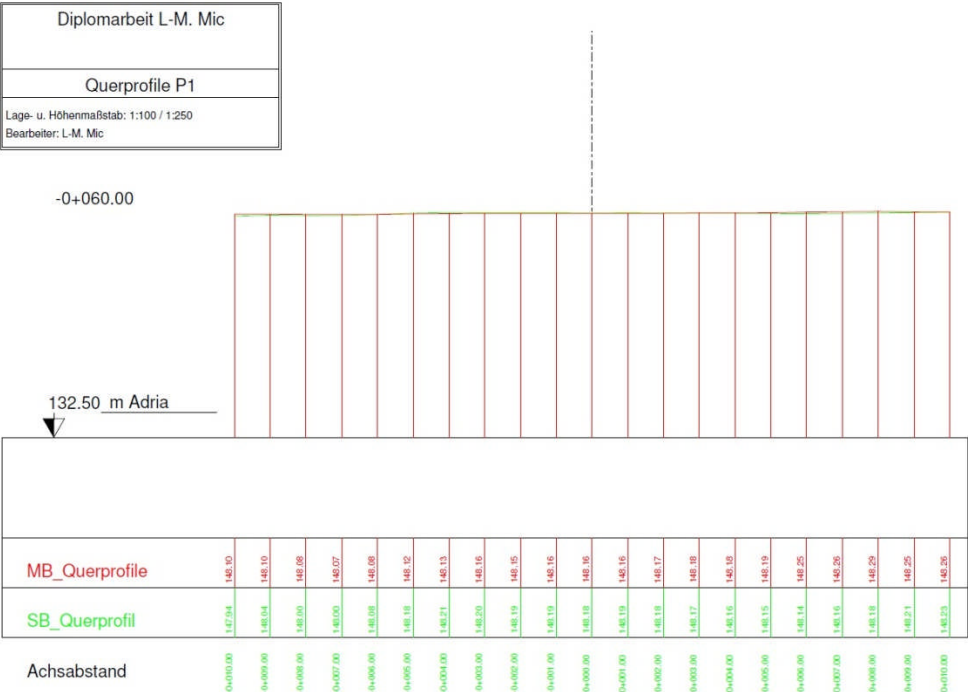


Abb.: 51 Erstes Querprofil auf P1 des Höhendifferenzmodells

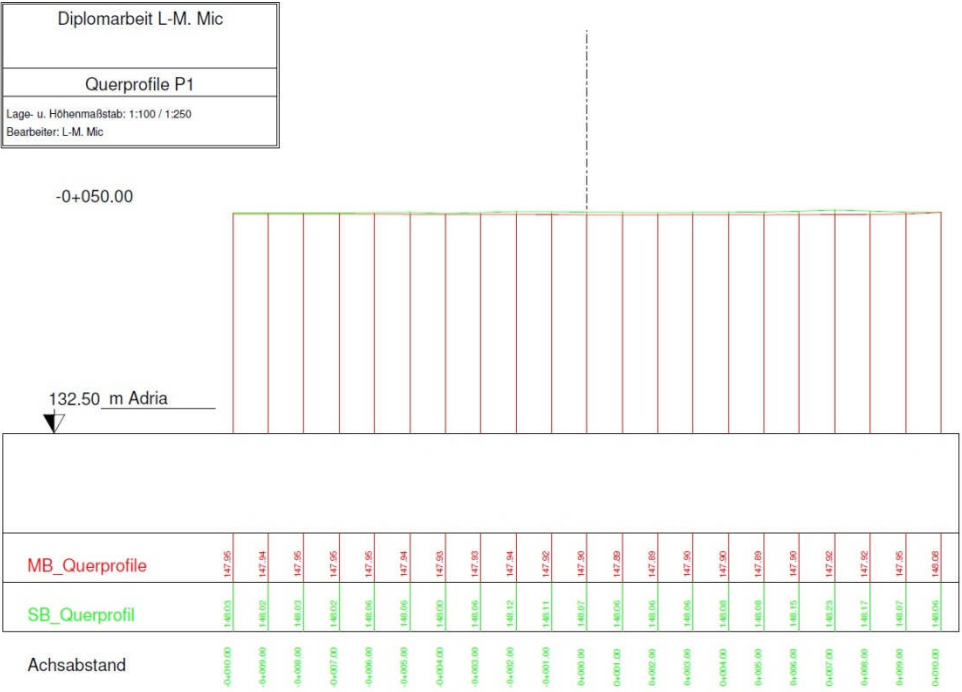


Abb.: 52 Zweites Querprofil auf P1 des Höhendifferenzmodells

Achsabstand	SB_Querprofil	MB_Querprofil
0x0100.00	148.15	147.87
0x0000.00	148.12	147.88
0x0000.00	148.12	147.88
0x0007.00	148.10	147.90
0x0000.00	148.09	147.90
0x0005.00	148.09	147.90
0x0004.00	148.09	147.90
0x0003.00	148.07	147.90
0x0002.00	148.05	147.90
0x0001.00	148.04	147.89
0x0000.00	148.02	147.89
0x0001.00	148.03	147.90
0x0004.00	148.07	147.92
0x0007.00	148.07	147.92
0x0005.00	148.08	147.92
0x0000.00	148.12	147.94
0x0005.00	148.15	147.96
0x0100.00	148.20	148.00

Achsabstand	SB_Querprofil	MB_Querprofile
0x0000:00	148:45	148:22
0x0000:08	148:47	148:21
0x0000:10	148:49	148:29
0x0007:05	148:52	148:35
0x0006:00	148:52	148:25
0x0005:00	148:52	148:34
0x0004:05	148:49	148:32
0x0003:00	148:45	148:30
0x0002:00	148:41	148:28
0x0001:08	148:40	148:30
0x0000:00	148:41	148:23
0x0001:00	148:45	148:36
0x0004:00	148:50	148:46
0x0005:00	148:54	148:49
0x0006:00	148:58	148:50
0x0007:00	148:56	148:40
0x0008:00	148:59	148:46
0x0009:00	148:57	148:49
0x0010:00	148:47	148:51

Die folgenden Abbildungen 55- 59 der Querprofile liegen auf Profil 2, ebenfalls rot markiert auf Abbildung 50.

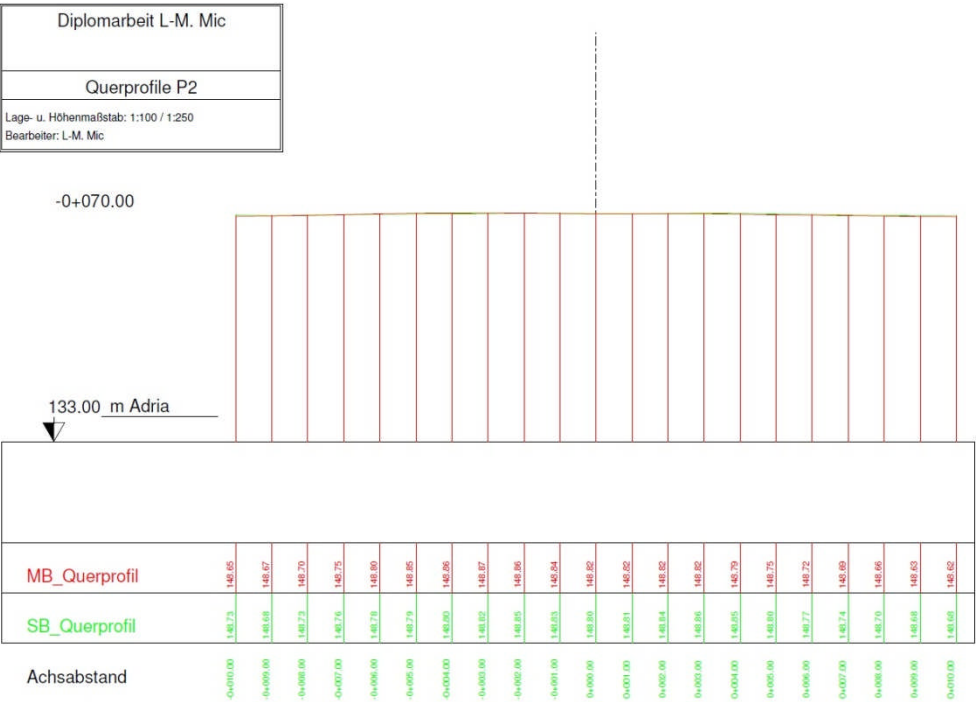


Abb.: 55 Erstes Querprofil auf P2 des Höhendifferenzmodells

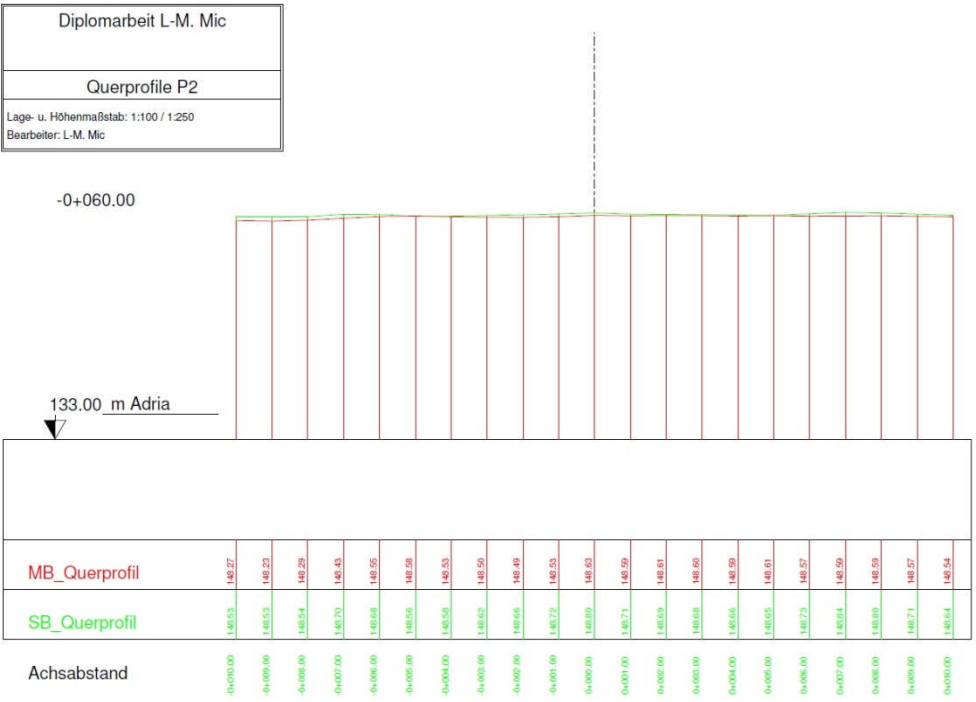


Abb.: 56 Zweites Querprofil auf P2 des Höhendifferenzmodells

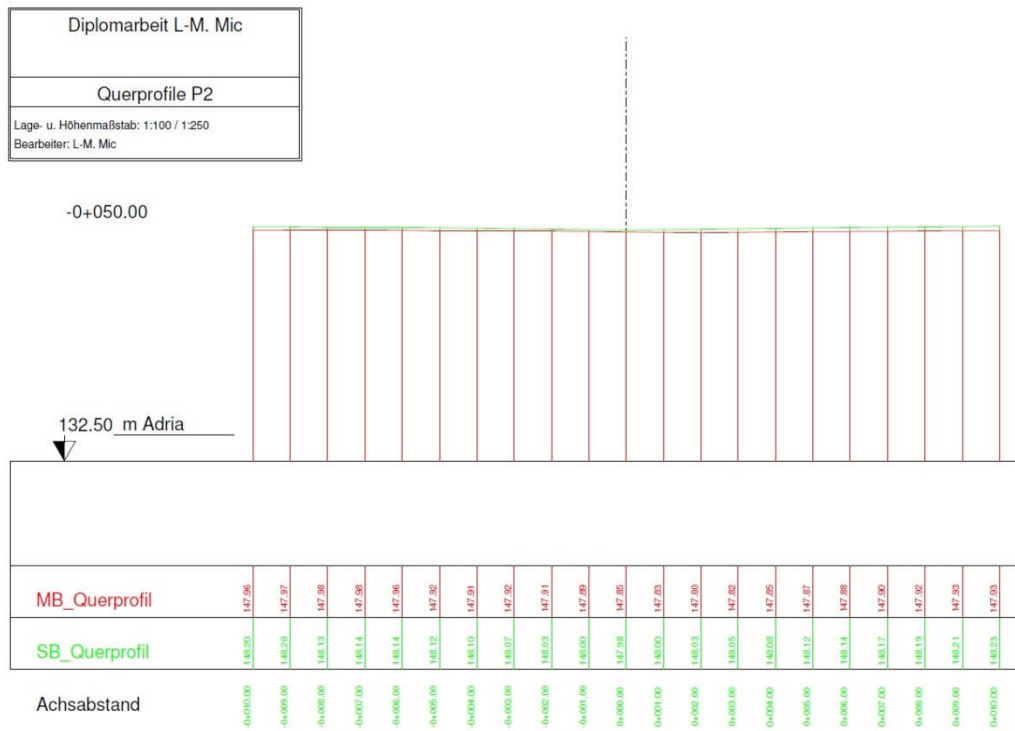


Abb.: 57 Drittes Querprofil auf P2 des Höhendifferenzmodells

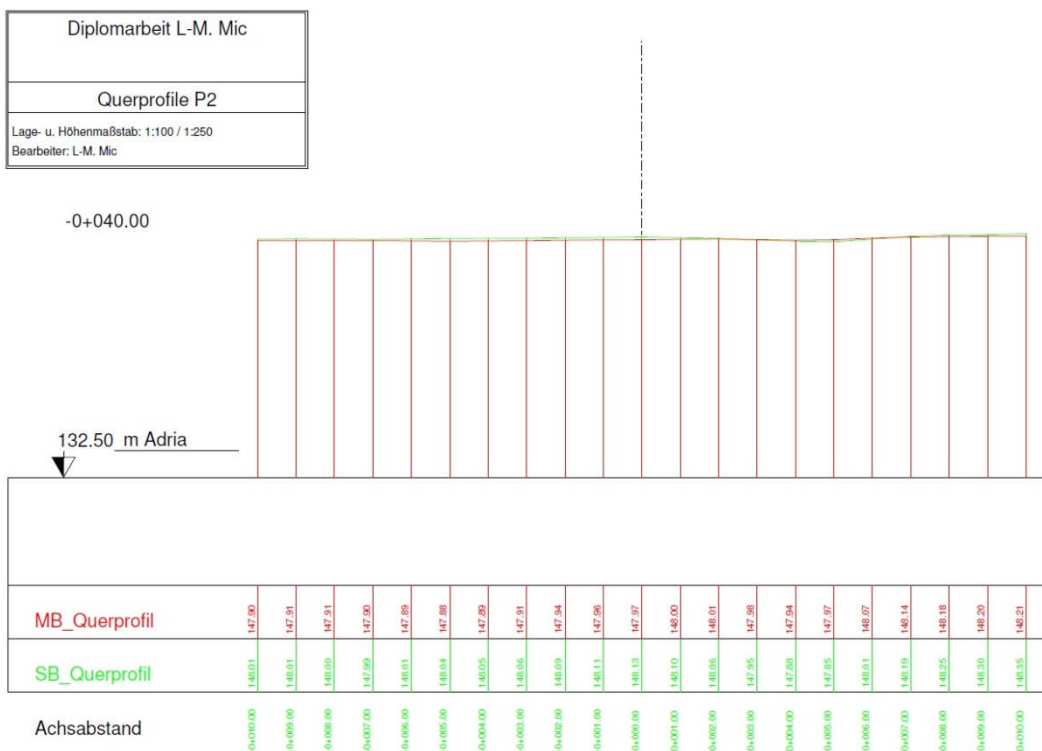


Abb.: 58 Viertes Querprofil auf P2 des Höhendifferenzmodells

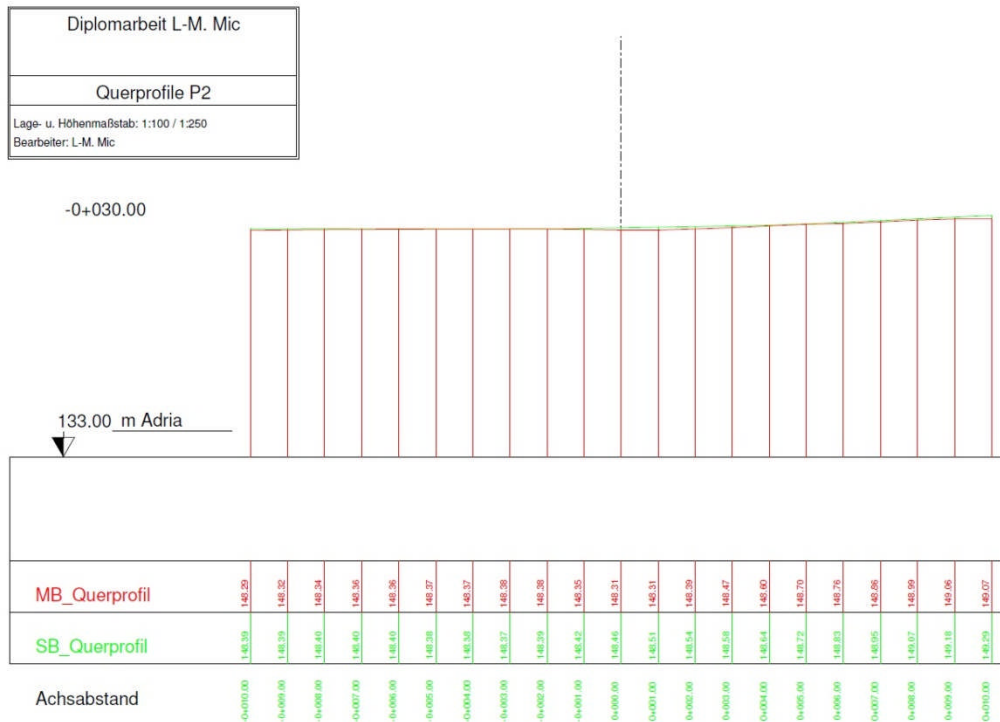


Abb.: 59 Fünftes Querprofil auf P2 des Höhendifferenzmodells

Anhand der Querprofile ist es möglich, aussagekräftige Vergleiche bezüglich der verwendeten Messmethoden zu ziehen. Die Bereiche, an denen Höhenunterschiede auftreten sind deutlich mit Hilfe der Graphiken zu erkennen.

9.6 Endergebnisse in Kartendarstellung

Die anschließenden Kartendarstellungen stellen nun die gemessenen Daten in ihrer bearbeiteten und gesäuberten Form dar. Diese sogenannten Isobathenpläne geben Auskunft über die Tiefen der Gewässer an den jeweils gemessenen Stellen, sowie über die Morphologie des Gewässeruntergrundes. Anhand der Karten können störende Hindernisse aus dem Gewässer entfernt werden, unabhängig davon, ob diese natürlicher (Sandbänke, Fels...), oder künstlicher Herkunft (Schiffwracks, Sperrmüll...) sind.

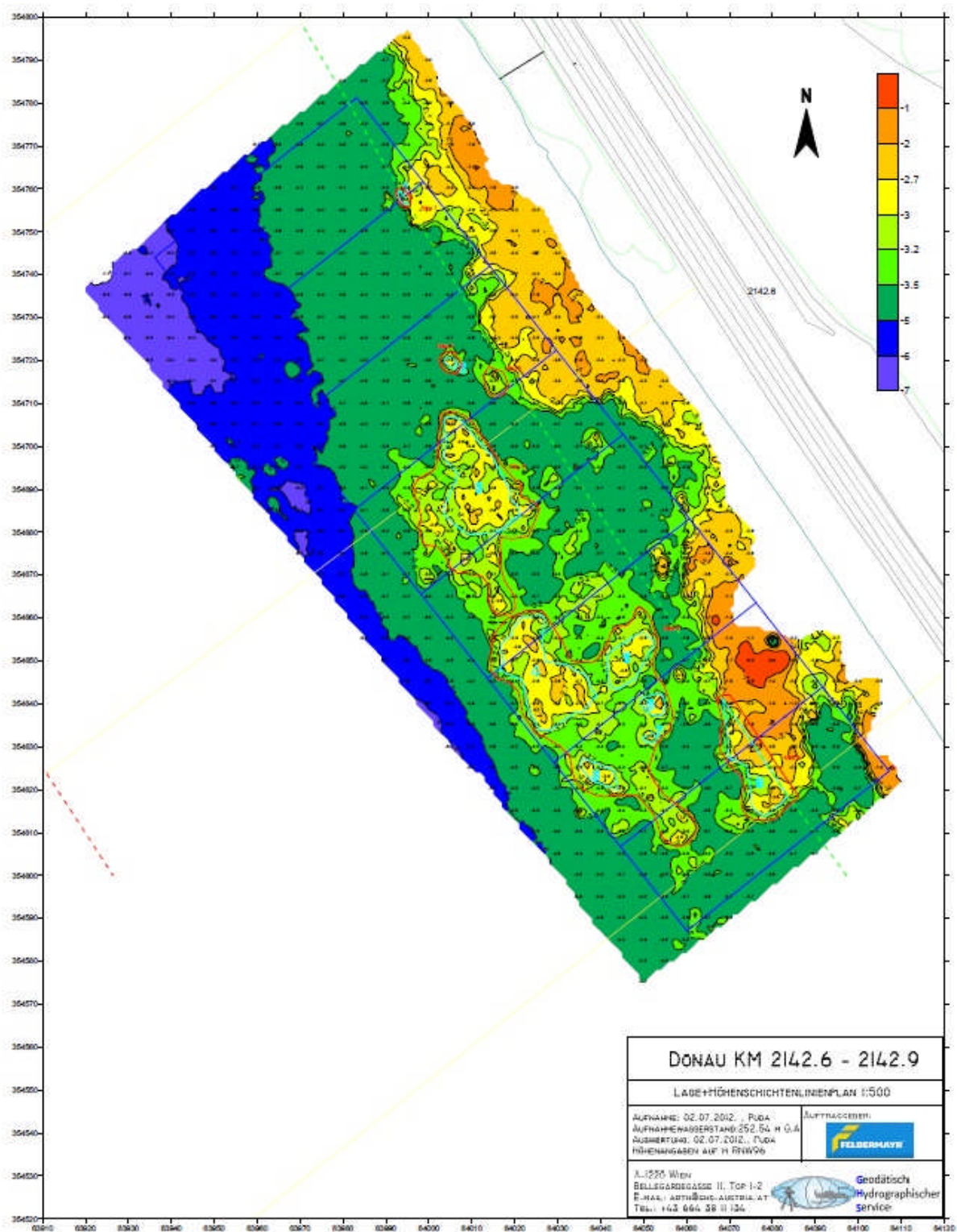


Abb.: 60 Fertige Planerstellung nach der Messung beim Dürnberger Kachlet

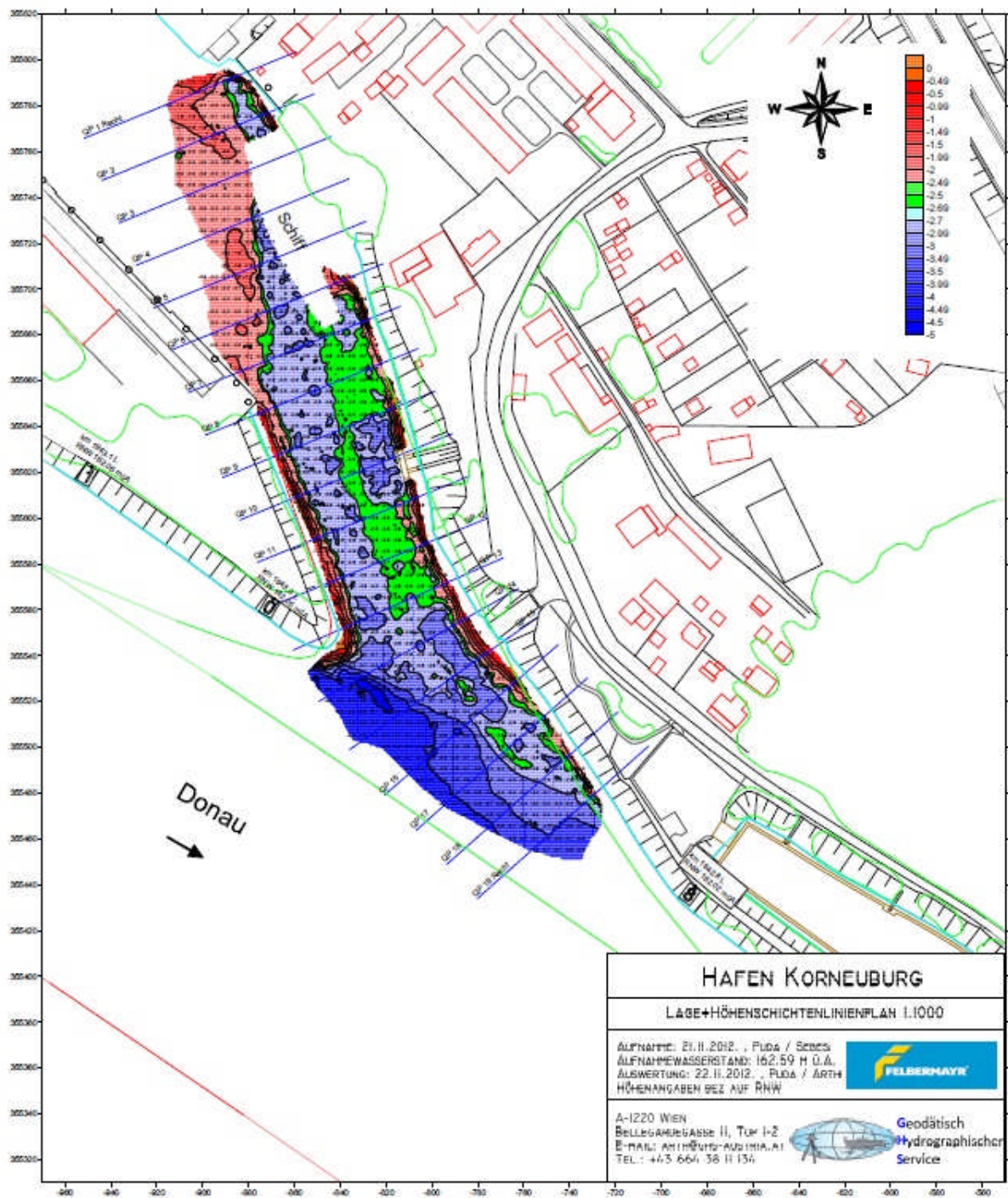


Abb.: 61 Fertige Planübersicht im Hafen Korneuburg

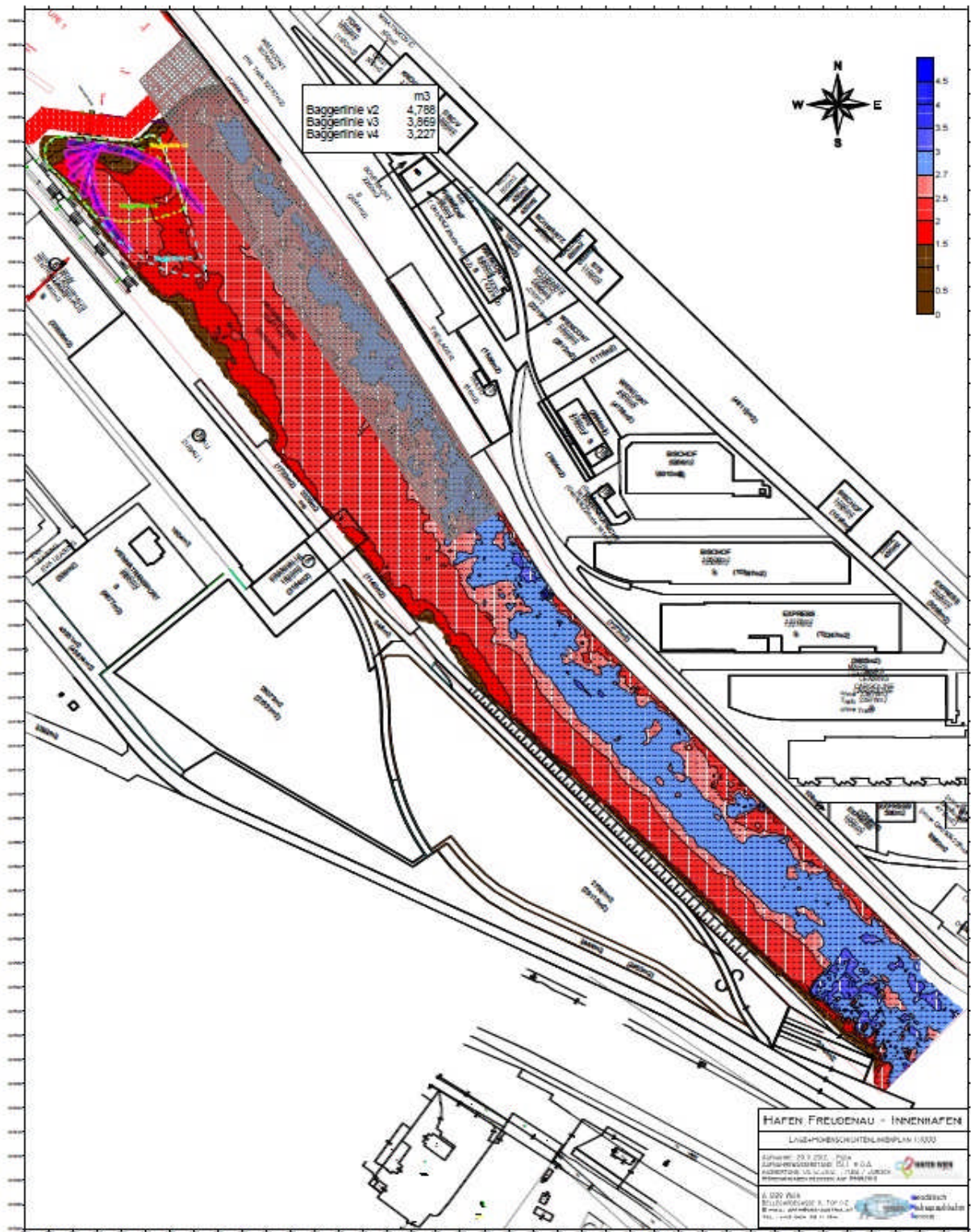


Abb.: 62 Fertige Planerstellung des Freudenauer Hafens- Bereich Innenhafen

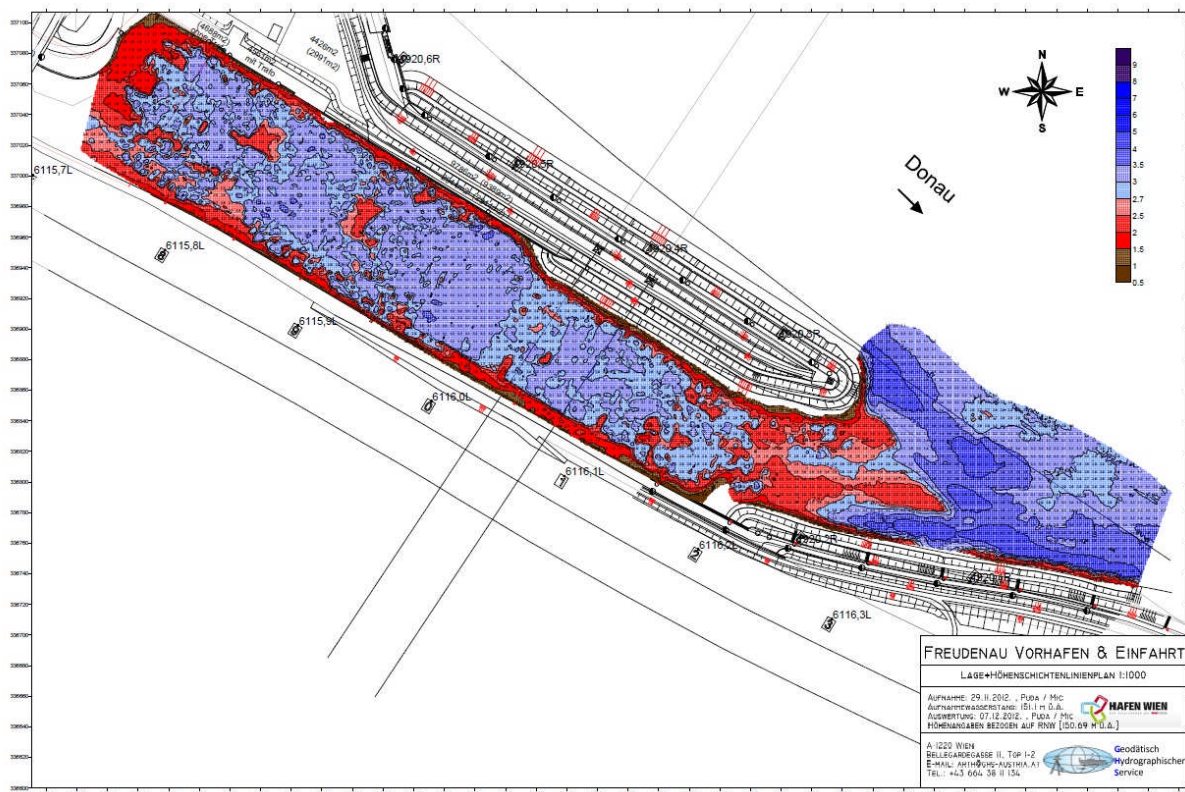


Abb.: 63 Fertige Planerstellung des Freudenauer Hafens, Bereich-Außenhafen

Auf den Karten sind die unterschiedlichen Tiefen auch farblich gekennzeichnet und stellen somit voneinander abgegrenzte Bereiche dar. Dies ermöglicht einerseits einen schnellen Überblick und andererseits eine bessere Orientierung.

10 Diskussion

10.1 Gegenüberstellung

In diesem Kapitel sollen die vier verschiedenen Messgeräte noch einmal analysiert und gegenübergestellt werden. Der Schwerpunkt liegt besonders bei den technischen und wirtschaftlichen Aspekten der Messungen. Anschließend soll mit dessen Hilfe und den erhaltenen Resultaten der Messungen Prognosen für künftige Einsätze gestellt werden.

10.1.1 Vergleichende Betrachtung der 4 Messmethoden aus technischer und wirtschaftlicher Sicht

Die für diese Arbeit verwendeten 3 Messgeräte kamen an diversen Standorten zum Einsatz. Manche von ihnen waren geographisch gesehen an einem anderen Ort, doch von der Aufgabenstellung und dem Einsatzgebiet relativ ähnlich. Demnach lassen sich die Messmethoden infolge der erhobenen Daten recht gut miteinander vergleichen.

Für alle Messmethoden gilt, je größer das zu messende Gebiet, desto längere Messzeiten werden benötigt. Damit verbunden sind natürlich auch höhere Kosten. Anhand der Tabelle 5, basierend auf den durchgeführten Messungen dieser Arbeit, soll nun eine Hilfestellung zu dessen optimaler Einteilung und Anwendung aus technischer und wirtschaftlicher Sicht erfolgen.

Aus den Messungen und Beobachtungen der Singlebeam-Messungen geht hervor, dass diese in ihrer Erfassungsbreite, betreffend der Datenaufnahme, im Vergleich zu den anderen Methoden limitierter sind. Dies ist auf Messungen an vordefinierten Quer- beziehungsweise Längsprofilen zurückzuführen. Diese Vorgabe beeinflusst natürlich nicht nur die Messdauer, sondern auch im weiteren Sinne die Messgenauigkeit und damit verbunden die Aussagekraft der Messung. Und zwar aufgrund von nichtberücksichtigten Bereichen, welche bei der linearen Punktlotung nicht gemessen werden können. So können markante Stellen unter Wasser einfach übersehen werden. Diese jedoch oft zum Teil sehr wichtigen Passagen des Gewässeruntergrundes spielen häufig eine große Rolle. Hingegen haben die Singlebeam-Messungen im Zuge der unterschiedlichen Messprojekte gezeigt, dass diese sehr wohl in manchen Einsatzgebieten gegenüber Multibeam-Messungen von Vorteil sind. Ausschlaggebend hierfür waren die Wassertiefe, sowie die räumlichen beziehungsweise örtlichen Gegebenheiten des Gebietes. Demnach wäre es sinnvoll, aus sowohl technischer, als auch wirtschaftlicher Sicht, eine Singlebeam-Lotung an kleinflächigen, beziehungsweise in flachen Gewässern durchzuführen. Ein kleines Messboot mit Singlebeam-Ausstattung ist in diesen Fällen manövrierfähiger, wendiger und auch die Messgenauigkeit ist für diese Einsatzgebiete deutlich höher. Weiters ist die Anwendung der einfachen Messtechnik und des gesamten Messaufwandes, bezogen auf die Ausstattung für ein solches Unterfangen erheblich wirtschaftlicher. Eine Messung mit dem Multibeam-Verfahren wäre in solch einem Fall, flaches Gewässer mit begrenzter

Manövrierfähigkeit, nicht von Vorteil, auch wenn eine derartige Messung ein Scannen des gesamten Gewässeruntergrundes erlaubt. Ein solches Verfahren wäre nicht wesentlich schneller, und darüber hinaus für kleine Einsatzgebiete sicher aufwendiger. Hinzu kommt eine eher mangelhafte Auflösung die Messgenauigkeit betreffend, da für eine einwandfreie und gefahrlose Ausführung einer solchen Lotung eine gewisse Wassertiefe Voraussetzung ist. Daher ist es weitaus interessanter, im technischen als auch im wirtschaftlichen Sinne, ein Fächerecholot in tieferen Gewässern einzusetzen. Auch für etwaige Massenbilanzrechnungen oder 3D-Modelle ist die Multibeam-Methode sicher besser geeignet.

Was schließlich die Rahmenpeilung betrifft, so ist zu sagen, dass dieses Verfahren sehr aufwendig ist, und vorwiegend, beziehungsweise ausschließlich in flachen Gewässern (3-5 m) ihre Anwendung findet. Sie dient quasi nur der Überprüfung und physikalischen Erkennung von Hindernissen, kann aber keine genauen Daten zur Gewässeruntergrundmorphologie liefern. Daher kann man auf die Methode der Rahmensondierung im Wesentlichen aus technischer und wirtschaftlicher Sicht verzichten.

Leider ist es nicht mehr gelungen, aussagekräftige Messungen mit der Fächerecholot-Methode durchzuführen, dennoch kann eine eingeschränkte Prognose für dieses Verfahren geliefert werden. So ist die Fächerlotung eine Art "Mittelding" zwischen Singlebeam-und Multibeam-Verfahren, und im Prinzip für diverse Einsatzgebiete anwendbar, da sie aufgrund der gleichen Aufnahmebreite quasi tiefenunabhängig ist. Dennoch ist die Größe der Vorrichtung zu beachten, und damit wiederum der Faktor der Wirtschaftlichkeit für kleine Bereiche.

Folgende Tabelle soll noch einmal zusammenfassend einen groben Überblick der Messmethoden bieten.

	Hafen				Fließgewässer			
	Baggerung		Beweissicherung		Baggerung		Beweissicherung	
	< 3m	> 3m	< 3m	> 3m	< 3m	> 3m	< 3m	> 3m
Singlebeam	X							x
Multibeam		X		X		X		X
Flächenecholot	X		X		X		X	

Rahmensondierung	Dient zur physikalischen Kontrolle von Hindernissen und findet bevorzugt Anwendung in flachen Einsatzgebieten.
------------------	--

Tab.: 5 Gegenüberstellung der 4 Messmethoden

10.1.2 Ausblick

In dieser Arbeit wurde nur ein Teil an Einsatzgebieten mit den diversen Messmethoden getestet. Aufgrund des Ausfalles des Flächenecholotes, wäre es jedoch von Vorteil, weitere Messungen mit dieser Methode durchzuführen, um so künftig eine ausschlaggebendere Aussage treffen zu können. Natürlich können in diesem Sinne auch für die bereits durchgeführten Methoden noch weitere Einsatzgebiete getestet werden, um schließlich eine noch deutlichere Eingrenzung, aus technischer und wirtschaftlicher Sicht, zu erzielen.

Literaturverzeichnis

Andree P.: Einführung in die Grundlagen der Hydrographie- Hydrographie im küstennahen Bereich, Skript Hamburg 2003

Arth C.: Genauigkeiten bei der hydrographischen Vermessung, Vortrag 2003

Arth C.: Moderne Multisensorsysteme in der hydrographischen Vermessung, Vortrag 2006

IHO : Manual on Hydrography, Publication M-13, 1Aufl., Eigenverlag vom International Hydrographic Bureau, 2005

Mayer G., Pilgram R., Preiner A.: Einsatz hydrographischer Vermessungen im Markscheidewesen, erschienen im BHM, 157. Jg. (2012), Heft 4 Springer Verlag Austria

Kahmen H.: Angewandte Geodäsie: Vermessungskunde, 20. Aufl., Verlag Walter de Gruyter Berlin, 2006

Kern A.: Planungsprozesse für die Installation eines markscheiderisch hydrographischen Messsystems auf einem trailerbaren Schiff, Diplomarbeit Montanuniversität Leoben 2008

Pilgram R., Der Einsatz hydrographischer Vermessungen im Markscheidewesen, erschienen im BHM, 151. Jg. (2006), Heft 2 Springer Verlag Austria

Schinke R.: Gelände- und Bauwerksaufnahme an einer Kaimauer mit Fächerecholot und Laserscanner unter Berücksichtigung automatisierter Messdatenaufbereitung in QPS QLOUD, Diplomarbeit Hamburg, 2008

Siegel M.: Einführung in die Physik und Technik der Unterwasser-Schallsysteme, 1. Aufl., Eigenverlag der Atlas Elektronik GmbH, 2005

Internetadressen

Geoings: Georingenieurservice GmbH: Echolot- Singlebeam,
<http://www.geoings.de/de/seevermessung/single-beam-faecherlot.php?Modul=1&Titel=Echolot-Single-Beam>, (29.01.2013)

Universität Kassel: Einführung in die GPS Vermessung (Global Positioning System) Leica, <http://cms.uni-kassel.de/unicms/uploads/media/GPS-Basics.pdf>, (25.03.2013)

Teledyne-Reson: Produktbeschreibung Multibeam, <http://www.teledyne-reson.com/products/seabat/seabat-7101/>, (19.05.2013)

Tabellenverzeichnis

Tab.: 1 Übersicht über die Reichweite und Einsatzbereichs eines Echolotes (IUEM, 2010)	21
Tab.: 2 Einstrahlung mit verschiedenen Öffnungswinkeln und dazugehörigen Messfehlern (Arth 2003, S.32)	34
Tab.: 3 Werte der Einstrahlung und dessen tiefenabhängige Lotfehler (Arth 2003, S.33)	36
Tab.: 4 Gegenüberstellung der verschiedenen Messgenauigkeiten abhängig vom Öffnungswinkel des Echolotes (siehe Arth, 2003)	38
Tab.: 5 Gegenüberstellung der 4 Messmethoden	80

Abbildungsverzeichnis

Abb.: 1 Peilrahmengestell am Boot montiert (GHS, 2013)	15
Abb.: 2 Durchführung einer Singlebeam-Messung (IUEM, 2010)	16
Abb.: 3 Durchführung einer Multibeam-Messung (IUEM, 2010)	18
Abb.: 4 Messprinzip einer Fächerecholotung und die dazugehörigen geometrischen Größen (Schinke, 2008)	19
Abb.: 5 Links: Ausstrahlung des Signals, rechts: Empfang des Signals (IUEM, 2010)	20
Abb.: 6 Übersicht der Echolotreichweite in Abhängigkeit der Frequenz (IUEM, 2010)	21
Abb.: 7 Schema der Amplitudenmessung (IUEM, 2010)	24
Abb.: 8 Schema der Phasenmessung (IUEM, 2010)	24
Abb.: 9 Flächenecholotsystem (Kongsberg, 2013)	25
Abb.: 10 Schiffsbewegungen (Kern, 2008)	27
Abb.: 11 Systemskizze der Bewegungskomponenten des Schiffes (Jurisch, 2013)	28
Abb.: 12 IHO Standards for Hydrographic Surveys - Special Publication No. 44, 4th Ed. 1998 (Arth, 2003)	32
Abb.: 13 „Footprint“ des Einstrahl-Echolotes	34
Abb.: 14 Einstrahlung auf Hangneigung (Arth 2003, S.33)	35
Abb.: 15 Schema der Überdeckung eines Fächerecholotes (Arth 2003, S.35)	37
Abb.: 16 Hydroakustisches Wirkprinzip eines Fächerecholotes, links „Amplitudenverfahren“ rechts „Phasenverfahren“ (Arth 2003, S.42-43)	39
Abb.: 17 Anwendung hydroakustischer Wirkprinzipien entlang einer Kaimauer, links Beamforming- Verfahren, rechts Phasenverfahren (Arth 2003, S.44-45)	40
Abb.: 18 Singlebeam-Lotung auf steinigem Untergrund (Arth2003, S.47)	41
Abb.: 19 Multibeam-Lotung auf Steinen (Arth 2003, S.48)	42
Abb.: 20 Foto der Basisstation	43
Abb.: 21 Skizze des Untersuchungsgebietes Dürnberger Kachlet mit Querprofilen	44
Abb.: 22 Darstellung der Peilrahmenmessung während der Fahrt am Computer	45
Abb.: 23 Darstellung der Peilrahmenmessung während der Fahrt am Computer	45
Abb.: 24 Bestandteile einer Singlebeam-Messung	46
Abb.: 25 Messboot	47
Abb.: 26 Echolot Reson Seabat 7101	48
Abb.: 27 GPS-Controller und Hardware Key mit Dongle	48

Abb.: 28 Darstellung der Multibeam-Messung an Bord mit Qinsy und Multibeam-Software	49
Abb.: 29 Skizze des Untersuchungsgebietes Hafen Korneuburg mit Querprofilen	50
Abb.: 30 Skizze des Untersuchungsgebietes Hafen Freudenau	51
Abb.: 31 Darstellung der Multibeam-Rohdaten mit Qloud, Dürnbergger Kachlet.....	56
Abb.: 32 Darstellung der Multibeam-Rohdaten mit Qloud, Dürnbergger Kachlet.....	57
Abb.: 33 Darstellung der Multibeam-Rohdaten mit Qloud, Dürnbergger Kachlet.....	58
Abb.: 34 Darstellung der Multibeam-Rohdaten mit Qloud,Dürnbergger Kachlet.....	58
Abb.: 35 Auswertung der Singlebeam-Messung mit Quinsy, Korneuburger Hafen	59
Abb.: 36 Auswertung der Singlebeam-Messung mit Quinsy, Korneuburger Hafen	60
Abb.: 37 Auswertung der Singlebeam-Messung mit Quinsy, Korneuburger Hafen	60
Abb.: 38 Auswertung der Singlebeam-Messung mit Quinsy, Korneuburger Hafen	61
Abb.: 39 Auswertung der Singlebeam-Messung mit Quinsy, Korneuburger Hafen	61
Abb.: 40 Auswertung der Singlebeam-Messung mit Quinsy, Korneuburger Hafen	62
Abb.: 41 Auswertung der Singlebeam-Messung mit Quinsy, Korneuburger Hafen	62
Abb.: 42 Auswertung der Singlebeam-Messung mit Quinsy, Korneuburger Hafen	63
Abb.: 43 Auswertung der Singlebeam-Messung mit Quinsy, Korneuburger Hafen	63
Abb.: 44 Auswertung der Multibeam-Messung mit Qloud, Hafen Freudenau	64
Abb.: 45 Auswertung der Multibeam-Messung mit Qloud, Hafen Freudenau	65
Abb.: 46 Auswertung der Multibeam-Messung mit Qloud, Hafen Freudenau	65
Abb.: 47 Auswertung der Multibeam-Messung mit Qloud, Hafen Freudenau	66
Abb.: 48 Auswertung der Multibeam-Messung mit Qloud, Hafen Freudenau	66
Abb.: 49 Auswertung der Multibeam-Messung mit Qloud, Hafen Freudenau	67
Abb.: 50 Höhendifferenzmodell zwischen Multibeam und Singlebeam, Hafen Freudenau- Hafentor	68
Abb.: 51 Erstes Querprofil auf P1 des Höhendifferenzmodells	69
Abb.: 52 Zweites Querprofil auf P1 des Höhendifferenzmodells	69
Abb.: 53 Drittes Querprofil auf P1 des Höhendifferenzmodells.....	70
Abb.: 54 Viertes Querprofil auf P1 des Höhendifferenzmodells.....	70
Abb.: 55 Erstes Querprofil auf P2 des Höhendifferenzmodells.....	71
Abb.: 56 Zweites Querprofil auf P2 des Höhendifferenzmodells	71
Abb.: 57 Drittes Querprofil auf P2 des Höhendifferenzmodells.....	72
Abb.: 58 Viertes Querprofil auf P2 des Höhendifferenzmodells.....	72
Abb.: 59 Fünftes Querprofil auf P2 des Höhendifferenzmodells.....	73
Abb.: 60 Fertige Planerstellung nach der Messung beim Dürnbergger Kachlet.....	74
Abb.: 61 Fertige Planübersicht im Hafen Korneuburg	75
Abb.: 62 Fertige Planerstellung des Freudenauer Hafens- Bereich Innenhafen	76
Abb.: 63 Fertige Planerstellung des Freudenauer Hafens, Bereich-Außenhafen	77